



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

## Διερεύνηση Επίδρασης της Ροπής Σύσφιξης Κοχλιών στην Ανύψωση Θερμοκρασίας σε Πίνακα Μέσης Τάσης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΩΝ

Παναγιώτα Σ. Αδάμ  
Παρασκευή Ε. Γεωργογιάννη

**Επιβλέπων:** Π. Δ. Μπούρκας  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2008





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

## Διερεύνηση Επίδρασης της Ροπής Σύσφιξης Κοχλιών στην Ανύψωση Θερμοκρασίας σε Πίνακα Μέσης Τάσης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΩΝ

Παναγιώτα Σ. Αδάμ  
Παρασκευή Ε. Γεωργογιάννη

**Επιβλέπων:** Π. Δ. Μπούρκας  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 31<sup>η</sup> Οκτωβρίου 2008

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

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

.....  
Κων/νος Καραγιαννόπουλος  
Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2008

.....

Παναγιώτα Σ. Αδάμ

Παρασκευή Ε. Γεωργογιάννη

Διπλωματούχοι Ηλεκτρολόγοι Μηχανικοί και Μηχανικοί Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Παναγιώτα Σ. Αδάμ, 2008

Copyright © Παρασκευή Ε. Γεωργογιάννη, 2008

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**

Στη διπλωματική αυτή εργασία γίνεται διερεύνηση της επίδρασης της μεταβολής της ροπής σύσφιξης δύο μπαρών χαλκού στην ανύψωση της θερμοκρασίας αυτών.

Αρχικά, παρουσιάζονται τα βασικά θεωρητικά στοιχεία που αφορούν στον εξοπλισμό μέσης τάσης. Στη συνέχεια, παρατίθενται τα κυριότερα σημεία της προδιαγραφής, σύμφωνα με την οποία διεξάγεται η δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας σε συσκευές διακοπής και ελέγχου.

Η δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας εφαρμόστηκε σε πειραματική διάταξη που προσομοιώνει ένα ζυγό πίνακα μέσης τάσης και που πραγματοποιήθηκε στον Τομέα Μεγάλης Ισχύος του Κέντρου Δοκιμών, Ερευνών και Προτύπων της ΔΕΗ. Από την επεξεργασία των μετρήσεων παρατηρήθηκε ότι οι ζυγοί παρουσιάζουν καλύτερη θερμική συμπεριφορά με την αύξηση της ροπής σύσφιξης. Ωστόσο, μεγάλες ροπές σύσφιξης μπορούν να οδηγήσουν σε παραμόρφωση του υλικού.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα τον καθηγητή μας Κο Περικλή Μπούρκα και τον Δρ. Μηχανικό Ε.Μ.Π. Τσαραμπάρη Παναγιώτη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή τους.

Θα θέλαμε, επίσης, να ευχαριστήσουμε τους υποψήφιους διδάκτορες μηχανικούς Κοντοκώστα Χρήστο και Αθανασόπουλο Σόλωνα καθώς και το προσωπικό του τομέα Μεγάλης Ισχύος του Κ.Δ.Ε.Π της Δ.Ε.Η για την εξυπηρέτηση και προθυμία που έδειξαν.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup>	8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ	9
1.1.1 Διακόπτες και ασφάλειες στη μέση τάση	9
1.1.2 Πίνακες στη μέση τάση	11
1.1.2.1 Είδη κυψελών	11
1.2.2.2 Βασικές συνδεσμολογίες πινάκων	15
1.1.3 Ζυγοί	16
1.1.3.1 Ικανότητα μεταφοράς ρεύματος	17
1.1.3.2 Συνδέσεις	24
1.1.3.3 Διαστολή και Συστολή	27
1.1.3.4 Αποστάσεις	28
1.1.3.5 Αποστάσεις ερπυσμού μονωτήρων στήριξης των ζυγών	30
1.1.3.6 Αποτελέσματα βραχυκυκλωμάτων	31
1.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	32
1.2.1 Δοκιμές σειράς σε εξοπλισμό διακοπής και ελέγχου	34
1.2.2 Δοκιμές τύπου σε εξοπλισμό διακοπής και ελέγχου	34
1.2.2.1 Πληροφορίες για την αναγνώριση των δειγμάτων	35
1.2.2.2 Είδη δοκιμών τύπου	38
1.2.3 Δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας	41
1.2.3.1 Συνθήκες των δοκιμαζομένων συσκευών διακοπής και ελέγχου	41
1.2.3.2 Διάταξη του εξοπλισμού	41
1.2.3.3 Μέτρηση της θερμοκρασίας και της ανύψωσης θερμοκρασίας	43
1.2.3.4 Θερμοκρασία περιβάλλοντος	44
1.2.3.5 Αρχή λειτουργίας του θερμοστοιχείου τύπου T	45
1.2.3.6 Ερμηνεία της δοκιμής υπερθέρμανσης	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup>	52
2. ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	53
2.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	53
2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup>	62
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	63
3.1 Πίνακες αποτελεσμάτων των μετρήσεων	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup>	76
4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	77
4.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	77
4.2 ΣΧΟΛΙΑ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	80
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

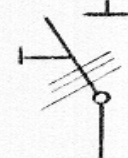
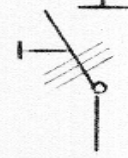
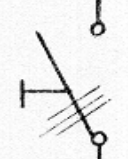

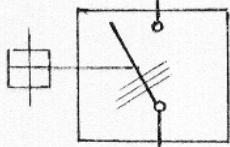
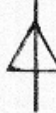
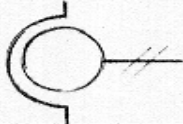



# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

### 1.1.1 Διακόπτες και ασφάλειες στη μέση τάση

Τα κυριότερα είδη ασφαλειών και διακοπών που χρησιμοποιούνται στους πίνακες μέσης τάσης της Δ.Ε.Η. αλλά και των καταναλωτών μέσης τάσης φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Είδος εξοπλισμού	Σύμβολο	Σκοπός χρησιμοποίησης
Τριπολικός αποζεύκτης		Απομονώνει από την παροχή ένα κύκλωμα που έχει τεθεί ήδη εκτός τάσης (δεν έχει ισχύ διακοπής).
Τριπολικός γειωτής		Γειώνει ένα κύκλωμα μετά την απόσβεση (δεν έχει ισχύ διακοπής).
Τριπολικός διακόπτης φορτίου		Επιτρέπει το χειρισμό ενός φορτίου με ισχύ ίση μέχρι την ονομαστική ισχύ του.
Ασφάλεια μέσης τάσης		Παρέχει προστασία από βραχυκύκλωμα.
Τριπολικός διακόπτης ισχύος (ή αυτόματος διακόπτης)		Επιτρέπει το χειρισμό ενός φορτίου ισχύος μέχρι την ονομαστική του ισχύ και ταυτόχρονα προστατεύει από βραχυκύκλωμα.
Μονοπολικό ακροκιβώτιο		Χρησιμοποιείται για τις συνδέσεις καλωδίων σε πίνακες.
Μετασχηματιστής έντασης		Χρησιμοποιείται για την παροχή τάσης σε κυκλώματα χειρισμών και προστασίας.
Μετασχηματιστής τάσης		Χρησιμοποιείται για την παροχή τάσης σε κυκλώματα χειρισμών και προστασίας.

Πίνακας 1.1.1-1: Σύμβολα βασικού εξοπλισμού σε πίνακες μέσης τάσης

Οι διακόπτες στη μέση τάση χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Σε εκείνους που έχουν ισχύ διακοπής και σε εκείνους που δεν έχουν. Το να έχει ένας διακόπτης ισχύ διακοπής καθορίζεται από το αν μπορούμε να τον χειριζόμαστε υπό φορτίο. Έτσι, για παράδειγμα, ο διακόπτης φορτίου καθώς και ο διακόπτης ισχύος είναι ένας διακόπτης με ισχύ διακοπής ενώ αντίθετα ο αποζεύκτης και ο γειωτής αποτελούν παραδείγματα διακοπών χωρίς ισχύ διακοπής.

Οι αποζεύκτες και οι γειωτές εξασφαλίζουν οπτική αναγνώριση της απόζευξης του δικτύου και δεν έχουν την ικανότητα για τη ζεύξη και την απόζευξη υπό ονομαστικό φορτίο. Μπορούν να χειριστούν μηδενικά ή σχεδόν μηδενικά φορτία. Είναι χειροκίνητοι διακόπτες, καθώς ο χειρισμός γίνεται από ένα χειριστήριο που παρέχει στον χειριστή την απαιτούμενη απόσταση ασφαλείας από τα υπό τάση μέρη. Το χειριστήριο αυτό θα πρέπει, επίσης, να εξασφαλίζει τη μανδάλωση του διακόπτη στη θέση λειτουργίας, που τον οδήγησε ο χειριστής. Σε πολλές περιπτώσεις είναι χρήσιμος ο συνδυασμός ενός αποζεύκτη και ενός γειωτή σε ένα διακόπτη και μάλιστα με τέτοιο τρόπο ώστε όταν ο ένας είναι κλειστός ο άλλος να είναι ανοιχτός. Ο συνδυασμός αυτός προστατεύει από τυχόν λανθασμένους χειρισμούς. Έτσι, μέσω αλληλασφαλίσεων πρέπει να εξασφαλίζεται κυρίως ότι:

- Δε θα χειρίζεται κανείς τον αποζεύκτη, όταν ο διακόπτης φορτίου ή ο διακόπτης ισχύος είναι ανοιχτός.
- Δε θα μπορούν να γίνουν χειρισμοί στον διακόπτη φορτίου ή τον διακόπτη ισχύος, όταν ο αποζεύκτης δεν είναι τελείως κλειστός ή τελείως ανοιχτός.
- Δε θα μπορεί κανείς να χειριστεί τον γειωτή, όταν ο αποζεύκτης είναι κλειστός.
- Δε θα μπορεί κανείς να χειριστεί τον αποζεύκτη, όταν ο γειωτής είναι κλειστός.

Οι ασφάλειες στους πίνακες μέσης τάσης είναι ένα μέσο προστασίας της εγκατάστασης από το βραχυκύκλωμα και έχουν την ικανότητα να μειώνουν το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης και να περιορίζουν την καταπόνηση των συσκευών.

Όπως προαναφέραμε για χειρισμούς υπό τάση χρησιμοποιούμε είτε το διακόπτη φορτίου είτε το διακόπτη ισχύος. Ο διακόπτης φορτίου είναι πολύ πιο απλός στην κατασκευή του και πρέπει να συνδυάζεται με ασφάλειες ώστε να εξασφαλίζεται η προστασία από βραχυκύκλωμα. Αντίθετα, ο διακόπτης ισχύος δε συνοδεύεται από ασφάλειες καθώς συνδυάζει και το χειρισμό υπό τάση αλλά και την προστασία από βραχυκύκλωμα αλλά είναι πιο πολύπλοκος στην κατασκευή και στη συντήρησή του γι' αυτό δε συνίσταται η χρήση του από τους καταναλωτές μέσης τάσης παρά μόνο από τη Δ.Ε.Η.

Τέλος, χρησιμοποιούνται αλεξικέραυνα, προκειμένου να οδηγήσουν προς τη γη μέσω αντιστάσεων φυσικές υπερτάσεις που οφείλονται σε πτώση κεραυνών, καθώς και πυκνωτές, για τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος.

## **1.1.2 Πίνακες στη μέση τάση**

Για τις παροχές μέσης τάσης εσωτερικού χώρου χρησιμοποιούνται συγκροτήματα πεδίων, δηλαδή πινάκων με εξωτερικό μεταλλικό περίβλημα, τύπου κυψέλης, σύμφωνα με τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς. Οι πίνακες αυτοί είναι κατάλληλοι για εγκαταστάσεις ονομαστικής τάσης τουλάχιστον 25 kV, στάθμης συμμετρικού σφάλματος 7,2 kA, συχνότητας 50 Hz και μέγιστου σφάλματος προς γη 1000 A.

### **1.1.2.1 Είδη κυψελών**

Τα τυποποιημένα είδη κυψελών, ο εξοπλισμός τους και τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Πίνακας προστασίας τύπου I. Περιλαμβάνει:

- \* Ζυγούς 400 A.
- \* Αποζεύκτη κανονικής έντασης 200 A.
- \* Διακόπτη φορτίου γενικής χρήσης κανονικής έντασης και ικανότητας διακοπής 200 A.
- \* Τρεις βάσεις ασφαλειών 100 A για τηκτά ισχύος διακοπής 7,2 kA και χαρακτηριστικών εντάσεων 16, 25, 40 και 63 A.
- \* Δύο μετασχηματιστές εντάσεως με λόγο μετασχηματισμού 10-20-40/5 ή 75-100/5 (έναν στην 1η φάση και έναν στην 3η φάση), που προορίζονται για τη μετρητική διάταξη.
- \* Ένα κιβώτιο με ακροδέκτες δοκιμών.
- \* Μια διάταξη γείωσης - βραχυκύκλωσης.
- \* Διάταξη εξακρίβωσης τάσης στην πλευρά του καλωδίου.

2. Πίνακας προστασίας τύπου II. Περιλαμβάνει:

- \* Ζυγούς 400 A.
- \* Αποζεύκτη χαρακτηριστικής κανονικής έντασης 400 A.
- \* Αυτόματο διακόπτη ισχύος, κανονικής έντασης  $I_{ov}=400$  A, ικανότητας διακοπής ρεύματος βραχυκύκλωσης 7,2 kA, ικανότητας ζεύξης σε βραχυκύκλωμα 2,5x7,2 kA και ολικού χρόνου διακοπής <100 ms.
- \* Τρεις μετασχηματιστές εντάσεως 30-60/5 ή 75-150/5 για την προστασία. Επιπλέον, οι δύο μετασχηματιστές των ακραίων φάσεων έχουν ένα ακόμη δευτερεύον τύλιγμα 5 A, 15 VA, για την τροφοδότηση των μετρητικών διατάξεων.
- \* Δύο κιβώτια με ακροδέκτες δοκιμών (ένα για την μέτρηση και το άλλο για την προστασία).
- \* Τρία μονοπολικά ακροκιβώτια.
- \* Διάταξη ηλεκτρονόμων (έναν τριφασικό ή τρεις μονοπολικούς ελλείψεως τάσης, που τροφοδοτούνται από το δευτερεύον των μετασχηματιστών τάσης με τάση λειτουργίας 60% έως 80% και χρονική καθυστέρηση 0,6 έως 1 sec).

- \* Ανορθωτική διάταξη που τροφοδοτείται από τους μετασχηματιστές τάσης και αποτελεί την πηγή συνεχούς ρεύματος του συστήματος προστασίας (χρήση εξωτερικών πηγών απαγορεύεται).
- \* Διάταξη γείωσης - βραχυκύκλωσης.
- \* Διάταξη ελέγχου ύπαρξης τάσης.

3. Πίνακας διακόπτη φορτίου. Περιλαμβάνει:

- \* Ζυγούς 400 A.
- \* Αποζεύκτη κανονικής έντασης 400 A.
- \* Διακόπτη φορτίου γενικής χρήσης, κανονικής έντασης και ικανότητας διακοπής 400 A.
- \* Τρία μονοπολικά ακροκιβώτια.
- \* Διάταξη γείωσης - βραχυκύκλωσης.
- \* Διάταξη αντιστοιχίας φάσεων.

4. Πίνακας άφιξης καλωδίου. Στον πίνακα αυτόν έρχεται το υπόγειο καλώδιο μέσης τάσης σε ακτινικό σύστημα τροφοδότησης και περιλαμβάνει τα ακόλουθα τμήματα:

- \* Ζυγούς 400 A.
- \* Τρία μονοπολικά ακροκιβώτια.
- \* Διάταξη γείωσης βραχυκύκλωσης, με την οποία μπορεί να γειώνεται το καλώδιο από τον εξωτερικό πίνακα.
- \* Διάταξη εξακρίβωσης τάσης στην πλευρά του καλωδίου.

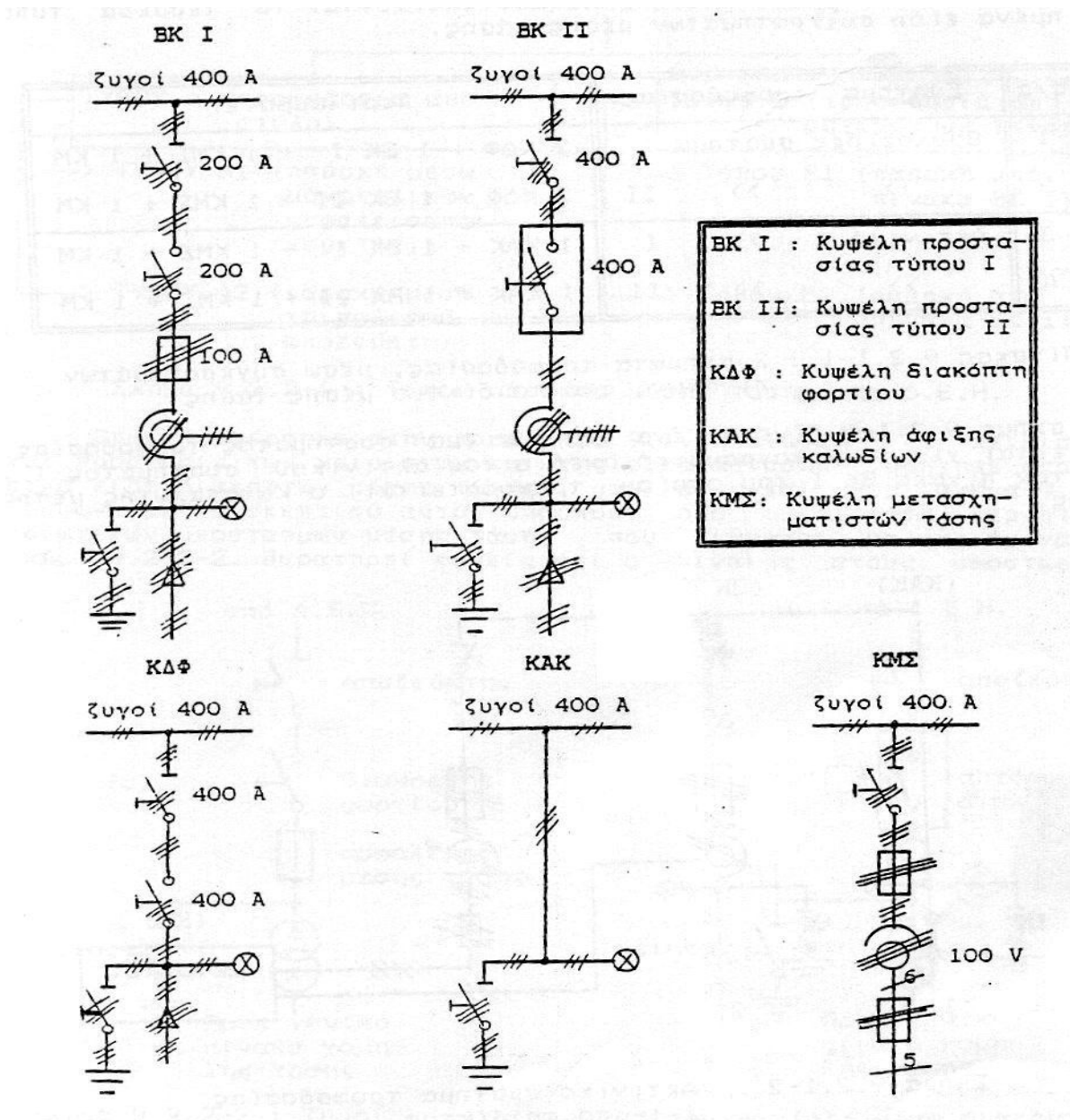
5. Πίνακας μετασχηματιστών τάσης. Περιλαμβάνει:

- \* Ζυγούς 400 A.
- \* Αποζεύκτη κανονικής έντασης 200 A για την απομόνωση των μετασχηματιστών τάσης.
- \* Δύο διπολικούς μετασχηματιστές τάσης 20.000/100 ή 20.000 ή 15.000/100.
- \* Διπολικό μικροαυτόματο στην πλευρά χαμηλής τάσης του μετασχηματιστή τάσης.
- \* Βολτόμετρο.

6. Πίνακας μετρητών. Περιλαμβάνει:

\* Μετρητές άεργου και ενεργού ισχύος και καταγραφής της μέγιστης ζήτησης.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα μονογραμμικά διαγράμματα των βασικότερων κυψελών.



Σχήμα 1.1.2.1-1 : Πίνακες της Δ.Ε.Η. στη μέση τάση

Παρατηρώντας τα μονογραμμικά σχέδια, συμπεραίνεται ότι παρόλο που η κυψέλη ΒΚΙ είναι πιο φθηνή στην κατασκευή της λόγω έλλειψης αυτόματου, απαιτεί ειδικευμένο προσωπικό για τη συντήρηση και την αλλαγή των ασφαλειών, οπότε προτιμάται για τους βιομηχανικούς καταναλωτές έναντι αυτής η κυψέλη ΒΚΙΙ.

### **1.2.2.2 Βασικές συνδεσμολογίες πινάκων**

Οι προηγούμενες κυψέλες συναρμολογούνται (σε χώρο που διατίθεται από τον καταναλωτή), σε ένα συγκρότημα πινάκων, το είδος του οποίου εξαρτάται από τις ανάγκες του δικτύου της ΔΕΗ. Από το συγκρότημα αυτό τροφοδοτείται ο καταναλωτής μέσω ενός πίνακα ΒΚΙ ή ΒΚΙΙ. Οι βασικοί συνδυασμοί των πινάκων που συγκροτούν την παροχή στους μετασχηματιστές εσωτερικού χώρου είναι:

1. Τύπος Ι για ακτινικό σύστημα τροφοδότησης, που περιλαμβάνει:
  - \* Πίνακα άφιξης καλωδίου.
  - \* Πίνακα προστασίας τύπου Ι.
  - \* Πίνακα μετασχηματιστή τάσης.
  - \* Πίνακα μετρητών.
2. Τύπος Ι για βροχοειδές σύστημα τροφοδότησης, που περιλαμβάνει:
  - \* Δύο πίνακες διακόπτη φορτίου.
  - \* Πίνακα προστασίας τύπου Ι.
  - \* Πίνακα Μ/Σ τάσης.
  - \* Πίνακα μετρητών.
3. Τύπος ΙΙ για ακτινικό σύστημα τροφοδότησης, που περιλαμβάνει:
  - \* Πίνακα άφιξης καλωδίου.
  - \* Πίνακα προστασίας τύπου ΙΙ.
  - \* Πίνακα μετασχηματιστή τάσης.
  - \* Πίνακα μετρητών.

4. Τύπος II για βροχοειδές σύστημα τροφοδότησης, που περιλαμβάνει:

- \* Δύο πίνακες διακόπτη φορτίου.
- \* Πίνακα προστασίας τύπου II.
- \* Πίνακα μετασχηματιστή τάσης.
- \* Πίνακα μετρητών.

Οι μέγιστες διαστάσεις των πινάκων που προμηθεύεται η ΔΕΗ είναι 900 (πλάτος) x 1200 (βάθος) x 2300 (ύψος) (mm), εκτός από τον πίνακα μετρητών, που διαφοροποιείται μόνο ως προς το μέγιστο πλάτος ο οποίος μένει ως έχει 550 mm. Συνήθως το πραγματικό πλάτος των πινάκων με τυποποίηση 900 mm κατά μέγιστο που παραδίδονται από τους προμηθευτές δεν ξεπερνά τα 80 mm.

### **1.1.3 Ζυγοί**

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στους ζυγούς και στις συνδέσεις σε πίνακες είναι ο χαλκός και το αλουμίνιο, κάποιες από τις ιδιότητες των οποίων φαίνονται στον πίνακα 1.1.3-1. Από αυτόν φαίνεται ότι για ίδια αγωγιμότητα το αλουμίνιο είναι ελαφρύτερο από τον χαλκό. Εφόσον οι αγωγοί αλουμινίου πρέπει να έχουν περίπου 60% μεγαλύτερη διατομή για το ίδιο ονομαστικό ρεύμα από αυτούς του χαλκού, σε πίνακες με μεταλλικό περίβλημα όπου το βάρος είναι καθοριστικότερος παράγοντας από το μέγεθος, προτιμάται συνήθως ο χαλκός.

Το αλουμίνιο έχει το πλεονέκτημα ότι δεν υπόκειται σε οξείδωση καθώς διαθέτει μια συνεχή, πολύ σκληρή και σταθερή μεμβράνη οξειδίων, η οποία σφραγίζει το μέταλλο από περαιτέρω οξείδωση. Αυτό είναι σημαντικό σε εγκαταστάσεις με υψηλές θερμοκρασίες ή σε μολυσμένο περιβάλλον. Όταν χρησιμοποιείται αλουμίνιο υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ του καθορισμένου κράματος E1E, το οποίο είναι παρόμοιο με το καθαρό αλουμίνιο, και του E91E, ένα κράμα μετάλλων που περιέχει προσθήκες μαγνησίου και σιλικόνης. Αυτό το κράμα έχει την αντοχή του χαλκού και επιλέγεται γενικά για ορθογώνιους ζυγούς που πρέπει να αντέχουν τις πιέσεις



που εμφανίζονται όταν διαρρέονται από μεγάλα ρεύματα σφάλματος. Ωστόσο, για συγκεκριμένη επιφάνεια έχει 3% λιγότερο ονομαστικό ρεύμα από το κράμα ΕΙΕ.

Ιδιότητα	Χαλκός	Αλουμίνιο
Βάρος ανά μονάδα μήκους για ίδια αγωγιμότητα	1	0,5
Αγωγιμότητα για ίδιες περιοχές:		
• ηλεκτρική	1	0,61
• θερμική	1	0,56
Αντοχή εφελκυσμού	1	0,4
Σκληρότητα	1	0,44
Μέτρο ελαστικότητας	1	0,55
Συντελεστής θερμικής επέκτασης	1	0,39
Σημείο τήξης	1	0,61

Πίνακας 1.1.3-1: Ιδιότητες χαλκού και αλουμινίου

### 1.1.3.1 Ικανότητα μεταφοράς ρεύματος

Παλαιότερα η ικανότητα μεταφοράς ρεύματος των ζυγών βασιζόταν σε έναν πρόχειρο κανόνα των 1000 A/in<sup>2</sup> για χαλκό και 750 A/in<sup>2</sup> για αλουμίνιο. Δοκιμές όμως που έγιναν, έδειξαν ότι προσεγγίσεις όπως οι παραπάνω δεν ήταν απόλυτα σωστές για μικρούς αγωγούς, εφόσον, παραδείγματος χάριν, πυκνότητες αρκετά πάνω από 1000 A/in<sup>2</sup> μπορούσαν να επιτευχθούν με αποδεκτή αύξηση της θερμοκρασίας. Η χρήση προσεγγίσεων βρέθηκε να είναι επίσης λανθασμένη στην περίπτωση που πολλαπλοί αγωγοί έπρεπε να χρησιμοποιηθούν για συγκεκριμένο ρεύμα υψηλής έντασης. Δεν μπορούσε δηλαδή να υποτεθεί ότι η χρήση 3 αγωγών δοθέντος μεγέθους θα έδινε ονομαστικό ρεύμα 3 φορές εκείνου του ενός αγωγού. Σήμερα έχουν δημοσιευθεί πίνακες ονομαστικών ρευμάτων, οι οποίοι ανάλογα με τη διατομή, το είδος και τον αριθμό των ζυγών δίνουν το αντίστοιχο ονομαστικό ρεύμα.

Καθοριστικός παράγοντας για το ονομαστικό ρεύμα είναι η ασφαλής θερμοκρασία, στην οποία μπορεί να φτάσουν οι αγωγοί και εξαρτάται από πολλές παραμέτρους. Εν συντομία αναφέρονται, ο αριθμός και η διάταξη των μπαρών, η γεινιάσή τους με τα τοιχώματα του πίνακα και το υλικό από το

οποίο κατασκευάστηκαν · μαγνητικά η μη. Έχει διαπιστωθεί ότι σε κατάλληλες εφαρμογές αν οι αγωγοί είναι χρωματισμένοι με ειδικό μαύρο χρώμα (μη μεταλλικό) αυξάνεται η ικανότητα μεταφοράς ρεύματος έως και 20%, χωρίς ανύψωση της θερμοκρασίας.

Το ποσό της θερμότητας που παράγεται σε έναν αγωγό είναι ανάλογο της αντίστασής του και του τετραγώνου του ρεύματος που φέρει, ενώ η θερμοκρασία εξαρτάται από τον ρυθμό με τον οποίο απάγεται θερμότητα. Αυτό πραγματοποιείται μέσω κατευθυνόμενης ροής αέρα, μέσω εκπομπής ακτινοβολίας και μέσω της επαφής με κάποιο στήριγμα. Επομένως, οι αγωγοί που περιβάλλονται πλήρως από μόνωση απάγουν θερμότητα μέσω επαφής, ενώ αυτοί που βρίσκονται εκτεθειμένοι στον αέρα, μέσω εκπομπής ακτινοβολίας και μέσω του αέρα. Ο μέγιστος ρυθμός απαγωγής θερμότητας σε ορθογώνια τμήματα επιτυγχάνεται όταν η μπάρα είναι λεπτή, καθώς αυτό παρέχει μεγαλύτερη περίμετρο στην περιοχή της σύνδεσης. Όταν χρησιμοποιούνται μπάρες παράλληλα, κάθε μπάρα καλύπτεται από τη γειτονική της έτσι ώστε να απάγεται λιγότερη θερμότητα φθάνοντας στο σημείο όπου περαιτέρω αύξηση των ελασμάτων να μην οδηγεί σε αύξηση του ολικού ονομαστικού ρεύματος.

Δύο προβλήματα επιπλέον εμφανίζονται στον καθορισμό των ονομαστικών εναλλασσόμενων ρευμάτων. Και τα δύο σχετίζονται με το γεγονός ότι η φαινομενική αντίσταση του αγωγού που φέρει εναλλασσόμενο ρεύμα είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστασή του στο συνεχές, καθώς μόνο τότε υφίσταται ομοιόμορφη κατανομή ρεύματος. Κατά τη διέλευση εναλλασσόμενου ρεύματος, λόγω επιδράσεως της επαγωγής, προκύπτει άνιση κατανομή ρεύματος και η ανομοιομορφία αυτή γίνεται εντονότερη όσο αυξάνεται η συχνότητα του ρεύματος.

Το πρώτο πρόβλημα προκαλείται από το *επιδερμικό φαινόμενο*. Μία αντι-ηλεκτρεγερτική δύναμη προκαλείται λόγω της μαγνητικής ροής του αγωγού. Τα εσωτερικά μέρη τέμνονται από την εναλλασσόμενη ροή, άρα έχουν και περισσότερη άεργη αντίσταση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την άνιση κατανομή ρεύματος στις περιοχές διακλάδωσης, εφόσον το ρεύμα τείνει να συγκεντρωθεί στην επιφάνεια του αγωγού μονής μπάρας και στα εξωτερικά στρώματα ενός αγωγού πολλαπλών μπαρών. Στις περιπτώσεις αυτές η αντίσταση θεωρείται ως η ποσότητα εκείνη, η οποία όταν

πολλαπλασιάζεται με το τετράγωνο της ενδεικνύμενης τιμής του συνολικού ρεύματος, δίνει το μέσο όρο των απωλειών ισχύος. Για ημιτονοειδή ρεύματα είναι ίση με τη συνιστώσα της πτώσης τάσεως, η οποία είναι σε φάση με το συνολικό ρεύμα διαιρεμένη με την ενδεικνύμενη τιμή του ρεύματος. Η πραγματική αυτή αντίσταση είναι, όπως αναμενόταν, μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του συνεχούς ρεύματος και αυξάνει με τη συχνότητα. Μάλιστα σε πολύ υψηλές τιμές το επιδερμικό φαινόμενο είναι έντονο, δεδομένου ότι όλο σχεδόν το ρεύμα συγκεντρώνεται κοντά στην επιφάνεια του αγωγού και η πραγματική αντίσταση ενός συμπαγούς αγωγού είναι μέχρι 20 φορές μεγαλύτερη από αυτή του συνεχούς ρεύματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι ενώ για μεγάλες διατομές και υψηλές συχνότητες μεταβάλλεται η ωμική αντίσταση, δε μεταβάλλεται συνήθως η επαγωγική αντίδραση, αφού επηρεάζεται μόνο μία δευτερεύουσα συνιστώσα της, η οποία αφορά στην εσωτερική πεπλεγμένη ροή του αγωγού. Ωστόσο, το φαινόμενο μπορεί να περιορισθεί με τη χρήση άλλων διατάξεων των ζυγών. Εναλλακτικά, βάση της αρχής του να ισαπέχει όσο το δυνατόν περισσότερο μέταλλο από το μαγνητικό κέντρο του αγωγού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας σωληνοειδής αγωγός.

Το δεύτερο πρόβλημα προκαλεί ανάλογα αποτελέσματα λόγω αμοιβαίας επαγωγής μεταξύ 2 αγωγών που φέρουν ρεύμα διαφορετικής κατεύθυνσης και είναι γνωστό σα *φαινόμενο γειτνιάσεως*. Κάθε αγωγός τέμνεται από τη γειτονική μαγνητική ροή και έτσι εμφανίζεται συγκέντρωση ρεύματος σε εκείνα τα μέρη του αγωγού που βρίσκονται πλησιέστερα στον γειτονικό του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μερικές επιπλέον απώλειες και αύξηση της αντιστάσεως. Πάλι μια καλύτερη διάταξη των ζυγών περιορίζει το φαινόμενο και ειδικά τηρώντας μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των μπαρών. Στο βιβλίο τους οι Thomas και Rata δήλωσαν πως το φαινόμενο μπορεί να ληφθεί υπόψη εισάγοντας μια αλλαγή της τάξης του 5% στην τιμή του ρεύματος, αν αυτό είναι μικρότερο από 2000/3000 A και η τάση υπερβαίνει τα 1000 V. Βέβαια, το ονομαστικό ρεύμα των ζυγών διαφέρει και εξαρτάται από τον τύπο και τον σχεδιασμό του πίνακα. Οι περισσότεροι κατασκευαστές φτιάχνουν τους δικούς τους πίνακες ονομαστικών ρευμάτων για διάφορα είδη ζυγών. Σαν οδηγός δίνονται οι πίνακες 1.1.3.1-1 έως 1.1.3.1-5, που δείχνουν τα ονομαστικά ρεύματα για μια ποικιλία ορθογώνιων και κυκλικών ζυγών χαλκού ή αλουμινίου που βασίζονται στις προτεινόμενες διαστάσεις,

δεδομένου ότι θα τοποθετηθούν σε περιβάλλον απαλλαγμένο από ρεύματα αέρα με θερμοκρασία 30 °C.

Για θερμοκρασία  $\theta > 30$  °C ισχύει η σχέση :

$$I_{\theta} = I\sqrt{\theta/30} \quad (\text{όπου } I \text{ οι τιμές του πίνακα}) \quad (1.1.3.1-1)$$

Για συχνότητες  $f > 60$  Hz ισχύει η σχέση :

$$I_f = I\sqrt{50/f} \quad (\text{όπου } I \text{ οι τιμές του πίνακα και } f \text{ η συχνότητα}) \quad (1.1.3.1-2)$$

πλάτος x πάχος  (mmxmm)	Βάρος  (kg/m)	Ονομαστικό ρεύμα (A)			
		ζυγοί (*) κατεργασμένοι		ζυγοί ακατέργαστοι	
		αριθμός ζυγών		αριθμός ζυγών	
		3 III	4 IIII	3 III	4 IIII
40x10	3,56	2060	2800	1850	2500
50x5	2,23	1750	2310	1550	2100
50x10	4,45	2450	3330	2200	3000
60x5	2,67	1980	2650	1800	2400
60x10	5,34	2800	3800	2500	3400
80x5	3,56	2450	3300	2200	2900
80x10	7,12	3450	4600	3100	4200
100x5	4,45	2950	3800	2600	3400
100x10	8,90	4000	5400	3600	4800

Πίνακας 1.1.3.1-1: Ζυγοί ορθογωνικής διατομής κατά DIN από χαλκό για εναλλασσόμενη τάση 40 έως 60 Hz.

(\*) : επιμετάλλωση που διευκολύνει την απαγωγή της θερμότητας.

πλάτος x πάχος (mmxmm)	Βάρος  (kg/m)	Ονομαστικό ρεύμα (A)			
		ζυγοί (*) κατεργασμένοι		ζυγοί ακατέργαστοι	
		αριθμός ζυγών		αριθμός ζυγών	
		1 I	2 II	1 I	2 II
12x2	0,21	125	225	110	200
15x2	0,27	155	270	140	240
15x3	0,40	185	330	170	300
20x2	0,36	205	350	185	315
20x3	0,53	245	425	220	380
20x5	0,89	325	550	290	495
25x3	0,67	300	510	270	400
25x5	1,11	385	670	350	600
30x3	0,80	350	600	315	540
30x5	1,34	450	780	400	700
40x3	1,07	460	780	420	710
40x5	1,78	600	1000	520	900
40x10	3,56	835	1500	750	1350
50x5	2,23	700	1200	630	1100
50x10	4,45	1025	1800	920	1620
60x5	2,67	825	1400	750	1300
60x10	5,34	1200	2100	1100	1860
80x5	3,56	1060	1800	950	1650
80x10	7,12	1540	2600	1400	2300
100x5	4,45	1310	2200	1200	2000
100x10	8,90	1880	3100	1700	2700

Πίνακας 1.1.3.1-2: Ζυγοί ορθογωνικής διατομής κατά DIN από χαλκό για εναλλασσόμενη τάση 40 έως 60 Hz.

(\*) : επιμετάλλωση που διευκολύνει την απαγωγή της θερμότητας,

πλάτος x πάχος  (mmxmm)	Βάρος  (kg/m)	Ονομαστικό ρεύμα (A)			
		ζυγοί (*) κατεργασμένοι		ζυγοί ακατέργαστοι	
		αριθμός ζυγών		αριθμός ζυγών	
		1 I	2 II	1 I	2 II
12x2	0,065	100	180	80	140
15x2	0,081	125	215	95	170
15x3	0,122	150	265	115	210
20x2	0,108	165	280	120	220
20x3	0,162	195	340	145	270
20x5	0,270	200	400	195	350
25x3	0,202	240	410	180	330
25x5	0,338	310	535	230	430
30x3	0,243	280	480	205	385
30x5	0,405	360	625	270	500
40x3	0,324	370	630	280	500
40x5	0,540	460	800	350	650
40x10	1,08	670	1220	515	975
50x5	0,675	560	970	425	780
50x10	1,35	820	1440	625	1150
60x5	0,810	660	1130	500	900
60x10	1,62	960	1650	730	1300
80x5	1,08	850	1450	650	1170
80x10	2,16	1230	2100	930	1650
100x5	1,35	1050	1750	775	1400
100x10	2,70	1500	2450	1100	1950

Πίνακας 1.1.3.1-3: Ζυγοί ορθογωνικής διατομής κατά DIN από αλουμίνιο για εναλλασσόμενη τάση 40 έως 60 Hz.

(\*) : επιμετάλλωση που διευκολύνει την απαγωγή της θερμότητας.

πλάτος x πάχος  (mmxmm)	Βάρος  (kg/m)	Ονομαστικό ρεύμα (A)			
		ζυγοί (*) κατεργασμένοι		ζυγοί ακατέργαστοι	
		αριθμός ζυγών		αριθμός ζυγών	
		3 III	4 IIII	3 III	4 IIII
40x10	1,08	1650	2250	1350	1800
50x5	0,675	1400	1850	1120	1500
50x10	1,35	1960	2660	1600	2160
60x5	0,810	1580	2120	1300	1730
60x10	1,62	2230	3040	1850	2500
80x5	1,08	1950	2600	1050	2130
80x10	2,16	2760	3680	2300	3100
100x5	1,35	2350	3000	2000	2500
100x10	2,7	3200	4300	2700	3700

Πίνακας 1.1.3.1-4 : Ζυγοί ορθογωνικής διατομής κατά DIN από αλουμίνιο για εναλλασσόμενη τάση 40 έως 60 Hz.

(\*) : επιμετάλλωση που διευκολύνει την απαγωγή της θερμότητας,

Διάμετρος (mm)	Βάρος (kg/m)		Ονομαστικό ρεύμα (A)	
	χαλκός	αλουμίνιο	χαλκός	αλουμίνιο
6	0,254	0,076	125	65
8	0,447	0,136	160	-
10	0,699	0,212	250	200
16	1,789	0,543	480	380
20	2,796	0,860	640	500
30	6,291	1,910	1100	870

Πίνακας 1.1.3.1-5: Ζυγοί κυκλικής διατομής κατά DIN για εναλλασσόμενη τάση 40 έως 50 Hz και θερμοκρασία χώρου 30 °C.

Επίσης, εφόσον το συνολικό ρεύμα δεν προκύπτει αθροιστικά από όλα τα ελάσματα, πρέπει οι ονομαστικές τιμές ρεύματος της κάθε μπάρας να πολλαπλασιαστούν με τους παράγοντες του πίνακα 1.1.3.1-6 για να προκύψει το συνολικό ρεύμα μιας πολλαπλής διάταξης.

Συνολική περιοχή διακλάδωσης (mm <sup>2</sup> )	Πολλαπλασιαστικοί παράγοντες		
	2 μπάρες	3 μπάρες	4 μπάρες
500	1,78	2,45	3,13
1000	1,72	2,36	3,00
1500	1,65	2,24	2,84
2000	1,60	2,16	2,70
2500	1,55	2,10	2,60
3000	1,52	2,02	2,52
3500	1,48	1,98	2,48
4000	1,44	1,96	2,45

Πίνακας 1.1.3.1-6: Πολλαπλασιαστικοί παράγοντες για ζυγούς χαλκού για εναλλασσόμενη τάση.

### 1.1.3.2 Συνδέσεις

Ίσως η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για σύνδεση μεταξύ ζυγών και μεταξύ αγωγού-ζυγού είναι το βίδωμα ή το σφίξιμο δύο ορθογώνιων τομέων. Η σύνδεση αυτή είναι απλή και ευέλικτη, καθώς μπορεί εύκολα να αποσυναρμολογηθεί αν απαιτηθεί. Άλλες μέθοδοι περιλαμβάνουν το κάρφωμα ή την οξυγονοκόλληση, αλλά με αυτές η σύνδεση είναι μόνιμη. Οποιαδήποτε μέθοδος και αν χρησιμοποιείται, η αποτελεσματικότητα της σύνδεσης εξαρτάται από κάποιες βασικές προφυλάξεις:

1. Η πίεση της επαφής πρέπει να είναι σταθερή.
2. Οι επαφές των αγωγών να είναι καθαρές.
3. Σε επίπεδους αγωγούς η επικάλυψη πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη από το πλάτος των ράβδων ή 10 φορές το πάχος της μπάρας, όποιο από τα 2 είναι μεγαλύτερο.
4. Οι επαφές μεταξύ αγωγών αλουμινίου πρέπει να αποκλείουν την υγρασία.

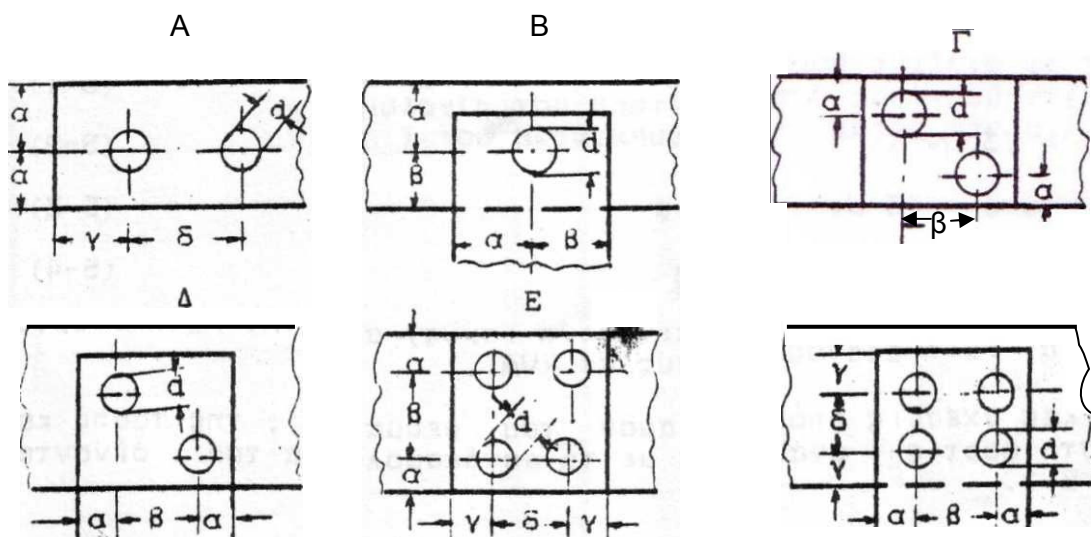


Στη σχεδίαση μιας επαφής, εφόσον οι επιφάνειες δεν είναι τελείως επίπεδες, η μεγάλη περιοχή επαφής δεν είναι εξέχουσας σημασίας. Το ρεύμα μεταφέρεται μέσω πολυάριθμων σημείων, τα οποία δημιουργούνται από τις ανωμαλίες στις επιφάνειες και η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από την πίεση που εφαρμόζεται. Αντίθετα, ιδιαίτερη βάση πρέπει να δίνεται στις συσφίξεις των βιδών. Οι βίδες είναι από διαφορετικό μέταλλο σε σχέση με αυτό των αγωγών και δεν πρέπει οι συσφίξεις τους να είναι μεγάλες όταν αυτές είναι κρύες, γιατί όταν η σύνδεση ζεσταθεί ενδέχεται να υπερβούν το φυσιολογικό, με αποτέλεσμα να συμβεί μόνιμη παραμόρφωση σε κάποιο σημείο. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι οι βίδες δε θα έχουν τη θερμοκρασία του ζυγού εφόσον αυτές δε θερμαίνονται άμεσα από τα ρεύματα.

Για συνδέσεις μεταξύ αγωγών χαλκού μπορούν να χρησιμοποιηθούν βίδες μπρούντζου ή άλλων χάλκινων κραμάτων. Αυτές έχουν αντοχή στη διάβρωση, μεγαλύτερη ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα από το ατσάλι και διαθέτουν συντελεστή θερμικής συστολής και διαστολής κοντινό σε αυτόν του χαλκού. Όσον αφορά στις συνδέσεις μεταξύ αγωγών αλουμινίου, συνιστώνται βίδες κράματος αλουμινίου HE30-WP και ατσάλινα παξιμάδια, γιατί η διαστολή τους λόγω αλλαγής της θερμοκρασίας είναι η ίδια με του αγωγού. Η επικάλυψη σε ενώσεις με βίδες μεταξύ επίπεδων αγωγών καθορίζεται από τον αριθμό των βιδών που απαιτούνται ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη πίεση. Για αποτελεσματικότερη επαφή οι επιφάνειες γυαλίζονται ώστε να απομακρυνθεί η οξείδωση και αλείφονται με αγωγήμη βαζελίνη αμέσως πριν γίνει η σύνδεση. Ακόμη, οι συνδέσεις μπορούν να επικασσιτερωθούν ώστε να προστατεύονται έναντι της διάβρωσης, όπου οι υψηλές πυκνότητες ρεύματος είναι αναπόφευκτες. Όταν η σύνδεση γίνεται μεταξύ ανόμοιων μετάλλων, π.χ. χαλκού και αλουμινίου, θα εμφανισθεί ηλεκτρολυτική δράση υπό την επίδραση υγρασίας. Γι' αυτό πρέπει να τοποθετηθεί κάποιο προστατευτικό μείγμα στις προς σύνδεση επιφάνειες, όπως γράσο.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται πώς γίνεται η επιλογή των συνδέσεων και των κοχλίων ανάλογα με τις διαστάσεις των προς σύνδεση ζυγών.

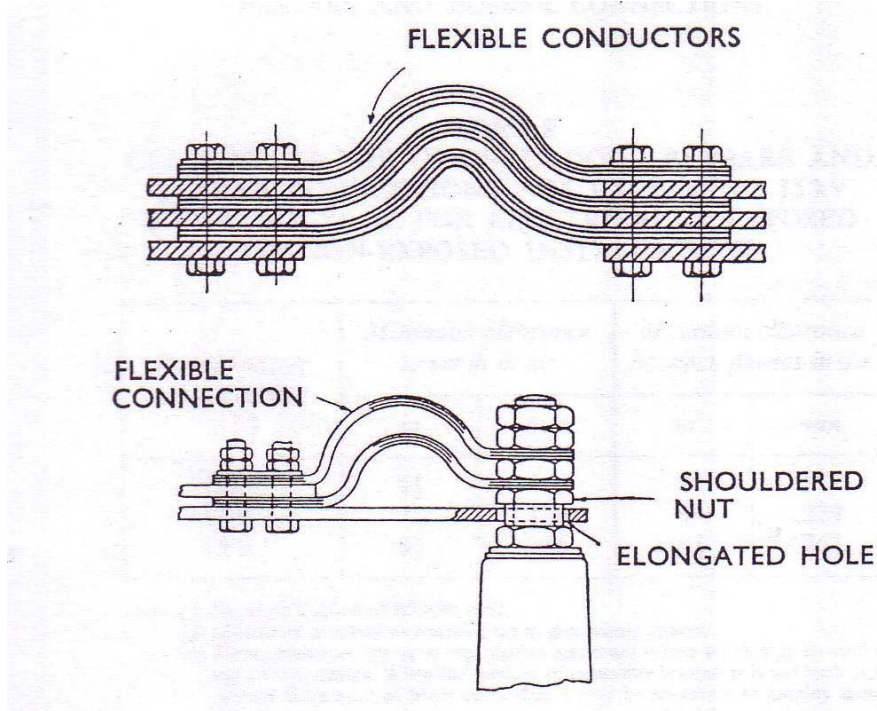
Ζυγός mm x mm	Σχήμα	Σύνδεση κατά				Κοχλίας			
		α mm	β mm	γ mm	δ mm	d mm	M mm	ίντσες	Μήκος mm
12x2	A & B	1/2 του πλά- τους	-	7,5	15	5,3	M5	-	12
15x2			-	7,5	15	6,4	M6	1/4	15
15x3			-	7,5	15	6,4	M8	5/16	18
20x2			-	10	20	8,4	M8	5/16	18
20x3			-	10	20	8,4	M8	5/16	18
20x5			-	10	20	8,4	M8		25
25x3			-	12,5	25	10,5	M10	3/8	25
25x5			-	12,5	25	10,5	M10	3/8	25
30x3			-	15	30	13	M12	1/2	25
30x5			-	15	30	13	M12	1/2	30
40x3			-	20	40	17	M16	5/8	30
40x5			-	20	40	17	M16	5/8	35
40x10			-	20	40	17	M16	5/8	45
50x5			Γ & Δ	14	22	14	22	13	M16
50x10	14	22		14	22	13	M16	1/2	40
60x5	17	25		17	25	17	M16	5/8	35
60x10	17	25		17	25	17	M16	5/8	45
80x5	E & Z	20	40	20	40	17	M16	5/8	35
80x10		20	40	20	40	17	M16	5/8	45
100x5		25	50	20	40	17	M16	5/8	35
100x10		25	50	20	40	17	M16	5/8	45



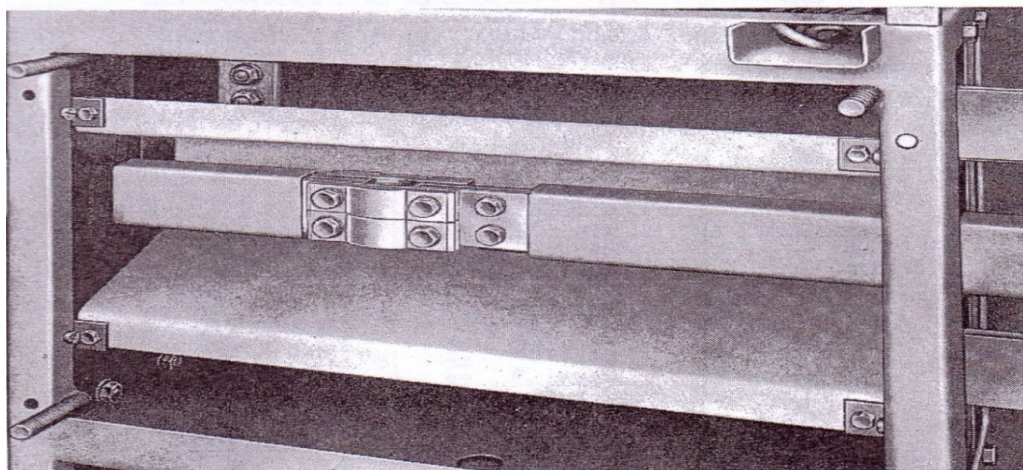
Πίνακας 1.1.3.2-1: Λυόμενες συνδέσεις ζυγών

### 1.1.3.3 Διαστολή και Συστολή

Οι διακυμάνσεις στη θερμοκρασία προκαλούν συστολή ή διαστολή στους αγωγούς και αυτό μπορεί να προκαλέσει ζημιά στους ίδιους και στα στηρίγματά τους. Στην περίπτωση μικρών μηκών το πρόβλημα δεν είναι σημαντικό, εφόσον εντός του κανονικού εύρους των θερμοκρασιών οι αλλαγές στο μήκος θα είναι πολύ μικρές και δύναται να απορροφηθούν από ένα συγκεκριμένο ποσό ευελιξίας των στηριγμάτων. Όμως, σε μεγάλα μήκη απαιτείται κάποιο εξάρτημα διαστολής, όπως φαίνεται στα σχήματα 1.1.3.3-1 και 1.1.3.3-2.



Σχήμα 1.1.3.3-1: Είδη εξαρτήματος διαστολής σε ζυγούς



Σχήμα 1.1.3.3-2: Διαστολή σε σύνδεση ζυγού 1200 A

#### 1.1.3.4 Αποστάσεις

Οι αναγνωρισμένες ελάχιστες αποστάσεις προς γη και μεταξύ φάσεων για μία ποικιλία συνθηκών δίνονται στους πίνακες 1.1.3.4-1 έως 1.1.3.4-5. Υποθέτουν ύψος που δεν ξεπερνά τα χίλια μέτρα (3300 πόδια) και αυξάνονται 3% για κάθε 300 μέτρα (1000 πόδια) για μεγαλύτερο από αυτό. Η ατμοσφαιρική ρύπανση (καπνός, χημικές αιθάλες, σπρέι ψεκασμού με αλάτι, κτλ) ίσως απαιτεί να τηρηθούν μεγαλύτερες αποστάσεις.

Μέγιστη ονομαστική τάση (kV)	Ελάχιστη απόσταση προς γη στον αέρα				Ελάχιστη απόσταση μεταξύ φάσεων στον αέρα			
	Ανοιχτού τύπου		Κλειστού τύπου		Ανοιχτού τύπου		Κλειστού τύπου	
	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
0,415	$\frac{3}{4}$	19	$\frac{5}{8}$	16	1	26	$\frac{3}{4}$	19
0,6	1	26	$\frac{3}{4}$	19	$1\frac{1}{4}$	32	$\frac{3}{4}$	19
3,3	2	51	2	51	2	51	2	51
6,6	$2\frac{1}{2}$	64	$2\frac{1}{2}$	64	$3\frac{1}{2}$	89	$3\frac{1}{2}$	89
11,0	3	77	3	77	5	127	5	127
15,0	4	102	4	102	$6\frac{1}{2}$	165	$6\frac{1}{2}$	165
22,0	$5\frac{1}{2}$	140	$5\frac{1}{2}$	140	$9\frac{1}{2}$	242	$9\frac{1}{2}$	242
33,0	$8\frac{3}{4}$	223	$8\frac{3}{4}$	223	14	356	14	356

Πίνακας 1.1.3.4-1: Αποστάσεις για εσωτερικούς ζυγούς και συνδέσεις

Μέγιστη ονομαστική τάση (kV)	Ελάχιστη απόσταση προς γη στον αέρα		Ελάχιστη απόσταση μεταξύ φάσεων στον αέρα	
	<i>in</i>	<i>mm</i>	<i>in</i>	<i>mm</i>
0,6	$1\frac{1}{2}$	13	$1\frac{1}{2}$	13
3,3	$1\frac{1}{2}$	13	$3\frac{3}{4}$	19
6,6	$3\frac{3}{4}$	19	1	26
11,0	1	26	$1\frac{1}{2}$	38
15,0	$1\frac{1}{4}$	32	$1\frac{3}{4}$	45
22,0	$1\frac{3}{4}$	45	$2\frac{1}{2}$	64
33,0	$2\frac{1}{2}$	64	$3\frac{1}{2}$	89

Πίνακας 1.1.3.4-2: Αποστάσεις ζυγών και συνδέσεων βυθισμένων σε λάδι

Μέγιστη ονομαστική τάση (kV)	Ελάχιστη απόσταση προς γη στον αέρα		Ελάχιστη απόσταση μεταξύ φάσεων στον αέρα	
	<i>in</i>	<i>mm</i>	<i>in</i>	<i>mm</i>
6,6	$5\frac{1}{2}$	140	7	178
11,0	7	178	9	229
15,0	$8\frac{1}{2}$	216	$10\frac{1}{2}$	267

Πίνακας 1.1.3.4-3: Αποστάσεις εξωτερικών ζυγών και συνδέσεων για εγκαταστάσεις εκτεθειμένες ή όχι σε υπερτάσεις που δεν υπερβαίνουν τα 15 KV.

Επίπεδο αντοχής παλμού τάσης, τιμή κορυφής (kV)	Ονομαστική τάση (kV)	Ελάχιστη απόσταση προς γη στον αέρα		Ελάχιστη απόσταση μεταξύ φάσεων στον αέρα	
		<i>in</i>	<i>mm</i>	<i>in</i>	<i>mm</i>
150	22	11	279	13	330
200	33	15	381	17	431
250	44	19	482	22	558
350	66	27	685	31	786
450	88	34	863	39	969
550	110	42	1068	48	1219
650	132	50	1270	58	1473
750	165	58	1473	67	1702
1050	220	82	2082	94	2368

Πίνακας 1.1.3.4-4: Αποστάσεις εξωτερικών ζυγών και συνδέσεων για ονομαστική τάση 22-88 kV καθώς και για μη επαρκώς γειωμένα συστήματα άνω των 110kV

Επίπεδο αντοχής παλμού τάσης, τιμή κορυφής (kV)	Ονομαστική τάση (kV)	Ελάχιστη απόσταση προς γη στον αέρα		Ελάχιστη απόσταση μεταξύ φάσεων στον αέρα	
		<i>in</i>	<i>mm</i>	<i>in</i>	<i>mm</i>
450	110	34	863	39	989
550	132	42	1068	48	1219
650	165	50	1270	58	1473
900	220	70	1770	81	2029
1050	275	82	2082	94	2388

Πίνακας 1.1.3.4-5: Αποστάσεις εξωτερικών ζυγών και συνδέσεων για επαρκώς γειωμένα συστήματα με ονομαστική τάση άνω των 110kV

Βέβαια, όπως φαίνεται και από τους πίνακες, οι αποστάσεις εξαρτώνται από έναν αριθμό συνθηκών όπως για παράδειγμα από το αν το σύστημα είναι εκτεθειμένο σε υπερτάσεις ατμοσφαιρικής προέλευσης ή αν είναι επαρκώς γειωμένο. Σε ένα σύστημα που έχει μονίμως απομονωμένο ουδέτερο υπάρχει πιθανότητα να συμβεί τόξο μεταξύ μιας φάσης και γης. Σε τέτοια σφάλματα, παράγονται υπερτάσεις και πρέπει να δοθεί προσοχή στη μόνωση των ζυγών, ιδιαίτερα όταν η μεταφορά πραγματοποιείται με υπέργειες γραμμές. Όταν, όπως σε μερικά σχέδια εξωτερικών υποσταθμών, οι ζυγοί περιέχουν πλεγμένους αγωγούς που στηρίζονται από μονωτήρες, πρέπει να υπάρχει χώρος ώστε να αιωρείται ο αγωγός. Στον πίνακα 1.1.3.4-2 υποδεικνύεται ότι αποστάσεις μικρότερες από εκείνες που απαριθμούνται μπορούν να χρησιμοποιηθούν αν, επιπροσθέτως της βύθισης σε λάδι ή μείγμα, οι ζυγοί καλύπτονται με στερεά μόνωση ικανή να αντέχει την κατάλληλη δοκιμή τάσης βιομηχανικής συχνότητας.

#### 1.1.3.5 Αποστάσεις ερπυσμού μονωτήρων στήριξης των ζυγών

Η ελάχιστη απόσταση ερπυσμού των μονωτήρων πάνω σε μόνωση που πρέπει να διαθέτουν οι εσωτερικοί πίνακες δεν μπορεί να προδιαγραφεί σαφώς, γιατί εξαρτάται πολύ από το σχεδιασμό και τις συνθήκες υπό τις οποίες θα λειτουργήσει. Ένα από τα προβλήματα που προκύπτουν είναι αυτό της σκόνης και της υγρασίας, ούτως ώστε η ουσιαστική απόσταση ερπυσμού να εξαρτάται από το βαθμό προστασίας που παρέχει ο πίνακας έναντι αυτού του κινδύνου, που είναι προφανώς μεγαλύτερος σε ανοιχτού τύπου.

Το πρότυπο BS 159:1957 αναφέρει αυτό το πρόβλημα και περιλαμβάνει τον πίνακα 1.1.3.5-1 καθαρά σαν οδηγό για την περίπτωση μόνωσης από πορσελάνη ή από συνθετική ρητίνη και για επαρκώς προστατευμένη μόνωση από σκόνη και υγρασία.

Μέγιστη ονομαστική τάση (kV)	Ελάχιστη απόσταση ερπυσμού φάσης - γης στον αέρα	
	(in)	(mm)
0,415	$\frac{3}{4}$	19
0,6	1	26
3,3	2	51
6,6	$3\frac{1}{2}$	89
11	5	127
15	6	159
22	8	204
33	12	304

Πίνακας 1.1.3.5-1: Αποστάσεις ερπυσμού μονωτήρων στήριξης προς γη στον αέρα για ζυγούς εσώκλειστης διακοπτικής διάταξης.

### 1.1.3.6 Αποτελέσματα βραχυκυκλωμάτων

Η ένταση του ρεύματος που ρέει τη στιγμή ενός βραχυκυκλώματος μπορεί να είναι υπερβολικά υψηλή και η διάβαση του ρεύματος, αν και διαρκεί για μικρό χρονικό διάστημα, πρέπει να εξεταστεί. Τα προβλήματα που προκύπτουν λόγω των βραχυκυκλωμάτων είναι δύο: αφενός η αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού σε επικίνδυνο επίπεδο και αφετέρου η δημιουργία ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων έλξης και απώθησης μεταξύ γειτονικών αγωγών διαφορετικής πολικότητας ή φάσης οι οποίες τείνουν να βλάψουν τους αγωγούς και να καταπονήσουν έντονα την κατασκευή στήριξης.

## 1.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία μίας ηλεκτροτεχνικής κατασκευής, θα πρέπει να εναρμονίζονται τα επιμέρους στοιχεία της (διακόπτες, πίνακες, μετασχηματιστές, καλώδια, κλπ.), καθώς και η κατασκευή στο σύνολό της, με τις απαιτήσεις των κατά περίπτωση κανονισμών κατασκευής και προδιαγραφών δοκιμής (DIN, VDE, IEC, ASM, προδιαγραφές της ΔΕΗ, κλπ.).

Η αξιοπιστία μίας ηλεκτροτεχνικής κατασκευής διασφαλίζεται όταν ανταπεξέλθει με επιτυχία, πριν διατεθεί σε χρήση, σε δοκιμές υπό συνθήκες λειτουργίας, που αντιστοιχούν στις μελλοντικές μέγιστες καταπονήσεις της στο δίκτυο. Οι δοκιμές αυτές, που συνήθως αποτελούν την τελευταία φάση της παραγωγικής διαδικασίας, προβλέπονται στις προδιαγραφές (IEC, VDE , κλπ.) και διακρίνονται σε δοκιμές τύπου και δοκιμές σειράς. Στην Ελλάδα, οι περισσότερες των παραπάνω δοκιμών μπορούν να γίνουν στα εργαστήρια του Κέντρου Δοκιμών Ερευνών και Προτύπων της ΔΕΗ. Οι δοκιμές γίνονται είτε σε υλικά που αγοράζει η ΔΕΗ, είτε για λογαριασμό φορέων του δημόσιου ή ιδιωτικού τομέα που επιθυμούν τον έλεγχο των υλικών που αγοράζουν, είτε για λογαριασμό κατασκευαστών πινάκων που επιθυμούν τον έλεγχο των υλικών που κατασκευάζουν.

Οι δοκιμές τύπου και σειράς δεν είναι ίδιες για κάθε ηλεκτροτεχνική κατασκευή, αλλά εξαρτώνται από το είδος της (μετασχηματιστής, καλώδιο, αποζεύκτης, διακόπτης ισχύος, κλπ.), τα ονομαστικά στοιχεία της (ονομαστική τάση, ονομαστικό ρεύμα, κλπ.) και τις συνθήκες λειτουργίας, που πρόκειται να αντιμετωπίσει αυτή στο δίκτυο (π.χ. για αποζεύκτες εξωτερικού χώρου προβλέπεται στις προδιαγραφές, ως δοκιμή τύπου, η εξακρίβωση της ικανότητας μόνωσης υπό βροχή· ο έλεγχος αυτός δεν έχει νόημα σε αποζεύκτες εσωτερικού χώρου).

Το σκεπτικό για την αναζήτηση των δοκιμών που χρειάζεται να πραγματοποιηθούν σε μία ηλεκτροτεχνική κατασκευή, πηγάζει βασικά από την ανάγκη να δοθεί μία απάντηση μεταξύ άλλων και στα παρακάτω ερωτήματα (όταν βέβαια αυτά έχουν νόημα για την προς έλεγχο κατασκευή):



- 1) Πώς θα επιβεβαιωθεί το ονομαστικό ρεύμα;
- 2) Πώς θα επιβεβαιωθεί η διηλεκτρική αντοχή της κατασκευής;
- 3) Ποιες είναι οι απαιτήσεις σε μηχανική αντοχή;
- 4) Αντέχει η κατασκευή το βραχυκύκλωμα μέχρι να γίνει διακοπή του από το μέσο προστασίας του δικτύου;
- 5) Ποιες είναι οι ειδικές απαιτήσεις, που πρέπει να χαρακτηρίζουν την κατασκευή;

Η απάντηση στα παραπάνω ερωτήματα δίνεται από τις διάφορες προδιαγραφές με συγκεκριμένες δοκιμές. Οι δοκιμές αυτές για τα τέσσερα πρώτα ερωτήματα είναι αντίστοιχα:

- Η δοκιμή υπερθέρμανσης (ή δοκιμή ανύψωσης της θερμοκρασίας)
- Οι διηλεκτρικές δοκιμές
- Η δοκιμή μηχανικής αντοχής
- Η δοκιμή βραχυκύκλωσης

Σε ό,τι αφορά την τελευταία ερώτηση, οι δοκιμές που χαρακτηρίζονται ως "ειδικές" περιλαμβάνονται επίσης στις προδιαγραφές, ανάλογα με την περίπτωση. Έτσι, η μέτρηση π.χ. των απωλειών ενός μετασχηματιστή, ο έλεγχος της ποιότητας βαφής (ή της επιψευδαργύρωσης) ενός πίνακα εξωτερικού χώρου κλπ., αποτελούν, κατά το παραπάνω σκεπτικό, ειδικές δοκιμές, γιατί αναφέρονται σε συγκεκριμένες ειδικές απαιτήσεις, που καθορίζονται από το είδος της κατασκευής.

### **1.2.1 Δοκιμές σειράς σε εξοπλισμό διακοπής και ελέγχου**

Οι δοκιμές σειράς πραγματοποιούνται σε όλα ανεξαιρέτως τα τεμάχια. Οι δοκιμές αυτές δεν είναι καταστρεπτικές και γι' αυτό θα πρέπει να πραγματοποιούνται παρουσία του αγοραστή. Η ΔΕΗ πραγματοποιεί όλες τις δοκιμές σειράς στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό που προμηθεύεται. Σε μικρές προμήθειες εξοπλισμού (όπως συμβαίνει συνήθως σε ιδιωτικούς υποσταθμούς μέσης τάσης) και σε περιπτώσεις, που δεν είναι δυνατό να γίνουν οι παραπάνω δοκιμές παρουσία του αγοραστή, πρέπει να επιβεβαιώνεται η ποιότητα με πιστοποιητικά διεθνώς αναγνωρισμένου εργαστηρίου. Οι βασικότερες δοκιμές σειράς που πραγματοποιούνται σε πίνακες μέσης τάσης είναι οι εξής:

- Διηλεκτρική δοκιμή υπό εναλλασσόμενη τάση βιομηχανικής συχνότητας επί 1 min.
- Έλεγχος βοηθητικών κυκλωμάτων.
- Δοκιμή μηχανικής λειτουργίας των διακοπών.

Οι δοκιμές σειράς δε θα απασχολήσουν την παρούσα εργασία και για αυτό το λόγο δε θα επεκταθούμε περαιτέρω.

### **1.2.2 Δοκιμές τύπου σε εξοπλισμό διακοπής και ελέγχου**

Οι δοκιμές τύπου γίνονται σε διεθνώς αναγνωρισμένα εργαστήρια ή σε εργαστήρια του κατασκευαστή (όσες είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν σε αυτό) και αφορούν συνήθως (εκτός αν ορίζεται διαφορετικά με σύμβαση) ένα τυχαίο δείγμα, από τα έτοιμα προς διάθεση προϊόντα. Οι δοκιμές τύπου χαρακτηρίζονται ως καταστρεπτικές, γιατί, παρά την επιτυχή διεξαγωγή τους, μπορεί να γίνουν αιτία πρόκλησης μελλοντικών βλαβών. Για το λόγο αυτό η προμήθεια εξοπλισμού, με την προϋπόθεση της πραγματοποίησης των δοκιμών αυτών από τον προμηθευτή, έχει νόημα μόνο σε περιπτώσεις μεγάλου αριθμού τεμαχίων όπως συμβαίνει με την προμήθεια εξοπλισμού από τη ΔΕΗ. Σε διαφορετική περίπτωση, θα πρέπει να αρκείται κανείς στην επιβεβαίωση της ποιότητας μέσω πιστοποιητικών εργαστηριακών δοκιμών, τα

οποία βεβαίως δεν μπορούν να υποκατασταθούν από διαφημιστικά φυλλάδια ή άλλα έντυπα.

Σκοπό των δοκιμών τύπου αποτελεί η επαλήθευση των χαρακτηριστικών των συσκευών διακοπής και ελέγχου, των συσκευών χειρισμού τους και του βοηθητικού εξοπλισμού τους. Οι δοκιμές τύπου πρέπει να πραγματοποιούνται το πολύ σε τέσσερα δείγματα εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά στη σχετική προδιαγραφή IEC. Κάθε δείγμα πρέπει να ταιριάζει πλήρως με τα σχέδια, να αντιπροσωπεύει πλήρως το είδος του και να υποβληθεί σε μία ή περισσότερες δοκιμές. Κάθε δοκιμή πρέπει να πραγματοποιείται αρχικά στις συσκευές διακοπής και ελέγχου, οι οποίες πρέπει να βρίσκονται στην κατάσταση που απαιτείται, στις συσκευές χειρισμού τους και στο βοηθητικό εξοπλισμό. Όλα τα προηγούμενα πρέπει να είναι καινούρια και καθαρά κατά την έναρξη της δοκιμής.

Επισκευές κατά τη διάρκεια της δοκιμής επιτρέπονται, σύμφωνα με τη σχετική προδιαγραφή IEC. Ο κατασκευαστής πρέπει να δηλώνει στο εργαστήριο ποια μέρη μπορούν να αντικατασταθούν κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

#### *1.2.2.1 Πληροφορίες για την αναγνώριση των δειγμάτων*

Ο κατασκευαστής οφείλει να υποβάλλει στο εργαστήριο σχέδια και άλλα δεδομένα που περιέχουν επαρκείς πληροφορίες προκειμένου να αναγνωρίζονται σαφώς οι ουσιώδεις λεπτομέρειες και τα μέρη των συσκευών διακοπής και ελέγχου οι οποίες πρόκειται να υποβληθούν σε δοκιμή. Κάθε σχέδιο ή δεδομένο πρέπει να αναφέρεται αποκλειστικά και πρέπει να περιέχει μία δήλωση στην οποία ο κατασκευαστής εγγυάται ότι τα σχέδια όντως αντιπροσωπεύουν τις δοκιμαζόμενες συσκευές διακοπής και ελέγχου. Μετά το πέρας της επαλήθευσης, τα λεπτομερειακά σχέδια επιστρέφονται στον κατασκευαστή.

Ο κατασκευαστής πρέπει να διατηρεί λεπτομερές αρχείο των σχεδίων όλων των συνιστούντων μερών των δοκιμαζομένων συσκευών διακοπής και ελέγχου και πρέπει να εξασφαλίσει ότι αυτά μπορούν να αναγνωριστούν από τις πληροφορίες που περιλαμβάνονται στα σχέδια και τα δεδομένα.

Το εργαστήριο πρέπει να εξετάσει αν τα σχέδια και οι πληροφορίες που παρέχονται αντιπροσωπεύουν ικανοποιητικά τις ουσιώδεις λεπτομέρειες και μέρη των δοκιμαζομένων συσκευών διακοπής και ελέγχου, ωστόσο, δεν είναι υπεύθυνο για την ακρίβεια των πληροφοριών.

Τα αποτελέσματα όλων των τύπων δοκιμών πρέπει να καταγράφονται σε αναφορές δοκιμών οι οποίες περιλαμβάνουν επαρκή δεδομένα που να είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Περιλαμβάνουν, επίσης, επαρκείς πληροφορίες ώστε να μπορούν να προσδιοριστούν τα σημαντικά μέρη των συσκευών διακοπής και ελέγχου. Οι πληροφορίες που ακολουθούν πρέπει να περιλαμβάνονται στις εν λόγω αναφορές:

1. Κατασκευαστής.
2. Ονομασία και αύξων αριθμός των δοκιμαζομένων συσκευών διακοπής και ελέγχου.
3. Ονομαστικά μεγέθη των δοκιμαζομένων συσκευών διακοπής και ελέγχου όπως ορίζεται στη σχετική προδιαγραφή IEC.
4. Γενική περιγραφή (από τον κατασκευαστή) των δοκιμαζομένων συσκευών διακοπής και ελέγχου συμπεριλαμβανομένου και του αριθμού των πόλων.
5. Τύπος, αύξοντες αριθμοί και αξιολόγηση των σημαντικών μερών, όπου αυτό είναι δυνατό.
6. Γενικές λεπτομέρειες του μηχανισμού στήριξης της συσκευής διακοπής και ελέγχου.
7. Λεπτομέρειες του μηχανισμού χειρισμού και των συσκευών που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια των δοκιμών, όπου αυτό είναι δυνατό.
8. Φωτογραφίες που απεικονίζουν την κατάσταση των συσκευών διακοπής και ελέγχου πριν αυτές υποβληθούν στη δοκιμή.
9. Επαρκή σχέδια και δεδομένα που αναπαριστούν τις δοκιμαζόμενες συσκευές διακοπής και ελέγχου.
10. Αριθμοί αναφοράς όλων των σχεδίων που έχουν κατατεθεί ώστε να προσδιοριστούν τα σημαντικά μέρη των δοκιμαζομένων συσκευών διακοπής και ελέγχου.

11. Λεπτομέρειες για τον προγραμματισμό της δοκιμής (περιλαμβανομένου του διαγράμματος του προς δοκιμή κυκλώματος).
12. Δηλώσεις για τη συμπεριφορά των συσκευών διακοπής και ελέγχου κατά τη διάρκεια της δοκιμής, για την κατάστασή τους μετά τη δοκιμή και για οποιοδήποτε μέρος που αντικαταστάθηκε κατά τη διάρκεια της δοκιμής.
13. Καταγραφή των στοιχείων της δοκιμής σε κάθε δοκιμή, όπως ορίζεται στη σχετική προδιαγραφή IEC.

### 1.2.2.2 Είδη δοκιμών τύπου

Οι βασικότερες δοκιμές τύπου που πραγματοποιούνται είναι οι εξής:

- **Διηλεκτρικές δοκιμές:** Αποσκοπούν στη διαπίστωση της διηλεκτρικής αντοχής της κατασκευής, ανάλογα με την ονομαστική της τάση. Οι τιμές της ονομαστικής τάσης των διαφόρων κατασκευών είναι τυποποιημένες (π.χ. στο τριφασικό δίκτυο των 50 Hz: 500V, 6,6 kV , 15 kV, 20 kV , κλπ.). Οι μετρήσεις που γίνονται, αφορούν κυρίως τον έλεγχο της μονωτικής ικανότητας έναντι υπερτάσεων, που εκδηλώνονται κατά τη λειτουργία της κατασκευής στο δίκτυο. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές των τάσεων δοκιμής, ανάλογα με την ονομαστική τάση.

U <sub>N</sub> kV	Τάση μόνωσης (μέγιστη επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας) kV	ΤΑΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ				
		Εναλλασσόμενη τάση 50 Hz		Κρουστική τάση 1,2/50 μs		
		Έλεγχος της μόνωσης ως προς γη ή μεταξύ φάσεων kV	Έλεγχος της απόστασης σε διακόπτες kV	Έλεγχος της μόνωσης ως προς γη ή μεταξύ φάσεων kV -      +	Έλεγχος της απόστασης σε διακόπτες kV	
3	3,6	21	25	45	48	52
6	7,2	27	35	60	57	70
10	12	35	45	75	71	85
15	17,5	45	60	95	90	110
20	24	55	75	125	120	145
25	27,5	65	90	145	130	170
30	36	75	100	170	150	195
45	52	105	145	235	220	290
60	72,5	140	190	300	280	300
110	123	230	310	450	430	650

Πίνακας 1.2.2.2-1: Τιμές για τη δοκιμή εναλλασσόμενης τάσης 50 Hz επί 1 min και τη δοκιμή με κρουστική τάση 1,2/50 μs (αρνητικής πολικότητας "-" και θετικής πολικότητας "+")

Οι διηλεκτρικές δοκιμές αποσκοπούν, δηλαδή, στην επιβεβαίωση της ονομαστικής τάσης, ανάλογα με την οποία μπορεί να καταπονείται η κατασκευή σε κεραυνικές υπερτάσεις και τάσεις χειρισμών, χωρίς να προκαλείται από αυτές μείωση της διηλεκτρικής αντοχής. Η δοκιμή υπό κρουστικές τάσεις είναι δοκιμή τύπου, ενώ η δοκιμή με εναλλασσόμενη τάση βιομηχανικής συχνότητας (50 Hz) δοκιμή τύπου και σειράς. Στην κατασκευή εγκαταστάσεων στον αέρα, που έχουν ονομαστική τάση πάνω από 1000 V, ενδιαφέρει ιδιαίτερα η τήρηση ορισμένων αποστάσεων μεταξύ αγωγών και αγωγών προς γη. Ενδιαφέρουν, επίσης, οι αποστάσεις προστασίας από τοιχώματα, μεταλλικά πλέγματα και γενικά μεταλλικές επιφάνειες (π.χ. αποστάσεις προστασίας των ρευματοφόρων μερών ενός υποσταθμού, αποστάσεις προστασίας για την τοποθέτηση του πλέγματος σε ένα πεδίο δοκιμών ή σε έναν υπαίθριο υποσταθμό, κλπ.). Στον πίνακα 1.2.2.2-2 δίνονται ορισμένες τιμές αποστάσεων οι οποίες διευκολύνουν στις διάφορες επιλογές.

Ονομαστική τάση (σε kV)	Ελάχιστη απόσταση μόνωσης (σε mm)		Απόσταση μεταξύ αγωγού και επιφάνεια προστασίας (σε mm)				
			κιγκλίδωμα		εσχάρα		λαμαρίνα
			Εσ.	Εξ.	Εσ.	Εξ.	
1	40	—		—	140	—	70
3	75	—		—	175	—	105
6	100	—		—	200	—	130
10	125	180	500	500	225	280	155
20	180	260		500	280	360	210
30	260	360		560	360	460	290
45	360	470	560	670	460	570	390
60	470	580	670	780	570	680	500
110	800	1000	1000	1200	900	1100	830
150	—	1450	—	1650	—	1550	—
220	—	2200	—	2400	—	2300	—

Πίνακας 1.1.2.2-2: Αποστάσεις στον αέρα για εγκαταστάσεις πάνω από 1000 V.

Εσ. : εγκατάσταση εσωτερικού χώρου.

Εξ. : εγκατάσταση εξωτερικού χώρου.

Συγκεκριμένα, στους πίνακες μέσης τάσης οι διηλεκτρικές δοκιμές πραγματοποιούνται υπό κρουστική και εναλλασσόμενη τάση βιομηχανικής συχνότητας επί ένα λεπτό σύμφωνα με τον πίνακα 1.2.2.2-2.

- Δοκιμή μηχανικής αντοχής:** Αφορά τη στιβαρότητα της κατασκευής, η οποία στην περίπτωση των επαφών των διακοπών σχετίζεται με την ικανότητα σε ονομαστικό ρεύμα, μετά από ένα αριθμό χειρισμών. Ένας διακόπτης, π.χ. με ονομαστικό ρεύμα 400 A, πρέπει να έχει μετά από 1000 πλήρεις κύκλους λειτουργίας την ίδια ικανότητα σε ονομαστικό ρεύμα (δηλαδή 400 A). Κατά τη δοκιμή ελέγχονται τυχόν παραμορφώσεις και αποσυναρμολογήσεις (ακατάλληλα ελατήρια σύσφιξης, κλπ) στις επαφές του διακόπτη. Η δοκιμή μηχανικής αντοχής στους διακόπτες προβλέπεται στις προδιαγραφές και ως δοκιμή σειράς, αλλά με πολύ μικρό αριθμό χειρισμών (10 κύκλοι χειρισμού), μετά από τους οποίους γίνεται οπτικός έλεγχος της στιβαρότητας των επαφών. Στους πίνακες μέσης τάσης, η δοκιμή αυτή εφαρμόζεται στους διακόπτες, στα χειριστήρια, στις αλληλασφαλίσεις και στο περίβλημα.
- Δοκιμή βραχυκύκλωσης:** Δίνει τις πληροφορίες για τη δυναμική και τη θερμική καταπόνηση της κατασκευής από το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τιμές του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης για το δίκτυο μέσης τάσης της ΔΕΗ.

Ονομαστική τάση σε kV	Μέγιστη τάση λειτουργίας σε kV	Εναλλασσόμενο τμήμα του ρεύματος βραχυκύκλωσης σε kA
6,6	7,2	10
15	17,5	10
20	24	7,2

Πίνακας 1.2.2.2-3: Τιμές του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης για το δίκτυο μέσης τάσης της ΔΕΗ.



- **Μέτρηση ραδιοφωνικών παρεμβολών:** Πρόκειται για μέτρηση της στάθμης του θορύβου λόγω μερικών εκκενώσεων.
- **Μέτρηση αντίστασης κυρίως κυκλώματος.**
- **Επαλήθευση βαθμού προστασίας έναντι επικίνδυνης επαφής με στοιχεία υπό τάση ή κινούμενα στοιχεία**
- **Δοκιμή μέτρησης του ρυθμού διαρροής μονωτικού υλικού (tightness test).**
- **Δοκιμή υπερθέρμανσης:** Θα αναλυθεί λεπτομερώς στην επόμενη ενότητα σύμφωνα με την προδιαγραφή EN 60694:1996.

### **1.2.3 Δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας**

#### *1.2.3.1 Συνθήκες των δοκιμαζομένων συσκευών διακοπής και ελέγχου*

Αν δεν ορίζεται διαφορετικά στις σχετικές προδιαγραφές, η δοκιμή υπερθέρμανσης του κύριου κυκλώματος πρέπει να πραγματοποιηθεί σε καινούρια συσκευή διακοπής με καθαρές επαφές και, αν είναι εφαρμόσιμο, γεμάτη με το απαραίτητο μονωτικό υγρό ή αέριο στην ελάχιστη πίεση λειτουργίας (ή πυκνότητα) για να εξασφαλιστεί η μόνωση πριν τη δοκιμή.

#### *1.2.3.2 Διάταξη του εξοπλισμού*

Η δοκιμή πρέπει να πραγματοποιηθεί σε κλειστό χώρο σε ένα περιβάλλον χωρίς ρεύματα αέρος, εκτός από αυτά που παράγονται από τη θερμότητα που ελευθερώνεται από την προς έλεγχο συσκευή. Στην πράξη, η προηγούμενη συνθήκη επιτυγχάνεται όταν η ταχύτητα του ανέμου δεν υπερβαίνει τα 0,5 m/sec.

Για δοκιμές υπερθέρμανσης σε μέρη που δεν ανήκουν στον βοηθητικό εξοπλισμό, οι συσκευές διακοπής και ελέγχου καθώς και ο εξοπλισμός τους πρέπει να είναι σε κανονική λειτουργία, συμπεριλαμβανομένων και όλων των προστατευτικών καλυμμάτων οποιουδήποτε μέρους των συσκευών διακοπής και ελέγχου, και πρέπει να προστατεύονται από ανεπιθύμητη εξωτερική θέρμανση ή ψύξη.

Όταν οι συσκευές διακοπής και ελέγχου, σύμφωνα με τις υποδείξεις του κατασκευαστή, μπορούν να εγκατασταθούν σε διαφορετικές θέσεις, η δοκιμή υπερθέρμανσης πρέπει να πραγματοποιηθεί στη δυσμενέστερη θέση.

Αυτές οι δοκιμές πρέπει αρχικά να γίνουν σε τριπολικές συσκευές διακοπής και ελέγχου αλλά μπορούν να γίνουν και σε έναν πόλο ή σε μία μονάδα εφόσον η επίδραση των άλλων πόλων ή μονάδων είναι αμελητέα. Για τριφασικές συσκευές διακοπής και ελέγχου με ονομαστικό ρεύμα που δεν ξεπερνάει τα 630 A, οι δοκιμές μπορεί να γίνουν με όλους τους πόλους συνδεδεμένους σε σειρά. Για ρεύματα μεγαλύτερα των 630 A, η επίδραση των δινορρευμάτων που δημιουργούνται από το μονοφασικό κύκλωμα δοκιμής στη μεταλλική επένδυση των πινάκων είναι τέτοια που συμβάλλει σημαντικά στη συνολική θερμική συμπεριφορά των δοκιμίων και επηρεάζει τα αποτελέσματα των δοκιμών.

Η μόνωση των συσκευών διακοπής και ελέγχου, ιδιαίτερα όσο μεγαλύτερες είναι αυτές, για τις οποίες η μόνωση ως προς γη δεν επηρεάζει σημαντικά την ανύψωση της θερμοκρασίας, μπορεί να μειωθεί αισθητά.

Οι προσωρινές συνδέσεις στο κύριο κύκλωμα δεν πρέπει να άγουν σημαντική ποσότητα θερμότητας στις συσκευές διακοπής και ελέγχου κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής. Η ανύψωση της θερμοκρασίας στους ακροδέκτες του κύριου κυκλώματος και στις προσωρινές συνδέσεις σε απόσταση ενός μέτρου από τους ακροδέκτες πρέπει να μετράται. Η διαφορά της ανύψωσης της θερμοκρασίας δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 5°K. Ο τύπος και το μέγεθος των προσωρινών συνδέσεων πρέπει να καταγράφονται στην αναφορά της δοκιμής.

Για τριπολικές συσκευές διακοπής και ελέγχου η δοκιμή πρέπει να πραγματοποιηθεί σε τριφασικό κύκλωμα λαμβάνοντας υπόψιν τις εξαιρέσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Η δοκιμή πρέπει να πραγματοποιηθεί στο ονομαστικό ρεύμα  $I_r$  των συσκευών διακοπής και ελέγχου. Το ρεύμα τροφοδοσίας πρέπει να είναι πρακτικά ημιτονοειδές.

Οι συσκευές διακοπής και ελέγχου, με εξαίρεση το βοηθητικό εξοπλισμό συνεχούς ρεύματος, πρέπει να δοκιμάζονται στην ονομαστική συχνότητα με ανοχές +2 % και -5% της ονομαστικής. Η συχνότητα της δοκιμής πρέπει να καταγράφεται στην αναφορά της δοκιμής.

Η διάρκεια της δοκιμής πρέπει να είναι επαρκής ώστε η ανύψωση της θερμοκρασίας να φτάσει μία σταθερή τιμή. Εκτιμάται πως προκειμένου να συμβεί αυτό η ανύψωση της θερμοκρασίας δεν πρέπει να υπερβαίνει τον 1°K σε διάρκεια μιας ώρας γεγονός το οποίο επιτυγχάνεται όταν η δοκιμή διαρκεί 5 φορές τη θερμική σταθερά χρόνου της υπό δοκιμή συσκευής.

Η συνολική διάρκεια της δοκιμής μπορεί να μειωθεί αν θερμάνουμε από πριν το κύκλωμα με μεγαλύτερο ρεύμα, εκτός αν απαιτείται η μέτρηση της θερμικής σταθεράς του χρόνου.

### *1.2.3.3 Μέτρηση της θερμοκρασίας και της ανύψωσης θερμοκρασίας*

Προληπτικά μέτρα πρέπει να ληφθούν ώστε να μειωθούν οι αποκλίσεις και τα σφάλματα λόγω της χρονικής υστέρησης ανάμεσα στις θερμοκρασίες της συσκευής διακοπής καθώς και οι τυχόν αποκλίσεις στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Για τα πηνία, συνήθως χρησιμοποιείται η μέθοδος της μεταβλητής αντίστασης προκειμένου να αυξηθεί η θερμοκρασία. Άλλες μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο αν είναι αδύνατο να μεταβληθεί η αντίσταση. Η θερμοκρασία των υπόλοιπων μερών (εκτός των πηνίων), για τα οποία τα όρια είναι καθορισμένα, πρέπει να μετράται με θερμόμετρα ή θερμοστοιχεία ή άλλες ευαίσθητες συσκευές κατάλληλου τύπου, τα οποία τοποθετούνται στο θερμότερο προσπελάσιμο σημείο. Η ανύψωση θερμοκρασίας πρέπει να καταγράφεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της δοκιμής όταν ο υπολογισμός της θερμικής σταθεράς του χρόνου είναι απαραίτητος.

Η θερμοκρασία της επιφάνειας ενός στοιχείου που είναι βυθισμένο σε υγρό διηλεκτρικό πρέπει να μετράται μόνο με θερμοστοιχεία τοποθετημένα στην επιφάνεια του στοιχείου. Η θερμοκρασία του υγρού διηλεκτρικού πρέπει, επίσης, να μετράται στο ανώτερο στρώμα του διηλεκτρικού.

Για μέτρηση με θερμόμετρα ή θερμοστοιχεία, πρέπει να ληφθούν τα μέτρα που ακολουθούν:

1. Οι βολβίσκοι των θερμόμετρων ή των θερμοστοιχείων πρέπει να προστατεύονται έναντι εξωτερικής ψύξης. Η προστατευμένη περιοχή, ωστόσο, πρέπει να είναι αμελητέα σε σχέση με την περιοχή ψύξης της υπό δοκιμή διάταξης.
2. Πρέπει να εξασφαλιστεί καλή θερμική αγωγιμότητα ανάμεσα στα θερμόμετρα ή τα θερμοστοιχεία και στην επιφάνεια των υπό έλεγχο μερών.
3. Όταν τα θερμόμετρα χρησιμοποιούνται σε μέρη όπου υπάρχει μεταβλητό μαγνητικό πεδίο, συνίσταται η χρήση αλκοολούχων θερμομέτρων έναντι των υδραργυρικών, καθώς τα τελευταία είναι περισσότερο πιθανό να επηρεαστούν υπό αυτές τις συνθήκες.

#### *1.2.3.4 Θερμοκρασία περιβάλλοντος*

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι η μέση θερμοκρασία του αέρα που περιβάλλει τις συσκευές διακοπής και ελέγχου (για εσώκλειστες συσκευές διακοπής και ελέγχου, είναι η μέση θερμοκρασία γύρω από το περίβλημα). Πρέπει να μετράται κατά το τελευταίο τέταρτο της δοκιμής με τουλάχιστον τρία θερμόμετρα, θερμοστοιχεία ή άλλες συσκευές που ανιχνεύουν τη θερμοκρασία. Τα τελευταία πρέπει να είναι εξίσου κατανομημένα γύρω από τις συσκευές, σε ύψος ίσο με το μέσο ύψος των ρευματοφόρων μερών από το έδαφος και σε απόσταση περίπου ενός μέτρου από τις συσκευές. Τα θερμόμετρα ή τα θερμοστοιχεία πρέπει να προστατεύονται έναντι ρευμάτων αέρα και ανεπιθύμητης θέρμανσης ή ψύξης.

Προκειμένου να αποφευχθούν σφάλματα που οφείλονται σε απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας, τα θερμόμετρα ή τα θερμοστοιχεία μπορούν να τοποθετηθούν σε μικρά μπουκάλια που περιέχουν περίπου μισό λίτρο λαδιού.

Κατά τη διάρκεια του τελευταίου τετάρτου της δοκιμής, η μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1°K σε μία ώρα. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό εξαιτίας δυσμενών συνθηκών θερμοκρασίας του χώρου στον οποίο πραγματοποιείται η δοκιμή, θεωρούμε σαν θερμοκρασία

περιβάλλοντος τη θερμοκρασία μίας πανομοιότυπης συσκευής διακοπής και ελέγχου υπό τις ίδιες συνθήκες χωρίς, όμως, ρεύμα. Αυτή η επιπρόσθετη συσκευή διακοπής και ελέγχου δεν πρέπει να υπόκειται σε υπερβολική ποσότητα θερμότητας.

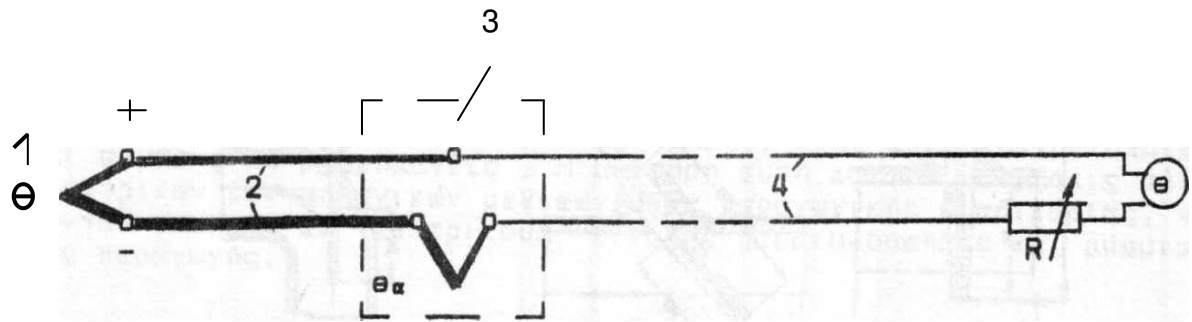
Η θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια των δοκιμών πρέπει να είναι μεγαλύτερη των +10°C και μικρότερη των +40°C. Εάν η τιμή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος είναι εντός των προαναφερθέντων ορίων τότε δεν πραγματοποιείται καμία διόρθωση της θερμοκρασίας.

#### *1.2.3.5 Αρχή λειτουργίας του θερμοστοιχείου τύπου T*

Οι δύο αγωγοί του θερμοστοιχείου αυτού είναι συνήθως Fe-Konst, NiCr-Ni και PtRh-Pt (DIN 43710). Στο σχήμα 1.2.3.5-1 δείχνεται το κύκλωμα μέτρησης. Η θέση μέτρησης είναι το σημείο σύνδεσης των δύο διαφορετικών αγωγών. Οι δύο αγωγοί του θερμοστοιχείου και δύο αγωγοί της γραμμής προς το όργανο μέτρησης συνδέονται στη θέση σύγκρισης. Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται μέσω του οργάνου κινητού πηνίου (μιλιβολτόμετρο βαθμολογημένο σε °C). Για τη μετρούμενη πτώση τάσης ισχύει:

$$U = \alpha * (\theta - \theta_{\alpha}) \quad (1.2.3.5-1)$$

όπου  $\theta$  η μετρούμενη θερμοκρασία,  $\theta_{\alpha}$  η θερμοκρασία αναφοράς και  $\alpha$  ένας συντελεστής, που εξαρτάται από το είδος του θερμοστοιχείου. Προϋπόθεση για τη σωστή μέτρηση είναι η σταθερή θερμοκρασία στη θέση σύγκρισης. Οι εγκαταστάσεις θερμοστοιχείων πρέπει να ελέγχονται προγραμματισμένα ως προς την οξείδωση του προστατευτικού τους σωλήνα και την ακρίβεια της μέτρησης.



Σχήμα 1.2.3.5-1: Κύκλωμα μέτρησης της θερμοκρασίας με θερμοστοιχείο.

1: θερμοστοιχείο

2: σύνδεση με τη θέση σύγκρισης

3: θέση σύγκρισης

4: γραμμή προς το όργανο μέτρησης (μιλιβολτόμετρο βαθμολογημένο σε °C)

R: αντίσταση ρύθμισης

θ: μετρούμενη θερμοκρασία

θ<sub>α</sub>: θερμοκρασία αναφοράς

### *1.2.3.6 Ερμηνεία της δοκιμής υπερθέρμανσης*

Η ανύψωση θερμοκρασίας των διαφόρων μερών των συσκευών διακοπής και ελέγχου ή του βοηθητικού εξοπλισμού για τα οποία τα όρια είναι καθορισμένα, δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις τιμές του πίνακα 1.2.3.6-1 της προδιαγραφής EN 60694/1996. Σε διαφορετική περίπτωση οι συσκευές διακοπής και ελέγχου θεωρούνται ότι έχουν αποτύχει στη δοκιμή.

Όταν οι βοηθητικές επαφές είναι επαφές χαλκού και είναι διαχωρισμένες αλλά συνδεδεμένες παράλληλα με τις κύριες επαφές, η ανύψωση θερμοκρασίας τόσο των κύριων επαφών όσο και των βοηθητικών επαφών τούξου δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις τιμές του πίνακα 1.2.3.6-1. Αν η μόνωση του πηνίου αποτελείται από πολλά υλικά, η επιτρεπόμενη ανύψωση της θερμοκρασίας είναι αυτή του μονωτικού υλικού με το μικρότερο όριο ανύψωσης θερμοκρασίας.

Αν οι διακόπτες είναι εφοδιασμένοι με διάφορους εξοπλισμούς οι οποίοι βασίζονται σε συγκεκριμένες προδιαγραφές (για παράδειγμα ανορθωτές, κινητήρες, διακόπτες χαμηλής τάσης κτλ), τότε η ανύψωση θερμοκρασίας αυτών των εξοπλισμών δεν πρέπει να υπερβαίνει τα όρια που καθορίζουν οι σχετικές προδιαγραφές.

		Μέγιστη τιμή	
Φύση του μέρους, του υλικού και του διηλεκτρικού (βλ. σημεία 1, 2 και 3)		Θερμοκρασία	Ανύψωση θερμοκρασίας σε θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος που δεν υπερβαίνει τους 40 °C
			°C
1.	Επαφές (βλ. σημείο 4)		
	Γυμνός χαλκός ή γυμνό κράμα χαλκού		
	– στον αέρα	75	35
	– σε SF <sub>6</sub> (εξαφθοριούχο θείο) (βλ. σημείο 5)	105	65
	– σε λάδι	80	40
	Επαργυρωμένες ή επινικελωμένες (βλ. σημείο 6)		
	– στον αέρα	105	65
	– σε SF <sub>6</sub> (βλ. σημείο 5)	105	65
	– σε λάδι	90	50
	Επικασσιτερωμένες (βλ. σημείο 6)		
	– στον αέρα	90	50
	– σε SF <sub>6</sub> (βλ. σημείο 5)	90	50
	– σε λάδι	90	50
	2.	Σύνδεση κοχλιωμένη ή ισοδύναμη (βλ. σημείο 4)	
Γυμνός χαλκός, γυμνό κράμα χαλκού ή γυμνό κράμα αλουμινίου			
– στον αέρα		90	50
– σε SF <sub>6</sub> (βλ. σημείο 5)		115	75
– σε λάδι		100	60
Επαργυρωμένες ή επινικελωμένες (βλ. σημείο 6)			7
– στον αέρα		115	75
– σε SF <sub>6</sub> (βλ. σημείο 5)		115	75
– σε λάδι		100	60
Επικασσιτερωμένες (βλ. σημείο 6)			
– στον αέρα	105	65	



	– σε SF6 (βλ. σημείο 5)	105	65
	– σε λάδι	100	60
3.	Όλες οι άλλες επαφές ή συνδέσεις από γυμνό μέταλλο ή επικαλυμμένες με άλλα υλικά	(βλ. σημείο 7)	(βλ. σημείο 7)
4.	Ακροδέκτες για σύνδεση με εξωτερικούς αγωγούς με βίδες ή μπουλόνια (βλ. σημείο 8)		
	– γυμνοί	90	50
	– επαργυρωμένοι, επινικελωμένοι ή επικασσιτερωμένοι	105	65
	– άλλες επικαλύψεις	(βλ. σημείο 7)	(βλ. σημείο 7)
5.	Λάδι για συσκευές διακοπής με λάδι (βλ. σημεία 9 και 10)	90	50
6.	Μεταλλικά τμήματα τα οποία λειτουργούν σαν ελατήρια	(βλ. σημείο 11)	(βλ. σημείο 11)
7.	Υλικά που χρησιμοποιούνται σαν μόνωση ή μεταλλικά μέρη σε επαφή με μόνωση των κατωτέρω κλάσεων (βλ. σημείο 12)		
	– Υ	90	50
	– Α	105	65
	– Ε	120	80
	– Β	130	90
	– F	155	115
		100	60
	– Enamel: Συνθετικό βασισμένο στο λάδι	120	80
	– Η	180	140
	– C άλλα μονωτικά υλικά	(βλ. σημείο 13)	(βλ. σημείο 13)
8.	Οποιοδήποτε μέρος από μέταλλο ή μονωτικό υλικό σε επαφή με λάδι, εκτός των επαφών	100	60
9.	Μέρη δυνάμενα να προσπেলাθούν:		
	– Εκτός εκείνων που μπορούν να πιαστούν σε κανονική λειτουργία	70	30
	– Εκείνων των οποίων δεν χρειάζονται να πιαστούν σε κανονική λειτουργία	80	40
ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Τα σημεία που αναφέρονται σε αυτό τον πίνακα περιγράφονται παρακάτω			

Πίνακας 1.2.3.6-1: Επιτρεπτά όρια ανύψωσης θερμοκρασίας των διαφόρων μερών των συσκευών διακοπής και ελέγχου και του βοηθητικού εξοπλισμού

### Ιδιαίτερα σημεία του πίνακα 1.2.3.6-1

Τα ακόλουθα σημεία αναφέρονται στον πίνακα 1.2.3.6-1 και τον συμπληρώνουν:

Σημείο 1	Σύμφωνα με τη λειτουργία του, το ίδιο μέρος μπορεί να ανήκει σε διάφορες κατηγορίες που καταγράφονται στον πίνακα 3. Σε αυτή την περίπτωση η επιτρεπόμενες μέγιστες τιμές θερμοκρασίας και ανύψωσης θερμοκρασίας που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι οι χαμηλότερες μεταξύ των αντίστοιχων κατηγοριών.
Σημείο 2	Για συσκευές διακοπής κενού, οι τιμές των ορίων θερμοκρασίας και ανύψωσης θερμοκρασίας δεν εφαρμόζονται για μέρη που βρίσκονται στο κενό. Τα υπόλοιπα μέρη δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις τιμές θερμοκρασίας και ανύψωσης θερμοκρασίας που δίνονται στον πίνακα 3.
Σημείο 3	Πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για να εξασφαλίζεται ότι δεν προκαλείται βλάβη στα γειτονικά μονωτικά υλικά.
Σημείο 4	Όταν τα εμπλεκόμενα μέρη έχουν διαφορετικές επικαλύψεις ή ένα μέρος είναι από γυμνό υλικό, οι επιτρεπόμενες θερμοκρασίες και ανυψώσεις θερμοκρασίας πρέπει να είναι: α) για επαφές, εκείνες του υλικού επιφανείας που έχει τη χαμηλότερη επιτρεπόμενη τιμή στο στοιχείο 1 του πίνακα 3. β) για συνδέσεις, εκείνες του υλικού επιφανείας που έχει την υψηλότερη επιτρεπόμενη τιμή στο στοιχείο 2 του πίνακα 3.
Σημείο 5	SF <sub>6</sub> σημαίνει καθαρό SF <sub>6</sub> ή μίγμα SF <sub>6</sub> και άλλων αερίων χωρίς οξυγόνο. Σημειώσεις: 1. Λόγω της απουσίας οξυγόνου, φαίνεται λογική μια εναρμόνιση των ορίων θερμοκρασίας για διάφορα μέρη επαφών και συνδέσεων στη περίπτωση εξοπλισμού διακοπής SF <sub>6</sub> . Σύμφωνα με το IEC 943, το οποίο δίνει καθοδήγηση για τον καθορισμό των επιτρεπτών θερμοκρασιών, τα επιτρεπόμενα όρια θερμοκρασίας για μέρη από γυμνό χαλκό και από γυμνό κράμα χαλκού μπορούν να εξισωθούν με τις τιμές για επαργυρωμένα ή επινικελωμένα μέρη στην περίπτωση ατμοσφαιρών SF <sub>6</sub> . Στην ιδιαίτερη περίπτωση επικασσιτερωμένων μερών, λόγω των φαινομένων διάβρωσης (βλέπε IEC 943) δεν εφαρμόζεται αύξηση των επιτρεπόμενων θερμοκρασιών, ακόμη και κάτω από τις συνθήκες απουσίας οξυγόνου για το SF <sub>6</sub> . Συνεπώς διατηρούνται οι αρχικές τιμές για επικασσιτερωμένα μέρη. 2. Οι ανυψώσεις θερμοκρασίας για γυμνές χάλκινες και επαργυρωμένες επαφές σε SF <sub>6</sub> βρίσκονται υπό μελέτη.
Σημείο 6	Η ποιότητα των επαφών με επικάλυψη πρέπει να είναι τέτοια ώστε να παραμένει ένα συνεχές στρώμα επικάλυψης στην περιοχή επαφής: α) μετά από τη δοκιμή ζεύξης και διακοπής (αν υπάρχει)

	<p>β) μετά από τη δοκιμή αντοχής σε ρεύμα βραχείας διάρκειας</p> <p>γ) μετά από τη δοκιμή μηχανικής αντοχής</p> <p>σύμφωνα με τις αντίστοιχες προδιαγραφές για κάθε εξοπλισμό. Αλλιώς οι επαφές πρέπει να θεωρούνται «γυμνές».</p>
Σημείο 7	Όταν χρησιμοποιούνται υλικά άλλα από εκείνα που δίνονται στον πίνακα 3, πρέπει να εξετάζονται οι ιδιότητές τους, για να προσδιοριστούν οι μέγιστες επιτρεπόμενες ανυψώσεις θερμοκρασίας.
Σημείο 8	Οι τιμές θερμοκρασίας και ανύψωσης θερμοκρασίας ισχύουν ακόμα και αν ο αγωγός που συνδέεται στους ακροδέκτες είναι γυμνός.
Σημείο 9	Στο ανώτερο μέρος του λαδιού.
Σημείο 10	Θα πρέπει να δίνεται ειδική μέριμνα όταν χρησιμοποιείται λάδι χαμηλού σημείου ανάφλεξης όσον αφορά την εξάτμιση και την οξειδωση.
Σημείο 11	Η θερμοκρασία δεν πρέπει να φθάνει τιμή στην οποία μειώνεται η ελαστικότητα του υλικού.
Σημείο 12	Οι κλάσεις των μονωτικών υλικών είναι αυτές που δίνονται στο IEC 85.
Σημείο 13	Περιορίζεται από την απαίτηση να μην προκαλεί βλάβη σε γειτονικά μέρη.

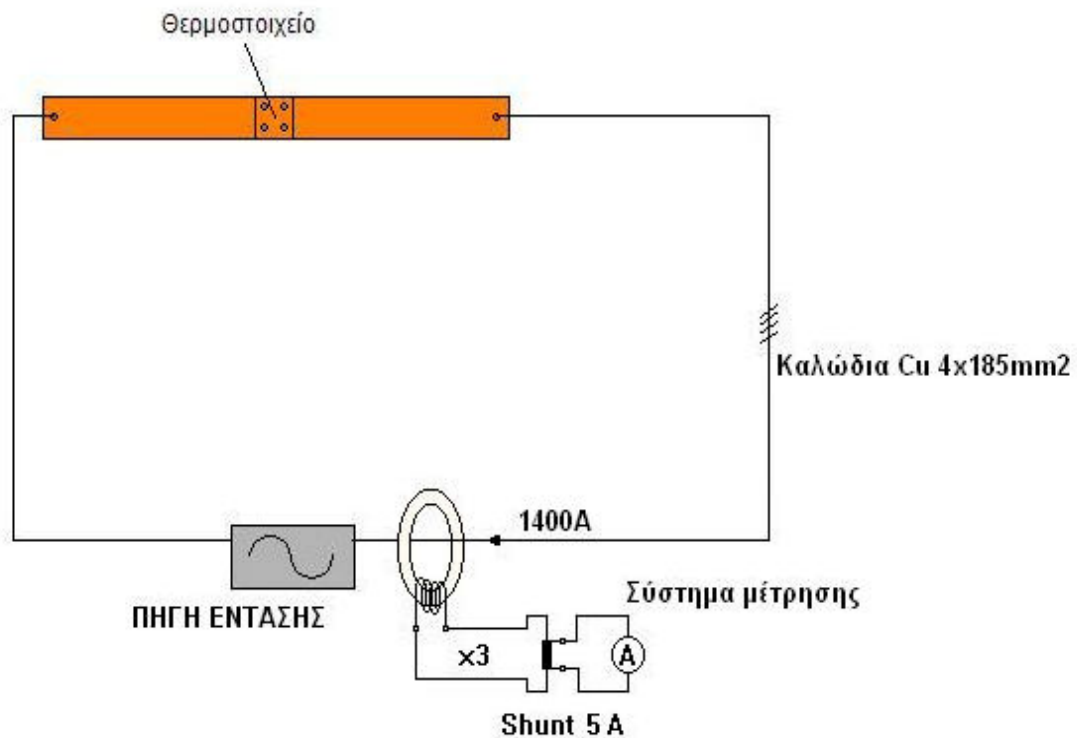
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>**

## 2. ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

### 2.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Οι δοκιμές που έγιναν στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο ανύψωσης θερμοκρασίας και μηχανικών δοκιμών του Κέντρου Δοκιμών, Ερευνών και Προτύπων (ΚΔΕΠ).

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τη δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας φαίνεται στο σχήμα και στην εικόνα που ακολουθούν:

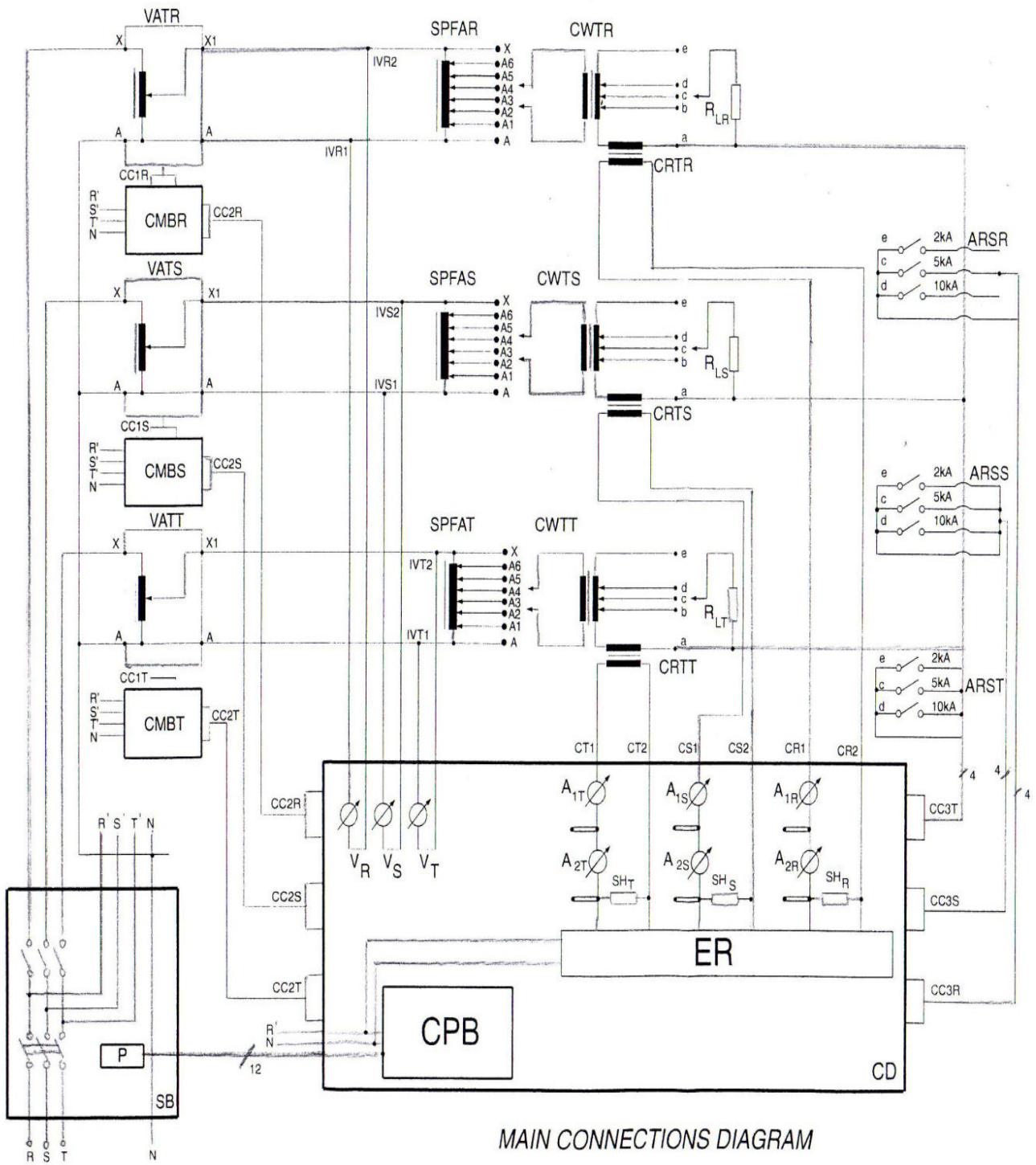


Σχήμα 2.1-1: Κύκλωμα της πειραματικής διάταξης



Εικόνα 2.1-1: Η Πειραματική Διάταξη

Η πηγή έντασης που χρησιμοποιήθηκε είναι τριφασική πηγή σταθεροποιημένου ρεύματος, το διάγραμμα συνδέσεων της οποίας δίδεται στο σχήμα 2.1-2 που ακολουθεί.



MAIN CONNECTIONS DIAGRAM

Σχήμα 2.1-2: Διάγραμμα τριφασικής πηγής σταθεροποιημένου ρεύματος

Στο διάγραμμα του σχήματος 2.1-2 το *SB* είναι πίνακας τροφοδοσίας που περιλαμβάνει ένα γενικό τριφασικό διακόπτη και τρεις μονοφασικούς διακόπτες με δυνατότητα ηλεκτρικής αποσύνδεσης σε περίπτωση αποτυχίας (π.χ. βραχυκύκλωμα ή υπερθέρμανση). Το *VAT* αποτελείται από τρεις μεταβλητούς αυτομετασχηματιστές με τάση εισόδου 230V/50Hz, τάση εξόδου που μεταβάλλεται από 0 έως 250V και ρεύμα εξόδου μικρότερο ή ίσο με 284 A. Περιλαμβάνεται, επίσης, εξωτερικό κουτί ελέγχου και παρακολούθησης (*CMB*). Το *SPFA* αποτελείται από τρεις μονοφασικούς αυτομετασχηματιστές με τάση εισόδου που μεταβάλλεται από 0 έως 230V, ρεύμα εξόδου μικρότερο ή ίσο με 284 A και τάση εξόδου που μεταβάλλεται ανάλογα με τη σύνδεση. Το *CWT* αποτελείται από τρεις μετασχηματιστές έντασης με τάση εισόδου που μεταβάλλεται από 0 έως 250V και ρεύματα εξόδου ανάλογα με τη σύνδεση:

STEP 1 έως 1kA

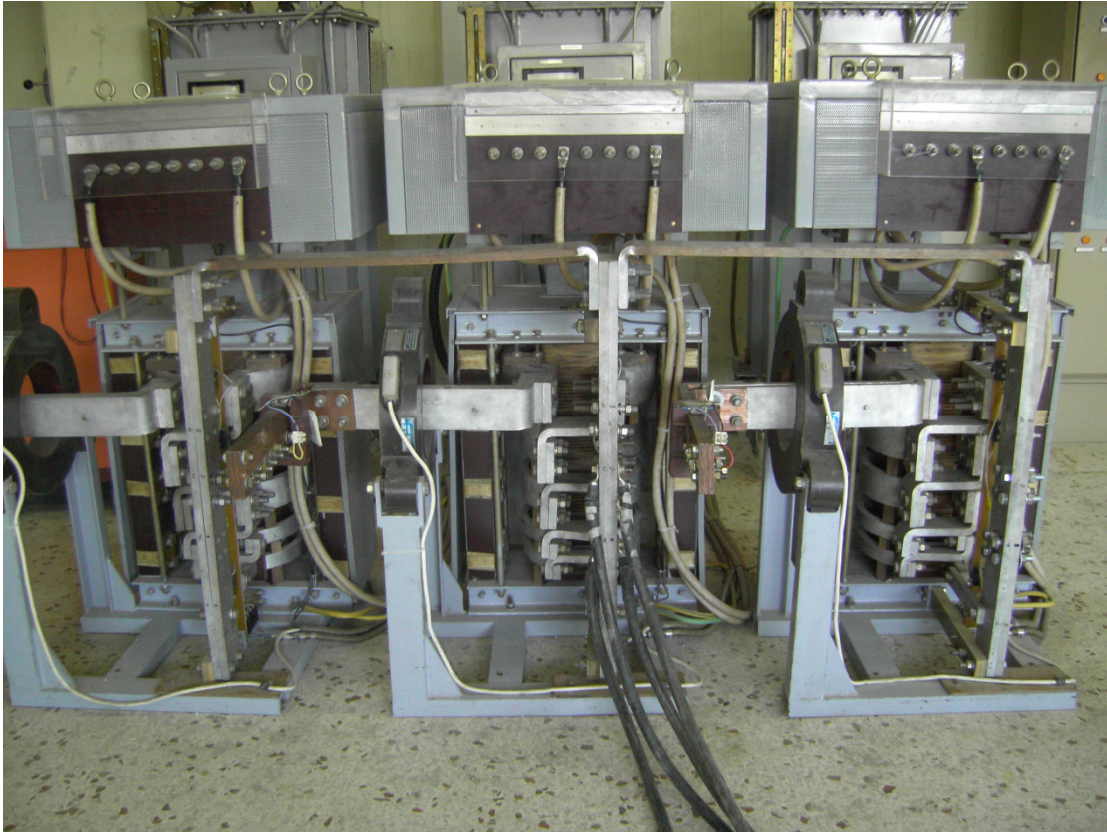
STEP 2 έως 2kA

STEP 3 έως 5kA

STEP 4 έως 10kA

Το *CD* είναι τράπεζα ελέγχου η οποία αποτελείται από τρεις πανομοιότυπους τομείς, έναν για κάθε φάση, καθένας εκ των οποίων περιλαμβάνει βολτόμετρα και αμπερόμετρα. Το *CRT* είναι ένας μετασχηματιστής μέτρησης που συνδέεται με την τράπεζα ελέγχου *CD* και έχει λόγο μετασχηματισμού 10000 A /5 A. Τέλος, το *ARC* ένας επιλογέας αυτόματης κλίμακας.

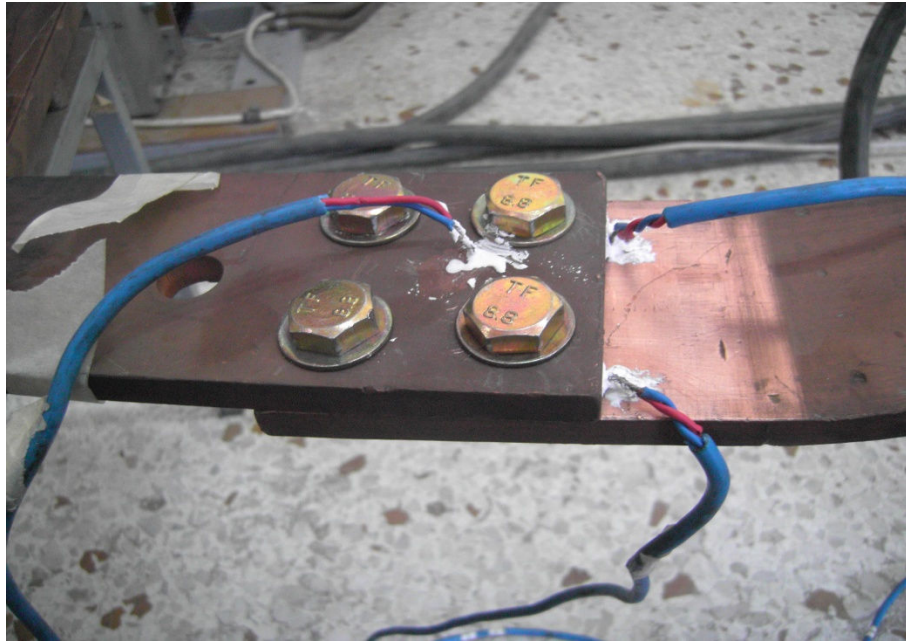




Εικόνα 2.1-2: Τριφασική πηγή σταθεροποιημένου ρεύματος

Σύμφωνα με τον πίνακα 1.1.3.1-2 του κεφαλαίου 1 της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για ακατέργαστους ζυγούς διαστάσεων 80mm x 10mm, η ικανότητα μεταφοράς ρεύματος είναι 1400 A. Γι' αυτό το λόγο, επιλέχθηκαν τέσσερα καλώδια χαλκού διατομής 185mm<sup>2</sup> ούτως ώστε η πυκνότητα του ρεύματος να είναι μικρότερη από 2 A/mm<sup>2</sup> προκειμένου να μη μεταφέρεται θερμότητα από αυτά στο δοκίμιο.

Για τη μέτρηση των θερμοκρασιών, χρησιμοποιήθηκαν θερμοστοιχεία τύπου T. Στη δοκιμή της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν 5 θερμοστοιχεία, 2 για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και 3 για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του δοκιμίου. Τα δύο πρώτα τοποθετήθηκαν μέσα σε μεταλλικό δοχείο που περιείχε περίπου μισό λίτρο λάδι (ούτως ώστε να προστατεύεται έναντι ρευμάτων αέρος και ανεπιθύμητης θέρμανσης ή ψύξης, όπως ορίζει η προδιαγραφή). Τα υπόλοιπα τοποθετήθηκαν σε διάφορα σημεία της επαφής ούτως ώστε να ευρεθεί η δυσμενέστερη θέση όσον αφορά την ανύψωση της θερμοκρασίας.



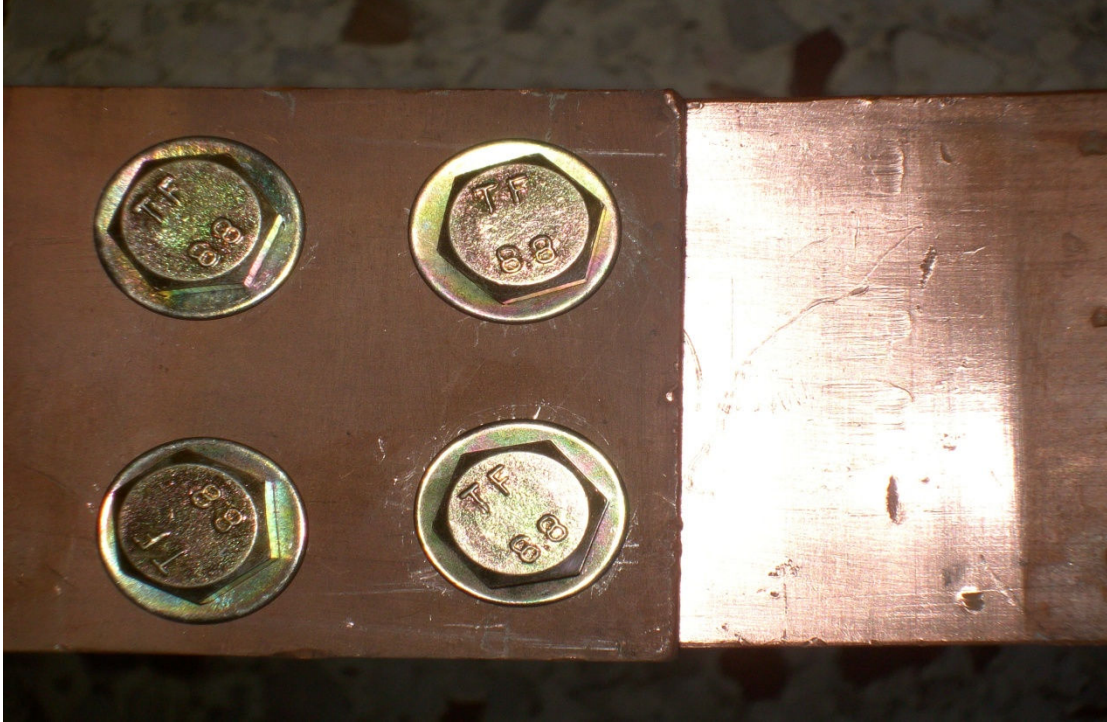
Εικόνα 2.1-3: Τοποθέτηση θερμοστοιχείων για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του δοκιμίου

Για την επίτευξη των διαφορετικών ροπών σύσφιξης χρησιμοποιήθηκε ροπόκλειδο FACOM. Για τη μέτρηση του ρεύματος χρησιμοποιήθηκε μετασχηματιστής έντασης με λόγο μετασχηματισμού 3500/5 A. Για την καταγραφή των θερμοκρασιών χρησιμοποιήθηκε το σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων (data acquisition system) AMR τύπου ALMEMO και λογισμικό WinControl για συλλογή μετρήσεων (μετατρέπει τις τάσεις των θερμοστοιχείων).

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μπάρες χαλκού πάχους 10mm και πλάτους 80mm. Με βάση αυτές τις διαστάσεις και σύμφωνα με τον πίνακα 1.1.3.2-1 επιλέχθηκαν:

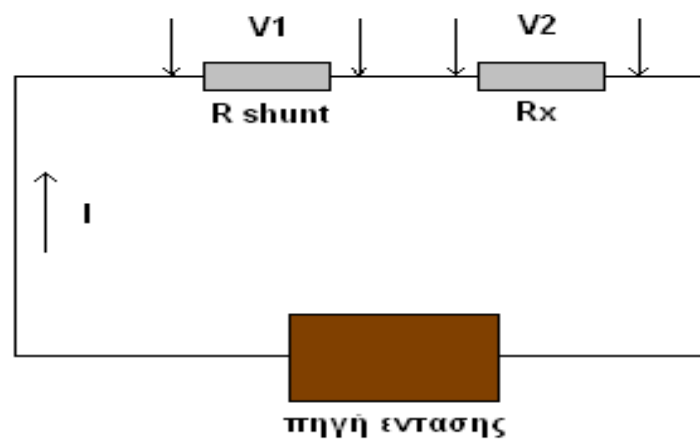
1. Η σύνδεση E.
2. Οι κοχλίες M16.
3. Οι αποστάσεις  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  ίσες με 20mm, 40mm, 20mm, 40mm αντίστοιχα.

Αρχικά, οι προς σύνδεση επαφές των μπαρών χαλκού καθαρίστηκαν και τρίφτηκαν για την απομάκρυνση της επιφανειακής οξείδωσης, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.1-4: Απομάκρυνση επιφανειακής οξείδωσης

Για τη μέτρηση της αντίστασης διαβάσεως της επαφής των δύο μπαρών χρησιμοποιείται η διάταξη του σχήματος 2.1-3 όπου η αντίσταση του shunt ήταν 50 mΩ.



Σχήμα 2.1-3: Κύκλωμα μέτρησης αντίστασης

Η μέτρηση της αντίστασης διαβάσεως γίνεται πριν συνδεθεί η διάταξη των μπαρών με τη διάταξη για τη δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας. Μέσω της πηγής έντασης του σχήματος 2.1-3 που είναι μια μεταβαλλόμενη πηγή συνεχούς ρεύματος, τόσο το shunt όσο και το δοκίμιο διαρρέονται από συνεχές ρεύμα. Στη συνέχεια, μετράται η τάση στα άκρα του shunt ( $V_1$ ) και η τάση στα άκρα του δοκιμίου ( $V_2$ ) σύμφωνα με το σχήμα 2.1-3.

## 2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Για κάθε ροπή σύσφιξης θα γίνουν τα ακόλουθα βήματα:

### Βήμα 1<sup>ο</sup>

Προσδιορισμός της αντίστασης διαβάσεως χρησιμοποιώντας τη διάταξη του σχήματος 2.1-3. Το ρεύμα που θα διαρρέει το κύκλωμα θα δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$I = \frac{V_1}{R_{shunt}} \quad (2.2-1)$$

Η αντίσταση του δοκιμίου θα υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$$R_x = \frac{V_2}{I} \quad (2.2-2)$$

Τέλος, το σύστημα των μπαρών αποσυνδέεται από την ανωτέρω διάταξη και συνδέεται στη διάταξη του σχήματος 2.1-1 για την πραγματοποίηση του βήματος 2.

### Βήμα 2<sup>ο</sup>

Στο βήμα αυτό θα γίνει δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας του συστήματος των μπαρών. Αρχικά, γίνεται ρύθμιση της πηγής ώστε το ρεύμα του κυκλώματος να είναι 1400 A. Στη συνέχεια, μέσω του συστήματος συλλογής δεδομένων, θα γίνει καταγραφή της θερμοκρασίας του δοκιμίου (3 θερμοστοιχεία) και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος (2 θερμοστοιχεία) κάθε 15 λεπτά έως ότου επιτευχθεί μεταβολή της θερμοκρασίας μικρότερης ή ίσης του 1°C ανά ώρα. Στο σημείο αυτό ολοκληρώνεται η διαδικασία.

Αφού το σύστημα των ζυγών επανέλθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, επαναλαμβάνονται τα βήματα 1 και 2 για διαφορετική ροπή σύσφιξης. Η διαδικασία έγινε για ροπές σύσφιξης 42 Nm, 48 Nm, 50 Nm, 56 Nm, 60 Nm και 70 Nm.

Από τα θερμοστοιχεία που τοποθετήθηκαν για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του δοκιμίου, παρατίθενται στη συνέχεια τα αποτελέσματα του θερμοστοιχείου που ήταν στη δυσμενέστερη θέση, δηλαδή στο κέντρο της επαφής όπως φαίνεται στην εικόνα 2.1-3 (θερμοστοιχείο 1). Για τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, παρατίθενται τα αποτελέσματα του ενός εκ των δύο θερμοστοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν (θερμοστοιχείο 2).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>**

## **3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

### **3.1 Πίνακες αποτελεσμάτων των μετρήσεων**

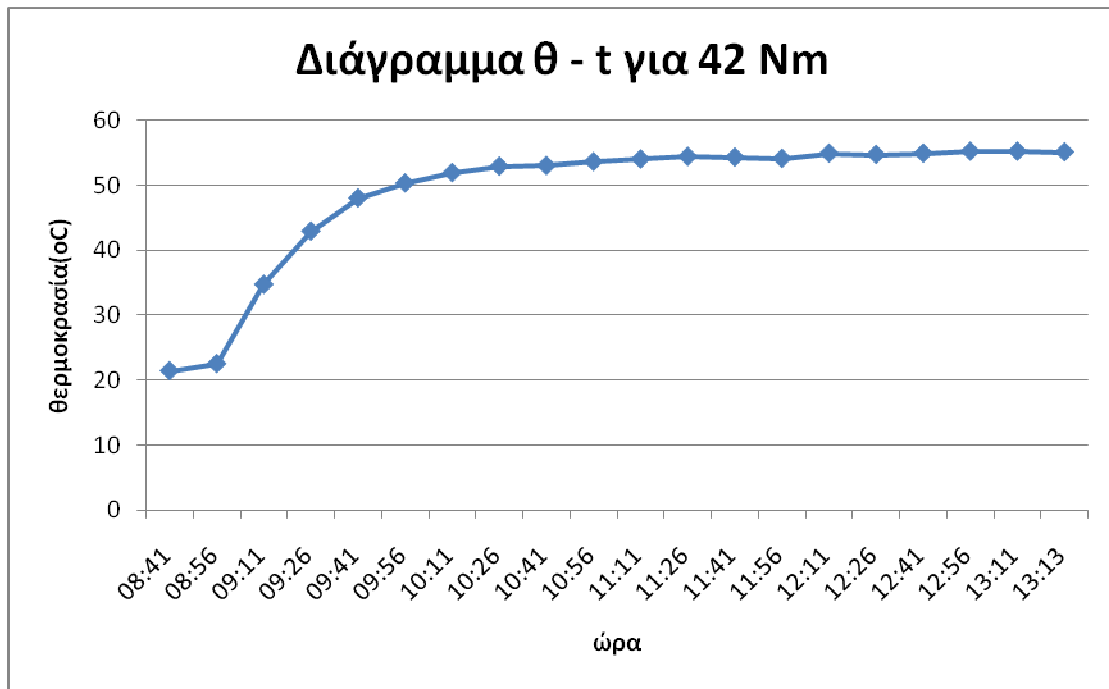
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έγιναν στις μπάρες για διαφορετικές ροπές σύσφιξης δίνονται στους πίνακες 3.1-1, 3.1-3, 3.1-5, 3.1-7, 3.1-9 και 3.1-11. Στα γραφήματα 3.1-1 έως 3.1-6, δίδεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του δοκιμίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για τις διαφορετικές ροπές σύσφιξης. Στους πίνακες 3.1-2, 3.1-4, 3.1-6, 3.1-8, 3.1-10 και 3.1-12 δίδονται τα στοιχεία για τον υπολογισμό της αντίστασης διαβάσεως του δοκιμίου για διαφορετικές ροπές σύσφιξης.

➤ Για ροπή σύσφιξης = 42 Nm

Ωρα	Ρεύμα	Υγρασία	Θερμοστοιχείο 1	Θερμοστοιχείο 2
	A	%H	°C	°C
08:41	0	48,2	21,4	22
08:56	1409	47,8	22,5	22,1
09:11	1398	47,6	34,7	22,3
09:26	1385	47,6	42,9	22,4
09:41	1399	47,4	48	22,4
09:56	1399	47,2	50,3	22,5
10:11	1396	47	51,9	22,6
10:26	1392	47,1	52,9	22,7
10:41	1389	46,6	53	22,8
10:56	1415	41,9	53,6	21,9
11:11	1414	41,6	54	22,1
11:26	1411	41,8	54,4	22,3
11:41	1411	41,8	54,3	22,5
11:56	1410	42,1	54,1	22,6
<b>12:11</b>	1412	42,1	<b>54,9</b>	<b>22,8</b>
12:26	1410	42,2	54,7	22,9
12:41	1407	41,9	54,9	23
12:56	1405	41,9	55,2	23,1
13:11	1404	42,1	55,2	23,1
<b>13:13</b>	1407	42,1	<b>55,1</b>	<b>23,2</b>

Πίνακας 3.1-1: Καταγραφή θερμοκρασίας για ροπή σύσφιξης 42 Nm.





Γράφημα 3.1-1: Διάγραμμα μεταβολής θερμοκρασίας του δοκιμίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για ροπή σύσφιξης ίση με 42 Nm.

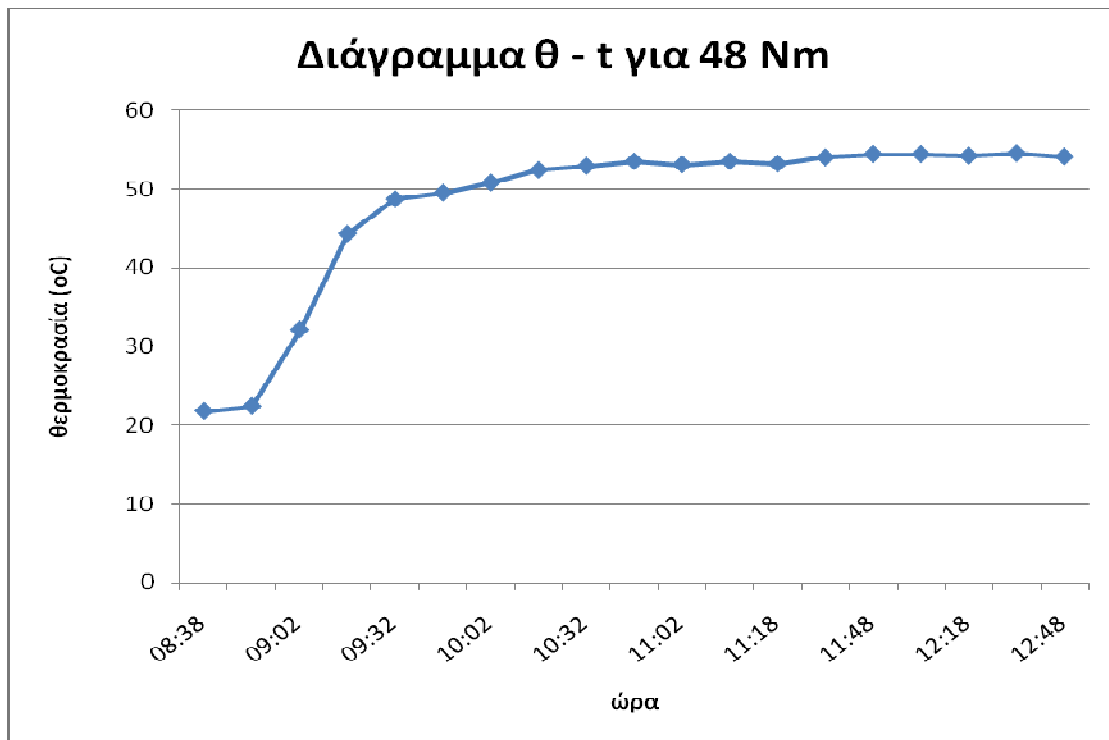
$\theta_{\text{περιβάλλοντος}} (\text{°C})$	20,6
$R_{\text{shunt}} (\text{m}\Omega)$	0,598
$V_{1\text{sh1}} (\text{mV})$	37,00
$V_{1\text{sh2}} (\text{mV})$	36,85
$V_1 (\text{mV})$	36,93
$I (\text{A})$	61,70
$U_{2a} (\text{mV})$	0,24
$U_{2b} (\text{mV})$	0,23
$U_2 (\text{mV})$	0,24
<b><math>R_x (\text{m}\Omega)</math></b>	<b>0,00381</b>

Πίνακας 3.1-2: Υπολογισμός αντίστασης δοκιμίου για ροπή σύσφιξης 42 Nm.

✓ Για ροπή σύσφιξης = 48 Nm

Ωρα	Ρεύμα	Υγρασία	Θερμοστοιχείο 1	Θερμοστοιχείο 2
	A	%H	°C	°C
08:38	0	48,2	21,8	22
08:47	1408	47,8	22,4	22,1
09:02	1405	47,6	32,1	22,3
09:17	1408	47,6	44,3	22,4
09:32	1402	47,4	48,7	22,4
09:47	1400	47,2	49,5	22,5
10:02	1399	47	50,8	22,6
10:17	1395	47,1	52,4	22,7
10:32	1401	46,6	52,9	22,8
10:47	1387	46,3	53,5	22,8
11:02	1382	46,8	53,1	22,9
11:03	1408	46,8	53,5	22,9
11:18	1412	46,6	53,2	23
11:33	1410	46,2	54	23,1
<b>11:48</b>	1410	46,2	<b>54,4</b>	<b>23,1</b>
12:03	1405	45,7	54,4	23,2
12:18	1405	45,2	54,2	23,2
12:33	1408	45	54,5	23,3
<b>12:48</b>	1406	44,7	<b>54,1</b>	<b>23,4</b>

Πίνακας 3.1-3: Καταγραφή θερμοκρασίας για ροπή σύσφιξης 48 Nm.



Γράφημα 3.1-2: Διάγραμμα μεταβολής θερμοκρασίας του δοκιμίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για ροπή σύσφιξης ίση με 48 Nm.

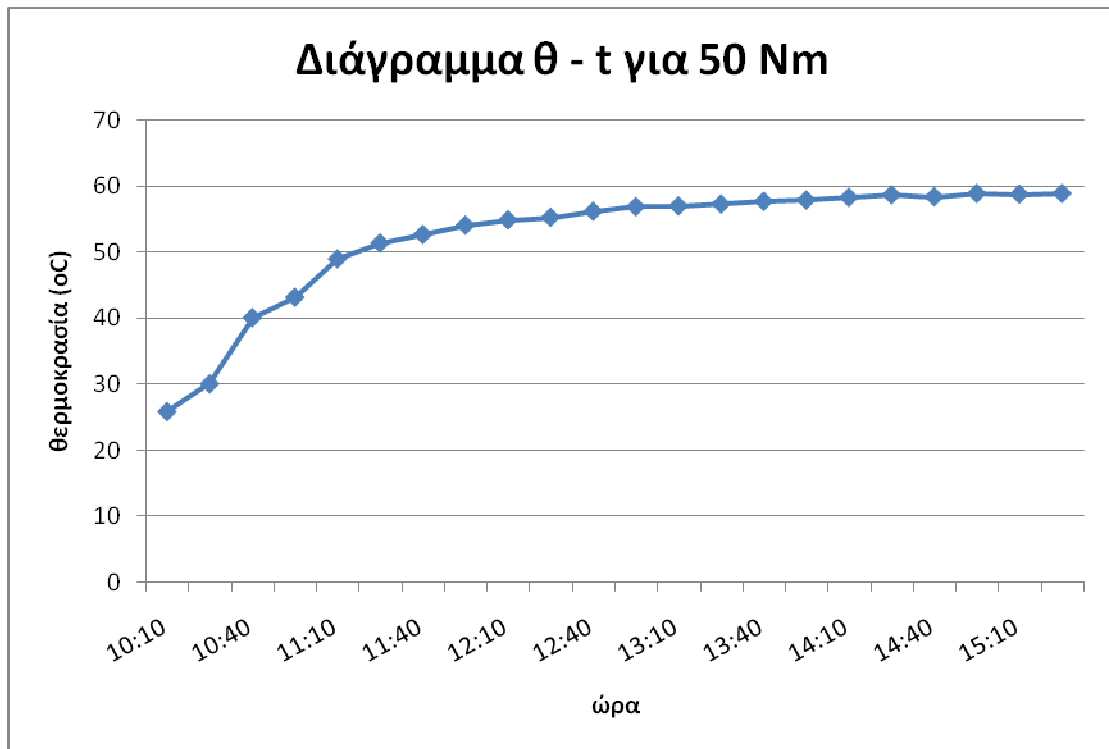
$\theta_{\text{περιβάλλοντος}}$ (°C)	24,8
$R_{\text{shunt}}$ (mΩ)	0,598
$V_{1\text{sh}1}$ (mV)	37,02
$V_{1\text{sh}2}$ (mV)	37,06
$V_1$ (mV)	37,04
$I$ (A)	61,89
$U_{2a}$ (mV)	0,24
$U_{2b}$ (mV)	0,22
$U_2$ (mV)	0,23
<b><math>R_x</math> (mΩ)</b>	<b>0,00372</b>

Πίνακας 3.1-4: Υπολογισμός αντίστασης δοκιμίου για ροπή σύσφιξης 48 Nm.

➤ Για ροπή σύσφιξης = 50 Nm

Ωρα	Ρεύμα	Υγρασία	Θερμοστοιχείο 1	Θερμοστοιχείο 2
	A	%H	°C	°C
10:10	0	43,2	25,9	26,1
10:25	1405	43,3	30,1	26,1
10:40	1399	43,2	40,1	26,1
10:55	1383	39,3	43,2	26,6
11:10	1400	39,2	49	27
11:25	1399	38,7	51,4	27,3
11:40	1398	38,7	52,7	27,6
11:55	1392	38,8	54,1	27,7
12:10	1390	38,7	54,9	27,9
12:25	1382	38,7	55,3	28,1
12:40	1382	38,8	56,2	28,3
12:55	1409	39,2	56,9	28,4
13:10	1408	39,3	57	28,5
13:25	1410	39,8	57,3	28,5
13:40	1403	39,3	57,7	28,6
13:55	1400	39,5	57,9	28,6
14:10	1405	39,5	58,3	28,7
<b>14:25</b>	1401	39,6	<b>58,7</b>	<b>28,7</b>
14:40	1405	39,6	58,4	28,8
14:55	1403	39,6	58,9	28,8
15:10	1403	39,6	58,8	28,9
<b>15:25</b>	1403	39,4	<b>58,9</b>	<b>28,9</b>

Πίνακας 3.1-5: Καταγραφή θερμοκρασίας για ροπή σύσφιξης 50 Nm.



Γράφημα 3.1-3: Διάγραμμα μεταβολής θερμοκρασίας του δοκιμίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για ροπή σύσφιξης ίση με 50 Nm.

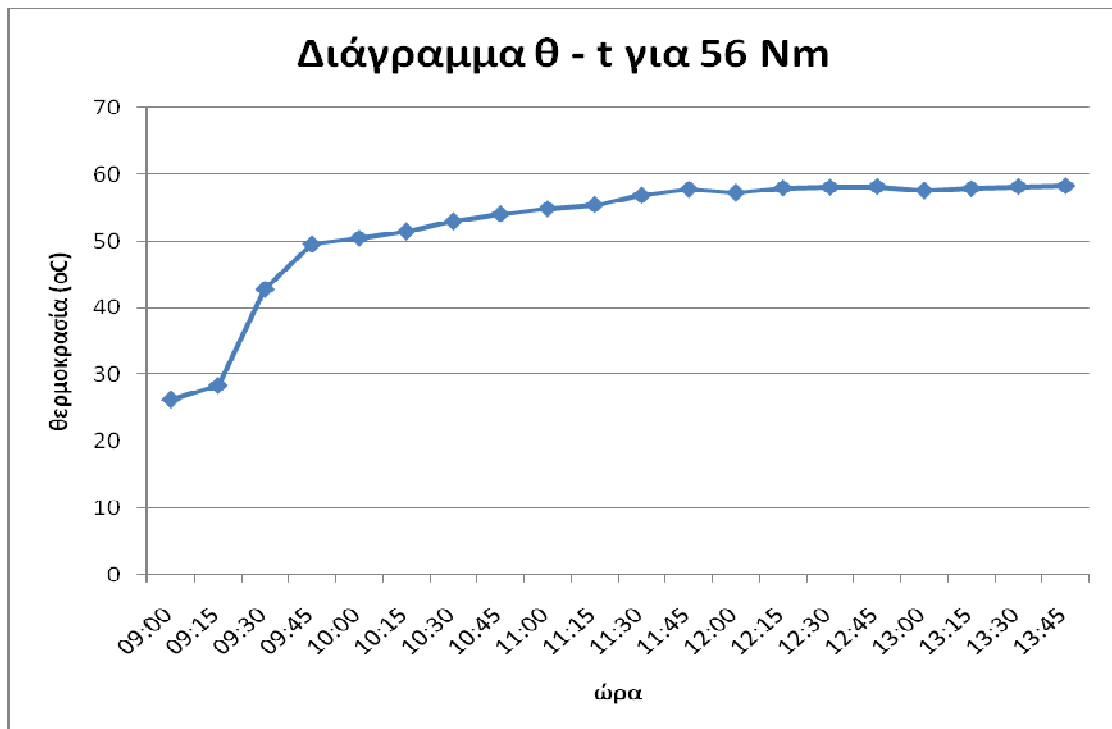
$\theta_{\text{περιβάλλοντος}}$ (°C)	24,8
$R_{\text{shunt}}$ (m $\Omega$ )	0,598
$V_{1\text{sh1}}$ (mV)	35,72
$V_{1\text{sh2}}$ (mV)	35,73
$V_1$ (mV)	35,73
$I$ (A)	59,69
$U_{2a}$ (mV)	0,18
$U_{2b}$ (mV)	0,19
$U_2$ (mV)	0,19
<b><math>R_x</math> (m<math>\Omega</math>)</b>	<b>0,00310</b>

Πίνακας 3.1-6: Υπολογισμός αντίστασης δοκιμίου για ροπή σύσφιξης 50 Nm.

✓ Για ροπή σύσφιξης = 56 Nm

Ωρα	Ρεύμα	Υγρασία	Θερμοστοιχείο 1	Θερμοστοιχείο 2
	A	%H	°C	°C
09:00	0	45,3	26,3	26,2
09:15	1397	41,2	28,4	26,5
09:30	1402	41,1	42,8	26,8
09:45	1407	40,7	49,5	27,1
10:00	1402	40,4	50,4	27,4
10:15	1410	40,4	51,4	27,7
10:30	1405	40,6	52,9	27,5
10:45	1398	39,7	54	27,7
11:00	1402	40,3	54,8	27,8
11:15	1403	39,6	55,4	28
11:30	1407	40,1	56,8	28
11:45	1402	40,1	57,7	28
12:00	1397	40	57,2	28,1
12:15	1399	41,3	57,9	28,2
12:30	1408	40,9	58	28,2
<b>12:45</b>	1402	41	<b>58,1</b>	<b>28,3</b>
13:00	1405	41,3	57,5	28,4
13:15	1402	41,1	57,8	28,4
13:30	1409	41,1	58,1	28,4
<b>13:45</b>	1404	41,1	<b>58,2</b>	<b>28,4</b>

Πίνακας 3.1-7: Καταγραφή θερμοκρασίας για ροπή σύσφιξης 56 Nm.



Γράφημα 3.1-4: Διάγραμμα μεταβολής θερμοκρασίας του δοκιμίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για ροπή σύσφιξης ίση με 56 Nm.

$\theta_{\text{περιβάλλοντος}}$ (°C)	24,8
$R_{\text{shunt}}$ (mΩ)	0,598
$V_{1\text{sh1}}$ (mV)	37,60
$V_{1\text{sh2}}$ (mV)	37,77
$V_1$ (mV)	37,69
$I$ (A)	62,97
$U_{2a}$ (mV)	0,17
$U_{2b}$ (mV)	0,19
$U_2$ (mV)	0,18
<b><math>R_x</math> (mΩ)</b>	<b>0,00286</b>

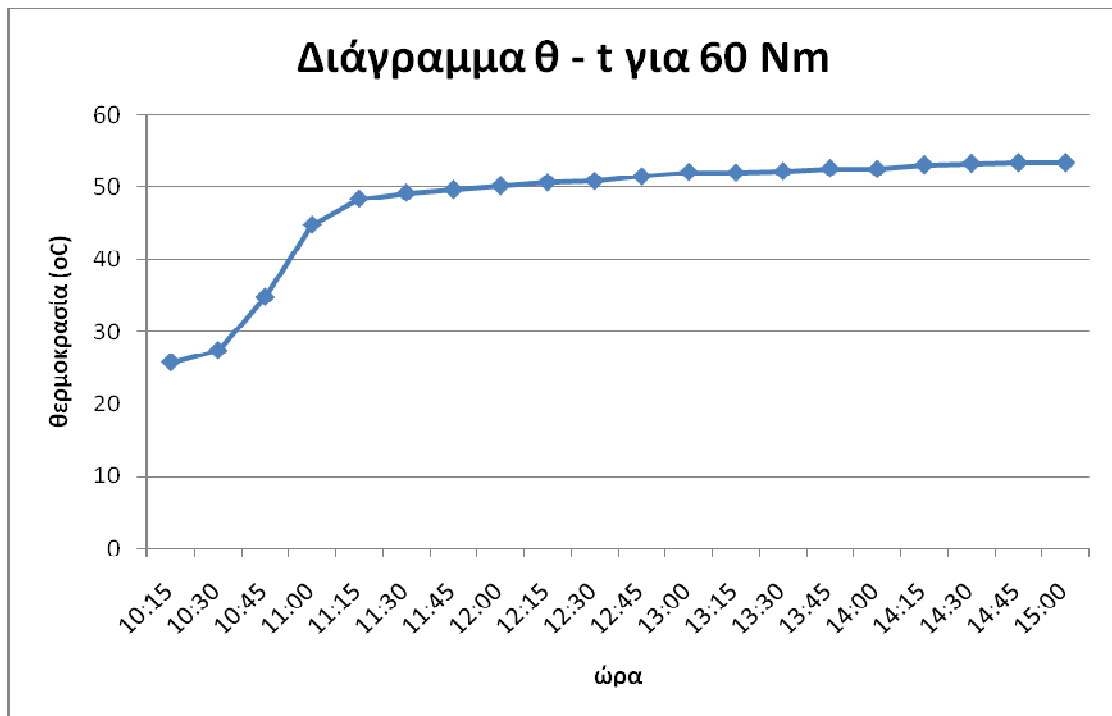
Πίνακας 3.1-8: Υπολογισμός αντίστασης δοκιμίου για ροπή σύσφιξης 56 Nm.

✓ **Ροπή σύσφιξης = 60 Nm**

Ωρα	Ρεύμα	Υγρασία	Θερμοστοιχείο 1	Θερμοστοιχείο 2
	<i>A</i>	<i>%H</i>	°C	°C
10:15	0	45,3	25,8	26
10:30	1398	41,2	27,4	26,2
10:45	1401	41,1	34,8	26,5
11:00	1409	40,7	44,8	26,9
11:15	1411	40,4	48,4	27
11:30	1406	40,4	49,2	27,5
11:45	1402	40,6	49,7	27,5
12:00	1395	39,7	50,2	28,2
12:15	1402	40,3	50,7	28,2
12:30	1408	39,6	50,9	28,5
12:45	1403	40,1	51,5	28,5
13:00	1397	40,1	52,1	28,4
13:15	1405	40	52	28,6
13:30	1389	41,3	52,2	28,2
13:45	1396	40,9	52,6	28
<b>14:00</b>	1404	41	<b>52,5</b>	<b>28</b>
14:15	1400	41,3	53,1	28,2
14:30	1402	41,1	53,3	28,4
14:45	1403	41,1	53,4	28,6
<b>15:00</b>	1402	41,1	<b>53,4</b>	<b>28,6</b>

Πίνακας 3.1-9: Καταγραφή θερμοκρασίας για ροπή σύσφιξης 60 Nm.





Γράφημα 3.1-5: Διάγραμμα μεταβολής θερμοκρασίας του δοκιμίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για ροπή σύσφιξης ίση με 60 Nm.

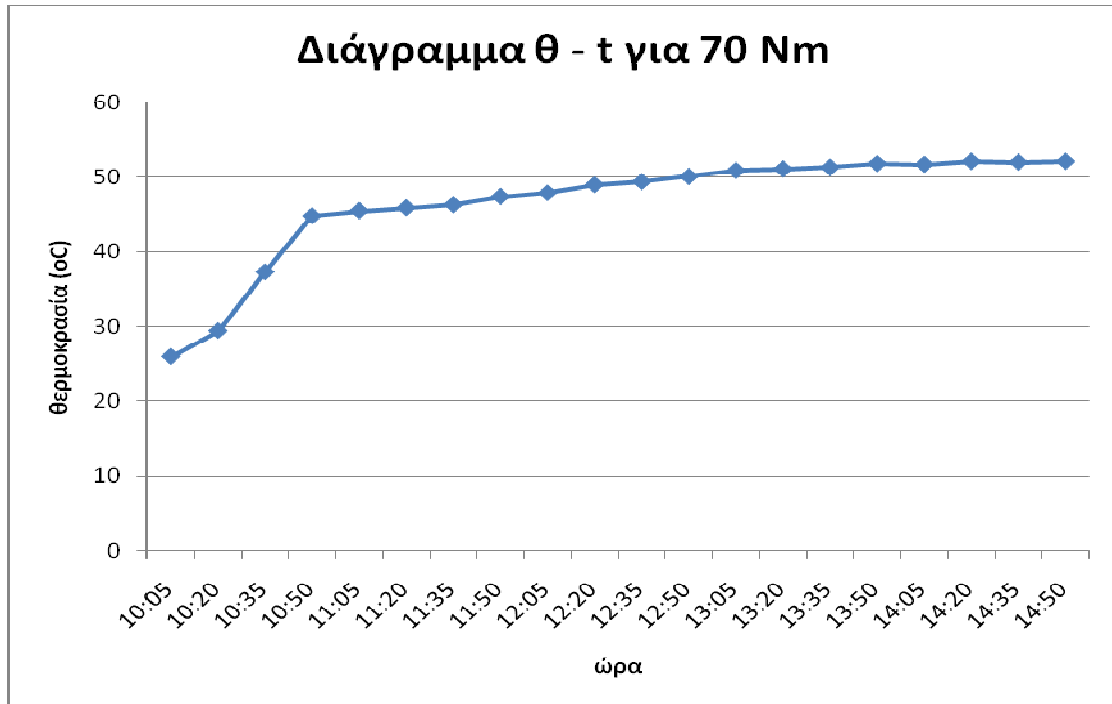
$\theta_{\text{περιβάλλοντος}}$ (°C)	24,8
$R_{\text{shunt}}$ (mΩ)	0,598
$V_{1\text{sh}1}$ (mV)	37,02
$V_{1\text{sh}2}$ (mV)	37,53
$V_1$	37,28 A
$I$	62,28 A
$U_{2a}$ (mV)	0,18
$U_{2b}$ (mV)	0,17
$U_2$ (mV)	0,18
<b><math>R_x</math> (mΩ)</b>	<b>0,00281</b>

Πίνακας 3.1-10: Υπολογισμός αντίστασης δοκιμίου για ροπή σύσφιξης 60 Nm.

✓ Για ροπή σύσφιξης = 70 Nm

Ωρα	Ρεύμα	Υγρασία	Θερμοστοιχείο 1	Θερμοστοιχείο 2
	A	%H	°C	°C
10:05	0	45,3	26	26,2
10:20	1399	41,2	29,4	26,5
10:35	1401	41,1	37,3	26,8
10:50	1408	40,7	44,8	27
11:05	1400	40,4	45,5	27,5
11:20	1398	40,4	45,9	27,5
11:35	1402	40,6	46,3	28
11:50	1405	39,7	47,4	28
12:05	1403	40,3	47,9	28,2
12:20	1397	39,6	49	28
12:35	1382	40,1	49,4	28
12:50	1400	40,1	50,1	28
13:05	1408	40	50,9	28,1
13:20	1402	41,3	51,1	28,6
13:35	1403	40,9	51,3	28,8
<b>13:50</b>	1399	41	<b>51,8</b>	<b>29</b>
14:05	1402	41,3	51,7	28,9
14:20	1400	41,1	52,1	28,8
14:35	1409	41,1	52	28,8
<b>14:50</b>	1405	41,1	<b>52,1</b>	<b>28,9</b>

Πίνακας 3.1-11: Καταγραφή θερμοκρασίας για ροπή σύσφιξης 70 Nm.



Γράφημα 3.1-6: Διάγραμμα μεταβολής θερμοκρασίας του δοκιμίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για ροπή σύσφιξης ίση με 70 Nm.

$\theta_{\text{περιβάλλοντος}}$ (°C)	24,8
$R_{\text{shunt}}$ (mΩ)	0,598
$V_{1\text{sh}1}$ (mV)	37,13
$V_{1\text{sh}2}$ (mV)	37,59
$V_1$ (mV)	37,36
$I$ (A)	62,42
$U_{2a}$ (mV)	0,17
$U_{2b}$ (mV)	0,18
$U_2$ (mV)	0,18
<b><math>R_x</math> (mΩ)</b>	<b>0,00280</b>

Πίνακας 3.1-12: Υπολογισμός αντίστασης δοκιμίου για ροπή σύσφιξης 70 Nm.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

## 4.ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

### 4.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

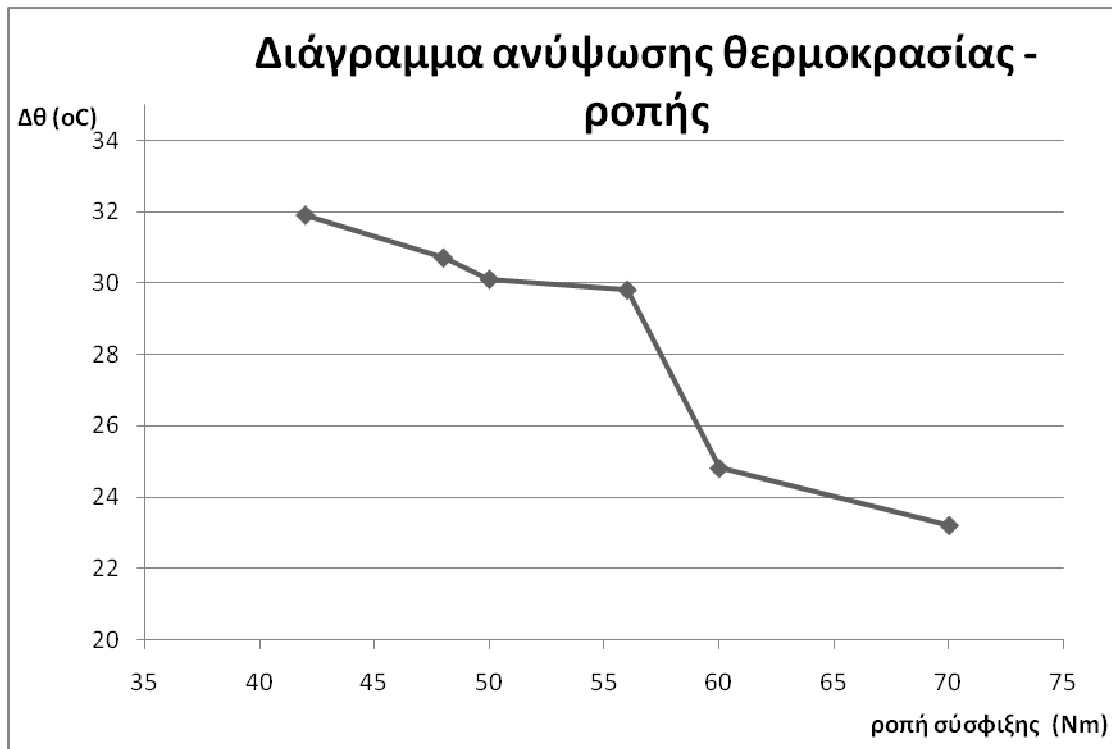
- ✓ Για ροπή σύσφιξης 42 Nm, η μέγιστη θερμοκρασία του δοκιμίου που μετρήθηκε ήταν 55,1°C και ταυτόχρονα η καταγεγραμμένη θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 23,2°C. Οπότε η ανύψωση θερμοκρασίας είναι:

$$\Delta\theta = 55,1^{\circ}\text{C} - 23,2^{\circ}\text{C} = 31,9^{\circ}\text{C}$$

Ομοίως υπολογίστηκαν οι ανυψώσεις θερμοκρασίας για ροπές σύσφιξης 46, 50, 56, 60 και 70 Nm, οι οποίες παρατίθενται στον πίνακα 4.1-1 και αναπαρίστανται στο γράφημα 4.1-1.

Ροπή σύσφιξης Nm	Ανύψωση θερμοκρασίας °C
42	31,9
48	30,7
50	30,1
56	29,8
60	24,8
70	23,2

Πίνακας 4.1-1: Υπολογισμός ανύψωσης θερμοκρασίας για κάθε ροπή



Γράφημα 4.1.1: Διάγραμμα ανύψωσης θερμοκρασίας για διαφορετικές ροπές σύσφιξης

- ✓ Όσον αφορά στην αντίσταση διαβάσεως, δεν ήταν δυνατό να μετρηθεί στη μέγιστη θερμοκρασία που αναπτυσσόταν κατά περίπτωση, καθώς αυτό θα απαιτούσε την αποσύνδεση του κυκλώματος. Ωστόσο δεν ήταν εφικτή οποιαδήποτε ενέργεια απόζευξης λόγω των υψηλών θερμοκρασιών. Έτσι, για τον υπολογισμό της μετά τη διεξαγωγή κάθε δοκιμής χρησιμοποιήθηκε η σχέση αναγωγής που δίνεται παρακάτω και η οποία συνδέει δύο αντιστάσεις σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες σε ένα σημείο χάλκινης επιφάνειας:

$$\theta_2 = \frac{R_{x2}}{R_{x1}} \times (235 + \theta_1) - 235 \Rightarrow R_{x2} = R_{x1} \times \frac{(235 + \theta_2)}{(235 + \theta_1)} \quad (4.1-1)$$

όπου:  $R_{x2}$  η ζητούμενη αντίσταση διαβάσεως μετά τη δοκιμή

$R_{x1}$  η αντίσταση διαβάσεως πριν της έναρξη κάθε δοκιμής

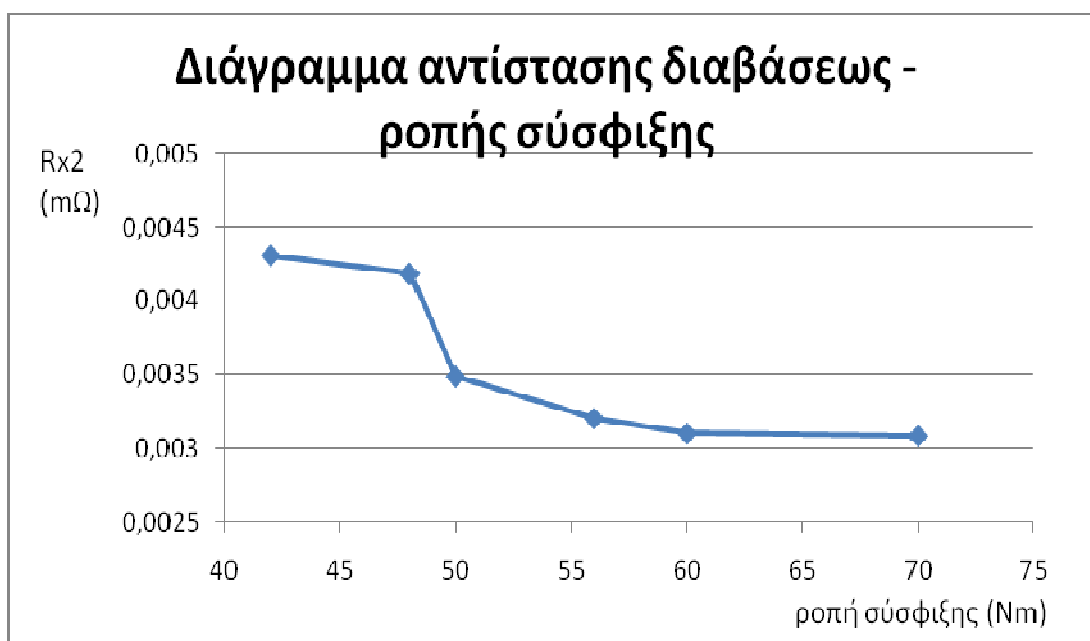
$\theta_2$  η θερμοκρασία στην οποία έφτασε το δοκίμιο στο πέρας της δοκιμής

$\theta_1$  η θερμοκρασία στην οποία βρισκόταν το δοκίμιο πριν την έναρξη της δοκιμής, δηλαδή σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο προέκυψαν τα αποτελέσματα που φαίνονται στον πίνακα 4.1-2 και στο γράφημα 4.1-2.

Αναγωγή αντίστασης στη θερμοκρασία						
Ροπή σύσφιξης (Nm)	42	48	50	56	60	70
$\theta_1$	21,4	21,8	25,9	26,3	25,8	26
$\theta_2$	55,1	54,1	58,9	58,2	53,4	52,1
$R_{x_1}$	0,00381	0,00372	0,0031	0,00286	0,00281	0,00280
$R_{x_2}$	0,004311	0,004188	0,003492	0,003209	0,003107	0,00308

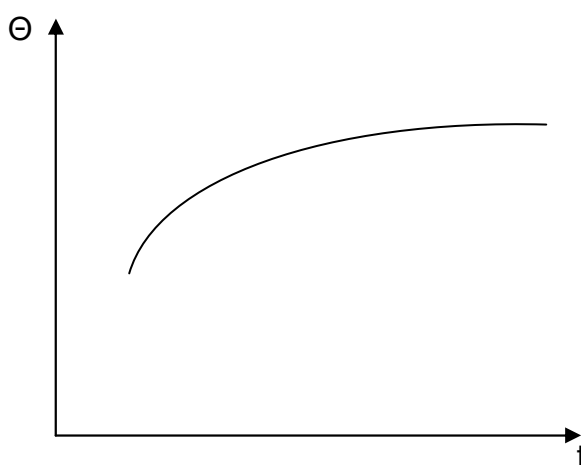
Πίνακας 4.1-2: Αναγωγή αντίστασης διαβάσεως στη θερμοκρασία



Γράφημα 4.1-2: Διάγραμμα της αντίστασης διαβάσεως σε συνάρτηση με τη ροπή σύσφιξης

## 4.2 ΣΧΟΛΙΑ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Τα διαγράμματα 3.1-1 έως 3.1-6 που προέκυψαν από τις μετρήσεις πλησιάζουν σε ικανοποιητικό βαθμό τη θεωρητική καμπύλη θερμοκρασίας-χρόνου η οποία παρατίθεται στη συνέχεια. Όπως παρατηρούμε, μετά την παρέλευση ενός χρονικού διαστήματος από την έναρξη της δοκιμής η θερμοκρασία του δοκιμίου αρχίζει να σταθεροποιείται. Πιο συγκεκριμένα, περίπου μετά τις τρεις πρώτες ώρες η κλίση των καμπυλών 3.1-1 έως 3.1-6 τείνει να μηδενιστεί.



Σχήμα 4.2-1: Θεωρητική καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου

Σύμφωνα με το γράφημα 4.1-1 η αύξηση της ροπής σύσφιξης των μπαρών οδήγησε σε μικρότερη ανύψωση της θερμοκρασίας σε αυτές, δηλαδή σε καλύτερη ηλεκτρική συμπεριφορά. Σημαντικό ρόλο στην ανύψωση της θερμοκρασίας παίζει η αντίσταση διαβάσεως, η οποία παρουσιάζεται όταν δύο μπάρες είναι σε επαφή και διαρρέονται από ρεύμα. Για αυτό το λόγο, το θερμοστοιχείο που τοποθετήθηκε στο κέντρο της σύνδεσης παρουσίασε τη μεγαλύτερη ανύψωση θερμοκρασίας. Μάλιστα, η αντίσταση αυτή είναι διαφορετική για κάθε ροπή - και σε κάθε περίπτωση κατά πολύ μικρότερη του ανώτερου επιτρεπόμενου ορίου του  $1\text{m}\Omega$  - και μειώνεται καθώς αυξάνεται η ροπή σύσφιξης, όπως φαίνεται στο γράφημα 4.1-2. Έτσι, σε χαλαρή σύσφιξη κατά την οποία η επαφή μεταξύ των μπαρών δεν είναι



καλή, η αντίσταση διαβάσεως είναι μεγάλη με αποτέλεσμα να εμφανίζονται διάφορες μικροανυψώσεις θερμοκρασίας σε επιφανειακά σημεία.

Η υπερβολική σύσφιξη, ωστόσο, επέδρασε αρνητικά στη μηχανική συμπεριφορά των μπαρών καθώς προκάλεσε παραμορφώσεις του χαλκού στα σημεία σύσφιξης, ενώ πρακτικά κατέστρεψε τα περικόχλια.

Επιπλέον, τόσο η χαλαρή όσο και η υπερβολική σύσφιξη των μπαρών, επιδεινώνει τη συμπεριφορά τους στην επιφανειακή οξειδωση. Για να περιορίσουν την επιφανειακή οξειδωση, αρκετοί κατασκευαστές επιλέγουν να επιμεταλλώσουν τις μπάρες. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα όρια για την επιτρεπόμενη ανύψωση θερμοκρασίας αυξάνονται. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο, ενώ για τις συνδέσεις μεταξύ μπαρών γυμνού χαλκού το επιτρεπόμενο όριο σύμφωνα με το πρότυπο EN 60694 / 1996 είναι 50K, για τις επικασσιτερωμένες είναι 65K και για τις επαργυρωμένες ανέρχεται στα 75K.

Η πειραματική διάταξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν αποτελεί παρά μία προσομοίωση ενός ζυγού ενός πίνακα μέσης τάσης. Ως εκ τούτου, πρέπει να τονιστεί ότι τα αποτελέσματα του πειράματος θα ήταν διαφορετικά αν οι μπάρες βρίσκονταν μέσα σε πίνακα με περιορισμένες διαστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, ο ελλιπής αερισμός του πίνακα θα προκαλούσε σημαντικά μεγαλύτερες ανυψώσεις θερμοκρασίας σε σχέση με αυτές που παρατηρήθηκαν στις μπάρες χαλκού που ήταν σε ανοιχτό χώρο. Επομένως, οι μικρές διαφορές που σημειώθηκαν στις ανυψώσεις θερμοκρασίας σε πραγματική εφαρμογή θα ήταν μεγαλύτερες. Οι μεγαλύτερες αυτές ανυψώσεις θα ποίκιλλαν, βεβαίως, από πίνακα σε πίνακα ανάλογα με τις διαστάσεις του και τον τρόπο εξαερισμού του.

Ο μελετητής ενός πίνακα είναι εκείνος ο οποίος θα αποφασίσει τον τρόπο με τον οποίο θα περιορίσει την ανύψωση της θερμοκρασίας σε ένα πεδίο μέσης τάσης. Μπορεί είτε να τοποθετήσει μεγαλύτερες μπάρες ώστε να επιτευχθούν μικρότερες πυκνότητες ρεύματος ( $A / mm^2$ ), να χρησιμοποιήσει επιμεταλλωμένους ζυγούς ώστε να αυξήσει την επιτρεπόμενη ανύψωση θερμοκρασίας, είτε να βελτιώσει τον εξαερισμό. Πέρα όμως από αυτό, πρέπει να ληφθεί ειδική μέριμνα και κατά το στάδιο της κατασκευής (χρήση κατάλληλων κοχλιών και περικοχλίων, δυναμομέτρηση σφιξίματος κτλ).

Τέλος, καθοριστική σημασία έχει η συντήρηση των μπαρών ούτως ώστε να διατηρείται η καλή θερμική και διηλεκτρική συμπεριφορά τους. Για αυτό το λόγο, συνίσταται ο τακτικός έλεγχος των συσφίξεων και ο καθαρισμός των μπαρών για την αποφυγή των ηλεκτρικών τόξων. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στους πίνακες με διακοπτόμενη λειτουργία καθώς οι διαστολές και συστολές που προκύπτουν από τις διαρκείς θερμάνσεις και ψύξεις χαλαρώνουν τις συσφίξεις των ζυγών με αποτέλεσμα την υπερθέρμανσή τους.

# Βιβλιογραφία

- [1] Περικλής Δ. Μπούρκας, Εφαρμογές Κτιριακών και Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων, έκδοση Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνίου, Αθήνα 1998.
- [2] Βασίλειος Παπαδιάς, Γραμμές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, έκδοση Συμμετρία, Αθήνα 1999.
- [3] Αθανάσιος Κουραπάς, Τεχνική οδηγία ΤΜΙ.ΕΜΙ.006, έκδοση 5<sup>η</sup> του 1/4/2007.
- [4] Πρότυπο EN 60694/1996.
- [5] ΕΛΟΤ EN 62271-200/2004.
- [6] Φυλλάδιο Κατασκευαστή ICMET S.A.
- [7] Τσίγκας Ερωτόκριτος, Μηχανολόγος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, «Ηλεκτρικοί Υποσταθμοί Μέσης Τάσης», άρθρο στο τεχνικό περιοδικό Κτίριο.
- [8] Σάββας Π. Χατζηδημητρίου, Διπλωματική Εργασία, «Υπολογισμός Υποσταθμού Μέσης Τάσης», ΕΜΠ, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Αθήνα 2003.
- [9] M. I. Kireyev and A. I. Kovarsky, Switchgear installation, translated from the Russian by Boris A. Nikolayev, MIR Publishers, c1982.
- [10] R. T. Lythall, The J&P Switchgear Book, London Newnes-Butterworths.
- [11] Robert W. Smeaton and William H. Ubert, Switchgear and control Handbook, 3rd edition, McGraw-Hill Book Company, c1998.