

Analóg és digitális áramkörök tesztelése és programozása peremfigyeléssel – 8.

Dr. Kohut József főiskolai docens, Molnár Zsolt főiskolai tanársegéd

Budapesti Műszaki Főiskola Kandó Kálmán Villamosmérnöki Főiskolai Kar, Műszertechnikai és Automatizálási Intézet

A memória-áramkörök peremfigyeléses tesztelése

A digitális áramkörök fontos részét alkotó memóriák – ahogyan ezt a cikksorozat 5. részében kifejtettük – jelenleg kivétel nélkül peremfigyeléses áramköröket nem tartalmazó integrált áramkörök, tehát tesztelésüket csak „kívülről”, vagyis a cím-, adat- és vezérlőjelekre csatlakozó, más peremfigyeléses áramkörök felől lehet elvégezni.

A JTAG Technologies cég (Hollandia) peremfigyeléses vizsgálatra kidolgozott ProVision programja a memóriák tesztelésére egy önálló alkalmazástípust, a memóriaklaszter tesztelésének módszerét tartalmazza. (A nem memória jellegű áramköri részek, az ún. általános klaszterek peremfigyeléses tesztelését célzó módszert a következő cikkben ismertetjük.) A memóriaklaszter fogalmába beleértendő a statikus RAM (SRAM) mellett a dinamikus RAM (DRAM), a továbbfejlesztett dinamikus RAM (EDRAM) és a szinkron működésű dinamikus RAM (SDRAM), sőt az egyszerű regiszter, az invertáló jellegű regiszter és a FIFO-jellegű tároló is.

A memória definíciója

A memóriák peremfigyeléses vizsgálata céljára pontos leírását kell adni a cím- és adatvezetékek, valamint a vezérlőjelek működésének, továbbá az elemi tevékenységek (írás és olvasás) megvalósításának. A ProVision- program esetén erre a célra szolgál az .mcd kiterjesztésű (Memory Cluster Definition), szöveg jellegű fájl, amelynek szerkezete a következő:

```
[<version>]
<cluster_type>
<signal_groups>
<control_cycles>
[<command_seqs>]
END_<cluster_type>
```

Az MCD-fájl verziószámának megadása nem kötelező (jelenleg 1.0, vagy 2.0 lehet).

```
<version> ::= 'MCDVERSION' <identifier>
```

A klaszter típusa lehet:

```
<cluster_type> ::= 'REGISTER' (Regiszter vagy
                        órajelvezett tároló)
                  | 'INV_REGISTER' (Invertáló kimene-
                        tő regiszter)
                  | 'FIFO' (FIFO jellegű, soros elérésű tároló)
                  | 'RAM' (SRAM, DRAM, SDRAM,
                        EDRAM stb.)
```

A memória jeleinek csoportosított megnevezése cím-, adat, vagy vezérlőbusz lehet:

```
<signal_group> ::= [<address_bus>]
                  | <data_bus>
                  | <control signals>
```

A címbusz megadásának formája:

```
<address_bus> ::= ADDRESS_BUS
                { <bus_name> }
                END_ADDRESS_BUS
```

Az adatbusz lehet bemeneti, kimeneti vagy kétirányú:

```
<data_bus> ::= <data_in_bus> | <data_out_bus> |
              <data_inout_bus>
<data_in_bus> ::= DATA_IN_BUS
               <bus_name>
               END_DATA_IN_BUS
<data_out_bus> ::= DATA_OUT_BUS
                <bus_name>
                END_DATA_OUT_BUS
<data_inout_bus> ::= DATA_INOUT_BUS
                 <bus_name>
                 END_DATA_INOUT_BUS
```

A vezérlőjelek nevét a panel, ill. az alkatrész csomóponti listájából lehet megadni:

```
<control_signals> ::= CONTROL_SIGNALS
                   { <board_instance_name> |
                     <signal_name> }
                   END_CONTROL_SIGNALS
```

A jelek megnevezését követően meg kell adni azokat az eljárásokat (control cycles), amelyekkel a memória írását (wr), ill. olvasását (rd) végre lehet hajtani.

```
<control_cycles> ::= CONTROL_CYCLES
                  <wr_cycle>
                  <rd_cycle>
                  END_CONTROL_CYCLES
<wr_cycle> ::= WR_CYCLE
             {<control_vector> |
             <control_vector> `SAFE' }
             END_WR_CYCLE
<rd_cycle> ::= RD_CYCLE
             {<control_vector> |
             <control_vector> `SENSE' }
             END_RD_CYCLE
```

A vezérlőjel- és adatkombinációk megadásakor többféle jelölés is használható:

```
<bit> ::= '0' | 'L' | 'D' (logic 0)
        | '1' | 'H' | 'U' (logic 1)
        | 'X' | 'N' (don't care)
        | 'Z' (disabled)
<vector> ::= '(' {<bit>} ')'
```

A vezérlő-, cím- és adatvektorok megkülönböztetésére a kezdőbetűk szolgálnak:

```
<control_vector> ::= 'C' <vector>
<address_vector> ::= 'A' <vector>
<data_vector> ::= 'D' <vector>
```

A memóriaáramkör adatvezetékeinek esetleges szakadása csak abban az esetben észlelhető a memóriatartalom kiolvasásakor, ha a buszvezetékek a kiolvasás előtt a várt kimeneti állapot inverzére vezéreltek (tehát szükségszerű a jelváltozás bekövetkezése). Az ennek megfelelő vezérlő vektort a SAFE jelöléssel lehet megkülönböztetni.

A memória egy rekeszének olvasásakor azt a vezérlési fázist, amelyben az adatbuszon az olvasott tartalomnak meg kell jelennie, a SENSE jelöléssel kell megjelölni.

Példaként a jt2153 típusnevű panelen található, 64 kibájt¹ (kilobináris bájt) kapacitású RAM jeleinek és vezérlésének definíciója látható:

```
MCDVERSION "2.0"
RAM

ADDRESS_BUS
"jt2153_1" "ADDRESS" 15:0 -! Address lines.
END_ADDRESS_BUS

DATA_INOUT_BUS
"jt2153_1" "DATA" 7:0 -! Data lines.
END_DATA_INOUT_BUS

CONTROL_SIGNALS
"jt2153_1" "CONTROL2" ! we
"jt2153_1" "CONTROL1" ! oe
"jt2153_1" "CONTROL0" ! cs1
END_CONTROL_SIGNALS

CONTROL_CYCLES
WR_CYCLE
! woc
! ees
! 1
C (110)
C (010)
C (110) SAFE
END_WR_CYCLE

RD_CYCLE
! woc
! ees
! 1
C (110)
C (100) SENSE
C (110)
END_RD_CYCLE
END_CONTROL_CYCLES
END_RAM
```

Speciális parancssorok

Lehetőség van arra is, hogy a memóriaklasztert adatforgalomra képes állapotba hozó (inicializáló vagy írását/olvasását engedélyező) speciális parancssorozatokat (command sequences) tartalmazzon a memóriát leíró fájl:

```
<command_seqs> ::= COMMAND_SEQS
[ <init_seq> ]
[ <enable_wr_seq> ]
[ <enable_rd_seq> ]
[ <done_seq>]
END_COMMAND_SEQS

<init_seq> ::= INIT_SEQ
<vector_seq>
END_INIT_SEQ

<enable_wr_seq> ::= ENABLE_WR_SEQ
<vector_seq>
END_ENABLE_WR_SEQ

<enable_rd_seq> ::= ENABLE_RD_SEQ
<vector_seq>
END_ENABLE_RD_SEQ

<done_seq> ::= DONE_SEQ
<vector_seq>
END_DONE_SEQ

<vector_seq> ::= { [<control>]
[<address_vector>]
[<data_vector>]}

<control> ::= <control_vector> |
'R' | 'W'
```

A teljes és a részleges vizsgálat

A tárolóelemet (is) tartalmazó digitális áramkörök működésének teljes vizsgálata azt jelenti, hogy minden tárolóelem minden lehetséges tartalma esetén meg kell vizsgálni a bemeneti (vezérlő) jelek minden lehetséges kombinációjának hatását. A teljes vizsgálathoz szükséges tesztvektorok minimális darabszámát (n) az $n = 2^k * 2^N$ összefüggéssel lehet meghatározni (ahol a vezérlőjelek darabszámát k , a tárolóelemek darabszámát N jelöli). A „gyanútlanul egyszerű” összefüggés azonnal megmutatja a teljes tesztelés végrehajtásának gyakorlati képtelenségét, amint egy példát számszerűen is ellenőrzünk. A vizsgálandó memória legyen 64 kibájt tárolókapacitású, tehát elemi tárolóinak darabszáma: $N = 2^{16} * 8 = 2^{19}$. Egy ekkora memória vezérléséhez minimálisan kell: 16 db címvezeték, 8 db adatvezeték, 1 (vagy 2) db jel az adatforgalom irányának (írás vagy olvasás) meghatározására, 1 db kimenet-engedélyező jel, továbbá 1...2 db IC-kiválasztó jel, összesen kb. 28 db bemeneti jel ($k=28$). A memória teljes teszteléséhez tehát legalább

$$n = 2^{28} * 2^{19} = 2^{28+19} \approx 2^{19} \cong 10^{1,58*10^5}$$

tesztvektor szükséges. Ez a szám olyan hatalmas, hogy az első értékes jegye után 158 000 nulla leírásával lehet leírni! Ennyi vizsgálat elvégzéséhez elképzelhetetlenül hosszú idő szükséges: a tesztelést 1 GHz órajel-frekvenciával lefolytatva 1 év

¹ Teljesen egyetértünk azzal, ha *pontos számításoknál* a bináris egységek és a szabványos decimális többszörösöket jelentő rövidítések közti különbséget a decimális nagyságrendképző jeléhez kapcsolt „i” betűvel hangsúlyozzuk. Számos esetben azonban az a jellemző, hogy egy informatikai eszköz memóriaterjedelmét az alkalmazás (gyakran pontosan nem is ismert) memóriagényének „bőséges túlméretezésével” választják meg. Ilyenkor a nagyságrendi szorzók bináris és decimális értelmezésénél a szigorú megkülönböztetésnek nincs gyakorlati jelentősége. A matematikai pontosság és a „hétköznapi” szakmai szokások közti vitát a magunk részéről egyelőre az utóbbiak javára döntjük el azzal a kiegészítéssel, hogy (mint a jelen cikkben is) természetesen figyelembe vesszük a szerző kívánságát, és amennyiben az alkalmazás és a számítás pontossága indokolja, magunk is javasoljuk a szerzőknek a megkülönböztető jelzés (pl. 1 kiB = 1024 B, 1 MiB = 1,048576 MB, 1 GiB = 1,073741824 GB) használatát. Egyébként pedig – a következetlenség vádját is vállalva – „megtűrjük” a pontatlan, de közkeletű és elterjedt, „bináris értelemben használt decimális” nagyságrendképzők használatát. Ezt különben nem valamiféle „maradiságból” tesszük: a decimális nagyságrendek „neveltetésünknel” fogva szemléletesebbek számunkra. A mérnöki gyakorlat fontos eszköze a becslés, amelynek hibája ez esetben még a „tera” nagyságrendnél is 10% alatt marad. (A szerk. megj.)

alatt $3,2 \cdot 10^{16}$ vizsgálat végezhető el, így a memória teljes tesztelése több mint $3 \cdot 10^{1,57 \cdot 10^5}$ évet igényel.

A ma korszerűnek tartott memóriatípusok elérik az 1 Gibit (1 gigabináris bit = 2^{30} bit) tárolókapacitást is, tehát a teljes tesztelés igényét biztosan soha nem lehet teljesíteni (sőt a mai számítógépek 3...5 éves élettartama alatt sem valósul meg az összes adatkombináció melletti működtetés!), helyette a részleges tesztelést kell megvalósítani. A digitális áramkörök részleges tesztelése valamilyen, pontosan meghatározott áramköri hiba fennállásának, ill. elmaradásának kimutatását célozza meg. A memóriák peremfigyeléses vizsgálata is részleges tesztelést valósít meg: pl. ellenőrizni kell az adatvezetékek magas/ alacsony szintre való meghajtásának lehetőségét, a címvezetékek egymástól független működtetésének képességét, az írás/olvasás vezérlőjeleinek hatását.

A ProVision-program a memóriaklaszter tesztelésénél az adatvezetékek helyes meghajtásának ellenőrzését (a cikkso-

rozat 7. részében megismert) „bináris keresés” módszerével, de csupán egyetlen memóriacím használatával végzi. A címvezetékek ellenőrzését a program a „sétáló 0” és a „sétáló 1” módszerével létrehozott, minimális számú memóriacím felhasználásával valósítja meg. A ProVision elvégzi az adatbusz kimeneti szakadásának tesztelését is. Az így kialakított részleges tesztelés a korábbi példa szerinti 64 kibájt kapacitású RAM vizsgálatához mindössze 628 tesztvektor alkalmazását teszi szükségessé (és ezzel arányos a végrehajtásához szükséges idő).

A memóriaklaszter részleges tesztelésének eredményeit a ProVision diagnosztikai programmodulja dolgozza fel, ezzel képes behatárolni a lehetséges hibákat, hatékony segítséget adva a hibakereséssel (is) foglalkozó tesztelő technikusoknak és tesztmérnököknek.

kohut.jozsef@kvk.bmf.hu
molnar.zsolt@kvk.bmf.hu

National Instruments – Elismerés a Kiválóságért Díj

A Szövetség a Kiválóságért Közhasznú Egyesület szakmai, közhasznú feladatot ellátó, non-profit tagi működésű társadalmi szervezet, az Európai Minőségmenedzsment Alapítvány (EFQM, Brüsszel) magyar nemzeti partnerszervezete. Fő célja a szervezetek kiváló működésének elősegítése. Erre törekszik a korszerű szervezettefejlesztési, vezetési, minőségirányítási és hatékonyságnövelő módszerek továbbadásával; az elismerési rendszerek kidolgozásával és működtetésével; továbbá az európai, regionális és hazai tapasztalatcserék, workshopok és konferenciák szervezésével.

Az Egyesület alapítói az EFQM Európai Díjjal, a Nemzeti Minőségi Díjjal és az IIASA-Shiba Díjjal kitüntetett, elismerésben részesült szervezetek és magánszemélyek.

Az elnökség:

- **Sugár Karolina**, elnök, Szövetség a Kiválóságért Közhasznú Egyesület
- **Hercz Endre**, TQM-igazgató, Magyar Telekom Távközlési Nyrt.
- **Schleiffer Ervin**, ügyvezető igazgató, Imerys Tűzállóanyaggyártó Kft. (korábban: Burton-Apta Tűzállóanyaggyártó Kft.)
- **Sugár András**, tiszteletbeli elnök, Szövetség a Kiválóságért Közhasznú Egyesület

2008. június 5-én adták át a Parlamentben az Európai Minőség Díj-pályázat nyerteseinek járó elismeréseket. A díjak kiosztása előtt Kiss Péter kancelláriaminiszter tartott beszédet és üdvözölte a résztvevőket.

A National Instruments is a díjazottak között volt. Az "Elismerés a Kiválóságért" díjat az NI Hungary Kft. nevében a cég minőségirányításért felelős vezetője, Pataki Csaba vette át.

„2005-ben már megmérettettük magunkat a regionális minőség díjon (Észak-alföldi Minőség Díj), ahol nagyvállalat kategóriában első helyezést értünk el. Idén újabb pályázatot nyújtottunk be, mégpedig az Európai Minőség díjra. Az NI Hungary Kft.-nek sikerült megszereznie az elismerés legmagasabb szintjét, az ötszillagos értékelést. Ez az elismerés nem a termék vagy szolgáltatás minőségének szól, hanem a szervezet tevékenységét és működését díjazza, részletesen értékelve a cég stratégiai tervezését, vezetését, az emberi erőforrás működtetését, vevői és a társadalmi kapcsolatait. Különösen örülök annak, hogy a munkatársaink között végzett helyszíni szemle során az elkötelezettség, képzés, belső kommunikáció és elismerés kategóriák kiemelkedő pontszámokat kaptak. Mindez igazolja törekvésünket, hogy olyan munkahelyet teremtsünk, ahol jó dolgozni.” – mondta Pataki Csaba.



Pataki Csaba (középen) Sugár Karolinával és Sugár Andrással

National Instruments Hungary Kft.

2040 Budaörs

Puskás Tivadar u. 14. 1. emelet

Tel.: (+36 23) 448-900

Fax: (+36 23) 501-589

E-mail: ni.hungary@ni.com

www.ni.com/hungary

Ingyenesen hívható telefonszám: (06 80) 204-704

Olvasson a díjról részletesebben
a Szövetség honlapján: www.Kivalosag.hu.