

MIKROKAPCSOLÓK ÉLETTARTAMÁNAK VIZSGÁLATA

Sipkás Vivien – Vadászné Bognár Gabriella

Absztrakt: A vizsgált mikrokapcsolók meghibásodási analízise során a gyorsított élettartam vizsgálati módszert kívánjuk alkalmazni. A tesztsorozatok eredményeinek elemzésekor meghatározzuk az ún. Weibull-eloszlás paramétereit és vizsgáljuk a tönkremeneteli és meghibásodási folyamatok hatását a mikrokapcsolók élettartamára vonatkozóan.

Abstract: The accelerated lifetime testing method is used for the investigation of the failure analysis of the micro switches. During the examination, the determination of the parameters of the Weibull distribution is carried out and the effect of the failure methods is analysed for the lifetime of the micro switches.

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. A gyorsított élettartam vizsgálatok előnye az, hogy 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 (Gregász, 2009).

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 valószínűség eloszlást vizsgálunk. Az általunk vizsgálandó mikrokapcsolók meghibásodásainak analízise során a tesztsorozatok eredményeinek elemzésében ezen eloszlás alkalmazásával elemezzük a különböző tönkremeneteli és meghibásodási folyamatok hatását a mikrokapcsolók élettartamára vonatkozóan.

2. A mikrokapcsolók meghibásodásának gyakoribb esetei

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

A kapcsoló érintkezőinek működése, vagyis az áramkör zárása és megszakítása közben ív jöhet létre és ez az érintkezők méretezését és alkalmazhatóságát és élettartamát befolyásolja (Mojzes, 2005)

A mikrokapcsolóknak számos meghibásodási esete fordul elő, 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, az anyagvándorlás, a hőképződés és az átmeneti ellenállás megnövekedése, így a kapcsolóval érintkező alkatrészek átmelegedhetnek, valamint a kapcsolóban lévő előfeszített alkatrészek, (például rugó) túlmelegedés következtében kilágyulhatnak. További meghibásodási probléma, amikor a kapcsolón az előírtnál nagyobb áram folyik, illetve zárlat esetén a konstrukció szét is éghet, a kapcsolóban lévő laprugó deformálódhat, elveszítheti rugalmasságát és ezzel eredeti funkciója megszűnik, ezért a gépet nem lehet ki- vagy bekapcsolni.

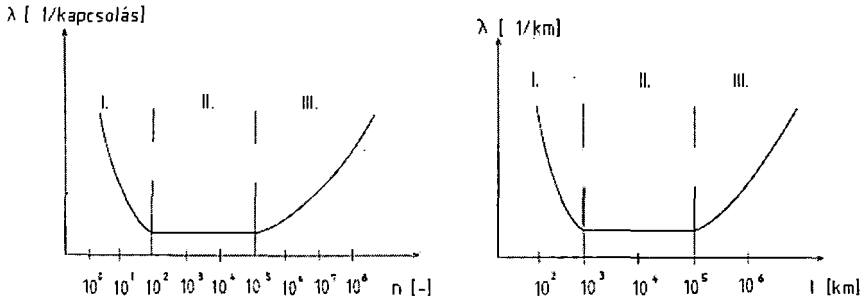
Az érintkezők között kialakuló sztatikus ívkisülés által okozott anyagvesztés is előfordulhat. Az elektromos, termikus és mechanikus igénybevételeknek következtében egy bizonyos kapcsolási szám felett az érintkező az összehegedés következtében is meghibásodhat.

Másik jellemző meghibásodási probléma a mikrokapcsoló kapcsológombjának 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 hibaokok közös következményeképpen az alkatrész megkophat és eltörhet.

3. A fürdőkád-görbe

A meghibásodás gyakoriságát az idő paraméter függvényében ábrázoló jelleggörbét jellegzetes alakja miatt „fürdőkád-jelleggörbének” nevezik. 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 szemléltetik az 1-2. ábrák, melyek a gépkocsi és a jelfogó mágneskapcsoló meghibásodási gyakoriságát mutatják a jellemző befolyásoló tényezők függvényében (Schaefer, 1983)

1-2. ábra: A fürdőkád-görbék mágneskapcsolók meghibásodása a kapcsolási szám függvényében és gépkocsik meghibásodása esetén a megtett km függvényében



Forrás: A szerző saját szerkesztése (Schaefer, 1983) alapján. /Sipkás V. (2017)

4. A Weibull-eloszlás

Waloddi Weibull (1887-1979) svéd mérnök által az 1940-es években, anyagfáradással kapcsolatos kérdésekkel összefüggésben az időfüggő meghibásodási gyakoriságot egy speciális hatványfüggvénnyel közelítette. Ezzel 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.

A Weibull-eloszlás általános, háromparaméteres alakjával az eloszlásfüggvényt a következőképpen írhatjuk fel (Balogh–Dukáti, 1972)

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

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.

Az η a mértékparaméter, vagy karakterisztikus élettartam. Vezessük be az $\eta = \alpha^{1/\beta}$ helyettesítést az (1) kifejezésbe. 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 γ helyparaméter a gyakorlati alkalmazásoknak csak kis részében egyenlő 0-val, a mintavételi terveket mégis a $\gamma = 0$ esetre adják meg. A β alakparaméter értéke a sűrűségfüggvény alakját határozza meg. A Weibull-eloszlás sűrűségfüggvénye $\gamma = 0$ esetben az (1a) képletből differenciálással határozható meg (lásd 3. ábra).

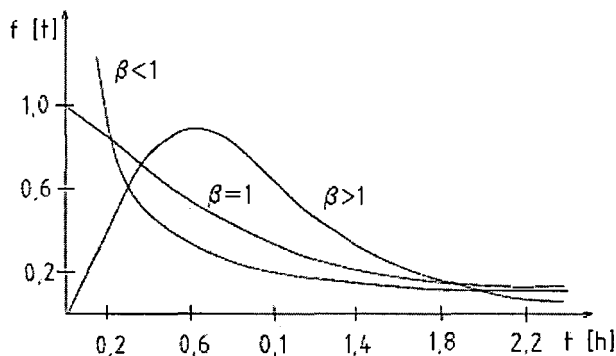
$$f(t) = F'(t) = \begin{cases} \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right], & \text{ha } t \geq 0, \\ 0, & \text{ha } t < 0. \end{cases} \quad (2)$$

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



Forrás: A szerző saját szerkesztése (Balogh–Dukáti, 1972) alapján. /Sipkás V. (2017)

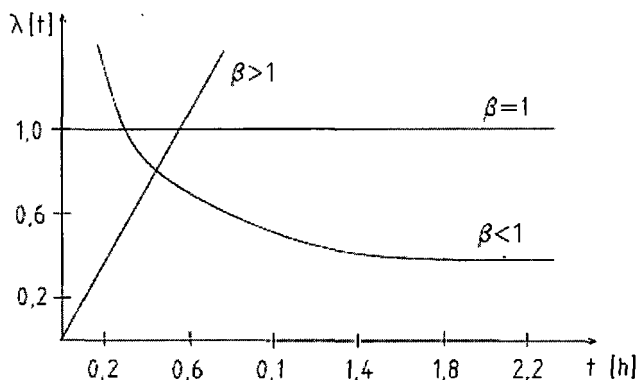
A Weibull-eloszlás esetében a meghibásodási ráta, vagy meghibásodási gyakoriság az idő függvényében $\gamma = 0$ esetén a következő:

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

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 4. ábra). A Weibull-eloszlásnál a várható tényleges működés $\gamma = 0$ értékre a következőképpen írható fel:

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

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



Forrás: A szerző saját szerkesztése (Balogh–Dukáti, 1972) alapján. /Sipkás V. (2017)

A diagram alapján megállapíthatjuk a három szakasz jellemzőit:

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 (Schaefer, 1983)

5. Mintavételi eljárások

A mintavételi eljárások két csoportra oszthatóak:

- várható tényleges működésre vonatkozó követelmény ellenőrzésére szolgáló eljárás,
- meghibásodási rátára vonatkozó követelmény ellenőrzésére irányuló eljárás.

Minkét esetben β -t ismeretlennek tételezzük fel, a mintavételi eljárás lépései azonosak (Balogh–Dukáti, 1972):

- a) Kiválasztunk a tételből egy n elemű mintát.
- b) A mintán előre megadott t ideig végezzük el a tényleges működés vizsgálatát. Adott esetben a vizsgálat nemcsak időtartammal, hanem másként is elő lehet írva (pl. indítási vagy kapcsolási ciklusokkal)
- c) Megfigyeljük a t ideig bekövetkezett meghibásodások r számát.
- d) A tételt átvesszük, ha $r \leq c$ (ahol c egy előre megadott átvételi szám), és a tételt visszautasítjuk abban az esetben, ha $r > c$.

6. Meghibásodási gyakoriságok meghatározása

Az élettartam meghatározása szempontjából az egyik legfontosabb paraméter a λ meghibásodási gyakoriság. Ennek reciproka az m átlagos élettartam a véletlen meghibásodások időszakában. A Weibull-eloszlás η karakterisztikus élettartama 1 és 2,5 közötti β értékek esetén közelítőleg az m értékkel egyezik meg. Minden alkatrészre jellemző egy λ érték, amely az alkatrészre vonatkozó meghibásodási mechanizmusból is adódhat. A λ értéket az alábbi egyenletet felhasználva lehet meghatározni (Schaefer, 1983)

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

ahol:

c a meghibásodáshoz vezető hibák száma,
 Δt a vizsgálati idő, N a próba darabszáma.

A meghibásodásként csak névleges igénybevételnél bekövetkező meghibásodásokat szabad figyelembe venni, az elektromos, termikus, mechanikus vagy vegyi jellegű fokozott igénybevételekből származó meghibásodásokat nem.

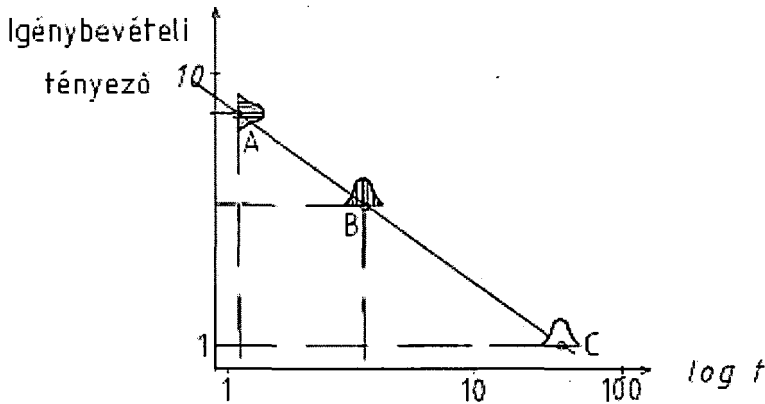
7. Gyorsított vizsgálatok

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?

A 4. ábrából adódóan megállapítható, hogy gyorsított vizsgálatoknál (A pont) a vizsgálati idő állandó, és a terhelést fokozatokban változtatják. Ezután a meghibásodásokat megszámlálják és osztályokba sorolják, elkülönítik, majd feljegyzik. A B ponton leolvasható tartós vizsgálatoknál a terhelés állandó. Egymást követő időszakokban megszámlálják a meghibásodásokat és azok számát hisztogramban rögzítik és ezt követően a kapott adatokat üzemi alkalmazásra (C) átszámítjuk. Ennél a pontnál kis igénybevétel, de hosszú vizsgálati idő jellemző (Schaefer, 1983)

4. ábra: Igénybevétel-idődiagram változatlanul maradó meghibásodás-eloszlás esetén



Forrás: A szerző saját szerkesztése (Schaefer, 1983) alapján. /Sipkás V. (2017)

8. 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, kiértékelés és 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.

Irodalomjegyzék

Balogh A., Dukáti F. (1972): Megbízhatósági vizsgálatok Weibull-eloszláson alapuló mintavételi eljárásai és tervei, *Híradástechnika*, 24 (1): 1–8.

- Gregász Tibor (2009): *Nemfémes szerkezeti anyagok élettartam-problémáinak minőségügyi megközelítése*. PhD értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron.
- Jayatilleka, S., Okogbaa, G. (2014): *Accelerated Life Testing*. Workshop on Accelerated Stress Testing and Reliability Conference, Saint Paul, Minnesota 55101, Egyesült Államok, 1–77. <<http://www.asqrd.org/wp-content/uploads/2014/09/Accelerated-Life-Test-Tool-for-Speedier-Product-Development.pdf>> (2017.10.02)
- Mojzes I. (2005): *Mikroelektronika és technológia*. Műegyetemi Kiadó, Budapest.
- Schaefer, E. (1983): *Megbízhatóság az elektronikában*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.