

# ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

## ΣΑΕ ΙΙ

### Εργαστηριακή Άσκηση 1

#### Αισθητήρια θερμοκρασίας Εισαγωγή

Η μέτρηση της θερμοκρασίας είναι μια σημαντική ασχολία για τους μηχανικούς παραγωγής γιατί είναι, συνήθως, η πιο συχνά μετρούμενη παράμετρος. Σχεδόν όλες οι παραγωγικές διαδικασίες έχουν σχέση με την παραγωγή ή την κατανάλωση θερμικής ενέργειας και για πολλά συστήματα αυτομάτου ελέγχου η θερμοκρασία είναι μια ελεγχόμενη μεταβλητή.

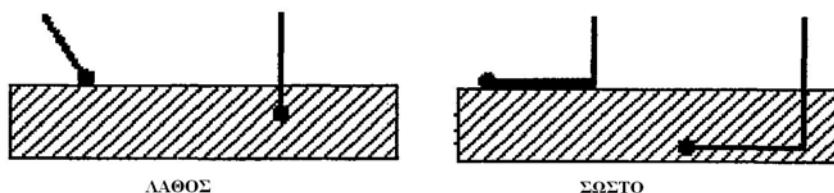
Οι υπό μέτρηση θερμοκρασίες συνήθως βρίσκονται στην περιοχή  $-200^{\circ}\text{C}$  έως  $+2000^{\circ}\text{C}$ . Για την μέτρηση χρησιμοποιούνται διάφορα φυσικά φαινόμενα όπως η αλλαγή του μήκους ενός στερεού ή η αλλαγή του όγκου ενός υγρού ή ενός αερίου, η παραγωγή τάσης από δύο καλώδια διαφορετικών μετάλλων ή η αλλαγή της ηλεκτρικής αντίστασης. Τα δύο τελευταία φαινόμενα χρησιμοποιούνται στα θερμομέτρα αντίστασης και στα θερμοζεύγη.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι μέτρησης της θερμοκρασίας, εκείνη που απαιτεί και εκείνη που δεν χρειάζεται θερμική επαφή. Στην δεύτερη κατηγορία μετριέται η εκπεμπόμενη θερμοκρασία ενώ στην πρώτη θα πρέπει το θερμομέτρο να έχει πολύ καλή θερμική επαφή με το υλικό την θερμοκρασία του οποίου πρέπει να μετρήσει. Υπάρχει ένα μειονέκτημα ότι το ίδιο το θερμομέτρο είναι μια παρασιτική πηγή θερμότητας και θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε να ελαχιστοποιείται αυτή η επίδραση.

Μια ακριβής μέτρηση θερμοκρασίας είναι δυνατή κάτω από τις παρακάτω συνθήκες: Καλή θερμική επαφή μεταξύ του μετατροπέα (αισθητήρας) και του μέσου. Στην περίπτωση στερεών μέσων συνιστάται η χρήση θερμοαγωγίμου γράσου.

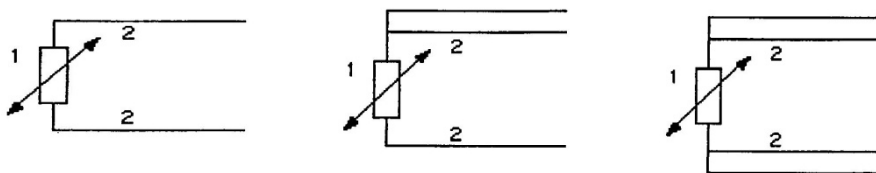
Ελάχιστη διαρροή θερμοκρασίας μεταξύ του αισθητήρα και του περιβάλλοντος. Αυτό μπορεί να γίνει με κατάλληλη θερμική μόνωση στην σωλήνα επικάλυψης του αισθητήρα.

Αποφυγή παρεμβολής της θερμικής επιφάνειας με την θερμική επαφή του αισθητήρα. Για επιφανειακές μετρήσεις ή για μετρήσεις θερμοκρασίας στερεών σωμάτων ο αισθητήρας θα πρέπει να εφάπτεται για περίπου 100 με 200 mm και κατόπιν να αποχωρίζεται κάθετα από το υπό εξέταση μέσο όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

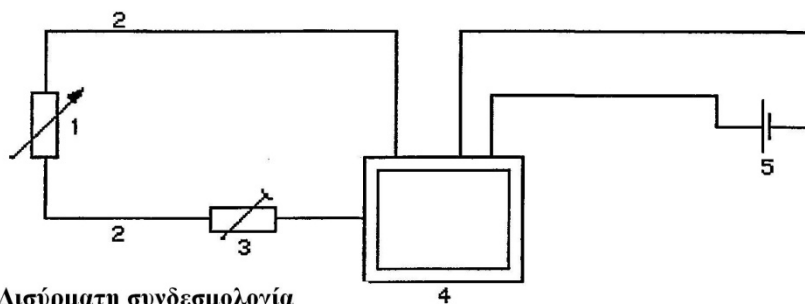


## Μέτρηση με θερμόμετρο αντίστασης

Ένα θερμόμετρο αντίστασης συνδέεται σε μια πηγή τάσης επομένως η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται μέσω της μέτρησης της τάσης ή της μέτρησης του ρεύματος. Θα μπορούσε να γίνεται μέτρηση της αντίστασης με ένα κύκλωμα γέφυρας. Θα πρέπει να θυμάται κανείς ότι κατά την μέτρηση της αντίστασης συμπεριλαμβάνεται και η αντίσταση των καλωδίων σύνδεσης δηλαδή μπορεί να υπάρχει σφάλμα λόγω της αντίστασης των καλωδίων. Για να ελαχιστοποιηθεί αυτό το σφάλμα έχουν αναπτυχθεί διάφορα κυκλώματα που είναι γνωστά ως δισύρματη, τρισύρματη και τετρασύρματη μέθοδος.



Το απλούστερο κύκλωμα μέτρησης στα θερμόμετρα αντίστασης είναι το κύκλωμα δύο καλωδίων. Η τάση τροφοδοσίας είναι τουλάχιστον 6 Volts ώστε το ρεύμα να παραμένει σε επιτρεπτά όρια. Στο κύκλωμα αυτό υπάρχουν διάφορες αιτίες σφαλμάτων, ιδιαίτερα λόγω της θερμικής επίδρασης των καλωδίων συνδεσμολογίας.



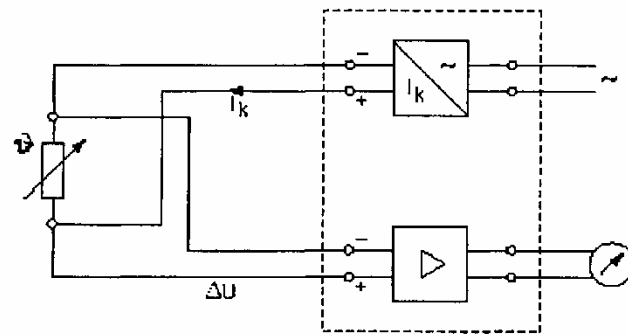
Δισύρματη συνδεσμολογία

- 1 θερμόμετρο αντίστασης
- 2 καλώδια σύνδεσης
- 3 αντίσταση ρύθμισης
- 4 πηγή τάσης

Αυτά τα σφάλματα μπορούν να μειωθούν δραστικά με την χρήση τρισύρματης συνδεσμολογίας ιδιαίτερα στην μέτρηση με κύκλωμα γέφυρας. Σε αυτή την διάταξη οι αλλαγές στα καλώδια συνδεσμολογίας επηρεάζουν ένα τρίτο καλώδιο με ακριβώς την ίδια ποσότητα και έτσι αντισταθμίζεται το σφάλμα. Έναντι της δισύρματης γραμμής το σφάλμα της τρισύρματης είναι μόλις το 10%. Γενικά όταν το σύστημα τεθεί σε λειτουργία η αντίσταση των καλωδίων θα πρέπει να ισοσταθμιστεί σε μια ορισμένη ονομαστική τιμή, συνήθως 10 Ω.

Η πιο ακριβής μέθοδος είναι αυτή της τετρασύρματης συνδεσμολογίας διότι η μέτρηση είναι ανεξάρτητη από όλες τις αντιστάσεις των καλωδίων. Δύο καλώδια χρησιμοποιούνται για την μεταφορά του σταθερού ρεύματος από την πηγή στον αισθητήρα και δύο για την μεταφορά της πτώσης τάσης από τον αισθητήρα στο

όργανο μέτρησης που δεν χρειάζεται πρόσθετο ρεύμα οπότε η επίδραση των καλωδίων εξαφανίζεται από την μέτρηση.



Four-wire circuit  
 $I_k$  – Constant current  
 $U$  – Voltage drop

Τα θερμίστορ χρησιμοποιούνται στην μέτρηση της θερμοκρασίας διότι η αλλαγή της αντίστασης των είναι συνάρτηση της αλλαγής της θερμοκρασίας των. Εάν η αντίσταση αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας τότε ονομάζονται PTC (positive temperature coefficient) και αν ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας τότε ονομάζονται NTC (negative temperature coefficient). Τα PTC είναι αντιστάσεις από κάποιο μέταλλο ενώ τα NTC είναι ημιαγωγά υλικά. Το μειονέκτημα των NTC είναι η μεγάλη κατασκευαστική ανοχή και η μη γραμμική συμπεριφορά της χαρακτηριστικής καμπύλης των. Αντισταθμίζεται από προσεκτική επιλογή του αισθητήρα NTC και από ειδικά κυκλώματα αντιστάσεων τα οποία βελτιώνουν την γραμμικότητα των.

### Μετρήσεις θερμοκρασίας με αισθητήρα τύπου NTC

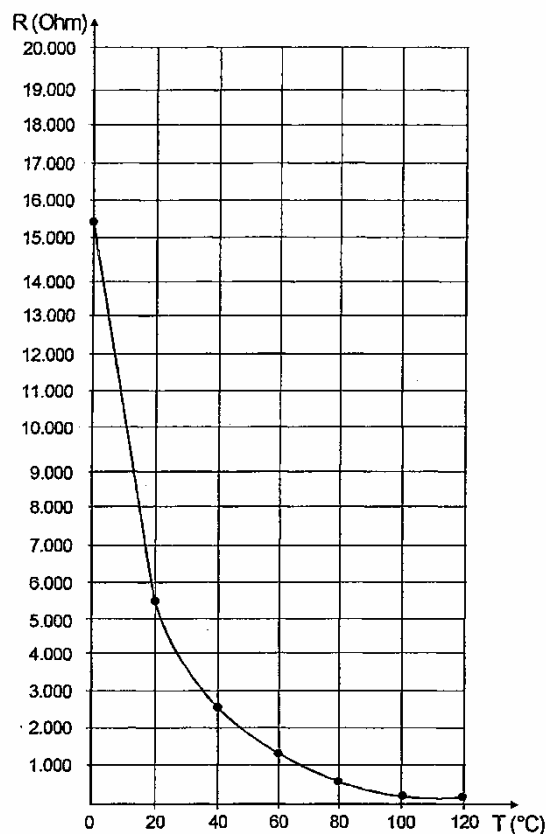
Τα θερμίστορ χρησιμοποιούνται σε μετρήσεις θερμοκρασίας αφού η αλλαγή της αντίστασης των είναι συνάρτηση της αλλαγής της θερμοκρασίας. Εάν η αντίσταση αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας τότε το θερμίστορ είναι τύπου PTC (Positive Temperature Coefficient ή θετικού συντελεστή θερμοκρασίας). Αντιθέτως στους ημιαγωγούς η αντίσταση ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας άρα έχουν αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας και είναι γνωστά σαν αισθητήρια τύπου NTC. Τα NTC είναι ημιαγωγοί από εμπλουτισμένα μίγματα οξειδίων. Είναι πολύ πιο ευαίσθητα από τα μεταλλικά θερμόμετρα αντίστασης.

Τα μειονεκτήματα των NTC είναι οι μεγάλες ανοχές κατά την κατασκευή των και η μη γραμμική απόκριση των χαρακτηριστικών μεταβολής της αντίστασης. Τα μειονεκτήματα αυτά μπορούν να αντισταθμιστούν με προσεκτική επιλογή του τύπου του NTC και με την χρήση ειδικών κυκλωμάτων με αντιστάσεις τα οποία βελτιώνουν την γραμμικότητα των χαρακτηριστικών απόκρισης.

Table 1: Primary values of an NTC sensor (characteristic)

Test temperature in °C	0	20	25	40	60	80	100	120
Primary value in ohm	16325	6245	5000	2663	1244	627.5	339	194.7

Ενδεικτικές τιμές αισθητήρα NTC (χαρακτηριστική καμπύλη)



Characteristic of an NTC sensor

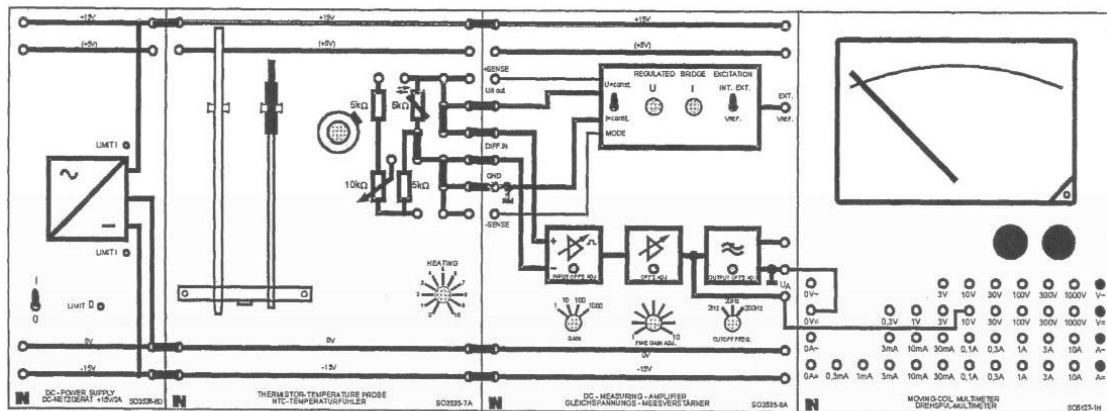
## Σκοποί της άσκησης

1. Εξοικείωση με τις τεχνικές του κυκλώματος
2. βαθμονόμηση ενός ενισχυτή μέτρησης (DC)
3. Μέτρηση θερμοκρασίας με αισθητήρα NTC
4. Παρατήρηση ότι με τον NTC το σήμα εξόδου ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας

## Προσοχή:

- Κατά την διάρκεια της άσκησης το ρεύμα του τροφοδοτικού πρέπει να είναι σταθερό
- Για μια ακριβή μέτρηση της θερμοκρασίας με κοινό θερμόμετρο είναι απαραίτητο να γίνει μια διόρθωση τιμών γνωστή σαν stem-correction. Αυτή η διόρθωση έχει σχέση με την απόκλιση της μέτρησης που προκαλείται από την ψύξη του υγρού του θερμομέτρου στο τμήμα του θερμομέτρου που εξέχει.
- Κατά την διάρκεια της άσκησης η επιφάνεια μέτρησης μπορεί να γίνει πολύ ζεστή.

1. Συναρμολογήστε το κύκλωμα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 1.10.



Σχήμα 1.10

Τοποθετήστε αρχικά στον ενισχυτή μέτρησης τις επιλογές όπως παρακάτω:

Διακόπτης MODE στο I=const.

Τάση αναφοράς  $V_{ref}$  στο INT

Ποτενσιόμετρο τάσης U: σχεδόν τέρμα δεξιά

2. Αφαιρέστε το βραχυκύκλωμα στη θέση  $U / I - out$  στον ενισχυτή μέτρησης και στη θέση του συνδέστε ένα πολύμετρο.
3. Ανοίξτε το τροφοδοτικό.
4. Με το ποτενσιόμετρο ρεύματος I ρυθμίστε το ρεύμα στο 1mA (αν δεν ρυθμίζει στο 1ma αλλάζτε ελαφρά την θέση του ποτενσιόμετρου τάσης).

Ο λόγος της ρύθμισης του ρεύματος είναι ότι πρέπει να κρατηθεί η θέρμανση του αισθητήρα από την ροή ρεύματος μέσα από αυτόν στο ελάχιστο δυνατό. Επίσης υπάρχει το πλεονέκτημα ότι μια τάση του 1mV αντιστοιχεί σε αντίσταση 1 Ω.

5. Συνδέστε και τις δύο εισόδους του ενισχυτή  $DIFF.IN$  στην γείωση.
6. Ρυθμίστε τον διακόπτη κέρδους (GAIN) στο 1.
7. Συνδέστε ένα πολύμετρο στην έξοδο του ενισχυτή και ρυθμίστε την τάση εξόδου  $U_A$  στο 0Volt με το ποτενσιόμετρο  $OFF.ADJ$ .
8. Ρυθμίστε τον διακόπτη κέρδους στο 1000.
9. Ρυθμίστε το ποτενσιόμετρο  $INP.OFFS.ADJ$  ώστε η τάση εξόδου να είναι 0Volt.
10. Ελέγξτε εάν εξακολουθεί να είναι η έξοδος 0Volt με τον διακόπτη του κέρδους στο 1 διαφορετικά επαναλάβετε τα βήματα 2, 3.

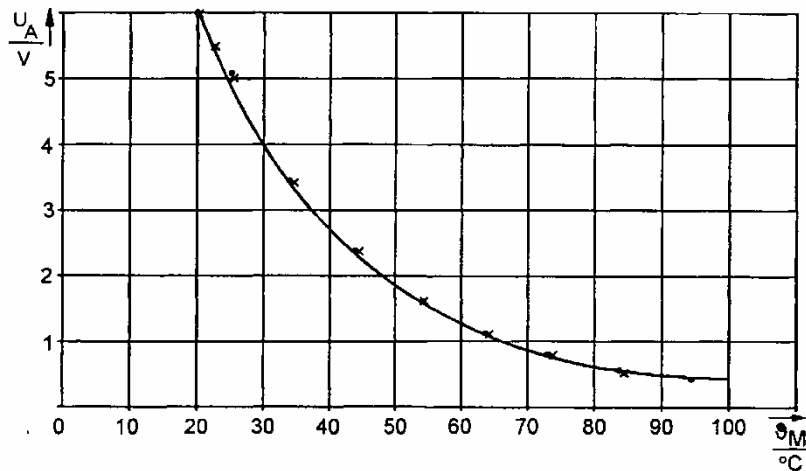
Βεβαιωθείτε ότι ο διακόπτης κέρδους είναι στο 1 πριν το επόμενο βήμα.

Table 2: Heating.

Heating control position	Measured temperature Glass thermometer $\vartheta_M$ [°C]	Output voltage $U_A$ [V]
0	0	6.2
3	25	5.1
4	34.2	3.5
5	44	2.4
6	54	1.65
7	63.5	1.2
8	73.7	0.9
9	83.2	0.65
10	93.7	0.5

Table 3: Cooling.

Heating control position	Measured temperature Glass thermometer $\vartheta_M$ [°C]	Output voltage $U_A$ [V]
9	84	0.6
8	74	0.85
7	64	1.2
6	54.2	1.65
5	44.5	2.4
4	35	3.5
3	26	5
2	23	5.6
1	20.4	6.2



Graph: Output voltage,  $U_A$  as a function of measured temperature [ $U_A = f(\vartheta_M)$ ].

- $\equiv$  Heating
- x  $\equiv$  Cooling

11. Τοποθετήστε τον αισθητήρα NTC και το θερμομέτρο.
12. Ρυθμίστε τον διακόπτη θέρμανσης σύμφωνα με τον πίνακα 2 και γράψτε τις τιμές της θερμοκρασίας και τις τάσεις  $U_A$ . Σε κάθε θέση θέρμανσης (από

θέση 1 έως θέση 9). Χρειάζεται λίγος χρόνος για να σταθεροποιηθούν οι ενδείξεις, σε κάθε θέση, πριν γράψετε τις μετρήσεις.

13. Επαναλάβετε την διαδικασία μετρήσεων κατά αντίστροφη φορά επιτρέποντας λίγο χρόνο για να πέσει η θερμοκρασία και γράψτε τις μετρήσεις σας στον πίνακα 3.

14. Σχεδιάστε την καμπύλη της τάσεως εξόδου σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας.

Οι μετρήσεις που κάνατε μπορεί να διαφέρουν από αυτές που υπάρχουν στους πίνακες 2, 3 και εξαρτώνται από την ανοχή του στοιχείου θέρμανσης, την θέση του NTC, την θέση του θερμομέτρου και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Συγκρίνετε τις τιμές που δίνει ο κατασκευαστής (πίνακας 1) με αυτές που γράψατε.

Υπολογίστε τις αποκλίσεις.

Εάν το ρεύμα τροφοδοσίας είναι 1mA τότε το 1mV αντιστοιχεί σε αντίσταση 1Ω και το 1 Volt σε 1000 Ω.

Γιατί υπάρχουν διαφορές μεταξύ αυτών που μετρήσατε και αυτών που δίνει ο κατασκευαστής;