

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Στην Εργασία 19 μελετάται η συμπεριφορά μιας επαφής δύο μετάλλων όταν εκτίθεται σε μεταβολή θερμοκρασίας. Συζητιούνται τα φαινόμενα Peltier και Thomson και παρουσιάζονται οι εφαρμογές ενός θερμοζεύγους.

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Περιγραφή	Ποσότητα
Μονάδα οργάνων TK2941A	1
Ράβδος θερμότητας	1
Θερμόμετρο	1
Δοχείο βαθμονόμησης θερμοκρασίας	1
Θερμοζεύγος και αγωγοί αντιστάθμισης. Μαύρη θήκη.	1
Τροφοδοτικό, $\pm 15V$ dc	1
Ψηφιακό πολύμετρο (DMM)	1
Μικρό δοχείο με παγάκια	1

ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

19.1 Ηλεκτρεγερτική Δύναμη Θερμοζεύγους

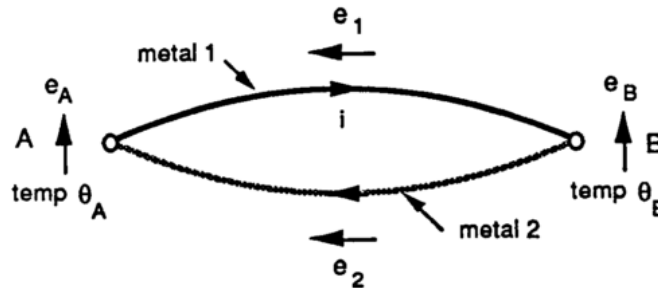
19.2 Ψυχρή Επαφή με Ελεγχόμενη Θερμοκρασία

ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

- Να αναγνωρίζετε τους όρους 'φαινόμενο Thomson' και 'φαινόμενο Peltier'.
- Να κατανοήσετε την αρχή λειτουργίας ενός θερμοζεύγους.
- Να καταλάβετε την ανάγκη να χρησιμοποιούνται αγωγοί αντιστάθμισης θερμοκρασίας με τα θερμοζεύγη.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αν ενώσουμε δύο σύρματα από διαφορετικά μέταλλα (metal 1 και metal 2) σε βρόχο, όπως στην Εικ. 5.19.1 και οι δύο επαφές A και B κρατηθούν σε θερμοκρασίες (temperatures) θ_A και θ_B , αντίστοιχα, τότε γύρω στο βρόχο θα κυλάει ένα ρεύμα.



Εικ. 5.19.1

Το ρεύμα οφείλεται σε μικρές ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις (electromotive forces - emf) οι οποίες δημιουργούνται από δύο αρκετά διαφορετικά φαινόμενα τα οποία προστίθενται αλγεβρικά.

Φαινόμενο Peltier

Σε κάθε μια από τις δύο επαφές αναπτύσσεται μια ΗΕΔ, συμβολίζονται σαν e_A και e_B στην Εικ. 5.19.1. Οι ηλεκτρεγερτικές αυτές δυνάμεις εξαρτώνται από τις ‘απόλυτες θερμοκρασίες’ των επαφών. Αν η επαφή A είναι θερμότερη από τη B, τότε θα υπάρχει μια συνολική ΗΕΔ, e_p , λόγω φαινομένου Peltier

$$e_A - e_B = P(\theta_A - \theta_B)$$

όπου, P είναι ο Συντελεστής Peltier (Peltier Coefficient).

Για την ακρίβεια, η ΗΕΔ λόγω φαινομένου Peltier, e_p , είναι προσεγγιστικά μόνο ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας, αλλά, η απόκλιση από τη γραμμικότητα είναι πολύ μικρή για συνηθισμένες μετρήσεις θερμοκρασίας.

Φαινόμενο Thomson

Κάθε σύρμα του βρόχου δημιουργεί μια μικρή ΗΕΔ, e_1 και e_2 στην Εικ. 5.19.1, απλά, σαν αποτέλεσμα της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των άκρων τους. Η ηλεκτρεγερτική δύναμη είναι διαφορετική για διαφορετικά μέταλλα.

Αν T_1 είναι ο συντελεστής Thomson (Thomson coefficient) για το μέταλλο 1

και T_2 είναι ο συντελεστής Thomson για το μέταλλο 2, τότε

$$e_1 = T_1(\theta_A - \theta_B)$$

$$e_2 = T_2(\theta_A - \theta_B)$$

Έτσι, η συνολική ΗΕΔ, λόγω φαινομένου Thomson, είναι:

$$e_2 - e_1 = (T_2 - T_1)(\theta_A - \theta_B)$$

Βάζοντας μαζί τα δύο αυτά φαινόμενα, παίρνουμε μια συνολική ΗΕΔ, E, γύρω στον βρόχο:

$$(e_A - e_B) + (e_2 - e_1) = E = (P + T_2 - T_1)(\theta_A - \theta_B)$$

Στην πράξη, οι τιμές των συντελεστών T_1 και T_2 είναι πολύ μικρότερες από τις τιμές του συντελεστή P, αλλά, για ένα ορισμένο ζευγάρι μετάλλων, μπορούν όλοι να ενσωματωθούν μέσα σε μια απλή σταθερά την οποία ας ονομάσουμε K.

Έτσι:

$$E = K(\theta_A - \theta_B)$$

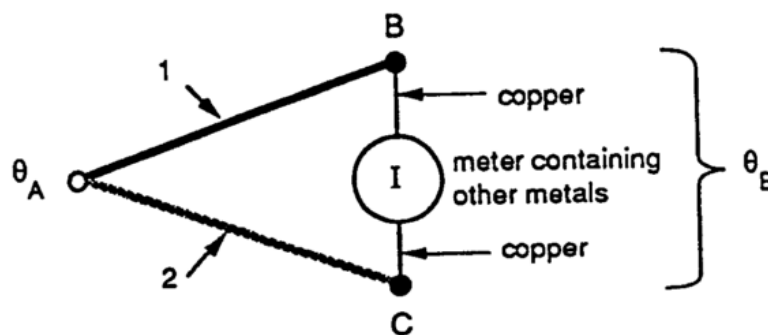
Γυρνώντας πίσω στην Εικ. 5.19.1, αν η ολική αντίσταση του βρόχου είναι R, τότε από το νόμο του Kirchhoff για έναν κλειστό βρόχο, $i = \frac{E}{R}$, έχουμε

$$i = \frac{K(\theta_A - \theta_B)}{R}$$

Τώρα, μπορούμε να δούμε ότι αν μια από τις δύο επαφές, ας πούμε η B, κρατιέται σε μια ορισμένη γνωστή θερμοκρασία, η οποία αποκαλείται ψυχρή επαφή (cold junction) ή επαφή αναφοράς (reference junction), τότε, μετρώντας το ρεύμα i, μπορούμε να προσδιορίσουμε την άγνωστη θερμοκρασία της άλλης επαφής, της θερμής επαφής (hot junction), υπό την προϋπόθεση πάντα ότι γνωρίζουμε τις τιμές των K και R.

Ενδιάμεσα Μέταλλα

Για να μετρήσουμε το ρεύμα, κάποιο είδος οργάνου μέτρησης πρέπει να παρεμβληθεί στο βρόχο, όπως στην Εικ. 5.19.2. Το όργανο αυτό πιθανότατα περιέχει διάφορα μέταλλα, που χρησιμοποιούνται στις εσωτερικές του συνδέσεις. Πως επηρεάζουν την αναπτυσσόμενη ΗΕΔ αυτές οι επιπρόσθετες επαφές;



Εικ. 5.19.2

Ο Νόμος των Ενδιάμεσων Μετάλλων (Law of Intermediate Metals) λέει ότι μπορεί να παρεμβληθεί οποιοσδήποτε αριθμός επαφών σε ένα κύκλωμα θερμοζεύγους αρκεί να είναι όλες στην ίδια θερμοκρασία. Τότε, δεν επηρεάζεται η ακρίβεια μέτρησης της θερμοκρασίας.

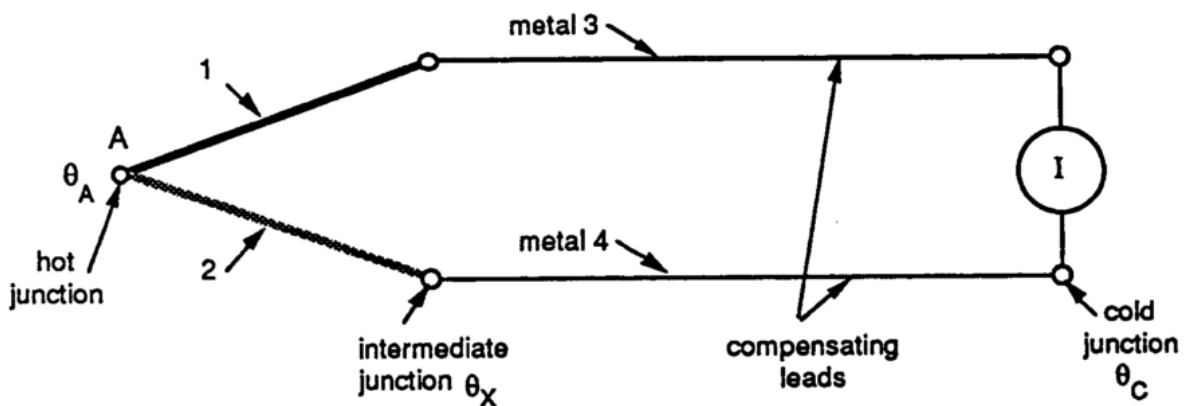
Συνεπώς, στην Εικ. 5.19.2, η τελική ΗΕΔ δεν αλλάζει με την παρεμβολή του οργάνου αρκεί τα σημεία B και C και όλες οι άλλες επαφές μέσα στο όργανο να είναι στην ίδια θερμοκρασία (ψυχρή επαφή).

Αγωγοί Αντιστάθμισης

Αν και η διάταξη της Εικ. 5.19.2 θα έδινε σωστά αποτελέσματα, επιβάλλει, ωστόσο, να προεκτείνουμε τα δύο μέταλλα του θερμοζεύγους (1 και 2) ως το όργανο μέτρησης του ρεύματος (I), το οποίο ιδανικά πρέπει να βρίσκεται αρκετά μακριά από τη θερμή επαφή ώστε να μην επηρεάζεται από τη θερμοκρασία της.

Αρκετές φορές, αυτό δεν είναι βολικό επειδή τα μέταλλα του ζεύγους δεν είναι φυσικά ή ηλεκτρικά κατάλληλα για να φτιάξουμε μακριά καλώδια, π.χ., μπορεί να είναι εύθραυστα ή μπορεί να έχουν υψηλή αντίσταση ή αντίσταση πολύ ευαίσθητη στη θερμοκρασία. Μπορεί, επίσης, τα μέταλλα του ζεύγους να είναι πολύ ακριβά, όπως, για παράδειγμα, η πλατίνα ή το ρόδιο.

Σ'αυτές τις περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται ειδικά καλώδια αντιστάθμισης τα οποία είναι φτιαγμένα από μέταλλα σχεδιασμένα κατάλληλα για να εξουδετερώνουν τα σφάλματα που οφείλονται στις επαφές που βρίσκονται στις ενδιάμεσες θερμοκρασίες. Αυτό δείχνει η Εικ. 5.19.3.



Εικ. 5.19.3

Τα μέταλλα 1 και 2 είναι τα δύο μέταλλα του θερμοζεύγους που σχηματίζουν την θερμή επαφή (hot junction) σε θερμοκρασία θ_A . Τα μέταλλα 3 και 4 είναι οι δύο αγωγοί αντιστάθμισης που συνδέουν τις δύο άλλες άκρες του θερμοζεύγους, που σχηματίζουν μια ενδιάμεση επαφή (intermediate junction) σε θερμοκρασία θ_X , με τους ακροδέκτες του οργάνου μέτρησης, I , οι οποίοι ακροδέκτες, όπως και στην Εικ. 5.19.3, αποτελούν την ψυχρή επαφή (cold junction), σε θερμοκρασία θ_C . Αν η ΗΕΔ, που αναπτύσσεται στην επαφή 1-3, για θερμοκρασία θ_X , είναι ίση και αντίθετη προς την ΗΕΔ, που αναπτύσσεται στην επαφή 2-4, τότε, η παρεμβολή των ενδιάμεσων αγωγών δεν θα έχει κανένα αποτέλεσμα στη συνολική ΗΕΔ και, ουσιαστικά, η ψυχρή επαφή θα είναι αυτή στο όργανο μέτρησης.

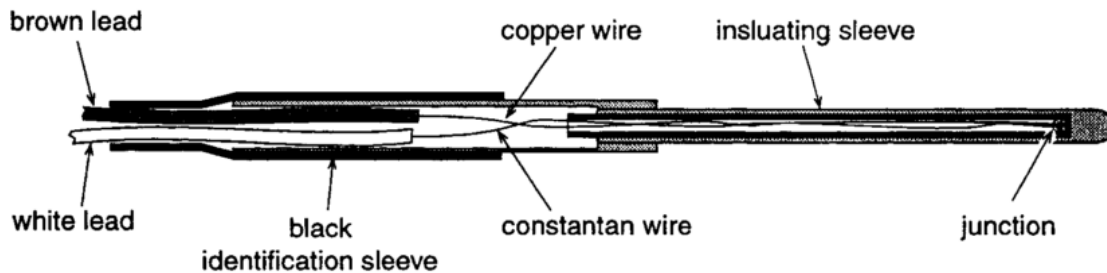
ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 19.1

Ηλεκτρεγερτική Δύναμη Θερμοζεύγους

Ανάψτε τη ράβδο θερμότητας και αφήστε την να φτάσει σε μια σταθερή θερμοκρασία. Αυτό θα πάρει περίπου 45 λεπτά.

Παρατηρήστε το θερμοζεύγος. Είναι ένας μετατροπέας θερμότητας σε ΗΕΔ, δηλαδή, τάση. Δεν μπορείτε να δείτε την πραγματική θερμή επαφή (junction) διότι είναι κλεισμένη σε μια προστατευτική μονωτική θήκη (insulating sleeve), αλλά, σχηματίζεται από σύρμα χαλκού (copper wire) και σύρμα κονσταντάνης (constantan wire).

Ο εύκαμπτος αγωγός, που βγαίνει από το θερμοζεύγος, συνδέεται με τα άκρα των δύο συρμάτων του ζεύγους μέσα σε μια λαστιχένια θήκη που έχει ενδεικτικά μαύρο χρώμα (black identification sleeve). Η Εικ. 5.19.4 δείχνει πως είναι συναρμολογημένο εσωτερικά το θερμοζεύγος.



Εικ. 5.19.4

Το λευκό καλώδιο (white lead) και το καφέ καλώδιο (brown lead), που βγαίνουν, έχουν χρώματα σύμφωνα με τους Πρότυπους Βρετανικούς Χρωματικούς Κώδικες (British Standard Colour Codes, BS4937/1993) και δείχνουν ότι είναι, αντίστοιχα:

- +Ve: Καφέ (Brown): Χαλκός (Copper)
- Ve: Λευκό (White): Κονσταντάνη (Constantan¹)

Με άλλα λόγια, αυτοί οι δύο αγωγοί σύνδεσης δεν είναι πραγματικά αγωγοί αντιστάθμισης αλλά, επεκτάσεις των ίδιων μεταλλικών αγωγών του ζεύγους αλλά φτιαγμένοι σε μια πιο βολική φυσική μορφή.

Ερώτηση 19.1 Με ποιά μέταλλα του θερμοζεύγους συνδέονται μέσα στη θήκη ο καφέ και ο λευκός αγωγός; Η Εικ. 5.19.2 σας δίνει μια ιδέα γι'αυτό.

Ερώτηση 19.2 Οι επαφές μεταξύ των δύο αγωγών του θερμοζεύγους και των αγωγών επέκτασης έχουν κολληθεί με κόλληση κασσίτερου/μολύβδου (tin/lead) και θα ζεσταθούν σε κάποιο βαθμό όταν θερμάνουμε το ζεύγος. Θα δημιουργήσει αυτό σφάλματα;

Πως Μετράμε την ΗΕΔ του Θερμοζεύγους

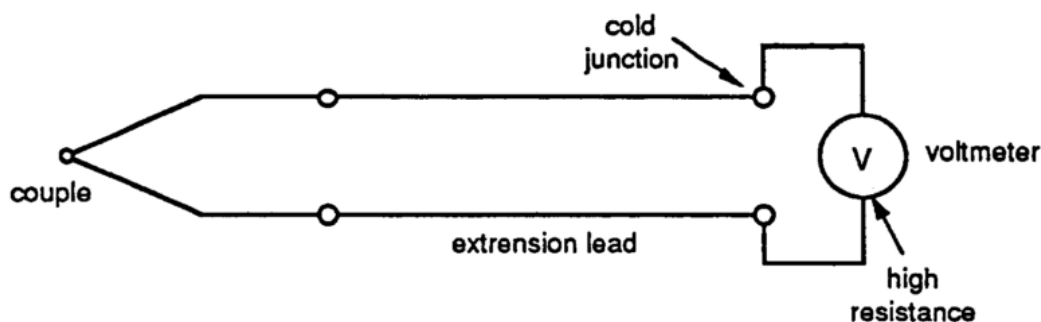
Είδαμε, παραπάνω, ότι το ρεύμα σε ένα βρόχο θερμοζεύγους δίνεται από τη σχέση:

$$i = \frac{K(\theta_A - \theta_B)}{R}$$

- όπου θ_x είναι η άγνωστη θερμοκρασία
- θ_c είναι η θερμοκρασία της ψυχρής επαφής
- R είναι η ολική αντίσταση του κυκλώματος και
- K είναι η σταθερά του θερμοζεύγους

¹ Κονσταντάνη (Constantan): είναι κράμα χαλκού (copper)-νικελίου (nickel)

Αν το όργανο μέτρησης έχει πολύ μεγάλη αντίσταση εισόδου (high input resistance) και είναι ευαίσθητο στη θερμοκρασία, δηλαδή, είναι βολτόμετρο (voltmeter), τότε η αντίσταση του ζεύγους (junction) και των αγωγών επέκτασής του (extension leads) θα είναι αμελητέα και η ΗΕΔ, που θα μετρείται από το όργανο, θα είναι η 'ΗΕΔ ανοικτού κυκλώματος' του ζεύγους. Αυτό δείχνει η Εικ. 5.19.5. Η ψυχρή επαφή (cold junction) εξακολουθεί να είναι στους ακροδέκτες του οργάνου, οι οποίες θα πρέπει αμφότερες να βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία, όπως πριν.



Εικ. 5.19.5

Σε αυτήν την εργασία, θα χρησιμοποιήσουμε τη Μονάδα Οργάνων TK2941A για να ενισχύσουμε την ΗΕΔ του ζεύγους σε κάποια τιμή αρκετή για να οδηγήσει το βολτόμετρο.

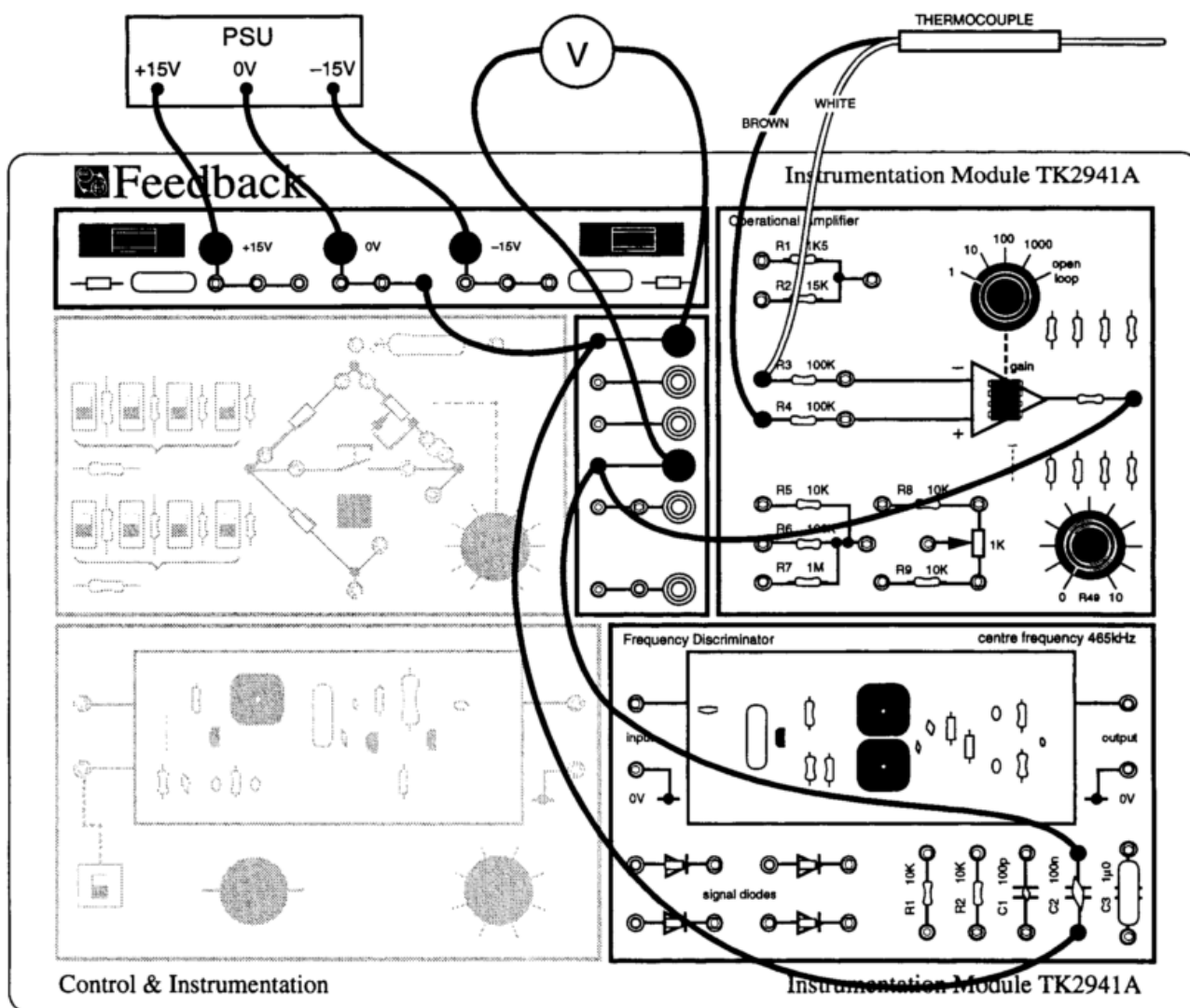
Η αντίσταση του κυκλώματος του θερμοζεύγους είναι περίπου 3Ω (μπορείτε να το ελέγξετε μόνοι σας αυτό με ένα ωμόμετρο) και η αντίσταση εισόδου του ενισχυτή, η οποία μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή της ενίσχυσης (gain), είναι τουλάχιστον $40k\Omega$, επομένως, ουσιαστικά, όλη η ΗΕΔ του ζεύγους εμφανίζεται στους ακροδέκτες εισόδου του ενισχυτή.

Συνδέστε το ζεύγος στην είσοδο του ενισχυτή, όπως δείχνει η Εικ. 5.19.6 και, επίσης, συνδέστε ένα βολτόμετρο (με κλίμακα 0-15V) μεταξύ της εξόδου του ενισχυτή και των 0V. Ανοίξτε το τροφοδοτικό και φέρτε το θερμοζεύγος κοντά στην είσοδο του ενισχυτή ώστε όλα τα σημεία να βρίσκονται στην ίδια περίπου θερμοκρασία.

Για να αποφύγετε πιθανές παρεμβολές υψηλών συχνωμάτων λόγω της εγγύτητας του αγωγού του θερμοζεύγους στον ταλαντωτή (oscillator) του TK2941A, συνδέστε την έξοδο του τελεστικού ενισχυτή με τα 0V μέσω ενός πυκνωτή 100 nF , όπως δείχνει η Εικ. 5.19.6.

Χρησιμοποιήστε το θερμόμετρο για να μετρήσετε τη θερμοκρασία του αέρα κοντά στον ενισχυτή. Αυτή θα είναι η θερμοκρασία της ψυχρής επαφής και θα πρέπει, κανονικά, να είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Αν υποπτεύεστε ότι αυτή η θερμοκρασία μπορεί να μεταβάλλεται και διαθέτετε δύο θερμόμετρα, χρησιμοποιήστε το δεύτερο θερμόμετρο για να σημειώσετε τη θερμοκρασία του αέρα εκεί πριν από κάθε μέτρηση.

Τώρα, αυξήστε την ενίσχυση (gain) του Τελεστικού Ενισχυτή στο 1000, αποσυνδέστε το θερμοζεύγος, σημειώστε την ένδειξη του οργάνου σε ένα δικό σας αντίγραφο του πίνακα της Εικ. 5.19.7 και τοποθετήστε το, μαζί με ένα θερμόμετρο (σε θήκη, για να έχουμε το σωστό βάθος βύθισης, βλ. την Εργασία 18) στο μικρό δοχείο νερού και πιάστε το πάνω στη ράβδο θερμότητας στη Σχισμή 20.



Εικ. 5.19.6

Όταν η θερμοκρασία σταθεροποιηθεί (μετά από 15 λεπτά, περίπου), σημειώστε την ένδειξη του θερμόμετρου και την ένδειξη του οργάνου.

Επαναλάβετε για τις Σχισμές 18, 16, κ.λ.π., ως το σημείο που θα φτάσετε τους 100°C, περίπου. Καταγράψτε τα αποτελέσματά σας στο δικό σας αντίγραφο του πίνακα που δείχνει η Εικ. 5.19.7.

Σχισμή No	Θερμ. Δοχείου (°C)	Θερμ. Αέρα (°C)	Διαφορά Θερμ. (°C)	Ένδειξη Οργάνου (V)	HEΔ Θερμοζεύγους (mV)
20					
18					
16					
14					
12					
10					
8					
6					
4					
2					

Εικ. 5.19.7

Πρόβλημα 19.1 Υπολογίστε τη διαφορά θερμοκρασίας και την HEΔ του ζεύγους, η οποία θα είναι η ένδειξη του οργάνου διαιρεμένη δια του 1000 και εκφρασμένη σε mV.

Σχεδιάστε τη γραφική παράσταση της HEΔ ως προς τη διαφορά θερμοκρασίας.

Ερώτηση 19.3 Είναι η γραφική παράσταση ευθεία γραμμή μέσα στα όρια ακρίβειας της παρατήρησής σας και της σχεδίασής σας;

Ερώτηση 19.4 Αν ναι, ποιά είναι η κλίση της σε microvolts/°C; Ποιές πηγές σφάλματος θα μπορούσαν, νομίζετε, να συνεισφέρουν στην αβεβαιότητα σε αυτή τη γραφική παράσταση;

ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 19.2

Ψυχρή Επαφή με Ελεγχόμενη Θερμοκρασία

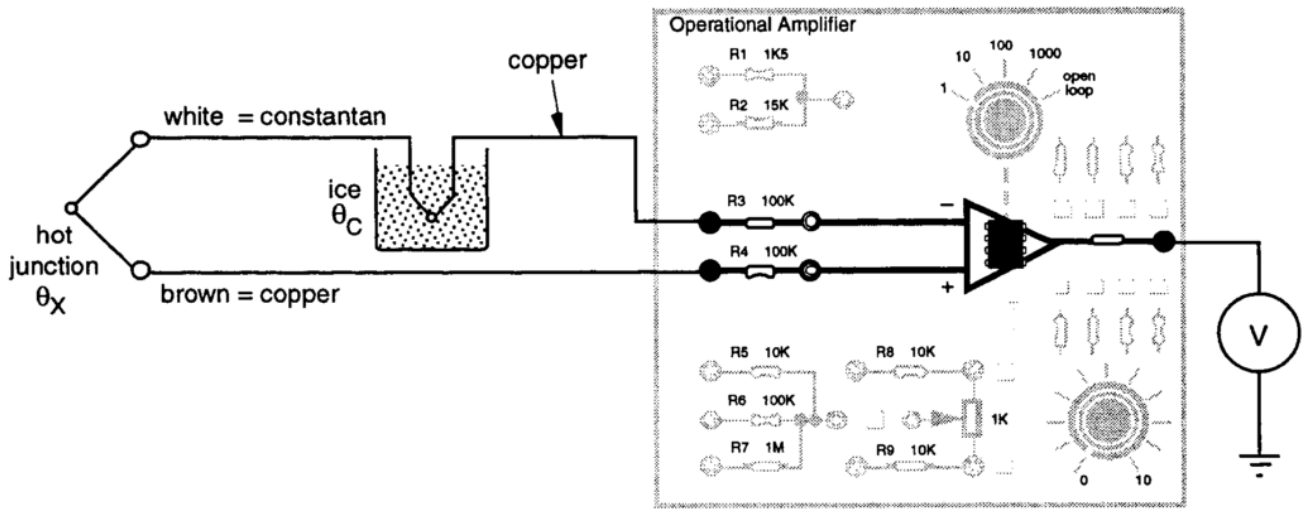
Στην προηγούμενη Πρακτική Άσκηση ήταν απαραίτητο να μετρήσουμε τη θερμοκρασία του αέρα και να προσέξουμε αν πιθανόν άλλαζε κατά τη διάρκεια του πειράματος. Αν η ψυχρή επαφή ρυθμιζόταν σε μια βολική σταθερή θερμοκρασία, αυτό θα ήταν περιττό. Επίσης, αν αυτή η θερμοκρασία ήταν 0°C, η έξοδος του θερμοζεύγους θα μπορούσε να βαθμονομηθεί ώστε να δίνει απ'ευθείας ένδειξη σε °C.

Αυτό μπορούμε να το πετύχουμε βυθίζοντας την ψυχρή επαφή σε τηκόμενο πάγο², όπως στην Εικ. 5.19.8. Επειδή, όμως, το όργανο μέτρησης θα είναι πάλι σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, για να βεβαιωθούμε ότι δεν θα αναπτυχθεί καμία ψευτο-HEΔ, λόγω της διαφοράς μεταξύ της θερμοκρασίας του οργάνου και της θερμοκρασίας του πάγου, ο αγωγός από το όργανο στον πάγο πρέπει να είναι από το ίδιο μέταλλο με τον αγωγό από το ζεύγος στο όργανο, όπως δείχνει η Εικ. 5.19.8.

Όπως πριν, δεν έχει σημασία τι άλλες επαφές υπάρχουν στη γραμμή αρκεί όλες να βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία. Θεωρητικά, ο αγωγός από την ψυχρή επαφή ως τον ενισχυτή θα πρέπει να είναι καθαρός χαλκός, χωρίς κασσίτερο, αλλά, στην πράξη, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε έναν από τους αγωγούς που διαθέτουμε στον εξοπλισμό.

² Τηκόμενος πάγος είναι ο πάγος που βρίσκεται μαζί με το νερό από την τήξη του. Ο τηκόμενος πάγος έχει θερμοκρασία 0°C.

Συνδεσμολογήστε το κύκλωμα της Εικ. 5.19.8, σχηματίζοντας την ψυχρή επαφή συνδέοντας μαζί έναν αγωγό και τον λευκό αγωγό επέκτασης του ζεύγους και βυθίζοντας το σημείο σύνδεσης σε τηκόμενο πάγο σε ένα δοχείο.



Εικ. 5.19.8

Βάλτε το μικρό δοχείο νερού στις Σχισμές 20, 16, 12, 8 και 4 και σημειώστε τις θερμοκρασίες και την ένδειξη του οργάνου σε κάθε σχισμή σε ένα δικό σας αντίγραφο της Εικ. 5.19.9.

Σχισμή No	Θερμ. Δοχείου (°C)	Θερμ. Ψυχρής Επαφής (°C)	Διαφορά Θερμ. (°C)	Ένδειξη Οργάνου (V)	HEΔ Θερμοζεύγους (mV)

Εικ. 5.19.9

Πρόβλημα 19.2 Σχεδιάστε τα αποτελέσματά σας της θερμοκρασίας ως προς την HEΔ και, για άλλη μια φορά, συγκρίνετε την κλίση με μια τιμή αναφοράς. Αν διαθέτετε έναν πίνακα πραγματικών τιμών HEΔ για διάφορες θερμοκρασίες σε °C, συγκρίνετέ τις με τις συγκεκριμένες δικές σας μετρήσεις.

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ

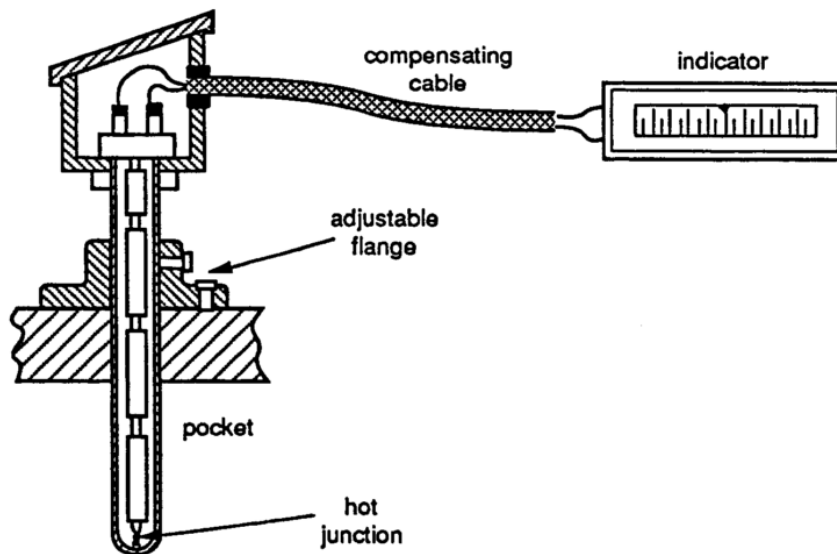
Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι ζευγών. Οι σημαντικότερες διαφορές τους οφείλονται στις διαφορετικές κλίμακες θερμοκρασίας στις οποίες μπορούν να λειτουργήσουν.

Ένα θερμοζεύγος πρέπει να δίνει μια σχεδόν γραμμική σχέση ΗΕΔ-θερμοκρασίας, χωρίς να τήκεται ή να υποβαθμίζεται η ποιότητα οποιουδήποτε από τα υλικά του σε όλη την επιθυμητή κλίμακα θερμοκρασίας και, πιθανώς, στην παρουσία διαβρωτικών υγρών ή ατμόσφαιρας, αν και, είναι συνηθισμένο, σ' αυτές τις περιπτώσεις, να εγκλείουμε το ζεύγος σε προστατευτικό σωλήνα. Μερικοί συνηθισμένοι τύποι ζευγών και οι κλίμακές τους δίνονται παρακάτω.

Τύπος	Κλίμακα °C
Χαλκός-Κονσταντάνη (Copper-Constantan)	-190 ως 400
Σίδηρος-Κονσταντάνη (Iron-Constantan)	-190 ως 850
Πλατίνα-Ρόδιο/Πλατίνα (Platinum-Rhodium/Platinum)	-1000 ως 1600
Νικέλιο/Χρώμιο-Νικέλιο/Αλουμίνιο (Nickel/Chromium-Nickel/Aluminum)	-200 ως 1100

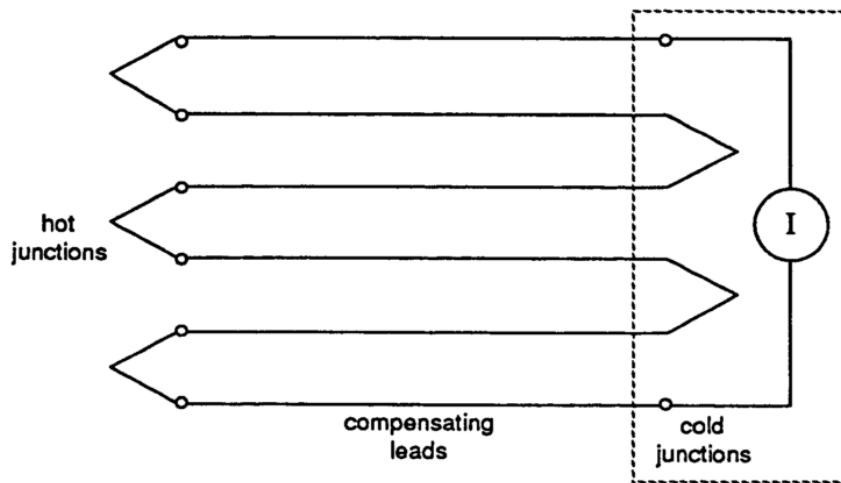
Οι αγωγοί του ίδιου του θερμοζεύγους και, φυσικά, η μόνωσή τους θα πρέπει να αντέχουν στην υψηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας για απεριόριστο χρονικό διάστημα.

Η Εικ. 5.19.10 δείχνει μια τυπική διάταξη για βιομηχανική χρήση, με το θερμοζεύγος μέσα με μια προστατευτική θήκη (pocket) και τους αγωγούς του να κρατιούνται χωρισμένοι με κεραμικούς μονωτήρες.



Εικ. 5.19.10

Θα έχετε προσέξει ότι η ΗΕΔ ανά °C του θερμοζεύγους είναι αρκετά μικρή. Για να αυξήσουμε την ευαισθησία μπορούμε να συνδέσουμε ένα πλήθος ζευγών σε σειρά αλλά κάθε ζεύγος πρέπει να έχει την ψυχρή του επαφή απομακρυσμένη, όπως δείχνεται στην Εικ. 5.19.11.



Εικ. 5.19.11

Μια εφαρμογή αυτής της αρχής χρησιμοποιείται, μερικές φορές, στη μέτρηση της θερμοκρασίας από την ακτινοβολούμενη ενέργεια και ονομάζεται 'θερμοστήλη' ('thermopile'). Περιλαμβάνει πολλές επαφές σε σειρά αλλά οι ψυχρές επαφές δεν είναι αποκακρυσμένες, όπως είναι στην Εικ. 5.19.11, όμως, στην κατασκευή τους λαμβάνονται μέτρα ώστε να μειώνεται η ροή θερμότητας από τις θερμές (hot) στις ψυχρές επαφές (cold junctions). Η όλη διάταξη μπορεί να βαθμονομηθεί για διάφορα επίπεδα ακτινοβολίας κατευθυνόμενης (συχνά με συστήματα εστίασης) πάνω στις θερμές επαφές.

Οι εφαρμογές των θερμοζευγών είναι πολυάριθμες και ποικίλες καθώς το βασικό κόστος, ιδιαίτερα των κύριων μετάλλων του ζεύγους, είναι πολύ χαμηλό και το μικρό μέγεθος μιας επαφής την καθιστά πολύ βολική για μέτρηση σε περιορισμένους χώρους και πάνω σε επιφάνειες.

Επίσης, η μικρή θερμική τους μάζα σημαίνει ότι επαφή τους με ένα θερμό σώμα έχει μικρή επίδραση στη θερμοκρασία που είναι να μετρηθεί, επιβάλλουν, δηλαδή, πολύ μικρό φορτίο στην πηγή θερμότητας.

Τα μόνα σοβαρά τους μειονεκτήματα είναι ότι χρειάζονται ένα υψηλής ευαισθησίας βολτόμετρο ή αμπερόμετρο και ότι πρέπει να διατηρούμε την ψυχρή τους επαφή σε μια γνωστή και, κατά προτίμηση, σταθερή θερμοκρασία. Παρ'όλα αυτά, με τις σύγχρονες εξελίξεις στα ψηφιακά όργανα, είναι πλέον άμεσα διαθέσιμα κατάλληλα βολτόμετρα καθώς και αυτοματοποιημένες μέθοδοι αντιστάθμισης των μεταβολών της ψυχρής επαφής χρησιμοποιώντας, για παράδειγμα, αντιστάσεις αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας (βλ. θερμίστορς στην Εργασία 20).