

Analóg és digitális áramkörök tesztelése és programozása peremfigyeléssel – 3.

Dr. Kohut József főiskolai docens, Molnár Zsolt főiskolai tanársegéd

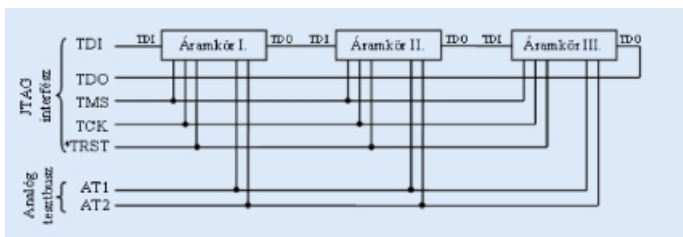
Budapesti Műszaki Főiskola Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Műszertechnikai és Automatizálási Intézet

Az előző részekben már említést tettünk arról, hogy nemcsak a digitális, hanem az analóg áramköri egységekre is kiterjeszthető a peremfigyeléses vizsgálat. A kevert jelű (analóg és digitális jeleket is vizsgáló) peremfigyelést az IEEE1149.4 szabvány definiálja. Ebben a részben csak az analóg kiterjesztéssel foglalkozunk.

A kevert jelű peremfigyelés

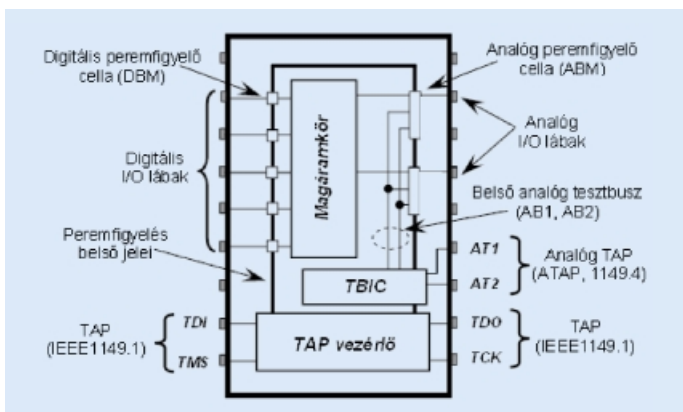
A kevert jelű peremfigyelés szabványa a digitális peremfigyelés szabványára épül, azzal kompatibilis. A digitális peremfigyelés vonalait két analóg tesztvonal (AT1 és AT2) egészíti ki, mivel a TDI és TDO pontokon csak digitális információ léphet be, illetve léphet ki. Megegyezés szerint az AT1 ponton lehet az analóg gerjesztést bevinni, AT2-n pedig a (külső eszközzel mérhető) mérendő jel jelenik meg. A kevert jelű peremfigyelés tesztbuszrendszerét az 1. ábra mutatja.

Egy IEEE1149.4 szabványú kevert jelű peremfigyeléses eszköz belső kialakításánál (2. ábra) az IEEE1149.1 szabványban rögzítetteknek kívül az analóg funkciójú láb esetében egy-egy analóg peremfigyelő cella (ABM, Analog Boundary Module) elhelyezésére van szükség. (Ezek kissé bonyolultabb felépítésűek, mint az előző részben részletezett digitális peremfigyelő cellák, amelyek kialakíthatók csupán két D-tárolóból és két – 2-ről 1-re – multiplexerből.) Az integrált áramkörben meg kell valósítani még egy analóg buszillesztő áramkört (TBIC, Test Bus Interface Circuit), valamint egy belső analóg tesztbuszt, amelyre az analóg peremfigyelő cellák és az analóg tesztport (ATAP,



1. ábra A kevert jelű peremfigyelés tesztbuszrendszere

2. ábra Egy IEEE1149.4 szabvánnyal kompatibilis alkatrész vázlatos felépítése



Analóg Test Access Port) jelei csatlakoznak. A digitális TAP és az ATAP jelei együtt teszik lehetővé az eszköz kevert jelű peremfigyeléses vizsgálatát.

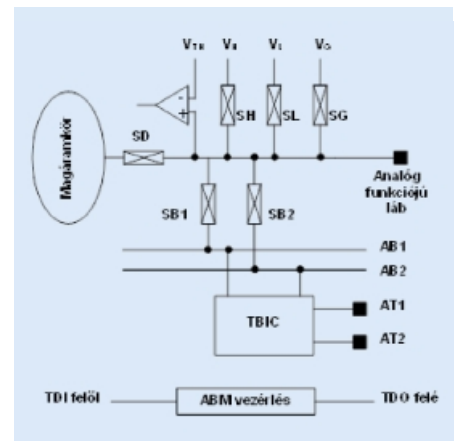
Az analóg peremfigyelő cellák funkcionális felépítésüket tekintve 6 darab kapcsolót és egy analóg komparátort tartalmaznak.

A cellák a magáramkör és az analóg ki- vagy bemeneti láb között helyezkednek el, valamint rákapcsolódnak az eszközön belül előállított, illetve rendelkezésre álló V_H , V_L , V_G és V_{TH} feszültségekre. Egy analóg láb és a magáramkör közé csatlakozó ABM felépítését és belső kapcsolatait – a belső analóg tesztbusz és a TBIC felé – a 3. ábra mutatja. Az ábrán az IEEE1149.4 szabványban használt kapcsolószimbólumokat (téglalap, berajzolt átlókkal) használjuk. A kapcsolók kétirányú analóg kapcsolók, a CMOS-technikából ismert, úgynevezett Transmission Gate-ek. A V_H - és V_L - feszültségek az adott lábhoz tartozó tápfeszültségek, amelyek az összes ABM-nél egyformák lehetnek, de lehetnek egyediek is. A V_G feszültség egy, a tápfeszültség-tartományon belüli referenciaszültség, amelyet vagy belsőleg állítanak elő (legegyszerűbb esetben a GND-re kötéssel), vagy kívülről csatlakoztatnak az áramkörre. A V_{TH} egy belsőleg előállított küszöbfeszültség, amely a szabvány szerint a

$$\left(\frac{V_H + V_L}{2}\right) - \left(\frac{V_H - V_L}{4}\right) \leq V_{TH} \leq \left(\frac{V_H + V_L}{2}\right) + \left(\frac{V_H - V_L}{4}\right)$$

határok között tetszőleges lehet.

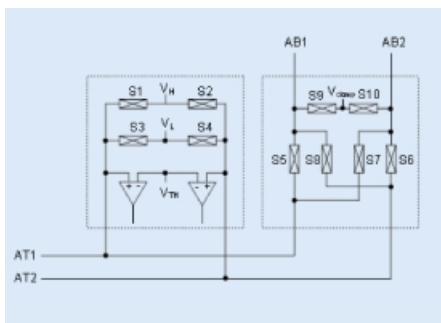
A magáramkör a hozzá tartozó lábtól az SD-kapcsoló segítségével elszigetelhető, ilyenkor nem az eredeti funkció szerint működik az adott láb, hanem az SH-, SL- és SG-kapcsolók segítségével rendre a V_H , V_L - és V_G -feszültségek kapcsolhatóak rá. Azonban lehetőség nyílik arra is, hogy a normál üzemmódban kimenetként funkcionáló láb tesztüzemmódban külső forrásból (például a hozzá kapcsolódó analóg bemeneti láb felől, amely hasonló elv szerint tesztelés közben képes gerjesztést adni) legyen gerjeszthető. Az SD-kapcsoló nyitott állapota garantálja, hogy a magáramkör kimeneti meghajtó fokozatára ilyen esetben nem



3. ábra Egy analóg lábhoz csatlakozó ABM felépítése és a TBIC-cel való kapcsolata

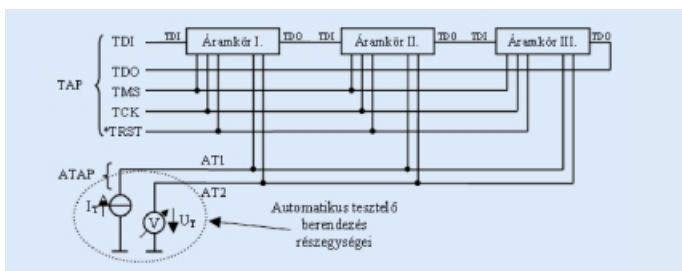
jutnak rá ezek a feszültségek, és emiatt az nem terhelődhet túl. Ez az üzemmód az adott láb peremfigyeléses gerjesztését teszi lehetővé. Tekintettel arra, hogy a V_H - V_L - és V_G -feszültségek előírt értékűek, ezért önmagában az ilyen módú gerjesztés lehetőségeiben csak minimális többletet jelentene az IEEE1149.1 szabvány szerinti digitális gerjesztéshez képest. Egy többletlehetőség, hogy az SB2 kapcsolón keresztül az analóg láb feszültsége az AB2 belső analóg tesztbuszvonala és a később ismertetendő TBIC-en keresztül az ATAP AT2 vonalára kerülhet, ahol külső eszközzel (például nagyfelbontású digitális multiméterrel) megmérhető. A gerjesztés azonban nem csak a belső feszültségekről, illetve az analóg lábba csatlakozó külső forrásból lehetséges. A TBIC-en keresztül az ATAP AT1 jele az AB1 vonalra, onnan pedig az SB1-kapcsoló segítségével az analóg lábba csatlakoztatható, és ezután külső jelgenerátor mérőjele is használható.

Az ABM-ben megvalósítható egy 1 bites digitalizálás is: a peremfigyelő cellába integrált komparátorral vizsgálható, hogy az adott analóg pont feszültsége nagyobb vagy kisebb-e, mint a V_{TH} -feszültség. Az ABM kapcsolóinak vezérlése és a komparátor állapotát tároló (1 bites) regiszter a digitális peremfigyelő hurokba épül be, ezért külső számítógépről vezérelhetőek/megfigyelhetőek.



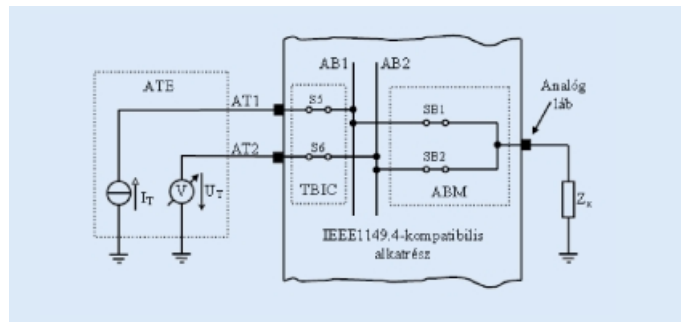
4. ábra A TBIC felépítése

Az analóg vizsgálpontokra (AT1, AT2). A TBIC felépítését a 4. ábra mutatja. A TBIC két jól elkülöníthető feladatú egységből áll, amelyek a mellékelt ábrán szaggatott vonalú keretbe kerültek elhelyezésre. A bal oldali egység feladata: az egységek közötti csatlakozások vizsgálatához (Interconnection Test) a V_H - vagy a



5. ábra Analóg alkatrészek tesztelésének alapelve az IEEE1149.4 szabvány szerint

V_L - feszültségeket – mint logikai szinteket – az S1...S4 kapcsolókkal az AT1 és/vagy AT2 vonalakra kapcsolja. Az ittlévő két analóg komparátor az ATAP AT1 és AT2 jeleinek 1 bites digitalizált értékét adja, amely a TBIC egyik regiszterében tárolódik el. A jobb oldali részben található S5 és S6 kapcsolókkal az AB1 az AT1 és/vagy az AB2 az AT2 vonalra kapcsolható. S7 és S8 segítségével lehetőség van az AT1 és az AT2 összekötésére, még hozzá úgy, hogy az S5, illetve S6 is az áramkörben vannak, miáltal meghatározható a teljes jelűnek a frekvencia- és amplitúdó menetre gyakorolt hatása. Az S9 és S10 zavarvédelmi okokból egy belsőleg előállított feszültségre (V_{CLAMP}) köti a nem használt belső analóg tesztbuszvonalt/-vonalak. A TBIC kapcsolóit vezérlő regiszterek és a komparátorok állapotát tároló regiszterek a digitális peremfigyelő hurkon keresztül vezérelhetőek/megfigyelhetőek.



6. ábra Egyik pontján földre kötött impedancia mérése IEEE1149.4 kompatibilis eszközzel

A kevert jelű peremfigyelés ATAP-jának AT1 és AT2 vonalai lehetővé teszik az IEEE1149.4 szabvánnyal kompatibilis peremfigyeléses alkatrészek, illetve a hozzájuk csatlakozó áramkörök parametrikus tesztelését. Általános esetben az AT1 és AT2 vonalak egy automatikus tesztelőberendezésre csatlakozhatnak, amely rendelkezik jelgenerátor és mérőfunkcióval is, de közben – az áramköri panel IEEE1149.1-kompatibilis TAP-ján keresztül (5. ábra) – képes a peremfigyeléses eszközök vezérlésére is. A mérőáram (I_T) az AT1-en vezethető be, a mért impedancián eső feszültség (U_T) pedig az AT2-n jelenik meg. Az, hogy mely alkatrész vagy alkatrészek kapcsolódnak rá az analóg tesztbuszra, a TBIC-ek konfigurálásától függ. Az automatikus tesztelőberendezésekben a hagyományos tesztelés során alkalmazott nagyszámú mérőtű helyett az analóg (és digitális) peremfigyelő cellák virtuális mérőtűi fognak a mérőpontokra csatlakozni. Megfelelő tervezés esetén egy panel/készülék teljes tesztelése elvégezhető a TAP és az ATAP néhány (6 vagy 7) csatlakozópontján keresztül.

Az analóg tesztbusz DC- és AC-átvitelre is alkalmas, tehát bizonyos értékhatárok között tisztán rezisztív, illetve összetett impedancia is mérhető. A legkisebb mérhető impedanciát a kapcsolók és a vezeték ellenállása, az AT1 gerjesztővonal áramterhelhetősége, az átvihető frekvenciasáv, valamint az AT2 vonal jel-zaj viszonya határozza meg. A mérhető impedancia felső korlátója az AT1 vonal szivárgási árama és az átvihető frekvenciasáv. Az említett paraméterek az integrált áramköri technológia fejlődésével folyamatosan javul(hat)nak.

Nézzük meg, hogyan mérhető meg egy analóg peremfigyelő cellával ellátott lábba csatlakozó külső impedancia értéke. A 6. ábra egy olyan esetet mutat, amikor az impedancia (Z_x) a másik pontján földelve van. (Az ábra az IEEE1149.4-kompatibilis eszköznek csak azt a részét mutatja, amely a mérés szempontjából fontos. Az áttekinthetőség kedvéért az egyes egységekben (TBIC, ABM) jelenlévő, de nyitott kapcsolók ábrázolását is elhagytuk.) Az adott lábba csatlakozó ABM SB1 és SB2 kapcsolóit zárni kell, ezek kapcsolják rá a belső tesztbuszra (AB1, AB2) a lábat. A belső tesztbusz jeleinek az ATAP AT1 és AT2 pontjaira való csatlakoztatása – az eszköz TBIC-egysége – S5 és S6 kapcsolóinak zárásával történhet. Az impedancia megméréshez szükséges egyen- vagy váltakozó áramú áramgenerátor – amely az ATAP AT1 pontjára van kötve – az automatikus tesztelőberendezés része, ez szolgáltatja az I_T tesztelő (mérő) áramot. Az impedancián megjelenő feszültséget (U_T) szintén a tesztelőberendezésben lévő feszültségmérővel mérhetjük meg.

A 6. ábra mérési elrendezéséből látható, hogy egy háromvezetékes mérésről van szó. A mérőáram bevezetése AT1–S5–AB1–SB1–analóg láb, a mért feszültség elvezetése pedig az analóg láb–SB2–AB2–S6–AT2 útvonalon történik, a földcsatlakozás pedig közös. Az áramgenerátoron meghajtás miatt a mérőáram útjában levő kapcsolók és vezeték nem befolyásolják I_T értékét, a mérés pontosságát nem rontják. Ugyanakkor a mérendő feszültség elvezetésének útjában lévő kapcsolók és vezeték ellenállása sokkal kisebb, mint a tesztelőberendezés fe-

szültségmérőjének belső ellenállása, ezért ezek hatása is elhanyagolható. A földelés megfelelő kialakításával a „harmadik vezeték” mérési pontosságot rontó hatása is jól kézben tartható.

Amennyiben a mérendő impedancia két analóg peremfigyeléses láb közé csatlakozik, két módon is el lehet végezni az impedancia értékének meghatározását. Az első esetben az előzőekben ismertetett módszert alkalmazhatjuk, azzal a kiegészítéssel, hogy – mivel a mérendő impedancia egyik végpontja sem földelt, viszont a tesztelőberendezés áramforrása és feszültségmérője igen – a mérendő impedancia egyik végpontját az analóg lábra csatlakozó ABM segítségével (SG-kapcsoló zárásával) földre kötjük. Ekkor azonban SG-kapcsoló bekapcsolási ellenállása hibát okoz, mert a rajta átfolyó mérőáram hibafeszültséget ejt.

A második mérési módszernél megmérjük a hibafeszültséget is, így végezzük el a mérési eredmény korrekcióját. A mérendő impedancia abszolút értéke a

$$|Z| = \frac{U_T - U_H}{I_T}$$

egyenlet alapján számítható, ahol U_T az impedancia magasabb potenciálú pontján mérhető feszültség, U_H az alacsonyabb potenciálú pontjának hibafeszültsége, I_T pedig a mérőáram.

Az analóg peremfigyeléses technika használhatóságát, illetve pontosságát – akár impedanciamérés, akár más mennyiség (feszültség áram) mérése esetén – több tényező különféle mértékben befolyásolja. Ezek a teljesség igénye nélkül a következők:

- az IEEE1149.4 szabványban leírtak szerint a szabvány megalkotói a $10 \Omega \dots 100 \text{ k}\Omega$ közötti abszolút értékű komplex impedanciák 1%-os hibahatáron belüli mérését tűzték ki célul. A mérőjel frekvenciájának 10 Hz és 10 kHz közötti tartományában az átvitelben nem lehet nagyobb az ingadozás, mint 0,5%,
- az alkalmazott kapcsolók nem ideális kapcsolók, a szabvány 10 k Ω maximális átmeneti ellenállást engedélyez bekapcsolt állapotban. Ezek a kapcsolók félvezetőkből épülnek fel, valamint az elektrosztatikus védelem miatt védődiódákkal vannak ellátva, amelyek tulajdonságai nemlineárisra teszik őket, vál-

takozó áramú használat során torzítás lép fel, és ez a torzítás ráadásul függ a jelszinttől is,

- az alkatrészben belüli vezetékvezetés és az analóg tesztbusz kialakítása is jelentős minőségrontó tényező. A vezetékvezetés ellenállásán kívül az analóg tesztvezetékek közötti áthallás, illetve a vezetékvezetésbe jutó elektromágneses zavarjel is problémát jelent. Ezenfelül a viszonylag hosszú vezeték nemideális volta (szórt kapacitás, parazita induktivitás) a frekvenciasáv felső határát is korlátozza, ráadásul a frekvenciától függő fázistolást is beviszi a rendszerbe.

A kevert jelű peremfigyelés napjaink tesztelési technológiáinak egyik legígéretesebb, viszonylag gyorsan fejlődő területe: sokféle tesztelési feladatra alkalmas az analóg, illetve a kevert jelű áramkörökben, bizonyos feltételeknél jó pontossággal elvégezhető segítségével az analóg feszültség-, áram- és impedanciamérés. A kevert jelű peremfigyeléshez szükséges infrastruktúra (ATAP vonalai, TBIC, belső tesztbusz, ABM-ek) tökéletlensége miatt csak korlátozott tartományban és korlátozott frekvenciasávban végezhető vizsgálatok, ami azonban az alkalmazás köre miatt nem jelent nagy problémát. A magas színvonalat kielégítő áramkörökben az áramköri mag és az alkatrészláb között elhelyezkedő ABM-ek károsan befolyásolhatják az adott alkatrész (normál működés közbeni) paramétereit. Ez a káros hatás a gyártástechnológia fejlődésével várhatóan egyre elhanyagolhatóbb mértékű lesz.

Az IEEE1149.4 szabvánnyal kompatibilis alkatrészek száma még igen alacsony, sorozatgyártásban még csak néhány típus készül. (Példaként hozható a National Semiconductor által gyártott STA400, amely egy – számos konfigurációs lehetőséggel rendelkező analóg multiplexer áramkör.) Az IEEE1149.1 szerinti JTAG-interfészsel rendelkező alkatrészek népszerűségéből és alkalmazásának egyre szélesebb körűvé válásából következtethető, hogy a közeljövőben várható a kevert jelű peremfigyelés elterjedése és alkalmazási számának növekedése, miután segítségével növelhető egy áramkör vagy rendszer automatikus tesztelésbe való bevonásának lehetősége.

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

Pályaorientációs börze – Dél-Budai Szakképzési Központ

Szaktánc fejlődésének fontos feltétele az a középfokú szakképzési rendszer, amely részben kibocsátja a foglalkoztatók (gyártók, üzemeltetők) új generációit, részben pedig olyan alapozó képzettséggel látja el tanulóit, amely jó alap lehet a magasabb fokú műszaki oktatásban való továbbtanulásra. Bármilyen szempontból is nézzük, a középfokú szakmai továbbképzés állapota a szakma munkaerő-ellátottsága és a munkába álló új munkavállalói réteg szakmai alkalmassága révén közvetlen hatással van az iparág közeljövöbeni fejlődésére.

Ezért lehet érdekes a munkáltatók, a szakképzés iránt érdeklődő tanulók és a leendő munkavállalók számára, hogy átalakulóban van a középfokú szakképzés szervezete. 2008 szeptemberétől a középfokú szakképzés szervezeti egységeinek szerepét a Területileg Integrált Szakképzési Központok (TISzK) veszik át. Ezek a jelenleg meglévő szakképző intézmények összevonásával keletkeznek. Az egyik példa a Dél-Budai Szakképzési Központ, amely az Öveges József Gyakorló Iskola és Szakiskola köré szerveződve, három másik szakképző intézménnyel egyesítve, az elektronikai és gépészeti szakmák oktatását, illetve annak szakközépisko-

lai képzési alapozását végzi majd. A szerveződő integrált intézmény pályaorientációs börzét rendez az Öveges József Gyakorló Iskola és Szakiskola épületében. A rendezvény célja, hogy a szakiskolai képzés iránt érdeklődő tanulóifjúság és az ilyen képzettségű pályakezdő szakemberek iránt érdeklődő foglalkoztatók megismerhessék a Dél-Budai TISzK szakmai profilját, az oktatott szakmákat, a tanulmányi programot sikeresen teljesítő fiatalok várható szakmai kompetenciáját. A rendezvény résztvevői megismerhetik az olyan foglalkoztató cégek képviselőinek tapasztalatait is, akik szakmai gyakorlatokon fogadják a szakiskolai képzésben résztvevőket, vagy rendszeresen foglalkoztatnák onnan kibocsátott pályakezdőket.

A pályaorientációs börze 2008. február 22-én 10 órakor kezdődik.

A helyszín 1118 Budapest, Beregszász u. 10, ahol az érdeklődők már most is felvilágosítást kaphatnak, vagy az (1) 246-1578 telefonszámon is konzultálhatnak a szervezőkkel.