

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Διερευνάται η χαρακτηριστική συμπεριφορά ενός θερμίστορ και προσδιορίζεται η τιμή του αρνητικού θερμοκρασιακού συντελεστή της αντίστασής του.

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Περιγραφή	Ποσότητα
Μονάδα οργάνων TK2941A	1
Ράβδος θερμότητας	1
Θερμόμετρο	1
Δοχείο βαθμονόμησης θερμοκρασίας	1
Μετατροπέας - Θερμίστορ. Λευκή θήκη.	1
Στήριγμα μετατροπέα	1
Μικρό δοχείο πάγου	1
Κιβώτιο δεκαδικών αντιστάσεων από 1Ω ως 100kΩ	1
Τροφοδοτικό, ±15V dc	1
Ψηφιακό πολύμετρο (DMM)	1

ΠΡΟΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάψτε τη ράβδο θερμότητας και αφήστε να σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία της. Αυτό μπορεί να σας πάρει ως 45 min.

ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

20.1 Αυτοθέρμανση

20.2 Βαθμονόμηση – Μέτρηση μηδενικής ισχύος

ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

- 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 αναγνωρίσουμε τον όρο 'σταθερά απωλειών'.

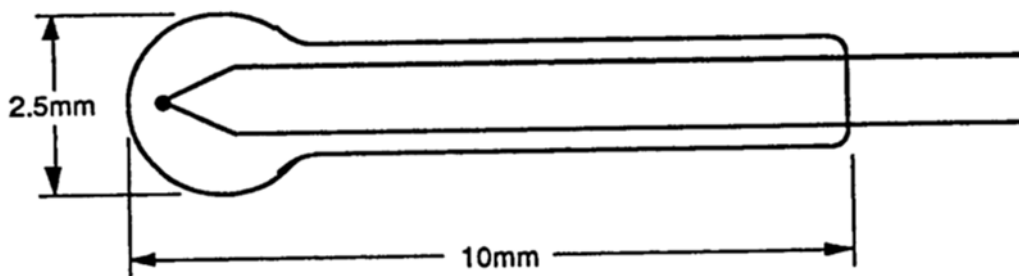
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όλοι οι ηλεκτρικοί αγωγοί έχουν αντίσταση και σε όλες τις περιπτώσεις η αντίσταση εξαρτάται σε μικρό ή μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η αντίσταση αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας. Συνήθως, αυτή η μεταβολή είναι ένα ανεπιθύμητο φαινόμενο το οποίο πρέπει να γίνει όσο το δυνατόν μικρότερο.

Απ'την άλλη μεριά, είναι δυνατόν να εκμεταλλευτούμε αυτό το φαινόμενο για να μετρήσουμε τη θερμοκρασία. Στην επόμενη εργασία 21, θα δούμε μια εφαρμογή αυτής της ιδέας στο Θερμόμετρο Αντίστασης Πλατίνας, η οποία έχει έναν θετικό θερμοκρασιακό συντελεστή (η αντίσταση αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας).

Σ'αυτήν την εργασία, ωστόσο, θα μελετήσουμε ένα εξάρτημα που λέγεται ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ (THERMISTOR από τις λέξεις THERMal και resISTOR) που έχει έναν πολύ μεγάλο και, σχεδόν πάντα αρνητικό, θερμοκρασιακό συντελεστή. Οι εφαρμογές ενός τέτοιου εξαρτήματος ξεπερνούν κατά πολύ την απλή μέτρηση της θερμοκρασίας και, όπως θα δούμε στη συνέχεια, είναι πραγματικά πολυάριθμες.

Τα θερμίστορς φτιάχνονται από διάφορα μεταλλικά οξειδία κατεργασμένα σε υψηλή θερμοκρασία και υπάρχουν σε πολλές διαφορετικές μορφές. Αυτό που θα δούμε, αν και δεν φαίνεται, καθώς βρίσκεται μέσα στην προστατευτική του θήκη, είναι ένα μικρό κομματάκι υλικού σαν χάντρα, κλεισμένο αεροστεγώς σε γυαλί, στηριγμένο στην άκρη των δύο αγωγών σύνδεσής του, όπως δείχνει η Εικ. 5.20.1.



Εικ. 5.20.1

Άπαξ και ένα θερμίστορ κατασκευαστεί και γίνει η θερμική του κατεργασία, η αντίστασή του εξαρτάται αποκλειστικά από τη θερμοκρασία του.

Η σχέση που συνδέει την αντίσταση του θερμίστορ με τη θερμοκρασία του δίνεται από μια εξίσωση της μορφής

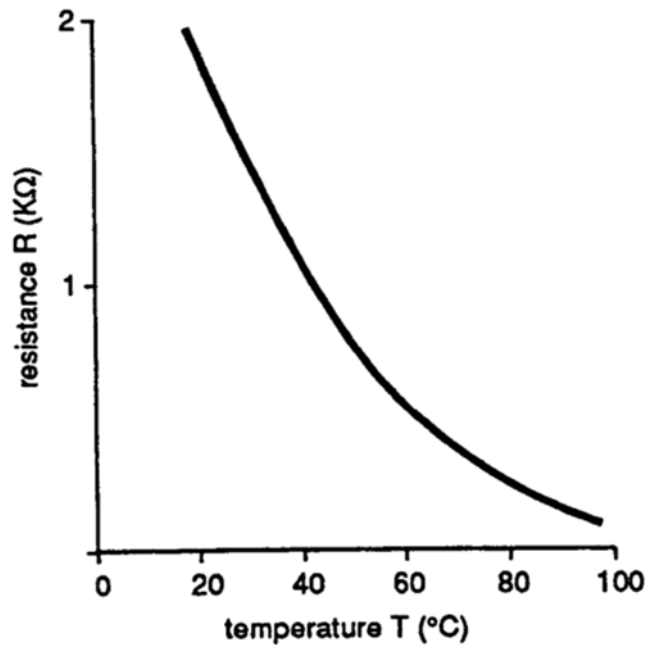
$$R = Ae^{b/T}$$

όπου: R είναι η αντίσταση σε Ω

T είναι η απόλυτη θερμοκρασία (σε Kelvin) και

A και b είναι σταθεροί αριθμοί.

Για το θερμίστορ αυτού του κιτ μετατροπών η τιμή της R στους 20°C είναι περίπου $2000\ \Omega$ και μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία όπως φαίνεται στην Εικ. 5.20.2. Στην άσκηση αυτή θα σχεδιάσετε μια τέτοια καμπύλη πειραματικά. Πριν, όμως, απ'αυτό, υπάρχει ένα ζήτημα το οποίο θα πρέπει να γίνει κατανοητό.



Εικ. 5.20.2

ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 20.1

Αυτοθέρμανση

Θα θυμηθείτε από προηγούμενη εργασία που έχετε κάνει ότι δεν μπορείτε να μετρήσετε αντίσταση χωρίς να περάσετε ρεύμα από μέσα της.

Ερώτηση 20.1 Τι συμβαίνει όταν ρέει ρεύμα μέσα σε μια αντίσταση;

Την απάντησή σας συνδυάστε τη με το γεγονός ότι η αντίσταση του θερμίστορ εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία του και ότι δεν έχει διαφορά πως θερμαίνεται το θερμίστορ. Πρέπει να μετρήσουμε την αντίσταση του θερμίστορ, αν είναι να βρούμε την θερμοκρασία του.

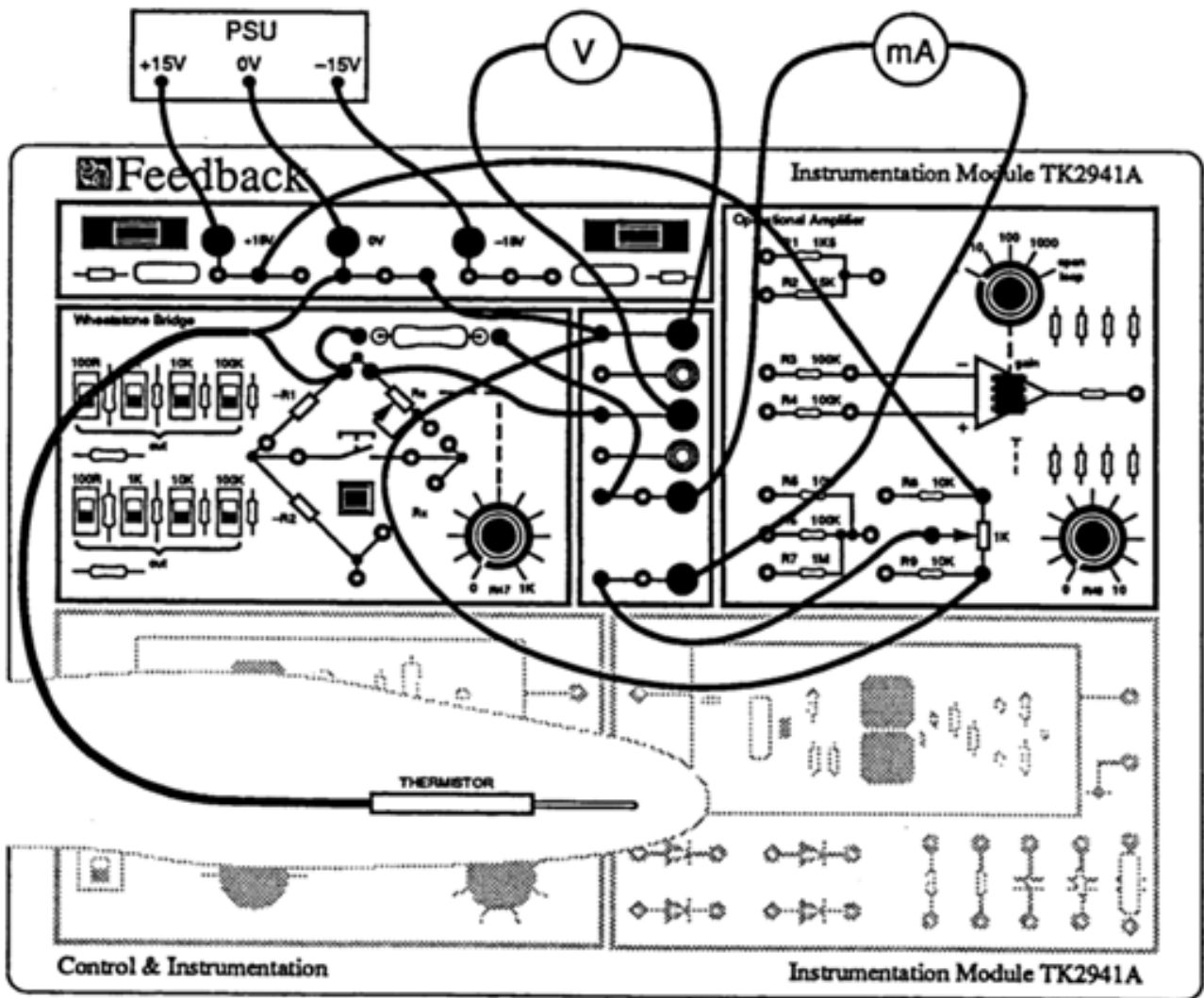
Ερώτηση 20.2 Τι νομίζετε ότι είναι απαραίτητο να προσέξουμε όταν χρησιμοποιούμε ένα θερμίστορ για να μετρήσουμε τη θερμοκρασία του περιβάλλοντός του;

Είναι εύκολο να δούμε την απάντηση σ' αυτό το ερώτημα – πρέπει να προσέξουμε ώστε το κύκλωμα μέτρησης που θα χρησιμοποιήσουμε, οποιοδήποτε και αν είναι, δεν θα προκαλέσει θέρμανση του θερμίστορ, έτσι ώστε να δείξει μια τεχνητά υψηλή θερμοκρασία η οποία δεν αντιστοιχεί στο περιβάλλον του.

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται 'αυτο-θέρμανση'. Σε κάποιες εφαρμογές χρησιμοποιείται από πρόθεση αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις, η αυτοθέρμανση πρέπει να κρατιέται όσο γίνεται χαμηλότερη.

Αλλά, «πόσο χαμηλή;» είναι το ερώτημα που πρέπει να απαντήσουμε πριν μπορέσουμε να βαθμονομήσουμε το θερμίστορ ως προς ένα θερμόμετρο υδραργύρου. Για ν' απαντήσουμε αυτήν την ερώτηση πρέπει πρώτα να κάνουμε ένα πείραμα για να βρούμε πως μεταβάλλεται η αντίσταση όταν καταναλώνεται ισχύς πάνω της με ένα ρεύμα.

Συνδέστε το θερμίστορ, ένα βολτόμετρο (ή ψηφιακό πολύμετρο) μεγάλης αντίστασης εισόδου και ένα μιλιαμπερόμετρο (ή το ψηφιακό πολύμετρο) σε ένα κύκλωμα, όπως δείχνεται στην Εικ. 5.20.3.



Εικ. 5.20.3

Πριν ανοίξετε το τροφοδοτικό, σιγουρευτείτε ότι το ποτενσιόμετρο στη μονάδα Τελεστικού Ενισχυτή (Operational Amplifier) είναι στο μηδέν. Ανοίξετε το τροφοδοτικό.

Σημείωση: το ρεύμα που διαρρέει το βολτόμετρο, αν και μικρό, μπορεί να είναι απαραίτητο να ληφθεί υπ’όψη προκειμένου να πάρουμε ακριβή αποτελέσματα. Αυτό γίνεται ως ακολούθως (βλ. σχηματικό διάγραμμα Εικ. 5.20.3β):

Αν I είναι το μετρούμενο ρεύμα

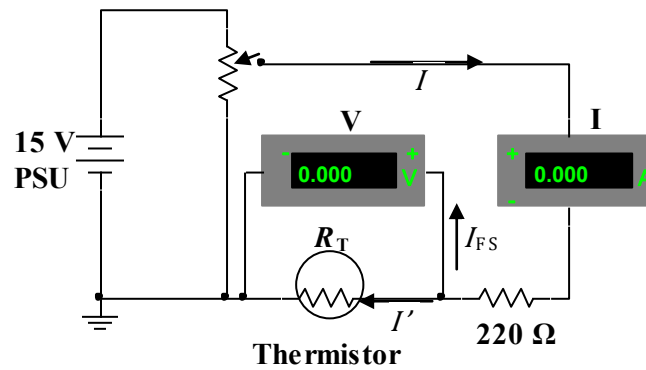
V είναι η μετρούμενη τάση

I_{FS} είναι το ρεύμα πλήρους κλίμακας του βολτομέτρου και

V_{FS} είναι η τάση πλήρους κλίμακας του βολτομέτρου.

το ρεύμα στο θερμίστορ είναι

$$I' = I - \frac{V}{V_{FS}} \cdot I_{FS}$$



Εικ. 5.20.3β

και η αντίσταση του θερμίστορ είναι

$$R = \frac{V}{I'}$$

Η ισχύς που καταναλώνεται στο θερμίστορ είναι $P = V \cdot I'$.

Γ'αυτό το πείραμα είναι προτιμότερο η θερμοκρασία του περιβάλλοντος να είναι κάπως σταθερή σε όλη την διάρκεια των μετρήσεων. Χρησιμοποιήστε ένα υδραργυρικό θερμόμετρο για να μετρήσετε τη θερμοκρασία δωματίου πριν και μετά. Στηρίξτε το θερμίστορ στον ελεύθερο και ακίνητο αέρα και μη το αγγίζετε με τα δάκτυλά σας.

Τώρα, αυξήστε τη μεταβλητή d.c. τάση τροφοδοσίας, χρησιμοποιώντας το ποτενσιόμετρο, έτσι ώστε να βάλετε το ρεύμα στα 1, 2, 4, 10, 15 και 20mA περίπου. Μετά από κάθε αλλαγή περιμένετε τουλάχιστον 1 λεπτό πριν καταγράψετε το ρεύμα και την τάση. Θα πρέπει να είστε προσεκτικοί στα μεγαλύτερα ρεύματα καθώς, μετά την αλλαγή της τάσης, το ρεύμα θα συνεχίσει να αυξάνεται για λίγο καθώς το θερμίστορ θερμαίνεται και μειώνεται η αντίστασή του.

Σημείωση: Μην επιτρέψετε στο ρεύμα να υπερβεί τα 20mA.

Ερώτηση 20.3 Καταλαβαίνετε γιατί χρησιμοποιείται η αντίσταση των 220Ω σε σειρά με το θερμίστορ;

Συμπληρώστε τον πίνακα που δείχνεται στην Εικ. 5.20.4 για κάθε μια από τις ενδείξεις των οργάνων. Υπολογίστε την αντίσταση R και την ισχύ P από τα V και I χρησιμοποιώντας, αν είναι απαραίτητο το I' , όπως εξηγείται παραπάνω.

Επαναλάβετε τη διαδικασία αλλά αυτή τη φορά εισάγετε το θερμίστορ στο νερό σε θερμοκρασία δωματίου στο δοχείο βαθμονόμησης.

Πρόβλημα 19.1 Σχεδιάστε τη γραφική παράσταση του R ως προς το P γαι τα δύο σεντ μετρήσεων. Στον οριζόντιο άξονα βάλτε το δεκαδικό λογάριθμο (\log) του P , όπως δείχνει η Εικ. 5.20.5.

Ερώτηση 20.4 Μπορείτε να εξηγήσετε τις διαφορές μεταξύ των δύο καμπυλών που πήρατε για τον αέρα και το νερό;

Ερώτηση 20.5 Μελετήστε τις καμπύλες R/P . 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 και (β) στο νερό;

I (mA)	V (V)	I' (mA)	$R = \frac{V}{I'}$ (kΩ)	$P = V \cdot I$ (mW)
1				
2				
4				
10				
15				
20				

Αέρας

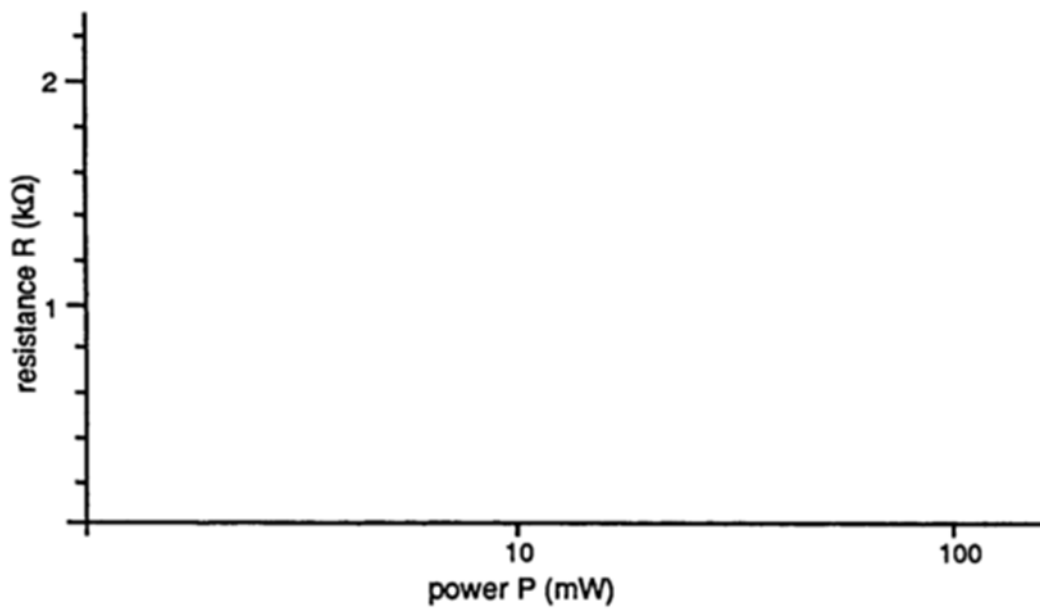
Νερό

Θερμοκρασία δωματίου:

Αρχή

Τέλος

Εικ. 5.19.4



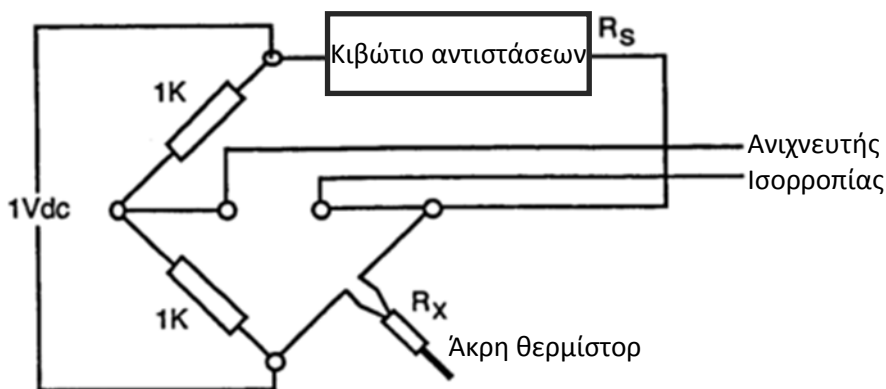
Εικ. 5.20.5

ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 20.2

Βαθμονόμηση – Μέτρηση μηδενικής ισχύος

Για να βαθμονομήσουμε το θερμίστορ, θα πρέπει να το τοποθετήσουμε στο δοχείο βαθμονόμησης μαζί με το υδραργυρικό θερμόμετρο και να θερμάνουμε το νερό σε διάφορες θερμοκρασίες, μετρώντας την αντίσταση του θερμίστορ σε κάθε θερμοκρασία με τη βοήθεια της γέφυρας Wheatstone. Γνωρίζουμε ότι η σχεδίαση της γέφυρας δεν πρέπει να προκαλεί κατανάλωση ισχύος στο θερμίστορ πάνω από ένα ορισμένο επίπεδο σε κάθε θερμοκρασία.

Υποθέστε ότι χρησιμοποιούσαμε μια γέφυρα με ίσους λόγους αντιστάσεων, με διέγερση 1V dc, όπως στην Εικ. 5.20.6.



Εικ. 5.20.6

Στην ισορροπία, η τάση στα άκρα της R_x θα είναι πάντοτε το μισό της τάσης τροφοδοσίας, δηλαδή, 0.5V. Αν θα έπρεπε η R_x να πέσει, ας πούμε, στα 100Ω, όταν θερμαινόταν από το εξωτερικό, η ισχύς, που θα καταλωνόταν, θα ήταν $\frac{0.5^2}{100} = 2.5 \text{ mW}$.

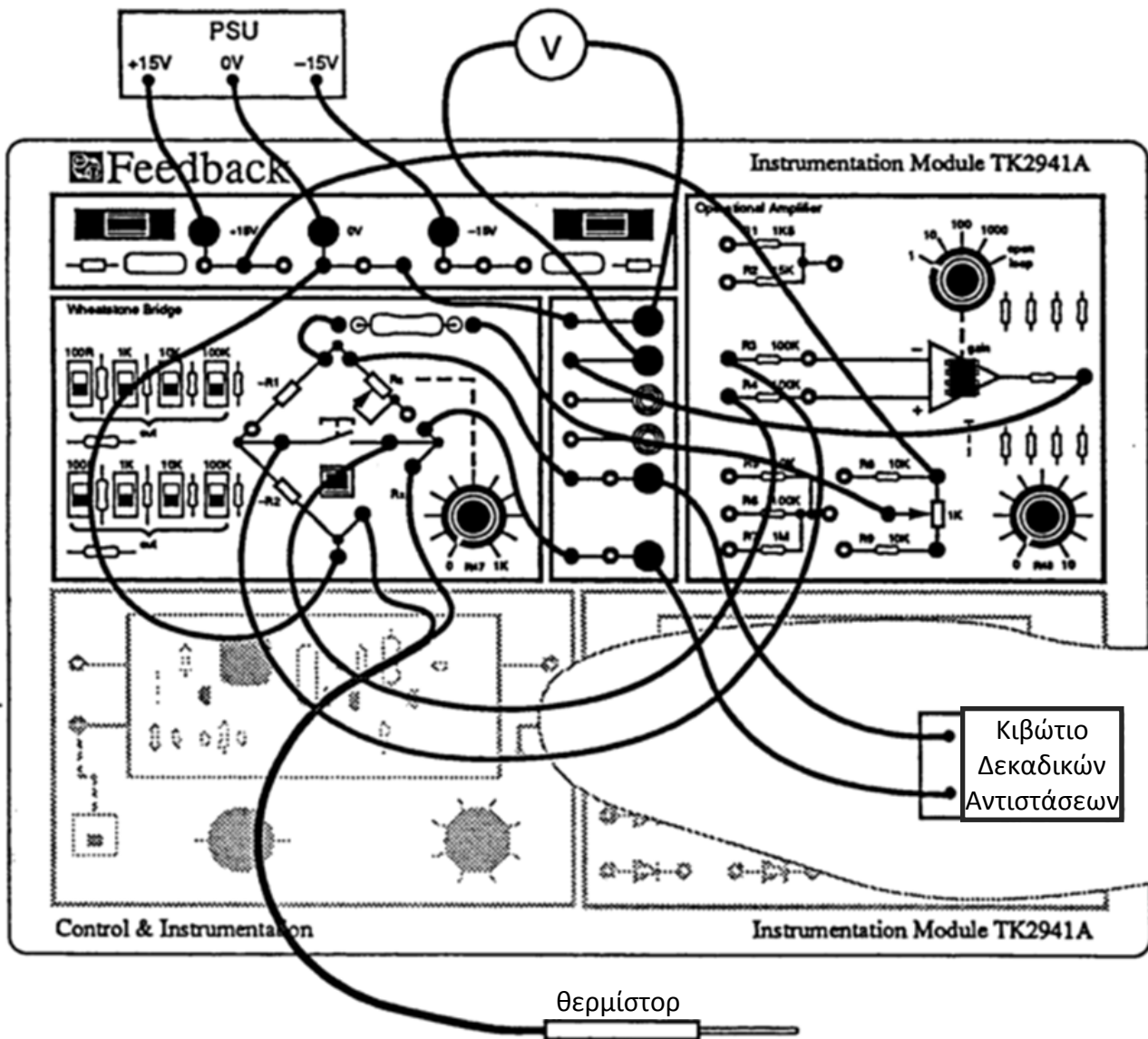
Ερώτηση 20.6 Η ισχύς αυτή είναι περισσότερη ή λιγότερη από το πάνω όριο που επιτρέπεται στην απάντηση της Ερώτησης 20.5;

Αν η ισχύς είναι περισσότερη, πρέπει να αλλάξουμε το κύκλωμα μειώνοντας την τάση στα άκρα της R_x . Αυτό μπορεί να γίνει είτε μειώνοντας την τάση τροφοδοσίας είτε χρησιμοποιώντας διαφορετικό λόγο αντιστάσεων. Για την ίδια μείωση στην καταναλωμένη ισχύ, η δεύτερη μέθοδος δίνει ελαφρά καλύτερη ευαισθησία της γέφυρας, έτσι, θα την ακολουθήσουμε εδώ. Για να έχουμε αρκετή ευαισθησία, είναι επιπλέον απαραίτητο να ακολουθήσουμε τη γέφυρα με έναν τελεστικό ενισχυτή με κέρδος 1000. Το προκύπτον κύκλωμα δείχνεται στην Εικ. 5.20.7.

Ερώτηση 20.7 Πόση είναι τώρα η μέγιστη ισχύς που καταναλώνεται στο θερμίστορ στην ισορροπία;

Φτιάξτε το κύκλωμα που δίνεται στην Εικ. 5.20.7. Στη γέφυρα Wheatstone, βάλτε τους διακόπτες SW3 και SW6 'in' και όλους τους άλλους διακόπτες 'out'.

Ανοίξτε το τροποδοτικό και βάλτε το ποτενσιόμετρο του Τελεστικού Ενισχυτή (Operational Amplifier) να δίνει 1V dc στην είσοδο της γέφυρας.



Εικ. 5.20.7

Τώρα είμαστε σε θέση να κάνουμε μέτρηση της αντίστασης του θερμίστορ σε διάφορες θερμοκρασίες με αμελητέα αυτο-θέρμανση. Αυτή συχνά ονομάζεται ‘μέτρηση μηδενικής ισχύος’ (‘zero-power measurement’).

Βάλτε το θερμίστορ και το υδραργυρικό θερμόμετρο μαζί στο δοχείο βαθμονόμησης γεμάτο με νερό. Όταν το θερμόμετρο σταθεροποιηθεί στη θερμοκρασία δωματίου, ισορροπήστε τη γέφυρα και σημειώστε τη θερμοκρασία και την αντίσταση.

Επίσης, βάλτε τα, αν είναι δυνατόν, σε πάγο που τήκεται, ώστε να πάρετε τις ενδείξεις στους 0°C.

Κουμπώστε το δοχείο βαθμονόμησης στην ράβδο θέρμανσης στην εγκοπή Νο 20, περιμένετε περίπου 5 ως 10 λεπτά για να σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία και ισορροπήστε τη γέφυρα να διαβάσετε την αντίσταση του θερμίστορ. Σημειώστε το αποτέλεσμα και την ένδειξη του θερμομέτρου στον Πίνακα της Εικ. 5.20.7. επαναλάβετε στις εγκοπές 18, 16, κ.λ.π., ώσπου να φτάσετε μια θερμοκρασία περίπου 100°C.

Σχισμή No	Θερμοκρασία θ ($^{\circ}\text{C}$)	Αντίσταση R (Ω)

Εικ. 5.20.8

Πρόβλημα 20.2 Από τα αποτελέσματά σας, σχεδιάστε μια γραφική παράσταση με τη θερμοκρασία, θ , οριζόντια και την αντίσταση, R , κατακόρυφα.

Ερώτηση 20.8 Είναι γραμμική η γραφική παράσταση;

Βγάλτε το δοχείο βαθμονόμησης από την ράβδο θέρμανσης. Βάλτε τώρα το θερμίστορ στο στήριγμά του και κουμπώστε το σε μια οποιαδήποτε θέση στη ράβδο θέρμανσης. Μετά από λίγα λεπτά μετρήστε την R και από την καμπύλη σας προσδιορίστε τη θερμοκρασία σε αυτό το σημείο της ράβδου. Επαναλάβετε για διάφορες άλλες θέσεις. Μπορείτε επίσης να προσπαθήσετε να μετρήσετε τη θερμοκρασία του σώματός σας χρησιμοποιώντας το θερμίστορ όπως ένα απλό κυλινδρικό θερμόμετρο.

Σταθερά απωλειών

Όταν ένα θερμίστορ είναι σε μια μέτρηση θερμοκρασίας ή σύστημα ελέγχου, υπάρχουν συνήθως δύο αλληλοσυγκρουόμενες απαιτήσεις. Από τη μια μεριά μεγαλύτερη δυνατή ευαισθησία από το θερμίστορ, που σημαίνει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ρεύμα λειτουργίας και από την άλλη, περιορισμένο σφάλμα, που συνεπάγεται ένα όριο στο φαινόμενο της αυτοθέρμανσης.

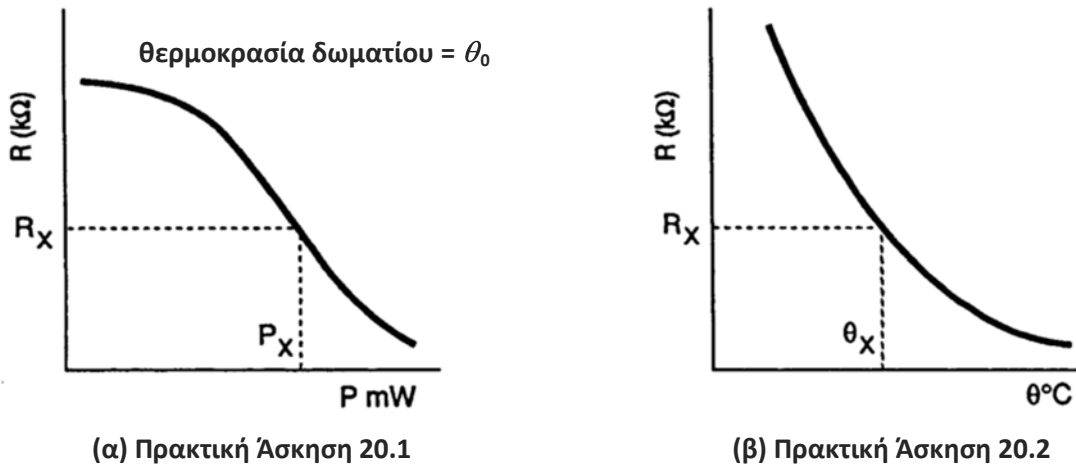
Η 'σταθερά απωλειών' (dissipation constant) είναι μια παράμετρος που μας βοηθάει να λύσουμε αυτήν την αντίθεση καθορίζοντας πόση ισχύς μπορεί να καταναλωθεί (απώλεια) από το ρεύμα στο θερμίστορ χωρίς η αυτοθέρμανση να ξεπεράσει το επιτρεπόμενο όριο. Ορίζεται σαν:

Σταθερά απωλειών = mW καταναλωνόμενης ισχύος που θα προκαλέσει αύξηση θερμοκρασίας 1°C .

Προφανώς, η τιμή της σταθεράς θα εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της θερμικής αγωγιμότητας του μέσου στο οποίο τοποθετείται το θερμίστορ διότι, αν είναι μεγάλη, θα χρειάζεται περισσότερη ισχύς για να ανεβάσει τη θερμοκρασία κατά 1°C παρά αν είναι μικρή. Αυτός είναι ο λόγος που βρήκατε διαφορετικές καμπύλες στην Ερώτηση 20.4 της Πρακτικής Άσκησης 20.1.

Εκείνες οι καμπύλες έδειχναν πως μεταβάλλεται η αντίσταση με την απώλεια ισχύος στο θερμίστορ ενώ αυτή η καμπύλη, που βρήκατε εδώ στην Πρακτική Άσκηση 20.2 έδειξε πως μεταβάλλεται η αντίσταση του θερμίστορ με τη θερμοκρασία. Μπορείτε, επομένως, να συνδυάσετε αυτές τις δύο γραφικές παραστάσεις για να δείξετε πως επηρεάζεται η θερμοκρασία του θερμίστορ από την κατανάλωση ισχύος σε αυτό (απώλειες ισχύος). Η Εικ. 5.20.9 δείχνει τυπικές γραφικές παραστάσεις.

Παίρνοντας έναν αριθμό τιμών της R_x σε αυθαίρετα διαστήματα μπορείτε να βρείτε αντίστοιχες τιμές των P_x και θ_x . Η θ_x είναι η πραγματική θερμοκρασία του θερμίστορ όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι θ_0 και καταναλώνει μια ισχύ P_x . Έτσι, η P_x προκαλεί μια αύξηση της θερμοκρασίας του θερμίστορ πάνω από την θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά $(\theta_x - \theta_0)^\circ\text{C}$.

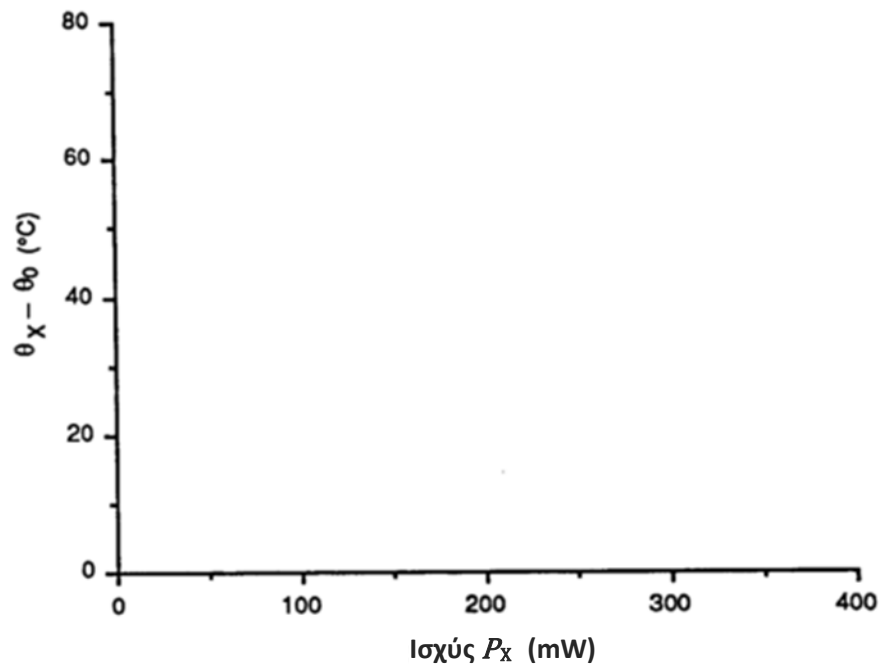


Εικ. 5.20.9

Πρόβλημα 20.3 Βρείτε την P_x , θ_x και $(\theta_x - \theta_0)$ για περίπου οκτώ τιμές της αντίστασης R_x σημειώνοντας την P_x σε κάθε περίπτωση σε κάθε ένα από τα δύο διαγράμματα (στον αέρα και στο νερό) από την Πρακτική Άσκηση 20.1. Μετά, σχεδιάστε την P_x (αέρα) και την P_x (νερό) ως προς $(\theta_x - \theta_0)$, όπως δείχνεται στην Εικ 5.20.10 χρησιμοποιώντας γραμμικούς (όχι λογαριθμικούς) άξονες.

Θα πρέπει να βρείτε ότι οι καμπύλες είναι πολύ κοντά στις ευθείες γραμμές που περνάνε από το κέντρο, επιτρέποντας λογικά πειραματικά σφάλματα.

Πρόβλημα 20.4 Από τις γραφικές σας παραστάσεις της Εικ. 5.20.10 βγάλτε τις κλίσεις σε $\text{mW}/^\circ\text{C}$ στον αέρα και το νερό. Οι κλίσεις αυτές είναι οι σταθερές απωλειών στις δύο συνθήκες.



Εικ. 5.20.10