

KOSSUTH LAJOS TUDOMÁNYEGYETEM  
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

Gergely Lajos — Czellár Sándor

# Elektronikai alkatrészek és műszerek

I.

KÉZIRAT

2. változatlan kiadás

TANKÖNYVKIADÓ, BUDAPEST, 1985

A

556885

Lektorálták

Dr. Szentirmay Zsolt  
a fizikai tudományok kandidátusa,  
egyetemi docens

Dr. Vasváry László  
egyetemi adjunktus

A

K

Magyar Élelmiszer-Tudománykutató Intézet  
4572 - 1986

## ELLENÁLLÁSOK

Villamos- és elektronikus műszerekben, elektroakusztikai berendezésekben nagy mennyiségben kerülnek felhasználásra a különböző típusú és méretű ellenállások. Ezek általában a következő csoportokba oszthatók:

1. Állandó értékű ellenállások, amelyek értéke sem kézzel, sem mechanikai eszközökkel nem változtatható és lehetőség szerint független a hőmérséklettől vagy a rajta levő feszültségtől és áramtól.
2. Változtatható ellenállások, amelyek értéke valamilyen mechanikai eljárással vagy kézzel állítható be és az így beállított érték független a kapcsolás tulajdonságaitól vagy a hőmérséklettől.
3. Változó ellenállások, amelyek értéke az ellenállásra kapcsolt feszültség, áram vagy az ellenállás hőmérséklete szerint változik.

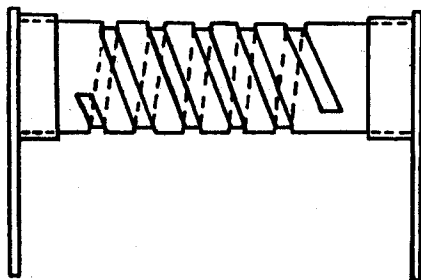
Az ellenállás típusok tovább csoportosíthatók az ellenállást képező anyag szerint is és így beszélhetünk réteg-, huzal- és tömör ellenállásokról.

### 1—1. Állandó értékű ellenállások

#### 1-1.1. Rétegellemállások

A rétegellemállás kerámia hengerre vagy rudra felvitt vékony vezető rétegből áll. A kerámia test nagyságát a terhelésnél keletkező hő szabja meg; olyan nagyra kell méretezni, hogy névleges terhelés esetén az ellenállás test legfeljebb  $70-80^{\circ}\text{C}$ -kal legyen magasabb, mint a  $25^{\circ}\text{C}$  környezeti hőmérséklet. A vezető réteg felvitele után a pontos értéket legtöbbször a vezető rétegbe köszörült spirális horony segítségével állítják be (1-1. ábra), ezáltal meghosszabbodik az ellenállás pálya.

A köszörülést forgó gépben nagy sebességgel forgó vékony köszörükövel végzik. A köszörülés ideje alatt az ellenállás mérőhidba van kap-



1-1. ábra

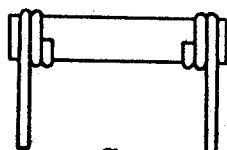
Köszörült rétegellenállás

(1-2. ábra). A kivezetővel ellátott rétegellenállást lakkréteg védőbevonattal látják el: ez egyrészt a mechanikai sérülések, másrészt a nedveség behatolása ellen nyújt védelmet.

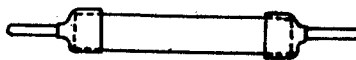
csolva, a kívánt érték elérése után a gép automatikusan leáll és kidobja a készre köszörült ellenállást.

A vezető réteg fajlagos ellenállásának, vastagságának, valamint a köszörülési menetemelkedésnek megválasztásával néhány ohmtól több száz Mohmig terjedő ellenállásértéket lehet beállítani.

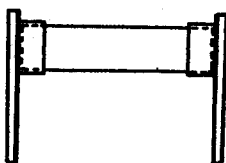
Az ellenállásokat elektromos kivezetésekkel látják el, amelyek lehetnek mélyhuzott fémsapkák, bilincsek vagy egyszerűen huzal kivezetések



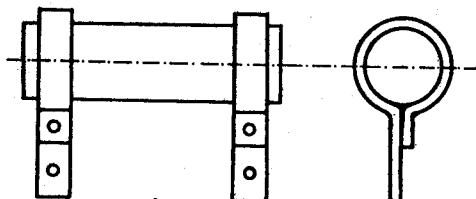
a.



b.



c.



d.

1-2. ábra

Különbféle kivezetésekkel ellátott rétegellenállások:

- a) huzalkiezetés, b) és c) mélyhuzott kivezető sapka  
d) bilincs kivezető

Az áramvezető réteg minősége szerint a következő rétegellenállás típusok ismeretesek:

szénréteg-ellenállások

kristályos szénréteg-ellenállások

bőrkarbon-rétegellenállások

fémréteg-ellenállások.

A szénréteg-ellenállások gyártásához kis fajlagos ellenállású grafitból, koromból és bakelit-lakk keverékből masszát készítenek [2]. A massa fajlagos ellenállása az összetételtől függően kb.  $3 \cdot 10^3 - 10^6$  ohm  $\text{mm}^2/\text{m}$  között változtatható - az előállítandó ellenállás értékének megfelelően. Ezt a masszát szórópisztollyal viszik fel a kerámia testekre. Beszórás után a rudakat bevonó réteget megszáritják, majd  $200^\circ\text{C}$ -on a bakelit-lakkot bakelitté alakítják át. Az így előállított rétegegenállások időbeni stabilitása elég rossz, ma már nem nagyon gyártják.

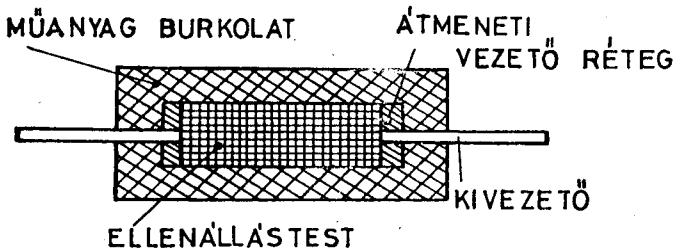
A kristályos szénréteg-ellenállás gyártása során vákuum kemencében magas hőmérsékletű szénhidrogén gőzökből jól tapadó kristályos szénréteg rakódik le a kémiailag tiszta kerámia testekre. A fényes, szürke szénréteg vastagsága a gőzök hőmérsékletének valamint a gőzölési idő változtatásával  $10^{-2} - 10^{-6}$  mm között pontosan beállítható. Mivel kötőanyagot nem tartalmaz, ezeknek az ellenállásoknak a stabilitása nagy.

A bórkarbon-rétegegenállás előállítása a kristályos szénréteg-ellenállás gyártásánál leirtakhoz hasonlóan történik, azonban a szénhidrogénekhez bórt tartalmazó vegyületet is adagolnak. A bór beépül a kristályos szerkezetű szénrétegbe. Az így keletkezett bórkarbon réteg hőmérsékleti tényezője kb. egy nagyságrenddel kisebb mint a kristályos szénrétegé és fajlagos terhelhetősége is nagyobb. Ez lehetővé teszi a geometriai méretek csökkentését, a stabilitásuk is jobb.

A legjobb mechanikai és villamos tulajdonságokkal a fémréteg-ellenállások rendelkeznek. A nemes vagy félnemes fémréteget vákuumgőzölgetéssel, katódporlasztással vagy kémiai uton viszik fel a kerámia vagy üveg testre. Vastagságuk  $10^{-6}$  mm nagyságrendű. Stabilitásuk különösen jó, több ezer Mohm értékű ellenállások is készíthetők ilyen módon.

### 1-1.2. Tömör ellenállások

A tömör ellenállások őse az első rádiókészülékekben használatos un. szilítellenállás. Anyaguk szilíciumkárbid volt, amelyet kötőanyaggal rudacskákká préseltek. Stabilitásuk, hőfoktényezőjük, zajfeszültségük igen rossz volt. A ma használatos tömör ellenállások anyaga grafit-korom-kötőanyag massa vagy különböző fénoxidok, grafit és préspor keveréke. Ebből rudacskákat sajtolnak, amelyek végébe egyidejűleg bepréselik a kivezető huzalvégeket is, majd szigetelő csőbe (bakelit vagy porcelán) helyezik (1-3. ábra). Mivel teljes vastagásukban résztvesznek az áram vezetésében, sokkal jobban terhelhetők. Egyszerű felépítésük miatt tömeggyártásra kiválóan alkalmasak, de hátrányuk az, hogy az ellenállás értéket utólag nem lehet beállítani.



1-3. ábra  
Tömör ellenállás

Ellenállások színjelölése

1-1. táblázat

A gyűrűk színe	A két sapka közötti részen					Egyik sapkán
	1.gyűrű	2.gyűrű	3.gyűrű	4.gyűrű	5.gyűrű	6.gyűrű
	a névleges ellenállásérték				névleges terhelhetőség W	kiviteli jelzés
	első számjegy	második számjegy	szorzószám	tűrés %-ban		
Ezüst	-	-	$10^{-2}$	$\begin{matrix} +10\% \\ - \end{matrix}$	0,125	különleges
Arany	-	-	$10^{-1}$	$\begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 5\%$	0,25	
Fekete	0	0	$10^0$	-	0,5	
Barna	1	1	$10^1$	$\begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 1\%$	1,0	
Vörös	2	2	$10^2$	$\begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 2\%$	2,0	
Narancs	3	3	$10^3$			
Sárga	4	4	$10^4$			
Zöld	5	5	$10^5$			
Kék	6	6	$10^6$			
Ibolya	7	7	$10^7$			
Szürke	8	8	$10^8$			
Fehér	9	9	$10^9$			
Nincs				$\begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 20\%$		

A kész ellenállásokon a névleges értéket színjelöléssel vagy bélyegzéssel tüntetik fel. Az ellenállás-színkála színeit és az azoknak megfelelő számértékeket az 1-1. táblázatban ismertetjük.

Az első szingyürü az, amely az egyik sapkához közelebb eső részén van. Indukciószegény kivitelnél az első az a szingyürü, amely a sapkán levő jelzéssel ellentétes oldalon van, az utolsó pedig az, amely a sapkára kerül.

Az ellenállás névleges értékének megadásához szorosan hozzátartozik az értéktűrés is, amely azt adja meg, hogy az ellenállás tényleges értéke hány százalékkal térhet el az ellenálláson feltüntetett névleges értéktől. A leggyakrabban használt  $\pm 5\%$ ;  $\pm 10\%$  és  $\pm 20\%$  értéktűréshez egy-egy érték sor tartozik. Az érték sor tagjait úgy határozzák meg, hogy az ellenálláérték alsó tűréshatárához tartozó érték közel azonos legyen az előző tag felső tűréshatárához tartozó értékkel. A sor tagjait a kívánt érték eléréséhez esetenként szorozni kell 10 ohm, 0,1 ohm, 1 kohm, 10 kohm és 1 Mohm-mal.

### Ellenállások értéktáblázata

1-2. táblázat

		Ellenállás névleges értéke												
		5%	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0
Ellenállás értéktűrése	5%	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	
	10%	1,0		1,2		1,5		1,8		2,2		2,7		
	20%		1,0				1,5				2,2			
	5%	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1	
	10%	3,3		3,9		4,7		5,6		6,8		8,2		
	20%		3,3				4,7				6,8			
													6,8	

### 1-1.3. Állandó értékű huzalellenállások

A huzalellenállás két előnyös tulajdonságot mutat a rétegellenállással szemben: nagyobb a stabilitása és a terhelhetősége. A huzal anyaga kisebb értékű és stabilabb ellenállások esetében konstantán vagy mangánin, nagy terhelhetőségű és nagyértékű ellenállásokat krómnikkelből készítenek.

A nagy pontosságú és stabilitású normállenállásokat mangánin huzalból készítik egyrészt az igen kicsi hőfoktényezője, másrészt a rézhez viszonyított kis termofeszültsége miatt.

Mivel a huzalvastagságot a megfelelő mechanikai szilárdság miatt nem célszerű 0,05 mm alá csökkenteni, valamint az ellenállások geometriai méretei sem növelhetők korlátlanul, 100-200 kOhm az a felső határ, ameddig általában huzalellenállásokat gyártanak. A forgalomban lévő huzalellenállások terhelhetősége pedig 3-4 wattól néhány száz wattig terjednek.

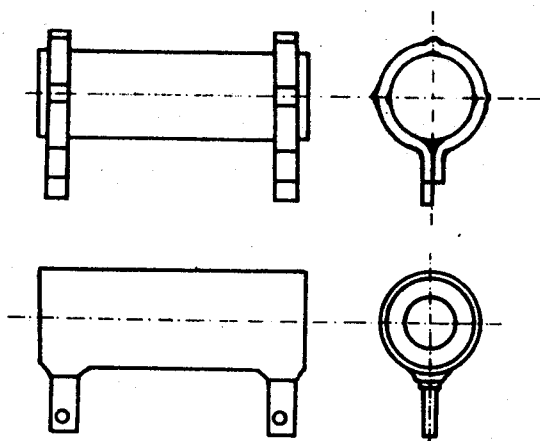
### Huzalellenállások anyagai

1-3. táblázat

	Fajlagos ellenállás	Hőfok együttható	Rézhez képest tanúsított termofeszültség 25°C-on
	ohm mm <sup>2</sup> /m	1/°C	μV/°C
Mangánin 87% Cu, 13% Mn	0,48	$\pm 10^{-5}$	2
Konstantán 57% Cu, 43% Ni	0,49	$10^{-6}$	43
Krómnikkel 80% Ni, 20% Cr	1,08	$1,3 \cdot 10^{-4}$	22

A gyártás során porcelán vagy kerámia csőre különlegesen pontos szálvezetővel ellátott tekercselőgéppel tekercselik fel az ellenálláshuzalt, majd kivezetőkkel látják el, amelyek az elektromos csatlakozáson túl felerősítésül is szolgálnak. A kivezetés céljára rendszerint csavaros vagy szegecselt bilincset alkalmaznak (1-4. ábra). A kész ellenállást lakk-, zománc- vagy cementburkolattal látják el. Ez egyrészt rögzíti a meneteket elmozdulás ellen (meggátolja a menetzárlatot), másrészt védelmet nyújt a nedvesség ellen. Az összefüggő, nagy felület jobb hűtést is biztosíthat.





1-4. ábra

Huzalellenállás védőlakk (a) és zománc (b) bevonattal

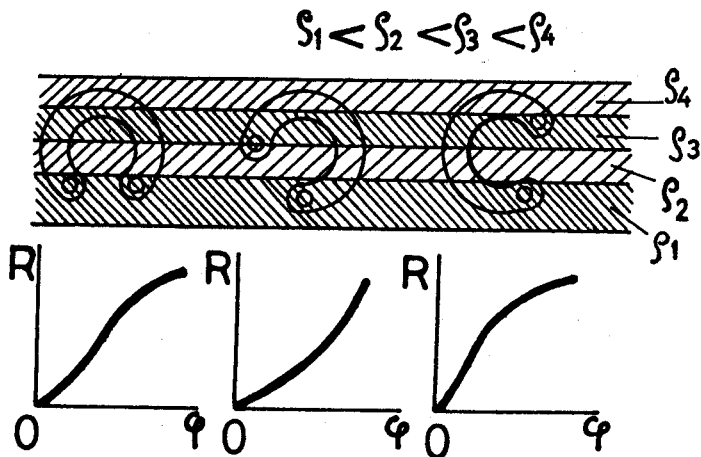
## 1-2. Változtatható ellenállások (potenciométerek)

A híradástechnikai és műszeriparban igen sokszor szükség van bizonyos határok között változtatható ellenállásokra. A forgalomban levő változtatható ellenállások többségénél a csuszó érintkező a középpontba szerelt tengelyen van és a szükséges ellenállást a tengely elforgatásával állítják be. Az utóbbi években kezdenek elterjedni a tolópotenciométerek, amelyeknél a csuszó érintkező egyenes mentén mozgatható el. Felhasználás és konstrukció szempontjából beállító és szabályozó potenciométerekről beszélhetünk.

### 1-2.1. Változtatható rétegellenállások

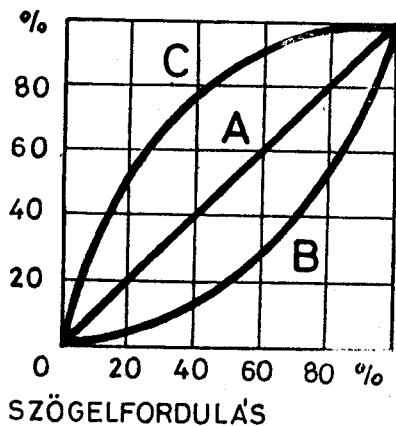
A szénréteg-ellenállásoknál már ismertetett összetételű lakk-grafit-korom masszát szórópisztollyal vagy öntéssel viszik fel a vékony textiltakelit lemezre. Száritás után bakelizáló hőkezelésnek vetik alá. Az ellenállástest lehet szalag vagy patkó alakú, ezen csuszik a bronzlemezről, grafitból vagy ezüstözött vörösréz huzalból készített csuszó érintkező, amely háromnegyed körmozgást végezhet. A zajmentes szabályozó érdekében az ellenálláspálya felületének tükörsimának kell lennie.

Különösen a hangerő és hangszinyszabályozásnál van szükség nem lineáris jelleggörbéjű potenciométerekre. A nem lineáris jelleggörbe úgy biztosítható, hogy a patkó alakú lap különböző szakaszára más-más vezetőképességű vezetőréteget visznek fel az 1-5. ábrán látható módon.



1-5. ábra  
Különböző karakterisztikájú ellenállás patkók előállítására

ELLENÁLLÁSÉRTÉK VÁLTOZÁS

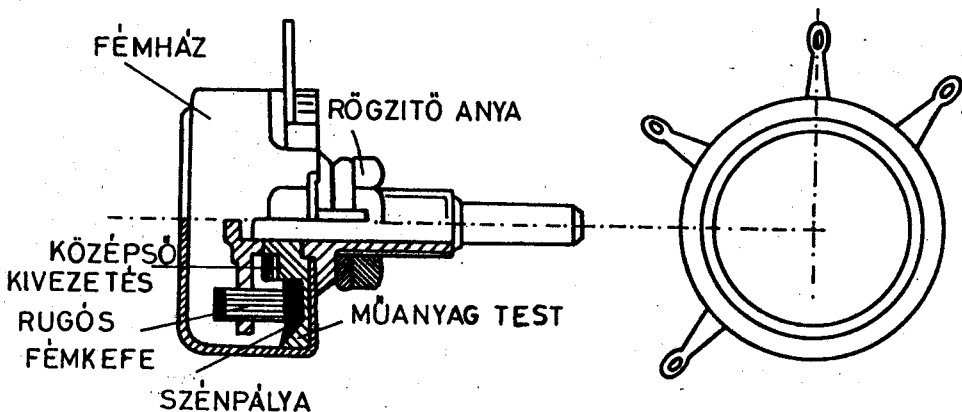


1-6. ábra  
Rétegpotenciométerek jelleggörbéi

A patkó kivágás forgatásával biztosítható a kiválasztottnak megfelelő ellenállás karakterisztika. A maradék ellenállás csökkentése céljából a vezetőréteget mindkét kivezetés közelében kis darabon ezüstöztik. A leggyakrabban a lineáris, a logaritmusos és a fordított logaritmusos jelleggörbéjű potenciométereket gyártják (1-6. ábra).

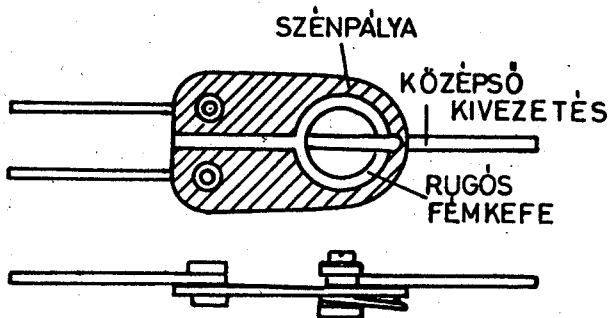
A potenciométereket a sérülések és a por ellen bakelit- vagy fémházba zárják, az utóbbi egyben árnyékolásul is szolgál. A csuszó érintkező mozgatása általában 6 mm átmérőjű tengellyel történik, amelyre forgató gombot erősítenek. A potenciométer felerősítése rendszerint központos, 10 mm átmérőjű metrikus anyával történik. A kivezetéseket forrcsucsok képezik

(1-7. ábra). Több áramkör egyidejű szabályozására kettős, esetleg többszörös potenciométereket is gyártanak. Itt fontos követelmény lehet az ellenállások pontos együttfutása. Gyakran építik egybe a potenciométe-



1-7. ábra  
Szénréteg potenciométer

reket hálózati kapcsolóval is. Kisméretű tranzisztoros készülékek részére a rétegpotenciométert forgató gombba építik bele. Olyan áramkörök-höz, ahol a potenciométert nem állandó szabályozásra, hanem valamilyen villamos jellemző egyszeri beállítására használják, csavarhúzóval mozgatható rétegpotenciométert használnak (trimmer potenciométer, 1-8. ábra).



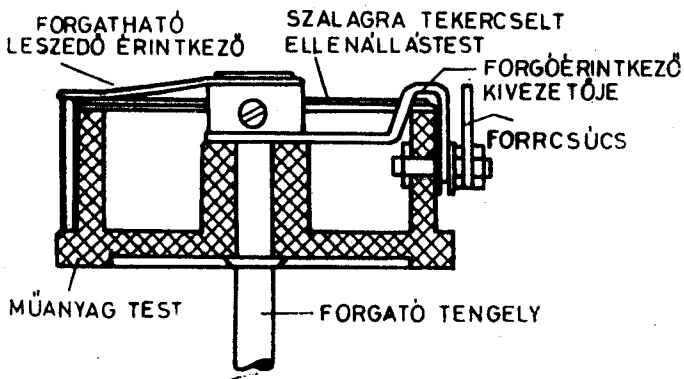
1-8. ábra  
Minitűr beállító rétegpotenciométer

A rétegpotenciométerek névleges terhelhetősége méreteiktől függően 0,05-2 W lehet. Többi fizikai tulajdonságaik a szénréteg-ellenállásoknál leirtaknak megfelelő.

Végül megemlítjük, hogy gyártanak fémréteg potenciométereket is, mind beállító, mind szabályozó kivitelben, amelyeknél a fémréteget megfelelően kiképzett kerámia testre viszik fel.

## 1-2.2. Változtatható huzallellenállások

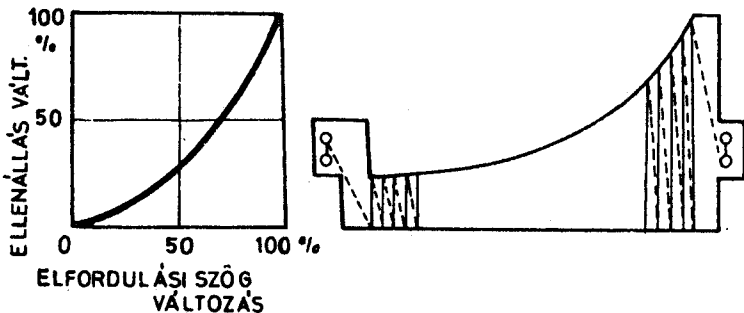
A huzal anyaga megegyezik a huzallellenállások anyagával. Az ellenállástestet fenolfiberből, textilbakelitből vagy nagyobb terhelések esetén kerámiából készítik. A lemezeket szalag alakjában tekercselik és utólag hajlítják a végleges alakra. A Remix gyártmányu huzalpotenciométerek felépítését az 1-9. ábra mutatja.



1-9. ábra

Remix gyártmányu huzalpotenciométer

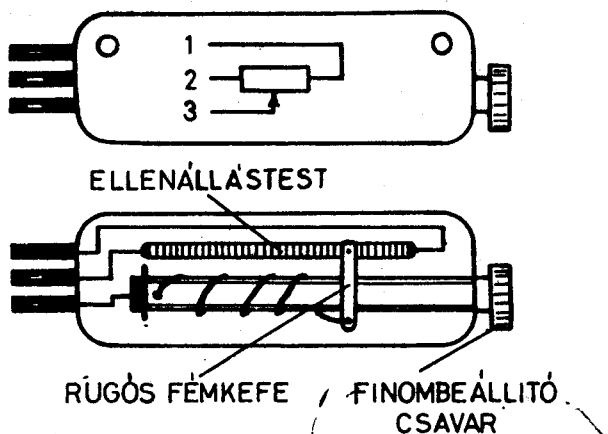
A huzalpotenciométereket általában lineáris jelleggörbével készítik. Ezeknél a tekercs menetemelkedése állandó. Mérőműszerekben szükség lehet nem lineáris jelleggörbéjű huzal potenciométerekre is. Ezeket úgy készítik, hogy az ellenállástestet a jelleggörbének megfelelően képezik ki, vagyis a tekercs menetek változó hosszúságúak (1-10. ábra).



1-10. ábra

Logaritmikus jelleggörbéjű huzalpotenciométer

A huzalpotenciométerek maximális értéke nem szokott nagyobb lenni, mint 30-50 kohm. Készülhetnek műanyagházas, fémházas, miniatűr és szigetelt tengelyű kivitelben (1-11. ábra).



1-11. ábra

Finombeállító huzalpotenciométer nyomtatott huzalozáshoz

Külön kell megemlítenünk a precíziós huzalpotenciométereket (ismertebb néven helikális potenciométerek), amelyeket a mérés-, a szabályozás- és számítástechnika területén alkalmaznak. Jellemzőjük a nagyfokú linearitás ( $\pm 0,1 \dots \pm 1\%$ ) és ohmikus ellenállás, a megbízható és reprodukálható beállíthatóság és hosszú élettartam.

A manganin huzalból készített ellenállástekercs a potenciométer műanyagházában általában 10 menetű spiráltekercs alakjában helyezkedik el szigetelt rézhordozóra csévélve. A potenciométer csuszóérintkezője kiképzésénél fogva követi a tekercs pályáját.

A pontos és reprodukálható beállíthatóság érdekében külön forgató szerkezetre van szükség, amely egyrészt mutatja a körülfordulások számát, másrészt 100 részre osztott körtárcsája segítségével egy meneten belül 1/100 körülfordulásnyi pontossággal állítható be az ellenállás. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a körtárcsa egy beosztása a potenciométer ellenállás értékének egyezred részének felel meg.

Gyakori a számkijelzésű forgató szerkezet (mikrodial), amely egytől ezerig terjedő számokkal jelzi az elfordulás mértékét. Megjegyezzük még, hogy a potenciométerek zaja és stabilitása a csuszó érintkező miatt rosszabb, mint az állandó értékű ellenállásoké.

### 1—3. Az ellenállások elektromos és fizikai tulajdonságai

#### Névleges és fajlagos terhelhetőség

Az ellenállás névleges terhelhetősége az a megengedett legnagyobb teljesítmény, amelyet adott környezeti hőmérséklet és folyamatos terhelés esetén az ellenállásra adhatunk. Ennek értékét úgy állapítják meg, hogy tartós üzem esetén az ellenállás vezető rétege, tartóteste, szigetelése ne károsodjon.

Réteg- és huzalellenállásoknál az ellenállás geometriai méreteivel arányos az ellenállás terhelhetősége, amely az ellenállás  $1 \text{ cm}^2$  felületére adható maximális teljesítményt jelenti. Mértékegysége  $\text{W/cm}^2$ . A fajlagos terhelhetőség az áramvezető anyagától és a burkolat minőségétől függ. Néhány ellenállás típus fajlagos terhelhetőségét az 1.4. táblázatban adjuk meg.

#### Ellenállások fajlagos terhelése

1-4. táblázat

Áramvezető anyaga	fajlagos terhelhetőség $\text{W/cm}^2$
Kristályos-szén és szénréteg ellenállás	0,22 - 0,33
Bórkarbon-, huzalellenállásiakk bevonattal	0,4 - 0,6
Huzalellenállás zománc vagy cement bevonattal	1 - 1,5

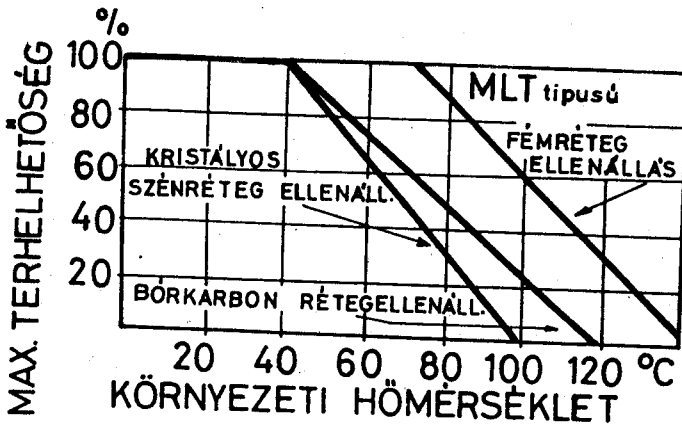
Rétegeellenállások a következő terhelhetőségre készülnek:

0,05-0,1-0,25-0,5-1-2-3-5-10-20 W.

Adott ellenállás tényleges terhelhetősége azonban függ attól a környezeti hőmérséklettől, amelyen folyamatosan üzemeltetjük. Magasabb üzemi hőmérsékleten a terhelhetőség csökken (1-12. ábra).

#### Ellenállások öregedése

Öregedésnek az ellenállásoknak azt a tulajdonságát nevezzük, amely az ellenállás értékét raktározás vagy normális üzemszerű terhelés hatására megváltoztatja.



1-12. ábra

Rétegellenállások terhelhetősége a hőmérséklet függvényében

Az ellenállások öregedése függ a vezető anyag illetve az ellenállás minőségétől, a hőmérséklettől, a levegő páratartalmától, a terhelés mértékétől. Egy ellenállás annál stabilabb, minél kisebb a százalékos ellenállásváltozása egy adott idejű terhelés és raktározási vizsgálat után.

A stabilitási vizsgálatnál az ellenállást normál atmoszférán a névleges teljesítménnyel terhelik 5000 órán keresztül, majd 5000 órán keresztül tárolják 50% relatív páratartalmu helyen. Az így bekövetkezett relatív ellenállásváltozás alapján minőségi osztályokba sorolják az ellenállásokat.

A legkisebb a változás a fém és kristályos-szén valamint bőrkarbon ellenállásoknál, a lakkréteg- és tömör ellenállásoknál nagyobb.

A műszer és a precíziós ellenállások stabilitása mesterséges öregítéssel fokozható, ezek az ellenállások azonban csak a névleges teljesítmény felével terhelhetők.

A minőségi osztályok a következő számszerű értékeket írják elő:

Minőségi osztály	Relatív ellenállásváltozás	Felhasználási terület
0,5	$\leq 0,5\%$	precíziós és mérési célok
2	$\leq 2\%$	műszer célokra
5	$\leq 5\%$	általános rádió, TV és áramköri felhasználás

## Hőmérsékleti tényező

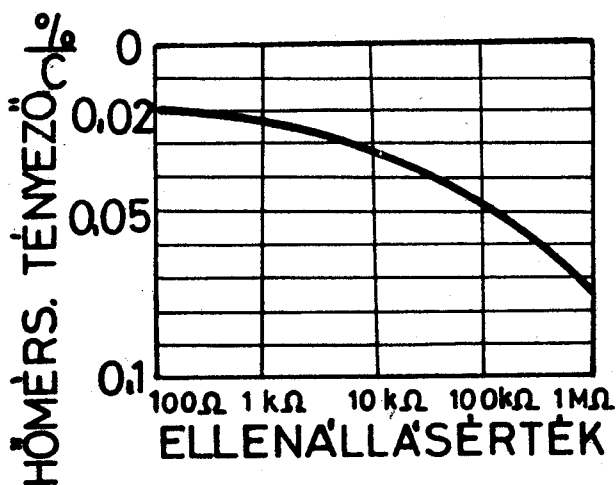
Az ellenállásoknak azt a tulajdonságát, hogy hőmérséklet hatására ellenállásértéküket átmenetileg megváltoztatják, hőmérséklet-függőségnek nevezzük:

$$R_T = R_{20} (1 + \alpha \Delta T)$$

ahol  $\alpha$  a hőmérsékleti tényező.

A szén alapú rétegellenállások hőmérsékleti tényezője negatív. A hőmérsékleti tényező a minőségi osztálytól és az ellenállás névértékétől függően nem haladhatja meg a 0,5...0,15%/°C-ot.

Példaként bemutatjuk a kristályos szénrétegellenállás hőmérsékleti tényezőjét a 20...70 °C hőmérséklet tartományban (1-13. ábra).



1-13. ábra

A kristályos szénréteg ellenállások hőmérsékleti tényezője +20 és +70 °C hőmérséklet közötti tartományban

## Ellenállások határfeszültsége

Azt a maximális feszültséget, amellyel az ellenállás még üzemeltethető, az ellenállás határfeszültségének nevezzük. Az ellenállásokra kapcsolható legnagyobb feszültség az ellenállásértékből és a névleges teljesítményből számítható:  $U = \sqrt{P R}$ , de nem lehet nagyobb az 1-5. táblázatban megadott értékeknél. (A táblázatban megadott feszültség



egyenfeszültséget vagy a váltakozó áramu feszültség amplitúdóját jelenti.) A lökésfeszültség túllépése esetén a spirálmenetek élei vagy esetleg a kivezetések között átütés jöhet létre.

Rétegegenállásokra kapcsolható maximális  
feszültségek

1-5. táblázat

	Névleges terhelés									
	0,05W	0,1W	0,25W	0,5W	1W	2W	3W	5W	10W	20W
Kristályos szénréteg	150V	200V	350V	500V	750V	750V	1000V	1500V	1500V	1500V
Bórkarbon	-	150V	200V	350V	500V	750V	750V	1000V	-	-

Az ellenállások feszültségfüggési tényezője

Az ellenállásoknak azt a tulajdonságát, hogy a kivezetőkre kapcsolt feszültségtől függően ellenállásukat megváltoztatják, feszültségfüggésnek nevezzük.

A feszültség hatására fellépő ellenállásváltozás ( $\Delta R$ ) arányos az ellenállás értékkel ( $R$ ) és a feszültséggel ( $U$ )

$$\Delta R = K_f R U \text{ (ohm)}, \quad (1-1)$$

ahol  $K_f$  az ellenállás feszültségfüggési tényezője.

A huzaellenállások többsége feszültségfüggetlen. A fémréteg- a kristályos szénréteg- és bórkarbon-rétegegenállásoknál  $K_f$  értéke kicsi, míg a lakkréteg- és a tömör ellenállásoknál viszonylag nagyobb értéket mutat. A réteg egymással többé-kevésbé lazán érintkező szénszemcsékből áll. Az ilyen réteg ellenállása két komponensből tevődik össze:

a szénszemcsék saját ellenállása és a szemcsék közötti átmeneti ellenállás, amely az előzőnél sokkal nagyobb. Az átmeneti ellenállás fordított arányos a részecskék közötti feszültséggel, ezért minden olyan változtatás, amely csökkenti az egyes szemcsék közötti távolságot és szigetelő anyagot, csökkenti egyúttal a feszültség-tényező értékét is.

### Az ellenállások zaja

Az ellenállások kivezetései között, attól függetlenül, hogy folyik-e áram rajta vagy nem, kis váltófeszültség mérhető, amit zajfeszültségnek nevezünk.

A zajfeszültség oka lehet:

a) Johnson-zaj (hőzaj), ami az elektronok szabálytalan hőmozgásából ered. Ez a terheletlen ellenálláson is jelentkezik és független a vezető anyagától, formájától. A hőmozgásból származó zajfeszültség effektív értéke:

$$U_{\text{zaj}} = \sqrt{4 k_B T R \Delta f} \quad (1-2)$$

ahol  $k_B$  a Boltzman-féle állandó,  $T$  az  $R$  ellenállás abszolút hőmérséklete,  $\Delta f$  az a sáv szélesség, amellyel a zajfeszültséget mérjük (Nyquist-féle összefüggés);

b) Az áramzaj az ellenálláson átfolyó áram hatására keletkezik. Ezt széntartalmu ellenállásoknál a szénszemcsék közötti érintkezés-ingerdozások és kisülések okozzák, ami pedig erősen függ a szemcsék közötti feszültségtől. Az áramzaj az ellenálláson átfolyó áram növelésével nő.

Kimutatható, hogy a széntartalom növelésével csökken a zajfeszültség. A kristályos-szén- és bórkarbon-rétegellenállások zajfeszültsége kisebb, mint a tömör és lakkréteg ellenállásoké. Fémréteg és huzalellenállásoknál gyakorlatilag csak hőzaj figyelhető meg.

Az áramzaj frekvencia-spektruma nem egyenletes és a hallható frekvenciatartományban nagyobb amplitúdával jelentkezik, mint a hőzaj.

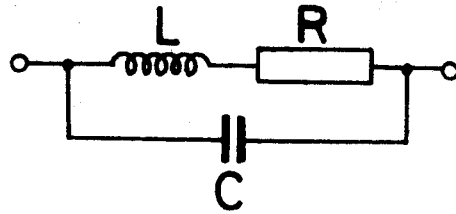
Az áramzaj függ a vezető elem hosszától, szerkezeti felépítésétől, a réteg és az ellenállás kivezető közötti kontaktus kialakításától, az ellenállásértéktől.

A zajfeszültséget  $\mu V/V$ -ban adják meg, ami a zajfeszültség effektív értékének és az ellenálláson levő egyenfeszültségnek a hányadosa. Ennek értéke nem lehet nagyobb - az ellenállás minőségi osztályától függően - mint 1-3  $\mu V/V$ .

## Ellenállások frekvenciafüggő viselkedése

Amíg a huzal- vagy rétegellenálláson csak egyenáram folyik át, addig tiszta ohmos ellenállást képeznek. Megváltozik a helyzet azonban akkor, ha váltóáram folyik rajtuk keresztül, főleg ha nagyfrekvenciás áramkörben alkalmazzuk azokat. Ennek magyarázatát a következőkben adjuk meg:

A huzallellenállás menetei tekercset képeznek, amelynek induktív ellenállása már a szokásos rádiófrekvenciás tartományban az ohmos ellenállással azonos nagyságrendű vagy annál jóval nagyobb is lehet. A huzal egyes menetei között ezenkívül még kis kapacitások - un. menetkapacitások - is fellépnek, amelyek szintén nem elhanyagolhatók. Ezek figyelem-



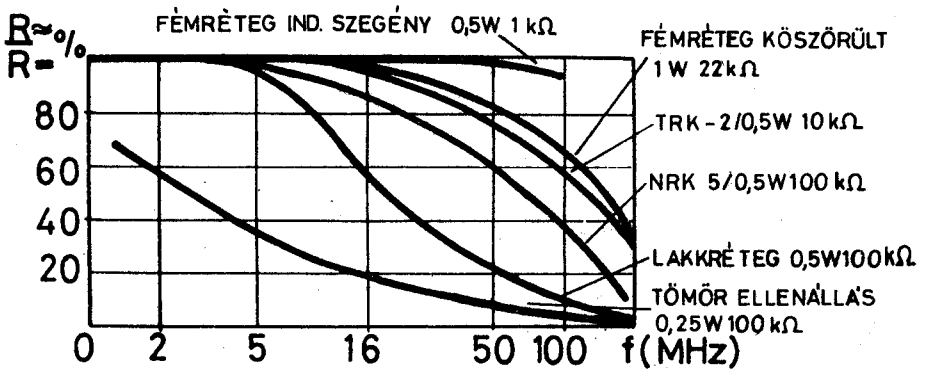
1-14. ábra

Ellenállások helyettesítő kapcsolása

bevételével az ellenállás helyettesítő képe az 1-14. ábrán látható, ahol az egyes reaktáns összetevőket első közelítésben koncentrált paraméterekkel helyettesítettük. A helyettesítő kép alapján látható, hogy az ellenállás rezgőkörként viselkedhet és adott rezonanciafrekvenciával rendelkezik. Ennek következtében közönséges huzallellenállásokat rádiókészülékekben is csak óvatosan szabad használni. Meg kell azonban említenünk, hogy a huzallellenállások reaktanciája különleges tekercselési eljárásokkal jelentős mértékben csökkenthető.

A rétegellenállások frekvenciafüggésének vizsgálatánál figyelembe kell venni, hogy szintén rendelkeznek osztott kapacitással és induktivitással, ezen kívül a kivezetőknek egymáshoz és a szerelőlemezhez is van kapacitásuk. Tömör és szénréteg-ellenállásoknál jelentős szerepet játszik még az egyes szén szemcsék közötti kapacitás valamint a szigetelő maszsa veszteségei is. A kis (kb. 100 ohm alatti) ellenállásoknál főleg az induktív hatás érvényesül, a kapacitív hatás pedig elhanyagolható. A frekvencia növekedésével és az ellenállás csökkenésével az impedancia egyre jobban nő. Magasabb frekvenciáknál még a kivezetések induktivitása is szerepet játszik. Nagy ellenállásoknál csak a kapacitív sőtölő hatás érvényesül, ami viszont impedancia csökkenést eredményez, így az induktív hatás elhanyagolható. A mérési eredményekből (1-15. ábra) látható, hogy a legjobb nagyfrekvenciás viselkedést a fémréteg ellenállások mutatják és utánuk következnek a kristályos-szén és a bőrkarbon rétegellenállások.

Az indukciószegény ellenállásoknál spirális köszörülést nem alkalmaznak, mert az indukción kívül a spirálmenekek között fellépő szórt kapacitás is jelentős.



1-15. ábra

Különböző vezetôanyagu ellenállások frekvenciafüggôsege

#### 1-4. Feszültségfüggô ellenállások

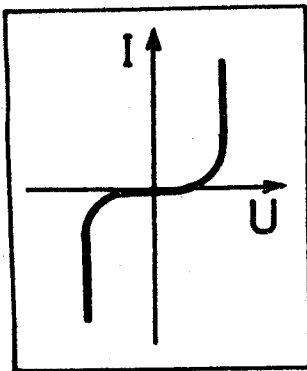
A feszültségfüggô ellenállás elektromos ellenállása a rákapcsolt feszültség pillanatnyi értékétôl függ. Angol nevének (Voltage Dependent Resistor) kezdôbetûivel jelölik: VDR, ismertebb neve: varisztor.

Alapanyaga félvezetô szilíciumkarbid por, amelyet valamilyen kötôanyaggal keverve tárcsa, lemez vagy rud alaku formába préselnek, majd magas hőmérsékleten kiégetnek. A szilíciumkarbid szemcsék közötti átmeneti ellenállás a szemcsék közötti feszültség hatására csökken, vagyis a feszültség növekedésével a varisztor ellenállása csökken. Feszültség-áramerôsség jelleggörbéje polaritástól független (1-16. ábra).

A varisztoron átfolyó áram és a feszültség közötti összefüggést az alábbi egyenlettel lehet megadni:

$$U = C I^\beta \quad (1-3)$$

ahol  $C$  a varisztor méreteitôl függô állandó, szokásos értéke 20-1000 V/A között van,  $\beta$  anyagi állandó, értéke 0,14-0,5 között változhat.



1-16. ábra

Varisztor feszültség -  
- áramerôsség jelleg-  
görbéje

A varisztor nemlineáris karakterisztikája miatt a kivezetéseire kapcsolt szinusz alaku váltakozó feszültség által létrehozott áram

nem lesz szinuszos. E tulajdonságát televíziós készülékek eltérítő áramának torzítására is felhasználhatják. Nagy képszögű képcsövek eltérítő árama ugyanis meghatározott mértékben eltér a lineáris fűrészfogalaktól. A megfelelő nagyságu torzítást az áramkörbe kapcsolt varisztor ellenállásával lehet előállítani.

Rövid idejű, nagy feszültségcsúcsok levágására is előnyösen felhasználható a varisztor. Kapcsolóval párhuzamosan kötve a kikapcsoláskor fellépő feszültséglökékeket nagymértékben csökkenti.

Végül használható a varisztor egyenfeszültség stabilizálásra, mivel a kapcsain levő feszültség változása sokkal kisebb a rajta átfolyó áram megváltozásánál.

### 1-5. Hőmérsékletfüggő ellenállások

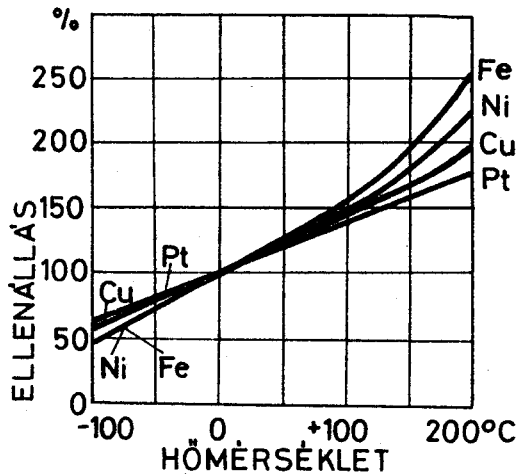
Az előzők során már utaltunk arra, hogy az ellenállások anyagi minőségüktől függően különböző hőfokfüggést mutatnak. Ezt nemkívánatos jelenségként kezeljük, mivel kedvezőtlenül befolyásolják a berendezések üzembiztonságát, pontosságát.

A mérés- és szabályozástechnikában azonban egyre gyakrabban alkalmazunk ellenállásokat - fémeket és félvezetőket -, amelyek ellenállása és hőmérséklete között jól meghatározott összefüggés mutatható ki, és éppen ezen tulajdonságaik alapján kerülnek felhasználásra [29]. Egyik legfontosabb alkalmazási területük a hőmérsékletmérés. Néhány fém és félvezető ellenállásának hőmérsékletfüggése az 1-17. ábra alapján hasonlítható össze.

#### 1-5.1. Fém ellenálláshőmérsék

A fémek fajlagos ellenállásának hőmérsékletfüggése a következő egyenlettel írható fel:

$$\varrho(T) = \varrho_p(T) + \varrho_i \quad (1-4)$$



1-17. ábra  
Néhány fém és félvezető ellenállásának hőmérsékletfüggése

ahol  $\rho_p(T)$  jellemzi a tiszta fém termikus tulajdonságait, nagysága csak a hőmérséklettől függ és 0 K hőmérséklet felé közeledve nullához tart. A  $\rho_i$  az esetleges szennyezőktől, a rácsszerkezet hibáitól függő állandó (Matthiessen szabály). Ebből látható, hogy az ellenálláshőmérők jelleggörbéinek egyöntetűsége elsősorban a nagy tisztasággal és mechanikai feszültség-mentességgel biztosítható. Különösen az alacsony hőmérsékleti tartományban nő meg ezeknek a hibáknak a befolyása az ellenállás-hőmérséklet karakterisztika alakjára.

A leggyakrabban alkalmazott fémek főbb adatait az 1-6. táblázat tartalmazza.

Ellenálláshőmérőkhöz használt fémek jellemzői

1-6. táblázat

Anyag	Hőmérséklet- nyező $\text{deg}^{-1}$	Fajlagos ellen- állás $\text{ohm mm}^2 \text{m}^{-1}$	Alkalmazási tartomány $^{\circ}\text{C}$
Platina	$3,85 \dots 3,927 \cdot 10^{-3}$	0,0981	-183...+630 (-260...+1400)
Réz	$4,25 \cdot 10^{-3}$	0,017	- 50...+180
Nikkel	$6,17 \cdot 10^{-3}$	0,12	- 60...+200
Vas	$6,57 \cdot 10^{-3}$	0,10	- 50...+180

Gyakorlati kivitelezésük során a 0,02-0,05 mm átmérőjű ellenállás huzalból készített bifiláris tekercset üveg vagy kerámia tartótestre helyezik és a mechanikai valamint korróziós károsodás ellen megfelelő védőburkolattal látják el.

### 1-5.2. Termisztorok

Az utóbbi évtizedekben előtérbe kerültek a különböző félvezető anyagokból készített negatív hőfoktényezőjű ún. NTC (Negativ Temperature Coefficient) ellenállások vagy másneven termisztorok (thermally sensitive resistors) alkalmazása. Különböző fénoxidok keverékéből készítik, mint pl. vasferrit és cinktitánoxid, vagy nikkeloxid és lithiumoxid keveréke [29].

A poralakban előállított oxidokat képlékeny kötőanyaggal elkeverik és egy jól alakítható masszát kapnak. A masszából különböző alaku tár-

csákat, rudakat, gyöngyöket préselnek, majd magas hőmérsékleten kiégetik és kivezetésekkel valamint védelemmel látják el (1-19. ábra).

A termisztorok ellenállásának hőmérsékletfüggését az

$$R_T = A e^{\frac{B}{T}} \quad (-15)$$

egyenlettel lehet felírni, ahol  $A$  a termisztor alakjától és méretétől függő tényező;  $B$  a hőmérséklettől független anyagi állandó.  $B$  értéke általában 3000-4000 K között mozog, ennek 25 °C-on -3,6%/°C illetve -4,5%/°C ellenállásváltozás felel meg.

A termisztor hőmérsékletváltozása és ennek hatására az ellenállás változása két okból adódhat:

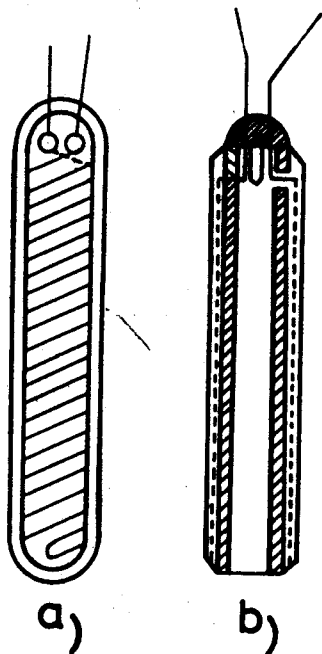
- a) a környezeti hőmérséklet megváltozásának hatása
- b) a termisztoron átfolyó áram hatása.

A környezeti hőmérséklet hatása - amennyiben a termisztor saját disszipációja elhanyagolható - az 1-20. ábrából közvetlenül leolvasható.

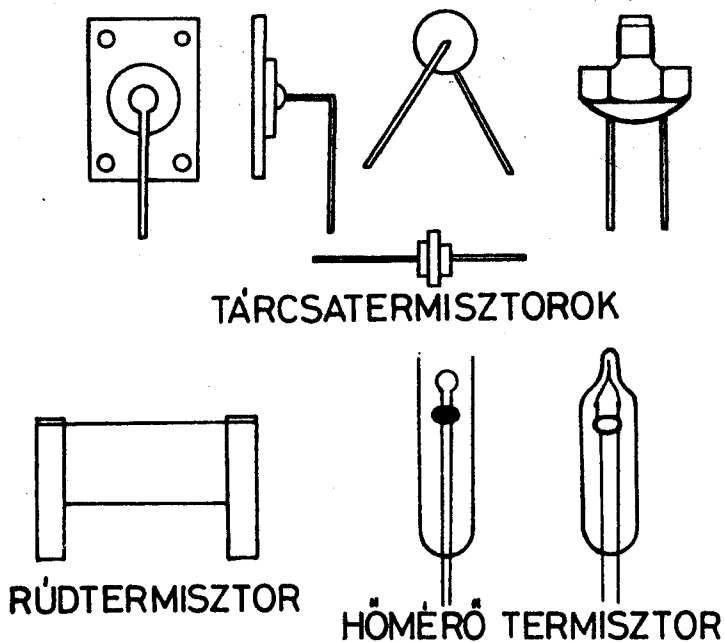
A saját disszipáció hatására előálló jelleggörbét log-log skálán láthatjuk az 1-21. ábrán. A görbe kezdeti szakaszán - kis áramerősségeknél - az áram növekedésével lineárisan nő a feszültség is. Ekkor a termisztor hőmérséklete megegyezik a környezet hőmérsékletével, a belső disszipáció nem okoz kimutatható hőmérséklet növekedést. Nagyobb áramerősségnél - amikor a belső disszipáció hatására a termisztor melegedik és így ellenállása csökken - a kapcsolin mérhető feszültség lassabban növekszik, mint az áramerősség, sőt az áramerősség további növekedése feszültség csökkenéssel jár együtt.

Kiegészítésként megjegyezzük, hogy elterjedően vannak a pozitív hőfoktényezőjű (PTC) termisztorok is. Ezek fizikai tulajdonsága azonban két szempontból is különbözik a negatív hőfoktényezőjű termisztorokétól:

- a) A PTC termisztorok hőfoktényezője csupán egy bizonyos hőmérsékleti tartományban pozitív, azon kívül negatív vagy zérus,



1-18. ábra  
Technikai platina hőérzékelő ellenállások  
a) Üvegbe forrasztott 100 ohmos ellenállás,  
b) Kerámia csőre tekercselt 100 ohmos ellenállás.



1-19. ábra  
Termisztorok

b) A PTC termisztorok hőfoktényezőjének abszolút értéke lényegesen nagyobb, mint az NTC termisztoroké. Ezeket báriumtitanát vagy báriumtitanát-stronciumtitanát alapanyagú masszából készítik az NTC termisztoroknál leírt módon. Ellenállás-hőmérséklet függését a következő egyenlettel adhatjuk meg:

$$R_T = A + C e^{BT}, \text{ ha } T_1 < T < T_2 \quad (1-6)$$

ahol  $A$ ,  $B$  és  $C$  mérettől és anyagi minőségtől függő állandók,  $T_1$  ill.  $T_2$  az a legkisebb, ill. legnagyobb hőmérséklet, amelyek között az összefüggés érvényes. Az 1-22. ábrán egy NTC és egy PTC termisztor ellenállás-hőmérséklet függését mutatjuk be.

A termisztorokat igen sokféle célra használják fel. Az alábbiakban néhányat megemlítünk.

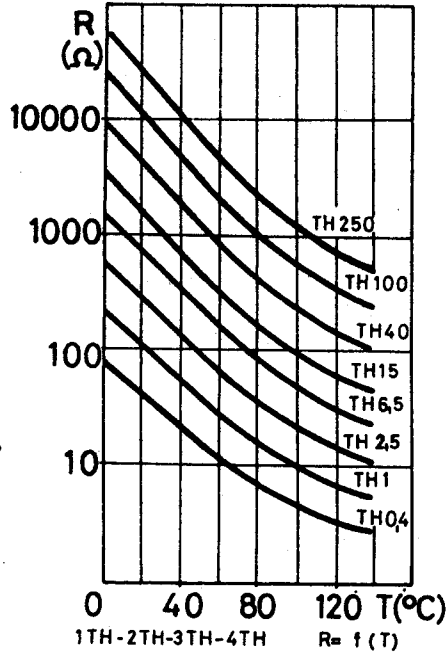
a) Termisztorok ellenálláshőmérőként való alkalmazása esetén ügyelni kell arra, hogy lehetőleg kicsi legyen a hőkapacitása és jó hővezető kapcsolatban legyen a mérendő testtel. Csak olyan kis árammal



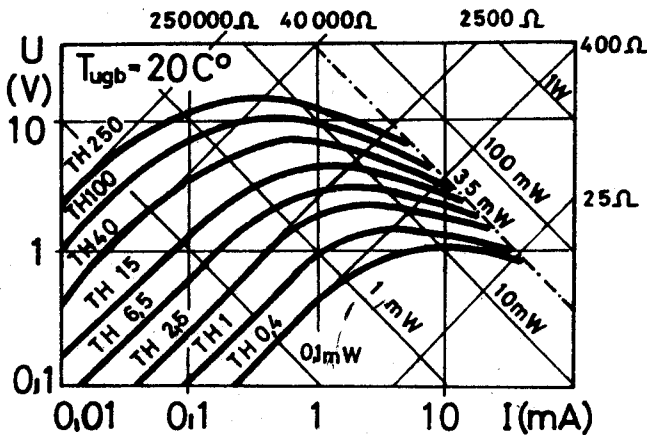
szabad terhelni, amely még nem befolyásolja észrevehetően a termisztor hőmérsékletét. Megfelelő mérőerősítő alkalmazásával  $10^{-4}$  °C nagyságrendű hőmérsékletváltozás kimutatására is alkalmas. Alkalmazhatóságaik felső határa  $250$  °C.

b) Egyik fontos alkalmazási területe a kisfogyasztású wattmérőként való felhasználása. Különösen a GHz-es frekvenciatartományban, ahol más mérési mód nincsen, használnak speciális termisztorokat (gyöngytermisztorokat), amelyek kis méreteikből kifolyólag  $\mu$  watt teljesítmény kimutatására is alkalmasak.

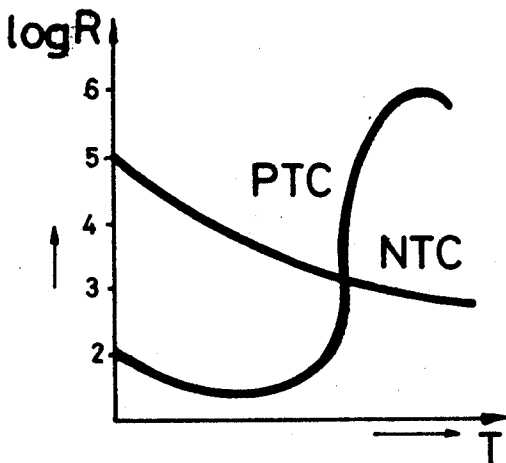
c) Erősítők önműködő erősítés-szabályozójaként, állandó kimenőfeszültség vagy teljesítmény beállítására alkalmas. Itt már a feszültség-áramerősség karakterisztika nem lineáris szakaszán állítjuk be a munkapontot.



1-20. ábra  
Hőmérő termisztorok ellenállás - hőmérséklet karakterisztikái



1-21. ábra  
Hőmérő termisztorok áram - feszültség karakterisztikái



1-22. ábra  
Negatív és pozitív hőfoktényezőjű  
termisztorok ellenállás - hőmér-  
séglet karakterisztikája

d) Soros fűtésű rádiócsö-  
vek bekapcsolásakor a hideg fű-  
tőttestek rövid ideig igen erős  
áramot engednek át, amely  
egyes csövek fűtőszálának erős  
felvillanásához, kiégéséhez ve-  
zethet. Ha a körben termisztor  
is van bekapcsolva, ez az áram  
lökés elmarad.

e) PTC termisztorokat  
előnyösen lehet alkalmazni áram-  
korlátozóként motorok és kemén-  
cék túláramvédelmének.

Már itt meg kell emle-  
tünk, hogy az elektronikus alka-  
részek gyártásánál (szerkezeti  
felépítésénél, burkolásánál) fi-  
gyelembe kell venni azokat a  
körülményeket, amelyek között  
felhasználásra kerülnek. Az  
ezekkel kapcsolatos követelmé-  
nyeket nemzetközi szabványok

írják elő és környezetállósági jellemzőknek (klímaállósági és mechanikai  
jellemzők) nevezik. Ilyen különleges követelménynek számít, ha az al-  
katrészeket alacsony hőmérsékleten ( $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig), száraz melegben (max.  
 $155\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig) vagy tartósan nedves melegben (trópusi körülmények között)  
akarjuk üzemeltetni.

Lényegesek a várható mechanikai hatások is (rázás, ejtegetés, a ki-  
vezetések húzása, hajlítása, csavarása) a kivitelezés szempontjából.  
Különösen szigorú előírások vannak a katonai berendezésekben haszná-  
latos alkatrészekkel szemben. A katalógusokból ezen követelmények ki-  
elégítéséről részletes felvilágosítást kapunk.