

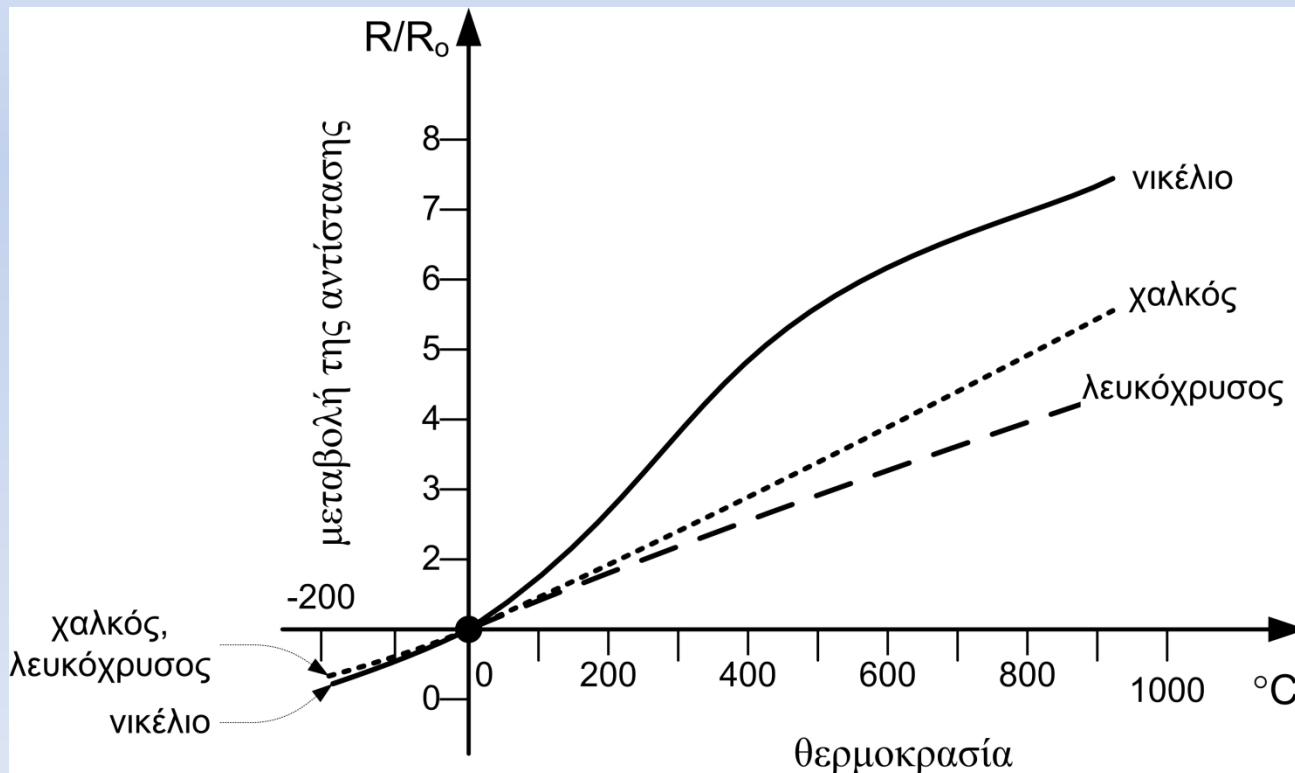
Μέρος 4^ο (*)

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

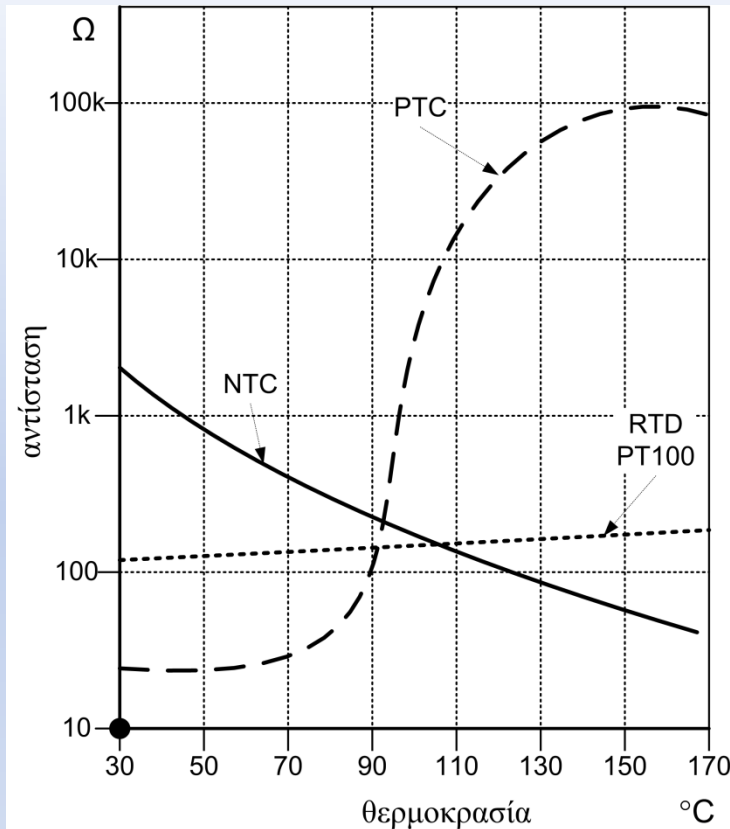
(*) Αντιστοιχεί στο κεφάλαιο 3 (πργ. 3.3) του βιβλίου των Κ. Καλαϊτζάκη και Ε. Κουτρούλη
“Ηλεκτρικές μετρήσεις και αισθητήρες: Αρχές λειτουργίας και σχεδιασμός των ηλεκτρονικών συστημάτων μέτρησης”

Θερμόμετρα Αντίστασης

- Τα θερμόμετρα αντίστασης (resistance thermometers) ή αισθητήρες θερμοκρασίας με αντίσταση (Resistance Temperature Detectors, RTD) κατασκευάζονται από μέταλλα ή κράματα μετάλλων.
- Βασίζονται στη μεταβολή της (ειδικής) αντίστασης των μετάλλων με τη θερμοκρασία.



Σύγκριση θερμομέτρων αντίστασης - θερμίστορ



Θερμίστορ (NTC ή PTC)	RTD
Μεγάλες και αρνητικές τιμές του θερμοκρασιακού συντελεστή αντίστασης (~ $-2.5\%/^{\circ}\text{C}$) Μεγάλη ευαισθησία	Μικρές και θετικές τιμές του θερμοκρασιακού συντελεστή αντίστασης (~ $+0.4\%/^{\circ}\text{C}$) Μικρή ευαισθησία
Έντονα μη γραμμική συμπεριφορά	Καλή ως πολύ καλή γραμμική συμπεριφορά

Χαρακτηριστικά θερμομέτρων αντίστασης

Η σχέση μεταξύ της ειδικής αντίστασης των μετάλλων με τη θερμοκρασίας (συνάρτηση μεταφοράς) είναι:

- με μεγάλη ακρίβεια καθορισμένη,
- παραμένει σε μεγάλο βαθμό σταθερή από το ένα δείγμα μετάλλου στο άλλο
- παραμένει σταθερή για μεγάλες χρονικές περιόδους

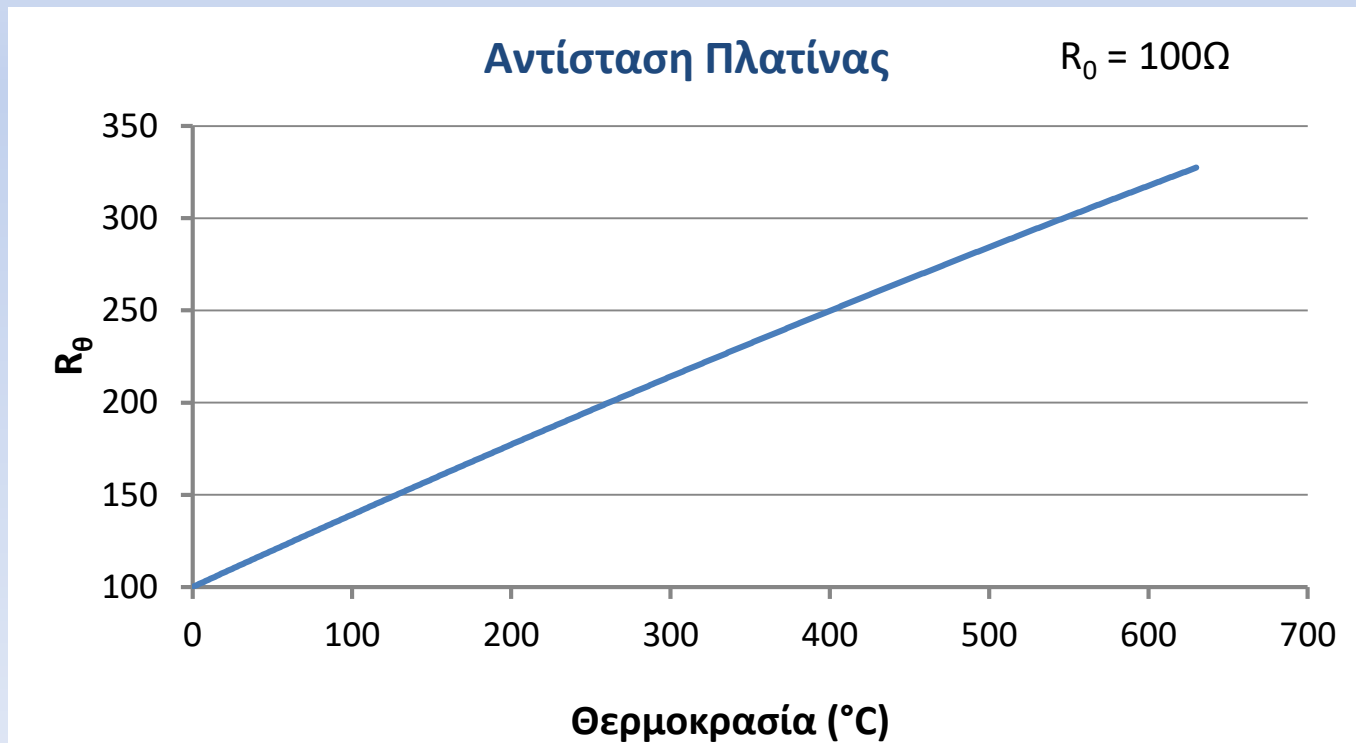
Τα θερμομέτρα αντίστασης χρησιμοποιούνται σαν θερμομέτρα ακριβείας.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν δευτερεύοντα ή ακόμη και σαν πρωτεύοντα πρότυπα θερμοκρασίας.

Θερμόμετρο Αντίστασης Πλατίνας (PT100)

Η πλατίνα (platinum, Pt) έχει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά:

- δεν διαβρώνεται,
- δεν αλλοιώνεται με το χρόνο,
- η σχέση της αντίστασής της με τη θερμοκρασίας (συνάρτηση μεταφοράς) είναι σχεδόν γραμμική σε μια μικρή κλίμακα θερμοκρασιών και παραβολική στη κλίμακα από του 0°C ως τους 630°C.



Μεταβολή της αντίστασης του PT100 με τη θερμοκρασία

Στην κλίμακα θερμοκρασιών (0-630°C) ισχύει:

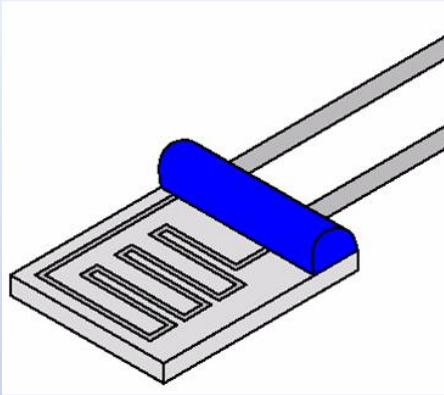
$$R_{\theta} = R_0 (1 + A \cdot \theta + B \cdot \theta^2)$$

- R_0 η αντίσταση στους 0°C και
- R_{θ} η αντίσταση σε θερμοκρασία θ °C
- A και B είναι σταθερές με τυπικές τιμές:
 - $A \approx 0.00398$
 - $B \approx -0.588 \times 10^{-6}$

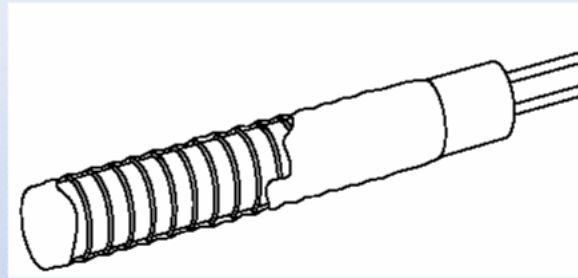
Άσκηση: Χρησιμοποιώντας την παραπάνω σχέση αντίστασης με τη θερμοκρασία (συνάρτηση μεταφοράς) του PT100, βρείτε ότι ο θερμοκρασιακός συντελεστής αντίστασης της πλατίνας, (δηλαδή η % μεταβολή της αντίστασης ανά 1°C), είναι ~0.4%/°C

Συσκευασίες των Θερμομέτρων Αντίστασης Πλατίνας

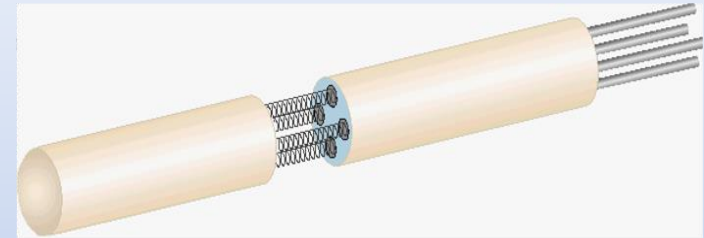
Λεπτά υμένια



Σύρματος



Πηνίου



Πηγή: <http://www.picotech.com/applications/pt100.html>

<http://temperature-uk.co.uk/products/temperature/sensors/platinum-resistance-thermometer.htm>

Φαινόμενο Αυτοθέρμανσης και Σταθερά Απωλειών στα Θερμόμετρα Αντίστασης

- Όπως και στο θερμίστορ, πρέπει να αποφεύγουμε την αυτοθέρμανση των θερμομέτρων αντίστασης

Υπενθύμιση: η σταθερά θερμικών απωλειών (dissipation constant) είναι η ισχύς που χρειάζεται να καταναλωθεί για να προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C .

- Ας υποθέσουμε ότι χρειάζεται ισχύς P (σε mW) για να προκαλέσει αύξηση 1°C . Αν επιδιώκουμε η ακρίβεια της μέτρησης θερμοκρασίας να είναι, ας πούμε, $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$, θα πρέπει το ρεύμα που περνάει από την αντίσταση της πλατίνας να είναι τόσο ώστε η ισχύς που καταναλώνεται στην αντίσταση της πλατίνας να είναι μικρότερη από $0.2 \cdot P \text{ mW}$.

Εργαστηριακή άσκηση 7^η

Θερμόμετρο αντίστασης

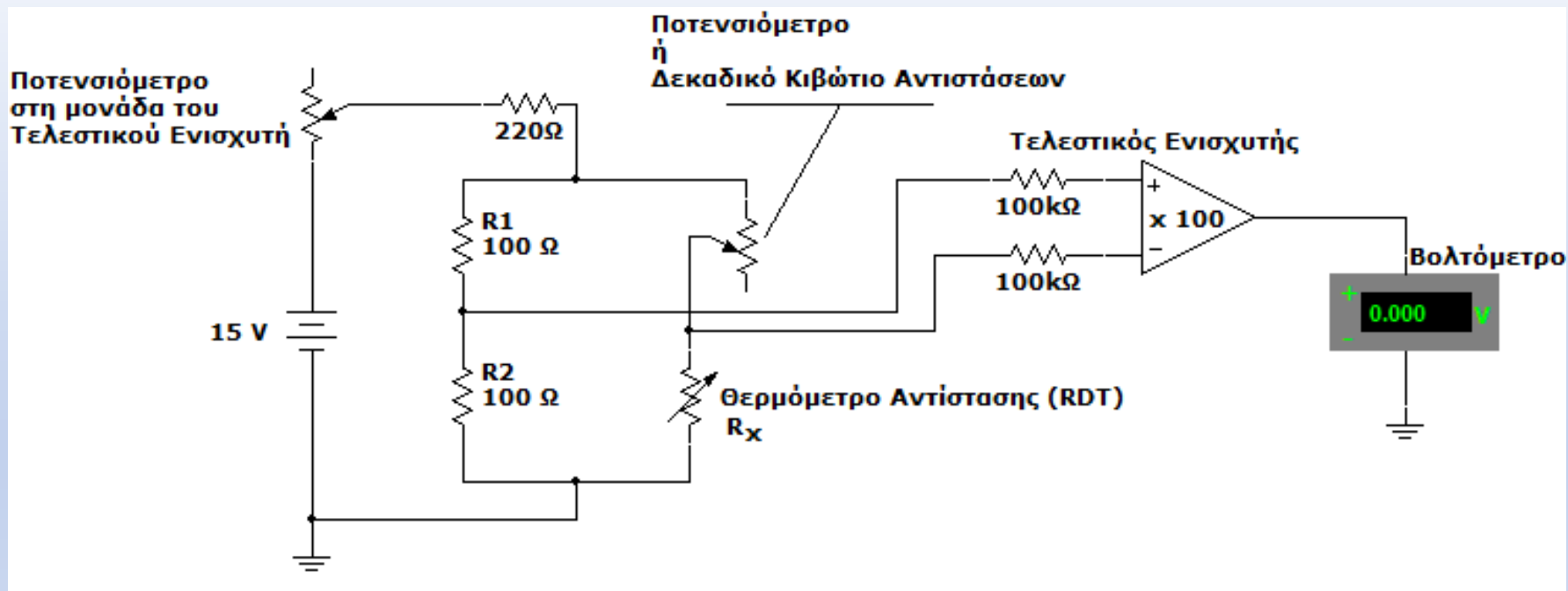
ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

- Να μετρήσουμε τη σταθερά απωλειών για το μετατροπέα αντίστασης πλατίνας.
- Να κατασκευάσουμε ένα θερμόμετρο άμεσης ένδειξης της θερμοκρασίας βασισμένο σε έναν μετατροπέα αντίστασης πλατίνας.

ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

1. Σταθερά Απωλειών
2. Χρήση του Θερμόμετρου Αντίστασης Πλατίνας
3. Ένα Θερμόμετρο Άμεσης Ένδειξης

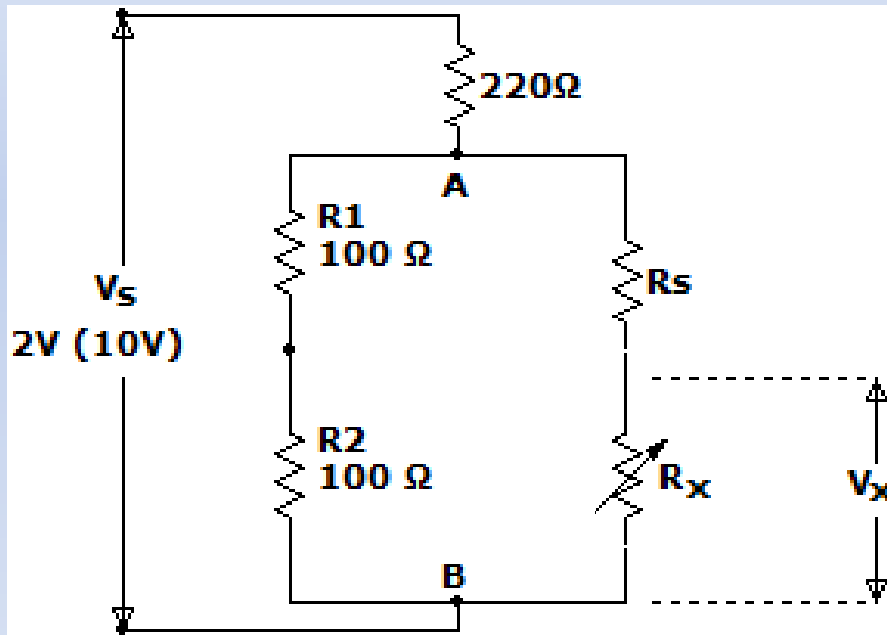
Μέρος 1^ο: Προσδιορισμός της Σταθεράς Θερμικών Απωλειών του RT100 - Το Κύκλωμα



- Χρησιμοποιώντας το ποτενσιόμετρο του τελεστικού ενισχυτή, ρυθμίζουμε την τάση τροφοδοσίας της γέφυρα πρώτα στα 2V και μετά στα 10V.
- Βρίσκουμε τις τιμές R_2 και R_{10} της αντίστασης πλατίνας στις δύο περιπτώσεις και υπολογίζουμε την % μεταβολή της αντίστασης
$$\frac{R_{10} - R_2}{R_2} \times 100 = Y\%$$

Μέρος 1^ο: Προσδιορισμός της Σταθεράς Θερμικών Απωλειών του PT100 (συνέχεια)

- Υπολογίζουμε την τάση V_X στα άκρα της αντίστασης πλατίνας, R_X , για κάθε τιμή της τάσης τροφοδοσίας και, έτσι, βρίσκουμε την ισχύ σε mW που καταναλώνεται σε κάθε περίπτωση.



$$R_{AB} = (R_1 + R_2) // (R_S + R_X)$$

$$V_{AB} = \frac{R_{AB}}{R_{AB} + 220\Omega} \times V_S$$

$$V_X = \frac{V_{AB}}{2}$$

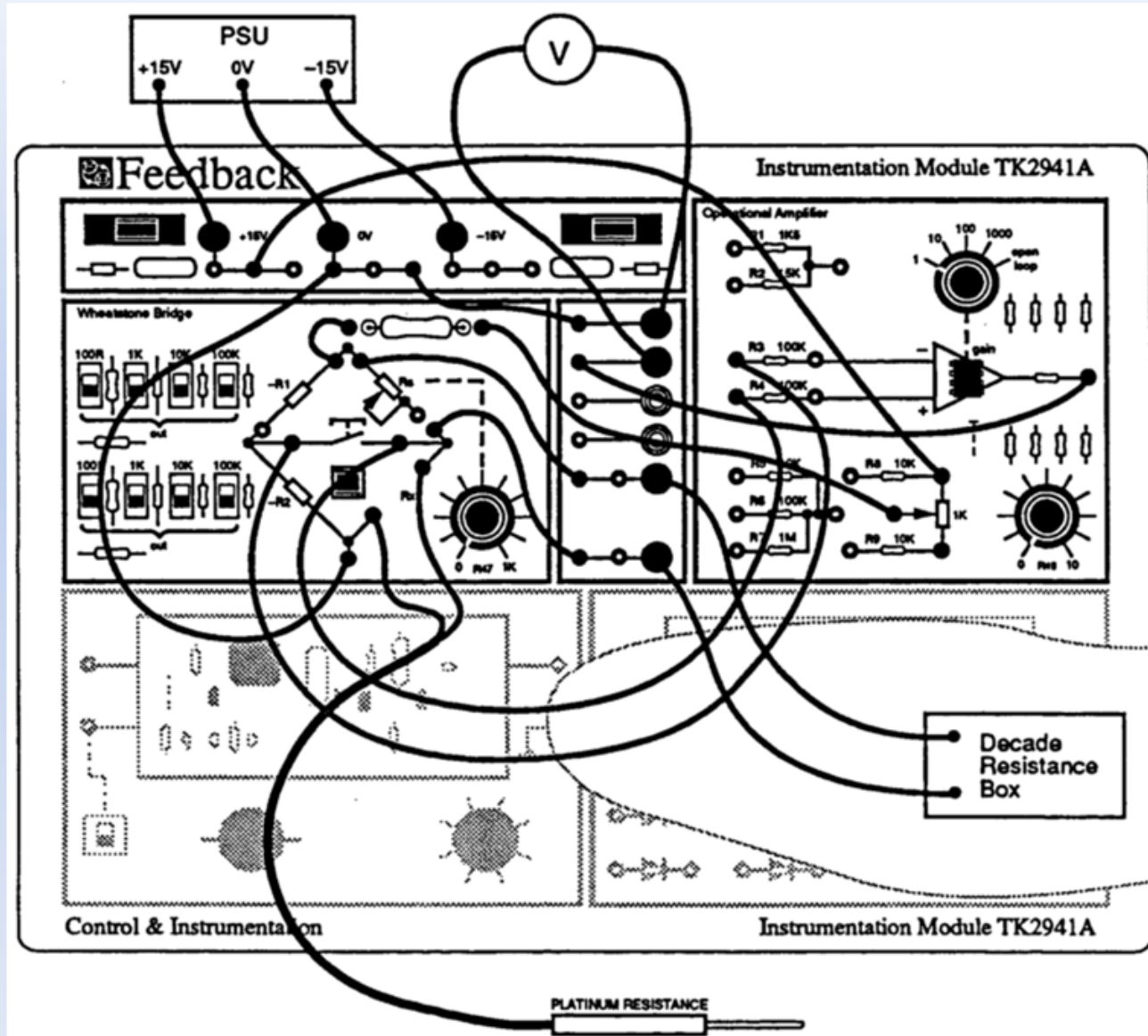
$$P_X = \frac{V_X^2}{R_X}$$

$$\text{Οπότε: } P_2 = \frac{V_X^2}{R_2} \text{ και } P_{10} = \frac{V_X^2}{R_{10}}$$

Μέρος 1^ο: Προσδιορισμός της Σταθεράς Θερμικών Απωλειών του RT100 (συνέχεια)

- Η αύξηση της ισχύος $P_{10} - P_2$ προκαλεί μεταβολή της αντίστασης $Y\%$ και αύξηση της θερμοκρασίας κατά $\frac{Y}{0.4} \text{ } ^\circ\text{C}$.
- Η σταθερά θερμικών απωλειών είναι $\frac{(P_{10} - P_2) \cdot 0.4}{Y} \text{ (mW/}^\circ\text{C)}$
- Επομένως, η μέγιστη ισχύς στην αντίσταση πλατίνας ώστε να μην προκαλέσετε σφάλμα αυτο-θέρμανσης μεγαλύτερο από 0.2°C , είναι $\frac{(P_{10} - P_2) \cdot 0.4}{Y} \times 0.2$
- Τέλος, υπολογίζουμε η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση, που μπορούμε να εφαρμόσουμε στη γέφυρα.

Μέρος 1^ο: Προσδιορισμός Σταθεράς Θερμικών Απωλειών του PT100 - Η Συνδεσμολογία



Μέρος 2^ο: Χρήση του Θερμομέτρου PT100

Πώς μπορούμε να βρούμε τη θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$) από την τιμή της αντίστασης (R_{θ}) του θερμομέτρου αντίστασης πλατίνας (PT100);

- 1^{ος} τρόπος:** να λύσουμε την εξίσωση $R_{\theta} = R_0 (1 + A \cdot \theta + B \cdot \theta^2)$ σαν δευτέρου βαθμού ως προς θ για να πάρουμε τη θ σαν συνάρτηση των R_1 , R_0 , A και B .
- Οι υπολογισμοί είναι βαρετοί αν απαιτούνται ακριβή αποτελέσματα
- 2^{ος} τρόπος:** να φτιάξουμε μια λεπτομερή γραφική παράσταση του R_{θ} για διάφορες τιμές του θ .
- Λόγω των γραφικών σφαλμάτων, δεν αξιοποιείται πλήρως η ακρίβεια του θερμομέτρου πλατίνας.
- 3^{ος} τρόπος:** να συγκρίνουμε την τιμή της αντίστασης R_{θ} σε θερμοκρασία $\theta^{\circ}\text{C}$ με την τιμή της αντίστασης σε γνωστή θερμοκρασία, όπως του βρασμού του νερού, R_{100} στους 100°C .
- Αυτή ο τρόπος χρησιμοποιείται στην πράξη

Μέρος 2^ο: Χρήση του Θερμομέτρου PT100 (συνέχεια)

- Γράφουμε την εξίσωση για τη θερμοκρασία των 100°C:

$$R_{100} = R_0 (1 + 100 \cdot A + 10^4 \cdot B) \Rightarrow R_{100} - R_0 = R_0 (100 \cdot A + 10^4 \cdot B)$$

- Όμοια για μια θερμοκρασία θ °C:

$$R_\theta - R_0 = R_0 (\theta \cdot A + \theta^2 \cdot B)$$

- Διαιρώντας κατά μέλη

$$100 \frac{R_\theta - R_0}{R_{100} - R_0} = \frac{\theta \cdot A + \theta^2 \cdot B}{A + 100 \cdot B}$$

- Το αριστερό μέλος ονομάζεται **‘θερμοκρασία πλατίνας’** (‘platinum temperature’), θ_P

$$\theta_P = 100 \frac{R_\theta - R_0}{R_{100} - R_0}$$

Μέρος 2^ο Χρήση του Θερμομέτρου PT100 (συνέχεια)

- Αναπτύσσοντας τη σχέση της θ_p , παίρνουμε (βλ. σημειώσεις Εργ. Ασκ. 21) :

$$\theta - \theta_p = \frac{\theta (100 \cdot A + \theta \cdot B)}{A + 100 \cdot B}$$

- Απλοποιούμε τη σχέση χρησιμοποιώντας τη σταθερά $D = \frac{-10^4 B}{A + 100 \cdot B}$

οπότε $\theta - \theta_p = \frac{D \cdot \theta}{100} \left(\frac{\theta}{100} - 1 \right)$ **Εξίσωση διαφοράς** (difference equation)

- Θέτοντας $A \approx 0.00398$ και $B \approx -0.588 \times 10^{-6}$, βρίσκουμε **D = 1.5**

- Οπότε, τελικά: $\theta - \theta_p = \frac{1.5 \cdot \theta}{100} \left(\frac{\theta}{100} - 1 \right)$

Μέρος 2^ο Χρήση του Θερμομέτρου PT100 (συνέχεια)

- Η εξίσωση διαφοράς χρησιμοποιείται με διαδοχικές προσεγγίσεις ώστε να δώσει ακριβή υπολογισμό της θ για δεδομένη τιμή θ_p .
- Την πρώτη προσέγγιση συνήθως την παίρνουμε από έναν πίνακα, ένα μέρος του οποίου δίνεται εδώ.

θ	0	20	40	60	80	100	120	140
θ_p	0	19.76	39.64	59.64	79.76	100	120.4	140.9

- Η πρώτη προσέγγιση αντικαθίσταται στην εξίσωση για τη θ_p για να δώσει μια δεύτερη προσέγγιση, η οποία πάλι αντικαθίσταται στην εξίσωση για τη θ_p , κ.ο.κ., ως ότου να μην αλλάζει περαιτέρω η τιμή.

Μέρος 2^ο Χρήση του Θερμομέτρου PT100 - Ένα Παράδειγμα

Πρόβλημα: Έστω θερμομέτρο πλατίνας με $R_0 = 100\Omega$, οπότε $R_{100} = R_0(1+100\cdot A+10^4\cdot B) = 139.2\Omega$. Ποιά είναι η τιμή της θερμοκρασίας θ στην οποία η τιμή της αντίστασης είναι $R_\theta = 105.5\Omega$,

$$\text{Υπολογίζουμε τη } \theta_p: \theta_p = 100 \frac{R_\theta - R_0}{R_{100} - R_0} = 100 \frac{105.5 - 100}{139.2 - 100} = 14.03$$

Από τον πίνακα

θ	0	20	40	60	80	100	120	140
θ_p	0	19.76	39.64	59.64	79.76	100	120.4	140.9

με απλή μέθοδο των τριών, παίρνουμε μια πρώτη προσέγγιση της θ

$$\frac{19.76 \times 14.03}{20} = 13.86$$

Βάζοντας την τιμή αυτή στην εξίσωση διαφοράς, παίρνουμε:

$$\theta - \theta_p = \frac{1.5 \cdot \theta}{100} \left(\frac{\theta}{100} - 1 \right) = \frac{1.5 \cdot 13.86}{100} (0.1386 - 1) = -0.179$$

Συνεπώς, $\theta = \theta_p - 0.179 = 14.03 - 0.179 = \mathbf{13.851^\circ C}$

(Συνεχίζεται \Rightarrow)

Μέρος 2^ο Χρήση του Θερμομέτρου ΡΤ100 - Ένα Παράδειγμα (συνέχεια)

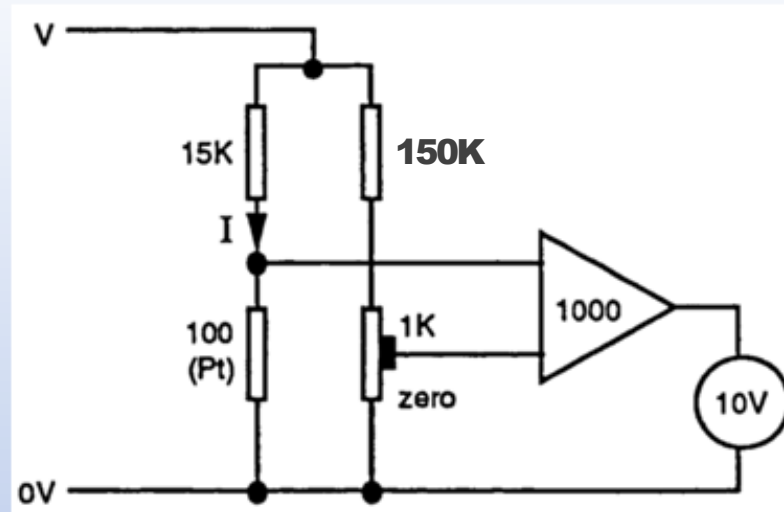
Ξαναβάζοντας την τιμή αυτή στην εξίσωση, έχουμε

$$\theta - \theta_p = \frac{1.5 \cdot 13.851}{100} (0.13851 - 1) = - 0.17899$$

Συνεπώς, $\theta = \theta_p - 0.17899 = \mathbf{13.851^{\circ}\text{C}}$

Αυτή η τιμή αποτελεί την καλύτερη προσέγγιση της θερμοκρασίας θ .

Μέρος 3^ο: Ένα Θερμόμετρο Άμεσης Ένδειξης - Το Κύκλωμα



- Αν θέλουμε η κλίμακα 0 - 100°C να αντιστοιχεί σε τάση εξόδου 0 – 10mV, έτσι ώστε με ενίσχυση 1000 να παίρνουμε έξοδο 0 – 10V, η τάση τροφοδοσίας (V), που απαιτείται, είναι περίπου 4V (γιατί;)
- Η μεγάλη σε σειρά αντίσταση (15kΩ) θα κρατήσει το ρεύμα σχεδόν σταθερό $(4V)/(15000\Omega + 100\Omega) \approx 0.26mA$.
- Αν αυτή η ίδια τάση χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει το ποτενσιόμετρο που κάνει τη βαθμονόμηση, οποιαδήποτε μικρή μεταβολή στη V θα έχει αμελητέα επίπτωση.

Μέρος 3^ο: Ένα Θερμόμετρο Άμεσης Ένδειξης - Η συνδεσμολογία

