

# MIKROKAPCSOLÓK GYORSÍTOTT ÉLETTARTAM VIZSGÁLATA

## THE ACCELERATED LIFE TESTING EXAMINATION OF MICRO SWITCHES

*Sipkás Vivien, PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet  
Vadászné Dr. Bognár Gabriella, DSc, Intézetvezető, egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Gép- és  
Terméktervezési Intézet*

### ABSTRACT

The aim of this paper is to introduce the Accelerated Life Testing method (ALT) for the testing of micro switches. The analysis attempts to take many effecting factors into account, to provide statistical assurance of the reliability and to give statistically reliable lifetime data in brief time [1]. The Weibull distribution is applied for the investigation of the failure rate in the product's 'bathtub' lifetime curve.

### 1. BEVEZETÉS

Az élettartam elemzések magukba foglalják a technológiai vizsgálatokat, az anyag- és kopásvizsgálatok különböző területeit, mivel a vizsgálat végkimenetelére csak a tényleges élettartam végén kaphatunk választ, egy adott termék folyamatos nyomon követésével. Ugyanakkor valamely elv szerint összeállított tesztelést is végezhetünk pl. nagyobb terheléssel, egy módszeresen kialakított tesztelő környezet kialakításával, azaz gyorsított élettartam tesztekkel. A gyorsított élettartam vizsgálatok előnye az, hogy a statisztikailag is megbízható élettartam adatokat viszonylag rövid tesztelési idő alatt lehet meghatározni. Az említett vizsgálati módszer közös jellegzetessége, hogy valamely élettartamot meghatározó tényezőt fokozott mértékben vizsgáljuk, mint például megemelt igénybevételi gyakoriság, sebesség változás, terhelési szintemelkedés és csökkenés és környezeti hatások [2].

A gyorsított élettartam vizsgálatok (Accelerated Life Testing) során a Waloddi Weibull által 1951-ben bevezetett ún. *Weibull-eloszlást* alkalmazzuk. Ez egy valószínűségszámítási elméleten alapuló elemzés, melyben folytonos valószínűségszámítási eloszlást vizsgálunk. Ezt a módszert számos területen alkalmazzák, többek között a hibaanalízisben és megbízhatósági számításoknál.

Az általunk vizsgálandó mikrokapcsolók meghibásodásainak analízise során a teszt sorozatok eredményeinek elemzésében ezen eloszlás alkalmazásával kívánjuk meghatározni a különböző tönkremeneteli és meghibásodási folyamatok hatását a mikrokapcsolók élettartamára vonatkozóan.

### 2. A MIKROKAPCSOLÓK GYAKORIBB MEGHIBÁSODÁSÁNAK ESETEI

A mikrokapcsolók a villamos áramkört üzem közben nyitó valamint záró, érintkezős készülékelemek. Használat során a kapcsolóknak nagyszámú megszakítási-zárási ciklust kell végezniük, ezért élettartamukat elsősorban az anyagvándorlás, érintkezők kopása befolyásolja és határozza meg. Az utóbbi években a kapcsolók nagymértékű miniatürizáláson mentek át. Megbízhatóságuk nagymértékben megnövekedett, igazodva az aktív és passzív elemek hosszú élettartamához. Egy kapcsolónak manapság  $10^4 \dots 10^6$  számú hibamentes kapcsolást kell teljesíteni.

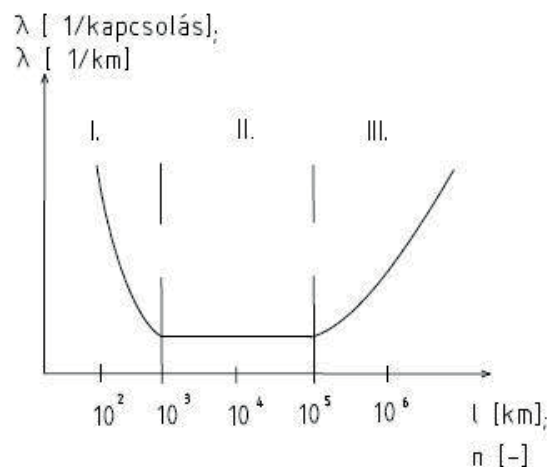
Az áramkör zárása és megszakítása közben ív jöhet létre, így ez az érintkezők méretezését, alkalmazhatóságát és élettartamát befolyásolja [4]. A mikrokapcsolóknak számos meghibásodási esete van, ezek közül csak néhányat szeretnénk megemlíteni. A hálózatról működtetett kerti gépek esetében a szabvány szerint egy mikrokapcsolónak  $50 \cdot 10^3$  kapcsolást, míg akkumulátoros gépek esetén  $6 \cdot 10^3$  kapcsolási ciklust kell hibamentesen kibírnia. A mikrokapcsolók egyik leggyakoribb problémája a magas hőmérsékletből adódó deformáció. Ennek több oka is lehet, egyrészt túlterhelésből adódó, másrészt a kapcsolók megengedettnél magasabb számú kapcsolgatásából bekövetkező túlmelegedés. Az áramkör zárása és megszakítása közben ív jön létre, ennek következménye hőképződés, anyagvándorlás és az átmeneti ellenállás

megnövekedése, így a kapcsolóval érintkező alkatrészek átmelegedhetnek, valamint a kapcsolóban lévő előfeszített alkatrészek túlmelegedés következtében kilágyulhatnak. További meghibásodási probléma, amikor a kapcsolón az előírtnál nagyobb áram folyik, illetve zárlat esetén a konstrukció szét is éghet, továbbá a kapcsolóban lévő laprugó deformálódhat, elveszítheti rugalmasságát ezzel eredeti funkciója megszűnik, ezért a gépet nem lehet ki- vagy bekapcsolni. Előfordulhat az érintkezők között kialakuló sztatikus ívkisülés által okozott anyagvesztés is. A mechanikus igénybevételeknek és a villamos ív következtében egy bizonyos kapcsolási szám felett az érintkező az összehegedés következtében is meghibásodhat.

Másik jellemző meghibásodási probléma a mikrokapcsoló kapcsoló gombjának a kopása, amely adódhat rossz konstrukciós kialakításból, a nem megfelelő anyagválasztásból, gyártási hibákból, de a működtetés közbeni oldalirányú nyomóterhelésből, és a magas kapcsolási számtól is. Mindezen hiba okok közös következményeképpen az alkatrész megkophat és eltörhet (lásd 1. ábra).

### 3. A FÜRDŐKÁD-GÖRBE

A meghibásodás gyakoriságát az idő paraméter függvényében ábrázoló jelleggörbét jellegzetes alakja miatt „fürdőkád-jelleggörbének” nevezik. Ezen görbe alakja több információt tartalmaz. Három jellegzetes, egymást követő tartománya van: I. a korai meghibásodások, II. a véletlen meghibásodások, illetve III. az elhasználódásból adódó meghibásodások tartománya. A biológia területén is hasonló jellegzetességeket lehet megfigyelni: a csecsemőkori halandóság, a felnőttek normális halálózási gyakorisága balesetek és fertőzések következtében, valamint az időskori elhalálózás. A fürdőkád görbét szemlélteti az 1. ábra, mely a gépkocsi és a jelfogó mágneskapcsoló meghibásodási gyakoriságát mutatja a jellemző befolyásoló tényezők függvényében. A gépkocsik esetén ez a megtett km, a mágneskapcsolók esetén pedig a kapcsolások száma [3].



1. ábra A fürdőkád-görbe mágneskapcsolók meghibásodása a kapcsolási szám függvényében és gépkocsik meghibásodása esetén a megtett km függvényében.

### 4. A WEIBULL-ELOSZLÁS

A svéd Waloddi Weibull (1887-1979) az 1940-es években az anyagfáradással kapcsolatos kérdésekkel összefüggésben az időfüggő meghibásodási gyakoriságot egy speciális hatványfüggvénnyel közelítette, mellyel olyan eloszlást adott meg, amely teljes körűen használható az élettartam vizsgálatával kapcsolatban. Az exponenciális eloszlás a Weibull-eloszlásnak egy speciális esete, mellyel a meghibásodások korai szakasza jellemezhető [6].

A Weibull-eloszlás általános, háromparaméteres alakjával az eloszlásfüggvényt a következőképpen írhatjuk fel:

$$F(t) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-\frac{(t - \gamma)^\beta}{\alpha}\right], & \text{ha } t \geq \gamma, \\ 0, & \text{ha } t < \gamma. \end{cases} \quad (1)$$

Az  $F(t)$  függvény megadja a  $t$  tényleges működési idő alatti meghibásodási valószínűséget, azaz a selejtarányt. Az (1) képletben  $t$  a statisztikus változó (az idő órákban vagy a működtetések száma),

$\alpha > 0$  a skalárparaméter,

$\beta > 0$  az alakparaméter,

$\gamma \geq 0$  a helyparaméter [5].

Vezessük be az  $\eta = \alpha^{1/\beta}$  helyettesítést az (1) kifejezésbe, ahol  $\eta$  a mértékparaméter, vagy karakterisztikus élettartam. Így az előzőekben felírt eloszlásfüggvény alakja:

$$F(t) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right], & \text{ha } t \geq \gamma, \\ 0, & \text{ha } t < \gamma. \end{cases} \quad (1a)$$

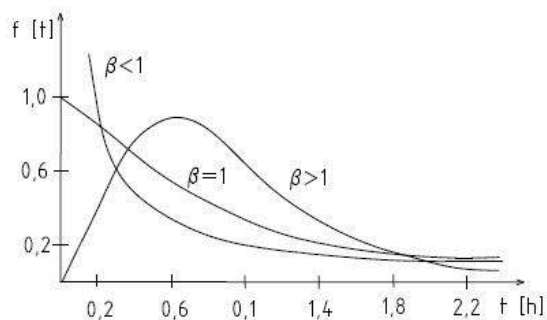
A  $\gamma$  helyparaméter a gyakorlati alkalmazásoknak csak kis részében egyenlő 0-val, a mintavételi terveket mégis a  $\gamma = 0$  esetre adják meg. A  $\beta$  alakparaméter értéke a sűrűségfüggvény alakját határozza meg. A Weibull-eloszlás sűrűségfüggvénye  $\gamma = 0$  esetben az (1a) képletből differenciálással határozható meg (lásd 2. ábra).

$$f(t) = F'(t) = \begin{cases} \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right], & \text{ha } t \geq 0, \\ 0, & \text{ha } t < 0. \end{cases} \quad (2)$$

Ha  $\beta < 1$ , akkor az  $f(t)$  monoton csökkenő függvény, ez a korai meghibásodások szakaszát jelöli.

Ha  $\beta = 1$ , akkor az exponenciális eloszlást kapjuk, ez a véletlen meghibásodások szakasza.

Ha  $\beta > 1$ , akkor a sűrűségfüggvénynek maximum helye van, ez az elhasználódással összefüggő meghibásodások szakaszára jellemző.



2. ábra A Weibull-eloszlás sűrűségfüggvénye

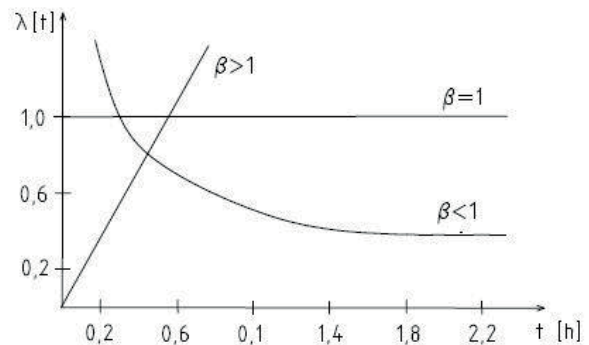
A Weibull-eloszlás esetében a meghibásodási ráta, vagy meghibásodási gyakoriság az idő függvényében  $\gamma = 0$  esetén a következő:

$$\lambda = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \begin{cases} \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}, & \text{ha } t \geq 0 \\ 0, & \text{ha } t < 0. \end{cases} \quad (3)$$

Megjegyezzük, hogy a Weibull-eloszlás esetében a várható tényleges működés  $\gamma = 0$  értékhez tartozik. Ha  $\beta < 1$ , akkor  $\lambda(t)$  monoton csökkenő, ha  $\beta = 1$ , akkor  $\lambda(t) = \text{állandó}$ , ez az exponenciális eloszlás esete; azonban ha  $\beta > 1$ , akkor  $\lambda(t)$  monoton növekvő függvény (lásd a 3. ábra). A Weibull-

eloszlásnál a várható tényleges működés  $\gamma = 0$  értékre a következőképpen írható fel:

$$\mu = E(\tau) = \int_0^\infty t f(t) dt = \int_0^\infty t \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] dt = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = \alpha^{\frac{1}{2}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right). \quad (4)$$



3. ábra Weibull-eloszlás esetén a meghibásodási ráta függvénye  $\gamma = 0$  és  $\eta = 1$  esetén

A diagram alapján írható:

#### 4.1. Korai meghibásodások (early failures)

A korai meghibásodások szakaszában a meghatározó meghibásodási gyakoriság az idővel csökken ( $\beta < 1$ ). A műszaki termékek esetében az volna az ideális, ha a korai meghibásodások szakaszának befejezése időben egybeesne a gyártóüzemi vizsgálatok befejezésével.

#### 4.2. Véletlen meghibásodások (random failures)

A véletlen meghibásodások szakaszában a meghibásodási gyakoriság az időtől független (állandó). A Weibull- kitevő egységnyi értékű ( $\beta = 1$ ).

#### 4.3. Elhasználódási meghibásodások (wearout failures)

A görbének ebben a szakaszában a meghibásodási gyakoriság az idővel növekszik. Ezt az időtartományt az elhasználódási jelenségek következtében gyakoribbá váló meghibásodások jellemzik, ekkor a Weibull-kitevő ( $\beta > 1$ ). Mivel a meghibásodások ebben a szakaszban egyre gyakoribbá válnak, ebben az időszakban az elhasználódásnak kitett alkatrészeket fel kell újítani [3].

## 5. A MEGHIBÁSODÁSI GYAKORISÁGOK MEGHATÁROZÁSA

Az élettartam meghatározása szempontjából az egyik legfontosabb paraméter a  $\lambda$  meghibásodási gyakoriság. Ennek reciproka az  $m$  átlagos élettartam a véletlen meghibásodások időszakában. A Weibull-eloszlás  $\eta$  karakterisztikus élettartama 1 és 2,5 közötti  $\beta$  értékek esetén közelítőleg az  $m$  értékkel egyezik meg. Minden alkatrésze jellemző egy  $\lambda$  érték, amely az alkatrésze vonatkozó meghibásodási mechanizmusból is adódhat. A  $\lambda$  értéket az alábbi egyenletet felhasználva lehet meghatározni [3]:

$$\lambda \approx \frac{c}{N \Delta t} \quad (5)$$

ahol,  $c$  a meghibásodáshoz vezető hibák száma,  $\Delta t$  a vizsgálati idő,  $N$  a próba darabszáma. A meghibásodásként csak névleges igénybevételnél bekövetkező meghibásodásokat szabad figyelembe venni, az elektromos, mechanikus vagy vegyi jellegű fokozott igénybevételekből származó meghibásodásokat nem. A készülékekben használt elektronikus alkatrészek  $\lambda$  értékeinek pontos meghatározásában mind a gyártók, mind pedig a felhasználók egyformán érdekeltek. A  $\lambda$  értékek több nagyságrendre kiterjedő, nagy szórásának nemcsak a statisztikus meghatározási módszer az oka, hanem elsősorban az is, hogy egy adott meghibásodási gyakoriság értékét nagyon sok tényező módosíthatja. Ezek a tényezők lehetnek gyártót befolyásoló tényezők és a felhasznált befolyásoló tényezők egyaránt, többek között üzemi hőmérséklet, mechanikus-dinamikus igénybevétel, anyagválasztás, optimális gyártás, a névlegesnél kisebb vagy nagyobb igénybevétel, valamint helytelen alkalmazás. Ennek alapján a kedvezőtlen gyakoriság oka nemcsak a gyártó cég hibájából adódhat, hanem a felhasználóéból is [3].

## 6. GYORSÍTOTT VIZSGÁLATOK

A meghibásodási gyakoriság meghatározásához egy adott alkatrészcsoportot névleges terhelésen, határadatokkal kell terhelni és szükséges kivárni a meghibásodásokat. Az ilyen vizsgálati követelmények a gyártás ellenőrzésére alkalmatlanok. Ezért az igénybevételek növelésével a vizsgálati idő rövidítésére törekszenek. Ezzel kapcsolatban a következő kérdések merülnek fel:

- Milyen gyorsítási módszerek valósíthatók meg?
- Az alkatrész milyen megnövelt igénybevétele engedhető meg?[3]

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az irodalomkutatás és Weibull-eloszlás matematikai modelljének megismerését követően a kutatás következő állomása a vizsgálandó mikrokapcsolók tesztelésére alkalmas munkapad megtervezése és összeállítása, ezt követően pedig mérési paraméterek meghatározása. Továbbiakban pedig a tesztelések elvégzése, kiértékelése és az adatok összegyűjtése a további célunk; ezek elvégzését követően a numerikus elemzések a gyorsított élettartam meghatározáshoz.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## IRODALOM

- [1] Sarath Jayatilleka, Geoffrey Okogbaa: Accelerated Life Testing, 2014 Workshop on Accelerated Stress Testing and Reliability Conference, Saint Paul, Minnesota 55101, Egyesült Államok, pp 1-21 <http://www.asqrd.org/wp-content/uploads/2014/09/Accelerated-Life-Test-Tool-for-Speedier-Product-Development.pdf>
- [2] Gregász Tibor: Némfemes szerkezeti anyagok élettartam-problémáinak minőségügyi megközelítése, NYME-Sopron, PhD értekezés, 2009.
- [3] Eugen Schaefer: *Megbízhatóság az elektronikában*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983., ISBN 963 10 49434
- [4] Dr. Mojzes Imre: *Mikroelektronika és technológia*, Műegyetemi kiadó, Budapest, 2005., ISBN 963 420 8479,
- [5] Balogh Albert, Dr. Dukáti Ferenc: Megbízhatósági vizsgálatok Weibull-eloszláson alapuló mintavételi eljárásai és tervei, *Híradástechnika* XXX. Évf. 1. sz. pp 1-8.
- [6] Balogh Albert, Dukáti Ferenc, Sallay László: *Minőség-ellenőrzés és megbízhatóság*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980, ISBN 0-262-04219-3