

KORSZERŰ ELJÁRÁSOK AZ ÜZEM KÖZBENI TESZTELÉSBEN

BEVEZETÉS

Napjainkban, a katonai elektronikai rendszerek és berendezések egyre komplexebbé válása miatt fokozott igény merül fel az áramköri egységek minél gyorsabb, minél nagyobb hibalefedettségű¹ vizsgálatára. Sok esetben – például számos katonai készüléknél – nem kockáztatható, hogy fel nem derített hibával üzemeljen a készülék, illetve nem megengedhető a meghibásodás vagy javítás miatti üzemszünet. Konkrét példaként említhetők a harctéren telepített szenzorok, vagy a pilóta nélküli járművek: hibás, de bizonyos szinten működő szenzor téves adatokat szolgáltatva, hibás vezetői döntések meghozatalát eredményezheti, vagy egy meghibásodott vezérlő egység egy pilóta nélküli repülőgépben, vagy egy földi robotban téves adatszolgáltatással, vagy akár az eszköz megsemmisülésével járhat.

I. AZ ELEKTRONIKAI RENDSZEREK MEGHIBÁSODÁSAI

Az elektronikai rendszerek meghibásodásai prognosztizálhatóság szempontjából két csoportra oszthatóak: az előre látható és az előre nem látható meghibásodásokra.

Az előre látható meghibásodások az elhasználódásból, öregedésből erednek, ezek bekövetkezését általános esetben statisztikai úton meg lehet jósolni. A következő várható meghibásodás időpontjának meghatározásához a rendszert felépítő alkatrészek alapjellemzőin kívül figyelembe vehetők az üzemeltetés során begyűjtött adatok (pl. az üzemidő, az üzemi és tárolási hőmérséklet, az üzemi és tárolási páratartalom, a készüléket ért külső behatások, a korábbi meghibásodások, stb.). Az így meghatározott időpont előtt elvégezve a megelőző javítást², a berendezés üzeme közben előre látható meghibásodás bekövetkezésének valószínűsége minimális. Az elektronikai hibák bekövetkezésének prognosztizálása különféle problémákat vet fel, és csak korlátozottan használható³.

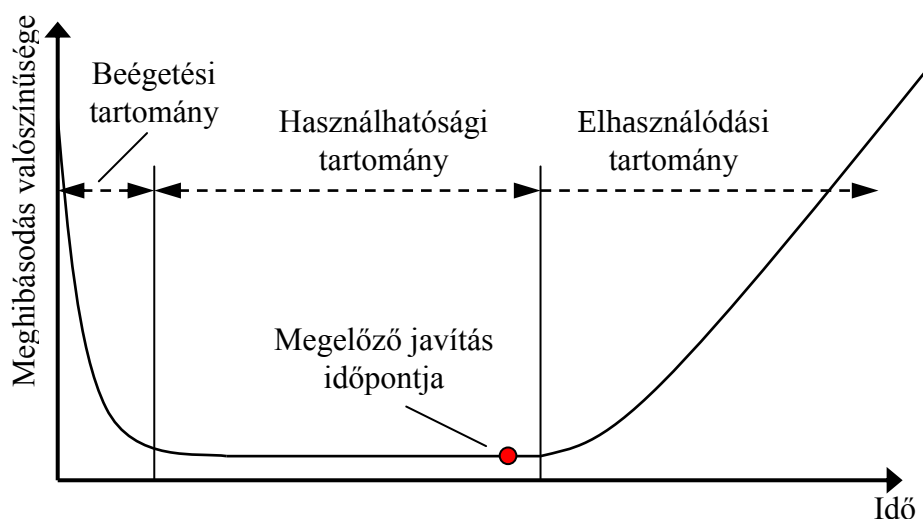
Az 1. ábra egy alkatrész meghibásodásának valószínűségét mutatja az időben. A görbét alakja miatt kádgörbének nevezik. Első szakasza, a beégetési tartomány, meredeken esik, mivel a kezdeti meghibásodások magas aránya az idő előrehaladtával rohamosan csökken. Ebben az időszakban az alkatrész megfelelő biztonsággal nem használható. A következő közel egyenes, az időtengellyel párhuzamos szakasz a használhatósági tartomány, ilyenkor az alkatrész a rá jellemző megbízhatósággal üzemel. Az utolsó szakasz az elhasználódási tartomány, ahol a görbe ismét emelkedni kezd. Ezen a szakaszon az alkatrész öregedése miatt nő a meghibásodási arány. A kádgörbe nem csak egyetlen alkatrészre, hanem egy készülékre vagy rendszerre is hasonlóan alakul [1].

Az előre nem látható (nem megjósolható) meghibásodások okai olyan véletlen behatások, amelyek a „kádgörbe” használhatósági időintervallumában következnek be. Ilyen ok lehet például az elektrosztatikus kisülés, hirtelen mechanikai behatás (ütődés), páralecsapódás, ellenséges tevékenységek, stb. Mivel e behatások időpontja előre nem ismert, így váratlan meghibásodásnak nevezzük őket, amelyeknek hatása kiszámíthatatlan.

¹ A lehetséges hibáknak azon része, amelyet az adott technika felderíteni képes (Fault Coverage)

² TMK – tervszerű megelőző karbantartás

³ Kutatások folynak a NASA és az Amerikai Tengerészet (US Navy) számára az elektronikai berendezések előre látható meghibásodásai meghatározásának jobb behatárolhatóságával kapcsolatban [1]



1. ábra. Alkatrész meghibásodási aránya az időben („kádgörbe”)

II. A TESZTELÉS LEHETŐSÉGEI

Egy áramkör, egy készülék vagy egy nagyobb rendszer tesztelésére különféle esetekben lehet szükség. Tesztelést kell végrehajtani a gyártási folyamat végén, karbantartás során, vagy javítás elvégzése után. Ezt egészítheti ki a rendszer indulásakor⁴, vagy a rendszer üzemszünetében indított önteszt⁵ [2].

A vizsgálat hagyományos módja az, amelyben a készülék működőképességét üzemszerű környezetéből kiemelve ellenőrizzük. Ez a megoldás sok esetben nem alkalmazható (pl. magára hagyott elektronikai rendszerek esetében), illetve alkalmazásakor előfordulhat, hogy más környezetben a készülék másképpen viselkedik (pl. a hiba „eltűnik”).

Jobb megoldást jelent, ha az eredeti környezetben, egy, az erre a célra kialakított üzemmódban – a rendszer eredeti funkcióját bizonyos ideig szüneteltetve – öntesztet futtatunk rajta. A rendszert és a tesztelési eljárást is úgy kell kialakítani, hogy a berendezés alapfunkcióit az önteszt ne zavarja.

Problémát jelent, hogy sok elektronikus berendezés ma még különféle okok miatt nem rendelkezik öntesztelő funkcióval. Amennyiben az önteszteléshez szükséges valamennyi elemet és funkciót a készülék önmagában hordozza – azaz tartalmazza saját teszterét –, beépített öntesztől⁶ beszélünk. Ha a készülék a beépített önteszt futtatása közben is képes ellátni alapfunkcióit, akkor a beépített önteszt képessége megteremti egyes vizsgálatok üzem közbeni lefuttatását, amely a terepi használatban, illetve magára hagyott, önműködő rendszerekben igen fontos szempont.

Az öntesztelés

Az öntesztelés történhet a készülék vagy rendszer üzemszünetében, illetve annak üzemelése közben. Az üzemelés közbeni ellenőrzés a tesztfolyamat és a tesztelt rendszer alapfunkciójának viszonya alapján lehet konkurens és nem-konkurens. Konkurens tesztelés esetén a tesztfolyamat beékelődik az alapfunkció rutinjai közé, nem konkurens teszteléskor a vizsgálat az éppen nem használt áramköri egységeken történik. Ez utóbbira példaként említhető a redundáns rendszerek tartalék áramköreinek ellenőrzésére, vagy egy nem folyamatosan használt egység (pl. valamely érzékelő) aktív működésen kívüli tesztelése.

⁴ SBIT (Startup Built-in Test) vagy POST (Power-On Self Test), amely automatikusan lefut, ha a készülék tápfeszültséget kap

⁵ IBIT (Initiated Built-in Test)

⁶ BIST (Built-In Self Test), amely általában tetszőleges időpontban indítható folyamat

Az öntesztelésnek alkalmasnak kell lennie az áramkörnek mind az analóg, mind a digitális egységei hibáinak feltárására is, valamint lehetőséget kell teremtenie a digitális egységek funkcionális, valamint az analóg egységek funkcionális és parametrikus vizsgálatára is.

Ennek a feltételnek a teljesítéséhez az egyik legalkalmasabb módszer a jelen és a jövő hibadiagnosztikai eljárásának tartott peremfigyeléses technika⁷. A peremfigyelés módszerének a digitális technikában már széleskörű a felhasználása, az analóg technikában azonban még igen korlátozott (és még csak részben szabványosított).

Öntesztelés a pilóta nélküli repülő eszközökben

Pilóta nélküli repülő eszközökben – főként azokban, amelyek által szolgáltatott információkra nagy súlyú döntéseket alapoznak – az autonóm működés miatt fokozott jelentősége lehet az öntesztnek. Az üzem közbeni teszteléssel szemben támasztott követelmény, hogy a külső szemlélő a tesztelésből mindaddig semmit ne vegyen észre, amíg az „állandóan futó” önteszt meghibásodást nem észlel. Fontos megjegyezni, hogy a készülékbe épített önteszt funkció működés közbeni automatikus futtatása esetleg még azelőtt felfedheti a hibát – mintegy automatikus, elektronikus tervszerű megelőző karbantartásként –, mielőtt az észlelhető hatásokat okoz. Például egy pilóta nélküli repülő eszközben meghibásodott érzékelő adatait kiiktatva, azokat más, jól működő érzékelők jelével helyettesítve a döntéshozatal előtt, a helytelen döntés elkerülhető, az esetleges emberi és az anyagi áldozatok pedig csökkenthetők. Részletes vizsgálattal megállapítható, hogy a meghibásodás olyan szintű-e, amely az adott egység teljes leállítását/leállítását vonja maga után, vagy részlegesen használható maradhat.

Az öntesztbe minden elektronikus egység bevonható megfelelő felépítés esetén, a mechanikai egységeket pedig megfelelő elektronikai kiegészítéssel részben vagy egészében tesztelhetővé lehet tenni.

III. A PEREMFIGYELÉS

A peremfigyelés egy csaknem 20 évre visszatekintő, folyamatosan fejlődő technológia. Az eljárás szabványosítása 1990-ben történt meg, amelyet a következő években további, kiegészítő szabványok követtek. A digitális áramkörök vizsgálatáról az IEEE1149.1, az analóg áramkörök vizsgálatához szükséges kiegészítésekről pedig az IEEE1149.4. A szabványsorozatot további elemek egészítik ki: az IEEE1149.5 a moduláris rendszerek tesztelését, az IEEE1149.6 differenciális nagysebességű digitális hálózatok tesztelését egységesíti. Legelterjedtebb a digitális áramkörök peremfigyeléses vizsgálata, amelynek lehetőségét már az Intel 386-os processzorában is megteremtették. Azóta a peremfigyeléses vizsgálat képessége egy bizonyos komplexitás felett sok digitális építőelem (pl. FPGA-k⁸, mikroprocesszorok és memóriák) szerves részévé vált [3].

Alapprobléma

Az elmúlt években nagyfokú fejlődés figyelhető meg az áramkörtechnikában. Egyrészt az alkatrészek bonyolultsága (integráltsága) mutat meredek emelkedést, másrészt az egy rendszerbe épített alkatrészek száma. Mindez a miniatürizálás igényével együtt a fizikai méretek csökkenését is jelenti – természetesen a technika fejlettségi szintjétől függően. Ma már nem ritka a 0,1mm nagyságrendjébe eső alkatrésláb-távolság, illetve a több száz kivezetéssel rendelkező integrált áramkör. Külön problémát jelent, hogy vannak olyan alkatrésztokok⁹, amelyek lábai a panelbe való beültetés után nem hozzáférhetőek. Az egy áramköri panelen belüli nagyszámú alkatrész, és a nagy alkatrész-sűrűségű nyomtatott áramkörök nem teszik lehetővé az áramkörvizsgálat hagyományos

⁷ Szabványosított technológia (IEEE1149.1 és 1149.4), amely lehetővé teszi áramköri elemek, illetve teljes készülékek néhány vezetéken keresztül való tesztelését (Boundary Scan)

⁸ Field Programmable Gate Array, olyan digitális áramkör, amelyben tetszőleges funkció valósítható meg (a kapuszámától és struktúrájától függő korlátokon belül)

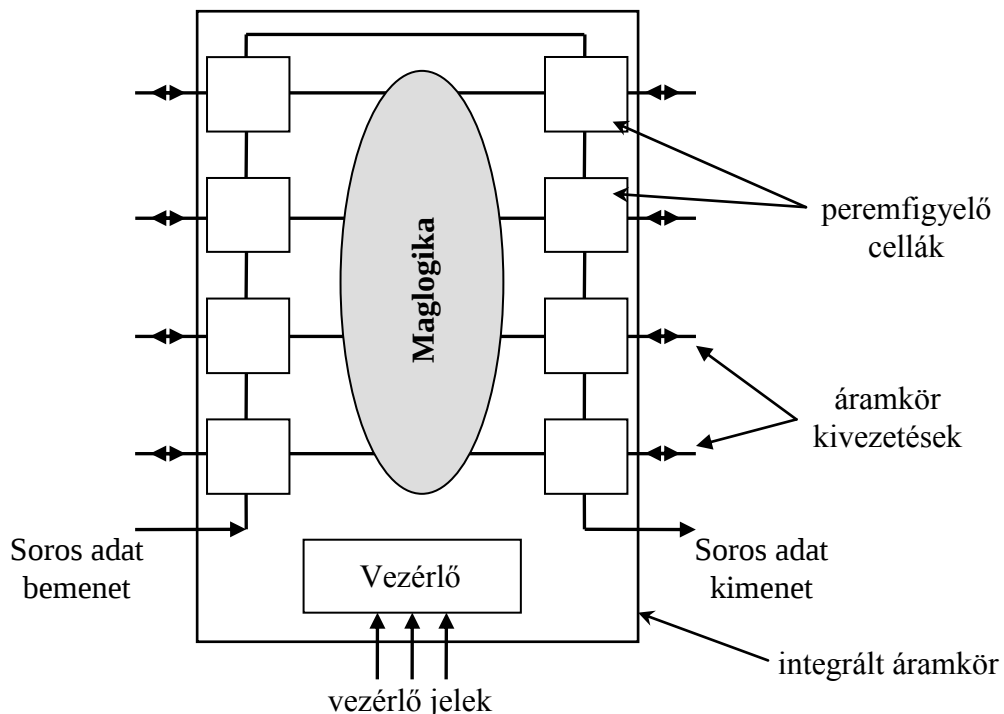
⁹ BGA tok, a kivezetések az alkatrész alján helyezkednek el, óngömbök formájában.

módszerét. Az áramköri elemek közötti kapcsolatok, vagy az áramköri funkciók meghibásodását megfelelő biztonsággal csak különleges technikával lehet vizsgálni.

A peremfigyelés alapelve

A peremfigyelés azon alapul, hogy az áramkörök vizsgálni kívánt pontjain elhelyeznek egy speciális egységet, az úgynevezett peremfigyelő cellát¹⁰. Ezek a cellák sorosan fel vannak fűzve, digitális áramkörök esetén egy vonalon, analóg áramkörök esetén három vonalon keresztül¹¹, működésüket egy beépített vezérlő¹² hangolja össze, amelynek két kötelező, és egy opcionálisan megvalósítandó kivezetése van (2. ábra). A vezérlő bemeneti jelei, illetve a legelső és a legutolsó cellák vezetékei alkotják a peremfigyelő (JTAG) interfészt. A peremfigyelő interfész jelei:

- TDI: tesztadat bemenet
- TDO: tesztadat kimenet
- TMS: teszt-üzemmód választó bemenet
- TCK: tesztelő órajel bemenet
- TRST: tesztelést alaphelyzetbe állító bemenet



2. ábra. Egy peremfigyelés lehetőségével rendelkező digitális áramkör felépítése [4]¹³

Az interfészen keresztül több ilyen áramkör, vagy áramköri egység (modul) felfűzhető egymás után. Ebből az következik, hogy bonyolult rendszer is kevés csatlakozással (digitális áramkör 5, analóg áramkör 7 pont) vizsgálható (3. ábra).

Mivel a vizsgálat igen mélyreható is lehet, ezért az áramkör hibái nagy valószínűséggel és jól behatárolhatóan felderíthetőek. Megjegyzendő, hogy a peremfigyeléses hurkon keresztül nem csak a tesztelés végezhető el, hanem a rendszerben lévő programozható áramkörök (memóriák, programozható logikák) tartalma is átírható [4]. Ez egyebek között lehetőséget teremt nagy távolságban, közvetlen emberi beavatkozás nélkül üzemelő rendszerek átprogramozására, amilyenek például a pilóta nélküli repülő eszközök. A peremfigyelési képességgel nem rendelkező egységek

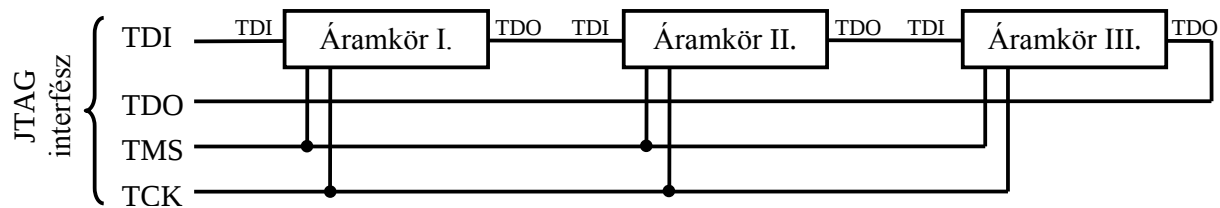
¹⁰ Boundary Scan Cell

¹¹ Scan Chain, peremfigyelő hurok

¹² Test Access Port Controller, TAP Controller

¹³ Az ábrát a forrás alapján a cikk szerzője szerkesztette

részleges vizsgálata a rendszerben lévő, vagy az áramkört kiegészítő, peremfigyeléssel ellátott áramkörök segítségével lehetséges [5].



3. ábra. Több digitális áramkör bekapcsolása a peremfigyelő hurokba

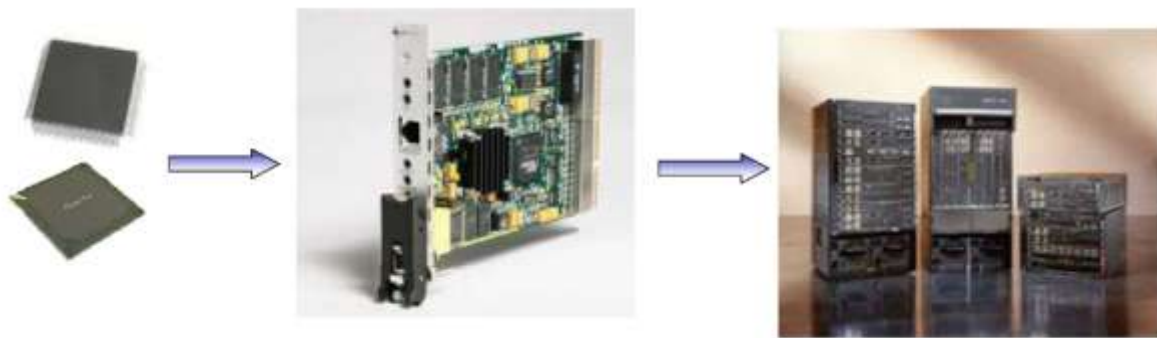
A tesztelés megvalósításának szempontjából fontos, hogy a peremfigyeléses vizsgálathoz szükséges adatok jelentős részét automatikusan létre lehet hozni (pl. a peremfigyeléses hurok leírását, vagy adott bemeneti gerjesztésre a helyes működés esetén megjelenő kimeneti válaszok) [3].

A peremfigyelés rendszer szinten

Az alkatrész szinten meglévő peremfigyeléses tesztelési lehetőség több alkatrész peremfigyelő interfészen keresztüli hurokba fűzésével egy modul (áramköri lemez) egészére kiterjeszthető. A magasabb szinten való alkalmazás hasonló módon lehetséges: a modulok külső peremfigyelő interfészeit alkalmazva kialakítható egy, a teljes rendszer vizsgálatára alkalmas hurok. Tehát az alkalmazás szintjei (4. ábra):

- alkatrész szint
- modul szint
- készülék szint.

Természetesen a technológia modul, illetve rendszer szintjén való alkalmazása számos problémát vet fel, amelyeknek a megoldása némi többlet-áramkörrel és a tesztelés szoftverének bonyolultabbá válásával jár. A tesztelés-vezérlő (amely a vezérlő jeleket és a soros adat bemenetet adja, valamint a soros adat kimenetet kiértékeli) a gyártás, a rendszer felprogramozása, illetve általában a szerviz esetén is külső eszköz, üzem közbeni tesztelésnél és átprogramozásnál viszont belső eszköz (beágyazott processzor).



4. ábra: A peremfigyelés alkalmazási szintjei

Az előzőekben leírtak alapján látható, hogy a vezérlő a részletesebb teszt-eredmények miatt pontosabb információt kap a rendszer állapotáról és esetleges hibáiról, mintha csak a hozzá csatlakozó egységek kimeneti jeleiből vagy állapotjelzéseiből következtetne. Példaként hozható egy pilóta nélküli repülőgép, amelynek esetleg csak a fedélzeti szenzorai kimeneti jeléből következtetnek azok meghibásodására (a szenzor nem ad jelet, vagy irreális értékű jelet ad), illetve a beavatkozási (szervo

egységei, aktuátorai) meghibásodásáról csak egy hibajelzés érkezik, amelyből a pontos hibát és hiba okot nem lehet megállapítani.

ÖSSZEGZÉS

A központi vezérlő által az egyes egységek hibajelzéseinek vétele, vagy az egyes egységek kimeneti jeleinek kiértékelése és feldolgozása alapszinten elégséges, de nem elég hatékony módszer a hibák hatásainak kiküszöbölésére. Az öntesztelés és ezen belül a peremfigyeléses technika alkalmazása a magára hagyott elektronikai rendszerekben – és így a pilóta nélküli repülő eszközökben is – jelentős lehetőségeket rejt. Üzem közbeni folyamatos önteszteléssel a végzetes meghibásodások száma csökkenthető, a hibák még azelőtt felderíthetők és lokalizálhatóak, mielőtt hatásuk a teljes rendszerre kiterjedne. A peremfigyelés technikájának alkalmazásával a meghibásodások és a meghibásodások okai pontosan meghatározhatók. Ez komoly segítséget nyújt azok gyors kijavításához, az üzem közben feldolgozott adatok alapján pedig eldönthető, hogy a meghibásodott egység részleges használatra alkalmas-e.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] RIDGETOP GROUP, INC: A Built-In Self Test Prognostic IC to monitor Electronic Aging and Performance Degradation in Complex Systems Tucson, 2005
- [2] J. A. BUTLER: Application and Evaluation of Built-In-Test (BIT) Techniques in Building Safe Systems, CrossTalk, 2006/9, 15-20 o.
- [3] Harry BLEEKER–Peter VAN DEN EIJNDEN–Frans DE JONG: Boundary-Scan Test – A Practical Approach, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2001
- [4] Kenneth P. PARKER: The Boundary-Scan Handbook, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1994
- [5] TEXAS INSTRUMENTS: A Look at Boundary Scan From a Designer's Perspective, Dallas, 1996