

Ipari folyamatirányító rendszerek – 6.

Folyamatirányító rendszerek felépítése – 1.

Dr. Csubák Tibor, Megyeri József, Barta Gergely – Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Napjaink ipari folyamatirányító rendszerei gyakorlatilag nagyteljesítményű mikroszámítógépes rendszerek, amelyek központjában egy vagy több speciálisan erre a célra tervezett CPU áll. Ezek ipari kivitelű I/O-modulokkal, más számítógépes rendszerekkel és természetesen a kezelőszeméllyel kommunikálnak. Fejlődésük töretlen, funkcionalitásuk egyre bővül, és szinte naponta jelennek meg újabb és újabb eszközök, buszrendszerek. A hardvermodulok és az alapvető szoftverkomponensek tekintetében azonban általános érvényű tervezési megfontolások mondhatók ki, amelyeket a rendszerekkel szemben támasztott speciális követelmények miatt minden esetben figyelembe kell venni.

Az ipari folyamatirányító rendszerekkel szemben támasztott követelmények

A mikroszámítógépes ipari folyamatirányító rendszerekkel szemben támasztott követelmények többféle szempont szerint csoportosíthatók:

A rendelkezésre állás és a megbízhatóság szempontjából:

- Nagy megbízhatóság, 24 órás folyamatos működés,
- Öndiagnosztika, automatikus hibadetektálás,
- Egyre gyakrabban hibátűrő, illetve hibabiztos működés,
- Hálózatkimaradás elleni védelem,
- Automatikus újraindulás (*Watchdog reset*).

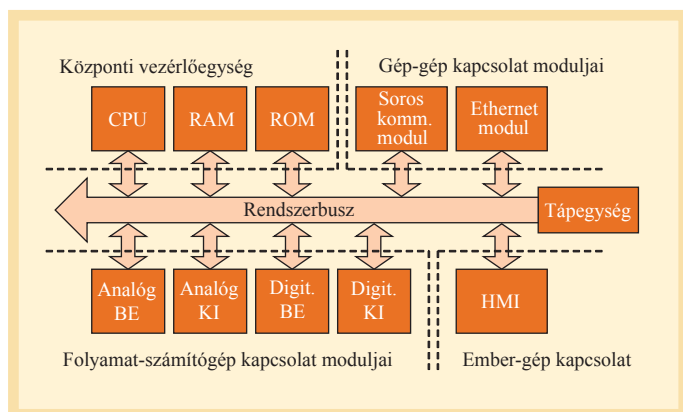
A funkcionalitás szempontjából:

- A felhasználói program ciklikus végrehajtása,
- A mért és számított értékek tárolása, azok időbeli alakulásának megjelenítése,
- Az adatok védelme – a beírt paraméterek, a mért, számított és tárolt adatok megőrzése hálózatkimaradás esetén,
- Hierarchikus irányítási rendszerbe illeszthetőség.

A hardvermodulok kialakítása szempontjából:

- Nagy zavarjelelnyomás biztosítása,
- Nagy mérési pontosság: 0,1 %,
- Automatikus kalibráció támogatása,
- Idegen feszültség behatolása, illetve helytelen bekötés elleni védelem.

1. ábra: Folyamatirányító berendezés rendszerteknikai felépítése



A folyamatirányító rendszerek funkcionális egységei

A folyamatirányító rendszerek hardvermoduljai funkcionálisan az alábbi csoportokba oszthatók (1. ábra):

- Mikroszámítógép mint központi vezérlőegység (CPU),
- Rendszerbusz (a folyamatirányító berendezés moduljait összekapcsoló belső buszrendszer),
- Folyamat–mikroszámítógép-kapcsolat áramkörei (I/O-modulok),
- Ember–mikroszámítógép-kapcsolat áramkörei (HMI-modulok),
- Gép–gép-kapcsolat áramkörei (kommunikációs modulok),
- Tápegység.

A mikroszámítógép mint központi vezérlőegység

A mikroszámítógép – mint egy berendezés vezérlőegysége – két alapvető módon alakítható ki:

- Úgynevezett „önjáró” mikroszámítógép, amely saját tápegységgel, saját dobozzal rendelkezik, az ember–gép-kapcsolatot szokványos számítógép kezelőszervekkel (tasztatúra, monitor, érintőképernyő stb.) valósítja meg. Általános célú, soros/párhuzamos portokon vagy valamilyen ipari buszrendszerrel (ipari Ethernet, terepibuszok stb.) kapcsolódik az adott funkciót megvalósító berendezés vezérlendő részeihez. Ezt a fajta felhasználást *outside-alkalmazásnak* nevezik.
- A mikroszámítógép a kívánt funkciót megvalósító berendezéssel egy elektromos–mechanikus egységet képez, így módon mintegy a berendezés alkatrészévé válik. Ezt a fajta kialakítást *inside- (beágyazott rendszer) -alkalmazásnak* nevezik.

Az *outside-kialakítás* előnyös, ha a feladat jellege lehetővé teszi a mikroszámítógép többirányú alkalmazhatóságát, egyébként az *inside-kialakítás* a célravezető. *Inside-alkalmazásban* mikroszámítógép alatt csak a vezérlési feladatokat ellátó központi vezérlőegységet (CPU), a vezérlés programját tároló ROM-memóriát, a változó adatokat tartalmazó RAM-memóriát, valamint a funkcionális egységek közötti kapcsolatot létrehozó buszrendszert értik. Az *inside-kialakítású* folyamatirányító berendezés felépítését tekintve lehet kompakt és moduláris.

A **kompakt** felépítésű berendezés egy jól körülhatárolt feladatra, jól körülhatárolt bővítő funkciókkal készül. A berendezés hardverkialakítása nem teszi lehetővé a későbbi bővítést, illetve

a rendszer általános célú alkalmazását. A kialakítás előnye a teljesítményoptimalizált méretezés, amely kevesebb áramkörü elemet, kisebb méretet, kisebb teljesítményt igényel, ezáltal nagyobb megbízhatóságot, ugyanakkor kisebb költséget eredményez.

A **moduláris** felépítésű berendezés külön specifikált buszrendszerrel rendelkezik. A rendszer – a funkcionálisan egy-egy egységet képező – modulokból épül fel. A modulok az egységes buszrendszeren keresztül kommunikálnak egymással. A rendszer tetszőleges modulokkal bővíthető, illetve a modulok variábilis felhasználásával a legkülönbözőbb ipari folyamatirányító berendezések alakíthatók ki.

Buszrendszer

A busz univerzális kommunikációs eszköz a rendszer elemei között. A buszra csatlakozó modulok között a buszon keresztül valósul meg a parancs- és adatátvitel. A buszvonalak címeket, adatokat és vezérlőinformációkat szállítanak. Rendszertechnikai szempontból a **buszra kapcsolódó egységek funkciói**:

- **Vezérlő**: az alapállapotba hozó jelet (RESET) és az órajelet (CLK) adja a buszra. A buszon csak egy lehet belőle.
- **Master**: a vezérlőjeleket és a címet adja a buszra. A buszon több is lehet belőle, de egyszerre csak egy működtetheti a buszt.
- **Slave**: a vezérlőjeleket és a címet figyeli, saját címének felismerésekor elvégzi a vezérlőjelek által előírt működést. Két típusa van: memória és periféria. A buszon több slave is lehet, ezek címeinek különböznie kell.
- **Megszakításkérő**: a megszakítási feltétel teljesülése esetén a kiszolgálás kérését jelzi valamelyik megszakítás (interrupt) vonalon.
- **Megszakításfigyelő**: a megszakításvonalakon érkező kéréseket dolgozza fel. A buszon elvileg több is lehet belőle, ha azok különböző megszakításvonalakat figyelnek.

A buszon az adatforgalom egy időben két modul között zajlik. A master-modul látja el a busz felügyeletét és vezérli a buszt. A címvonalak meghajtásával jelöli ki az adatforgalomban részt vevő slave-egységet. A **master- és slave-egységek közötti kapcsolat formája** attól függ, hogy a slave memória- vagy perifériatípusú:

- **Memóriatípusú busz slave** esetén a busz valamennyi címvonala részt vesz a cím kialakításában, és az adatáramlás irányát a MEMREAD-, MEMWRITE-jelek állapota határozza meg.
- **Perifériatípusú busz slave** esetén csak 8 címvonal vesz részt a cím kialakításában, a perifériák külön input-output utasításokkal érhetők el, és az adatáramlás irányát az IOREAD-, IOWRITE-jelek állapota határozza meg.

Áramkörü szempontból a buszra kapcsolódó egységekkel szemben támasztott **legfontosabb követelmények**:

- a vevőpont megengedett fogyasztása 1 TTL bemeneti terhelés
- az adópont minimális meghajtóképessége n TTL egység, ahol n a rendszerbuszra fizikailag kapcsolható modulok száma.

A busz által megvalósítandó **funkciók**:

- **Adatátvitel**: a busz felügyeletét ellátó master (CPU vagy DMA-vezérlő) és a megcímzett slave (memória vagy periféria) között kétirányú (írás, olvasás) átvitelt valósít meg.
- **Programmegszakítás**: a megszakításfigyelő egységek számától függő számú és prioritású megszakítási szint alakítható ki. A megszakítási feltétel teljesülése esetén egy megszakításkérő vezeték meghajtásával jelzi a perifériamodul a kiszolgálás kérését. A megszakításfigyelő egység ennek hatására megszakítja a programfuttatást, és végrehajtja a megszakítás kiszolgáló rutint. Amennyiben egy szinten belül több megszakítási ok lehetséges, a megszakítási okot programozott vizsgálattal (*polled*-mód) kell megkeresni.

- **Közvetlen memória-hozzáférés (DMA)**: A master-funkciót a CPU-n kívül más egység is elláthatja (DMA-egységek). Ilyenkor a DMA-egységből érkező kérés hatására a CPU felüggeszti működését, a buszt szabaddá teszi (lekapcsolódik a buszról), és lehetővé válik, hogy egy DMA-egység a memória és egy kiválasztott periféria között közvetlen adatátvitelt valósítson meg. A DMA-perifériák gyors működésű, sokszor a processzor adatátviteli sebességénél gyorsabb, blokkos adatátvitelt magvalósító eszközök (tipikusan a gép-gép-kapcsolatot megvalósító, kommunikációs processzorok).

Egy ipari folyamatirányító számítógép rendszerbusza tipikusan az alábbi **vonalak**at foglalja magában:

- **Címbusz** – a memóriák és a perifériák címzésére szolgál (16...32),
 - **Adatbusz** – az adatok kétirányú átvitelét végzi (8...16),
 - **Vezérlőbusz** – a különböző vezérlőjeleket biztosítja (8...16),
 - **Megszakításbusz** – a megszakítási kérések jelzésére szolgál (1...8),
 - **Tápfeszültségbusz** – a buszra kapcsolódó modulok tápfeszültség-ellátásának eszköze.
- A buszvonalak **meghajtása** lehet:
- **TTL** – abban az esetben alkalmazható, ha a jelet mindig ugyanaz a vezérlő adja ki.
 - **Háromállapotú (*tri-state*)** – olyan esetben kell alkalmazni, ha több kártya hajtja meg a vonalat, de egy időben biztosan csak egy működik.
 - **Nyitott kollektoros (*open collector*)** – lehetővé teszi, hogy egyidejűleg több aktív meghajtó legyen a buszon, és a buszvonali állapotát ezen meghajtók kapcsolata határozza meg.

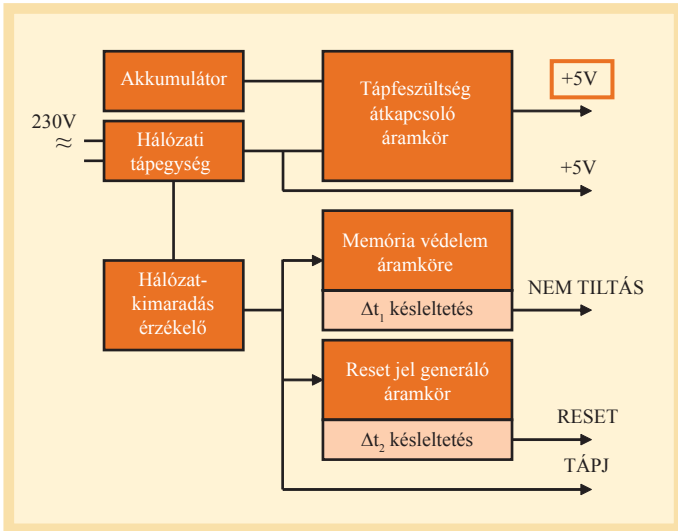
Központi vezérlőegység

A központi vezérlőegység (CPU-modul) lelke a mikroprocesszor, amelynek kiválasztása alapvetően meghatározza a fejlesztés sikerét, ezért kiemelten kell foglalkozni a vele szemben támasztott követelmények definiálásával. Az első mikroprocesszor 1971. évi megjelenése óta nagyarányú fejlesztésnek lehettünk tanúi, és napjainkban már több ezerre tehető a gyártott és specifikációjukban különböző mikroprocesszorok száma. A megfelelő típus kiválasztása igen komoly probléma, ezért a teljesség igénye nélkül mindenképp meg kell vizsgálni az alábbiakat:

- **Belső működési sajátosságok**, úgymint sebesség, architektúra, interruptrendszer, címezhetőség, az utasításkészlet mérete, hatékonysága, tápfeszültségek száma.
- **A mikroprocesszor hardverkönyezetete**, vagyis milyen a memória- és a periféria- (illesztő) -áramkör, illetve a hardveres fejlesztőeszköz ellátottsága. Milyen szabványos interfészeket, buszokat támogat az eszköz?
- **A mikroprocesszor szoftverkönyezetete**. Van-e hozzá integrált fejlesztőrendszer? Milyen programnyelveket támogat? Léteznek-e és elérhető áron hozzáférhetők-e a szükséges függvénykönyvtárak? Milyen szinten támogatott a PC-s szimuláció, illetve milyen debug-lehetőségeket támogat a rendszer? Általánosságban elmondható, hogy hardver- és szoftvertámogatottság nélkül a mikroprocesszoros fejlesztés gazdaságtalan, és értelme erősen kétségbe vonható. Ez tehát azt is jelenti, hogy általában a processzor kiválasztását nem is annyira belső sajátosságai, mint inkább a hardver- és szoftverkönyezet ellátottsága határozza meg.

Hálózatkimaradás ellen védett RAM-memória

A folyamatirányító, mérésadatgyűjtő, adatfeldolgozó és monitoring rendszerek – az adott alkalmazástól függő mennyiségű



2. ábra: Hálózatkimaradás elleni védelem áramköre

– mért, számított és összegzett adat átmeneti tárolását végzik. Ezen adatok elvesztése – egy hálózatkimaradás esetén – súlyos károkat okozva a berendezés használhatóságát kérdőjelezné meg. A szoftver „gyárthatósága” miatt ezek a rendszerek többnyire magas szintű nyelven programozhatók. A magas szintű nyelven szemben tehát alapvető követelmény, hogy a rendszer képes legyen a megszakított program folytatására. A folyamatirányító rendszerek hibátlan működésének feltétele a RAM-tartalom tápfeszültség-kimaradás elleni védelme, hálózatkimaradás esetén a program és a rendszerállapot mentése, illetve a hálózat visszatérése esetén azok visszaállítása. A RAM-tartalom tápfeszültség-kimaradás elleni védelmére ma már akkumulátorral és automatikus védelemmel ellátott memóriák is forgalomba kerülnek, és kis memóriagény esetén ezek valóban jó megoldások. A mérésadatgyűjtő-rendszerek – az egyre inkább igényként felmerülő monitoringszolgáltatás miatt – azonban nagy kapacitású memóriatárak kialakítását igénylik. Erre a célra a fenti RAM-ok alkalmazása még mindig költséges, és önmagában nem elegendő az előírt követelményeknek teljesítésére sem.

A berendezés hálózatkimaradás elleni védelmét tehát további tervezési megfontolásokkal kell megoldani. A RAM-tartalom tápfeszültség-kimaradás elleni védelme az úgynevezett hálózati akkumulátoros működtetésen alapul. Ez azt jelenti, hogy a hálózati feszültség megléte esetén a RAM-okat hálózati feszültséggel működtetett stabilizátorral táplálják. Ha viszont a hálózati feszültség kimarad, a táplálás automatikusan akkumulátorról történik. Az áramköri kialakítás gondoskodhat – a hálózati működtetés alatt – az akkumulátorok folyamatos töltéséről is, de az elemes megoldások is igen elterjedtek. A kisméretű, néhány száz mAh teljesítményű akkumulátorokhoz a félvezetőgyártók különleges, kislevegységű, statikus RAM-memóriatípusokat fejlesztettek ki. A RAM-memórián túl természetesen a real-time óra tápellátását is célszerű az akkumulátorról megoldani, hiszen a tápfeszültség visszatérését követően a tápfeszültség kimaradásának és visszatérésének időpontját regisztrálni kell, és például egy mérésadatgyűjtő-rendszerrel a programfutás is csak akkor folytatódhat automatikusan, ha az órát nem kell manuálisan beállítani.

Az alkalmazott CMOS RAM-memóriák tipikus áramfelvétele 0,2...10 nA, minimális tápfeszültsége 2...2,4 V, a tartalom megőrzésének fel-

tétele pedig az, hogy tápfeszültség-kimaradás esetén a memória kiválasztása legyen letiltva! A tápfeszültség-kimaradás elleni védelmet biztosító áramkör funkcionális blokkvázlata a 2. ábrán látható. A funkcionális egységeknek hálózatkimaradás esetén is megbízhatóan kell működniük, ezért akkumulátoros táplálásúak. Ebből következik, hogy alacsony fogyasztású CMOS-áramköröket kell alkalmazni.

A tápfeszültség-kimaradást érzékelő áramkör feladata a hálózati feszültség megszűnésének megbízható érzékelése és jelzése (TÁPJ). Az **érzékelés** lehet:

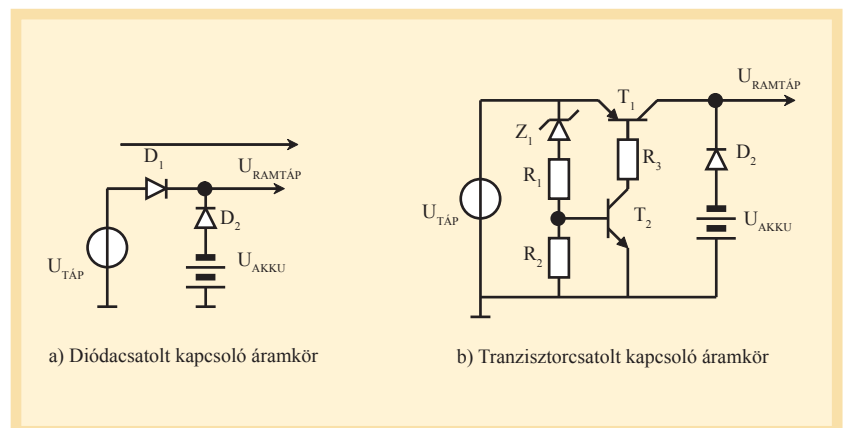
- **primer oldali** – a hálózati primer feszültséget figyeli, és ha a hálózatban egy fél periódus kimarad, akkor jelzést ad,
- **szekunder oldali** – az egyenirányított, de stabilizálatlan 5 V-os tápfeszültség értékét hiszterézises komparátorral figyeli, és ha a feszültség egy előre beállított szint alá csökken, akkor jelzést ad.

Az érzékelő áramkört, funkciójából eredően, a tápegységben alakítják ki. A tápegység tárolókapacitását úgy kell megválasztani, hogy – névleges terhelés esetén is – a hálózatkimaradás-jelzést követően néhány ms ideig tartsa fenn a teljes rendszer működőképességét. A tápfeszültség-kimaradást érzékelő áramkör jelzésének (TÁPJ) megszakításként történő felhasználása lehetővé teszi a megszakított program állapotának, illetve a pillanatnyi rendszerállapotnak az elmentését, továbbá a program működésének felfüggesztését. Ehhez az szükséges, hogy a tápegység tárolási ideje nagyobb legyen, mint a tápfeszültség-kimaradáshoz rendelt megszakítás (TÁPIT) kiszolgálási ideje. Ezért a tápfeszültségkimaradás-jelzésnek a legmagasabb prioritásúnak kell lennie, és az alacsonyabb prioritású megszakításkiszolgáló rutinokban sem szabad letiltani a TÁPIT-megszakítás érvényre jutását.

A tápfeszültség-átkapcsoló áramkör végzi a RAM-ok hálózati táplálású rendszerének tápfeszültségről akkumulátoros táplálásra történő átkapcsolását. A 3. ábrán egyszerű tápfeszültség-átkapcsoló áramkörök láthatók. A diódacsatolt kapcsolóáramkör előnye az egyszerű kialakítás, hátránya, hogy a kapcsolódióda viszonylag nagy záró irányú árama akkumulátoros tápláláskor többletfogyasztást eredményez. A tranzistorcsatolt kapcsoló áramkörben a kapcsolótranzisztor határozott zárása miatt az akkumulátor működési idejét csökkentő záró irányú áram lényegesen kisebb, mint dióda esetén.

A memóriavédelem áramköre gondoskodik arról, hogy a tápfeszültség-kimaradáskor a TÁPIT-rutin kiszolgálási idejének megfelelő késleltetési idő (Δt_1) eltelte után határozottan letiltásra kerüljön a RAM-memória kiválasztása. A memóriatiltás jele két módon hozható létre:

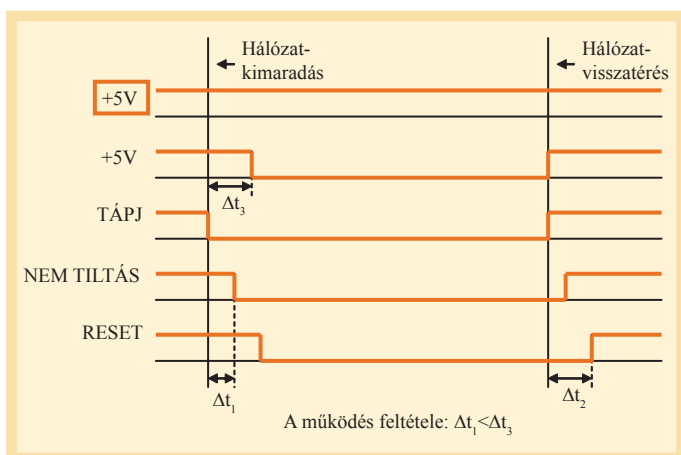
3. ábra: Tápfeszültség-átkapcsoló áramkörök



- A TÁPIT kiszolgáló rutin utolsó lépéseként egy erre a célra fenntartott kimeneti vonal értékének beállításával,
- Egy késleltető áramkör felhasználásával, amelynek késleltetési ideje kisebb, mint a tápegység tárolási ideje.

Annak érdekében, hogy a tápfeszültség megszűnésekor az esetlegesen fellépő hibás programvégrehajtást elkerüljük, célszerű a rendszert – a hálózatkimaradás-jelzés hatására lefutó TÁPIT-rutinban az állapotmentés végrehajtása után – egy felfüggesztett üzemmódba (HALT) állítani, amelyből csak egy rendszer-reset hozhatja ki. Ezért biztosítani kell, hogy a TÁPJ-jel megjelenését követő $\Delta t_2 > \Delta t_1$ idő múlva a RESET- (a rendszert alapállapotba hozó) -jel megjelenjen, és a hálózat visszatérését követően Δt_2 ideig fennálljon. Ezt valósítja meg a RESET-jelet generáló áramkör.

A megbízható működés szempontjából rendkívül fontos szerepe van annak, hogy a RESET-jelet generáló áramkör működése az előzőekben leírtaknak megfelelően összhangban legyen a hálózatkimaradást jelző áramkör működésével. Ha ugyanis egyszer a hálózatkimaradást jeleztük, és a TÁPIT lefutott – amelynek hatására a berendezés várakozó (HALT) állapotba került –, akkor feltétlenül szükséges, hogy a berendezést ebből az állapotból kimozdító, alapállapotba hozó jelet is ugyanaz a szekvencia szolgáltatja. A működés idődiagramját a 4. ábra szemlélteti.



4. ábra: Tápfeszültség-kimaradás jelzésének idődiagramja

A hálózatkimaradás és -visszatérés szoftvervonatkozásai

Az előzőekben ismertetett hardvereszközökön kívül szükség van a rendszerprogramban az alábbiakban definiált funkciók bevezetésére és megvalósítására.

A tápfeszültség-kimaradást jelző megszakítást (TÁPIT) kiszolgáló rutin hálózatkimaradás esetén fut le. Elemi a hálózatkimaradás idejét, a rendszerállapotot, a CPU(k) regisztereinek, programszámlálójának, stack pointer-ének értékét, beállítja a hálózatkimaradás jelzését (HKMJ=1), elemi a megszakítások állapotait, letiltja a megszakítási rutinok végrehajtását, majd a rendszert várakozó (HALT) állapotba viszi.

A rendszert alapállapotba hozó RESET-jel hatására elinduló inicializáló program a hálózatkimaradás jelzésétől függően két ágon futhat:

- **Hideg reset** – A berendezés olyan inicializálási eljárása, amely akkor fut le, ha a RESET-jelet nem szabályos hálózatkimaradási procedúra állította elő (nincs hálózatkimaradás-jelzés, azaz HKMJ=0: pl. első bekapcsolás, reset-állapotba kényszerítés). Az eljárás törli a memóriaterületeket, a változókat, alapállapotba hozza a parancsregisztereket és ez alapján

elvégzi a perifériák felprogramozását, majd átadja a vezérlést a főprogramnak.

- **Meleg reset** – A berendezés olyan inicializálási eljárása, amely akkor fut le, ha a RESET-jelet hálózatkimaradási procedúra állította elő (van hálózatkimaradás-jelzés, azaz HKMJ=1). Az eljárás a parancsregiszterek utolsó tartalma alapján felprogramozza a perifériákat, eltávolítja a hálózat visszatérésének idejét, visszaállítja a CPU(k) regisztereinek, programszámlálójának, stack pointer-ének tartalmát, törli a hálózatkimaradás jelzést (HKMJ=0), de nem törli a memória tartalmát! Majd átadja a vezérlést a programszámláló által meghatározott programsorra.

A folyamat–mikroszámítógép-kapcsolat áramkörei

A folyamat–mikroszámítógép-kapcsolat (I/O-modulok) áramköreinek feladata a folyamat érzékelői, távadói, jelzőműszerei által szolgáltatott analóg és digitális információ bevitelle a számítógépbe, ill. a számítógép által szolgáltatott analóg és digitális információ kivitele a számítógéppel kapcsolatban lévő beavatkozó- és jelzőrendszer számára. A folyamat és a számítógép összekapcsolása során felmerülő illesztési feladatok a technológia jellegétől, a folyamat térbeli kiterjedésétől, a folyamatirányítási feladattól, a folyamatműszerek típusától, a környezeti viszonyoktól függenek. A szerteágazó követelményrendszer moduláris kialakítással elégíthető ki. Ez egyrészt lehetővé teszi a különféle igényeknek megfelelő illesztési változatok előállítását, másrészt a folyamatmodulok fokozatos bővíthetőségét.

A folyamatjelek sokfélesége megköveteli, hogy az I/O-modulok megoldják a jelillesztést, a folyamatparaméterek változási sebességének megfelelő, valós idejű érzékelést és beavatkozást, valamint a torzításmentes jelátvitelt. A jelillesztés egyenáram-egyenfeszültség-átalakítást, nullponteltolást, feszültségosztást, erősítést, hőelemek hidegponti hőmérsékletének kompenzálását, teljesítményerősítést jelent. A valós idejű érzékelés és beavatkozás a jelkezelésre előírt időkorlát betartását követeli meg. A torzításmentes jelátvitel a zavarjelek kiküszöbölését, ill. csökkentését igényli. A zavarjelekkel kapcsolatos tudnivalókat már korábban összefoglaltuk, ezért itt csak arra hívjuk fel a figyelmet, hogy az I/O-modulok tervezésekor, vagy egy adott feladat megoldására alkalmas modulrendszer specifikálásakor a zavarjelelnyomás módszereit – árnyékolás, földelés, galvanikus leválasztás, szűrés stb. – mindig tartsuk szem előtt. Az **I/O-modulok** a folyamatműszerezés jeltípusainak megfelelően **négy fő csoportba** sorolhatók:

- analóg bemenetek,
 - digitális bemenetek,
 - digitális kimenetek,
 - analóg kimenetek.
- E modulok mindegyike az alábbi **funkcionális részegységeket** tartalmazza:
- jelcsatlakozás,
 - jelformálás,
 - belső áramkör,
 - modulvezérlő áramkör.

A folyamatirányító rendszerek felépítésének tárgyalása során a folytatásban részletesen kitérünk a folyamat–mikroszámítógép-kapcsolat áramköreihez tartozó – felsorolt – funkcionális részegységek feladatainak és kialakításainak tárgyalására (erre helyhiány miatt ebben a számban már nem kerülhetett sor), majd sorra vesszük az analóg bemeneti modul, az analóg méréspontváltók és az analóg–digitális-átalakítók működésének és felépítésének az ismertetését.

editor@magyar-elektronika.hu