

ELEKTRONIKAI MŰSZERÉSZ MESTERVIZSGÁRA FELKÉSZÍTŐ JEGYZET

Budapest, 2014

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Szerzők:
Dienes Zoltán
Lente Csaba

Lektorálta:
Kiss Attila László

Kiadja:
Magyar Kereskedelmi és Iparkamara

**A tananyag kidolgozása a TÁMOP-2.3.4.B-13/1-2013-0001 számú,
„Dolgozva tanulj!” című projekt keretében, az Európai Unió Európai
Szociális Alapjának támogatásával valósult meg.**

**A jegyzet kizárólag a TÁMOP-2.3.4.B-13/1-2013-0001 „Dolgozva tanulj”
projekt keretében szervezett mesterképzésen résztvevő személyek részére,
kizárólag a projekt keretében és annak befejezéséig sokszorosítható.**

TARTALOMJEGYZÉK

1.	Informatika alapjai.....	5
1.1.	Számítógépes információfeldolgozás	5
1.2.	Kommunikáció.....	5
1.3.	A hardver és szoftver fogalma	6
1.4.	Neumann architektúra.....	7
1.5.	A digitális számítógép alapegységei:	8
1.5.1.	Processzor (CPU= Central Processing Unit).....	8
1.5.2.	Memória.....	8
1.5.3.	Perifériák.....	9
1.5.4.	Sínrendszer	11
1.6.	Hálózatok	12
1.6.1.	Mi kell a hálózathoz?.....	12
1.6.2.	Hálózatok méretei	12
1.6.3.	Hálózati topológia.....	12
2.	Elektronikai áramkörök	14
2.1.	Kétpólusok:.....	14
2.1.1.	Aktív kétpólusok:.....	14
2.2.	Négy-pólusok:.....	15
2.2.1.	A négy-pólus karakterisztikus egyenletei.....	15
2.3.	Félvezető áramköri elemek	16
2.3.1.	PN átmenet.....	16
2.3.2.	FÉLVEZETŐ DIÓDÁK	17
2.3.3.	TRANZISZTOROK	19
2.3.4.	Egyéb félvezető eszközök.....	22
2.3.5.	Optoelektronikai eszközök.....	23
2.4.	Analóg alapáramkörök.....	24
2.4.1.	Erősítő alapáramkörök.....	24
2.4.2.	A térvezérlésű tranzisztorok munkapont beállítása.....	27
2.5.	Többfokozatú erősítők:	30
2.6.	Visszacsatolások	31
2.7.	A műveleti erősítők.....	32
2.7.1.	A műveleti erősítők felépítése	32
2.7.2.	Az integrált műveleti erősítők jellemzői.....	33
2.7.3.	A visszacsatolás hatása a műveleti erősítőkre.....	33
2.7.4.	Műveleti erősítő alkapcsolások.....	35
2.8.	Impulzustechnika	36
2.8.1.	Differenciáló áramkör.....	38
2.8.2.	Integráló áramkör.....	39
2.8.3.	Diódás vágóáramkörök	40
2.9.	Digitális technika	42
2.9.1.	Numerikus kódok (szám kódok).....	42
2.9.2.	A Boole-algebra alaptételei, szabályai.....	43
2.9.3.	Kombinációs logikai hálózatokat felépítő logikai alapáramkörök.....	44
2.9.4.	Logikai függvények megadása	46
2.9.5.	Logikai függvények algebrai egyszerűsítése	47

2.9.6.	Logikai kapcsolási vázlat.....	47
2.9.7.	Kombinációs hálózat megvalósítása NOR illetve NAND kapukkal.....	48
2.9.8.	Logikai függvények kanonikus (normál) alakjai.....	48
2.9.9.	Logikai függvények grafikus minimalizálása.....	49
2.9.10.	Sorrendi (szekvenciális) hálózatok.....	52
3.	Számítógép alkalmazása az elektronikában.....	59
3.1.	Mikroprocesszorok, mikrovezérlők és interfész áramkörök.....	59
3.1.1.	Mikroprocesszorok utasításkészlete.....	61
3.1.2.	Mikroprocesszor architektúra.....	63
3.1.1	Bemeneti és kimeneti interfészek, perifériák.....	69
3.2	Általános PLC ismeret.....	72
3.3	PLC programozás.....	76
3.4	Hibakeresési és javítási módszerek, elektronikus adatkezelés és dokumentálás.....	79
4	Irányítástechnikai rendszerek kialakítása és üzemeltetése.....	81
4.1	Irányítástechnika alapjai.....	81
4.1.1	Az irányítási rendszer szerkezeti részei:.....	82
4.1.2	Vezérléstechnika.....	83
4.1.3	Szabályozástechnika.....	83
4.2	Vezérlés.....	84
4.3	Szabályozás.....	86
4.4	Hibakeresés, javítás és dokumentálás az irányítástechnikában.....	91
	Felhasznált irodalom.....	92

1. Informatika alapjai

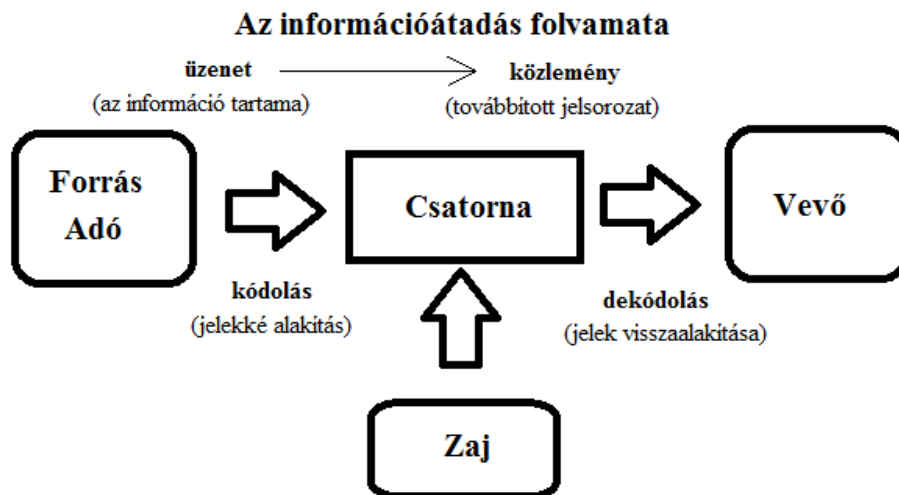
1.1. Számítógépes információfeldolgozás

A szűkebb értelemben vett informatikán a számítógépes információfeldolgozást értjük. A számítógépek programjai is kódokból állnak. A programozók kódokra fordítják le a számítógépnek adott parancsokat. A kódok segítségével pedig a számítógépek végre tudják hajtani a feladatot. A számítógépek többféle kódnyelvet is ismernek. Pl.: BASIC, LOGO, Java, Pascal

A számítástechnikai eszközökkel rögzített, azokkal feldolgozható és megjeleníthető információt adatnak nevezzük.

1.2. Kommunikáció

Az információkat nemcsak rögzíteni tudunk, hanem küldeni, adni, venni és cserélni is. Az információ továbbítását egy szóval **kommunikációnak** nevezzük (1.1. ábra.)



1.1. ábra információátadás folyamata

Az információátadás az informatikai eszközök esetében leegyszerűsítve így épül fel:

- A **forrás** előállítja az **üzenetet** (vagy üzenetek sorát), melyet továbbítani szeretne a vevőhöz. Az üzenet lehet hang, szöveg, kép, stb.
- A forrás oldalán az üzenetet olyan jelekké kell alakítani, hogy a csatorna továbbítani tudja (**kódolás**).
- Az üzenet továbbítása a **csatornán** keresztül történik.
- A vevő oldalán pedig vissza kell alakítani jeleket (**dekódolás**).
- A csatorna által továbbított jelsorozatot **közleménynek** nevezzük. A csatornában a közlemény legtöbbször sérül, úgy mondjuk: az információhoz **zaj** adódik hozzá. (elszakadt papír, nehezen hallható mobiltelefon, vibráló képernyő, stb.)

Ha információtovábbításról beszélünk, felmerül annak szükségessége, hogy a **továbbított információt** valahogy **mérnünk** kell. Az információ mértékegységei:

BIT (Jele: b)

A számítógépek és a legtöbb informatikai eszköz (pl.: DVD-lejátszó, mobiltelefon, stb.) binárisan kezelik az adatokat.

A bináris digitális jelek csupán két értéket vehetnek fel. Matematikai leírásukhoz a **kettes számrendszert** használjuk, a két állapotnak a **0** és az **1** felel meg. **Az információ legkisebb mértékegysége a bit.**

Ha a közlemény több jelből áll, akkor a közlemény információmennyisége jelenként összeadódik. Pl.: ha a jel nyolcféle lehet, akkor már nem tudjuk egyetlen számjeggyel leírni. Ebben az esetben a közlemény 3 bites. Legelterjedtebb és általánosan használt a 8 bites kód. Az összetartozó 8 bitet 1 byte-nak nevezzük.

Bájt (Byte) (Jele: B)

A számítógépes adattárolás legkisebb önállóan is értelmezhető egysége a bájt (Byte). A bájt egy 8 bitből álló bináris vektor, ami a memóriában egy 0 és 255 közötti számértéket képvisel. Ez összesen 256 különböző érték. Azért ennyi, mert a bájtot alkotó 8 bit éppen 256-féle variációban kapcsolható ki és be. Mivel a kettes számrendszert használjuk, az információ mennyiségének váltószáma 1024.

ADATÁTVITELI SEBESSÉG

Az információáramlás sebességét adatátviteli sebességnek nevezzük.

Leggyakrabban használt **mértékegysége: bps (bit per secundum)**, amellyel az egy másodperc alatt továbbított bitek számát mérjük. Többszörösei:

- Kbps (ezer bit per second)
- Mbps (millió bit per second)
- Gbps (milliárd bit per second)

A modemek például 14,4Kbps; 28,8Kbps; 33,6Kbps és 56Kbps sebességgel továbbítják az adatokat a telefonvonalakon keresztül. Ez nagyjából azt jelenti, hogy egy 14,4 Kbps sebességű modem egy 50 oldalas írást, körülbelül 5 perc alatt, míg egy 2 Gbps adatátviteli sebességgel működő hálózat, egy lexikon teljes szövegét alig egy másodperc alatt továbbít.

1.3. A hardver és szoftver fogalma

HARDVER (HARDWARE)

A Számítástechnikában hardvernek nevezzük magát a számítógépet és minden kézzel megfogható tartozékát, a számítógép elektromos és mechanikus alkatrészeit

SZOFTVER (SOFTWARE)

Szoftvernek nevezzük a számítógépre írt programokat (operációs rendszer, szövegszerkesztő, böngésző, stb.) és az ezekhez mellékelt írásos dokumentációkat. A szoftvereket programozók készítik, szellemi termékek, kézzel nem megfoghatóak (csupán a szoftvereket hordozó eszközöket – CD, DVD tudjuk megfogni). A szoftver a **számítógépen futó programok összefoglaló neve**, a hardver egységeket működtető-, és vezérlő programok összessége.

A PROGRAM

A program olyan **egyszerű utasítások, műveletek** logikus **sorozata**, amelyekkel a számítógépet irányítjuk. A program az utasításokat is és az adatokat is kettős számrendszerben leírt számokkal ábrázolja. Meghatározza, hogy a számítógép milyen módon végezzen el egy adott feladatot. A programokat háttértárolón tároljuk, ha éppen nem futnak. Ha egy programot elindítunk, az operációs rendszer a háttértárolóról betölti a programot a memóriába. A CPU számára átadja a program kezdetének címét, majd a program ezután átveszi a számítógép vezérlését és futni, működni kezd.

A Fájl (File)

A számítógépen adatainkat és programjainkat úgynevezett fájlokban (állományokban) tároljuk. Egy fájl tartalma a gép szempontjából vagy adat, vagy program. A fájlban tárolt adat tetszőleges, lehet szöveg, grafikus kép, hang stb. Az adatok formájára nézve nincs előírás, a gyakorlatban nagyon sokféle formátum létezik. A fájlt minden operációs rendszer használja, konkrét megjelenése azonban már az operációs rendszertől függ.

A FÁJLKITERJESZTÉS

A fájlkiterjesztés vagy röviden kiterjesztés olyan információ, amely segíti az operációs rendszert és a felhasználói programokat abban, hogy azonosítsa az állomány (fájl) típusát. A fájlkiterjesztés az fájl nevének végén helyezkedik el, attól ponttal elválasztva. Például a „feladat.doc” fájlnev egy feladat nevű Word állományt jelent. A DOS operációs rendszerben a fájlok kiterjesztése maximum 3 karakter lehetett, az újabb rendszereken nincsen korlátozva.

1.4. Neumann architektúra

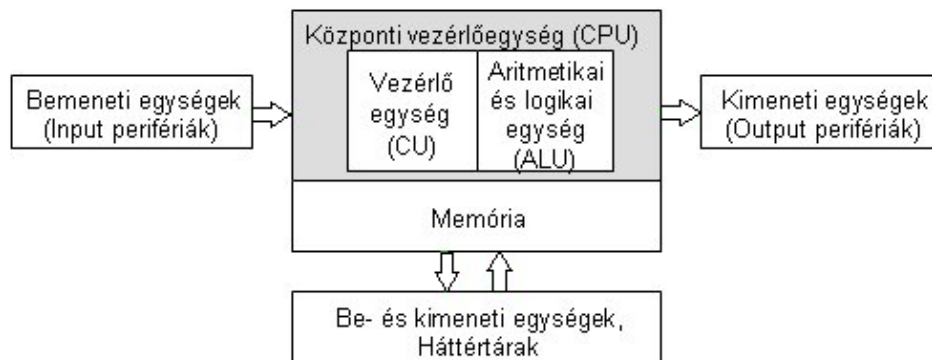
A Neumann architektúra (felépítés) olyan számítógépeket jelent, amely meghatározott elvek, az ún. Neumann-elvek alapján működnek.

Neumann-elvek

- soros utasítás végrehajtás (utasítások végrehajtása időben egymás után; ennek ellentéte a párhuzamos utasítás végrehajtás, amikor több utasítás egyidejűleg is végrehajtható)
- kettős (bináris) számrendszer használata
- belső memória (operatív tár) használata a program és az adatok tárolására
- a számítógép meghatározott funkciókat (feladatokat) végrehajtó hardver egységekkel rendelkezik
- teljesen elektronikus működés (a számítógép központi egységében nincsenek mozgó alkatrészek, ellentétben a régi mechanikus vagy elektromechanikus számológépekkel)
- széles körű felhasználhatóság, alkalmasság bármilyen adatfeldolgozási feladatra
- a számítógép univerzális **Turing-gépként** működik

Neumann-elvű számítógépek alapvető funkcionális (hardver) egységei (1.2. ábra)

:



1.2. ábra Neuman-elvű számítógép funkcionális vázlata

1.4. A digitális számítógép alapegységei:

- Processzor (CPU),
- Memória,
- Be- és kimeneti egységek illesztő áramkörei.

1.4.1. Processzor (CPU= Central Processing Unit)

A processzor a számítógép központi feldolgozó egysége. A processzor (CPU) feladatai:

- Vezérli a számítógép működését, a memóriában tárolt program alapján.
- Aritmetikai és logikai műveleteket végez. Logikai műveletek: TAGADÁS, ÉS, VAGY, KIZÁRÓ-VAGY... Aritmetikai műveletek: összeadás, kivonás, szorzás, osztás....

A processzor legfontosabb egységei:

- **Vezérlőegység (CU)** . A CU (control unit,) gondoskodik az utasítások lehívásáról, értelmezéséről és végrehajtásáról
- **Aritmetikai- logikai egység (ALU)**. Az ALU (arithmetic logical unit) végzi el a processzor regisztereiben elhelyezett adatokkal az utasításokban kijelölt aritmetikai (számítási) és logikai műveleteket. Képes összeadásra, kivonásra, szorzásra és osztásra, logikai műveletekre (pl. És, Vagy, Kizáró-vagy, Tagadás...)
- **Regiszterek**. A processzor belső tároló elemei, melyeket „munkamemóriaként” használ. Az aktuális utasításhoz éppen szükséges adatok és memóriacímek tárolódnak itt.

1.4.2. Memória

A személyi számítógépekben 3 alapvető memória típust különböztetünk meg:

- **Operatív tár**. Nagy kapacitású, de viszonylag lassú írható-olvasható memória (RAM). Tartalmazza a háttértárolókról és a beviteli perifériákról beolvasott programokat és adatokat. A processzor a operatív memóriában található programutasításokat hajtja végre, és az itt található adatokkal végzi el a kijelölt

műveleteket Pl. Szövegszerkesztésnél: A szövegszerkesztő program utasításait hatja végre a processzor. A memóriában tárolja a felhasználó által begépett szöveget. Minden bevitt adat először a RAM-ba íródik, és ott kerül feldolgozásra. Itt helyezkednek el és ezen a területen dolgoznak az aktuálisan működő programok is.

- **Cache:** A gyorsító tár (cache memory) kis kapacitású, de gyors írható-olvasható memória (RAM). A processzor sokkal gyorsabban képes dolgozni, mint operatív memória. A gyorsító tár ugyan kis kapacitású, de képes rövid elérési idő alatt a processzor számára biztosítani a szükséges adatokat. A gyorsító tár a processzor és az operatív memória között helyezkedik el a gyakran használt utasításokat, adatokat tartalmazza. A gyorsító tár típusai:
 - Belső (első szintű, L1, Level1) cache: ami a processzorral egy tokban,
 - Külső (második szintű, L2, Level2) cache: az alaplapon helyezkedik el.
- **ROM-BIOS:** A bekapcsolás után lefutó tesztprogramot és az alapvető hardverkezelő rutinokat tartalmazó, alaplapon elhelyezett csak olvasható memória (ROM). Ez tartalmazza a setup programot is, amivel módosíthatjuk a CMOS RAM tartalmát.

1.4.3. Perifériák

A számítógéphez kapcsolt eszközöket perifériáknak nevezzük. Ezek többsége maga is speciális célú számítógépnek tekinthető, saját célprocesszorral, és kisebb-nagyobb saját tárolóval rendelkezik. A perifériák mindegyikéhez tartozik egy elektronikus vezérlő, ami a külső busszal tart kapcsolatot, illetve valamilyen funkcionális készülék, amit meghajtónak (drive) neveznek. Ezeket csoportosíthatjuk az adatáramlást jellemző irány szerint. A beviteli perifériák jellemzően adatot juttatnak a számítógép számára, míg a kiviteli perifériák elsősorban az eredmények megjelenítéséért felelősek.

Bemeneti perifériák (Input eszközök):

- **Billentyűzet.** Fontosabb jellemzői a billentyűk száma és a billentyűzetkiosztás nyelve.
- **Egér** a grafikus felhasználói felületek elterjedésével vált szinte nélkülözhetetlen beviteli eszközzé. Csoportjai:
 - Mechanikus egerek: golyó van az alján az egérben
 - Optikai egerek: alján optikai érzékelő van
 - Csatlakozás szerinti csoportosítás: Soros: PS/2 és USB
- Az **érintőképernyő** (touchscreen) egy monitorra helyezett átlátszó nyomásérzékeny fólia.
- A **fényceruza** segítségével a képernyő egyes pontjait érintetve lehet vezérelni a számítógép működését. (Ritkán használjuk.)
- A **grafikus tábla** általában A4 vagy A5 méretű érzékelőtábla (mérnöki munkában tervrajzok beviteléhez használják.)
- A **lapolvasó (scanner)** képek digitalizálására megalkotott eszköz. A lapolvasó minőségét meghatározza, hogy mennyire kis részekre képes bontani a feldolgozandó képet, azaz mekkora a **felbontása**. Ennek mértékegysége a DPI (dot per inch). Jellemző értékei a 600, 1200, 2400 DPI. Másik fontos értéke a

feldolgozáskor használható színárnyalatok száma, azaz a **színmélység**. Ezt bitekben szokták megadni. A lapolvasóval szöveget is be lehet vinni, de ilyenkor is képként kezeli a dokumentumot. A lapon található szöveg felismerését egy speciális program, az **optikai karakterfelismerő** (OCR: optical character recognition) valósítja meg. Változatai:

- **Síkágys lapolvasó:** A3 vagy A4 méretű képek bevitelére alkalmas.
 - **Kézi lapolvasó:** kisebb képek digitalizálása oldható meg.
- **Digitális fényképezőgép** – Flash memóriát használ a képek tárolására. Nagy előnye, hogy a képet csak akkor kell a gépben megtartani, ha úgy gondoljuk, szükségünk van rá.
 - **Digitális videokamera** – a rögzített videót ebben a készülékben miniDV kazettán digitális formában tárolják. Néhány készülék 8 cm-es újraírható DVD-lemezt használ rögzítésre.
 - **Mikrofon.** A mikrofont a hangkártyához kell csatlakoztatni.

Kimeneti perifériák (Output eszközök):

A legfontosabb output perifériák a **képernyő** (monitor, screen, display) és a **nyomtató** (printer). Ide tartozik még a például a **hangszóró** (speaker) és a **rajzgép** (plotter) is.

- **Monitor**

Három fő kategóriát különböztetünk meg.

- **Katódsugárcsőves** (CRT: Cathode Ray Tube)
- **Folyadékkristályos** (LCD: Liquid Crystal Display) megjelenítő.
- **Kivetítők** (projektorok). Ezek két fő megjelenítési módszerrel dolgoznak, az LCD-vel és a DLP-vel (Digital Light Processing).

A színkezelést figyelembe véve beszélhetünk a következő monitortípusokról:

- **Monochrom** (egyszínű) ez a monitor típus egy háttér- és egy előtér-szint képes megjeleníteni
- **Szürkeárnyalatos** A fekete és a fehér közötti átmenetek megjelenítésére is alkalmas, hasonlóan a fekete-fehér televízióhoz
- **Színes** a három alapszín (vörös, zöld, kék) keverékéből előállított színek megjelenítésére alkalmas. A színek számát a monitor illesztőkártyájának a minősége határozza meg

A felbontóképesség és a megjelenített színek száma szerint további típusokat különböztethetünk meg, melyek szabvánnyá váltak.

- **Hercules** 720x348 képpontból állítja elő a képet és monochrom
- **CGA** (Color Graphics Adapter) 320x200 pontos a felbontás, és összesen 4 szín kezelésére alkalmas
- **EGA** 640x350 képpontos felbontás, és 16 megjeleníthető szín
- **VGA** (Video Graphics Adapter) 640x480 a felbontás, de a színek száma már 256
- **SVGA** (Super VGA) 1028x768 képpont és minimum 256 szín megjelenítésére alkalmas

- **Nyomtató**

- **Tűs nyomtató** A megjelenítendő betűket, képeket a nyomtatófejben elhelyezett tűk segítségével pontonként alakítja ki. A nyomtatási kép kialakítása miatt ezeket a nyomtatókat gyakran **mátrixnyomtató**nak nevezik.

- **Tintasugaras nyomtatók.** Folyékony festékeket használnak a kép előállításához. Ezt apró festékcseppek formájában juttatják a lapra, és ezekből áll össze a kép. A kép felbontását az egy hüvelyken elhelyezhető pontok számával (DPI: Dot Per Inch) adják meg. Ezek a nyomtatók akár több száz képpontot el tudnak helyezni egy milliméteres darabon
- **Lézernyomtatók** Egy elektromosan feltöltött (toner) hengerre lézer segítségével „rajzolják” a képet. Ennek a hengernek a segítségével kerül a festékpor a papírra. A festéket forró hengerek égetik ezután a papírra.
- **Hőnyomtató.** Itt a képet egy speciális hőérzékeny lapra égetik rá. Hőnyomtatókkal pénztárgépekben és faxkészülékekben találkozhatunk, mivel gyors és csendes nyomtatást tesznek lehetővé. A nyomtatási módszer hátránya hogy a hőérzékeny papíron kialakított kép nem nagyon időtálló
- **Plotter (rajzgép)** nagyméretű műszaki rajzok készítésére alkalmas. Ebben a rajzolást cserélhető tollakkal végzik.

1.4.4. Sínrendszer

A sínrendszer vagy más néven buszrendszer (bus system) szabványos vezetékrendszer a számítógép egyes részegységei között teremt kapcsolatot. Fajtái:

- Az **adatsín** (adatbusz) biztosítja az adatátvitelben résztvevő eszközök között az adatkapcsolatot. Hol az egyik, hol a másik eszköz küldi rajta az adatokat.
- A **címsín** (címbusz) a címinformáció továbbítására szolgál. A cím alapján történik az adatátvitelben résztvevő eszköz kiválasztása, és a belső memóriarekeszek vagy regiszterek megcímezése
- A **vezérlősín** (vezérlőbusz) vezetői vezérlik az egyes eszközöket, időztik az adatátvitelt. pl. jelzik, ha a processzor éppen a memóriából kíván olvasni, és azt is, hogy a memória elhelyezte már a kért adatot az adatbuszon.

A rendszereket csoportosíthatjuk a felhasználói felület (shell) szerint:

- A rendszer rendelkezhet **karakteres kezelőfelülettel**, mint pl.: DOS
- Lehet **grafikus kezelőfelületű (GUI – Graphical User Interface)**. Ilyen rendszer pl.: Windows A grafikus rendszerek egy vizuális jelrendszer segítségével kommunikálnak a felhasználóval. Az adatokat billentyűzettel vagy egérrel esetleg érintőképernyővel vihetik be a felhasználók. Az adatokat a rendszer vizuálisan illetve hangokkal közli a rendszer. Ikonokat, ablakokat, menüsorokat, szövegeket megjelenítve.
- Rendelkezhet egy rendszer **karakteres és grafikus felülettel** egyaránt. Ilyen rendszerek pl.: a Linux rendszerek.

1.5. Hálózatok

A **hálózat** két vagy több egymással összekapcsolt számítógép. Az egymással összekötött számítógépek között **adatforgalom** van. A hálózat legtöbbször egy központi számítógépből és a hozzá kapcsolódó munkaállomásokból áll. A központi számítógépet szervernek nevezzük. A számítógépes hálózatra csatlakoztatott minden számítógépet – a szerverek kivételével - **munkaállomásnak** vagy **kliensnek** nevezünk. A munkaállomás lehet a hagyományos értelemben vett személyi számítógép vagy az úgynevezett terminál, ami önállóan nem tud dolgozni, csak ha kapcsolódik a szerverhez.

1.5.1. Mi kell a hálózathoz?

A hálózathoz szükség van:

- a hálózatot kezelni tudó operációs rendszerre (pl. Novell Netware, Windows NT, Windows Server 2003, UNIX és Linux,
- hálózati kártyára a hálózaton érkező jelek fogadására,
- A hálózati jelek fogadására alkalmas átviteli közegre pl. kábel, rádiófrekvencia, mikrohullám,
- kapcsoló elemekre, amik a jeleket erősítik és a különböző hálózatokat illesztik (HUB, Switch, Router).

1.5.2. Hálózatok méretei

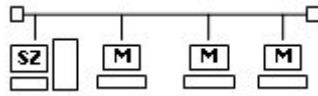
A hálózatokat kiterjedésük (méreteik) alapján a következő csoportokba soroljuk:

- **SZEMÉLYI HÁLÓZAT** - PAN (Personal Area Network)
Személyi hálózatot hozunk létre, ha például összekapcsoljuk mobiltelefonunkat a laptopunkkal. A PAN eszközeit legtöbbször vezeték nélküli megoldásokkal kötjük össze. Pl.: rádióhullámokkal működő bluetooth, vagy az infravörös sugarakat használó IrDA
- **HELYI HÁLÓZAT** - LAN (Local Area Network)
Helyi hálózatokat alakítanak ki, ha a számítógépeket egy intézmény (iroda, iskola, stb.) falain belül, vagy esetleg egymáshoz közeli épületeken belül kötik össze.
- **VÁROSI HÁLÓZATOK** - MAN (Metropolitan Area Network)
A városi hálózatok általában egy település határain belül működnek. Városi hálózat jön létre akkor is, ha összekapcsoljuk az egy városon belül működő iskolákat, de ilyen például a kábeltéves hálózat is.
- **KITERJEDT HÁLÓZATOK** – WAN (Wide Area Network)
A kiterjedt hálózatok egy országra, egy kontinensre, vagy akár az egész világra kiterjedhetnek. Az egyik legismertebb ilyen hálózat az Internet

1.5.3. Hálózati topológia

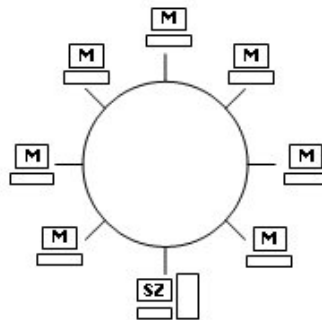
A számítógépek fizikai összekötésének rendszerét **hálózati topológiának** nevezzük. LAN hálózatok kiépítésekor többféle kábelezési mód közül választhatunk. Összetett hálózatok esetén a különböző topológiák kombinálódhatnak.

- **SÍN TOPOLOGIA:** A rendszer a karácsonyfaizzókhoz hasonlóan működik, kábelszakadásakor az egész hálózat működésképtelenné válik. (1.3. ábra)



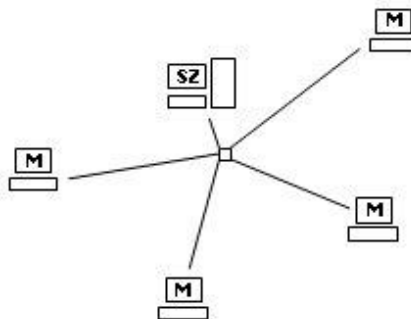
1.3. ábra Sín topológia

- **GYŰRŰ TOPOLOGIA:** A csomópontok zárt láncot alkotnak. Az adatok csak egy irányba mehetnek.(1.4. ábra)



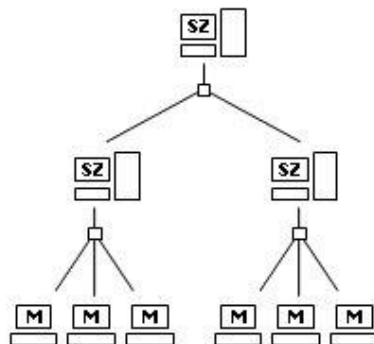
1.4. ábra Gyűrű topológia

- **CSILLAG TOPOLOGIA** Biztosabb, de drágább megoldás. Kábelszakadásnál csak 1 gép áll le (1.5. ábra)



1.5. ábra Csillag topológia

- **FA TOPOLOGIA** Minden számítógép csak egy útvonalon érhető el. A kábelszakadás egy egész alhálózatot tönkretehet. (1.6. ábra)



1.6. ábra Fa topológia

2. Elektronikai áramkörök

2.1. Kétpólusok:

A kétpólus egy olyan tetszőlegesen bonyolult villamos hálózat, amely két villamos csatlakozóponttal rendelkezik. A felépítésében résztvevő áramköri elemek típusától függően megkülönböztetünk aktív, passzív, lineáris és nemlineáris kétpólusokat:

Aktív kétpólus: elektromos energia leadására képes

- Passzív kétpólus: elektromos energiát fogyaszt, egy eredő impedanciával helyettesíthető. Tekercsek, kondenzátorokból, ellenállásokból álló tetszőleges hálózat.
- Lineáris kétpólus: feszültség-áramának viszonya egyenes arányosság szerint változik
- Nemlineáris kétpólus: a feszültség-áram viszonya nem egyenes arányosság szerint változik.

2.1.1. Aktív kétpólusok:

Aktív kétpólus minden olyan villamos hálózat, amely feszültség vagy áramgenerátort tartalmaz. Az aktív kétpólusok helyettesítésére a Thevenin és a Norton tételt használják.

Thevenin-tétel: Bármely aktív kétpólus helyettesíthető egy valóságos feszültséggenerátorral, ahol a generátor feszültsége megegyezik a kétpólus üresjárású kimeneti feszültségével. A generátor R_g ellenállása pedig a két pont között mérhető eredő ellenállással.

Norton-tétel: Bármely aktív kétpólus helyettesíthető egy valóságos áramgenerátorral, ahol a generátor forrásárama megegyezik a kétpólus rövidzársú áramával. A generátor R_g ellenállása pedig a két pont között mérhető eredő ellenállással.

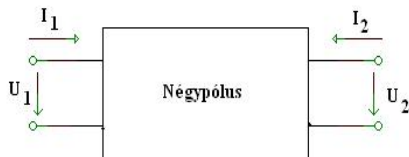
2.2. Négy-pólusok:

Olyan tetszőlegesen bonyolult villamos hálózatok, amelyek négy villamos (egy bemeneti és egy kimeneti kapocspár) csatlakozóponttal rendelkeznek. A négy-pólusok szerkezeti elemeik függvényében lehetnek:

- Aktív négy-pólusok: Legalább egy aktív áramköri elemet tartalmaznak.
- Passzív négy-pólusok: Csak passzív áramköri elemeket tartalmaznak.
- Lineáris négy-pólusok: Minden áramköri elemük lineáris.
- Nemlineáris négy-pólusok: Nemlineáris áramköri elemeket tartalmaznak.
- Szimmetrikus négy-pólusok: Kimenetük és bemenetük minden következmény nélkül felcserélhető.
- Földszimmetrikus négy-pólusok: Bemeneti és ezzel egyidejűleg kimeneti kapcsaik minden következmény nélkül felcserélhetőek.

2.2.1. A négy-pólus karakterisztikus egyenletei

Négy-pólus paraméterei: egy négy-pólus meghatározottnak tekinthető, ha bemeneti és kimeneti feszültsége (U_1 , U_2) és árama (I_1 , I_2) ismert (2.1. ábra). A négy-pólusok paraméterei olyan állandók, amelyek segítségével a kimeneti és a bemeneti jellemzők közötti függvényrendszerek felírhatók. Ezek az egyenletrendszerek a négy-pólus karakterisztikus egyenletei.



A négy-pólus paraméterei olyan állandók, amelyek segítségével a kimeneti és a bemeneti jellemzők közötti függvényrendszerek felírhatók.

2.1. ábra Négy-pólus

Impedancia (Z) paraméterek:

$$U_1 = Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2$$

$$U_2 = Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2$$

Bemeneti impedancia nyitott kimenet esetén.

$$Z_{11} = \frac{U_1}{I_1} \quad I_2 = 0$$

Átviteli (transzfer) impedancia nyitott bemenet esetén.

$$Z_{12} = \frac{U_1}{I_2} \quad I_1 = 0$$

Átviteli (transzfer) impedancia nyitott kimenet esetén.

$$Z_{21} = \frac{U_2}{I_1} \quad I_2 = 0$$

Kimeneti impedancia nyitott bemenet esetén

$$Z_{22} = \frac{U_2}{I_2} \quad I_1 = 0$$

Admittancia (Y) paraméterek

$$I_1 = Y_{11} \cdot U_1 - Y_{12} \cdot U_2$$

$$I_2 = -Y_{21} \cdot U_1 + Y_{22} \cdot U_2$$

Bemeneti admittancia rövidre zárt kimenet esetén

$$Y_{11} = \frac{I_1}{U_1} \quad U_2 = 0$$

Átviteli (transzfer) admittancia rövidre zárt bemenet esetén

$$Y_{12} = \frac{-I_1}{U_2} \quad U_1=0$$

Átviteli (transzfer) admittancia rövidre zárt kimenet esetén

$$Y_{21} = \frac{-I_2}{U_1} \quad U_2=0$$

Kimeneti admittancia rövidre zárt bemenet esetén

$$Y_{22} = \frac{I_2}{U_2} \quad U_1=0$$

Hibrid (H) paraméterek

$$U_1 = H_{11} \cdot I_1 + H_{12} \cdot U_2$$

$$I_2 = -H_{21} \cdot I_1 + H_{22} \cdot U_2$$

Bemeneti impedancia rövidre zárt kimenet esetén

$$H_{11} = \frac{U_1}{I_1} \quad U_2=0$$

Feszültség visszahatás nyitott bemenet esetén

$$H_{11} = \frac{U_1}{I_1} \quad I_1=0$$

Áramerősítési tényező rövidre zárt kimenet esetén

$$H_{21} = \frac{-I_2}{I_1} \quad U_2=0$$

Kimeneti admittancia nyitott bemenet esetén

$$H_{22} = \frac{I_2}{U_2} \quad I_1=0$$

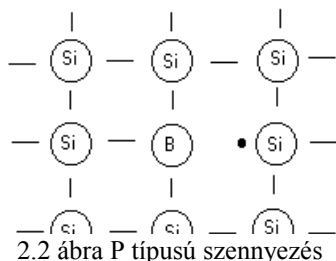
2.3. Félvezető áramköri elemek

2.3.1. PN átmenet

A félvezető anyagok közül leginkább a **szilíciumot** (Si), valamint a **germániumot** (Ge) használják. A félvezető anyagok jellegzetessége, hogy **önvezetésük** van, azaz a rácsos szerkezetű félvezető anyagban az atomok között állandóan vándorolnak az elektronok. Az anyag megmarad elektromosan semlegesnek (minthogy a pozitív és negatív részecskék száma megegyezik). A félvezető anyagokat önmagukban nem használják, hanem *szennyezik* őket valamilyen más vegyértékű anyaggal

P-típusú szennyezés:

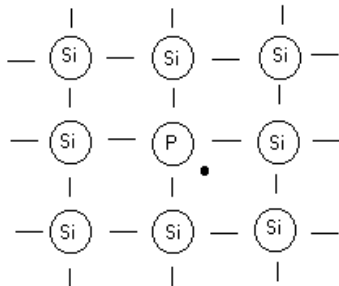
A szerkezeti félvezető anyagok vezetőképességének növelése három vegyértékű szennyező atomokkal történik 2.2 ábra (bór, alumínium, indium, gallium).



A három vegyértékű szennyező atomok a lyukak létrehozásával elektronokat vesznek fel, ezért **akceptor** vagy **P-típusú szennyezőanyagoknak** nevezzük őket. A félvezetőt **P-szennyezetttségűnek** nevezzük. A P-típusú félvezetők esetében a lyukak a többségi, az elektronok kisebbségi töltéshordozók.

N-típusú szennyezés:

A 4 vegyértékű Si kristályhoz 5 vegyértékű atomokat (foszfor, antimon, arzén, bizmut) adnak (2.3 ábra).

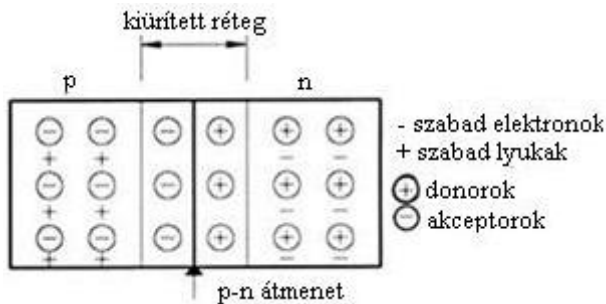


Az öt-vegyértékű szennyező atomok mindegyike tehát egy szabad elektront hoz létre a kristályban anélkül, hogy egyúttal lyuk is keletkezne, mivel hiányos kötés nem marad vissza. Az öt-vegyértékű foszfor atomot mivel elektront ad le **donor atomnak**, magát a szennyezést **donorszennyezésnek** is nevezzük. Az elektronokat ebben az esetben **többségi töltéshordozónak**, a lyukakat pedig **kisbbségi töltéshordozóknak** nevezzük.

2.3 ábra N típusú szennyezés

PN-átmenet működése

PN átmenet egy N-típusú és egy P-típusú félvezető találkozásánál jön létre (2.4 ábra). A két réteg találkozásánál a töltéshordozók koncentrációkülönbsége diffúziós áramlást hoz létre. Az N rétegből elektronok, a P rétegből lyukak diffundálnak át a PN átmeneten keresztül az ellentétes rétegbe, ahol rekombináció megy végbe.



2.4. ábra PN átmenet

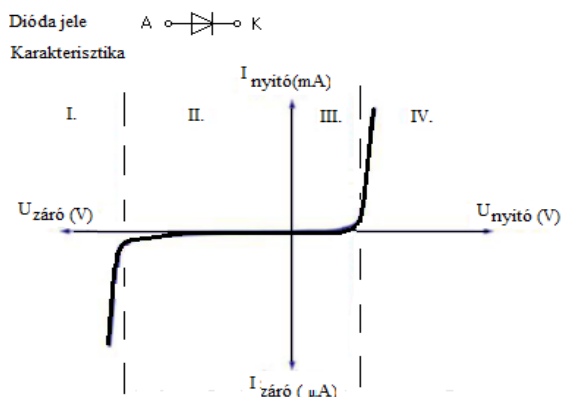
A PN átmenet környezetében a félvezető kristály töltéshordozókban elszegényedik és egy **tértöltésű tartomány** keletkezik, amelyet helyhez kötött donor-, illetve akceptor ionok alkotnak. Megszűnnek a szabad töltéshordozók, s a PN átmenet két oldalán létrejön a kiürített réteg.

Ha a P és N rétegre feszültséget kapcsolunk, a polaritásnak megfelelően a tértöltési tartomány elvékonyodik vagy megvastagodik. A PN-átmenet ezen tulajdonságát használjuk ki a félvezető eszközöknél, minthogy a tértöltési tartomány nem vezet (de ha elvékonyodik, akkor már nem gátolja a vezetést).

2.3.2. FÉLVEZETŐ DIÓDÁK

A dióda a legegyszerűbb félvezető eszköz, amely egy fém-, üveg- vagy műanyagtokba zárt kivezetésekkel ellátott PN-átmenetet tartalmaz. A dióda két kivezetésének elnevezése **anód** és **katód**. Az anód a P-rétegre van kapcsolva, a katód pedig az N-re.

A dióda teljes karakterisztikája és jelölése az 2.5 ábrán látható.



A karakterisztikán 4 különböző tartományt különböztetünk meg:

- I. Letörési tartomány
- II. Zárási tartomány
- III. Nyitóirányú tartomány, exponenciális szakasza
- IV. Nyitóirányú tartomány, lineáris szakasza

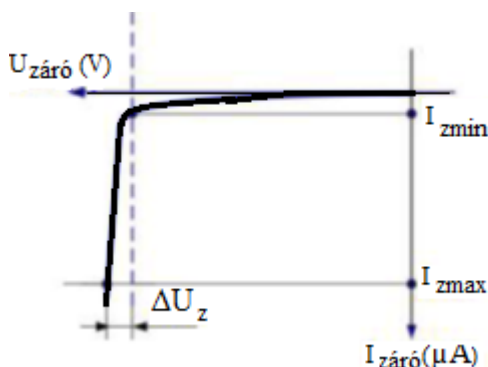
2.5. ábra Dióda

karakterisztikája¹

Zener-dióda

A Zener dióda egy olyan különlegesen szennyezett Si dióda ami veszély nélkül üzemeltethető a letörési tartományban. A gyakorlatban feszültségstabilizálásra és feszültséghatárolásra használják.

A Zener dióda karakterisztikája és rajzjele az 2.6 ábrán látható



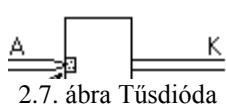
2.6 ábra Zener karakterisztika

A nyitóirányú működés megegyezik a normál Si diódákéval.

A letörési tartományban a dióda záróirányú feszültsége közelítőleg állandó értékű. A Zenerdióda félvezető rétegeinek szennyezése erősebb, mint más diódák esetében, mivel a letörési feszültség szintet csökkenteni kell. A letörési tartományban tapasztalható kis ellenállású állapot a **Zener-hatás** és **lavinahatás** együttes következménye.

Tüsdíóda

A tüsdíóda egy N-típusú és egy belediffundált nagyon kicsi P-típusú félvezetőből áll, melyre egy tű van hegesztve (2.7 ábra).



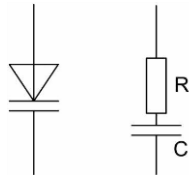
Jellemzője, hogy alkalmas nagyfrekvenciás működésre is, bár nagy az ellenállása. Speciális változata az aranytűs dióda, melyben ez ki van küszöbölve. Mindkettőt főleg a híradástechnikában,

¹ Forrás: Mészáros Miklós: Félvezető eszközök, áramköri elemek I.

magasfrekvenciás detektorokban és egyéb hasonló területeken alkalmazzák.

Kapacitásdióda

A **Kapacitásdióda** (varikap dióda) különleges felépítésű Si-dióda, amely feszültséggel szabályozható kapacitásként használható. A **Kapacitásdiódát elsősorban** rezgőkörök feszültségvezérelt hangolására és frekvencia-modulációt megvalósító áramkörökben használják. A kapacitásdióda szabványos jelölése és helyettesítő képe az 2.8 ábrán látható.



2.8. ábra
Kapacitásdióda

Működése azon alapszik, hogy a PN átmenet két oldalán található különböző előjelű töltéshordozók páronként elemi kapacitásokat képeznek, ami a diódával párhuzamosan kapcsolt kondenzátorként viselkedik. Ezeknek az elemi kondenzátoroknak a párhuzamos kapcsolásából alakul ki az átmenet eredő kapacitása, melyet C_s **záróréteg-kapacitásnak** nevezünk. A záróréteg kapacitás értéke típustól függően: 1-300 pF.

Schottky-dióda

A Schottky-dióda: fém-félvezető közötti PN átmenettel rendelkező dióda. A fém-félvezető átmenet diódaként viselkedik. A Schottky-dióda jelölése az 2.9 ábrán látható.



A Schottky-dióda nyitófeszültsége kisebb, mint a Si diódáé (0,2-0,4V). A fém-félvezető kapacitása igen kicsi, ezért a dióda nagyfrekvencián is jól használható.

A műszaki gyakorlatban igen nagy frekvenciákig (GHz), digitális integrált áramkörökben alkalmazzák a működés gyorsítására.

2.9 ábra Schottky dióda

Alagútdiódák

Alagútdióda (Esaki-dióda): erősen szennyezett P⁺⁺ N⁺⁺ rétegekből felépített dióda, amely különleges, alagút formájú karakterisztikával rendelkezik. Nyitóirányú karakterisztikáján egy negatív jellegű görbe tartomány is található. Az elektronikai gyakorlat az ezen a szakaszon fellépő negatív differenciális ellenállást elsősorban rezgőkörök csillapításának csökkentésére, megszüntetésére alkalmazza.

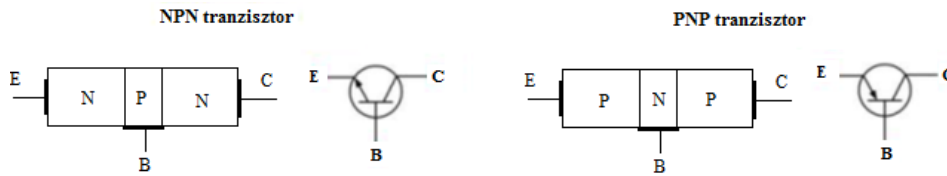
Ezt a diódátípust is főleg nagyfrekvencián (GHz) alkalmazzák.

2.3.3. TRANZISZTOROK

Bipoláris tranzisztorok

A bipoláris tranzisztor elektromos jelek erősítésére kifejlesztett, 2 db PN átmenettel rendelkező aktív áramköri elem. A bipoláris kifejezés arra utal, hogy működésében mindkét töltéshordozó fajta (elektron, lyuk) részt vesz. A bipoláris tranzisztor kialakításakor a félvezető kristályt három rétegben, a szennyezés sorrendjétől függően NPN, vagy PNP típusúra adalékolják. Az egyes rétegek elnevezése a feladatukból következően E – emitter, B – bázis, C – kollektor.

A bipoláris tranzisztor felépítése és szabványos rajzjele (2.10. ábra):



2.10. ábra Bipoláris tranzisztor

A bipoláris tranzisztor áramai és feszültségei közötti összefüggések:

$$I_E = I_B + I_C \text{ egyenáram esetén} \quad i_E = i_B + i_C \text{ váltakozó áram esetén}$$

Árameloszlási tényező

$$A = \frac{I_C}{I_E} \text{ egyenáram esetén} \quad \alpha = \frac{i_C}{i_E} \text{ váltakozó áram esetén}$$

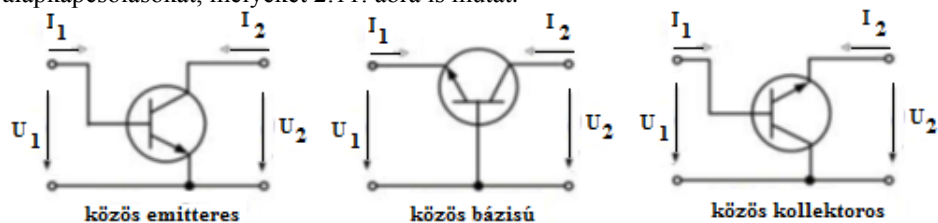
$$I_C = A \cdot I_E \quad I_B = (1-A) \cdot I_E \text{ egyenáram esetén}$$

$$i_C = \alpha \cdot i_E \quad i_B = (1-\alpha) \cdot i_E \text{ váltakozó áram esetén}$$

$$U_{CE} = U_{CB} + U_{BE}$$

Alapkapcsolások, karakterisztikák

A bipoláris tranzisztorok legfontosabb alkalmazási területe kis feszültségű jelek alakító erősítése. Ilyenkor az erősítő tulajdonságait célszerű négyfólyásá alakítva vizsgálni. Attól függően, hogy melyik kivezetését tekintjük közösnek a be- és kimenet szempontjából megkülönböztetünk közös emitteres, közös bázisú és közös kollektoros alapkapcsolásokat, melyeket 2.11. ábra is mutat.



2.11. ábra Tranzisztor alapkapcsolások²

Unipoláris tranzisztorok

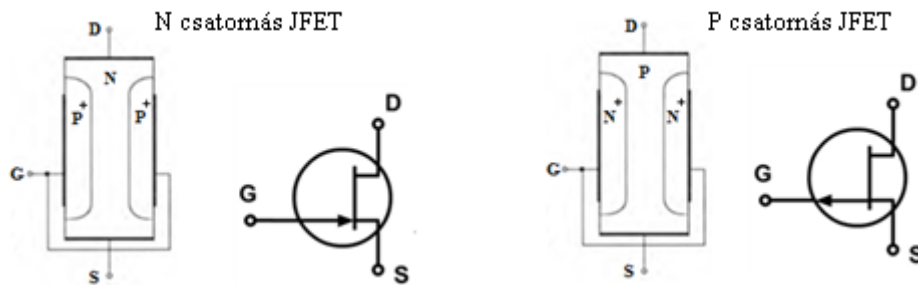
Az unipoláris tranzisztorok térvezérlésű tranzisztorok. A Field Effect Tranzistor (FET) kimeneti áramának nagyságát a bemeneti térrel létrehozott villamos tér határozza meg. Felépítésük alapján két típust különböztetünk meg a záróréteges térvezérlésű (JFET) és a szigetelt vezérlőelektródás térvezérlésű (MOSFET) tranzisztort.

Záróréteges térvezérlésű tranzisztor (JFET)

A Záróréteges térvezérlésű tranzisztor (JFET) a szerkezetét egy nagyon vékony, gyengén szennyezett réteg (csatorna) alkotja, amely két erősen szennyezett, a csatornával ellentétes szennyezésű réteg között helyezkedik el. N és P csatornás változatban készítik. A csatorna

² Forrás: Kovács Csongor: Elektronikus áramkörök

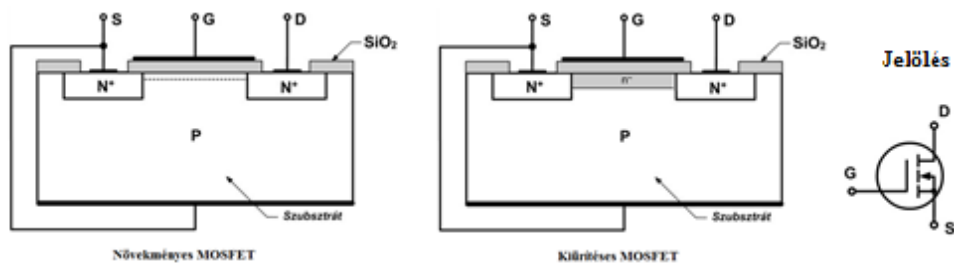
két végére fémezéssel kapcsolt **elektródák a D drain és a S source. A vezérlőelektróda a G gate.** A JFET felépítése és jelölése látható a 2.12. ábrán



2.12. ábra N és P csatornás JFET³

A G elektróda és a csatorna közötti PN átmenetet záróirányban feszítjük elő. **A záróréteg szélessége az U_{GS} feszültség segítségével vezérelhető.** A szükséges vezérlőtéljesítmény minimális értékű, mivel a kisebbségi töltéshordozók mozgásának eredményeképpen egy elhanyagolható nagyságú záróirányú áram folyik. Az U_{GS} feszültségnek a vezérelhetőség biztosítása miatt N csatornás JFET esetén negatívnak, míg P csatornás eszköz esetén pozitívnak kell lennie. Az U_{DS} feszültség N csatornás JFET esetén pozitív, P csatornás esetén negatív.

MOSFET (Metal Oxide Semiconductor) szigetelt vezérlőelektródás térvezérlésű tranzisztor. Két alaptípusa van a növekményes és a kiürítéses MOSFET. Felépítése és jelölése N csatornás változatra látható a 2.13. ábrán



2.13. ábra N csatornás MOSFET⁴

Növekményes (önzáró) típusú MOSFET: Ha a gate elektróda szabadon van, bármilyen polaritású feszültséget kapcsolunk a drain és a source közé, a tranzisztor zárva marad, azaz nem fog áram folyni a két kivezetés között. A gate-elektrodára pozitív feszültséget kapcsolva a source-hoz képest a szubsztrátban elektromos tér keletkezik. A külső elektromos tér hatására a szubsztrátban található elektronok közvetlenül a SiO₂ szigetelőréteghez vándorolnak, és az S és D elektróda között egy N-típusú vezetősatort alkotnak. Az I_D drain áram megindul. **A csatorna vezetőképessége az U_{GS} feszültséggel szabályozható.**

³ Forrás: Mészáros Miklós: Félvezető eszközök áramköri elemek II.

⁴ Forrás: Mészáros Miklós: Félvezető eszközök áramköri elemek II.

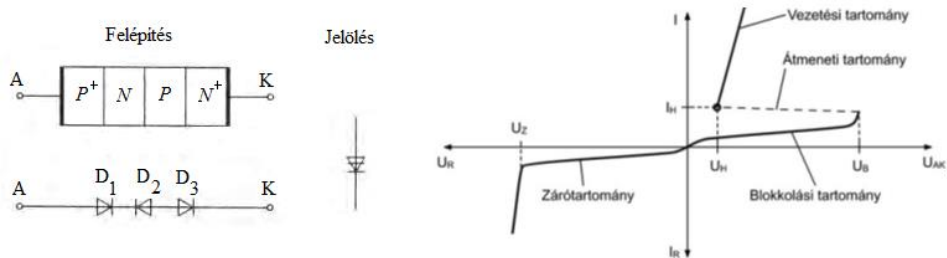
Kiürítéses (Önvezető) MOSFET

A szigetelőréteg alatti szubsztrátban kialakítanak gyenge ellenértés szennyezésű csatornát. Így anélkül is vezetőképessé válik az S és D között, hogy a gate-elektrodára feszültséget kapcsolnánk. Az ilyen felépítésű tranzisztort önvezető MOSFET-nek nevezik. A működés elvek érvényesek a P csatornás típusra is, ha megfordítjuk az alkalmazott feszültségek polaritását.

2.3.4. Egyéb félvezető eszközök

Négyrétegű dióda: Szilícium alapú eszköz, amely négy egymás után kapcsolódó PNPN félvezető rétegből áll. Két stabil üzemi állapota van egy **nagy-** és egy **kis ellenállású állapot**, amelyek között az átkapcsolás az U_{AK} feszültség értékével szabályozható. A nyitóirányú feszültséget növelve U_B billenési feszültségen bekövetkezik a középső PN átmenet Zener letörése és a dióda kis ellenállású (vezetési) állapotba megy át. A dióda feszültsége vagy árama az U_H kritikus feszültség vagy I_H kritikus áram értéke alá csökken a dióda ismét nagy ellenállású állapotba kerül. A négyrétegű diódákat kis teljesítményekre készítik, nagyobb teljesítményeknél tirisztorokat alkalmaznak. Impulzustechnikai áramkörökben kapcsolóelemként alkalmazzák, általában tirisztorok vezérlésére.

Az eszköz, felépítése, jelképi jelölése és karakterisztikája a 2.14. ábrán látható.



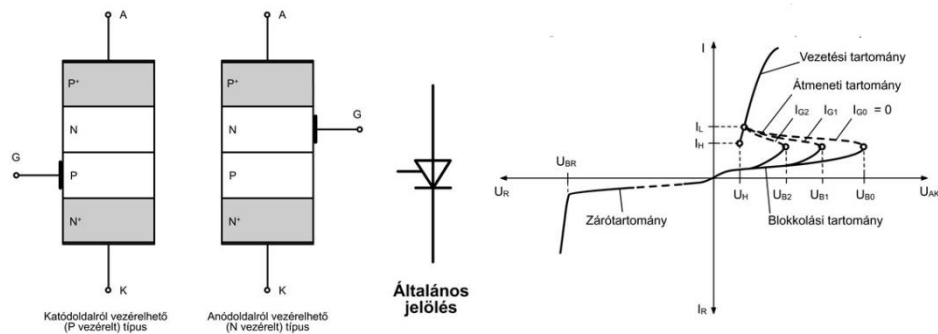
2.14. ábra Négyrétegű dióda⁵

Tirisztor: Felépítése megegyezik a négyrétegű dióda felépítésével, azzal a különbséggel, hogy egy további kivezetéssel, vezérlőelektrodával rendelkezik. Két stabil üzemi állapota van egy **nagy-** és egy **kis ellenállású állapot**, amelyek között az átkapcsolás a vezérlőelektrodán keresztül valósítható meg.

A vezérlőelektroda csatlakozási pontjától függően megkülönböztetünk, **P vezérelt vagy katódvezérlésű** tirisztorokat, és **N vezérelt vagy anódvezérlésű** tirisztorokat.

A tirisztor felépítése, jelölése és karakterisztikája látható a 2.15. ábrán.

⁵ Forrás: Kovács Csongor: Elektronikus áramkörök



2.15. ábra Tirisztor⁶

A tirisztor nagy ellenállású állapotban van mindaddig, amíg az anód-katód feszültsége túl nem lépi az U_{B0} billenési feszültséget és anódárama el nem éri az I_L reteszelési áramértéket. A billenési feszültség a vezérlőelektróda feszültségével csökkenthető. Bekapcsolás után a tirisztor bekapcsolt állapotban marad függetlenül a kapuelektróda potenciáljától. A vezetés megszűnik, ha az anódáram az I_H kritikus áram értékére alá csökken. A tirisztorokat leggyakrabban váltakozó áramú körökben teljesítményszabályozási feladatokra használják, mint pl. motor fordulatszám szabályozás, fényerő-szabályozás.

TRIAC: Szerkezeti felépítése megegyezik két antiparalell kapcsolású tirisztor egy kristályban való elhelyezésével. Segítségével a váltakozó áram mindkét félperiódusában vezérelni tudják az átfolyó áramot, így teljes hullámú AC szabályozást valósíthatnak meg. Alkalmazása kis teljesítményű izzólámpa, elektromos fűtés vagy az egyfázisú váltakozó áramú motorok szabályozása.

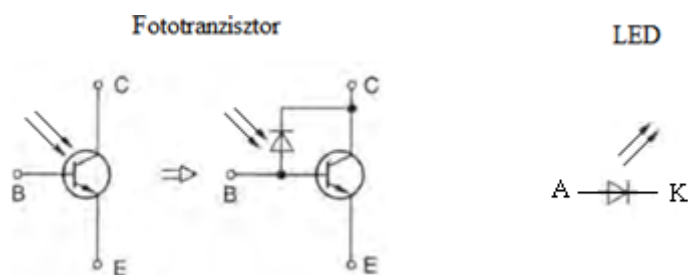
2.3.5. Optoelektronikai eszközök

Fotoellenállás: Egy zárórétg nélküli passzív félvezető elem, amely fénysugárzás hatására változtatja az ellenállását. A fotoellenállás ellenállása a megvilágítás erősségének függvénye, és igen széles határok között változik. Állandó fényerősség esetén a fotoellenállás ellenállásának értéke a fotoellenállás alapanyagától és szennyezettségének mértékétől, a megvilágított felület nagyságától, a vezető pálya alakjától függ. Alkalmazása lassú változást igénylő szabályozás- és vezérléstechnikai feladatok ellátására. Pl.: fénysorompók, közvilágítás-kapcsolók, megvilágítási erősség mérőkben és vészjelzőkben.

Fotodiódák: Különleges felépítésű félvezető diódák, amelyek PN-átmenete fénysugárzással megvilágítható. A fotodiódákat leggyakrabban záróirányban működtetik. Záróirányban polarizálva, a megvilágítás hatására záróirányú áramuk megnő. A zárási áram növekedése egyenesen arányos a megvilágítás erősségével. A fotodióda záró árama a megvilágítás erősségével arányosan növekszik, ezért különösen jól alkalmazhatók fénymérésre. Sok helyen alkalmazzák még a szabályozás- és vezérléstechnikában.

⁶ Forrás: Kovács Csongor: Elektronikus áramkörök

Fototranzisztorok: Megvilágítható bázis-kollektor átmenettel rendelkező speciális szilíciumtranszisztorok. A záróirányban előfeszített PN-átmenet megfelelő megvilágítása esetén, a fellépő elektromos hatás révén a fototranzisztor B egyenáramú áramerősítési tényezőjének megfelelően megnövelt fotoáramot állít elő. Alkalmazási területei megegyeznek a fotodiódákéval, azonban nagyobb érzékenységet, de alacsonyabb határfrekvenciát biztosítanak. A fototranzisztor jele és helyettesítő képe a 2.16. ábrán látható.



2.16. ábra Fototranzisztor és LED

Fénykibocsátó dióda (LED): Speciális felépítésű diódák, amelyek az elektromos energiát fényenergiává alakítják. Ezeknek a diódáknak az alapanyaga vegyület típusú félvezető. A kis hatásfok ellenére számos előnyös tulajdonsággal rendelkeznek: hasznos kimeneti fényelőállításához **alacsony áramot és feszültséget igényelnek; majdnem késedelem nélkül reagálnak a vezérlő jelre;** nagyon kicsi helyen elférnek, ütésállóak és élettartamuk nagyon nagy. Elsődlegesen jelző és kijelző-elemként kerülnek felhasználásra különböző műszer-előlapokon, hétszegnemes és alfanumerikus kijelzőkben. A LED dióda jelölése a 2.16. ábrán látható

2.4. Analóg alapáramkörök

2.4.1. Erősítő alapáramkörök

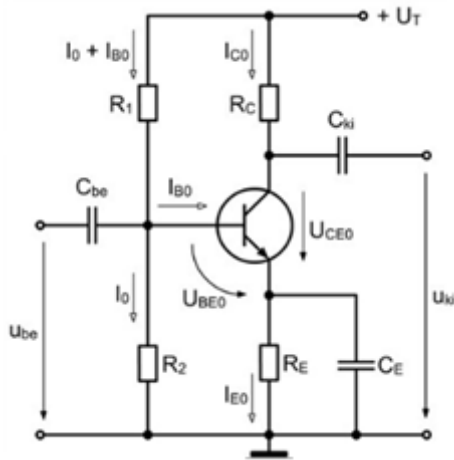
Az erősítő alapkötésekben erősítőelemként bipoláris vagy térvezérelésű tranzisztorokat alkalmaznak. A tranzisztorok dinamikus működése mindig egy adott pont környezetében valósul meg. Ezt a pontot nevezzük munkapontnak.

Az erősítő alapkötésekben alapkötelmény, hogy a kimeneti feszültség arányos legyen a bemeneti feszültséggel. Ehhez az szükséges, hogy a tranzisztor lineáris elemként viselkedjen, amihez először a köpötés munkapontját kell helyesen megválasztani majd a munkapont környezetében kisjelű vezérlést kell alkalmazni.

Közös emitteres alapkötés

A köpötés munkapontját bázisellenállással vagy bázisosztó alkalmazásával állíthatjuk be. A bemenet a bázis-emitter, a kimenet a kollektor-emitter, a közös elektróda az emitter. A munkapont-beállítását a bázisosztó alkalmazásán keresztül mutatjuk be.

Munkapont-beállítás bázisosztóval (2.17. ábra):



2.17. ábra Munkapont-beállítás bázisosztóval

A kapcsolást felépítő elemek, és azok szerepe:

- R_1, R_2 munkapont-beállító
- R_E munkapont-beállító és munkapont-stabilizáló
- R_C munkapont-beállító, és munkaellenállás
- C_{be}, C_{ki} egyenfeszültség-leválasztó, valamint váltakozó feszültség csatoló
- C_E , emitter kondenzátor az R_E ellenállást váltakozó áramú szempontból rövidre zárja
- U_T feszültség a kapcsolás tápfeszültsége

7

A bemeneti báziskörre felírható összefüggések:

$$U_T = (I_0 + I_{B0}) \cdot R_1 + I_0 \cdot R_2$$

$$U_{B0} = U_{R2} = I_{E0} \cdot R_E + U_{BE0}$$

A munkapont-beállító elemek méretezésénél alkalmazhatjuk azt a gyakorlatban szokásos feltételt, hogy a bázisosztó I_0 árama az I_{B0} bázisáram legalább tízszerese legyen. $I_0 \geq 10 \cdot I_{B0}$

A kimeneti kollektorkörre felírható egyenlet:

$$U_T = I_{C0} \cdot R_C + U_{CE0} + I_{E0} \cdot R_E$$

A munkapont számításnál alkalmazható az $I_{C0} \approx I_{E0}$ közelítés

A bipoláris tranzisztorok helyettesítő képe:

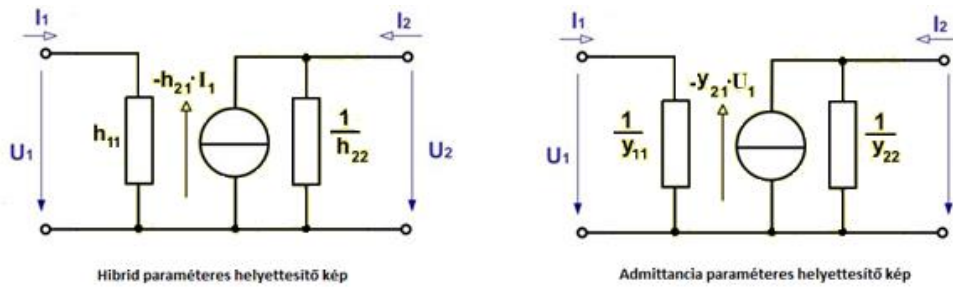
Lineáris erősítőkapcsolásokban a tranzisztor aktív, lineáris négyfólusnak tekinthető.

A tranzisztorok paraméterrendszerét az alapján kell kiválasztani, hogy a milyen mérés-technikai módszerrel lehet az eszközt megvizsgálni, és a működést milyen feltételekhez köthetjük:

- Kisfrekvencián a bemeneti üresjárás, és a kimeneti rövidzár valósítható meg a legkönnyebben, ezért a hibrid paraméterrendszerrel jellemezhető.
- Nagyfrekvencián a rövidzár könnyebben megvalósítható, ezért az admittancia paraméterekkel jellemezhető (2.18. ábra).

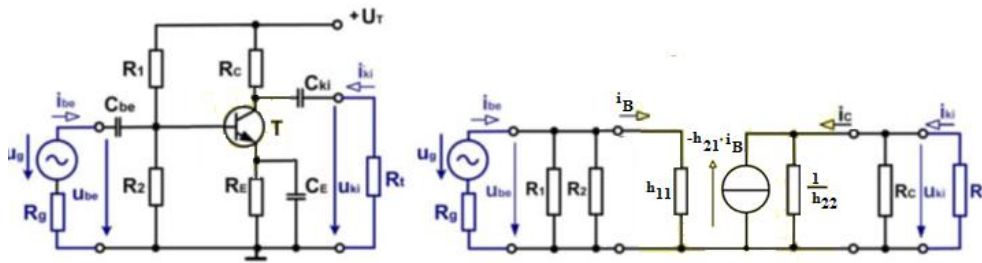
A helyettesítő képek ismeretében az erősítő váltakozó áramú jellemzői meghatározhatók

⁷ Forrás: Kovács Csongor: Elektronikus áramkörök



2.18. ábra Tranzisztor H és Y paraméteres helyettesítő képe

Az erősítő jellemzők meghatározását a leggyakrabban használt közös emitteres kapcsoláson vizsgáljuk (2.19. ábra). A kondenzátorok rövidzárnak tekinthetők.



2.19. ábra Váltakozó feszültségű tranzisztoros erősítő helyettesítő képe⁸

Bemeneti ellenállás: az az ellenállás, amely az erősítő bemenetét lezárja, ha a meghajtó generátort nem vesszük figyelembe

$$R_{be} = \frac{U_{be}}{I_{be}} = R_1 \times R_2 \times h_{11}$$

Kimeneti ellenállás: az az ellenállás, amely az erősítő kimenetét lezárja, amikor a terhelő ellenállás nem terheli a kimenetet

$$R_{ki} = \frac{U_{ki(u)}}{I_{(r)}} = \frac{1}{h_{22}} \times R_C \quad \text{mivel } R_C \ll \frac{1}{h_{22}}, \text{ ezért } R_{ki} = R_C$$

A feszültségerősítés a kimeneti feszültség és a bemeneti feszültség hányadosa:

$$\text{A kimeneti feszültség: } u_{ki} = -h_{21} \cdot i_B \cdot \left(\frac{1}{h_{22}} \times R_C \times R_t \right)$$

$$\text{A bemeneti feszültség } u_{be} = i_B \cdot h_{11}$$

$$A_U = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{-h_{21} \cdot i_B \cdot \left(\frac{1}{h_{22}} \times R_C \times R_t \right)}{i_B \cdot h_{11}} = -\frac{h_{21}}{h_{11}} \cdot \left(\frac{1}{h_{22}} \times R_C \times R_t \right)$$

Áramerősítés: a kimeneti áram és a bemeneti áram hányadosa:

⁸ Forrás: Kovács Csongor: Elektronikus áramkörök

A kimeneti áram: $i_{ki} = -\frac{U_{ki}}{R_t}$ A bemeneti áram: $i_{be} = \frac{U_{be}}{R_{be}}$

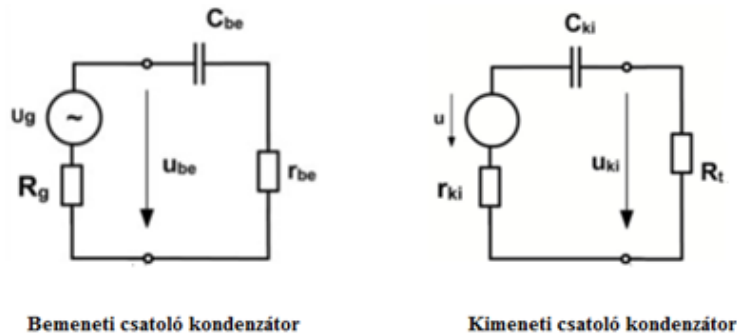
$A_i = \frac{i_{ki}}{i_{be}} = -A_{us} \cdot \frac{r_{be}}{R_t}$

Teljesítményerősítés: a feszültségerősítés és áramerősítés abszolút értékének szorzata:

$A_p = |A_u| \cdot |A_i|$

Frekvenciafüggés:

A váltakozó áramú helyettesítő kapcsolásban a csatoló kondenzátorokat közepes frekvencián, váltakozó áramú szempontból rövidzárnak tekintjük. Alacsonyabb frekvenciákon ezek a kondenzátorok szintcsökkenést okoznak, mivel frekvenciafüggő feszültségosztót alkotnak az őket terhelő ellenállással (2.20. ábra). A szintcsökkenés általában nem lehet nagyobb, mint 3 dB.



2.20. ábra Bemeneti- és kimeneti csatoló kondenzátor⁹

A bemeneti és a kimeneti csatoló kondenzátor méretezése adott alsó határfrekvencia esetén:

$C_{be} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{ah} \cdot (r_{be} + R_g)}$ $C_{ki} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{ah} \cdot (r_{ki} + R_t)}$

Az emitter kondenzátor alacsony frekvencián már szakadás. Kisfrekvenciás erősítéscsökkenést okoz, de megnöveli a kapcsolat bemeneti ellenállását is. Méretezésnél az a cél, hogy az erősítő alsó határfrekvenciáján is közelítően zárja rövidre az emitter ellenállást. Ez akkor teljesül, ha az alsó határfrekvencián $10 \cdot X_C \geq R_E$

Ekkor $C_E = \frac{10}{2 \cdot \pi \cdot f_{ah} \cdot R_E}$

2.4.2. A térvezérlésű tranzisztorok munkapont beállítása

A térvezérlésű tranzisztorok leggyakoribb felhasználási területe a digitális technika. Itt azonban a FET-ek elsősorban integrált áramkörökben található meg, amelyekben a munkapont beállítása gyárilag történik meg.

⁹ Forrás: Kovács Csongor: Elektronikus áramkörök

A térvezérlésű tranzisztorokat diszkrét áramkörti elemként általában kisjelű tartományban, nagyfrekvenciás erősítőkben használják, mivel a határfrekvenciájuk nagy és a kapacitásai kis értékűek.

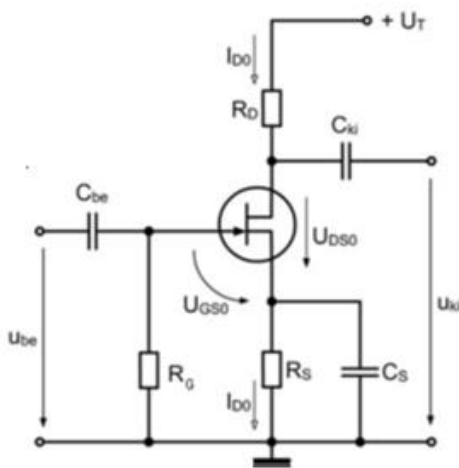
A térvezérlésű tranzisztorokkal kivitelezett erősítőkapcsolások nagy előnye a nagy bemeneti ellenállás, ami gyakorlatilag teljesítményvezérlést tesz lehetővé. A térvezérlésű tranzisztorok tápfeszültségének és ellenállásainak olyan értékűeknek kell lenniük, hogy a munkapontot a megfelelő módon beállítsák.

Három alkapcsolást különböztetünk meg az alapján, hogy a bemenet és a kimenet szempontjából melyik a közös elektróda. Ez alapján a kapcsolások elnevezése:

- Source-kapcsolás
- Drain-kapcsolás
- Gate-kapcsolás

A munkapont beállítást és az erősítőjellelmezők számítási módját a Source-kapcsolás esetén vizsgáljuk.

Munkapont beállítás Source-kapcsolás esetén (2.21. ábra)



2.21. ábra FET munkapont beállítása

A kapcsolást felépítő elemek, és azok szerepe:

- R_G , munkapont-beállító ellenállás
- R_S munkapont-beállító és munkapont-stabilizáló ellenállás
- R_D munkapont-beállító, és munkaellenállás
- C_{be} , C_{ki} egyenfeszültség leválasztó, valamint váltakozó feszültség csatoló
- C_S , Source kondenzátor az R_S ellenállást váltakozó áramú szempontból rövidre zárja
- U_T tápfeszültség

10

A kapcsolás R_G ellenállásán nem folyik áram, mert a FET működési elvéből következően $I_G \approx 0$. Az R_G ellenálláson ezért nem esik feszültség $U_G \approx 0$.

Az I_{D0} munkaponti áram az R_S ellenálláson $U_{RS} = I_{D0} \cdot R_S$ nagyságú feszültséget hoz létre.

$$U_G = U_{RG} = I_{D0} \cdot R_S + U_{GS0}$$

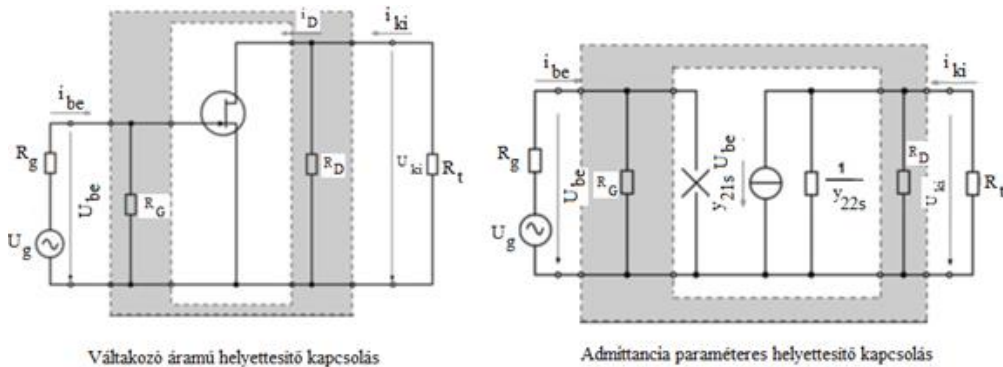
Mivel $U_G = 0V$, ezért $U_{GS0} = I_{D0} \cdot R_S$, így $R_S = \frac{|U_{GS0}|}{I_{D0}}$

Az R_G ellenállás nem méretezhető, megválasztásánál elsődleges szempont, hogy ne rontsa a FET nagy bemeneti ellenállását. Szokásos értéke $R_G = 1M\Omega$

¹⁰ Forrás: Kovács Csongor: Elektronikus áramkörök

A kapcsolás váltakozó áramú működése és jellemzői:

Feltételezve, hogy az u_{be} bemeneti feszültség pozitív irányban nő, ez a változás csökkenti az U_{GS} záróirányú feszültséget, és az I_D csatornaáram növekszik. A csatornaáram növekedése előidézi az R_D ellenálláson eső feszültség növekedését, amely ugyanakkor az U_{DS} feszültség csökkenését eredményezi. Ezt a változást a C_{ki} csatolókapacitás a kimenetre közvetíti, és így a kimeneti feszültség csökken. *Mivel az u_{ki} feszültség változása ellentétes irányú az u_{be} feszültség változásával, a source-kapcsolás **fázist fordít**.* A váltakozó áramú jellemzők meghatározásához a bipoláris tranzisztorhoz hasonlóan a FET-es erősítőt négyfókus paraméterekkel helyettesítjük (2.22. ábra.)



2.22. ábra FET-es erősítő helyettesítő kapcsolása ¹¹

Bemeneti ellenállás: az az ellenállás, amely az erősítő bemenetét lezárja, ha a meghajtó generátort nem vesszük figyelembe. $r_{bes} = R_G$

Kimeneti ellenállás: az az ellenállás, amely az erősítő kimenetét lezárja, amikor a terhelő ellenállás nem terheli a kimenetet.

Feszültségerősítés a kimeneti feszültség és a bemeneti feszültség hányadosa:

A kimeneti feszültség: $u_{ki} = -y_{21s} \cdot u_{be} \cdot \left(\frac{1}{y_{22s}} \times R_D \times R_t\right)$

A bemeneti feszültség u_{be}

$$A_{U(S)} = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{-y_{21s} \cdot U_{be} \cdot \left(\frac{1}{y_{22s}} \times R_D \times R_t\right)}{U_{be}} = -y_{21s} \cdot \left(\frac{1}{y_{22s}} \times R_D \times R_t\right)$$

Áramerősítés: a kimeneti áram és a bemeneti áram hányadosa:

A kimeneti áram: $i_{ki} = -\frac{U_{ki}}{R_t}$ A bemeneti áram: $i_{be} = \frac{U_{be}}{R_{be}}$

$$A_{i(S)} = \frac{i_{ki}}{i_{be}} = -A_{us} \cdot \frac{r_{be}}{R_t}$$

¹¹ Forrás: Kovács Csongor: Elektronikus áramkörök

Teljesítményerősítés: a feszültségerősítés és áramerősítés abszolút értékének szorzata:
 $A_p = |A_u| \cdot |A_i|$

Frekvenciafüggés:

A váltakozó áramú helyettesítő kapcsolásban a csatoló kondenzátorokat közepes frekvencián, váltakozó áramú szempontból rövidzárnak tekintjük. *Alacsonyabb frekvenciákon ezek a kondenzátorok szintcsökkenést okoznak, mivel frekvenciafüggő feszültségosztót alkotnak az őket terhelő ellenállással. A szintcsökkenés általában nem lehet nagyobb, mint 3 dB.*

A bemeneti és a kimeneti csatoló kondenzátor méretezése adott alsó határfrekvencia esetén (2.20. ábra):

$$C_{be} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{ah} \cdot (r_{be} + R_g)} \qquad C_{ki} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{ah} \cdot (r_{ki} + R_t)}$$

Source-kondenzátor: Méretezésnél az a cél, hogy az erősítő alsó határfrekvenciáján is közelítően zárja rövidre az emitter ellenállást. Ez akkor teljesül, ha az alsó határfrekvencián $10 \cdot X_C \geq R_s$

Ekkor
$$C_S = \frac{10}{2 \cdot \pi \cdot f_{ah} \cdot R_S}$$

2.5. Többfokozatú erősítők:

A gyakorlati alkalmazások esetén gyakran előfordul, hogy egyetlen erősítőfokozat erősítése nem elegendő. Ilyenkor a szükséges erősítés többfokozatú erősítő segítségével biztosítható. Többfokozatú erősítőt alkalmaznak akkor is, ha az erősítés megfelelő, de a bemeneti vagy a kimeneti ellenállás nem megfelelő. Ilyenkor a szükséges jellemzők biztosítása, csak több megfelelő típusú erősítőfokozat láncba kapcsolásával valósítható meg. A fokozatok egymás után kapcsolt négy-pólusoknak tekinthetők. A láncba kapcsolt erősítők eredő erősítése a fokozatok erősítéseinek szorzata:

$$A_{ue} = A_{u1} \cdot A_{u2} \cdot A_{u3} \cdot \dots$$

Ha az erősítés dB-ben van megadva, akkor:

$$A_{ue}(dB) = A_{u1}(dB) + A_{u2}(dB) + A_{u3}(dB) \dots$$

A többfokozatú erősítő bemeneti ellenállását az első fokozat bemeneti ellenállása, kimeneti ellenállását az utolsó fokozat kimeneti ellenállása határozza meg:

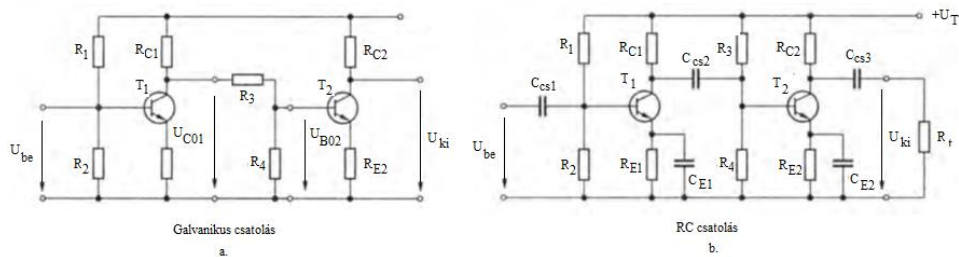
$$R_{be} = R_{beelső} \quad R_{ki} = R_{kiutolsó}$$

A többfokozatú erősítő alsó határfrekvenciáját a fokozatok alsó határfrekvenciái közül a legnagyobb, felső határfrekvenciáját a fokozatok felső határfrekvenciái közül a legkisebb határozza meg.

Többfokozatú erősítőkben az egyes fokozatokat: galvanikus (közvetlen), RC és induktív csatolással kapcsolhatjuk össze.

Galvanikus (közvetlen) csatolás

Galvanikus csatolás esetén a fokozatok között egyenáramú csatolás van, ezért az ilyen csatolás egyenfeszültségű jelek erősítésére is alkalmas. Az alsó határfrekvenciát ($f_a=0$) és az erősítő stabilitását figyelembe véve a közvetlen csatolás a többfokozatú erősítők legkedvezőbb csatolási módja. (2.23. a. ábra)



2.23. ábra Galvanikus és RC csatolás¹²

Galvanikus csatolás esetén a második erősítőfokozat munkapontját az első fokozat állítja be. A második fokozat bázisfeszültségét az előző fokozat kollektorfeszültsége adja. Ha a fokozatok munkapont-beállító elemei megegyeznek, akkor **a második fokozat munkapontja eltolódik és csökken a kivezérelhetősége**. A kivezérelhetőség csökkenése szinteltoló (diódás, tranzisztoros szinteltoló) áramkörökkel kompenzálható.

A közvetlencsatolt erősítők legnagyobb problémáját a munkapont eltolódása okozza.

RC csatolás

RC csatolás esetén az egyes fokozatok közötti kapcsolatot csatolókapacitátor biztosítja. Ez a leggyakrabban alkalmazott csatolási mód váltakozó feszültségű jelek erősítésére. Mivel a csatolókapacitátor az egyes fokozatokat elválasztja egymástól, ezért az egyes fokozatok munkapontjai külön-külön állíthatók be (2.23. b. ábra). A csatolókapacitátor az egyenáramú leválasztás mellett az erősítő alsó határfrekvenciáját befolyásolja. Értékének helyes megválasztásával biztosítható az erősítő megfelelő határfrekvenciája

Transzformátoros csatolás:

Transzformátoros csatolás esetén az egyenáramú elválasztás és a váltakozó feszültségű csatolás transzformátorral történik. A transzformátoros csatolást főleg nagyfrekvenciás váltakozó feszültség erősítőkben használják. Alkalmazásának előnye, hogy az áttétel helyes megválasztásával illesztés valósítható meg az erősítő fokozatok között. Nagy stabilitás érhető el vele és a transzformátor tekercseiben nem nagy az egyenáramú veszteség.

A csatolás alkalmazásának hátránya az erősítő sáv szélességének csökkenése. A nagyfrekvenciás átvitel a tekercselési kapacitás, a kisfrekvenciás átvitel pedig a megvalósítható indukció miatt romlik. A vasmag nemlineáris mágnesezési görbéje miatt megnő az erősítő torzítása.

2.6. Visszacsatolások

Visszacatolásról akkor beszélhetünk, ha az erősítő vezérlő jelét a bemeneti jel és a kimenetről a bemenetre teljesen vagy részben visszavezetett kimeneti jel összege adja

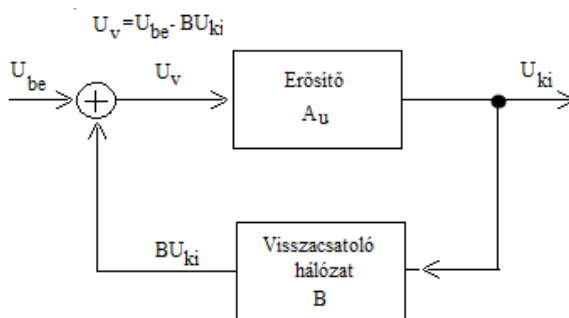
¹² Forrás: Kovács Csongor: Elektronikus áramkörök

(2.24. ábra). A visszacsatolás általában egy külső visszacsatoló hálózat segítségével valósítható meg, amely a visszacsatoló elemek tulajdonságai alapján lehet:

- lineáris,
- nemlineáris,
- frekvencia-független,
- frekvenciafüggő visszacsatolás.

Az alapján, hogy a kimeneti jel a bemeneti jelhez hozzáadódik (bemenőjelet erősíti) vagy kivonódik (bemenő jel hatását gyengíti) megkülönböztetünk **pozitív** és **negatív** visszacsatolást.

Erősítő kapcsolások esetén csak a negatív visszacsatolásnak van jelentősége.



A használt jelölések:

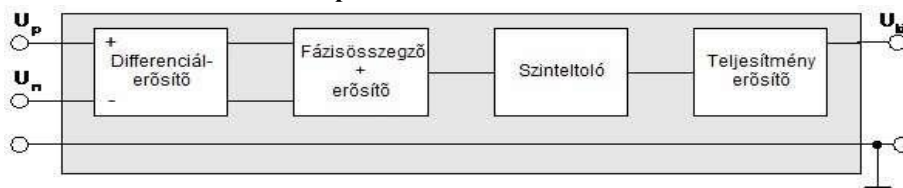
- U_{be} - bemeneti feszültség
- U_{ki} - kimeneti feszültség
- U_v - vezérlő feszültség
- B - visszacsatolási tényező
- A_u - a visszacsatolás nélküli erősítő erősítése
- A_{uv} - a visszacsatolt erősítő erősítése

2.24. ábra Visszacsatolás

2.7. A műveleti erősítők

A műveleti erősítők igen jó minőségi jellemzőkkel rendelkező egyenfeszültségű és váltakozó feszültségű jelek erősítésére egyaránt alkalmas, integrált áramköri technológiával készített nagy bonyolultságú áramkörök. Tokozása: DIP (Dual – in line) kialakítás. Ilyenkor az áramkör kivezetései két sorban, a tok síkjára merőlegesen helyezkednek el. Napjainkban egyre inkább elterjedt a felületszerelt technológiához kialakított SMD kivitel. A leggyakoribb lábszámok: 8,14, esetleg 16, 18, 24, 28.

2.7.1. A műveleti erősítők felépítése



2.25. ábra Műveleti erősítő felépítése¹³

¹³ Forrás: Hegyesi László: Műveleti erősítők

A műveleti erősítő (2.25. ábra) bemeneti fokozata egy differenciál erősítő, amely biztosítja a nagy bemeneti ellenállást, a szimmetrikus vezérelhetőséget és a közös jel elnyomását. A két bemenet elnevezése invertáló (U_n) és nem invertáló (U_p) bemenet.

A következő fokozat egy fázisösszegző és erősítő áramkör, amelynek szerepe, hogy a differenciál erősítő szimmetrikus kimeneti jelét aszimmetrikussá alakítsa. Ezt követi egy szinteltoló fokozat, ami leosztás után a teljesítményerősítő bemeneti jelét szolgáltatja.

Az utolsó – kimeneti – fokozat a teljesítményerősítő, amely a terhelés számára szolgáltatja a kis kimeneti ellenállású és torzítású, megfelelő teljesítményű kimeneti jelet.

2.7.2. Az integrált műveleti erősítők jellemzői

Nyílthurkú feszültségerősítés - A_{u0} , üresjárásban, szimmetrikus bemeneti jellel mért, visszacsatolás nélküli erősítés. Értéke: $A_{u0}=\infty$ ideális, $A_{u0} > 3 \cdot 10^6$ valóságos

Közös módosú feszültségerősítés - A_{uK} , amikor mindkét bemenetet ugyanaz a jel vezérli, közös módosú vezérlésről beszélünk, és az ilyenkor fellépő erősítés a közös módosú erősítés. Értéke: $A_{uK}=0$ ideális, $A_{uK} < 0,2$ valóságos

Közös módosú feszültség elnyomási tényező (CMRR) (common mode rejection ratio) – G , a nyílthurkú differenciális és a közös módosú erősítés hányadosa.

Értéke: $G=\infty$ ideális, $A_{u0} > 1 \cdot 10^6$ valóságos

Bemeneti ellenállás (input impedance) - R_i , a szimmetrikus bemeneti áram és feszültség hányadosa. Értéke: $R_i=\infty$ ideális, $R_i > 200 \text{M}\Omega$ bipoláris, $R_i > 2 \text{T}\Omega$ FET, MOSFET

Kimeneti ellenállás (output impedance) - R_o , az üresjárású kimeneti feszültség és a rövidzárási kimeneti áram hányadosa. Értéke: $R_o=0$ ideális, $R_o < 10 \Omega$ valóságos

Sáv szélesség - f_o , az a frekvencia, ahol a nyílthurkú erősítés értéke 3dB-el lecsökken

Tápfeszültség tartomány $- \pm U_t$, a szimmetrikus tápfeszültség minimális és maximális értéke.

Táparám-felvétel - I_t , az energiaforrásból felvett, a működéshez szükséges áram értéke vezérlés nélküli, terheletlen állapot esetén.

Nyugalmi teljesítményfelvétel - P_o , az energiaforrásból felvett teljesítmény.

Maximális teljesítmény-disszipáció - P_{Dmax} , vezérelt állapotban az áramkörön disszipálható (össz)teljesítmény.

Üzemi hőmérséklettartomány - $T_{\bar{u}}$, azon hőmérséklettartomány, amelyen belül a gyártó által megadott paraméterek garantáltak.

Bemeneti munkaponti áram (input bias current) - I_B , a bemeneti fokozat – differenciálerősítő – munkaponti bázisáramainak számtani közepe.

Bemeneti közös módosú feszültségtartomány - U_{Kmax} , a közös módosú feszültség legnagyobb pozitív és negatív értéke.

Bemeneti differenciális feszültségtartomány - U_{Dmax} , az a maximális bemeneti feszültségérték, amit az erősítő még tartós károsodás nélkül elvisel.

Maximális kimeneti feszültség - U_{Omax} , adott terhelés esetén a maximális kimeneti feszültség értéke.

Maximális kimeneti áram - I_{Omax} , az a maximális áramérték, amivel az erősítő áramkört terhelni szabad.

Maximális jelváltozási sebesség (slewrate) - S , a kimeneti feszültség maximális jelváltozási sebessége.

2.7.3. A visszacsatolás hatása a műveleti erősítőkre

A visszacsatolatlan nyílt hurokkal üzemelő műveleti erősítő nem alkalmas feszültségerősítésre. A nagy nyílthurkú erősítés miatt az erősítő túlvezérelt és az erősítő kimeneti feszültsége csak két értéket vehet fel. Ahhoz, hogy feszültségerősítésre tudjuk használni, visszacsatolást kell alkalmazni. A visszacsatolt erősítő erősítése :

$$A_{UV} = \frac{A_U}{1 - A_U \cdot \beta} \quad \text{Negatív visszacsatolás esetén } A_U \cdot \beta < 0, \text{ ezért } A_{UV} = \frac{A_U}{1 + A_U \cdot \beta}$$

Mivel $A_U \cdot \beta \gg 1$, ezért $A_{UV} = \frac{1}{\beta}$

A fentiek alapján látható, hogy a kapcsolás erősítését csak a külső visszacsatoló hálózat határozza meg, és nagysága nem függ a műveleti erősítőtől.

Az alkalmazott negatív visszacsatolás hatása az erősítőjellemzőkre:

A visszacsatolás a bemeneti ellenállást

- a soros negatív visszacsatolás növeli
- a párhuzamos negatív visszacsatolás csökkenti

A visszacsatolás a kimeneti ellenállást

- A negatív feszültség visszacsatolás csökkenti
- A negatív áram visszacsatolás növeli

A legegyszerűbb visszacsatoló hálózat egy feszültségosztó lehet. Az osztó állhat frekvenciafüggő, illetve frekvencia-független elemekből is.

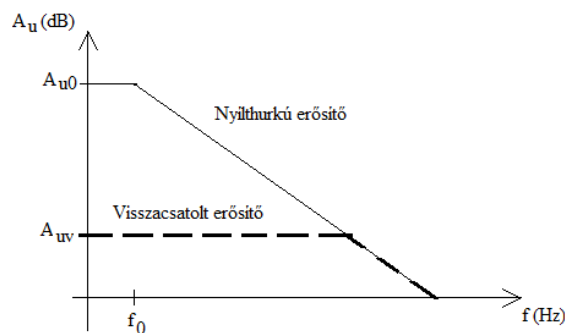
Ebben az esetben a kapcsolás lineáris erősítő kapcsolásként viselkedik, mert erősítését kizárólag a visszacsatoló hálózat, illetve annak elemei határozzák meg.

A feszültségerősítés a negatív visszacsatolás következményeként – mint az előzőekben is láthattuk – a nyílthurkú erősítéshez képest lecsökken. Nagysága csak a külső visszacsatoló elemektől függ, ezért nagyon jól „kézben tartható”.

A visszacsatoló elem meghatározza a kapcsolás jellemzőit. A műveleti erősítő nyílthurkú erősítése frekvenciafüggő, már egészen kis (néhány Hz) frekvencián bekövetkezik az erősítés csökkenése. Így a visszacsatolatlan műveleti erősítő működési frekvenciatartománya (sávzélessége) igen kicsi.

Ha negatív visszacsatolást alkalmazunk, a visszacsatolt erősítő sávzélessége megnövekszik. Ilyenkor az erősítő erősítése a nyílthurkú erősítéshez képest lecsökken.

A negatív visszacsatolás hatására az erősítő átviteli karakterisztikája a 2.26. ábrán látható módon alakul.



Bizonyos esetekben az adott kapcsolásokban és erősítő típusoknál alkalmazható (illetve alkalmazott) még a frekvenciakompenzálás módszere is, amelynek megvalósítási lehetőségét a gyártók a katalógusokban ismertetik.

2.26. ábra Visszacsatolt erősítő frekvenciafüggése

14

¹⁴ Forrás: Hegyesi László: Műveleti erősítők

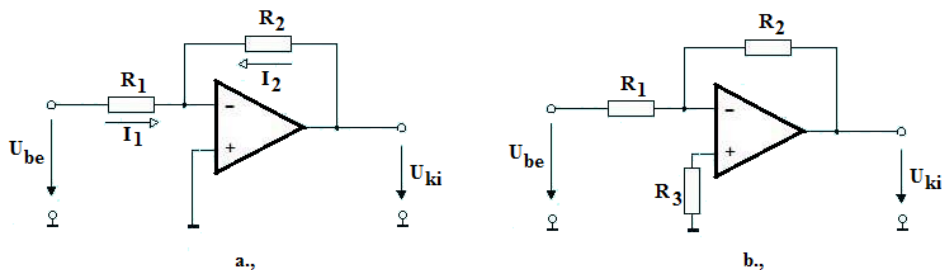
2.7.4. Műveleti erősítős alkapcsolások

A műveleti erősítővel felépített erősítő alkapcsolások kétféle visszacsatolási móddal valósíthatók meg alapvetően.

Invertáló (fázisfordító) erősítő

Az invertáló erősítő egy soros ellenállással kiegészített párhuzamos –feszültség-visszacsatolással kialakított hálózat. Az invertáló elnevezés arra utal, hogy a kimeneti és a bemeneti feszültség ellentétes fázisú ($\rho = 180^\circ$). A visszacsatolás során a műveleti erősítő bemenetére párhuzamosan a kimeneti feszültséggel arányos áramot csatolunk vissza. Ez az áram összegződik az R_1 -es ellenálláson folyó (bemeneti) árammal (2.27. a. ábra)

Az invertáló bemenet „virtuális földön” van, mivel műveleti erősítő arra törekszik, hogy a két bemenet között 0 legyen a feszültségkülönbség.



2.27. ábra Invertáló műveleti erősítő

Invertáló alkapcsolás jellemzőinek meghatározása:

$I_1 + I_2 = 0$ Mivel $I_1 = \frac{U_{be}}{R_1}$ és $I_2 = \frac{U_{ki}}{R_2}$, akkor $\frac{U_{be}}{R_1} + \frac{U_{ki}}{R_2} = 0$ az egyenlet rendezése után

a kapcsolás feszültségerősítése: $A_{UV} = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = -\frac{R_2}{R_1}$

A kapcsolás bemeneti ellenállása: $R_{bev} = R_1$ (az erősítő bemeneti ellenállása végtelen nagy, és a bemenetén nem folyik áram)

A kapcsolás kimeneti ellenállása: A negatív visszacsatolás hatására a kimeneti ellenállás lecsökken $R_{kiv} = R_{ki} \cdot \frac{A_{UV}}{A_{U0}}$ Ez nagyon kis érték, mivel $R_{ki} < 10\Omega$ és $A_{U0} > 10^6$. A bemeneti

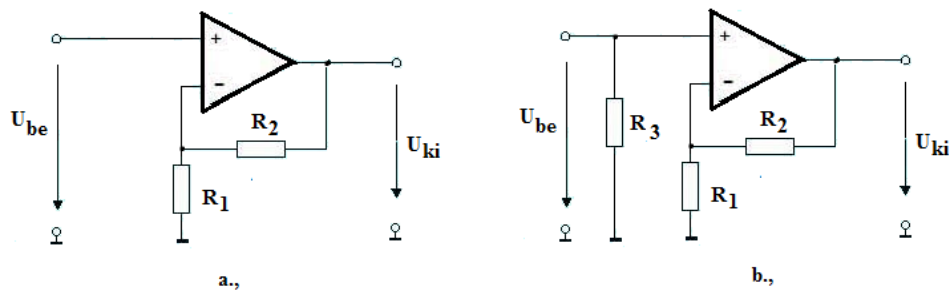
nyugalmi áram biztosítása: A bemeneti nyugalmi áram hatása megszüntethető, ha a műveleti erősítő mindkét bemenetére ugyanolyan értékű ellenállás csatlakozik (2.27. b. ábra). Ez akkor teljesül, ha $R_3 = R_1 \times R_2$

Nem invertáló (fázist nem fordító) erősítő

A nem invertáló erősítő kapcsolásnál a kimeneti feszültséggel arányos feszültséget csatolunk vissza sorosan a bemenetre. A visszacsatolt feszültség a bemeneti feszültséggel megegyező fázisú, ezért annak hatását csökkenti. A kimeneti és a bemeneti feszültség azonos fázisú ($\rho = 0^\circ$).

A nem invertáló erősítő egy soros feszültség-visszacsatolással kialakított hálózat.

A visszacsatoló hálózat egy ellenállásokból (R_1, R_2) álló feszültségosztó (2.28.a. ábra).



2.28. ábra Nem invertáló műveleti erősítő

A visszacsatoló hálózat átviteli függvénye:

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

A visszacsatolt műveleti erősítő erősítése, ha az $A_U \cdot \beta \gg 1$

$$A_{UV} = \frac{1}{\beta}$$

Ekkor a kapcsolás feszültségerősítése:

$$A_{UV} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

A kapcsolás bemeneti ellenállása: $R_{be} \approx \infty$

A bemenet közvetlenül a nem invertáló bemenetre csatlakozik. Ha feltételezzük, hogy az erősítő bemeneti ellenállása végtelen nagy, és a bemenetén nem folyik áram.

A kapcsolás kimeneti ellenállása:

A negatív visszacsatolás hatására a kimeneti ellenállás lecsökken

$$R_{kiv} = R_{ki} \cdot \frac{A_{UV}}{A_{U0}} \text{ Ez nagyon kis érték, mivel } R_{ki} < 10 \text{ } \Omega \text{ és } A_{U0} > 10^6$$

A bemeneti nyugalmi áram biztosítása:

A bemeneti nyugalmi áram hatása megszüntethető, ha a műveleti erősítő mindkét bemenetére ugyanolyan értékű ellenállás csatlakozik.

Bemeneti áram kompenzálása

Az R_3 -as ellenállás biztosítja azt, hogy a nyugalmi áram ugyanakkora feszültséget ejtson mindkét bemeneten (2.28. b. ábra). Nagysága: $R_3 = R_1 \times R_2$

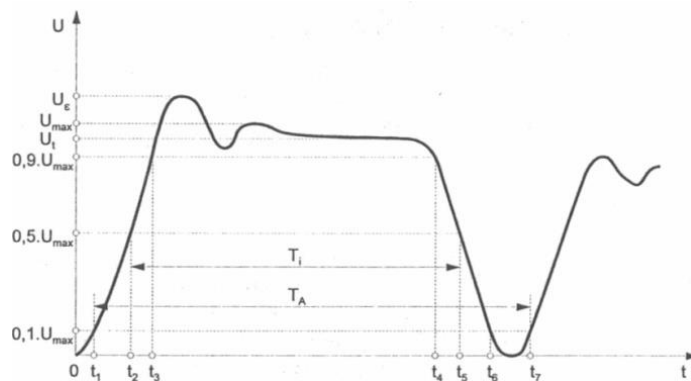
Azzal azonban, hogy ezt az ellenállást a munkapont-beállítás miatt a kapcsolásban elhelyeztük, a fokozat bemeneti ellenállása megváltozott, hiszen a bemeneti feszültség most ezen az ellenálláson fog esni. Ezért: $R_{be} = R_3$

2.8. Impulzustechnika

A szinuszos jelek áramköri technikája mellett nagy jelentősége van a nem szinuszos jeleket előállító és feldolgozó ún. impulzustechnikai áramköröknek. Impulzustechnika az elektronika olyan részterülete, amely két nyugalmi állapot között ugrásszerűen változó

mennyiségeket előállító, átalakító, valamint e mennyiségek mérésére alkalmas áramkörökkel foglalkozik.

Impulzus: Olyan feszültség- vagy áramlökés, amely két nyugalmi állapot között ugrásszerűen változik, és ami csak egy meghatározott ideig áll fenn. A gyakorlatban általában nem egyedi impulzusokkal, hanem impulzus sorozatokkal találkozunk. Az impulzusuk alakja sokféle lehet (fürészes, négyszög, háromszög, trapéz stb). A leggyakrabban négyszögimpulzusokkal foglalkozunk. A valóságban az ideális négyszög impulzussorozatát csak megközelíteni tudjuk mivel az elektronikus áramkörök állapotának bármilyen megváltozása rezgési, lecsengési folyamatokkal jár együtt. Egy valóságos négyszög impulzus ábrázolására alkalmas jelalakot mutat a 2.29. ábra



2.29. ábra Valóságos impulzussorozat¹⁵

Jellemzők

- **Impulzus amplitúdó** (jelölése U_{max}) Az impulzus maximális értéke
- **Impulzus periódusidő** (jelölése (T_A) - a $0,1 \cdot U_{max}$ amplitúdó értékhez tartozó időtartam ($T_A = t_7 - t_1$)
- **Impulzus idő** (jelölése (T_i) - a $0,5 \cdot U_{max}$ amplitúdó értékhez tartozó időtartam ($T_i = t_5 - t_2$)
- **Felfutási idő** (jelölése (T_f) - Azon időtartam, ami alatt az impulzus amplitúdója 10%-os értékéről 90 %-os értékre változik. ($T_f = t_3 - t_1$)
- **Lefutási idő** (jelölése (T_l) - Azon időtartam, ami alatt az impulzus amplitúdója 90%-os értékéről 10 %-os értékre változik. ($T_l = t_6 - t_4$)
- **Felfutási meredekség** (jelölése v_f) A felfutási idő alatt bekövetkezett amplitúdó változás. Az impulzus felfutó élén az amplitúdó 10 és 90% közötti feszültségnövekedés és a közben eltelt idő hányadosa.

$$v_f = (0,9 \cdot U_{max} - 0,1 \cdot U_{max}) / T_f$$
- **Tetőesés:** (jelölése ϵ_2) U_t és U_{max} viszonya %-ban kifejezve

$$\epsilon_2 = (U_{max} - U_t) / U_{max} \cdot 100$$
- **Túllövés:** (jelölése ϵ_1) U_ϵ és U_{max} viszonya %-ban kifejezve

$$\epsilon_1 = (U_\epsilon - U_{max}) / U_{max} \cdot 100$$

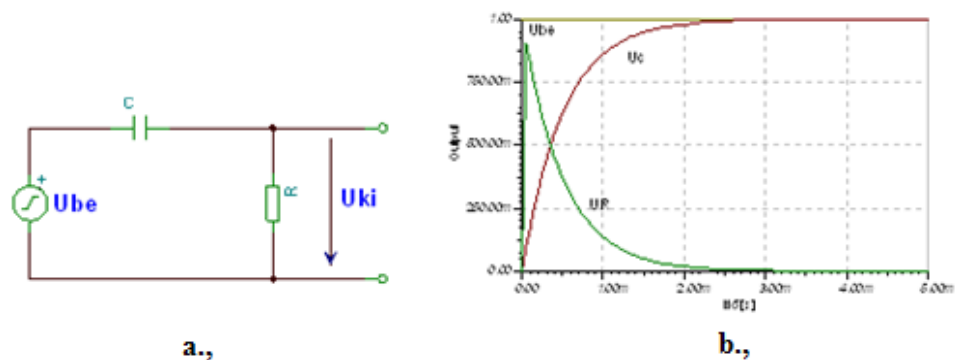
¹⁵ Forrás: Sovány István: Impulzustechnikai és logikai áramkörök mérése

- **Kitöltési tényező**(jelölése k)- Azt mutatja , hogy az impulzus hány százalékban tölti ki az impulzust. Az impulzus és a periódusidő viszonya $k = T_i/T_A$

Az impulzussorozatok jellemzőit (pl. amplitúdóját, jelalakját) jelformáló áramkörök segítségével lehet módosítani. A jelformálás aktív és passzív áramkörök segítségével oldható meg.

2.8.1. Differenciáló áramkör

Ha a differenciáló áramkörre tetszőleges alakú impulzus sorozatot kapcsolunk a kimenő jel a bemenő jel differenciál hányadosával lesz arányos. A kapcsolás működésének megértéséhez a 2.30. a. ábrán látható RC kör működését kell elemeznünk



2.30. ábra Differenciáló áramkör

Ezzel tudjuk modellezni azt, hogy az áramkörre egy adott pillanatban feszültséget kapcsolunk. A bekapcsolás pillanatában a kondenzátor rövidzárként viselkedik. A feszültség akadálytalanul a kimenetre jut. Ezután a kondenzátor elkezd töltődni egy állandó értékű U feszültséggel. A töltődés exponenciális jellegű. Töltődés közben a kimeneten a kondenzátor pillanatnyi feszültsége levonódik az állandó U bemenő feszültségből, ezért a kimenetre exponenciális jelleggel csökkenő feszültség jut (U_R).

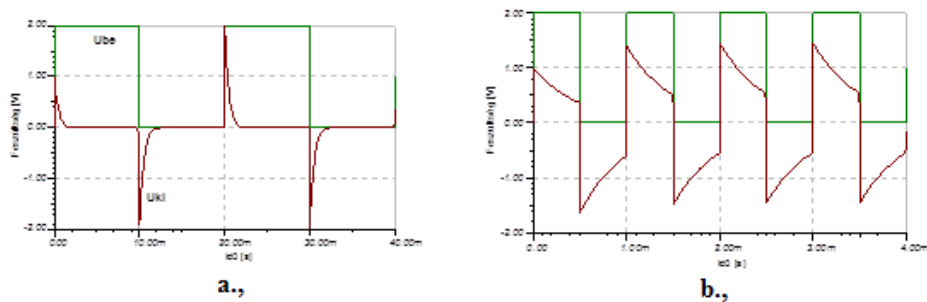
A kondenzátor $\tau = RC$ alatt töltődik fel a rákapcsolt feszültség 63%-ra. Ezt az áramkör időállandójának nevezzük. 5τ idő alatt a kondenzátor feszültsége eléri a rákapcsolt feszültség 95%-t. Ekkor a kondenzátort teljesen feltöltöttnek tekintjük.

Differenciáló négyfólyus jelei egységugrás bemenő jel esetén a 2.30. b ábrán láthatók

Ha az áramkörre négyfólyus jelet kapcsolunk a kimenő jel alakja a négyfólyus jeleimpulzusideje T_i és az időállandó viszonyától függ. Csak akkor kapunk jól differenciált jelformát, ha az áramkör időállandója sokkal kisebb mint az impulzus T_i időtartalma.

A gyakorlatban $T_i \geq 20 \tau$ szükséges. Ebben az esetben a 2.31.a. ábrának megfelelő jelalakot kapjuk.

Helytelen időállandó esetében a 2.31.b. ábrának megfelelő jelalakot kapjuk. Jól látható, hogy a kondenzátornak nincs ideje feltöltődni illetve kisülni.



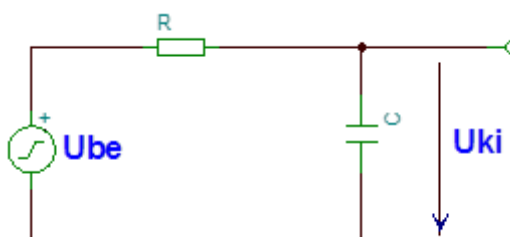
2.31. ábra Differenciáló áramkör jelalakjai

Az áramkör időállandója nem lehet tetszőlegesen kicsi a következők miatt:

- Az áramkör kimenetén megjelenő szórt kapacitások a meghajtó generátoron keresztül C -vel párhuzamosan kapcsolódva az időállandót növelik. Ez a differenciálás pontosságát rontja. A gyakorlatban C értékét úgy kell megválasztani, hogy értéke a szórt kapacitások értéke felett legyen. Így annak hatása elhanyagolható.
- A generátor R_b belső ellenállása az R ellenállással sorba kapcsolódva az időállandót növeli. R értékét úgy kell megválasztani, hogy R_b nagyságrendje felett legyen.

2.8.2. Integráló áramkör

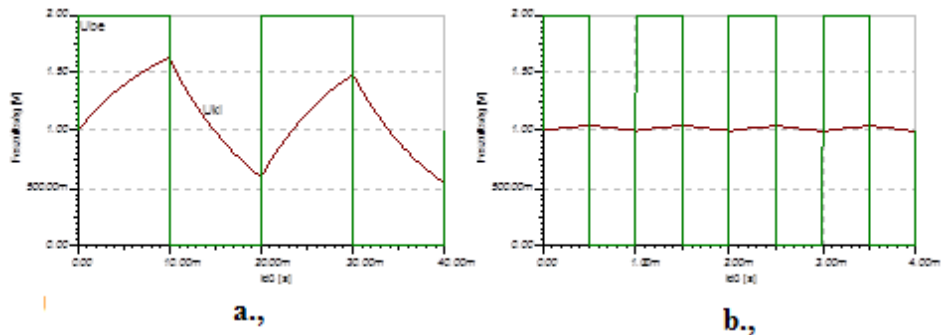
Ha az R és C elemek helyét felcseréljük a 3.32. ábrán látható integráló kapcsolást kapunk. Ez a négy-pólus onnan kapta a nevét, hogy a kimeneti jele a bemenő jel integráltjával arányos.



2.32. ábra Integráló áramkör

A négy-szögjel felütésének időpontjától kezdve a kondenzátor az RC időállandónak megfelelő sebességgel, exponenciális jelleggel töltődik.

Az áramkör akkor működik helyesen, ha az áramkör időállandója τ a bemenő jel impulzusszélességéhez T_i képest nagy (2.33.a. ábra.) A gyakorlatban $\tau \geq 20T_i$ választás a megfelelő arány. Ha T_i -t csökkentjük a kondenzátornak kevesebb ideje lesz feltöltődni és kisülni. A kimenő jel amplitúdója csökken (2.33.b.ábra.)



2.33. ábra Integráló áramkör jelalak

2.8.3. Diódás vágóáramkörök

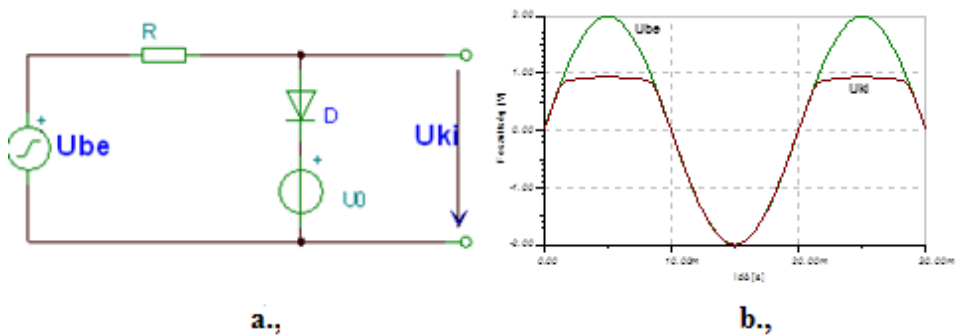
A diódás vágóáramköröket az elektronika számos területén használják jelformálásra, vágásra, jelszint beállítására illetve korlátozására. Olyan impulzusformáló négypólusok amelyek az impulzusok amplitúdó-határolását valósítják meg.

A vágóáramkörök működését az egyszerűség kedvéért szinuszos bemenő jelek esetén vizsgáljuk, de tetszőleges bemenő jelek formálására is alkalmasak.

Diódás vágókapcsolás

Ebben a kapcsolásban (2.34.a. ábra) a dióda kapcsolóelemként viselkedik. A nyitóirányban előfeszített dióda úgy viselkedik, mint egy kis értékű ellenállás (rövidzárral helyettesíthető). A záró irányban előfeszített dióda pedig úgy viselkedik, mint egy nagy értékű ellenállás (szakadással helyettesíthető).

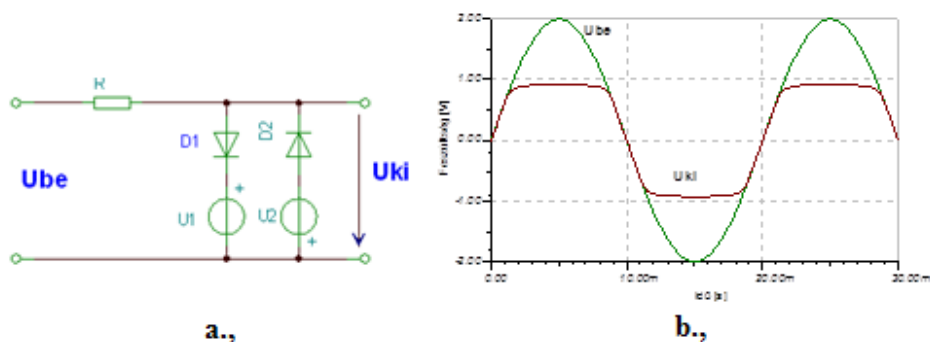
A kapcsolásban az U_0 feszültséggel állítjuk be a vágási szintet. A dióda átengedi a bemenő jelet, ha az anódján a katódhoz képest U_D nyitó feszültség van. U_0 értéke a vágási szintet határozza meg.



2.34. ábra Diódás vágóáramkör

A 2.34.a. ábra kapcsolásában az U_0 feszültség a diódát záró irányban feszíti elő. A dióda kinyit, ha a bemenetén megjelenő feszültség $U > U_0 + U_D$. Ilyenkor a dióda elkezd vezetni és a bemenő jel többi részét levágja. 2.34.b. ábra.

A **kettős diódás vágóáramkör** a bemenő jel mindkét félperiódusát képes vágni. 2.35.a. ábra.



2.35. ábra Kettős diódás vágóáramkör

A kapcsolás egy felülvágó és egy alülvágó párhuzamos diódás vágókapcsolás egyesítésével valósítható meg. A kimeneti jel csak az U_1 és U_2 segédfeszültségek által meghatározott vágási szintek között lesz arányos a bemeneti jellel. 2.35.b. ábra.

Az U_1 és U_2 segédfeszültségek beállításával a vágási szintek külön-külön beállíthatók mindkét félperiódusban.

Astabil billenőkapcsolás: Egyetlen stabil állapottal sem rendelkezik, négyzetfeszültséget állít elő. A kapcsolás folyamatosan a két állapot között billeg. Az időtartamok az időzítő elemek értékétől függenek.

Bistabil billenőkapcsolás: *Két stabil állapota van.* A kimenet állapota csak akkor változik, ha az átbillenési folyamatot egy bemeneti jel kiváltja.

Monostabil billenőkapcsolás: Egyetlen stabil állapota van, azaz bemeneti vezérlőimpulzus nélkül a kimeneti feszültség egy rögzített értéken marad. Ha egy külső vezérlőjellel a másik állapotába billentjük, ezt az állapotát csak meghatározott ideig tartja meg, majd visszabilen stabil állapotába.

Schmitt-trigger: Olyan bistabil billenőkör, melynek kimeneti jele a bemeneti jel amplitúdójának nagyságától függ. Ez az áramkör egy küszöbérték kapcsoló. A billenések nem ugyanazon a feszültség szinten következnek be. Ezt a jelenséget az áramkör **hiszterézisének** nevezzük.

2.9. Digitális technika

Az információ kódolása

A **kód** általános értelmezésben valamely információ halmazhoz egyértelműen szimbólumok halmazát rendeli, vagyis a kód valamely információ kifejezésére, hordozására szolgáló rendszer, amely az információ elemeihez egyértelműen kód-jeleket rendel.

A **kódolás** maga az a művelet, mellyel az adott információ elemeihez kód jeleket, szimbólumokat egyértelműen hozzárendeljük.

A **jelkészlet, szimbólum-készlet** azoknak az elemi jeleknek az összessége, amelyeket kódolásra felhasználhatunk.

Kódszó részletnek nevezzük azoknak a kódszónak az összességét, amelyek az adott rendszerben kódolásra felhasználhatók.

A **kódolt információ jellege szerint** a kódok lehetnek:

- **Numerikus kódok**, amelyek számok kifejezésére alkalmasak. (Legfontosabb a bináris-szám kód, de fontos a BCD, egylépéses kódok stb.)
- **Alfanumerikus kódok**, amelyek a számokon kívül betűk, írásjelek kódolására is alkalmasak. (TELEX, ASCII, EBCDIC...)

2.9.1. Numerikus kódok (szám kódok)

- **Bináris szám kód:** A kétállapotú elemeket felhasználó berendezéseket olyan digitális jellel kell működtetnünk, amely szintén kétféle értékű lehet, vagyis szokásos szóhasználattal **bináris**. Egy-egy kétállapotú elem egy adott időpillanatban egy elemi bináris egység, 1 bit feldolgozására, tárolására alkalmas, amely tehát 0 vagy 1 értékű lehet.
- **BCD (Binary Coded Decimal: binárisan kódolt decimális)** számkódok használatakor a decimális számok jegyeit adjuk meg 4-4 bittel. Négy bittel 16 különböző kódszót lehet előállítani, ebből 10-et tekintünk megengedettnek (vagyis a BCD-ben működő áramkörök nincsenek teljesen kihasználva, ez az ára a könnyebb kijelezhetőségnek). A legelterjedtebb a természetes BCD kódnak nevezett 8-4-2-1 súlyozású kód. Készletét a 0000-tól 1001-ig terjedő bináris számok alkotják (a 1010 és ennél nagyobb számok tiltottak, megjelenésük a rendszerben hibát jelezhet).

Léteznek egyéb BCD kód-változatok is, amelyekkel esetenként mérés technikában automatizálásban találkozhatunk. Ezekre mutat be néhány példát a táblázat:

Az **Excess-3** (három többletes) kódnál a bináris érték mindig 3-mal több, mint a decimális. Jellemzője ezen kívül, hogy minden kódszó tartalmaz 1-est, valamint "önkomplementáló": a kódtáblázatban a 4-5 közötti tengelytől egyenlő távolságra lévő számok egymásnak komplementumai (a bitek egymásnak negáltjai). Az **Aiken kód** szintén "önkomplementáló" és az első bit akkor 1-es, ha a számérték 5 vagy annál nagyobb. Az utóbbi tulajdonság jellemző a háromtöbbletes kódra is. A **Hamming kód** egy különleges bináris kód, amelynek jellemzője, hogy bináris adatátvitel során hibajavításra alkalmas

Dec.	BCD kódok																				
	Excess-3 súlyozás: 8 4 2 1		Aiken-kód súlyozás: 2 4 2 1		Gray-kód súlyozás: 15 7 3 1		Johnson-kód		Hamming-kód												
0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1
2	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	
3	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
4	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
5	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
6	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0
7	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1
8	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
9	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1

Az egylépéses kódok:

Ha a szomszédos kódszavak csak egy helyértéken térnek csak el egymástól, akkor a hiba sem lehet ennél nagyobb. A műszeriparban és az automatizálásban a legelterjedtebb egylépéses kód a **GRAY kód** ("reflected binary": tükrözött bináris) kód. Táblázatunk első néhány sorát megnézve megállapíthatjuk a felírás szabályát. A helyértékek súlyozása 2^n -1 és a helyértékeket váltakozó előjellel vesszük. Balról jobbra az első egyes pozitív. Pl. $5=7-3+1$.

A másik leggyakoribb egylépéses kód a **JOHNSON kód**, amely pazarló (több bitet igényel, n bit esetén a felírható Johnson kombinációk száma: 2^n). Jellegzetességét az 5 bitre felírt táblázat alapján könnyű felismerni: 00000-tól haladva először mindig eggyel több 1-es lép be, majd amikor elértük a csupa 1-esből álló kombinációt, a 0-ák belépése következik.

Alfanumerikus kódok (betű-szám-kódok)

A számítógépek, digitális berendezések nemcsak számok tárolását és feldolgozását végzik. Gyakran szükséges kezelői utasítások gépi értelmezése, különféle üzenetek kiadása, ill. emberi nyelven írt szövegek, rövidítések feldolgozása. Ilyen esetekben betűk, írásjelek és számok, összefoglaló néven: karakterek bináris kódolását kell megvalósítani.

Az **ASCII kód** (American Standard Code for Information Interchange = amerikai szabvány kód információcseréhez) a legelterjedtebb alfanumerikus kód. A kódszavak 8 bitesek, ebből 7 bitet használnak a következő karakter-fajták kódolására: 26 db latin nagybetű, 26 db latin kisbetű 33 db írásjel, matematikai jel, speciális karakter 33db vezérlő karakter. A nyolcadik (MSB) bit a paritásjelzés számára fenntartott hely. A **hibajelzés** legelterjedtebb módszere a **paritás bittel** történő bővítés, amely a kódszóban lévő 1-esek számát párosra (páros paritású rendszerben) vagy páratlanra (páratlan paritású rendszerben) egészíti ki.

2.9.2. A Boole-algebra alaptételei, szabályai

A logikai feladatok megoldásához a Boole-algebrát használjuk, amely lehetőséget ad arra, hogy a logikai kapcsolatokat matematikai úton kezeljük. A Boole-algebra alaptétele szerint ugyanis bármely bonyolult logikai kapcsolat kifejezhető megfelelően megválasztott alpműveletek segítségével. A logikai algebra alpműveleteire vonatkozó tételek, szabályok.

A tagadás törvénye

$$\overline{1}=0 \quad \overline{0}=1$$

Kettős tagadás törvénye

$$\overline{\overline{1}}=1 \quad \overline{\overline{0}}=0 \quad \overline{\overline{A}}=A$$

A "0" és az "1" kapcsolatai (amelyek az igazságtáblából következnek):

$$\begin{array}{cccc} 0+0=0 & 0+1=1 & 1+0=1 & 1+1=1 \\ 0\cdot 0=0 & 0\cdot 1=0 & 1\cdot 0=0 & 1\cdot 1=1 \end{array}$$

Egy változó és egy állandó érték logikai kapcsolata

$$A+0=A \quad A+1=1 \quad A\cdot 0=0 \quad A\cdot 1=A$$

Műveletek egyazon változóval

$$A+A+\dots+A=A \quad A\cdot A\cdot\dots\cdot A=A \text{ (sokszor alkalmas függvény rövidítésére)}$$

$$\overline{\overline{A}}+A=1 \text{ (Vagy a változó vagy a negáltja biztosan igaz)}$$

$$\overline{A}\cdot A=0 \text{ (egyszerre nem lehet igaz a változó és a negáltja)}$$

Kommutatív tulajdonság (felcserélhetőség)

$$A+B=B+A \quad AB=BA$$

Asszociatív tulajdonság ("társíthatóság")

$$A+(B+C)=(A+B)+C=(A+C)+B=A+B+C \quad A\cdot(B\cdot C)=(A\cdot B)\cdot C=(A\cdot C)\cdot B=A\cdot B\cdot C$$

Disztributív tulajdonság (zárójeles műveletek)

$$A(B+C)=AB+AC \quad A+(BC)=(A+B)(A+C)$$

Abszorpció (elnyelési) tételek

$$A+AB+ABC+\dots=A, \quad \text{hiszen } A(1+B+BC+\dots)=A$$

$$A(A+B)(A+B+C)=A, \quad \text{mert } A(A+B)=AA+AB=A(1+B)=A \text{ és így tovább...}$$

De MORGAN szabályok (negálási szabályok)

$$\overline{A+B} = \overline{A} \cdot \overline{B} \quad \overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$$

2.9.3. Kombinációs logikai hálózatokat felépítő logikai alapáramkörök.

Kombinációs hálózatok olyan időfüggetlen logikai hálózatok, ahol a kimenő jel létrehozása csak a bemeneti értékektől függ és független a kimenet előző állapotától. A kombinációs hálózatok ki- és bemenetei közötti összefüggések logikai függvényekkel írhatók fel. Ehhez a matematikai alapot a Boole-algebra adja. A logikai tervezés során megoldandó feladatokat logikai függvényre alakítjuk át. A logikai függvényeket megvalósító áramköröket logikai kapuknak nevezzük. A leggyakrabban használt logikai kapuk:

Negáció (tagadás, invertálás): Egyváltozós művelet, amellyel egy logikai jel 0 és 1 értékét felcseréljük, invertáljuk. Az invertált változót negált változónak nevezzük. Az invertálást megvalósító áramkör az INVERTER. Algebrai alakja: $Y = \bar{A}$

Inverter igazságtáblázata és jelölése:

A	Y
0	1
1	0

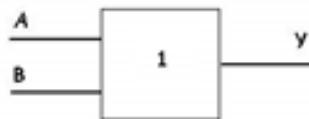


Logikai VAGY kapcsolat (OR):

A VAGY kapcsolatban (diszjunkció), ha bármely változó 1-es értékű, akkor a függvény értéke 1-es lesz. A VAGY kapcsolat műveleti jele a "+" jel. Algebrai alakja: $Y = A+B$

VAGY kapu igazságtáblázata és jelölése:

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

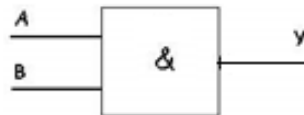


Logikai ÉS kapcsolat:

Az ÉS kapcsolat (konjunkció) eredménye akkor 1-es, ha valamennyi változó egyidejűleg 1-es. Az ÉS kapcsolat műveleti jele a szorzópont. Algebrai alakja $Y = A \cdot B$

ÉS kapu igazságtáblázata és jelölése:

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

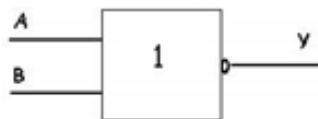


NEM-VAGY kapcsolat (NOR):

A NOR kapuáramkör több-bemenetű logikai elem, amelynek a kimenetén akkor és csak akkor jelenik meg 0 (L) szint, ha legalább egy bemenetén 1-es (H) szint van.

NOR kapu igazságtáblázata és jelölése:

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



NEM-ÉS kapcsolat (NAND):

Több-bemenetű logikai elem, amelynek kimenetén csak akkor jelenik meg 0 (L) szint, ha az összes bemenetén 1-es, (H) szint van.

NAND kapu igazságtáblázata és jelölése:

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

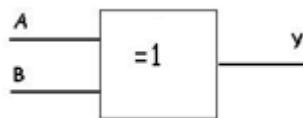


KIZÁRÓ VAGY kapcsolat (XOR):

Akkor ad 1-et, ha vagy az A igaz (és B nem), vagy ha a B igaz (és A nem). Mivel az eredmény akkor 1-es, ha a változók különböző értékűek ezt a kapcsolatot antivalenciának is szokás nevezni. Algebrai alakja: $\bar{A} \cdot B + \bar{B} \cdot A$

KIZÁRÓ VAGY igazságtáblázata és jelölése:

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

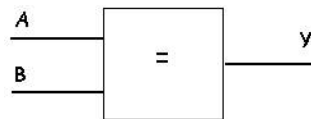


KIZÁRÓ NEMVAGY kapcsolat:

Az előző függvény (KIZÁRÓ VAGY) negáltja, ekvivalencia névvel is illetik. Akkor ad 1-et, ha a két változó egyezőértékű (mind a kettő 1-es, vagy mind a kettő 0)

KIZÁRÓ NEMVAGY igazságtáblázata és jelölése:

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



2.9.4. Logikai függvények megadása

A megvalósítandó logikai függvény többféle alakban állhat rendelkezésre:

Az **igazságtáblázat** („műveleti táblázat”) mint egy függvény értéktáblázat, a bemeneti változók (bináris sorrendben rendezett) érték kombinációihoz rendelt kimeneti, Y jelértékeket tartalmazza.

Az **algebrai kifejezés** a függvényt logikai egyenlettel adja meg: a változókkal és a közöttük lévő műveletekkel. Egy függvényt többféle kifejezéssel lehet megadni – a cél éppen a hosszabb kifejezések „rövidítése”, egyszerűsítése azonos átalakítással. Általában eredményként legegyszerűbb az „összegek szorzata” vagy a „szorzatok összege” formában megadott kifejezés.

A **logikai kapcsolási rajz** áramköri megvalósítással, kapu hálózattal adja meg a függvényt. Ebben az esetben is sokféle megvalósítása lehetséges ugyanannak a függvénynek. Az algebrai alakhoz úgy juthatunk, hogy a bemenettől a kimenet felé haladva fokozatosan felírjuk „megfejtjük” a logikai függvényt, erről már eldönthetjük, hogy egyszerűsíthető-e vagy sem.

Az **idődiagram** leginkább a gyakorlatban megjelenő forma. Főleg sorrendi hálózatok vizsgálatakor nélkülözhetetlen a felvétele, ábrázolása.

A **grafikus megadás** legcélszerűbb eszköze a KARNAUGH tábla, amely ugyanazt mondja el a függvényről, mint az igazságtábla, csak éppen koordináta rendszerszerű elrendezésben. A Karnaugh tábla célszerű elrendezésének köszönhetően grafikus függvény-egyszerűsítésre alkalmazható.

2.9.5. Logikai függvények algebrai egyszerűsítése

Minél egyszerűbb egy kombinációs hálózat logikai függvénye, annál kevesebb áramköri elemmel tudjuk megvalósítani. A függvények egyszerűsítésének legkézenfekvőbb módja a Boole-algebra összefüggéseit intuitív módon felhasználó algebrai egyszerűsítés. Egy függvény annál egyszerűbb, minél kevesebb a benne szereplő műveletek és változók száma.

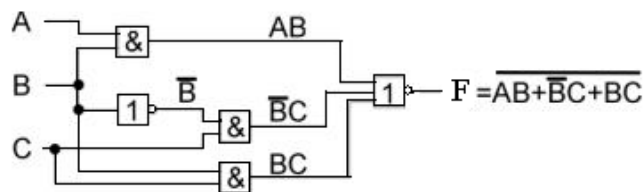
Példa algebrai egyszerűsítésre: $F = \overline{AB + \overline{BC} + BC}$

A Boole algebra tételeinek felhasználásával:

$$F = \overline{AB + \overline{BC} + BC} = \overline{AB + C(\overline{B} + B)} = \overline{AB + C}$$

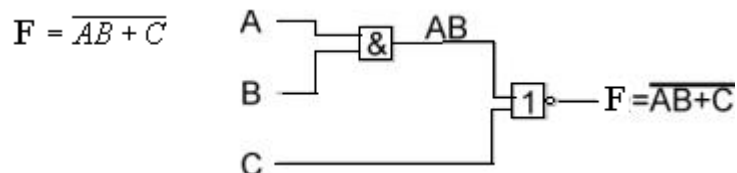
2.9.6. Logikai kapcsolási vázlat

A logikai függvény felírása után a **logikai kapcsolási vázlat** megszerkesztése a fizikai megvalósítás felé vezető út következő állomása. A logikai kapcsolási vázlat tulajdonképpen egy olyan, logikai kapukból összeállított „áramkör”, amelynek kimenetein a kívánt függvénynek megfelelő értékek jelennek meg. Rajzoljuk fel az algebrai egyszerűsítés példájában szereplő hálózat egyszerűsítés előtti és utáni függvényét! Az egyszerűsítendő függvény kapcsolási rajza (2.36. ábra):



2.36. ábra Logikai kapcsolási vázlat

Az egyszerűsített függvény logikai kapcsolási vázlata pedig a 2.37. ábrán látható:



2.37. ábra Egyszerűsített függvény logikai kapcsolási vázlata

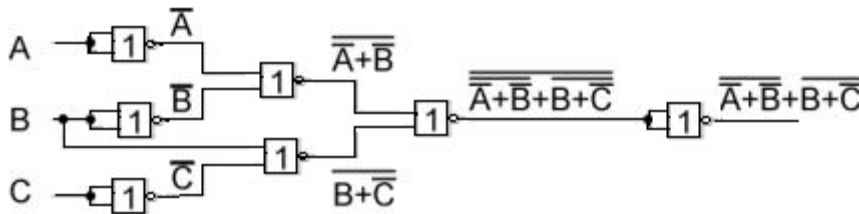
2.9.7. Kombinációs hálózat megvalósítása NOR illetve NAND kapukkal

Bármely kombinációs hálózat megvalósítható csak NOR vagy csak NAND kapukkal is. Ennek az az előnye, hogy az integrált áramkörök gyártóinak nem kell többféle kapu gyártástechnológiáját egyetlen chipen belül kombinálni. Az átalakítás a De-Morgan azonosságok alkalmazásával oldható meg. Felhasználjuk azt a tényt is, hogy egy invertert egy NOR vagy egy NAND kapu bemeneteinek összekötésével is meg lehet valósítani. A megvalósítandó függvény:

$$F = AB + \overline{B}C$$

A NOR kapus megvalósítás (2.38. ábra):

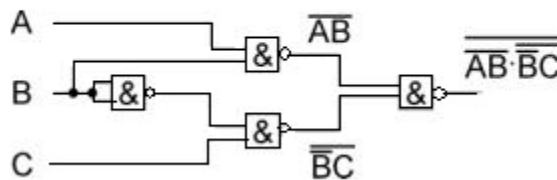
$$F = AB + \overline{B}C = \overline{\overline{AB} + \overline{\overline{B}C}} = \overline{\overline{A+B} + \overline{B+C}}$$



2.38. ábra NOR kapus megvalósítás

A NAND kapus megvalósítás (2.39. ábra):

$$F = \overline{\overline{F}} = \overline{\overline{\overline{AB} + \overline{\overline{B}C}}} = \overline{\overline{AB} \cdot \overline{\overline{B}C}}$$



2.39. ábra NAND kapus megvalósítás

2.9.8. Logikai függvények kanonikus (normál) alakjai

Ugyanaz a logikai függvény több formában is megadható. Az egyértelműség kedvéért célszerű olyan felírási módot követni, amely esetén egy bizonyos függvény csak egyféleképpen írható le, és ha két függvény különböző, az alakjuk is biztosan különbözik. Ha mindez teljesül, a függvény kanonikus alakjáról beszélünk.

Diszjunktív kanonikus (normál) alak

Egy logikai függvény diszjunktív kanonikus alakban történő felírásakor az alábbi formai szabályok érvényesek:

- a függvény szorzatok összege,
- a szorzatokban valamennyi bemeneti változó negált vagy ponált alakja szerepel,
- a kimenet értéke 1, ha bármely szorzat eredménye 1.

Például egy 3 változós függvény diszjunktív kanonikus alakja a következő:

$$F = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C + A \cdot \bar{B} \cdot C + A \cdot B \cdot \bar{C} + A \cdot B \cdot C$$

A fenti szorzatokat mintermeknek nevezzük. Létezik egy speciális jelölésük: m_i^n , ahol n a független változók száma, i a változókombinációt jelölő bináris szám decimális értéke.

A fenti függvény felírása mintermekkel:

$$F = m_1^3 + m_5^3 + m_6^3 + m_7^3 \quad \text{rövidített felírással} \quad F = \sum (1,5,6,7)$$

Konjunktív kanonikus (normál) alak

Egy logikai függvény konjunktív kanonikus alakjának felírási szabályai a következők:

- a függvény összegek szorzata,
- az összegekben valamennyi bemeneti változó negált vagy ponált alakja szerepel,
- a kimenet értéke 1, ha minden összeg eredménye 1.

$$\text{Például: } F = (\bar{A} + \bar{B} + C) \cdot (\bar{A} + B + \bar{C}) \cdot (\bar{A} + B + C) \cdot (A + \bar{B} + \bar{C})$$

A fenti összegeket maxtermeknek nevezzük. Jelölésük: M_i^n ahol n a független változók száma, i a változókombinációt jelölő bináris szám decimális értéke. A fenti függvény felírása maxtermekkel: A fenti függvény felírása maxtermekkel:

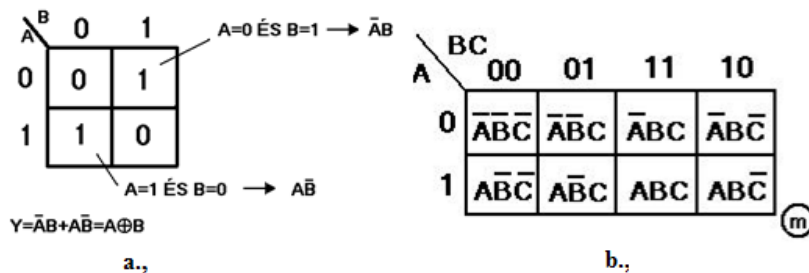
$$F = M_1^3 \cdot M_2^3 \cdot M_3^3 \cdot M_4^3 \quad \text{rövidített felírással} \quad F = \pi (1,2,3,4)$$

2.9.9. Logikai függvények grafikus minimalizálása

Mint az korábban kiderült, az algebrai egyszerűsítés sikere nagyban függ a számítást végző gyakorlatától, vagy attól, hogy éppen mennyire tud az adott feladatra koncentrálni. A következőkben ismertetett módszer ezeket az emberi tényezőket küszöböli ki.

Grafikus egyszerűsítés

Grafikus egyszerűsítésre a Veitch-Karnaugh (V-K) táblás egyszerűsítést használják. Előnye, hogy gyorsabb, biztosabban jó eredményt adó, kevesebb munkát igénylő módszer. Hátránya, hogy legfeljebb 4 (esetleg 5) változóig használható addig áttekinthető, könnyen kezelhető. A V-K tábla az igazságtáblázat "célszerűen átalakított" változata. Ez a célszerűség abban van, hogy az egyszerűsítési lehetőségek szinte ránézésre nyilvánvalóvá válnak. A változókat a tábla szélein tüntetjük fel, és a hozzájuk tartozó 0 illetve 1 értékek a mellettük lévő sorokra, ill. oszlopokra vonatkoznak. Így minden változó kombinációnak koordináta rendszer-szerűen egy-egy elemi négyzetet feleltetünk meg. A kétváltozós Karnaugh-tábla az ún. minterm tábla, kombinációs szorzatait idézzük fel a 2.40. a. ábrán:

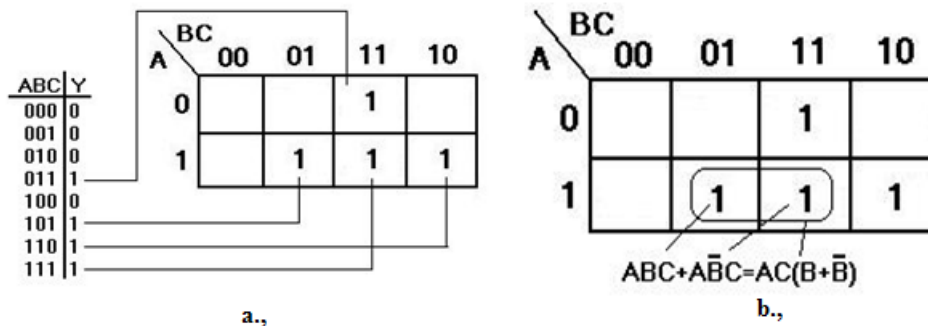


2.40. ábra Karnaugh-tábla¹⁶

Azért, hogy a táblát egyszerűsítésre lehessen használni, a változók területeit úgy kell kijelölni, hogy a mintermek szomszédosak legyenek: az egymás melletti sorok vagy oszlopok csak egyetlen változóban térjenek el egymástól (nem lehet például az egyik oszlopban két változó valódi értékű, a mellette lévőben pedig mindkettő negált értékű). Ezen elvek alapján a háromváltozós Karnaugh-tábla 8 rekeszű (2.40.b. ábra), a négyváltozós pedig 16 rekeszű.

Mivel a szomszédos oszlopok és sorok csak egy változóban térhetnek el egymástól a számozás nem bináris sorrendű, hanem egylépéses (GRAY) kód szerinti (mivel ilyen kód esetén a szomszédos számok csak egyetlen helyértéken különböznek egymástól).

A logikai függvényeket minterm-táblán úgy ábrázoljuk, hogy a függvény előállításában résztvevő mintermek rekeszébe 1-est (ez jelenti az igazságtáblázat azon sorait, amelyhez $Y=1$ tartozik), a többi rekeszbe pedig 0-t (vagy üresen hagyjuk, itt $Y=0$). A 2.41.a. ábrán egy 3 változós függvény igazságtáblázatának megfelelő Karnaugh-tábla látható:



2.41. ábra Logikai függvény felírás és egyszerűsítés V-K tábla segítségével¹⁷

A **Karnaugh-táblás** egyszerűsítés elve a közös tényező kiemelése. Mivel a széleken a változók koordinátáit egylépéses kódban jelöltük ki, a táblában bárhol két egymás melletti (alatti) cellában olyan mintermek vannak, amelyek “szomszédosak” azaz 1 változó

¹⁶ Forrás: Zsom Gyula: Digitális technika

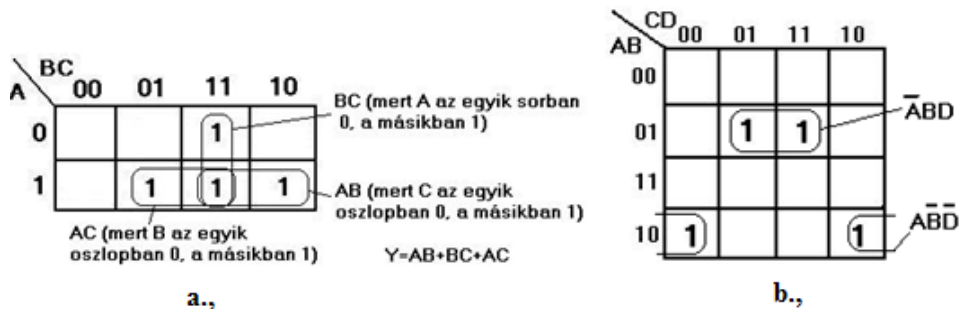
¹⁷ Forrás: Zsom Gyula: Digitális technika

kivételével azonosak. Ezt az azonos részt kiemelhetjük, a megmaradó változó és negáltja pedig "kiesik", ahogyan ez a 2.41.b ábrából pontosan leolvasható:

A szomszédos mintermek összevonásakor természetesen nem írjuk le a teljes azonos átalakítást, hanem az összevonandó 1-eseket egy hurokkal vesszük körül és ezután már csak ennek a huroknak az eredményt tüntetjük fel. A hurok közös jellemzőit leírjuk, ami változik, azt elhagyjuk. A grafikus egyszerűsítésnek ez a nagy előnye. A szomszédos mintermek, vagyis az összevonási lehetőségek azonnal észrevehetők és a (rész) összevonások eredménye azonnal odaírható. Ábránkon látszik, hogy még egyéb egyszerűsítési lehetőségek is vannak – feltéve, hogy a már egyszer felhasznált ABC minterm 1-esét ismételten bevonhatjuk egy másik hurokba is. Egy logikai függvényben egy tagot tetszés szerint ismételtünk az egyszerűsítés érdekében, így a Karnaugh-tábla bármely 1-esét is akárhány hurokba bevonhatjuk.

A 2.42. a. ábrán bejelöltük az összes egyszerűsítési lehetőséget (hurkot) és odaírtuk az eredményét is. Az egyszerűsített függvényt a grafikus összevonások eredményeképpen kapott logikai szorzatok összege adja:

$$Y = AC + AB + BC$$



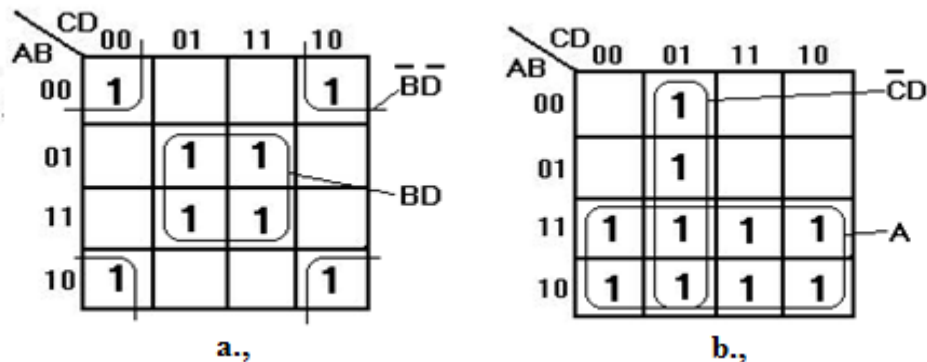
2.42. ábra V-K tábla összevonási lehetőségei¹⁸

Tekintve, hogy a Karnaugh-táblában az egymás melletti rekeszek sor-ill. oszlop irányban szomszédosak, nemcsak 2, hanem – megfelelő egymás melletti alakzatban – 4, 8... stb. szomszédos term is összevonható, de minden esetben 2 egész számú hatványával egyező darabszámú: 2^n $n=1, 2, \dots$

Lehetséges összevonások a Karnaugh-táblában a következők:

- 2 db egymás melletti (egymás alatti) 1-es összevonható. A tábla a széleken összefügg. Egymás mellettinek ill. alattinak számítanak a sorok, ill. oszlopok két végén levő 1-esek is. Ilyenkor 1 változó kiesik (2.42.b. ábra).
- 4db négyzet alakban elhelyezkedő 1-es összevonható (mivel az egymás melletti és alatti 1-esek szomszédosak). A négy sarokban lévő 1-es is négyzet alaknak számít. Ilyenkor két változó esik ki (2.43. ábra).
- Teljes sorok valamint teljes oszlopok összevonhatók (2 változó esik ki) 2.40. ábra

¹⁸ Forrás: Zsom Gyula: Digitális technika



2.43. ábra 4 és 8 minterm összevonása V-K táblában¹⁹

- Két szomszédos teljes sor vagy oszlop összevonható (8 elem összevonásakor 3 változó esik ki)
- Az egész tábla összevonható, ha egy feladat kapcsán kiderül, hogy valamennyi rekeszben 1-es van, ekkor $Y=1$

Hazardjelenségek kombinációs hálózatokban

A kombinációs hálózatokat alkotó kapuk, INVERTEREK jelkésleltetése egy különleges jelenséget okoz: a hazardot. 3 fajtája van: statikus, dinamikus és funkcionális hazard.

Statikus hazardnak nevezzük azt a jelenséget, ha egy kétszintes logikai hálózat bemenetén egy változó jelet vált, s annak ellenére, hogy mindkét értékhez azonos kimeneti érték tartozik, a jelváltás hatására mégis fellép egy rövid idejű hamis kimeneti érték.

A **dinamikus hazard**, csak három vagy többszintű kapuhálózatokban alakulhat ki, és azokban is csak akkor, ha a hálózatnak van kétszintes, hazardos részlete. A dinamikus hazard úgy jelentkezik, hogy amikor a hálózat egy bemenő jelének szintváltása a kimeneten szintváltást idéz elő, a kimeneten a szintváltás többszörös átmenet után jön csak létre. A dinamikus hazard elleni védekezés egyszerű – meg kell szüntetni a hazardot a belső, kétszintes részletben.

2.9.10. Sorrendi (szekvenciális) hálózatok

A szekvenciális (sorrendi) hálózatok időfüggő logikai függvényeket valósítanak meg. Jellegzetességük, hogy az áramkör kimenete nem csak a bemeneti jelek állapotától, hanem a bemenőjelek korábbi állapotától is függ. Az áramkör kimenetén megjelenő a kimeneti kombinációt a bemenetek aktuális értékei, valamint a korábban fennállt értékei is befolyásolják.

Attól függően, hogy az állapotváltozás hogyan következik be, megkülönböztetünk:

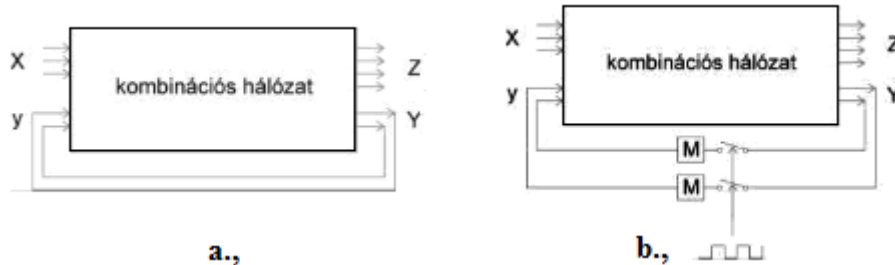
- Aszinkron sorrendi hálózatokat és
- Szinkron sorrendi hálózatokat

Aszinkron szekvenciális (sorrendi) hálózatok

Ha egy kombinációs hálózatot a fentiek (2.44.a ábra) szerint egyszerűen visszacsatolunk, aszinkron sorrendi hálózathoz jutunk, mert az aktuális állapot a bemenő jelek hatására bármelyik pillanatban megváltozhat.

¹⁹ Forrás: Zsom Gyula: Digitális technika

Az **aszinkron sorrendi** hálózat nem órajellel működik, a kimenete csak akkor változik, ha a bemeneti jel változik. Ezért az aszinkron logika gyorsabb, mint a szinkron, mert nem kell várni a következő órajelre, hanem azonnal hatása van a bemeneti jel változásra. Az áramkör sebességét a jelterjedési idő és a logikai kapuk sebessége korlátozza.



2.44. ábra Sorrendi hálózatok

Az aszinkron sorrendi hálózatok működése közben versenyhelyzet fordulhat elő, ha egy logikai elem bemenetére különböző útvonalból jönnek jelek. Ez úgynevezett **hazárdjelenséget** okozhat, amikor az egyik bemenet változása hamarabb okoz változást a kimeneten, mielőtt a másik bemeneti jel odaérne, és hamis kimeneti jelet produkálhat, amit glitch-nek hívnak.

Szinkron szekvenciális (sorrendi hálózatok).

Szinkron szekvenciális hálózatoknál a kimeneti jel állapotváltozása egy ezt engedélyező jel hatására, azzal azonos fázisban zajlik (2.44.b. ábra) Az állapotváltozások, tehát egy periodikus vezérlőjellel (órajellel) szinkronizáltak zajlanak. A szinkron hálózatoknak több előnyük is van: egyrészt nem engedik a hazárdokat visszacsatlódnia a bemenetekre, hogy hibás állapotváltozásokat idézzenek elő, másrészt nem kell foglalkoznunk az olyan instabil állapotokkal, amelyekből azonnal továbbugrik a rendszer, esetleges oszcillációt okozva. Hátrányuk viszont, hogy az órajel ütemére csökken a sebességük

Tárolók

A sorrendi, szekvenciális feladatok megvalósítása elemi tároló áramkörökkel történik. A tároló áramkörök – flip-flop-ok - két stabil állapotú áramköri kapcsolások. A flip-flop-ok két nagy csoportba sorolhatók annak alapján, hogy az információközlést és a billenést ugyanaz, vagy két különböző jel látja el. Ennek megfelelően megkülönböztetünk:

- közvetlen és
- kapuzott vezérlésű tárolókat.

A leggyakrabban alkalmazott flip-flop típusok:

- RS
- JK
- T és
- D típusú flip-flop-ok.

Az egyes flip-flop-ok billentési módja szerint lehetnek:

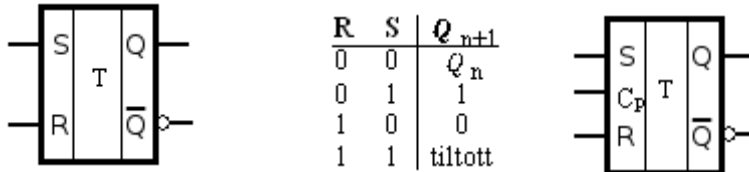
- statikus és
- dinamikus vezérlésű flip-flop-ok

Tároló áramkörök a logikai vezérlés típusai alapján:

R-S tároló

Az RS flip-flop-nak két vezérlő bemenete van, amelyek közül az S jelű (set) és az R jelű (reset) törlő bemenet. A tárolt információ 1, ha a beíró bemenetre (S) érkezik aktív logikai szintű vezérlő jel. A tárolt információ 0, ha törlő bemenet vezérlése aktív. A flip-flop-nak létezik órajellel vezérelt változata is.

A flip-flop áramköri jele és működését leíró igazságtáblázat:



Inverz R-S tároló

Ez a tároló áramkör az RS tároló inverz függvényét valósítja meg.

A flip-flop áramköri jele és működését leíró igazságtáblázat:



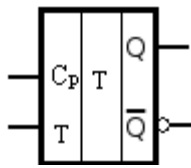
J-K tároló

A JK tároló működése megegyezik az RS tárolóval, azonban az R=1 és S=1 kombinációra - ami az RS tárolónál határozatlan értékű kimenetet eredményezett és ezért tiltott volt - az előző állapot negáltja áll elő a kimeneten. Ebben az esetben a beíró bemenet a J és a törlő bemenet a K. A JK flip-flop az órajel lefutó élére (1-0 átmenetére) billen. A flip-flop áramköri jele és működését leíró igazságtáblázat:



T tároló

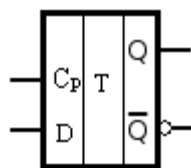
A T tároló (T- trigger, billenés) a J-K tárolóból úgy alakítható ki, hogy a J és K bemeneteket összekötjük. Ekkor T=0 esetben a J=K=0 vezérlésnek (tárolja az előző állapotát) megfelelő, T=1 esetben pedig J=K=1 vezérlésnek megfelelő (ellentétes állapotba billenés) a működés. A flip-flop áramköri jele és működését leíró igazságtáblázat:



T	Q_{n+1}
0	Q_n
1	$\overline{Q_n}$

D tároló

A D (D- Delay) tároló a bemenetére adott információt a kimenetén egy vezérlőjel időtartalmával késleltetve jeleníti meg. Ha a J-K tároló J és K bemenetei közé egy invertert kapcsolunk, akkor a D típusú tároló igazságtáblázatát kapjuk. A D flip-flop az órajel felfutó élére (0-1 átmenetére billen). A flip-flop áramköri jele és működését leíró igazságtáblázat:



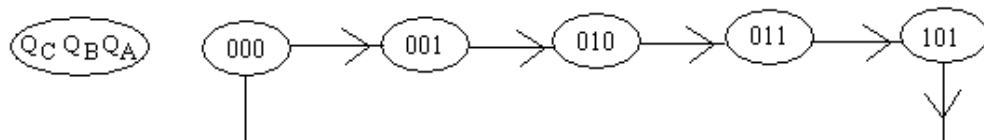
D	Q_{n+1}
0	0
1	1

Egyes áramkörökben szükséges, hogy a flip-flop ne csak órajellel szinkronban működjön, hanem órajeltől függetlenül is lehessen vezérelni. Ehhez a flip-flopokat elsődleges (direkt) beíró (\overline{S}) és törlő (\overline{R}) bemenetekkel látják el.

A sorrendi hálózatok állapotait definiálhatjuk: állapotgráffal (2.45. ábra), ütemdiagrammal vagy állapotábrával.

Az **állapotgráf** a sorrendi hálózatok egymás után felvett kódolt állapotait ábrázolja grafikusán

Pl. egy 3 bites bináris számláló állapotgráfja az alábbi



2.45. ábra Állapotgráf

Az **ütemdiagram** az állapotgráfhoz hasonlóan az áramkör egymás után felvett állapotait tartalmazza. Az idődiagramhoz hasonlít, de itt a jeleknek nem az időbeli lefolyása, hanem az állapotok egymásutánisága lényeges. Ezért elegendő, ha a magas szintet egy vonallal ábrázoljuk, a vonal hiánya pedig alacsony szintre utal.

Az **állapottábla** a szekvenciális hálózatok vezérléséhez szükséges állapotok bináris kódját és az adott átmenethez szükséges flip-flop vezérléseket tartalmazza. A táblába először az órajel felfutó éle előtti (n.) és utáni (n+1) állapotokat írjuk be az állapotdiagram alapján. A kívánt állapot átmenetekhez ezután meg kell határozni a flip-flopok megfelelő billenéséhez szükséges vezérlő jeleket. Pl. Az állapotgráfnak megfelelő működésű számláló állapotábrája JK flip-flop-al megvalósítva.

A JK flip-flop állapot átmeneti táblája:

Q_n	Q_{n+1}	J	K
0	0	0	h
0	1	1	h
1	0	h	1
1	1	h	0

A számláló állapot átmeneti táblája:

n-dik állapot			flip-flop-ok						(n+1)-dik állapot		
Q_C	Q_B	Q_A	J_C	K_C	J_B	K_B	J_A	K_A	Q_C	Q_B	Q_A
0	0	0	0	h	0	h	1	h	0	0	1
0	0	1	0	h	1	h	h	1	0	1	0
0	1	0	0	h	h	0	1	h	0	1	1
0	1	1	1	h	h	1	h	0	1	0	1
1	0	1	h	1	0	h	h	1	0	0	0

Számlálók

A számláló áramkörök (olyan szekvenciális hálózatok), aminek feladata az órajel bemenetére érkező impulzusok megszámlálása és az eredmény megfelelő kódban történő kijelzése a kimeneten. A számlálókat többféle képen csoportosíthatjuk.

Az órajellel történő vezérlés alapján:

- Aszinkron számlálók
- Szinkron számlálók

A számlálás iránya szerint:

- Előre számlálók (Up Counter)
- Hátra számlálók (Down Counter)
- Reverzibilis (előre/hátra) számlálók (Up/Down Counter)

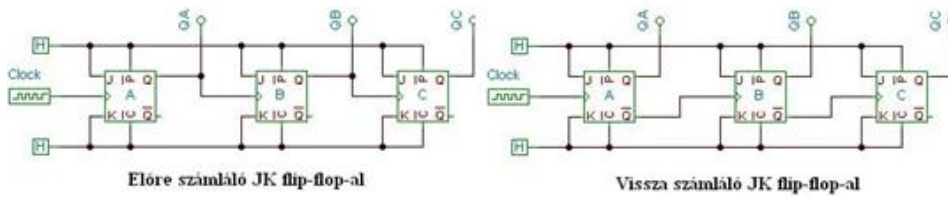
A számlálás kódja szerint:

- Bináris számlálók
- BCD számlálók
- Egyéb kód szerinti számlálók

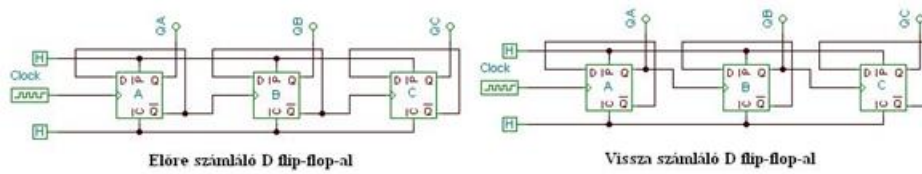
Aszinkron számlálók

Aszinkron számlálóknál a számlálandó órajelet a legkisebb helyértékű tároló kapja a többi tároló az előző flip-flop kimenetéről kapja az órajelet. A flip-flop vezérlésénél biztosítani kell a minden órajelre ellentétes állapotba billenést. A számlálás irányát az határozza meg, hogy milyen élre történik a billenés. Lefutó élnél (1-0) átmenet előre számlálás, felfutó élnél (0-1) átmenet visszaszámlálás történik. Az aszinkron számlálók működése lassú, mert a tárolók késleltetési ideje összeadódik.

Azt, hogy a flip-flopot az előző flip-flop Q vagy \bar{Q} kimenete vezérli a számlálás iránya és az határozza meg, hogy a flip-flop milyen élre billen. Ennek alapján egy 3 bites bináris előre és visszaszámláló megvalósítása látható a 2.46. ábrán JK és a 2.47. ábrán D flip-floppal megvalósítva



2.46. ábra Aszinkron számláló JK flip-flop-al



2.47. ábra Aszinkron számláló D flip-flop-al

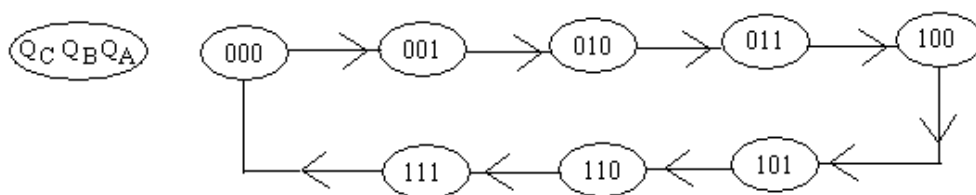
Szinkron számlálók

Szinkron számlálóknál az összes flip-flop ugyan azt az órajelet kapja, így az összes tároló egyszerre billen. A szinkron számlálók gyorsabb működésűek, mivel sebességük egyetlen tároló billenési (késleltetési) idejével egyezik meg. Tervezésének lépései:

- Számlálási állapotok felvétele (állapotgráf)
- Állapotátmeneti tábla felvétele
- Vezérlési függvények felvétele az állapotátmeneti táblából V-K tábla segítségével
- Kapcsolási rajz

A tervezés lépései egy 3 bites szinkron bináris előreszámláló tervezésén keresztül.

Állapotgráf (2.48. ábra)



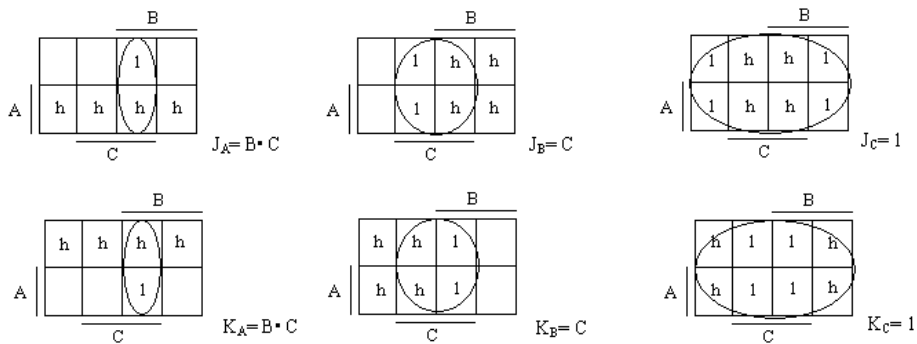
2.48. ábra Szinkron előreszámláló állapotgáfja

Állapotátmeneti tábla (2.49. ábra)

n-dik állapot			flip-flop-ok						(n+1)-dik állapot		
Q_C	Q_B	Q_A	J_C	K_C	J_B	K_B	J_A	K_A	Q_C	Q_B	Q_A
0	0	0	0	h	0	h	1	h	0	0	1
0	0	1	0	h	1	h	h	1	0	1	0
0	1	0	0	h	h	0	1	h	0	1	1
0	1	1	1	h	h	1	h	1	1	0	0
1	0	0	h	0	0	h	1	h	1	0	1
1	0	1	h	0	1	h	h	1	1	1	0
1	1	0	h	0	h	0	1	h	1	1	1
1	1	1	h	1	h	1	h	1	0	0	0

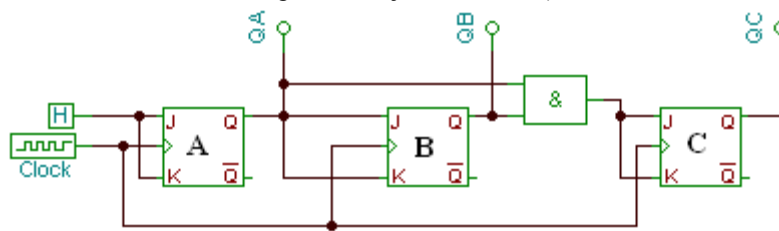
2.49. ábra Szinkron előreszámláló állapotátmeneti táblája

Az állapotátmeneti táblából felírható 3 bites bináris szinkronvezérlési függvényei V-K tábla segítségével (2.50. ábra)



2.50. ábra Szinkron előreszámláló vezérlési függvényi

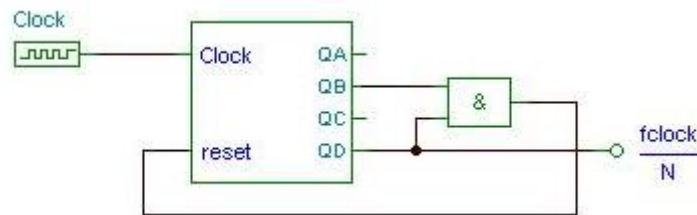
Szinkron 3 bites előreszámláló kapcsolási rajza (2.51. ábra)



2.51. ábra Szinkron előreszámláló kapcsolási rajza

Modulo - N számláló

A számláló kimenetei állapotainak száma csökkenthető, ha a számláló kimenetéről egy aszinkron visszacsatolást hozunk létre (2.52. ábra). Ilyenkor a számláló kimenetét egy kapuáramkörrel figyeljük. A szükséges számlálási állapot elérésekor a kapuáramkör kimenetén megjelenő jel nullázza (alapállapotba hozza a számlálót). A számláló állapotainak számát a számláló N modulusa határozza meg. Ezt a számot kell kikapuzni a számláló kimenetén. Az utolsó felvett számlálási állapot az N-1. A legnagyobb helyértékű kimeneten $f = f_{\text{clock}}/N$ frekvenciájú jel jelenik meg.



2.52. ábra Modulo-N számláló

3. Számítógép alkalmazása az elektronikában

3.1. Mikroprocesszorok, mikrovezérlők és interfész áramkörök

A számítástechnika fejlődése során az elmélet fejlődése, a technológiák kialakulása, az igények változása mind megszabta bizonyos megoldások fejlődését, más számítástechnikai eszközök eltűnését a piacról.

Ahhoz hogy áttekintsünk legyen arról, hogy bizonyos számítógépek mely fejlődési irányt követik, bizonyos tulajdonságokat kell meghatározni a gépeknél, amely tulajdonságok alapján aztán besorolhatjuk a gépet egy-egy csoportba. Sokszor nem egyértelmű ez a csoportosítás, de az is gyakran előfordul, hogy más szempontok előtérbe helyezése más csoportba sorolja a gépeket.

Néhány csoportosítási szempont:

- a műveleti sebesség: időegység alatt feldolgozott műveletszám, ahol használatos a MIPS (Millions of Instructions Per Second – hány millió utasítást hajt végre a gép egy másodperc alatt), a MOPS (Millions of Operations Per Second – hány millió műveletet hajt végre a gép egy másodperc alatt) és az MFLOPS (Millions of Floating Point Operations Per Second - hány millió lebegőpontos aritmetikai műveletet hajt végre a gép egy másodperc alatt) mértékegység.
- órajel frekvencia: a gép órajele szinkronizációs feladatok elvégzése mellett biztosítja a párhuzamosan végrehajtható műveletek egymásmellettségét, de nem utolsó sorban korlátozza a számítógép legnagyobb működési sebességét. Jelenleg ez az adat néhány MHz frekvenciától az 1 GHz-ig terjed (adat 2000-ben).
- az áramköri egységek, elemek technológiája: olyan tényező, amely az egyes egységek, de a teljes gép működési sebességét, megbízhatóságát, fogyasztását, méretét, tervezési, gyártási folyamatát, a használhatóság hőmérsékleti tartományát stb. megszabja.
- a külső és a belső rendszer szélessége, felépítése: vagyis a párhuzamos, egyidejűleg átvihető adatszélesség.

- utasítások, műveletek időbeli átlapolhatósága: párhuzamosan a műveletek, vagy azok részei hogyan hajthatók végre.
- szóhosszúság: utasítás végrehajtáskor mekkora az a szóhosszúság, amit a gép egyszerre, párhuzamosan kezel.
- memória-sebesség: a memória ciklusideje és a rendszer szélessége.
- perifériák-sebessége: a memóriák adatátviteli sebessége, amely a perifériák működési sebességétől, valamint a perifériavezérlők kapacitásától függ.

Ha a számítógépeket sebességük és teljesítőképességük alapján szeretnénk csoportosítani, akkor azt is figyelembe kell venni, hogy a gyors fejlődés miatt az egyes paraméterek olyan mértékben változnak, hogy a még nemrég nagygépek számítógép paramétereit messze túlszárnyalja egy közepes gép, amely új termékként jelentkezik. Három csoportot különböztethetünk meg:

- nagy gépek (mainframe vagy super computer): ezek igen nagy műveleti sebességgel, nagy kapacitású tárolóval és nagy teljesítményű perifériákkal rendelkező gépek. Fő alkalmazási területük a sok adat feldolgozása, vagy a nagybonyolultságú, pl. tudományos számítások. Mivel teljesítményük igen nagy, ezért a rajtuk futó operációs rendszer is nagy teljesítményű, sok felhasználó számára teszi lehetővé az egyidejű géphez férést. Igen gyakran teljesítményük miatt számítógépes hálózatok központi gépeként szerepelnek.
- közepes (mini) gépek: a nagygépek teljesítménye, memóriakapacitása és periféria száma, bonyolultsága alatt helyezkednek el. Kevesebb adattal, kevesebb felhasználóval dolgoznak. Különösen előnyös használatuk az iparban, ahol folyamatvezérlési, adatgyűjtési és termelésirányítási feladatok végzésére kiválóan alkalmasak. Ha munkaállomások kapcsolódnak a mini számítógéphez, akkor ezen különböző CAD programok futhatnak, térinformatikai problémákat lehet velük hatásosan megoldani.
- kis gépek (mikroszámítógépek): sokszor önállóan alkalmazott igen egyszerű gépektől kezdve hálózatba kötött munkaállomásokig terjed ezen gépek kategóriája. Amikor egyszerű feladatok elvégzése a cél, akkor igen hatásosan alkalmazhatóak önálló vezérlőként, adatgyűjtő, szabályozó, irányító berendezésekben helyi adatfeldolgozó, átalakító egységeként. Komolyabb változataik személyi számítógépként munkahelyen, otthon igen széles feladatkört látnak el. Kapcsolhatók hálózatba, gyakorlatilag az Interneten keresztül a világra kiterjedő igen bonyolult rendszer részei.

Abban az esetben, ha a számítógépnél az ún. utasításfolyamot és adatfolyamot vizsgáljuk, akkor más csoportosítást kapunk. A kezelt folyamatok száma alapján a következő négy csoportot kapjuk, ahova a bonyolultabb számítógép architektúrák is besorolhatók:

- **SISD** (Single Instruction Stream Single Data Stream): egy utasításfolyamhoz egy adatfolyam párosul. Ezekben a processzorokban (tehát számítógépekben) csak egy vezérlő egység és egyetlen egy aritmetikai egység található. Ez azt jelenti, hogy egyszerre csak egy utasítás végrehajtására képesek. Tulajdonképpen a Neumann elvű gépek tartoznak ide.
- **SIMD** (Single Instruction Stream Multiple Data Stream): egy utasításfolyam mellett több adatfolyam végrehajtása. Itt egy vezérlő egységhez több aritmetikai egység párosul. Egy utasítás végrehajtására kerül sor több adaton, természetesen egyidőben. Ide sorolhatók a vektor- és tömbprocesszoros gépek.

- **MISD** (Multiple Instruction Stream Single Data Stream): tehát több utasításfolyam mellett egy adatfolyam van, ezek a gépek nem léteznek, néha ebbe a csoportba soroljuk a pipeline feldolgozást alkalmazó gépeket.
- **MIMD** (Multiple Instruction Stream Multiple Data Stream): több utasításfolyam és több adatfolyam jellemze a csoportba tartozó gépeket, amik a különböző multiprocesszoros megoldások, vagyis több processzort tartalmazó számítógépek.

A nagy gépek és a mikrogépek között a következő különbségek fedezhetők fel:

- a nagy gépek teljesítménye, perifériáinak száma nagyobb, de a perifériák teljesítménye is lényegesen meghaladja a mikrogépek perifériáinak teljesítményét,
- a nagy gépek processzora több chipből áll, a mikrogépeknél a vezérlőegység és aritmetikai egység egy tokban helyezkedik el,
- a nagy gépekhez alkalmazott perifériák megbízhatósága, teljesítménye lényegesen nagyobb, mint a mikroszámítógépeknél alkalmazottaké és
- a mikrogépek egy házban elhelyezett berendezések, a nagy gépek ellenben szekrény, több szekrény méretűek is lehetnek.

Közös a nagy gépeknél és a kis gépeknél, hogy mindkettő nagy integráltsági fokú elemekből (VLSI) épül fel.

3.1.2. Mikroprocesszorok utasításkészlete

A mikroprocesszorok összehasonlításánál fontos elemezni a géphez tartozó utasításkészletet, ennek lehetőségei hozzájárulnak egy gép hatékonyságához.

Az utasításkészlet jellemzésére használhatók a következő kritériumok:

- az elemi utasítások száma, valamint az utasítások tartalma, vagyis milyen feladatot oldanak meg. Ha egy utasításkészlet több utasítással rendelkezik, akkor az adott processzor is sokoldalúbban használható fel. Igaz, ilyenkor a programozó a sok utasítás közül egyeseket gyakrabban, másokat ritkábban, de vannak olyanok is, amelyeket egyáltalán nem használ. Ez azt jelenti, hogy a chip gyakorlatilag felesleges információt tartalmaz. Ha egy utasítás összetett feladatokat képes elvégezni, csökken a program hossza, de a feldolgozási idő nő az összetett utasítások miatt.
- az utasításokkal kezelhető feltételek száma hatékonyabbá teszi a lefordított programot, igaz a fordítóprogramot megbonyolítja.
- mennyire egységes a különböző utasításoknál a feltételek kezelése, címzési módok alkalmazása, vagyis minél kevesebb kivétel legyen.
- mennyire támogatja az utasításkészlet a programozást, a programok fordítását és a programok ellenőrzési lehetőségét. Tulajdonképpen ez azt jelenti, hogy a gyakran előforduló feladatnak, lépésnek legyen utasítása. Fontos, hogy a forrásprogramot a fordító egyszerűen tudja gépi kódra lefordítani. Elvárható, hogy az utasításkészlet tartalmazzon olyan utasításokat, melyek alkalmasak a program futási állapotának, a gép egyes részeinek működés közbeni ellenőrzését.

Nincs szabály arra, hogy milyen utasításkészletet kell kialakítani egy-egy hardver megoldáshoz, de az évek során felhalmozott tapasztalati tények többé-kevésbé behatárolják azon feladatokat, amiket egy adott processzornak meg kell oldani. Így kialakult két típusú utasításkészlet:

- az összetett utasításkészlet (**CISC** Complex Instruction Set Computer) és
- a csökkentett utasításkészlet (**RISC** – Reduced Instruction Set Computer).

Ha elemezzük az utasításkészletek kialakulását, észre kell venni, hogy a számítástechnika indulásakor egyszerű és kevészámú utasítás jellemzett egy-egy processzort, tehát RISC típusú utasításkészlettel rendelkeztek a gépek. A hardver fejlődése, a programozási technikák, az igények a fejlődést a CISC típusú utasításkészlet megalkotására kényszerítették. Ugyanakkor a hatékony szoftvertechnikák, fordítóprogramok fejlődése visszahatott a hardver fejlesztésre is és igen hatásos RISC architektúrák kialakulását tették lehetővé.

Az utasítások

Minden számítógép más és más utasításokkal oldja meg az elemi feladatokat. Az utasításkészlet kialakításánál a tervezéskor a következő tényezőket kell figyelembe venni:

a programtárolás gazdaságossága,

- az utasítás átmásolása az operatív memóriából a központi egységbe,
- az utasításon belül a műveleti kódra fenntartott mező nagysága akkora kell, hogy legyen, hogy a kívánt számú utasítás kódolható legyen és
- a címezhető memória nagysága.

Egy feladat lépéseit utasításokkal adjuk meg, vagyis a **mikroszámítógépen** belül létrehozható elemi lépések egymásután való elhelyezésével programot írunk, beírjuk a memóriába. A bináris alakban tárolt programot különböző segédprogramokkal hozhatjuk létre. Egy utasítás általános alakja:

műveleti kód	címzési mód	cím / adat
--------------	-------------	------------

A **műveleti kód**, mint az utasítás többi része is, kettes számrendszerben megadott információ, ami meghatározza a végrehajtandó feladatot. Az utasítás harmadik mezőjében levő **cím/adat** információ határozza meg a műveletben szereplő adatot, vagy annak helyét:

a)

műveleti kód

b)

műveleti kód	adat
--------------	------

c)

műveleti kód	cím
--------------	-----

d)

műveleti kód	az eredmény címe	az 1. operandus címe	a 2. operandus címe
--------------	------------------	----------------------	---------------------

e)

műveleti kód	az 1. operandus címe / az eredmény címe	a 2. operandus címe
--------------	--	---------------------

f)

műveleti kód	az operandus címe
--------------	-------------------

3.1.3. Mikroprocesszor architektúra

Az előző pontban tárgyalt utasítás meghatározza a modell (illetve a valódi mikroprocesszor) több fontos alkotóelemét, annak méretét. Az 1 bájtos szervezés nemcsak az operatív tár szóhosszúságát korlátozza 1 bájtra, de a regiszterek, belső sínek méretét is megadja, ami 1 bájt, illetve ennek többszöröse, például 2 bájt.

Az egyszerűsített modell ábráján a legfontosabb, nélkülözhetetlen részek láthatók. Felépíthető más modell is, ettől eltérő struktúrával, de az is hasonlítani fog az itt tárgyalt modellhez.

Vizsgáljuk meg először a modell **A** jelzésű **akkumulátorát**. Látható, hogy a belső sín szóhosszúságával megegyező méretű, feladata pedig egy műveletben szereplő operandus ideiglenes tárolása. A mikroprocesszorok általában egy akkumulátort tartalmaznak, de vannak kettő, vagy több akkumulátort tartalmazó processzorok is. Szerepe főleg az aritmetikai és logikai műveleteknél van, de a perifériákkal való adatcserében is főszerepet játszik.

A **PC** jelzésű **programszámláló** (program counter) a következő ciklusban végrehajtásra kerülő utasítás címét tartalmazza. Itt vegyük figyelembe azt, hogy bizonyos mikroprocesszorok a különböző utasításokat 1, vagy több bájton tárolják, így a **PC** tulajdonképpen mivel bájtokat címez, van, amikor műveleti kódra mutat, van, amikor a cím, vagy adat egy-egy bájtjára. Látható, hogy szóhosszúsága kétszerese a belső sín, tehát a rendszer szóhosszúságának. Ennek oka az, hogy egy bájt mindössze 256 tárhely címzését teszi lehetővé. Logikus PC szóhosszúságának növelése a bájtok hozzáadásával, adatátvitelnél továbbra is bájtok átvitele történik. 2 bájtot használva a PC-hez 65536 tárhely címezhető az operatív memóriában, ami egy elfogadható program és adattárolást tesz lehetővé.

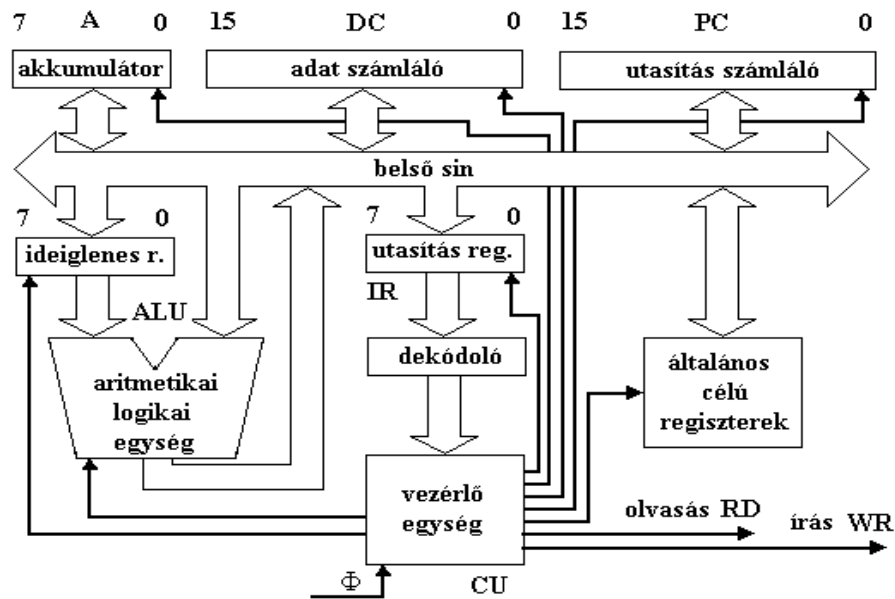
Az operatív tárban elhelyezkedő adatok címzését a **DC adatszámoló** (data counter) végzi, amely szintén 2 bájtos.

Az **IR utasítás regiszter** (instruction register) a műveleti kód tárolását végzi, az itt tárolt kód kerül egy **dekódoló áramkör** segítségével a **vezérlő egységbe**.

Az utasítás végrehajtása két fázisban történik:

- **előkészítés** (fetch) – másképpen utasítás kihozás és
- **végrehajtás** (execute).

Minden előkészítés-fázis úgy történik (ez érvényes a gép bekapcsolása után is), hogy a vezérlő egység a benne tárolt mikroprogram segítségével, szinkronban a Φ **külső órajellel** önállóan végrehajt néhány lépést. Ennek a célja az, hogy megszerezze az aktuális utasítás gépi kódját, megtudja, hogy mi a feladata.



3.1. ábra: mikroprocesszor felépítése²⁰

A mikrogép bekapcsolásakor egy áramkör kezdő helyzetbe hozza a mikroprocesszor több egységét, regiszterét. Ilyen regiszter többek között a **PC programszámláló** is. Ennek kezdőértéke **0000h** lesz, ami egyúttal azt is jelenti, hogy az első utasítás az operatív tárban ezen a címen kell, hogy elhelyezkedjen. A vezérlő egység a **PC** tartalmát a belső sínen keresztül kiküldi a processzor címsíinjére (6.4. ábra). Az egyszerűsített modellen nem látszik minden részlet, mivel **PC** 16 bites, a **belső sín** pedig 8 bites, ezért értelemszerűen ez csak két részletben, bájtanként történhet meg. A parancs a művelet végrehajtására a vezérlő egység és a **PC** közötti úgynevezett **belső vezérlő vezeték**en keresztül kerül **PCA** mikrogép mikroprocesszor és operatív memória között elhelyezkedő **dekódoló** áramkörre felismeri a cím alapján a címzett memóriarekeszt, majd a vezérlőegység egy **külső vezérlő vezeték**en keresztül **RD olvasási parancsot** küld a memóriá felé. Ennek eredményeként a memória a **külső adatsínre** helyezi a **PC** által címzett memóriarekeszben található adatot, ami műveleti kód. Ez a műveleti kód ezek után bekerül a mikroprocesszor belső sínjére, ahonnan a vezérlő egység egy következő lépésben egy belső vezérlő jel segítségével az **IR utasítás regiszterbe** irányítja. Ekkor befejeződött az előkészítés, a vezérlő egység ettől a pillanattól kezdve már nem önállóan dolgozik, hanem értelmezi a műveleti kódot és mikroutasítások sorozatával belső és külső vezérlőjeleket állít elő. Ezek a vezérlő jelek irányítják az adatáramlást a mikroprocesszoron belül, illetve a mikrogépen belül. Attól függően, hogy az utasítás milyen feladatot hajt végre a mikroprogram különbözik, például csak processzoron belüli utasítás gyorsabb, mint az operatív memóriába való adatküldés, ahol szükséges a vezérlőegységnek az utasításban szereplő címet is bekérnie az adatszámolóba.

Memória kiszolgálás, memória illesztés

²⁰ Forrás: dr. Ajtonyi István: Digitális rendszerek

Permanens táruk (ROM – *Read Only Memory*)

Maszkprogramozott permanens táruk. A tartalmát a gyártó cég a gyártási folyamat során határozza meg. A felhasználók többé már nem módosíthatják a ROM-ok tartalmát. A tárukba beírt információk meghatározott szabványos feladatok elvégzésére használhatók: például: kódátalakításra, karaktergenerálásra, zsebszámológépek számára.

Programozható permanens táruk (PROM – *Programmable Read Only Memory*)

A PROM-ba beírt információkat a felhasználó szabhatja meg, azonban csak egy alkalommal programozhatók. Más néven Fusible PROM is nevezik mivel a programozáskor olvadó biztosítékokat égetünk ki. Ez a folyamat már nem fordítható vissza, ezért csak egyszer programozhatjuk.

Törölhető, programozható táruk (EPROM – *Erasable Programmable Read Only Memory*)

Az adatok törlése ultraibolya fényrel történő megvilágítás során történik, míg a programozás elektromos töltések injektálásával. Az adatok nem törölhetők szelektíven, csak a tár teljes tartalma törölhető. A törlés során minden információbitet felülírunk logikai 0 vagy 1 értékkel.

Hátrányuk az, hogy a törlési folyamat időigényes és az újírások száma korlátozott.

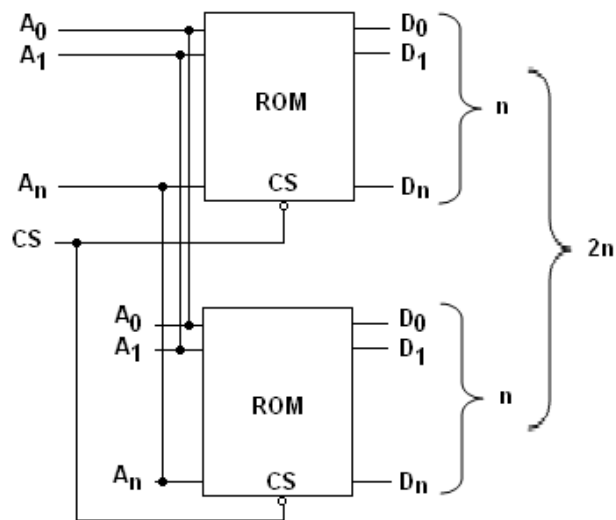
Elektromosan törölhető és újraprogramozható táruk (EEPROM – *Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*)

Ezen táruk esetén az EPROM-okkal szemben a törlés elektromos úton történik. Ugyanakkor lehetőség van a tár teljes tartalmát vagy csak egyes szavakat törölni. A RAM (Random Access Memory) típusú memóriákhoz képest a beírás és a törlés igen időigényesek. A lehetséges törlési folyamatok száma korlátozott kb. 10⁴-10⁶-ra. Ezért a gyártó cégek olyan lapokat gyártanak, amelyen egymás mellé van helyezve egy RAM és egy EEPROM típusú tár. Így az EEPROM-ból az adatok a rendszer indításakor a RAM-ba másolódnak, működés közben a RAM-hoz gyors a hozzáférés, és a kikapcsoláskor lementődnek az adatok az EEPROM-ba.

Memóriák kapacitásának bővítése

A tárolt szavak hosszának növelése

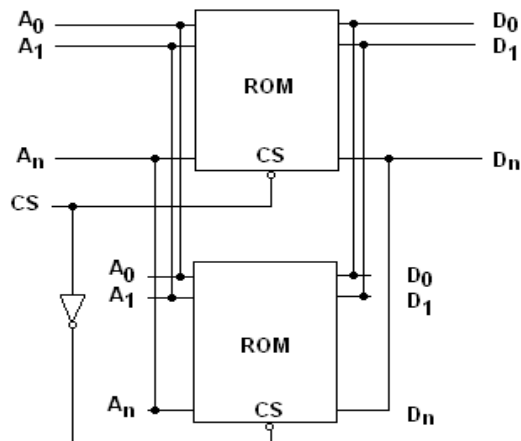
A 3.2 alábbi ábra szerint kapcsolva két memória modult, kiterjeszthetjük (pontosabban megduplázzuk) a tárolt szavak hosszát. A címbiteket összekötve, mindkét tár esetében ugyanazt a memóriahelyet címezzük meg. Vigyáznunk kell az adatok feltöltésénél, hogy a megfelelő memóriahelyekbe ugyanaz az információ legnagyobb n helyértékű bite illetve legkisebb n helyértékű bite kerüljön.



3.2. ábra: tárolt szavak hosszának növelése

A tárolt szavak számának növelése

A 3.3. ábrán lévő kapcsolást használva a tárolt szavak számát duplázzhatjuk meg. A CS (*Chip Select*) bit lesz az új címbit. A kimeneteket összeköthetjük, mert a két tár nem lehet egyszerre aktív.

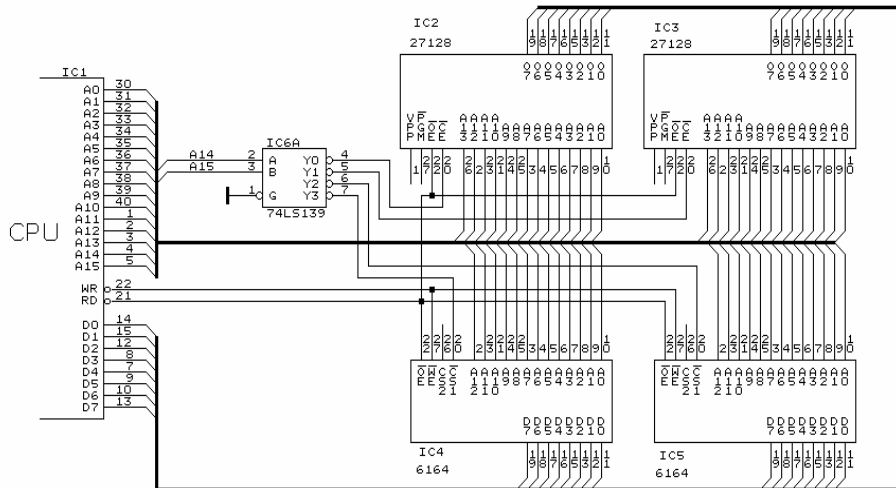


3.3. ábra: tárolt szavak számának növelése

A 3.2 és 3.3 ábrákon bemutatott kapcsolások egyszerre is használhatók, így kibővíthető mind a szavak hossza, mind a szavak száma. Ugyanakkor a kapcsolások kiterjeszthetők tetszőleges számú memória modulra is.

Memória illesztése mikroprocesszorhoz

A mikrogepekben különböző típusú, illetve kapacitású memória tokok vannak. Ezek elérése a CPU felől az eltérő címük alapján történik. A 3.4 ábra szemlélteti a különböző memóriák címzését, illesztésüket a CPU -hoz.



3.4. ábra: memória és mikroprocesszor kapcsolata²¹

Az ábra szerinti példán a CPU -hoz (IC1) két 27128 típusú EPROM (IC2, IC3), és két 6164 típusú RAM (IC4, IC5) illeszkedik. Az egyes memória tokok kapacitása címbitek száma alapján állapítható meg.

Az EPROM kapacitása 16 kBájt, mivel 14 címvezetékekkel (A0 ... A13) választható egy memória egység a tokon belül.

$$k = 2^{14} = 16\,384$$

A RAM -nak 13 címvezetéke (A0 ... A12) van, tehát a kapacitása 8 kBájt.

Az egyes tokok közötti választást a nem használt címbitek kombinációi alapján lehet kialakítani. A példában az A15, és az A14 bitek négy kombinációját állítja elő az IC6 jelű dekódoló (SN74LS139). A kapcsolásban használt négy memória tok címzési tartományait foglaltuk össze a következő táblázatban. A tokon belüli címzéshez használt címbitekhez írt x jelenti azt, hogy az 0, vagy 1 értékű is lehet. A RAM -nál az A13 bit nincs felhasználva sem a tokon belüli, sem a tokok közötti választáshoz, ezért ezt n -el jelöltük. Mivel a bit mindkét lehetséges értékénél ugyanaz a tok érhető el, ezért nem teljes a dekódolás. Amikor ez nem okoz hibát, az ilyen dekódolás megengedett, mert kevesebb áramkört alkalmazhatunk.

Példa memória illesztésre

Feladat:

2 db 2764 EPROM és 1 db 5564 statikus RAM illesztése 8085 processzorhoz.

Elemkészlet:

²¹ Forrás: Zalotay Péter: Digitális technika II.

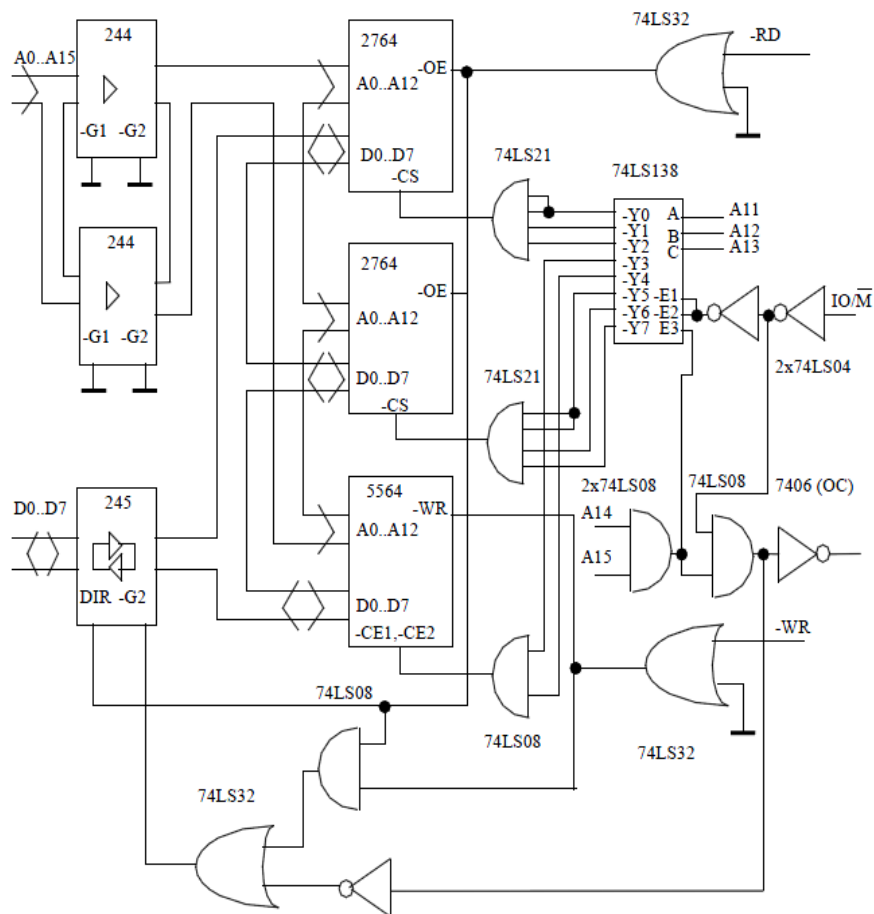
Sorozat:	Belső elemszám:	Funkció:
74LS00	4	2 bemenetű NAND
74LS02	4	2 bemenetű NOR
74LS04	6	inverter
7406	6	OC inverter
7407	6	OC meghajtó
74LS08	4	2 bemenetű AND
74LS21	2	4 bemenetű AND
74LS32	4	2 bemenetű OR
74LS244	2x4	TRI STATE meghajtó
74LS245	1x8	kétirányú TRI STATE meghajtó
74LS373	1x8	DG flip-flop

Memória kiosztás:

EPROM1:	C000h...D7FFh (6kb!)
RAM:	D800h...E7FFh
EPROM2:	E800h...FFFFh (6kb!)
Busz:	A0..A15 címbusz (a címtárolás megtörtént) D0...D7 adatbusz
SRAM:	nincs -OE vezérlőláb
megoldási lehetőségek:	-RD és -WR bele van kapuzva a RAM engedélyezésébe -leválasztó buffert alkalmazunk az adatbuszon ('244/'245)

Megoldás:

1. a felső 16 kB $A_{14} * A_{15} * \overline{IO/M} = CS$
2. a dekódolt 16kB-ot 8 db 2 kB-os blokkra osztjuk, majd ebből:
 - az első 3 EPROM
 - a második 2 RAM
 - a harmadik 3 EPROM
3. 74LS245 irányát -RD adja meg,
4. 74LS245 engedélyezése $-G = -RD * -WR + -CS$
5. a buszon csak egységnyi terhelés lehet, ezért 74LS244, 74LS32, 74LS04 áramköröket mint meghajtót alkalmazunk.



3.5. ábra: memória illesztés

3.1.4. Bemeneti és kimeneti interfészek, perifériák

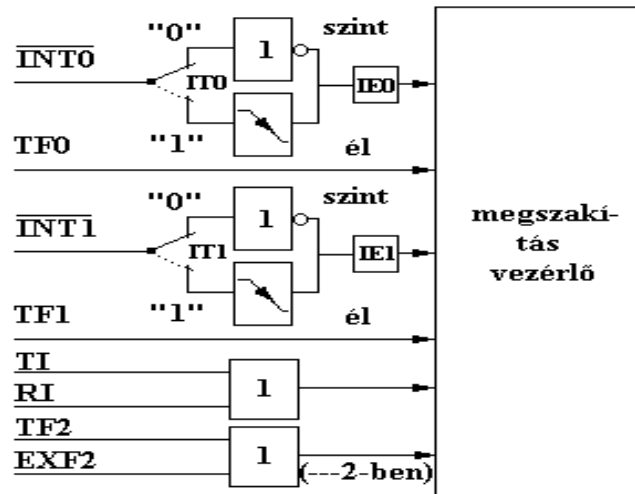
A mikrogép alapfeladata a bemeneti jelek beolvasása, feldolgozása és a kapott eredmények, vezérlőjelek visszajuttatása a folyamatba, emberhez, illetve másik géphez, gépekhez. Ebben a folyamatban fontos szerepet játszik a mikrogép és perifériális egységek közötti adatáramlás. Ilyen perifériális berendezés a billentyűzet, képernyő, egér, jelfogó, léptetőmotor, vagy az analóg jelek beolvasását lehetővé tevő A/D átalakító, stb.

Az I/O perifériális eszközök LSI technológiában megvalósított eszközök, amelyek rendszerint programozhatóak. Függetlenül attól, hogy mint önálló chipek képezik egy mikrogép építőelemét, vagy szerves részét alkotják egy mikrovezérlőnek, működési elvük, felépítésük ugyanaz. Esetleg különbség csak ott van közöttük, hogy addig, amíg a mikrogépnél a tervezőmérnök hozzárendeli egy címhez az eszközt, addig ez a mikrovezérlőn belül már adott, ezen változtatni nem lehet.

A mikrogéphez csatolt I/O perifériális eszköz szerves részét képezi a rendszernek, feltétlenül szükséges használatuk is biztosítani a mikrogép, rendszer összehangolt működését. Ezt teszi lehetővé az **illesztő áramkör**, az **interfész** (interface). A mikrogépekhez az I/O eszközt ugyanolyan logika szerint kapcsolhatjuk hozzá, mint a memóriáknál látott teljes, illetve nem teljes címdekódolás (címkiválasztás) segítségével.

Ezen eszközöknél a programozhatóság azt jelenti, hogy a rendszer indulásakor, vagy működése közben a programozó az állapotszó meghatározásával egy adott üzemmódot állít be, ami szerint működik az eszköz a következő állapotszó változtatásig. Ilyen működési mód például az, hogy az eszköz bemenet vagy kimenet, kérhet-e megszakítást a mikroéptől stb.

A mikroprocesszoros architektúrák adatforgalmának és periféria kiszolgálásának automatizmusát a megszakítási rendszer szolgálja ki. Priorálja és időzíti az egyes megszakítási feladatokat. Különbséget tesz a rendszerből és a perifériális vonalakról érkező, speciális regiszterbe íródó kérelmek között.

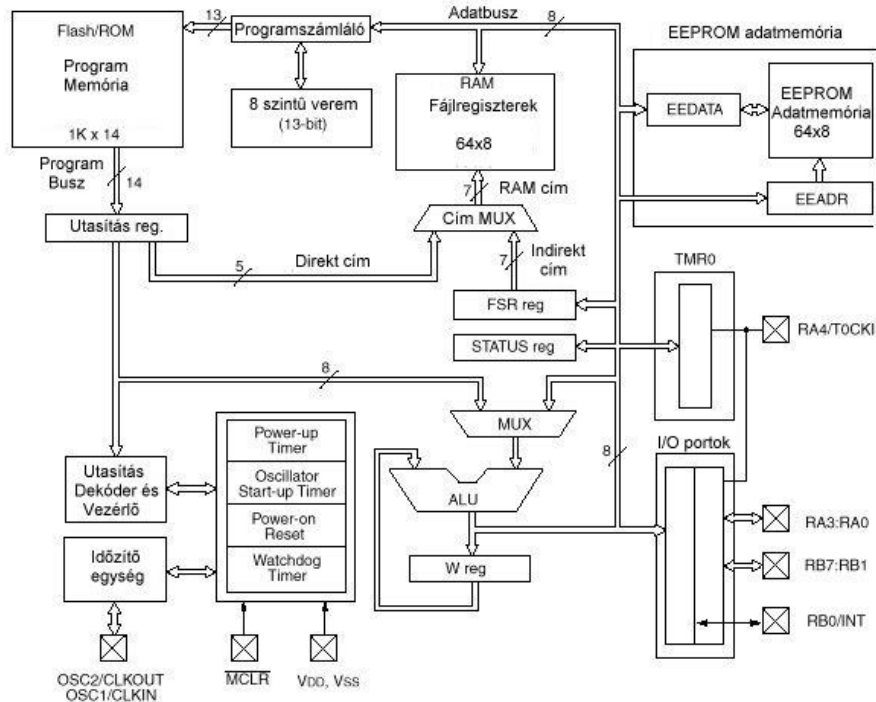


3.5. ábra: megszakításvezérlő vázlata²²

A PIC mikrovezérlők felépítése a mikroprocesszoros architektúra továbbfejlesztése. A rendszer komplex megoldást kínál általános vezérléstechnikai feladatok ellátására, kiszolgálására. Ennek megfelelően, a csatolófelületek és az utasításkészlet támogatja az egyes feladatorientált megoldásokat.

²² Forrás: Matijevics István: Mikroszámítógépek

3.6. ábra: PIC mikrovezérlő felépítése²³



A PIC mikrovezérlők Harvard architektúrával rendelkeznek, ami azt jelenti, hogy az adattár és a programtár külön-külön, egymástól függetlenül kialakított egységet alkot. Az adattár általában 8/16 bites, hagyományos kialakítású, míg a programtár, így az utasítások is optimálisabb felépítésűek lehetnek. Az utasítások hosszán belül, az utasítás típusától függően optimálisan lehet a műveleti kód és adat/cím viszonyát összehangolni. Ezért tömörebbek, több információt tartalmaznak az utasítások a Neumann struktúrájú gépekhez képest.

A PIC memóriaszervezési megoldása két memória blokkot tartalmaz: program memória és adat memória. Mindkét blokk saját busszal rendelkezik, így bármelyik elérhető ugyanazon órajel periódusban. Az adatmemória további két részre bomlik. Az egyik részt az általános célú regiszterek alkotják (general purpose RAM), a másikat pedig a speciális funkciójú regiszterek (SFR- Special Function Register). Ezek a speciális regiszterek állítják be gyakorlatilag a CPU mag és a perifériák működési módját. Az adatmemória területén található a belső EEPROM is. Az EEPROM memória csak indirekt módon az EEADR (cím) és EEDATA (adat) regiszterek segítségével érhető el. Az EEPROM memória írható és olvasható is.

Az I/O portok közül néhány kivezetés multiplexált, azaz több alternatív funkció ellátására alkalmas a különböző készülék perifériák számára. Általános esetben, ha a periféria funkció engedélyezve van, akkor az adott lábat nem használhatjuk általános célú I/O portként. Minden I/O írási művelet egy olvasás-módosítás-visszairás műveletből tevődik össze. Ha egy bitet kétirányú I/O portként használunk és aktuálisan bemenetként

²³ Forrás: Matijevics István: Mikroszámítógépek

definiáltuk, olvasás esetén a CPU beolvassa a bitet és a bithez tartozó adat latch-et felülírja. Amíg bemenetként használjuk ezt a lábat, nincs probléma, azonban, ha később kimenetként definiáljuk az adatregiszter tartalma ismeretlen lesz. Olvasáskor a port tényleges állapotát olvassuk be, íráskor azonban nem közvetlenül a portot, hanem az adattárolókat írjuk. A portokat kimenetként használva, azokat más készülék kimeneteivel összekötve a chip tönkremenetelét idézzük elő.

A PIC rendelkezik Watcdog Timer-rel, amelyet csak a konfigurációs biteken keresztül lehet be- vagy kikapcsolni. A WDT-nek saját belső RC oszcillátora van, ami növeli a megbízhatóságát. A PIC általában két belső időzítővel rendelkezik, amelyek a tápfeszültség bekapcsolásakor játszanak szerepet. Az egyik mindaddig reset-eli a CPU-t, amíg az oszcillátor jele stabil nem lesz. A másik, amely fix késleltetéssel rendelkezik, addig reset-eli a CPU-t, amíg a tápfeszültség stabilizálódik.

SLEEP módban extrém kis fogyasztással bír a chip. A felhasználó külső reset-tel, WDT túlsordulással, vagy megszakítással ébresztheti fel alvó módból a CPU-t.

3.2. Általános PLC ismeret

A cserélhető programtárú vezérlők (PIC) funkcionalitása mellett szükség van a vezérléstechnikában szabadon programozható vezérlőkre is. A PLC (Programmable Logic Control) ennek megfelelően, egy programozható vezérlő készülék mikroprocesszorral (esetleg mikrovezérlővel), ki és bemenetekkel, kommunikációs porttal.

A PLC-ket elsősorban az iparban használják, gépek, berendezések, gyártósorok vezérlésére.

Digitális (két állapotú) és analóg ki és bemenetei vannak, amelyek iparban szabványos jelek fogadására és kiadására alkalmasak. (gyakori digitális jelek: 24V DC, 24V AC, 120/230V AC, gyakori analóg jelek: 0-10V, 0-20mA, 4-20mA, 0-5V, hőelemek, ellenállás hőmérők). A digitális kimenetek közvetve vagy közvetlenül a berendezés beavatkozó szerveire kapcsolódnak. Pl. mágnesszelepek, villanymotorok. A digitális bemenetek a berendezés részeinek állapotáról (végállás kapcsolók, pozíció érzékelők, fotocellák) vagy kezelőszervekről jövő jeleket fogadnak (kapcsolók, nyomógombok).

Az analóg bemenetek mérőjeleket fogadnak (nyomás, áram, feszültség, hőmérséklet, áramlás, stb). Analóg kimenetek alkalmasak fokozatmentes szabályzó-beavatkozó szervek meghajtására (frekvenciaváltók, proporcionális szelepek, fűtőteljesítmény meghatározása, stb).

A PLC legfontosabb tulajdonságai, hogy valamilyen magasabb szintű programozási nyelven programozható, gyakorlatilag minden vezérlésben és szabályozásban használt szabványos ipari jelhez közvetlenül illeszthető, vagy van már kész megoldás az illesztés fizikai megvalósítására. Saját, belső operációs rendszerrel rendelkezik, ami felügyeli a belső perifériákat és a bővítő modulok működését, a kommunikációt (ha van), futtatja a felhasználó vezérlőprogramját és valamilyen szinten kezeli a hibákat.

Felépítését tekintve kétféle PLC-t különböztetünk meg:

- **Kompakt**

Egyetlen készülék, amely tartalmazza a tápegységet, van be és kimenete, kommunikációs csatlakozója. Általában van bővítési lehetőség is, ha a beépített ki és bemenetek száma nem lenne elég. Egy gyártónál is rendszerint sokféle altípusa létezik különböző I/O számmal és fajtával. Kisebb feladatokra használják, ahol kicsi az I/O igény.

- **Moduláris**

A komplett PLC részegységekből (modulokból) építhető fel. Van egy CPU, ami lényegében maga a vezérlő, de ki és bemenetek nélkül. Ehhez lehet különböző tápegységeket, ki és bemeneteket tartalmazó modulokat választani, amelyek egymáshoz csatlakoztatva adják a kész konfigurációt. Ezzel a megoldással a PLC skálázható az adott feladatra. Használható kevés, de nagyon sok ki és bemenet, vagy speciális modul. A közepes és nagyobb teljesítményű PLC-kre jellemző ez a kialakítás.

Az első PLC-k a huzalozott relés vezérlések kiváltására készültek. Ilyen feladatra a mai PLC-k is alkalmasak, de rengeteg további funkcióval is bővültek a generációk fejlődése során. Ilyen funkció pl. az analóg jelek kezelése (szabályozási feladatok ellátására), a speciális ki és bemenetekkel való bővíthetőség lehetősége (pl. számláló bemenet, szervó vezérlő kimeneti modul, PWM kimenet, stb). A PLC előnye már a huzalozott vezérlés helyettesítése esetén is nyilvánvaló, ha a vezérlés bonyolultsága meghalad egy bizonyos fokozatot.

A huzalozott, relés logikai kapcsolatokhoz rengeteg relé kell, a kapcsolási rajz bonyolult, a számtalan kontaktus fokozza a kontakthibák kialakulásának esélyeit. A huzalozott vezérlés működését csak a huzalozás módosításával, lehet módosítani, ami időigényes, a berendezés termelésből való hosszabb kiesésével jár, ami költséges.

PLC alkalmazásával rendszerint a PLC bemeneteire közvetlenül be vannak kötve a gépről és a kezelőtől érkező két állapotú információk. Ezek leggyakrabban mechanikus vagy induktív végálláskapcsolók, nyomógombok, kapcsolók. A PLC kimenetei közvetlenül vagy mágneskapcsolók segítségével a berendezés mozdítását és működtetését végző beavatkozó elemekhez kapcsolódnak (villanymotorok, szelepek, visszajelző lámpák, stb). Az eredetileg relés vezérlés összes logikai kapcsolata a PLC-n belül, szoftveresen, annak programjában jön létre. A program módosítása könnyebb, mint a relés huzalozás módosítása. Előre elkészíthető, a berendezés nem esik ki a termelésből a módosítás miatt (ha a módosítás nem olyan mértékű, hogy magát a gépet is át kell építeni).

A PLC-vel vezérelt berendezéseken a hibakeresés is sokkal könnyebb. Erre a többnyire PC-n futó fejlesztői környezet mindig sok lehetőséget kínál a felhasználónak.

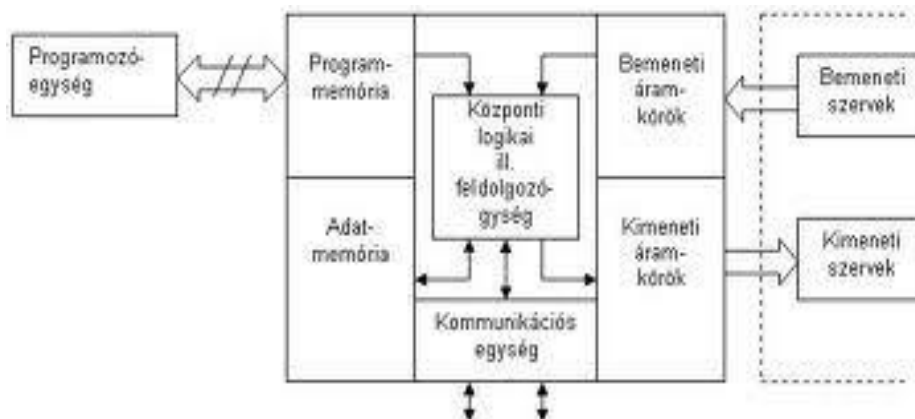
A PLC programozása nem sok hasonlóságot mutat sem a PC-k különböző programozási nyelveivel, sem a mikrovezérlők (pl. PIC) programozásával. Meglehetősen egyedi, a PLC által ellátott feladatra tervezett programozási nyelveket és módszereket használ.

A relés vezérlések kiváltását célzó eredeti elképzelés eredménye egy áramutas rajzhoz hasonlatos, grafikus "programozási nyelv", a létradiagram. A létradiagram elsősorban logikai kapcsolatok leírására való.

A PLC belső operációs rendszere elfedi a felhasználói program elől a hardver igazi mélységeit.

Ennek a megoldásnak az oka elsősorban az, hogy ha valamit nem jól csinálunk (programhiba), akkor nem fagy le a rendszer és a watchdog nem kezdi újraéleszteni csak azért, hogy megint ugyanerre a hibastátuszra fusson, hanem jobb esetben kapunk valamilyen hibáüzenetet, ami segít a hiba azonosításában. Másodsorban pedig nem kell az alacsony szintű rendszerközeli, kötelezően elvégzendő feladatokkal törődnünk, azokat megírunk, elvégzi helyettünk a PLC rendszerprogramja.

A gyártók arra törekednek, hogy a PLC-ket a lehető legkönnyebben lehessen programozni és a lehető legtöbb, általános és specifikus feladatra fel lehessen használni.



3.7. ábra: PLC felépítése²⁴

A PLC fő egységei:

- *Bemeneti egység:* Általában 8 bemenettel rendelkezik, de lehetőség van további bővítő egységek alkalmazására. A bemenetek a külső vezérlő elemekből galvanikusan le vannak választva. A bemenőjel „0”-ról „1”-re való változását minden bemeneten LED jelzi.
Az analóg bemeneti egységek A/D átalakítók segítségével konvertálják digitális kóddá a bemenetre kapcsolt analóg jelet. Az ipari jeltartományokhoz illeszkedve a bemeneti feszültség vagy áramtartomány több lépcsőben változtatható.
A digitális bemeneti egységek feladata olyan jelek értelmezése, illetve illesztése a PLC belső szintjéhez, melyek csak két lehetséges állapotot vehetnek fel.
Az iparban használatos feszültségekhez igazodva megtalálhatóak a választékban egyen- ill. váltakozófeszültséget érzékelő egységek is. A bemeneti egységek feszültségtartománya is széles skálán mozog, a 24 V-os névleges feszültségtől a 220 V-os névleges feszültségig.
- *Központi egység (Mikroprocesszor):* A központi egység (ALU) az alábbi műveletek végrehajtására képes:
 - Logikai műveletek (ÉS, VAGY stb.)
 - Aritmetikai műveletek
 - Időkésleltetés (ON és OFF delay)
 - Tároló műveletek (RS tárolók)
 - Számláló műveletek (előre- és hátraszámlálás)
 - Összehasonlító műveletek
- *Programtároló:* A programtároló tárolja az összes logikai utasítást. Ezen utasítások összességét hívjuk programnak. A programtároló sok ezer tároló cellából épül fel. A tárolt program feladata:
 - Bemenő adatok beolvasása
 - Az adatok logikai összekapcsolása
 - Az adatok kiadása

²⁴ Forrás: Benyó Balázs: Számítógépek architektúrája

- *Átmeneti tároló:* Az összes jelet, mint pl. az érzékelőket, végálláskapcsolók (perifériák) jeleit, amelyeket a programozható vezérlő feldolgoz, a feldolgozás idejére tárolni kell. Hasonlóképpen a logikai műveletek eredményét is meg kell őrizni.

A tárolók különböző félvezető memóriákból épülhetnek fel.

- **ROM** (Read Only Memory): olyan programtároló, amelyet a sorozatban gyártott készülékekben használnak. A programot egyszer letesztelik, és többet nem kell rajta változtatást végezni. Ezt csak kiolvasni lehet, és tartalmát a tápfeszültség kikapcsolásakor is megőrzi.
- **RAM** (Random Access Memory): olyan tároló, amely a perifériák változó állapotát képes követni, ezért tartalmát állandóan változtatni (felülírni) lehet. Ezek a tárolók hálózat kimaradás esetén a bennük tárolt információt elvesztik.
- **EPROM** (Erasable Programmable Read Only Memory): olyan tároló, amely feszültség kimaradásakor a tárolt programot megőrzi, ugyanakkor újratölthető.
Ezt a tárolót információvesztés nélkül lehet szállítani és tárolni. Az EPROM-nak is van azonban egy hátránya: külön programozó és törlő készülékre van szükség.
- **EEPROM** (Electrically Erasable Programmable ROM): a villamos úton törölhető programozható fix tárolót hívják EEPROM-nak.

- *Kimeneti egység:* A PLC-k általában 6 vagy 8 kimenettel rendelkeznek.

Bővítő egységgel természetesen ez is bővíthető.

A kimenetek aktív állapotát LED jelzi, és galvanikusan le van választva a nagyobb teljesítményű beavatkozó szervektől.

Amennyiben a kimeneten analóg jelet kell megjeleníteni, a PLC futása során számolt digitális értékeket D/A konverter alakítja át analóg jellé.

A digitális kimeneti egységek feladata a PLC belső jeleinek átalakítása akörnyezet számára.

Alapvetően kétféle kimeneti változat található:

- **relés kimenet:** itt a CPU egy relét vezérel, amelynek az érintkezője van kivezetve. Előnye, hogy segítségével olcsón lehet nagy áramokat kapcsolni, és az áramkörökbe bárhova beilleszthető (ha az egyik pontja nincs pl. földelve).
Hátránya, hogy a megvalósítható kapcsolási frekvencia kicsi, kisebb, mint 10Hz, és a reakcióideje is nagy.
 - **elektronikus kimenet:** itt valamilyen vezérelt félvezető elem kapcsolja a kimeneti feszültséget. Előnye, hogy viszonylag gyors kapcsolásra képes (100 Hz körül) és rövid a reakcióideje. Hátránya, hogy csak megadott helyre illeszthető, pl. az egyik pontot földelni kell, illetve nagy áramokat csak viszonylag drága elemekkel lehet kapcsolni.
- *Tápegység:* Ez a modul biztosítja a PLC áramellátását. Általában 24 V / 230 V feszültséget állít elő (ritkábban 5 V-ot). Egyes gyártóknál előfordul, hogy a tápegység akkut is tartalmaz.

A PLC-k térhódítása tehát elsősorban annak köszönhető, hogy ki- és bemeneteik az iparban általában használatos jelszintekhez vannak illesztve. Nagyobb teljesítménnyel is terhelhetőek, és csak a legritkább esetben 5V-os feszültséget adnak le. Általában a ki/bemeneti feszültségek 24V és 230V között változnak. I/O egységek skálázzák, alakítják a bemenő jeleket a CPU számára elfogadhatóvá, a kimenő jeleket pedig ezek alakítják vissza az ipari feszültségekhez. Lehetnek digitális vagy analóg I/O egységek. A digitális egységek kimeneteire vagy kapcsol áramot, vagy nem. Ez történhet reléekkel, vagy félvezetőkkel. A relék előnye a félvezetős megoldással szemben, hogy nagy áramok kapcsolásához is olcsó megoldást nyújtanak, hátrányuk, hogy nem túl gyorsak. A legnagyobb reléekkel elérhető kapcsolási frekvencia alacsony. Ezzel szemben a félvezetős megoldások kapcsolási frekvenciája akár 100 Hz fölé is mehet, viszont ha ezekkel nagy feszültségeket szeretnénk kapcsolni, azt már csak eléggé drágán tehetjük meg. A digitális egységek ki/bemenetein általában 24, 48, 60, 230 V feszültség szokott lenni. Vannak olyan egységek is, amelyek képesek váltakozó áramot is fogadni vagy leadni. Az analóg I/O egységekben A/D és D/A konverterek vannak. Ezek a bejövő feszültségeket digitális jelekké, vagy a digitális jeleket analóggá alakítják.

A PLC-ben futó programokat funkció szerint két nagy csoportba osztjuk: az alapszoftverekre (rendszerprogramokra) és a felhasználói programokra.

Előbbiek körébe tartozik valamennyi olyan szoftver és járulékos erőforrás, amely a PLC alapszintű működéséért és a kezelői interfész rendelkezésre állásáért felelős. Ide soroljuk még a kapcsolati támogatás rendszerszintű komponenseit, amelyek a fel- és letöltéssel, a diagnosztikai funkciókkal kapcsolatosak.

A felhasználói programok leglényegesebb jellemzője, hogy az adott gyártó fejlesztői környezetében kerülnek megírásra, szerkesztésre, fordításra, kompilálásra, külső erőforrások felhasználásával. Sok gyártó ad ki szabványos megoldásrészleteket, működőképes szubrutinokat és sémákat a minél felhasználóbarátabb megjelenéshez.

A megfelelő PLC kiválasztása során több szempont érvényesül. A költséghatékony megoldás nem feltétlenül a legolcsóbb terméket foglalja magában, a tervezéskor figyelembe kell venni a meglévő és a tervezett környezeti folyamat összes fizikai jellemzőjét, az elvárt megoldás üzembiztonságát, helyi és távfelügyeleti lehetőségét, a lehetséges univerzális megoldás módozatait és a kész felhasználói környezet további bővítésének, optimalizálásának módjait.

3.3. PLC programozás

Adott irányítástechnikai feladat PLC segítségével történő megoldása során először mindig elemezni szükséges a komplex és a részfolyamat szintjén a lehetséges és az elvárt állapotokat. Az állapotok rögzítését követően készül el a feladat logikai modellje, amely a szabványos hardver-szoftver elemek felhasználásával algoritmizálásra kerül az alábbi megoldási módok valamelyikével.

Az IEC 1131-3 szabvány értelmében a felhasználók számára a következő programozási lehetőségek állnak rendelkezésre:

- Programozás utasításlista alapján (IL – Instruction List)
- Programozás logikai terv segítségével (FBD – Functional Block Diagram)
- Programozás létradiagram segítségével (LD – Ladder Diagram)
- Az utóbbi két változat együttes alkalmazásával (QLD – Quick Ladder Diagram)

A felhasználói program legkisebb, még önállóan kezelhető szoftver egysége a POU (Program Organisation Unit), azaz a programszervezési egység. A POU alapvető típusai a függvény, a függvényblokk és a program. A függvény jellemzője, hogy adott bemeneti feltételekre mindig ugyanazt a kimenetet szolgáltatja, ám a függvényblokk saját adatterülettel rendelkezik, amelyben megelőző állapotok kerülnek letárolásra, így egy folyamat bemeneti feltételeihez közbülső eseményeket képes társítani, amelyek befolyásolják a következő kimeneti állapotot. A hierarchiában legmagasabb szintű egység a program, amely biztosítja más POU elemek számára az erőforrás elérést.

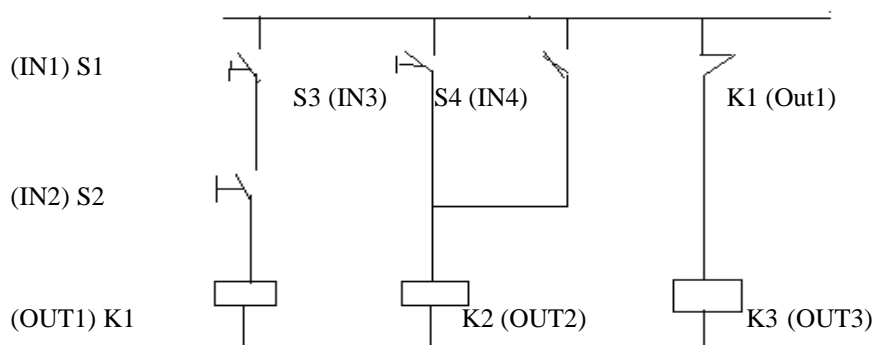
A POU két részből áll: a deklarációs részből és a programtörzsből. A deklarációs rész szöveges formátumú és független az aktuális programozási nyelvtől. A programozási egység törzse gyakorlatilag a PLC által végrehajtandó parancsok leírása, a szabvány szintaxisában.

A szabvány a következő programnyelveket tartalmazza:

- *utasításlista*: gépi szintű, leginkább assembly jellegű, soronként egy parancs
- *létradiagram*: standard rajzjeleket és szimbólumokat használ
- *funkcióterv*: blokkosított programelemekkel operál, hasonlít a logikai áramkörök sémájához
- *strukturált nyelv*: blokkszervezésű, magas szintű nyelv, amely megengedi a ciklikus és a feltételes utasításokat, valamint a függvényeket
- *lefutó nyelv*: gráfszerűen, a folyamat soros és párhuzamos eseményeit is támogatja, szemléletes és feltétel szerinti beavatkozási szintet tartalmaz.

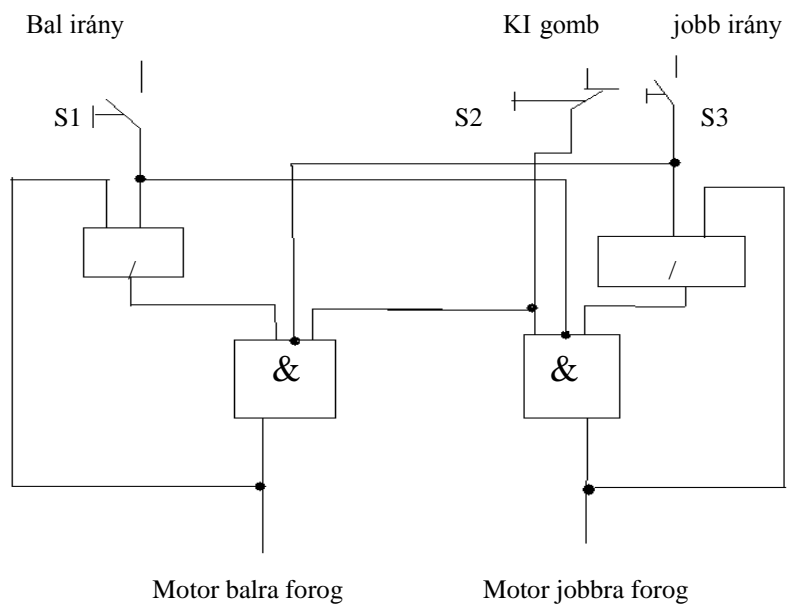
A fejlesztő rendszerek jellemzője, hogy grafikus felületűek, több ablakot szolgálnak ki, beépített menükkel, hypertext formátumú belső segédlettel és beépített szoftveres ellenőrző felülettel rendelkeznek.

Az alábbiakban három példa mutatja a leggyakrabban használt programnyelvek alkalmazását.

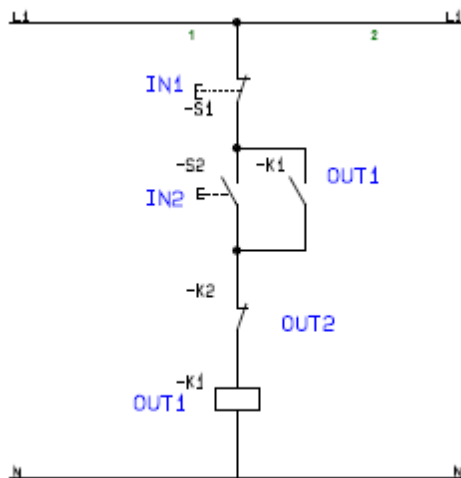


3.8. ábra: utasításlista szerinti program

Utasításlista: U IN1
U IN2
= OUT1
U IN3
O IN4
= OUT2
UN OUT1
= OUT3



3.9. ábra: logikai terv szerinti program



3.10. ábra: létradiagram szerinti program (áramutas terv)

3.4. Hibakeresési és javítási módszerek, elektronikus adatkezelés és dokumentálás

A berendezések életciklusa során szükséges megelőző és hibaelhárító diagnosztikát végezni. Ezek a vizsgálatok az adott vezérléstechnikai elemre vagy a komplex rendszer egészére terjednek ki. Hibajelenség tekintetében megkülönböztetünk ideiglenes és konstans hibaállapotot. Az ideiglenes hiba lehet pillanatnyi, csak bizonyos feltételek együttes megléte esetén fellépő, és időszakosan, véletlenszerűen bekövetkező.

A mikroprocesszoros rendszerek diagnosztikai módszerei közül kiemelkednek a vizsgált funkcióhoz kötött spektrumú jelsorozatot szolgáltató, általában programozható készülékek által elvégezhető vizsgálatok. Ezek a készülékek a működőképes, vagy üzemben kívülre került vezérléstechnikai elem vagy készülék statikus és dinamikus vizsgálatát teszik lehetővé.

A funkcionális hibákra jellemző, hogy az adott áramkör vagy modul tápfeszültség alá helyezhető, így be- és kimenetei célberendezéssel elérhetőek és rajtuk keresztül egyen- és váltakozófeszültségű, illetve impulzusteknikai jellegű mérések végezhetőek. A gyártói és üzemeltetési, valamint a szerviz dokumentációk által biztosított diagnosztikai adatok minden esetben kiinduló referencia adatként kezelendők, hiszen a készülék vagy funkciómodul legyártását, kereskedelmi forgalomba hozatalát a típusvizsgálati adatokat tartalmazó jegyzőkönyv kibocsátása kíséri.

Több módszer és célberendezés áll rendelkezésre a mikroprocesszoros rendszerek szerviztevékenységéhez.

Alapvető a beépített vagy a külső rendszerszintű diagnosztika és annak eszközei, amelyeknek segítségével az alapfunkciók megléte és helyessége ellenőrizhető. Sok gyártó a tápfeszültség megjelenésére automatikusan induló öndiagnosztikát alkalmaz, melynek futási eredménye nemcsak vizuálisan jelenik meg, hanem bekerül egy belső naplóba, amely ciklikusan felülíródik. Ez a rendszereszköz jellemzően kézi indítással is hívható, szükség esetén.

Fontos szerepük van a vezérléstechnikai készülék perifériáinak, amelyek közé jellemzően az érzékelők, úttávadók, jel illesztők és a beavatkozók tartoznak. Ezek a kivitel és a funkció függvényében lehetnek analóg, digitális és hibrid eszközök. Egy üzemelő rendszerben jellemzően ezek az elemek vannak kitéve elhasználódásnak, fizikai és villamos jellemzők megváltozásának, valamint szakszerűtlen beavatkozásoknak. A csatoló felületek épsége és működőképessége döntően befolyásolja egy adott folyamat határfelületén levehető fizikai jellemző hitelességét, digitális formában való leképészését, feldolgozását és arányos funkcionális válasz kibocsátását. A vizsgálat eszközei a módszertannak megfelelő mérőkészülékek.

Bonyolultabb az A/D és D/A konverterek vizsgálata, illetve szükségzerű beállítása, programozása. Ehhez már nemcsak jelgenerátor és logikai analízátor szükséges, hanem a fokozatra jellemző programozási segédlet készségszintű alkalmazása. Ugyanez érvényes a készülék irányítástechnikai szerepét digitálisan leképező központi egységéből kimenthető vagy online elérhető bitminták és összetett csomagok azonosítására. Ez a tevékenység kellő dokumentáció nélkül nem végezhető kellő hatékonysággal.

A teljes környezet, vagy csak egy kiemelt része vizsgálható károsodás, baleseti veszély nélkül az igen elterjedt emulátorok és szimulációs eszközök segítségével.

A PLC-s rendszerek összetettségük, feladatorientált komplexitásuk következtében bővebb saját és külső diagnosztikai eszközökkel vizsgálhatók. Az üzemzavar vagy a működésképtelenség a lehetséges hibahelyre jellemző belső azonosítókkal jól azonosítható. A korszerű rendszerek belső erőforrásai között megtaláljuk a belső folyamatelemző és detektáló elemeket, amelyek a működőképes rendszert is folyamatosan ellenőrzik, a kritikus funkciókat köztes időben ellenőrzik és ha szükséges, le is kommunikálják arra előkészített adatcsatornán keresztül.

Mivel a programozott berendezés jellemzően valamilyen folyamatot felügyel, szabályoz vagy elemez, a belső diagnosztika megkülönbözteti a szimptomákat, azok csoportjait és a folyamat szempontjából kritikus hatásait. A letárolt, vagy közvetlenül megfigyelt irányítástechnikai adatok az üzemeltető és a műszaki kiszolgáló személyzet számára kellő információt biztosítanak további hibajelenségek elkerüléséhez és a kiesés okozta veszteségek csökkentésére.

A redundáns rendszerek jellemzője, hogy egy vagy több vész modul áll rendelkezésre, amely hiba esetén vagy automatikusan, vagy üzemeltetői közreműködéssel azonnal belép a kieső erőforráscsoport helyére. Meglehetősen költséges megoldás, ám a kritikus alkalmazásoknál ajánlatos a folyamat biztonsága szempontjából.

Fontos szerepük van az öndiagnosztikában a belső folyamatok lefutását figyelő segédfunkcióknak és az ezt megvalósító áramköröknek, az ún. Watchdog komponenseknek. Ezzel a funkcióval alapszinten minden PLC-s rendszer rendelkezik, de alkalmazása szoftverfüggő.

A PLC-vel ellátott berendezések ellenőrzését, a hibakeresést és a feltárt hibakód visszafejtését elektronikus és nyomtatott kódlisták könnyítik meg. A rögzített szimptóma státuszának ellenőrzése mindig annak eldöntésével indul, hogy az adott hibakód jogosítható-e, azaz elsődleges vagy származtatott adat. Utóbbi esetben ugyanis, szükséges több irányból meggyőződni mérésekkel és szoftveres úton a valódi okról és annak elhárítási lehetőségéről.

A hibanaplók egy része FIFO rendszerű automatizmust biztosít, ám a folyamat egészére nézve indokolt az üzemviteli vagy szerviznaplóban külön vezetni a bekövetkezett hibát, annak okát, az elhárítás módját, technikai részleteit. Külön kell vizsgálni, amennyiben a

be –és kimeneti kapcsolatokon logikai ellentmondás lép fel, mert ez a kritikus hibajelenségek csoportjába tartozik.

Az elektronikus és írott szervizdokumentumok az üzemviteli adminisztráció részét képezik, megőrzési idejük meghatározott és a minőségirányítási rendszerek előírásai az ilyen adat kezelésére külön kitérnek.

4. Irányítástechnikai rendszerek kialakítása és üzemeltetése

4.1. Irányítástechnika alapjai

Az irányítás olyan művelet, amely valamilyen készüléket, berendezést, technológiai folyamatot,

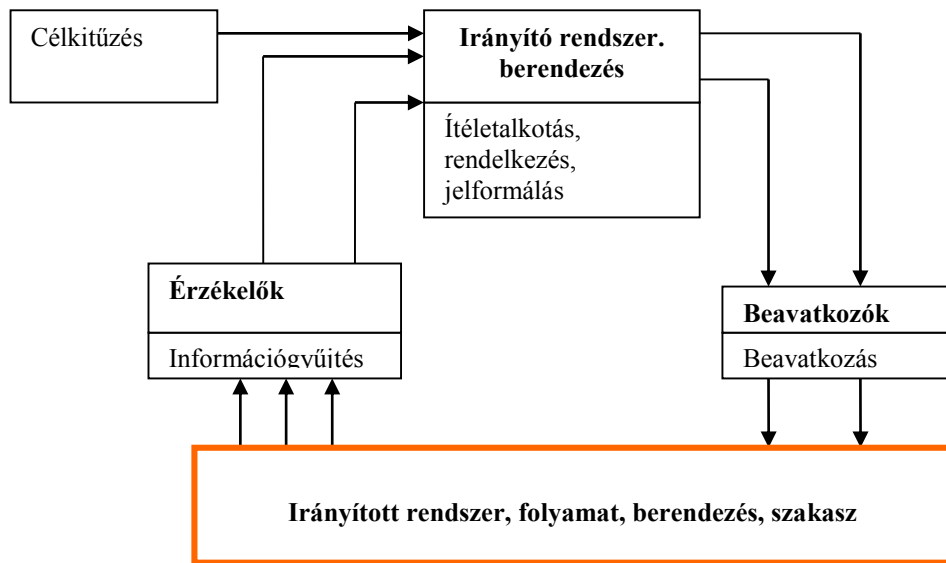
- elindít,
- fenntart,
- megváltoztat vagy
- megállít.

Az irányítás részművelei:

- **Érzékelés:** értesülés (információ) szerzése az irányítás tárgyát képező irányítandó berendezésről, folyamatról (ld. később).
- **Ítéletalkotás:** döntés az értesülés feldolgozása alapján a rendelkezés szükségességéről.
- **Rendelkezés:** utasítás a beavatkozásra.
- **Beavatkozás:** az irányítás tárgyát képező berendezés, folyamat befolyásolása.

Az irányítás művelet megvalósítható kézi (emberi) közreműködéssel és önműködő irányítással.

Önműködő irányításnak nevezzük azt az irányítást, amikor valamennyi irányítási részművelet kezelői (emberi) beavatkozás nélkül megy végbe.



4.1. ábra: irányítástechnikai rendszer felépítése²⁵

4.1.2. Az irányítási rendszer szerkezeti részei:

Az **irányító** és az **irányított** rendszer összetettsége, bonyolultsága szerint állhat:

- **Elem:**
Irányítástechnikai szempontból tovább nem bontható szerkezeti elem
- **Szerv:**
Irányítási részfeladatot önállóan ellátó szerkezeti egység
- **Készülék:**
Szerkezeti körühatárolt, rendszerint kicserélhető egység, amelynek önálló technológiai vagy önálló irányítási feladata van. A készülék több szervből is állhat.
- **Berendezés:**
Egy vagy több szervből álló, szerkezeti körühatárolható, többnyire kicserélhető egység, amelynek önálló technológiai, vagy irányítási feladata van.
- **Jelátvivő vezeték**
Az irányítási rendszer szerkezeti egységei közötti információátvitelre szolgáló eszközök, amelyek nagy többsége a villamos segédenergiával működő rendszerekben villamos vezetékek, csatlakozók, de pneumatikus segédenergiával működő rendszerekben a levegőt, mint jelhordozót, pl. réz csövek továbbítják.

A műszaki szóhasználatban az irányítástechnika két fő rész tudományt ölel föl. Ezek:
vezérléstechnika: az adott műszaki rendszerben valamilyen utasítás (például: gép induljon, vagy álljon meg, csap nyíljon, vagy csukódjék) megvalósítása anélkül, hogy a

²⁵ Forrás: dr. Jármái Ferenc: Automatika I. segédlet

végrehajtás megtörténtéről gépi úton jelzést kapnánk (nyitott, nem visszacsatolt információs rendszer);

szabályozástechnika az adott műszaki rendszerben valamilyen utasítás (például: meghajtó villamos motor fordulatszáma kívánt értéken állandósuljon, hőkezelő kemence hőmérséklete adott időterv szerint változzon) megvalósítása úgy, hogy az utasítás eredménye az utasításra visszahatással legyen (zárt, visszacsatolt információs rendszer).

4.1.3. Vezérléstechnika



4.2. ábra: vezérlés általános elrendezése

A vezérlés egy nyílt információ- láncból tevődik össze. Az utasítás kiadása után a folyamat (valószínűleg) lezajlik, eredményéről nincs visszajelzés.

A legegyszerűbb példa a világítás bekapcsolása a szobában. Az utasítást egy személy adja, a kapcsoló az utasítást kialakítja és végre is hajtja. A rendszer a világító test. Arról, hogy a világítás valóban bekapcsolást nyert a személy csak vizuálisan tud meggyőződni. Vezérlési feladat egy szállítószalag rendszer indítása vagy leállítása is. Feltételezhető, hogy itt az utasítás hatásáról a vezérlést kiadó kezelőt jelzőlámpák tájékoztatják, de ennek a rendszerre nincs közvetlen visszahatása (legfeljebb a kezelő egy újabb utasításán keresztül).

4.1.4. Szabályozástechnika



4.3. ábra: szabályozás általános elrendezése

A szabályozás egy zárt információ-láncot (zárt hurok) képez. A folyamat az utasításnak megfelelően alakul, és a beavatkozás eredményéről visszajelzés van.

A legegyszerűbb példa a háztartási hűtőgép. Az utasítást (a rendszerben fenntartandó *hő-állapotot*) egy - rendszerint a hűtőtérben lévő – alapjel-adó segítségével közöljük a szabályozóval. Amikor a hűtőtérben elhelyezett hőmérsékletérzékelő jele és a beállított alapjel között (itt negatív) különbség mutatkozik a "hideget előállító" rendszer működésbe lép, és igyekszik az eltérést megszüntetni.

Az irányítástechnikában a jeleket energiaáramlások hordozzák és közvetítik.

A korszerű technikában a *villamos jelek* használata szinte kizárólagos. Robbanás-veszélyes technológiák (vegyipar, olajfeldolgozás, stb.) esetében gyakran alkalmaznak *pneumatikus jeleket* is. Vannak berendezések, ahol folyadékok közvetítik az információkat: *hidraulikus jelek* útján.

Az irányítástechnikában a jelek terjedelme szabványosított.

A jel, a maga véges változási tartományán belül, lehet folytonos vagy diszkrét értékkészletű. A **folytonos (folyamatos)** értékkészletű jel változási tartományának minden pontja eleme az értékkészletnek. Az ilyen jelet **analóg jelnek** nevezzük (körszámlapos karóra). A **diszkrét jel** értékkészlete viszont a tartományon belül diszkrét (egyedi) pontok halmaza (számjegy kijelzés). A gyakorlatban azok a diszkrét jelek fontosak, amelyeknek értékkészletét egy *kvantum egész számú többszöröse* alkotják. Az ilyen jelet **digitális jelnek** nevezzük (digitális karóra).

A jelek lehetnek **folyamatosak** illetve **mintavételezettek**. A folyamatos jel aktuális értéke bármely időpontban a feldolgozás (mérés, átalakítás, kiértékelés, beavatkozás) rendelkezésére áll. (pl. villamos hálózat feszültségét mérő műszer jele). A mintavételezett jel esetében csak mindig az utolsó minta értéke áll rendelkezésre.

Ha a jelek időben nem változnak úgy **állandósult értékűek**, ellenkező esetben időben **változó értékűek**. Változásukban lehetnek **lineáris** vagy **nemlineáris** tulajdonságúak.

A bemenő és kimenő jelekkel rendelkező elemeket **átviteli tagoknak** nevezzük. A bemenő és kimenőjel között meglévő kapcsolatot matematikai egyenlet segítségével igyekszünk általánossá tenni. Ehhez szükséges az átviteli tag tulajdonságának mérésrel történő meghatározása. Ezt a műveletet **identifikációnak** nevezzük. A matematikai leírás neve (**matematikai**) **modell**. A viszonyokat – a szemléletesség érdekében - szokásos diagram segítségével is ábrázolni (a diagramokon a bemenő jel értékeit (független változó) a vízszintes tengelyen, a kimenő jel értékeit (függő változó) a függőleges tengelyen ábrázoljuk.). A diagram visszatükrözhet **statikus viszonyt** (a két állandósult állapotban lévő jel közötti kapcsolatot ábrázoljuk) vagy **dinamikus viszonyt** (valamelyik jel időbeni változását mutatja). Az átviteli tag legfontosabb két jellemző adata:

- **átviteli tényező (K)**,
- **időállandó (T)**.

A jelek lehetnek **determinisztikusak** illetve lehetnek **sztochasztikusak**. Előbbiek értékei valamely független változótól (pl. időtől) - valamilyen matematikai formulával leírható módon - megközelítőleg függnék. Utóbbiak az idővel nem állnak függvényszerű kapcsolatban, hanem valószínűségi változónak tekinthetők. A technológiai berendezésekkel kapcsolatos jelek az utóbbi csoportba tartoznak.

A jelek "tisztaságát" a rájuk rakódó **zajok** (pl. elektromágneses terek hatásai) is rontják.

A határfelületekről levett nem villamos mennyiségeket az irányítástechnikában értelmezhető villamos jellé alakítjuk át. Az átalakítók főbb csoportjai:

- passzív átalakítók
- ellenállás változáson alapuló átalakítók
- huzalos mérő-átalakítók
- hő és fényérzékeny ellenállást tartalmazó átalakítók
- induktív és kapacitív átalakítók.

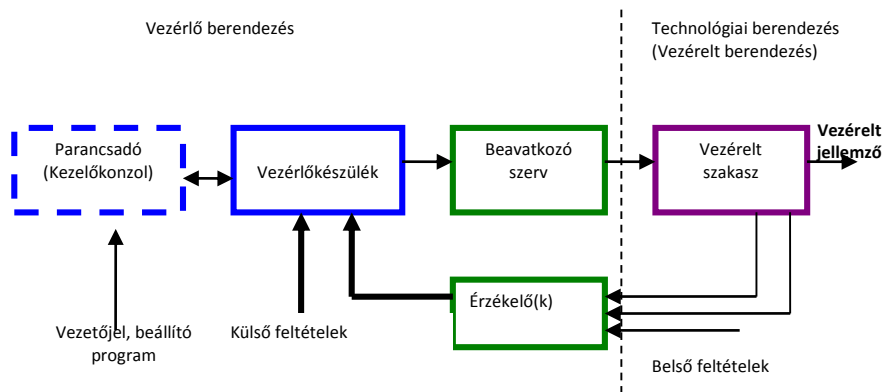
4.2. Vezérlés

A vezérlés hatáslánc **nyitott**. A vezérlés művelete során a parancsadó szerv és az érzékelő által előállított rendelkező jel végigfut a hatásláncon, a hatásláncban elhelyezkedő szerveken. A kívánt hatás a vezérlési művelettel befejeződik.

A vezérlés művelete az érzékelők révén részben a vezérelt szakasz egyes jellemzőitől (belső feltételek), részben külső feltételektől függően végrehajtott műveletek eredményei alapján valósul meg. A logikai feltételek mellett az időtényező is jelentős a vezérlésekben. A rendelkező jel tehát az adott feladatra érvényes összefüggések szerint hozza létre a beavatkozást, aminek eredménye nem hat vissza a rendelkező jelre.

A vezérelt berendezésre ható feltételezett zavaróhatások kompenzációval mérsékelhetőek. A várható zavarok felismeréséhez érzékelőket és elhárításukhoz beavatkozókot kell beépíteni (pl. motor túlmelegedésének érzékelésével). Ez a módszer akkor alkalmazható, ha előre ismerjük a várható zavaró hatásokat (tehát vezérléssel csak a determinisztikus zavarjelek háríthatók el). A vezérlés tehát csak a vezérlés tervezésekor ismert zavarójeleket képes kiküszöbölni.

Vezérléssel nem minden Irányítási feladat oldható meg. A vezérlés alkalmazásának feltétele, hogy rendelkezésre álljon a **vezérelt berendezés egy modellje**, amely bármely bemeneti jelkombináció esetén elegendően pontosan megadja a vezérelt jel, jelek értékét. Ha ilyen modell nem készíthető, a feladat szabályozással oldható meg, mivel a szabályozás az előre nem ismert zavaró hatásokat is képes megszüntetni, illetve csökkenteni.



4.4. ábra: vezérlési vázlat²⁶

A **vezérlő berendezés** összefoglaló neve mindazon szerveknek (érezékelő jelformáló, logikai döntést végző és beavatkozó szervek), amelyek hatnak a vezérelt szakaszra, berendezésre.

A kezelőkonzol az ember – gép kapcsolatot megvalósító eszköz, amely nem szükséges minden vezérlő rendszerben. Egyszerűbb vezérlések esetében a kezelői parancsok bevitelére alkalmas nyomógombokat és a vezérelt szakasz állapotára szolgáló kijelzőket tartalmazza. Összetett rendszerekben ezt a funkciót PC látja el.

A **vezérlő készülék** a vezérlési algoritmust valósítja meg. A vezérlési algoritmus olyan logikai összefüggésrendszer, amely a kívánt beavatkozó jeleket állítja elő vagy a vezérelt berendezés jellemzőit mérve (belső érzékelőkkel), vagy a vezérlést befolyásoló külső feltételek (külső érzékelők) alapján.

A vezérlések osztályozása a rendelkező jel előállításától függően:

- **Követő** vezérlés

²⁶ Forrás: dr. Jármái Ferenc: Automatika I. segédlet

- **Menetrendi vezérlés:**
 - **Időterv** vezérlés
 - **Lefutó** vezérlés:
 - **Sorrendi** vezérlés
 - **Feltétel** vezérlés

Követő vezérlés esetében a rendelkező jelet érzékelő szervek állítják elő. Az érzékelt jelek származhatnak a vezérelt folyamatból, berendezésből és külső egységekből.

Menetrendi vezérlés esetében a rendelkező jel meghatározott terv vagy feltételek szerint jön létre.

Időterv vezérlésnél a rendelkező jel előre meghatározott időterv szerint változik.

Lefutó vezérlésben a rendelkező jelet a vezérelt berendezés belső állapotai, változásai és külső események határozzák meg.

Sorrendi (szekvenciális) vezérlésnél a vezérlő készülék kimeneti jeleit egyrészt a bemeneti jelek kombinációi és a kombinációk sorrendje együtt határozzák meg. en kerül egyik állapotból a másikba. A sorrendet a vezérlő készülék bemeneti jelkombinációi határozzák meg. Sorrendi hálózatok a regiszterek, öntartó kapcsolások, számlálók, memóriák.

Feltétel vezérlés esetén a vezérlő készülék valamennyi bemeneti jelkombinációjához meg kell határozni a kimenőjelek kombinációját.

Az érzékelő és a beavatkozó szervek az irányítástechnikában szabványos elemekből kerülnek ki, a feladat jellegének és biztonsági szempontjainak megfelelően.

Kapcsoló készülékként jellemzően nyomógombos, kézi működtetésű egyéb kontaktus, Reed-relé, mikrokapcsoló és kontaktmentes, biztonsági elektronikus elemeket alkalmazunk.

A folyamat beavatkozó szervei a villamos vezérlésnél: mágneskapcsolók, mágnesszelepek, motoros szelepek, szervomotoros egységek, elektromechanikus, időalapú és hőrelék.

Az igen elterjedt relés kapcsolások között legfontosabb változatok az öntartó, a meghúzó, az ejtéses, a reteszeléses és a keresztreteszeléses megoldások. A vezérlési műveleteket egy vagy több helyről is kezdeményezhetjük.

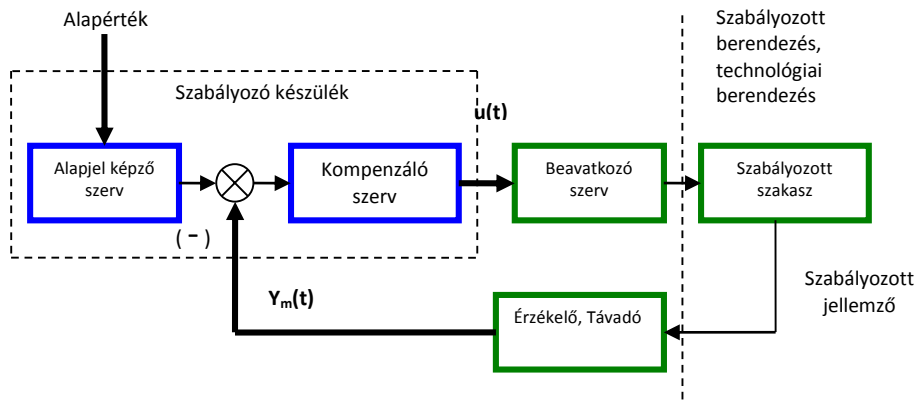
Jellemző villamos vezérlési művelet a villanymotorok indítása, fékezése, irányváltása és fordulatszámának változtatása.

4.3. Szabályozás

Zárt hatásláncú irányítás, amelyen a szabályozási művelet jelei haladnak a szabályozási eltérést megállapító különbségképző (összehasonlító) szervtől a kompenzáló és a végrehajtó- és beavatkozó szerven keresztül a szabályozott szakaszba, majd onnan vissza az érzékelő szerv révén az összehasonlító szervhez.

A szabályozás feltétele a szabályozott jellemező értékének mérése. A nem mérhető fizikai, kémiai mennyiségek nem szabályozhatók.

A szabályozási kör tagokat és tagcsoportokat tartalmazhat, amelyek úgy vannak adott folyamat lebonyolítása végett összekötve, hogy a hatáslánc valamelyik pontjáról elindított vagy valamely pontján a hatásláncban belépő jel végéig fut a zárt láncon (hurkon) és visszatér a kiindulási pontra.



4.5. ábra: szabályozási kör vázlata²⁷

A szabályozási kör részei

Szabályozott szakasz

- Bemenőjele a módosított jellemző
- Kimenőjele a szabályozott jellemző
- Plusz bemenőjel a zavaró jel.

A szabályozott szakasz be- és kimenő jelének a szabályozási kör többi jelétől való megkülönböztető elnevezése is kifejezi, hogy a szakasz meghatározó, adott tulajdonságokkal rendelkező része a szabályozási körnek. A szakasz tulajdonságait rendszerint csak szerkezeti átalakítással lehet változtatni. Ennek tárgyalása nem tartozik jelen tantárgyprogramjába.

A szakasz műszaki berendezésnek vagy folyamatnak az a része, amely a szabályozási körben a beavatkozás és az érzékelés helye közé esik. Ugyanaz a folyamatrész (berendezési rész) vagy annak egy darabja lehet egyidejűleg több szabályozási körnek a szabályozott szakasza.

A tagok lehetnek:

- arányos viselkedésűek: a maradó szabályozási eltérést csökkentik, ugyanakkor a szabályozás stabilitását rontja. Az arányos tag egy visszacsatolt erősítő, amely a jelet az ellenállások arányában osztja le.
- integráló viselkedésűek: a szabályozás maradó szabályozási eltérését teszi 0-vá, mivel az erősítő kimenetén mindaddig növekvő jelet ad ki, amíg a bemenetén meg nem szűnik a rendelkező jel, azaz mindaddig, míg az ellenőrző jel meg nem egyezik az előírt alap jellel. Az I kompenzáló taggal a maradó szabályozási eltérés megszüntethető, ugyanakkor a szabályozás lelassul, megnő a szabályozási idő.

²⁷ Forrás: dr. Jármay Ferenc: Automatika I. segédlet

- differenciálóak: alkalmazásukkal a szabályozás gyorsítható, csökken a szabályozási idő, ugyanakkor a szabályozás stabilitása nem romlik, de a maradó szabályozási eltérés nem csökken.
- holtidős jelátvitelű elemek: a többszörösen visszacsatolt műveleti erősítő alkalmazásával a stabilitás nem romlik, a szabályozási idő csökkenthető, és a maradó szabályozási eltérés nullává tehető.

Zavaró jel

Zavarásnak tekintünk minden a szabályozási kört kívülről érő, a szabályozási művelettől független hatást, amely a szabályozott jellemző pillanatnyi értékét nem kívánatos módon megváltoztatni törekszik. A zavaró hatást zavarójel formájában vesszük figyelembe, amely a szabályozási kör több pontján is beléphet (zavarójel egyidejűleg a szabályozási kör több pontján is beléphet).

Alapjel képző, alapérték, alapjel,

- Bemenete az alapérték
- Kimenete: az alapjel

Alapérték a szabályozott jellemző parancsolt értéke, az alapértéket beállító szerven, az alapjel képzőn beállított érték. Nem feltétlenül azonos a szabályozott jellemző állandósult (tartós) értékével.

Az alapjel képző kimeneti jele az alapértéknek megfelelő nagyságú jel, amely összehasonlítható az ellenőrző jellel, azaz csak azonos dimenziójú jelek lehetnek. Az alapjel a mai berendezésekben általában villamos jel.

Különbségképző szerv

- Bemenete az alapjel és az ellenőrző jel
- Kimenete a rendelkező jel

Feladata az alapjel és az ellenőrző jel pillanatnyi értékének összehasonlítása és a rendelkező jel előállítása. A rendelkező jelet szabályozási eltérésnek is nevezik:

Jelformáló, kompenzáló szerv

- Bemenete a rendelkező jel
- Kimenete a végrehajtó jel

Feladata a szabályos minőségi jellemzőinek javítása jelformálással.

A gyakorlatban alkalmazott kompenzáló szervek nagy részének állásos a kimenőjele és a digitális működésű (mikroprocesszoros) jelformálók esetében időben folytonos, értékészletükben diszkrét a végrehajtójel.

Végrehajtó szerv

- Bemenő jele a végrehajtó jel
- Kimenő jele a beavatkozó jel

Segédenergiával működő szabályozási körben a beavatkozó szervet mozgó motor. A segédenergia fajtája szerint lehet villamos, pneumatikus vagy hidraulikus.

Beavatkozó szerv

- Bemenő jele a beavatkozó jel, ha végrehajtó szerv is van a hatásláncban, akkor a végrehajtó szerv kimenő jele
- Kimenő jele a módosított jellemző

Az a szerv, amely a szakaszban lezajló folyamatot közvetlenül befolyásolja. Ilyen a szelep, amely folyadékáramlást befolyásol, a szint, vagy a nyomás módosítása, vagy a fűtést befolyásoló szerkezet a hőmérséklet módosítására.

A beavatkozó szerv az anyag vagy az anyagáramlást közvetlenül befolyásolja.

Villamos energiával működő berendezések esetében, pl. a villamos hajtásoknál a villamos teljesítmény elektronikus tápegységével befolyásolható.

Kimenő jele a módosított jellemző értékének változása.

Érzékelő szerv

- Bemenő jele a szabályozott jellemző
- Kimenő jele az ellenőrző jel

Az érzékelő szerv feladata a szabályozott jellemző értékének mérése, szükség szerint a mért jel átalakítás (pl. hőmérséklet mérése és villamos jellé alakítása) és szabályozott szakasztól térben távolabb elhelyezett szabályozóba továbbítása.

A szabályozási feladat függvényében kell alkalmazni a megfelelő karakterisztikájú áramkörü elemet, amely jellemzően **PI**, **D**, **PD**, **PID** működésű.

Szabályozó berendezések

A szabályozó berendezés tartalmazza mindazokat a szerveket, készülékeket, amelyek a szabályozó kör érzékelési és beavatkozási pontjai között található, valamint az ezek működtetéséhez szükséges tápegységeket.

A szabályozó berendezés azoknak a szerveknek az összessége, amelyek a szabályozott szakasszal együtt zárt hatásláncot alkotnak.

Típusai:

- folytonos szabályozó berendezések
- kvázi folytonos szabályozó berendezések
- állásos szabályozó berendezések

Folytonos szabályozás

A szabályozási körök alapvető feladata, hogy biztosítsák a különféle zavarások ellenére a szabályozott jellemző előírt mértékben való tartását, vagy az előírt módon történő változtatását. Alapvető követelmény a szabályozókör stabilis működése. Stabilis az a rendszer, amelyet egyensúlyi állapotából kibillentve, abba képes visszatérni

A szabályozó körben lévő energiatárolók késleltetik a szabályozott jellemző állandósult állapotának kialakulását, ezért a rendelkező jel a kívánt értékhez képest túllendülhet, ami az egész rendszer lengését okozza. A szabályozási körben keletkező lengések lehetnek csillapodó, állandó amplitúdójú és erősödő jellegűek.

Stabil rendszerben csak csillapodó lengések keletkezhetnek

Ha a rendszer nem stabil, a szabályozószerv minőségjavító tagjaival kell azt stabillá tenni.

A folytonos szabályozó berendezés minden szerve a folytonos bemenő jelre folytonos kimenőjel választ ad.

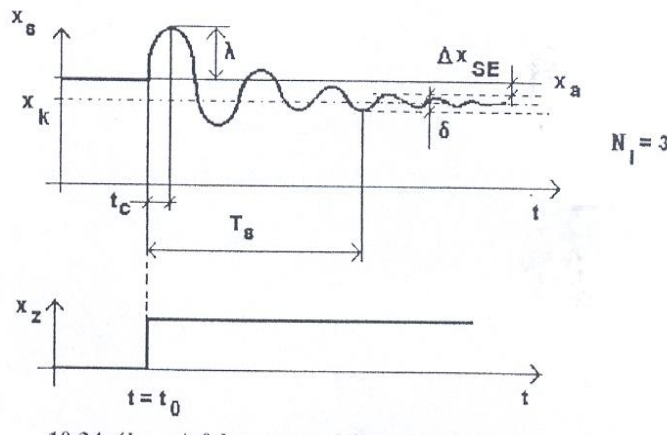
A folytonos szabályozás állandósult állapota nyugalom, ha a szabályozott jellemzővel arányos ellenőrző jel egyenlő az alapjellel, akkor a szabályozó szerv bemenőjele, a rendelkező jel zérus, azaz nem működik a szabályzó szerv, és így az nem működteti a beavatkozó berendezést.

A folytonos szabályozással szemben támasztott fő követelmények:

- stabilitás: az értéktartás, vagy követés minőségi jellemzőinek előírt értéken történő tartása
- a visszacsatolás következtében a szabályozási körben fellépő lengések megszüntetése
- megfelelő tranziens viselkedés, azaz rövid szabályozási idő
- a szabályozás állandósult hibája lehetőleg nulla legyen, vagy ne legyen nagyobb előre megszabott tőrésnél, azaz maradó szabályozási eltérése minimális legyen $\Delta X_{SE} = 0$

Az optimális szabályozó kör minőségi jellemzői:

- λ : stabilitásra jellemző túllendülés
- T_S : szabályozási idő
- ΔX_{SE} : maradó szabályozási eltérés



4.6. ábra: folytonos szabályozás idődiagramja²⁸

Egy folytonos szabályozás akkor tekinthető jónak, ha stabil, szabályozási ideje igen rövid, és nincs maradó szabályozási eltérése. Az ipari alkalmazásokra jellemző, hogy nagy pontossággal kell az adott paramétert a zavaró hatások ellenére az előírt értéken tartani.

Kvázi folytonos (háromállású) szabályozás

Minőségi jellemzői azonosak a folytonos szabályozásával.

A szabályozás minőségének javítása csak különféle egyedi kompenzációval lehetséges.

Állásos szabályozók követelményei, minőségi jellemzői, kapcsolási rés

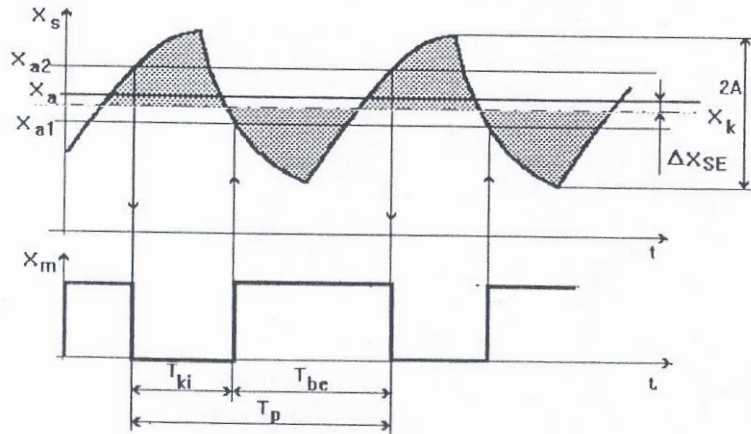
Az állásos szabályozás állandósult állapota állandósult lengés, amelyet az állandó amplitúdójú lengőmozgás jellemzői határoznak meg.

Az állandó szabályozás minőségi jellemzői:

- $2A$: lengési amplitúdó

²⁸ Forrás: dr. Jármái Ferenc: Automatika I. segédlet

- $T_p = T_{BE} - T_{KI}$: periódusidő (a működési frekvencia reciproka), amely a be és a kikapcsolási időtartamok összessége
- $\Delta X_{SE} = X_1 - X_k$: maradó szabályozási eltérés, ami az alapállás és a lengés integrált középértékének a különbsége



4.7. ábra: háromállású szabályozás idődiagramja²⁹

Az állásos szabályozás akkor tekinthető jónak, ha a lengés amplitúdó kicsi, és nincs maradó szabályozási eltérés.

Az állandó szabályozó berendezés beavatkozó szerve állandósult állapota csak meghatározott, diszkrét helyzeteket vehet fel, ez azt jelenti, hogy a kétállású szabályozó berendezés beavatkozó jelének állandósult állapotban csak két lehetséges értéke, két logikai állapota lehet.

Az állásos szabályzó a kapcsolási rés szempontjából lehet

- kapcsolási rés nélküli
- fix, állandó kapcsolási résű
- állítható kapcsolási résű

4.4. Hibakeresés, javítás és dokumentálás az irányítástechnikában

Az irányítástechnikai hibák behatárolása és elhárítása során a működés jellemzőiből és az áramköri megoldásból kell következtetni, használva a szükséges dokumentációkat és a mérési eredményeket.

A szimptóma meghatározásakor el lehet különíteni a mechanikus, hidraulikus és pneumatikus hibaokokat a villamos működéstől. Gyakoriak az elhasználódás és a szakszerűtlen beavatkozás miatt bekövetkező deformációk, sérülések, amelyek labilissá teszik a rendszer működését.

Elektromos szempontból történő hibahely meghatározáskor a megfelelő mérőkészülékek segítségével statikus és lefutó jelek mérése ad kiértékelhető adatsort. Jellemző villamos hibacsoport a szakadás, zárlat, kontaktus bizonytalanság, értékváltozás jellegű működési zavar. Impulzus üzemben fokozott a mágneses és elektromágneses külső hatás, amely ellen hatásos védelmet kell már a tervezés és az építés fázisában kiépíteni. Nem

²⁹ Forrás: dr. Jármái Ferenc: Automatika I. segédlet

elhanyagolható a villamos tápfeszültség és jeltovábbító hálózatokon fellépő impulzusszerű és felharmonikus zavaró jel, melyek ellen optimalizált szűrők adnak hatásos védelmet.

Bekövetkező hiba esetén minimalizálja a kieső produktív időt tartalék rendszer vagy rendszerelem rendelkezésre állása. A rendszer jelzést, esetleg riasztást küld szabványos kommunikációs csatornán és naplózza az eseményt.

Rendszeres és tervszerű ellenőrzésekkel, helyszíni szemlékkel, helyi és távdiagnosztikai eszközökkel minimálisra csökkenthető az üzemzavar vagy a meghibásodás kockázata. Az áramkörök modul és készülék szintű vizsgálata során felderíthetők és időben elháríthatók a kisebb, kezdődő hibajelenségek. A megelőző műveletek része a jelátviteli lánc állapotának és átviteli tulajdonságainak célirányos ellenőrzése.

A tevékenység módszertana előírja a gyakoriságot, a szükséges szakképzettséget és a felhasználni rendelt eszközöket, valamint javasolja segédanyagok, műszerek, kellékek szakszerű alkalmazását.

A tapasztalt hibajelenségek, a felvett hibastatisztika és az elvégzett beavatkozások naplója lehetővé teszi a kritikus helyek beazonosítását, és a valós időben történő szükségszerű beavatkozást.

Felhasznált irodalom:

Kovács Csongor: Elektronikus áramkörök
Zsom Gyula: Digitális technika I.
Zsom Gyula : Digitális technika II.
Dr. Juhász Gábor – Nagy Imre: Informatika és ipari elektronika
Dr. Petz Ernő: Bevezető irányítástechnikai alapismeretek
Benyó Balázs: Számítógépek architektúrája
Matijevics István: Mikroszámítógépek
Dr. Jármai Ferenc: Automatika I-II.

Ajánlott irodalom:

Kovács Csongor: Elektronikus áramkörök
Zombori Béla: Az elektronika alapjai
Zsom Gyula: Digitális technika I.
Zsom Gyula : Digitális technika II.
U. Tietze-Ch.Schenk: Analóg és digitális áramkörök

Ajánlott linkek:

<http://elect2eat.eu>
<http://tina.com/Hungarian/tina/>
<http://elektronika.lap.hu/>
<http://plcprogramozas.uw.hu/>
<http://www.aut.vein.hu/>