

Μέρος 4<sup>ο</sup> (\*)

## **ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ**

(\*) Αντιστοιχεί στο κεφάλαιο 3 (πργ. 3.2) του βιβλίου των Κ. Καλαϊτζάκη και Ε. Κουτρούλη  
“Ηλεκτρικές μετρήσεις και αισθητήρες: Αρχές λειτουργίας και σχεδιασμός των  
ηλεκτρονικών συστημάτων μέτρησης”

# Θερμίστορ

- ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ = THERMISTOR από τις λέξεις THERMαl και resISTOR)
- Αντιστάσεις που χαρακτηρίζονται από πολύ μεγάλες τιμές του θερμοκρασιακού συντελεστή (πολύ μεγάλη μεταβολή της τιμής αντίστασης με τη θερμοκρασία).
- Η μεταβολή της αντίστασης με τη θερμοκρασία είναι εκθετική

$$R = Ae^{\frac{\beta}{T}}$$

όπου,  $R$  η αντίσταση του θερμίστορ (σε  $\Omega$ )

$T$  η απόλυτη θερμοκρασία\* (σε Kelvin)

$A$  μια σταθερά (σε  $\Omega$ )

$\beta$  ο θερμοκρασιακός συντελεστής αντίστασης του θερμίστορ (σε K)

- εξαρτάται από το υλικό και
- είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας

Συνεχίζεται ♦

\*  $T(K) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$

$$R = Ae^{\frac{\beta}{T}} \quad (\text{Εξίσωση του θερμίστορ})$$

Ο σταθερά  $A$  στην εξίσωση του θερμίστορ προσδιορίζεται από την τιμή της αντίστασής του σε θερμοκρασία δωματίου ( $25^{\circ}\text{C}$ )

Αν συμβολίσουμε με  $T_0$  τη θερμοκρασία δωματίου και  $R_0$  την αντίσταση του θερμίστορ στη θερμοκρασία δωματίου, από την εξίσωση του θερμίστορ έχουμε

$$R_0 = Ae^{\frac{\beta}{T_0}} \quad (1)$$

Διαιρώντας κατά μέλη την εξίσωση του θερμίστορ δια της εξίσωσης (1), παίρνουμε:

$$\frac{R}{R_0} = \frac{Ae^{\frac{\beta}{T}}}{Ae^{\frac{\beta}{T_0}}}$$

$$\frac{R}{R_0} = \frac{e^{\frac{\beta}{T}}}{e^{\frac{\beta}{T_0}}} = e^{\frac{\beta}{T} - \frac{\beta}{T_0}}$$

$$R = R_0 e^{\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

$$R = R_0 e^{\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

Θέτοντας την τιμή της θερμοκρασίας δωματίου σε βαθμούς K (Kelvin),

$$T_0 = 273 + 25 = 298 \text{ K}$$

η εξίσωση της αντίστασης του θερμίστορ με τη θερμοκρασία γίνεται

$$R = R_0 e^{\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right)} \quad (\text{Εξίσωση του θερμίστορ})$$

Συχνά, η σταθερά  $R_0$  συμβολίζεται και  $R_{25}$  ή  $R_{25^\circ\text{C}}$ , οπότε η εξίσωση του θερμίστορ γράφεται και σαν

$$R = R_{25} e^{\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right)} \quad (\text{Εξίσωση του θερμίστορ})$$

$$R = R_{25^\circ\text{C}} e^{\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right)} \quad (\text{Εξίσωση του θερμίστορ})$$

## Μεταβολή της αντίστασης του θερμίστορ με τη θερμοκρασία: Ένα παράδειγμα

Resistance-Temperature.Characteristic Table of Common Spec.

Unit:KΩ

| $R_{25}$<br>T | 3KΩ   | 5KΩ   | 5KΩ   | 5KΩ   | 10KΩ  | 10KΩ  | 10KΩ   |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| -30°C         | 31.70 | 52.84 | 63.73 | 90.83 | 111.3 | 127.5 | 132.4  |
| -25°C         | 24.75 | 41.19 | 48.6  | 66.65 | 86.39 | 97.10 | 100.70 |
| -20°C         | 19.46 | 32.44 | 37.40 | 49.44 | 67.74 | 74.80 | 77.30  |
| -15°C         | 15.41 | 25.65 | 29.03 | 37.05 | 53.39 | 58.08 | 59.85  |
| -10°C         | 12.29 | 20.48 | 22.72 | 28.03 | 42.45 | 45.44 | 46.70  |
| -5°C          | 9.864 | 16.43 | 17.91 | 21.4  | 33.89 | 35.82 | 36.72  |
| 0°C           | 7.974 | 13.29 | 14.23 | 16.48 | 27.28 | 28.46 | 29.08  |
| 5°C           | 6.486 | 10.8  | 11.39 | 12.79 | 22.05 | 22.78 | 23.2   |
| 10°C          | 5.303 | 8.839 | 9.181 | 9.998 | 17.96 | 18.36 | 18.62  |
| 15°C          | 4.362 | 7.266 | 7.451 | 7.879 | 14.68 | 14.9  | 15.05  |
| 20°C          | 3.608 | 6.013 | 6.085 | 6.255 | 12.09 | 12.17 | 12.23  |
| 25°C          | 3.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 10.00 | 10.00 | 10.00  |
| 30°C          | 3.507 | 4.179 | 4.132 | 4.024 | 8.313 | 8.264 | 8.000  |
| 35°C          | 2.106 | 3.508 | 3.434 | 3.259 | 6.941 | 6.89  | 6.797  |
| 40°C          | 1.777 | 2.692 | 2.869 | 2.656 | 5.828 | 5.738 | 5.646  |
| 45°C          | 1.507 | 2.510 | 2.407 | 2.177 | 4.912 | 4.810 | 4.715  |
| 50°C          | 1.283 | 2.138 | 2.032 | 1.794 | 4.161 | 4.064 | 3.954  |
| 55°C          | 1.096 | 1.826 | 1.723 | 1.487 | 3.537 | 3.448 | 3.333  |

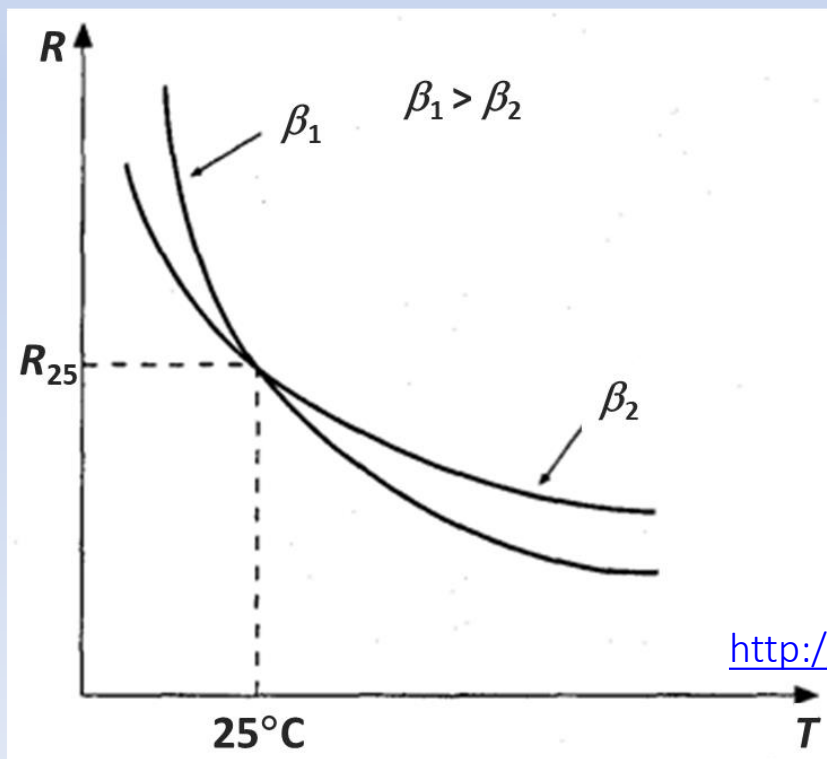
# Η μεταβολή της αντίστασης του θερμίστορ με τη θερμοκρασία

Παραγωγίζοντας την εξίσωση του θερμίστορ

$$R = R_0 e^{\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

παίρνουμε την **ποσοστιαία μεταβολή** της αντίστασης του θερμίστορ με τη θερμοκρασία:

$$\frac{\Delta R / \Delta T}{R} = -\frac{\beta}{T^2} \quad (\text{ποσοστιαία μεταβολή αντίστασης θερμίστορ})$$



<http://www.arroyoinstruments.com/thermistors.html>

## Συσκευασίες των Θερμίστορ

- Τα **ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ** κατασκευάζονται από οξειδία μετάλλων μαγγανίου, κοβαλτίου, χαλκού και νικελίου μετά από κατεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Έχουν μορφή μικρού κεραμικού δίσκου ή χάντρας και συχνά είναι κλεισμένα για προστασία σε αεροστεγές γυάλινο ή μεταλλικό περίβλημα



Θερμίστορ της εταιρείας CANTHERM (Canada)

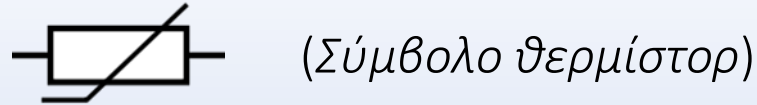
<http://cantherm.com/products/thermistors/mf11.html>



Θερμίστορ της εταιρείας JOYIN CO.(Tw)

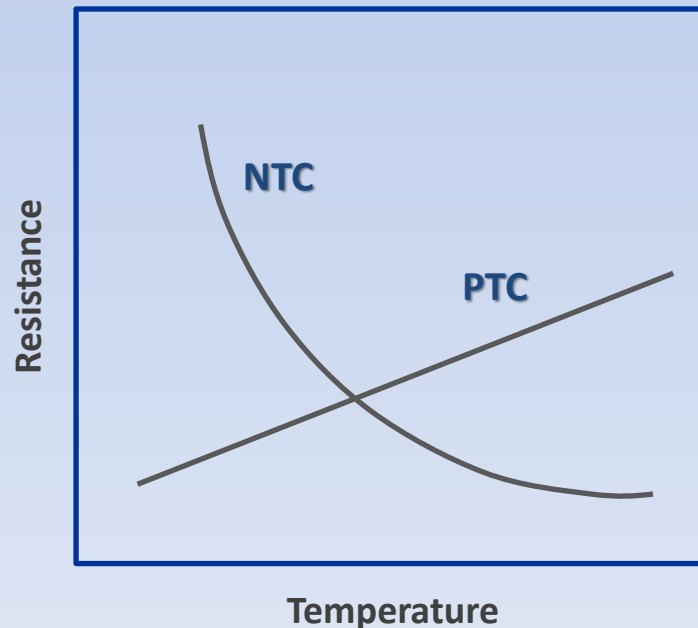
[http://www.joyin.com.tw/lan\\_en/products\\_list.aspx?guid=2&subguid=&series=](http://www.joyin.com.tw/lan_en/products_list.aspx?guid=2&subguid=&series=)

# Σύμβολο και Κατηγορίες Θερμίστορ



## Κατηγορίες Θερμίστορ

- **NTC (Negative Temperature Coefficient):** η αντίσταση ελαττώνεται με τη θερμοκρασία ( $\beta > 0$ )
- **PTC (Positive Temperature Coefficient):** η αντίσταση αυξάνει με τη θερμοκρασία ( $\beta < 0$ )



# Εφαρμογές των Θερμίστορ

## Κατηγορία NTC

- χρησιμοποιούνται σαν θερμομέτρα κυρίως για χαμηλές θερμοκρασίες (περίπου από  $-50^{\circ}\text{C}$  ως  $250^{\circ}\text{C}$ )
- χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό των απότομων ρευμάτων έναρξης (inrush-current limiting devices) σε τροφοδοτικά  

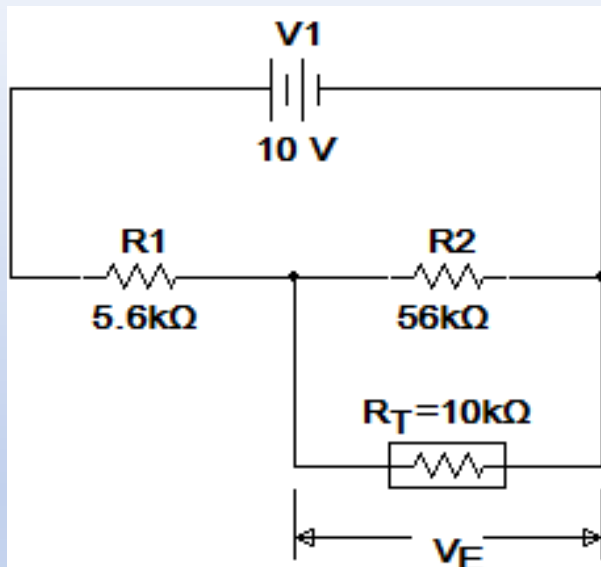
Αρχικά, με το άνοιγμα του τροφοδοτικού, καθώς το θερμίστορ είναι κρύο (θερμοκρασία δωματίου) παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση. Αυτό αποτρέπει να περάσει μεγάλο ρεύμα από το κύκλωμα κατά το άνοιγμα του τροφοδοτικού. Στη συνέχεια (εντός δευτερολέπτου/ων), αφού θερμένεται, η αντίστασή του μειώνεται. Επιτρέπει το ρεύμα κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας.
- σε μοντέρνους ψηφιακούς θερμοστάτες ([digital thermostats](#)) και για την καταγραφή της θερμοκρασίας των συσσωρευτών κατά τη φόρτισή τους.
- χρησιμοποιούνται ευρύτατα στα αυτοκίνητα (θερμοκρασία ψυκτικού και λαδιού κινητήρα).

# Εφαρμογές των Θερμίστορ

Τα θερμίστορ **PTC**

- χρησιμοποιούνται κυρίως σαν περιοριστές ρεύματος (current-limiting devices) για προστασία κυκλωμάτων στη θέση των ασφαλειών τήξεως

# Διάταξη γραμμικοποίηση χαρακτηριστικής καμπύλης NTC θερμίστορ

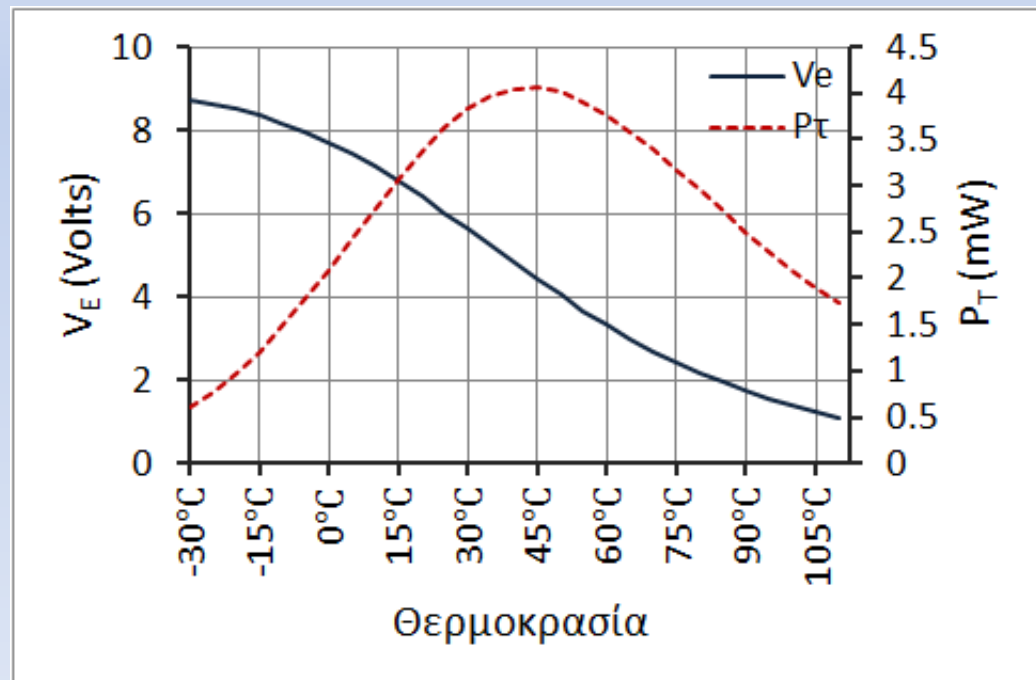


Τάση εξόδου θερμίστορ

$$V_E = \frac{R_T // R_2}{(R_T // R_2) + R_1} V_1$$

Ισχύς που καταναλώνεται  
στο θερμίστορ

$$P_T = \frac{V_E^2}{R_T}$$



## Άσκηση:

1. Χρησιμοποιώντας μια οποιαδήποτε στήλη τιμών αντίστασης ενός θερμίστορ  $10\text{k}\Omega$  του Πίνακα στη διαφάνεια της σελίδας 5, υπολογίστε για όλες τις θερμοκρασίες από  $-30^\circ\text{C}$  ως  $+105^\circ\text{C}$  τις τιμές της τάσης εξόδου  $V_E$  και της ισχύος  $P_T$  που καταναλώνεται στο θερμίστορ του κυκλώματος της προηγούμενης διαφάνειας (σελίδα 9).
2. Σχεδιάστε τη συνάρτηση μεταφοράς του θερμίστορ
3. Υπολογίστε το μέγιστο σφάλμα γραμμικότητας  $\varepsilon_{\max}$  μεταξύ 0 και  $60^\circ\text{C}$ .

# Αυτοθέρμανση του Θερμίστορ

- Μέτρηση της θερμοκρασίας με θερμίστορ σημαίνει μέτρηση της αντίστασής του.
- Μέτρηση της αντίστασης του θερμίστορ σημαίνει τροφοδοσία με ρεύμα και μέτρηση της τάσης στα άκρα του.
- Το ρεύμα προκαλεί θέρμανση του θερμίστορ. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **‘αυτο-θέρμανση’ (self-heating)** του θερμίστορ.
- Συνέπεια της αυτοθέρμανσης του θερμίστορ: ένδειξη θερμοκρασίας υψηλότερη από την πραγματική.
- Η αυτοθέρμανση πρέπει να κρατιέται όσο γίνεται χαμηλότερη. **Αλλά, πόσο χαμηλή;**
- Για ν’απαντήσουμε σε αυτό το ερώτημα πρέπει, πριν χρησιμοποιήσουμε το θερμίστορ, να κάνουμε ένα πείραμα: να μελετήσουμε πως μεταβάλλεται η αντίστασή του με το ρεύμα.

# Εργαστηριακή άσκηση 6<sup>η</sup>

## Θερμίστορ

### ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

- Να μάθουμε ότι ένα θερμίστορ έχει αρνητικό θερμικό συντελεστή αντίστασης.
- Να σημειώσουμε την πρακτική σημασία του φαινομένου της αυτοθέρμανσης.
- Να φτιάξουμε την καμπύλη βαθμονόμησης του θερμίστορ.
- Να καταλάβουμε τον όρο ‘σταθερά απωλειών’.

### ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

- Αυτοθέρμανση
- Βαθμονόμηση – Μέτρηση μηδενικής ισχύος

# Μέρος 1: Αυτοθέρμανση του Θερμίστορ – Το κύκλωμα για τον έλεγχο

- $R_P$  ποτενσιόμετρο

Γράφοντας τον κανόνα των ρευμάτων του Kirchhoff για τον κόμβο A, έχουμε

$$I = I' + I_V \quad (1)$$

$I'$  το ρεύμα που διαρρέει το θερμίστορ  $R_T$  και

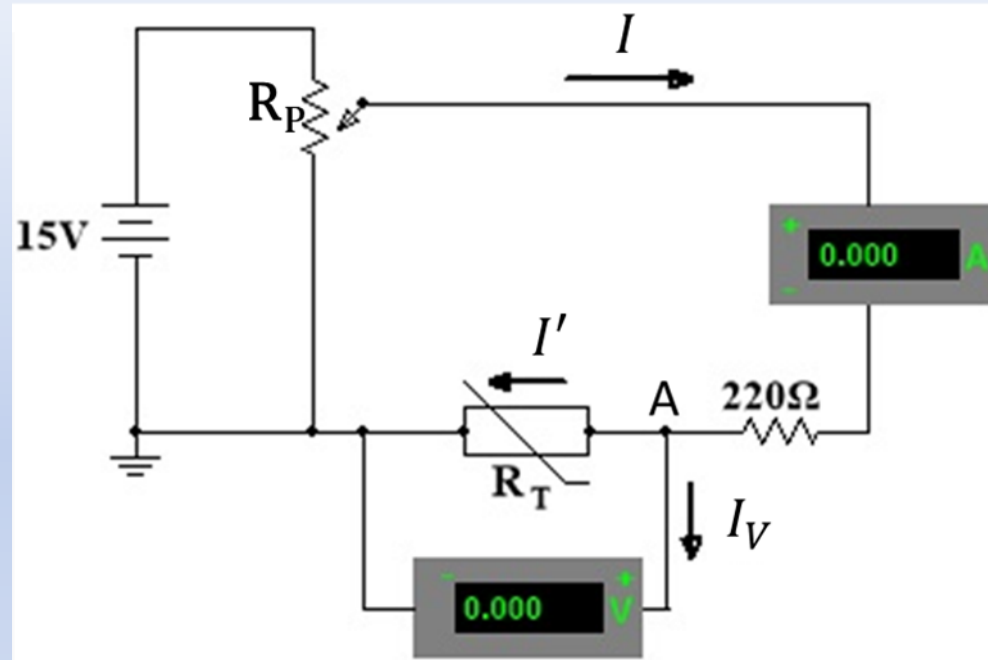
$I_V$  το ρεύμα που φεύγει προς το βολτόμετρο V που έχουμε συνδέσει για τη μέτρηση της τάσης στο το θερμίστορ.

Το ρεύμα στο βολτόμετρο, από τον νόμο του Ohm, είναι

$$I_V = \frac{V}{R_V} \quad (2)$$

$V$  η τάση (την μετράει) και

$R_V$  η εσωτερική αντίσταση του βολτομέτρου



(... συνέχεια)

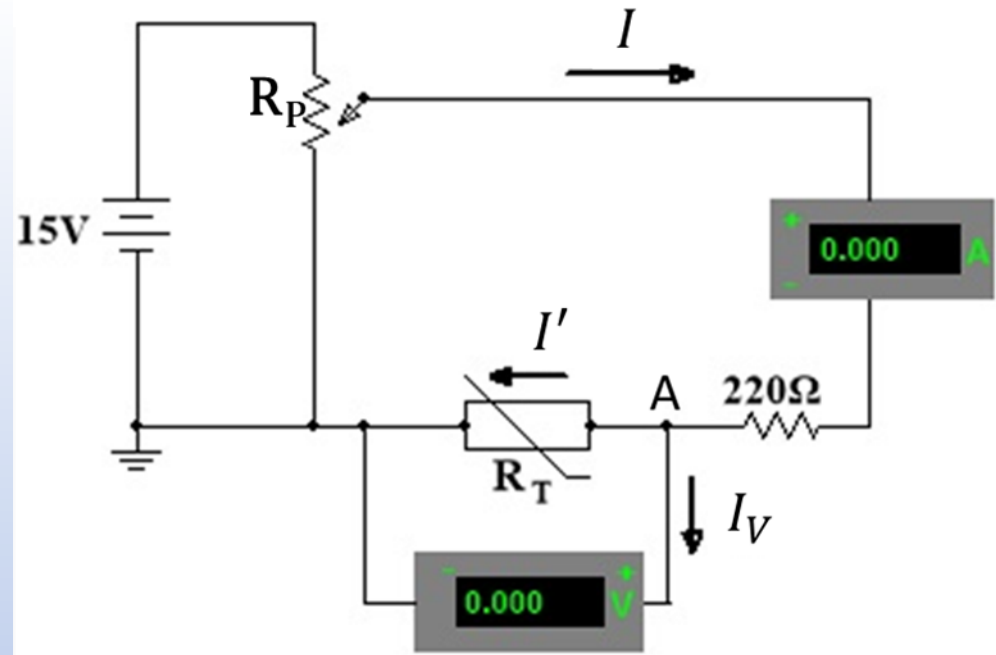
Για το βολτόμετρο της άσκησης

$$R_V = 10 \text{ M}\Omega$$

Από τις (1) και (2), έχουμε

$$I' = I_V - I$$

$$I' = \frac{V}{R_V} - I \quad (3)$$



Η ισχύς που καταναλώνεται στο θερμίστορ (και προκαλεί την αυτοθέρμανσή του), υπολογίζεται

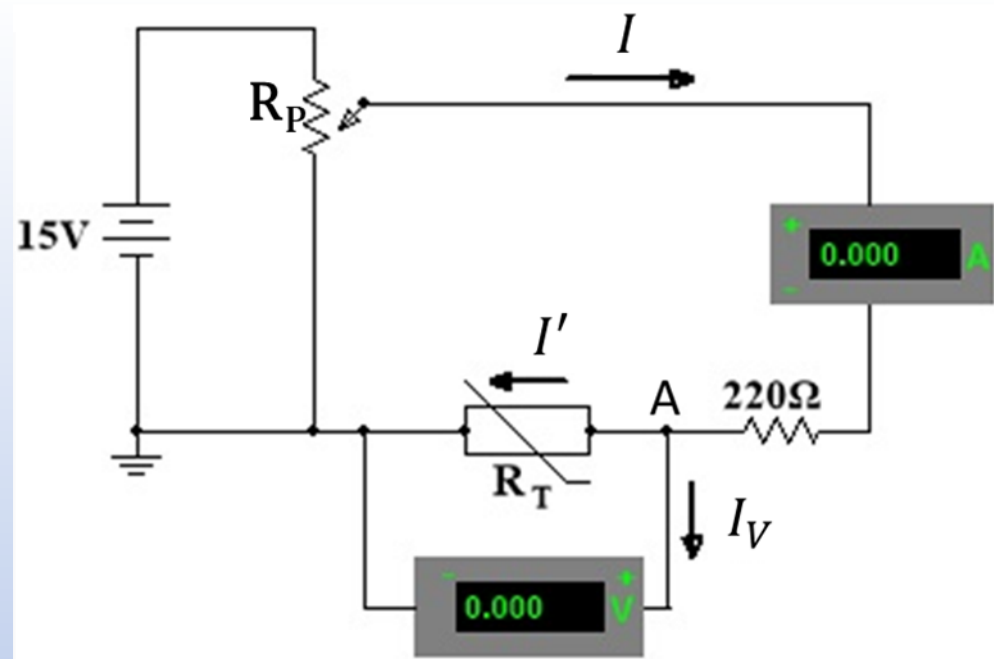
$$P = V \cdot I' \quad (4)$$

Έτσι, έχουμε μια σχέση από την οποία μπορούμε να υπολογίζουμε την ισχύ που καταναλώνεται στο θερμίστορ από τις ενδείξεις βολτομέτρου  $V$  και αμπερομέτρου  $I$ .

(... συνέχεια)

Διαδικασία υπολογισμού του ορίου αυτοθέρμανσης του θερμίστορ

- Με το ποτενσιόμετρο  $R_p$ , μεταβάλλουμε το ρεύμα  $I'$  μέσα από το θερμίστορ (από 1 ως 20mA).
- Μετά από κάθε αλλαγή, περιμένουμε τουλάχιστον 1 λεπτό.



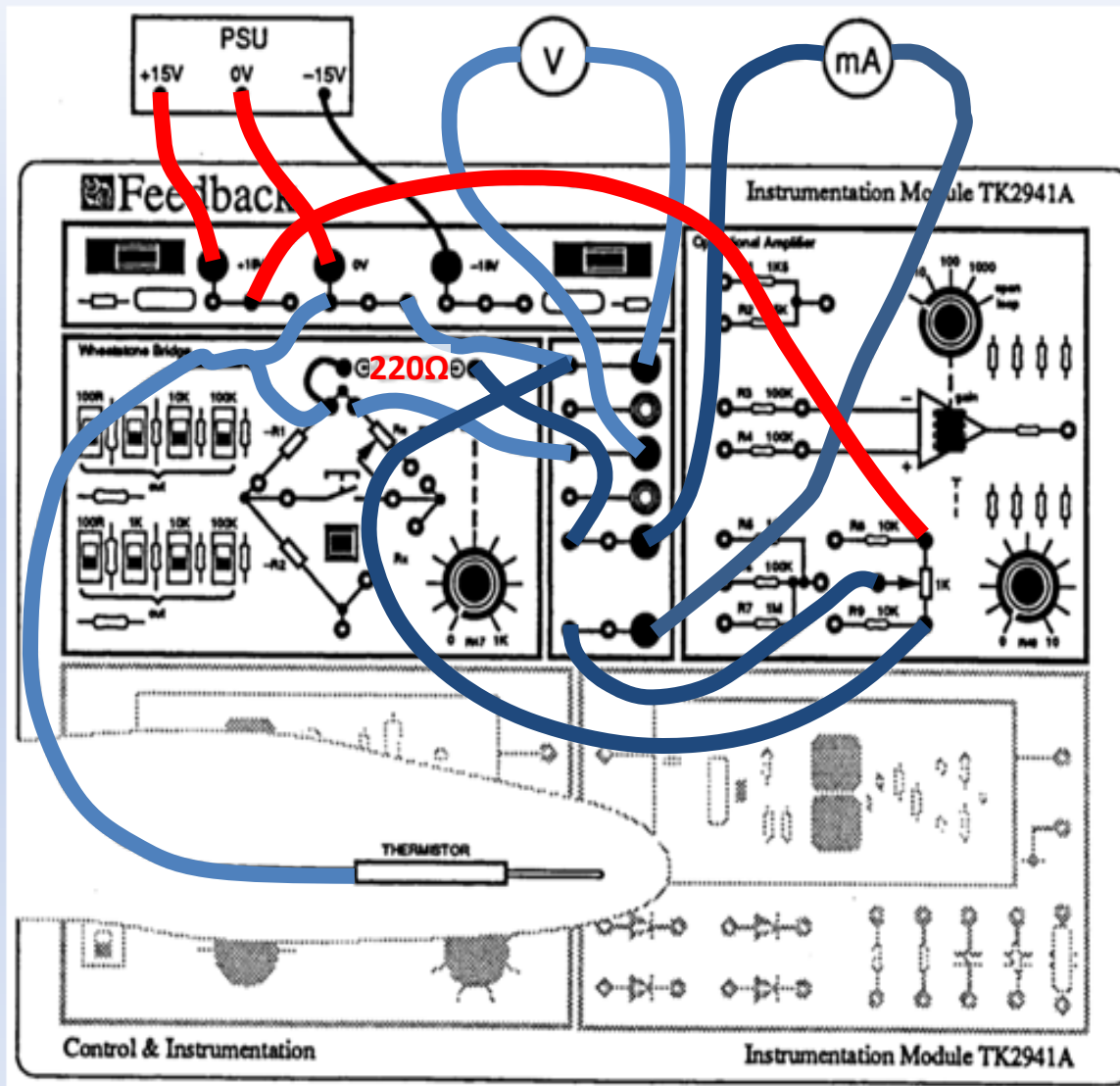
- Καταγράφουμε ρεύμα  $I$  και τάση  $V$  και υπολογίζουμε

1. την αντίσταση του θερμίστορ  $R_T = \frac{V}{I'}$

2. και την ισχύ που καταναλώνεται πάνω του, σχέση (4),  $P = V \cdot I'$ .

- Το επιτρεπόμενο όριο της αυτοθέρμανσης δίνεται από τα mW ισχύος (ή mA ρεύματος) που δεν προκαλούν μείωση της αντίστασή του περισσότερο από 1% της αρχικής του τιμής.

# Μέρος 1: Αυτοθέρμανσης του Θερμίστορ - Η συνδεσμολογία

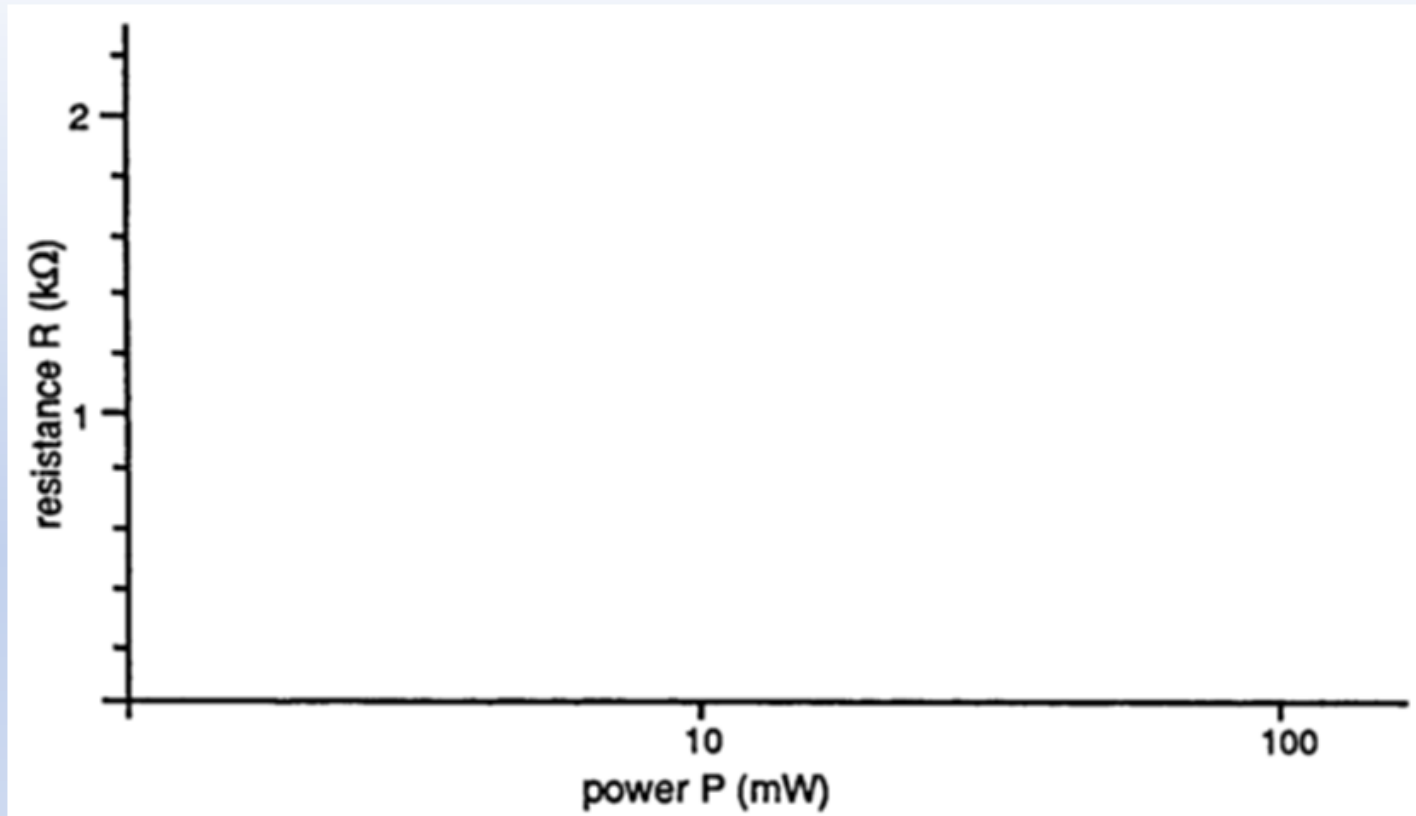


1. Συνδέστε ένα βολτόμετρο V μεγάλης αντίστασης εισόδου (ή ένα ψηφιακό πολύμετρο) στα άκρα του θερμίστορ (THERMISTOR).
2. Συνδέστε το ένα άκρο του θερμίστορ με το δρομέα του ποτενσιόμετρου μέσω ενός μιλλιαμπερόμετρου (mA) (ή το ψηφιακό πολύμετρο) σε σειρά με την αντίσταση 220 Ω (αυτή που είναι στην κορυφή της γέφυρας Wheatstone της πλακέτας).
3. Συνδέστε το άλλο άκρο του θερμίστορ στο ποτενσιόμετρο και στην έξοδο 0V του τροφοδοτικού (PSU)
4. Συνδέστε τον άλλο ακροδέκτη του ποτενσιόμετρου στην έξοδο +15V του τροφοδοτικού.

## Μέρος 1: Αυτοθέρμανσης του Θερμίστορ – Ο πίνακας τιμών

| $I$<br>(mA)           | $V$<br>(V) | $I'$<br>(mA) | $R = V/I'$<br>(kΩ) | $P = V \cdot I'$<br>(mW) |
|-----------------------|------------|--------------|--------------------|--------------------------|
|                       |            |              |                    |                          |
|                       |            |              |                    |                          |
|                       |            |              |                    |                          |
|                       |            |              |                    |                          |
|                       |            |              |                    |                          |
|                       |            |              |                    |                          |
|                       |            |              |                    |                          |
|                       |            |              |                    |                          |
|                       |            |              |                    |                          |
|                       |            |              |                    |                          |
|                       |            |              |                    |                          |
| Θερμοκρασία δωματίου: |            |              | Αέρας              | Νερό                     |
|                       |            | Αρχή         |                    |                          |
|                       |            | Τέλος        |                    |                          |

## Μέρος 1: Αυτοθέρμανσης του Θερμίστορ – Η γραφική παράσταση



**Ερώτηση** Πόσα mW ισχύος μπορούν να καταναλωθούν με ασφάλεια στο θερμίστορ χωρίς να μειωθεί η αντίστασή του περισσότερο από 1% της αρχικής του τιμής

(α) στον αέρα

(β) στο νερό