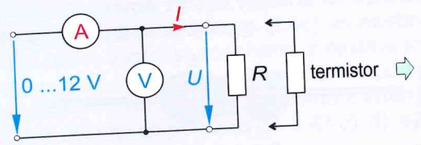
3.5.2 Linearni in nelinearni upori

Upore smo obravnavali kot elemente s **konstantno** upornostjo, kot da na njo druge fizikalne veličine ne vplivajo. Dejansko je v tem primeru **temperaturna** odvisnost upornosti za **splošno** prakso dovolj majhna, da jo lahko tudi **zanemarimo**, druge fizikalne veličine pa na njo nimajo vpliva. Tem uporom pravimo **standardni** upori ali kar »**upori**«. Spoznali pa bomo tudi upore z izdatnejšim vplivom temperature ali drugih fizikalnih veličin na njihovo upornost.

Poskus 3.7: *V vezavi po sliki 3.55 izmerimo toke upora z upornostjo 300 Ω pri različnih napetostih in vrednosti tokov vnesemo v preglednico. Na enak način naredimo s termistorjem PTC, npr. B5988, katerega segrevanje z lastnim tokom vpliva na lastno upornost (spoznali ga bomo v nadaljevanju).*



U (V)	I_R (mA)	I_{PTC} (mA)
0	0	0
1	5	15
2	10	30
3	15	41
5	25	49
9	45	38
12	60	30

Slika 3.55: Ugotavljanje vpliva upornosti na karakteristiko U-I upora

⇨ *Tok **upora** je **premo sorazmeren** z napetostjo oziroma je **linearna** funkcija napetosti, tok **termistorja** pa je nelinearna funkcija napetosti, ki ga poganja.*

Grafičnemu prikazu odvisnosti **toka** od **napetosti** upora (sl. 3.56 in 3.57) pravimo **karakteristika *U-I*** upora.

⇨ Uporom z **linearno** karakteristiko *U-I* (sl. 3.56) pravimo **linearni** upori, z **nelinearno** karakteristiko *U-I* (sl. 3.57) pa **nelinearni** upori.

Poljubna **točka** na karakteristiki *U-I* upora ali drugega elektronskega elementa je določena s pripadajočo **napetostjo** in **tokom**. Pravimo ji **delovna točka** elementa, označujemo pa jo s ***T***. V našem primeru je na sliki 3.57 točka T_2 določena z napetostjo 2 V in tokom 30 mA.

⇨ **Linearni** upori imajo v poljubni delovni točki karakteristike *U-I* **enako** upornost (sl. 3.56), **nelinearni** pa **različno** (sl. 3.57).

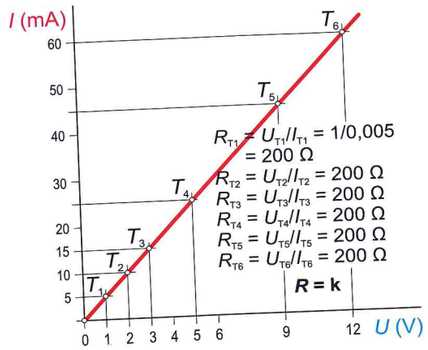
⇨ Če v skupnem prikazu karakteristik *U-I* **linearnih** in **nelinearnih** uporov obstajajo **skupne delovne točke** (sl. 3.58), je v teh točkah upornost uporov **enaka**.

Dobljeni rezultati ponovno opozarjajo, da Ohmov zakon velja le za **linearne** elemente, saj njegove enačbe izhajajo iz **premega** sorazmerja med napetostjo in tokom (*I~U*) oziroma iz **linearne** karakteristike *U-I*. Iz karakteristike *U-I* sicer nelinearnega upora na sliki 3.57 pa lahko sklepamo, da je do napetosti ≈ 2 V le-ta praktično **linearna** in da je v tem območju pri konstantni zunanji temperaturi tudi upornost praktično **linearna** oziroma **konstantna** (66 Ω). To linearnost podre šele segrevanje upora z lastnim tokom.

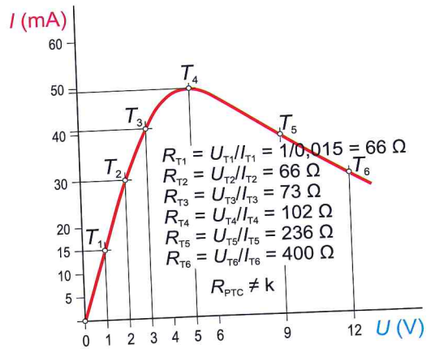
Pri **nelinearnih** elementih (sl. 3.57) si sicer lahko pomagamo z Ohmovim zakonom, toda le v **posamezni** točki njegove karakteristike *U-I* posebej. Ker tudi **merjenje** upornosti temelji na Ohmovem zakonu, delovna točka pa pri merjenju z Ω-metri ni določena, velja pomembno dejstvo:

⇨ Z **Ω-metrom** lahko izmerimo upornost le **linearnih** elementov.

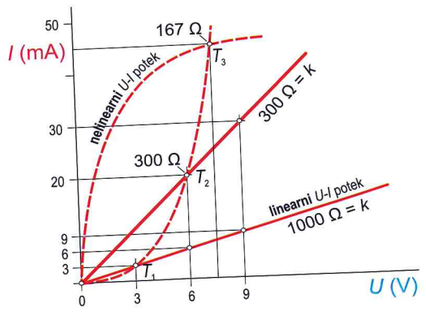
Splošni simbol elementa z nelinearno upornostjo prikazuje slika 3.59. Pri tem je odvisnost upornosti elementa od fizikalne veličine, ki vpliva na njegovo upornost, podana s puščicama ob telesu simbola.



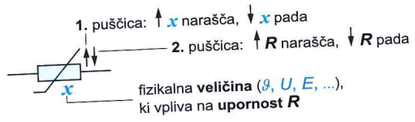
*Slika 3.56: Karakteristika U-I **linearnega** upora*



*Slika 3.57: Karakteristika U-I **nelinearnega** upora*



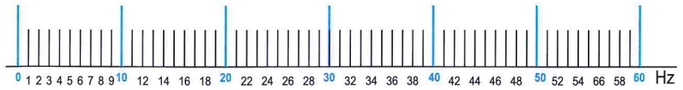
Slika 3.58: Linearna in nelinearna upora



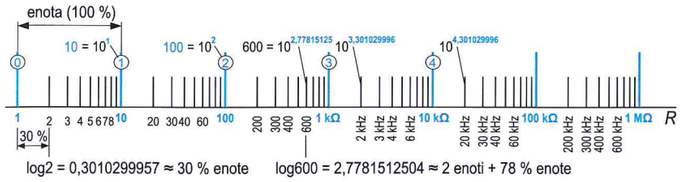
*Slika 3.59: Splošni simbol **nelinearnega** upora*

3.5.2.1 Linearna in logaritemska skala

Grafični prikaz karakteristik **nelinearnih** uporov, nihajnih krogov, frekvenčnih filtrov … je na **širokem** območju spreminjanja veličin (npr. od nekaj deset **Ω** do več sto **MΩ** …) v **linearnem** merilu (sl. 3.56 in 3.60, ⓘ1) na razpoložljivi površini praviloma nemogoč. Zato tovrstne poteke prikažemo v komprimiranem, **logaritemskem**[1] merilu (sl. 3.61).



*Slika 3.60: **Linearna** skala*



*Slika 3.61: **Logaritemska** skala*

⇨ **Logaritemska** skala je močno **komprimirana** (ⓘ2). Omogoča pregledno podajanje grafov fizikalnih veličin pri zelo **velikih** razponih spremenljivk na relativno **majhni** površini (sl. 3.61). Uporabimo jo lahko na **eni** ali **obeh** oseh koordinatnega sistema.

Zaradi zahtevnosti logaritemskih skal sami praviloma ne rišemo. Moramo pa jih razumeti, saj proizvajalci komponent pogosto podajajo njihove **temperaturne**, **frekvenčne** in druge odvisnosti v **logaritemskem** merilu. Odčitavanje vmesnih vrednosti logaritemske skale je bolj orientacijsko, kar pa ne zmanjša njenih prej omenjenih prednosti.

3.5.3 Termistorji

⇨ **Termistor**[2] (sl. 3.62) je **nelinearni** upor, katerega upornost je odvisna od **temperature** veliko bolj kot pri standardnih uporih (ⓘ3).

⇨ Razlikujemo termistorje z **negativnim** (**NTC**) in **pozitivnim** temperaturnim koeficientom (**PTC**).

Termistorji so nizkocenovni elementi, narejeni iz zmesi oksidov različnih **polprevodnih** materialov v obliki majhnih kroglic, diskov ali palic z dvema priključkoma. Obdani so z zaščitno plastjo, glede na način uporabe pa so lahko vgrajeni še v ohišja različnih oblik (sl. 3.62).

3.5.3.1 NTC-termistor

⇨ **Upornost** NTC-termistorja se z **naraščanjem** temperature **zmanjšuje** (sl. 3.63). Pravimo, da **segreti** termistor prevaja veliko **bolje**.

Pri napetosti le **do nekaj V** in toku **do nekaj mA** je segrevanje termistorja z **lastnim** tokom **zanemarljivo** oziroma temperaturo termistorja določa **temperatura okolja**. V tem delu karakteristike *U-I* (sl. 3.63) je upornost NTC-termistorja pri konstantni temperaturi okolja praktično konstantna, sicer pa je odvisna od temperature okolja. Na ta način NTC-termistor v ustreznem električnem krogu posredno daje informacijo o temperaturi, kar omogoča **merjenje temperature** v fiziki,

---

[1] Logaritem, gr. ***logos*** – beseda + ***aritmos*** – število.
[2] Angl. ***thermistor***, od *thermo* – toplota in *resistor* – upor.

ⓘ1 ***Linearno** skalo (sl.3.60) tvorijo **enaki** razdelki.*

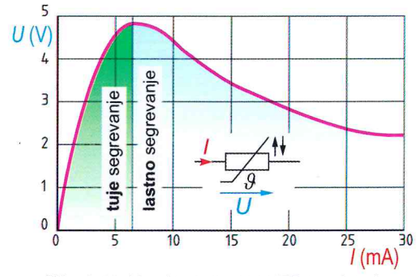
ⓘ2 ***Logaritemsko** skalo tvorijo razdelki, ki jih določajo **eksponenti** logaritemske funkcije. Pri matematiki smo rekli: Če poljubno pozitivno število **N** zapišemo v obliki **N = 10^x**, pravimo neznanemu eksponentu x **logaritem** števila N pri osnovi **10**.*

Primeri: *N = 1000 = 10^x → x = 3 (log₁₀1000 = 3). Logaritemske osnove 10 praviloma ne pišemo: log100 = 2; log10 = 1; log1 = 0; log1000000 = 6*

Vmesne vrednosti, npr. log6 = 0,7781512504, dobimo z žepnim kalkulatorjem.

ⓘ3 *Termistorji in drugi nelinearni upori so najpogosteje izdelani iz polprevodnih kovinskih oksidov (MgO, TiO_2, Z_nO, …), karbidov (SiC, …), katerih specifična upornost je odvisna od drugih fizikalnih veličin.*

Slika 3.62: Izvedbe termistorjev



Slika 3.63: Karakteristika U-I NTC-termistorja