

Analóg és digitális áramkörök tesztelése és programozása peremfigyeléssel – 1.

Dr. Kohut József főiskolai docens, Molnár Zsolt főiskolai tanársegéd –
Budapesti Műszaki Főiskola Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Műszertechnikai és Automatizálási Intézet

Az elektronikai egységek és készülékek gyártási folyamatának minden szakaszában fontos szerepe van az addig végzett tevékenységek ellenőrzésének és a késztermék tesztelésének¹. A tesztelés természetesen szükségessé teszi azt, hogy a mérőeszközökkel hozzá lehessen csatlakozni az egyes áramköri elemekhez, a szerelt panelhez/készülékhez. A hagyományos tesztelési eljárások – a mind bonyolultabb áramkörök megjelenése miatt – egyre kevésbé jöhetnek szóba, ezért szükséges volt egy új eljárás létrehozása, amelyet peremfigyeléses eljárásnak neveznek.

A peremfigyelés alapfogalmai

A hagyományos tesztelési eljárásokat, amelynél az alapvető követelményt – hogy hozzá lehessen férni a mérőeszközrel a tesztelt áramkörhöz/késztermékhez – több ok miatt egyre nehezebb teljesíteni:

- az elektronikai alkatrészek geometriai méreteinek csökkenése miatt csökken a kivezetések közötti távolság, emiatt a tűágyba egyre kisebb átmérőjű rugózó tűket kell beépíteni (a méretcsökkentésnek azonban szilárdsági okokból korlátja van),
- az elektronikai panelek bonyolultságának növekedésével mind több alkatrész kerül egy-egy panelre, emiatt rohamosan növekszik a tűágyba szerelendő vizsgálótűk (és ezzel együtt a tesztelőberendezés által kezelendő mérőpontok) darabszáma,
- az Európai Unióban környezetvédelmi okokból kötelezővé tett ólommentes forrasztások egyenetlen felülete és a forrasztóanyag ridegsége miatt a rugózó tűvel együtt járó mechanikai deformációk a forrasztások sérülését okozhatják,
- a gyártási folyamat befejeztével a környezeti hatások csökkentése érdekében a paneleket védőlakkal vonják be, az áramköri egységeket műanyag tokba szerelik és műanyaggal kiöntik, melyek következtében a továbbiakban a galvanikus csatlakoztatás lehetetlenné válik,
- az üzemelés helyszínén, a szerviztevékenység során a tűágyak és a bonyolult/érzékeny tesztelő-berendezések nem használhatók, ezért a hibamegállapításakor nélkülözni kell azokat a mérőtechnikai eszközöket, amelyek a panel gyártásakor a tesztmérnököknek rendelkezésére állnak.

A fenti felsorolás mutatja, hogy néhány évvel az elektronikai egységek in-circuit

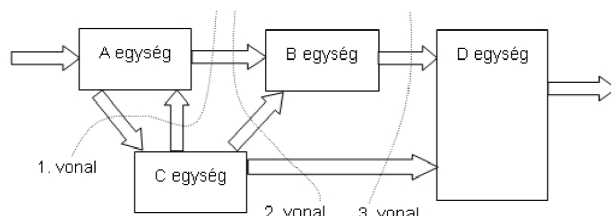
tesztelésének széles körű elterjedése után máris új utakat kellett keresni. A tesztelés megváltozott mérőtechnikai igényeit kielégíteni csak olyan módszerrel lehet, amely nem igényli az alkatrészekhez és tesztpontokhoz való közvetlen csatlakozásokat. A megoldást az integrált áramköri technika fejlődése hozta magával, azaz: **ha a tesztelőberendezés nem csatlakozhat kívülről az áramköri kivezetésekhez, akkor legyenek az alkatrészbe integrálva a kivezetéseihez csatlakozó, a jelekből mintavevő, a gerjesztő jeleket létrehozó és a válaszokat mérő készülékek.**

Az ilyen elven tesztelhető áramkörök azonban csak akkor terjedhetnek el széles körben, ha a különböző alkatrészgyártók termékei egymással összeegyeztethető módszereket alkalmaznak, a tesztelés külső eszközei pedig több (minden) alkatrész esetén is azonosak lehetnek.

Az alap gondolatot tett követte: az 1980-as évek végén egy nemzetközi munkacsoport elkezdte kidolgozni a peremfigyeléses (angolul: boundary-scan) integrált áramkörökre vonatkozó szabványokat. A JTAG-bizottság nem járt teljesen járatlan utakon: már az 1970-es években, a mikroprocesszorok előtti „nagyszámítógépek” tervezőiben felvetődött az ötlet (és néhány termékben ezt meg is valósították), hogy a bonyolult felépítésű központi egységek meghibásodása esetére célszerű kialakítani megfigyelő (szkennelő) vonalakat. A belső egységek határain futó vonalak a normális üzemelés közben „láthatatlanok”, viszont szükség esetén képesek egymástól elválasztani az egyes egységeket (1. ábra). Az ekként lét-

rehozott áramköri partíciók bemeneteire a léptető regiszterként működő vonalak képesek eljuttatni a tesztvektorokat, más vonalakon pedig lehet rögzíteni (léptetéses módszerrel) és kiolvasni a kimeneti válaszokat. A környezetétől elválasztott, csökkent méretű partícióban nagyobb eséllyel lehet megtalálni a hiba okát, mint az osztatlan készülékben.

A JTAG-munkacsoport által kidolgozott szabvány már kezdetben figyelembe vette azt az alapvető tény, hogy másképpen kell kezelni a digitális és az analóg jeleket, a készülékeket alkotó egységek határain (csatlakozókon) áthaladó jeleket, a



1. ábra Szkennelő vonalak az egységek között

szimmetrikus jellegű jeleket, valamint a külső egységekkel való kommunikáció jeleit. Az IEEE-1149 szabvány eleve egy szabványsorozat, amelynek elemeit a közös alapelv és a külső eszközök maximális mértékű egységesítése köti össze: az IEEE-1149.1 szabvány a panelen belüli digitális jelekre vonatkozik, az IEEE-1149.4 az analóg jelek tesztelését egységesíti stb.

A peremfigyeléses áramkörök közös jellemzője az, hogy az áramköri csatlakozópontok (az ún. elsődleges be-/kimenetek) nem közvetlenül csatlakoznak az áramkör lényegi, érdemleges, ún. magáramköréhez. Az elsődleges be-/kimenetek és a magáramkör be-/kimenetei közé elhelyezett figyelő (scanner) vonalak végzik (normál üzemben) ezen pontok páronkénti összekapcsolását, ill. elválasztását (tesztüzemben). A digitális jelek peremfi-

¹ Ezzel kapcsolatban l. Dr. Kohut József: Tesztelések az elektronikai gyártási folyamatában 1...4. cikksorozatát a Magyar Elektronika 2007. évi 4., 6., 7-8. és 9. számában.

gyelésének egységeit és jeleit a 2. ábra mutatja. A peremfigyelő vonalak minden bemenetnél és kimenetnél egy-egy cellát tartalmaznak. A cellák egyszerű felépítésűek: digitális multiplexerből és elemi tárolókból állnak, melyek a magáramkör jeleit csak minimális mértékű késleltetéssel torzítják.

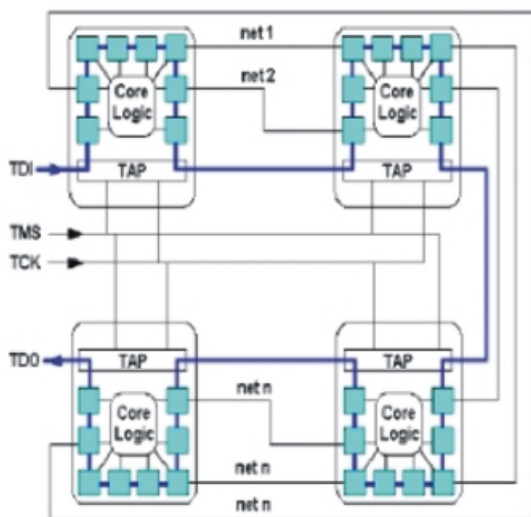
A cellánkénti tárolók lehetővé teszik a be-/kimeneti jelekből – központi utasításra – egyszerre vett (kétállapotú) minták eltárolását. A cellák sorozata egyúttal egy léptetőregisztert is alkot, s ekkor (egy másik utasítás hatására) a cellák tartalma az integrált áramkörből kiléptethető. Az áramkörönkénti léptetőregiszterek külső (nyomatott áramköri lapon keresztül) felfűzésével a mintavételek eredménye (a TDO, vagyis Test Data Output-kimeneten keresztül) a panelen kívülre juttatható. Az így kialakuló, ún. „peremfigyelő hurok” TDO-kimenetén időben egymás után megjelenő bitek sorozata tehát azt jellemzi, hogy milyen logikai szintek voltak jelen a mintavétel pillanatában az egyes integrált áramkörök elsődleges be-/kimenetén. Egy külső számítógépes program – ismerve az áramkörök felfűzésének sorrendjét, logikai működésüket és egymás közötti összeköttetéseiket – kellő számú mintavétel eredményei alapján már el tudja dönteni: helyesen vagy tévesen működik-e a panel.

A peremfigyelő cellákból felépülő léptetőregiszter természetesen arra is lehetőséget ad, hogy a külső számítógép a TDI (Test Data Input) ponton keresztül megfelelő bitsorozatot beléptessen a cellákba. A léptetés leállításakor a cellákban tárolódó egy-egy bit arra használható fel, hogy helyettesítse a maglogika bemeneti jelét. Ez tehát a maglogikának – az elsődleges bemenet jeleitől függetlenül – tesztvektoraként szolgál: ezzel egyszerűbb a működésének ellenőrzése (nem kell külön gondoskodni arról, hogy a bemeneteket meghajtó külső áramkörök a teszteléshez szükséges kimeneti jeleket szolgáltatassák).

A peremfigyelő cellák összehangolt működését az integrált áramkörbe beépített speciális egység, a Test Access Port (röviden TAP, vagyis a teszteléshez való hozzáférési kapcsolat) irányítja, a neki (a TDI-bemeneten keresztül) kívülről küldött utasítások szerint. Az utasítások elküldésének szervezése a külső számítógép feladata. A panelen egyazon peremfigyelő hurokra felfűzött, integrált áramkörök TAP-egységeinek vezérlését a közös TMS-jel (Test Mode Select) irányítja, ennek időben egymás utáni (soros) logikai állapotai jelzik például azt, hogy a TDI-TDO-útvonalon most éppen adatok (mintaértékek) vagy utasítások haladnak-e.

Az áramkörökbe integrált TAP olyan felépítésű, hogy a TMS-jel sorozatának megszakadása (pl. a tesztcsatlakozó érintkezési hibája) esetén a peremfigyelő cellák visszatérnek normál üzemmódba, tehát nem zavarják meg a vizsgálandó áramkör eredeti működését.

A léptetőregiszter időzítését egy közös jel, a TCK (Test



2. ábra A magáramkörök körül elhelyezkedő peremfigyelő vonal

ClocK) végzi. Ezt a külső (tesztelő) számítógép hozza létre, frekvenciája lényegesen eltérhet a vizsgálandó logikai áramkör eredeti (ún. funkcionális) órajelének frekvenciájától.

Azok az integrált áramkörök, amelyek a peremfigyelő cellákat és a TAP-egységet tartalmazzák, továbbá a TDI-, TDO-, TMS- és TCK-jelek a nyomatott áramköri lapon a 2. ábrának megfelelően vannak összekapcsolva, alkalmasak arra, hogy működésüket külső számítógép segítségével, peremfigyeléses módszerrel vizsgálni lehessen. A módszer előnyei a következők:

- lényegesen csökkenti (néhány 100 pontról 4-re!) a galvanikus csatlakozások darabszámát,
- lehetővé teszi azt, hogy egy digitális integrált áramkört a környezetétől elválasztva (a beléptetett tesztvektorok segítségével), tesztelni lehessen,

- lehetséges annak ellenőrzése, hogy egy áramkör kimenetéről kibocsátott logikai jel változatlanul megérkezik-e a tervező által hozzárendelt bemenetekre (így az áramköri összeköttetések is tesztelhetők „szilíciumtól-szilíciumig”, vagyis a teljes meghajtóáramkör-bondolás-IC láb-forrasztás-rézfólia-forrasztás-IC láb-bondolás-bemeneti-áramkör útvonalon!),
- lehetővé válik az áramkör működésébe való beavatkozás (pl. flash-memória programozása) egyszerű eszközökkel (a tesztelő és a programozó környezet csak a számítógépi programjában tér el egymástól).

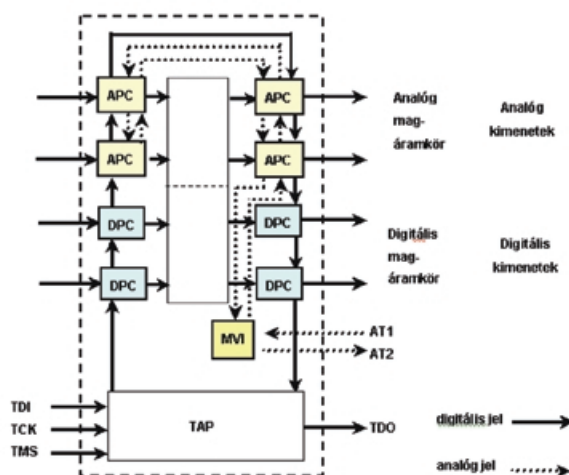
A peremfigyeléses tesztelés korlátjait is érdemes mérlegelni:

- a logikai jelek mintavételezése időszakos jellegű, mivel a mintaértékek kiléptetése előtt újabb minta eltárolására nincs lehetőség,
- az időben egyszerre (párhuzamosan) megjelenő logikai jelek soros jelleggel, csak a peremfigyelő cellák sorrendjében érhetőek el a külső megfigyelő részére.

Az analóg jelekkel dolgozó, integrált áramkörök peremfigyeléses vizsgálata alapelvben megegyezik a digitális áramkörök peremfigyelésével. Az eltérések az analóg jelek tárolhatatlanságából következnek: az analóg peremfigyelő cellák (APC) a mintát tárolás helyett külső mérőeszközhöz vezetik, az alkalmanként szükséges tesztelőjelet külső generátorból kapják (3. ábra). A cellák és az analóg jelek összegyűjtését végző mérővezeték-illesztő (MVI) egység analóg kapcsolókat tartalmaz, amelyek vezérlése a digitális peremfigyelő cellákhoz (DPC) hasonlóan a TDI-TDO közötti léptetőregiszterbe illeszkedik. A külső jelgenerátor és a mérőegység az analóg tesztpontokra (AT1 és AT2) csatlakozik (megállapodás szerint AT1-et bemenetként, AT2-t kimenetként használva).

A vegyes (analóg és digitális) jelű áramkörökre vonatkozó peremfigyeléses szabvány az IEEE-1149.4 jelölést kapta. Az ott részletezett módszer lehetővé teszi az analóg jelek (csupán technológiai okok miatt korlátozott sávzélességű) mérését, aktív és passzív jelátvivő tagok (erősítők, csillapítók, RC-hálózatok stb.) átviteli karakterisztikájának vizsgálatát. Az analóg peremfigyeléses mérés technika lehetőségei jelenleg még messze nincsenek kiaknázva, módszereinek elméleti feldolgozása még a közeljövő mérés technikusaira vár.

kohut.jozsef@kvk.bmf.hu



3. ábra Analóg és digitális peremfigyelés vegyes jellegű áramkörben