

Cuprins

Prezentare Proiect	
1. Funcționare	2
2. Schema	2
3. PCB	3
4. Lista de componente	3
5. Tutorial – Termistorul	4 - 11

INDICATOR DE TEMPERATURĂ ÎN 4 PUNCTE

- Avantaj Pret/Calitate
- Livrare rapida
- Design Industrial
- Proiecte Modificabile
- Adaptabile cu alte module
- Module usor de asamblat
- Idei Interesante

Idei pentru afaceri

Hobby & Proiecte Educationale

Un circuit indicator de temperatură realizat acum câțiva ani, cu termistori, care funcționează alimentat de la o singură baterie ... chiar și acum.

De regulă se folosesc circuite mai sofisticate, cu senzori de temperatură pretențioși și un circuit de afișare LCD. Cum însă, de cele mai multe ori, avem nevoie numai de o evaluare prin semnalizare peste/sub limita de temperatură, fără a fi prea interesați de zecimalele pe care oricum nu le prea băgăm în seamă, depinzând și de ce avem prin casă, s-a căutat o soluție simplă, ieftină și iată ce a ieșit: un circuit interesant.

Caracteristici:

- Tensiunea de alimentare 9-12 Vcc
- Curent alimentare 100mA max.
- Intrări senzori temperatură 4
- Domeniul de măsură -20 ... 120°C

Funcționare

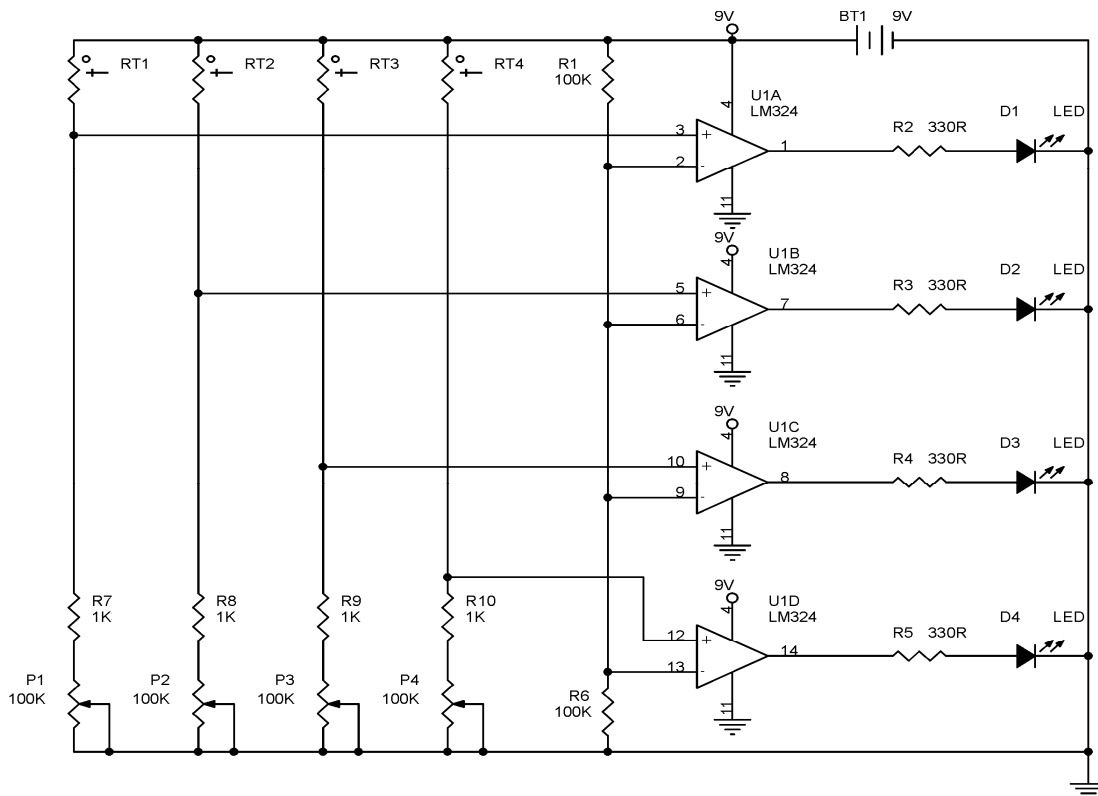
Cu termistoare obișnuite de 330Ω și un cvadruplu operațional LM324 cu rol de comparator putem realiza patru termostate pentru a indica depășirea unui prag de temperatură prestabilit în patru locuri diferite. Ori punem Led-uri pentru indicație ori continuăm comanda, prin optocuploare, a unor drivere cu relee pentru acționarea unor pompe, ventilatoare, jaluzele,... este o idee simplă și foarte eficientă.

Valorile termistoarelor nu sunt critice. Astfel, pe intrările inversoare ale fiecărui comparator se aplică o tensiune fixă determinată de raportul valorilor rezistențelor R1 și R6. Pe

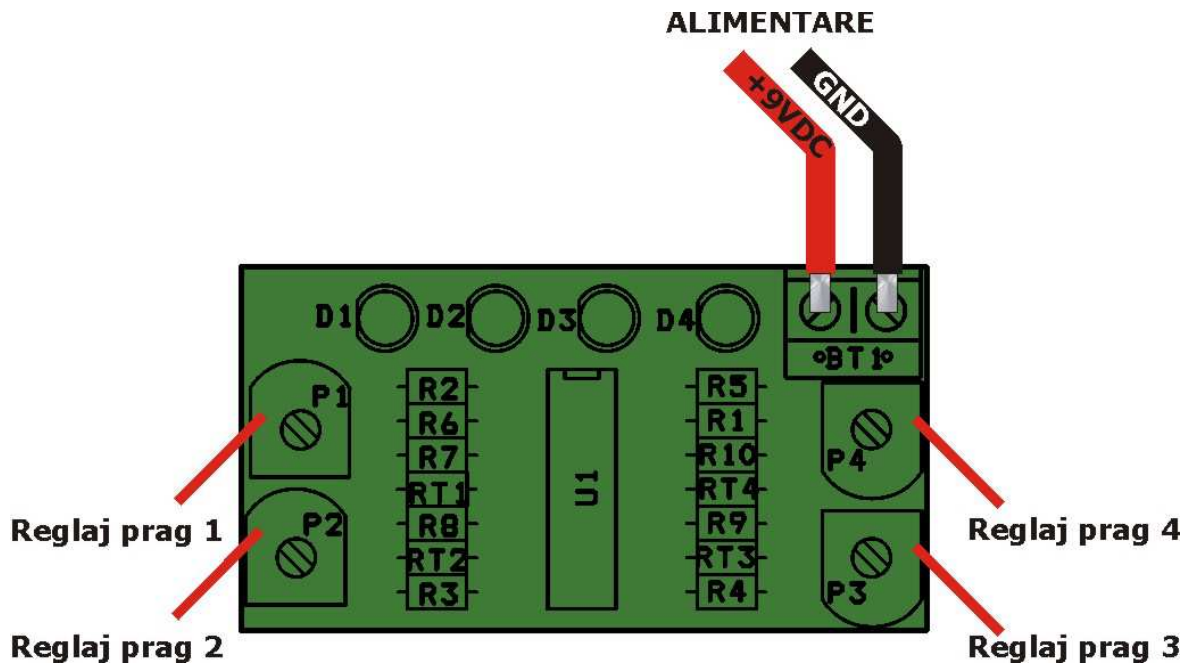
intrările neinversoare se aplică tensiune determinată de raportul valorilor RT1-R7,...RT4-R10.

Termistoarele sunt elemente NTC (coeficient negativ de temperatură) astfel că la creșterea temperaturii valoarea rezistenței scade iar peste o anumită temperatură pe intrarea neinversoare apare o tensiune peste valoarea celei fixate pe intrarea inversoare și ca atare va comuta ieșirea spre +Vcc iar Led-ul se va aprinde.

Reglarea pe fiecare canal în parte se face cu un termometru de referință.



Schema electrică



Amplasarea componentelor

Lista de componente

Nr.Crt.	Componenta	Denumire	Valoare	Cant
1	BT1	Baterie	9V	1
2	D1,D2,D3,D4	LED	LED	4
3	P1,P2,P3,P4	Semireglabil	100K Ω	4
4	R1, R6	Rezistență	100K Ω	2
5	RT1,RT2,RT3,RT4	Termistor	330 Ω 20°C	4
6	R2,R3,R4,R5	Rezistență	330 Ω	4
7	R8,R9,R10, R7	Rezistență	1K Ω	3
8	U1	C.I.	LM324	1

Acest produs se livrează în varianta asamblată sau în varianta circuit imprimat + componente în scopuri educaționale și va fi însoțit de documentația completă de asamblare pe CD.

Dacă doriți să aflați mai multe despre produsele noastre, vizitați situl www.epsicom.com

Dacă ați întâmpinat probleme cu oricare dintre produsele noastre sau dacă doriți informații suplimentare, contactați-ne prin e-mail office@epsicom.com

Pentru orice întrebări, comentarii sau propuneri de afaceri nu ezitați să ne contactați pe adresa office@epsicom.com

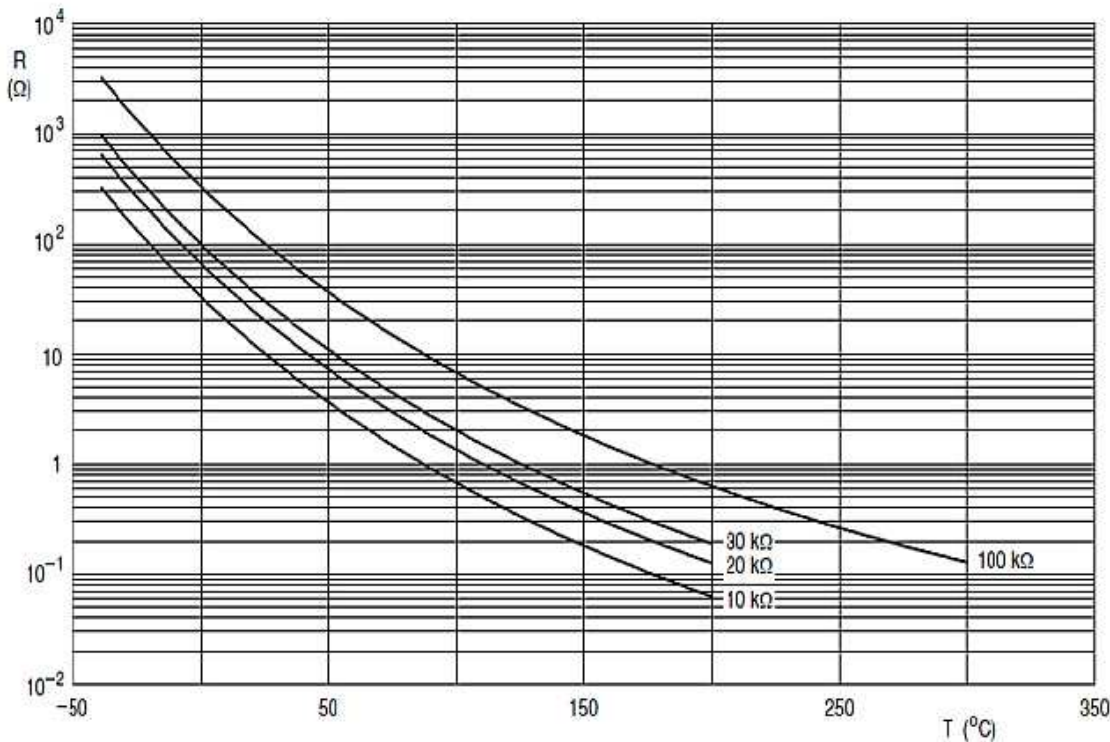
31 Sararilor Street | 200570 Craiova, Dolj, Romania | 0723.377.426, 0743.377.426

Rezistoare neliniare, rezistoare dependente de temperatură-termistoare

Rezistoarele neliniare, parametrice, sunt caracterizate prin aceea că rezistența lor este dependentă de o mărime fizică considerată drept parametru al legăturii dintre tensiunea aplicată la bornele componente și curentul ce o parcurge sau, invers, între curentul ce parcurge componenta și căderea de tensiune de la bornele componente.

Întâlnim astfel:

- Termistoarele** - rezistoare dependente de temperatură;
- Varistoarele** - rezistoare dependente de tensiune;
- Fotorezistoare** - rezistoare dependente de fluxul luminos;
- Magnetorezistoare** - rezistoare dependente de fluxul magnetic;
- Tensorezistoare** - rezistoare dependente de tensiuni mecanice;
- Senzori chimici** - rezistoare dependente de procese chimice.



Termistoarele sunt componente a căror rezistență depinde semnificativ de temperatura la care se află componenta, în circuit având o variație: $u=f(i)$ și $i=g(u)$ unde funcțiile f și g nu sunt funcții liniare ca în cazul rezistoarelor liniare $u=Ri$ sau $i=Gu$ (R este rezistența iar G este conductanța). Legea de variație a tensiunii funcție de curent sau a curentului funcție de tensiune este puternic dependentă de compoziția materialului din care este fabricată componenta și temperatura la care se află componenta.

Noțiuni generale, construcție și tehnologie

Rezistența termistoarelor depinde puternic de temperatură și prezintă o caracteristică tensiune-curent $U(I)$ neliniară. Specific acestei dependențe de temperatură, în comparație cu dependența de temperatură a rezistoarelor liniare fixe sau variabile, este faptul că, la variația temperaturii cu un °C valoarea rezistenței termistoarelor se modifică cu zeci de procente (uzual 3 ... 6 %, maxim 40 %). Cu alte cuvinte, este posibil ca într-un interval îngust de temperatură termistorul să -și înjumătățească sau să -și dubleze valoarea rezistenței.

Dependența rezistenței termistorului de temperatură poate fi:

- cu coeficient de temperatură **negativ** - NTC (**N**egative **T**emperature **C**oefficient), caz în care rezistența termistorului scade la creșterea temperaturii.
- cu coeficient de temperatură **pozitiv** - PTC (**P**ositive **T**emperature **C**oefficient), caz în care rezistența termistorului crește la creșterea temperaturii.

Termistorul este componentă semiconductoră realizată din oxizi metalici, presată în forma unor discuri, plăcuțe sau alte forme, sinterizate la temperaturi înalte și în final acoperite cu un strat de protecție epoxidică sau sticlă. Dispozitivul care rezultă prezintă o rezistență electrică care variază în funcție de temperatură.



Termistoarele NTC prezintă un coeficient de temperatură negativ de valoare mare în modul (tipic $-3 \dots -5 \%/C$).

Caracteristicile termistoarelor trebuie să fie stabile și repetabile, variația cu temperatura fiind principalul parametru urmărit, parametru care trebuie menținut în toleranțe strânse.

Conductivitatea unui material semiconductor intrinsec poate fi exprimată prin relația:

$$\sigma = e \cdot n \cdot (\mu_n + \mu_p)$$

unde:

n concentrația electronilor, egală cu cea a golurilor p ;

e sarcina electronului;

μ_n și μ_p mobilitățile electronilor și respectiv a golurilor.

În aplicațiile practice, semiconductorii sunt modificați în semiconductor extrinsec, adică sunt adăugate impurități donoare sau acceptoare pentru a modifica conductivitatea electrică (n sau p).

În cazul unui **semiconductor extrinsec de tip n** , puternic dopat, conductivitatea electrică are expresia:

$$\sigma = e \cdot n_n \cdot \mu_n = 1/\rho$$

unde:

n_n reprezintă concentrația electronilor, iar

ρ rezistivitatea materialului.

Atât n_n cât și μ_n depind de temperatură.

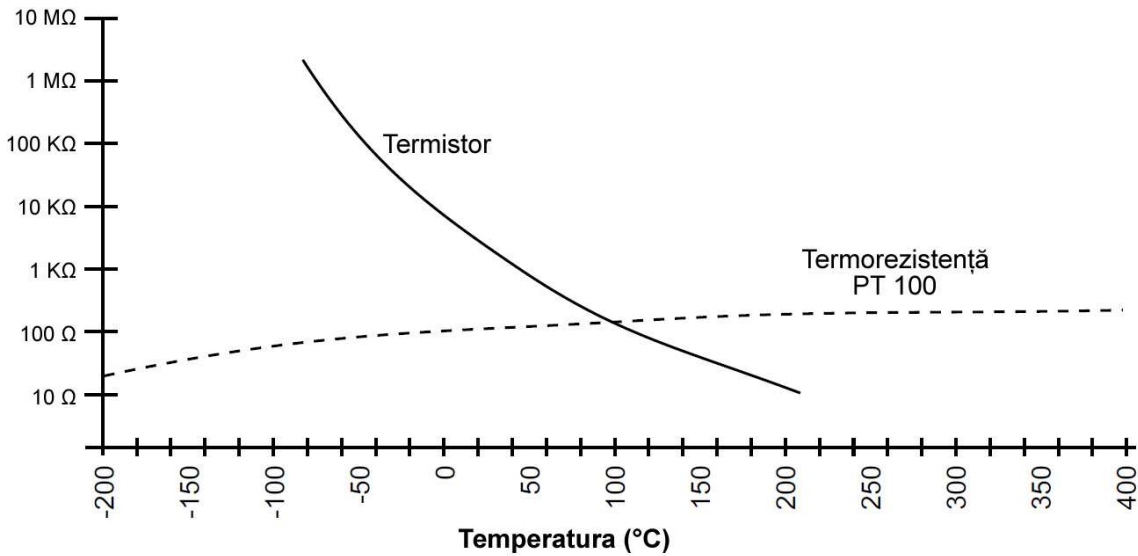
Comparație Termistor - Senzor cu fir de platină

Un avantaj principal al utilizării termistorilor pentru măsurarea temperaturii este sensibilitatea lor extrem de mare la diferențe foarte mici de temperatură. De exemplu, un termistor 2250Ω are o sensibilitate de $-100\Omega / ^\circ C$ la temperatura camerei. Termistorii cu rezistență mai mare pot prezenta coeficienți de temperatură de $-10 \text{ k}\Omega / ^\circ C$ sau mai mult. Prin comparație, rezistența cu fir de platină de 100Ω RTD (Resistance Temperature Detector) are o sensibilitate de numai $0,4\Omega / ^\circ C$. Datorită dimensiunii mici a termistorului, acesta are un răspuns foarte rapid la variațiile de temperatură.

Un alt avantaj al termistorului este rezistența relativ mare. Termistorii sunt disponibili cu rezistența de bază (la $25^\circ C$) de câteva sute de megohmi. Această rezistență ridicată diminuează efectul de rezistență pasivă din terminale, care poate provoca erori semnificative la dispozitivele cu rezistență redusă, cum ar fi RTD. De exemplu, în timp ce la RTD este nevoie de obicei de 3 sau 4 fire de conexiune pentru a reduce erorile cauzate de rezistența conexiunilor terminalelor, la termistori conexiunea cu 2 fire este mai mult decât suficientă.

Compromisul major pentru rezistența ridicată și sensibilitatea termistorului este răspunsul extrem de neliniar și gama de măsură relativ limitată. În funcție de tipurile de termistori, zona superioară este de obicei limitată la aproximativ $300^\circ C$.

În figura de mai jos este prezentată curba rezistență-temperatură pentru un termistor de 2250Ω în comparație cu curba senzorului RTD cu fir de platină PT100:



Principalii parametri ai termistoarelor NTC

- **Rezistența nominală** (R_{25}) - reprezintă valoarea rezistenței termistorului la o temperatură de referință, de obicei 25°C. Valorile rezistenței R_{25} aparțin în general seriilor de valori normalizate "En". În prezent tot mai mulți producători acordă o atenție deosebită toleranței rezistenței nominale.
- **Constanta B** - Parametrul B oferă informații despre "viteza de variație" cu temperatura a rezistenței termistorului. Se spune de obicei că parametrul B reprezintă sensibilitatea termică a termistorului. Practic, dacă se cunoaște variația rezistenței cu temperatura, constanta B este determinată din relația:

prin măsurarea rezistențelor R_1 și R_2 la două temperaturi T_1 și T_2 . Valorile constantei B se situează în general între 2200 K ÷ 5500 K, în funcție de material. Pentru termistoare de precizie, în cataloage se prezintă și toleranța parametrului B, sau alți parametri derivați, cu scopul de a caracteriza cât mai precis variația cu temperatura.

- **Coeficientul de variație cu temperatura** - se definește la fel ca la rezistoarele fixe: . Având în vedere ecuația rezistenței termistorului, se obține pentru coeficientul:

Coeficientul de temperatură se poate determina, deci, cunoscând valoarea constantei B. Se observă dependența de temperatură a coeficientului α , urmare a caracterului nelinier, exponențial al legii de variație a rezistenței cu temperatura. Astfel, se remarcă variația mai puternică a rezistenței la temperaturi mai scăzute.

- **Puterea nominală PN** - reprezintă puterea maximă ce poate fi disipată în termistor la o temperatură precizată a mediului ambiant. Depinde în special de caracteristicile constructive ale termistorului, fiind cuprinsă între 40÷100 mW pentru termistoarele miniatură încapsulate în sticlă, utilizate ca senzori și 0,6÷1W pentru termistoarele disc uzuale. Și în cazul termistoarelor are loc o reducere a puterii maxim disipate atunci când temperatura ambiantă o depășește pe cea nominală. Se constată că, dacă temperatura ambiantă depășește o anumită limită (T_N) puterea disipată de termistor trebuie redusă corespunzător. Puterea care se poate aplica scade la zero la o temperatură T_L , mai mică decât temperatura maximă de lucru (fără încălzire termică) T_M . Pentru termistoarele firmei Philips $T_N=55^\circ\text{C}$, $T_L=85^\circ\text{C}$, $T_M=125^\circ\text{C}$.

- **Coeficientul de disipație termică D(W/K)** - este numeric egal cu puterea disipată în termistor P la o diferență de 1°C între temperatura corpului termistorului T_c și temperatura ambiantă T_a . Coeficientul D este egal cu inversul rezistenței termice, definite în capitolul trei ca $D=1/R_{th}$.

Reamintim că un coeficient de disipație termică mărit poate fi realizat fie prin modificarea condițiilor de disipație, mai precis a coeficientului de transfer termic (prin imersare în ulei) fie prin mărirea ariei prin care are loc transferul termic.

- **Constanta de timp termică Tth**, reprezintă timpul după care temperatura corpului unui termistor se modifică de la 0 la $1-1/e$ (adică 63,2%) din diferența dintre temperatura finală T_f și cea inițială T_i la aplicarea unui salt de temperatură egal cu $\Delta T = T_f - T_i$, (conform normelor IEC 539, $\theta_i=25^\circ\text{C}$ și $\theta_f=85^\circ\text{C}$).

$$T(t) = T_f + (T_f - T_i) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \Rightarrow t = \tau$$

$$T(\tau) = T_i + (T_f - T_i)(1 - e^{-1})$$

$$1 - \frac{1}{e} = 0,632 \Rightarrow 63,2\%$$

Caracteristica tensiune – curent U(I) a termistoarelor NTC

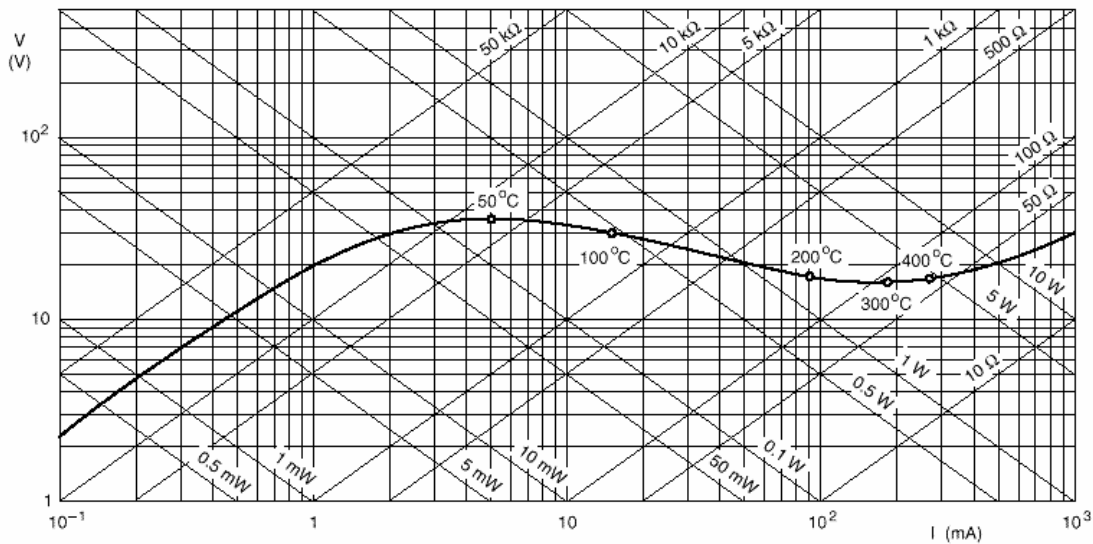
Caracteristica tensiune-curent U(I) a termistoarelor NTC este neliniară datorită variației rezistenței, ca urmare a creșterii temperaturii proprii a termistorului, creștere datorată disipației de putere. Astfel, coeficientul de disipație termică D are un rol foarte important în stabilirea acestei caracteristici. Caracteristica U(I), determinată în condiții de regim termic staționar, se bazează pe relația de egalitate a puterii (electrice) disipate de termistor P cu puterea evacuată de acesta. Puterea disipată (evacuată) de un termistor în mediul ambiant, presupunând transferul de căldură de tip liniar cu coeficientul de disipație termică D, este:

$$P_{ev} = D(T_c - T_a) = D \Delta T$$

În regim termic staționar, adică atunci când termistorul nu-și mai modifică temperatura corpului, puterea electrică generată în termistor este în totalitate evacuată, deci se poate scrie egalitatea:

$$P_{ev} = P_d = P \Rightarrow P = U^2/R = R I^2 = D(T - T_a)$$

În cazul termistoarelor NTC, dacă ținem cont că legea de variație a rezistenței în funcție de temperatură este exponențială



Reprezentarea grafică la scară dublu logaritmică a tensiunii în funcție de curent

Caracteristica U(I) pentru trei termistoare cu valori diferite ale rezistenței nominale R0

La valori mici ale curentului electric, caracteristica U(I) are o variație liniară, în această zonă încălzirea datorată disipației proprii fiind insuficientă pentru a provoca variația semnificativă a rezistenței. Odată cu creșterea curentului, tensiunea prezintă un punct de maxim. Temperatura corespunzătoare acestui maxim este:

Pentru a obține acest maxim trebuie să fie îndeplinită condiția $B > 4T_a$.

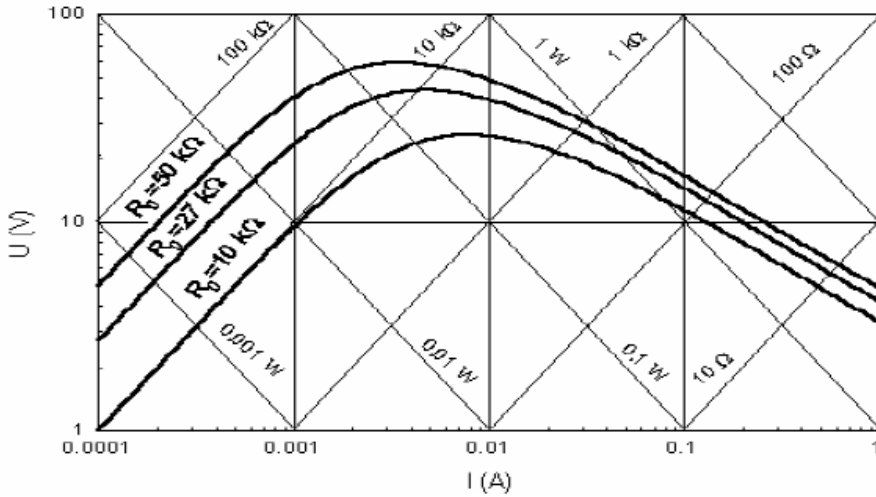
După atingerea tensiunii maxime, în regiunea în care încălzirea proprie devine apreciabilă, o creștere a curentului provoacă o scădere proporțională a rezistenței, rezultând porțiunea numită de rezistență negativă a graficului. La curenți foarte mari, și deci la temperaturi mari, scăderea apreciabilă a coeficientului de temperatură duce din nou la o caracteristică crescătoare.

Această porțiune a caracteristicii este situată, de regulă, în afara domeniului puterii maxime disipate, conducând la ambalarea termică a termistorului. Tot la ambalare termică se ajunge dacă se aplică termistorului o tensiune mai mare decât cea corespunzătoare maximului caracteristicii $U(T_m) = U_m$.

Multe aplicații ale termistoarelor NTC în regim de încălzire proprie se bazează pe caracteristica tensiune - curent și de aceea prezintă interes studiul influențelor diversilor factori asupra acesteia. Pe baza schimbării formei caracteristicii tensiune - curent, odată cu modificarea coeficientului de disipație D se realizează majoritatea aplicațiilor termistoarelor în domeniul măsurării nivelelor și debitelor lichidelor.

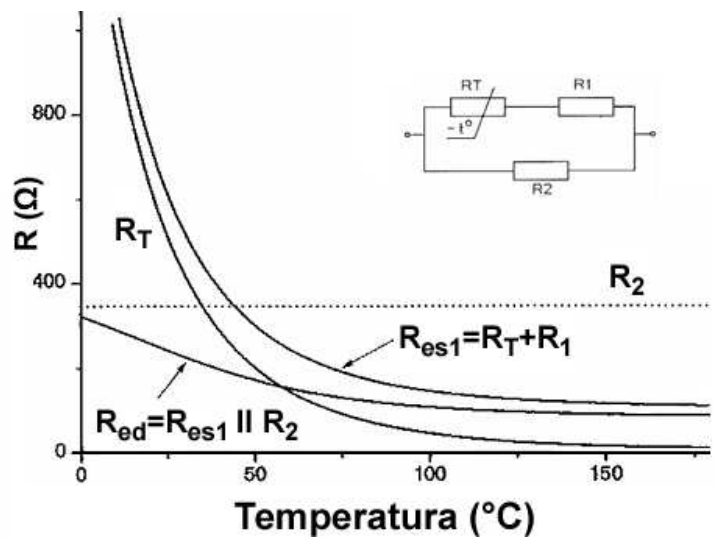
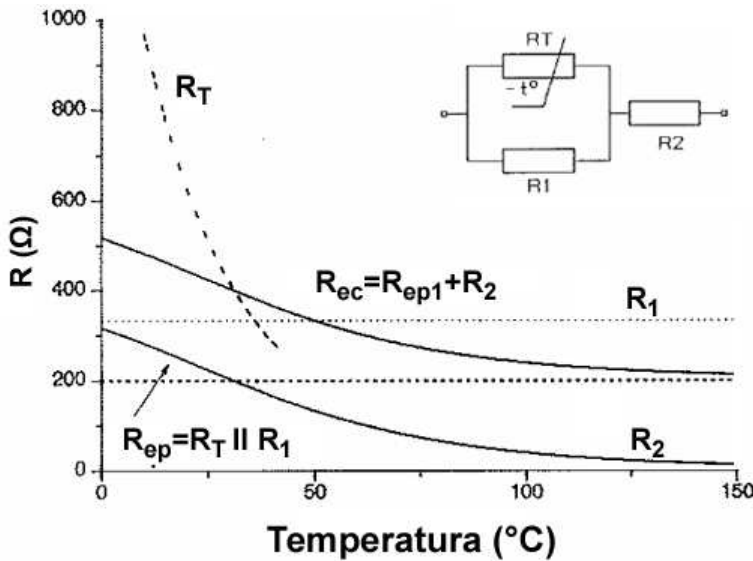
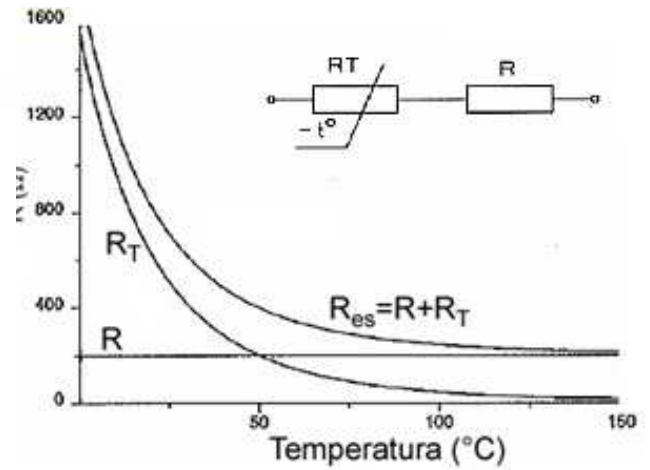
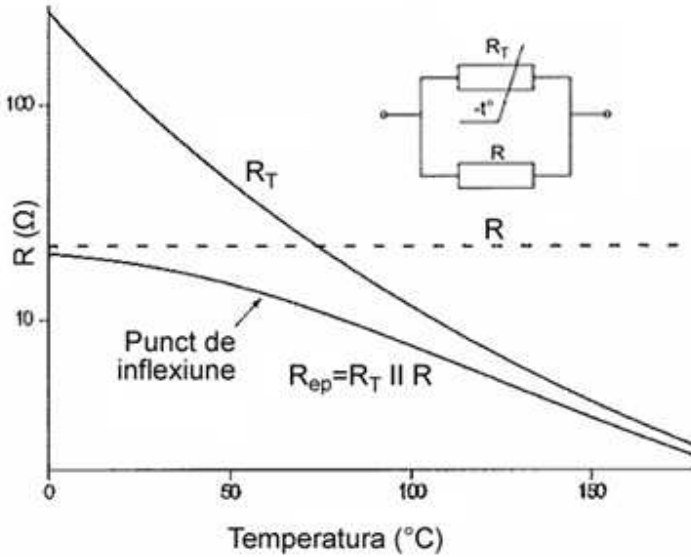
Caracteristica U(I) pentru diferite valori ale constantei B. Pentru $B < 1200 \text{ K} (4 \cdot T_a)$ maximul dispare, caracteristica fiind monoton crescătoare.

Influența temperaturii ambiante asupra caracteristicii U(I) a termistorului NTC



Se observă că odată cu creșterea temperaturii ambiante valoarea maximului tensiunii scade, caracteristicile apropiindu-se una de cealaltă în zona curenților mari.

Variante de conectare a unui termistor în circuit:



O curbă de temperatură pentru un termistor poate fi aproximată utilizând ecuația Steinhart-Hart:

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R) + C(\ln(R))^3$$

unde:

T = temperatura (°K);

R = rezistența termistorului (Ω);

A, B, C = constante

Rezistența termistorului este calculată cu următoarea formulă, la temperatura în grade Kelvin:

$$\frac{1}{T} = A + B \ln\left(\frac{R}{R_t}\right) + C\left(\ln\left(\frac{R}{R_t}\right)\right)^2 + D\left(\ln\left(\frac{R}{R_t}\right)\right)^3$$

În ecuația standard Steinhart-Hart parametrul C este setat la zero. Cu toate acestea, unii producatori folosesc toți cei 4 coeficienți. Pentru a converti din grade Kelvin în grade Celsius se scade valoarea 273,15.

În cazul în care rezultatul nu este 25°C, atunci există o problemă cu coeficienții.

Coeficienții A, B, C sunt specificați într-un interval de temperaturi. De multe se neglijează menționarea acestora în fișa de catalog astfel că trebuie să fie calculați prin rezolvarea a 3 ecuații simultane. Cu cât este mai mic intervalul de temperatură, cu atât va fi mai mare precizia. Ecuația este extrem de precisă pentru termistori care au coeficienții ABC determinați individual.

Fișa de date ar trebui să specifice toleranța în% C.

Putem estima valoarea rezistenței la o temperatură dată, folosind inversul ecuației de mai sus:

$$R = R_t \cdot e^{\left(\frac{A}{T} + \frac{B}{T^2} + \frac{D}{T^3}\right)}$$

unde exp este inversul ln (logaritmul natural).

Rețineți că valorile pentru A1, B1, C1, D1 sunt diferite de coeficienții pentru ecuația de mai sus!

T este temperatura (în grade Kelvin)

R este rezistența (în ohmi) la temperatura T

A, B și C sunt coeficienții Steinhart-Hart, care variază în funcție de tipul, modelul de termistor și intervalul de temperatură.

Forma generală a ecuației conține termenul $(\ln(R))^2$, dar acest termen este de cele mai multe ori neglijat, întrucât este mult mai mic decât ceilalți coeficienți.

Ecuația este folosită pentru a determina temperatură exactă a unui termistor deoarece oferă o aproximare foarte apropiată de temperatura reală decât folosind alte ecuații și este utilă în întreaga gamă de temperatură de lucru a senzorului. Coeficienții de Steinhart-Hart sunt de obicei publicați de către producătorii de termistoare.

În cazul în care nu sunt disponibili coeficienții Steinhart-Hart, pot fi determinați prin trei măsurări precise ale rezistenței la temperaturi precise, atunci coeficienții sunt derivate prin rezolvarea de trei.

Ecuația inversă

Pentru a găsi rezistența unui semiconductor dat, inversul temperaturii utilizează ecuația Steinhart-Hart.

Coeficienții Steinhart-Hart

Pentru a găsi coeficienții de Steinhart-Hart, trebuie să știm cel puțin trei-puncte de operare. Pentru aceasta, vom folosi trei valori de date rezistență pentru trei temperaturi cunoscute:

$$\frac{1}{T_1} = A + B \ln(R_1) + C(\ln R_1)^3$$

$$\frac{1}{T_2} = A + B \ln(R_2) + C(\ln R_2)^3$$

$$\frac{1}{T_3} = A + B \ln(R_3) + C(\ln R_3)^3$$

Cu R_1 , R_2 și R_3 valorile rezistențelor la temperaturile T_1 , T_2 și T_3 se pot exprima A, B și C (toate calculele).

Calculator Rezistența Steinhart-Hart

<http://www.daycounter.com/Calculators/Steinhart-Hart-Thermistor-Calculator.phtml>

Acest calculator va calcula valoarea rezistenței. Putem alege dacă sau nu să folosim al treilea termen, prin selectarea casetei. Este recomandat să verificăm coeficienții pentru temperatura 25°C, rezistența rezultată ar trebui să fie aproape de R_t .

Parametrii Beta și Alfa

Majoritatea producătorilor vor specifica valorile alfa, beta și toleranța R la temperatura ambiantă. Beta este dependentă de temperatură și este specificată între două puncte de temperatură și poate fi utilizat pentru a calcula temperatura între temperaturile specificate, cu o precizie nominală. De exemplu, pentru un beta specificat între 25 și 85 va fi adesea notat ca B_{25/85}. Coeficientul de temperatură Alfa este adesea notat cu TCR pe foi de date. Alfa este negativ pentru termistori NTC și pozitiv pentru termistori.

Beta este definit după cum urmează:

$$B_{\frac{T_1}{T_2}} = \frac{1}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \cdot \ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right) \text{ în grade Kelvin}$$

Astfel, pentru a calcula R_2 , puteți folosi această formulă:

$$R_2 = \frac{R_1}{e^{B \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)}}$$

De asemenea, se poate calcula o temperatură de rezistență măsurată:

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{\frac{B}{\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)}}{\frac{B}{\ln\left(\frac{R_1}{R_2} - T_1\right)}} \text{ unde } T \text{ este în grade Kelvin}$$

Alfa poate fi aproximată din Beta, după cum urmează:

$$Alfa = -\frac{B}{T^2} \cdot 100$$

Constanta de timp a temperaturii

Constantă de timp a temperaturii este o măsură a timpului în care termistorul se adaptează la schimbările de temperatură. Dacă dorim să măsurăm schimbările rapide de temperatură, atunci o constantă mică de timp este foarte importantă.

Abaterea de temperatură

Abaterea totală de rezistență:

$$Delta(R) = \left[\frac{1 + Delta(R_{T25})}{100} \times \frac{1 + Delta(B)}{100} - 1 \right] \times 100 \quad (\%)$$

în cazul în care Delta reprezintă toleranța în %.

Dacă știm Delta (R), la o temperatură dată, putem folosi alfa (TCR coeficientul de temperatură), pentru a ne da seama de abaterea de temperatură:

$$Delta(T) = \frac{Delta(R)}{\min(Alfa)}$$

Rețineți că Alfa este invers proporțional cu temperatura. Deci avem o abatere maximă când Alfa este selectat la cea mai ridicată temperatură în interval. Din ecuația de mai sus se poate aprecia Alfa lui B la o temperatură dată.

<http://www.daycounter.com/Calculators/Steinhart-Hart-Thermistor-Calculator.phtml>
<http://www.thinksrs.com/downloads/programs/Therm%20Calc/NTCCalibrator/NTCcalculator.htm>
Measuring Temperature with Thermistors – a Tutorial - David Potter
<http://www.noise.inf.u-szeged.hu/Online/Sensors/Thermistors.pdf>
<https://learn.adafruit.com/thermistor>
<http://www.ussensor.com/technical-info/thermistor-terminology>
<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5965-7822E.pdf>

Acest produs se livrează în varianta circuit imprimat, circuit imprimat + componente sau în varianta asamblată în scopuri educaționale și va fi însoțit de documentația completă de asamblare pe CD.

Dacă doriți să aflați mai multe despre produsele noastre, vizitați situl www.epsicom.com

Dacă ați întâmpinat probleme cu oricare dintre produsele noastre sau dacă doriți informații suplimentare, contactați-ne prin e-mail office@epsicom.com

Pentru orice întrebări, comentarii sau propuneri de afaceri nu ezitați să ne contactați pe adresa office@epsicom.com

31 Sararilor Street | 200570 Craiova, Dolj, Romania | 0723.377.426, 0743.377.426