

# Digitális áramkörök szimulációs vizsgálata

BENKŐ TIBORNÉ—DR. JÁVOR ANDRÁS  
Központi Fizikai Kutató Intézet  
RÓMER MÁRIA  
Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskola

## ÖSSZEFOGLALÁS

Visszacsatolt vezérlésű szimulációs vizsgálatot mutatunk be, ahol a bemeneti vezérlést változtatni tudjuk a kimeneti logikai állapotok különböző időben történő lekérdezésével.

A szimulációs rendszer a LOBSTER-MPC, amely alkalmas az áramköri hibák felderítésére, a vizsgálatok megjelentetésére és a modell-áramkörök műveleti sebességének a meghatározására.

A korszerű áramköri vizsgálatok egyike a számítógépes szimulációs vizsgálat. A főiskola Híradásipari Intézetében modellkísérleteket végeztünk személyi számítógépen futtatott logikai szimulációs programmal. A programot a KFKI munkatársai fejlesztették ki, alkalmazták az IBM-PC ill. az azokkal kompatibilis gépekre, a neve LOBSTER-MPC.

Megvizsgáltuk, mennyiben felel meg a LOBSTER-MPC szimulációs program az ismert áramköri vizsgálatoknak.

### 1. Az áramkör optimális kialakítása

A számítógépes modelláramkör építés a deszkamodellek helyébe lépett. Az elképzelt feladatnak többféle modelljét tervezhetjük meg a szimulációs program segítségével. A digitális áramkör sajátosságaiából következik, hogy ugyanazt a funkciót más-más alapáramkörrel felépítve is megkaphatjuk. A kísérleti áramkörök statikus és dinamikus jellemzőit megvizsgálva kiválaszthatjuk az optimális elemeket egy adott kimeneti funkció elérése érdekében.

Az egyes alapáramkörök (kapuk, flip-flopok stb.) paramétereit változtatva gyorsabb vagy lassúbb áramkörhöz jutunk. A valóságban majd a legmegfelelőbb áramkört realizáljuk, amelyhez az elemeket a különböző áramkör családkból a paraméterek alapján válogatjuk össze.

Az optimális áramkör kialakítása úgy is elképzelhető, hogy a gyártó cég megjelöli a terméklista alkatrészeit, azokból kell az áramkört felépíteni. Ebben az esetben a szimulációs vizsgálat a működés lehetséges szélső értékeit fogja előre megmutatni.

### 2. A kísérleti modelláramkör

Az áramkör az 1. ábrán látható. Két részből áll, egy sorrendi vagy szekvenciális áramkörből és egy kombinációs áramkörből.

A szekvenciális áramkör egy visszacsatolt 4-bites regiszter, amely a 2. ábrán látható. Kimenetei: X0, X1, X2, X3. A belső állapotai —X0, X1,



### BENKŐ TIBORNÉ

Okleveles villamosmérnök, a KFKI tudományos munkatársa. 8 könyv társszerzője. 1976-ban a „Karakterisztikák diagnosztika monogramok” társszerzőként írt könyvéért a Műszaki Könyvkiadó díjában részesítette. A Mernöki Továbbképző In-

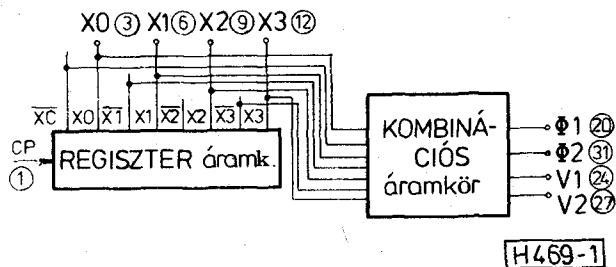
tézet szervezésében 17 évet tart számítógépes témákban tanfolyamokat és 4 évet oktat BME Elektronikus Eszközök Tanszékén. Több bizottságnak tagja. 1980 óta MATE Elnökségi tagja. Szakterülete a számítógéppel segített tervező rendszerek fejlesztése és a számítógépes szimuláció.

### DR. JÁVOR ANDRÁS

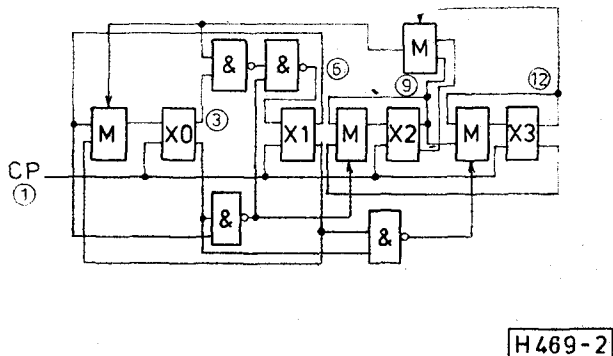
1960-ban villamosmérnöki oklevelet, majd kandidátusi és egyetemi doktori címet szerzett. A KFKI tud. főmunkatársa, címzetes egyetemi docens. A BME-n és az ELTE-n végzett oktatói munkáján túl többször volt az NSZK-ban vendégprofesszor. Közül 90 publikációján belül több magyar és angol szakkönyv társszerzője és szerkesztője. A Kiváló Feltaláló kitüntetés arany fokozatának tulajdonosa. Két nemzetközi folyóirat



szerek. bizottsági tagja. Az IM ACS/Hungary elnöke. Számos hazai és nemzetközi tud. testület tagja. Fő érdeklődési területe a számítógépes szimuláció.



1. ábra. Jelgenerátor áramkör



2. ábra. Regiszter áramkör

Beérkezett: 1988. VI. 6. (H)

A RME villamosmérnöki kar Híradástechnikai szakán végzett, majd 1977-ben digitális elektronikai szakmérnöki diplomát szerzett. Jelenleg a Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskola Híradásipari Intézetében főiskolai docens. Szakterülete a digitális technika és a számítástechnika. Kutatási területe: a számítógépes áramköri vizsgálatok és a digitális áramkörök szimulációja.



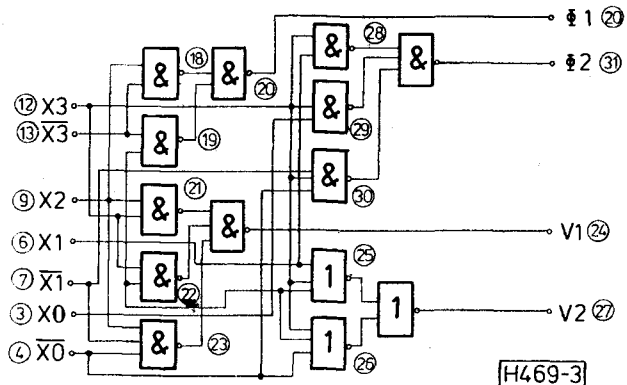
gépes áramköri vizsgálatok és a digitális áramkörök szimulációja.

X2, X3 sorrendben: 0000—1000—1100—0100—0110—1110—1010—0010—0011—1011—1111—0111—0101—1001—0001—.

A logikai áramkör a 3. ábrán látható. Az áramkör bemenetei a szekvenciális áramkör kimenetei. Az áramkör kimenetei:  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ , V1 és V2

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= \overline{X3} \cdot \overline{X2} + \overline{X3} \cdot X1 \\ \Phi_2 &= X3 \cdot X1 + X3 \cdot X0 + X2 \cdot \overline{X1} \cdot \overline{X0} \\ V1 &= X3 \cdot X2 + X3 \cdot X1 + X2 \cdot \overline{X1} \cdot \overline{X0} \\ V2 &= (X3 + X2 + X1) \cdot (X3 + X2 + X0) \end{aligned}$$

A rajzokon a bekeretezett számok az ekvipotenciális csomópontoknak a szimulációs programban használt azonosítói.



3. ábra. Kombinációs áramkör

### 3. In-circuit jellegű vizsgálatok

Az in-circuit vizsgálatoknál a mérőautomaták speciális befogó szerkezet segítségével a mérendő áramköri kártyák valamennyi belső pontjához csatlakozni tudnak. Így minden pontot megfelelően lehet meghajtani vagy lekérdezni. A LOBSTER-MPC az in-circuit testerekhez hasonlóan az áramkör valamennyi pontját tudja vezérelni is, lekérdezni is, akár bemeneti, akár kimeneti, akár belső pontról van szó. A modelláramkör topológiája a statikus vizsgálati fázisban megjelenik egy adat file-ban. Részleteket láthatunk ebből a programból a 4. ábrán.

```

YOU ARE WELCOME BY THE
*****
| L O B S T E R - M P C |
*****

SIMULATION SYSTEM AT YOUR SERVICE.

THIS IS THE FIRST PHASE: THE STATIC ANALYSIS

*****
| MODEL NAME |
| INPUTS     |
| 1  32  33  34  35  36  37  38 |
| 39 |
| LARGEST NODE NUMBER USED: 39 |

LIST OF BLOCKS
*****

```

NODE	CONNECTED TO
1	3 5 8 12
2	7
3	15 29
4	16 17 20 28 30
5	6
6	16 19 22 25 28 41
7	17 23 38 42
8	9
9	15 21 23 25 26 30 45 48 50
10	44
11	12
12	21 22 25 26 28 29 43 45 51
13	18 19 47
14	15 40 42
15	5
16	5 45 48

H469-4

4. ábra. Az összetartozó pontok listájának programrészlete

THIS IS THE SECOND PHASE: THE DYNAMIC SIMULATION IS TO RUN UNDER THE FOLLOWING CONDITIONS

LOOP MODEL NAME  
 SIMULATION TIME 1000 NS  
 TIME INCREMENT 5 NS  
 OUTPUTS 5  
 1 3 6 9 12  
 PRINT 20 NS  
 SEQUENCE 2  
 1 1 5 NS 5 NS  
 20 NS 20 NS  
 .....

NODE NUMBERS

TIME UNIT NS	1	3	6	9	12
500	1	1	1	1	1
520	0	1	1	1	1
540	1	1	1	1	1
560	0	1	1	1	1
580	1	0	1	1	1
600	0	0	1	1	1
620 H	1	0	1	1	1
640	0	0	1	1	1
660	1	0	1	0	1
680	0	0	1	0	1
700	1	0	1	0	1
720	0	0	1	0	1
740	1	1	1	0	1
760	0	1	1	0	1
780	1	1	0	0	1
800	0	1	0	0	1
820	1	0	0	0	1
840	0	0	0	0	1
860 H	1	0	0	0	1
880	0	0	0	0	1
900	1	0	0	0	0
920	0	0	0	0	0
940	1	0	0	0	0
960	0	0	0	0	0
980	1	1	3	0	0
1000	0	1	0	0	0

LOOP MODEL NAME  
 SIMULATION TIME 1000 NS  
 TIME INCREMENT 5 NS  
 OUTPUTS 5  
 1 3 6 9 12  
 PRINT 50 NS  
 SEQUENCE 2  
 1 1 5 NS 5 NS  
 50 NS 50 NS  
 .....

NODE NUMBERS

TIME UNIT NS	1	3	6	9	12
0	0	0	0	0	0
50	1	1	0	0	0
100	0	1	0	0	0
150	1	1	1	0	0
200	0	1	1	0	0
250	1	0	1	0	0
300	0	0	1	0	0
350	1	0	1	0	0
400	0	0	1	0	0
450	1	1	1	0	0
500	0	1	1	0	0
550	1	1	0	0	0
600	0	1	0	0	0
650	1	0	0	1	0
700	0	0	0	1	0
750	1	0	0	1	1
800	0	0	0	1	1
850	1	1	0	1	1
900	0	1	0	1	1
950	1	1	1	1	1
1000	0	1	1	1	1

Nyomda (M. 000)

HAZARDS DETECTED

TIME UNIT NS	LOOP SYSTEM	NODE	SOURCE
805		9	1
845		12	1

H469-5

5. ábra. 25 MHz-es és 10 MHz-es program részletek

#### 4. Funkcionális vizsgálatok

Az áramkörök funkcionális vizsgálatainak egyik típusa a GO- NO GO formájú lépések sorozata. Ha jó az áramkör valamilyen paraméter vagy funkció szerint, akkor folytatódik a vizsgálat, ha hiba van, akkor nem folytatódik.

A szimulációs programot is fel lehet ilyenformán építeni. A méréseket a logikai állapotok lekérdezése jelenti. A bemeneti változók függvényében lekérdezzük a kimeneti pontok logikai állapotait.

A LOBSTER-MPC-ben lehetőség van a bemeneti szekvenciák változtatására a modell által felvett logikai állapotok függvényében. Mind a bemeneti, mind a kimeneti kombinációkhoz feltételként működési időt is hozzárendelhetünk.

4.1. Az optimális működtető frekvencia kiválasztása  
 A digitális áramkörök egyik legfontosabb jellemzője a működési sebesség.

A kísérleti áramkör regisztere visszacsatoló hurkot is tartalmaz. A hurokban vagy hurkokban

előálló szignifikáns hazard állapotot a rendszer indikálja egy HAZARD-jellel. A vizsgálat nem áll le, de a szimulációs futás után megadja hol keletkezett a modellben a hazard.

A hazardok megjelenése jelzi, hogy az üzemszerű működésben zavar van.

A kísérleti áramkört többféle órafrekvenciánál vizsgáltuk. Az alábbiakban bemutatunk két részletet a programból. Az egyikben sehol sem jelent meg hazard, itt az órafrekvencia 10 MHz volt. A másiknál, ahol az órafrekvencia 25 MHz volt, már megjelentek a hazardok. (Program mellékletek, 5. ábra.) A maximális működtető frekvencia megállapításához többszörös futtatással jutottunk el, egyre növelve az órafrekvenciát.

Más módon is megállapíthatjuk a maximális órafrekvenciát. Bizonyos időpontokban a rendszer automatikusan lekérdezhetheti a kimeneti pontok állapotait.

A kimeneti pontokra felírt logikai feltételektől függően is áttérhetünk más-más vezérlési szekvenciára. A mérőautomatákhoz hasonlóan a szimulációs program is rendelkezik ezzel a képességgel. Ez a tudásbázisú vagy öntanuló vizsgálat. Ebben az esetben csak egyszer futtatunk.

A kísérleti szekvenciális áramkörünk vizsgálatánál a kiinduló frekvencia  $f_{óra}=1$  MHz volt. Majd  $f_{óra}=5$  MHz,  $f_{óra}=10$  MHz és végül  $f_{óra}=25$  MHz következett. Itt jelentkeztek a hazardok. Ekkor csökkentettük a frekvenciát. Az optimális frekvencia legyen 20 MHz-nél kisebb.

#### 4.3. Mikor jó egy összetett áramkör?

Az összetett áramkörök vizsgálata felveti a következő problémát. Az egyik áramkör gyorsabb, mint a másik. Célszerű ilyenkor előre meghatározni az együttes periodicitást. A belső állapotok mikortól ismétlődnek újra?

Az áramkör vizsgálati idejét az ismétlődési időnek megfelelően célszerű választani. A kísérletünkben kb. 2000 ns.

#### 4.4. A logikai áramkör vizsgálata

Miután a regiszter áramkörnek megállapítottuk az optimális órafrekvenciáját, azt fixen tartva vizsgáljuk a logikai áramkört. Az áramkör bemenetei: X0, XI, X2 és X3, a kimenetei  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  és VI, V2. Kiválasztva a jellemző kombinációkat és azokat a megfelelő időpontban lekérdezve, egy próbafuttatással megnézzük, hogy a kimeneti függvények állapotváltozásai a megfelelő időpontokban következnek-e be.

A kísérleti áramkörben,  $t$ -nél  $\Phi_1\Phi_2$  logikai értéke:

	$\Phi_1$	$\Phi_2$
$t_i$	1	0
$t_j$	0	0
$t_k$	0	1

A  $t_i$ , a  $t_j$  és a  $t_k$  időpontokra LOBSTER-MPC-ben control szekvenciákat írunk fel. Logikai feltételek teljesülése esetén a program az általunk előírt üzeneteket írja ki. A programrészletben  $t_i=900$  ns-nél  $\Phi_1=1$  és  $\Phi_2=0$ .

600	1	1	1	1	0	1	0	0	1
650	0	1	1	1	0	1	0	0	1
700	0	1	1	1	0	1	0	0	1

750	0	1	1	1	0	1	0	0	1
800	0	1	1	1	0	1	0	0	1
850	0	1	1	1	0	1	0	0	1

900 FI1=1 ES FI2=0

900	0	1	1	1	0	1	0	0	1
950	0	1	0	1	0	1	0	0	1
1000	1	0	0	1	0	1	0	0	1
1050	1	0	0	1	0	1	1	1	1

### 5. Kijelzés a képernyőn

A digitális áramkörök tervezésében nagy segítséget jelent az egyes jeleknek az egymáshoz képesti vizsgálata egy közös időtengelyhez képest. A LOBSTER-MPC-nek is van ilyen lehetősége. Valamennyi pont állapotát a teljes vizsgálati idő alatt különböző időpontok között vizsgálhatjuk. A képernyőre egyszerre tíz pont szekvenciát rajzoltathatjuk fel egymás alá. Lehetőség van a kritikus helyzetek kinagyítására, eltolására is. A LOBSTER-MPC grafikus kijelzése lényegében egy többsugaras mérő oszcilloszkóppal ekvivalens szolgáltatásokat biztosít.

### 6. A szimuláció előnyei

A LOBSTER-MPC futtatása az IBM kompatibilis XT vagy AT gépeken viszonylag egyszerű. A programozás első fázisa az áramkör felépítése. Az áramköri rajz alapján minden pontot beszámozunk, majd az elemeket a sorszámozott pontjaikkal együtt felsoroljuk egy interaktív párbeszédés formában.

A statikus vizsgálat az előkészített áramköri topológiát tekinti a bemenő adat file-nak. A dinamikus vizsgálat csak a statikus után következhet. Itt van meg a lehetőség a különböző szekvenciák kijelölésére, az esetleges hibák beiktatására és a control-szekvenciák megadására, valamint itt kell megadni a szimulációs vizsgálat idejét és a kijelzési módját.

A LOBSTER-MPC-nek van áramköri könyvtára, de tetszőleges mélységű blokkok alakíthatók ki katalógus elemekből vagy alapáramkörökből. A vizsgálható áramköri csomópontok száma meghaladhatja az 1000.

A szimulációs vizsgálatot végzőnek nem kell programozni tudni, csak tudja kezelni a személyi számítógépet. A program kezelése felhasználó orientált módon történik: a vizsgálat egyes fázisaiban kérdésekre kell válaszolni, hiba esetén nem megy tovább a program.

A LOBSTER-MPC kiválóan alkalmazható a digitális áramkörök oktatásában, a mérnökök felkészítésére, jól használható eszközt nyújt a tervezés-szimuláció-gyártás folyamat végrehajtásához.

### IRODALOM

- [1] A. Jávör: „LOBSTER-M: A Mixed Mode Simulator for CAD” Cybernetics and Systems' 86, D. Reidel Publishing Company, 1986, pp. 669—676.
- [2] A. Jávör, M. Römer, M. Benkő: „Knowledge base controlled simulation for testing digital logic circuits” in Proc. of 12th IMACS WORLD CONGRESS ON SCIENTIFIC COMPUTATION, 1988.