

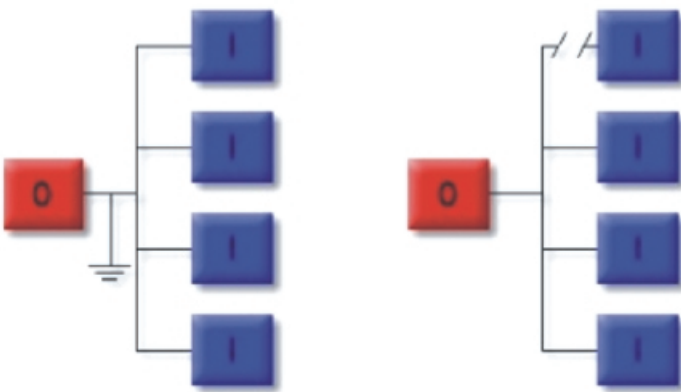
Analóg és digitális áramkörök tesztelése és programozása peremfigyeléssel – 7.

Dr. Kohut József főiskolai docens, Molnár Zsolt főiskolai tanársegéd

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

A digitális áramkörök tesztelését végző alkalmazások több alaptípusba sorolhatóak. Az összeköttetés-teszt (interconnect) a peremfigyeléses áramkörök közötti közvetlen jelkapcsolatokat ellenőrzi. A memóriateszt a RAM-jellegű memória cím-, adat- és vezérlőjeleinek működőképességét vizsgálja. A clusterteszt olyan áramköri részletek működésének ellenőrzését teszi lehetővé, amelyek peremfigyeléses áramkörökkel vannak körülvéve (be- és kimeneteiken), de magukban nem tartalmaznak peremfigyeléses alkatrészeket. A továbbiakban ezeket a vizsgálatokat tekintjük át, ismertetve a JTAG Technologies cég ProVision programjának lehetőségeit.

Az összeköttetés-teszt olyan csomópontokra végezhető el, amelyek közvetlenül vezérelhetők és megfigyelhetők peremfigyelő cellákkal. Ezeket a csomópontokat nevezzük „teljesen peremfigyeléses csomópont”-oknak. Egy olyan áramköri kártyán, amelynek tervezésekor figyelembe vették a tesztelhetőség igényeit (a „design-for test”-nek, azaz a DFT szabályainak megfelelően), a panel összeköttetései jelentős része peremfigyeléssel ellenőrizhető. A peremfigyeléses összeköttetés-teszt akkor is zavartalanul megvalósítható, ha a csomópontra bizonyos típusú nem-peremfigyeléses alkatrészek is kapcsolódnak. Egy



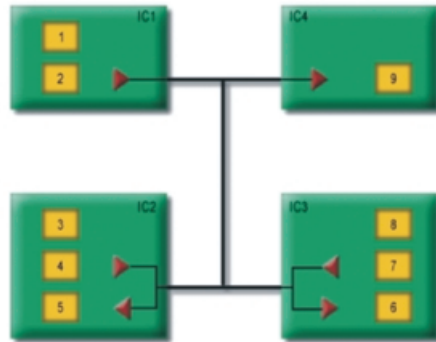
1. ábra Csomópont, illetve láb letapadása (O=Output, I=Input)

digitális áramkörben levő fel- vagy lehúzó ellenállások a ProVision programban a „passzív” minősítéssel elveszítik zavaró hatásukat a peremfigyeléses tesztelésnél (a program szakadésként tekinti azokat). A soros védőellenállások „átlátszó” (transzparens) minősítése azt eredményezi, hogy az ellenállás két végpontján levő (szigorúan véve különbözőnek tekintendő csomópontok) automatikusan összeolvadnak, a tesztelés során egyetlen csomópontnak tekinthetők. Egy csomópont akkor is „teljesen peremfigyeléses csomópont”-nak minősül, ha arra egy aktív áramköri elem (kapu, tároló, memória stb.) bemenete kapcsolódik, ez ugyanis nem befolyásolja az összeköttetés-teszt menetét.

Az összeköttetések hibái két alapsoportba sorolhatóak: a letapadás (stuck-at) jellegű és az összetapadás (bridge) jellegű hibák közé.

Letapadási hiba

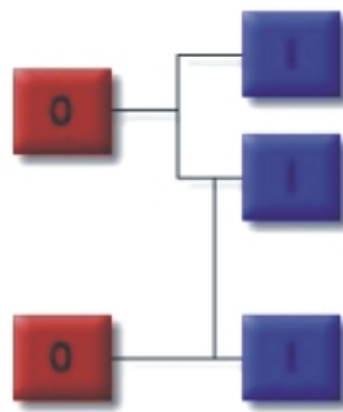
A letapadás előfordulhat a földvezeték (a logikai alacsony szint) felé, ekkor stuck-at-0 (röviden sa0), és lehet a tápfeszültség (logikai magas szint) felé, ez a stuck-at-1 (sa1) típusú hiba. Az 1. ábra az sa0 hiba változatait mutatja. A csomóponti letapadás esetén a vezetékhalózat valamelyik pontján (vagy a meghajtó áramkörben) zárlat alakul ki a föld felé, ekkor a meghajtó láb (Output pin) szándékolt állapotától függetlenül az összes



2. ábra Buszjellegű vezetékhalózat

érzékelő láb (Input pin) logikai 0 szintet érzékel. A láb letapadása a hálózat megszakadásakor fordulhat elő: ekkor egy/néhány érzékelő a meghajtás szintjétől függetlenül – a belső áramköri megvalósításából következő – állandó szintet (pl. CMOS esetén logikai 0-t, TTL áramkörökben logikai 1-et) érzékel. Hasonló helyzetek adódhatnak sa1 hiba esetén is. A ProVision program diagnosztikai modulja a tesztelési eredmények alapján meg tudja különböztetni egymástól a csomóponti és a láb letapadási hibákat.

A buszjellegű hálózatra (2. ábra) jellemző, hogy több meghajtó és általában több érzékelő csatlakozik rá, ilyenkor a három állapotú kimenetek összehangolt engedélyezésével, ill. tiltásával kerülhető el a meghajtók ütközése (driver conflict). A csomópont meghajtásának és érzékeléseinek teljes körű vizsgálata azt igényli, hogy minden egyes meghajtó külön-külön 0 és 1 szinten is meghatározza a csomópont logikai állapotát, miközben ellenőrizni kell az összes érzékelőbemenet logikai állapotát.



Áthidalási hiba

Az áthidalási hibák jelvézetékek közötti zárlatnál (3. ábra) keletkeznek. Az összekapcsolódott vezetékek meghajtóinak kimeneti impedanciái szerint lehetséges az ÉS, ill. a VAGY jellegű áthidalási hiba. Ha a lehúzó irányú kimeneti impedancia kisebb a felhúzó impedanci-

3. ábra Áthidalási hiba

ánál, a csomópont feszültsége csak akkor emelkedhet magas szintre, ha mindkét kimenet felhúzza (ÉS-jellegű áthidalás, ez jellemző a TTL áramkörcsaládra). Ha a felhúzó irányú kimeneti impedancia a kisebbik értékű, bármelyik kimenet egyedül is képes magas szintet létrehozni (VAGY-jellegű áthidalás). Az áthidalási hiba különleges esete a vezetékcsere (4. ábra), amely nyomtatott áramkörti lemezen soha nem, csakis panelek közötti huzalozásban fordulhat elő

Testvektorok rendszere

Az összeköttetések tesztelése a csomópontok meghajtóira juttatandó speciális bitkombinációkat (ún. testvektorokat) igényel. A legegyszerűbb testvektorrendszerben pl. az összes csomópontot logikai 1 szinttel hajtják meg, kivéve egyetlen csomópontot, amelynek logikai 0 szintre kell kerülnie. A csomópontokra kapcsolódó bemenetek állapotának ellenőrzése után az eddig logikai 0-val meghajtott csomópont is 1-et kap, egy másik viszont most logikai 0-ra kerül. Ezt a folyamatot az összes csomópont egyszer logikai 0-ra vezérléséig folytatva kapható a „sétáló 0” (angolul 'walking 0') tesztelési rendszer. A logikai 0 és 1 szinteket felcserélve keletkezik a „sétáló 1” tesztelés. A sétáló bit tesztelés előnye az egyszerűsége és a jó hibafelderítési hatékonysága, azonban hátránya a hosszú végrehajtási idő: N darab egyszerű csomópont esetén ez $2 \times N$ testvektort igényel.

Példaként végezzünk számítást egy kisméretű áramkör tesztelése időigényének meghatározására. Legyen panelünkön egyetlen peremfigyelő hurok 200 peremfigyelő cellával. A csomópontok közül 100 darab teljesen peremfigyelésesnek minősíthető, ebből 40 egyszerű összeköttetés (csomópontonként egyetlen meghajtóval), 60 viszont olyan buszjellegű csomópont, amelyekre 4-4 darab, kétirányú meghajtó csatlakozik. A sétáló tesztelés az egyszerű csomópontokon $40 \times 2 = 80$, a buszvezetéseken $60 \times 4 \times 2 = 480$ testvektort igényel. Minden testvektor beléptetése (és a válasz kiléptetése) a teljes 200 cellás hurok léptetését igényli, ez $(80 + 480) \times 200 = 112\,000$ órajellel végezhető el. A tipikus 25 MHz-es tesztfrekvencia (TCK) esetén az összeköttetés-teszt 4,48 ms időt igényel. Egy nagyobb méretű panel tesztelésénél a végrehajtási idő másodperc nagyságú is lehet.

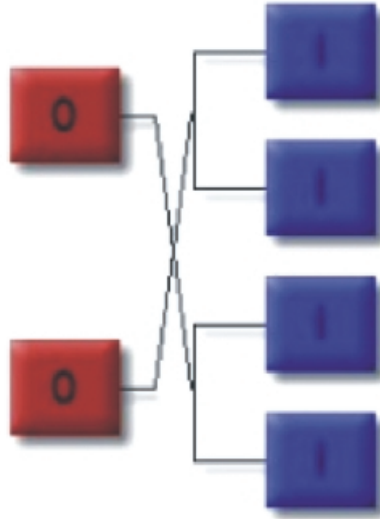
A testvektorok generálásának „sétáló bit” módszerénél gyorsabb az ún. „bináris keresés” módszere, amelynek alapelve a csomópontok felezése: a vizsgálandó csomópontok egyik felének logikai 0, másik felének logikai 1 szintű meghajtásakor a csomópontokra csatlakozó érzékelőbemeneteken ellenőrizni lehet a kialakított csoportok között esetlegesen fennálló összeköttetési hibákat. A következő lépésben a csomópontok eddigi meghajtási szintjét ellentétesre változtatva ismét ellenőrzést kell végezni. A folytatásban az eddig azonos csoportban levő csomópontokat felezni kell, megismételve az előző két lépést. A felezést addig kell folytatni, amíg már csak 1 csomópont maradna minden egyes csoportban. N darab csomópont esetén $2 * \text{ceil}(\log_2 N)$ testvektorral elvégezhető az összeköttetések vizsgálata (a $\text{ceil}()$ függvény az argumentumnak a következő nagyobb egész számra való kerekítését végzi). Az előző számpélda esetében (a buszjellegű csomópontokat minden meghajtás felől külön csomópontnak számítva)

$$2 * \text{ceil}(\log_2 (40 + 60 * 4)) = 2 * 9 = 18$$

testvektorral a vizsgálat elvégezhető, és ez több mint 26-szoros sebességnövekedést jelent.

Speciális összeköttetés tesztek

Az összeköttetés-teszt különleges esete a csomópontokra csatlakozó felhúzó (vagy lehúzó) ellenállások működőképességé-



4. ábra Vezetékcsere

nek vizsgálata. Ennek a tesztelésnek az elve az, hogy a vizsgálandó csomópontot nem hajtják meg egyetlen aktív kimenettel sem. Ilyenkor a felhúzó (lehúzó) ellenállás hatásának kell érvényesülnie, ez pedig a csomóponttra csatlakozó bármelyik érzékelő bemenettel ellenőrizhető.

Az összeköttetés-tesztelés elvégezhető egy készülék egységei (paneljei) között is, ekkor természetesen a paneleket összekötő csatlakozók, huzalozások és kábelek is részévé válnak a csomópontok listájának. A JTAG Technologies cég ProVision programja lehetővé teszi az ún. „adapter-fájl” segítségével az egységek összeköttetései szöveges fájlban való leírását, majd ezt követően automatikusan elvégezhető a teljes hálózat összeköttetés-tesztje. Amennyiben egy készülékben csak egyetlen panel szerepel, ennek csatlakozóit is be lehet

vonni az összeköttetések tesztelésébe. A JTAG Technologies DIOS- és DIMM-egységei (5. ábra) peremfigyelő hurokkal vezérelhető bemeneti-kimeneti áramköröket tartalmaznak, melyek a tesztelőberendezésbe beépítve lényegesen növelik a panel lehetséges összeköttetés jellegű hibái felderítésének esélyét.

Diagnózis

Az összeköttetések tesztelésakor a vizsgáló vektorokhoz egyértelműen hozzárendelhető az a bitkép, amelyet hibátlan paneleken az érzékelőbemeneteken észlelni kellene. Az eltérések összefoglalása és kiértékelése alapján logikai módszerekkel behatárolható a hiba lehetséges oka és helye. A ProVision-program diagnosztikai modulja képes az egyes csomópontok hibájának felderítésére, sőt egy csomóponton belül az esetlegesen meghibásodott áramkörti kivezetések kiszűrésére. Bonyolultabb csomópont (több meghajtó, több érzékelő) esetén a tényleges hiba megállapítása általában már csak vizuális, ill. műszeres vizsgálattal végezhető el.



5. ábra A JTAG Technologies DIOS- és DIMM egységei

Hatékonyság

A digitális áramkörti egységek összeköttetés-tesztje – a fenti példából jól láthatóan – a peremfigyeléses vizsgálatot kiterjeszti az integrált áramkörön kívüli, passzív alkatrészekre (rézfólia, felhúzó ellenállás, csatlakozó). Az összeköttetések ellenőrzése a meghajtó peremfigyelő cellától az érzékelő peremfigyelő celláig terjed, magában foglalva a meghajtó alkatrész kimeneti teljesítményfokozatát, az IC-ken belüli huzalozást (az ún. bondolást), az alkatrészek kivezetéseit, a nyomtatott áramkör rézvezetőit, a bemeneti áramkör érzékelőfokozatát. Mindez külső eszközök nélkül, az alkatrészek üzemszerű feszültségszintjén, az elektrosztatikus feltöltődés és kisülés veszélye kizárásával végezhető el. A peremfigyeléses összeköttetés-teszt így hatékonyságában és megbízhatóságában messze túlszárnyalja a mechanikus vizsgálatúkkal elvégezhető (in-circuit) huzalozástesztet.

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