

HÍRADÁSTECHNIKA

Integrált áramkörök megbízhatóság-vizsgálati módszerei és a vizsgálati eredmények számítógépes értékelése

DRÓTOS LÁSZLÓ
VÁRADY ISTVÁN
HIKI

Bevezetés

Az elmúlt években az elektronikai berendezések bonyolultsága tovább növekedett, s egyúttal a megbízhatóságukkal szemben támasztott követelmények is szigorúbbak lettek, így egyre fontosabbá válik az alkatrészek megbízhatósági jellemzőinek meghatározása. Cikkünkben áttekintést adunk az integrált áramkörök esetében alkalmazott megbízhatóság-vizsgálati módszerekről, ismertetjük két TTL MSi áramkörtípus vizsgálatát és az általunk alkalmazott adatfeldolgozási eljárásokat.

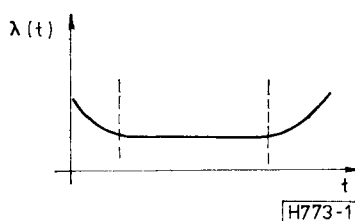
Megbízhatóságvizsgálati módszerek

Az IC-k megbízhatóságának jellemzésére általánosan használt az ún. $\lambda(t)$ meghibásodási ráta, amely megadja annak valószínűségét, hogy a t időpontig hibátlanul működő elem a t időpont utáni igen kicsiny Δt időegység alatt meghibásodik. A tapasztalatok szerint elektronikai alkatrészeknél a $\lambda(t)$ függvényre az 1. ábrán látható ún. „kádgörbe” a jellemző.

A görbén három szakasz különböztethető meg: a kezdeti szakaszban a meghibásodási ráta nagy és csökkenő jellegű (ekkor hibásodnak meg a rejtett hibás elemek), a második szakaszban — ez a hasznos működés szakasza — $\lambda(t)$ közel állandó, végül az öregedési szakaszban a meghibásodási ráta az irreverzibilis — leromlást okozó — fizikai-kémiai folyamatok hatására növekszik.

A rejtett hibás, várhatóan hamar meghibásodó áramköröket szűrővizsgálatok segítségével célszerű kiválasztani, és így megakadályozni azok felhasználását. Az alapgondolat az, hogy az alkatrész-sokaságot olyan igénybevételeknek vetjük alá, amelyek a rejtett hibákat felszínre hozzák, viszont a jó áramköröket nem károsítják. A leggyakrabban alkalmazott módszerekre HNATEK tanulmányában [1] találhatunk példákat.

A TKI Ifjúsági Konferencián (1980. XI. 17.) megtartott előadás alapján.



1. ábra

Mivel a $\lambda(t)$ időfüggvény középső szakaszában a meghibásodási ráta közel állandó, a vizsgálatok tervezésénél azt tételezik fel, hogy az alkatrészek működési idejének eloszlásfüggvénye exponenciális, azaz $\lambda(t) = \lambda = \text{állandó}$. Az élettartamvizsgálatok célja ez esetben az egyes áramkörtípusokra vonatkozó ismeretlen λ -paraméter statisztikai becslése a vizsgálatok folyamán nyert tapasztalati adatok alapján. A vizsgálatok során az eszközöket olyan igénybevételeknek kell alávetni, amelyek az üzemeltetési feltételeket (esetleg azoknak csak egy részét) modellezik.

Az üzemeltetés alatt fellépő egyik lényeges igénybevétel a hőmérséklet hatása. Ennek alapján a magas hőmérsékleten történő tárolást mint élettartamvizsgálati módszert elterjedten alkalmazzák. A módszer alkalmas a felületi, kötési-bondolási és a szennyeződések okozta hibák aktiválására; előnye még olcsósága is. Az elektromos igénybevételek által aktivált hibafolyamatok előhívására a statikus és dinamikus elektromos terhelések („égetések”) alkalmasak. Az égetések a kristály felületi és térfogati hibáit egyaránt aktivizálják, hatásosak a kristály-felerősítési, a fémezési és a bondolási hibákra is. A statikus terhelések egyes speciális folyamatokra (pl. mozgó ionok okozta küszöb feszültség-eltolódás a MOS eszközöknél) hatásosabbak a dinamikus terheléseknél, viszont nagyobb bonyolultságú eszközök valamennyi egységének terhelésére az utóbbiak alkalmasabbak. A gyakorlatban egy áramkörtípus vizsgálatánál a fentiek szerint több módszert is alkalmaznak. Nagy megbízhatóságú eszközök esetében — névleges igénybevételi szinteken — a megfelelő pontosságú eredmények eléréséhez szükséges

eszközarámenység igen nagy, csökkentésére elterjedten használják az ún. gyorsított vizsgálatokat. A Si alapú integrált áramkörökben fellépő hibamechanizmusokat és az azokat gyorsító tényezőket JOWETT ismerteti cikkében [2].

TTL MSI áramkörök élettartam-vizsgálata

A HIKI Áramkör- és Alkatrész Vizsgálati Főosztályán különböző technológiájú és bonyolultságú áramkörökön rendszeresen végzünk élettartamvizsgálatokat. A következőkben két TTL MSI áramkörtípus vizsgálatát foglaljuk össze.

A vizsgált áramkörök a Texas jelölés szerinti SN74142N és az SN74191N típusoknak felelnek meg. A mintákat normál kereskedelmi forgalomból szereztük be, tehát előzetes igénybevételek nem érték azokat. Az áramkörök tőkés importból származtak, különböző gyártóktól.

A vizsgálat kezdetén (0 óránál) minden darabon elvégeztük a paraméterek mérését a katalógusban megadott feltételek mellett. Ezután az eszközöket alávetettük mind magas hőmérsékletű tárolás-, mind elektromos terhelés-vizsgálatnak. A magas hőmérsékletű tárolásnál a tárolási tér hőmérséklete 150 °C volt, amely a katalógusok által megengedett maximális tárolási hőmérséklet. A 74191 típusnál kvázistatikus és dinamikus (elektromos) terhelést alkalmaztunk, a 74142 típusnál pedig kétféle dinamikus terhelést. Az utóbbi típusnál a terhelések között az volt az eltérés, hogy a dinamikus I. terhelésnél a Nixie-meghajtó kimeneteket nagy feszültségű igénybevitel is érte, míg a dinamikus II. terhelésnél ezek a kimenetek csak áramterheléssel voltak igénybevéve. A különböző terheléseknél a disszipáció és a tokok hőellenállása ($\Theta_{ja} = 0,15 \text{ °C/mW}$) ismeretében a környezeti hőmérsékletet úgy állítottuk be, hogy a chiphőmérséklet valamennyi esetben 120–130 °C között volt. A vizsgálatok folyamán ellenőrző paraméterméréseket 168, 500, 2000, 4000, 6500 és 10 000 óránál végeztünk ICOMAT 2/D mérőautomatával, az adatokat lyukszalagon rögzítettük.

A vizsgálati eredmények gépi adatfeldolgozása

A kapott mérési eredmények kiértékelésére készítettünk egy adatfeldolgozási rendszert, amit már korábban publikáltunk [3]. Itt most csak a rendszer fő műveleteit foglaljuk össze, amelyek a következők:

a lyukszalagon kapott adatok tömörítése és átírása mágnesszalagra,

a mágnesszalagon tárolt adatok javítása lyukkártyáról,

a kijavított adatok statisztikai feldolgozása és a megbízhatósági jellemzők értékelése.

Az előbbi fő műveleteket egy-egy önálló program segítségével végeztük el.

Az üzemeltetés tapasztalatai alapján később egyes programokat módosítottunk, illetve egy-egy művelet elvégzésére több program is készült. A hármas tagozódás azonban megmaradt (elsősorban a memórialekötés 90 kByte-os korlátja miatt), és ez a vizsgált

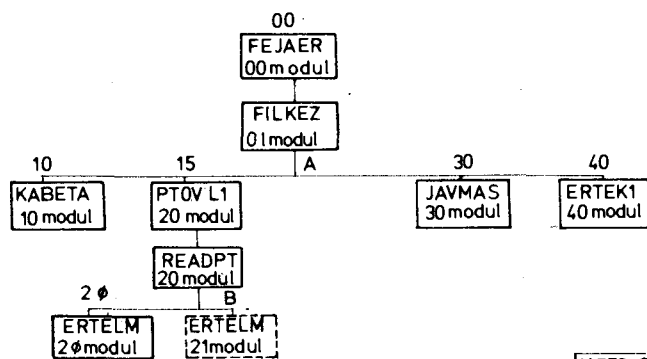
tételek számának és a vizsgált áramkörök bonyolultságának növekedése következtében a rendszer működését körülményessé tette, lelassította.

Szükségessé vált egy olyan új program elkészítése, amely a fentebb ismertetett három műveletet egy futás alatt elvégzi, és ezáltal felgyorsítja a feldolgozás folyamatát. Megírása során arra törekedtünk, hogy kezelése egyszerűbb, a nyomtatott listák áttekinthetőbbek legyenek, mint az az előző programok esetében volt. Ezért például a feldolgozáshoz szükséges kiegészítő információkat (a paraméterek száma, a paramétercsoportok beosztása, a paraméterek határadatai stb.) nem kártyán adjuk meg minden egyes futás alkalmával, hanem mágnesslemezen tároljuk, és szükség esetén onnan olvassuk be. A lyukszalagokat a program tetszőleges sorrendben tudja beolvasni (a korábbi kötött sorrenddel szemben), amit az tesz lehetővé, hogy az adatokat átmenetileg disken tároljuk, és csak az összes lyukszalag beolvasása után írjuk ki — rendezett formában — mágnesszalagra. A paraméterlistát azáltal tettük áttekinthetőbbé, hogy a paramétereket paramétercsoportonként bontásban, a paramétercsoport nevének kiírásával nyomtatjuk ki.

Mint az a 2. ábra tömbvázlatán látható, a program ún. fa szerkezetű. A memóriában csak a 00 szegmens található állandó jelleggel, a program többi modulját csak azok aktivizálásakor tölti be a felügyelő program mágnesslemezzel. Így sikerült megvalósítani azt, hogy a program az előbbieken ismertetett feladatoknak maradéktalanul megfelel, ugyanakkor a memórialekötés elfogadható.

Az egyes szegmensek feladata röviden a következő:

- 00 szegmens: A FEJAER nevű 00 modul és a FILKEZ nevű 01 modul alkotja. A 00 modul a program fő eljárása, megfelelő sorrendben aktivizálja a 10, 15, 30 és 40 szegmensek egyikét, és hívja az azokban található eljárásokat. A 01 modul a fileokat kezeli.
- 10 szegmens: A KABETA nevű 10 modul alkotja. A kártyaolvasóról beolvassa a javító és vezérlő információkat tartalmazó lyukkártyákat, és a disken tárolja azokat.
- 15 szegmens: A PTÖV L1 nevű 20 modul és a READPT nevű 20 modul alkotja. Ez utóbbi az egyetlen USER-CODE-ban írt modul, és a lyukszalagolvasót kezeli. A fő eljárás a



H773-2

2. ábra. Az integrált áramkörök mérési eredményeinek feldolgozását végző program szerkezeti vázlatja

PTOLVI-et hívja a szegmens aktivizálása után. A modul (a READPT segítségével) beolvassa lyukszalagról a mérési eredményeket, értelmezi és belső kódolási formában a disken tárolja azokat.

- 20 szegmens: A 20 modul alkotja. Az előzőekben ismertetett 15 szegmens aktivizálja, feladata a lyukszalagra lyukasztott információ jelentésének „megfejtése” és kódolása a számítógép belső kódjának megfelelően.
- 30 szegmens: A JAVMAS nevű 30 modul alkotja. Feladata a már korábban mágnesszalagra kiírt adatok kijavítása. A javító információ vagy kártyáról, vagy lyukszalagról (esetleg mindkettőről) származhat, de amikor ez a modul aktiválásra kerül, már mindenképpen disken van. Az elsőként lyukszalagról beolvasott adatokat is ez a modul írja át mágnesszalagra. A JAVMAS eljárás készíti az előzőekben már említett paraméterlistát.
- 40 szegmens: Az ERTEK1 nevű 40 modul alkotja. A mágnesszalagon tárolt adatokat beolvassa diskre és elvégzi az előírt feldolgozást. Az eredményeket sornyomtatón kinyomtatja. A jelenlegi kiépítésben háromféle kiértékelési forma választható:

1. A legfontosabb statisztikai jellemzők — minimum, átlag, maximum és szórás — kiszámítása.
2. Az 1. pontban felsoroltak és a gyakoriság eloszlási táblázat meghatározása hisztogram készítéséhez.
3. A 2. pontban felsoroltak és a százalékos diagram táblázata, valamint a megbízhatósági jellemzők.

Az előbbieket után vizsgáljuk meg röviden a program működését. A FEJAER fő eljárás aktivizálja a 10 szegmenst, és hívja a KABETA rutint. A KABETA beolvassa a kártyákat, és disken tárolja azokat. A következőkben a fő eljárás megvizsgálja, hogy van-e beolvasandó lyukszalag. Ha van, akkor előbb a 15 szegmenst aktiválja (a PTOLVI rutin elvégzi a lyukszalagok beolvasását), majd a 30-at; ha nincs, akkor azonnal a 30-t aktiválja, de csak akkor, ha van javító kártya. Utoljára a 40 szegmens aktiválása kerül sorra. Az ERTEK1 szubrutin elvégzi a választott értékelési változatnak megfelelő számításokat, és elkészíti a megfelelő listákat.

Mint az a szerkezeti vázlatból látható, a program könnyen kiegészíthető olyan modulokkal, amelyek lehetővé teszik különböző mérőautomaták által készített lyukszalagok feldolgozását. Az értékelési változatok további bővítését tervezzük a jövőben.

A vizsgálati eredmények értékelése

A feldolgozott mérési adatok alapján a vizsgálatok fontosabb eredményeit az 1–3. táblázatokban adjuk meg. Az értékelésnél a meghibásodás kritériuma a következő volt: hibás az az áramkör, amelynek legalább egy paramétere túllépi a katalógusban megadott határt, vagy amelyik funkcionálisan hibás.

Az 1–2. táblázatok a meghibásodások időbeli eloszlását és a meghibásodási ráta 90%-os konfidencia szinten meghatározott felső határát közlik. A táblázatokat összehasonlítva látható, hogy különböző gyártótól származó közel azonos bonyolultságú és technológiájú áramkörök λ -faktora között 4–20-szoros eltérés van.

A 74142 típusnál a meghibásodások csak kis számban, véletlenszerűen fordultak elő, és a hibaanalízis sem tárt fel jellemző hibamechanizmust.

A 74191 típus esetében meghibásodások nagy számban következtek be — különösen a tárolás-vizsgálat folyamán —, és valamennyi esetben a kimeneti „0” szintek lépték túl a katalógusban specifikált 0,4 V-os határt. A számítógépes feldolgozás segítségével elkészített 3. táblázatban — amely a túlcserdülést jelző kimenetek „0” szintjének eloszlását adja meg az egyes mérési időpontokban a tárolási vizsgálat folyamán — jól megfigyelhető az említett paraméter folyamatos növekedése (a 4000 és 6500 órás eloszlásban a hibaanalízis céljára kiemelt áramkörök pa-

1. táblázat

A 74142 típusú áramkörök vizsgálati eredményei

Vizsgálati feltételek	Vizsgált menny. db	Mérési időpont (óra)						λ_{rel} 90%-os konfidencia szint [10 ⁻⁴ /óra]
		168	500	2000	4000	6500	10 000	
		meghibásodott áramkörök száma						
Tárolás 150 °C-on	60	0	1	0	2	1	1	16,3
Dinamikus terh. I. $t_a = 70$ °C	30	0	0	0	0	0	0	7,7
Dinamikus terh. II. $t_a = 70$ °C	30	0	0	0	0	0	0	7,7

2. táblázat

A 74191 típusú áramkörök vizsgálati eredményei

Vizsgálati feltételek	Vizsgált mennyiség db	Mérési időpont [óra]						λ_{rel} 90%-os konfidencia szint [10 ⁻⁴ /óra]
		168	500	2000	4000	6500	10 000	
		meghibásodott áramkörök száma						
Tárolás 150 °C-on	60	10	0	4	13	33	—	312,4
Kvázisztatikus terhelés $t_a = 25$ °C	30	3	0	0	0	0	1	29,2
Dinamikus terhelés $t_a = 55$ °C	30	8	0	0	0	1	2	80,9

Megjegyzés: az elektromos terheléseknél a chip hőmérséklet 120–130 °C között volt.

3. táblázat

A 74191 típusú áramkörök túlesordulást jelző kimeneti „0” szintjének feszültségeloszlása az egyes mérési időpontokban a 150 °C hőmérsékletű tárolásvizsgálat iolyamán

Mérési időpont [óra]	Kimeneti „0” szintű feszültség [V]					
	0,20— 0,25	0,25— 0,30	0,30— 0,35	0,35— 0,40	0,40— 0,45	0,45—
	A fenti intervallumokba eső paraméterek száma					
0	1	26	37	56	0	0
168	1	21	34	54	10	0
500	1	20	34	55	10	0
2000	0	20	33	50	17	0
4000	0	9	20	46	15	12
6500	0	0	1	0	3	76

ramétere nem szerepelnek). A hibás áramkörök felboncolása után fénymikroszkópos vizsgálattal megállapítottuk, hogy ezt a jelenséget a bondolásoknál

fellépő bíborpestis okozta. Az ennél a típusnál előforduló sok meghibásodás előzetes várakozásunknak megfelelt, ugyanis már a 0 órás mérések során az áramkörök közel 50%-ának volt olyan kimenete, melynek „0” szintje 0,35 V és a maximálisan megengedett 0,4 V közé esett.

A különböző igénybevételek eredményei közötti eltéréseket egyrészt a hőmérsékletkülönbség, másrészt a már 0 óránál meglévő paramétereloszlásbeli különbség magyarázza.

I R O D A L O M

- [1] Hnatek, E. R.: Microprocessor Device Reliability. Microelectronics and Reliability, Vol. 17. No. 3. 1978. pp 379—385.
- [2] Jowett, C. E.: Practical applications of accelerated testing of electronic devices. Microelectronic Journal, Vol. 9. No. 2. 1978. pp 19—23.
- [3] Váradi István: Integrált áramkörök megbízhatósági vizsgálata során kapott mérési eredmények számítógépes adatfeldolgozása. 25 éves a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet, Jubileumi Kiadvány, 3. k. 18—20. old. Interpress Kiadó, Budapest, 1978.