

BALÁSHÁZI BÉLA főiskolai adjunktus –

VERES GYÖRGY főiskolai adjunktus

## **SZIMULÁCIÓ A DIGITÁLIS ELEKTRONIKA OKTATÁSÁBAN**

### **SIMULATION IN TEACHING OF DIGITAL ELECTRONICS**

---

The first part of the article is about short theory of simulation. In the second part the author gives a short description of the simulation of an digital electronic circuit.

---

A cikk első része rövid áttekintést ad a szimuláció alapjairól, a második részben pedig egy konkrét digitális áramkör szimulációs lehetőségeiből mutat be példát.

---

A katonai alkalmazású berendezésekben, rendszerekben a technológiai fejlődés eredményeként egyre bonyolultabb elektronikus rendszereket valósítanak meg. A szimulátorok az ilyen rendszereknek a tervezését, vizsgálatát és oktatását támogató eszközök. A technológia és az informatika fejlődésével vált lehetővé a valóság egy sajátos megismerése a szimuláció segítségével. A szimulációval a rendszer vizsgált tulajdonságaira kapott eredményeknek kellő pontossággal meg kell egyeznie a valóságos rendszer megfelelő tulajdonságaival. Ehhez általában rendkívül sokszor kell a működési folyamatot utánozni, ezért ennek végrehajtására és a kapott eredmények kiértékelésére többnyire számítógépet használnak.

Szimulációról az elektronikában illetve az áramkörök vizsgálatakor akkor beszélhetünk, ha az adott áramkör viselkedését egy matematikai modellel írjuk le. A modell olyan eszköz, amelynek segítségével a vizsgált folyamat számunkra fontos részét kiemeljük. A modell egyik fontos tulajdonsága a jósága, illetve a hibája, amelyek a modell és a valóság közötti hasonlóság és eltérés mértékét fejezik ki. A szimulált rendszert leíró modellek sohasem képesek minden vonatkozásban tökéletesen tükrözni az eredeti rendszer viselkedését. A modell mindig csak valamilyen

szempont(ok) szerinti modellje a modellezettnek. A modell tehát csak a kialakításakor meghatározott szempontok szerinti tulajdonságokban és működési sajátosságokban mutat azonosságot a modellezzettel. Tökéletes modell csak egy van: maga a modellezett. A szimuláció előfeltétele, hogy egy szükséges és elégséges modellhez jussunk. A szükséges bonyolultság azt fejezi ki, hogy további egyszerűsítés megengedhetetlenül nagy hibát okoz. Az elégséges jelző arra utal, hogy ennél bonyolultabb modell esetén a hardver igény és a szimulációs idő fölöslegesen nőne.

A modellt a szükséges és elégséges módon leíró matematikai egyenletek megoldásával megvizsgáljuk, és az eredményekből következtetünk a valós rendszer viselkedésére. Az elektronika területén a szimuláció lényegében egy szimulációs program, amely különböző bonyolultságú elektronikus hálózat vizsgálatára alkalmas.

A szimulátorok alkalmazásának számos előnye van. Az analóg és a digitális kapcsolások viselkedésének olyan vizsgálatára adnak módot, amelyhez nincs szükség az áramkör tényleges megvalósítására. Alkalmazásukkal a még soha sem létezett megoldások is vizsgálhatók, nincs szükség a vizsgálat tárgyának megépítésére. Használatuk a már létező rendszerek elemzésekor is előnyös. Segítségükkel olyan vizsgálatok is egyszerűen és nagyon alacsony ráfordítással megvalósíthatók, amelyek egyébként csak nagyon költséges műszerekkel, nagyon nagy felkészültséggel megvalósíthatók. Szimuláció alkalmazásával hagyományos mérési eredményeinket jól ellenőrizhetjük. A programoknál a megjelenítés látványos, a vizsgált eredmények könnyen értékelhetőek.

Természetesen a programoknak alkalmazási korlátjai is vannak. A szimuláció csak modelleket alkot, az analízis során matematikai egyenleteket old meg, de ez nem a valóság. A gyakorlatban szerzett tapasztalatok nem helyettesíthetők. A programok egyszerűbb, olcsóbb, esetleg demo változatai elsősorban a vizsgálható áramkörök csomópontjainak számában jelenthetnek korlátot, bár adott feladatokra általában megfelelnek. Összetettebb hálózatoknál az analízis hosszabb időt vehet igénybe.

A szimulátor két fő alaptípusát a sztochasztikus és a determinisztikus szimulátorok képezik. Az áramkör szimulátorok alapvetően az utóbbi kategóriába tartoznak. Ezeknél akárhányszor megismételjük a vizsgálatot, ugyanazokkal a bemeneti feltételekkel ugyanazt az eredményt kapjuk. A sztochasztikus szimulátorok a statisztikai módszerekkel kezelhető, valószínűségi változókkal leírható rendszerek vizsgálatát támogatják.

Az áramkör szimulátorok folytonos vagy diszkrét szimulációs technikákat alkalmaznak. A folytonos szimulátorok bonyolult matematikai egyenletrendszereket használnak. Ezek az egyenletek a szimulált rendszer elemek viselkedését írják le. Például az R, L és C elemékből álló rendszerek viselkedését állandó együtthatójú lineáris differenciál-egyenletrendszer írja le. Az ilyen rendszerek építőelemeinek viselkedése jól ismert, matematikailag egzaktul kezelhető. A szimulátor ezen egyenleteket úgy használja, hogy figyelembe veszi a működtetés feltételeit és az elemek közötti kapcsolatokat is. A szimuláció eredménye olyan folytonos függvény vagy függvények, amelyek megmutatják, hogy az adott alkatélemek a valóságban hogyan viselkednek. A szimulációval meghatározott függvények döntően időfüggvények, bár más független változó-jú függvényeket is vizsgálhatunk. Sajnos ezek az egyenletek a folytonos szimulátorok működését rendkívül számításigényessé és ezáltal lassú működésűvé teszik.

A diszkrét szimulátorok a folytonos szimulátoroknál magasabb absztrakciós szinten leírható komponensek és az ilyenekből kialakított rendszerek működését szimulálják. A diszkrét jelző itt arra utal, hogy a szimulált rendszer állapota a folytonos rendszerekével szemben nem folytonosan és nem akármikor, hanem csak a szimuláció  $t_0$  kezdetétől számított, előre meghatározott  $T$  elemi időszakasz  $nT$  egész számú többszöröse által meghatározott, rögzített  $T_1, T_2, \dots, T_n$  időpontokban változhat. Például egy digitális rendszer bármely pontján csak az előre rögzített időpontok valamelyikében léphet fel 0-1, illetve 1-0 irányú változás. Ezen időpontok egymástól mért  $T$  távolsága (a szimulátor időfelbontási egysége, alapideje) a logikai áramkörök legkisebb késleltetése által meghatározott, azzal egyenlő. Mivel a közbülső időpontokban nem történhet változás, a folytonos szimulációhoz képest ezeknél a szimulátoroknál lényegesen kisebb a számítási igény. A logikai szintű szimulátorok a számítás igényességét azáltal csökkentik, hogy a szimulált rendszert magasabb bonyolultsági fokú, ugyanakkor egyszerűbben leírható (logikai funkcióikkal jellemezhető) építőelemekből álló logikai hálózatként kezeli. Nem folytonos analóg feszültség- illetve áramértékeket használnak, a változóknak csak 0 és 1 lehet. Az összekötő vezeték szakaszokat általában minden szempontból ideálisnak tekintik.

Kapuszintű szimuláció esetén különböző logikai függvényeket megvalósító kapuk és flip-flopok a szimulált rendszer építőelemei. Mivel

ezek az építőelemek összetettebbek (magasabb absztrakciós szintet képviselnek), ezen a szinten jóval komplexebb rendszerek szimulálhatók. A kapusintű szimulátorok diszkrét idejű szimulációt alkalmaznak.

A digitális rendszert kapusintnél magasabb bonyolultságú funkcionális egységekkel (regiszterekkel, számlálókkal, összetett aritmetikai és logikai egységekkel) mint építőelemekkel leíró és kezelő szimulátorokkal extra nagybonyolultságú rendszerek is vizsgálhatók.

Az alkalmazott Micro-Cap V szimulációs program viszonylag összetett laboratóriumi funkcióit képes ellátni. A vizsgálat tárgyát képező elektronikus áramkör kapcsolási rajzának megszerkesztését, a sokféle jelforrás és mérőműszer kiválasztását, és az alkalmazásukhoz szükséges paraméterek beállítását felhasználóbarát grafikus kezelő felület támogatja. A program alkatrészkönyvtárakat tartalmaz, amely folyamatosan bővíthető.

A szimuláció során háromféle analízist lehet végezni: Tranziens, AC és DC analízist. A tranziens analízis egy olyan műszeres mérésnek felel meg, amelynél a vizsgált áramkör bemeneti jele (vagy jelei) valamilyen (többnyire feszültség vagy áram) időfüggvény. A vizsgálat során azt határozzuk meg, hogy ennek hatására milyen feszültség vagy áram időfüggvények állnak elő a hálózat csomópontjain, illetve ágaiban. Bemeneti jelforrásként hullámforma generátor, mérőeszközként pedig oszcilloszkóp használatát szimuláljuk. Az AC analízis során az áramkörök amplitúdó és fáziskarakterisztikáit lehet ábrázolni a frekvencia függvényében, tehát a különböző Bode karakterisztikákat. A DC analízisnél a transzfer karakterisztikák jeleníthetők meg.

A program digitális elektronikai alkalmazásának illusztrálására a Boole algebrából jól ismert de Morgan azonosságok vizsgálatát végezzük el:

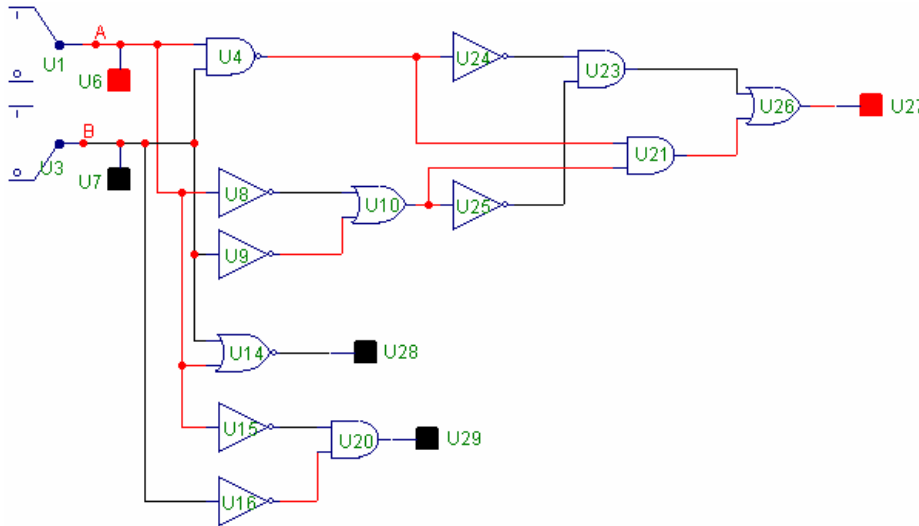
$$\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B} \quad (1)$$

$$\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B} \quad (2)$$

A két azonosságnak megfelelő logikai műveletek realizálását az 1. sz. ábra mutatja.

Az (1) összefüggés bal oldalát az U4 NAND kapu, a jobb oldalát az U8 és U9 inverterek, valamint az U10 OR kapu realizálja. A (2) összefüggés bal oldalát az U14 NOR kapu, a jobb oldalát az U15 és U16 in-

verterek, valamint az U20 AND kapu realizálja. Az A és B bemenő logikai szinteket az U1 és U3 digitális kapcsolók biztosítják. A kapcsolás statikus vizsgálatát nagymértékben segíti és szemléletessé teszi a program által biztosított animáció.



1. sz. ábra

Ez azt jelenti, hogy egy digitális kapcsolás vizsgálatát (azaz a diszkrét szimulációt) nem a jelek időfüggvényeinek kirajzoltásával és kiértékelésével végezzük el, hanem az analízis futása során a kapcsolási rajzon jelzi ki a program a jelek értékét. Így tehát egy rajzfilmhez hasonlóan mozgó, változó képet kapunk.

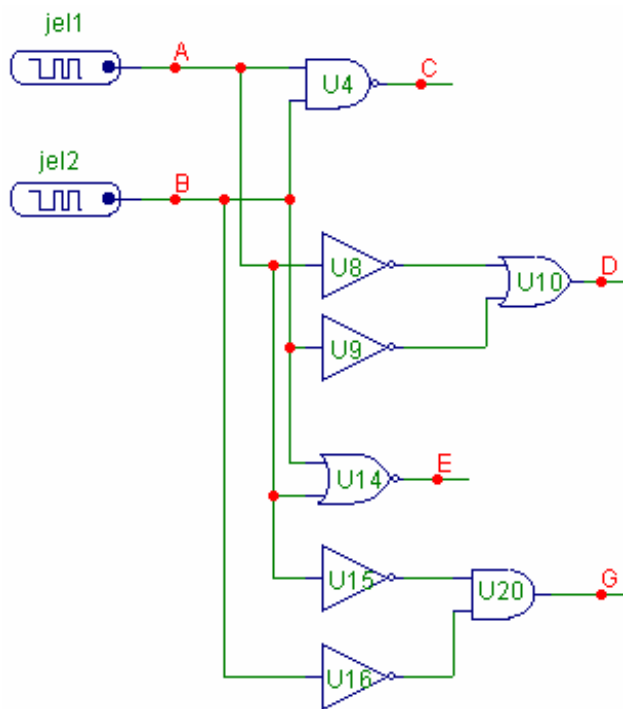
Mivel az animáció során a jelek logikai értékét közvetlenül a kapcsolási rajzon lehet kijelezni, ezért a kapcsolási rajz összeállítás során két, speciálisan az animációt támogató alkatrészt használhatunk.

Az egyik a digitális kapcsoló (U1 és U3). A kapcsoló a kimenetén logikai 0 és logikai 1 szintet adhat ki. Ha az analízis futása során rákattintunk a kapcsolóra a bal egérgombbal, a kapcsoló átvált a másik állapotába.

A másik a LED (U6, U7, U27, U28, U29). Az animációs analízis futása során már a jelvezetékek színe mutatja számunkra a logikai jel értékét. Azok a jelvezetékek, amelyek jele 1 értékű, PIROS színűekké válnak. A 0 logikai értéket a sötét szín, míg a határozatlan X értéket a

szürke szín jelenti. Ennél a megoldásnál még szemléletesebb, ha a vizsgálni kívánt jelre (a jelvezetésekre) egy LED-et kötünk. Mivel most diszkrét analízist végzünk, a LED nem diódaaként működik, azaz nem két-pólus, hanem csak egy csatlakozási pontja van a rajzjelének (úgy tekinthető, mint egy logikai szintkijelző). Ha a jel 1, a LED piros, ha a jel 0, akkor fekete. Határozatlan szint esetén szürke.

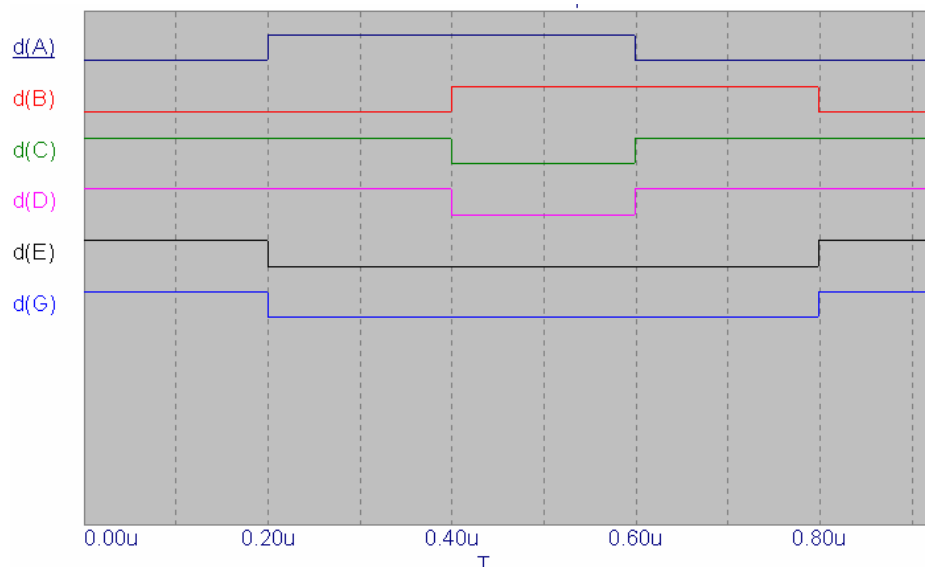
Az azonosságok helyessége a két oldal azonos logikai szintjét követeli meg bármilyen bemenő szintek esetén. A (2) azonosság esetében tehát az U28 és U29 LED-eknek mindig azonos színűeknek kell lenni. Az (1) azonosság esetében a két kimenő szint (U4 és U10) azonosságát egy ekvivalencia áramkör (U24 és U25 inverterek, U23 és U21 AND kapuk, U20 OR kapu) érzékeli. Az (1) azonosság esetében tehát az U27 LED-nek állandóan logikai 1 szintet jelentő piros színűnek kell lenni.



2. sz. ábra

A 2. sz. ábrán a logikai áramkör dinamikus vizsgálatára alkalmas kapcsolás látható. A bemenő jelet szolgáltató jelforrás a Stimulus generátor. Ezek 1 vagy több (maximum 16) bites kimenettel rendelkező speciális impulzus generátorok. Kimeneti jeleik csak 0 vagy 1 értéket vehetnek

fel, elhanyagolhatóan kis fel- és lefutási időkkel. A generátorok programozása a program TEXT lapján végezhető el. Jelen programozással a két stimulus generátor (jel1 és jel2) egy-egy, egymástól időben eltolt négyszögimpulzust állít elő. Így az A és B jelek mindegyik kombinációja vezérli a logikai áramkört. A 3. sz. ábrán a transzfer analízis során szimulált jelalakok láthatóak. A és B a két bemenő impulzus. A C és D jelalakok az (1) azonosság bal és jobb oldalát realizáló kombinációs hálózat kimenő jelei, míg az E és G jelek a (2) azonosságra vonatkoznak. Az azonosságok igazságát a két-két kimenő jel megegyezése szemlélteti.



3. sz. ábra

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Balásházi Béla: Mérés és szimuláció az elektronika oktatásában. Bolyai Szemle, 2002.  
Hegyesi – Mihály: Szimuláció az elektronikában. General Press, 2001.  
Micro-Cap V. Reference Manual, 1995.  
Micro-Cap V. User's Guide, 1995.

