

# Reverzibilis működésű áramkorlátozó passzív elem

TAKÁCS GÁBOR  
Remix



## ÖSSZEFOGLALÁS

A vezető műanyagok még kevésbé ismertek a magyar elektronikai iparban. A Remix, a MÜKI-vel közösen, vezető műanyag alapú áramkorlátozó passzív elemet fejlesztett ki. Ennek fizikai és elektromos tulajdonságait vázolja a cikk. Kísérletet tesz az elektromos tulajdonságok matematikai modellezésére. A szerző befejezés-képpen rávilágít az újszerű alkatrész felhasználási lehetőségeire.

## 1. Bevezetés

Műszaki és fizikai szempontból egyaránt sok érdekességet ígérnek a vezető műanyagok. Az utóbbi tíz évben jelent meg néhány közlemény és szabadalom, amely méltán felkeltette a szakemberek érdeklődését. A Remix felismerte az ebben rejlő lehetőségeket és a Műanyagipari Kutatóintézzettel közösen egy vezető műanyag alapú reverzibilis áramkorlátozó passzív elem kifejlesztésébe kezdett.

Az alkatrész (a továbbiakban nevezzük RÁPE-nak) forrasztható kivezetőkkel, kétoldalt fémfólia elektródokkal ellátott tárcsa formájú vezető műanyag. A tárcsát a külső hatásoktól műanyag burkolat védi.

## 2. A működés elve

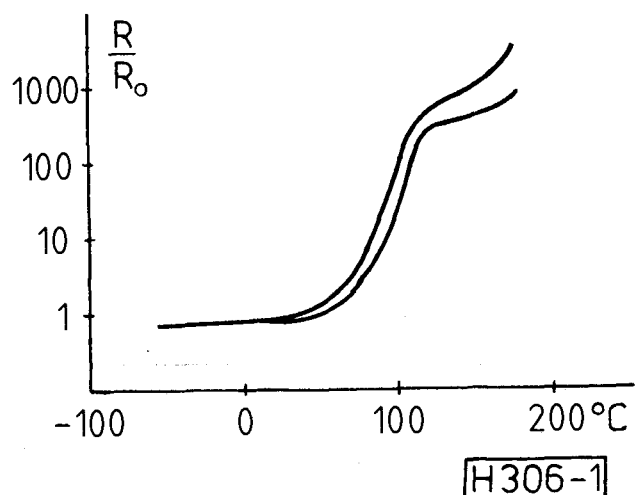
A vezető műanyag speciális korommal töltött polietilén, melyet sugárzással térhálósítanak. A polietilén kristályos polimer; a kristallitok egy meghatározott hőmérséklettartományban olvadnak meg. Szobahőmérsékleten nagy a koromszemcsék térfogati sűrűsége, s így az alkatrész rezisztenciája alacsony. Az átfolyó áram hatására disszipáló teljesítmény addig melegíti az alkatrészt, míg be nem áll a termikus egyensúly a környezet és a RÁPE között. Alacsony áramértékek mellett ez az egyensúlyi hőmérséklet alig magasabb a környezet hőfokánál. Ha azonban az alkatrész hőmérséklete a polimer olvadási tartományát eléri, akkor a kristallitok megolvadnak, a műanyag fajlagos térfogata megnő, a koromszemcsék térfogati sűrűsége lecsökken, azaz a szemcsék eltávolodnak egymástól. A rezisztencia nagyságrendekkel megnövekszik. Itt van szerepe a térhálónak: nem engedi szétfolyni a műanyagot, hanem gumirugalmas állapotban tartja. Ha az átfolyó áramot megszüntetjük, akkor a RÁPE visszahűl, a polimer visszakristályosodik; visszanyeri alacsony rezisztenciáját. A polietilén kristályosodási

## TAKÁCS GÁBOR

A BME Vegyészmérnöki Karának műanyag ágazatán végzett. 1986-ban az ELTE BT Karán filozófiai oklevelet is szerzett.

1981 óta dolgozik a Remix-nél az ellenállás fejlesztésén. Termisztor jellegű alkatrészek fejlesztésével, speciális potenciométerek tervezésével foglalkozik.

folyamata erősen függ a kristallitképződés termikus körülményeitől. A gyors lehűlés következtében kevésbé szabályos kristallitok alakulnak ki. Az utókristályosodási folyamat akár napokig is elhúzódhat. Ennek során nem csak a kristályosodási fok növekszik, hanem a már kialakult kristallitok is átkristályosodhatnak. Mindez azt eredményezi, hogy a visszahűlést követően a RÁPE rezisztenciája az eredeti érték 120–130%-ára tér vissza. Ez a pozitív irányú eltérés pihentetés során csökken. A RÁPE azonban néhány percei a kikapcsolás után már újraéleszthető. Az utókristályosodás hatása megmutatkozik a hideg tárolás esetében is. Ilyenkor növekszik a kristályosodási hányad, s ezzel együtt szobahőfokra visszamelegítve is kb. 20%-kal alacsonyabb rezisztencia értékre áll be, mint lehűtés előtt. Az 1. ábra a RÁPE hőmérsékleti karakterisztikáját mutatja. A mintákat szobahőmérsékletéről —55 °C-ra hűtöttük, majd 10 °C-onként felmelegítve mértük a rezisztenciát 175 °C-ig. I-nek vettük a szobahőfokon mért kiindulási értéket. Az ábra két jellemző görbét mutat be. 175 °C-on a kezdeti érték 500–600-szorosát, de a minták egy csoportjánál több mint 3000-szeresét is elérheti a rezisztencia-változás.



1. ábra. A RÁPE rezisztenciájának hőmérséklet-függése

Beérkezett: 1987. II. 5. (Δ)

A fenti jellemzés már világosan megmutatta, hogy a RÁPE úgy működik, hogy áramköröket építve rezisztenciája elhanyagolható az áramkör egészéhez képest. Ha az áramkörben túláram lép fel, akkor a RÁPE rezisztenciája ugrásszerűen megemelkedik, s ezzel visszakorlátozza az áram értékét. A felhasználó szempontjából üzemi körülmények között a karakterisztikát áram-függőnek kell tekinteni, vagyis az átfolyó áram értéke határozza meg a „billenést”. Átbillent (meleg) állapotban az áramkör üzemi feszültsége határozza meg az átfolyó áram erősségét, vagyis a visszakorlátozás mértékét. A 2. ábra a rezisztencia változását mutatja az alkatrészen eső feszültség függvé-

nyében. Egy bizonyos feszültség értékig a rezisztencia állandó, a billenést követően azonban rohamos emelkedésnek indul.

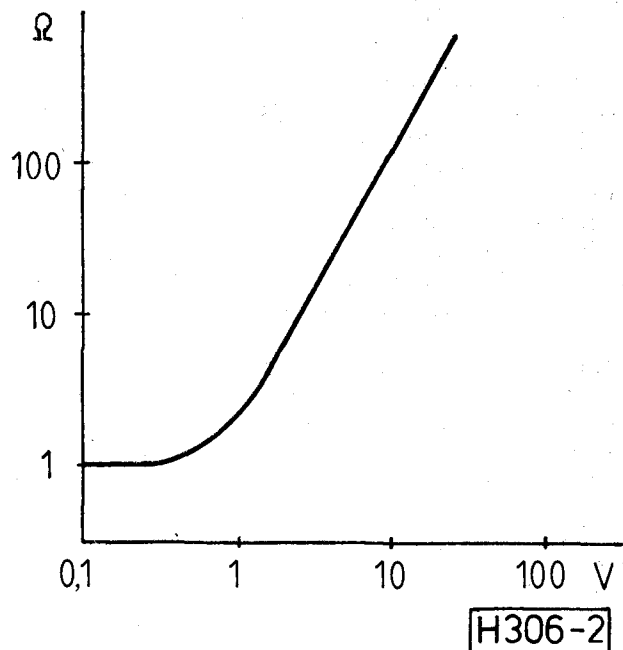
### 3. Az alkatrész U-I karakterisztikája

A RÁPE feszültség-áram karakterisztikája igen informatív. A karakterisztika görbe egy modellt kínál, amely jól megvilágítja az alkatrész működési elvét. A 3. ábra szemlélteti az U—I jelleggörbét mindkét tengelyen logaritmikusan ábrázolásban. A kezdeti (emelkedő) és a végső (csökkenő) szakasz lineáris, azaz egyenes-asszimptotákhoz tart. Ha a kezdeti szakasz (hideg ág) meredeksége 1 lenne, akkor ez egy ideális ellenállást jellemezne. Ha a csökkenő (meleg) ág meredeksége  $-1$  lenne, akkor ez egy hiperbolát jelentene, ahol a feszültség és az áram értékeinek szorzata állandó, vagyis ez egy állandó teljesítményű szakasz. Itt a terhelő feszültség az áram értékét úgy korlátozná vissza, hogy közben a disszipált teljesítmény állandó maradna. A modell szerint van tehát egy állandó rezisztenciájú és egy állandó teljesítményű szakasz; közte pedig az átbillenésre jellemző szélsőérték. A valóság azonban eltér az idealizált modelltől: úgy a hideg, mint a meleg ág meredekségének az abszolútértéke eltér 1-től. A hideg ágnál ez az érték 0,95 körül van. Az alkatrész, mivel vezető műanyagból készül, természetesen eltér hideg állapotban is az ideális ellenállástól. A műanyagok hőtágulási együtthatója nagyságrendekkel haladja meg az egyéb szilárd anyagokét. Már csekély mértékű felmelegedés is megváltoztatja a koromszemcsék térfogati sűrűségét, így pozitív TK-hoz vezet. A meleg ágban a meredekség 0,75–0,85 körüli érték. Ennek oka valószínűleg a laza térháló rovására írható, amely lehetővé teszi a polimerláncok kis mérvű átrendeződését, orientációját. A terhelő feszültség növekedésével a disszipáló teljesítmény is növekszik.

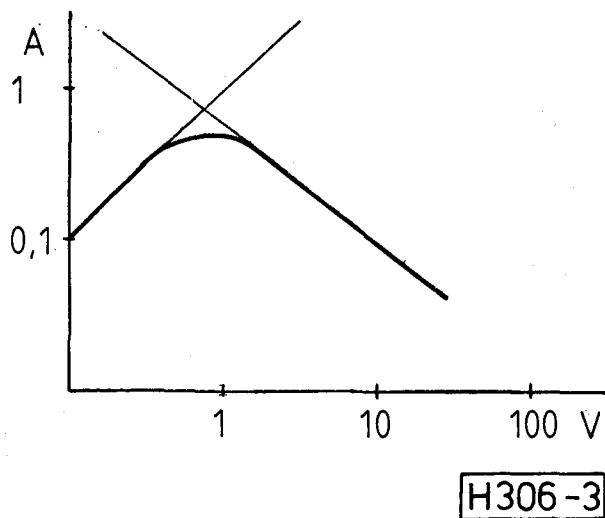
Megkíséreltük matematikailag is leírni a karakterisztika görbét. A két asszimptota egyenlete:

$$\lg I_h = \alpha_1 \lg U + \lg a \quad (1)$$

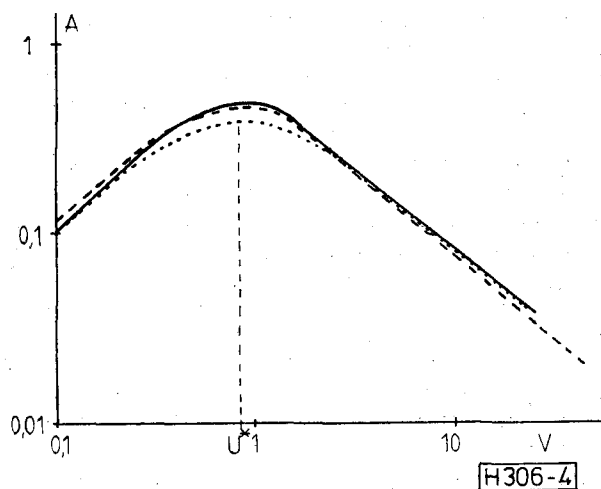
$$\lg I_m = \alpha_2 \lg U - \lg b \quad (2)$$



2. ábra. A rezisztencia függése az alkatrészen eső feszültségtől



3. ábra. Feszültség-áram karakterisztika



4. ábra. A feszültség-áram karakterisztika közelítései

Az (1) és (2) konstansainak segítségével felírható egy közelítő egyenlet az  $U-I$  jelleggörbére:

$$I = \frac{aU^{\alpha_1}}{abU^{(\alpha_1 + \alpha_2)} + 1} \quad (3)$$

Ez a függvény kvalitatíve jól leírja a valódi görbét, de az átbillenés, azaz a szélsőérték közelében erősen eltér a mórt értékektől. Az eltérés főként a polimer kristályos olvadási tartományát fedi le. A 4. ábrán a folytonos vonal a mórt görbe, a pontozott pedig a (3) alapján számított. Indokoltnak tűnt egy korrekciós függvény bevezetése, amely a billenés közelében korrigálja a (3) függvényt. Erre a célra egy haranggörbe volt a legalkalmasabb. Ez a korrekciós függvény:

$$K = 1 + 0,3e^{-\left(\frac{U-U^*}{U^*}\right)^2} \quad (4)$$

ahol  $U^*$  a görbe szélsőértékéhez tartozó feszültség. Így a jelleggörbét leíró függvény végső alakjában:

$$I = (1 + 0,3e^{-\left(\frac{U-U^*}{U^*}\right)^2}) \frac{aU^{\alpha_1}}{abU^{(\alpha_1 + \alpha_2)} + 1} \quad (5)$$

A 4. ábrán az (5) függvényt szaggatott vonal ábrázolja. Ez már kvantitatíve is megfelelően írja le a mérhető karakterisztikát. Érdekes szemügyre venni a függvényekben szereplő konstansokat. A hideg ág vezetőképessége:  $1/b$ , teljesítmény dimenziójú. Az állandó teljesítmény lenne, ha az  $\alpha_2$  kitevő  $-1$  lenne. Nem öncélú az (5) függvény felvázolása. Azt tapasztaltuk, hogy  $\alpha_1$ , és  $\alpha_2$  és  $b$  értéke egy gyártási tételen belül állandó, így szobahőmérsékletű rezisztencia-méréssel maga a karakterisztika megközelítőleg számítható. Egyedi esetekben négy pont mérésével a karakterisztika görbe szélsőérték helye meghatározható. A (3) alapján felírható a 2. ábra függvénye is, azaz a rezisztencia-feszültség összefüggés:

$$R = bU^{(1 + \alpha_2)} + \frac{1}{a}U^{(1 - \alpha_1)} \quad (6)$$

Mivel  $\alpha_1$  csak kismértékben tér el 1-től, így a második tag megközelítőleg konstans.

Mi történik akkor, ha zárlati áram lép fel az áramkörben? Az áram a 4. ábra hideg asszimptotáján fut föl. A disszipáló teljesítmény következtében az alkatrész melegezni kezd, növekszik a rajta eső feszültség hányada, ez ismét tovább melegíti, vagyis egy pozitív visszacsatolás következtében átbillen, és ennek eredményeként a karakterisztika görbének azon a pontján állapodik meg, amely az áramkör tápfeszültségéhez tartozik. Az átbillenés néhány perctől néhány század sec-ig terjedő idő alatt megy végbe a túláram mértékétől függően.

#### 4. Felhasználási lehetőségek

Jelenleg a kifejlesztett RÁPE példányok max. 35 V feszültséget kaphatnak. Ennek figyelembevételével néhány alkalmazási lehetőség:

- áramkörök, panelek védelmére; (A RÁPE megközelítőleg lomha biztosítékok helyett alkalmazható túláram és túlmelegedés elleni védelemre.)
- kismotorok túlterhelés elleni védelmére;
- transzformátorok szekunder oldali, túlterhelés elleni védelmére, a primer oldali zárlatvédelem felül.

Mindkét fenti esetben az alkatrész megfelel az MSZ 91—85 11.2 pontjában foglalt túlmelegedés elleni védelmi követelményeknek.

A RÁPE előnye a biztosítékokkal szemben a reverzibilis működés, azaz a gyakorlatilag korlátlan élettartam. Ezen felül nincsen szükség biztosítékházra. Bővíti a tervezők szabadságát, mivel rosszul hozzáférhető helyre is kerülhet, hiszen nincsen szükség a cseréjére. A RÁPE egy új, korszerű eszköz az üzembiztonság fokozására, s ezt a feladatát magasabb komfort-szinten látja el.

#### Köszönetnyilvánítás

A szerző szeretne köszönetet mondani Kálmán Ivánnak a MŰKI munkatársának az alkatrész kifejlesztésében végzett munkájáért, valamint azokról az értékes észrevételekért, amelyek ezen cikk megírásához is hozzájárultak.

---

Lapunk példányonként megvásárolható:

az V., Váci utca 10. és

az V., Bajcsy-Zsilinszky út 76. szám alatti

hírlapboltban

---