

Beszámoló az „5. Megbízhatóság az elektronikában” (RELECTRONIC '82) Szimpóziumról

Az „5. Megbízhatóság az elektronikában” Szimpóziumot a Magyar Tudományos Akadémia műszaki osztálya védnöksége mellett a MTESZ társ egyesületei — a Híradástechnikai Tudományos Egyesület, a Bolyai János Matematikai Társulat és a Közlekedéstudományi Egyesület Posta- és Távközlési Tagozata — közösen rendezték meg 1982. október 25. és 29. között Budapesten, a Technika Házában.

A szimpóziumon 17 országból több, mint 250 szakember vett részt és 70 előadást tartottak három szekcióban. A szekciókban megtartott előadásokon túlmenően három kerekasztal-megbeszélés megszervezésére is sor került.

Az egyes szekciókban megtartott előadásokról és a kerekasztal-vitákról az alábbiakban adunk áttekintést.

1. szekció: A megbízhatóság, a karbantarthatóság és a használhatóság elméleti kérdései

Az elméleti szekciókban és a plenáris ülésen ehhez kapcsolódóan elhangzott, összesen 22 előadást témakörök szerint a következőképpen csoportosíthatjuk:

- a megbízhatóság optimalizálása;
- a megbízhatóság előrejelzése és becslése;
- a megbízhatóság értékelésének számítógépes módszerei, software megbízhatóság;
- bonyolult rendszerek megbízhatóságának modellezése;
- a megbízhatóság oktatási kérdései.

Az első témakörben *Biernat, J.* (LTK) előadásában az optimális helyettesítési stratégia meghatározásával foglalkozott. A rendszer használhatósági (üzemkészségi) tényezőjének maximum értékét határozta meg, minimális átlagos költség mellett. Az előadó feltételezte, hogy a meghibásodott rendszerbeli alkatrészeket teljesen felújítják, azaz meghibásodásuk esetén működőképességüket helyettesítéssel vagy javítással teljesen helyreállítják. Ismerve a hibamentes működés $R(t)$ valószínűségét, az átlagos javítási időt T_1 , az átlagos tervezett helyettesítési időt T_2 , az optimális helyettesítési időt az $A(\tau)$ használhatósági (üzemkészségi) tényező maximum helyének megkeresésére vezet vissza, azaz a szélső értékét

határozza meg az

$$A(\tau) = \frac{\int_0^{\tau} R(t) dt}{\int_0^{\tau} R(t) dt + T_1[1 - R(\tau)] + T_2 R(\tau)}$$

függvénynek. Ez ekvivalens az átlagos $c(\tau)$ költségrendszer idő függvény, azaz a

$$C(\tau) = \frac{C_1[1 - R(\tau)] + C_2 R(\tau)}{\int_0^{\tau} R(t) dt}$$

függvény minimum helyének meghatározásával, ahol c_1 jelöli az átlagos javítási költséget, c_2 pedig az átlagos helyettesítési költséget. Ugyanis az

$$\alpha = \frac{C_2}{C_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

költség-együttható és a

$$\gamma(\alpha, \tau) = \frac{1 - (1 - \alpha)R(\tau)}{\int_0^{\tau} R(t) dt}$$

veszteség függvény bevezetésével a használhatósági tényező és a költség-függvény

$$A(\tau) = [1 + T_1 \gamma(\alpha, \tau)]^{-1}$$

$$C(\tau) = C_1 \gamma(\alpha, \tau)$$

alakban írható fel. Ez azt jelenti, hogy a veszteségi függvény minimum helyének meghatározására vezethető vissza $A(\tau)$ és $C(\tau)$ szélsőérték helyének megkeresése.

A szerző a számítások egyszerűsítése érdekében alsó és felső korlátokat ad meg a költség-együtthatóra „n-ből k”-típusú rendszerek esetében. Ezeket a határokat felhasználva Weibull-eloszlás esetében kiszámítja az optimális helyettesítési időt.

Chrobák, O. (CSSZSZK) a használhatósági (üzemkészségi) tényező optimalizálási eljárásait tárgyalta telefonközpontok esetében. Feltételezve, hogy a rendszerben működő alkatrészek meghibásodási rátája állandó, valamint az egyes elemek T_i átlagos hely-

reállítási ideje is állandó ($i=1, 2, \dots, n$) és a helyreállítás ideje alatt a rendszer kikapcsolt állapotban van, a rendszer A használhatósági tényezője a következő:

$$A = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \lambda_i T_i}$$

Ha A megkövetelt értéke az elemek meghibásodási rátájának $\Delta\lambda_i$ -vel való csökkentésével, illetve átlagos helyreállítási idejük ΔT_i -vel való csökkentésével érhető el, akkor az A_0 megkövetelt érték

$$A_0 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n (\lambda_i - \Delta\lambda_i)(T_i - \Delta T_i)} \quad [1]$$

alakú. A feladat annak meghatározása, hogy a megbízhatóság és javíthatóság növelését célzó költségek C függvénye

$$C = \sum_{i=1}^n \left[\frac{a_i \Delta\lambda_i}{\lambda_i - \Delta\lambda_i} + \frac{b_i \Delta T_i}{T_i - \Delta T_i} \right] \quad (a_i, b_i \text{ ismert állandók})$$

milyen $\Delta\lambda_i$ és ΔT_i értékek mellett veszi fel minimumát az [1] összefüggés, mint feltétel, teljesítése esetén. A feltételes szélső érték feladatot megoldva a szerző a következő eredményeket kapta:

$$\Delta\lambda_i = \lambda_i - \left(\frac{a_i^2 \lambda_i^2}{b_i T_i} \right)^{1/3} \left(\frac{1 - A_0}{A_0 \sum_{i=1}^n a_i b_i \lambda_i T_i} \right)^2$$

$$\Delta T_i = T_i - \left(\frac{b_i T_i^2}{a_i \lambda_i} \right)^{1/3} \left(\frac{1 - A_0}{A_0 \sum_{i=1}^n a_i b_i \lambda_i T_i} \right)^2 \quad (i=1, \dots, n)$$

A szerző a fenti általános elméleti eljárásán túlmenően közelítő eljárást is ismertetett, valamint számszerű példákat közölt az eljárások gyakorlati alkalmazásának bemutatására.

Zalcman, M. (LNK) a tartalékelemek optimális számának meghatározását ismertetette. n számú, azonos p hibamentes valószínűséggel rendelkező működő elemből és m számú tartalékelemből álló rendszert („ $n+m$ ”-ből „ n ” típusú rendszert) vizsgált. Ha az egyes elemek felújításának költségét C_1 , a rendszer meghibásodásával járó költséget C_2 jelöli, akkor a rendszer üzemeltetési költsége egy működési ciklusban a következő:

$$C^{(1)}(m) = (n+m)C_1 + C_2 \sum_{j=0}^{m-1} \binom{n+m}{j} p^j (1-p)^{n+m-j}$$

Ez a költségfüggvény minimumát olyan m_0 tartalékelemszám mellett veszi fel, amelyre a következő relációk teljesülnek

$$\binom{n+m_0-1}{n-1} p^n (1-p)^{m_0} > C_1/C_2,$$

$$\binom{n+m_0}{n-1} p^n (1-p)^{m_0+1} < C_1/C_2$$

$n=1$ esetén

$$m_0 = \left\lceil \frac{\ln(C_1/pC_2)}{\ln(1-p)} \right\rceil,$$

ahol $\lceil x \rceil$ x egész részét jelöli (az x -nél nem nagyobb egész számok közül a legnagyobb).

A szerző ezen túlmenően meghatározza két egymást követő felújítás között azt az időtartamot, amely minimalizálja a rendszer üzemeltetési költségét.

A rendszer megbízhatóság előrejelzése területén több előadás foglalkozott a számítások elvégzéséhez szükséges alkatrész megbízhatósági modellek elméleti továbbfejlesztésének és gyakorlati alkalmazásának tapasztalataival. Az előadások közül ki kell emelni Goarin, R. (Franciaország) előadását, aki a francia Megbízhatósági Központ megbízhatósági kézikönyvében ismertetett megbízhatósági modellek kialakításának tapasztalatairól számolt be. Rámutatott arra, hogy az előrejelzett és üzemeltetés során megfigyelt megbízhatósági adatok közötti eltérések szükségessé teszik, hogy az adatok statisztikai feldolgozásán túlmenően figyelmet fordítsanak a meghibásodott alkatrészek hibaanalízisére. Ennek segítségével, meghatározhatók ugyanis azok a legfontosabb hibamechanizmusok, amelyek különböző igénybevételi szinteken az alkatrészek meghibásodásához vezethetnek. Integrált áramkörök esetében a magas hőmérsékleten (pl. 125 °C-on) végzett laboratóriumi vizsgálatok és az alacsonyabb hőmérsékleti igénybevételi szintet jelentő (40–50 °C hőmérsékletű) üzemeltetési vizsgálatok eltérő hibamechanizmusokat idéznek elő. Ezért a klasszikus Arrhenius modellt úgy célszerű általánosítani, hogy a különböző hibamechanizmusokhoz tartozó aktiválási energiákat azok előfordulási gyakoriság eloszlásának megfelelő súlyokkal veszik figyelembe. Ezáltal elérhető az előrejelzett és megfigyelt megbízhatósági jellemzők közötti nagyobb korreláció.

Balogh, A. (MNK) a különböző adatforrásokból (laboratóriumi, üzemeltetési adatforrások; illetve különböző alkalmazási környezetek — földi laboratóriumi, földi rögzített és mozgó környezet, légi, tengeri stb.) származó megbízhatósági adatok összevonásának statisztikai kérdéseivel foglalkozott. A különböző forrásból származó meghibásodási ráta becslések összevonására olyan becslési módszert javasolt, amely súlyozottan veszi figyelembe az egyes adatokat. Ezek a súlyok fordítottan arányosak a becslések szórásnégyzetével. Így a kisebb szórású becslést nagyobb súllyal lehet figyelembe venni. Ezzel biztosítható, hogy az alkatrészek megbízhatóság előrejelzési modelljébe az üzemeltetési adatokat jobban megközelítő meghibásodási értékek legyenek beépíthetők.

A megbízhatósági jellemzők becslésével foglalkozó előadások közül meg kell említeni Hryniewicz, O. (LNK) előadását, amely exponenciális működési idő eloszlás esetében a csoportosított megbízhatósági adatokból származtatott Bayes-féle becslést ismertetette, ha az exponenciális eloszlás paraméterének „a priori” eloszlása egyenletes — vagy gamma eloszlás.

Härtler, G. (NDK) az élettartam-vizsgálatok információelméleti kérdéseivel foglalkozott. Az információk mennyisége a valószínűségi eloszlástól, a

meghibásodások számától és a vizsgálat megszakításának időpontjától (csonkítási időponttól) függ. Két esetet vizsgált: *a*) az exponenciális eloszlású minták közötti különbség és a csonkítási időpont hatása az információmennyiségre; *b*) a Weibull-eloszlás esetében a likelihood függvény információ mennyisége. Nagy megbízhatóságú alkatrészek esetében az információmennyiség nagyon csekély, ezért a gyorsított vizsgálatokat és a Bayes-módszer alkalmazását kell előtérbe helyezni.

A számítógépek megbízhatóságának értékelését általánosította *Krawczyk, H. (LNK)* abban az értelemben, hogy a hardware és a software megbízhatóságot együttesen vizsgálta. A rendszer felélesztésének különböző stratégiáit ismertette és Markov-folyamatok segítségével határozta meg a használhatósági (üzemkészségi) tényező értékét.

A megbízhatósági vizsgálatok számítógépes értékelésével foglalkozott *Drapella, A. (LNK)*, aki az alakfelismerési módszert alkalmazta gyorsított vizsgálatok eredményeinek elemzésére, a különböző degradációs folyamatok felismerése lehetővé teszi a vizsgálati mintanagyság és idő csökkentését.

Várad, J. és Balogh, A. (MNK) az alkatrészek megbízhatósági előrejelzési modelljének számítógépes értékelési eljárásait ismertette, kitérve a modellek továbbfejlesztésére szolgáló algoritmusok tárgyalására.

Blowszkij, V. (LNK) a számítógép-rendszerek megbízhatóságára vonatkozó üzemeltetési adatgyűjtés egyes problémáit ismertette előadásában.

Bemann, H. B. (NDK) az idő-sor analízis megbízhatóság-szimulációra történő alkalmazásának kérdéseit tárgyalta.

A bonyolult rendszerek megbízhatóságának modellezésével foglalkozó előadások közül ki kell emelni *Petrik, O. (MNK)* előadását, aki az elméleti modellezésen, a költség-optimalizálási kérdéseken túlmenően a Markov-folyamatok rendszer-megbízhatóság értékelésére történő alkalmazását ismertette egyes gyakorlati esetekben.

Jazwinski, J. és Fiok, K. W. (LNK) a rendszerek üzembiztonságának és hatékonyságának általános problémáival foglalkozott, a Markov-folyamatok segítségével modellezték a rendszerek üzembiztonságát és hatékonyságát együttesen leíró függvényt. *Preuss, W. (NDK)* a bonyolult műszaki rendszerek használhatósági tényezőjének kijavítására vonatkozó eljárásokat tárgyalta. *Zalman, M. (LNK)* olyan rendszer megbízhatóságának értékeléséről tartott előadást, amelyben az egyes elemek megbízhatósága négyállapotú modellel írható le. *Schmidtke, S. és Reche, W. (NDK)* az elektronikai termékek megbízhatósági jellemzőinek meghatározására irányuló vizsgálati és értékelési eljárások gazdaságos változatainak kiválasztásával és azok gyakorlati megvalósításával foglalkozott előadásában. *Jazwinski, J. és Sipnik, P. (LNK)* a bonyolult rendszerek üzemképes állapotai ellenőrzésére irányuló stratégiákat ismertette, a rendszer üzemeltetése általános modelljének alapján. *Konopka, T. (LNK)* a rendszer megbízhatósági szempontból történő tervezésének számítástechnikai kérdéseit tárgyalta. *Goranova, E. (BNK)* a megbízhatóság

biztosításának és javításának általános szabályszerű és irányítási kérdéseivel foglalkozott. *Büttner, H. G. (NDK)* számítógépes berendezések általános megbízhatósági kérdéseit tárgyalta.

Dr. Almásy, Gy. (MNK) plenáris ülésen megtartott előadása nagy érdeklődést váltott ki, mivel a megbízhatóság oktatási kérdéseiről adott összefoglaló áttekintést, kiemelve a postgraduális képzés jelentős szerepét. Ezzel kapcsolatban ismertette a Magyarországon, a BME-n megindított megbízhatósági szakmérnökképzés tematikáját és az első évek oktatásának gyakorlati tapasztalatait.

2. Szekció: Elektronikus alkatrészek megbízhatósága

Az elhangzott 23 előadás négy témakört ölelt fel:

- félvezetőeszközök és integrált áramkörök megbízhatóságát befolyásoló tényezők;
- kondenzátorok, folyadékkristályos kijelzők, egyéb passzív alkatrészek megbízhatóságának vizsgálata;
- érintkezők és csatlakozók megbízhatóságának vizsgálata;
- védőbevonatok, tokozások szerepe az eszközök megbízhatóságának növelésében.

Csaknem valamennyi előadásban hasonló volt a problémakör megközelítésének, feldolgozásának módja, azokat a fizikai és kémiai anyagtulajdonságokat kívánták megérteni, azokat a fizikai-kémiai folyamatokat értelmezni, amelyek az elektronikus eszközök megbízhatósága, ill. degradációja szempontjából döntő fontosságúak. Az elektromos paraméterek méréséhez ezért általában szorosan hozzátartozott a vizsgált struktúra szerkezetének, kémiai jellemzőinek 3-dimenziós meghatározása — felhasználva a korszerű felületvizsgálat és mikroanalitika olyan eszközeit, mint a pásztázó elektronmikroszkóp, az elektronsonda, az Auger elektron-spektrométer és olyan viszonylag új elektromos vizsgálati módszereket, mint pl. a mélynívó spektroszkópia. A megbízhatósági vizsgálatok sok esetben ösztönzői voltak az alkatrészgyárakban a technológiai eljárások módosításának, esetleg merőben új technológia kialakításának és számos felismeréshez vezettek a szilárdtestfizika és szilárdtestkémia területén. Gazdasági eredményük — a hibaokok feltárása révén — a kihozatali százalékok növelésében jelentkezett. Ez a komplex szemléletmód — összehasonlítva a jelenlegi szimpózium előadásait a korábbiakkal — először jelentkezett ilyen általánosan mind a külföldi, mind a hazai előadóknál.

Az összefoglaló értékelésen túlmenően néhány előadásról külön is említést kell tennünk. Az LSI áramkörök üzemi megbízhatóságának növelése érdekében *E. B. Batürev (SZU)* a kimeneteken megjelenő véletlenszerű folyamatokat elemezte és valószínűség-számításon alapuló módszert dolgozott ki egyszerű és gazdaságos ellenőrzésükre.

H. Benbadis (Franciaország) PMOS és CMOS mikroszámítógépek megbízhatóság-növelésében a TEXAS cégnél alkalmazott stratégiát mutatta be, amelynek egyes lépései: a hibaokok elkülönítésére

szolgáló ún. PARETO-diagram felvétele, ennek alapján a meghibásodást okozó legfontosabb tényezők (oxidminőség, fémezés, túlfeszültség érzékenysége) megállapítása és kiküszöbölésük a technológia módosításával (pl. az oxid stabilizálása P-adalékolással, a véletlen szennyezőforrások felderítése és kiküszöbölése) ill. megújításával (alacsony hőmérsékletű gate-oxidáció, Ar-impiantáció).

B. *Veleva-Nenkova* és J. *Gancheva* (Bulgária) 2 különböző MOS-LSI áramkörösre mutatta be a szófiai Mikroelektronikai Intézetben kifejlesztett hibaanalízis módszert. („Failure Mode Cause Analysis” FMCA), amely egyik alapja az IC fejlesztésének, azaz a struktúra és a technológia javításának. A *Benbadis* által felsoroltakon kívül észlelték a fotolitográfia hibái okozta parazita diffúziót, valamint a szennyeződések miatti mikroplazma letörést a pn-átmenetben. A technológia módosításával a hibák nagy részét kiküszöbölték.

M. *Kejzar* (Csehszlovákia) előadásában MIS-IC-k és p-csatornás MOS tranzistorok küszöbvesztésszabályozásának növelésével foglalkozott, kiemelve a témakörön belül a gyorsított vizsgálatokból (elsősorban „BT-test”) levonható következtetéseket.

MOS-FET-eszközök megbízhatóság vizsgálatai során S. *Hellström* (Svédország) olyan szimulációs programot alakított ki, amely figyelembe veszi a gate-oxid és a szilícium hordozó határfelületében a szennyező ionok és csapdák koncentrációjának — technológiai, ill. alapanyag változások miatti — eltéréseit. Módszere — amit kísérletileg is igazolt — alkalmas annak megállapítására is, hogy a méretcsökkentés, vagy más tervezési módosítás hogyan befolyásolja az oxidréteg hibáit, valamint lehetőséget ad az időbeni változások (öregedés) becslésére.

Adott technológiai folyamat (kontaktus fémezés) hatását InP-eszközök megbízhatóságára *Mojzes, I.* (Magyarország) és munkatársai ismertették. A kontaktus minősítésére mérési módszereket dolgoztak ki, meghatározták a degradációs folyamat aktivizálási energiáját s ezen felismerések alapján új technológiát alakítottak ki.

A GaP:N fényemittáló diódák meghibásodási folyamatának követésére *Ferenczy Gy.* (Magyarország) a mélynívó spektroszkópia módszerét alkalmazta, egyidejűleg mérve a kisebbségi töltéshordozók élettartamát is. E kombinált vizsgálat kiemelkedő eredménye, hogy a hiba keletkezési-, ill. feloldódási folyamatok nyomkövethetők, minden hibatípusra megadható saját rekombinációs, ill. generációs sebessége s így — ellentétben a szokásos gyorsított vizsgálatokból nyert feltételezésekkel — az üzemeltetési körülményekre valóságghú extrapolálást nyerhetünk.

Az alapanyag tulajdonságának (szemcseméret, összetétel stb.) megbízhatóságot befolyásoló szerepével a legrészletesebben K. H. *Batner* és munkatársainak a ZnO varisztorok degradációjáról, valamint *Scyfried É.* (Magyarország) folyadékkristályos kijelzők megbízhatóságáról szóló előadásai foglalkoztak.

Nagyon érdekes volt a finn P. *Jaaskelainen* előadása, aki azt vizsgálta, hogy egy közepes méretű elektronikai vállalat (3000 fő, évi 150 millió dolláros forgalom) hogyan szervezte meg minőségbiztosító és

megbízhatóság ellenőrző tevékenységét (Q+R), valamint a specialista képzését (60—70 fős postgraduális Q+R mérnökképzés évente a helsinki Műegyetemen, házon belüli továbbképzés.)

Az aktív és passzív elektronikus eszközök megbízhatóságával foglalkozó előadások szemléletmódjához hasonlóan az érintkezők és csatlakozók megbízhatóság vizsgálataiból, valamint hibaanalíziséből is lehetett olyan következtetéseket levonni, amelyek tudatos technológiai változtatásokhoz vezettek és amelyekből korróziós mechanizmus is megállapítható volt. Ilyen eredményeket ismertettek előadásukban *Fejér Gy.* és *Kormány T.*

Az üzemeltetési körülmények között lejátszódó fizikai-kémiai folyamatok értelmezésével, az érintkezők és csatlakozók felületén együttes környezeti és elektromos hatások következtében végbemenő reakciók felderítésével és szimulálásával kiemelkedő színvonalon és részletességgel *Kovács Gy.* (Magyarország) foglalkozott és e tématerülethez nyújtott értékes hozzájárulást T. *Dabrowskának* (LNK) és munkatársainak előadása is. Az Al-kábelek telefonhálózatokban való alkalmazásának problémakörét B. *Wiltshire* (Anglia) tárgyalta, ragyogó példáját adva annak, hogy biztos anyagtechnológiai és konstrukciós ismeretekkel hogyan lehet egy olcsó, de fizikai tulajdonságaiban a réznél kedvezőtlenebb anyagból nagy megbízhatóságú terméket előállítani.

A megfelelő védőbevonatok kiválasztása ma még nem egyértelmű feladat. Ez tükröződött a szekció előadásain is. A védőbevonatok VLSI-áramkörök megbízhatóságát növelő szerepével J. H. *Davis* (Anglia) foglalkozott. Megállapította, hogy a speciálisan e célra előállított szilikonpolimerek tökéletes védelmet biztosítanak a környezeti hatások ellen és így megbízhatóság növelő szerepük van. B. *Eckert* (NSZK) szerint viszont a drága hermetikus lezárás és az olcsó védőbevonat hatását kell egyesíteni, oly módon, hogy megfelelő epoxy-ragasztóval kerámia védősapkát ragasztunk a hibrid integráltáramkörökre, a műanyag bevonat ugyanis nem ad kellő megbízhatóságot.

A műanyag bevonatok alkalmazásánál előforduló hibák közül az egyik legkellemetlenebb a klorid szennyeződés. *Kalmár Gy.* és *Nényei Zs.* (MNK) tisztázták, hogy a szennyeződés forrása a technológiában felhasznált halogénezett szerves oldószer.

3. Szekció: Elektronikai rendszerek megbízhatósága, karbantarthatósága és használhatósága

A konferencia harmadik szekciója az elektronikus rendszerek és berendezések megbízhatóságával, karbantarthatóságával és használhatóságával (availability) foglalkozott. A szekcióban 23 előadás hangzott el és témája alapján ide sorolható még 3 plenáris előadás is.

A Relectronic 77 szimpóziumon elhangzott előadások spektrumával összevetve megállapítható, hogy növekedett a megbízhatóságot, karbantarthatóságot és használhatóságot összefüggéseiben vizsgáló és a berendezések élettartamköltségeit komplex módon elemző referátumok száma. Új vonás, hogy

megjelent a software-megbízhatóság témaköre. Megfigyelhető a távközlő berendezések fontossági súlyának növekedése, ugyanis a vizsgált konkrét rendszerek zöme a távbeszélő központok, hálózatok és átviteltechnikai berendezések területéről származott. Feltűnően kevés előadás foglalkozott számítástechnikai berendezésekkel és mindössze 1 előadás hangzott el a közszükségleti elektronika területéről.

A téma újdonságánál fogva célszerű kiemelni *H. Malec* (USA), az ITT stratfordi laboratóriumának fejlesztési igazgatója által tartott előadást: távközlő rendszerek software-megbízhatósági problémáiról. A software jóságát világszerte sokféle intuitív módszerrel vizsgálják és minősítik, de hiányzik az a transformációs kulcs, amely a feltérképezett SW hibáknak a rendszer teljesítőképességére és megbízhatósági mutatóira gyakorolt hatását egyértelműen kifejezhetővé tenné. A SW megbízhatósági modellekből rendszerint hiányzik a SW hibák kritikusság szempontjából történt osztályozása és az egyes osztályok előfordulási gyakoriságának ismerete. Ilyen jellegű gyakorlati osztályozásra az előadó konkrét példát mutatott be. Megjegyezte, hogy a hardware integráltsági fokának növekedtével (az LSI és VLSI áramkörök terjedésével) a HW és SW hibák szétválasztása egyre nehezebb feladat lesz. Ennek következtében a megbízhatóság modellezésében is növekszik az igény kombinált HW/SW megbízhatósági modellek felállítására, Markov-folyamatok segítségével. Másrészt növekszik az igény SW hiba tűrő távközlő rendszerek iránt (pl. No. 4ESS rendszer), amelyek tranzien SW hibákkal „szennyezett” üzemi környezetben is képesek zökkenőmentesen, vagy legfeljebb különböző szintű automatikus restartok révén folyamatosan üzemelni. Az ilyen átmeneti hatású, legfeljebb restartot előidéző SW hibák aránya a katasztrofális SW hibákhoz képest általában 100:1 – 500:1 között mozog.

H. Malec megfogalmazott néhány igen érdekes trendet:

- a tranzien SW hibák száma annál kevesebb, mennél jobban elosztott vezérlésű a rendszer,
- a tranzien SW hibák száma annál több, mennél jobban lecsökken az 1 funkció végrehajtására rendelkezésre álló idő,
- nagy távközlő rendszerekben a tranzien SW hibák száma időben állandó, a katasztrofális hibáké csökkenő,
- kicsiny távközlő rendszerekben a tranzien SW hibák száma időben csökkenő,
- a program nagyságának növekedtével a SW tranzien hibák száma csökken, a HW hibák száma pedig növekszik,
- ha a processzálas hierarchia szintekre tagolódik, mindegyik szint gátként szolgál az alatta levő szinten keletkezett tranzien SW hiba hatásának szétterjedése ellen,
- a távközlő rendszerek HW megbízhatóságának növekedési üteme mögött a SW megbízhatóság növekedési üteme lemaradt, ami azt bizonyítja, hogy a SW megbízhatatlanságának valódi okait még nem sikerült olyan mélyrehatóan elemezni, mint a hardware hibaokokat.

Ugyancsak újszerű volt *R. Freeman* (USA), az IBM szakemberének számítógépes adatátviteli hálózatok karbantarthatóságával foglalkozó előadása, amely egy fiatal, mindössze 4–5 éve megvalósított hibadiagnosztikai eljárás lényeges elemeit tárta fel. A nehezen reprodukálható és meghatározható SW hibák megfogásához nem szükséges csapdákat állítva várni a hiba megismétlődésére, hanem a hibákat első keletkezésük pillanatában fogják el. A modern adatátviteli hálózatokra a számítógépes intelligencia nagyfokú decentralizáltsága jellemző, ami lehetővé teszi valamennyi adatátviteli kapcsolat felépítésének és fennállásának valósidejű nyomonkövetését oly módon, hogy ha hiba keletkezik az összeköttetésben, akkor erről azonnal „in statu nascendi” jelzés megy az operátorhoz és a kapcsolatnak a hibát közvetlenül megelőző „előlete” automatikusan rekonstruálható. Ebből pedig meghatározható az a software-állapot, amelyben a hiba keletkezett, s az elhárítás hatékonyan és gyorsan megtörténhet.

Kiemelten értékes volt az *LM. Ericsson* cégtől *B. Tigerman* és *O. Ahlbom* előadása, akik átviteltechnikai berendezések előrejelzett és tapasztalt megbízhatóságát hasonlították össze. Az előrejelzésnél nehézséget okoz, hogy a beépített alkatrészekre típusonként külön nem áll, és nem is állhat mindig rendelkezésre elegendő konfidenciájú tapasztalati megbízhatósági adat, mivel alkatrésztípusonként kelő konfidenciájú megbízhatósági adatok nyeréséhez legalább 200 halmozott üzemév megfigyelési volumen és legalább 4 megfigyelt hiba szükséges. Még egy 3 millió eszközórás, 8 éves, üzemelő átviteltechnikai berendezéseken végzett megfigyelés-sorozat – amelynek során 5520 hiba „termelődött” – sem nyújthatott elegendő információt az alkatrészek megbízhatóságának típusonkénti becsléséhez. Az információ felbontó képesség ez esetben is csak arra volt elegendő, hogy összevontan, alkatrészcsoportonként határozzanak meg megbízhatósági mutatókat. A családonként közös mutatókra alapozott áramkör-szintű előrejelzés természetesen torzított. Ezzel magyarázható részben, hogy az egységek és berendezések szintjén a tapasztalt megbízhatósági mutatók átlag 11%-kal jobbaknak bizonyultak, mint az előrejelzett értékek, ugyanakkor a tapasztalati értékek szórása 36%-kal volt magasabb (rosszabb) az előrejelzett értékek szórásánál. A meghibásodási ráta tapasztalati értékének szórásstartománya – egységek szintjén – az előrejelzett érték 0,1-szerese és 8-szorosa között helyezkedett el, míg berendezések szintjén 0,25-szöröse és 1,6-szerese között. A tapasztalati és előrejelzett értékek ilyen mértékű egyezése már jó eredménynek számít és alátámasztja az előrejelzések létjogosultságát.

E. Pierre, CCITT tanácsadó tájékoztatást adott a nemzetközi távbeszélő és adatátviteli szolgáltatóknak a CCITT speciális munkacsoportjában kidolgozott és a G. 106 ajánlásban 1980-ban megjelent megbízhatósági fogalomrendszeréről és követelményrendszeréről, valamint a kidolgozás alatt álló további tervezett ajánlásokról, amelyek a teleponia szakemberei számára rendkívül hasznos mércét jelentenek a berendezések és távközlő hálózatok megbízhatóságának tervezéséhez.

J. Antilla—T. Purho—R. Mathaniemi (Finnország) bemutatták a CIT-Alcatel cég E 10B licence alapján Finnországban gyártott, decentralizált vezérlésű mikroprocesszoros DX—100 DX—200 rendszer 1980-ban üzembe helyezett első távbeszélő központjainak megbízhatósági tapasztalatait. Előadásuk egyúttal a megbízhatóság-értékelés kitűnő módszertani összefoglalója is volt. Módszereik illeszkednek a CCITT G. 106 ajánlásához. — A DX központok megbízhatósága lényegesen jobbnak bizonyult az előrejelzetnél, ami elsősorban az LSI integrált áramkörök (főként RAM memóriák) közel 1 nagyságrenddel jobb mutatóinak köszönhető (RAM-oknál 40 FIT, EPROM-oknál 160 FIT hibaráttát tapasztaltak). Az SSI és MSI integrált áramkörök meghibásodási rátája 10 FIT környékén stabilizálódott. A központok meghibásodási rátája az üzembe helyezést követő másfél év alatt csökkenő trendet mutatott, a csökkenés $\beta=0,51$ Weibull alakparaméterrel jellemezhető. Koncentrátoroknál 1,3 hiba /100 vonal/év, tranzit központoknál 3,3 hiba /100 trunk/ év átlagértéket tapasztaltak, amit elfogadható eredménynek könyvelhettek el.

Dr. Nándorfi Gyuláné a Magyar Postánál üzemelő rotary és crossbar típusú távbeszélő-központok megbízhatóságáról nyújtott kendőzetlen képet. Meg kell jegyeznünk, hogy a közölt statisztikai mutatók nem standard üzemi feltételekre jellemző referenciamegfigyelésekből származtak, hanem azokat a hálózat túlterheléséből, a karbantartási színvonal ingadozásából, a központokban folytatott bővítési munkákból és egyéb külső tényezőkből eredő hatások jelentős mértékben terhelik.

Bár a berendezések megbízhatóságához csak közvetetten volt köze, igen érdekes és hézagpótló gyakorlati előadás volt. *A. Sowa* (Lengyelország) beszámolója a villámások által távközlő berendezésekben keltett tranzienis jelenségek fizikai természetéről és a bialystoki műszaki egyetem ezzel kapcsolatos mérési eredményeiről, amelyek a mikroelektronika helyes villámvédelmének tervezéséhez nyújtanak segítséget.

N. B. Szutorikhin professzor (Szovjetunió) a távbeszélő-szolgáltatások katasztrófahelyzet utáni helyreállításának problémájával foglalkozott. Amikor a távbeszélő-forgalom a teljes üzemszünet állapota után megindul, a központ forgalmi terhelése hirtelen megnő és a sikertelen hívások aránya jellegzetes felfutó, majd lecsengő eloszlásképet mutat az időben. A központok forgalmi méretezése útján gondoskodni kell arról, hogy a sikertelen hívások aránya bizonyos korlátokat még ilyen esetben se haladjon meg. A szerző vizsgálta a sikertelen hívások arányának előfizetők által még elviselhetőnek tartott küszöbszintjét, továbbá azt a még elviselhető időtartamot, amelyen belül a sikertelenségi arány a küszöbszintet meghaladhatja, és számszerű ajánlást tett a helyi és helyközi forgalomban megengedhető küszöbszintekre.

3 előadás foglalkozott a távbeszélő-központok forgalmi terheléséből és egységeik meghibásodásából együttesen származó sikertelen hívásarány, mint használhatósági (=service availability) paraméter számításának újszerű, komplex modellezésével. Mindhárom előadásból kitűnt, hogy a vizsgált multi-re-

dundáns rendszerek struktúrája, pontosabban a hibáknak a struktúrán belüli elhelyezkedése (failure-pattern) döntő szerepet játszik a sikertelen hívások valószínűségének meghatározásában.

Dr. K. Fischer (NDK) 3 párhuzamos csatornából álló rendszerre a híváskiszolgálás folyamatát és a meghibásodás/felújítás folyamatát külön-külön Markov-folyamattal modellezte, majd a 2 Markov-folyamat állapot-valószínűségeiből konvolúciós szorzatösszeg képzésével kapta meg a rendszer eredő sikertelenségi valószínűségét.

Dr. Gosztony G.—Schuller A. (BHG, MNK) n db párhuzamos csatornából álló nyalábot, valamint ilyen nyalábokból álló hierarchikus fastruktúrát vizsgált és az egyes csatornák, ill. a fastruktúra nyalábjainak meghibásodásait „hibaforgalom” gyanánt illesztette bele a forgalmi veszteségek számítására alkalmas Erlang-modellbe.

Kesselyák P. (BHG, MNK) $n \times n$ típusú kapcsolómátrixokra vonatkozóan állította fel a forgalmi terhelés és a meghibásodási folyamat által komplex módon befolyásolt sikertelenségi valószínűség számítási modelljét, és bevezette a multi-redundáns rendszerekre általánosan jellemző hibakapacitás fogalmát. A hibakapacitás a rendszerben megtűrhető hibák azon darabszámának várható értéke, amely esetén — adott forgalmi terhelés mellett — a sikertelen hívások valószínűsége még a megengedett korlát alatt marad. A hibakapacitásra vezethető vissza, hogy a hibák felhalmozódását csak nagy fáziskéséssel követi a hívások sikerességi arányának romlása és a felhalmozódott hibák kiküszöbölésének folyamatában csak fáziskéséssel jelentkezik a sikerességi arány javulása.

D. Gardan—G. Griseri—L. Gueguen (CNET, Franciaország) PCM adatátviteli berendezések élettartamköltségeinek elemzésére mutattak be konkrét gyakorlati és igen tanulságos példát, közgazdasági szakemberek és igazgatók számára is bizonyítva, hogy az optimális karbantartási stratégia kialakítása érdekében létesítendő szervizközpont beruházási költségei rövid időn belül megtérülnek.

Ugyancsak a francia távközlés fellegvárából (CNET) *H. Cadin—G. Gouret—C. Heno—M. L. Monfort—Y. Robert* ismertették a francia Posta 1978 óta működő számítógépes megbízhatósági adatgyűjtő rendszerét, a SADE rendszert, amely 1982-ben 1 millió átviteltechnikai csatornára, 30 000 db 2 Mbit/s sebességű digitális linkre, 60 000 ívpontnyi E 10 központra és 50 000 előfizetőt kiszolgáló Metaconta 11 F központra terjedt ki. Eddig összesen 34 000 hiba adatait dolgozták fel.

A hazai előadók sorában *Kovács Vilmos* (MTA Automatizálási Intézet) nagy rendszerek modern megbízhatóságtervezési irányelveiről adott áttekintést, *dr. Sallai Gy.—Kolláth G.* (PKI) városi telefonhálózatok átviteli útjainak túlterhelése vagy meghibásodása következtében szükségessé váló kerülőutas forgalomirányítás stratégiáját meghatározó, valósidejű számítógépes algoritmus alkalmazásáról számoltak be.

Czeiner Antal (Helyközi Postaigazgatóság) átviteltechnikai csatornanyalábok használhatósági és karbantartási tapasztalatait elemezte sokoldalúan és a tapasztalatokból megbízhatósági célértékeket szár-

maztatott. Ezen túlmenően a szükséges tartalékberendezések telepítésmódjára vonatkozóan adott irányelveket.

Több más, értékes hazai és külföldi előadástól sajnálatos módon írásos anyag nem jelent, ill. ismertetésünk kereteit meghaladja, így ezek méltatása nem áll módunkban. E helyen még 1 előadást emlíünk ki.

H. J. Blasberg (NSZK) tartotta az egyetlen közszükségleti elektronikával foglalkozó előadást. Négy különböző cég színes televízió készülékének megbízhatóságát hasonlította össze és arra a következtetésre jutott, hogy a hibák zöme mindegyik esetben készüléktervezési hibákra volt visszavezethető. Az alkatrészek megbízhatósága önmagában még nem elegendő a berendezések megbízhatóságának biztosítására. Ez utóbbiak megbízhatósága csak megfelelő tervezési elvek szigorú betartásával biztosítható.

Kerekasztalviták

A Szimpózium 1. és 3. szekciójának tematikájához kapcsolódóan került sor egy kerekasztal-megbeszélés megszervezésére, „az előrejelzett és megfigyelt megbízhatóság közötti összefüggések” témakörében. A kerekasztal-megbeszélésen a hazai és külföldi szakértők közül 50 szakember vett részt. A neves szakemberek rávilágítottak arra, hogy az előrejelzésen alapuló rendszer-megbízhatóság általában kedvezőtlenebb érték, mint az üzemeltetés során megfigyelt tényleges megbízhatósági jellemző. Ezért szükségesnek tartották az alkatrészek megbízhatóságát modellező függvények folyamatos aktualizálását a rendelkezésre álló üzemeltetési adatok alapján, valamint kívánatosnak tekintették az értékelési módszerek továbbfejlesztését is ezen a területen a pontosabb és a gyakorlati követelményeket jobban megközelítő adatösszetételek meghatározását. Ezen túlmenően megállapítást nyert, hogy a karbantartási és javítási stratégiák kialakításában elsődlegesen a tényleges megfigyelt, üzemeltetési adatokat kell számításba venni. Ennek alapján kell kialakítani a karbantartás-előrejelzési eljárásokat, amelyek a gazdaságossági követelményeket is figyelembe veszik. Az előrejelzési módszerek kialakításánál figyelembe kell venni az ún. alkatrészcsalád elvet (hasonló típusú alkatrészek alkotják az alkatrészcsaládot, amelyet azonos meghibásodási rátával jellemeznek), „az új alkatrész nem rosszabb, mint a régi hasonló típus” elvét; valamint azt, hogy a berendezés-meghibásodások egyik döntő részét a tervezési hibák okozzák.

A 2. szekció kerekasztal-megbeszélését a megbízhatóság biztosításának témakörében szerveztük. A vitát a panel tagjai, neves külföldi és hazai szakemberek indították. Megtárgyalták, hogy mit jelent az elektronikus alkatrészek megbízhatósága szempontjából a technológia megbízhatósága, milyen mértékig gazdaságos a technológiai folyamat ellenőrzése, milyen a kapcsolat a hibaanalízis és a folyamat-, ill. gyártmányellenőrzés között; mi a vélemény a gyorsított vizsgálatokról; kell-e az adott technológiákhoz „mérethez szabott” alapanyag?

A vitában az alábbi álláspontok kristályosodtak ki.

A technológia megbízhatósága azt jelenti, hogy a lejátszódó fizikai-kémiai folyamatok termodinamikáját, reakciókinetikáját ismerjük, a technológia során létrehozni kívánt anyagtulajdonság-változást ellenőrizzük és feltárjuk a technológiai paraméter-változások, valamint az anyagtulajdonság-változások közötti összefüggéseket. A technológia ellenőrzése a legfontosabb feladat, megbízható és reprodukálható terméket csak maximális, lehetőleg „on-line” ellenőrzéssel lehet előállítani, bonyolult IC-k előállításánál a Si-szeleten a teszt-struktúrák a szeletfelület 1/4-ét, 1/3-át elfoglalhatják, s ezeken nemcsak geometriai méreteket és elektromos paramétereket, de pl. elektromosan aktív kristályhibákat, felületi szennyezéseket stb. is ellenőriznek. A hibaanalízis szerves része nemcsak a kutató-fejlesztő tevékenységnek, de a termelésnek is, kezdeményezője a technológia módosításának, ill. megújításának. A gyorsított vizsgálatoknál igen nagy óvatossággal kell eljárni, nehogy olyan folyamatokat gyorsítsunk, amelyekre üzemeltetés során nem kerülhet sor. Egyre inkább tért hódít — különösen az Si-technológiákban — az adott technológiához (bipoláris MOS, CMOS) „illesztett” alapanyag kiválasztása.

A Szimpózium harmadik kerekasztal-megbeszélése azzal a kérdéssel foglalkozott, hogy a megbízhatóság területén tartott jelentős számú nemzetközi konferencia tematikáját és időrendjét hogyan lehetne koordinálni. A kerekasztal-megbeszélésen több, mint 50 szakember jelent meg, közöttük üdvözölhettük a Szovjetunió, Bulgária, NDK és LNK megbízhatósági szakértőin kívül az Európai Minőségügyi Szervezet (EOQC) megbízhatósági bizottságának elnökét, a Nemzetközi Távközlési Unió (ITU) szakértőjét, valamint az amerikai elektronikai mérnökök egyesülete (IEEE) megbízhatósági szakbizottsága alelnökét is. A megbeszélésen megállapítást nyert, hogy a megbízhatósági kérdésekkel foglalkozó konferenciák hatékonyságának és gazdaságosságának növelése érdekében nemzetközi koordináció kialakítása szükséges. A nemzetközi szervezetek képviselői úgy vélekedtek, hogy az egyes szervezetek (EOQC, ITU, IEC) csak részben tudják az együttműködés koordinálni, ehhez szükséges ezeken túlmenően a nemzeti szervezetek közötti jobb együttműködés kialakítása is. Ennek első lépéseként a következő 6. Megbízhatóság az Elektronikában (RELECTRONIC '86) Szimpózium megszervezésére nemzetközi szervező bizottság alakult meg, amelynek tagjai a nemzetközi szervezetek és az egyes nemzeti egyesületek képviselői. A szervező bizottság feladata a következő magyar megbízhatósági konferencia tematikájának és időpontjának egyeztetése a hasonló témakörökben tartandó más nemzetközi és nemzeti rendezvényekkel. A kerekasztal-megbeszélés résztvevői hangoztatták, hogy a megbízhatósági konferenciák közötti négyéves időközlet célszerű lenne két évre csökkenteni. Előtérbe helyezték azt az elvet, hogy a konferenciáknak egy központi, előre meghatározott témája legyen, valamint ennek megfelelően javasolták, hogy párhuzamos szekciókban ne tartsanak előadásokat.

(Balogh Albert—dr. Kormány Teréz—
Kesselyák Péter)