

31

Αισθητήρες Θερμοκρασίας

31.1 Θερμίστορ

31.1.1 Η εξίσωση Steinhart & Hart

Η τιμή του συντελεστή της βαθμονόμησης του θερμίστορ β ορίζει τον παράγοντα ευαισθησίας του θερμίστορ. Έναν πιο ακριβέστερο προσδιορισμό του παράγοντα ευαισθησίας του θερμίστορ αποτελεί η παρακάτω πολυωνυμική εξίσωση Steinhart & Hart

$$\frac{1}{T} = A_0 + A_1 \ln R + \dots + A_n \ln R^n \quad \text{και} \quad \beta = \frac{\ln\left(\frac{R_{T1}}{R_{T2}}\right)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}$$

Στην πράξη χρησιμοποιούμε την πολυωνυμική εξίσωση Steinhart & Hart τριών όρων:

$$\frac{1}{T} = A + B \cdot \ln R + C \cdot \ln R^3 \quad \text{οπότε μέσω της Steinhart & Hart τριών όρων έχουμε} \quad T = \frac{B}{\ln(R) - A} - C$$



Παράδειγμα 31.1

Εύρεση τιμών των συντελεστών Steinhart & Hart

Να υπολογιστούν οι τιμές των συντελεστών Steinhart & Hart (A , B και C) για θερμίστορ το οποίο φέρει τις παρακάτω τιμές αντίστασης για R_1 , R_2 , και R_3 για τιμές θερμοκρασίας T_1 , T_2 , και T_3 . Στη συνέχεια να δημιουργήσετε την καμπύλη $T_{f(R)}$ του θερμίστορ.

| Αντίσταση (Ω m) | Θερμοκρασία ($^{\circ}$ C) |
|-------------------------|-----------------------------|
| $R_1 = 22800$ | $T_1 = 5$ |
| $R_2 = 12450$ | $T_2 = 25$ |
| $R_3 = 8230$ | $T_3 = 35$ |

Προγραμματισμός MATLAB

Βήμα 1: Εισάγουμε τους συντελεστές της χαρακτηριστικής εξίσωσης.

| | |
|-----------------------------------|--|
| Εκκαθάριση δεδομένων & παραθύρων | <pre>clear all clc</pre> |
| Επιστημονική έκφραση αριθμών | <pre>format longE</pre> |
| Είσοδος μεταβλητών | <pre>R1=input ('Δώστε την τιμή της αντίστασης R1(Ohm): '); T1=input ('Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T1(Celsius): '); disp('-----') R2=input ('Δώστε την τιμή της αντίστασης R2:(Ohm) '); T2=input ('Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T2(Celsius): '); disp('-----') R3=input ('Δώστε την τιμή της αντίστασης R3:(Ohm) '); T3=input ('Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T3(Celsius): ');</pre> |
| Εξισώσεις γραμμικού συστήματος | <pre>A= [1 log(R1) ((log(R1))^3) ; 1 log(R2) ((log(R2))^3) ; 1 log(R3) ((log(R3))^3)]; B=[(1/(T1+273.15)) ; (1/(T2+273.15)); (1/(T3+273.15))];</pre> |
| Εύρεση τιμών γραμμικού συστήματος | <pre>X = linsolve(A,B)</pre> |

Βήμα 2: Από την εύρεση των τιμών δημιουργούμε το γράφημα $T_f(R)$.

| | |
|---|---|
| Πίνακας παραμέτρων A, B, C | <pre>c = [X(1) X(2) X(3)];</pre> |
| Ορισμός πεδίου τιμών αντίστασης | <pre>R = 100:100:50000;</pre> |
| Υπολογισμός Θερμοκρασίας μέσω των συντελεστών A,B,C | <pre>T = 1./(c(1) + c(2)*log(R) + c(3)*log(R).^3) - 273.15;</pre> |
| Παραμετροποίηση γραφήματος | <pre>plot(T,R); title('Resistor/Temperature (Thermistor)') xlabel('Temperature(Celsius)') ylabel('Resistance(Ohm)') grid ON</pre> |

Παράδειγμα 31.2**Εύρεση συντελεστή ευαισθησίας β**

Να τροποποιήσετε τον κώδικα του προηγούμενου παραδείγματος, ώστε ο υπολογισμός της αντίστασης του στοιχείου θερμίστορ να γίνεται μέσω του συντελεστή ευαισθησίας β .

Προγραμματισμός MATLAB

| | |
|--------------------------|---|
| Υπολογισμός του β | <pre>B = (log(R/R0)) / (((1)/(T+273.15)) - ((1)/(T0+273.15)))</pre> |
| Πεδίο τιμών θερμοκρασίας | <pre>T = -20:1:100;</pre> |
| Υπολογισμός αντίστασης | <pre>R = R0*exp(B*((1)/(T+273.15)) - (1/(T0+273.15)));</pre> |

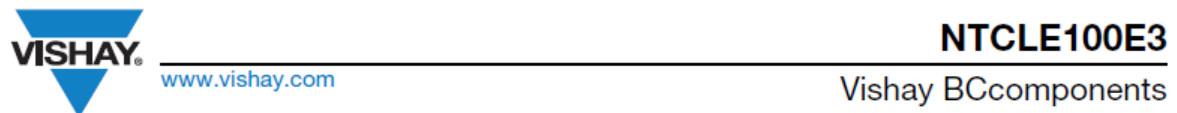
```

Δημιουργία γραφήματος
plot(T,R);
title('Resistor/Temperature (Thermistor)');
xlabel('Temperature(Celsius)');
ylabel('Resistance(Ohm)');
grid ON
    
```

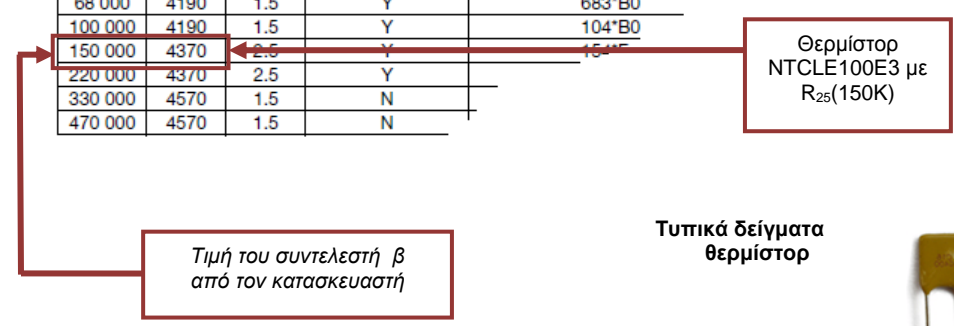
Παράδειγμα 31.3
Σύγκριση των αποτελεσμάτων εύρεσης της τιμής του συντελεστή β του παραδείγματος 31.2 με το εγχειρίδιο του θερμίστορ NTCLE100E3 (για R25(150K)) από την εταιρία VISHAY

Να συγκρίνετε τα αποτελέσματα του κώδικα όταν δεν είναι γνωστές οι τιμές των παραμέτρων β ή Α, Β και C του θερμίστορ και μας δίνονται δεδομένα αντίστασης και θερμοκρασίας από το εγχειρίδιο του κατασκευαστή.

Λύση
Βήμα 1: Σύμφωνα με το εγχειρίδιο της VISHAY (με τον οποίο ελέγχουμε την ορθότητα του κώδικα) ο συντελεστής β δίνεται από τη σελίδα 2 με τιμή 4370K.



| ELECTRICAL DATA AND ORDERING INFORMATION | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|-------|--|----------------------|--|--|----------------|--------|-------|
| R ₂₅ (Ω) | B _{25/85} (K) | VALUE | | UL APPROVED (Y/N) | SAP MATERIAL NUMBER NTCLE100E3...B0/T1/T2 (2) | OLD 12NC CODE 2381 640 3/4/6... (1) | COLOR CODE (3) | | |
| | | (± %) | | | | | I | II | III |
| 470 | 3560 | 1.5 | | Y | 471*B0 | *471 | Yellow | Violet | Brown |
| 680 | 3560 | 1.5 | | Y | 681*B0 | *681 | Blue | Grey | |
| 1000 | 3528 | 0.5 | | Y | 102*B0 | *102 | Brown | Black | |
| 1500 | 3528 | 0.5 | | Y | 152*B0 | *152 | Brown | Green | |
| 2000 | 3528 | 0.5 | | Y | 202*B0 | *202 | Red | Black | |
| 2200 | 3977 | 0.75 | | Y | 222*B0 | *222 | Red | Blue | |
| 2700 | 3977 | 0.75 | | Y | 272*B0 | *272 | Red | | |
| 3300 | 3977 | 0.75 | | Y | 332*B0 | *332 | Orange | | |
| 4700 | 3977 | 0.75 | | Y | 472*B0 | *472 | Yellow | | |
| 5000 | 3977 | 0.75 | | Y | 502*B0 | *502 | | | |
| 6800 | 3977 | 0.75 | | Y | 682*B0 | *682 | | | |
| 10 000 | 3977 | 0.75 | | Y | 103*B0 | *103 | | | |
| 12 000 | 3740 | 2 | | Y | 123*B0 | *123 | | | |
| 15 000 | 3740 | 2 | | Y | 153*B0 | *153 | | | |
| 22 000 | 3740 | 2 | | Y | 223*B0 | | | | |
| 33 000 | 4090 | 1.5 | | Y | 333*B0 | | | | |
| 47 000 | 4090 | 1.5 | | Y | 473*B0 | | | | |
| 50 000 | 4190 | 1.5 | | Y | 503*B0 | | | | |
| 68 000 | 4190 | 1.5 | | Y | 683*B0 | | | | |
| 100 000 | 4190 | 1.5 | | Y | 104*B0 | | | | |
| 150 000 | 4370 | 2.5 | | Y | 154*B0 | | | | |
| 220 000 | 4370 | 2.5 | | Y | | | | | |
| 330 000 | 4570 | 1.5 | | N | | | | | |
| 470 000 | 4570 | 1.5 | | N | | | | | |



Τυπικά δείγματα θερμίστορ



Βήμα 2: Επιλέγουμε για είσοδο τιμών αντίστασης και θερμοκρασίας τις τιμές από τη σελίδα 13 του εγχειρίδιου της VISHAY.

For complete Curve Computation, visit: www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/

RESISTANCE VALUES AT INTERMEDIATE TEMPERATURES WITH R₂₅ AT (150, 220, 330, 470) kΩ

| T _{OPER} (°C) | PART NUMBER NTCLE100E3 | | | | | | | |
|------------------------|------------------------|---------------------|-----------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------------|
| | 154*** | 224*** | TCR (%/K) | ΔR/R DUE TO B _{tol.} (%) | 334*** | 474*** | TCR (%/K) | ΔR/R DUE TO B _{tol.} (%) |
| | R _T (kΩ) | R _T (kΩ) | | | R _T (kΩ) | R _T (kΩ) | | |
| -40 | 6153 | 9024 | -6.83 | 10.22 | 16 044 | 22 850 | -7.14 | 6.41 |
| -35 | 4394 | 6444 | -6.64 | 9.24 | 11 282 | 16 068 | -6.94 | 5.80 |
| -30 | 3168 | 4646 | -6.45 | 8.29 | 8013 | 11 413 | -6.74 | 5.2 |
| -25 | 2305 | 3381 | -6.27 | 7.39 | 5747 | 8185 | -6.55 | 4. |
| -20 | 1693 | 2483 | -6.09 | 6.52 | 4161 | 5926 | -6.37 | |
| -15 | 1254 | 1839 | -5.92 | 5.68 | 3040 | 4329 | -6.19 | |
| -10 | 936.4 | 1373 | -5.75 | 4.88 | 2240 | 3190 | -6.02 | |
| -5 | 705.0 | 1034 | -5.60 | 4.10 | 1665 | 2371 | -5.85 | |
| 0 | 535.0 | 784.7 | -5.44 | 3.36 | 1248 | 1777 | -5.6 ^o | |
| 5 | 409.1 | 600.0 | -5.29 | 2.64 | 942.3 | 1342 | | |
| 10 | 315.1 | 462.1 | -5.15 | 1.94 | 717.1 | 1021 | | |
| 15 | 244.4 | 358.4 | -5.01 | 1.27 | 549.8 | 783.0 | | |
| 20 | 190.8 | 279.9 | -4.88 | 0.63 | 424.5 | 604.6 | | |
| 25 | 150.0 | 220.0 | -4.75 | 0.00 | 330.0 | 470.0 | | |
| 30 | 118.6 | 174.0 | -4.63 | 0.60 | 258.2 | 367 | | |
| 35 | 94.42 | 138.5 | -4.51 | 1.19 | 203.4 | 28 | | |
| 40 | 75.58 | 110.9 | -4.39 | 1.76 | 161.1 | | | |
| 45 | 60.85 | 89.24 | -4.28 | 2.30 | 128.4 | | | |
| 50 | 49.25 | 72.24 | -4.17 | 2.83 | 103.0 | | | |
| 55 | 40.08 | 58.78 | -4.07 | 3.35 | 83.0 | | | |
| 60 | 32.78 | 48.08 | -3.97 | 3.85 | 67 | | | |
| 65 | 26.94 | 39.51 | -3.87 | 4.33 | | | | |
| 70 | 22.25 | 32.63 | -3.78 | 4.80 | | | | |
| 75 | 18.46 | 27.07 | -3.69 | 5.2 | | | | |
| 80 | 15.38 | 22.56 | -3.60 | | | | | |
| 85 | 12.87 | 18.88 | -3.52 | | | | | |
| 90 | 10.82 | 15.87 | -3.44 | | | | | |
| 95 | 9.129 | 13.39 | -3 | | | | | |
| 100 | 7.732 | 11.34 | -2.7 | | | | | |
| 105 | 6.574 | 9.642 | | | | | | |
| 110 | 5.610 | 8.228 | | | | | | |
| 115 | 4.804 | 7.046 | | | | | | |
| 120 | 4.128 | | | | | | | |

T₁ και R₁

T₂ και R₂

T₃ και R₃

Βήμα 3: Το αποτέλεσμα που λαμβάνουμε από τον κώδικα του MATLAB είναι σύμφωνο με το εγχειρίδιο του στοιχείου.

```

Command Window

Δώστε την τιμή της αντίστασης R1(Ohm): 150000
Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T1(Celsius): 25
-----
Δώστε την τιμή της αντίστασης R2 (Ohm): 12870
Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T2(Celsius): 85
-----
Δώστε την τιμή της αντίστασης R3 (Ohm): 7732
Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T3(Celsius): 100

X =

    8.556438158395302e-004
    1.961544697190365e-004
    9.481899477123537e-008

cfB =

    4.370491136623537e+003
    
```

| | 374c | 2 |
|---------|------|-----|
| 500 | 4090 | 1.5 |
| 7000 | 4090 | 1.5 |
| 50 000 | 4190 | 1.5 |
| 68 000 | 4190 | 1.5 |
| 100 000 | 4190 | 1.5 |
| 150 000 | 4370 | 2.5 |
| 220 000 | 4370 | 2.5 |
| 330 000 | 4570 | 1.5 |
| 470 000 | 4570 | 1.5 |