

A BEÉPÍTETT TESZTELÉS ÉS ALKALMAZHATÓSÁGA ELEKTRONIKAI RENDSZEREKBE

Absztrakt

Az elektronikai rendszerek – és így a katonai elektronikai rendszerek – számának növekedése és összetettebbé válása, valamint a velük szemben támasztott megbízhatósági és üzembiztonsági követelmények teljesítése új hibadiagnosztikai módszerek alkalmazását teszi szükségessé. A rendszerek működőképességének folyamatos ellenőrzése elengedhetetlen. Az ellenőrzés nagymértékben egyszerűsödik, és hatásosabbá válik, ha a teszteléshez szükséges egységek jelentős részét az adott rendszer magában hordozza. Ebben az esetben lehetőség nyílik a beépített tesztelés (Built-In Test, BIT), illetve a beépített öntesztelés (Built-In Self Test) megvalósítására. Ez a cikk rövid áttekintést ad a beépített tesztelés módszeréről, tárgyalja az elektronikai rendszerekben való alkalmazhatóság egyes kérdéseit, végül következtetéseket tartalmaz a beépített tesztelés hasznosságával kapcsolatban.

The increase in the number of electronic systems – just like in electronic military systems –, the increase of complexity, and the high demands of reliability and operation safety requires new error diagnostic methods. It is essential to monitor the capability of operation of these systems. The monitoring becomes simpler and more effective, if the high percentage of elements needed for testing is integrated in the system by itself. In this case the Built-In Test (BIT), or the Built-In Self Test (BIST) is realizable. This paper gives a short overview about the method of Built-In Test, and discusses a few questions of its applicability in electronic systems. Finally contains deductions related to the advantages of using BIT.

Kulcsszavak: *tesztelés, beépített tesztelés, peremfigyelés*

BEVEZETÉS

Az elmúlt években a katonai célú rendszerek esetében tapasztalható nagyfokú digitalizáció, és a komplexitás növekedése új kihívásokat jelent a rendszeres, széles körű vizsgálatok terepi elvégzése területén. A digitális eszközökön alapuló harctéri információs rendszer (Battlefield Information System, BIS) képes fogadni az egyes elektronikai készülékek vagy rendszerek beépített tesztelése (Built-in Test, BIT) során keletkező állapotjelzéseket, illetve a működőképességet és a használatot jelző rendszer (Health and Usage Monitoring System, HUMS) jeleit. A beépített teszt az esetek egy részében képes arra, hogy a hibákat felfedje még azelőtt, hogy a készülék üzemképtelenné válna, így figyelmeztető jelzést adhat. A rendszerekbe épített tesztelés lefuttatása, és a tesztelési eredmények lekérdezése – előre meghatározott ütemben, vagy alkalmoszerűen – lehetőséget ad az eszközök aktuális üzemképességének megállapítására a helyi karbantartás, illetve az irányítás számára [1].

¹ Budapesti Műszaki Főiskola, KVK MAI, molnar.zsolt@kvk.bmf.hu

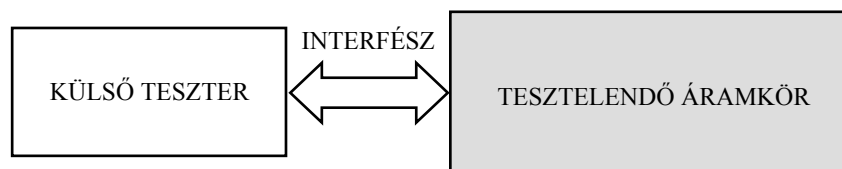
A beépített teszt a terepen történő, minél rövidebb időt, és minél kisebb költséget igénylő javítást is megkönnyíti. Az első szint a hiba észlelése után, hogy az üzemeltetés helyszínén a készülékhez csatlakoztatott egyszerű külső teszterrel (First Line Test Set, FLTS) megállapítják a hibát. Ennek a teszternek nem kell külön vizsgálatok elvégzésére képesnek lennie, elegendő, ha a beépített teszt eredményeit képes megjeleníteni, esetleg részletezett formában. (Esetenként ezek a teszterek tartalmaznak kiegészítő vizsgálatok elvégzésére alkalmas funkciókat.) Egyszerűbb javítások (például áramköri modul cseréje) a vizsgálati eredmények ismeretében a helyszínen elvégezhetőek.

Ha a javítás ezen a szinten nem kivitelezhető, vagy lehetőség van a készülék helyszínről való elszállítására, akkor következik a második szint. Itt még mindig a terepen (például mobil javítóműhelyben), de már egy emelt képességekkel rendelkező automatikus tesztelő berendezés (Automatic Test Equipment, ATE) segítségével történik a hiba megállapítása, majd a javítás. Amennyiben a hiba a terepen nem felderíthető, akkor magasabb szinten műszerezett javítóműhelyben hozható csak eredeti működési állapotba a készülék [1].

A KÜLSŐ ÉS A BEÉPÍTETT TESZTELÉS

A beépített teszt megvalósítása esetén az adott áramkör (készülék, rendszer) a saját vizsgálatához szükséges funkciók lehető legnagyobb részét magában az áramkörben (készülékben, rendszerben) tartalmazza. Természetesen ez növeli a bonyolultságot, hiszen többletegységeket igényel. A beépített teszt – és minden tesztelési módszer – legfontosabb minőséget meghatározó jellemzői a hibafedettség² (fault coverage), a hiba-behatárolási (fault location) képesség³, a téves hiba-megállapítás (diagnostic error) gyakorisága⁴, valamint a hibalappangás (error latency) ideje⁵ [2].

A hagyományos vizsgálati módszer külső tesztert (External Test Equipment, ETE) alkalmaz. Ebben az esetben a vizsgáló rendszer fizikailag elkülönül a vizsgált rendszertől, közöttük egy általában igen összetett interfész biztosítja a kapcsolatot (1. ábra). A felhasznált vizsgáló berendezés költséges, mivel minden tesztelendő készülékhez másik teszter szükséges. Ezzel a módszerrel – fizikai korlátok miatt – a vizsgált áramköröknek csak kevés pontján lehet beavatkozni (gerjesztést adni), illetve méréseket végezni. A rendszer moduljai csatlakozási pontjainak, illetve a modulokon belüli belső áramköri pontoknak korlátozott elérése miatt a tesztelés minőségi jellemzői nem érik el a kívánt mértéket, ugyanakkor megnövekszik a nemkívánatos zavarok rendszerbe jutásának esélye [3].



1. ábra
Áramkörvizsgálat külső teszterrel

² A hibafedettség megadja, hogy a lehetséges hibákat milyen arányban képes a tesztelési eljárás felderíteni. Ideális esetben a hibafedettség 100%.

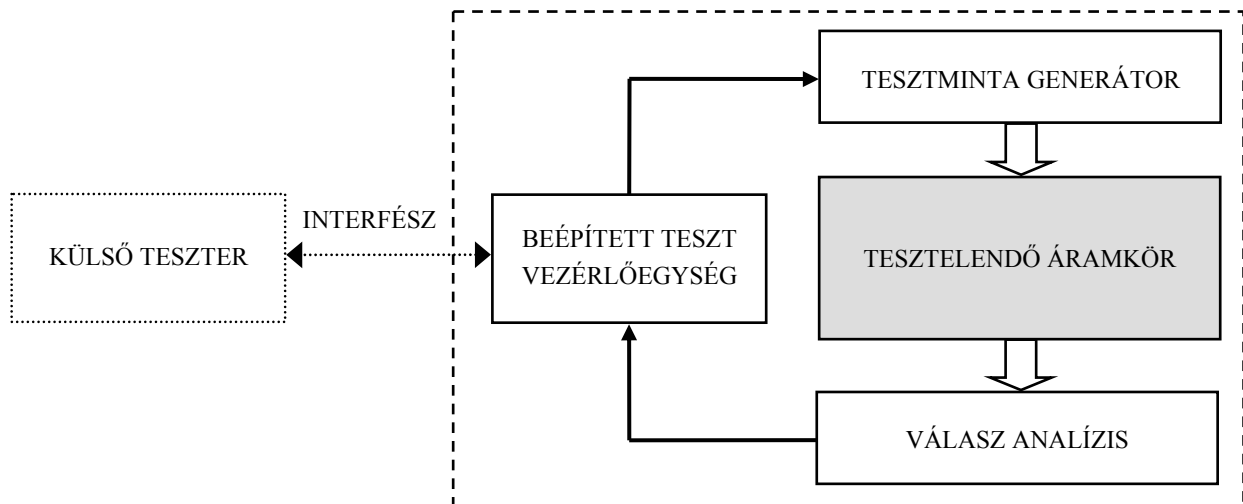
³ A hibabehatárolási képesség a tesztelési eljárás azon képessége, hogy képes bizonyos pontossággal meghatározni a hiba fellépésének fizikai helyét.

⁴ A téves hiba-megállapítás gyakorisága megadja, hogy az összes detektált hiba között milyen arányban fordul elő tévesen hibának vélt állapot. Ideális értéke 0.

⁵ A hibalappangási idő megadja, hogy a hiba jelentkezésétől a hiba detektálásáig maximálisan mennyi idő telik el. Ideális értéke 0, illetve digitális rendszerekben 1 órajel-ciklus.

A beépített teszt az adott rendszer szerves részét képezi, gerjesztést állít elő, valamint a gerjesztésre adott választ analizálja, úgy hogy ehhez külső rendszertől nem, vagy csak kismértékben kap segítséget. Fontos megjegyezni, hogy a külső teszter nélkül végzett vizsgálatokhoz a rendszer néhány egységének (hardcore) hibátlanul kell működnie; ilyenek például a tápegység, az órajel-generátor vagy a tesztvezérlő. A beépített teszttel végzett vizsgálat esetén jelentősen egyszerűsödik a tesztelő interfész, javulnak a tesztelés minőségi mutatói, csökken a tesztelési idő, és a tesztelési költségek.

A 2. ábra egy beépített tesztfunkcióval rendelkező digitális áramköri egység felépítését mutatja (a tesztelendő áramkör normál üzemmódjában működő be- és kimenetek, valamint a járulékos egységek (például multiplexerek) nélkül). A vizsgálandó áramkör bemenetére a tesztminta generátor (Test Pattern Generator, TPG) egy alkalmasan megválasztott jelsorozatot ad, amelyre a tesztelendő áramkör funkciójától és működőképességi szintjétől függően válaszol. Az adott válasz összehasonlítása az elvárt válasszal, valamint az esetleges eltérések megállapítása és bizonyos szintű értelmezése a válasz analízis eredményeként jut vissza – a tesztminta generátort is vezérlő – beépített teszt vezérlőegységbe. Amennyiben a fellépő hibáról részletes információkra van szükség, vagy a beépített teszt képességein túlmutató vizsgálatokat kell elvégezni, akkor az interfészen keresztül külső teszter csatlakoztatására is van lehetőség.



2. ábra
Áramkörvizsgálat beépített teszteléssel [4]

Az interfész az egyes áramköri modulok közötti kapcsolatok – és így az egész készülék – vizsgálatára is alkalmas lehet, az interfészre felfűzött modulok rendszerként is tesztelhetővé válnak. Az analóg áramköri egységek beépített teszteléssel való vizsgálata bonyolultabb, mint a digitális áramköröké. A tesztelés során analóg mennyiségeket (általában feszültséget) kell mérni, illetve előállítani, míg a vezérlés és kiértékelés digitális. Az analóg mennyiség előállításához digitális-analóg átalakító, a méréséhez analóg-digitális átalakító szükséges.

A BEÉPÍTETT TESZTELÉS TÍPUSAI

A beépített teszteknek általában négy típusát különböztetjük meg: bekapcsolási (Startup Built-in Test, SBIT), folyamatos (Continous Built-in Test, CBIT), indított (Initiated Built-in Test, IBIT) és karbantartó (Maintenance Built-in Test, MBIT) beépített teszt [5].

A bekapcsolási beépített teszt (SBIT) a készülék vagy rendszer elindulása előtt ellenőrzi az alapfunkciók működését. A vizsgálat eredménye lényegében egyetlen bit: ha az ellenőrzés nem talált hibát, a rendszer működőképes (GO), ha talált, akkor a rendszer részben vagy egészében működésképtelen (NOGO). A vizsgálat kimeneteléről általában a felhasználót is értesíti a beépített tesztvezérlő. Amennyiben a rendszer működőképes, a tesztvezérlő engedélyezi annak elindulását.

A folyamatos beépített tesztet (CBIT) olyan helyen használják, ahol nagyok a megbízhatósági követelmények, mint például a repülőgépeknél vagy a fegyvereknél. Ebben az esetben a rendszer létfontosságú elemeit és funkcióit az üzemszerű működés (mission) közben folyamatosan nyomon követik.⁶ A vizsgálat egy része a háttérben, nem konkurens módon, másik része az előtérben, konkurens módon, a normál működéssel párhuzamosan történik. Az előtérben futó rövid, de időzítés- és időkritikus tesztelési részfolyamatok adatokat termelnek a háttérben futó hosszabb, elemző, nem időkritikus részfolyamatok számára. Az előtérben futó tesztelési folyamatok – a háttérben futókkal szemben – képesek felfedni a rövid ideig tartó, átmeneti hibaállapotokat is.

Az indított beépített teszt (IBIT) általában egy igen részletes vizsgálatot végez, ez kizárja, hogy vele párhuzamosan megtartsa a készülék a normál üzemi funkcióit. Segítségével állapítható meg legbiztosabban a rendszer működőképessége (például bekapcsoláskor, a rendszer normál üzeme előtt). Az indított beépített teszt képes a legpontosabban meghatározni a hiba helyét.

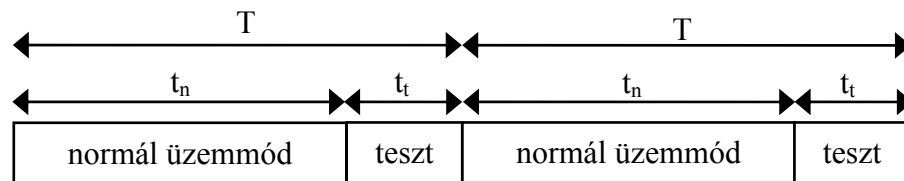
A karbantartó beépített teszt (MBIT) célja a karbantartás során szükséges ellenőrzések elvégzése. Karbantartáskor általában néhány memóriarekeszhez kell hozzáférni, ezeket kell olvasni és írni (például hibakód kiolvasás, törlés), vagy javított szoftververziót kell letölteni (upgrade). Ezeknek a tevékenységeknek a támogatása és ellenőrzése tartozik a karbantartó beépített teszt feladatai közé.

A BEÉPÍTETT TESZTELÉS ALKALMAZHATÓSÁGA

A beépített tesztelés történhet felfüggesztett normál működés mellett (off-line) – például szervizelés esetén –, illetve normál üzem közben (on-line). Az üzem közbeni teszt-futtatás egyszerűbbik esetben a rendszer egy részének vagy egészének üresjárata alatt történik (a háttérben), nem-konkurens módon (3. ábra). Ekkor azonban a normál üzemmód alatt fellépő hibák a teszt üzemmódban nem biztos, hogy jelentkeznek, rejtve maradhatnak. Azoknál a

⁶ A bekapcsolási és a folyamatos beépített teszt sikertelen lefutása – olyan rendszereknél, amelyek különféle okok miatt nem állhatnak le teljesen – eredményezheti a biztonsági üzemmódba (safe mode) való átkapcsolást. A biztonsági üzemmódban a rendszer – legfontosabb funkcióit megtartva – részlegesen működőképes marad. A legfontosabb funkciók működőképességének biztosítására redundáns egységek használata, vagy a működésképtelen egység más működőképes egységek adatainak felhasználásával való kiváltása lehet a megoldás.

rendszereknél, ahol nincs üresjárat, a vizsgálat csak konkurens módon történhet, azaz a rendszer normál funkcióit megtartó üzeme és a tesztelés párhuzamosan folyik.



3. ábra

Nem-konkurens üzem közbeni tesztelés idődiagramja [6]

A beépített teszt alkalmazhatóságát több tényező határozza meg, illetve korlátozza. Bizonyos rendszerek – fizikai felépítésük vagy funkciójuk miatt – nem alakíthatóak ki úgy, hogy hatásos öntesztet lehessen beépíteni. Ezek a rendszerek csak külső tesztelő készülék (External Test Equipment, ETE) segítségével vizsgálhatóak. Más esetben a beépített teszt által vizsgált paraméterek a készülék helyes működése közben, illetve meghibásodáskor olyan kis értékben térnek el egymástól, hogy a hiba detektálásához igen szűk tűrési paraméter-tartomány megállapítása szükséges. Ez viszont fokozza a téves hiba-megállapítás lehetőségét, ilyenkor a készüléket külső teszterrel vizsgálva a hiba természetesen nem jelentkezik.

A beépített teszt alapvetően egy belső működést vizsgáló eljárás, így nem biztosít külső gerjesztést (bemenő jelet) a rendszer bemeneti interfésze számára, és nem vizsgálja a gerjesztésre adott választ (kimenő jelet) sem a kimeneti interfészen, azaz nem képes külső, zárt hurkú vizsgálat elvégzésére. Ugyanez sok esetben igaz a készülék-modulok közötti kapcsolatok vizsgálatára is. A belső, intermoduláris kapcsolatok vizsgálata – az egyre nagyobb számban felmerülő igény miatt – egy igen dinamikusan fejlődő terület, amellyel a peremfigyelés (boundary scan) foglalkozik. A meglévő módszerek alapvetően a digitális áramköri egységek kapcsolatainak vizsgálatára terjednek ki, de folyamatos fejlesztések történnek az analóg áramköri kapcsolatok vizsgálatára is. Az analóg jelek vizsgálatához viszonylag bonyolult járulékos áramkör (egy- vagy több-bites analóg-digitális átalakító) szükséges, valamint a jel jellemzőinek pontos megállapításához megfelelő mintavétel-gyakoriság kell. A járulékos áramkörök analóg funkcióknál az eredeti villamos paraméterek romlását okozhatják, digitális funkcióknál pedig időzítési problémák merülhetnek fel.

A fentiek miatt az analóg kapcsolatok és a külső interfészek – amelyek elektromos szempontból a legsérülékenyebbek – gyakran nincsenek a beépített tesztbe bevonva, csökkentve ezzel a hibalefedettséget. A beépített teszt járulékos áramkörei – mint minden áramkör – meghibásodhatnak, csökkentve ezzel a rendszer megbízhatóságát. Azt, hogy a beépített teszt mely áramköri egységek vizsgálatát végezze el, illetve melyek ne rendelkezzenek ezzel a lehetőséggel, jelentősen befolyásolja a tervezési és a gyártási költség. Bár a minél nagyobb mértékű beépített teszt növeli a megbízhatóságot, és csökkenti a javítási költségeket, ugyanakkor a tervezés időszükséglete – és így a költség is – exponenciálisan nő, valamint a gyártásra fordítandó összeg is emelkedik [1].

KÖVETKEZTETÉSEK

A fenti technológiák hozzájárulnak a megbízhatóság növekedéséhez, illetve az üzemeltetési költségek csökkenéséhez. Az üzemeltetés során begyűjtött információkból meghatározhatóak a hibák keletkezésének előzményei és a hibák időbeni eloszlása (hiba típusok és előfordulásuk gyakorisága). A javításra fordítandó idő (állási idő) lecsökken, mivel a beépített teszt képes a rendszerben jól behatárolni a hiba helyét. A hibakereséshez nem kell nagy beszerzési és fenntartási költségű eszközöket a terepen tartani, illetve ezek száma csökkenthető. A pontos hibahely-meghatározás eredményeit összevetve a hibák előfordulási gyakoriságával lehetőség nyílik arra, hogy meghatározható legyen, hogy a megbízhatóság növelése érdekében hol kell változtatni a rendszeren.

FELHASZNÁLT IRODALOM

(Az internet címek az adott dokumentumok 2006. 12. 11-én érvényes elérhetőségét adják meg.)

- [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] H. FUJIWARA: Logic testing and design for testability, MIT Press, Cambridge, 1996
- [3] Z. PENG: Built-in Self Test - TDTS 01 Lecture Notes (www.ida.liu.se/~TDTS01/lectures/05/lec10.pdf)
- [4] A. R. MOHAMED: BIST - Built-in Self Test (www.ida.liu.se/~zebpe/teaching/test/lec12.pdf)
- [5] J. A. BUTLER: Application and Evaluation of Built-In-Test (BIT) Techniques in Building Safe Systems, CrossTalk, 2006/9, p. 15-20 (<http://www.stsc.hill.af.mil/crosstalk>)
- [6] H. AL-ASAAD, M. SHRINGI: On-line Built-in Self Test for Operational Faults (www.ece.ucdavis.edu/~halasaad/Data/autotestcon00.pdf)