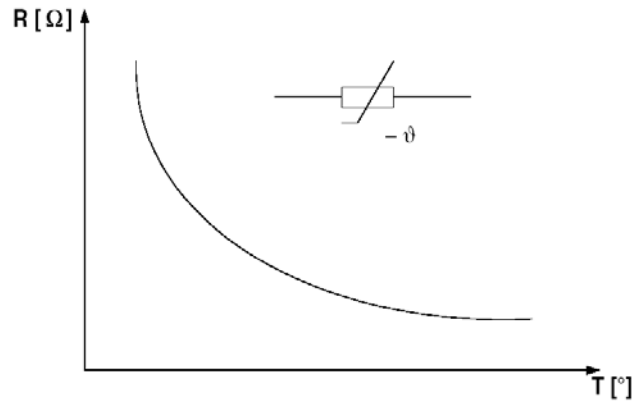


## Nelinearni upori - termistorji

Termistorje so nelinearni upori, katerih upornost se spreminja v odvisnosti od temperature. Glede na njihov temperaturni koeficient upornosti jih delimo na:

- NTK upore (z negativnim  $TK_R$ ),
- PTK upore (s pozitivnim  $TK_R$ ).



Slika 1: Simbol NTK upora in karakteristika  $R = f(T)$

Simbol in značilno karakteristiko NTK upora kaže slika 1. Sprememba upornosti je pri porastu temperature izrazito nelinearna. Tipična vrednost  $TK_R$  znaša od  $-0,01/K$  do  $-0,07/K$ , kar je približno 10-krat več od  $TK_R$  kovin.

Materiali, ki se uporabljajo za izdelavo NTK uporov, so po svoji sestavi zmesi kovinskih oksidov, torej dobri izolatorji, ki jih z dodatkom ustreznih atomov primesi lahko pretvorimo v t.i. polprevodniške keramike.

Proizvajalci temperaturno odvisnost upornosti podajajo z dvema konstantama A in B v obliki

$$R(T) = Ae^{\frac{B}{T}}.$$

Konstanta A je določena predvsem z geometrijo in koncentracijo dodanih primesi. Konstanta B je določena z osnovnim materialom in ji zato pravijo snovna konstanta, ki se tipično giblje v razponu od 2000K do 5000K.

Snovno konstanto B podajajo proizvajalci pogosto posredno preko izmerjenih upornosti NTK upora pri dveh temperaturah, npr.  $R_1(T_1 = 25^\circ\text{C})$  in  $R_2(T_2 = 85^\circ\text{C})$ . Tedaj B določimo na naslednji način

$$B = \frac{\ln \frac{R_1}{R_2}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}},$$

kjer sta temperaturi  $T_1$  in  $T_2$  podani obvezno v Kelvinih!

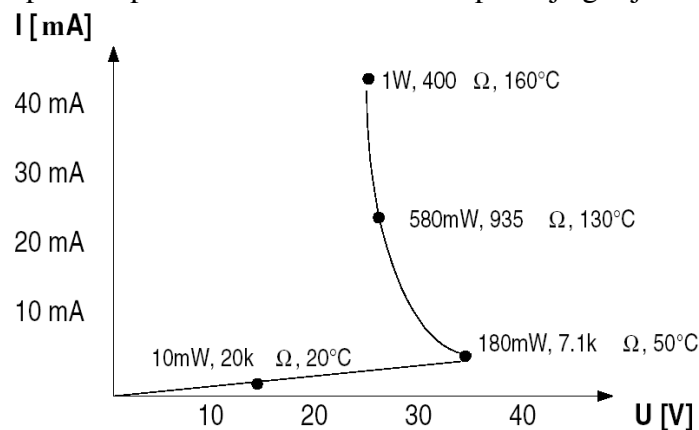
Temperaturni koeficient upornosti NTK upora najenostavneje izračunamo z logaritmiranjem gornje enačbe.

$$TK_R = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = \frac{d \ln R}{dT} = -\frac{B}{T^2}$$

Temperaturni koeficient NTK upora z  $B = 3600K$  pri sobni temperaturi je tako

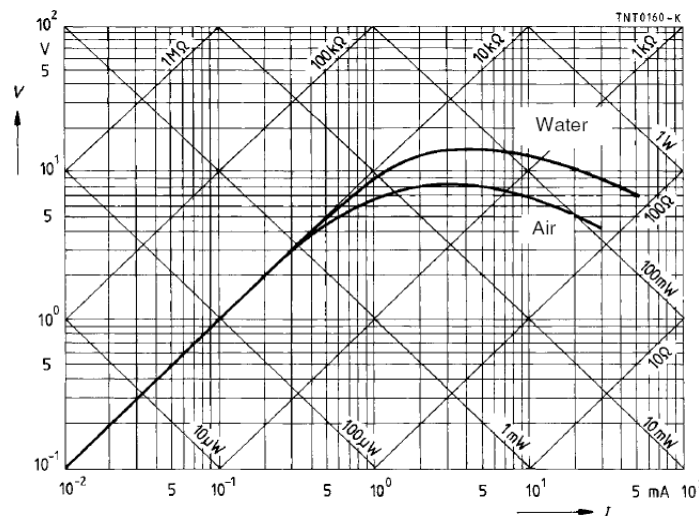
$$TK_R = -\frac{B}{T^2} = -\frac{3600K}{(300^\circ K)^2} = -4\%/^\circ K.$$

Stacionarno  $u-i$  karakteristiko, ki podaja zvezo med tokom in napetostjo na NTK uporu, dobimo tako, da nastavimo tok in nato počakamo z meritvijo napetosti zadosti dolgo, da se temperatura in napetost na elementu ne spreminjata več. V bližini izhodišča (področje majhnih tokov), kjer so izgubne moči še relativno majhne, se NTK obnaša kot običajen ohmski upor. Pri večjih tokih in napetostih začne temperatura naraščati, upornost NTK naglo upada in zato navkljub naraščajočemu toku upada tudi napetost na elementu, dobimo področje negativne diferenčne upornosti. Pogosto podajo proizvajalci vzdolž statične krivulje pripadajoče povišanje temperature elementa nad sobno temperaturo. Pri zelo visokih temperaturah začne upornost ponovno naraščati zaradi upadanja gibljivosti nosilcev.



Slika 2: Statična  $u-i$  karakteristika (linearno merilo)

V praksi ima večjo uporabnost statična  $u-i$  karakteristika, ki je podana v dvojnem logaritmičnem merilu, s čimer lahko prikažemo večje tokovno in napetostno območje. Dodatna prednost diagrama pa je, da so črte, ki povezujejo točke konstantnega  $UI$  produkta in konstantnega  $U/I$  razmerja, torej krivulje konstantne moči in upornosti, v dvojnem logaritmičnem diagramu premice. Tako lahko za vsako delovno točko direktno odčitamo moč na elementu in njegovo upornost.

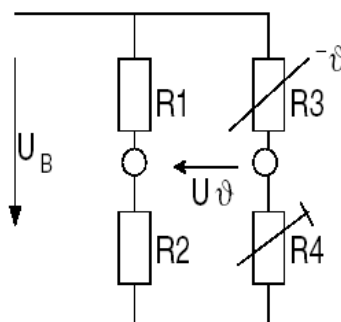


### Tipične aplikacije NTK uporov

V aplikacijah izkoriščamo dva osnovna efekta NTK uporov:

- Lastno segrevanje NTK upora zaradi toka, ki teče skozenj. Slednje se odrazi v spremembi upornosti.
- Sprememba upornosti, ki je povzročena s spremembo temperature okolice (princip tujega segrevanja). V tem primeru moramo paziti, da je tok skozi NTK upor zelo majhen, da preprečimo spremembo upornosti zaradi lastnega segrevanja.

**Primer 1:** Merjenje temperature na principu tujega segrevanja. Sprememba temperature, kateri je podvržen NTK upor ( $R_3$ ), se v uporovnem merilnem mostiču pretvori v spremembo diagonalne napetosti  $U_\vartheta$ .

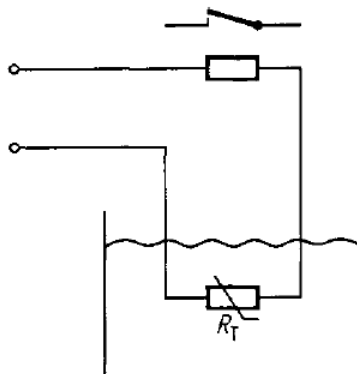


Slika 4: Posredno merjenje temperature z NTK uporom

Nastavljivi upor  $R_4$  omogoča nastavitve izhodiščnih parametrov, tako da znaša  $U_\vartheta$  npr. pri  $25^\circ\text{C}$  ravno  $0\text{ V}$  ( $U_B = 10\text{ V}$ ).

**Naloga:** Kako velika mora biti snovna konstanta NTK upora  $B$ , da bo sprememba temperature  $\pm 10^\circ\text{C}$  povzročila spremembo diagonalne napetosti  $U_\vartheta = \pm 1\text{ V}$ ?

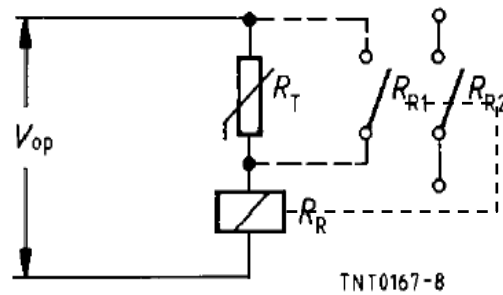
**Primer 2:** Merjenje nivoja tekočin sloni na principu lastnega segrevanja. Skozi NTK upor teče relativno velik tok. Upor se enakomerno hladi vse dokler se le-ta nahaja pod gladino tekočine. Ko se gladina zniža, je hlajenje upora manjše zaradi česar se le-ta ogreje. Upornost NTK upora naglo upade in rele sklene kontakt.



Slika 5: Detekcija nivoja tekočine

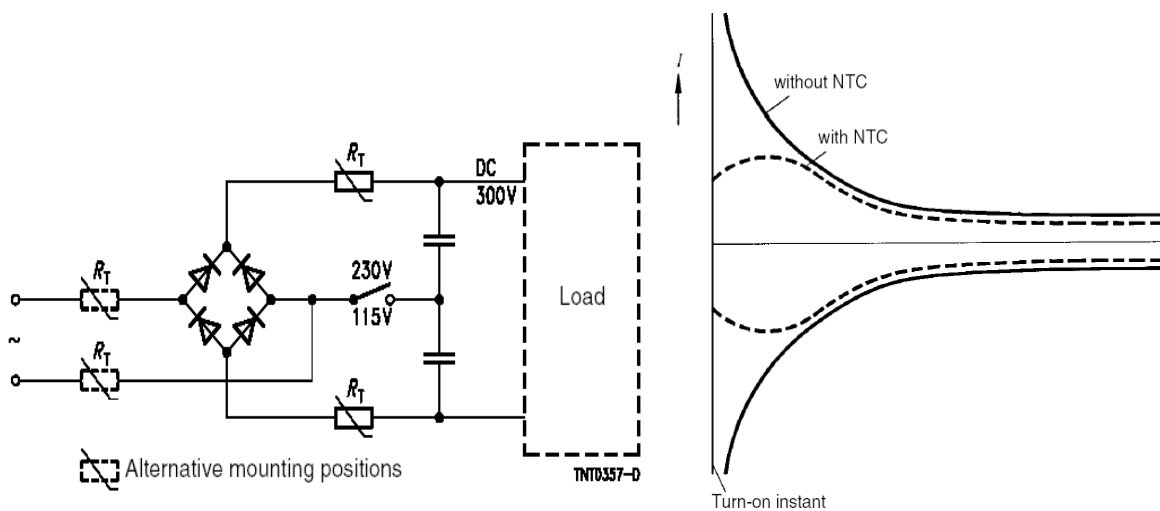
Primer 3: Zakasnjeni vklop releja.

**Naloga:** Opišite delovanje vezja! Kateri princip delovanja NTK izkoriščamo pri tej vezavi? Opišite pomen pomožnega kontakta  $R_{R1}$ !



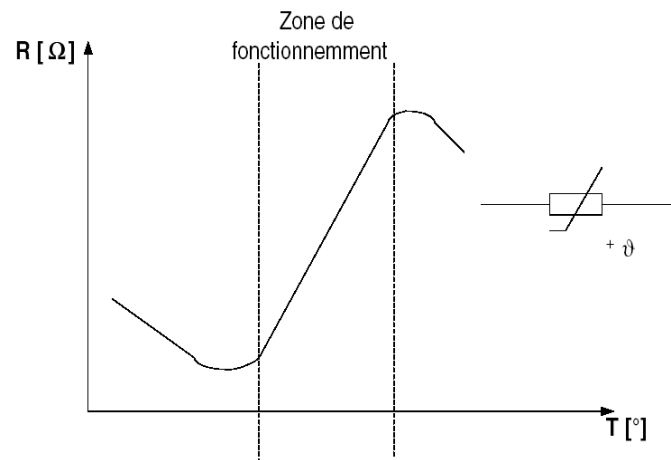
Slika 6:

Primer 4: Omejitev vklopne tokovne konice



Slika 7: NTK upora za omejevanje vklopne tokovne konice pri univerzalnem usmerniškem vezju (z možnostjo izbire vhodne omrežne napetosti)

**PTK upori**, ki so izdelani iz sintranega barijevega titanata in kovinskih oksidov, imajo pozitivni temperaturni koeficient upornosti. Tipično karakteristiko PTK upora in njegov simbol kaže slika 8.

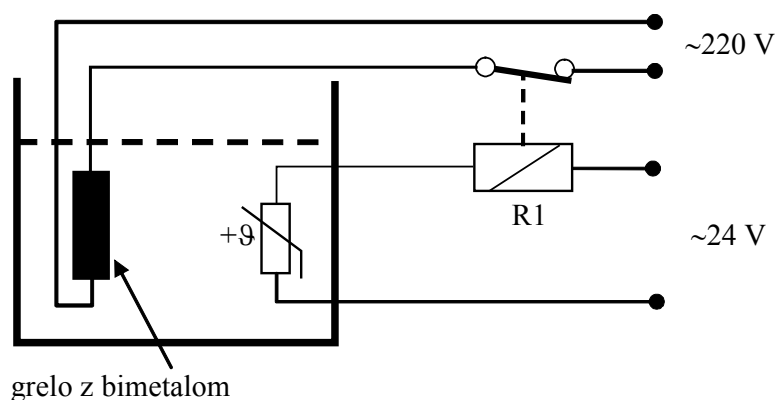


Slika 8: Simbol in statična  $u-i$  karakteristika PTK upora z označenim področjem delovanja

Na sliki je razvidno, da ima material pozitiven  $TK_R$  le v ozkem temperaturnem območju v okolici Curie-jeve temperature. Vzrok temu je nastanek večjega števila zapornih slojev (glej osnove polprevodniških elementov) zaradi česar se upornost elementa poveča. Tipična vrednost  $TK_R$  znaša  $+0,6/K$ , medtem ko znaša njihova tipična nazivna upornost od  $20 \Omega$  do  $100 \Omega$ .

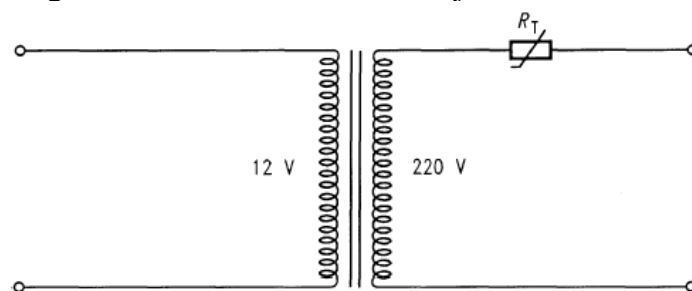
Podobno kot pri NTK uporih tudi pri PTK izkoriščamo oba načina delovanja (lastno in tuje segrevanje).

**Primer 5:** Nadtemperaturna zaščita električnega grela. Temperatura grelnega telesa se uravnava s pomočjo bimetalnega stikala, ki vklopi grelo ko temperatura pade pod  $T_{min}$  in ga izklopi ko preseže maksimalno temperaturo  $T_{max}$ . V omenjenem temperaturnem obsegu je upornost PTK upora majhna tako, da je rele R1 ves čas vklopljen. Ob okvari bimetalnega stikala, na primer ko le-ta ne izklopi, bi temperatura grelnega telesa nekontrolirano narasla. Slednje prepreči PTK upor, ki zazna porast temperature, zaradi česar njegova upornost naraste. Posledica je izklop releja R1, ki izklopi napajalno napetost grela.



Slika 9: Zaščita električnega grela pred nekontroliranim pregrevanjem ob okvari bimetalnega stikala

Primer 6: Zaščita pred preobremenitvijo (kratkostična zaščita). Najbolj pogosto uporabljena aplikacija s PTK uporom je zaščita malih transformatorjev pred preobremenitvijo. PTK upor je tu vezan zaporedno s primarnim navitjem, zato je le-ta segret s primarnim tokom. V primeru prekomerne obremenitve ali kratkem stiku na sekundarni strani, se primarni tok prvi trenutek prekomerno poveča zaradi česar se PTK upor segreje na višjo temperaturo. Ker pa se mu pri tem poveča upornost, se tok skozi primarno navitje ustali na končni vrednosti, ki je manjša od maksimalnega toka v normalnem obratovanju.



Slika 10:

Množična uporaba NTK in PTK uporov v aplikacijah s specifičnimi zahtevami kot so odzivni čas, maksimalna temperatura in maksimalna izgubna moč, narekuje različne konstrukcijske rešitve termistorjev.



Slika 11: Tipične izvedbe NTK in PTK uporov

Rešitev primera 3:

