



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Δοκιμή βραχυκύκλωσης και υπερθέρμανσης σε ηλεκτροτεχνικό
εξοπλισμό χαμηλής τάσης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Ι. Περπινιάς

Επιβλέπων : Περικλής Δ. Μπούρκας
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2009



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Δοκιμή βραχυκύκλωσης και υπερθέρμανσης σε ηλεκτροτεχνικό
εξοπλισμό χαμηλής τάσης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Ι. Περπινιάς

Επιβλέπων : Περικλής Δ. Μπούρκας
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 2009

.....
Περικλής Δ. Μπούρκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Νικόλαος Ι. Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Κωνσταντίνος Γ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2009

.....

Ιωάννης Ι. Περπινιάς

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ιωάννης Ι. Περπινιάς 2009

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη δοκιμή υπερθέρμανσης και βραχυκύκλωσης εξοπλισμού χαμηλής τάσης, αλλά και την κατασκευή και βαθμονόμηση 5 θερμοστοιχείων σιδήρου – κονσταντάνης. Η δοκιμή υπερθέρμανσης και βραχυκύκλωσης έχει ως στόχο τη διαπίστωση του ονομαστικού ρεύματος του ηλεκτροτεχνικού εξοπλισμού. Συγκεκριμένα, ο εξοπλισμός χαμηλής τάσης αποτελείται από 10 ρευματοδότες οι οποίοι τίθενται εν παραλλήλω και βραχυκυκλώνονται ένας προς έναν. Η δοκιμή υπερθέρμανσης πραγματοποιείται με δύο εκδοχές όσον αφορά τη γεφύρωση των πριζών. Πρώτα η γεφύρωση γίνεται στις υποδοχές τροφοδοσίας των πριζών και ύστερα στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου. Αντίθετα η δοκιμή βραχυκύκλωσης γίνεται μόνο με βραχυκύκλωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου, διότι εκεί αναπτύσσονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες. Στις δοκιμές χρησιμοποιούνται θερμοστοιχεία για τη μέτρηση της θερμοκρασίας.

Λέξεις κλειδιά : φαινόμενο Peltier-Seebeck, θερμοστοιχείο, δοκιμή υπερθέρμανσης, δοκιμή βραχυκύκλωσης

ABSTRACT

The object of this diploma thesis is the test of overheating and short-circuiting of low-voltage equipment as well as the construction and calibration of 5 iron-constantan thermocouples. The test of overheating and short-circuiting aims at the ascertainment of nominal current of electrotechnical equipment. In particular, the low-voltage equipment consists of 10 plugs which are connected in parallel and short-circuited one by one. The test of overheating is performed with two cases with regard to the bridging of the plugs. Firstly, the bridging is performed on the feed receptors. Secondly, the bridging is performed on the load holders. On the other hand, the short-circuiting test is performed with the load holders bridged, because in this case higher temperatures are developed. In the tests they are used thermocouples to measure the temperature.

Keywords : Peltier-Seebeck effect, thermocouple, overheating test, short-circuiting test

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Περικλή Μπούρκα για την αμέριστη υποστήριξη και βοήθεια κατά την διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον λέκτορα κ. Παναγιώτη Τσαραμπάρη για τη καθοδήγηση που μου παρείχε, καθώς και τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Κωνσταντίνο Χαλεβίδη για τη μεγάλη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε στη διεξαγωγή των πειραμάτων αλλά και στο τελικό στάδιο συγγραφής της διπλωματικής.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου Μαρία και Ιωσήφ, καθώς και τον αδελφό μου Ευστράτιο-Αλέξανδρο για την υποστήριξη και την αγάπη τους.

Περπινιάς Ιωάννης
Αθήνα, Οκτώβριος 2009

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1 Θερμοηλεκτρικό φαινόμενο (Peltier-Seebeck).....	12
1.2 Θερμοστοιχεία	15
1.3 Κατηγορίες Δοκιμών.....	26
1.4 Ουδετέρωση.....	29
1.4.1 Πρώτη Συνθήκη Ουδετέρωσης.....	29
2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	31
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ.....	33
3.1 Βαθμονόμηση θερμοστοιχείων (σιδήρου-κωνσταντάνης).....	34
3.2.1 Δοκιμή υπερθέρμανσης σε εξοπλισμό χαμηλής τάσης.....	57
3.2.2 Δοκιμή βραχυκύκλωσης σε εξοπλισμό χαμηλής τάσης.....	78
4. ΣΧΟΛΙΑ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	80
4.1 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα επί των αποτελεσμάτων της παραγράφου 3.1.....	81
4.2 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα επί των αποτελεσμάτων της παραγράφου 3.2.1.....	81
4.3 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα επί των αποτελεσμάτων της παραγράφου 3.2.2.....	82
Βιβλιογραφία.....	83

Κεφάλαιο

1

Εισαγωγή

1.1 Θερμοηλεκτρικό φαινόμενο (Peltier-Seebeck)

Το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο είναι η απευθείας μετατροπή των διαφορών θερμοκρασίας σε ηλεκτρική τάση και αντιστρόφως. Μια θερμοηλεκτρική συσκευή δημιουργεί μια τάση όταν βρίσκεται υπό διαφορετική θερμοκρασία σε κάθε πλευρά.. Αντίθετα, όταν εφαρμόζεται τάση σε αυτή, δημιουργεί μια διαφορά θερμοκρασίας (γνωστό ως φαινόμενο Peltier). Σε ατομική κλίμακα (συγκεκριμένα, στους φορείς φορτίου) μία εφαρμοζόμενη βαθμιαία μεταβολή θερμοκρασίας ωθεί κάποιους φορείς του υλικού, είτε πρόκειται για ηλεκτρόνια ή οπές ηλεκτρονίων, να διαχέονται από τη θερμή στην ψυχρή πλευρά, όπως και σε ένα κλασικό αέριο που διαστέλλεται όταν θερμαίνεται.

Το φαινόμενο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και για τη θέρμανση ή την ψύξη αντικειμένων. Επειδή η κατεύθυνση της θέρμανσης και της ψύξης εξαρτάται από το πρόσημο της εφαρμοζόμενης τάσης, οι θερμοηλεκτρικές συσκευές κάνουν τους ελεγκτές θερμοκρασίας πολύ βολικούς.

Παραδοσιακά, ο όρος θερμοηλεκτρικό φαινόμενο ή θερμοηλεκτρισμός περιλαμβάνει τρία ξεχωριστά φαινόμενα. Το φαινόμενο Seebeck, το φαινόμενο Peltier, και το φαινόμενο Thomson. Σε πολλά βιβλία, το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο μπορεί επίσης να ονομάζεται φαινόμενο Peltier-Seebeck. Ο διαχωρισμός αυτός προκύπτει από τις ανεξάρτητες ανακαλύψεις του Γάλλου φυσικού Jean Charles Peltier και του Εσθονογερμανού φυσικού Thomas Johann Seebeck. Η θερμότητα Joule, δηλαδή η θερμότητα που παράγεται κάθε φορά που μια τάση εφαρμόζεται σε ένα υλικό με αντίσταση, συνδέεται κατά κάποιο τρόπο με τα θερμοηλεκτρικά φαινόμενα, αν και γενικά δεν αποκαλείται θερμοηλεκτρικό φαινόμενο. Τα φαινόμενα Peltier-Seebeck και Thomson μπορούν κατ 'αρχήν να είναι θερμοδυναμικά αναστρέψιμα, ενώ η θερμότητα Joule δεν είναι.

Φαινόμενο Seebeck

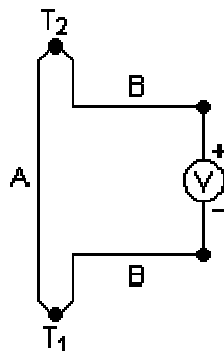
Το φαινόμενο Seebeck είναι η μετατροπή των διαφορών θερμοκρασίας απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο Seebeck ανακάλυψε ότι η βελόνα της πυξίδας παρέκκλινε όταν σχημάτισε ένα κλειστό βρόχο δύο ενωμένων μετάλλων σε δύο κόμβους με διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των κόμβων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μέταλλα αντιδρούν διαφορετικά στη διαφορά θερμοκρασίας, η οποία δημιουργεί μια ροή ρεύματος. Η ροή ρεύματος παράγει με τη σειρά της ένα μαγνητικό πεδίο. Ο Seebeck, ωστόσο, εκείνη τη

στιγμή δεν αναγνώρισε ότι υπήρχε ηλεκτρικό ρεύμα που εμπλεκόταν και έτσι ονόμασε το συγκεκριμένο φαινόμενο ως θερμομαγνητικό, νομίζοντας ότι τα δύο μέταλλα πολώθηκαν μαγνητικά από τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Η φυσικός Hans Christian Ørsted με καταγωγή από τη Δανία διαδραμάτισε ζωτικό ρόλο στην εξήγηση και σύλληψη του όρου "θερμοηλεκτρισμός".

Το φαινόμενο έγκειται στο ότι η τάση, η θερμοηλεκτρική ηλεκτρεγερτική δύναμη (EMF), δημιουργείται με την παρουσία μιας διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ δύο διαφορετικών μετάλλων ή ημιαγωγών. Αυτό προκαλεί ένα συνεχές ρεύμα στους αγωγούς εφόσον αποτελούν ένα πλήρη βρόχο. Η δημιουργηθείσα τάση είναι της τάξης των μερικών μικροβόλτ ανά Κέλβιν ($\mu\text{V}/^\circ\text{K}$) θερμοκρασιακής διαφοράς. Ένας τέτοιος συνδυασμός, χαλκού - κωνσταντάνης έχει συντελεστή Seebeck $41 \mu\text{V}/\text{K}$ σε θερμοκρασία δωματίου.

Στο κύκλωμα που ακολουθεί η τάση που αναπτύσσεται στους ακροδέκτες είναι η εξής:

$$V = \int_{T_1}^{T_2} (S_B(T) - S_A(T)) dT. \quad (1.1-1)$$



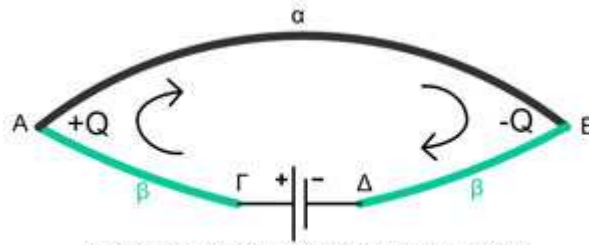
Σχήμα 1.1-1: θερμοστοιχείο δύο μετάλλων

Τα S_A και S_B είναι οι συντελεστές Seebeck των μετάλλων A και B ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, και T_1 και T_2 είναι οι θερμοκρασίες των δύο κόμβων. Οι συντελεστές Seebeck είναι μη γραμμικές συναρτήσεις της θερμοκρασίας, και εξαρτώνται από την απόλυτη θερμοκρασία των αγωγών, το υλικό των αγωγών και τη μοριακή δομή. Εάν οι συντελεστές Seebeck είναι περίπου σταθεροί για το θερμοκρασιακό εύρος προς μέτρηση, ο παραπάνω τύπος, μπορεί να μετατραπεί στην παρακάτω μορφή.

$$V = (S_B - S_A) \cdot (T_2 - T_1). \quad (1.1-2)$$

Φαινόμενο Peltier

Το φαινόμενο Peltier εξηγείται με βάση το παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1.1-2: Σχηματικό διάγραμμα φαινομένου Peltier

Το σχήμα παριστάνει ένα θερμοστοιχείο. Οι κλάδοι του α και β, αποτελούνται από διαφορετικά αγωγικά υλικά. Αν στα σημεία Γ και Δ του προστεθεί μια πηγή ΗΕΔ, ώστε να δημιουργηθεί ένα ρεύμα έντασεως I , τότε ένα ποσό θερμότητας Q απάγεται (στη μονάδα του χρόνου) από την επαφή Α, ενώ αντίστοιχα το ίδιο ποσό απορροφάται από την επαφή Β. Το αποτέλεσμα είναι η θέρμανση της επαφής Α και η ψύξη της επαφής Β. Το φαινόμενο αυτό, που είναι ουσιαστικά αντίστροφο του φαινομένου Seebeck, ονομάζεται φαινόμενο Peltier. Ο λόγος $\pi_{\alpha\beta} = Q/I$, όπου $\pi_{\alpha\beta} = \pi_{\alpha} + \pi_{\beta}$, ονομάζεται συντελεστής Peltier ή ακριβέστερα αθροιστικός συντελεστής Peltier $\pi_{\alpha\beta}$, επειδή εκφράζει το άθροισμα των απόλυτων συντελεστών Peltier των δυο υλικών. Το πρόσημο του $\pi_{\alpha\beta}$ είναι θετικό όταν για την δεξιόστροφη φορά της έντασης η επαφή Α θερμαίνεται ενώ η Β ψύχεται και μετράται σε W/A ή σε V .

1.2 Θερμοστοιχεία

Το θερμοστοιχείο είναι μια ένωση μεταξύ δύο διαφορετικών μετάλλων που παράγει μία τάση που σχετίζεται με τη διαφορά θερμοκρασίας. Τα θερμοστοιχεία είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο είδος αισθητήρων θερμοκρασίας και μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη μετατροπή θερμότητας σε ηλεκτρική ενέργεια. Είναι φθηνά, έχουν τυποποιημένες συνδέσεις, και μπορούν να μετρούν ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών. Ο κύριος περιορισμός είναι η ακρίβεια. Τα σφάλματα του συστήματος για λιγότερο από ένα Κέλβιν ($^{\circ}\text{K}$) μπορεί να είναι δύσκολο να αποφευχθούν.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα θερμοστοιχείο που αν συνδεθεί σε ένα πολύμετρο δείχνει την θερμοκρασία σε $^{\circ}\text{C}$.



Σχήμα 1.2-1: Θερμοστοιχείο συνδεδεμένο σε πολύμετρο

Κάθε κύκλωμα από ανόμοια μέταλλα θα παράγει ένα ηλεκτρικό δυναμικό που θα σχετίζεται με τη θερμοκρασία. Τα θερμοστοιχεία που χρησιμοποιούνται για πρακτικές μετρήσεις είναι συνδέσεις ειδικών κραμάτων, τα οποία σε συνδυασμό δημιουργούν μια γραμμική σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και της τάσης. Ιδιαίτερα κράματα χρησιμοποιούνται για τις διάφορες θερμοκρασίες.

Άλλες ιδιότητες, όπως η αντοχή στη διάβρωση, μπορεί επίσης να είναι σημαντικές, όταν επιλέγουμε τον τύπο του θερμοστοιχείου που είναι πιο κατάλληλο για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Όταν το σημείο μέτρησης είναι μακριά από το όργανο μέτρησης, η ενδιάμεση σύνδεση μπορεί να γίνει από καλώδια επέκτασης των ιδίων μετάλλων, τα οποία είναι λιγότερο δαπανηρά από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τον αισθητήρα. Τα θερμοστοιχεία είναι συνήθως τυποποιημένα σύμφωνα με θερμοκρασία αναφοράς τους 0

βαθμούς Κελσίου. Κάποια θερμοστοιχεία χρησιμοποιούν ηλεκτρονικές μεθόδους αντιστάθμισης ψυχρής ένωσης για την προσαρμογή της διακύμανσης της θερμοκρασίας στα τερματικά των συσκευών. Ηλεκτρονικές συσκευές μπορούν επίσης να αντισταθμίσουν τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των θερμοστοιχείων και κατά συνέπεια να βελτιωθεί η ακρίβεια των μετρήσεων.

Τα θερμοστοιχεία χρησιμοποιούνται ευρέως στον τομέα της επιστήμης και της βιομηχανίας. Μερικές εφαρμογές περιλαμβάνουν τη μέτρηση της θερμοκρασίας των κάμινων, των καυσαερίων των αεριοστροβίλων, των ντιζελοκινητήρων, καθώς και πολλών άλλων βιομηχανικών διεργασιών.

Αρχή λειτουργίας

Το 1821, ο γερμανοεσθονός φυσικός Thomas Johann Seebeck ανακάλυψε ότι όταν ένας αγωγός υποβάλλεται σε θερμική βαθμιαία μεταβολή, δημιουργεί μια τάση. Αυτό είναι τώρα γνωστό ως θερμοηλεκτρικό φαινόμενο ή φαινόμενο Seebeck, το οποίο αναλύθηκε στο κεφάλαιο 1.1. Κάθε προσπάθεια για τη μέτρηση της τάσης αυτής, συνεπάγεται απαραίτητα τη σύνδεση ενός άλλου αγωγού στο θερμό ακροδέκτη. Αυτός ο πρόσθετος αγωγός θα υποστεί επίσης αυτή τη βαθμιαία μεταβολή θερμοκρασίας και θα αναπτύξει μία δική του τάση, η οποία θα αντιτίθεται στην αρχική. Το μέγεθος της επίδρασης εξαρτάται από το μέταλλο που χρησιμοποιείται. Επομένως, χρησιμοποιώντας ένα διαφορετικό μέταλλο για να ολοκληρωθεί το κύκλωμα, δημιουργείται ένα κύκλωμα στο οποίο τα δύο σκέλη παράγουν διαφορετικές τάσεις, αφήνοντας μια μικρή διαφορά στην τάση που διατίθεται για τη μέτρηση. Αυτή η διαφορά αυξάνει με τη θερμοκρασία, και μπορεί κατά κανόνα να είναι μεταξύ 1 και 70 μικροβόλτ ανά βαθμό Κελσίου ($\mu\text{V} / ^\circ\text{C}$) για τυποποιημένους συνδυασμούς μετάλλων. Ορισμένοι συνδυασμοί έχουν καταστεί δημοφιλείς ως πρότυπα βιομηχανίας, λόγω του κόστους, της διαθεσιμότητας, του σημείου τήξεως, των χημικών ιδιοτήτων, της σταθερότητας και της ευκολίας παραγωγής.

Σχέση τάσης- θερμοκρασίας

Η σχέση μεταξύ της διαφοράς θερμοκρασίας (ΔT) και της τάσης εξόδου (V) ενός θερμοστοιχείου είναι μη γραμμική (είναι σχεδόν γραμμική από ένα σημείο και μετά) και προσεγγίζεται από πολυώνυμα:

$$\Delta T = \sum_{n=0}^N a_n v^n \quad (1.2-1)$$

Οι πολυωνυμικοί συντελεστές a_n δίνονται για n από 0 έως 13, ανάλογα με τον τύπο του θερμοστοιχείου, δηλαδή τα μέταλλα που το αποτελούν. Σε ορισμένες περιπτώσεις επιτυγχάνεται καλύτερη ακρίβεια με κάποιους επιπλέον όρους οι οποίοι είναι μη πολυωνυμικοί. Παρ' όλο που η ακριβής σχέση τάσης-θερμοκρασίας είναι μη γραμμική, συνήθως γίνεται μια γραμμική προσέγγιση για τη βαθμονόμηση των θερμοστοιχείων.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι πολυωνυμικοί συντελεστές του θερμοστοιχείου τύπου K.

Πολυωνυμικοί Συντελεστές με T:0-500 °C	
n	Τύπος Θερμοστοιχείου:K
1	25.08355
2	7.860106×10^{-2}
3	-2.503131×10^{-1}
4	8.315270×10^{-2}
5	-1.228034×10^{-2}
6	9.804036×10^{-4}
7	-4.413030×10^{-5}
8	1.057734×10^{-6}
9	-1.052755×10^{-8}

Πίνακας 1.2-1: Πολυωνυμικοί συντελεστές του θερμοστοιχείου τύπου K

Γενικά στοιχεία

Στο σύγχρονο εξοπλισμό η προηγούμενη εξίσωση εκτελείται συνήθως σε ένα ψηφιακό ελεγκτή. Παλαιότερες συσκευές χρησιμοποιούν αναλογικά κυκλώματα. Τα θερμοστοιχεία μετρούν τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο σημείων και όχι απόλυτη θερμοκρασία. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, μία από τις δύο ενώσεις, συνήθως η ψυχρή ένωση διατηρείται σε μια γνωστή θερμοκρασία αναφοράς, ενώ η άλλη ένωση έχει τη θερμοκρασία που θέλουμε να μετρήσουμε.

Γνωρίζοντας μια θερμοκρασία αναφοράς ψυχρής ένωσης, ενώ είναι χρήσιμη για εργαστηριακή βαθμονόμηση, δεν είναι βολική για τις περισσότερες μετρήσεις και εφαρμογές ελέγχου. Αντ' αυτού, τα σύγχρονα θερμοστοιχεία ενσωματώνουν στα κυκλώματά τους μια τεχνητή ψυχρή ένωση χρησιμοποιώντας κάποιο άλλο θερμοευαίσθητο μηχανισμό, όπως ένα θερμίστορ ή μια δίοδο, για τη μέτρηση της θερμοκρασίας των εισερχόμενων συνδέσεων στη συσκευή, με τη λήψη ειδικής μέριμνας ώστε να ελαχιστοποιείται κάθε μεταβολή της θερμοκρασίας μεταξύ των ακροδεκτών. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως αντιστάθμιση ψυχρής ένωσης. Εναλλακτικά, ένα θερμοστοιχείο μπορεί να εκτελέσει αντιστάθμιση ψυχρής ένωσης με υπολογισμούς από πίνακες ή χρησιμοποιώντας πολυωνυμική παρεμβολή.

Ένα θερμοστοιχείο μπορεί να παράγει ρεύμα, το οποίο σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την οδήγηση ορισμένων διαδικασιών άμεσα, χωρίς την ανάγκη για επιπλέον κυκλώματα και πηγές ενέργειας. Για παράδειγμα, η δύναμη από ένα θερμοστοιχείο μπορεί να ενεργοποιήσει μια βαλβίδα, όταν προκύπτει διαφορά θερμοκρασίας. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα θερμοστοιχείο είναι η μετατροπή της θερμικής ενέργειας που πρέπει συνεχώς να προσφέρεται στη θερμή ένωση του θερμοστοιχείου για τη διατήρηση του ηλεκτρικού δυναμικού. Η συνεχής ροή της θερμότητας είναι αναγκαία, διότι το ρεύμα που διαρρέει το θερμοστοιχείο τείνει να κρυώνει τη θερμή ένωση και να ζεσταίνει την ψυχρή (φαινόμενο Peltier).

Τα θερμοστοιχεία μπορούν να συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους για να σχηματίσουν μια θερμοστήλη όπου όλες οι θερμές ενώσεις εκτίθενται στην υψηλότερη θερμοκρασία και όλες οι ψυχρές στην χαμηλότερη. Η έξοδος είναι το άθροισμα της τάσης μεταξύ των επιμέρους κόμβων, δίνοντας μεγαλύτερη τάση και ισχύ.

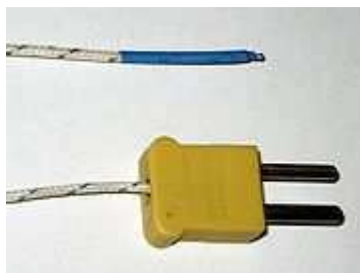
Τύποι θερμοστοιχείων

Ορισμένοι συνδυασμοί κραμάτων που χρησιμοποιούνται στα θερμοστοιχεία, έχουν γίνει γνωστοί ως πρότυπα της βιομηχανίας λόγω κόστους, διαθεσιμότητας, βολικότητας, σημείου

τήξεως, χημικών ιδιοτήτων και σταθερότητας. Ανάλογα με την εφαρμογή ταιριάζουν καλύτερα διάφοροι συνδυασμοί κραμάτων μετάλλων που αποτελούν τα θερμοστοιχεία. Η επιλογή των κραμάτων γίνεται συνήθως με βάση το εύρος της θερμοκρασίας και την ευαισθησία που απαιτείται. Θερμοστοιχεία με χαμηλή ευαισθησία (π.χ τύποι B,R,S) έχουν αντίστοιχα χαμηλότερη ανάλυση. Άλλα κριτήρια επιλογής περιλαμβάνουν την αδράνεια του υλικού του θερμοστοιχείου και αν είναι μαγνητικό ή όχι. Οι τύποι θερμοστοιχείων που βρίσκονται παρακάτω, αναφέρονται πρώτα με το θετικό ηλεκτρόδιο και ύστερα με το αρνητικό.

Τύπος K

Ο τύπος K (χρωμέλ-αλουμέλ) είναι ο πιο κοινός τύπος θερμοστοιχείου γενικού σκοπού με ευαισθησία περίπου $41 \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$. Είναι φθηνός και διατίθεται σε μεγάλη ποικιλία ακροδεκτών. Τα θερμοστοιχεία τύπου K είναι διαθέσιμα σε ένα φάσμα από -200°C έως 1350°C . Ο τύπος K καθορίστηκε τη στιγμή που η μεταλλουργία ήταν λιγότερο προηγμένη από ότι είναι σήμερα και, κατά συνέπεια, τα χαρακτηριστικά διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των δειγμάτων. Ένα άλλο πιθανό πρόβλημα τίθεται σε ορισμένες περιπτώσεις από τη στιγμή που ένα από τα μέταλλα που το αποτελούν, το νικέλιο, είναι μαγνητικό. Ένα χαρακτηριστικό των θερμοστοιχείων που είναι φτιαγμένα με μαγνητικό υλικό είναι ότι θα υποστούν μια σημαντική αλλαγή στην απόδοση, όταν το υλικό φτάσει στη θερμοκρασία Κιουρί του. Αυτό συμβαίνει για τον τύπο K στους 354°C περίπου.



Σχήμα 1.2-2: Θερμοστοιχείο Τύπου K

Τύπος E

Ο τύπος E (χρωμέλ-κωνσταντάνη) έχει υψηλή απόδοση ($68 \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$) που τον καθιστά

κατάλληλο για κρυογονική χρήση. Επιπλέον, είναι μη μαγνητικός.

Τύπος J

Ο τύπος J (σίδηρος – κονσταντάνη) έχει ένα πιο περιορισμένο εύρος από τον τύπο K (-40 με 750 ° C), αλλά μεγαλύτερη ευαισθησία, η οποία είναι περίπου 55 $\mu\text{V} / ^\circ\text{C}$. Το σημείο Κιουρί του σιδήρου (770 °C) προκαλεί μια απότομη μεταβολή των χαρακτηριστικών του θερμοστοιχείου, η οποία καθορίζει το ανώτατο όριο θερμοκρασίας.

Τύπος N

Τα θερμοστοιχεία τύπου N (Νικέλιο-Χρώμιο-Πυρίτιο/Νικέλιο- Πυρίτιο) είναι κατάλληλα για χρήση σε υψηλές θερμοκρασίες, άνω των 1200 ° C. Αυτό οφείλεται στη σταθερότητα και την ικανότητά τους να αντισταθούν στην οξείδωση από την υψηλή θερμοκρασία. Η ευαισθησία του είναι περίπου 39 $\mu\text{V} / ^\circ\text{C}$ στους 900 ° C, ελαφρώς χαμηλότερη από τον τύπο K. Σχεδιασμένος για να είναι ένας βελτιωμένος τύπος K, γίνεται όλο και πιο δημοφιλής.

Τύποι B, R, και S

Οι τύποι θερμοστοιχείων B, R και S χρησιμοποιούν λευκόχρυσο ή κράματα λευκόχρυσου – ρόδιου για κάθε αγωγό. Είναι από τα πιο σταθερά θερμοστοιχεία, αλλά έχουν μικρότερη ευαισθησία σε σχέση με τους άλλους τύπους, περίπου 10 $\mu\text{V} / ^\circ\text{C}$. Τα θερμοστοιχεία τύπου B, R, και S χρησιμοποιούνται συνήθως μόνο για μετρήσεις υψηλής θερμοκρασίας λόγω του υψηλού τους κόστους και της χαμηλής ευαισθησίας.

B

Τα θερμοστοιχεία τύπου B χρησιμοποιούν ένα κράμα λευκόχρυσου-ροδίου για κάθε αγωγό. Ο ένας αγωγός περιέχει 30% ρόδιο ενώ ο άλλος αγωγός περιέχει 6% ρόδιο. Αυτού του τύπου τα θερμοστοιχεία είναι κατάλληλα για χρήση ως τους 1800 °C. Τα θερμοστοιχεία τύπου B παράγουν το ίδιο αποτέλεσμα στους 0 °C και στους 42 °C, περιορίζοντας τη χρήση τους κάτω από τους 50 °C.

R

Τα θερμοστοιχεία τύπου R χρησιμοποιούν ένα κράμα λευκόχρυσου-ροδίου που περιέχει 13% ρόδιο για τον έναν αγωγό και καθαρό λευκόχρυσο για τον άλλο. Τα θερμοστοιχεία τύπου R

χρησιμοποιούνται έως τους 1600 °C.

S

Τα θερμοστοιχεία τύπου S κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας ένα σύρμα από 90% λευκόχρυσο και 10% ρόδιο και ένα δεύτερο σύρμα από 100% λευκόχρυσο. Όπως στον τύπο R, τα θερμοστοιχεία τύπου S χρησιμοποιούνται έως τους 1600 °C. Ειδικότερα, ο τύπος S χρησιμοποιείται ως πρότυπο βαθμονόμησης για το σημείο τήξης του χρυσού (1.064,43 °C).

Τύπος T

Τα θερμοστοιχεία τύπου T (χαλκός – κωνσταντάνη) είναι κατάλληλα για μετρήσεις στην περιοχή -200 με 350 °C. Συχνά χρησιμοποιούνται ως μια διαφορική μέτρηση δεδομένου ότι μόνο σύρματα χαλκού αγγίζουν τους ακροδέκτες. Δεδομένου ότι οι δύο αγωγοί είναι μη μαγνητικοί, δεν υπάρχει σημείο Κιουρί και ως εκ τούτου δεν υπάρχει απότομη αλλαγή στα χαρακτηριστικά του. Τα θερμοστοιχεία τύπου T έχουν ευαισθησία περίπου 43 $\mu\text{V} / ^\circ\text{C}$.

Τύπος C

Τα θερμοστοιχεία τύπου C (βολφράμιο, 5% ρήνιο – βολφράμιο, 26% ρήνιο) είναι κατάλληλα για μετρήσεις στο φάσμα των 0 °C έως 2320 °C. Αυτό το θερμοστοιχείο είναι κατάλληλο για φούρνους κενού σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες και δεν πρέπει ποτέ να χρησιμοποιείται με την παρουσία οξυγόνου σε θερμοκρασίες άνω των 260 °C.

Τύπος M

Τα θερμοστοιχεία τύπου M χρησιμοποιούν ένα κράμα νικελίου για κάθε σύρμα. Το πρώτο σύρμα περιέχει 18% μολυβδαίνιο, ενώ το άλλο περιέχει 0,8% κοβάλτιο. Αυτά τα θερμοστοιχεία χρησιμοποιούνται στους φούρνους κενού για τους ίδιους λόγους με τον τύπο C. Γενικότερα σε σχέση με τους άλλους τύπους θερμοστοιχείων χρησιμοποιείται λιγότερο. Η υψηλότερη θερμοκρασία περιορίζεται στους 1400 °C.

Χρωμέλ-χρυσός/σίδηρος

Στα θερμοστοιχεία χρωμέλ - χρυσού/σίδηρου το ένα σύρμα είναι χρωμέλ και το άλλο είναι χρυσός με ένα μικρό κλάσμα (0,03-0,15 τοις εκατό) από σίδηρο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κρυογονικές εφαρμογές (1.2-300 K και ακόμα και μέχρι 600 K). Τόσο η ευαισθησία όσο

και το εύρος της θερμοκρασίας εξαρτώνται από τη συγκέντρωση του σιδήρου. Η ευαισθησία είναι συνήθως γύρω στα 15 $\mu\text{V/K}$ σε χαμηλές θερμοκρασίες και η χαμηλότερη μετρήσιμη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 1,2 και 4,2 K.

Νόμοι θερμοστοιχείων

1.Νόμος του ομοιογενούς υλικού

Το θερμοηλεκτρικό ρεύμα δεν μπορεί να διατηρηθεί σε ένα κύκλωμα ενός ομοιογενούς υλικού από την εφαρμογή της θερμότητας και μόνο, ανεξάρτητα από το πόσο μπορεί να διαφέρει στην περιοχή διασταύρωσης. Με άλλα λόγια, οι αλλαγές στη θερμοκρασία της καλωδίωσης μεταξύ των εισόδων και των εξόδων δεν επηρεάζουν την τάση εξόδου, εφόσον όλα τα καλώδια είναι κατασκευασμένα από τα ίδια υλικά με το θερμοστοιχείο.

2.Νόμος των ενδιάμεσων υλικών












Το αλγεβρικό άθροισμα των θερμοηλεκτρικών δυνάμεων σε ένα κύκλωμα που αποτελείται από οποιοδήποτε αριθμό ανόμοιων υλικών είναι μηδέν εάν το σύνολο των κόμβων είναι σε ομοιόμορφη θερμοκρασία. Έτσι εάν ένα τρίτο μέταλλο προστεθεί στα δύο καλώδια, και αν οι δύο νέες ενώσεις είναι στην ίδια θερμοκρασία, δεν θα υπάρξει καθαρή τάση που να δημιουργήθηκε από το νέο μέταλλο.








3.Νόμος διαδοχικών ή ενδιάμεσων θερμοκρασιών

Αν δύο ανόμοια ομοιογενή υλικά παράγουν θερμική ηλεκτρεγερτική δύναμη (τάση) α όταν οι ενώσεις είναι σε θερμοκρασία T_1 και T_2 και παράγουν θερμική ηλεκτρεγερτική δύναμη β όταν οι ενώσεις είναι σε θερμοκρασία T_2 και T_3 , τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που δημιουργούνται όταν οι ενώσεις είναι σε θερμοκρασία T_1 και T_3 θα είναι $\alpha+\beta$.

Σύγκριση θερμοστοιχείων

Ο παρακάτω πίνακας περιγράφει τις ιδιότητες αρκετών διαφορετικών τύπων θερμοστοιχείων. Εντός των στηλών ανοχής, το T αντιπροσωπεύει τη θερμοκρασία της θερμής ένωσης, σε βαθμούς Κελσίου. Για παράδειγμα, ένα θερμοστοιχείο με ανοχή $\pm 0,0025 \times T$ θα έχει ακρίβεια $\pm 2,5^\circ\text{C}$ στους 1000°C .

Τύπος	Εύρος θερμοκρασίας ° C (συνεχής)	Εύρος θερμοκρασίας °C (βραχυπρόθεσμα)	Ακρίβεια τάξης ένα (° C)	Ακρίβεια τάξης δύο (° C)	IEC Κωδικός χρώματος	BS Κωδικός χρώματος	ANSI Κωδικός χρώματος
K	0 έως +1100	-180 έως 1300	± 1,5 μεταξύ -40 ° C και 375 ° C ± 0,004 × T μεταξύ 375 ° C και 1000 ° C	± 2,5 μεταξύ -40 ° C και 333 ° C ± 0,0075 × T μεταξύ 333 ° C και 1200 ° C			
J	0 έως +700	-180 έως 800	± 1,5 μεταξύ -40 ° C και 375 ° C ± 0,004 × T μεταξύ 375 ° C και 750 ° C	± 2,5 μεταξύ -40 ° C και 333 ° C ± 0,0075 × T μεταξύ 333 ° C και 750 ° C			
N	0 έως +1100	-270 έως 1300	± 1,5 μεταξύ -40 ° C και 375 ° C ± 0,004 × T μεταξύ 375 ° C και 1000 ° C	± 2,5 μεταξύ -40 ° C και 333 ° C ± 0,0075 × T μεταξύ 333 ° C και 1200 ° C			
R	0 έως +1600	-50 έως 1700	± 1,0 μεταξύ 0 ° C έως 1100 ° C ± [1 + 0,003 × (T - 1100)] μεταξύ 1100 ° C και 1600 ° C	± 1,5 μεταξύ 0 ° C και 600 ° C ± 0,0025 × T μεταξύ 600 ° C και 1600 ° C			Δεν ορίζεται.

S	0 έως 1600	-50 έως 1750	± 1,0 μεταξύ 0 ° C έως 1100 ° C ± [1 + 0,003 × (T - 1100)] μεταξύ 1100 ° C και 1600 ° C	± 1,5 μεταξύ 0 ° C και 600 ° C ± 0,0025 × T μεταξύ 600 ° C και 1600 ° C		Δεν ορίζεται.	
B	200 έως 1700	0 έως +1820	Μη Διαθέσιμη	± 0,0025 × T μεταξύ 600 ° C και 1700 ° C	Όχι τυποποιημένη χρήση συρμάτων χαλκού	Όχι τυποποιημένη χρήση συρμάτων χαλκού	Δεν ορίζεται.
T	-185 έως 300	-250 έως 400	± 0,5 μεταξύ -40 ° C και 125 ° C ± 0,004 × T μεταξύ 125 ° C και 350 ° C	± 1,0 μεταξύ -40 ° C και 133 ° C ± 0,0075 × T μεταξύ 133 ° C και 350 ° C			
E	0 έως +800	-40 έως 900	± 1,5 μεταξύ -40 ° C και 375 ° C ± 0,004 × T μεταξύ 375 ° C και 800 ° C	± 2,5 μεταξύ -40 ° C και 333 ° C ± 0,0075 × T μεταξύ 333 ° C και 900 ° C			

Πίνακας 1.2-2: Ιδιότητες τύπων θερμοστοιχείων

Εφαρμογές

Μερικές εφαρμογές περιλαμβάνουν τη μέτρηση της θερμοκρασίας των φούρνων, τη μέτρηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων των αεριοστροβίλων ή των ντιζελοκινητήρων, και πολλές

άλλες βιομηχανικές διεργασίες. Τα θερμοζεύγη είναι κατάλληλα για τη μέτρηση μεγάλου εύρους θερμοκρασίας, έως 2300 °C. Είναι λιγότερο κατάλληλα για εφαρμογές όπου μικρότερες διαφορές θερμοκρασίας πρέπει να μετρηθούν με μεγάλη ακρίβεια, όπως για παράδειγμα το εύρος 0-100 °C με ακρίβεια της τάξης 0,1 °C. Για τέτοιες εφαρμογές, τα θερμίστορ είναι πιο κατάλληλα.

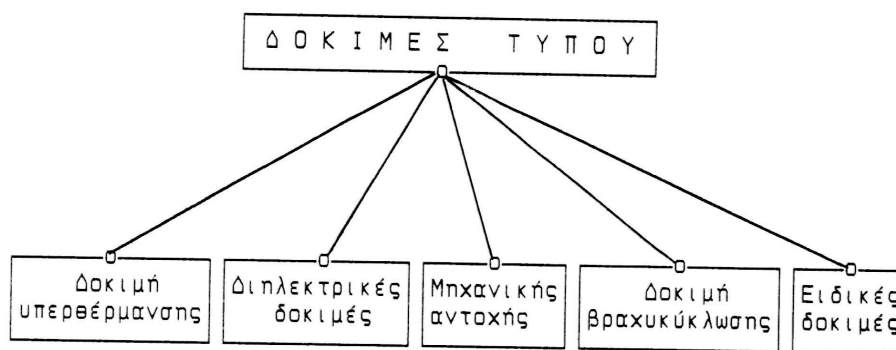
1.3 Κατηγορίες δοκιμών

Βασική προϋπόθεση για την σωστή λειτουργία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων ενός κτιρίου είναι να έχει δοκιμαστεί τόσο ο εξοπλισμός τους (καλώδια, διακόπτες, ασφάλειες, κ.λ.π) όσο και οι ηλεκτρικές συσκευές που ηλεκτροδοτεί η εγκατάσταση (ηλεκτρική κουζίνα, ψυγείο, τηλεόραση, στερεοφωνικό, κ.λ.π.), πριν διατεθεί προς χρήση και μάλιστα σε λειτουργικές συνθήκες που αντιστοιχούν στις μελλοντικές μέγιστες καταπονήσεις στην πράξη. Οι δοκιμές αυτές, που συνήθως αποτελούν τη τελευταία φάση της παραγωγικής διαδικασίας, προβλέπονται στους κανονισμούς (VDE, IEC, EN, κλπ) και διακρίνονται στις δοκιμές τύπου και στις δοκιμές σειράς [1, 4].

Οι **δοκιμές τύπου** γίνονται σε περιορισμένο αριθμό των παραχθέντων και έτοιμων προς διάθεση προϊόντων (π.χ. για παραγωγή διακοπών 400 V/100 A, σε ένα μόνο τυχαίο δείγμα), ενώ οι **δοκιμές σειράς** πραγματοποιούνται σε όλα ανεξαιρέτως τα τεμάχια .

Οι **δοκιμές τύπου** δεν είναι ίδιες για κάθε ηλεκτροτεχνική κατασκευή, αλλά εξαρτώνται από το είδος της (πίνακας, καλώδιο, αποζεύκτης, ασφάλεια, ρελαί, κλπ), τα ονομαστικά στοιχεία (τάση, ρεύμα, κ.λ.π) και τις συνθήκες λειτουργίας που πρόκειται να αντιμετωπίσει αυτή κατά περίπτωση στην εγκατάσταση (π.χ. για αποζεύκτες εξωτερικού χώρου προβλέπεται ως δοκιμή τύπου η εξακρίβωση της ικανότητας μόνωσης υπό βροχή, ενώ για αποζεύκτες εσωτερικού χώρου δεν έχει νόημα ο έλεγχος αυτός, κ.λ.π). Για την κατανόηση των δοκιμών τύπου, που προβλέπονται στους διάφορους κανονισμούς, έχουν παρασταθεί στο σχήμα 2 συγκεντρωτικά οι κατηγορίες τους, οι οποίες πραγματοποιούνται όταν έχουν νόημα για την υπό έλεγχο κατασκευή (σε ένα μονωτήρα π.χ. δεν έχει νόημα η δοκιμή βραχυκύκλωσης, οι δοκιμές μηχανικής αντοχής αφορούν τις επαφές διακοπών κ.λ.π). Το σκεπτικό για την κατάταξη και διεξαγωγή των δοκιμών κατά το σχήμα 2 προήλθε από την ανάγκη να δοθεί μία αξιόπιστη απάντηση στις εξής βασικές ερωτήσεις για κάθε κατασκευή :

- 1) Μέχρι ποιο ρεύμα μπορεί να εργάζεται μία κατασκευή (ονομαστικό ρεύμα);
- 2) Ποια είναι η τάση λειτουργίας της (ονομαστική τάση);
- 3) Τι απαιτήσεις μηχανικής αντοχής πρέπει να έχει;
- 4) Αντέχει η συσκευή το βραχυκύκλωμα μέχρι να γίνει διακοπή του από τα μέσα προστασίας του δικτύου;
- 5) Ποιες είναι οι ειδικές απαιτήσεις που θα χαρακτηρίζουν τη λειτουργία της;



Σχήμα 1.3-1: Κατηγορίες των δοκιμών τύπου.

Οι απαντήσεις στους παραπάνω προβληματισμούς δίνονται με τη διεξαγωγή συγκεκριμένων δοκιμών τύπου που περιλαμβάνονται στους διάφορους κανονισμούς και είναι αντίστοιχα για τις τέσσερις πρώτες ερωτήσεις :

- 1) Η δοκιμή υπερθέρμανσης (ή ανύψωσης θερμοκρασίας).
- 2) Οι διηλεκτρικές δοκιμές.
- 3) Η δοκιμή μηχανικής αντοχής.
- 4) Η δοκιμή βραχυκύκλωσης.

Σε ότι αφορά την τελευταία ερώτηση οι δοκιμές, που χαρακτηρίστηκαν ως "ειδικές", περιλαμβάνονται επίσης αναλυτικά στους κανονισμούς, ανάλογα με την περίπτωση. Έτσι, η μέτρηση π.χ. των απωλειών ενός μετασχηματιστή, ο έλεγχος της ποιότητας βαφής ενός πίνακα εξωτερικού χώρου κλπ, αποτελούν, κατά το παραπάνω σκεπτικό, ειδικές δοκιμές, γιατί αναφέρονται σε συγκεκριμένες ειδικές απαιτήσεις που καθορίζονται από το είδος και τη χρήση της κατασκευής.

Η **δοκιμή υπερθέρμανσης (ή ανύψωσης της θερμοκρασίας)** αφορά την εξακρίβωση του ονομαστικού ρεύματος (μέγιστο ρεύμα συνεχούς λειτουργίας) μίας κατασκευής. Η δοκιμή θεωρείται ότι είναι επιτυχής, όταν η θερμοκρασία δεν υπερβεί κάποιο συγκεκριμένο κατά τις προδιαγραφές όριο, που είναι της τάξεως 50 ± 60 °C ως προς τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Οι **διηλεκτρικές δοκιμές** στοχεύουν στην εξακρίβωση της ικανότητας μόνωσης. Η ονομαστική τάση (ή τάση σειράς) κάθε κατασκευής δεν μπορεί να είναι μία τυχαία τιμή, γιατί πρέπει να ανταποκρίνεται στην προδιαγεγραμμένη διαβάθμιση των τάσεων του δικτύου, που είναι π.χ.: 230V, 400 V, 20 kV, κ.λ.π.). Οι μετρήσεις, που γίνονται για τον έλεγχο της ικανότητας μόνωσης, αφορούν κυρίως τις μέγιστες λειτουργικές καταστάσεις της κατασκευής (κυρίως υπερτάσεις από κεραυνούς και χειρισμούς), από τις οποίες επιβεβαιώνεται η στάθμη μόνωσης. Στη χαμηλή τάση (230 V, 400 V) μία τάση 2,5 kV

εφαρμοζόμενη στον υπό έλεγχο εξοπλισμό επί 1 min , αντιπροσωπεύει στις περισσότερες των περιπτώσεων τις προαναφερθείσες υπερτάσεις.

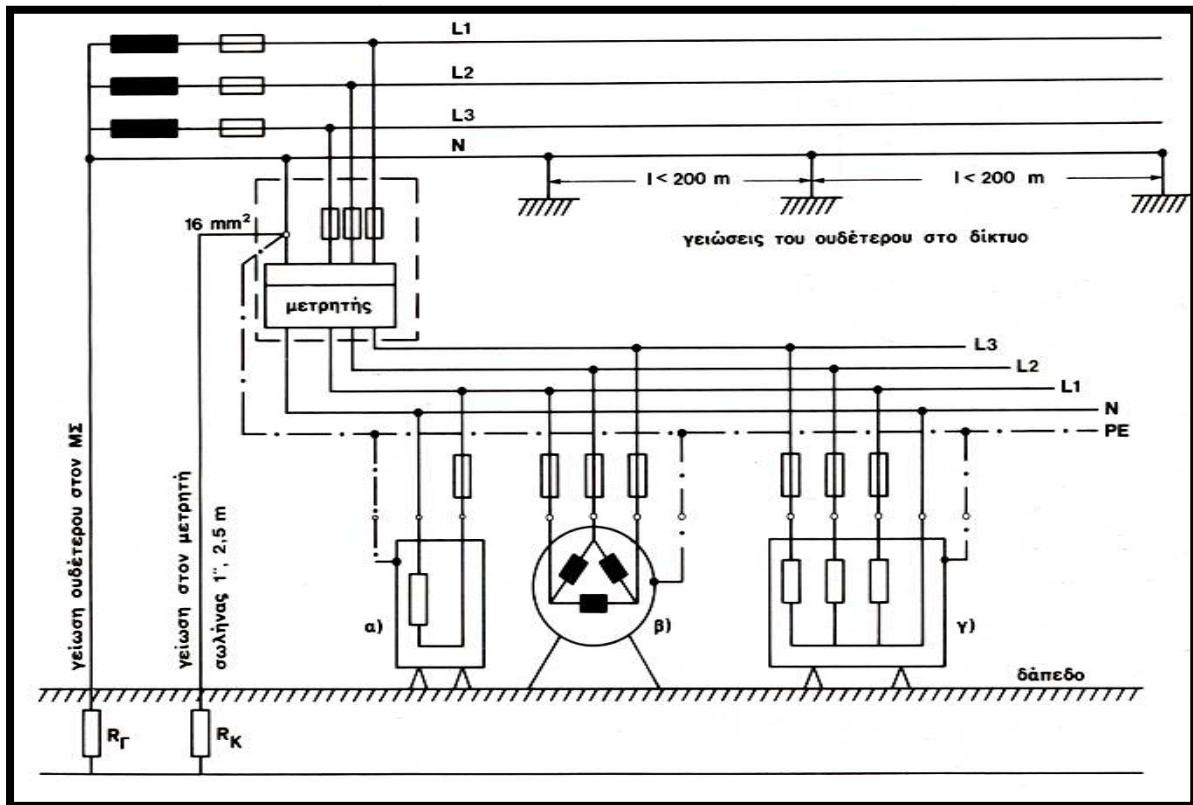
Η **δοκιμή μηχανικής αντοχής** αφορά κυρίως την ικανότητα σε ονομαστικό ρεύμα των επαφών των διακοπών μετά από ένα μεγάλο αριθμό χειρισμών, ενώ παράλληλα ελέγχεται η στιβαρότητα της κατασκευής (ενδεχομένως παραμορφώσεις των επαφών ή τυχόν αποσυναρμολογήσεις ή ακατάλληλα ελατήρια κλπ). Ένας αποζεύκτης π.χ. 400 V/100A θα πρέπει να έχει μετά από 1000 πλήρεις κύκλους χειρισμών την ίδια ικανότητα σε ονομαστικό ρεύμα (100 A). Μετά το πέρας δηλαδή της δοκιμής αυτής, θα πρέπει να γίνει η δοκιμή υπερθέρμανσης.

Τέλος, με τη **δοκιμή σε τριπολικό βραχυκύκλωμα** ελέγχεται η καταπόνηση μίας κατασκευής από τις μεγάλες δυνάμεις και θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά το βραχυκύκλωμα. Η δοκιμή διαρκεί 1sec, αρκετό δηλαδή χρόνο, ως προς εκείνον ενεργοποίησης των μέσων προστασίας της εγκατάστασης. Κατά τη δοκιμή μετρώνται οι συνιστώσες του ρεύματος βραχυκύκλωσης, ανάλογα με την απαιτούμενη ισχύ βραχυκύκλωσης, που καθορίζεται από τη θέση της κατασκευής στο δίκτυο. Η δοκιμή θεωρείται επιτυχής όταν, μετά το πέρας της, δεν έχουν αναιρεθεί η στάθμη μόνωσης και η ικανότητα σε ονομαστικό ρεύμα (δηλαδή, στη συνέχεια πραγματοποιούνται στο συγκεκριμένο δοκίμιο οι διηλεκτρικές δοκιμές και η δοκιμή υπερθέρμανσης).

Όταν μία συσκευή δεν αντεπεξέλθει επιτυχώς σε κάποια από τις προβλεπόμενες γι' αυτή δοκιμές τύπου και σειράς, τότε κρίνεται ακατάλληλη και η ζημιά για τον κατασκευαστή μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη (αναλογιστείτε σαν παράδειγμα τη διαμόρφωση του κόστους και τις καθυστερήσεις σε άλλες προγραμματισμένες κατασκευές, όταν το προσωπικό παραγωγής των προαναφερθέντων διακοπών ασχοληθεί με εργασίες επισκευής, γιατί η μόνωση τους κατά τις δοκιμές βρέθηκε ακατάλληλη. Επειδή της παραγωγής προηγείται μελέτη και κατασκευή δείγματος (που έχει υποστεί επιτυχώς τις δοκιμές τύπου και σειράς), είναι φυσικό οι τυχόν αποτυχίες δοκιμών τύπου και σειράς να οφείλονται σε λάθη κατά την παραγωγική διαδικασία, ή ακόμα σε ελαττώματα που μπορεί να έχουν οι πρώτες ύλες. Γι' αυτό, προς ελαχιστοποίηση των βλαβών στην τελευταία φάση της παραγωγής, επιβάλλεται έλεγχος ποιότητας, τόσο στις πρώτες ύλες, όσο και στις διάφορες φάσεις της παραγωγής (δοκιμές πρώτων υλών και δοκιμές παραγωγής αντίστοιχα).

1.4 Ουδετέρωση

Η ουδετέρωση είναι η γείωση στον ουδέτερο του δικτύου, όταν αυτός είναι γειωμένος. Το παρακάτω σχήμα, δείχνει τα σημεία στα οποία γειώνεται ο ουδέτερος του δικτύου.



Σχήμα 1.4-1 : Ουδετέρωση σε μονοφασικούς και τριφασικούς καταναλωτές.

1.4.1 Πρώτη Συνθήκη ουδετέρωσης

Η ουδετέρωση είναι η κατά κανόνα μέθοδος προστασίας σε καταναλωτές του δημόσιου δικτύου ΧΤ. Για να εφαρμοστεί όμως, πρέπει να πληρούνται πέντε συνθήκες, οι οποίες αναπτύσσονται παρακάτω:

1η Συνθήκη ουδετέρωσης

Για στερεό (ιδανικό) βραχυκύκλωμα μεταξύ φάσης και ουδέτερου, πρέπει τα μέσα προστασίας (ασφάλειες ή αυτόματοι) γενικά, να διακόπτουν το κύκλωμα σε 5 sec. Αυτό

θεωρείται ότι ισχύει όταν το ρεύμα του βραχυκυκλώματος είναι τουλάχιστον τριπλάσιο του ονομαστικού ρεύματος της αμέσως προτεταγμένης ασφάλειας.

Ειδικά για τις πιο κάτω περιπτώσεις ο χρόνος απόξευξης δεν είναι 5 sec αλλά 0,2 sec (IEC 364, HD 384).

- Κυκλώματα με πρίζες κάτω των 35 A.
- Κυκλώματα με συσκευές χειρός.

Αυτός ο κατά 25 φορές μειωμένος χρόνος είναι απαραίτητος στις πιο πάνω περιπτώσεις, γιατί υπάρχει αυξημένος κίνδυνος ηλεκτροπληξίας.

Προσοχή : Ένας έλεγχος του ρεύματος βραχυκύκλωσης μπορεί να δείξει ότι σε πολύ μακριές γραμμές τροφοδότησης αυτό μπορεί να μην ισχύει πάντα, οπότε πρέπει να αυξηθούν οι διατομές των αγωγών.

Κεφάλαιο

2

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι κατά κύριο λόγο η δοκιμή υπερθέρμανσης και βραχυκύκλωσης ηλεκτροτεχνικού εξοπλισμού χαμηλής τάσης, αλλά και η κατασκευή και βαθμονόμηση 5 θερμοστοιχείων. Ο εξοπλισμός χαμηλής τάσης που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή υπερθέρμανσης και βραχυκύκλωσης είναι 10 ρευματοδότες (πρίζες), ενώ ο τύπος των θερμοστοιχείων που βαθμονομούνται είναι σιδήρου-κωνσταντάνης.

Με τις δύο δοκιμές εξετάζεται η άνοδος της θερμοκρασίας των πριζών και κατά πόσο αυτή βρίσκεται μέσα στα επιτρεπόμενα όρια. Έτσι διαπιστώνεται το πραγματικό ονομαστικό ρεύμα κάθε ρευματοδότη. Με άλλα λόγια ελέγχεται η αντοχή και η ανθεκτικότητα των πριζών για τη συνεχή λειτουργία (δοκιμή υπερθέρμανσης) και για την περίπτωση βραχυκυκλώματος (δοκιμή βραχυκύκλωσης). Στις δοκιμές χρησιμοποιούνται θερμοστοιχεία για τη μέτρηση της θερμοκρασίας που αναπτύσσουν σε κάθε περίπτωση οι πρίζες.

Η δοκιμή υπερθέρμανσης πραγματοποιείται με δύο εκδοχές όσον αφορά τη γεφύρωση των πριζών. Πρώτα η γεφύρωση γίνεται στις υποδοχές τροφοδοσίας των πριζών και ύστερα στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου. Αντίθετα η δοκιμή βραχυκύκλωσης γίνεται μόνο με βραχυκύκλωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου, διότι εκεί αναπτύσσονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες.

Τέλος η βαθμονόμηση των θερμοστοιχείων αποσκοπεί στη δημιουργία οργάνων μέτρησης της θερμοκρασίας, ώστε να χρησιμοποιούνται σε παρόμοιου τύπου πειράματα.

Κεφάλαιο

3

**Μεθοδολογία και αποτελέσματα
υπολογισμών**

3.1 Βαθμονόμηση θερμοστοιχείων (σιδήρου – κωνσταντάνης)

Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση των θερμοστοιχείων ήταν οι παρακάτω:

- Θερμόμετρο υδραργύρου
- Θερμόμετρο Pt 100
- Ηλεκτρική αντίσταση
- Βολτόμετρο
- Δοχείο με νερό θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Αρχικά τοποθετήθηκαν στο δοχείο με το νερό το θερμόμετρο υδραργύρου και το θερμόμετρο Pt 100. Στη συνέχεια συνδέθηκε το θερμοστοιχείο στο βολτόμετρο και τροφοδοτήθηκε με τάση η ηλεκτρική αντίσταση μέσω του δικτύου. Ακολούθως τοποθετήθηκαν η ηλεκτρική αντίσταση και η κοινή επαφή του θερμοστοιχείου στο δοχείο. Καθώς η ηλεκτρική αντίσταση θέρμαινε το δοχείο, το βολτόμετρο άρχισε να δείχνει κάποια τάση και αντίστοιχα αυξάνονταν οι ενδείξεις των δύο θερμομέτρων. Εκείνη τη στιγμή διακόπηκε η τροφοδότηση της αντίστασης και σημειώθηκαν οι ενδείξεις θερμοκρασίας και τάσης των οργάνων. Αυτό επαναλήφθηκε αρκετές φορές μέχρι η θερμοκρασία να αγγίξει τους 80 °C. Κατ' αυτόν τον τρόπο βαθμονομήθηκε το κάθε ένα από τα πέντε θερμοστοιχεία (σιδήρου-κωνσταντάνης), και λήφθηκε η χαρακτηριστική εξίσωση θερμοκρασίας – τάσης ($\Delta\theta$ - mV) του κάθε θερμοστοιχείου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η βαθμονόμηση έγινε δύο φορές σε κάθε θερμοστοιχείο, ώστε να εξαχθούν πιο σωστά αποτελέσματα. Επιπλέον τα θερμοστοιχεία είχαν αποκτήσει την κοινή επαφή τους μέσω οξυγονοκόλλησης και ήταν κατάλληλα μονωμένα στο υπόλοιπο μέρος. Τέλος μεταξύ των βαθμονομήσεων μεσολαβούσε αρκετό χρονικό διάστημα, ώστε η ηλεκτρική αντίσταση, το δοχείο και τα δύο θερμόμετρα να αποκτήσουν εκ νέου θερμοκρασία περιβάλλοντος και να διασφαλίζεται όσο το δυνατόν η αξιοπιστία των βαθμονομήσεων.

Ανάλυση με ελάχιστα τετράγωνα

Εφόσον η χαρακτηριστική εξίσωση του θερμοστοιχείου προσεγγίζει την ευθεία, τότε η ακριβέστερη μέθοδος εύρεσης της ευθείας που αντιστοιχεί στα πειραματικά σημεία προέρχεται από τα ελάχιστα τετράγωνα.

Η ευθεία που αναζητείται ορίζεται με τον άξονα y να αναπαριστά την τάση και τον άξονα x τη θερμοκρασία, δηλαδή υπάρχει η παρακάτω αντιστοιχία:

$$y: \text{mV}$$

$$x: \text{°C}$$

Ο συντελεστής β της ευθείας καθώς και ο σταθερός όρος α υπολογίζονται με τους παρακάτω τύπους:

$$\alpha = \frac{[y][x^2] - [x][xy]}{n[x^2] - [x]^2} \quad (3.1-1)$$

$$\beta = \frac{n[xy] - [x][y]}{n[x^2] - [x]^2} \quad (3.1-2)$$

,όπου $[x] = \sum_{i=1}^n x_i$, $[y] = \sum_{i=1}^n y_i$, $[xy] = \sum_{i=1}^n x_i y_i$, $[x^2] = \sum_{i=1}^n x_i^2$ με (x_i, y_i) το πειραματικό

σημείο και n τον αριθμό των πειραματικών σημείων.

Όσον αφορά τα σφάλματα $\delta\alpha$ και $\delta\beta$, οι τύποι υπολογισμού είναι οι παρακάτω:

$$\delta\alpha = \sqrt{\frac{1}{n-2} \cdot \frac{[x^2][d^2]}{n[x^2] - [x]^2}} \quad (3.1-3)$$

$$\delta\beta = \delta\alpha \sqrt{\frac{n}{[x^2]}} \quad (3.1-4)$$

,όπου $[d^2] = \sum_{i=1}^n d_i^2$ με $d_i = y_i - \alpha - \beta x_i$

Στη συνέχεια ακολουθούν οι βαθμονομήσεις των 5 θερμοστοιχείων.

Θερμοστοιχείο 1

➤ Πρώτη βαθμονόμηση

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας και τάσης που ελήφθησαν βρίσκονται στον πίνακα που ακολουθεί.

θ_1 (Pt 100)	θ_2 (Θερμόμ. Hg)	V
(°C)	(°C)	(mV)
29	27	0,5
35	33	0,9
43	42	1,3
50	49	1,7
59	58	2
67	66	2,4
73	72	2,7
76	75	2,8
81	80	3

Πίνακας 3.1-1: Πειραματικές μετρήσεις της πρώτης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 1

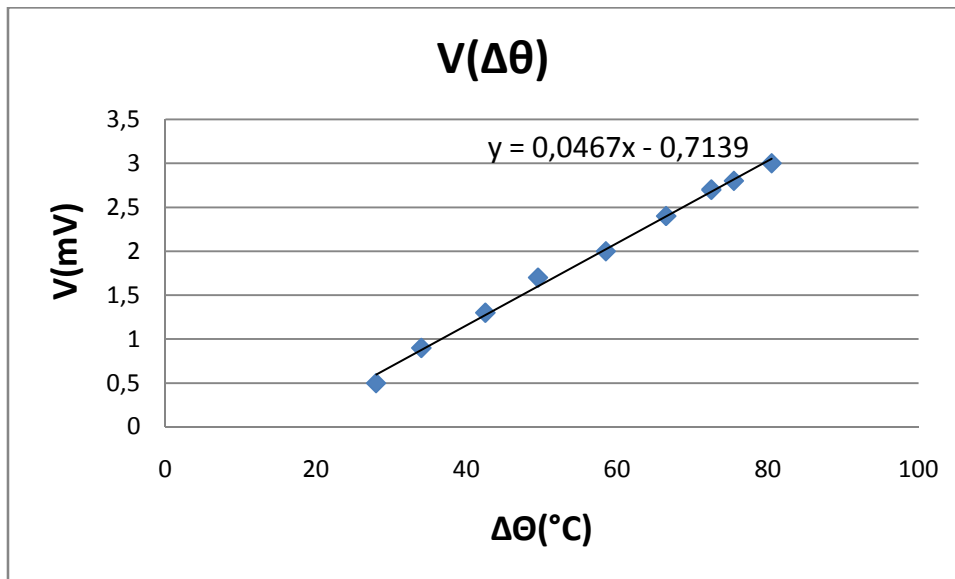
Λαμβάνοντας το μέσο όρο από τις δύο πρώτες στήλες του πίνακα, ώστε να ληφθεί μια μέση θερμοκρασία από τα δύο θερμόμετρα και με βάση την ανάλυση για τα ελάχιστα τετράγωνα που προηγήθηκε λαμβάνεται ο παρακάτω πίνακας.

x_i	y_i	x_i^2	x_i*y_i	d_i	d_i^2
28	0,5	784	14	-0,09505	0,009035
34	0,9	1156	30,6	0,024451	0,000598
42,5	1,3	1806,25	55,25	0,027079	0,000733
49,5	1,7	2450,25	84,15	0,099831	0,009966
58,5	2	3422,25	117	-0,02092	0,000437
66,5	2,4	4422,25	159,6	0,005087	2,59E-05
72,5	2,7	5256,25	195,75	0,024589	0,000605
75,5	2,8	5700,25	211,4	-0,01566	0,000245
80,5	3	6480,25	241,5	-0,04941	0,002441
[x]=507,5	[y]=17,3	[x ²]=31477,75	[xy]=1109,25		[d ²]=0,024086

Πίνακας 3.1-2: Συντελεστές από ανάλυση ελαχίστων τετραγώνων της πρώτης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 1

Επομένως μέσω των τύπων 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3 και 3.1-4: $\alpha = -0,7139394$, $\beta = 0,046749665$, $\delta\alpha = 0,064864$, $\delta\beta = 0,001097$

Με βάση τα παραπάνω κατασκευάζεται η χαρακτηριστική.



Σχήμα 3.1-1: Γραφική παράσταση της χαρακτηριστικής εξίσωσης ($\Delta\theta$ -mV) της πρώτης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 1

➤ Δεύτερη βαθμονόμηση

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας και τάσης που ελήφθησαν βρίσκονται στον πίνακα που ακολουθεί.

θ_1 (Pt 100) (°C)	θ_2 (Θερμόμ. Hg) (°C)	V (mV)
29	27	0,4
37	35	0,8
41	40	1,1
48	47	1,5
56	55	1,8
60	59	2
67	64	2,3
75	74	2,7
81	80	3

Πίνακας 3.1-3: Πειραματικές μετρήσεις της δεύτερης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 1

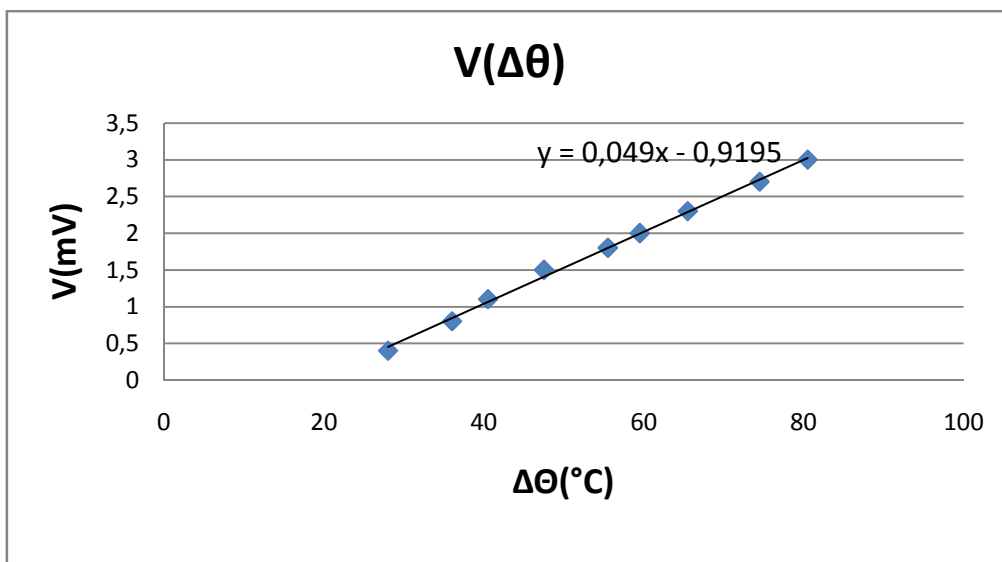
Λαμβάνοντας το μέσο όρο από τις δύο πρώτες στήλες του πίνακα, ώστε να ληφθεί μια μέση θερμοκρασία από τα δύο θερμόμετρα και με βάση την ανάλυση για τα ελάχιστα τετράγωνα που προηγήθηκε λαμβάνεται ο παρακάτω πίνακας.

x_i	y_i	x_i^2	x_i*y_i	d_i	d_i^2
28	0,4	784	11,2	-0,05183	0,002686
36	0,8	1296	28,8	-0,04363	0,001903
40,5	1,1	1640,25	44,55	0,035988	0,001295
47,5	1,5	2256,25	71,25	0,093165	0,00868
55,5	1,8	3080,25	99,9	0,001367	1,87E-06
59,5	2	3540,25	119	0,005468	2,99E-05
65,5	2,3	4290,25	150,65	0,01162	0,000135
74,5	2,7	5550,25	201,15	-0,02915	0,00085
80,5	3	6480,25	241,5	-0,023	0,000529
[x]=487,5	[y]=15,6	[x ²]=28917,75	[xy]=968		[d ²]=0,01611

Πίνακας 3.1-4: Συντελεστές από ανάλυση ελαχίστων τετραγώνων της δεύτερης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 1

Επομένως μέσω των τύπων 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3 και 3.1-4: $\alpha = -0,919464$, $\beta = 0,048975$, $\delta\alpha = 0,054261$, $\delta\beta = 0,000957$

Με βάση τα παραπάνω κατασκευάζεται η χαρακτηριστική εξίσωση.



Σχήμα 3.1-2: Γραφική παράσταση της χαρακτηριστικής εξίσωσης ($\Delta\theta$ -V) της δεύτερης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 1

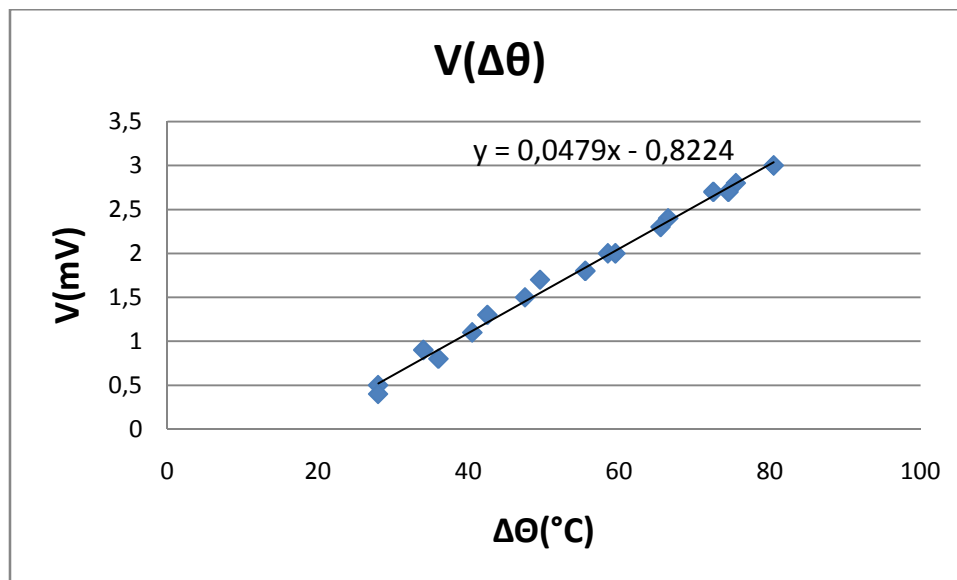
➤ Τελική χαρακτηριστική εξίσωση του θερμοστοιχείου 1

Για να ληφθεί μία αντιπροσωπευτική χαρακτηριστική εξίσωση για το θερμοστοιχείο 1 λαμβάνονται υπόψη όλες οι μετρήσεις και από τις δύο βαθμονομήσεις που έγιναν. Έτσι προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα από την ανάλυση των ελαχίστων τετραγώνων (οι παρακάτω τιμές προκύπτουν απευθείας από το άθροισμα των επιμέρους αναλύσεων της πρώτης και της δεύτερης βαθμονόμησης):

$$[x]=995 \quad [y]=32,9 \quad [x^2]=6039,5 \quad [xy]=2077,25 \quad [d^2]=0,040196$$

Επομένως μέσω των τύπων 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3 και 3.1-4: $\alpha = -0,822417451$, $\beta = 0,047943$, $\delta\alpha = 0,039531$, $\delta\beta = 0,000682$

Με βάση τα παραπάνω κατασκευάζεται η χαρακτηριστική εξίσωση.



Σχήμα 3.1-3: Γραφική παράσταση της τελικής χαρακτηριστικής εξίσωσης ($\Delta\theta$ -V) του θερμοστοιχείου 1

Θερμοστοιχείο 2

➤ Πρώτη βαθμονόμηση

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας και τάσης που ελήφθησαν βρίσκονται στον πίνακα που ακολουθεί.

θ_1 (Pt 100)	θ_2 (Θερμόμ. Hg)	V
°C)	(°C)	(mV)
29	28	0,5
37	36	0,9
46	45	1,4
53	52	1,7
59	58	2
66	65	2,3
72	71	2,6
75	74	2,7
80	79	3

Πίνακας 3.1-5: Πειραματικές μετρήσεις της πρώτης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 2

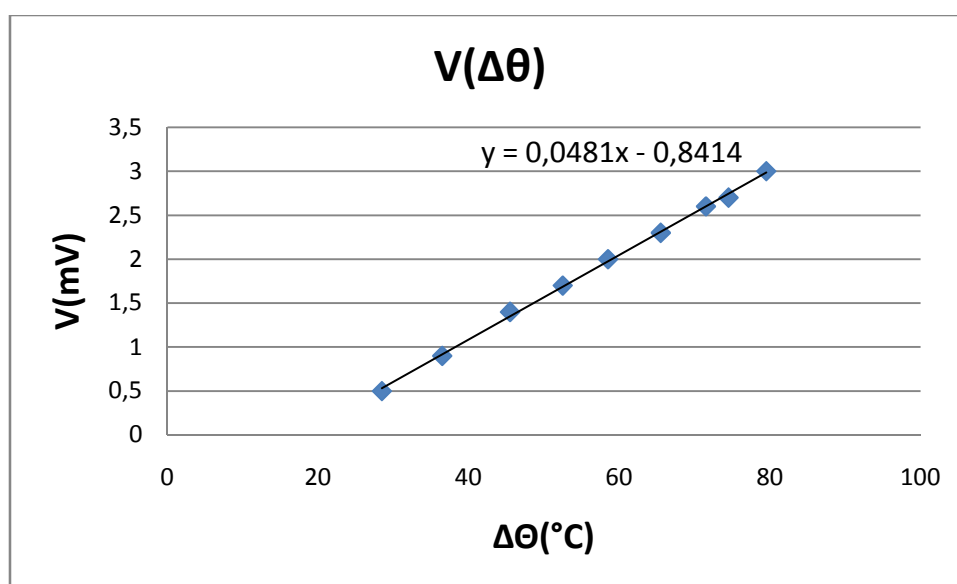
Λαμβάνοντας το μέσο όρο από τις δύο πρώτες στήλες του πίνακα, ώστε να ληφθεί μια μέση θερμοκρασία από τα δύο θερμοόμετρα και με βάση την ανάλυση για τα ελάχιστα τετράγωνα που προηγήθηκε λαμβάνεται ο παρακάτω πίνακας.

x_i	y_i	x_i^2	x_i*y_i	d_i	d_i^2
28,5	0,5	812,25	14,25	-0,03062	0,000937
36,5	0,9	1332,25	32,85	-0,01576	0,000248
45,5	1,4	2070,25	63,7	0,050962	0,002597
52,5	1,7	2756,25	89,25	0,013966	0,000195
58,5	2	3422,25	117	0,025112	0,000631
65,5	2,3	4290,25	150,65	-0,01188	0,000141
71,5	2,6	5112,25	185,9	-0,00074	5,46E-07
74,5	2,7	5550,25	201,15	-0,04517	0,00204
79,5	3	6320,25	238,5	0,014123	0,000199
[x]=512,5	[y]=17,1	[x ²]=31666,25	[xy]=1093,25		[d ²]=0,00699

Πίνακας 3.1-6: Συντελεστές από ανάλυση ελαχίστων τετραγώνων της πρώτης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 2

Επομένως μέσω των τύπων 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3 και 3.1-4: $\alpha=-0,84144$, $\beta= 0,048142$, $\delta\alpha= 0,037622$, $\delta\beta= 0,000634$

Με βάση τα παραπάνω κατασκευάζεται η χαρακτηριστική.



Σχήμα 3.1-4: Γραφική παράσταση της χαρακτηριστικής εξίσωσης ($\Delta\theta$ -V) της πρώτης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 2

➤ *Δεύτερη βαθμονόμηση*

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας και τάσης που ελήφθησαν βρίσκονται στον πίνακα που ακολουθεί.

θ_1 (Pt 100)	θ_2 (Θερμόμ. Hg)	V
(°C)	(°C)	(mV)
30	28	0,5
35	34	0,8
43	42	1,2
51	50	1,6
60	59	2
68	67	2,4
75	74	2,7
79	78	2,9
83	82	3,1

Πίνακας 3.1-7: Πειραματικές μετρήσεις της δεύτερης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 2

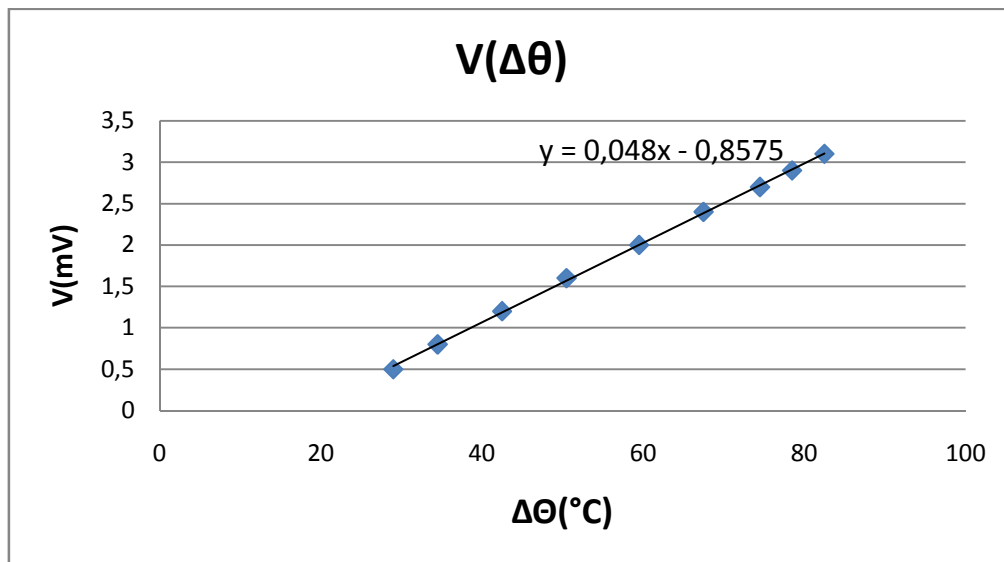
Λαμβάνοντας το μέσο όρο από τις δύο πρώτες στήλες του πίνακα, ώστε να ληφθεί μια μέση θερμοκρασία από τα δύο θερμόμετρα και με βάση την ανάλυση για τα ελάχιστα τετράγωνα που προηγήθηκε λαμβάνεται ο παρακάτω πίνακας.

x_i	y_i	x_i^2	x_i*y_i	d_i	d_i^2
29	0,5	841	14,5	-0,03482	0,001212
34,5	0,8	1190,25	27,6	0,001125	1,27E-06
42,5	1,2	1806,25	51	0,017043	0,00029
50,5	1,6	2550,25	80,8	0,032962	0,001086
59,5	2	3540,25	119	0,00087	7,57E-07
67,5	2,4	4556,25	162	0,016789	0,000282
74,5	2,7	5550,25	201,15	-0,01928	0,000372
78,5	2,9	6162,25	227,65	-0,01132	0,000128
82,5	3,1	6806,25	255,75	-0,00336	1,13E-05
[x]=519	[y]=17,2	[x ²]=33003	[xy]=1139,45		[d ²]=0,003385

Πίνακας 3.1-8: Συντελεστές από ανάλυση ελαχίστων τετραγώνων της δεύτερης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 2

Επομένως μέσω των τύπων 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3 και 3.1-4: $\alpha = -0,85748$, $\beta = 0,04801$, $\delta\alpha = 0,024016$, $\delta\beta = 0,000397$

Με βάση τα παραπάνω κατασκευάζεται η χαρακτηριστική εξίσωση.



Σχήμα 3.1-5: Γραφική παράσταση της χαρακτηριστικής εξίσωσης ($\Delta\theta$ -V) της δεύτερης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 2

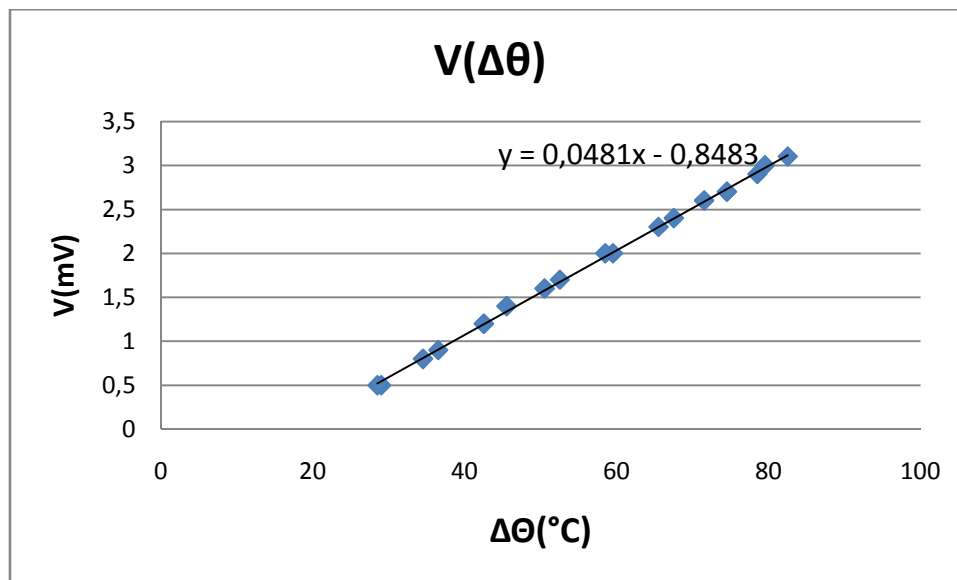
➤ Τελική χαρακτηριστική εξίσωση του θερμοστοιχείου 2

Για να ληφθεί μία αντιπροσωπευτική χαρακτηριστική εξίσωση για το θερμοστοιχείο 2 λαμβάνονται υπόψη όλες οι μετρήσεις και από τις δύο βαθμονομήσεις που έγιναν. Έτσι προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα από την ανάλυση των ελαχίστων τετραγώνων (οι παρακάτω τιμές προκύπτουν απευθείας από το άθροισμα των επιμέρους αναλύσεων της πρώτης και της δεύτερης βαθμονόμησης):

$$[x]=1031,5 \quad [y]=34,3 \quad [x^2]=64669,25 \quad [xy]=2232,7 \quad [d^2]=0,010375$$

Επομένως μέσω των τύπων 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3 και 3.1-4: $\alpha= -0,84829$, $\beta= 0,048055$, $\delta\alpha= 0,020472$, $\delta\beta= 0,000342$

Με βάση τα παραπάνω κατασκευάζεται η χαρακτηριστική εξίσωση.



Σχήμα 3.1-6: Γραφική παράσταση της τελικής χαρακτηριστικής εξίσωσης ($\Delta\theta$ -V) του θερμοστοιχείου 2

Θερμοστοιχείο 3

➤ *Πρώτη βαθμονόμηση*

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας και τάσης που ελήφθησαν βρίσκονται στον πίνακα που ακολουθεί.

θ_1 (Pt 100)	θ_2 (Θερμόμ. Hg)	V
°C)	(°C)	(mV)
28	26	0,5
33	31	0,8
40	38	1,2
47	45	1,6
53	51	1,9
60	58	2,2
66	64	2,4
71	69	2,6
79	77	2,9
81	79	3

Πίνακας 3.1-9: Πειραματικές μετρήσεις της πρώτης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 3

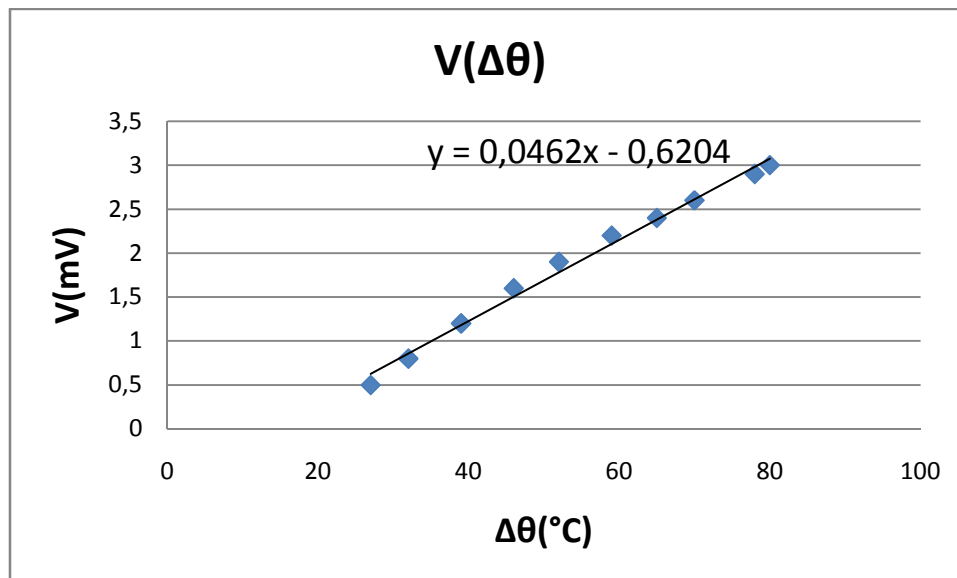
Λαμβάνοντας το μέσο όρο από τις δύο πρώτες στήλες του πίνακα, ώστε να ληφθεί μια μέση θερμοκρασία από τα δύο θερμόμετρα και με βάση την ανάλυση για τα ελάχιστα τετράγωνα που προηγήθηκε λαμβάνεται ο παρακάτω πίνακας.

x_i	y_i	x_i^2	x_i*y_i	d_i	d_i^2
27	0,5	729	13,5	-0,12631	0,015955
32	0,8	1024	25,6	-0,05719	0,003271
39	1,2	1521	46,8	0,019578	0,000383
46	1,6	2116	73,6	0,096347	0,009283
52	1,9	2704	98,8	0,119292	0,014231
59	2,2	3481	129,8	0,096062	0,009228
65	2,4	4225	156	0,019007	0,000361
70	2,6	4900	182	-0,01187	0,000141
78	2,9	6084	226,2	-0,08128	0,006606
80	3	6400	240	-0,07363	0,005421
[x]=548	[y]=19,1	[x ²]=33184	[xy]=1192,3		[d ²]=0,06488

Πίνακας 3.1-10: Συντελεστές από ανάλυση ελαχίστων τετραγώνων της πρώτης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 3

Επομένως μέσω των τύπων 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3 και 3.1-4: $\alpha = -0,62043$, $\beta = 0,046176$, $\delta\alpha = 0,092379$, $\delta\beta = 0,001604$

Με βάση τα παραπάνω κατασκευάζεται η χαρακτηριστική.



Σχήμα 3.1-7: Γραφική παράσταση της χαρακτηριστικής εξίσωσης ($\Delta\theta$ -V) της πρώτης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 3

➤ *Δεύτερη βαθμονόμηση*

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας και τάσης που ελήφθησαν βρίσκονται στον πίνακα που ακολουθεί.

θ_1 (Pt 100)	θ_2 (Θερμόμ. Hg)	V
(°C)	(°C)	(mV)
29	27	0,4
34	32	0,7
39	38	1
46	45	1,4
53	52	1,7
60	58	2,1
68	67	2,4
74	72	2,6
79	78	2,9
81	80	3

Πίνακας 3.1-11: Πειραματικές μετρήσεις της δεύτερης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 3

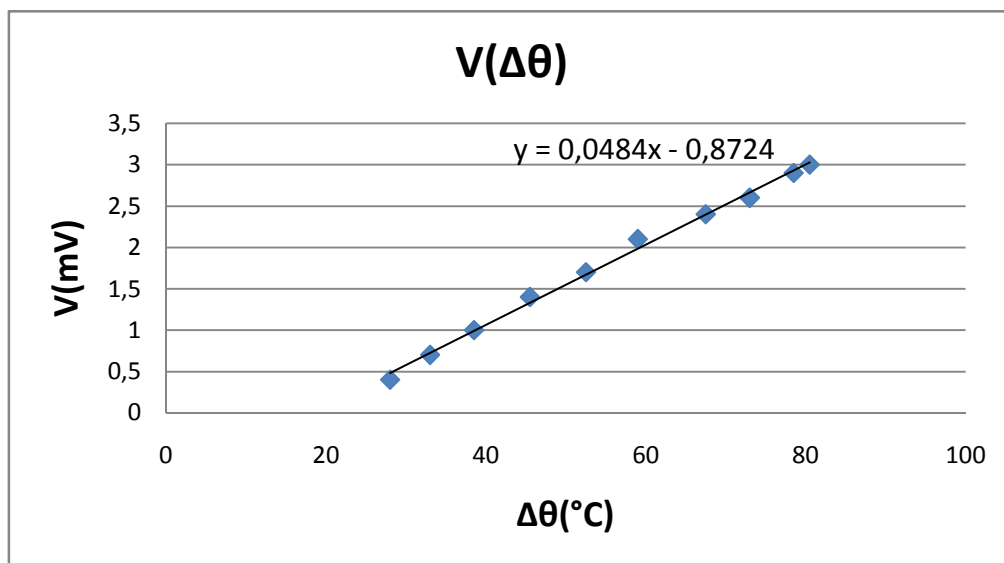
Λαμβάνοντας το μέσο όρο από τις δύο πρώτες στήλες του πίνακα, ώστε να ληφθεί μια μέση θερμοκρασία από τα δύο θερμοόμετρα και με βάση την ανάλυση για τα ελάχιστα τετράγωνα που προηγήθηκε λαμβάνεται ο παρακάτω πίνακας.

x_i	y_i	x_i^2	x_i*y_i	d_i	d_i^2
28	0,4	784	11,2	-0,0835	0,006973
33	0,7	1089	23,1	-0,02562	0,000656
38,5	1	1482,25	38,5	0,008047	6,48E-05
45,5	1,4	2070,25	63,7	0,069081	0,004772
52,5	1,7	2756,25	89,25	0,030114	0,000907
59	2,1	3481	123,9	0,115359	0,013308
67,5	2,4	4556,25	162	0,003757	1,41E-05
73	2,6	5329	189,8	-0,06257	0,003916
78,5	2,9	6162,25	227,65	-0,02891	0,000836
80,5	3	6480,25	241,5	-0,02575	0,000663
$[x]=556$	$[y]=18,2$	$[x^2]=34190,5$	$[xy]=1170,6$		$[d^2]=0,032109$

Πίνακας 3.1-12: Συντελεστές από ανάλυση ελαχίστων τετραγώνων της δεύτερης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 3

Επομένως μέσω των τύπων 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3 και 3.1-4: $\alpha = -0,87236$, $\beta = 0,048424$, $\delta\alpha = 0,064713$, $\delta\beta = 0,00105$

Με βάση τα παραπάνω κατασκευάζεται η χαρακτηριστική εξίσωση.



Σχήμα 3.1-8: Γραφική παράσταση της χαρακτηριστικής εξίσωσης ($\Delta\theta$ - V) της δεύτερης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 3

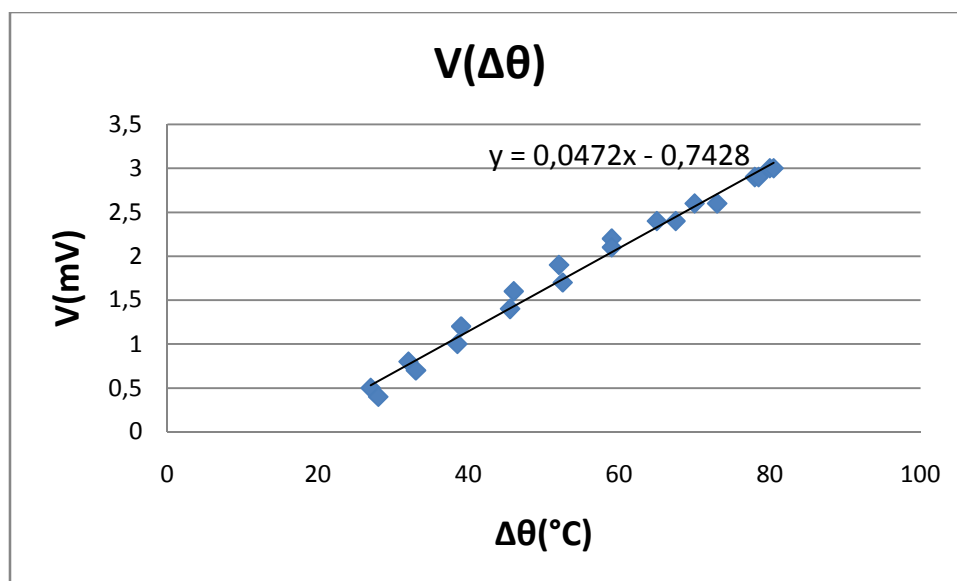
➤ *Τελική χαρακτηριστική εξίσωση του θερμοστοιχείου 3*

Για να ληφθεί μία αντιπροσωπευτική χαρακτηριστική εξίσωση για το θερμοστοιχείο 3 λαμβάνονται υπόψη όλες οι μετρήσεις και από τις δύο βαθμονομήσεις που έγιναν. Έτσι προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα από την ανάλυση των ελαχίστων τετραγώνων (οι παρακάτω τιμές προκύπτουν απευθείας από το άθροισμα των επιμέρους αναλύσεων της πρώτης και της δεύτερης βαθμονόμησης):

$$[x]=1104 \quad [y]=37,3 \quad [x^2]=67374,5 \quad [xy]=2362,9 \quad [d^2]=0,096989$$

Επομένως μέσω των τύπων 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3 και 3.1-4: $\alpha = -0,74275$, $\beta = 0,047242$, $\delta\alpha = 0,053116$, $\delta\beta = 0,000915$

Με βάση τα παραπάνω κατασκευάζεται η χαρακτηριστική εξίσωση.



Σχήμα 3.1-9: Γραφική παράσταση της τελικής χαρακτηριστικής εξίσωσης ($\Delta\theta$ - V) του θερμοστοιχείου 3

Θερμοστοιχείο 4

➤ *Πρώτη βαθμονόμηση*

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας και τάσης που ελήφθησαν βρίσκονται στον πίνακα που ακολουθεί.

θ_1 (Pt 100)	θ_2 (Θερμόμ. Hg)	V
°C)	(°C)	(mV)
30	28	0,5
35	33	0,8
42	40	1,2
48	46	1,4
54	53	1,7
59	58	2
65	64	2,3
70	69	2,5
74	73	2,7
81	80	3

Πίνακας 3.1-13: Πειραματικές μετρήσεις της πρώτης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 4

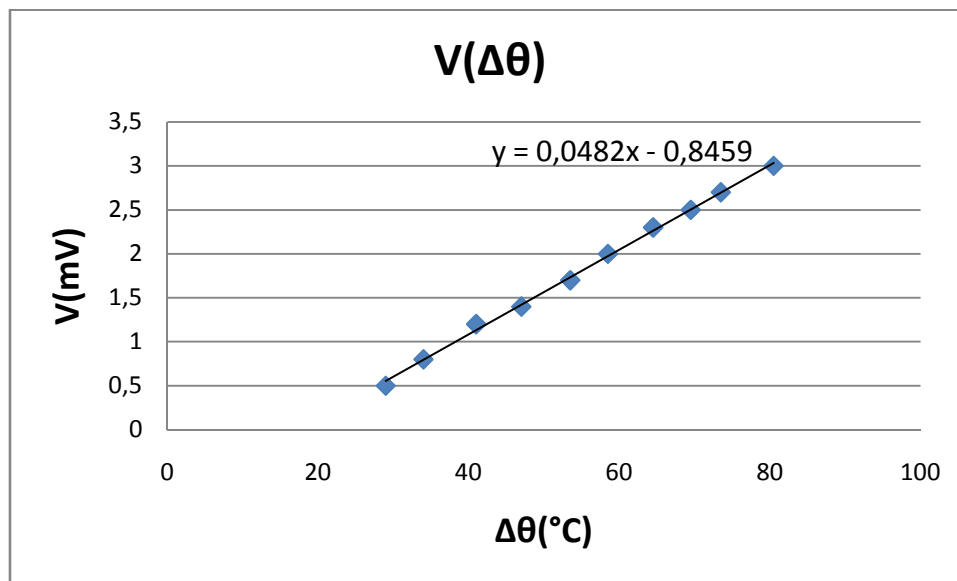
Λαμβάνοντας το μέσο όρο από τις δύο πρώτες στήλες του πίνακα, ώστε να ληφθεί μια μέση θερμοκρασία από τα δύο θερμόμετρα και με βάση την ανάλυση για τα ελάχιστα τετράγωνα που προηγήθηκε λαμβάνεται ο παρακάτω πίνακας.

x_i	y_i	x_i^2	x_i*y_i	d_i	d_i^2
29	0,5	841	14,5	-0,05196	0,0027
34	0,8	1156	27,2	0,007035	4,95E-05
41	1,2	1681	49,2	0,06963	0,004848
47	1,4	2209	65,8	-0,01957	0,000383
53,5	1,7	2862,25	90,95	-0,03288	0,001081
58,5	2	3422,25	117	0,026118	0,000682
64,5	2,3	4160,25	148,35	0,036913	0,001363
69,5	2,5	4830,25	173,75	-0,00409	1,67E-05
73,5	2,7	5402,25	198,45	0,003107	9,65E-06
80,5	3	6480,25	241,5	-0,0343	0,001176
[x]=551	[y]=18,1	[x ²]=33044,5	[xy]=1126,7		[d ²]=0,012309

Πίνακας 3.1-14: Συντελεστές από ανάλυση ελαχίστων τετραγώνων της πρώτης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 4

Επομένως μέσω των τύπων 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3 και 3.1-4: $\alpha = -0,84586$, $\beta = 0,048202$, $\delta\alpha = 0,043521$, $\delta\beta = 0,000757$

Με βάση τα παραπάνω κατασκευάζεται η χαρακτηριστική.



Σχήμα 3.1-10: Γραφική παράσταση της χαρακτηριστικής εξίσωσης ($\Delta\theta$ -V) της πρώτης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 4

➤ *Δεύτερη βαθμονόμηση*

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας και τάσης που ελήφθησαν βρίσκονται στον πίνακα που ακολουθεί.

θ_1 (Pt 100) (°C)	θ_2 (Θερμόμ. Hg) (°C)	V (mV)
29	26	0,4
33	31	0,7
37	35	1
45	43	1,4
53	52	1,8
58	57	2
64	62	2,3

69	67	2,5
73	72	2,7
79	77	3

Πίνακας 3.1-15: Πειραματικές μετρήσεις της δεύτερης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 4

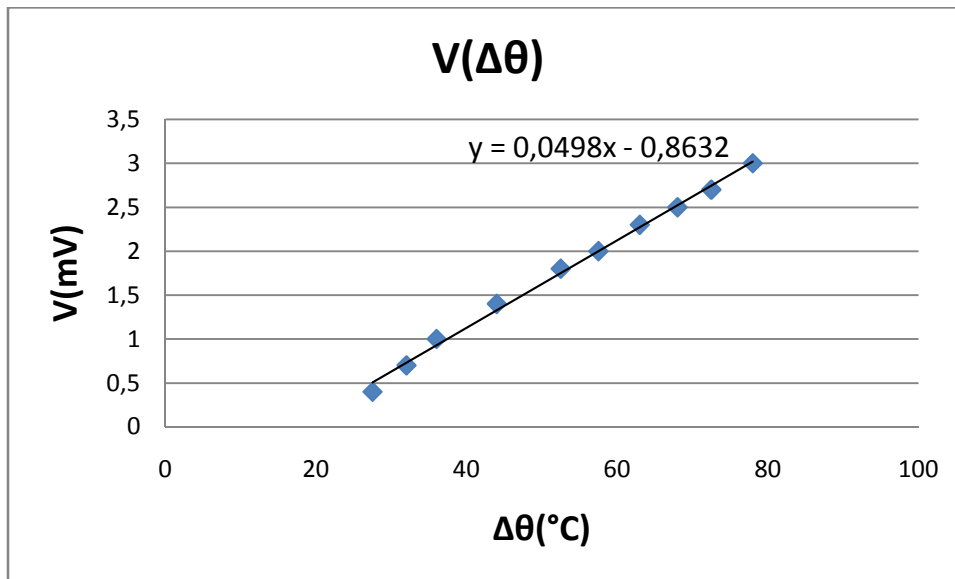
Λαμβάνοντας το μέσο όρο από τις δύο πρώτες στήλες του πίνακα, ώστε να ληφθεί μια μέση θερμοκρασία από τα δύο θερμοόμετρα και με βάση την ανάλυση για τα ελάχιστα τετράγωνα που προηγήθηκε λαμβάνεται ο παρακάτω πίνακας.

x_i	y_i	x_i^2	x_i*y_i	d_i	d_i^2
27,5	0,4	756,25	11	-0,10569	0,01117
32	0,7	1024	22,4	-0,02969	0,000881
36	1	1296	36	0,071199	0,005069
44	1,4	1936	61,6	0,072977	0,005326
52,5	1,8	2756,25	94,5	0,049867	0,002487
57,5	2	3306,25	115	0,000978	9,56E-07
63	2,3	3969	144,9	0,0272	0,00074
68	2,5	4624	170	-0,02169	0,00047
72,5	2,7	5256,25	195,75	-0,04569	0,002087
78	3	6084	234	-0,01947	0,000379
[x]=531	[y]=17,8	[x ²]=31008	[xy]=1085,15		[d ²]=0,028611

Πίνακας 3.1-16: Συντελεστές από ανάλυση ελαχίστων τετραγώνων της δεύτερης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 4

Επομένως μέσω των τύπων 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3 και 3.1-4: $\alpha = -0,8632$, $\beta = 0,049778$, $\delta\alpha = 0,0628$, $\delta\beta = 0,001128$

Με βάση τα παραπάνω κατασκευάζεται η χαρακτηριστική εξίσωση.



Σχήμα 3.1-11: Γραφική παράσταση της χαρακτηριστικής εξίσωσης ($\Delta\theta$ - V) της δεύτερης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 4

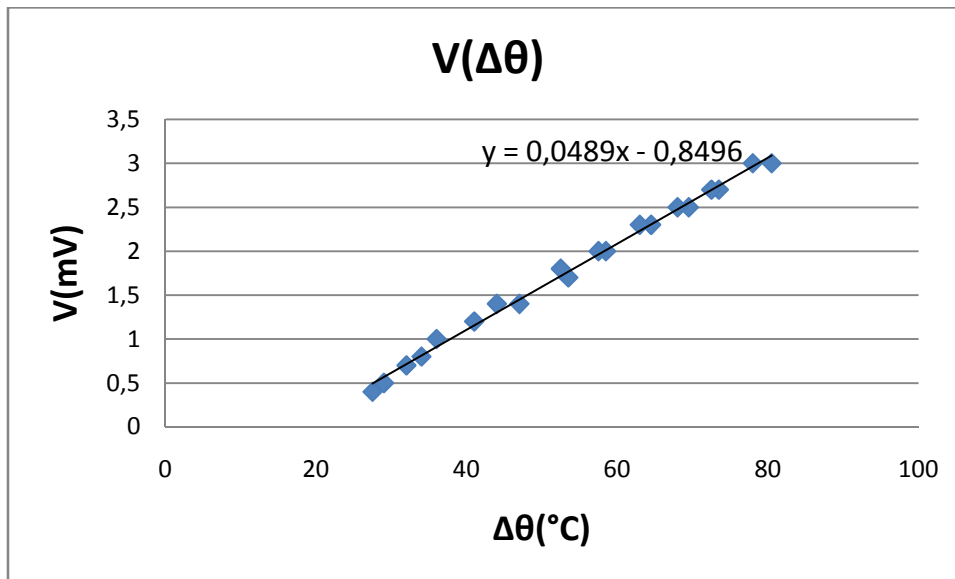
➤ *Τελική χαρακτηριστική εξίσωση του θερμοστοιχείου 4*

Για να ληφθεί μία αντιπροσωπευτική χαρακτηριστική εξίσωση για το θερμοστοιχείο 4 λαμβάνονται υπόψη όλες οι μετρήσεις και από τις δύο βαθμονομήσεις που έγιναν. Έτσι προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα από την ανάλυση των ελαχίστων τετραγώνων (οι παρακάτω τιμές προκύπτουν απευθείας από το άθροισμα των επιμέρους αναλύσεων της πρώτης και της δεύτερης βαθμονόμησης):

$$[x]=1082 \quad [y]=35,9 \quad [x^2]=64052,5 \quad [xy]=2211,85 \quad [d^2]=0,04092$$

Επομένως μέσω των τύπων 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3 και 3.1-4: $\alpha = -0,84964$, $\beta = 0,048884$, $\delta\alpha = 0,03633$, $\delta\beta = 0,000642$

Με βάση τα παραπάνω κατασκευάζεται η χαρακτηριστική εξίσωση.



Σχήμα 3.1-12: Γραφική παράσταση της τελικής χαρακτηριστικής εξίσωσης ($\Delta\theta$ - V) του θερμοστοιχείου 4

Θερμοστοιχείο 5

➤ *Πρώτη βαθμονόμηση*

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας και τάσης που ελήφθησαν βρίσκονται στον πίνακα που ακολουθεί.

θ_1 (Pt 100)	θ_2 (Θερμόμ. Hg)	V
°C)	(°C)	(mV)
28	27	0,5
33	32	0,8
40	39	1,2
47	46	1,5
55	54	1,9
64	63	2,2
71	70	2,6
78	77	2,9
80	79	3

Πίνακας 3.1-17: Πειραματικές μετρήσεις της πρώτης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 5

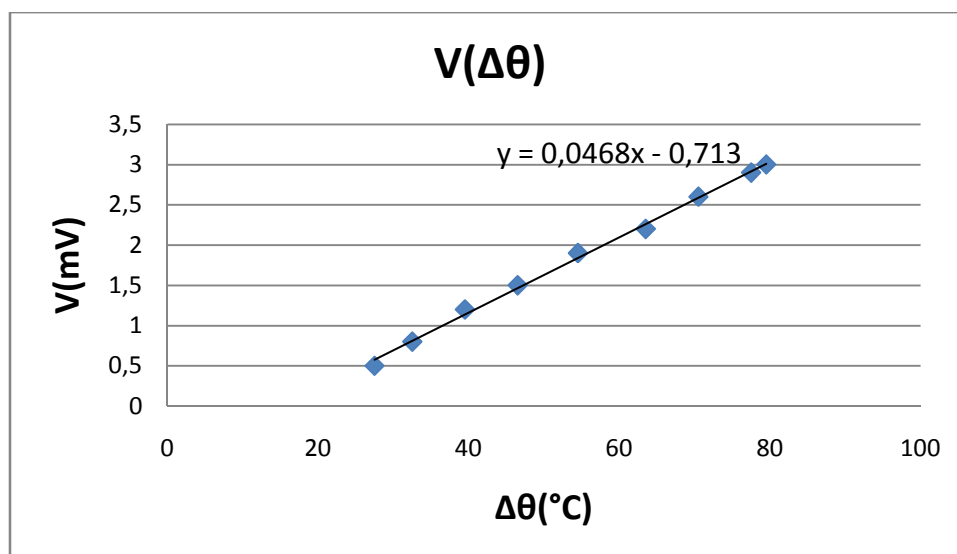
Λαμβάνοντας το μέσο όρο από τις δύο πρώτες στήλες του πίνακα, ώστε να ληφθεί μια μέση θερμοκρασία από τα δύο θερμομέτρα και με βάση την ανάλυση για τα ελάχιστα τετράγωνα που προηγήθηκε λαμβάνεται ο παρακάτω πίνακας.

x_i	y_i	x_i^2	x_i*y_i	d_i	d_i^2
27,5	0,5	756,25	13,75	-0,07484	0,005602
32,5	0,8	1056,25	26	-0,00899	8,09E-05
39,5	1,2	1560,25	47,4	0,063202	0,003994
46,5	1,5	2162,25	69,75	0,035395	0,001253
54,5	1,9	2970,25	103,55	0,060759	0,003692
63,5	2,2	4032,25	139,7	-0,06071	0,003685
70,5	2,6	4970,25	183,3	0,011486	0,000132
77,5	2,9	6006,25	224,75	-0,01632	0,000266
79,5	3	6320,25	238,5	-0,00998	9,96E-05
[x]=491,5	[y]=16,6	[x ²]=29834,25	[xy]=1046,7		[d ²]=0,018805

Πίνακας 3.1-18: Συντελεστές από ανάλυση ελαχίστων τετραγώνων της πρώτης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 5

Επομένως μέσω των τύπων 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3 και 3.1-4: $\alpha = -0,71297$, $\beta = 0,04683$, $\delta\alpha = 0,054547$, $\delta\beta = 0,000947$

Με βάση τα παραπάνω κατασκευάζεται η χαρακτηριστική.



Σχήμα 3.1-13: Γραφική παράσταση της χαρακτηριστικής εξίσωσης ($\Delta\theta-V$) της πρώτης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 5

➤ Δεύτερη βαθμονόμηση

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας και τάσης που ελήφθησαν βρίσκονται στον πίνακα που ακολουθεί.

θ_1 (Pt 100)	θ_2 (Θερμόμ. Hg)	V
(°C)	(°C)	(mV)
29	28	0,5
35	34	0,8
42	41	1,2
49	48	1,6
57	56	2
64	63	2,3
69	68	2,5
76	75	2,8
80	79	3

Πίνακας 3.1-19: Πειραματικές μετρήσεις της δεύτερης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 5

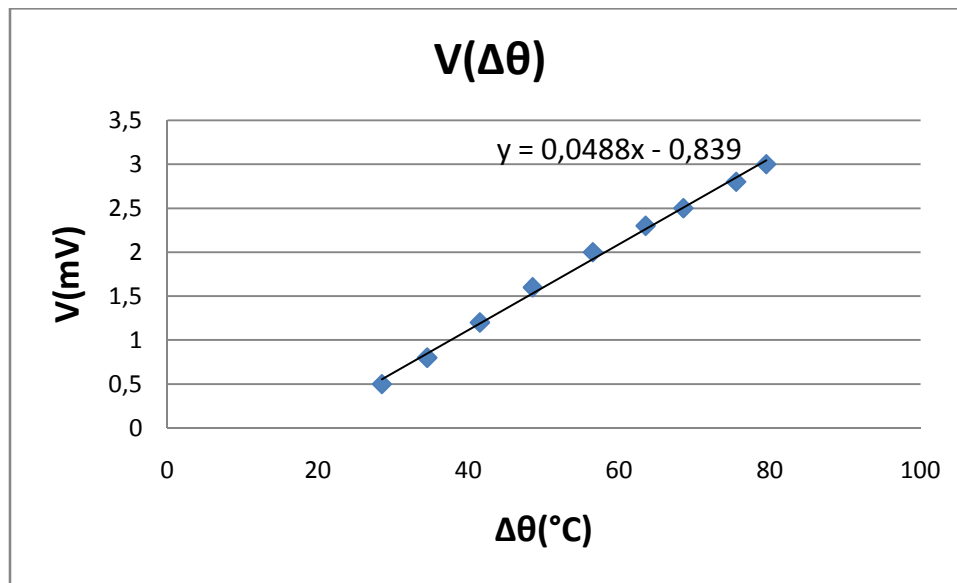
Λαμβάνοντας το μέσο όρο από τις δύο πρώτες στήλες του πίνακα, ώστε να ληφθεί μια μέση θερμοκρασία από τα δύο θερμοόμετρα και με βάση την ανάλυση για τα ελάχιστα τετράγωνα που προηγήθηκε λαμβάνεται ο παρακάτω πίνακας.

x_i	y_i	x_i^2	x_i*y_i	d_i	d_i^2
28,5	0,5	812,25	14,25	-0,05305	0,002814
34,5	0,8	1190,25	27,6	-0,04611	0,002126
41,5	1,2	1722,25	49,8	0,011979	0,000144
48,5	1,6	2352,25	77,6	0,070071	0,00491
56,5	2	3192,25	113	0,079319	0,006292
63,5	2,3	4032,25	146,05	0,037411	0,0014
68,5	2,5	4692,25	171,25	-0,00681	4,64E-05
75,5	2,8	5700,25	211,4	-0,04872	0,002373
79,5	3	6320,25	238,5	-0,04409	0,001944
[x]=496,5	[y]=16,7	[x ²]=30014,25	[xy]=1049,45		[d ²]=0,022049

Πίνακας 3.1-20: Συντελεστές από ανάλυση ελαχίστων τετραγώνων της δεύτερης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 5

Επομένως μέσω των τύπων 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3 και 3.1-4: $\alpha = -0,83901$, $\beta = 0,048844$, $\delta\alpha = 0,063271$, $\delta\beta = 0,001096$

Με βάση τα παραπάνω κατασκευάζεται η χαρακτηριστική εξίσωση.



Σχήμα 3.1-14: Γραφική παράσταση της χαρακτηριστικής εξίσωσης (ΔΘ-V) της δεύτερης βαθμονόμησης του θερμοστοιχείου 5

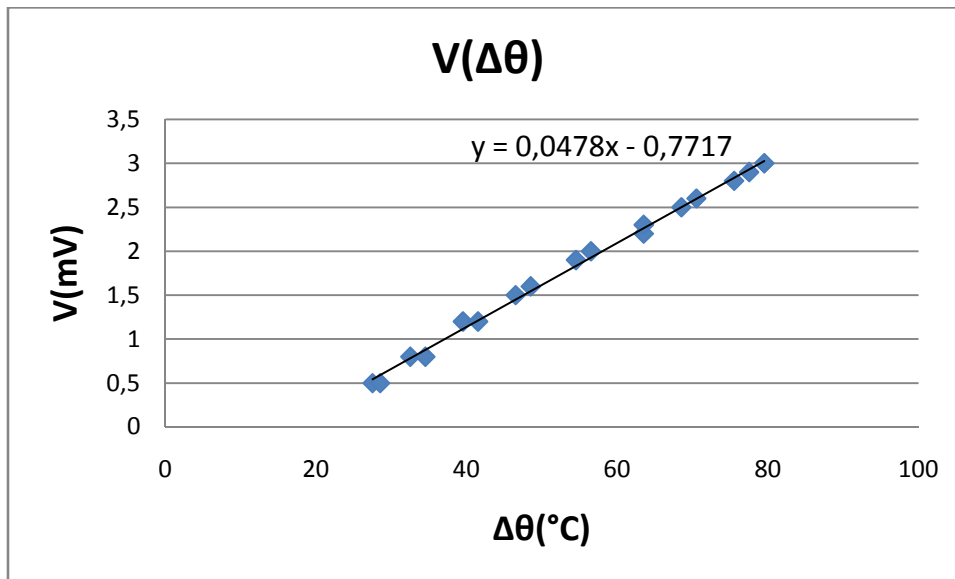
➤ *Τελική χαρακτηριστική εξίσωση του θερμοστοιχείου 5*

Για να ληφθεί μία αντιπροσωπευτική χαρακτηριστική εξίσωση για το θερμοστοιχείο 5 λαμβάνονται υπόψη όλες οι μετρήσεις και από τις δύο βαθμονομήσεις που έγιναν. Έτσι προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα από την ανάλυση των ελαχίστων τετραγώνων (οι παρακάτω τιμές προκύπτουν απευθείας από το άθροισμα των επιμέρους αναλύσεων της πρώτης και της δεύτερης βαθμονόμησης):

$$[x]=988 \quad [y]=33,3 \quad [x^2]=59848,5 \quad [xy]=2096,15 \quad [d^2]=0,040854$$

Επομένως μέσω των τύπων 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3 και 3.1-4: $\alpha = -0,7717$, $\beta = 0,047764$, $\delta\alpha = 0,038873$, $\delta\beta = 0,000674$

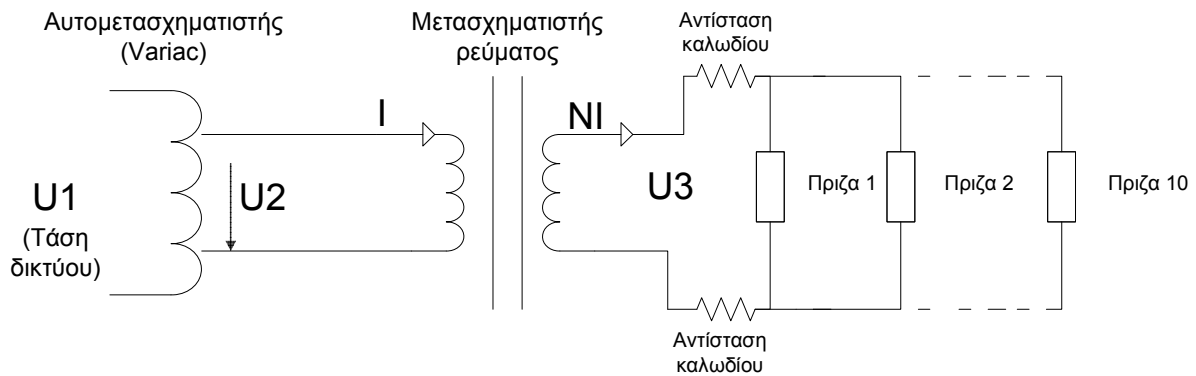
Με βάση τα παραπάνω κατασκευάζεται η χαρακτηριστική εξίσωση.



Σχήμα 3.1-15: Γραφική παράσταση της τελικής χαρακτηριστικής εξίσωσης ($\Delta\theta$ -V) του θερμοστοιχείου 5

3.2.1 Δοκιμή υπερθέρμανσης σε εξοπλισμό χαμηλής τάσης

Η δοκιμή υπερθέρμανσης αλλά και η δοκιμή βραχυκύκλωσης που παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο, έγιναν σε εξοπλισμό χαμηλής τάσης και συγκεκριμένα σε 10 πρίζες. Συγκεκριμένα η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.2.1-1: Κύκλωμα διάταξης δοκιμών υπερθέρμανσης και βραχυκύκλωσης σε 10 πρίζες

Αναλυτικότερα, το δίκτυο (η U_1 είναι η τάση δικτύου) τροφοδοτεί τον αυτομετασχηματιστή, ο οποίος ρυθμίζει μέσω της τάσης U_2 το ρεύμα εξόδου του μετασχηματιστή ρεύματος. Τέλος, οι ακροδέκτες εξόδου του μετασχηματιστή ρεύματος, οι οποίοι έχουν τάση U_3 , τροφοδοτούν μέσω καλωδίων τις 10 πρίζες οι οποίες είναι παράλληλες μεταξύ τους και γεφυρωμένες μία προς μία.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι πρίζες που χρησιμοποιήθηκαν στη δοκιμή είχαν ονομαστικό ρεύμα 16A. Η δοκιμή υπερθέρμανσης έγινε πρώτα για τις πρίζες 1-5 και ύστερα για τις πρίζες 6-10. Επομένως, εφόσον στη δοκιμή συμμετείχαν 5 πρίζες κάθε φορά, το ρεύμα εξόδου του μετασχηματιστή ρεύματος ρυθμίστηκε στα 80A (5 πρίζες επί 16A το ονομαστικό ρεύμα της κάθε πρίζας). Τέλος, τα καλώδια σύνδεσης (από χαλκό) του μετασχηματιστή ρεύματος με τις πρίζες είχαν διατομή 35mm^2 (κατάλληλη διατομή για μέγιστη ένταση συνεχούς λειτουργίας 80A), ενώ τα καλώδια (από χαλκό) που χρησιμοποιήθηκαν για τον παραλληλισμό και τη βραχυκύκλωση των πριζών ήταν 1.5mm^2 . Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας στις πρίζες χρησιμοποιήθηκαν θερμοστοιχεία.

Η δοκιμή υπερθέρμανσης πραγματοποιήθηκε με δύο εκδοχές όσον αφορά τη γεφύρωση των πριζών. Πρώτα η γεφύρωση έγινε στις υποδοχές τροφοδοσίας των πριζών και ύστερα στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου. Αντίστοιχη ήταν και η θέση μέτρησης των θερμοστοιχείων σε κάθε περίπτωση.

Η δοκιμή υπερθέρμανσης θεωρείται ότι είναι επιτυχής, όταν η θερμοκρασία δεν υπερβεί κάποιο συγκεκριμένο κατά τις προδιαγραφές όριο, που είναι της τάξεως 55÷60 °C ως προς τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Επίσης η δοκιμή υπερθέρμανσης διακόπτεται όταν παρέλθει μία ώρα και η μεταβολή θερμοκρασίας μέσα στην ώρα είναι το πολύ 1 °C.

➤ Δοκιμή υπερθέρμανσης στις πρίζες 1-5 με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετρήσεων που ελήφθησαν κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής είναι τα εξής:

t(min)	U ₁ (V)	U ₂ (V)	U ₃ (V)	θ _x (°C)	θ ₁ (°C)	θ ₂ (°C)	θ ₃ (°C)	θ ₄ (°C)	θ ₅ (°C)	I(A)
0	224,7	80	0,451	24	24	24	24	24	24	80
15	223,3	79,3	0,449	24	49,6	45,6	42,9	47,1	33	82,6
30	225,5	79,8	0,451	24	51,8	47,5	43,4	49	33	81,5
45	225,4	80	0,455	24	52,7	46,5	46,1	50,2	33	80,5
60	227,3	80,8	0,459	24	55,7	47,2	46,5	50,8	33	80,4
75	228,2	81	0,455	25	56,7	48,2	44,8	55,8	33	81,1
90	226,7	80,3	0,455	25	55	50	45,5	54,4	33	81
105	227,7	80,6	0,455	25	55,9	50,3	45,1	51,7	35	80,4
120	225,8	80,3	0,452	25	56,4	48,9	43,8	52,2	34	79,3
135	226,3	80,2	0,455	25	56,7	49	43,8	52,4	31	79

Πίνακας 3.2.1-1: Δοκιμής υπερθέρμανσης στις πρίζες 1-5 με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας, όπου θ_x είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος, θ₁ έως θ₅ οι θερμοκρασίες των πριζών 1 έως 5 αντίστοιχα και I το ρεύμα εξόδου του μετασχηματιστή ρεύματος.

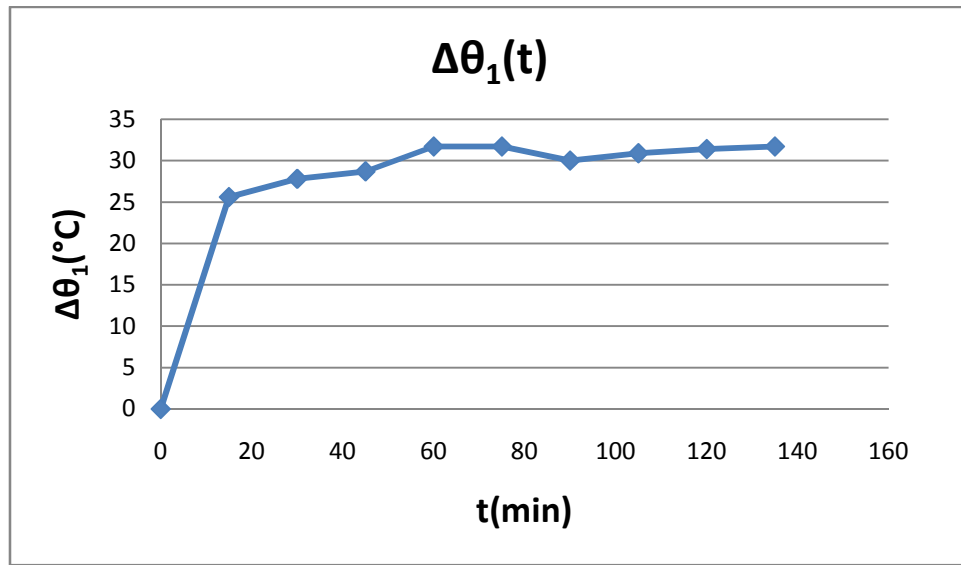
Οι διαφορές θερμοκρασίας των πριζών σε σχέση με τη θερμοκρασία θ_x προκύπτουν από τον πίνακα 3.2.1-1 ως εξής:

Δθ ₁ (°C)	Δθ ₂ (°C)	Δθ ₃ (°C)	Δθ ₄ (°C)	Δθ ₅ (°C)
0	0	0	0	0
25,6	21,6	18,9	23,1	9
27,8	23,5	19,4	25	9
28,7	22,5	22,1	26,2	9
31,7	23,2	22,5	26,8	9
31,7	23,2	19,8	30,8	8
30	25	20,5	29,4	8
30,9	25,3	20,1	26,7	10

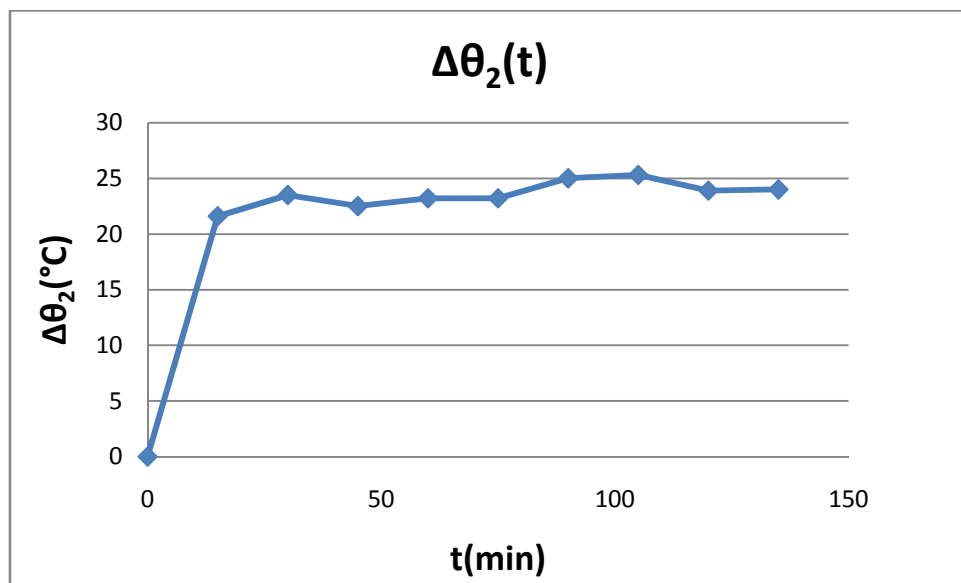
31,4	23,9	18,8	27,2	9
31,7	24	18,8	27,4	6

Πίνακας 3.2.1-2: Διαφορές θερμοκρασίας των πρίζων 1-5 σε σχέση με τη θερμοκρασία θ_x κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας

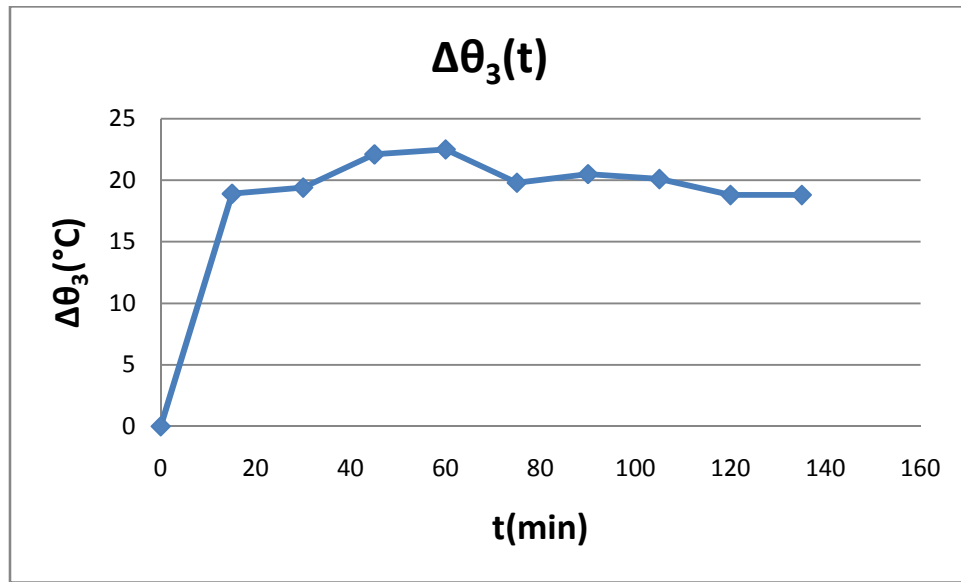
Οι γραφικές παραστάσεις που δείχνουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ κάθε πρίζας σε σχέση με το χρόνο ακολουθούν παρακάτω:



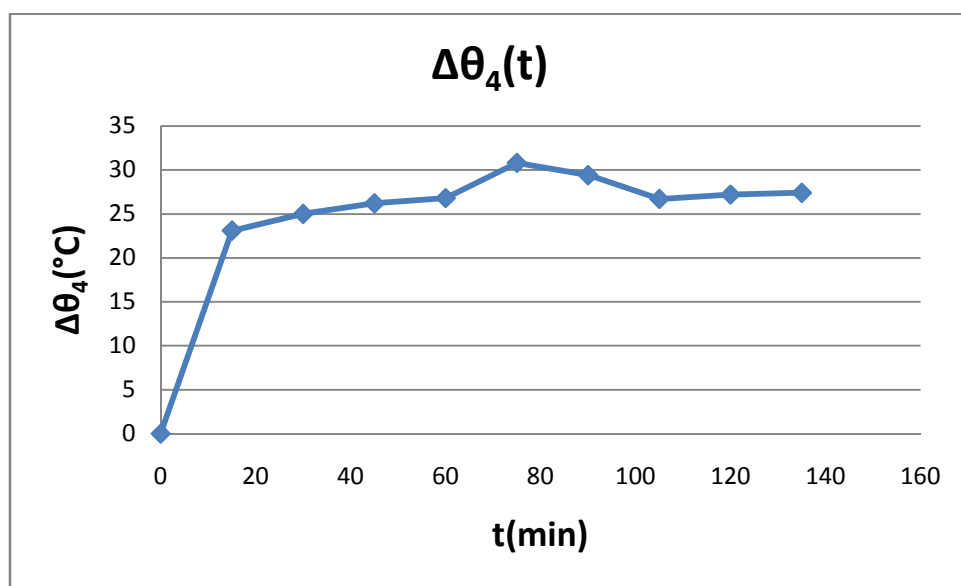
Σχήμα 3.2.1-2: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 1 σε σχέση με το χρόνο t, κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας



Σχήμα 3.2.1-3: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 2 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας

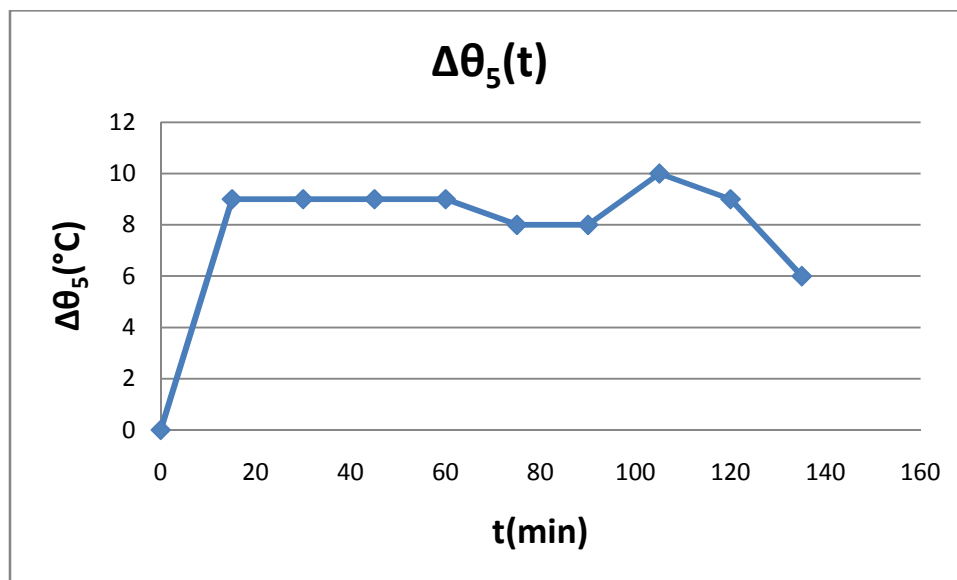


Σχήμα 3.2.1-4: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 3 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας



Σχήμα 3.2.1-5: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 4 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας

με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας



Σχήμα 3.2.1-6: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 5 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας

Επιπλέον, κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης μετρήθηκαν τα επιμέρους ρεύματα της κάθε πρίζας (I_1 - I_5), ώστε να εξαχθεί συμπέρασμα για το ονομαστικό ρεύμα της κάθε πρίζας. Συνολικά ελήφθησαν οι παρακάτω μετρήσεις ρευμάτων κατά τη διάρκεια της δοκιμής υπερθέρμανσης:

I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)	I_4 (A)	I_5 (A)
14	19,6	18,5	21,5	10,7
12,9	15,3	15,7	22,5	11,1
12	13,3	13	23,2	11,2
12,8	13,7	13,2	22,4	10,9
13	14,1	13,1	23,2	11,3
13,1	16	13,2	23,2	11,4

Πίνακας 3.2.1-3: Ρεύματα I_1 - I_5 των πριζών 1-5 αντίστοιχα κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας

Οι μέσες τιμές των ρευμάτων για τις πρίζες 1-5 με βάση τον πίνακα 3.2.1-3 είναι οι εξής:

$\bar{I}_1(A)$	$\bar{I}_2(A)$	$\bar{I}_3(A)$	$\bar{I}_4(A)$	$\bar{I}_5(A)$
12,97	15,33	14,45	22,67	11,1

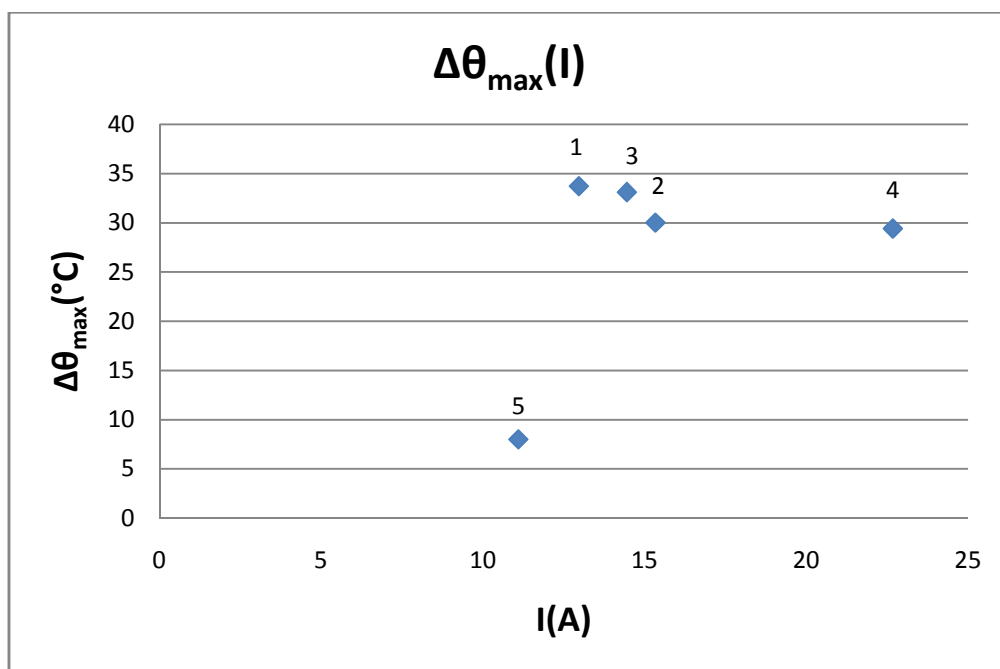
Πίνακας 3.2.1-4: Μέση τιμή ρευμάτων των πριζών 1-5 κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας

Τέλος κατά την ολοκλήρωση της δοκιμής έγινε θερμομέτρηση σε κάθε επαφή των πριζών, ώστε να βρεθεί η μέγιστη θερμοκρασία της κάθε πρίζας τη δεδομένη στιγμή σε περίπτωση που αυτή δεν ταυτίζεται με το σημείο μέτρησης. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν $\theta_x=25$ °C. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν είναι τα παρακάτω:

Πρίζα	$\theta_{\max} (^{\circ}C)$	$\Delta\theta_{\max} (^{\circ}C)$
1	56,7	31,7
2	55	30
3	58,1	33,1
4	54,4	29,4
5	33	8

Πίνακας 3.2.1-5: Μέγιστη θερμοκρασία επαφής θ_{\max} και $\Delta\theta_{\max}$ ($\Delta\theta_{\max} = \theta_{\max} - \theta_x$) των πριζών 1-5, κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας

Με βάση τους πίνακες 3.2.1-4 και 3.2.1-5 λαμβάνεται η παρακάτω γραφική παράσταση:



Σχήμα 3.2.1-7: Γραφική παράσταση της μέγιστης θερμοκρασίας $\Delta\theta_{\max}$ των πριζών 1-5 σε σχέση με το αντίστοιχο ρεύμα κάθε πρίζας, κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας.

➤ Δοκιμή υπερθέρμανσης στις πρίζες 6-10 με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετρήσεων που ελήφθησαν κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής είναι τα εξής:

t(min)	U ₁ (V)	U ₂ (V)	U ₃ (V)	θ _x (°C)	θ ₆ (°C)	θ ₇ (°C)	θ ₈ (°C)	θ ₉ (°C)	θ ₁₀ (°C)	I(A)
0	226,6	76,2	0,432	25	25	25	25	25	25	80
15	226	76,1	0,431	25	35,6	52,9	62,4	49,8	39	80,8
30	226,2	76,3	0,43	25	35,9	52,1	62,4	47,8	37	81
45	226,5	75,8	0,428	25	35,6	52,2	62,4	49,5	40	80,7
60	224,8	75,6	0,428	25	35,7	52	62,6	49,8	40	80,5
75	222,4	74,8	0,423	25	35,5	51,7	61,9	49,8	41	79,6
90	224,2	75,2	0,423	25	35,4	51,5	62,1	49,3	40	79,8
105	227,3	76,4	0,434	25	35,8	52	63,1	49,4	41	81,4

Πίνακας 3.2.1-6: Δοκιμής υπερθέρμανσης στις πρίζες 6-10 με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας, όπου θ_x είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος, θ₆ έως θ₁₀ οι θερμοκρασίες των πριζών 6 έως 10 αντίστοιχα και I το ρεύμα εξόδου του μετασχηματιστή ρεύματος.

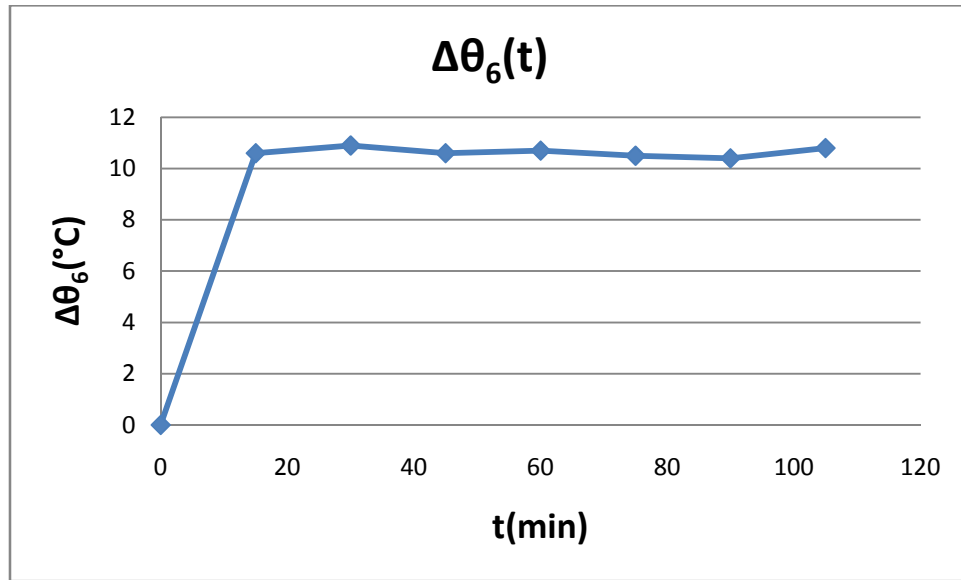
Οι διαφορές θερμοκρασίας των πριζών σε σχέση με τη θερμοκρασία θ_x προκύπτουν από τον πίνακα 3.2.1-6 ως εξής:

Δθ ₆ (°C)	Δθ ₇ (°C)	Δθ ₈ (°C)	Δθ ₉ (°C)	Δθ ₁₀ (°C)
0	0	0	0	0
10,6	27,9	37,4	24,8	14
10,9	27,1	37,4	22,8	12
10,6	27,2	37,4	24,5	15
10,7	27	37,6	24,8	15
10,5	26,7	36,9	24,8	16
10,4	26,5	37,1	24,3	15
10,8	27	38,1	24,4	16

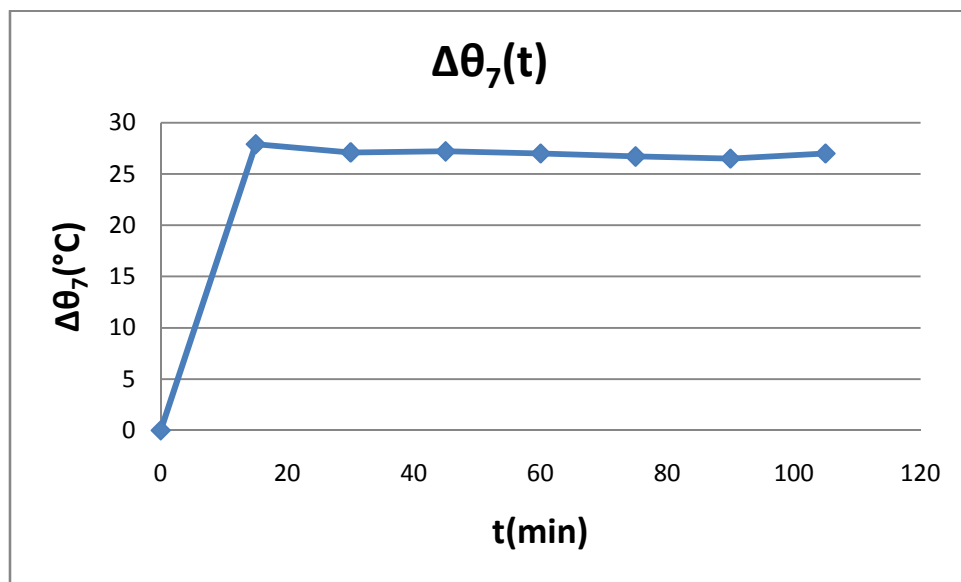
Πίνακας 3.2.1-7: Διαφορές θερμοκρασίας των πριζών 6-10 σε σχέση με τη θερμοκρασία θ_x

κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας

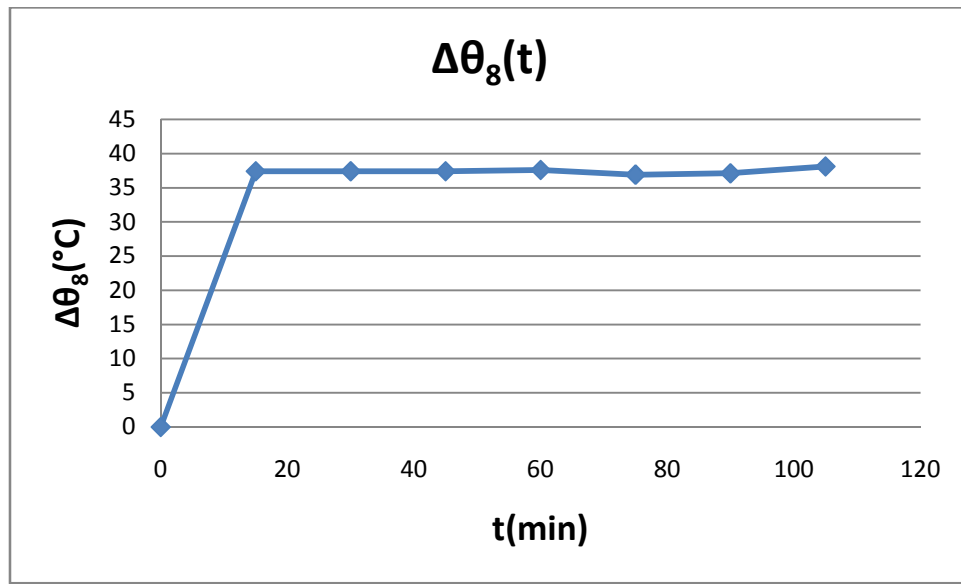
Οι γραφικές παραστάσεις που δείχνουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ κάθε πρίζας σε σχέση με το χρόνο ακολουθούν παρακάτω:



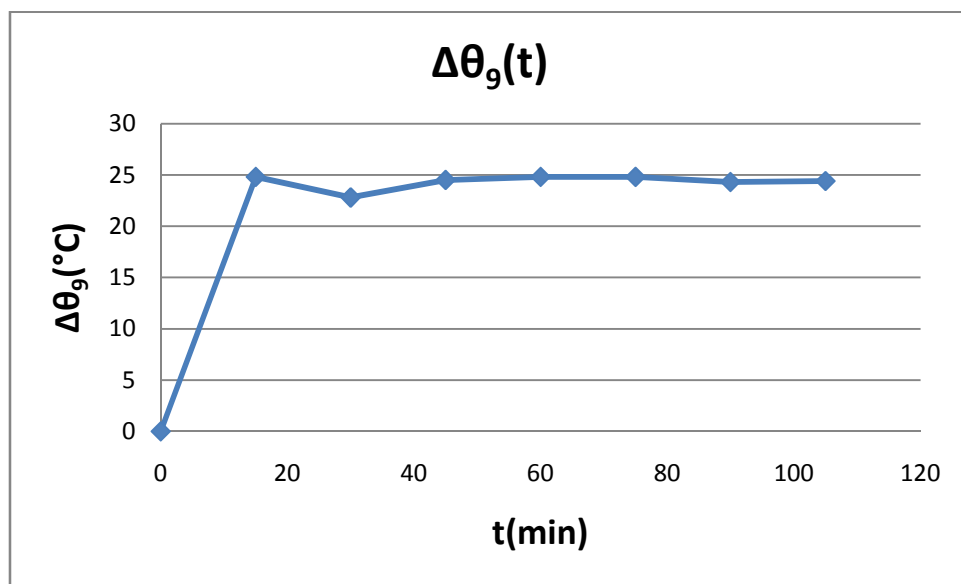
Σχήμα 3.2.1-8: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 6 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας



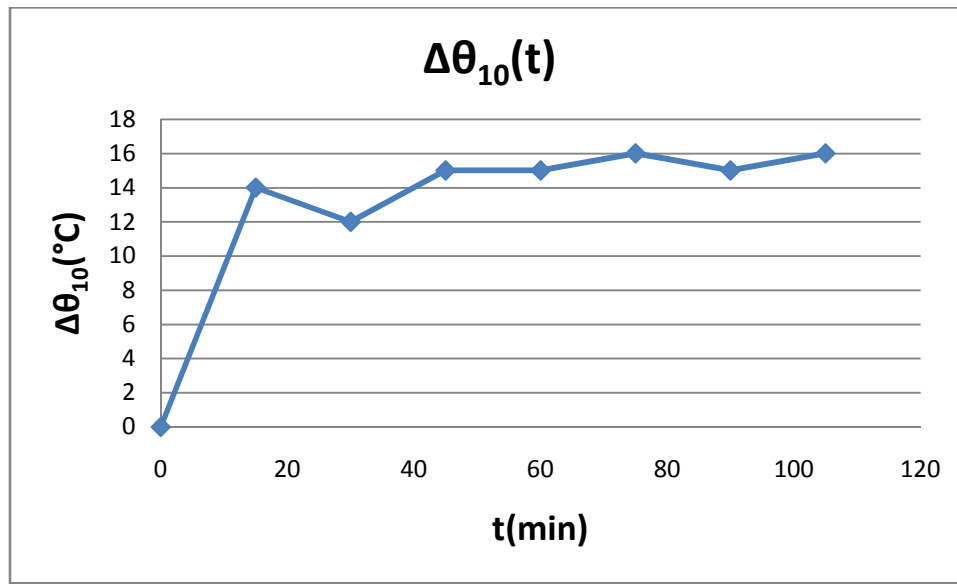
Σχήμα 3.2.1-9: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 7 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας



Σχήμα 3.2.1-10: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 8 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας



Σχήμα 3.2.1-11: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 9 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας



Σχήμα 3.2.1-12: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 10 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας

Επιπλέον, κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης μετρήθηκαν τα επιμέρους ρεύματα της κάθε πρίζας (I_6 - I_{10}), ώστε να εξαχθεί συμπέρασμα για το ονομαστικό ρεύμα της κάθε πρίζας. Συνολικά ελήφθησαν οι παρακάτω μετρήσεις ρευμάτων κατά τη διάρκεια της δοκιμής υπερθέρμανσης:

I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}
9,5	17,7	19	16,4	15,1
9,7	18,2	19,4	16,5	14,9
9,6	18	19,4	16,9	15
9,6	18	19,1	16,8	14,7

Πίνακας 3.2.1-8: Ρεύματα I_6 - I_{10} των πριζών 6-10 αντίστοιχα κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας

Οι μέσες τιμές των ρευμάτων για τις πρίζες 6-10 με βάση τον πίνακα 3.2.1-8 είναι οι εξής:

$\bar{I}_6(A)$	$\bar{I}_7(A)$	$\bar{I}_8(A)$	$\bar{I}_9(A)$	$\bar{I}_{10}(A)$
9,6	17,98	19,23	16,65	14,93

Πίνακας 3.2.1-9: Μέση τιμή ρευμάτων των πριζών 6-10 κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας

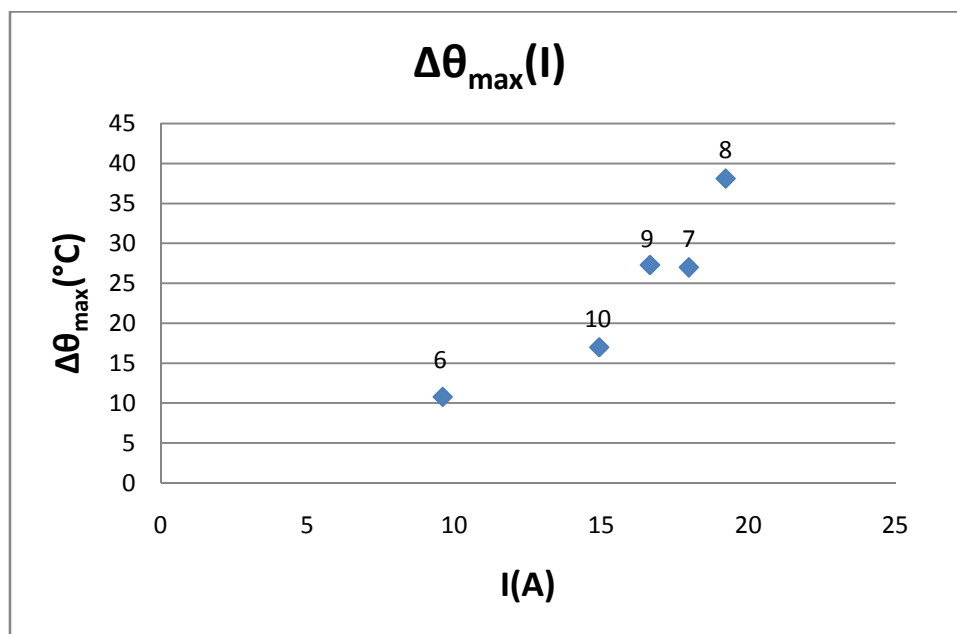
Τέλος κατά την ολοκλήρωση της δοκιμής έγινε θερμομέτρηση σε κάθε επαφή των πριζών,

ώστε να βρεθεί η μέγιστη θερμοκρασία της κάθε πρίζας τη δεδομένη στιγμή σε περίπτωση που αυτή δεν ταυτίζεται με το σημείο μέτρησης. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν $\theta_x=25$ °C. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν είναι τα παρακάτω:

Πρίζα	θ_{\max} (°C)	$\Delta\theta_{\max}$ (°C)
6	35,8	10,8
7	52	27
8	63,1	38,1
9	52,3	27,3
10	42	17

Πίνακας 3.2.1-10: Μέγιστη θερμοκρασία επαφής θ_{\max} και $\Delta\theta_{\max}$ ($\Delta\theta_{\max} = \theta_{\max} - \theta_x$) των πριζών 6-10 κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας

Με βάση τους πίνακες 3.2.1-9 και 3.2.1-10 λαμβάνεται παρακάτω γραφική παράσταση:



Σχήμα 3.2.1-13: Γραφική παράσταση της μέγιστης θερμοκρασίας $\Delta\theta_{\max}$ των πριζών 6-10 σε σχέση με το αντίστοιχο ρεύμα κάθε πρίζας, κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας

➤ Δοκιμή υπερθέρμανσης στις πρίζες 1-5 με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετρήσεων που ελήφθησαν κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής είναι τα εξής:

t(min)	U ₁ (V)	U ₂ (V)	U ₃ (V)	θ _x (°C)	θ ₁ (°C)	θ ₂ (°C)	θ ₃ (°C)	θ ₄ (°C)	θ ₅ (°C)	I(A)
0	227,2	84	0,491	23	23	23	23	23	23	80
15	226,5	83,7	0,489	23	55	52,9	64	63,5	49,9	80,3
30	227	84,3	0,492	23	58	62	66,1	66,8	49,7	80,4
45	227,2	84,3	0,493	23	61	59,6	67,6	67,1	50,2	80,9
60	227	84,2	0,493	23	61	61,2	65,9	66,9	48,9	80,3
75	226,6	84	0,492	23	61	59,7	65,6	67	48,6	80,4
90	225,4	83,6	0,489	23	60	58,4	66,1	66,6	46,8	79,5
105	224,4	83,2	0,487	23	60	58,3	65,1	65,8	46,3	79,5
120	224,3	83	0,485	23	59	58,5	65,2	65,6	46,4	79,4

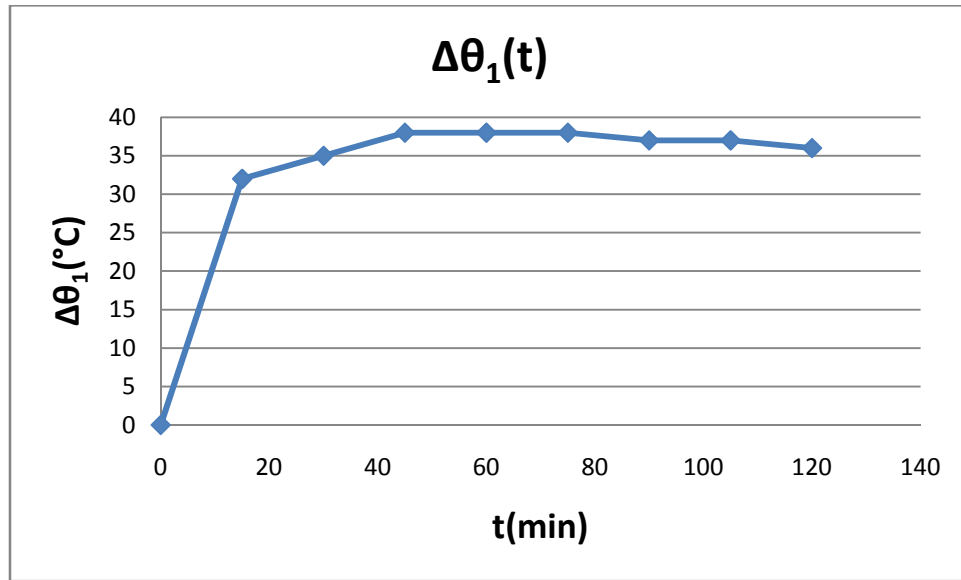
Πίνακας 3.2.1-11: Δοκιμής υπερθέρμανσης στις πρίζες 1-5 με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου, όπου θ_x είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος, θ₁ έως θ₅ οι θερμοκρασίες των πριζών 1 έως 5 αντίστοιχα και I το ρεύμα εξόδου του μετασχηματιστή ρεύματος.

Οι διαφορές θερμοκρασίας των πριζών σε σχέση με τη θερμοκρασία θ_x προκύπτουν από τον πίνακα 3.2.1-11 ως εξής:

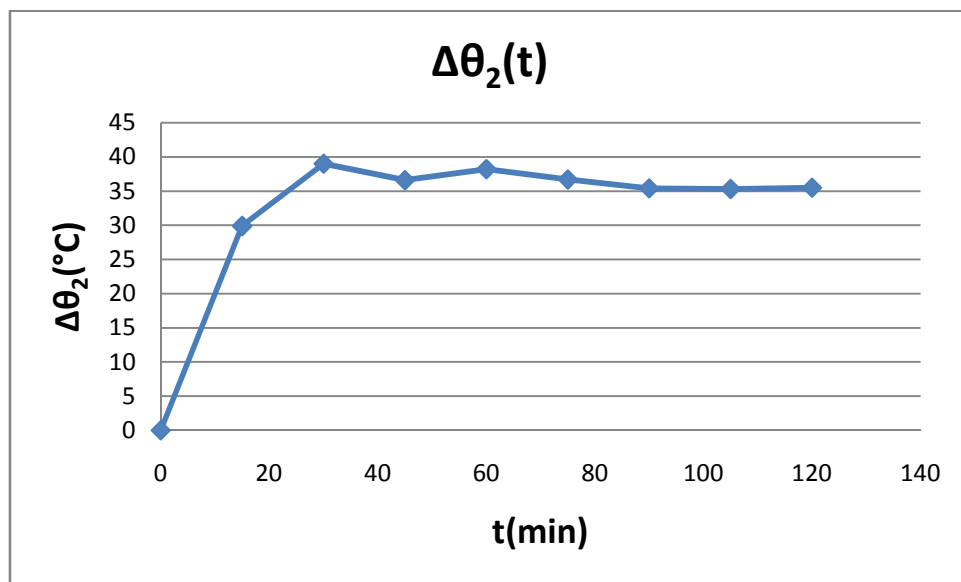
Δθ ₁ (°C)	Δθ ₂ (°C)	Δθ ₃ (°C)	Δθ ₄ (°C)	Δθ ₅ (°C)
0	0	0	0	0
32	29,9	41	40,5	26,9
35	39	43,1	43,8	26,7
38	36,6	44,6	44,1	27,2
38	38,2	42,9	43,9	25,9
38	36,7	42,6	44	25,6
37	35,4	43,1	43,6	23,8
37	35,3	42,1	42,8	23,3
36	35,5	42,2	42,6	23,4

Πίνακας 3.2.1-12: Διαφορές θερμοκρασίας των πριζών 1-5 σε σχέση με τη θερμοκρασία θ_x κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου

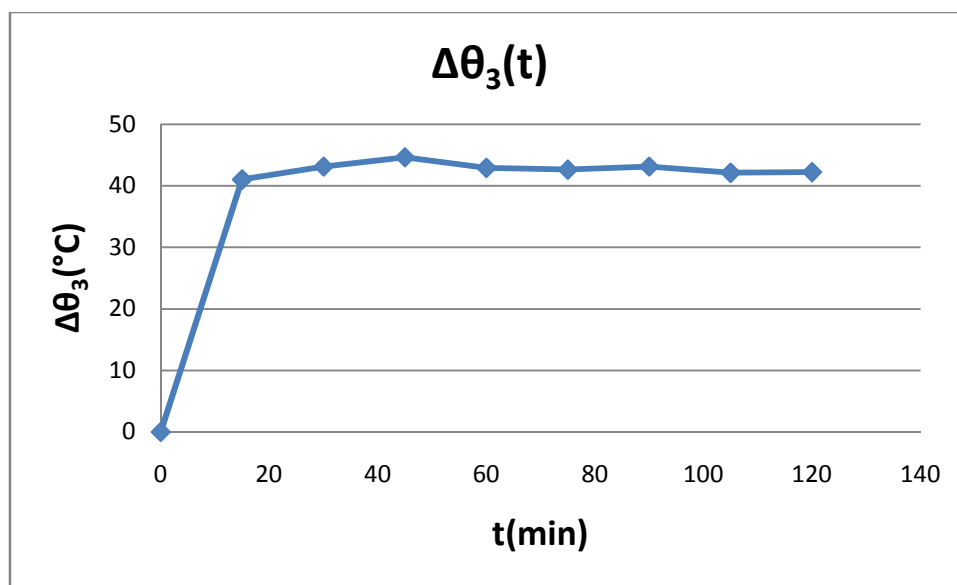
Οι γραφικές παραστάσεις που δείχνουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ κάθε πρίζας σε σχέση με το χρόνο ακολουθούν παρακάτω:



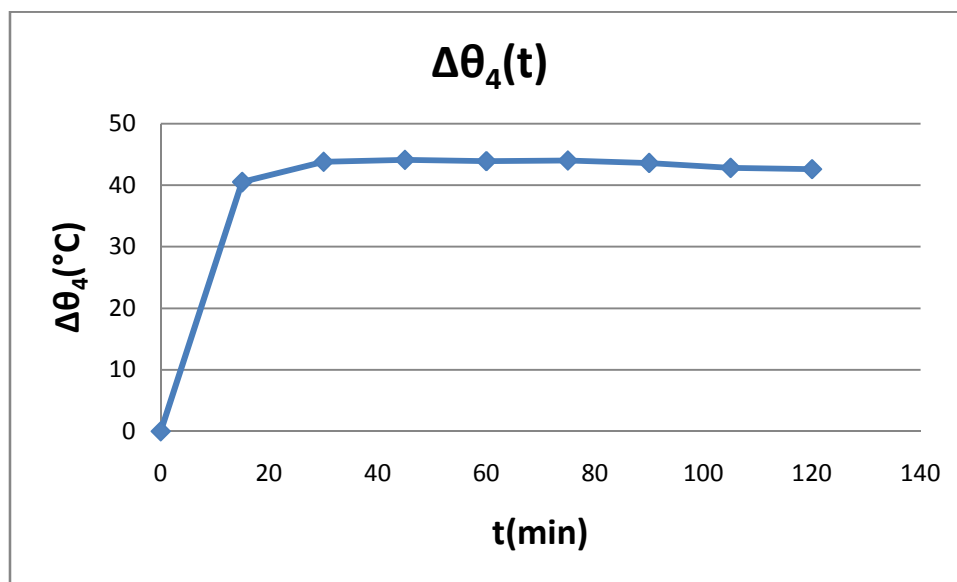
Σχήμα 3.2.1-14: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 1 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου



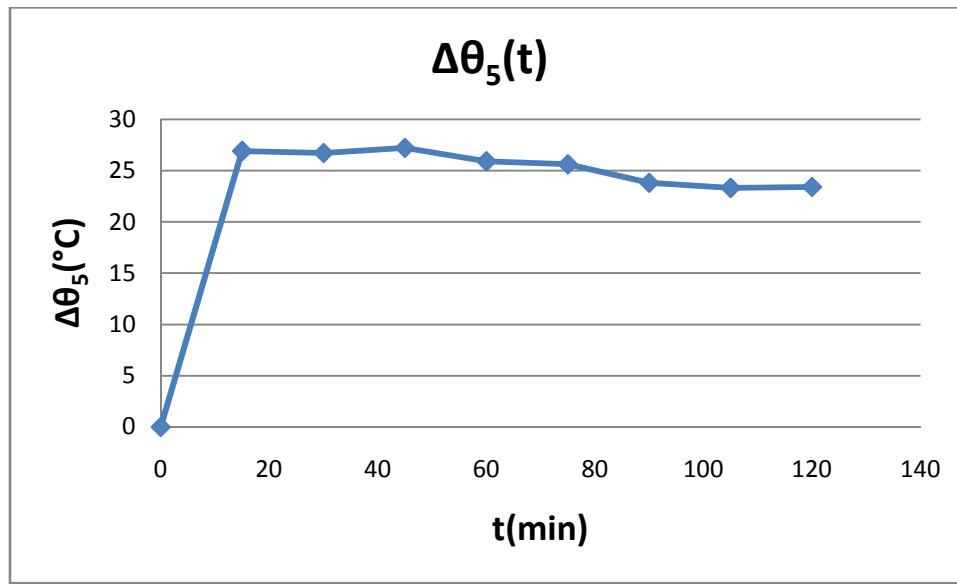
Σχήμα 3.2.1-15: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 2 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου



Σχήμα 3.2.1-16: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 3 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου



Σχήμα 3.2.1-17: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 4 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου



Σχήμα 3.2.1-18: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 5 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου

Επιπλέον, κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης μετρήθηκαν τα επιμέρους ρεύματα της κάθε πρίζας (I_1 - I_5), ώστε να εξαχθεί συμπέρασμα για το ονομαστικό ρεύμα της κάθε πρίζας. Συνολικά ελήφθησαν οι παρακάτω μετρήσεις ρευμάτων κατά τη διάρκεια της δοκιμής υπερθέρμανσης:

I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)	I_4 (A)	I_5 (A)
15	9,2	20,6	21,5	11,8
15,2	9,3	20,3	22,1	10,4
13,8	9,5	20,2	23,3	11,2
15,8	10,8	19,8	23,1	10,3
15	10,1	19,2	22,8	11,1

Πίνακας 3.2.1-13: Ρεύματα I_1 - I_5 των πριζών 1-5 αντίστοιχα κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου

Οι μέσες τιμές των ρευμάτων για τις πρίζες 1-5 με βάση τον πίνακα 3.2.1-13 είναι οι εξής:

\bar{I}_1 (A)	\bar{I}_2 (A)	\bar{I}_3 (A)	\bar{I}_4 (A)	\bar{I}_5 (A)
14,96	9,78	20,02	22,56	10,96

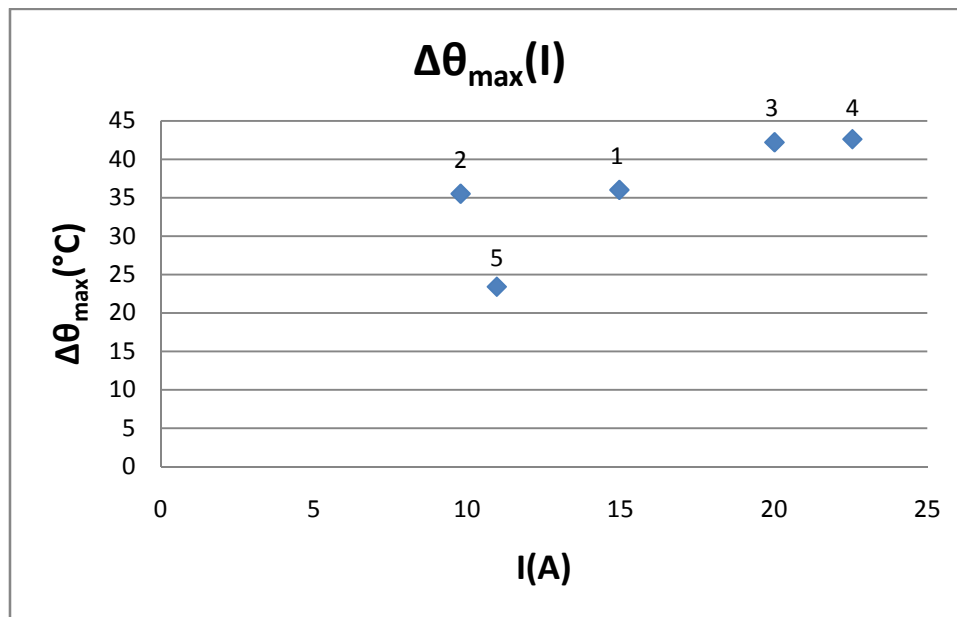
Πίνακας 3.2.1-14: Μέση τιμή ρευμάτων των πριζών 1-5 κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου

Τέλος κατά την ολοκλήρωση της δοκιμής έγινε θερμομέτρηση σε κάθε επαφή των πριζών, ώστε να βρεθεί η μέγιστη θερμοκρασία της κάθε πρίζας τη δεδομένη στιγμή σε περίπτωση που αυτή δεν ταυτίζεται με το σημείο μέτρησης. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν $\theta_x=23$ °C. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν είναι τα παρακάτω:

Πρίζα	θ_{\max} (°C)	$\Delta\theta_{\max}$ (°C)
1	59	36
2	58,5	35,5
3	65,2	42,2
4	65,6	42,6
5	46,4	23,4

Πίνακας 3.2.1-15: Μέγιστη θερμοκρασία επαφής θ_{\max} και $\Delta\theta_{\max}$ ($\Delta\theta_{\max} = \theta_{\max} - \theta_x$) των πριζών 1-5 κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου

Με βάση τους πίνακες 3.2.1-14 και 3.2.1-15 λαμβάνεται παρακάτω γραφική παράσταση:



Σχήμα 3.2.1-19: Γραφική παράσταση της μέγιστης θερμοκρασίας $\Delta\theta_{\max}$ των πριζών 1-5 σε σχέση με το αντίστοιχο ρεύμα κάθε πρίζας, κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου.

- Δοκιμή υπερθέρμανσης στις πρίζες 6-10 με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετρήσεων που ελήφθησαν κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής είναι τα εξής:

t(min)	U ₁ (V)	U ₂ (V)	U ₃ (V)	θ _x (°C)	θ ₆ (°C)	θ ₇ (°C)	θ ₈ (°C)	θ ₉ (°C)	θ ₁₀ (°C)	I(A)
0	225,2	80	0,447	23	23	23	23	23	23	80
15	225,8	80,5	0,451	23	40	54,6	66,9	53,3	48	80,4
30	226,6	81	0,452	23	41	55,2	67,4	53,1	48,3	80,9
45	226,5	80,8	0,453	23	42	55,5	67,3	52,9	47,6	81
60	227,6	81	0,452	23	42	55,7	68,2	53,5	48,5	81,2
75	227,5	81,1	0,453	23	43	55,2	68,2	52,9	48,2	81,3
90	228,7	81,5	0,454	23	42	54,5	68	52,7	48	81,9
105	226,9	80,9	0,453	23	43	55,1	67,4	52,7	48	81,3
120	227,2	81	0,453	23	43	55,4	68,1	53,3	48,2	80,6

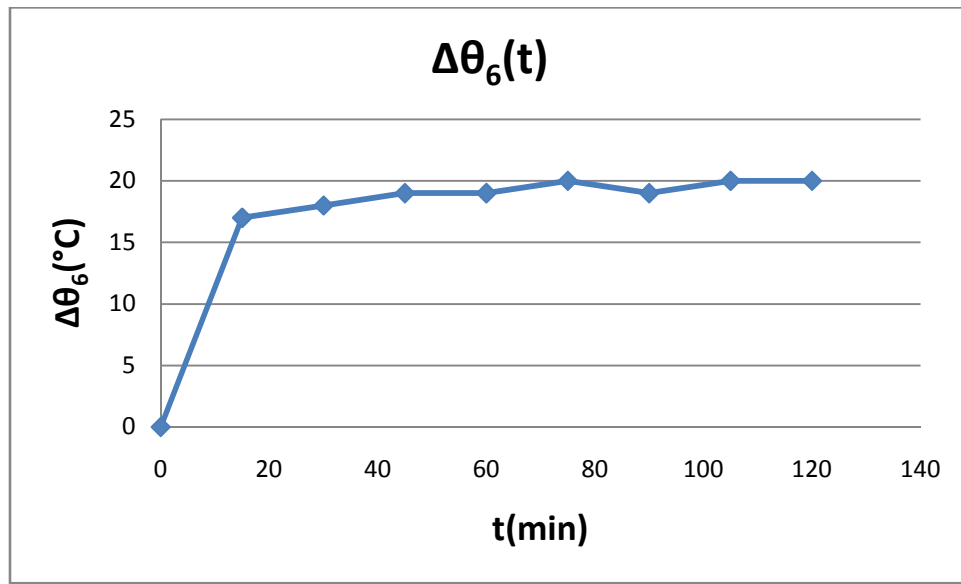
Πίνακας 3.2.1-16: Δοκιμή υπερθέρμανσης στις πρίζες 6-10 με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου, όπου θ_x είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος, θ₆ έως θ₁₀ οι θερμοκρασίες των πριζών 6 έως 10 αντίστοιχα και I το ρεύμα εξόδου του μετασχηματιστή ρεύματος.

Οι διαφορές θερμοκρασίας των πριζών σε σχέση με τη θερμοκρασία θ_x προκύπτουν από τον πίνακα 3.2.1-16 ως εξής:

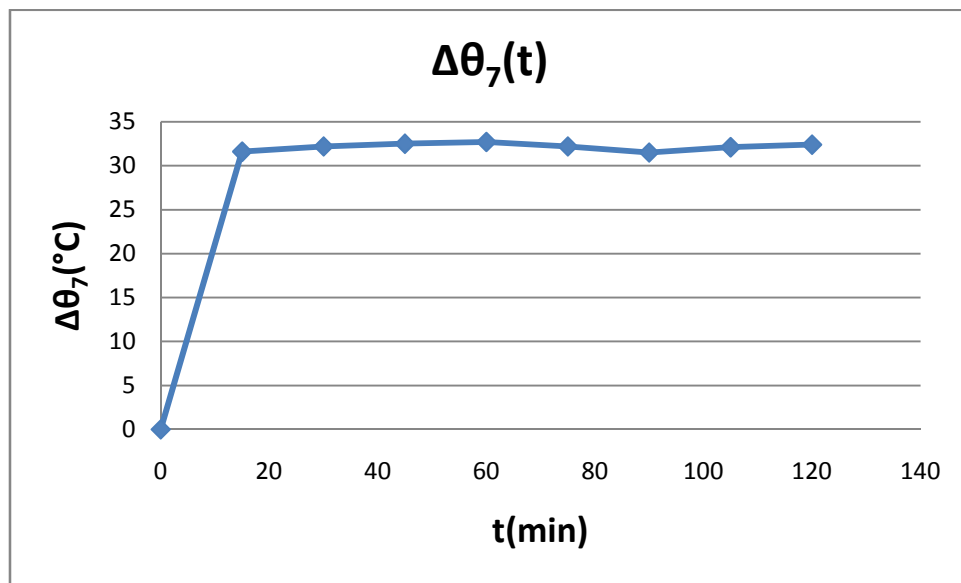
Δθ ₆ (°C)	Δθ ₇ (°C)	Δθ ₈ (°C)	Δθ ₉ (°C)	Δθ ₁₀ (°C)
0	0	0	0	0
17	31,6	43,9	30,3	25
18	32,2	44,4	30,1	25,3
19	32,5	44,3	29,9	24,6
19	32,7	45,2	30,5	25,5
20	32,2	45,2	29,9	25,2
19	31,5	45	29,7	25
20	32,1	44,4	29,7	25
20	32,4	45,1	30,3	25,2

Πίνακας 3.2.1-17: Διαφορές θερμοκρασίας των πριζών 6-10 σε σχέση με τη θερμοκρασία θ_x κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου

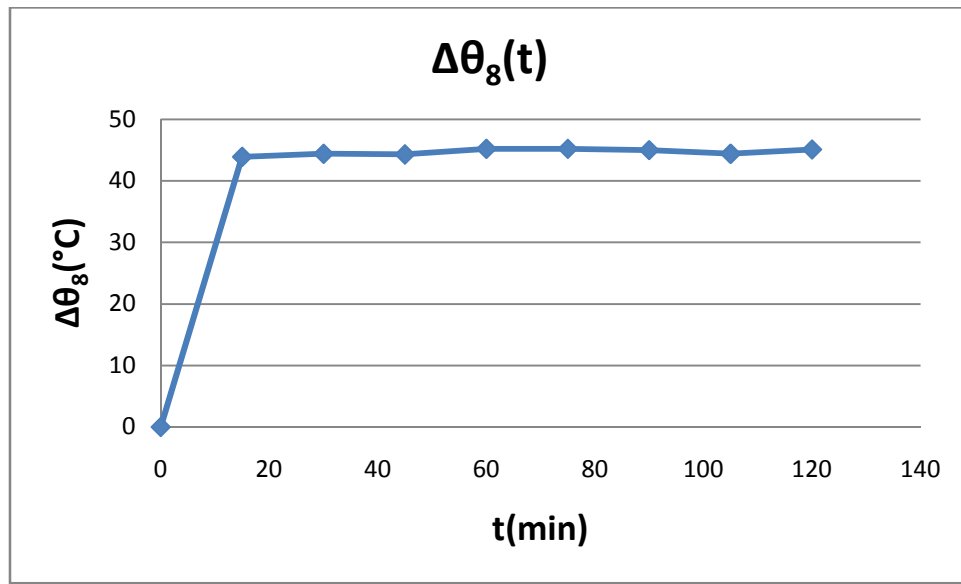
Οι γραφικές παραστάσεις που δείχνουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας Δθ κάθε πρίζας σε σχέση με το χρόνο ακολουθούν παρακάτω:



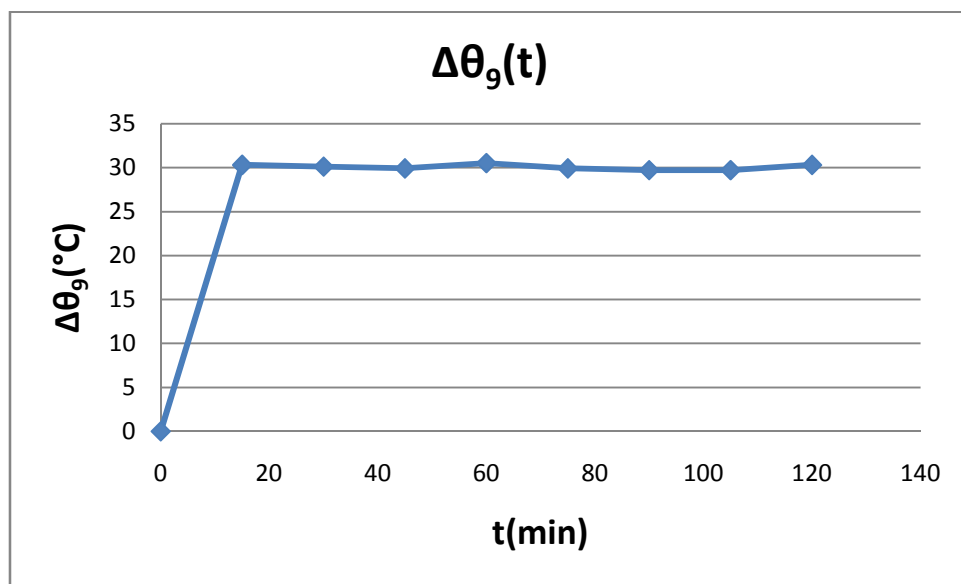
Σχήμα 3.2.1-20: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 6 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου



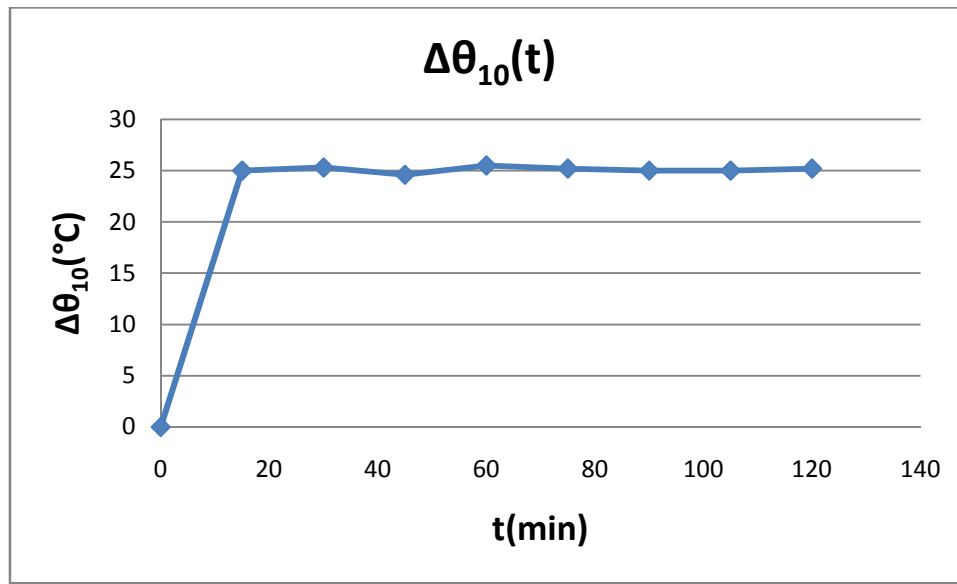
Σχήμα 3.2.1-21: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 7 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου



Σχήμα 3.2.1-22: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 8 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου



Σχήμα 3.2.1-23: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 9 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου



Σχήμα 3.2.1-24: Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ της πρίζας 10 σε σχέση με το χρόνο t , κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου

Επιπλέον, κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης μετρήθηκαν τα επιμέρους ρεύματα της κάθε πρίζας (I_6 - I_{10}), ώστε να εξαχθεί συμπέρασμα για το ονομαστικό ρεύμα της κάθε πρίζας. Συνολικά ελήφθησαν οι παρακάτω μετρήσεις ρευμάτων κατά τη διάρκεια της δοκιμής υπερθέρμανσης:

I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}
8,2	19,5	20,8	16,5	13,7
8,3	18	20,4	16,4	14,5
8,8	19,1	20,6	16,6	14,1
8,6	17,5	20,7	16,2	14
9	17,6	20,8	16,3	14,2
9,2	18,3	20,9	16,6	13,9
9	17,9	20,8	16,3	13,9

Πίνακας 3.2.1-18: Ρεύματα I_6 - I_{10} των πριζών 6-10 αντίστοιχα κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου

Οι μέσες τιμές των ρευμάτων για τις πρίζες 6-10 με βάση τον πίνακα 3.2.1-18 είναι οι εξής:

$\bar{I}_6(A)$	$\bar{I}_7(A)$	$\bar{I}_8(A)$	$\bar{I}_9(A)$	$\bar{I}_{10}(A)$
8,73	18,27	20,71	16,41	14,04

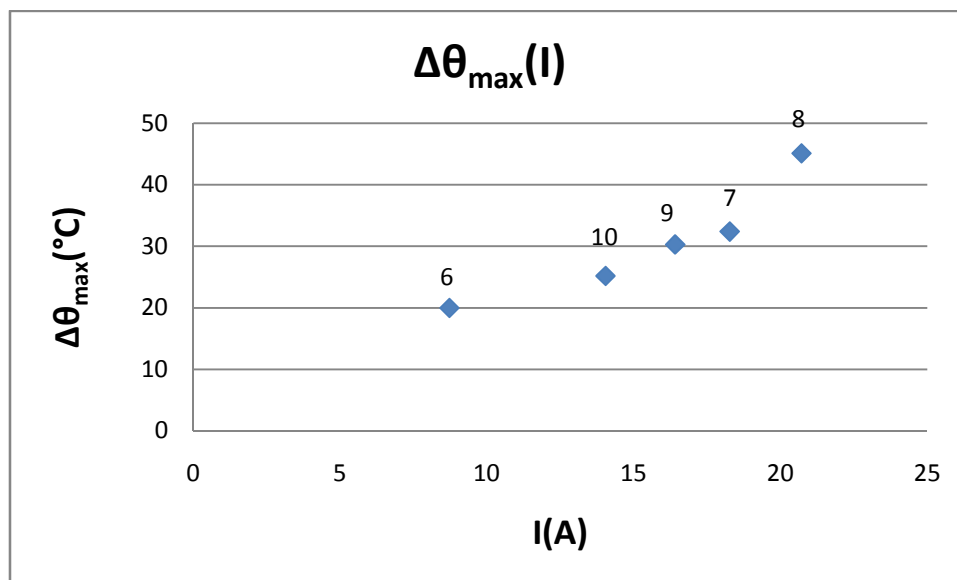
Πίνακας 3.2.1-19: Μέση τιμή ρευμάτων των πριζών 6-10 κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου

Τέλος κατά την ολοκλήρωση της δοκιμής έγινε θερμομέτρηση σε κάθε επαφή των πριζών, ώστε να βρεθεί η μέγιστη θερμοκρασία της κάθε πρίζας τη δεδομένη στιγμή σε περίπτωση που αυτή δεν ταυτίζεται με το σημείο μέτρησης. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν $\theta_x=23$ °C. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν είναι τα παρακάτω:

Πρίζα	θ_{\max} (°C)	$\Delta\theta_{\max}$ (°C)
6	43	20
7	55,4	32,4
8	68,1	45,1
9	53,3	30,3
10	48,2	25,2

Πίνακας 3.2.1-20: Μέγιστη θερμοκρασία επαφής θ_{\max} και $\Delta\theta_{\max}$ ($\Delta\theta_{\max}=\theta_{\max}-\theta_x$) των πριζών 6-10 κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου

Με βάση τους πίνακες 3.2.1-19 και 3.2.1-20 λαμβάνεται παρακάτω γραφική παράσταση:



Σχήμα 3.2.1-25: Γραφική παράσταση της μέγιστης θερμοκρασίας θ_{\max} των πριζών 6-10 σε σχέση με το αντίστοιχο ρεύμα κάθε πρίζας, κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης με γεφύρωση στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου.

3.2.2 Δοκιμή βραχυκύκλωσης σε εξοπλισμό χαμηλής τάσης

Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τη δοκιμή βραχυκύκλωσης ήταν όμοια με τη δοκιμή υπερθέρμανσης και έχει αναλυθεί στην παράγραφο 3.2.1. Η δοκιμή βραχυκύκλωσης έγινε πρώτα για τις πρίζες 1-3, στη συνέχεια για τις πρίζες 4-6 και τέλος για τις πρίζες 7-9. Το ρεύμα που εφαρμόζεται σε κάθε πρίζα ήταν τριπλάσιο του ονομαστικού, δηλαδή 48A(16 επί 3). Επομένως, εφόσον στη δοκιμή συμμετείχαν 3 πρίζες κάθε φορά, το ρεύμα εξόδου του μετασχηματιστή ρεύματος ρυθμίστηκε στα 150A περίπου. Η επιλογή της διεξαγωγής της δοκιμής βραχυκύκλωσης σε τρεις πρίζες κάθε φορά έγινε λόγω των συγκεκριμένων δυνατοτήτων του μετασχηματιστή ρεύματος, όσον αφορά το ρεύμα εξόδου. Τέλος, τα καλώδια σύνδεσης (από χαλκό) του μετασχηματιστή ρεύματος με τις πρίζες είχαν διατομή 35mm², ενώ τα καλώδια (από χαλκό) που χρησιμοποιήθηκαν για τον παραλληλισμό και τη βραχυκύκλωση των πριζών ήταν 1.5mm². Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας στις πρίζες χρησιμοποιήθηκαν θερμοστοιχεία.

Η δοκιμή βραχυκύκλωσης θεωρείται ότι είναι επιτυχής, όταν η θερμοκρασία δεν υπερβεί κάποιο συγκεκριμένο κατά τις προδιαγραφές όριο, που είναι της τάξεως 55÷60 °C ως προς τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Η διάρκεια της δοκιμής βραχυκύκλωσης ήταν 5 sec και πραγματοποιήθηκε τρεις φορές για την κάθε τριάδα πριζών. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε με βραχυκύκλωση στις υποδοχές του φορτίου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τις 9 πρίζες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

$\theta_1(^{\circ}\text{C})$	$\theta_2(^{\circ}\text{C})$	$\theta_3(^{\circ}\text{C})$	$\theta_4(^{\circ}\text{C})$	$\theta_5(^{\circ}\text{C})$	$\theta_6(^{\circ}\text{C})$	$\theta_7(^{\circ}\text{C})$	$\theta_8(^{\circ}\text{C})$	$\theta_{10}(^{\circ}\text{C})$
39,8	41,7	47,7	78,4	41,4	52,4	48,9	55,4	59,1
46,1	43,1	61,1	63,8	44,6	41,4	38,3	43,4	50,7
43	38,8	55,8	69,6	46,4	42,4	34,4	37,1	48,3

Πίνακας 3.2.2-1: Θερμοκρασίες των 9 πριζών κατά τη δοκιμή βραχυκύκλωσης

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος θ_x μετρήθηκε 23 °C. Επομένως οι μεταβολές θερμοκρασίας των πριζών σε σχέση με τη θερμοκρασία θ_x προκύπτουν από τον πίνακα 3.2.2.1 ως εξής:

$\Delta\theta_1(^{\circ}\text{C})$	$\Delta\theta_2(^{\circ}\text{C})$	$\Delta\theta_3(^{\circ}\text{C})$	$\Delta\theta_4(^{\circ}\text{C})$	$\Delta\theta_5(^{\circ}\text{C})$	$\Delta\theta_6(^{\circ}\text{C})$	$\Delta\theta_7(^{\circ}\text{C})$	$\Delta\theta_8(^{\circ}\text{C})$	$\Delta\theta_9(^{\circ}\text{C})$
16,8	18,7	24,7	55,4	18,4	29,4	25,9	32,4	36,1

23,1	20,1	38,1	40,8	21,6	18,4	15,3	20,4	27,7
20	15,8	32,8	46,6	23,4	19,4	11,4	14,1	25,3

Πίνακας 3.2.2-2: Μεταβολές θερμοκρασίας των 9 πριζών σε σχέση με τη θερμοκρασία θ_x κατά τη δοκιμή βραχυκύκλωσης

Στη συνέχεια υπολογίζονται η μέση τιμή της $\Delta\theta$ και η αντίστοιχη τυπική απόκλιση σ (σφάλμα μέσης τιμής) για κάθε πρίζα.

$\overline{\Delta\theta}_1 \pm \sigma_1$	$\overline{\Delta\theta}_2 \pm \sigma_2$	$\overline{\Delta\theta}_3 \pm \sigma_3$	$\overline{\Delta\theta}_4 \pm \sigma_4$	$\overline{\Delta\theta}_5 \pm \sigma_5$	$\overline{\Delta\theta}_6 \pm \sigma_6$	$\overline{\Delta\theta}_7 \pm \sigma_7$	$\overline{\Delta\theta}_8 \pm \sigma_8$	$\overline{\Delta\theta}_9 \pm \sigma_9$
19,97±1,82	18,2±1,27	31,87±3,89	47,6±4,24	21,13±1,46	22,4±3,51	17,53±4,33	22,3±5,37	29,7±3,27

Πίνακας 3.2.2-3: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση των μεταβολών θερμοκρασίας των 9 πριζών σε σχέση με τη θερμοκρασία θ_x κατά τη δοκιμή βραχυκύκλωσης

Κεφάλαιο

4

Σχόλια επί των αποτελεσμάτων

4.1 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα επί των αποτελεσμάτων της παραγράφου 3.1

Με βάση τα αποτελέσματα της παραγράφου 3.1 εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα 5 θερμοστοιχεία σιδήρου-κωνσταντάνης παρουσιάζουν σχεδόν κοινή χαρακτηριστική εξίσωση θερμοκρασίας-τάσης. Αυτό συμβαίνει, διότι όλα τα θερμοστοιχεία αποτελούνται από τα ίδια μέταλλα και έχουν κατασκευαστεί με όμοιο τρόπο. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν κάποιες μικρές διαφορές, οι οποίες οφείλονται στις συνθήκες διεξαγωγής της κάθε βαθμονόμησης, οι οποίες δεν είναι δυνατόν να είναι ακριβώς ίδιες κάθε φορά.

Για κάθε θερμοστοιχείο πραγματοποιήθηκαν δύο ανεξάρτητες βαθμονομήσεις, ώστε να εξαχθεί ένα πιο ασφαλές αποτέλεσμα και να μειωθεί η πιθανότητα λάθους. Όμως οι βαθμονομήσεις που έγιναν εμπεριέχουν σφάλματα, τα οποία οφείλονται στα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν (Pt 100, θερμόμετρο Hg). Συγκεκριμένα, τα παραπάνω όργανα χρειάζονται ένα ορισμένο χρονικό διάστημα για να φτάσουν σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας, επομένως ενδέχεται κάποιες μετρήσεις να έχουν ληφθεί στη διάρκεια της μεταβατικής περιόδου. Επίσης τα παραπάνω όργανα, καθώς και το βολτόμετρο που χρησιμοποιήθηκε, έχουν σφάλματα ανάγνωσης.

4.2 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα επί των αποτελεσμάτων της παραγράφου 3.2.1

Η δοκιμή υπερθέρμανσης πραγματοποιείται με δύο εκδοχές όσον αφορά τη γεφύρωση των πριζών. Πρώτα η γεφύρωση γίνεται στις υποδοχές τροφοδοσίας των πριζών και ύστερα στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου.

Με βάση τα αποτελέσματα της παραγράφου 3.2.1 παρατηρείται ότι η θερμοκρασία $\Delta\theta$ (διαφορά θερμοκρασίας σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος) στις πρίζες δεν ξεπερνά τους 55 °C σε καμία πρίζα, επομένως η δοκιμή υπερθέρμανσης θεωρείται επιτυχής. Όμως αυτό το συμπέρασμα δε μπορεί να είναι απόλυτο, όσον αφορά την αντοχή όλων των πριζών (και ειδικότερα αυτών που η $\Delta\theta$ είναι κοντά στους 55°C), διότι η δοκιμή υπερθέρμανσης διεξάχθηκε χωρίς τα καπάκια των πριζών, επομένως υπάρχει μεγαλύτερη απαγωγή θερμότητας προς το περιβάλλον. Επιπλέον, οι ρευματοδότες ήταν τοποθετημένοι παράλληλα προς το δάπεδο διευκολύνοντας τη διαφυγή του αέρα, επομένως αυξάνοντας την απαγωγή θερμότητας.

Επιπλέον ένα σημαντικό συμπέρασμα που προκύπτει από τη δοκιμή υπερθέρμανσης είναι ότι όταν η γεφύρωση γίνεται στους ακροδέκτες υποδοχής του φορτίου, οι μετρούμενες θερμοκρασίες είναι σημαντικά μεγαλύτερες σε σχέση με τη γεφύρωση στις υποδοχές τροφοδοσίας των πριζών. Επομένως η δοκιμή υπερθέρμανσης δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα όταν η γεφύρωση γίνεται στο φορτίο.

Τέλος, από τις μετρήσεις ρεύματος κάθε πρίζας μπορεί να εξαχθεί ένα συμπέρασμα για το ονομαστικό ρεύμα της κάθε πρίζας.

4.3 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα επί των αποτελεσμάτων της παραγράφου 3.2.2

Η δοκιμή βραχυκύκλωσης έγινε με βραχυκύκλωση στους ακροδέκτες του φορτίου και όχι στις υποδοχές τροφοδοσίας, διότι εκεί παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης. Επομένως η γνώση που αποκτήθηκε κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης ήταν πολύ σημαντική για τη σωστή διεξαγωγή της δοκιμής βραχυκύκλωσης.

Με βάση τα αποτελέσματα της παραγράφου 3.2.2 παρατηρείται ότι η μέση τιμή της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ (διαφορά θερμοκρασίας σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος) στις πρίζες δεν ξεπερνά τους 55 °C σε καμία πρίζα, επομένως η δοκιμή βραχυκύκλωσης θεωρείται επιτυχής. Όμως, όπως και στη δοκιμή υπερθέρμανσης δε χρησιμοποιήθηκαν τα καπάκια των πριζών για τεχνικούς λόγους, επομένως δε μπορεί να εξαχθεί απόλυτα ασφαλές συμπέρασμα για την αντοχή όλων των πριζών στο βραχυκύκλωμα.

Οι διαφορές των μετρούμενων τιμών $\Delta\theta$ (μεταβολή της θερμοκρασίας σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος) για κάθε πρίζα, οφείλονται στη δυσκολία της καταγραφής των ενδείξεων των βαθμοστοιχείων ακριβώς στα 5 sec για κάθε μέτρηση, αλλά και στο ρεύμα εξόδου του μετασχηματιστή που δεν ήταν ακριβώς ίδιο σε κάθε μέτρηση. Επίσης ο ρυθμός μεταβολής της τάσης του αυτομετασχηματιστή (variac) κατά την τροφοδότηση της διάταξης δεν ήταν ακριβώς ίδιος κάθε φορά με συνέπεια να προλάβει να αναπτυχθεί μεγαλύτερη θερμοκρασία στις επαφές των πριζών, όταν η αύξηση της τάσης του αυτομετασχηματιστή ήταν σχετικά αργή.

Βιβλιογραφία

- [1] ΜΠΟΥΡΚΑΣ Π.Δ., ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ Κ.Γ., Βιομηχανικές Ηλεκτρικές Διατάξεις και Υλικά, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2003.
- [2] ΜΠΟΥΡΚΑΣ Π.Δ., Εφαρμογές Κτιριακών και Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1998
- [3] Α. Β. ΚΑΤΣΟΥΛΟΥ : «Έλεγχος Συνθήκης Ουδετέρωσης σε Δίκτυα Διανομής Χαμηλής Τάσης » - Διπλωματική Εργασία με επιβλέπων τον Καθηγητή Π.Δ. Μπούρκα (Αθήνα 2006)
- [4] R. HOLM, Electric Contacts : Theory and Application
- [5] www.wikipedia.org