

Bevezetés a digitális áramkörök szimulációjába a B2 Spice A/D v4 Pro programmal

Írta: Molnár Zsolt

Tartalomjegyzék

1. A B2 Spice A/D v4 Pro program általános ismertetése	3
2. Mintafeladatok megoldásának ismertetése.....	12
2.1. példa: Egyszerű kombinációs hálózat vizsgálata	12
2.2. példa: Egyszerű sorrendi hálózat vizsgálata.....	19
2.3. példa: BCD - 7 szegmenses dekódoló létrehozása PLD-vel	24
3. Mérés feladatok	28
4. Házi feladat	29

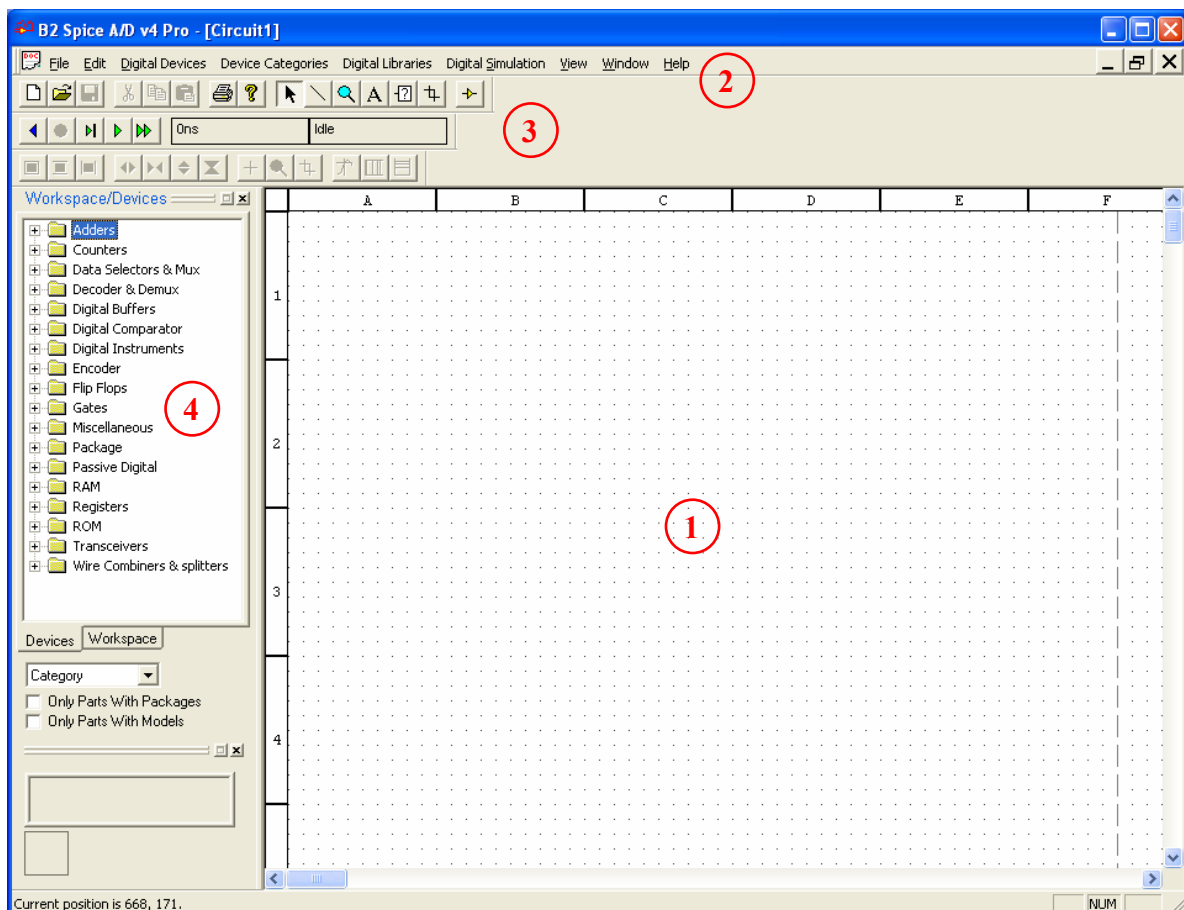
Köszönet **Varga László Zoltán** végzős hallgatónak, akinek a B2 Spice A/D v4 Pro programról szóló leírásának „Digitális mód” című része alapul szolgált az első fejezet megírásához.

1. A B2 Spice A/D v4 Pro program általános ismertetése

A B2 Spice program analóg, digitális, vagy kevert (analóg és digitális) áramkörök szimulációjára alkalmas. Ebben a leírásban, és ezen a mérésen csak a B2 Spice **digitális szimulációs üzemmód**jával foglalkozunk. A szimulációval, mint vizsgálati módszerrel kapcsolatos általános ismeretek megléte a szimulációs eredmények értékeléséhez és felhasználásához elengedhetetlen!

A B2 Spice szimulátor **elindítása** az asztalon lévő ikon segítségével, vagy a *Start* menüből a B2 Spice Workshop programra való kattintással történhet. **Digitális szimulációs üzemmódba átlépni** a *File* menü *Switch To Digital Mode* parancsával lehet. Az átváltás hatására eszközeink a digitális technikában használatosakra korlátozódtak, valamint a lehetőségek kiegészülnek néhány funkcióval, melyek a digitális alkalmazások könnyebb vizsgálatát teszik lehetővé.

A B2 Spice program **kezelőfelülete** az alábbi ábrán látható:



A felület **4 alapvető területre** bontható, amelyeket számokkal jelöltünk:


1. Munkafelület
2. Menüsor
3. Kiemelt parancsikonok (eszköztárak)
4. Projekt (workspace) navigáció, vagy rendelkezésre álló alkatrészek, eszközök listája


A **munkafelületen** rajzolhatjuk meg a kapcsolási rajzot, illetve itt jelennek meg a szimuláció elvégzése közben az új, felbukkanó ablakok.

A **menüorból** minden lehetséges parancs a szokásos módon kategorizálva elérhető, de a leggyakrabban használt parancsok a **kiemelt parancsikonok** között, az eszköztárakban is megtalálhatóak. A baloldali sávban, füllet választhatóan vagy a rendelkezésre álló **alkatrészek, eszközök** találhatóak meg kategorizálva (pl. kapuáramkörök, számlálók, flip-flopok), vagy pedig a **projekt** (munkafelület, workspace) **állapotáról** kaphatunk információkat.

A következőkben röviden a **menüket** ismertetjük.




File (fájl) menü:

- *New* (4/29

- *Switch To Mixed (Xspice) Mode*: átváltás kevert (analóg és digitális) üzemmódba.
- *Print...* (*Ctrl+P*, ): nyomtatás.
- *Print to Fit...*: optimalizált elhelyezésű nyomtatás.
- *Print preview*: nyomtatási előnézeti kép megjelenítése.
- *Print Setup...*: nyomtatási beállítások.
- *Get Printer Info...*: nyomtató tulajdonságainak lekérdezése.
- *Create Circuit from Eagle file*: Eagle nyomtatott áramkör tervező programmal elkészített fájlból áramkör importálása.
- *Update Circuit from Eagle file*: Eagle nyomtatott áramkör tervező programmal készült fájlból az áramkör aktualizálása.
- *Export to Eagle Schematic*: áramkör exportálása Eagle nyomtatott áramkör tervező program formátumba.
- *Update Subcircuits From Database*: az esetlegesen használt áramköri egységek (subcircuits) frissítése.
- *Create EDIF file*: a kapcsolási rajz és kötéslista EDIF (Electronic Design Interchange Format) formátumban való mentése. (Az EDIF egy elterjedt fájlformátum, amelyet sok tervezőprogram ismer.)
- *Create Part From Circuit...*: más áramkörben felhasználható alkatrészt készíthetünk az áramkörünkből.
- *Export to PCB*: áramkör exportálása többféle választható PCB formátumba.
- *Create Bill of Materials...*: az áramkör alkatrészejegyzékének elkészítése.
- *Set Netlist Title*: kötéslista címének megadása, módosítása.
- *Send...*: küldés e-mail-ben.
- Legutóbb megnyitott fájlok listája (alapértelmezésben maximum 4 fájl).
- *Select Database...*: a használni kívánt adatbázis kiválasztása.
- *Set Paths...*: az adatbázis, a szimulációs könyvtár és az Xspice elérési útjának megadása.
- *Exit*: kilépés a programból.

Edit (szerkesztés) menü:

- *Undo (Ctrl+Z)*: legutóbbi művelet visszavonása.
- *Redo (Ctrl+Y)*: visszavont művelet visszaállítása.

- *Repeat Place Device (Space)*: a legutóbb használt alkatrész, eszköz ismételt elhelyezése
- *Cut (Ctrl+X, )*: kijelölt elemek kivágása.
- *Copy (Ctrl+C, )*: kijelölt elemek másolása.
- *Paste (Ctrl+V, )*: vágólapon lévő elemek beillesztése.
- *Delete (Del)*: kijelölt elemek törlése.
- *Copy Circuit Picture*: a munkafelületen lévő áramkör másolása képként a vágólapra.
- *Select All (Ctrl+A)*: az összes elem kijelölése.
- *Select Wire*: a kiválasztott elemek közül a legutóbb elhelyezett vezeték kijelölése.
- *Find Part in Circuit (Ctrl+F)*: alkatrész keresése az áramkörben.
- *Rotate Clockwise (Ctrl+R)*: a kijelölt elemek forgatása az óramutató járásával megegyező irányban.
- *Rotate CounterClockwise (Ctrl+Shift+R)*: a kijelölt elemek forgatása az óramutató járásával ellentétes irányban.
- *Rotate 180*: a kijelölt elemek 180 fokos elforgatása.
- *Flip Horizontal*: függőleges tengely menti tükrözés.
- *Flip Vertical*: vízszintes tengely menti tükrözés.
- *Edit Part Properties... (F9)*: az alkatrésznek a kapcsolási rajz tervezéshez és a szimulációhoz kötődő tulajdonságainak módosítása.
- *Edit Device Properties... (Shift+F9)*: az alkatrésznek a nyomtatott áramkör tervezéshez kötődő tulajdonságainak módosítása.
- *Choose section of package...*: több azonos egységet (pl. kaput) tartalmazó áramkör esetén az alkalmazni kívánt egység beállítása. (Szimulációnál nincs jelentősége.)
- *Edit Simulation Model... (F7)*: Az alkatrész szimulációnál használt modellje tulajdonságainak módosítása.
- *Edit Device Defects...*: az alkatrész szimulálható hibáinak beállítása (pl. 0-ba vagy 1-be „ragadás”).
- *Scale Symbol Size*: a szimbólum méretének módosítása.
- *Edit Symbol... (F8)*: az alkatrész szimbólumának szerkesztése.
- *Toggle IEEE-Graphic Symbol*: IEEE szabvány szerinti, illetve USA vagy DIN szabvány szerinti szimbólumok közötti váltás.
- *Next DeMorgan Symbol*: egyenértékű DeMorgan szimbólumok közötti váltás.
- *Select Alternate Symbol...*: a szimbólum megváltoztatása listából választhatóan.

- *Set Fonts For Selection...*: a kijelöléshez tartozó szöveg betűtípusának megadása.
- *Options...*: megjelenítéssel, munkafelülettel, nyomtatással kapcsolatos beállítások.
- *Edit Title Block...*: a munkafelület (rajzlap) szövegmezőjének kitöltése.
- *Password...*: az áramkör jelszavas védelmének beállításai.

Digital Devices (digitális eszközök) menü:

- *Choose Part by name... (Ctrl+Shift+C)*: alkatrész kiválasztása név alapján.
- *Browse for Part...*: tallózás az alkatrészek között.
- *Create Part From File*: alkatrész létrehozása fájlból.
- *Bidirect Port*: kétirányú port (ki/bemeneti csatlakozás) létrehozása.
- *Clock*: órajel-forrás létrehozása.
- *Input Port*: bemeneti port létrehozása.
- *Output Port*: kimeneti port létrehozása.
- *Combiner (2->1)*: két vezeték busszá konvertálása.
- *Combiner (4->1)*: négy vezeték busszá konvertálása.
- *Splitter (1->2)*: busz két vezetékre bontása.
- *Splitter (1->4)*: busz négy vezetékre bontása.
- *Ground*: földpont elhelyezése.
- *Vcc (power source)*: tápfeszültség pont elhelyezése.
- *Pullup Resistor*: felhúzó ellenállás elhelyezése.
- *Pulldown Resistor*: lehúzó ellenállás elhelyezése.
- *And*: AND kapu ('08) elhelyezése
- *Buffer*: nyitott kollektoros vonal meghajtó kapu ('07) elhelyezése.
- *Inverter*: inverter ('04) elhelyezése.
- *Nand*: NAND kapu ('00) elhelyezése.
- *Nor*: NOR kapu ('02) elhelyezése.
- *Or*: VAGY kapu ('32) elhelyezése.
- *XOR (Exclusive Or)*: XOR kapu ('86) elhelyezése.
- *D flip flop*: D tároló ('74) elhelyezése.
- *JK flip flop*: JK tároló ('76) elhelyezése.

- *Adder*: 4 bites teljes összeadó ('283) elhelyezése.
- *ALU*: aritmetikai/logikai egység ('381) elhelyezése.
- *Comparator*: komparátor ('85) elhelyezése.
- *Programmable Device*: programozható („tetszőleges” logikát megvalósító) eszköz elhelyezése.
- *RAM*: RAM (írható/olvasható memória) elhelyezése.
- *ROM*: ROM (csak olvasható memória) elhelyezése.

Device Categories (eszközcsoporthok) menü:

Ebben a menüben kategóriákba csoportosított alkatrészek között válogathatunk. A kínálat – és a kategóriák – megegyeznek a bal oldalon található sáv eszköznézeti üzemmódjában kategórianézetre váltva található kínálattal. A kategóriák a következők:

- *Adders*: összeadók.
- *Counters*: számlálók.
- *Data Selectors & Mux*: adatválasztók és multiplexerek.
- *Decoder & Demux*: dekódolók és demultiplexerek.
- *Digital Buffers*: digitális meghajtók.
- *Digital Comparator*: digitális komparátorok.
- *Digital Instruments*: digitális műszerek.
- *Encoder*: kódolók.
- *Flip Flops*: tárolók.
- *Gates*: kapuáramkörök.
- *Miscellaneous*: különféle, máshova nem sorolható eszközök.
- *Package*: nyomtatott áramkör tervezésnél alkalmazható tokozások (szimulációs szempontból érdektelenek).
- *Passive Digital*: passzív digitális alkatrészek (fel- és lehúzó ellenállások).
- *RAM*: írható/olvasható memóriák.
- *Registers*: regiszterek.
- *ROM*: csak olvasható memóriák.
- *Transceivers*: adatátviteli eszközök.





- *Wire Combiners & splitters*: busz létrehozásával kapcsolatos eszközök.

Digital Libraries (digitális áramkörcsaládok könyvtárai) menü:

Ebben menüben áramkörcsaládok szerint vannak csoportosítva az alkatrészek. A rendelkezésre álló csoportok:


- *Standard TTL* (N)
- *CMOS*
- *Generic* (általános, nem családhoz tartozó alkatrészek)
- *ABT*
- *AC*
- *ACT*
- *ALS*
- *AS*
- *F*
- *HC*
- *HCT*
- *L*
- *LS*
- *S*

Digital Simulation (digitális szimuláció) menü:

- *Reset Simulation*: a szimulációs beállítások alapértelmezett állapotra hozása. Nem egyezik meg a szimuláció újraindításával (idő nullára állításával)!
- *Step* (F10, ): szimuláció léptetése.
- *Stop* (Shift+F5, ): szimuláció leállítása.
- *Go Slowly* (): lassú futtatás.
- *Go Fast* (F5, ): gyors futtatás (kb. 10-szer gyorsabb, mint a lassú futtatás)

- *Set Step Interval...*: szimulációs lépés idejének beállítása.
- *Do Command File...*: szimulációs parancsfájl végrehajtása.
- *Process Test Vector File*: tesztvektorokat tartalmazó fájl feldolgozása.
- *Create Command File...*: szimulációs parancsfájl létrehozása.
- *Create Test Vector File...*: tesztvektorokat tartalmazó fájl létrehozása.
- *Generate Full Test*: az összes tesztvektorral vizsgálja az áramkört, csak korlátozottan használható.
- *Fan out test*: kimenetek kaputerheléseinek vizsgálata.
- *Calculate Power Consumption*: teljesítményfelvétel számítása.
- *Digital Simulation Options...*: a digitális szimuláció beállításai.
- *Check for Wiring Errors...*: huzalozás ellenőrzése.

View (nézet) menü:


- *Main Toolbar*: fő eszköztár (első ikonsor) megjelenítése/elrejtése.
- *Simulation Toolbar*: szimulációs eszköztár (második ikonsor) megjelenítése/elrejtése.
- *Status Bar*: státuszsor (legalul megjelenő információs sor) megjelenítése/elrejtése.
- *Parts List (Alt+0)*: alkatrészlista (baloldali sáv) megjelenítése/elrejtése.
- *Workspace (Alt+I)*: projekt információk (baloldali sáv) megjelenítése/elrejtése.
- *Zoom...* (): nagyítás/kicsinyítés.
- *Fit Circuit in View (Home)*: nagyítás automatikus beállítása úgy, hogy a teljes rajz látszon.
- *Show Grid*: a munkafelület rácspontjainak megjelenítése/elrejtése.
- *Show Schematic Border*: a munkafelület keretének (vízszintesen betűkkel, függőlegesen számokkal jelölt osztások) megjelenítése/elrejtése.
- *Show TitleBox*: szövegmező megjelenítése/elrejtése.
- *Color Wires by Value*: a huzalozás logikai szintnek megfelelő megjelenítésének ki/bekapcsolása.
- *Show Node Names*: csomópontok nevének megjelenítése/elrejtése.
- *Show Timing Diagram*: idődiagram megjelenítése/elrejtése.
- *Show Timing Table*: táblázatos formájú idődiagram megjelenítése/elrejtése.

Window (ablak) menü:

- *New Window*: új ablak megnyitása, az aktuális munkafelület bemásolásával.
- *Cascade*: megnyitott ablakok sorba rendezése úgy, hogy mindnek látszódjon a fejléce.
- *Tile Horizontal*: a munkaterület vízszintes felosztása a megnyitott ablakok között.
- *Tile Vertically*: a munkaterület függőleges felosztása a megnyitott ablakok között.
- *Arrange Icons*: az ikon állapotban lévő megnyitott ablakok elrendezése.

A menü kiegészül a megnyitott ablakok listájával.

Help (súgó) menü:

- *Help Index...*: tárgymutató és súgó adatbázisban való keresés.
- *Help Contents...*: a súgó tartalomjegyzéke.
- *Using Help*: leírás a súgó használatáról („súgó a súgóról”).
- *About Workshop...* (): névjegy megjelenítése.

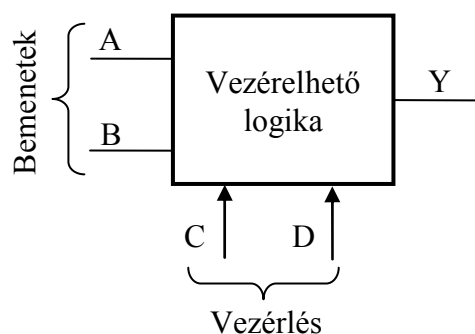
2. Mintafeladatok megoldásának ismertetése

A következőkben **egyszerű feladatok** megoldásán keresztül bemutatjuk a B2 Spice szimulátor digitális üzemmódban való használatát. Ezeken a példákon keresztül a szimuláció elvégzésekor rendelkezésre álló nagyszámú eszköz és lehetőség bemutatására időbeli (és területi) korlátok miatt nem kerülhet sor. Ebben az útmutatóban **csak a legfontosabb, illetve leghasznosabb eszközöket és lehetőségeket mutatjuk be**. Az ismeretek önálló munkával, részben a laboratóriumi gyakorlatokon, részben azon kívüli tevékenységgel, a gyári mintapéldák és a sűgó tanulmányozásával **bővíthetőek**.

Digitális üzemmódba való átváltáshoz (ha a program nem abban indult el, és eddig még nem kapcsoltunk át) adjuk ki a *File → Switch To Digital Mode* parancsot! (Ha a parancsot nem találjuk, akkor már digitális módban van a szimulátor.) A munkafelületet ajánlott teljes méretűvé tenni az ablak jobb felső sarkában lévő ikonok segítségével.

2.1. példa: Egyszerű kombinációs hálózat vizsgálata

Tervezzük meg az alábbi vezérelhető logikát NAND kapukból, és vizsgáljuk meg működőképességét szimulációval!



A vezérelhető logika igazságtáblája:

C	D	Y
0	0	$A+B$
0	1	$A\oplus B$
1	0	$\overline{A \cdot B}$
1	1	Nincs előírás

A vezérelhető logika Karnaugh-táblája és egy lehetséges összevonás az alábbi ábrán látható:

AB \ CD		00	01	11	10
CD	00	0	1	1	1
	01	0	1	0	1
	11	x	x	x	x
	10	1	1	0	1

A kiolvasott, megvalósítandó egyenlet:

$$Y = \bar{A} \cdot B + A \cdot \bar{B} + A \cdot \bar{C} \cdot \bar{D} + \bar{A} \cdot C \cdot \bar{D}$$

Más összevonás is lehetséges, de a fenti a legkevesebb mintermet tartalmazó.

Mivel nincs előírás a felhasználható NAND kapuk típusára, ezért minden minterm megvalósításakor a szükséges számú bemenettel rendelkező kaput használhatjuk.

A **kapcsolás összeállítása** a következőképpen történik:

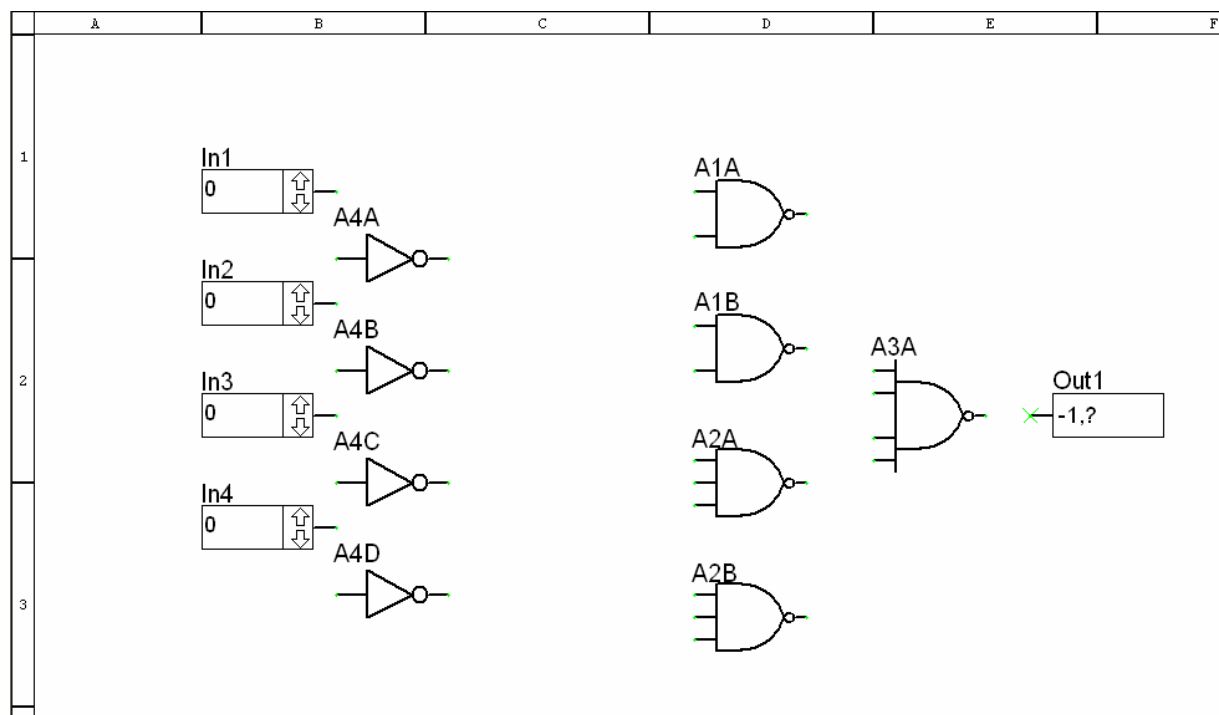
A kapcsoláshoz szükségünk van **2 darab 2 bemenetű**, **2 darab 3 bemenetű** és **1 darab 4 bemenetű NAND kapura**, valamint a változók negáltjának előállítására **4 darab inverterre**. Mivel ki kell próbálnunk az áramkör működését, a bemeneteket gerjeszteni kell, a kimenetet pedig láthatóvá kell tenni. Ehhez **bemeneti és kimeneti portokat** kell elhelyeznünk.



A laboratóriumban az előző félévben elvégzett méréseken 2 bemenetű NAND kapuként a 7400, 3 bemenetű NAND kapuként a 7410, 4 bemenetű NAND kapuként a 7420 típust, inverterként pedig a 7404 típust használtuk. Javasolt a szimuláción is ezeknek a típusoknak a használata. Áramkörsaládjuk N és LS TTL volt. A példákban, ahol lehet LS TTL modelleket fogunk használni.

Az **elemek elővételéhez** a bal oldalon látható **alkatrészlistából** kiválasztjuk a kapuk (Gates) csoportot, és az előtte lévő + jelre kattintva kinyitjuk. A megnyíló listából kikeressük a 7400 típust, majd az ide tartozó modellek megtekintéséhez ismét a + jelre kattintunk. A kínálatból a 74LS00D-t választjuk. A kiválasztott modellt bal kattintással kijelöljük, majd újabb bal kattintás és nyomva tartott egérgomb mellett áthúzzuk a munkaterületre, és ott elengedjük. Újra ugyanezt a modellt (mivel kettő kell belőle) vagy a fent leírtak szerint, vagy pedig a

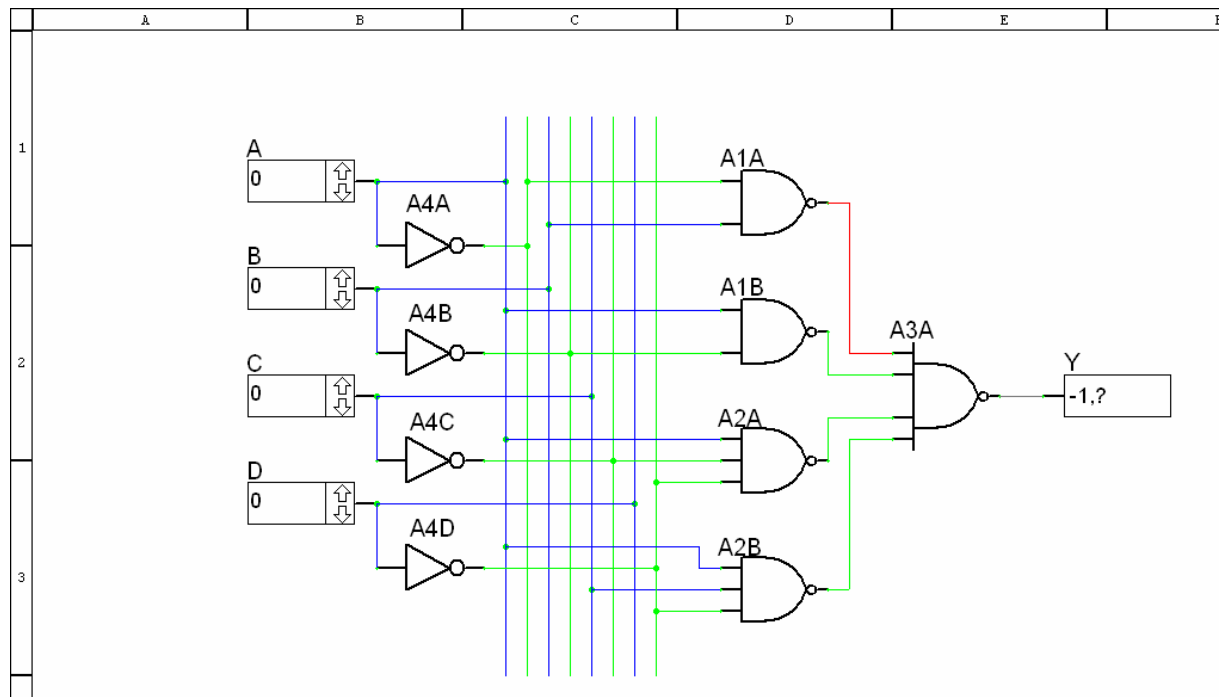
Space gomb megnyomásával kiadott ismétlés paranccsal lehet. A 74LS10D (2 db), a 74LS20D (1 db) és a 74LS04D (4 db) kapui modelljeinek elhelyezése az előbbiekhöz hasonlóan történhet. A bemeneti portok (4 db) elhelyezéséhez a Digital Devices menü Input Port, a kimeneti portok (1 db) elhelyezéséhez pedig az Output Port paranccsával történhet (a Space-szel kiadott ismétlés parancs itt is használható).

Ezek után a munkafelületünk az alábbi ábrához hasonlóan alakul:



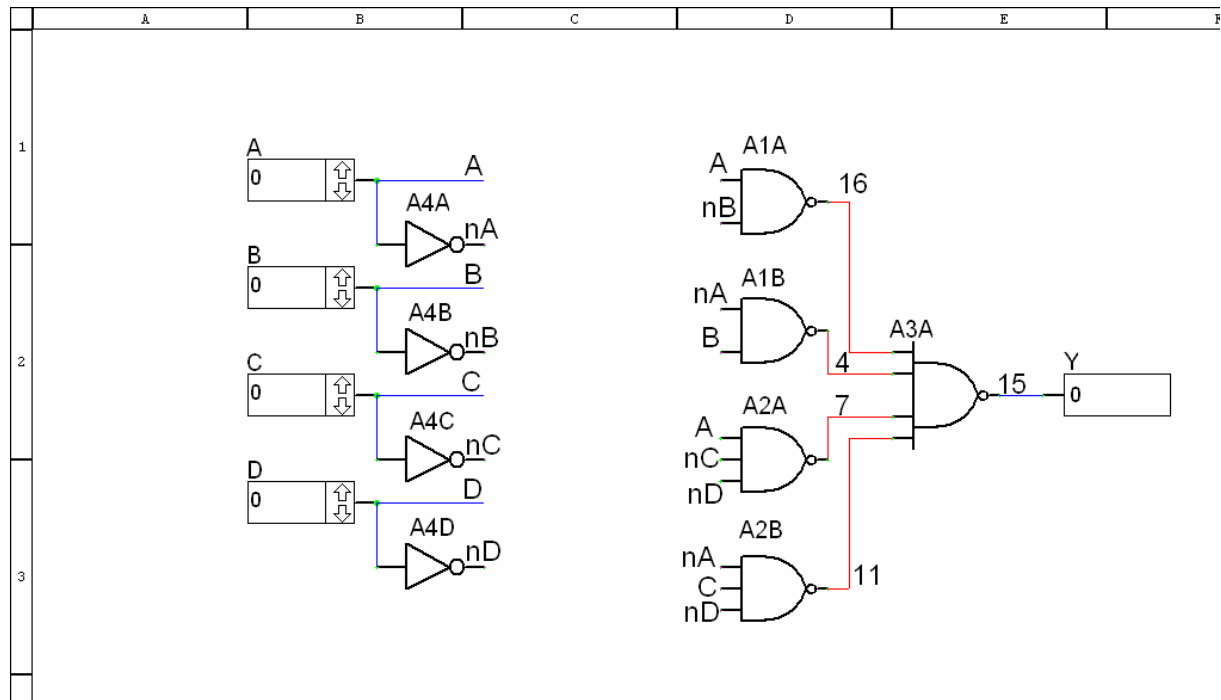
A könnyebb tájékozódás, és az egyértelműség kedvéért a be- és kimeneti portokat nevezzük el (A, B, C, D, Y). Az **átnevezést** a portok szimbólumain való kettős kattintás után megnyíló ablak Name mezőjében tehetjük meg (majd OK). **Végezzük el a szükséges huzalozást!** A **huzalozó eszközre** az eszköztár () ikonjával kapcsolhatunk át. Huzalt kezdeni a bal egérgombbal, befejezni a jobb egérgombbal lehet. A huzal megtöréséhez bal kattintás szükséges. A huzalozás befejezése után váltsunk vissza az alapértelmezett **kiválasztó eszközre** ().


Az átnevezések és a huzalozás után a kapcsolásunk a következőképpen alakul:



Látható, hogy már ilyen egyszerű kapcsolásnál is mennyire **áttekinthetetlen a huzalozás**. Ennek **kiküszöbölésére** használhatjuk a **csomópontok elnevezését** is. Mivel a két megoldás (a huzalozás és a csomópont-címkezés) egyenértékű, ezért a következő lépést a mérésen nem kell elvégezni, de a következő példákban és feladatokban, ahol szükséges, alkalmazható.

A csomópontok átnevezéséhez az alkatrészek elhelyezése után a csomópontok nevének megjelenítését be kell kapcsolni (*View → Show Node Names*). A megjelenő neveket (számokat) logikusan nevezzük át, egy példa az alábbi ábrán látható. Azonos nevű csomópontok megadása esetén a program rákérdez, hogy biztosak vagyunk-e a név megadásánál. Ha szándékos az azonos elnevezés, akkor természetesen az Igen-re kell kattintani. Az alábbi ábrán néhány csomópont elnevezését nem változtattuk meg (pl. A1A kimenete 16-os néven (számon) szerepel), illetve azt a huzalozást, ami nem rontja (esetenként megkönnyíti) az olvashatóságot, meghagytuk (pl. inverterek bekötése, kimeneti portra csatlakozás).



A **működés ellenőrzéséhez** el kell indítani a **szimulációt**. A szimuláció **gyors futtatása** () javasolt, mert egyelőre az átmeneti jelenségekre nem vagyunk kíváncsiak.

Ez a szimulációs beállítás hozza a leginkább hasonló megjelenítést az előző félévben végzett mérésekhez: ott a bemeneteket kapcsolókkal gerjesztettük, a kimenetek állapota pedig a LED-eken látszott. (Az átmeneti jelenségek ott sem látszódtak.) A bemeneti kombináció változtatásával **ellenőrizzük**, hogy az igazságtáblának **megfelelő-e a működés**! A bemeneti portok értékét a hozzájuk tartozó fel/le nyilakkal lehet 0-ra illetve 1-re állítani, a kimenet állapota a kimeneti portban látszik.

A kapcsolás ilyen módon való **vizsgálata időigényes**, és sok tévedési lehetőséget hordoz magában. A **tesztvektorok** használatával szövegesen adhatjuk meg a **gerjesztés időpontját és értékét**, az **eredményt** pedig **időfüggvény vagy táblázat** formájában kapjuk meg. A tesztvektorok **tesztvektor fájlban** szerkeszthetők össze áramkörvizsgálatra alkalmas formába.

A tesztvektor fájl egy **szöveges fájl**, amely tartalmazza a kívánt változók nevét, és a változók értékét adott időpontban. A fájl egy **fejléccel** kezdődik, amelynek első eleme „Time” (idő). (Az idő a következő sorokban ns-ban van megadva.) A fejléc a tabulátorokkal elválasztott bemeneti **változó listával** folytatódik, a sor végét pedig Enter zárja. A következő sorokban a **vektorok** következnek: az időpontokat (amikor a változás bekövetkezik a bemeneten) követi

a bemenetek adott időpontban felvett értéke (szintén tabulátorokkal elválasztva, Enter-rel lezárva).

A következőkben a **vezérelhető logikánk** teljes **tesztelésére** alkalmas **tesztvektor** fájlt ismertetjük, amely megtalálható a B2 Spice munkakönyvtárában test1.txt néven.

Látható, hogy mind a négy bemenet gerjesztését állíthatjuk (fejlécben: A, B, C, D). 0ns-nál minden bementet kinullázunk, azután 100ns-onként új tesztvektort adunk a bementre, összesen 16-ot.

(Magyarázat a sorrendhez: 4-4 sor tartozik a vezérlő bemenetek (C, D) adott állapotaihoz (0,0; 0,1; 1,0; 1,1), ezen belül pedig a két változó (A, B) mindig felveszi az összes lehetséges értéket (0,0; 0,1; 1,0; 1,1). A végén a gerjesztést kinullázzuk.)

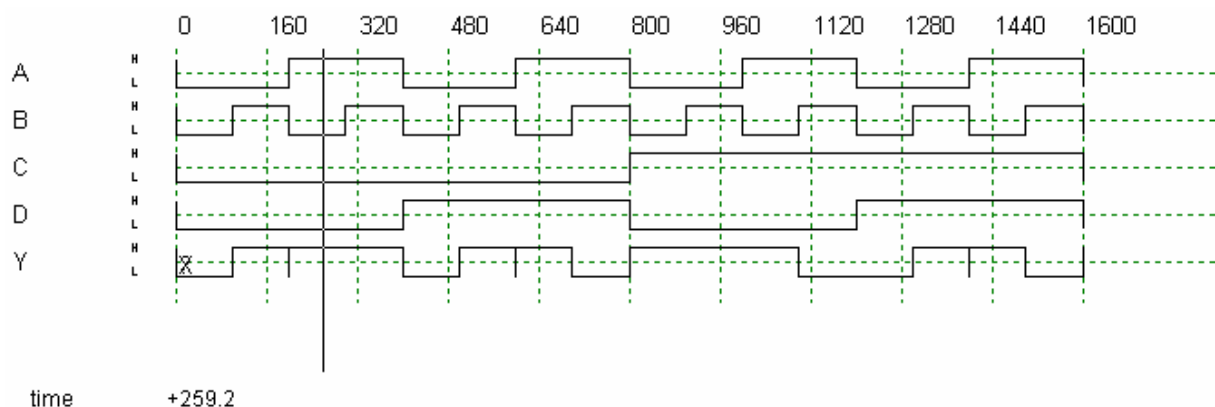
„test1.txt”:

Time	A	B	C	D
0.0	0	0	0	0
100.0	0	1	0	0
200.0	1	0	0	0
300.0	1	1	0	0
400.0	0	0	0	1
500.0	0	1	0	1
600.0	1	0	0	1
700.0	1	1	0	1
800.0	0	0	1	0
900.0	0	1	1	0
1000.0	1	0	1	0
1100.0	1	1	1	0
1200.0	0	0	1	1
1300.0	0	1	1	1
1400.0	1	0	1	1
1500.0	1	1	1	1
1600.0	0	0	0	0

A tesztvektorokkal való **vizsgálathoz** először **állítsuk alaphelyzetbe a szimulátort** és az áramkörünket: *Digital Simulation* → *Reset Simulation*. Állítsuk a **szimulációs lépést** 100 ns-ra: *Digital Simulation* → *Digital Simulation Options*, alul: Step Size mezőbe írjuk be: 100. Ne lépjünk ki, ugyanitt az **áramkörök jelterjedési idejét** állítsuk 0ns-ra (Default Propagation Delays mezőben: Custom, mindkét idő 0 ns, alatta: Override Device Propagation Delays kipipálva), majd OK.

Futtassuk le a rendelkezésre álló (vagy létrehozott) **tesztvektor fájlt**: *Digital Simulation* → *Process Test Vector File* (a megjelenő ablakban válasszuk ki a „test1.txt” fájlt). Az **eredményt** a View → Show Timing Diagram vagy Show Timing Table parancs kiadása után vizsgálhatjuk. Az alábbi ábrákon a szimuláció eredményei láthatóak.

Az idődiagram léptékét, és néhány egyéb tulajdonságát a harmadik ikonsorral tudjuk állítani. Az idődiagramban bal gombbal kattintva megjelenik egy kurzor, amellyel meghatározhatjuk egy átmenet időpontját. A táblázat celláiban az első karakterek (H vagy L) utalnak a logikai szintekre.

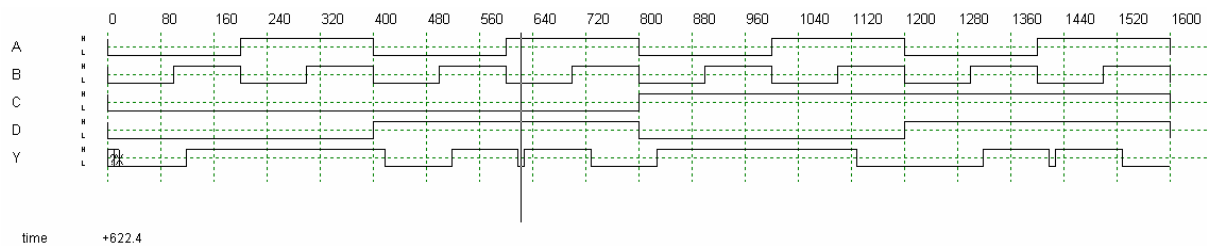


	Time	A	B	C	D	Y
1	0.0	L,S	L,S	L,S	L,S	L,S
2	+100.000n	L,S	H,S	L,S	L,S	H,S
3	+200.000n	H,S	L,S	L,S	L,S	H,S
4	+300.000n	H,S	H,S	L,S	L,S	H,S
5	+400.000n	L,S	L,S	L,S	H,S	L,S
6	+500.000n	L,S	H,S	L,S	H,S	H,S
7	+600.000n	H,S	L,S	L,S	H,S	H,S
8	+700.000n	H,S	H,S	L,S	H,S	L,S
9	+800.000n	L,S	L,S	H,S	L,S	H,S
10	+900.000n	L,S	H,S	H,S	L,S	H,S
11	+1.000u	H,S	L,S	H,S	L,S	H,S
12	+1.100u	H,S	H,S	H,S	L,S	L,S
13	+1.200u	L,S	L,S	H,S	H,S	L,S
14	+1.300u	L,S	H,S	H,S	H,S	H,S
15	+1.400u	H,S	L,S	H,S	H,S	H,S
16	+1.500u	H,S	H,S	H,S	H,S	L,S
17	+1.600u	L,S	L,S	L,S	L,S	L,S

Látható az idődiagramon, hogy 0ns jelterjedési idő esetén is néhány helyen van valamilyen **tranzienst**, amit **szintváltás nélküli élek** szimbolizálnak (a valódi késleltetés tipikus értéke 10ns a beállított 0ns-mal szemben).

Ezeknek az **átmeneti állapotoknak** a **megvizsgálásához** állítsuk vissza a jelterjedési időt az áramkörre jellemző tipikus értékre (Default Propagation Delays mezőben: Typical). A fenti

vizsgálatot újra elvégezve az idődiagramon látható a jelterjedési idő (kb. 20ns) hatása, illetve található két hazard is (620 és 1420ns környékén). **A hazardok okán gondolkozzon el!**



2.2. példa: Egyszerű sorrendi hálózat vizsgálata

Vizsgáljuk szimulációval a 74LS192 szinkron 4 bites fel/le számláló működését, üzemmódjait!

A 74LS192-vel az előző félévben már találkoztunk a laboratóriumi gyakorlaton, ezért működését csak röviden ismertetjük. Újdonságot jelent, hogy szimbóluma csak US szabvány szerinti változatban elérhető (amely csak kis mértékben tér el az IEEE szabvány szerinti jelöléstől), ezért a következőkben megadjuk a lábak funkcióját, és az előző félévben tanultak szerinti elnevezését (bal felső saroktól kezdve, pozitív körüljárási irány szerint):

- $ct=0$: (CLR), a kimenetek nullázása.
- $2+$, $g1$: (UP), felfelé számláló órajel, vagy lefelé számlálás engedélyező.
- $1-$, $g2$: (DOWN), lefelé számláló órajel, vagy felfelé számlálás engedélyező.
- $c3$: (LOAD), betöltés.
- $\overline{1ct}=9$: ($\overline{\text{CARRY}}$), átvitel, jelzi a $9 \rightarrow 0$ átmenetet.
- $\overline{2ct}=0$: ($\overline{\text{BORROW}}$), áthozat, jelzi a $0 \rightarrow 9$ átmenetet.
- *Baloldali alsó 4 láb*: (A, B, C, D), betöltendő adat.
- *Jobboldali alsó 4 láb*: (Q_A , Q_B , Q_C , Q_D), kimenetek.
- Az 1, 2, 4, 8 számok a szimbólum alsó részén a regiszterek helyértékét mutatják.

Meg kell **vizsgálnunk** a következő funkciókat:

1. Alaphelyzetbe állítás.

2. Felfelé számlálás, és $\bar{1}ct=9$ kimenet működése.
3. Lefelé számlálás, és $\bar{2}ct=0$ kimenet működése.
4. Betöltés.

A fenti vizsgálatok elvégzéséhez a rajzlapon **elhelyezendő elemek** (természetesen a számlálón kívül):

- 4 darab **digitális bemenet** (*Digital Devices* → *Input Port*),
- 3 darab digitális kimenet (*Digital Devices* → *Output Port*),
- 1 darab **órajel-forrás** (*Digital Devices* → *Clock*).

Ezen kívül az órajel átkapcsolására kialakítandó multiplexerhez kell:

- 2 darab **kétbemenetű VAGY** kapu (74LS32),
- 1 darab **inverter** (74LS04).

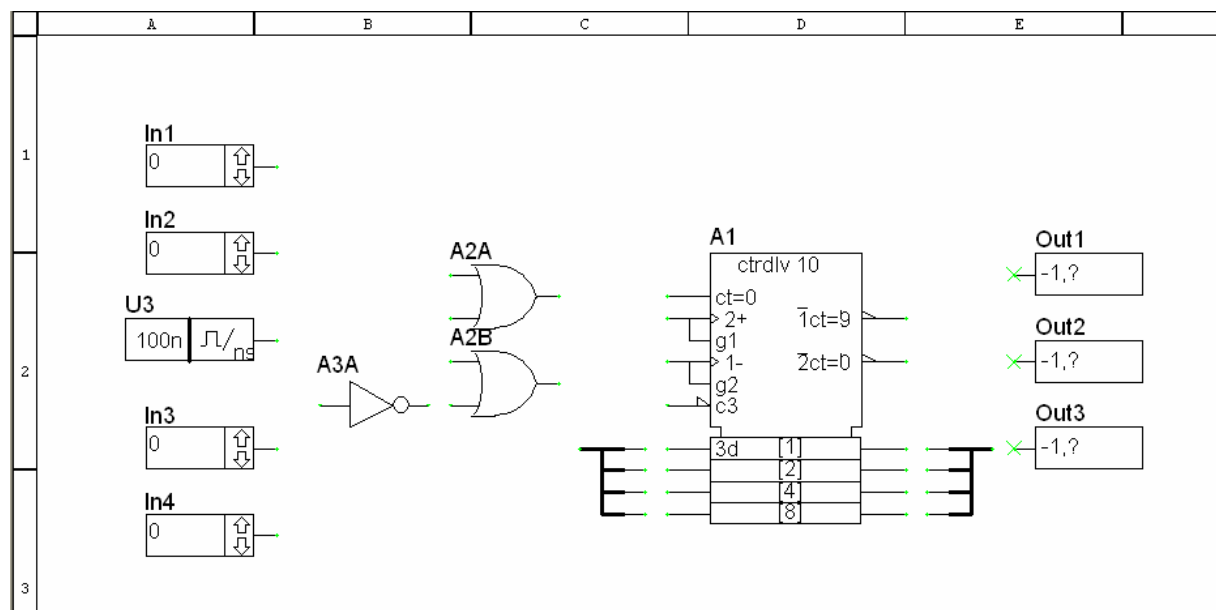
Utóbbi két modell a baloldali sávban a *Gates* csoportban található.

A kapcsolás olvashatóságának javítására bemutatjuk a jeleknek busszá való összefogását.

Ehhez helyezzünk el:

- 1 darab **4 különálló vonalat busszá** (*Digital Devices* → *Combiner (4->1)*),
- 1 darab **buszt 4 különálló vonallá alakító eszközt** (*Splitter (1->4)*).

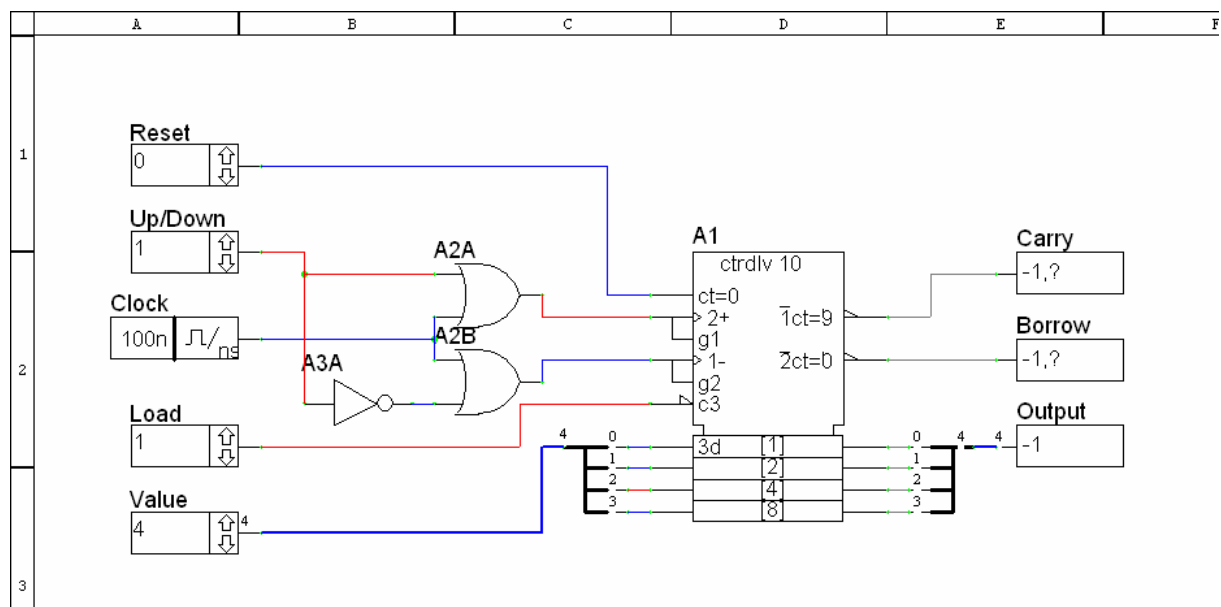
A fenti elemek előrelátó, logikus elhelyezése után a rajzfelület az **alábbiak szerint alakul**:



Nevezzük át a be- és kimeneti portok címkéjét, hogy egyértelműen azonosítani tudjuk őket a szimuláció során! A fenti ábrán fentről lefelé, illetve balról jobbra haladva a következő elnevezéseket adtuk: Reset, Up/Down, Clock, Load, Value, Carry, Borrow és Output. A Value port **bitszámát növeljük meg 4-re** a név megadásra szolgáló mező alatti # of Bits mező kitöltésével! Erre azért van szükség, mert így egyetlen kezelőszervvel tudunk majd 0-15-ig bemeneti értéket előállítani a számláló betöltéséhez.

Az előző kapcsolás elemeihez képest **két** jelentős **újdonosság** van: az **órajel-forrás** és a **busz** használata. Az órajel-forrás megadható periódusidejű (Period) és szélességű (Pulse Width) impulzust állít elő. (Ilyen módon nem csak szimmetrikus négyszögjel állítható be.) A kimeneti jel jellemzőit a szimbólumon való kettős kattintással lehet beállítani: A másik újdonyságot két szimbólum képviseli: a Combiner (4->1) és a Splitter (1->4). Ezekkel buszt lehet kialakítani, amelyekbe az azonos funkciójú, vagy összetartozó jeleket (például számláló kimenetei, memória vezérlőjelei) célszerű bevonni. A busz a rajzon vastag vonallal kerül megrajzolásra, amely így a sok különálló vonal szimbolikus kiváltásával áttekinthetőbb kapcsolási rajzot eredményez. (Több vonalat tartalmazó busz létrehozására való eszközöket a baloldali sáv Wire Combiners and Splitters csoportjában találunk.)

Végezzük el a szükséges **összekötéseket** az alábbi ábra szerint!



Rövid magyarázat: az A2A, A2B és A3A elemekből álló órajel-átkapcsolóhoz: ha az Up/Down bemenet „0” állapotban van, akkor A2A kimenete lemásolja az órajelet a felfelé számláló órajel bemenetre, A2B kimenete pedig mindig „1” állapotban van – mivel a VAGY kapu egyik bemenete mindig „1” – így a számláló felfelé számlálhat. Ha az Up/Down bemenet „1”, akkor A2B kimenetére jut ki az órajel, A2A kimenete mindig magas szintű – a számláló lefelé számol.

A **tesztet** kézi úton is elvégezhetjük, de **ajánlatosabb automatizálni** a folyamatot. Ehhez **parancsfájlt** fogunk használni. A parancsfájl szöveges fájl, amely a következő elemeket tartalmazhatja:

- *Reset*: Szimulátor alaphelyzetbe állítása
- *Set „port” „érték” „időpont”*: beállítja az adott „port”-on a ns-ban megadott „időpont”-ban a hexadecimális formájú „érték”-et
- *Go „időtartam”*: futtatja a szimulációt a ns-ban megadott „időtartam”-ig
- *Megjegyzés*: a sor elején pontosvesszővel (;) kezdve
- *Üres sor*

Az alábbiakban bemutatjuk a vizsgált **számláló tesztelésére** alkalmas **parancsfájlt** (command.txt), amely a B2 Spice munkakönyvtárában megtalálható:

„command.txt”

;Szimulátor alaphelyzetbe állítása
Reset

;Kezdeti feltételek beállítása: felfelé számlálás
Set Reset 1 0
Set Up/Down 0 0
Set Load 1 0

;Resetből felengedés 100ns-nál
Set Reset 0 100

;1us-ig (1000ns) futtatjuk
Go 1000

;(1100ns-nál járunk)
;Visszafelé számlálás tesztje
Set Up/Down 1 1250

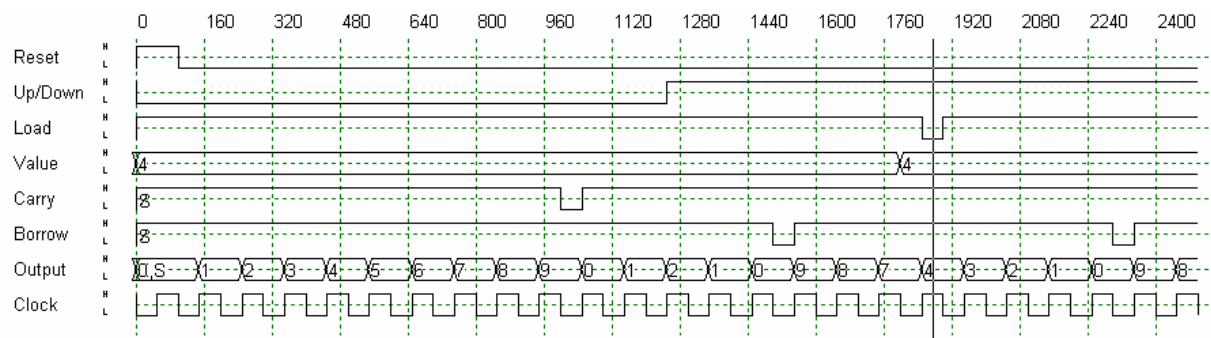
Go 500

```
;(1750ns-nál járunk)
;Megvizsgáljuk, működik-e a betöltés
Set Value 4 1800
Set Load 0 1850
Set Load 1 1900
Go 1000
```

```
;Vége a tesztnek
```

A szimuláció elindítása előtt a **szimulációs időköz**t állítsuk 20ns-ra (*Digital Simulation* → *Digital Simulation Options, Step Size: 20*), majd ugyanebben az ablakban állítsuk a **jelterjedési időt 0ns-ra** (*Default Propagation Delays: Custom*, mindkét idő 0ns). OK-val zárjuk be az ablakot.

A **parancsfájl** kiválasztása és **lefuttatása** a *Digital Simulation* → *Do Command File* parancs kiadása után lehetséges. Az időzítés diagramban (*View* → *Show Timing Diagram*) **megtekinthetjük** a szimuláció **eredményét**. Az időtengely léptékét a kihelyezett ikonokkal (harmadik ikonsor), vagy a menüből lehet állítani. A szimuláció eredményét az alábbi ábrán közöljük. (A 74LS192 számláló szimulációja egyezik a mérésen tapasztalt eredményekkel.)



Feladat: Kézi üzemmódban ellenőrizze a számláló működését úgy, hogy a **jelterjedési időt** visszaállítja az alkalmazott **áramkörökre jellemző értékre** (*Typical* beállítás).

2.3. példa: BCD - 7 szegmenses dekódoló létrehozása PLD-vel

Tervezzünk BCD - 7 szegmenses dekódolót PLD-vel (programozható logikai eszközzel)! A dekódolók működtetésére építsünk egy két-helyértékes BCD számlálót!

A PLD modell alkalmazásával **szimulálhatjuk a valóságos áramkörünkben lévő PLD-t** (CPLD-t, FPGA-t, PAL-t). Ugyan a valóságban ezeknek az áramköröknek a felkonfigurálása a szimulátorban adott lehetőségektől eltérő módon van lehetőség, de a működést egy bizonyos mélységig így is meg lehet vizsgálni. (A forrásfájlok különbözősége, és a programozható logika fejlesztőrendszerében lévő fordító tulajdonságai (pl. optimalizálás) miatt **jelentős eltérések is lehetnek a szimulált és a valóságos PLD működése között.**)

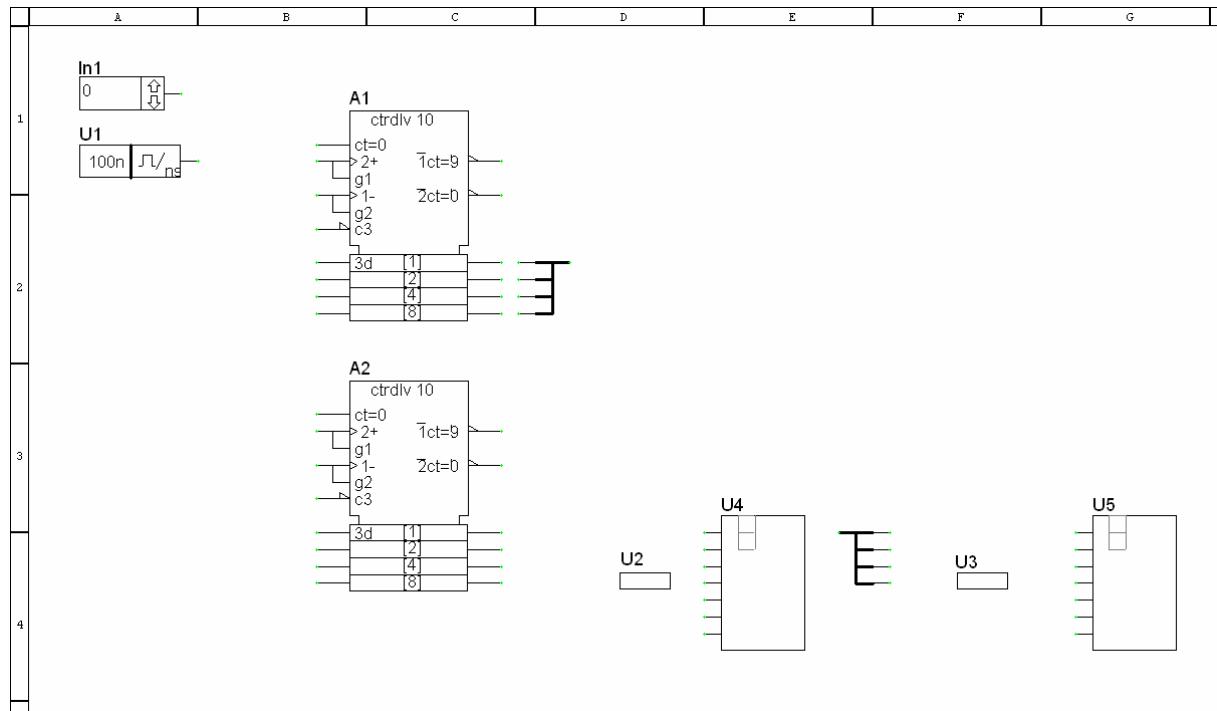
Az áramkör felépítéséhez **a következő elemeket helyezzük el:**

- 1 darab **órajel generátor** (*Digital Devices → Clock*),
- 1 darab **digitális bemeneti port** (*Digital Devices → Input Port*),
- 2 darab szinkron **BCD számláló**: 74LS192N (baloldali sávban *Counters* csoport),
- 2 darab **PLD** (*Digital Devices → Programmable Device*),
- 2 darab **7 szegmenses kijelző** (baloldali sávban *Digital Instruments* csoport *Seven Seg Display*).

A huzalozás egyszerűsítése érdekében elhelyezünk még:

- 1 darab 4 vonalat busszá konvertáló (*Digital Devices → Combiner (4->1)*),
- 1 db buszt 4 vonallá konvertáló eszközt (*Splitter (1->4)*).

Az alkatrészek logikus elhelyezése után a rajzlapunk a következő ábrához hasonlóan néz ki:



Ezek után **nevezzük át** az In1 bementi portot RESET, U1-et pedig CLK névűre (az egyértelműség kedvéért)!

Hozzuk létre a PLD-k konfigurációs fájlját! Ehhez **több lehetőség** is rendelkezésre áll, amelyek közül a PLD modellen kettős kattintásra előugró ablakban választhatunk. Az adatfájl formátumok közül az alapértelmezett Custom Table típus használatát mutatjuk be. (Az Espresso Table illetve az Equations megadási módra rövid példákat a súgóban találhatunk.) A **Custom Table adatfájl** szöveges fájl, felépítése a következő: első sorban a **fejléc** található, amelyben tabulátorral elválasztva először a bemenetek, majd egy per-jel (/) után a kimenetek felsorolása szerepel. A következő sorokban szintén tabulátorokkal elválasztva a **bemeneti kombinációkhoz tartozó kimeneti kombinációk** találhatóak („0”-ák és „1”-ek). Minden sort egy ENTER-rel kell lezárni.

A BCD - 7 szegmenses dekódoló igazságtáblája az alábbiakban látható. Az **aktív szegmensek magas szintűek**, a **9 feletti BCD kódhoz** csupa „0” szintű kimenet (**sötét kijelző**) tartozik. (A fájl megtalálható a B2 Spice munkakönyvtárában BCD_7SEG.txt néven.)

„BCD_7SEG.txt”:

IN0	IN1	IN2	IN3	/	a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	0	/	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	/	0	1	1	0	0	0	0
0	1	0	0	/	1	1	0	1	1	0	1

1	1	0	0	/	1	1	1	1	0	0	1
0	0	1	0	/	0	1	1	0	0	1	1
1	0	1	0	/	1	0	1	1	0	1	1
0	1	1	0	/	1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	0	/	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	1	/	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	1	/	1	1	1	1	0	1	1
0	1	0	1	/	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	/	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	/	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	/	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	/	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	/	0	0	0	0	0	0	0

A **konfigurációs fájl betöltéshez** az előbbieken leírtak szerint nyissuk meg a PLD jellemzőinek beállítására szolgáló ablakot. Itt a Set Data File gombra kattintva kiválaszthatjuk a betölteni kívánt táblázatot. Ugyanebben az ablakban beállítható például az egyes kimenetekhez tartozó jelterjedési idő is. Az ablak OK-val történő bezárása után a PLD szimbólum mérete alkalmazkodik a bemenetek és a kimenetek számához (megnövekszik).

Végezzük el a huzalozást az alábbi ábrának megfelelően!

(Rövid magyarázat a bekötésekhez:

A számlálók lefelé számláló és betöltő bemeneteit tápfeszültségre kell kötni (Digital Devices → Vcc (power source)). Az első számláló 9→0 átmenetére felfutó élet adó kimenete lesz a második számláló órajel-forrása. Az első számláló kimeneteit buszba foglaltuk, az áttekinthetőség kedvéért. A PLD lábai sorrendjének kialakításakor ügyeltünk az egyszerű huzalozhatóságra.)

3. Mérési feladatok

1. Tervezzen léptetőregisztert JK tárolókból, gondoskodjon arról, hogy induláskor (reset) az első tárolóban „1” legyen!
2. Tervezzen álvéletlen generátort, és szimulálja a működését!
3. Készítsen rövidített ciklusú számlálót a mérésvezető utasításai szerint!
4. Készítsen mintaalkalmazást a ROM illetve RAM egységek szimulációban való bemutatásához! (Használja a súgót, illetve kövesse a mérésvezető útmutatását!)

4. Házi feladat

1. Ismételje át eddigi tanulmányai alapján a következőket:
 - a. Kombinációs hálózatok tervezési módszerei
 - b. Tipikus aszinkron és szinkron sorrendi hálózatok
2. A melléklet alapján ismerkedjen meg az IEEE szabvány jelölésrendszerével!
3. Tanulmányozza a mellékletben található 74192 áramkör adatlapját!
4. Tervezze meg az 1. és 2. mérési feladat szerinti áramkört!