

# A hibakritérium jelentősége az alkatrész-megbízhatóság megítélésében

KESSELYÁK PÉTER

BHG Híradástechnikai Vállalat  
Fejlesztési Intézet



## ÖSSZEFOGLALÁS

Minél enyhébb a hibakritérium valamely alkatrésze egy adott alkalmazásban, annál magasabb megbízhatóságúnak fog mutatkozni az alkatrész — anélkül, hogy fizikai tulajdonságaiban, környezeti és terhelési viszonyaiban bármiféle változás állna be. Ez a tény a megbízhatósági becslés relativitási elve gyanánt szolgálhat. Ennek az elvnek a tudatos alkalmazása egy új dimenziót — vagy szabadsági fokot — vezet be a megbízhatósági becslésekbe és olyan — korábban fel nem ismert — reduenciákat tárhat fel, amelyeket a rendszer-tervezők vagy már beépítettek a gyártmányba vagy célszerű azokat beépíteniük oda.

A beszámoló egy példát mutat arra nézve, milyen nagy megbízhatóság-növekedés érhető el az alkatrészek alkalmazásfüggő hibakritériumának alkalmas megválasztása révén, ha ez a megválasztás a gyártmány általános működési követelményével összhangban áll vagy megfelelő rendszertervezési eljárással azokkal összhangba hozható.

## Bevezetés

A megbízhatóság-javítás és a biztonságra történő tervezés gyakorlatában régóta alkalmazzák azt az elvet, hogy az alkatrészek fizikai teherbírásának (strength), illetve terhelésének (stress) karakterisztikái között minél szélesebb rés legyen. A rés növekedtével (vagyis a két karakterisztika átlapolásának csökkenésével) ugyanis rohamosan csökken a meghibásodás valószínűsége. Ez a bizonyos rés az alkatrészek üzemi hőmérsékletének, teljesítmény-felvételének, feszültségének és egyéb üzemi paramétereinek névleges szint alá csökkentésével, ún. *derating* eljárással növelhető.

A megbízhatóság tervezői és előrejelzői számára sokáig kézenfekvőnek tűnt, hogy a fizikai *derating* egyértelműen meghatározza az alkatrészek megbízhatóságát — természetesen az anyagválasztással és a gyártástechnológiával együttesen. Gyakorlati tapasztalat mégis az, hogy azonos típusú alkatrész azonos fizikai feltételek mellett üzemeltetve különböző alkalmazásokban különböző megbízhatóságúnak bizonyul. Vagyis:

névleges megbízhatóság + fizikai *derating*  $\neq$  üzemeltetési megbízhatóság.

A számos esetben tapasztalt jelentős eltérés oka az, hogy a különböző alkalmazásokban ugyanarra az alkatrésze vonatkozó meghibásodási kritérium különböző, márpedig a megbízhatóság megítélése nem választható el attól, hogy mit tekintünk hibának. A megítélésnek ezt a szabadsági fokát a megbízhatóság *relativitási elve*-ként interpretálhatjuk.

## KESSELYÁK PÉTER

A Szegedi Tudományegyetem matematika-fizika szakán 1958-ban szerzett diplomát. 1959 óta a BHG Híradástechnikai Vállalat fejlesztő mérnöke. Államközi műszaki-tudományos együttműködés keretében éveken át dolgozott szakértőként Dél-Kínában, majd Kubában híradástechnikai gyártmányok trópusállósági és megbízhatósági vizsgálatát végezve.

E témában számos szakmai cikk és konferencia-előadás szerzője. Tagja az Európai Minőségügyi Szervezet és az IEC 56. Megbízhatósági Szakbizottsági hazai munkacsoportjának. Fő érdeklődési területe a rendszermegbízhatóság, beleértve ennek hardware- és software összevetőit. A hibakapacitás, mint új rendszermegbízhatósági jellemző bevezetéséért megkapta az Európai Minőségügyi Szervezet 1983. évi dívját.

Az alkatrésze vonatkozó hibakritériumot egy adott alkalmazásban mindig annak az egységnek a funkcionális meghibásodási feltételeiből kell származtatni, amelybe az alkatrész beépült. Ha a rendszertervezés jól végezte a dolgát, akkor az így származtatható (általában explicit módon meg nem határozott) hibakritérium sokkal enyhébb lesz az alkatrész minősítéskor alkalmazott névleges (laboratóriumi) hibakritériumnál, következésképpen — az üzemeltetés azonos fizikai feltételei mellett is — az alkatrész üzemeltetési megbízhatósága jobb lesz az előrejelzetténél. Természetesen előfordulhat ennek a fordítottja is.

A megbízhatósági becslés elvi tökéletlensége a fent említett relativitási elv figyelembevételével szüntethető meg:

névleges megbízhatóság + fizikai *derating* + relativitási elv alkalmazása = üzemeltetési megbízhatóság.

A relativitási elv alkalmazása az ún. tolerancia elemzés módszerével történhet, amelynek lényegét a szerző [1]-ben fogalmazza meg, [2]-ben ezzel kapcsolatos elvi kérdéseket vizsgál, [3]-ban és [4]-ben pedig gyakorlati példákat elemez.

## A relativitási elv alkalmazhatósága

A relativitási elv alkalmazásának drift jellegű hibák, illetve meghibásodási folyamat esetében van jelentősége. A hirtelen katasztrofális (teljes) meghibásodás kritikus alkatrész-paramétere ugyanis a lehetséges alkalmazási hibakritériumok mindegyikét — mint küszöbértéket — „átugorja”, így a hiba megítélése ez esetben valamennyi alkalmazási hibakritérium szerint egységesen ugyanaz.

A gyakorlatban az alkatrészek üzemeltetési megbízhatóságának modellje rendszerint vegyes modell, vagyis az alkatrészek egy része véletlenszerű katasztrofális meghibásodás áldozata lesz, másik része pedig paraméter-drift útján öregedve éri el az alkalmazási

Beérkezett: 1985. X. 8. (#)

hibakritériumot. Mennél nagyobb a drift törvénye alapján meghibásodó hányad, annál jelentősebb szerepet kap a relativitási elv differenciáló hatása a megbízhatóság megítélésében.

A továbbiakban tekintsünk egy tiszta drift-modellt. Ebből látni fogjuk, milyen hatalmas megbízhatósági redundanciák szabadíthatók fel, ha a relativitási elvet a mérnöki tervező gyakorlat kihasználja. A felszabadítható redundanciák jelentősége egy kicsit emlékeztet az atomenergia felszabadításának jelentőségére. Míg fizikai derating eljárással általában max. 1,5–2 nagyságrend megbízhatóság javulás érhető el, addig az alkalmazási hibakritériumok enyhítésével 4–5 nagyságrendnyi javulás is biztosítható.

### Egy realiztikus paraméter-drift modell

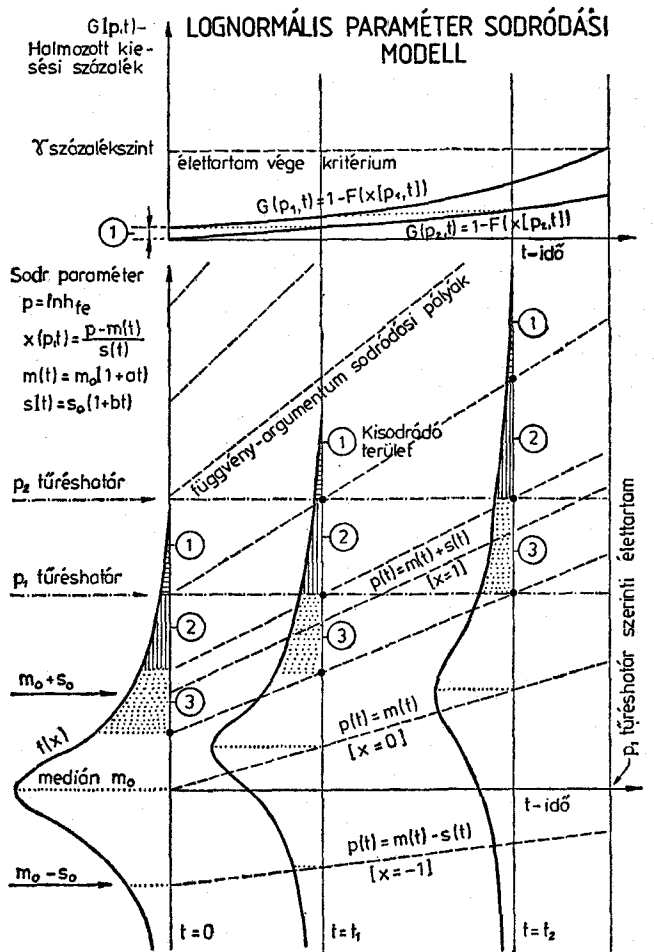
Elektronikai alkatrész példákat tekintve — az ellenállások, kondenzátorok, félvezető eszközök meghibásodásainak jelentős része drift-eredetű, sőt, még a digitális integrált áramköröknek is számos olyan jellemzőjük van (pl. hozzáférési idő, egyéb idő-jellemzők), amelyek változása drift jellegű meghibásodásra vezet.

Eléggő általános érvényű drift modell az, amelyben az alkatrész kritikus paramétere lognormális eloszlást mutat és ez az eloszlás időben lineáris transzformáció-

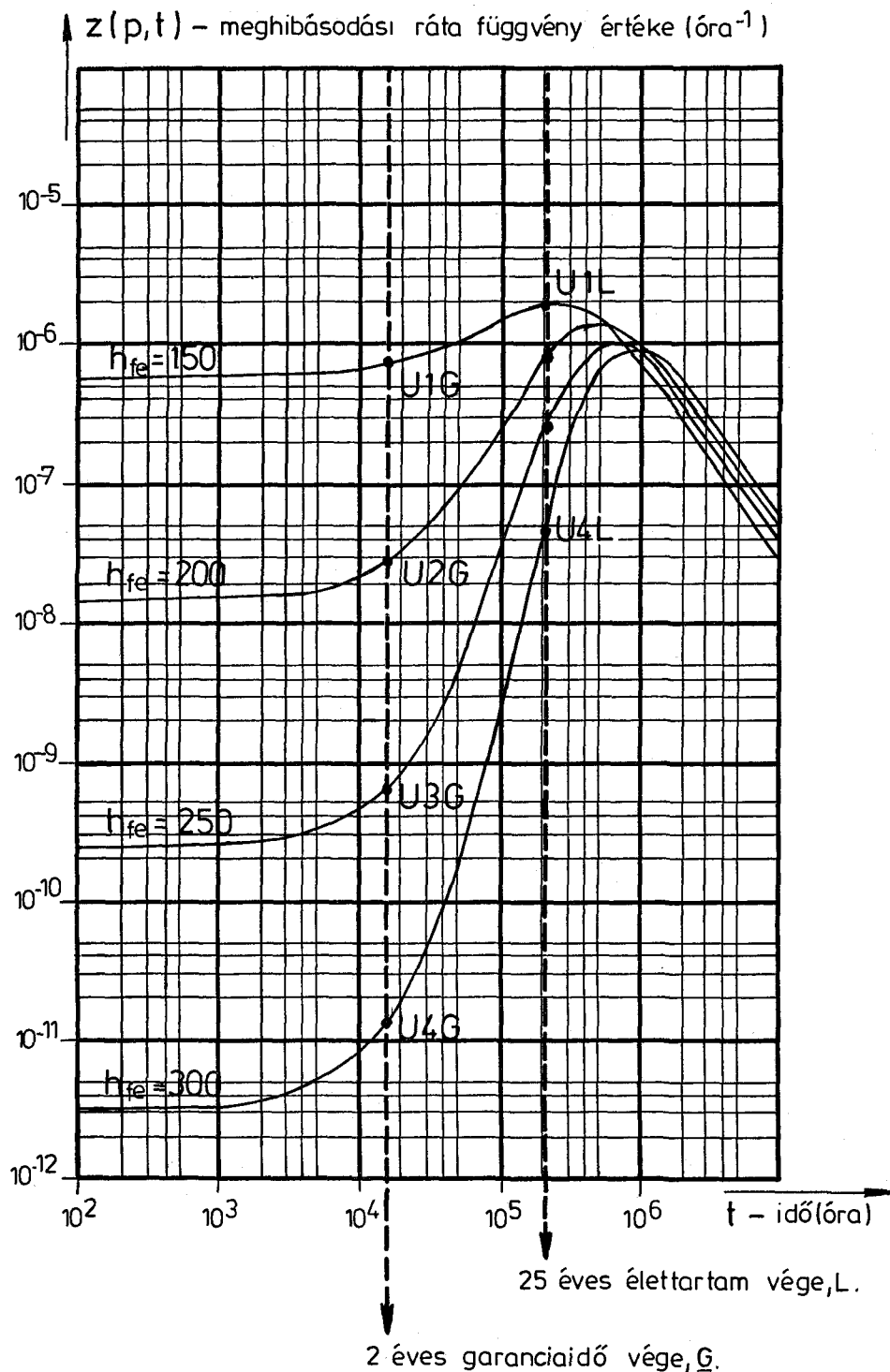
nak alávetve sodródik a paraméternövekedés vagy csökkenés irányába.

Választott alkatrészünk legyen egy tranzisztor típus, amelynek kritikus paramétere a  $h_{fe}$  áramerősítési tényező. A tranzisztor öregedése során  $h_{fe}$  növekszik. Vezessük be a  $p = \ln h_{fe}$  változót és konstruáljuk meg a  $(p, t)$  paraméter-sodródási mezőt vagy állapotteret, amelyet az 1. ábra mutat. Az ábrán  $f(x(p, t))$  a standard normális eloszlás sűrűségfüggvényét,  $F(x(p, t))$  pedig eloszlásfüggvényét jelenti. Az ábrán feltüntetünk két különböző alkalmazásból származtatott  $p_1$  illetve  $p_2$  hibakritériumot is. A kezdeti hiba-részarányt  $p_1$  hibakritérium mellett  $t=0$ -kor az  $f(x)$  sűrűségfüggvény alatti ①-el jelölt terület adja, míg a  $p_2$  szerinti hiba-részarány ugyanekkor még elhanyagolható. Az ábrából látható, hogy a paraméter-sodródás következtében pl.  $t=t_1$ -kor a  $p_2$  szerinti hiba-részarány lesz egyenlő az ① területtel, míg a  $p_1$  szerinti hiba-részarány ①+② értékre növekszik.

A meghibásodás eseménysűrűsége bármely  $t$  időpontban egyenlő az adott  $p$  tűréshatáron át időegység alatt kisodródó részarányal, a halmozott kieső részarány pedig  $G(p, t) = 1 - F(x(p, t))$ -vel, amint azt az 1. ábra felső diagramján feltüntetjük. Ha az alkatrész élettartamát a meghibásodott részarány  $\gamma$ -százalékos küszöbszintjének elérése szabja meg, akkor az 1. ábrán



1. ábra. Lognormális paraméter sodródási modell



$z(p, t)$  meghibásodási rátafüggvény különböző  $p_i = \ln h_{fe_i}$  tűrészatárok esetén ( $i = 1, \dots, 4$ )

U1G, U4G: Meghib.ráták a G garanciaidő végén az U1...U4 felhasználóknál.

U1L, U4L: Meghib.ráták az L = 25 éves élettartam végén az U1, ..U4 felhasználóknál

H116-2

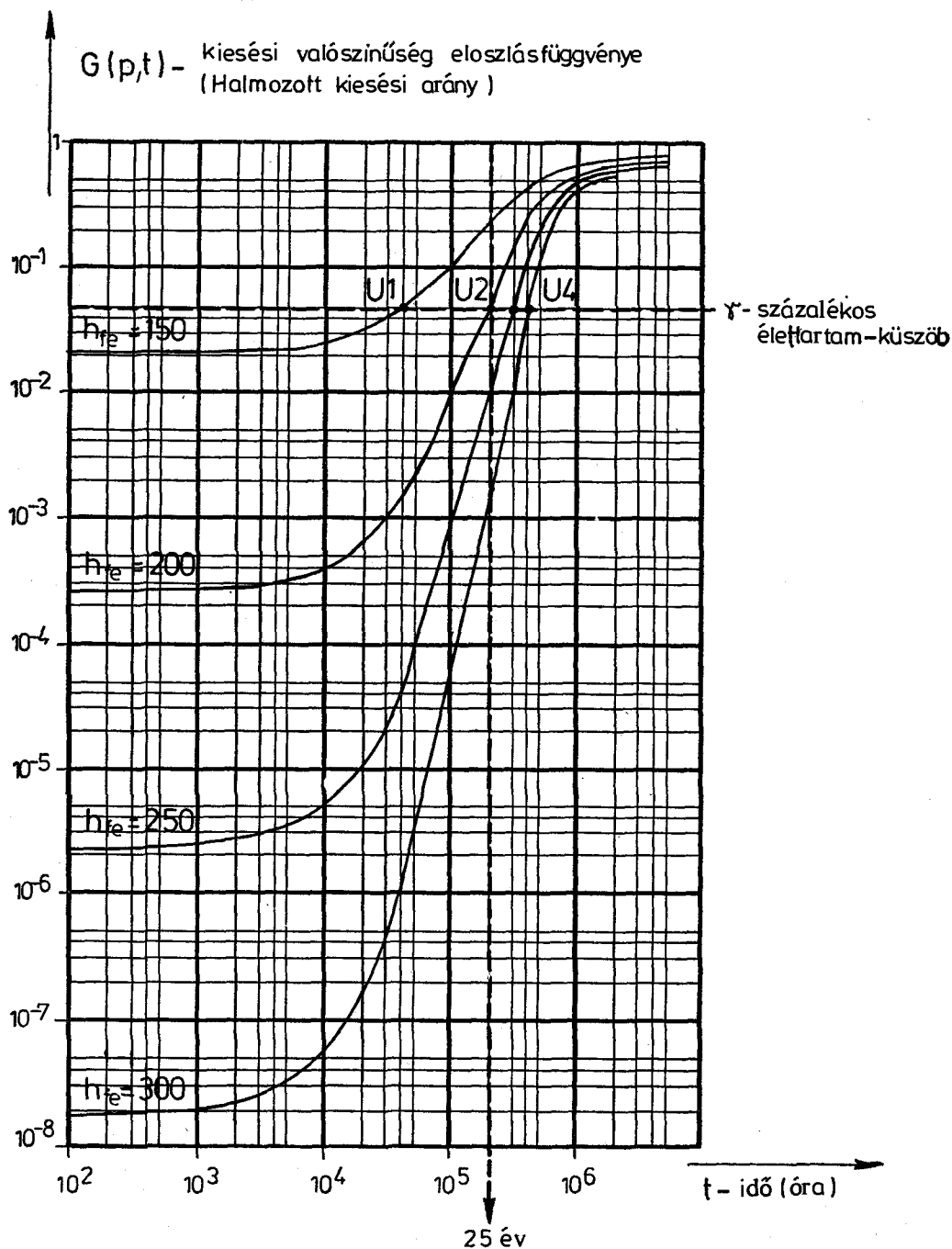
2. ábra. A  $z(p, t)$  meghibásodási rátafüggvény különböző  $p_i = \ln h_{fe_i}$  tűrészatárok esetén

még látható a  $p_i$  tűréshatár szerinti élettartam végének időpontja is.

Miután a paraméter-sodródási állapotterben lejátszódó mozgásfolyamatokat az 1. ábra segítségével érzékeltettük, végezzünk konkrét számításokat.

Konkrét számítások

A tranzisztor áramerősítési tényező lognormális eloszlásának kezdeti jellemzői a következők: Az eloszlás mediánja:



A  $G(p,t)$  halmazott kiesési arány időfüggése különböző  $p_i = \ln h_{fe_i}$  tűréshatárok mellett ( $i=1, \dots, 4$ ).

$U_1, \dots, U_4$ :  $\gamma$ - százalékos élettartam vége az  $U_1, \dots, U_4$  felhasználóknál.

**H116-3**

3. ábra. A  $G(p, t)$  halmazott kiesési arány időfüggése különböző  $p_i = \ln h_{fe_i}$  tűréshatárok mellett ( $i=1, \dots, 4$ )

$$M(h_{fe}) = 100 = \exp(m_0) \rightarrow m_0 = \ln 100 = 4,60517. \quad (1)$$

Az eloszlás szórása:

$$D(h_{fe}) = 20,6 = [\exp(2m_0 + s_0^2) \cdot (\exp s_0^2 - 1)]^{1/2} \rightarrow s_0 = 0,2. \quad (2)$$

Ha az  $M(h_{fe})$  medián érték várható sodródása pl.  $t = 2 \cdot 10^5$  óra (22 év) alatt 20%, a  $D(h_{fe})$  szórás növekedése pedig 100% és az eloszlás  $m, s$  paramétereinek sodródása időben lineáris, akkor

$$m(t) = m_0(1 + a \cdot t) = 4,60517 \cdot (1 + 2 \cdot 10^{-7} \cdot t) \quad (3)$$

$$s(t) = s_0(1 + b \cdot t) = 0,2 \cdot (1 + 3 \cdot 10^{-6} \cdot t). \quad (4)$$

Tegyük fel, hogy a tranzisztor — azonos gyártási szériából — négy különböző felhasználóhoz kerül ( $U1, U2, U3$  és  $U4$ ), akik fizikailag teljesen azonos terhelési és környezeti feltételek mellett üzemeltetik a tranzisztorokat, de más-más funkcionális egységekbe beépítve.  $U1$ -nél a funkcionális követelményekből származtatott tűréshatár  $h_{fe} = 150$ ,  $U2$ -nél  $h_{fe} = 200$ ,  $U3$ -nál  $h_{fe} = 250$  és  $U4$ -nél  $h_{fe} = 300$ .

Határozzuk meg a  $z(p_i, t)$  meghibásodási ráta és a  $G(p_i, t)$  halmozott hibarészarány valószínűség értékeinek időbeli lefutását mind a 4 esetben ( $i = 1, \dots, 4$ ).

A számításokhoz az alábbi összefüggések ismerete szükséges:

A standard normál eloszlás eloszlás- és sűrűségfüggvényének  $x$  argumentuma:

$$x(p_i, t) = \frac{p_i - m_0(1 + at)}{s_0(1 + bt)}. \quad (5)$$

A hibaráta (hazard) függvény:

$$z(p_i, t) = \frac{|m_0(b-a) - b \cdot p_i|}{s_0} \cdot \frac{1}{(1 + bt)^2} \cdot \frac{f(x(p_i, t))}{F(x(p_i, t))} \quad (6)$$

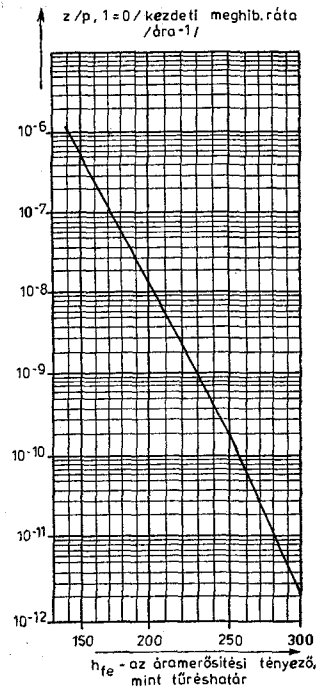
A halmozott hibarészarány valószínűsége:

$$G(p_i, t) = 1 - F(x(p_i, t)).$$

Az (1)–(7) összefüggések felhasználásával számított eredményeket  $z(p_i, t)$ -re a 2. ábra,  $G(p_i, t)$ -re a 3. ábra mutatja.

A 2. ábrából láthatóan azt a megdöbbentő eredményt kaptuk, hogy a  $z(p_i, t)$  meghibásodási ráta a végtermék 2 éves garancia-idejének végéig az  $U4$  felhasználó esetében több mint 4,5 nagyságrenddel alacsonyabb, mint az  $U1$  felhasználó esetében. (Lásd az  $U1G, \dots, U4G$  pontot.) A végtermék 25 éves élettartamának végén a különbség még mindig több, mint 1,5 nagyságrend. (Lásd az  $U1L$  és  $U4L$  pontot.) Egy és ugyanazt az alkatrészt tehát az  $U1$  felhasználó „nagyon rossznak”,  $U4$  „nagyon jónak” fogja minősíteni, a relativitási elv következményeként.

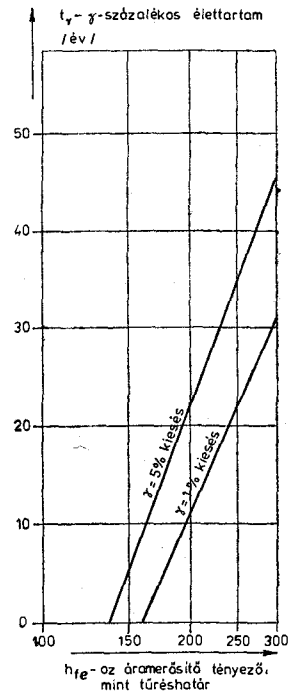
Hasonló a helyzet, ha megnézzük a halmozott hibarészarányok valószínűségének időbeli alakulását (3. ábra). Az ábrából látható, hogy ha az élettartam véghatárt  $\gamma = 5\%$  halmozott hibarészarány eléréséhez kötjük, akkor az  $U1$  felhasználónál az élettartam 40 000 óra (4,6 év),  $U2$ -nél 190 000 óra (21,8 év),  $U3$ -nál 308 000 óra (35 év) és  $U4$ -nél 403 000 óra (46 év).



A meghibásodási rátafüggvény  $z/p, 0/$  kezdőértéke a  $h_{fe}$  tűréshatár függvényében.

H116-4

4. ábra. A meghibásodási rátafüggvény  $z(p, 0)$  kezdőértéke a  $h_{fei}$  tűréshatár függvényében



A  $\gamma$ -százalékos élettartam,  $t_y$ , a  $h_{fe}$  tűréshatár függvényében  $\gamma = 1\%$  és  $\gamma = 5\%$  esetén.

H116-5

5. ábra. A  $\gamma$  százalékos élettartam ( $t_y$ ), a  $h_{fei}$  tűréshatár függvényében,  $\gamma = 1\%$  és  $\gamma = 5\%$  esetén

A  $\gamma$ -százalékos élettartam számítása egyébként a

$$\gamma = 1 - F(x_\gamma) \quad (8)$$

és

$$t_\gamma = \frac{P - m_0 - x_\gamma \cdot s_0}{m_0 a + x_\gamma s_0 \cdot b} \quad (9)$$

összefüggések segítségével történhet.

Befejezésül bemutatjuk a  $z(p, t)$  meghibásodási ráta  $t=0$  időpontbeli kezdő értékét a  $h_{fe}$  túréshatár, mint változó függvényében (toleranciafüggési görbe, 4. ábra) — valamint bemutatjuk a  $\gamma=1\%$  és  $\gamma=5\%$  halmozott hibaarány eléréséhez tartozó  $t_\gamma(p)$  élettartamot, ugyancsak a  $h_{fe}$  paraméter-túréshatár függvényében (tolerancia-függési görbe, 5. ábra).

#### Következtetés

A 2—5. ábrákból számszerűen kitűnt, hogy milyen hatalmas megbízhatósági tartalékok (redundanciák) szabadíthatók fel mind meghibásodási ráta csökkenés, mind élettartam növekedés tekintetében egy adott alkatrész alkalmazásakor, ha az alkalmazásra jellemző hibakritériumot rendszertervezési módszerek segítségével megfelelően enyhíteni tudjuk, tudatosan kihasználva a megbízhatóság relativitási elvét.

A bemutatott megbízhatósági modell lognormális paramétereloszlásra és időben lineáris driftre vonatkozott, a modell azonban más eloszlások és driftsebességek esetében is megalkotható és a benne rejlő redundanciák számszerűsíthetők.

#### IRODALOM

- [1] Kesselyák, 1977, *RELECTRONIC* '77 I. kötet 165. o. "Reliability Redundancies Derived From the Failure Tolerability".
- [2] Kesselyák, P. 1973. "On the Relationship Between the Reliability and Failure Criteria". *RELECTRONIC* '73 II. kötet 863. o.
- [3] Kesselyák, P. 1968. "Elimination of Arbitrary Failure Criteria from the Reliability Characteristics of Certain Electronic Components." *RELECTRONIC* '68, B kötet, 214/1—7. o.
- [4] Kesselyák, P. 1978. "Application Reliability Characteristics of Components and Assemblies Used in Telephone Exchanges." *BUDAVOX TELECOMMUNICATION. REVIEW*, 1978. 1. szám, 15. o.

#### Alkalmazott jelölések

- |                   |   |
|-------------------|---|
| $a$               | — a lognormális eloszlású $h_{fe}$ áramerősítési tényező mediánja logaritmusának, $m$ -nek a sodródási (drift) sebessége (óra <sup>-1</sup> );  |
| $b$               | — a lognormális eloszlású $h_{fe}$ áramerősítési tényező $D$ szórásából származtatott $s$ paraméter sodródási (drift-) sebessége (óra <sup>-1</sup> ) ( $s$ a megfelelő normális eloszlás szórása); |
| $D(h_{fe})$       | — a $h_{fe}$ áramerősítési tényező lognormális eloszlásának szórása;  |
| $f(x)$            | — a standard normális eloszlás sűrűségfüggvénye;  |
| $F(x)$            | — a standard normális eloszlás eloszlásfüggvénye;   |
| $G(p, t)$         | — halmozott hibaarány valószínűségének eloszlásfüggvénye;   |
| $\gamma$          | — a halmozott hibaarány $\gamma$ -százalékos értéke, élettartam-határ;  |
| $h_{fe}$          | — tranzisztor típus áramerősítési tényezője;  |
| $M(h_{fe})$       | — $h_{fe}$ lognormális eloszlásának medián értéke;  |
| $m$               | — az $M(h_{fe})$ medián érték logaritmusa;  |
| $m_0$             | — az $M(h_{fe})$ medián érték logaritmusa a $t=0$ időpontban;   |
| $p$               | — a $h_{fe}$ áramerősítési tényező, mint valószínűségi változó logaritmusa;   |
| $p_i$             | — rögzített túréshatár értékek, $p_i = \ln h_{fe}(i)$ , $i=1, \dots, 4$ ;   |
| $s$               | — az $\ln h_{fe}$ valószínűségi változó normális eloszlásának szórása;  |
| $s_0$             | — az $s$ szórás értéke a $t=0$ időpontban;  |
| $t$               | — idő (óra);  |
| $t_\gamma$        | — $\gamma$ -százalékos élettartam (óra);  |
| $U_1, \dots, U_4$ | — a tranzisztor típus 4 különböző felhasználójának azonosító jele;  |
| $x$               | — a standard normál eloszlásfüggvény argumentuma, $x = \frac{p-m}{s}$ ;   |
| $x_\gamma$        | — a standard normál eloszlásfüggvény $\gamma$ -százalékos élettartamhoz tartozó argumentuma;  |
| $z(p, t)$         | — meghibásodási ráta (hazard függvény), óra <sup>-1</sup> .   |