

Molnár Zsolt

Budapesti Műszaki Főiskola

molnar.zsolt@kvk.bmf.hu

A TEREPI ELEKTRONIKAI ESZKÖZÖK BEÉPÍTETT ÖNTESZTELÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI

Absztrakt

Azok a készülékek és rendszerek, amelyek folyamatos emberi felügyelet nélkül működnek (pl. ipari és katonai terepi szenzorrendszerek, vezető nélküli autonóm földi és légi robotok), megbízhatóság és üzembiztonság szempontjából kritikus rendszereknek tekinthetők. Esetükben a hibátlan működés, csakúgy, mint meghibásodás esetén a hibajelzés, vagy a redundáns áramkörökre való átkapcsolás igen fontos. Ennek a célnak a megvalósítását az időnként, lehetőleg a normál üzem közben elvégzett öntesztelés nagymértékben segítheti. A cikk a terepi elektronikai eszközök beépített öntesztelésének lehetőségeit, illetve a beépített öntesztel szemben támasztott követelményeket tárgyalja. Ezután a beépített önteszt megvalósítását mutatja be egy rövid esettanulmányon, egy felügyelet nélkül üzemelő terepi szenzorrendszer egy elemén keresztül.

All those equipments and systems, what operate under no continuous human control, or leave unattended (for example industrial or military sensor networks, unmanned land or aerial vehicles) are critical systems from the point of view of reliability and safety of operation. In these cases the faultless operation, or in the case of failure to give a fault signal, and – if it is possible - to switch to the redundant circuits can be supported by the built-in self test. This article is about the possibilities and the demands of using built-in testing in the field electronic equipments. There is a short case study too, which discusses the use of built-in self test in a magnetic field sensor element of unattended ground sensor system.

Kulcsszavak: *terepi rendszerek, beépített önteszt, peremfigyelés ~ field systems, built-in self test, boundary scan*

Bevezetés

A katonai és védelmi célú elektronikai eszközöknek, illetve berendezéseknek jelentős része nem telepített, azaz nem állandó helyen rögzített, hanem mobil. Ezeket a mobil eszközöket a felhasználó a rendeltetési helyére juttatja, ott használja (jellemzően élve a mobilitás előnyeivel, például kézben vagy testre rögzítve üzemeltetés), esetleg ideiglenesen telepíti. A

terepi eszközök egy része a telepítés helyén hosszabb-rövidebb ideig autonóm módon üzemel (például a felügyelet nélküli terepi szenzorok¹), majd működésképtelenné válik (lemerül az akkumulátora), vagy megsemmisül. Az üzemelés ideje alatt viszont nagy megbízhatóságú adatokat kell szolgáltatnia, mert sokszor magas szintű döntések meghozatalához ad támpontot. Példaként hozható még az autonóm szárazföldi és légi robotok² üzembiztonsága is, mivel meghibásodás esetén személyi sérülést és/vagy anyagi kárt okozhatnak.

A terepi készülékek tesztelése a fokozott meghibásodási veszély, illetve a folyamatos megbízhatóság miatt létfontosságú. A tesztelés körülményei azonban speciálisak. Egy nem terepi készülék vizsgálata abban az esetben ha mozdítható, megfelelően felszerelt laboratóriumban, vagy elektronikai műhelyben történik. Ha fix helyen telepített, akkor lehetőség van az eszközök és a személyzet odaszállítására, a vizsgálat megfelelő feltételeinek biztosítására. Ha szükséges, a készüléket mindkét esetben szét lehet szerelni, az elektronikájához hozzá lehet férni. Ezekben az esetekben tehát rendelkezésre állnak a megfelelő mérőműszerek és a szakképzett személyzet. A terepi tesztelésnél más a helyzet. Nincs lehetőség a fenti körülmények biztosítására, vagy a feltételek csak erősen korlátozottan állnak rendelkezésre (például mobil szervizjármű). Egy terepi készülék tervezése esetében tehát törekedni kell arra, hogy ne legyen szükség külső eszközökre a teszteléshez, és a vizsgálatot a felhasználó, vagy a készülék saját maga képes legyen levezényelni.

Terepi eszközöknél elektronikai szempontból problémát jelentenek még az üzemeltetés, és így a tesztelés során is fellépő szélsőséges körülmények. Ilyenek például a szélsőséges hőmérséklet és relatív páratartalom értékek, a szennyeződések (por, szilárd és folyékony anyagok, mint például homok, esőcseppek), és a mechanikai behatások (ütés, rázkódás), amelyek egy nem terepen telepített, vagy használt készüléknél egyáltalán nem (vagy csak mérsékelten) jelentkeznek.

I. A terepi elektronikai eszközök vizsgálatának szintjei

A terepi elektronikai készülékek vizsgálatakor – a hagyományos gyakorlat szerint a meghibásodás gyanúja esetén (természetesen csak abban az esetben, ha a meghibásodás nem egyértelmű) – egy egyszerű külső teszterrel³ megállapítják, hogy a gyanú megalapozott-e. Ennek a teszternek olyan a kialakítása, hogy a kezeléséhez nem szükséges magas képzettség. Az ilyen egyszerű teszterek sok esetben nem adnak részletes információt a hiba jellegéről, csak egy működik/nem működik⁴ jelzést ad. Amennyiben a készülék hibásnak bizonyul, akkor egy, a használat helyéhez közeli helyen (pl. laborjárművön, vagy tesztelésre berendezett sátorban) történik egy emelt szintű (összetettebb) vizsgálat. Ezeken az állomásokon lehetőség van az egyszerűbb hibák kijavítása, például a készülék-modulok cseréjével. Ugyanitt megtörténhet a készülékek előírt, időszakos ellenőrzése is. Ha itt nem jár sikerrel a hibabehatárolás vagy a hibajavítás, akkor a készüléket elszállítják, és egy magasabb szinten műszerezett műhelyben kísérlik meg a működőképesség helyreállítását [1].

Látható, hogy a fenti eljárás körülményes, időigényes, valamint a különböző szinteken különböző műszerek alkalmazása szükséges. Mindez a tesztelést megdrágítja, a hibás, vagy hibásnak vélt készülék pedig sok időre kiesik a használatból.

Az elektronikai készülékek tesztelése lehet alkalmi (például még a használat előtt, megfelelő műszaki háttérrel), vagy időszakos (adott időnként automatikusan, vagy utasításra elvégzett teszt, akár a terepen is). A vizsgálat eredményét értékelve lehet dönteni a készülék használhatóságáról. Ha a tesztelés hibátlan funkcionalitást állapít meg, akkor a készülék

¹ UGS: Unattended Ground Sensor

² UAV: Unmanned Aerial Vehicle, pilóta nélküli repülőgép

³ FLTS: First Line Test Set

⁴ GO/NOGO

teljes képességeivel használható. Ha hiba van, a hiba súlyától és jellegétől függően a készülék maradhat használható, de csak korlátozott képességekkel, azonban vannak olyan hibák, amelyek kizárják az alkalmazás lehetőségét, azaz a készülék nem marad használható.

Az időnként elvégzett automatikus tesztelés egy speciális formája, ha a készülék a tesztelést önmaga, saját erőforrásait felhasználva végzi el. Az ilyen önvizsgálatot beépített öntesztnek⁵ nevezzük. Ennek a beépített öntesztnek a megvalósítása akkor lehetséges, ha a készülék rendelkezik intelligenciával (például mikroprocesszorral), ami a legtöbb mai készüléknél teljesül. Ha megfelelő hardver- és szoftver-kialakítással lehetővé tesszük a normál működés közbeni öntesztet, akkor lehetővé válik az üzem közbeni tesztelés. Ezt az üzem közbeni tesztelést megfelelően sűrűn elvégezve, a meghibásodás esetleg már akkor felderíthető, amikor az még észrevehető működési zavart nem okoz.

Az önteszt – bonyolultságától függően – ellenőrizheti a teljes rendszert, vagy csak a rendszer egyes részeit. Kiterjedhet a hardver egységekre, de a tesztelésbe bevonható a működtető szoftver is. A terepi készülékek esetén a hardver egységek gyakoribb meghibásodása miatt, azok minél nagyobb részére célszerű kiterjeszteni a vizsgálatot. Egy program – legalábbis, ha szigorúan csak a programot magát, mint megvalósított algoritmust tekintjük – nem hibásodhat meg. (Ugyanakkor elképzelhető, hogy egy nem megfelelően megírt, vagy nem megfelelően tesztelt program általában hibátlanul, bizonyos feltételek mellett viszont hibásan működik.) Más kérdés, hogy a program tárolója – amely terepi eszközökben mindinkább nagykapacitású nemfelejtő félvezető memória⁶ – meghibásodhat, például egy, vagy több eltárolt programutasítás vagy adat értéke megváltozhat, vagy a memória egy része vagy egésze olvashatatlanná válik.

A működtető szoftver futásának üresjárásában, vagy alkalmanként, például bekapcsoláskor lefuttatható egy megfelelően kialakított tesztprogram a kritikus tevékenységek vizsgálatára vonatkozó tesztadatokon. A teszteredményeknek a helyes működés esetén várt eredményekkel való összevetéséből kideríthetőek az esetleges működési rendellenességek. Azoknál a rendszereknél, amelyek több feladatot (programot) virtuálisan⁷ vagy valóságosan⁸ párhuzamosan képesek futtatni, a tesztprogram a készülék főprogramjával egyidőben is futhat, de az egymásra hatást ki kell küszöbölni (pl. futási idők megnövekedhetnek, vagy nem szándékoltan azonos memóriaterületeket használhatnak).

A hardveres egységek tesztelésénél más a helyzet. Itt mindenképpen csak akkor lehet öntesztet futtatni, ha az adott egység üresjárásban van. Például egy csapatmozgás felderítésére szolgáló felügyelet nélküli intelligens szeizmikus érzékelő készenléti állapotában nem folyamatosan, hanem szakaszosan működik (időnként végez csak mérést külső kérésre, vagy programozottan). A mérési fázisok közé beiktatható egy-egy rövid önteszt, amely nem befolyásolja a működést (nem egyidőben történik vele), ugyanakkor – bár futási időt, és így tápenergiát igényel – a telep-élettartamot sem csökkenti jelentős mértékben.

⁵ BIST: Built-In Self Test

⁶ FLASH Drive, FLASH memóriából kialakított háttértár, amely a félvezető-technológia fejlődése miatti kapacitás-növekedés és árcsökkenés miatt bizonyos alkalmazásokban alkalmassá vált a merevlemezes tárolók kiváltására. Fizikai méreteit tekintve azonos, vagy kisebb kiterjedésű, mint egy merevlemezes tároló. Kapacitása azonban még a félvezető technika jelenlegi fejlettsége (2008. január) mellett elmarad: tipikus kapacitásuk a hordozható eszközökben elterjedt 2,5"-os méretben 1...32 GB a merevlemezes tárolók 20...250 GB tárolóképeségével szemben.

⁷ Például a többtaskos (multitask) rendszerek, amelyek időosztásos programfuttatást tesznek lehetővé. Ennek lényege, hogy egy időben csak egy program fut, viszont a taszkok váltása olyan gyakorisággal történik (milliszekundumos időközökkel), hogy a külső szemlélő a taszkok párhuzamos futását érzékeli.

⁸ Például a többszálás (multithread) programfuttatás, ahol több utasítás (és így több folyamat) végrehajtása is történhet egyidőben, egymással párhuzamosan.

II. A terepi elektronikai eszközökbe beépített önteszteléssel szembeni követelmények

A terepi elektronikai eszközök esetében az öntesztelés megvalósításával szemben speciális követelmények vannak. Ezek egy része műszaki, másik része gazdasági szempontokat tükröz, de mindenképpen már a készülék tervezése során szem előtt kell tartani ezeket, mert a beépített önteszt által hozott előnyök csak ebben az esetben érvényesülhetnek. Ezek nem fontossági sorrendben a következők:

- Az önteszteléshez minél kevesebb járulékos áramkört⁹, főként minél kisebb számú járulékos alkatrészt kell felhasználni. A járulékos elemek ugyanis növelik a meghibásodás valószínűségét. Ennek az az oka, hogy minden valóságos áramkörü elem meghibásodásának valószínűsége 0-nál nagyobb, tehát a teljes rendszer meghibásodásának valószínűsége minden hozzáadott elemmel növekszik. A minimálisan szükséges kiegészítő áramköröket nagy megbízhatóságú alkatrészekkel kell megvalósítani. (A minimálisan szükséges elemszám jelen esetben azt az elemszámot jelenti, amellyel a kiegészítő áramkör a funkcióját maradéktalanul betölti.)

Amennyire csak lehet, a járulékos áramköröket a rendszert felépítő integrált áramkörökben kell elhelyezni. Ha ugyanis ezek az integrált áramkörön kívül helyezkednek el, akkor a huzalozás, forrasztások, és egyéb tényezők tovább növelik a hiba keletkezésének valószínűségét. Ugyanakkor viszont egy önteszthez szükséges kiegészítőkkal felruházott, letesztelt, működőképes, a terepi készülékekben való alkalmazásokhoz megfelelő kialakítású integrált áramkör meghibásodási valószínűsége nem tér el jelentősen az alapfunkciót megvalósító típusétól. (Ez a megállapítás akkor helytálló, ha az integrált áramkört felépítő elemszám mellett a kiegészítő elemek száma elhanyagolható. Ez az esetek döntő többségében teljesül¹⁰.)

- Fontos, hogy a beépített önteszt ne drágítsa meg jelentősen a készüléket. Olcsó megoldásokra kell törekedni. Ha a beépített tesztelés megvalósítása többbe kerül, mint egy vélt meghibásodás esetén a készülék el- és visszaszállítása, és megfelelő műszerekkel, megfelelő képzettségű személyzettel való hibafelderítése, akkor az önteszt funkció gazdaságossága megkérdőjelezhető. Más szempontból kell viszont figyelembe venni azt az esetet, amikor a megbízható működés fenntartását, vagy a működési állapot monitorozását célozza a beépített önteszt funkció, azonban ebben az esetben is előnyben kell részesíteni az olcsó, de megbízható műszaki megoldásokat.
- Mivel a terepi készülékek nagy része telepről vagy akkumulátorról üzemel, így a beépített önteszt megvalósításánál figyelembe kell venni a megnövekedett tápenergia-felvételt is. A beépített önteszt vezérlője lehetőleg csak az éppen tesztelt egységeket kapcsolja be, a többi egység kikapcsolt, vagy készenléti állapotban lehet. Az önteszt futtatása a lehető legrövidebb ideig kell, hogy tartson, és a lehető legritkábban kell elvégezni. Ez biztosítja a lehető legkisebb energia-felvételt, azonban a rövid és ritka tesztelés esetében egyes hibák elfedve maradhatnak. (Ez

⁹ Test overhead

¹⁰ Peremfigyeléssel tesztelés esetét tekintve: egy peremfigyelő cella hozzávetőlegesen 10 darab kapuból épül fel, míg az Xilinx cég XC3S200 alsó-közép kategóriájú FPGA-ja 200 ezer kaput tartalmaz. Ez azt jelenti, hogy ha egy 144 lábú TQFP tokozás esetén a rendelkezésre álló 97 I/O láb mindegyike rendelkezik peremfigyeléssel (ahogy azt a peremfigyeléssel szabvány előírja), akkor a peremfigyelés egyéb áramköreivel együtt kb. 0,5 %-ot tesznek ki a járulékos elemek az FPGA kapuszámához képest.

utóbbira példa a működés közbeni melegedésből származó hiba, amely a rövid önteszt alatt nem jelentkezik, a hosszú üzemeltetés során viszont, ahogyan a készülék melegszik, a hiba előbukkan.)

- A tesztelés során nagymennyiségű adat keletkezhet, ennek az adathalmaznak a megfelelő tömörítéséről gondoskodni kell. A tesztelt készüléktől, és a felhasználó igényeitől függően az önteszt utáni helyi jelentés lehet részletes, vagy kevésbé részletes. Szélsőséges esetként hozható az egyetlen LED-en¹¹ történő helyi kijelzés: ha például a LED zöld színnel világít, az önteszt sikeres volt, ha vörössel, akkor sikertelen. Ebből a lényegében 1 bitnyi információból a hiba helyét és jellegét nem lehet megállapítani. Más esetben, például egy hordozható számítógépnél az önteszt lefutásáról beállítástól függően a teljes teszt sikerességéről, vagy az egyes tesztelési lépések eredményéről külön-külön, vagy pedig minden lépésről részletesen kaphat tájékoztatást a felhasználó.

A távoli hibajelzés (például rádiófrekvenciás adatcsatornán keresztül) megvalósítása esetében a tesztadat-tömörítés kritikus. A helyi hibajelzés részletességétől függetlenül az önteszt vezérlőjében megtalálható (legalább időlegesen) minden egyes tesztlépés eredménye. Ezeknek az eredményeknek a száma egy bonyolultabb készülék, vagy rendszer esetén elérheti a milliós, sőt a milliárdos nagyságrendet is. Ha egy távoli helyre kell akár csak egyetlen terepi készülék ilyen mennyiségű tesztadatait átvinni, az meglehetősen sok időt vesz igénybe. Ha pedig egy korszerű rendszer hálózatba kötött egységeinek mindegyike hasonló mennyiségű adatot továbbítana egy-egy ilyen részletes jelentésben, az a hálózatot túlzottan terhelné, esetleg működésképtelenné tenné. Ha tehát szükség van a távoli kiértékelésre, akkor a készülékből a kiértékelés helyére nagymértékű tömörítés után kell a tesztelési információt átvinni. Problémaként merül fel még a kommunikáció miatt a felderíthetőség valószínűségének növekedése is, erre azonban a szórt spektrumú átviteli csatorna alkalmazása megoldást jelenthet.

- Természetesen a fentiekben vázolt részletes önteszt nagyszámú vizsgálatainak elvégzése jelentős időt igényel. A tesztelési idő ésszerű értéken tartása érdekében célszerű – a fontosságuktól függően – a rendszer részegységeit osztályozni, és megállapítani, hogy egy-egy egységen milyen gyakran, és milyen részletességű tesztet kell elvégezni.
- Figyelembe kell venni, hogy az egyes tesztlépések milyen jellegű vizsgálatot végezzenek. Elég-e egy egyszerűbben kivitelezhető funkcionális teszt, vagy szükség van-e parametrikus tesztelésre is. A parametrikus tesztelés pontosabb, részletesebb, ugyanakkor más jellegű információt szolgáltat. Például egy pilóta nélküli repülőgép gyorsulás-érzékelőjén elvégzett funkcionális vizsgálat, azaz, hogy lehet-e tőle gyorsulás-adatot kiolvasni, kevesebb információt ad, mint egy parametrikus teszt, amelyben megállapítható, hogy a mérési eredmények reális tartományba esnek-e, illetve tendenciájuk nem hordoz-e ellentmondást (például fizikailag lehetetlenül gyors változásokat).

A digitális egységek tesztelése némileg egyszerűbb, mint az analóg egységeké. A digitális áramkörök esetében elegendő funkcionális tesztelést elvégezni, ez alapján eldönthető, hogy működőképese-e. Az analóg egységek esetében általában nem kétállapotú jelek vannak a be- és kimeneteken, hanem olyan (analóg) feszültségek, amelyek bizonyos tartományon belül bármilyen értéket felvehetnek. A

¹¹ Light Emitting Diode: fénykibocsátó dióda

működőképesség megállapítása szempontjából lényeges ezeken a pontokon a viszonylag pontos feszültség szint megállapítása, tehát lényegében a parametrikus tesztelés.

- Az öntesztelés elvégzéséhez természetesen szükség van a készülékben biztosan jól működő egységekre, hogy ezekből kiindulva lehessen elvégezni a teljes rendszer vizsgálatát. A probléma azonban az, hogy az önteszt kezdetén nem tudunk meggyőződni a hibátlanság tényéről egyetlen alkatrész esetében sem. Ezért ilyenkor a hibátlanságot csak feltételezzük, azután ezekből a hibátlannak feltételezett (minél kevesebb számú) áramköri egységből kiindulva végezzük el a rendszer igényelt mélységű vizsgálatát. Ezek az áramköri elemek szükségszerűen a helyi intelligens elem (processzor, mikrovezérlő, FPGA vagy berendezés-orientált áramkör¹²), a hozzá csatlakozó programtároló, valamint a készüléken belüli kommunikációhoz szükséges infrastruktúra (buszrendszer), illetve szoftver oldalról a tesztrutinok. Ha egy rendszer több, intelligenciát tartalmazó egységből áll, akkor ezek a modulok elvégezhetik saját öntesztjüket, majd a központi egység felé (ha van ilyen) adhatnak jelentést az eredményről.

A beépített önteszt megvalósításához, annak elvégzéséhez speciális feltételeket kell megteremteni. Szoftver oldalról létre kell hozni egy, vagy több tesztprogramot. A tesztprogramokkal szemben külön követelmény, hogy a felhasználás előtt meg kell győződni azok működőképességéről, mert az öntesztben ez már lehetetlen. Ezek a tesztprogramok részben az intelligencia vizsgálatát végzik: tesztadatokkal lefuttatva azokat, az eredményeket össze kell hasonlítani az elvárt eredményekkel. Amennyiben nincs eltérés, az intelligens egység működőképes. Másrészt, a tesztprogramok vezérlik a hardver tesztet is: az egyes egységekre gerjesztést adnak, majd a gerjesztésre adott választ vizsgálják. Digitális áramkörök esetében ezeket a gerjesztéseket tesztvektoroknak hívjuk. Hardver szempontból többek között meg kell valósítani a vizsgálandó egységek működési állapotáról való jelentést (használatban/nem használt), valamint a részletes tesztelés igénye esetén az áramköri elemek egyes pontjai gerjesztésének és mérésének feltételeit. Ezt hagyományos módon (vezérelhető kapcsolókkal, meghajtó áramkörökkel, léptető regiszterekkel, stb.) is meg lehet oldani, azonban az eddigiekben leírtak miatt ennél jobb megoldásra van szükség. Ezt a jobb megoldást a peremfigyeléses vizsgálat¹³ adja.

III. A peremfigyelés alkalmazása a beépített öntesztben

A peremfigyeléses technika rövid ismertetése

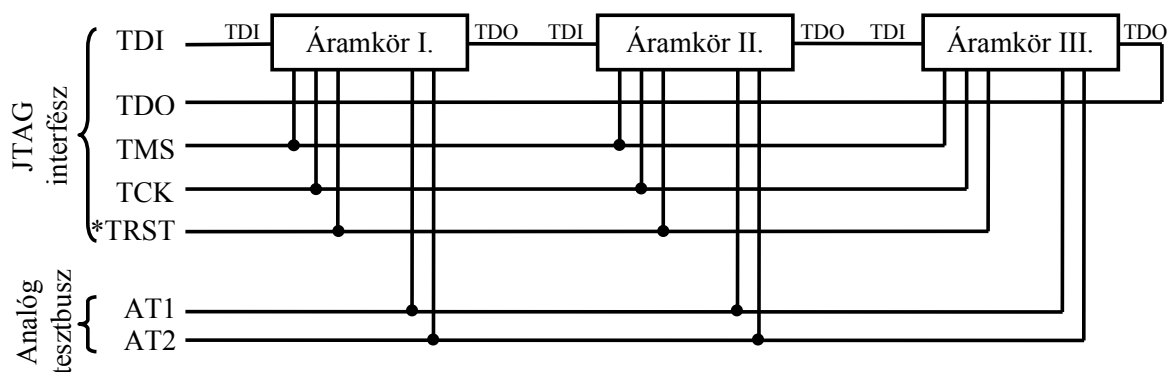
A peremfigyelés alap gondolata, hogy az áramkörök be- és kimeneti pontjai (lábai), és a magáramkör között egy, a tesztelési feladatok elvégzésére alkalmas cellát (peremfigyelő cella) kell elhelyezni. Az elhelyezett cellák virtuális mérőtűként működnek, amelyeken keresztül gerjesztés vihető be, illetve a pontok logikai szintje mérhető. Ezek a cellák sorosan felfűzve egy léptető regisztert alkotnak, amely rendelkezik párhuzamos írási és olvasási lehetőséggel is. A cellák soros beírásával (majd párhuzamos kiolvasásával) elvégezhető a tesztadatok bevitele (és beírása), a párhuzamos beírással a jelek mintavételezése, a soros

¹² ASIC: Application Specific Integrated Circuit

¹³ Boundary Scan Test

kiolvasással pedig a tesztadatok kiléptetése. A peremfigyelés alapszabványa szerint e léptetőregiszter soros be- és kimenetén kívül (TDI¹⁴ és TDO¹⁵) a tesztelő port két kötelező (TCK¹⁶, TMS¹⁷) és egy opcionális bemenettel (*TRST¹⁸) rendelkezik, azaz a tesztelés egy 4 vagy 5 pontos hozzáféréseken keresztül történhet. A tesztelő interfész pontjainak száma nem függ a vizsgált alkatrész, áramköri panel, vagy rendszer bonyolultságától.

A kevert jelű (analóg és digitális) 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 ki. Megegyezés szerint az AT1 ponton lehet az analóg gerjesztést bevinni, AT2-n pedig a mérendő jel jelenik meg. A kevert jelű peremfigyelés tesztbusz-rendszerét az (1. ábra) mutatja.



1. ábra: A kevert jelű peremfigyelés buszrendszere

Esettanulmány

A következőkben a peremfigyelésen alapuló beépített önteszt megvalósításának lehetőségét tárgyaljuk egy mágneses tér megváltozását érzékelő felügyelet nélkül üzemelő szenzor esetében. A szenzor belső felépítését (2. ábra) a különféle létező és fejlesztés alatt álló rendszerek (pl. REMBASS, MEMO, BSA) elemeiről szóló publikációk [2] [3] [4] [5] [6] tanulmányozása alapján kíséreltem meg rekonstruálni¹⁹.

¹⁴ Test Data Input

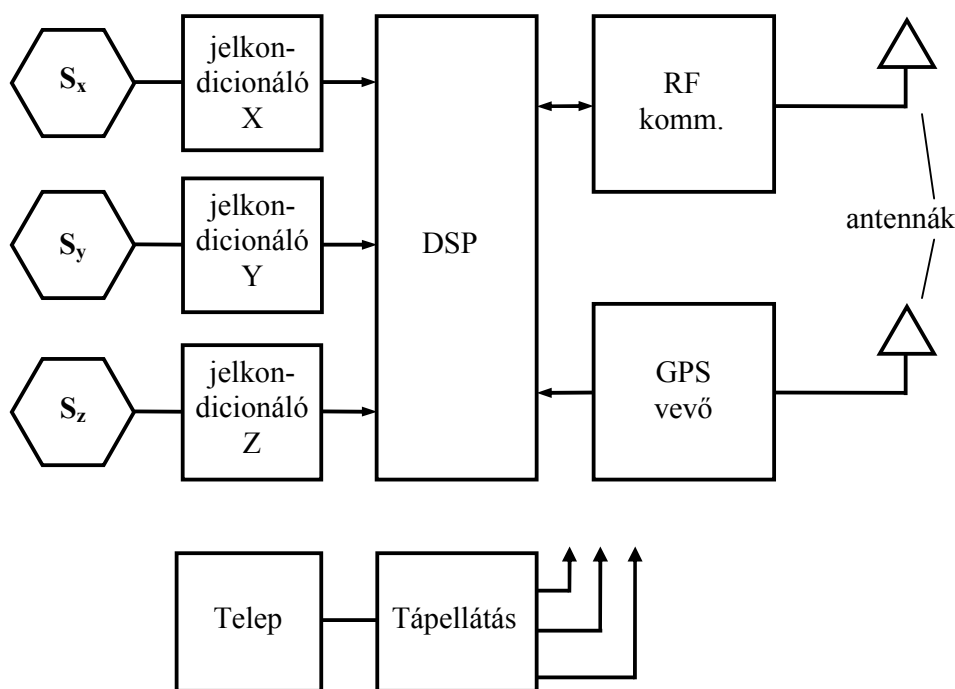
¹⁵ Test Data Output

¹⁶ Test Clock

¹⁷ Test Mode Select

¹⁸ Test Reset

¹⁹ A felépített blokkvázlatból tehát hiányozhatnak elemek, vagy lehetnek benne olyanok, amelyek a valóságban nem, vagy nem az itt közölt formában léteznek.



2. ábra: A mágneses teret érzékelő felügyelet nélküli szenzor lehetséges felépítése

A készülék a mágneses tér X Y és Z komponenseit az S_x , S_y és S_z egymásra merőlegesen elhelyezett érzékelőkkel méri. Az érzékelők kimeneti feszültségét a jelkondicionáló egységek erősítik, annak érdekében, hogy a digitális jelfeldolgozó²⁰ A/D átalakítója²¹ részére előálljon a számára megfelelő tartományban változó bemeneti jel. (Amennyiben a mágneses tér viszonylag lassú változása miatt nem szükséges egy időben a három komponenst mérni, akkor egy közös jelkondicionáló, és egyetlen A/D csatorna használható, átkapcsolással.) A DSP a mágneses tér három komponensével arányos jelet feldolgozza, szűri, elvégzi a detektálást és az azonosítást. Szintén a DSP veszi a GPS vevő által előállított pozíció adatokat, amelyekből a későbbiekben megállapítható a szenzor helye a terepen. Amennyiben szükséges (lekérdezőskor, vagy cél megjelenése esetén), rádiófrekvenciás kommunikációs csatornán történik az adatátvitel a terepi hálózat megfelelő elemei (ismétlő állomások, monitor egységek) felé. A szenzor telepes tápellátású, a kihelyezés után – attól függően, hogy hányszor aktiválódott – akár több hónapig is működőképes maradhat [5].

A monitor egység alkalmas lehet rendszerteszt elvégzésére is, azaz a hálózat elemeinek működőképességét felderítheti. Ennek a rendszertesztnek egy alacsony szintű változatánál lehetséges, hogy csak az egyes elemek jelenlétét (kérésre válaszol-e) vizsgálja. Fejlettebb szintű rendszerteszt esetén elképzelhető egy indított önteszt, vagy egy folyamatosan futó, üzem közbeni beépített önteszt eredményeinek lekérdezése. Ez utóbbi pontosabb információt ad az egyes egységek egészségi állapotáról. A meglévő rendszerek közül például a REMBASS rendszer szenzor monitorozó egysége²² képes a rendszer funkcionalitását vizsgálni, valamint az egyes egységek beépített tesztjének elindítását kezdeményezni, majd annak eredményeit megjeleníteni.

A 2. ábra szerinti szenzorban megvalósítható az üzem közbeni önteszt, mivel van benne olyan egység (a jelprocesszor), amely az önteszt vezérlését elvégezheti. Az öntesztet a lehető

²⁰ DSP, Digital Signal Processor

²¹ Olyan áramkör, amely az analóg jelet digitális számértékké alakítja, így a processzor képes a leképzett jelen számításokat végezni.

²² Sensor Monitoring Set (SMS)

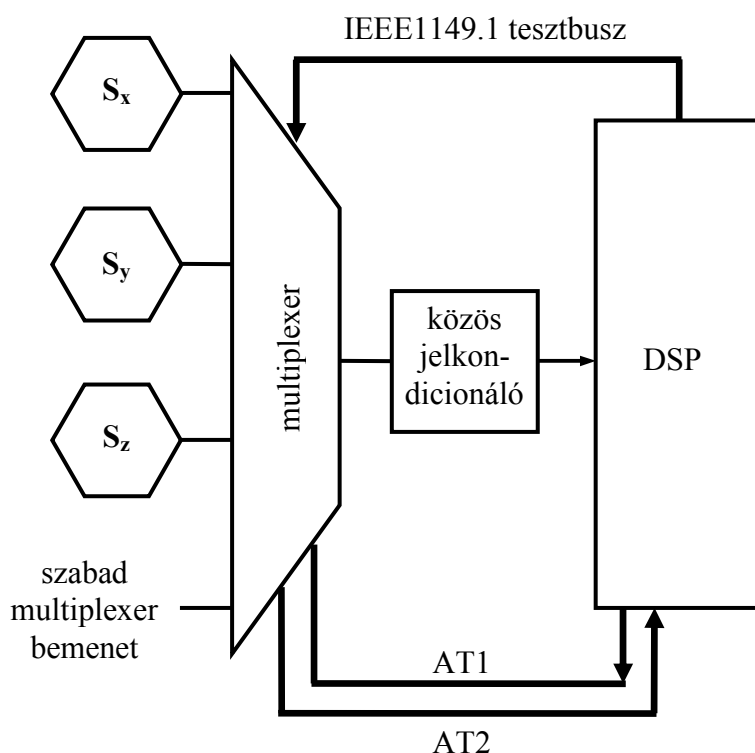
legtöbb egységre érdemes kiterjeszteni, az analóg és a digitális áramkörökre is. Vannak olyan áramkörök, eszközök, amelyek nem, vagy csak részben vonhatóak be a tesztelésbe. Ilyen például a mágneses tér érzékelője, a GPS vevő, vagy a rádiófrekvenciás kommunikációs egység. A mágneses tér érzékelő számára nem tud a tesztvezérlő gerjesztést adni, csak az érzékelő kimeneti jelének a működési tartományban tartózkodását, esetleg változását lehet figyelni. A GPS vevő és az RF kommunikációs egység a velük szemben támasztott speciális műszaki követelmények miatt általában modulként kerülnek egy rendszerbe integrálásra, az, hogy ezek a kész modulok áramköri szinten tesztelhetőek-e, kivitelüktől függ. Funkcionális tesztelésükben itt is problémát jelent a gerjesztés, illetve az RF kommunikációs modul esetén az adás minőségi jellemzőinek vizsgálata. A többi áramköri elem bevonható a tesztelésbe. A digitális áramkörök (pl. illesztők, pufferek) és a nyomtatott áramköri huzalozás épsége (rövidzár, szakadás, forrasztások) digitális peremfigyeléssel vizsgálható. Hogy ez megvalósítható legyen, peremfigyeléses eszközökkel kell felépíteni az áramkört. Az analóg egységek (pl. jelkondicionálók, tápegység) is bevonhatóak a tesztelésbe. Erre két lehetőség van. Egyrészt alkalmazható olyan peremfigyeléses feszültségmonitor, amely átkapcsolhatóan több áramköri pont feszültségét képes mérni, és a peremfigyeléses buszon keresztül hozzáférhetővé tenni. Bizonyos esetekben (pl. tápfeszültségeknek, vagy a telep feszültségének, terhelőáramának mérése) ez a megoldás kielégítő. Másrészt alkalmazhatóak olyan analóg peremfigyeléssel rendelkező áramkörök, amelyekkel egy adott analóg áramköri pontra gerjesztés adható (mérőáram, vagy mérőfeszültség), illetve az adott pont feszültsége megmérhető. A peremfigyeléses teszteléssel megvalósított önteszt elvégzését nagymértékben megkönnyítik a mikroprocesszor-kompatibilis beágyazott tesztbusz vezérlő. Ezek az áramkörök a mikroprocesszor (jelen esetben jelprocesszor) felől könnyű hozzáférést biztosítanak az IEEE1149.1 szabvánnyal kompatibilis buszhoz.

A következőkben blokkvázlat szinten azt vizsgáljuk, hogy hogyan kell a szenzor felépítését megváltoztatni ahhoz, hogy a jelkondicionáló egységek analóg peremfigyeléssel vizsgálhatóak legyenek. Az analóg peremfigyeléses alkatrészek kínálata napjainkban még igen szerény, ezért az egy jelkondicionálót és egy A/D csatornát alkalmazó változatot tárgyaljuk, mert IEEE1149.4 szabvány szerinti analóg multiplexer²³ létezik (3. ábra). A multiplexer csatlakozik az IEEE1149.1 szabványú peremfigyeléses tesztbuszhoz, valamint az AT1 és AT2 analóg tesztbusz-vonalakhoz. Az AT1 vonalon a processzor egy szűrt PWM²⁴ kimenete, vagy D/A²⁵ átalakítója adhat gerjesztést, az AT2 vonalon keresztül pedig a válaszjel mérhető. Jelen elrendezésben az AT2 vonal nem használható a jelkondicionáló válaszjelének mérésére, ami nem okoz problémát, mert kimeneti feszültsége a processzor egy A/D bemenetén mérhető. Ugyanakkor AT2 alkalmas a szenzorok által szolgáltatott feszültség, illetve a negyedik, szabad multiplexer bemenet feszültségének mérésére.

²³ Az STA400 típus, a National Semiconductor kínálatában

²⁴ PWM: Pulse Width Modulation, segítségével digitális számértékből analóg jel állítható elő. Az analóg jel nem csak egyenfeszültségű komponenseket tartalmaz, ezért általában szűrésre, simításra van szükség.

²⁵ Olyan áramkör, amely digitális számértékből analóg jelet állít elő.



3. ábra: A jelkondicionáló áramkör környezetének kialakítása peremfigyeléses vizsgálathoz

A jelkondicionáló egység teszteléséhez például a következő méréseket lehet elvégezni:

1. Hibafeszültség mérése: bemenetét földre kötve, meg kell vizsgálni, hogy kimenetén mekkora a hibafeszültség.
2. Erősítés mérése: közepes bemeneti feszültség esetén ki kell számítani a kimeneti és a bemeneti feszültség hányadosát.
3. Linearitás mérése: az erősítés mérést több bemeneti feszültségnél elvégezve, fel lehet venni a kimeneti feszültség-bemeneti feszültség kapcsolatát leíró függvényt.

Összegzés

A terepi elektronikai eszközök beépített tesztelése számos előnyt biztosít. Ezek közül legfontosabbnak az említhető, hogy az önteszt lefutása vagy lefuttatása után pontos képet kapunk a készülék állapotáról: az esetleges meghibásodások felismerhetők, helyük azonosítható. Műszaki szempontból számos feltételnek kell megfelelnie a terepi készülékek elektronikai egységeinek, így az önteszteléshez szükséges áramköröknek is. Ezek a feltételek főként a fokozott környezeti igénybevételből (hőmérséklet, páratartalom, por, nedvesség, rázkódás, kémiai behatások) adódnak. Az önteszteléshez szükséges áramkörök egy része alapfunkció mellett alkalmas peremfigyelésre, másik része pedig speciális kiegészítő áramkör. Ezeknek csaknem mindegyike létezik a fenti fokozott igénybevételeknek ellenálló változatban is.

A meglévő rendszerek egy részében megtalálható a változó mélységben kialakított önteszt, más részükben viszont nem. Ezekben a készülékekben hardverváltoztatások nélkül

nem oldható meg megfelelő minőségű öntesztelés. A folyamatos fejlesztések, a régi rendszerek elavulása, és a meglévő készülékek újratervezése (re-engineering) azonban megoldja a problémát: az új készülékek esetében már a tervezés során szem előtt kell tartani azokat a szempontokat, amelyek az öntesztelés megvalósítását lehetővé teszik, azaz a készülékeket (ön)tesztelhetőre kell tervezni.

Felhasznált irodalom²⁶

- [1] RACAL: Exploring the Boundaries Of Built in Test, EDN Asia, 2004/7 p. 42-44
(http://www.racalinst.com/whitepapers/BIT_defence.pdf)
- [2] John B. Willis, Mark J. Davis: Distributed Sensor Networks on The Future Battlefield, Technical Report, New York, 2000. május
(<http://www.orcen.usma.edu/Research%20Projects/Previous%20Projects/AY00/Tech%20Reports/WEBSDist.SensorNetworkTechReport.pdf>)
- [3] Mark Tondra, Albrecht Jander, Catherine Nordman, John Anderson, Zhenghong Quian, Dexin Wang: 3-axis magnetometers using spin dependent tunneling: reduced size and power, Proceedings of SPIE, Vol. 5090, p. 208-213, 2003.
(http://www.nve.com/Downloads/SPIE_03_Low_power_SDT.pdf)
- [4] Remote Battlefield Sensor System (REMBASS), Improved Remote Battlefield Sensor System (IREMBASS),
<http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/rembass.htm>
- [5] Dr. Haig Zsolt: Networked Unattended Ground Sensors for Battlefield Visualization, Budapest, AARMS Volume 3 Issue 3, 2004. p. 387-400
- [6] Unattended Ground Sensors, <http://www.defense-update.com/features/du-1-06/feature-ugs.htm>

²⁶ Az internetes hivatkozások esetében a 2008. október 31-i állapot szerinti elérhetőség van megadva