

Tanulói mérési segédlet
PAL áramkör
MIXI 21. számú alkalmazás

Tartalom

Bevezetés	2
A méréshez szükséges elméleti ismeretek	3
A felkészültséget ellenőrző kérdések	8
A mérés leírása	9
Az oktató eszköz funkciói ezen alkalmazásban	9
A mérés előkészítése	13
A PAL áramkör felépítése	14
Mérési feladatok	15
1. feladat	15
2. feladat	15
3. feladat	15
4. feladat	15
5. feladat	16
6. feladat	16
7. feladat	16
8. feladat	16
9. feladat	16
10. feladat	16
11. feladat	16
12. feladat	17
13. feladat	17
14. feladat	17
1. sz. függelék: A MIXI-PAL áramkör kapcsolási rajza	18
2. sz. függelék: Javaslatok további felhasználásra, projektmunkára	19

Bevezetés¹

A MIXI™² oktatórendszer a digitális rendszertechnika korszerű elemeinek bemutatásához kapcsolódva a középfokú szakoktatás igényeit kívánja kielégíteni. Ezen oktatórendszert javasoljuk használni a szakközépiskolák, a műszaki gimnáziumok és minden típusú középfokú szakképzés, valamint az iskolarendszerű akkreditált felsőfokú szakképzés számára, mert hasznos segédeszköz az elméleti és a gyakorlati oktatásban egyaránt.

Az oktatórendszer az elektrotechnika-elektronika tárgykörben segíti megismerni: egyrészt a rendszerektől az alkatrészekig, – például a jelzőlámpás útkereszteződés rendszerét, az állapotgépeket, a berendezés-orientált integrált áramköröket, stb., – másrészt az autóvillamosság egy- egy területét is. Az informatikai szakterület alkalmazásai az alapos megismerést segítik: a hardver elemeknek, a számítástechnikai hardver közeli szoftvereknek és a számítógéppel vezérelt mérés technikának.

A MIXI univerzális oktatórendszer, mert a megismerés eltérő szintjeit valamennyi alkalmazásában támogatja. Így a szakterület iránti érdeklődés felkeltésétől a méréseken át egészen az alkalmazás továbbfejlesztését szolgáló projektmunkáig lehetőséget nyújt az adott alkalmazás megismerésére. Hasznos segédeszköz lehet mind a világbanki első-másodévesek orientációs-motiváló gyakorlatainál, mind a projektmunkában, mind az érettségi utáni időszakban a rendszertechnikai oktatásban is.

A MIXI a többi oktatórendszerrel ellentétben rendszerszintű és univerzálisan használható taneszköz. Más oktatórendszerek alkalmazásakor a nem flexibilis mérőkártyák gyorsan elavulhatnak, ráadásul a kártyákból sokfélét kell vásárolni.

A MIXI oktatókártya legfontosabb jellemzői:

- XILINX 3000-es sorozatú FPGA IC-re alapozott rendszer,
- 64 féle adaptív és önellenőrző program lehet az EPROM-ban,
- 42 mátrixba rendezett aktív kivezetés a külső csatlakoztatható eszközökhöz,
- a projektmunkát segítő projekt-csatlakozó,
- analóg be- és kimenet egy 8 bites A/D és D/A átalakítóval,
- 4 számjegyes LED kijelző és hangkeltő a kommunikációhoz,
- 15 féle hiba generálására szolgáló hibabeviteli lehetőség,

Az oktatókártyára a felhasználni kívánt alkalmazás "programozásakor" felhelyezzük a mérés ábráját tartalmazó maszkot, majd a maszkon lévő lyukakba a szükséges külső csatlakoztatható alkatrészeket, a mérési útmutató által előírt elrendezésben.

A mérőkártya a helyes elrendezést automatikusan ellenőrzi és rendszerüzenettel figyelmeztet minden rendellenességre, köztük az esetleges helytelen alkatrész-felhelyezésre is.

A rendszerüzeneteket és aktuális jelentéseiket (E0...E2) a maszkról is leolvashatjuk.

Dokumentációinkat ne másolja, mert valamennyi jog a MIKROVOLT Kft. tulajdona!

¹ © A MIKROVOLT Fejlesztő- és Kereskedelmi Kft. kiadvánnyal kapcsolatos minden jogát fenntartja.

² A MIXI™ a MIKROVOLT Fejlesztő- és Kereskedelmi Kft. védjegye.

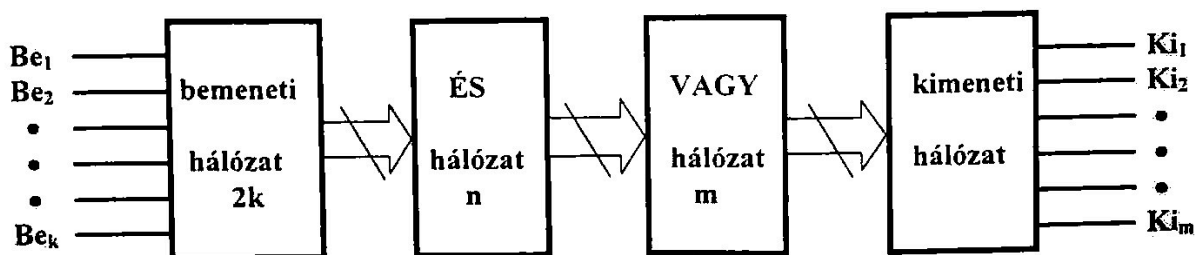
A méréshez szükséges elméleti ismeretek

A programozható integrált logikai áramkörök robbanásszerűen terjedtek el az utóbbi években és manapság szerves részei az elektronikai rendszerek tervezésének. Egy integrált áramkör **programozhatósága** azt jelenti, hogy a félvezetőgyártó által forgalomba hozott áramkör még nem képes előre meghatározott funkciókat megvalósítani, hanem csupán a "keretét" teremti meg a funkciók ellátásának. **A felhasználó maga hozza létre az igényeinek megfelelő áramkört** az alkatrész tulajdonságainak kisebb-nagyobb mértékű megváltoztatásával.

A programozható áramkörök felhasználásának több **előnye** van. Mivel - megfelelő alaptulajdonságokkal felruházott alkatrészek választása esetén - a szükséges logikai függvények megvalósíthatók a standard logikai családokban használatos alkatrészválaszték figyelembe vétele nélkül, **a felhasználandó alkatrészek választékának és darabszámának csökkenése**, és ezáltal **nyomtatott áramköri terület felszabadulása** következik be. Ha követni akarjuk az elektronikában kialakult „**minél nagyobb integráltság - minél rövidebb fejlesztési idő**” trendet, a programozható logikai áramkörök használata döntő fontosságú. A nagyfokú **rugalmasság**, az **integrálás sűrűsége**, az **alacsony fejlesztési költségek** és végül, de nem utolsósorban az **alacsony ár** az, ami ezeket az alkatrészeket az elektronika minden területén vonzóvá teszi.

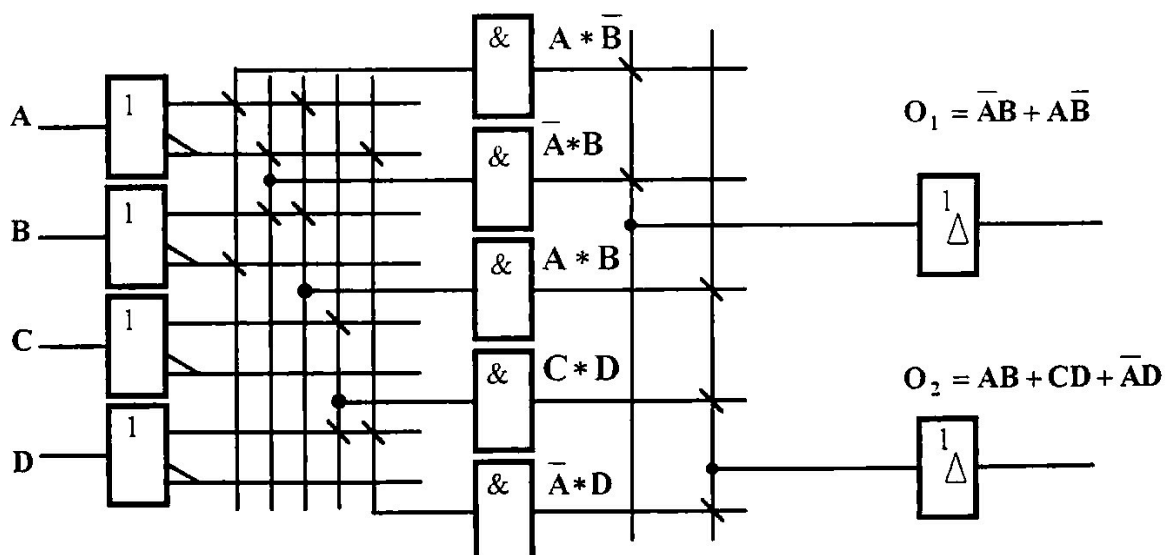
A programozható logikai áramkörök (angolul Programmable Logic Device, röviden **PLD**) kisebb bonyolultságú típusait a gyártók (a belső felépítéstől függően) **PLA** (Programmable Logic Array), **PAL** (Programmable Array Logic) illetve **GAL** (Gate Array Logic) elnevezéssel forgalmazzák. A közepes és nagy bonyolultságú áramkörök **CPLD** (Complex Programmable Logic Device) illetve **FPGA** (Field Programmable Logic Array) néven kaphatóak (de egyes félvezetőgyártóknál más elnevezésekkel is lehet találkozni).

A kombinációs jellegű programozható áramkörök blokkvázlata négy elkülöníthető egységet tartalmaz:



- a **bemeneti hálózat** a **k** darab bemeneti logikai változó ponált (eredeti) és **negált változatát** hozza létre **2k** darab kimenettel (ez nem programozható áramköri rész)
- a bemeneti hálózat által létrehozott logikai jelekből a programozás alkalmával azokat kell kijelölni, amelyek a **közös ÉS-kapukra** kerüljenek (így a bemeneti változókból **n** darab minterm képezhető)
- az **n** darab ÉS kapu kimenetei közül programozással lehet kiválasztani azokat, amelyek a **közös VAGY-kapukra** kerülve egy-egy kész logikai függvényt létrehoznak (a VAGY-kapuk száma, és így az egyszerre megvalósítható logikai függvények darabszáma **m**). Azokat az áramköröket, amelyekben a VAGY-kapuk bemenetei nem programozhatóak, PAL-nak nevezik, a programozhatóakat viszont PLA-nak.
- a kialakított logikai függvények a **kimeneti hálózaton** keresztül kerülnek az áramkör kimeneteire (magnövelt jelteljesítménnyel, szükség esetén szabad kollektoros vagy tri-state jelleggel).

Az alábbi példa egy 4 bemenetű, 5 mintermet megvalósító, 2 kimenetű PLA programozott állapotát mutatja. Az ÉS-kapukat és a VAGY-kapukat az egyszerűség érdekében 1-1 bemenettel ábrázoltuk, a valóságban a bemeneteik száma **2k**, ill. **n** (példánkban 8, ill. 5). A vezetékek soroszlop elhelyezését mutató ún. programozó-mátrixokban csak a keresztekkel jelölt helyeken van összekötés.



- A PLA áramkörök továbbfejlesztett változataiba néhány további lehetőséget is beépítenek:
- a kimeneti hálózat (D típusú) **tároló elemeket** is tartalmaz az egyes logikai függvényértékek (közös órajellel szinkronizált) eltárolására (regiszter jelleg),

- a kimeneti hálózatot olyan egységekből, ún. **makrocellákból** építik fel, amelyek programozással válaszhatóan kimenetként vagy bemenetként, kombinációs vagy regiszteres jelleggel működhetnek,
- a programozottan létrehozott (a tároló elem előtti, vagy az eltárolt) **logikai függvényértékeket visszavezetik** az ÉS-kapukat megelőző programozó mátrixba, hogy a mintermek képzésénél ugyanúgy felhasználhatóak legyenek, mint az eredeti bemeneti logikai változók (logikai visszacsatolás),
- a kimeneti tri-state meghajtók **engedélyező jelét** (minterm formájában) programozással lehet előállítani.

A programozható logikai eszközök kifejlesztéséhez feltétlenül szükséges volt olyan jelkapcsoló áramköri elemek kialakítása, amelyek félvezető lapkán mikro-technológiai módszerekkel (fotózás, maratás, gőzölés stb.) létrehozhatóak, majd az áramkör tokozása után (tehát akár a felhasználónál is) átállíthatóak ellentétes állapotba: zárlatból szakadásba, vagy fordítva. Egyes kapcsolóelemek programozása nem megfordítható átalakulással jár (ezek az egyszer-programozható, angolul One-Time-Programmable, azaz OTP kapcsolók), mások programozása megismételhető (ezeket a törölhető, angolul erasable szóból eredően a típusjel elé helyezett E-vel jelölik).

Az **egyszer programozható kapcsolók** egyik csoportja a hálózati **olvadó biztosító**khoz hasonlóan működik: egy speciális anyagból (korábban NiCr vagy TiW ötvözetből, újabban polikristályos szilíciumból) elvékonyodó alakúra készített vezető szakaszon nagy áramot átvezetve a helyi felmelegedés hatására a vezető megszakad. Éppen fordítva működő, ún. **ellen-biztosító** (antifuse) is készíthető, amely eredeti állapotában szakadás, azonban egy áramlökés hatására meginduló anyagvándorlás (AIM technika) teszi vezetővé, vagy feszültséglökés hatására átüt egy kb. 0.1 μm vastagságú dielektrikum. Az egyszer programozható kapcsolók a PLA eszközök ÉS ill. VAGY programmezőinek minden keresztezési pontjába el vannak helyezve, a programozás alkalmával a felesleges biztosítókat sorban egymás után ki kell „égetni”, ill. a szükséges ellen-biztosítókat egyenként be kell kapcsolni. A gyakorlatban előforduló alkalmazásokban sokszorosan több a felesleges biztosító, mint a megmaradó átvezetés, emiatt az ellen-biztosítót alkalmazó eszközök programozása sokkal kevesebb időt igényel, mint a kiolvadó biztosító áramkörök.

A **többször programozható kapcsolóelemek** egyik csoportja a tápfeszültség megszűnése után is megtartja ki-, ill. bekapcsolt állapotát. Ezek lényege egy olyan tervezérlésű tranzisztor, amelynek vezérlő elektródája „lebeg”, minden irányban szilíciumoxid szigeteli el a környezetétől. A lebegő elektródára azonban egy speciális kvantummechanikai módszerrel töltést lehet felvinni, ill. onnan elvezetni, a töltéstől függően a tranzisztor szakadás ill. vezetés állapotában működik. A lebegő elektróda a töltését ibolyántúli sugárzás hatására is elveszíti, ezt a törlési módszert használó eszközöket UV-E jelöléssel látják el (és az áramköri tokon található kvarcüveg ablakról ismerhetők fel). Az újabb alkatrészekben már a kvantummechanikai elvű töltéselvitelt használják, ezeket az eszközöket villamosan törölhetőnek (angolul Electrically Erasable) nevezik, EE jelöléssel.

A **tápfeszültség megszűnésére törlődő kapcsoló** lényegében egy (D típusú) elemi tárolóval vezérelt tervezérlésű tranzisztor. Az ún. RAM-jelleggel programozott eszközöket a tápfeszültség bekapcsolása után konfigurálni kell, azaz belső tárolóit feltölteni egy külső tárolóból a kapcsolóelemek kívánt állapotával. (Speciális kvantummechanikai hatások elmaradása miatt ezeknek az eszközöknek az élettartama és újra-programozhatóságuk darabszáma korlátlan!)

A fentiekben röviden vázolt áramkör-programozások végrehajtására általában speciális **programozó készülék** szükséges (tehát az áramkört ki kell emelni az üzemelési helyén levő foglalatából és behelyezni a programozó, más néven „égető” foglalatába). A programozó készülék csak a villamosan törölhető és a RAM-jelleggel programozott eszközök esetén maradhat el, mivel csak ezeket kapcsolóelemeket lehet a digitális rendszerekben szokásosan előforduló feszültségekkel törölni és újra programozni. Ezek az eszközök tehát a **rendszerben programozás** (angolul in-system programing) előnyös tulajdonságával rendelkeznek, ezt az **isp** jelöléssel szokás hangsúlyozni.

A programozható logikai áramkörök használata megköveteli, hogy a felhasználó **számítógépes készüléket/rendszert** működtessen, amely segíti a programozás **előkészítését**, **szimulációval** előzetesen ellenőrzi a kialakítandó áramkör funkcióját, végrehajtható az áramkör **programozása** és végül ellenőrizhető a programozás **helyes végrehajtása**.

A programozható logikai áramkörök használata a hagyományos áramköröknél még élesebben veti fel a **logikai tesztelés** szükségességét: míg a hagyományos áramköröket a gyártó **részletes (parametrikus és funkcionális)** ellenőrzés után árusítja, addig a programozható áramköröknek a

gyártó csak paramétereit ellenőrizheti, hiszen a funkció a felhasználó igényei szerint, csupán a felhasználó telephelyén alakul ki.

A fenti témakörök tanulmányozásához ajánlott elolvasni a "Tanulói útmutató a MIXI oktatórendszerhez" című kiadvány "Nagymértékben integrált digitális áramkörök" és "Digitális áramkörök vizsgálata" című fejezeteit.

A felkészültséget ellenőrző kérdések

- Mi a kombinációs logikai áramkörök és a sorrendi áramkörök közötti alapvető különbség?
- Ismertesse a Boole-algebra elemi műveleteit (INVERTÁLÁS, ÉS, VAGY)!
- Írja le a NAND és NOR alapvető logikai függvényeket!
- Mi a kombinációs logikai függvények Karnaugh-táblán alapuló egyszerűsítési eljárása?
- Mi a logikai függvényekben használatos minterm fogalma?
- Mi jellemzi a logikai áramkörök tri-state jellegű kimenetét?
- Kombinációs áramkörökben hogyan jöhet létre hazard jelenség? Milyen esetben, milyen módszerrel lehet megszüntetni a hazardot?
- Hogyan írható le az RS típusú elemi tároló működése?

A mérés leírása

Az oktató eszköz funkciói ezen alkalmazásban

A MIXI oktatókártyára helyezett maszk egy PAL-jellegű programozható logikai áramkört ábrázol (amely 6 bemenetű, két kimenetű), továbbá a bemeneti jelet létrehozó kapcsolókat és a kimenetek állapotát jelző LED-eket tartalmazza.

A mérés végrehajtásához a számítógépen egy - erre a célra kifejlesztett - program (PAL_MIXI) futtatására van szükség.

Alaplapi eszközök

Hétszegnemeses kijelzők

A baloldali 1. számjegy a rendszerben előforduló hibaállapot kódját mutatja. A 0 érték a hibátlan működés jele, az 1 - 7 értékek az egyes felderítendő hibák kódjai. A többi három kijelző az alkalmazás nevét (PAL) mutatja.

Reset nyomógomb

A nyomógomb használatával a rendszert arra kényszerítjük, hogy az alkalmazást újraindítsa, ekkor hiba emuláció nincs (0 hibakód a baloldali kijelzőn).

User nyomógomb

Az alaplapon található baloldali nyomógomb többfunkciós. Egyrészt az alkalmazás kényszerített betöltésére szolgál, másrészt az alkalmazás működése során ez a nyomógomb az emulálandó hiba sorszámának beállítását végzi. Ismételt megnyomásra a baloldali számkijelzőn megjelenő hibakód eggyel nagyobb értékre vált, majd a 7 értéket követően 0-ra ugrik vissza.

Külső csatlakoztatható eszközök

LED-nyomógombok

A, B, C, D, E	bemenő jelek	sárga
F	bemenő jel, ha az 1-es kimenet bemenetként van használva	sárga

1-es kimenet	az első kapcsolás kimenete	zöld
	az első kapcsolás kimenete, negált jel	zöld
2-es kimenet	a második kapcsolás kimenete	zöld
	a második kapcsolás kimenete, negált jel	zöld

Külső huzalozás

Az F bemenő jel az 1. kimenetre huzalozható, ha az 1. kimenetének állapotát jelző LED-nyomógombot eltávolítjuk. A huzalozáshoz egy speciális csatlakozóval ellátott mérővezeték használható, amely a 21. sz. MIXI alkalmazás normál tartozéka.

A PAL MIXI számítógépes program

A PAL MIXI program feladata a PAL áramkörök összeköttetési programjának (szöveges és grafikus) szerkesztése és betöltése a MIXI oktatórendszerbe. Az összeköttetési program szerkesztése és tárolóba mentése MIXI oktatórendszer nélkül is végrehajtható.

A PAL MIXI program futtatási környezete

A program futtatásához legalább Intel 80286 vagy azzal kompatibilis processzor és VGA monitor szükséges, (monokromatikus és színes monitor egyaránt használható). A program kezelését megkönnyíti az egér használata. A készülékek csatlakoztatása a PC LPT1, vagy LPT2 portjára és a MIXI készülék projekt-csatlakozójába helyezett speciális kábellel valósítható meg. A program Windows 3.1 (vagy későbbi verziók) alatt fut.

A PAL MIXI program futtatásához szükséges fájlok

PAL_MIXI.EXE	=> a PAL programozó program
PAL_MIXI.INI	=> a programozó program inicializáló fájlja
*.MXF	=> a PAL áramkör összeköttetési programjának fájlja(i)

A PAL MIXI program menüpontjai és almenüi

Fáj	Új	az összeköttetéseket eltávolítja
	Betöltés	behív egy korábban elmentett MXF file-t
	Mentés	a megszerkesztett logikai függvényeket speciális MXF formátumban elmenti

	Mentés mint...	a megszerkesztett logikai függvényeket új elnevezéssel- elmenti
	Mentés képként Kilépés	a kapcsolást BMP formátumban elmenti kilép a programból
Nézet	Rendezés	az összekötéseket a bemenetek betűjelének sorrendjében helyezi el (a kapcsolat működésére nincs hatása)
	IEEE	a kapcsolást az USA IEEE vonatkozó szabványa szerint ábrázolja
	ISO IEC	a kapcsolást MSZ IEC 617-12 szabvány szerint ábrázolja (default beállítás)
	Funkcionális	a kapcsolást funkcionális nézetben ábrázolja (default beállítás)
	Szimbolikus	a kapcsolást szimbolikus nézetben ábrázolja
MIXI	Átvitel	a képernyőn látható kapcsolást ellenőrzöttten továbbítja a MIXI oktatórendszernek (megfelel az Átvitel feliratú kezelőszervnek)
	Reset	kiküld egy alaphelyzet-beállító (reset) jelet a MIXI oktatórendszernek
	LPT1	az átvitelt az LPT1 portra irányítja (default beállítás)
	LPT2	az átvitelt az LPT2 portra irányítja.

A PAL_MIXI program LPT1 ill. LPT2 paraméterrel is indítható, ami hatásában megegyezik az utóbbi két menüpont használatával.

A PAL MIXI program kezelése

A képernyőn látható kapcsolási vázlatba (a kapuk és a bemenetek kereszteződésében) a megfelelő összekötések **grafikusan** (egérekattintással) vagy **szöveg-editor** üzemmódban a billentyűzet segítségével helyezhetők el. A kötések grafikusan ismételt kattintással megszüntethetők. A kötések elhelyezésével párhuzamosan a program megjeleníti a logikai kapuk által megvalósított függvényeket. Az F jelű bemenetet a visszacsatoláshoz köthetjük az egér segítségével rákattintva.

A logikai függvények beállítása **szöveg-editor** üzemmódban: Az **ÉS kapu kiválasztása** (a kapu jelképeinek villogása jelzi) a kurzor-mozgató billentyűkkel, a + billentyűvel, vagy a **Space**

billentyű segítségével történhet. A **Delete** billentyű hatására az éppen kiválasztott **ÉS** kapu összes kötése törlődik, a kapu kiválasztása megmarad. A **Backspace** billentyű szintén törli a kiválasztott kapu összes kötését, de a kiválasztás az előző kapura áttevődik. Az **A ... F** billentyűk ismételt lenyomásával ciklikusan kiválasztható a „**ponált**”, a „**negált**” és a „**nincs kötés**” állapot. A ciklikus kiválasztás sorrendje megfordítható a megfelelő billentyűvel egyszerre nyomva tartott **Shift** billentyűvel.

A kapcsolás **szimbolikus nézetében** egy **ÉS** kapu összes bemenetét egy vonal jelképezi, a **funkcionális nézet** mutatja az **ÉS** kapuk mind a 6 bemeneti vezetékét. Egy **ÉS** kapu egy bemenetére csak egy bemenő jel köthető, ezért funkcionális nézetben nem lehet két kötés egy sorban, továbbá egy **ÉS** kapura nem köthető rá egyszerre ugyanazon bemenő jel **ponált** és **negált** alakban. A szabályoknak ellentmondó kötések elhelyezését a program nem engedi.

Az **F** kezelőszerv és a felső **Vagy** kapu kimenete közötti külső összeköttetés a szakadás/összeköttetés szimbólumra kattintással hozható létre, ill. szüntethető meg

A megszerkesztett logikai függvénynek a MIXI oktatórendszerbe **átvitele** a következő módokon kezdeményezhető:

- a MIXI legördülő menü **Átvitel** parancsával
- az **Enter** billentyűvel
- **Ctrl-T** billentyűkombinációval.

Az átvitel sikerességét ill. sikertelenségét a program párbeszédablakban nyugtázza.

A mérés előkészítése

1. A PAL áramkör ábrát tartalmazó maszkot helyezze fel a MIXI oktatórendszer alaplapjára!
2. A maszknak megfelelően csatlakoztassa a megfelelő színű LED- nyomógombokat:

A-F bemenetek	sárga	6 db
1-es kimenet	zöld	2 db
2-es kimenet	zöld	2 db
- Figyelem:** Ügyeljen a LED-nyomógombok helyes polaritására! A maszk az alkatrészek helyes csatlakoztatását mutatja.
3. Az alkalmazáshoz tartozó kábel segítségével kösse össze a MIXI projekt-csatlakozóját egy számítógép nyomtató-interfészével (LPT 1 vagy LPT 2).
4. Kapcsolja be a készülékeket!
5. Amennyiben az alkatrészek behelyezését helyesen végezte el, a MIXI oktatórendszer felismeri az alkalmazást és a mérést elindítja. Bármilyen hiba esetén a kijelző rendszerüzenettel figyelmeztet.
6. Indítsa el a számítógépen a PAL MIXI programot!
7. Töltsön be egy korábban kialakított (.MXF kiterjesztésű) összeköttetés-programot, vagy szerkesszen új logikai függvényeket!
8. Hajtsa végre az összeköttetés-programnak a MIXI oktatórendszerbe átvitelét!
9. A kezelőszervek használatával működtesse a PAL áramkört!

Rendszerüzenetek

E0 - hibás alkatrész-elhelyezés

E1 - illetéktelen használat (az EPROM nem a kártyához tartozik)

E2 - az adott oktatókártyánál az adott alkalmazás hiánya

A fenti esetekben ellenőrizze az alkatrészek felhelyezését és ha nem talál rendellenességet, akkor kérjen segítséget oktatójától.

A PAL áramkör felépítése

A MIXI oktatórendszerben megvalósított PAL áramkör a legelterjedtebb PAL áramkörökhöz hasonló tulajdonságokkal rendelkezik:

- a bemeneti jelek (6 bemenetű) ÉS-kapukra csatlakoznak, minden bemenet ponálva, vagy invertálva használható, vagyis mintermek hozhatók létre
- mintermek (3, ill. 4 bemenetű) VAGY-kapukra jutnak
- az első VAGY-kapu kimenete (ponálva ill. negálva) visszacsatolható az ÉS kapuk bemenetére, így tároló jellegű áramkör is megvalósítható
- az első VAGY-kapu kimenete egy önálló mintermmel nagyimpedanciás állapotba vezérelhető, ekkor külső jel (az F jel) csatlakoztatható a kimenetre (kimenetként és bemenetként egyaránt használható áramköri kivezetés).
- az áramkör különlegessége az, hogy többször programozható, a programozás külső számítógépen végezhető el és eredménye az oktatókészülékbe egyszerűen "letölthető".

A fenti kialakítású PAL áramkörrel a logikai függvények mintermek VAGY-kapcsolata formájában valósíthatóak meg, a bemenetek száma 5, a VAGY-kapcsolatú mintermek száma 3, ill. 4.

Mérési feladatok

1. feladat

Alakítson ki olyan áramkört, amelyben

az 1. kimenetet az E bemenet igaz állapota engedélyezi

az 1. kimenet igaz szintű, ha az A bemenet igaz és a B, C, D bemenetek közül éppen kettő van igaz állapotban!

2. feladat

Állapítsa meg, hogy milyen hiba következik be az 1. feladat megoldásában az 1. hibakód hatására!

3. feladat

Valósítsa meg a következő Karnaugh-diagrammal megadott logikai függvényt egyszerűsítés nélkül és logikai egyszerűsítéssel is!

		BC			
		00	01	11	10
A	0	0	1	1	1
	1	0	1	0	0

4. feladat

A 3. feladatbeli egyszerűsített logikai függvény megvalósításakor kapcsolja be a 4. számú hibakódot! Mit tapasztal, ha A=0 és C=1 bemeneti állapotok esetén változtatja a B bemenet állapotát? Hogyan lehet megszüntetni a hibajelenséget?

5. feladat

Alakítson ki olyan áramkört, amelyben a kimenet igaz szintű, ha az A, B, C, D bemenetek közül éppen kettő van igaz állapotban!

6. feladat

Valósítson meg olyan áramkört, amelyben a kimenet igaz, ha $A=1$ és $B=1$ és a C, D, E, F bemenetek közül csak az egyik értéke igaz!

7. feladat

Valósítson meg RS flip-flop áramkört, amely az A bemeneti jellel bebillenthető és a B jellel törölhető!

8. feladat

Alakítsa át a 7. feladatbeli RS flip-flopot úgy, hogy a tiltott állapotban oszcilláljon!

9. feladat

Alakítson ki D típusú, szintvezérelt tárolót (vagyis az E engedélyező jel 1 szintjénél a kimenet megegyezik a D bemenet állapotával, $E=0$ esetén a tároló tartalma változatlan)!

10. feladat

Ismételje meg az 5. feladatbeli áramkör felépítését! Állapítsa meg, hogy milyen hiba jelentkezik az 5. hibakód esetén!

11. feladat

Ismételje meg az 5. feladatbeli áramkör felépítését! Állapítsa meg, hogy milyen hiba jelentkezik a 3. hibakód esetén!

12. feladat

Valósítsa meg a $KI_1 = B + C + D$ logikai függvényt! A KI_1 kimenet engedélyezésére használja az A változót! Állapítsa meg, hogy milyen hiba jelentkezik a 6. hibakód esetén!!

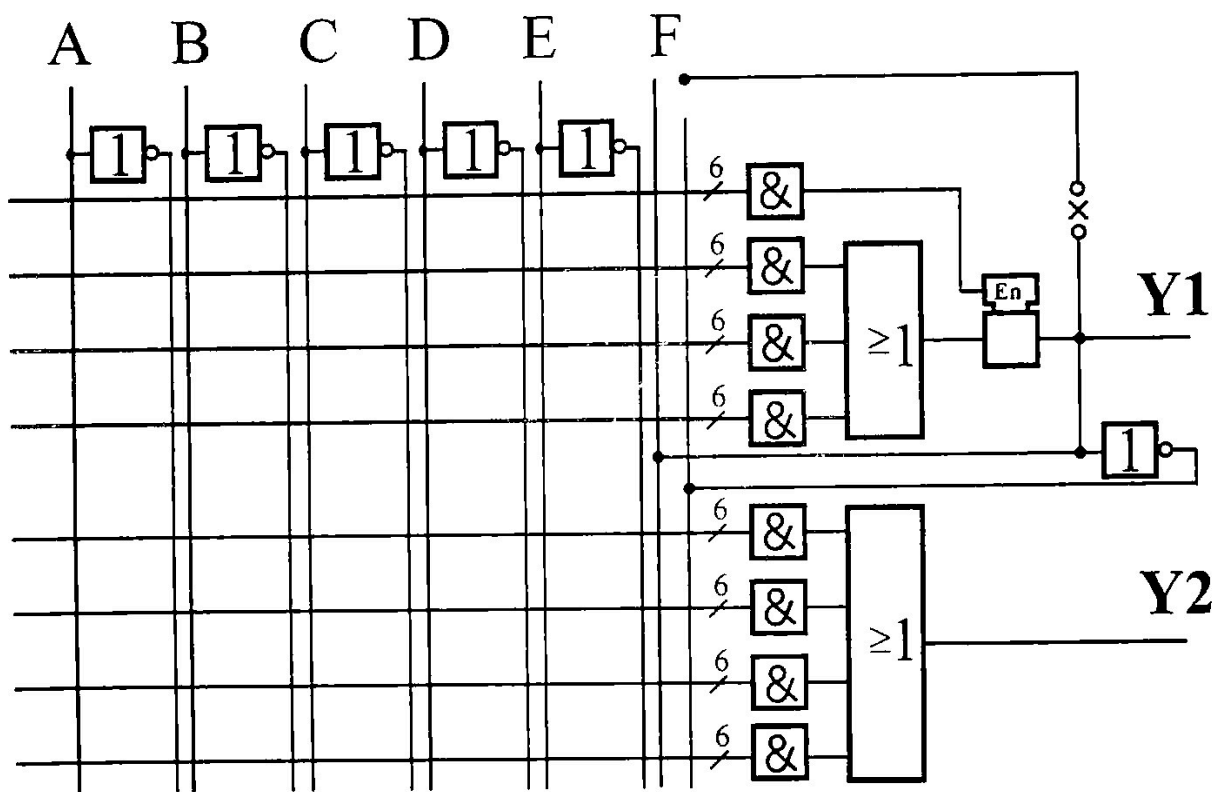
13. feladat

Ismételje meg a 12. feladatbeli logikai függvény megvalósítását! Állapítsa meg, hogy milyen hiba jelentkezik az 7. hibakód esetén!

14. feladat

Ismételje meg a 12. feladatheli logikai függvény megvalósítását! Állapítsa meg, hogy milyen hiba jelentkezik az 2. hibakód esetén!

1. sz. függelék: A MIXI-PAL áramkör kapcsolási rajza



2. sz. függelék: Javaslatok további felhasználásra, projektmunkára

A projektmunka során a következő továbbfejlesztések végezhetők:

1. Dolgozzon ki általános módszert a PAL áramkörök ÉS kapui kimeneti zárlatainak (stuck-at-0/1) felderítésére! *(elméleti jellegű feladat)*
2. Számítsa ki, hány különböző visszacsatolás nélküli (ill. visszacsatolásos) logikai függvény képezhető a MIXI 21. PAL alkalmazásában megismert programozható áramkörrel! A változók felcserélésével keletkező logikai függvényeket azonosnak tekintse! *(elméleti jellegű feladat)*
3. Alakítsa ki egy hétszegmenses kijelző a (b, c, ..g) szegmensének BCD kód esetére érvényes vezérlő áramkörét (BCD-hétszegmenses dekódoló)! *(elméleti és gyakorlati tevékenység)*
4. Készítsen 1-bites teljes összeadó áramkört (A, B összeadandók, D áthozat, S összeg, C átvitel) a MIXI 21. PAL alkalmazása lehetőségeinek felhasználásával! *(elméleti és gyakorlati tevékenység)*
5. A projekt csatlakozó megfelelő pontjaira csatlakoztasson külső áramkört, amely vezérli a PAL áramkör bemeneteit és kimeneteit felhasználja egy kijelző/beavatkozó eszköz működtetésére (pl. többségi szavazat-számláló és kijelző) *(elméleti és gyakorlati jellegű feladat)*