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

Διερεύνηση των Θερμικών Αποτελεσμάτων Στατικών Ηλεκτρικών Συνδέσμων υπό Ηλεκτρική Καταπόνηση

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτα Δ. Γκάτση
Ελευθερία-Μαρία Α. Γκιζά

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

Αθήνα Ιούνιος, 2005

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

Διερεύνηση των Θερμικών Αποτελεσμάτων Στατικών Ηλεκτρικών Συνδέσμων υπό Ηλεκτρική Καταπόνηση

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτα Δ. Γκάτση
Ελευθερία-Μαρία Α. Γκιζά

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

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή την 15η Ιουνίου 2005.

.....	.....	.....
Π. Δ. Μπούρκας	***Ν. Ι. Θεοδώρου***	***Κ. Γ. Καραγιαννόπουλος***
Καθηγητής Ε.Μ.Π.	*Καθηγητής Ε.Μ.Π.*	*Καθηγητής Ε.Μ.Π.*

Αθήνα Ιούνιος, 2005

....

Παναγιώτα Δ. Γκάτση *Ελευθερία-Μαρία Α. Γκιζά*

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

Copyright © *Παναγιώτα Γκάτση, 2005*

Copyright © *Ελευθερία-Μαρία. Γκιζά, 2005*

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.

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Ηλεκτρικών Μετρήσεων και Υψηλών Τάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π. κατά το ακαδημαϊκό έτος 2004-2005, στα πλαίσια των εκπαιδευτικών και ερευνητικών δραστηριοτήτων του εργαστηρίου.

Θα θέλαμε να εκφράσουμε θερμές ευχαριστίες στον Καθηγητή μας Δρ. Περικλή Μπούρκα για την εμπιστοσύνη του κατά την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές που μας παρείχε κατά την διάρκεια της εκπονήσεώς της.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλουμε και στην Δρ. Αικατερίνη Πολυκράτη, για την συνεχή επιστημονική υποστήριξη, την ηθική συμπαράσταση και την πολύτιμη συνεισφορά της κατά την διάρκεια της εργασίας μας.

Τέλος, ευχαριστούμε την εταιρεία Πιττάς και Δραγνής Α.Ε. η οποία ως κατασκευαστής των υπό δοκιμή συνδέσμων, μας προμήθευσε με τα απαραίτητα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για τη πραγματοποίηση των πειραμάτων.

Παναγιώτα Δ. Γκάτση
Ελευθερία-Μαρία Α. Γκιζά
Αθήνα, 2005

0 Γενικές Πληροφορίες 9

0.1 Περίληψη- Λέξεις Κλειδιά **9**
0.2 Abstract - Keywords **11**
0.3 Κατάλογος Σχημάτων και Πινάκων **12**
0.3.1 Κατάλογος Σχημάτων 12
0.3.2 Κατάλογος Πινάκων 13
0.4 Εισαγωγή **14**

1 Στοιχεία Θεωρίας 15

1.1 Γενικά περί κεραυνού **15**
1.1.1 Το ατμοσφαιρικό ηλεκτρικό πεδίο και οι μεταβολές του 15
1.1.2 Ο μηχανισμός της ατμοσφαιρικής εκκένωσης 16
1.1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη δημιουργία κεραυνού 17
1.1.4 Παράμετροι του κεραυνού 18
1.2 Συνέπειες από την πτώση κεραυνού **19**
1.2.1 Θερμικές επιδράσεις 19
1.2.2 Υπερπήδηση κεραυνού 19
1.2.3 Ακουστικές επιδράσεις 19
1.3 Αντικεραυνική προστασία **20**
1.3.1 Σκοπός αντικεραυνικής προστασίας 20
1.3.2 Συστήματα αντικεραυνικής προστασίας και γειώσεων 22
1.3.3 Υλικά κυκλωμάτων 28
1.4 Γενικά περί στατικών ηλεκτρικών επαφών **29**
1.4.1 Ορισμοί και βασικές έννοιες στατικών ηλεκτρικών επαφών 30
1.4.2 Μη γραμμικά φαινόμενα 39
1.4.3 Διαδικασίες μετρήσεων επί ηλεκτρικών επαφών 44

2 Διαδικασία και Κυκλώματα Μετρήσεων 48

2.1 Σκοπός της εργασίας **48**
2.2 Δοκιμή αξιολόγησης σταθερών ηλεκτρικών συνδέσμων κατά το ευρωπαϊκό πρότυπο EN50164.01 ..... **50**
2.2.1 Στοιχεία για το κρουστικό ρεύμα 50
2.2.2 Απαιτήσεις Ευρωπαϊκού προτύπου EN50164.01 53
2.2.3 Αξιολόγηση των συνδέσμων κατά το ευρωπαϊκό πρότυπο 53
2.3 Πειραματική διαδικασία **55**
2.4 Περιγραφή Λογισμικού Καταγραφής Μετρήσεων **59**
2.5 Χαρακτηριστικά συνδέσμων **60**

3 Επεξεργασία αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα 63

3.1 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων **64**
3.1.1 Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου 2001010 Cu III 66
3.1.2 Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου 2212021 Cu I 69
3.1.3 Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου 1001010 St/tZn III 72
3.2 Επεξεργασία των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων **74**

3.2.1 Σύγκριση θεωρητικού τύπου για το φορτίο του κεραυνικού ρεύματος με τα πειραματικά αποτελέσματα 74
3.2.2 Σύγκριση θεωρητικού τύπου για τη σχέση 'πτώσης τάσης – θερμοκρασίας' με τα πειραματικά αποτελέσματα 78
3.3 Γενικά συμπεράσματα 83

4 Παράρτημα: Αναλυτικές πειραματικές μετρήσεις 85

4.1 Αναλυτικές Μετρήσεις Συνδέσμου 2001010 Cu III..... 86
4.2 Αναλυτικές Μετρήσεις Συνδέσμου 2212021 Cu I 95
4.3 Αναλυτικές Μετρήσεις Συνδέσμου 1001010 St/tZn III.....101

5 Βιβλιογραφία 111

0 Γενικές Πληροφορίες

0.1 Περίληψη- Λέξεις Κλειδιά

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στη διερεύνηση της αξιοπιστίας μόνιμων ηλεκτρικών συνδέσμων συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας και γειώσεων, για βιομηχανική εφαρμογή.

Στο πλαίσιο αυτό, πραγματοποιήθηκε μία σειρά από πειραματικές μετρήσεις με απώτερο στόχο τον προσδιορισμό του εναλλασσομένου ρεύματος το οποίο δημιουργεί την ίδια καταπόνηση στους συνδέσμους με το κεραυνικό πλήγμα, έτσι ώστε οι εταιρείες παραγωγής να ελέγχουν την αξιοπιστία των προϊόντων τους, με πολύ απλό και βασικό εξοπλισμό.

Για το σκοπό αυτό, καταγράφηκαν και μελετήθηκαν μεγέθη που σχετίζονται με τη θερμική καταπόνηση των συνδέσμων και εξετάσθηκε η συμπεριφορά τους με βάση συγκεκριμένο ευρωπαϊκό πρότυπο.

Το πρώτο τμήμα της παρούσας εργασίας περιλαμβάνει το θεωρητικό υπόβαθρο για την καλύτερη κατανόηση των πειραματικών αποτελεσμάτων που δίνονται στη συνέχεια. Έτσι, παρατίθενται κάποια γενικά στοιχεία για τον κεραυνό και τις συνέπειές του, για την αντικεραυνική προστασία και τη χρησιμότητα των ηλεκτρικών συνδέσμων σ' αυτή, καθώς και κάποια στοιχεία περί στατικών ηλεκτρικών επαφών και των φαινομένων που τις διέπουν.

Το δεύτερο τμήμα αποτελεί ουσιαστικά μια σύνδεση με το αμιγώς πειραματικό μέρος που ακολουθεί. Περιλαμβάνει το σκοπό της εργασίας, το ευρωπαϊκό πρότυπο για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των στατικών επαφών (το οποίο αποτέλεσε βάση για τη διερεύνηση της θερμικής συμπεριφοράς τους) , τα χαρακτηριστικά των συνδέσμων που χρησιμοποιήθηκαν στις πειραματικές μετρήσεις, την περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας και του κυκλώματος που υλοποιήθηκε.

Τέλος, γίνεται η παρουσίαση των πειραματικών μετρήσεων, η επεξεργασία των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων που εξήχθησαν.

Λέξεις κλειδιά: ηλεκτρικές επαφές, στατικοί ηλεκτρικοί σύνδεσμοι, αντικεραυνική προστασία, πειραματικές μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών, έλεγχος αξιολόγησης, λυόμενοι σύνδεσμοι

0.2 Abstract - Keywords

This diploma thesis concerns the investigation of reliability of stationary electrical contacts used in lightning protection and grounding systems.

A series of experimental measurements were carried out, in order to determine an alternate current value (referred as equivalent lightning current) that affects the stationary contacts in the same way a lightning current does. During the process the thermal results as well as the drop of voltage in each coupling were examined.

The first part of this report includes a theoretical background, essential for a better understanding of the presented measurements. It includes an introduction on lightning and its consequences, the lightning protection system and the use of contacts in it, as well as a short theory about stationary electrical contacts and the phenomena that occur during their operation.

The second section includes the aim of this thesis, the European Standard for the reliability of static contacts (that determines the requirements for their thermal behaviour), the constructive characteristics of the contacts used and the description of the experimental process.

Finally, the results of the measurements are given, as well as comments on them and the conclusion of this thesis.

Keywords: stationary electrical contacts, lightning protection, experimental measurements of electric quantities, stationary electrical couplings

0.3 Κατάλογος Σχημάτων και Πινάκων

0.3.1 Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα [1.3-1]: Η ειδική αντίσταση ρ (Ωm) σε σχέση με το μήκος του ηλεκτροδίου 25
Σχήμα [1.4-1]: Απλοποιημένη παράσταση της επίδρασης της θερμοκρασίας στη δημιουργία οξειδίων 37
Σχήμα [1.4-2]: Το προτεινόμενο ισοδύναμο κύκλωμα. 44
Σχήμα [2.2-1]: Τυπική μορφή κρουστικού ρεύματος 50
Σχήμα [2.2-2]: Διάγραμμα για τον υπολογισμό των χρονικών σταθερών του κρουστικού ρεύματος. 52
Σχήμα [2.3-1]: Το κύκλωμα μέτρησης 56
Σχήμα [2.4-1]: Γραφικό περιβάλλον λογισμικού καταγραφής των μετρήσεων 60
Σχήμα [3.1-1]: Γραφική απεικόνιση της διαφοράς θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο, όλων των δοκιμών επί του συνδέσμου 2001010 Cu III, με δύναμη σύσφιξης 25Nm 67
Σχήμα [3.1-2]: Γραφική απεικόνιση της πτώσης τάσης σε συνάρτηση με το χρόνο, όλων των δοκιμών επί του συνδέσμου 2001010 Cu III, με δύναμη σύσφιξης 25Nm 67
Σχήμα [3.1-3]: Γραφική απεικόνιση της θερμοκρασίας (T1: στο δοκίμιο, T2: στον αγωγό, Δθ: στο δοκίμιο) σε συνάρτηση με το χρόνο, επί του συνδέσμου 2001010 Cu III 68
Σχήμα [3.1-4]: Γραφική απεικόνιση της διαφοράς θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο, όλων των δοκιμών επί του συνδέσμου 2212021 Cu I, με δύναμη σύσφιξης 11Nm..... 70
Σχήμα [3.1-5]: Γραφική απεικόνιση της πτώσης τάσης σε συνάρτηση με το χρόνο, όλων των δοκιμών επί του συνδέσμου 2212021 Cu I, με δύναμη σύσφιξης 25Nm 70
Σχήμα [3.1-6]: Γραφική απεικόνιση της θερμοκρασίας (T1: στο δοκίμιο, T2: στον αγωγό, Δθ: στο δοκίμιο) σε συνάρτηση με το χρόνο, επί του συνδέσμου 2212021 Cu I 71
Σχήμα [3.1-7]: Γραφική απεικόνιση της διαφοράς θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο, όλων των δοκιμών επί του συνδέσμου 1001010 St/tZn III, με δύναμη σύσφιξης 25Nm... 73
Σχήμα [3.1-8]: Γραφική απεικόνιση της πτώσης τάσης σε συνάρτηση με το χρόνο, όλων των δοκιμών επί του συνδέσμου 1001010 St/tZn III, με δύναμη σύσφιξης 25Nm 73
Σχήμα [3.1-9]: Γραφική απεικόνιση της θερμοκρασίας (T1: στο δοκίμιο, T2: στον αγωγό, Δθ: στο δοκίμιο) σε συνάρτηση με το χρόνο, επί του συνδέσμου 1001010 St/tZn III 74
Σχήμα [3.2-1]: Γραφική απεικόνιση της ρίζας της διαφοράς της θερμοκρασίας σε σχέση με την πτώση τάσης, επί του συνδέσμου 2001010 Cu III 80
Σχήμα [3.2-2]: Γραφική απεικόνιση της ρίζας της διαφοράς της θερμοκρασίας σε σχέση με την πτώση τάσης, επί του συνδέσμου 2212021 Cu I..... 81
Σχήμα [3.2-3]: Γραφική απεικόνιση της ρίζας της διαφοράς της θερμοκρασίας σε σχέση με την πτώση τάσης, επί του συνδέσμου 1001010 St/tZn III..... 82

0.3.2 Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας [1.3-I]: Η μέση απόσταση αγωγών καθόδου σε σχέση με τη στάθμη προστασίας 24
Πίνακας [1.3-II]: Ορισμοί Ζωνών Αντικεραυνικής Προστασίας 26
Πίνακας [1.3-III]: Διατομές αγωγών σε σχέση με το υλικό (για μεγάλο ρεύμα κεραυνού)..... 27
Πίνακας [1.3-IV]: Διατομές αγωγών σε σχέση με το υλικό (για μικρό ρεύμα κεραυνού)..... 27
Πίνακας [2.2-I]: Αποτελέσματα μέσου όρου διαφοράς θερμοκρασίας χάλκινων δοκιμίων μετά την καταπόνησής τους με κεραυνικό ρεύμα..... 54
Πίνακας [2.3-I]: Επιλογή δύναμης σύσφιξης των συνδέσμων επί του αγωγού, ανά δοκίμιο, ανάλογα με τις τιμές της δύναμης σύσφιξης που εφαρμόστηκαν στις δοκιμές με το κεραυνικό ρεύμα.... 55
Πίνακας [2.5-I]: Τεχνικά χαρακτηριστικά δοκιμίων..... 62
Πίνακας [3-I]: Το θερμικά ισοδύναμο (σταθεροποιημένη ενεργός τιμή εναλλασσόμενου ρεύματος) του κεραυνικού ρεύματος..... 63
Πίνακας [3.1-I]: Συνοπτικά αποτελέσματα δοκιμίου 2001010 Cu III..... 66
Πίνακας [3.1-II]: Συνοπτικά αποτελέσματα δοκιμίου 2212021 Cu I..... 69
Πίνακας [3.1-III]: Συνοπτικά αποτελέσματα δοκιμίου 1001010 St/tZn III 72
Πίνακας [3.2-I]: Αποτελέσματα πτώσης τάσης και διαφοράς θερμοκρασίας για το δοκιμίο 2001010 Cu III..... 80
Πίνακας [3.2-II]: Αποτελέσματα πτώσης τάσης και διαφοράς θερμοκρασίας για το δοκιμίο 2212021 Cu I..... 81
Πίνακας [3.2-III]: Αποτελέσματα πτώσης τάσης και διαφοράς θερμοκρασίας για το δοκιμίο 1001010 St/tZn III..... 82

0.4 Εισαγωγή

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της αξιοπιστίας λυόμενων ηλεκτρικών συνδέσμων συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας και γειώσεων, μέσω μιας σειράς εργαστηριακών μετρήσεων. Για το λόγο αυτό, μελετήθηκε και έγινε προσπάθεια προσδιορισμού μίας τιμής ρεύματος που να ισοδυναμεί θερμικά με την καταπόνηση του κεραυνικού ρεύματος στους συνδέσμους, υπό την επίδραση συγκεκριμένης ροπής σύσφιξης. Επίσης εξετάστηκαν τα θερμικά αποτελέσματα καθώς και η προκαλούμενη πτώση τάσης στον σύνδεσμο.

Κατά τη συγγραφή της εργασίας κρίθηκε σκόπιμο στο πρώτο κεφάλαιο να παρουσιαστούν βασικά στοιχεία της θεωρίας των κεραυνών, των συνεπειών από την πτώση του και των συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας. Στη συνέχεια, δίνονται κάποιοι ορισμοί και έννοιες για τις στατικές ηλεκτρικές επαφές που χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα αντικεραυνικής προστασίας καθώς και τα φαινόμενα που τις διέπουν.

Το δεύτερο κεφάλαιο, περιλαμβάνει το σκοπό της εργασίας αυτής και την περιγραφή των μέσων που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή της. Έτσι, γίνεται μια συνοπτική περιγραφή του ευρωπαϊκού προτύπου για τον έλεγχο της αξιοπιστίας στατικών ηλεκτρικών επαφών το οποίο αποτέλεσε βάση για τη διερεύνηση της θερμικής συμπεριφοράς τους. Επίσης γίνεται η περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας, του κυκλώματος που υλοποιήθηκε, καθώς και του λογισμικού καταγραφής των μετρήσεων. Τέλος δίνονται τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των συνδέσμων πάνω στους οποίους έγιναν οι μετρήσεις,

Ακολουθεί το τρίτο κεφάλαιο, στο οποίο παρατίθενται τα συνοπτικά αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων – οι αναλυτικές μετρήσεις δίνονται στο παράρτημα – καθώς επίσης και η επεξεργασία τους. Ολοκληρώνοντας την εργασία, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που απορρέουν από την εκπόνηση αυτής.

1 Στοιχεία Θεωρίας

1.1 Γενικά περί κεραυνού

Η ηλεκτρική εκκένωση μεταξύ νέφους και γης λέγεται κεραυνός. Το φαινόμενο αυτό, αν και είναι τόσο παλιό όσο και ο πλανήτης μας, μπόρεσε να εξηγηθεί μόνο κατά τους τελευταίους δύο αιώνες. Από το 1753 όπου ο B. Franklin απέδειξε την ύπαρξη ατμοσφαιρικού ηλεκτρισμού μέχρι σήμερα, με πολλές μοντέρνες μεθόδους και πειράματα έχει αποκτηθεί αρκετή γνώση επάνω στο φαινόμενο αυτό και κατά συνέπεια έχουν αναπτυχθεί αρκετά ασφαλείς τρόποι προστασίας από τους κινδύνους ενός κεραυνού.

1.1.1 Το ατμοσφαιρικό ηλεκτρικό πεδίο και οι μεταβολές του

Η ατμόσφαιρα παρουσιάζει μια μικρή αγωγιμότητα που οφείλεται στην ύπαρξη φορτίων μέσα σε αυτή. Απαραίτητη προϋπόθεση για την δημιουργία κεραυνού είναι ο διαχωρισμός των ηλεκτρικών φορτίων εντός των νεφών. Όλες οι προτεινόμενες θεωρίες για τους μηχανισμούς διαχωρισμού ηλεκτρικών φορτίων αντιμετωπίζουν το νέφος ως ένα ηλεκτρικό δίπολο. Η δημιουργία ηλεκτρικού δίπολου συνεπάγεται τη διαφορά δυναμικού εντός του νέφους και επομένως την έναρξη ατμοσφαιρικών εκκενώσεων, δηλαδή τη δημιουργία κεραυνού.

Οι ατμοσφαιρικές εκκενώσεις διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

α) Μεταξύ σύννεφου και γης και αντίστροφα

Οι κεραυνοί της κατηγορίας αυτής, παρατηρούνται όταν το ηλεκτρικό πεδίο πάρει την κρίσιμη τιμή πλησίον νέφους, οπότε έχουμε κατερχόμενη εκκένωση, ή πλησίον της γης, οπότε έχουμε ανερχόμενη εκκένωση.

β) Εντός του ίδιου σύννεφου

Γενικά στην περίπτωση αυτή, η εκκένωση λαμβάνει χώρα ανάμεσα στο ανώτερο θετικό και το κατώτερο αρνητικό κέντρο του χωρικού φορτίου. Η διάρκεια της εκκένωσης είναι μεγάλη, το ρεύμα της έχει τιμές μερικές εκατοντάδες Α έως 1kA.

γ) Μεταξύ των σύννεφων

Κεραυνοί ανάμεσα στα σύννεφα εμφανίζονται σε ύψος μεγαλύτερο του 1km και μικρότερο των 12km. Βασικό χαρακτηριστικό των κεραυνών αυτών είναι ότι έχουν μεγάλο μήκος κεραυνικού τόξου μέχρι και 40km.

1.1.2 Ο μηχανισμός της ατμοσφαιρικής εκκένωσης

Ο πιο συνηθισμένος τύπος κεραυνού είναι ο γραμμικός. Για τον αρχικό σχηματισμό της εκκένωσης αυτής, η οποία ονομάζεται και ολισθαίνουσα εκκένωση, αρκεί σε μια περιοχή του νέφους η τιμή της πεδιακής έντασης να υπερβεί την τιμή των 8-10 kV/m. Τότε δημιουργείται ένας οχετός (αγώγιμος δρόμος) με κατεύθυνση από το νέφος προς τη γη, που τροφοδοτείται συνεχώς με φορείς ηλεκτρικού φορτίου από το σύννεφο και που κατά κανόνα διακλαδίζεται σε άλλους μικρότερους οχετούς. Κατά την πρόοδο του οχετού, το φαινόμενο εξασθενεί, εξαιτίας της αδυναμίας του νέφους να δώσει τα απαραίτητα ηλεκτρικά φορτία. Καθώς ο οχετός, ο οποίος ονομάζεται και οδηγός οχετός ή οχετός προεκκένωσης, κατέρχεται στη γη αυξάνει το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ σύννεφου και γης. Έτσι είναι δυνατό να αναχωρήσει από το έδαφος μια ανερχόμενη εκκένωση ή εκκένωση αντιθέτου φοράς, συνήθως από μια φυσική ή τεχνική έξαρση, η οποία κατευθύνεται προς συνάντηση του κατερχόμενου οχετού. Τότε ακολουθεί η κύρια εκκένωση, η οποία αποτελεί και τον οχετό επιστροφής, κατά την οποία το ηλεκτρικό φορτίο από το έδαφος (στις περισσότερες περιπτώσεις θετικό), τείνει να εξουδετερώσει ολόκληρο το φορτίο που αναχώρησε από το νέφος (στις περισσότερες περιπτώσεις αρνητικό). Η ταχύτητα προόδου του οχετού επιστροφής

είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την ταχύτητα του οδηγού οχετού και συνοδεύεται από το φαινόμενο της βροντής.

Η μορφή του εδάφους δεν ασκεί καμιά επίδραση στη δημιουργία του αρχικού οχετού. Μόνο όταν ο οχετός φθάσει κοντά στο έδαφος, ξεπηδά κατά κανόνα από μια φυσική ή τεχνητή έξαρση (εξαιτίας της σημαντικής αύξησης της πεδιακής έντασης), ένας δεύτερος οχετός, ο οχετός επιστροφής, ο οποίος πάει να συναντήσει τον πρώτο, όταν δε πραγματοποιηθεί η συνάντηση αυτή λαμβάνει χώρα η κύρια εκκένωση. Γι' αυτό το λόγο επιζητούμε πάντοτε να δημιουργήσουμε τεχνητές εξάρσεις (όπως τις ράβδους των αλεξικέραυνων) για να προκαθορίσουμε το σημείο πτώσης του κεραυνού.

1.1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη δημιουργία κεραυνού

Τα χαρακτηριστικά του κεραυνού επηρεάζονται από τρεις κυρίως παράγοντες: την ορεογραφική κατάσταση, την εποχή και το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή. Ο αριθμός των εκκενώσεων στις ορεινές περιοχές είναι πάντοτε μεγαλύτερος από εκείνον στις πεδινές.

Κατά συνέπεια, στις ορεινές περιοχές, η ένταση του ρεύματος του κεραυνού όπως και το σχετικό φορτίο είναι μικρά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μικρή απόσταση γης-νέφους προκαλεί εκκενώσεις στη γη πριν ολοκληρωθεί η διαδικασία φορτίσεως του νέφους και στο ότι το μικρό σχετικά μήκος του αγωγού του κεραυνού έχει σαν αποτέλεσμα τη συσσώρευση ενός μικρού μόνο φορτίου κατά μήκος αυτού.

Αντίθετα, στις πεδινές περιοχές, όπου η απόσταση νέφους-γης είναι μεγαλύτερη, σημειώνονται λιγότερες εκκενώσεις αλλά με υψηλή ένταση ρεύματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σπάνια, σχετικά, το ηλεκτρικό πεδίο είναι τέτοιο ώστε να επιτρέπει κεραυνό νέφους-γης. Η μεγάλη ένταση ρεύματος οφείλεται στην παρουσία νεφών πολύ φορτισμένων και οχετών εκκενώσεως μεγάλου μήκους.

Επίσης σημαντικό ρόλο στη δημιουργία κεραυνικών εκκενώσεων έχει και η εποχή. Το καλοκαίρι λόγω του σημαντικού ύψους των νεφών από το έδαφος πολλές εκκενώσεις πραγματοποιούνται εντός ενός νέφους ή μεταξύ των νεφών. Αυτό έχει σαν συνέπεια μια απότομη μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια του εδάφους. Εάν υπάρχει κάποια αιχμηρή κατασκευή, το πεδίο πλησίον του εδάφους μπορεί να γίνει τόσο έντονο ώστε να δημιουργήσει μια ανερχόμενη εκκένωση.

Ο αριθμός των ανερχόμενων εκκενώσεων κατά την καλοκαιρινή περίοδο είναι πολύ μεγαλύτερος από εκείνον των κατερχομένων. Στο άλλο διάστημα του χρόνου (άνοιξη, φθινόπωρο), τα νέφη κινούνται χαμηλότερα. Αυτό διευκολύνει την εκκένωση προς τη γη πριν ακόμη η διαδικασία φορτίσεως του νέφους ολοκληρωθεί κάνοντας λιγότερο συχνές τις εκκενώσεις μεταξύ νεφών και περισσότερο συχνές τις εκκενώσεις μεταξύ νέφους-γης .

1.1.4 Παράμετροι του κεραυνού

Ο κεραυνός σαν ηλεκτρικό φαινόμενο χαρακτηρίζεται από ορισμένες παραμέτρους:

- *τη μέγιστη τιμή ρεύματος* i_{max}
- *τη μέγιστη κλίση μετώπου του ρεύματος* $(di/dt)_{max}$
- *το μεταφερόμενο φορτίο* $\int_0^\infty i(t)\,dt$
- *το ολοκλήρωμα του τετραγώνου του ρεύματος* $\int_0^\infty i^2(t)\,dt$*, ποσότητα ανάλογη της εκλυόμενης από το κεραυνικό πλήγμα ενέργειας.*

Η κάθε μια από τις παραμέτρους αυτές έχει ενοχλητικές μέχρι καταστροφικές συνέπειες για ανθρώπινες ζωές και τεχνικές εγκαταστάσεις .

1.2 Συνέπειες από την πτώση κεραυνού

1.2.1 Θερμικές επιδράσεις

Η εκλυόμενη ενέργεια υπό μορφή θερμότητας κατά τη δίοδο του κεραυνού δια αντιστάσεως R, σύμφωνα με το νόμο του Joule είναι:

$$W = R \cdot \int_0^{\infty} i^2(t)\,dt \qquad [1.2\text{-}1]$$

Είναι λοιπόν προφανές ότι όσο πιο μεγάλη αντίσταση έχουμε, τόσο πιο ισχυρές υπερθερμάνσεις αναπτύσσονται. Σε αγωγούς με μεγάλη διατομή τα φαινόμενα αυτά δεν γίνονται αισθητά. Υπερθερμάνσεις μέχρι θερμοκρασίας τήξεως παρουσιάζονται σε μικρές διατομές αγωγών ή σε αγωγούς μεγάλης ειδικής αντίστασης. Σε κακούς αγωγούς ή σε λυόμενους συνδέσμους που είναι χαλαρά τοποθετημένοι, εκλύεται μεγάλη ποσότητα ενέργειας υπό μορφή θερμότητας.

1.2.2 Υπερπήδηση κεραυνού

Αυτή παρουσιάζεται αφενός μεν λόγω της μεγάλης πτώσης τάσης κατά τη διάβαση του κεραυνού προς τη γη και αφετέρου κατά τη διέλευση του κεραυνού μέσω αγωγού μεγάλης αυτεπαγωγής, λόγω αδράνειας του μαγνητικού πεδίου που εξελίσσεται ταχύτατα.

1.2.3 Ακουστικές επιδράσεις

Κατά τη διάρκεια του κεραυνού, κατά την οποία έχουμε ροή κεραυνικού ρεύματος αναπτύσσεται ηλεκτρομαγνητική δράση (δυνάμεις), με αποτέλεσμα ο μανδύας αέρα που περιβάλλει τον οχετό να συμπιέζεται.

Η ηλεκτροδυναμική υπερπίεση είναι περίπου 2-3 ατμόσφαιρες. Με την εξασθένιση του κεραυνικού ρεύματος, εξασθενίζει και η υπερπίεση και έτσι ο θερμός πυρήνας του κεραυνού εκρήγνυται και προκαλεί βροντή.

Η βροντή γίνεται αισθητή σε μικρή σχετικά απόσταση, που δεν υπερβαίνει τα 10-15km, γεγονός που σημαίνει ότι η χρονική διάρκεια από τη στιγμή που αντιλαμβανόμαστε την αστραπή μέχρι τη στιγμή που ακούμε τη βροντή, είναι κάτω των 45s.

1.3 Αντικεραυνική προστασία

1.3.1 Σκοπός αντικεραυνικής προστασίας

α) Προστασία της ανθρώπινης ζωής

Εάν ένα μέρος του ρεύματος του κεραυνού περάσει από το ανθρώπινο σώμα παρατηρούνται τα ίδια φαινόμενα όταν το σώμα βρεθεί κάτω από διαφορά δυναμικού μιας συνηθισμένης ηλεκτρικής εγκαταστάσεως αλλά σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό. Πιο συγκεκριμένα κατά το ατύχημα της κεραυνοπληξίας παρατηρούνται σοβαρές οργανικές ανωμαλίες όπως καρδιακή μαρμαρυγή, απώλεια αισθήσεων, στάση της καρδιάς, shock με νευρική παράλυση, βαριά εγκαύματα κλπ.

Στην περίπτωση όπου το ατύχημα της κεραυνοπληξίας δεν έχει θανατηφόρο αποτέλεσμα εμφανίζονται κατά κανόνα παραλύσεις νεύρων ή μυών χωρίς παρενέργειες. Μέσα σε μερικές ώρες ή το πολύ μέσα σε μερικές μέρες επανέρχεται η φυσιολογική τους λειτουργία.

Επικίνδυνη είναι επίσης η παρουσία ατόμου σε μέρος όπου κοντά πέφτει κεραυνός και αυτό γιατί το σώμα με την εκκένωση χάνει ξαφνικά το ηλεκτρικό φορτίο που είχε πάρει από επαγωγή από το νέφος, αλλά κυρίως διότι η βηματική τάση που αναπτύσσεται μπορεί να πάρει μεγάλες τιμές.

Σε κλειστούς χώρους ο άνθρωπος είναι κατά μεγάλο ποσοστό εξασφαλισμένος όταν το κτίσμα έχει καλή αντικεραυνική προστασία.

Στο ύπαιθρο υπάρχει κίνδυνος όταν σε ώρα καταιγίδας σταθεί κανείς όρθιος σε ανοικτό πεδίο, εξαιτίας της αυξημένης πεδιακής εντάσεως που δημιουργείται πάνω από το σώμα του. Επικίνδυνη είναι επίσης και η παραμονή ατόμων κοντά σε δένδρα ή ψηλούς τοίχους, όπου κατά την κακοκαιρία τα άτομα καταφεύγουν για να προφυλαχθούν από τη βροχή. Οι τοίχοι είναι επικίνδυνοι γιατί είναι δυνατό κάπου κοντά να υπάρχει γείωση αλεξικέραυνου. Πρακτικά βρίσκεται κανείς σε ασφάλεια σε απόσταση 30 m από το σημείο εισόδου του κεραυνού στην γη.

Επίσης όταν κανείς στέκεται σε ώρα κακοκαιρίας πρέπει να έχει τα πόδια του κλειστά, για να αποφύγει τη δημιουργία βηματικής τάσεως (βηματική τάση είναι η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ των πελμάτων, όταν αυτά απέχουν 1m μεταξύ τους, τη στιγμή εισόδου του ρεύματος του κεραυνού στο έδαφος). Στην πράξη πρέπει να έχει ο καθένας υπ' όψη του ότι όταν η χρονική διαφορά μεταξύ κεραυνού και βροντής είναι μικρότερη από 10 δευτερόλεπτα, τότε η καταιγίδα βρίσκεται σε απόσταση το πολύ 3 χιλιομέτρων και από τη στιγμή εκείνη βρίσκεται σε περιοχή αυξημένου κινδύνου.

β) Προστασία κτιρίων

Οι κίνδυνοι των κτιρίων συνίστανται κατά κύριο λόγο, στην πρόκληση πυρκαγιών αλλά και σε εκρηκτικά φαινόμενα που οφείλονται σε απότομη ατμοποίηση ποσοτήτων νερού. Τέτοιο κίνδυνο διατρέχουν οι στέγες, οι εξώστες και οι κεφαλές των καπνοδόχων. Πυρκαγιές από κεραυνούς σημειώνονται σε αγροτικά σπίτια με ελαφρές στέγες. Στον κίνδυνο της απότομης ατμοποιήσεως νερού είναι εκτεθειμένα τα αρχαιολογικά μνημεία. Τα μνημεία αυτά, άφθονα στη χώρα μας, βρίσκονται τις περισσότερες φορές πάνω σε υψώματα. Το πρόβλημα της προστασίας των μνημείων αυτών, έγκειται στην σχεδίαση αντικεραυνικής εγκαταστάσεως, αόρατης από τους επισκέπτες το οποίο παρουσιάζει σημαντική δυσκολία.

γ) Προστασία ηλεκτρικών εγκαταστάσεων

Το τμήμα εκείνο των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων που υποφέρει άμεσα από τις πτώσεις κεραυνών, είναι τα εναέρια ηλεκτρικά δίκτυα και οι υπαίθριες συσκευές, όπως μετασχηματιστές, διακόπτες, κλπ. καθώς και τα τηλεφωνικά δίκτυα, κεραίες, τηλεοράσεις, VIDEO, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, ασύρματοι, γενικά ηλεκτρικές συσκευές, αναμεταδότες τηλεοράσεως, αντλιοστάσια, ηλεκτρικά μηχανήματα εγκαταστημένα στο ύπαιθρο κλπ. Τόσο από την απ' ευθείας πτώση κεραυνού πάνω σε στοιχεία του ηλεκτρικού δικτύου όσο και από τη διέλευση φορτισμένου νέφους πάνω από το δίκτυο δημιουργούνται υπερτάσεις με μορφή κρουστικών κυμάτων οι οποίες καταπονούν τα υπόλοιπα στοιχεία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Τα κυριότερα χρησιμοποιούμενα μέσα για την προστασία των ηλεκτρικών συσκευών είναι :

- *Γειώσεις στύλων και ιστών γραμμής*
- *Γραμμές ή αγωγοί γης*
- *Σπινθηριστές*
- *Αλεξικέραυνα τύπου βαλβίδας ή μη γραμμικής αντιστάσεως και τύπου ιονισμού*

1.3.2 Συστήματα αντικεραυνικής προστασίας και γειώσεων

Προκειμένου να αποφανθούμε εάν απαιτείται η εγκατάσταση ενός Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) σε μια κατασκευή και εάν απαιτείται σε ποια Στάθμη Προστασίας θα πρέπει να εντάξουμε τον σχεδιασμό της, θα πρέπει να συμβουλευθούμε το Πρότυπο ΕΛΟΤ 1412. Στο συγκεκριμένο Πρότυπο δίδοντας δεδομένα όπως, την χρήση της κατασκευής, τις διαστάσεις της, την γεωγραφική της θέση κ.λ.π. και λαμβάνοντας διάφορες παραμέτρους βαρύτητας από αντίστοιχους πίνακες, εξάγεται κάποιο αποτέλεσμα με την βοήθεια του οποίου τεκμηριώνεται η τελική απόφαση.

Αφού έχουμε κατατάξει την υποψήφια κατασκευή σε κάποια εκ των Σταθμών Προστασίας ξεκινώντας από την πιο αυστηρή (Ι), προβαίνουμε στον σχεδιασμό και στην υλοποίηση της εγκατάστασης του

ΣΑΠ σύμφωνα με το ΕΛΟΤ 1197 ή το Ευρωπαϊκό ENV61024-1. Σύμφωνα με το παραπάνω Πρότυπο το ΣΑΠ, αποτελείται από το Εξωτερικό ΣΑΠ και το Εσωτερικό ΣΑΠ.

1.3.2.1 Εξωτερικό ΣΑΠ

Το Εξωτερικό ΣΑΠ αποτελείται από το Συλλεκτήριο Σύστημα, τους Αγωγούς Καθόδου και το Σύστημα Γείωσης.

α) Συλλεκτήριο σύστημα

Το συλλεκτήριο σύστημα σκοπό έχει να συλλέξει το κεραυνικό ρεύμα και να το διοχετεύσει μέσω των αγωγών καθόδου στο σύστημα γείωσης με ασφάλεια. Μπορεί να σχεδιασθεί ανεξάρτητα ή σε συνδυασμό σύμφωνα με τις παρακάτω μεθόδους:

Ο κεραυνός σαν ηλεκτρικό φαινόμενο χαρακτηρίζεται από ορισμένες παραμέτρους:

- *Γωνία προστασίας*
- *Κυλιόμενης σφαίρας*
- *Βρόχου*

Το συλλεκτήριο σύστημα μπορεί να αποτελείται από οποιοδήποτε συνδυασμό των ακόλουθων στοιχείων :

- *Ράβδων*
  Η τοποθέτησή τους γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχουν προστασία υπό μία γωνία η οποία εξαρτάται από την υψομετρική διαφορά μεταξύ αυτών και της υπό προστασία επιφάνειας και της στάθμης προστασίας. Υπάρχουν κατά DIN τυποποιημένα μεγέθη αυτών.
- *Τεταμένων συρμάτων*
  Ισχύουν ανάλογα με τα των μεταλλικών ράβδων
- *Πλέγματος αγωγών*
  Πλέγμα, από αγωγούς συνήθως κυκλικής διατομής, οι οποίοι τοποθετούνται επί του δώματος ή επί της στέγης.

β) Αγωγοί καθόδου

Οι αγωγοί καθόδου σκοπό έχουν να οδηγήσουν το κεραυνικό ρεύμα από το συλλεκτήριο, με ασφάλεια στο σύστημα γείωσης.

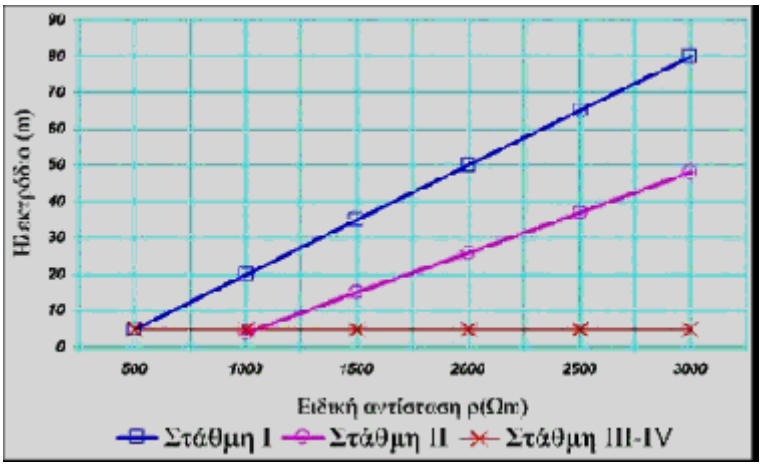
Τοποθετούνται είτε περιμετρικά στις εξωτερικές παράπλευρες επιφάνειες του κτιρίου, είτε εγκιβωτισμένοι στο σκυρόδεμα των υποστυλωμάτων της κατασκευής, σε μέση απόσταση που δίδεται στον Πίνακα [2.3-Ι], ανάλογα με την κατάταξη της στάθμης προστασίας της κατασκευής.

Στάθμη Προστασίας	*Μέση Απόσταση Αγωγών Καθόδου*
I	*10 m*
II	*15 m*
III	*20 m*
IV	*25 m*

Πίνακας [1.3-Ι]: Η μέση απόσταση αγωγών καθόδου σε σχέση με τη στάθμη προστασίας

γ) Σύστημα γείωσης

Σκοπός του συστήματος γείωσης είναι να επιτυγχάνει τη διάχυση του κεραυνικού ρεύματος μέσα στη γη, με ταχύτητα και ασφάλεια χωρίς να δημιουργούνται επικίνδυνες υπερτάσεις στο χώρο όπου είναι κατασκευασμένη. Η απαίτηση της τιμής της αντίστασης του συστήματος γείωσης είναι, είτε κάτω από 10Ω, είτε ένα ελάχιστο μήκος γειωτή όπως φαίνεται στο Σχήμα [2.3-Ι] που ακολουθεί που είναι ισοδύναμος του Ευρωπαϊκού Προτύπου ENV 61024-1.



Σχήμα [1.3-1]: Η ειδική αντίσταση ρ (Ωm) σε σχέση με το μήκος του ηλεκτροδίου

Τα παραπάνω μπορούν να επιτευχθούν είτε τοποθετώντας σε κάθε κάθοδο ηλεκτρόδια όπως:

- *Ραβδοειδείς (σταυρού θερμά επιψευδαργυρωμένα, κυκλικής διατομής ηλεκτρολυτικώς επιχαλκωμένα)*
- *Πλάκες θερμά επιψευδαργυρωμένες ή χάλκινες*
- *Ταινίες θερμά επιψευδαργυρωμένες ή χάλκινες*
- *Γειωτές τύπου "Ε" θερμά επιψευδαργυρωμένοι ή χάλκινοι*

είτε κατασκευάζοντας Περιμετρική ή Θεμελιακή γείωση.

1.3.2.2 Εσωτερικό ΣΑΠ

Το Εσωτερικό ΣΑΠ σκοπό έχει την μείωση των τάσεων που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια κεραυνικού πλήγματος επί της κατασκευής ή πλησίον αυτής, στις ηλεκτρικά αγώγιμες εγκαταστάσεις της, σε αποδεκτά επίπεδα έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος ανάπτυξης επικίνδυνων σπινθήρων ή τάσεων επαφής. Η μείωση των τάσεων επιτυγχάνεται με Ισοδυναμικές Συνδέσεις και τους Απαγωγούς Κρουστικών Υπερτάσεων.

α) Ισοδυναμικές συνδέσεις

Ο σκοπός των ισοδυναμικών συνδέσεων είναι να μειώσουν τις διαφορές δυναμικού μεταξύ των μεταλλικών μερών και εγκαταστάσεων στο εσωτερικό του υπό προστασία χώρου και να μειώσουν το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείται κατά την άμεση ή έμμεση κεραυνοπληξία, εντός αυτού. Ο εσωτερικός χώρος του υπό προστασία χώρου πρέπει να διαιρεθεί σε Ζώνες Αντικεραυνικής Προστασίας (ΖΑΠ) προκειμένου να ορισθούν χώροι διαφορετικής επίδρασης κεραυνικής ηλεκτρομαγνητικής κρούσης σύμφωνα με το IEC 61312-1.

Ζ.Α.Π. ΟΑ	*Ζώνη όπου τα στοιχεία της κατασκευής που ανήκουν στη ζώνη, υπόκεινται σε άμεσα κεραυνικά πλήγματα, και συνεπώς μπορεί να χρειαστεί να μεταφέρουν το πλήρες κεραυνικό ρεύμα. Σ' αυτή τη ζώνη το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο δεν είναι ασθενές.*
Ζ.Α.Π. ΟΒ	*Ζώνη όπου τα στοιχεία της κατασκευής που ανήκουν στη ζώνη, δεν υπόκεινται σε άμεσα κεραυνικά πλήγματα. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο επίσης δεν είναι ασθενές.*
Ζ.Α.Π. 1	*Ζώνη όπου τα στοιχεία της κατασκευής που ανήκουν στη ζώνη, δεν υπόκεινται σε άμεσα κεραυνικά πλήγματα και όπου τα ρεύματα σε όλα τα αγώγιμα μέρη που περιλαμβάνονται σε αυτή τη ζώνη είναι πολύ μειωμένα σε σχέση με τα ρεύματα των ζωνών ΟΒ. Σε αυτή τη ζώνη, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μπορεί να είναι ασθενές ανάλογα με τα μέτρα θωράκισης*

Πίνακας [1.3-ΙΙ]: Ορισμοί Ζωνών Αντικεραυνικής Προστασίας

Εάν απαιτείται μία επιπλέον μείωση των επαγόμενων ρευμάτων και/ή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, πρέπει να δημιουργούνται συμπληρωματικές ζώνες. Στα όρια των ΖΑΠ τοποθετούνται Ισοδυναμικοί Ζυγοί (ΙΖ) πάνω στους οποίους γεφυρώνονται τα

μεταλλικά μέρη και οι εγκαταστάσεις που διασχίζουν τα όρια των Ζωνών (μεταλλικές σωλήνες, καλωδιώσεις κ.λ.π) με τη χρήση κατάλληλων περιλαιμίων και συνδέσμων. Προτείνεται ο ισοδυναμικός ζυγός σχήματος ταινίας για την ελαχιστοποίηση των ηλεκτρομαγνητικών κρούσεων.

Οι ισοδυναμικές συνδέσεις πραγματοποιούνται είτε μέσω γυμνών αγωγών είτε μέσω καλωδίων και εάν είναι απαραίτητο μέσω απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων και υπερεντάσεων. Η διατομή των αγωγών των ισοδυναμικών συνδέσεων δίδονται από τον Πίνακα [2.3-ΙΙΙ] του ΕΛΟΤ 1197, για την περίπτωση όπου οι παραπάνω αγωγοί διαρρέονται από μεγάλο μέρος του ρεύματος του κεραυνού I_{κ}*>=25%* I_{κ}*. Για την περίπτωση όπου οι παραπάνω αγωγοί διαρρέονται από μικρό μέρος του ρεύματος του κεραυνού* I_{κ}*<25%* I_{κ} *οι απαιτούμενες διατομές, δίδονται από τον Πίνακα [2.3-IV] του ΕΛΟΤ 1197.*

Στάθμη προστασίας	*Υλικό*	*Διατομή (mm²)*
I έως και IV	*Cu*	*16*
	Al	*25*
	Fe	*50*

Πίνακας [1.3-ΙΙΙ]: Διατομές αγωγών σε σχέση με το υλικό (για μεγάλο ρεύμα κεραυνού)

Στάθμη προστασίας	*Υλικό*	*Διατομή (mm²)*
I έως και IV	*Cu*	*6*
	Al	*10*
	Fe	*16*

Πίνακας [1.3-IV]: Διατομές αγωγών σε σχέση με το υλικό (για μικρό ρεύμα κεραυνού)

Στον ισοδυναμικό ζυγό μπορούν να απολήξουν διαφορετικές γειώσεις όπως Ηλεκτρολογική, "Καθαρή" κ.λ.π είτε απ' ευθείας είτε μέσω Απαγωγών Κρουστικών Υπερτάσεων και Σπινθηριστών στην περίπτωση που επιθυμούμε τον διαχωρισμό τους. Χρήση των τελευταίων γίνεται

κατά την περίπτωση όπως η σύνδεση σωλήνων ή μεταλλικών αντικειμένων που βρίσκονται υπό καθοδική προστασία, ή σε ειδικές περιπτώσεις που δεν επιτρέπεται η άμεση ηλεκτρική σύνδεση γειώσεων που εξυπηρετούν διαφορετικές εγκαταστάσεις.

β) Απαγωγείς κρουστικών υπερτάσεων – υπερεντάσεων

Οι Απαγωγείς Κρουστικών Υπερτάσεων είναι διατάξεις προστασίας ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών έναντι κρουστικών υπερτάσεων οι οποίες μειώνουν τις υπερτάσεις αυτές που δημιουργούνται από φυσικές ή τεχνητές πηγές, όπως κεραυνοί, αστραπές, ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις, χειρισμοί διακοπτών και βραχυκυκλωμάτων, σε ασφαλή επίπεδα.

1.3.3 Υλικά κυκλωμάτων

Τα υλικά και οι διαστάσεις των εξαρτημάτων καθορίζονται ανάλογα με το είδος της κατασκευής που πρόκειται να εγκατασταθούν, τις ηλεκτρικές καταπονήσεις από τον κεραυνό, τον κίνδυνο διαβρώσεων, την ασφάλεια του εγκαταστάτη στις δυσμενείς συνθήκες που εργάζεται (μεγάλο ύψος κ.λ.π.), καθώς επίσης να παρέχουν ευχέρεια για τον έλεγχο και τη συντήρηση της εγκατάστασης.

Θα πρέπει να αποφεύγεται η χρησιμοποίηση υλικών με μεγάλη διαφορά ηλεκτρολυτικής τάσεως, διότι σε σύντομο χρόνο θα διαβρωθούν και θα υπάρξει πρόβλημα στην εγκατάσταση.

Ειδικότερα, εφόσον χρησιμοποιούνται αγωγοί από χάλυβα, θερμά επιψευδαργυρωμένοι ή αλουμινίου τα στηρίγματα καθώς και οι σφικτήρες συνδέσεων θα πρέπει να είναι από χάλυβα, θερμά επιψευδαργυρωμένοι, χυτοσίδηρο θερμά επιψευδαργυρωμένοι, χυτό ψευδάργυρο ή πλαστικό, με βίδες χαλύβδινες, θερμά επι-ψευδαργυρωμένες ή ανοξείδωτου χάλυβα. Εξαρτήματα από χυτοχάλυβα (μαντέμι) δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται. Για χάλκινους αγωγούς, τα στηρίγματα και οι σφικτήρες συνδέσεων πρέπει να είναι από χαλκό ή

κόκκινο ορείχαλκο με βίδες χάλκινες ή ανοξείδωτου χάλυβα ή κόκκινου ορείχαλκου.

Εφόσον απαιτείται η σύνδεση εξαρτημάτων χαλκού με αλουμίνιο ή με χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένα, πρέπει οπωσδήποτε να χρησιμοποιείται διμεταλλική επαφή. Η σύνδεση αγωγών μεταξύ τους με ηλεκτροσυγκόλληση ή οξυγονοκόλληση πρέπει να αποφεύγεται και να χρησιμοποιούνται οι κατάλληλοι σφικτήρες για κάθε περίπτωση. Αγωγός αλουμινίου και εξαρτήματα από χυτό ψευδάργυρο ή χυτό αλουμίνιο, είναι επικίνδυνο να χρησιμοποιούνται σε τμήματα της εγκαταστάσεως θαμμένα στο έδαφος.

1.4 Γενικά περί στατικών ηλεκτρικών επαφών

Μια ευρεία χρήση των μονίμων ηλεκτρικών συνδέσμων είναι στα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας και στα κυκλώματα γειώσεων. Οι σταθεροί σύνδεσμοι αντικεραυνικής προστασίας χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των αγωγών απαγωγής του κεραυνικού πλήγματος προς τη γείωση. Στην παρούσα διπλωματική εργασία ασχολούμαστε με τη μελέτη της συμπεριφοράς μονίμων ηλεκτρικών συνδέσμων. Για το λόγο αυτό, θεωρήθηκε σκόπιμη η παράθεση βασικών ορισμών και αρχών που ισχύουν για τους ηλεκτρικούς συνδέσμους γενικότερα

Είναι ήδη γνωστό ότι οι ηλεκτρικοί σύνδεσμοι αποτελούν βασικό τμήμα των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Κάθε ηλεκτρική εγκατάσταση περιλαμβάνει ηλεκτρικούς συνδέσμους, η αξιοπιστία των οποίων είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την εύρυθμη λειτουργία της.

Οι ηλεκτρικοί σύνδεσμοι μεταξύ των ρευματοφόρων μερών στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις διακρίνονται σε μόνιμους και λυόμενους. Μόνιμοι ηλεκτρικοί σύνδεσμοι είναι αυτοί που τα δύο μέρη τους συνδέονται μεταξύ τους σταθερά μέσω κοχλιών. Τέτοιοι σύνδεσμοι είναι οι συνδέσεις των καλωδίων μέσω των ακροδεκτών τους, οι συνδέσεις μεταξύ των ζυγών, οι συνδέσεις μεταξύ των γειώσεων, κ.λ.π.

Λυόμενοι σύνδεσμοι είναι αυτοί που μπορεί κανείς να χειρισθεί μέσω εξωτερικά εφαρμοζόμενης δύναμης, όπως οι επαφές των διακοπτών γενικά, καθώς και οι επαφές μεταξύ ασφαλειών και ασφαλειοθηκών.

Οι ηλεκτρικές επαφές διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τις στατικές ηλεκτρικές επαφές (stationary electrical contacts) και τις ηλεκτρικές επαφές που έχουν ισχύ διακοπής (switching electrical contacts). Οι στατικές ηλεκτρικές επαφές, δηλαδή οι επαφές που δεν έχουν ισχύ διακοπής, χειρίζονται μόνο όταν το κύκλωμα έχει τεθεί εκτός τάσης, μέσω π.χ. ενός διακόπτη φορτίου ή ισχύος, ανάλογα με το είδος παροχής της τάσης. Αντίθετα, οι επαφές με ισχύ διακοπής χαρακτηρίζονται από τη δυνατότητά τους να διακόπτουν τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, χωρίς να υφίστανται συνέπειες στη συμπεριφορά τους από το ηλεκτρικό τόξο που δημιουργείται κατά το χειρισμό του φορτίου.

Στη συνέχεια δίνεται μια σύντομη εισαγωγή για τις στατικές ηλεκτρικές επαφές χωρίς ισχύ διακοπής που αφορούν στην εργασία αυτή και καθορίζονται βασικές αρχές σχετικά με την αξιολόγησή τους. Εξετάζονται επίσης περιληπτικά τα φαινόμενα που εκδηλώνονται κατά τη λειτουργία των επαφών και δίνεται μια σύντομη ανασκόπηση των μέχρι σήμερα ερευνών σχετικά με το θέμα.

1.4.1 Ορισμοί και βασικές έννοιες στατικών ηλεκτρικών επαφών

Οι επαφές αυτού του τύπου, αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία ως "stationary contacts". Οι αποζεύκτες, γειωτές, ασφαλειαποζεύκτες και ασφαλειοθήκες θεωρούνται στατικές ηλεκτρικές επαφές. Ως στατικές επαφές θεωρούνται επίσης και οι επαφές των αυτόματων διακοπτών, των διακοπτών φορτίου, καθώς και γενικά όλων των διακοπτών που έχουν ισχύ διακοπής, όταν όμως αυτές βρίσκονται στη στατική τους κατάσταση (διακόπτης στη θέση εντός).

Ως ηλεκτρική επαφή ορίζεται μια λυόμενη σύνδεση δύο αγωγών η οποία έχει τη δυνατότητα να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Η παραπάνω λυόμενη σύνδεση αποτελείται από δύο μέρη, την κινητή και τη σταθερή επαφή. Η δύναμη η οποία συγκρατεί τα δύο μέρη της επαφής μεταξύ τους καλείται δύναμη σύσφιξης των επαφών F.

Τα μέταλλα από τα οποία κατασκευάζονται συνήθως οι επαφές έχουν, για λόγους διευκόλυνσης της διάβασης του ρεύματος, μεγάλη ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Για το λόγο αυτό η σκληρότητα των μετάλλων αυτών δεν είναι μεγάλη και υπό την επίδραση των δυνάμεων σύσφιξης παραμορφώνονται ελαστικά και πλαστικά στις περιοχές που εφάπτονται υπό την επίδραση της δύναμης σύσφιξης. Αποτέλεσμα των παραμορφώσεων αυτών είναι η δημιουργία ορισμένων περιοχών πάνω στο λυόμενο σύνδεσμο, οι οποίες φέρουν το φορτίο σύσφιξης της επαφής, χωρίς αυτό να σημαίνει αναγκαστικά ότι μέσω αυτών των περιοχών γίνεται η διέλευση του ρεύματος. Το σύνολο των περιοχών αυτών δίνει την επιφάνεια σύσφιξης A_b.Υπάρχει μια εμπειρική σχέση που συνδέει τη δύναμη σύσφιξης F με την επιφάνεια σύσφιξης A_b, η οποία είναι:

$$F = \xi H A_b \qquad [1.4\text{-}1]$$

όπου H είναι η σκληρότητα της επαφής και ξ ένας συντελεστής αναλογίας που κυμαίνεται από 0,2 έως 1. Η κατανομή των παραπάνω περιοχών είναι στατιστική και εξαρτάται κυρίως από το είδος των υλικών και την τραχύτητα των επιφανειών.

Ως πραγματική επιφάνεια A_c (true contact area) μίας επαφής εννοούμε την επιφάνεια μέσω της οποίας γίνεται τελικά η διέλευση του ρεύματος από το ένα μέρος της επαφής στο άλλο. Η επιφάνεια αυτή είναι, λόγω των ξένων επικαθίσεων στις επαφές (κυρίως οξείδια μετάλλων και σκόνη), μικρότερη από την A_b. Όταν παρατηρεί κανείς μία ηλεκτρική επαφή νομίζει ότι τα δύο μέρη της εφάπτονται σε μία πολύ ευρύτερη επιφάνεια από το σύνολο των περιοχών επαφής A_b που

προαναφέρθηκαν. Αυτή η μακροσκοπικά παρατηρούμενη επιφάνεια ονομάζεται φαινόμενη επιφάνεια επαφής A_α (apparent contact area) και είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από το σύνολο των επί μέρους επιφανειών πραγματικής επαφής A_c, οι οποίες έχουν την δυνατότητα να άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα. Γενικά ισχύει:

$$A_\alpha > A_b > A_c \qquad [1.4\text{-}2]$$

Ο όρος αντίσταση διάβασης αφορά την αντίσταση που παρουσιάζει μια επαφή κατά τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος. Η αντίσταση διάβασης R περιλαμβάνει γενικά δύο όρους: την αντίσταση στένωσης Rc (constriction resistance)και την αντίσταση του στρώματος των επικαθίσεων στις επαφές R_f. Η αντίσταση στένωσης R_c, είναι αποτέλεσμα της εξαναγκασμένης ροής του ηλεκτρικού ρεύματος από το ένα μέρος της επαφής στο άλλο. Η αντίσταση στένωσης περιλαμβάνει εξ ορισμού, την αντίσταση και στα δύο μέρη της επαφής. Η αντίσταση του στρώματος των επικαθίσεων οφείλεται στη δυσκολία των ηλεκτρικών φορέων να διαπεράσουν το στρώμα αυτό.

Η κατασκευή των ηλεκτρικών στατικών επαφών στην πράξη βασίζεται συνήθως στην κατασκευή ενός δοκιμίου, μέσω του οποίου επιδιώκεται η μείωση της αντίστασης διάβασης έτσι, ώστε κατά τη λειτουργία των επαφών αυτών υπό ονομαστικό ρεύμα να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των δοκιμών υπερθέρμανσης μηχανικής αντοχής και αντοχής στο ρεύμα βραχυκύκλωσης. Η τιμή της αντίστασης διάβασης επηρεάζεται κυρίως από το είδος των υλικών, τη δύναμη σύσφιξης των επαφών και γενικά από τη γεωμετρία του λυομένου συνδέσμου, από την οποία εξαρτάται η απαγωγή της θερμότητας Joule. Μεγάλη σημασία για τη διαμόρφωση της τιμής της αντίστασης διάβασης έχουν οι ξένες επικαθίσεις σε αυτές, οι οποίες μπορεί να είναι χημικές ενώσεις όπως οξείδια, οργανικές ουσίες, σκόνη κ.λ.π.

Όλες οι προσπάθειες υπολογισμού της R_c οι οποίες έχουν επιχειρηθεί έγιναν κάτω από τις ακόλουθες παραδοχές :

- *Το υλικό των επαφών ήταν το ίδιο και για τα δύο μέρη της επαφής*
- *Το υλικό ήταν ισοτροπικό και η ειδική αντίσταση του σταθερή*
- *Η θερμοκρασία είναι σταθερή σε όλα τα σημεία της επιφάνειας επαφής A_c, η οποία είναι ισοδυναμική επιφάνεια.*
- *Για τον υπολογισμό της αντίστασης μεταξύ διαδοχικών ισοδυναμικών επιφανειών ισχύει $\Delta\varphi=0$, όπου φ το δυναμικό.*

Η ακόλουθη σχέση δίνει την αντίσταση στένωσης για επιφάνεια A_c κυκλικής διατομής σε συνάρτηση με την ειδική αντίσταση του υλικού ρ και την ακτίνα r.

$$R_C = \frac{\rho}{2r} \qquad [1.4\text{-}3]$$

Ένας παράγοντας που επηρεάζει την τιμή της αντίστασης R_c είναι η θερμοκρασία. Όταν η αντίσταση στένωσης μιας επαφής θερμανθεί από το ηλεκτρικό ρεύμα που τη διαπερνά, τότε η τιμή της δίνεται από τη σχέση:

$$R_c(\theta) = R_c(\theta_0)[1+\alpha_x(\theta-\theta_0)] \qquad [1.4\text{-}4]$$

όπου $R_c(\theta_0)$ η τιμή της αντίστασης στένωσης σε θερμοκρασία θ_0 , $R_c(\theta)$ η τιμή της αντίστασης στένωσης σε θερμοκρασία $\theta > \theta_0$ και α_x ο θερμικός συντελεστής μεταβολής της αντίστασης στένωσης. Θεωρητικοί υπολογισμοί επαληθεύουν την παραπάνω σχέση και προσδιορίζουν το συντελεστή α_x ίσο προς τα 2/3 του θερμικού συντελεστή α του υλικού των επαφών. Έτσι η σχέση [2.4-4 γίνεται:

$$Rc(\grave{e}) = Rc(\grave{e}_0)[1+\frac{2}{3}\alpha(\grave{e}-\grave{e}_0)] \qquad [1.4\text{-}5]$$

Οι σχέσεις [2.4-3] και [2.4-5] για τα συνήθη μέταλλα, που χρησιμοποιούνται στις επαφές, δίνουν τιμές της R_c οι οποίες είναι

πολύ μικρές. Πειραματικά δεδομένα για συνήθης επαφές των πρακτικών εφαρμογών, δίνουν επίσης πολύ μικρές τιμές της R_c. Οι τιμές αυτές της αντίστασης στένωσης δεν μπορούν να δικαιολογήσουν τις συνήθεις τιμές της πτώσης τάσης. Γι' αυτό μπορεί κανείς να υποθέσει ότι η αντίσταση λόγω των ξένων επικαθίσεων σε μια επαφή έχει πρωτεύοντα ρόλο στη τιμής της ολικής αντίστασης διάβασης.

1.4.1.1 Η πτώση τάσης σε μία επαφή σε σχέση με τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται

Η θερμική και η ηλεκτρική ροή υπακούουν σε παρεμφερείς νόμους. Η θερμική ενέργεια ρέει σε συνάρτηση με τις θερμοκρασιακές διαφορές και αντίστοιχα το ηλεκτρικό ρεύμα σε συνάρτηση προς την διαφορά δυναμικού. Σε συμμετρικά συστήματα ηλεκτρικών επαφών, η θερμική ροή ακολουθεί τον ίδιο δρόμο με την ροή του ηλεκτρικού ρεύματος. Ως εκ τούτου υπάρχει μία σχέση μεταξύ θερμοκρασιακής διαφοράς και διαφοράς δυναμικού. Η σχέση αυτή διερευνήθηκε κάτω από διάφορες παραδοχές, όπως π.χ. ότι ο αγωγός (που συνδέεται με την επαφή) είναι μονωμένος θερμικά και ηλεκτρικά σε όλο το μήκος του.

Για την διατύπωση μίας ενεργειακής σχέσης, που διέπει μία επαφή, έχουν γίνει οι παρακάτω παραδοχές:

- *Σαν είσοδος του ηλεκτρικού ρεύματος νοείται η πραγματική επιφάνεια επαφής, και σαν έξοδος μία επιφάνεια αρκετά μακριά από την είσοδο ώστε η ροή σε αυτή να μην επηρεάζει την θερμική και ηλεκτρική ροή στο άμεσο περιβάλλον της επαφής.*
- *Το σύστημα των δύο μερών της ηλεκτρικής επαφής είναι συμμετρικό.*

Η δεύτερη παραδοχή σημαίνει ότι τα δύο μέρη της επαφής είναι από το ίδιο υλικό, το οποίο είναι ισοτροπικό, δηλαδή ότι η ειδική αντίσταση ρ (constant resistivity), και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ_θ (thermal conductivity), εξαρτώνται μόνο από την θερμοκρασία. Σημαίνει επίσης ότι η επιφάνεια επαφής είναι ισοθερμική και

ισοδυναμική (ταυτόχρονα για τα δύο μέρη της επαφής) και ότι αυτή έχει την υψηλότερη θερμοκρασία του συστήματος, λόγω συμμετρίας του οποίου δεν συμβαίνει ροή της θερμότητας από το ένα μέρος της επαφής προς το άλλο.

Κάτω από αυτές τις παραδοχές ως συνάρτηση μεταξύ θερμοκρασίας T και τάσης U, για μία συμμετρική αντίσταση στένωσης, έχει προταθεί η σχέση:

$$\int_0^{\Delta T} \rho(T)\lambda_\theta(T)dT = \frac{U^2}{8} \qquad [1.4\text{-}6]$$

όπου ΔT η διαφορά της θερμοκρασίας των σημείων επαφής από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Εάν χρησιμοποιηθεί η μέση τιμή του γινομένου $\overline{\rho\lambda}_\theta$ τότε η Σχέση [2.4-6] γίνεται:

$$\overline{\rho\lambda}_\theta \cdot \Delta T = U^2/8 \qquad [1.4\text{-}7]$$

ή

$$U = \sqrt{8 \cdot \overline{\rho\lambda}_\theta \cdot \Delta T} \qquad [1.4\text{-}8]$$

Η Σχέση [2.4-8] δίνει τη μέγιστη θερμοκρασία που μπορεί να αναπτυχθεί σε επαφές λόγω της αντίστασης στένωσης για δεδομένη πτώση τάσης.

Σε περίπτωση, που μέρος της παραγόμενης θερμότητας, διαφεύγει προς το περιβάλλον μέσο (όπως συμβαίνει στην πράξη), τότε η Σχέση [2.4-7] γίνεται:

$$\overline{\rho\lambda}_\theta \cdot \Delta T \leq U^2/8 \qquad [1.4\text{-}9]$$

και

$$U \geq \sqrt{8 \cdot \overline{\rho\lambda}_\theta \cdot \Delta T} \qquad [1.4\text{-}10]$$

Θεωρώντας το νόμο των Wiedemann – Franz – Lorenz, κατά τον οποίο:

$$\rho(T)\lambda_\theta(T) = LT \qquad [1.4\text{-}11]$$

όπου L σταθερά ανεξάρτητη από το μέταλλο $\left(L \cong 2{,}4 \cdot 10^{-8}(V/°K)^2\right)$, τότε η Σχέση [2.4-6] γίνεται:

$$\int_0^{\Delta T} \rho(T)\lambda_\theta(T)dT = \int_{T_0}^{T} LTdT = \frac{L}{2}\left(T^2 - T_0^2\right) \leq \frac{U^2}{8} \qquad [1.4\text{-}12]$$

ή

$$U \geq 2\sqrt{L\left(T^2 - T_0^2\right)} \qquad [1.4\text{-}13]$$

όπου T_0 η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Οι σχέσεις [2.4-8], [2.4-10] και [2.4-13] παρέχουν την δυνατότητα του κατά προσέγγιση υπολογισμού της πτώσης τάσης σε επαφές χωρίς επικαθίσεις. Στις πρακτικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ελάχιστης τιμής της πτώσης τάσης σε καινούργιες επαφές.

1.4.1.2 Οξείδια σε επαφές διακοπτών και η σημασία της θερμοκρασίας στην αύξηση του πάχους τους

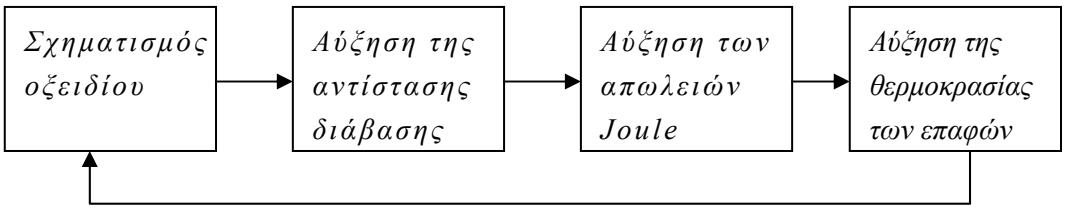
Οι επικαθίσεις σε μια επαφή είναι, όπως προαναφέρθηκε, αιτία αύξησης της αντίστασης διάβασης και επομένως ο κύριος λόγος κακής λειτουργίας της. Μπορούμε να διακρίνουμε τις επικαθίσεις σύμφωνα με την σύνθεσή τους, σε δυο κατηγορίες: σε χημικές ενώσεις (όπως π.χ. τα οξείδια του μετάλλου της επαφής) και σε διάφορα παρασιτικά στοιχεία (όπως η σκόνη, τα λιπαντικά και υδρατμοί). Με διακριτικό στοιχείο το πάχος μπορούμε να διακρίνουμε τις παρακάτω κατηγορίες επικαθίσεων :

- *επικαθίσεις με πάχος λίγων ατόμων (όπως ένα στρώμα μιας ή δύο στοιβάδων μορίων νερού)*

- *προστατευτικές επικαθίσεις, που είναι χημικές ενώσεις, και οι οποίες δεν αυξάνονται όταν αποκτήσουν ένα μικρό πάχος. Οι επικαθίσεις αυτές θεωρείται ότι προστατεύουν την επιφάνεια της επαφής, και*

- *επικαθίσεις, που είναι χημικές ενώσεις, στις οποίες συμμετέχει το μέταλλο της επαφής, των οποίων το πάχος αυξάνει με το χρόνο*

Η επίδραση της θερμοκρασίας στην δημιουργία οξειδίων και γενικά επικαθίσεων στις επαφές παρουσιάζει ενδιαφέρον δεδομένου ότι το φαινόμενο ανακυκλώνεται κατά την σειρά που απεικονίζεται στο Σχήμα [2.4-I]. Ως παράδειγμα εξετάζονται παρακάτω επαφές από Cu ή Ni.



Σχήμα [1.4-1]: Απλοποιημένη παράσταση της επίδρασης της θερμοκρασίας στη δημιουργία οξειδίων

1.4.1.3 Η επίδραση της υγρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα στην οξείδωση των επαφών

Το πάχος του στρώματος της υγρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα εξαρτάται από την τραχύτητα των επιφανειών της επαφής. Στον άργυρο, αυτό το στρώμα θεωρείται ότι είναι μικρότερο από 50Å. Στρώματα νερού του πάχους αυτού δεν αντέχουν την πίεση των δύο μερών της επαφής και γι' αυτό διατάσσονται περιφερειακά στην επιφάνεια A_C και στα πιθανά κενά που υπάρχουν. Έχει υποστηριχθεί ότι λεπτά στρώματα νερού, ανάμεσα σε μεταλλικές επιφάνειες αφ' ενός και οξείδια και άνθρακας αφ' ετέρου μπορούν να δημιουργήσουν τοπικά ηλεκτρικά στοιχεία, τα οποία με ηλεκτροχημική δράση οξειδώνουν τις επαφές. Αυτή η διεργασία χρειάζεται μικρότερο χρόνο από την οξείδωση της επαφής στον ατμοσφαιρικό αέρα. Για να συμβεί όμως αυτό απαιτούνται μεγάλες ποσότητες υγρασίας (πάνω από 70%) και λεπτά ασυνεχή στρώματα νερού (που μπορούν με ιόντα να άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα), ή υγροσκοπικά τεμάχια σκόνης.

Έχει διατυπωθεί επίσης η άποψη, ότι τα στρώματα του νερού και των στερεών λιπαντικών σε μία επαφή επηρεάζουν ελάχιστα την αντίσταση διάβασης γιατί ο κύριος όγκος τους απομακρύνεται με το κλείσιμο του λυόμενου συνδέσμου και μένουν μόνο απλές στοιβάδες ατόμων, οι οποίες είναι αγώγιμες λόγω εκδήλωσης του φαινομένου σήραγγος. Στερεά κατάλοιπα όμως μαύρου χρώματος και μικρού πάχους (έως 10Å), που έχουν γίνει αναπόσπαστο μέρος της επιφάνειας της επαφής παρουσιάζουν στην πράξη μεγάλη αντίσταση και μπορούν να γίνουν αιτία αύξησης της αντίστασης διάβασης.

Μία ερμηνεία μπορεί να δοθεί από την μείωση των δυνατοτήτων απαγωγής θερμότητας, που έχουν γενικά οι επιφάνειες μαύρου χρώματος, συγκριτικά προς επιφάνειες με άλλη απόχρωση. Οι επικαθίσεις αυτές είναι συνήθως άμορφες οργανικές ουσίες μεγάλου μοριακού βάρους, που προέρχονται από οργανικούς ατμούς, οι οποίοι παράγονται στους οργανικούς μονωτές που χρησιμοποιούνται στη στήριξη των ηλεκτρικών επαφών. 0 πολυμερισμός είναι πολύ

διαδεδομένος στους υδρογονάνθρακες και έχει επισημανθεί ότι πάρα πολλά μονωτικά υλικά παράγουν ατμούς κατά τον πολυμερισμό τους. Ορισμένα υλικά επαφών όπως το Pd, Pt, Ru, Mo και το Cr δρουν καταλυτικά για την εναπόθεση οργανικών ουσιών σε αυτά και άλλα. Όχι, όπως π.χ.: Cu, Fe, W, Ag και το Ni. Τέλος όταν σε μια επαφή δημιουργούνται τοπικά μικρές ηλεκτρικές εκκενώσεις τότε τα οργανικά στρώματα, που προαναφέρθηκαν, απανθρακώνονται, με αποτέλεσμα από τα λεπτά στρώματα άνθρακα, να διευκολύνεται η εκδήλωση ηλεκτρικών εκκενώσεων μεγαλύτερης ενέργειας.

Ο σχηματισμός γενικά των επικαθίσεων στις επαφές διέπεται από περίπλοκους μηχανισμούς, που δεν έχουν ερμηνευτεί πλήρως, παρά τις εκτεταμένες έρευνες. Στην εργασία αυτή γίνεται μια προσπάθεια διερεύνησης των παραπάνω επικαθίσεων σχετικά με τις δυνατότητες τους να άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα

1.4.2 Μη γραμμικά φαινόμενα

Σύμφωνα με την κλασική φυσική, επικαθίσεις πάχους λίγων Angstrom μονώνουν ηλεκτρικά τα δυο μέρη μιας επαφής. Αντίθετα όμως κατά την κβαντική θεώρηση τα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας μπορούν να περάσουν λεπτά στρώματα μονωτικών υλικών ως κύματα De Broglie. Αυτή η δυνατότητα, που έχουν τα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας να μπορούν να διαπεράσουν φράγματα δυναμικού τα οποία έχουν εισαχθεί από ένα λεπτό στρώμα μονωτικού υλικού, ονομάζεται φαινόμενο σήραγγας. Οι Sommerfeld και Bethe έκαναν πρώτοι μια θεωρητική προσέγγιση του θέματος για μερικά mV πτώσης τάσης στα ηλεκτρόδια. Αργότερα ο R.Holm εξέτεινε την θεωρία αυτή για μεγαλύτερες τιμές της πτώσης τάσης από προηγουμένως. Η εκδήλωση του φαινομένου σήραγγας εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το πάχος s του μονωτικού στρώματος μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων και από την τιμή του φράγματος δυναμικού που εισάγει το παραπάνω λεπτό μονωτικό στρώμα. Αυτά τα δύο μεγέθη δεν είναι ποτέ ακριβώς γνωστά και οι διάφοροι υπολογισμοί έχουν γίνει με απλουστευτικές παραδοχές.

1.4.2.1 Οι επαφές ως ένα μη γραμμικό δυναμικό σύστημα

Η μη γραμμική συμπεριφορά των ηλεκτρικών επαφών σύμφωνα με τη βιβλιογραφία εξηγείται λαμβάνοντας υπ' όψιν τις ακόλουθες παραμέτρους συνολικά ή μέρος από αυτές:

- *Τις μικροδομές MM (μέταλλο-μέταλλο), MIM (μέταλλο-μονωτής-μέταλλο), MOM (μέταλλο-οξείδιο-μέταλλο) και MGM(μέταλλο-περιβάλλον υγρό ή αέριο μονωτικό-μέταλλο) συνδεδεμένες παράλληλα μεταξύ τους, οι οποίες συναντώνται στη μακροσκοπική απεικόνιση δύο μεταλλικών ηλεκτρικών επαφών.*
- *Την στατιστική φύση των μικροδομών των οξειδίων στην φαινόμενη επιφάνεια της επαφής, δηλαδή τις μικροδομές MOM και την δράση του φαινομένου σήραγγος.*
- *Την εκπομπή πεδίου στις προηγούμενες μικροδομές.*
- *Την ανάπτυξη πέρα από ένα όριο, ενός μηχανισμού σκέδασης (π.χ. σκέδαση στην επιφάνεια), ο οποίος θα μπορούσε πιθανώς να προκαλέσει απρόσμενες διακυμάνσεις της ειδικής αντίστασης διάβασης της επαφής, με αποτέλεσμα χαοτικά φαινόμενα.*
- *Την πιθανή μαγνητική φύση των επικαθίσεων στην επαφή και γύρω από αυτή, οι οποίες θα έφταναν στον κόρο όταν το τοπικό μαγνητικό πεδίο περάσει μία συγκεκριμένη τιμή.*

Όπως και άλλα κυκλώματα οι επαφές οι οποίες λειτουργούν κάτω από υψηλούς ρυθμούς έγχυσης φορτίου έχουν μοντελοποιηθεί από μία διαφορική εξίσωση σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. Αυτή προσδιορίζει την συμπεριφορά των χαρακτηριστικών ποσοτήτων (αγνώστων) όπως το ρεύμα και η τάση σε συνάρτηση με το χρόνο. Εξαιτίας της μη γραμμικής φύσης ενός τουλάχιστον στοιχείου του κυκλώματος, ως ανωτέρω ανεφέρθη, επαφές που λειτουργούν κάτω από υψηλούς ρυθμούς έγχυσης φορτίου εκλαμβάνονται ως μη γραμμικά δυναμικά συστήματα. Τέτοια συστήματα μπορούν να επιδεικνύουν διαφορετική απόκριση ανάλογα με τις αρχικές τους συνθήκες. Μπορούν ακόμα να περνούν από τη μία κατάσταση στην άλλη με αφορμή μία μικρή αλλαγή σε μία από τις παραμέτρους τους. Το απλούστερο μη γραμμικό δυναμικό κύκλωμα που παρουσιάζεται στη σχετική βιβλιογραφία για

την περίπτωση των ηλεκτρικών επαφών που δεν έχουν ισχύ διακοπής, όταν λειτουργούν σε υψηλή πυκνότητα ρεύματος, αποτελείται από μία πηγή ημιτονοειδούς τάσης, μία χωρητικότητα προερχομένη από την παρουσία επιφανειακών οξειδίων και γενικά επικαθίσεων στις επαφές και μία μη γραμμική αντίσταση σε συνδυασμό με μία επαγωγή που να προσομοιώνει την έγχυση φορτίων διαμέσου μικροεπαφών (που έχουν ενεργοποιηθεί) και οι οποίες είναι τυχαία κατανεμημένες στη φαινόμενη επιφάνεια της επαφής. Όλα τα παραπάνω στοιχεία είναι συνδεδεμένα σε σειρά, και μόνο ο πυκνωτής παράλληλα.

Εάν η καμπύλη κόρου (ρεύμα σαν συνάρτηση της μαγνητικής ροής) της επαγωγής αποδίδεται από μία κυβική σχέση, τότε η διαφορική εξίσωση δευτέρου βαθμού που αποδίδει το σύστημα είναι του ακόλουθου τύπου:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k\frac{dx}{dt} + x^3 = b\cos(t) \qquad [1.4\text{-}14]$$

όπου η παράμετρος b χαρακτηρίζει την πηγή τάσης και η παράμετρος k τις απώλειες της αντιστάσεως στο κύκλωμα. Για ορισμένες τιμές των παραμέτρων b και k οι επαφές χωρίς ισχύ διακοπής έχουν επιδείξει κατά τη βιβλιογραφία, χαοτικά φαινόμενα ικανά να εισάγουν μη προβλέψιμη συμπεριφορά του δυναμικού συστήματος μετά από μακρά λειτουργία.

Για λόγους καλύτερης κατανόησης, η συμπεριφορά των δυναμικών συστημάτων συνήθως παρατηρείται σε διάγραμμα ενός φασικού χώρου. Για την κάθε στιγμή η κατάσταση λειτουργίας αντιστοιχεί σε ένα σημείο που έχει συντεταγμένες τις μεταβλητές που το προσδιορίζουν (διέγερση - απόκριση συστήματος). Σε αυτό το διάγραμμα η απόκριση του συστήματος, όταν αυτό ενεργοποιείται από μία εξωτερική πηγή δείχνεται από μία τροχιά σημείων (τουλάχιστον για ένα κλασικό φυσικό σύστημα). Στην περίπτωση ενός συστήματος που ενεργοποιείται από μία περιοδική πηγή, η απόκριση του συστήματος είναι γενικά περιοδική, και η αντίστοιχη τροχιά των

προαναφερθέντων σημείων είναι μία κλειστή καμπύλη. Συστήματα που παρουσιάζουν συνολικά τυχαία συμπεριφορά τείνουν να γεμίσουν το σύνολο του χώρου παρατήρησης του διαγράμματος από σημεία που παρουσιάζουν την κατάσταση μετά από κάποιο χρόνο λειτουργίας. Εξάλλου στην περίπτωση των συστημάτων με χαοτική συμπεριφορά οι τροχιές των σημείων περιβάλλονται από συγκεκριμένες περιβάλλουσες (όρια) με περίπλοκη γεωμετρία, γνωστές στη διεθνή βιβλιογραφία ως "strange attractors". Σε μαθηματικούς όρους είναι αντικείμενα φραγής που χαρακτηρίζονται από μη ακέραιες ευκλείδειες διαστάσεις. Η μαθηματική θεωρία της διστάθειας (bifurcation theory) έδωσε τα απαραίτητα εργαλεία προκειμένου να μελετηθεί και να κατανοηθεί η απόκριση αυτών των συστημάτων.

Τα διαγράμματα διστάθειας βοηθούν στην απεικόνιση των σταθερών και ασταθών καταστάσεων μη γραμμικών δυναμικών συστημάτων με πολλά σημεία λειτουργίας (σταθερότητας). Στην προκειμένη περίπτωση τα διαγράμματα της σχετικής βιβλιογραφίας παρουσιάζουν μία παράμετρο διέγερσης του κυκλώματος (το ρεύμα της πηγής) και μία παράμετρο απόκρισης που χαρακτηρίζει την επαφή, την πτώση τάσης σε έναν κύκλο 50Hz. Η ανάπτυξη της διστάθειας μπορεί να διερευνηθεί συστηματικά με την μεταβολή μιας ακόμα φυσικής παραμέτρου. Στην περίπτωση των επαφών τέτοιες παράμετροι είναι κατά τη βιβλιογραφία, η δύναμη σύσφιξης, ή η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία. Σαν μία γενική παρατήρηση, έχει λεχθεί ότι για μία δεδομένη ένταση ρεύματος υψηλότερες τιμές για την δύναμη σύσφιξης των επαφών τείνουν να αποκαταστήσουν γραμμική συμπεριφορά παρά το γεγονός ότι η πολυστάθεια είναι προφανής κατά τις μέγιστες τιμές ρεύματος σε όλες τις περιπτώσεις.

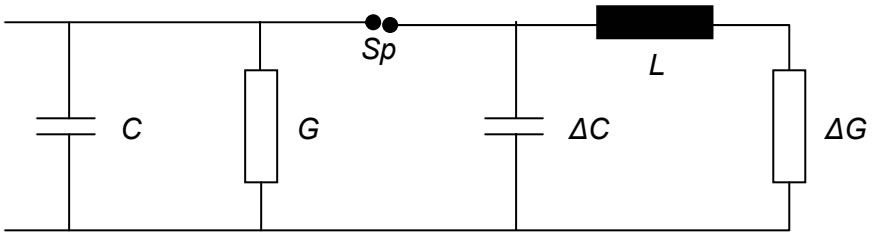
1.4.2.2 Ένα ισοδύναμο κύκλωμα νια την ερμηνεία των μη γραμμικών φαινομένων στις επαφές

Ένα ισοδύναμο κύκλωμα που κατά τη βιβλιογραφία ικανοποιεί τις παραπάνω προϋποθέσεις δίνεται στο Σχήμα [2.4-ΙΙ]. Πρόκειται για μία συμπλήρωση του ισοδύναμου κυκλώματος των μερικών εκκενώσεων

κατά Gemant και Philipoff, όπου όμως η τιμή του ρεύματος έχει σημασία για την εκδήλωση των επιμέρους φαινομένων. Οι τιμές C και G εκφράζουν την ιδανική συμπεριφορά της επαφής (αντίσταση στένωσης και χωρητική συμπεριφορά).

Για τιμές ρεύματος (μικρότερες του ονομαστικού) οι οποίες έχουν την ικανότητα να δημιουργήσουν ισχυρά τοπικά πεδία στις μικροδομές MIM, MOM και MOM διασπάται ο σπινθηριστής Sp και στο κύκλωμα εισάγεται ο πυκνωτής ΔC, η μη γραμμική αγωγιμότητα ΔG, και πιθανώς η επαγωγή L.

Σε συνδυασμό αυτά τα στοιχεία είναι ένα απλό μη γραμμικό δυναμικό σύστημα το οποίο μπορεί να εμφανίσει αρνητική διαφορική αντίσταση (NDR).



Σχήμα [1.4-2]: Το προτεινόμενο ισοδύναμο κύκλωμα.

Όπου:
C: Πυκνωτής που αποδίδει την χωρητική συμπεριφορά της επαφής
G: Η γραμμική αγωγιμότητα στένωσης
Sp: Σπινθηριστής
ΔC: Η αύξηση της χωρητικής συμπεριφοράς αφού διασπασθεί η σπινθηριστής Sp
ΔG: Η μη γραμμική αγωγιμότητα των επικαθίσεων
L: Επαγωγή που αποδίδει την πιθανή επαγωγική συμπεριφορά επαφών, την εκδήλωση του φαινομένου σήραγγος καθώς και την πιθανή εκδήλωση της αρνητικής διαφορικής αντίστασης

1.4.3 Διαδικασίες μετρήσεων επί ηλεκτρικών επαφών

Η αδιάλειπτη ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από μια ηλεκτρική επαφή διασφαλίζεται από πλήθος παραγόντων και παραμέτρων, όπως το μέγεθος και η κατάσταση της ηλεκτρικής επαφής, η επιβαλλόμενη πίεση (λόγω της εξασκούμενης ροπής) και η ολική αντίσταση διάβασης. Πολλά είδη μετρήσεων έχουν προταθεί έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η αξιόπιστη λειτουργία των επαφών. Παρακάτω αναφέρονται βασικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό.

Για την αξιολόγηση των στατικών ηλεκτρικών επαφών και τη διερεύνηση των φαινομένων τα οποία εκδηλώνονται σε αυτές, έχουν γίνει κυρίως μετρήσεις με εναλλασσόμενη τάση 230V/50Hz. Οι μετρήσεις αφορούν βασικά :

- *στο αρχικό στάδιο λειτουργίας των επαφών και ειδικότερα τη διαχρονική διερεύνηση της πτώσης τάσης και της αντίστασης*

διάβασης σε διάφορες τιμές της θερμοκρασίας υπό σταθερή τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος και

- *στην κατάσταση θερμικής ισορροπίας των επαφών, για διάφορες τιμές του ρεύματος που διαρρέει τον λυόμενο σύνδεσμο και ειδικότερα την ενεργό τιμή της πτώσης τάσης στα πλαίσια μίας περιόδου λειτουργίας (50Hz).*

Η αξιοπιστία των στατικών ηλεκτρικών επαφών βασίζεται σε δοκιμές ποιοτικού ελέγχου, ανάλογα με το ονομαστικό τους ρεύμα. Το προαναφερθέν μέγεθος είναι τυποποιημένο και αντικατοπτρίζει τη δοκιμή υπερθέρμανσης.

1.4.3.1 Δοκιμή υπερθέρμανσης

Η δοκιμή υπερθέρμανσης (ή ανύψωσης της θερμοκρασίας) αφορά την εξακρίβωση του ονομαστικού ρεύματος (μέγιστο ρεύμα συνεχούς λειτουργίας) μίας κατασκευής μέχρι τα προγραμματισμένα όρια συντήρησης. Η τιμή αυτή δε μπορεί να είναι τυχαία, γιατί πρέπει να ανταποκρίνεται σε προδιαγεγραμμένες τιμές ρεύματος (π.χ.: 10A, 200A, 400A κ.λ.π.). Η δοκιμή διαρκεί συνήθως αρκετές ώρες. Στους μετασχηματιστές π.χ. ελαίου του δικτύου διανομής είναι της τάξης των 24 ωρών και θεωρείται ότι είναι επιτυχής, όταν η θερμοκρασία δεν υπερβεί κάποιο συγκεκριμένο κατά τις προδιαγραφές όριο (για χαλκό εντός μονωτικού ελαίου η μέγιστη θερμοκρασίας είναι κατά VDE 0670 80°C και η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας, ως προς τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, 40°C).

Η εξακρίβωση της ικανότητας σε ονομαστικό ρεύμα ενός στατικού ηλεκτρικού συνδέσμου βασίζεται κυρίως, κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης, στη μέτρηση της διαφοράς θερμοκρασίας Δθ ως προς το περιβάλλον, που αναπτύσσεται σε αυτόν. Η τιμή Δθ θεωρείται ότι έχει σταθεροποιηθεί όταν μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων, που απέχουν μεταξύ τους μία ώρα, η αύξηση της τιμής είναι μικρότερη από 1°C. Στην πράξη συμβαίνει αυτό συνήθως για Δθ περίπου 55°C. Η τιμή του ρεύματος, κατά την οποία επιτυγχάνεται η ανωτέρω

σταθεροποίηση της θερμοκρασίας, ονομάζεται ονομαστικό ρεύμα $I_κ$ της επαφής.

1.4.3.2 Διηλεκτρικές δοκιμές διακοπτών

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, που είναι π.χ.: 0,4kV, 6,6kV, 15kV, 20kV, 150kV, κ.λ.π. Συνήθως γίνεται αναφορά, εκτός από την ονομαστική τάση (ή τάση σειράς), στη στάθμη μόνωσης της κατασκευής (μέγιστη τάση λειτουργίας), που είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική τάση (π.χ.: για ονομαστική τάση 20kV η στάθμη μόνωσης είναι 24kV). 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.

1.4.3.3 Δοκιμή μηχανικής αντοχής

Η δοκιμή μηχανικής αντοχής αφορά βασικά την ικανότητα σε ονομαστικό ρεύμα των στατικών επαφών μετά από ένα μεγάλο αριθμό χειρισμών, ενώ παράλληλα ελέγχεται η στιβαρότητα της κατασκευής (ενδεχομένως παραμορφώσεις των επαφών ή τυχόν απόσυναρμολογήσεις ή ακατάλληλα ελατήρια κλπ). Ένας αποζεύκτης π.χ. 20 kV / 400A θα πρέπει να έχει μετά από 1000 πλήρεις κύκλους χειρισμών την ίδια ικανότητα σε ονομαστικό ρεύμα (400 A). Μετά το πέρας δηλαδή της δοκιμής αυτής, θα πρέπει να γίνει η δοκιμή υπερθέρμανσης.

1.4.3.4 Δοκιμή υπό τριπολικό βραχυκύκλωμα

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 1s, αρκετό

δηλαδή χρόνο, ως προς εκείνον ενεργοποίησης των μέσων προστασίας του δικτύου. 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.

2 Διαδικασία και Κυκλώματα Μετρήσεων

Οι μετρήσεις που έγιναν στο πειραματικό μέρος της εργασίας, αφορούν στην αξιοπιστία μόνιμων ηλεκτρικών συνδέσμων που χρησιμοποιούνται στα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας για τη σύνδεση των αγωγών απαγωγής του κεραυνικού πλήγματος προς τη γείωση. Το ευρωπαϊκό πρότυπο για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των στατικών επαφών, αποτέλεσε βάση για τη διερεύνηση της θερμικής συμπεριφοράς των υπό δοκιμή συνδέσμων. Οι ηλεκτρικοί σύνδεσμοι αντεπεξήλθαν επιτυχώς σε σειρά καταπονήσεων με κρουστικό ρεύμα ώστε να επιβεβαιωθεί η αξιοπιστία τους. Οι δοκιμές με την επιβολή κρουστικού ρεύματος σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο υπήρξαν το αντικείμενο πρότερης Διδακτορικής Διατριβής [2].

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί το εισαγωγικό μέρος των μετρήσεων. Στην παράγραφο 1 περιγράφεται αναλυτικά ο σκοπός της εργασίας. Τα συμπεράσματα των μετρήσεων, όσον αφορά στη μεταβολή της θερμοκρασίας του δοκιμίου, καθώς και οι αντίστοιχες προβλέψεις της θεωρητικής μελέτης παρουσιάζονται συνοπτικά στη παράγραφο 2 αυτού του κεφαλαίου μαζί με αναφορά στις απαιτήσεις του ευρωπαϊκού προτύπου.

Η διαδικασία και το κύκλωμα των μετρήσεων περιγράφονται στη παράγραφο 3. Τα χαρακτηριστικά των υπό δοκιμή συνδέσμων παρουσιάζονται στην παράγραφο 4. Τα αποτελέσματα, η επεξεργασία, καθώς και τα συμπεράσματα των μετρήσεων είναι αντικείμενο επόμενων κεφαλαίων.

2.1 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της συμπεριφοράς των μόνιμων ηλεκτρικών συνδέσμων που χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα αντικεραυνικής προστασίας και κυκλώματα γειώσεων γενικότερα. Οι σταθεροί ηλεκτρικοί σύνδεσμοι πρέπει να ανταπεξέρχονται σε ισχυρά

κεραυνικά πλήγματα καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους. Οι απαιτήσεις στις οποίες πρέπει να ανταποκρίνονται οι λυόμενοι σύνδεσμοι, περιγράφονται από το ευρωπαϊκό πρότυπο EN50164.01 [1]. Το παραπάνω πρότυπο ορίζει τις επιτρεπόμενες μεταβολές στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός συνδέσμου με την επιβολή δοκιμών κρουστικού ρεύματος συγκεκριμένων απαιτήσεων (κορυφή-τιμή εκλυόμενης ενέργειας, διάρκεια κρούσης, αριθμός κρούσεων), ώστε ο ηλεκτρικός σύνδεσμος να θεωρείται αξιόπιστος. Οι έλεγχοι αξιολόγησης που απαιτούνται από το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN50164.1 και αφορούν στην αξιοπιστία των συνδέσμων, προϋποθέτουν ειδικό εξοπλισμό που συνήθως δεν είναι διαθέσιμος στις περισσότερες ελληνικές εταιρίες παραγωγής αυτών των συνδέσμων. Πρέπει ακόμα να σημειωθεί ότι αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα δεν υπάρχει πιστοποιημένο εργαστήριο που να πραγματοποιεί τους ελέγχους αυτούς.

Για το σκοπό αυτό, στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, θα γίνει μια προσπάθεια σύνδεσης των θερμικών αποτελεσμάτων επί των μόνιμων ηλεκτρικών συνδέσμων που μπορεί να έχει η κρούση με κεραυνικό ρεύμα, με τα αποτελέσματα που προκαλούνται από την καταπόνησή τους με εναλλασσόμενο ρεύμα δικτύου. Κυρίως ενδιαφέρει η μελέτη των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών, ώστε να δοθεί η δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων για την καταλληλότητα των συνδέσμων κατά το στάδιο της παραγωγής τους χωρίς να είναι απαραίτητος ο ειδικός εξοπλισμός. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι οι προσεγγίσεις ποιοτικού ελέγχου δεν έχουν σκοπό σε καμιά περίπτωση να μειώσουν την σπουδαιότητα των προτύπων, πολύ δε περισσότερο να τα υποκαταστήσουν. Απλά στόχο έχουν να διευκολύνουν τους κατασκευαστές των λυόμενων συνδέσμων και να παρέχουν ένα χρήσιμο εργαλείο για την έγκαιρη αξιολόγησή τους, κατά τον σχεδιασμό των συνδέσμων αυτών.

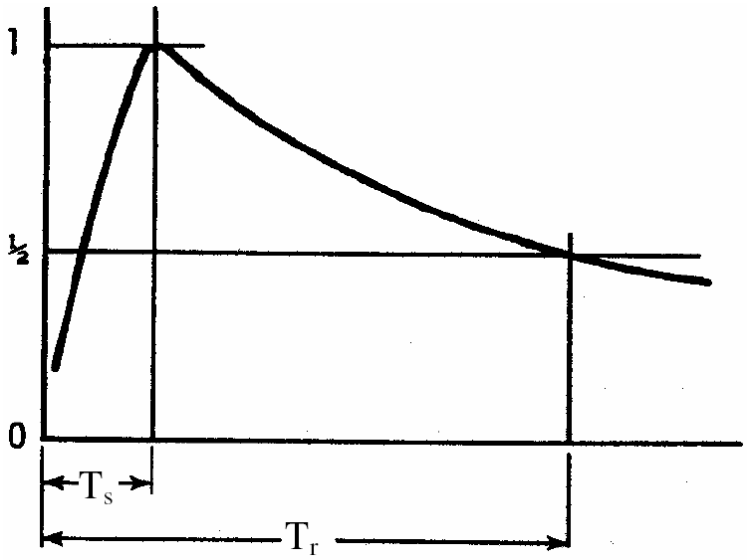
Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής εργασίας είναι η αναζήτηση της ενεργούς τιμής εναλλασσόμενου ρεύματος (συχνότητας 50 Hz) που προκαλεί κατά τη σταθεροποίηση, την ίδια μεταβολή στη θερμοκρασία του δοκιμίου με αυτή που προκαλείται από το κρουστικό ρεύμα του

ευρωπαϊκού προτύπου. Για το σκοπό αυτό, κατά τη διαδικασία των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιοι σύνδεσμοι με αυτούς που μελετήθηκαν στα πλαίσια πρότερης Διδακτορικής Διατριβής [2] και υπό την επιβολή της ίδιας δύναμης συσφίξεως, ώστε να καθίσταται δυνατή η σύγκριση και η εξαγωγή συμπερασμάτων.

2.2 Δοκιμή αξιολόγησης σταθερών ηλεκτρικών συνδέσμων κατά το ευρωπαϊκό πρότυπο EN50164.01

2.2.1 Στοιχεία για το κρουστικό ρεύμα

Το ρεύμα της κύριας εκκενώσεως του κεραυνού έχει τη μορφή μιας απεριοδικής ταλάντωσης, δηλαδή μοιάζει με ένα κρουστικό ρεύμα. Τυπική μορφή της μεταβολής ενός κρουστικού ρεύματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα [2.2-1]: Τυπική μορφή κρουστικού ρεύματος
T_s : χρόνος μετώπου, T_r: χρόνος ημίσεως εύρους

Το κρουστικό ρεύμα χαρακτηρίζεται από τη διάρκεια μετώπου T_s, που είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να φθάσει η τιμή του ρεύματος το 90% της μέγιστης τιμής του I_{max} και τη διάρκεια ημίσεως εύρους της ουράς T_r, που είναι ο χρόνος κατά τον οποίο η τιμή του ρεύματος

επιστρέφει από τη μέγιστη τιμή της στο 50 % του I_{max}. Η αναφορά στο κρουστικό ρεύμα γίνεται με τις τιμές των δύο αυτών χρόνων μετρούμενων σε μs με τη μορφή T_s/T_r, π.χ. 1,2/50. Επιπλέον χαρακτηριστικά του κρουστικού ρεύματος είναι η μέγιστη τιμή του I_{max} καθώς και η συνολική ενέργεια W/R που εκλύεται από αυτό.

Ο φυσικός κεραυνός προσομοιώνεται με κρουστικό ρεύμα 1,2/50 μs, έχει δηλαδή: T_s=1,2 μs και T_r=50 μs.

Παρακάτω, δίνεται μια μαθηματική σχέση που προσομοιώνει το κρουστικό ρεύμα:

$$i(t) = \frac{I_{max}}{n} \frac{t^{10}}{T^{10} + t^{10}} e^{-\frac{t}{\tau}} \qquad [2.2\text{-}1]$$

όπου
I_{max}: η κορυφή του κεραυνικού ρεύματος,
n: συντελεστής διόρθωσης κορυφής,
T: χρονική σταθερά κορυφής,
τ: χρονική σταθερά ουράς

Πολύ συχνά το κεραυνικό ρεύμα προσομοιώνεται και με διπλοεκθετική εξίσωση για ένα παλμό:

$$i(t) = A_n(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + B(e^{-\lambda_3 t} - e^{-\lambda_4 t}) \qquad [2.2\text{-}2]$$

όπου

A_n : η μέγιστη τιμή του ρεύματος του πρώτου παλμού,

B: η μέγιστη τιμή του ρεύματος του παλμού που ακολουθεί τον πρώτο με χρονικό μεσοδιάστημα της τάξεως των ms,

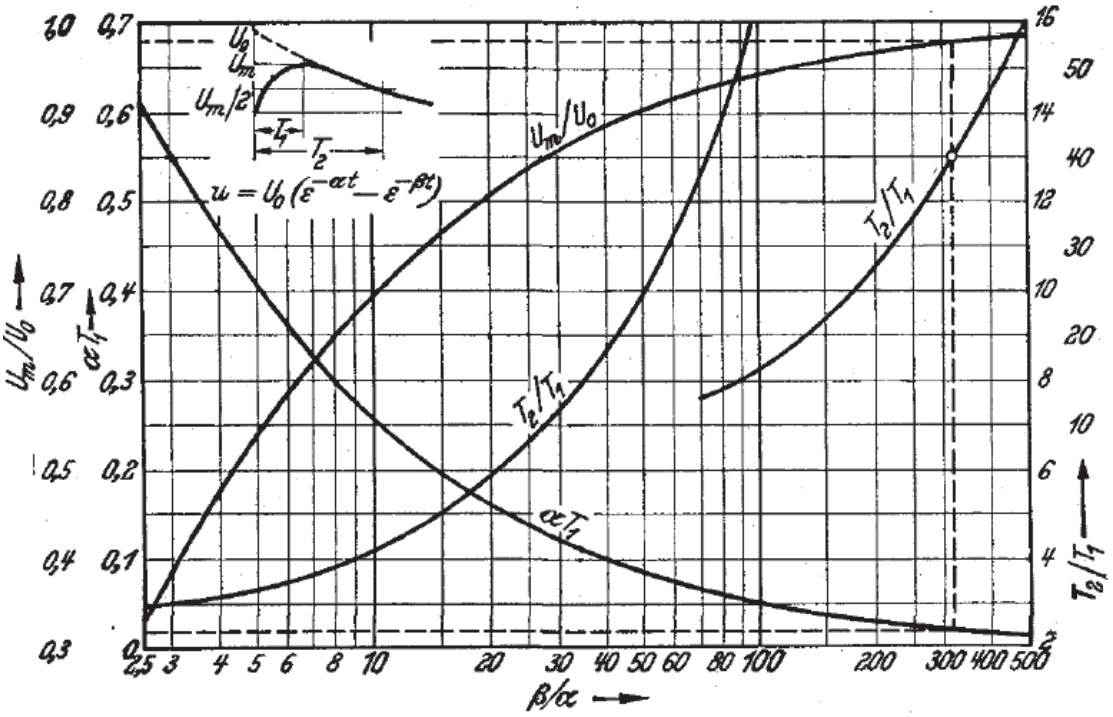
λ_1 και λ_3: χρονικές σταθερές κορυφής,

λ_2 και λ_4: χρονικές σταθερές ουράς

Στην πράξη το κεραυνικό ρεύμα προσομοιώνεται μόνο με το πρώτο μέρος της παραπάνω εξίσωσης (που εκφράζει τον κύριο πρώτο παλμό). Έτσι, η εξίσωση γίνεται:

$$i(t) = \frac{I_{max}}{n}\left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right) \qquad [2.2\text{-}3]$$

Ένας τρόπος υπολογισμού των χρονικών συντελεστών λ_1 και λ_2 είναι μέσω διαγραμμάτων που δίνονται στη βιβλιογραφία [3]. Ένα τέτοιο διάγραμμα δίνεται στο Σχήμα [3.1-2] όπου ο λόγος T_2/T_1 αντιστοιχεί στον λόγο του χρόνου μετώπου προς τον χρόνο ημίσεως εύρους T_s/T_r και α και β στις χρονικές σταθερές λ_1 και λ_2 αντίστοιχα.



Σχήμα [2.2-2]: Διάγραμμα για τον υπολογισμό των χρονικών σταθερών του κρουστικού ρεύματος.
T_1 : χρόνος μετώπου, T_2 : χρόνος ημίσεως εύρους

2.2.2 Απαιτήσεις Ευρωπαϊκού προτύπου EN50164.01

Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN50164.01 [1], τα δοκίμια αρχικά πρέπει να υποβληθούν σε συνθήκες γήρανσης (αλατώδης ομίχλη και ατμόσφαιρα ύγρανσης). Στη συνέχεια και χωρίς να μεσολαβήσει καθαρισμός της διάταξης, τα δοκίμια υποβάλλονται 3 φορές σε κρούση ρεύματος δοκιμής συγκεκριμένων χαρακτηριστικών (βλ. παρακάτω) για διάρκεια μικρότερη ή ίση των 2 ms.

Χαρακτηριστικά ρεύματος δοκιμής:
Δοκιμή normal class: 50 kA ± 10% με ελάχιστη ενέργεια 0,63 MJ/Ω
Δοκιμή high class: 100 kA ± 10% με ελάχιστη ενέργεια 2,5 MJ/Ω

Το μεσοδιάστημα μεταξύ των κρούσεων πρέπει να είναι επαρκές για την ψύξη της διάταξης των δοκιμίων κοντά στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Μετά την καταπόνηση η αντίσταση διάβασης μετρούμενη με πηγή τουλάχιστον 10 A, δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1 mΩ. Καμία παραμόρφωση ως προς το αρχικό σχήμα, ρωγμή ή χαλάρωση στη δομή του συνδέσμου ικανή να παρατηρηθεί με γυμνό μάτι, δεν επιτρέπεται.

Ένα ρεύμα που ικανοποιεί τις απαιτήσεις του προτύπου είναι το κρουστικό μορφής 10/350 μs.

2.2.3 Αξιολόγηση των συνδέσμων κατά το ευρωπαϊκό πρότυπο

Κατά τη διαδικασία των δοκιμών υπό κρουστικό ρεύμα στο πλαίσιο πρότερης Διδακτορικής Διατριβής [2], οι λυόμενοι σύνδεσμοι αντεπεξήλθαν επιτυχώς στις απαιτήσεις του ευρωπαϊκού προτύπου EN50164.0 για διατήρηση της αντίστασης διάβασής τους μέσα σε συγκεκριμένα όρια.

Η θερμοκρασία, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, είναι καθοριστικός παράγοντας για την τιμή της αντίστασης διάβασης μετά την προαναφερθείσα καταπόνηση. Για το λόγο αυτό μετρήθηκαν η θερμοκρασία καθώς και η αντίστασή των λυόμενων συνδέσμων πριν και μετά την καταπόνησή τους με κρουστικό ρεύμα. Η εφαρμογή του κρουστικού ρεύματος συνεπάγεται την αύξηση της θερμοκρασίας συνεπώς αύξηση της αντίστασης και μείωση της αξιοπιστίας του δοκιμίου. Η μέτρηση της θερμοκρασίας έγινε αμέσως μετά την τρίτη καταπόνηση με κεραυνικό ρεύμα της τάξεως high class.

Οι μετρήσεις έγιναν σε χάλκινα δοκίμια και ενδεικτικά σε επιψευδαργυρωμένα χαλύβδινα δοκίμια.

Γνωρίζοντας ήδη για κάθε δοκίμιο την μεταβολή που επιφέρει η εφαρμογή του κρουστικού ρεύματος στη θερμοκρασία του δοκιμίου, θα αναζητήσουμε πειραματικά την ενεργό τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος που προκαλεί την ίδια διαφορά θερμοκρασίας στο δοκίμιο. Κατά τη διαδικασία των μετρήσεων θα καταπονηθούν τα ίδια δοκίμια για τα οποία έχουμε διαθέσιμα τα αποτελέσματα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα διαθέσιμα αποτελέσματα ανά σύνδεσμο, δηλαδή η αύξηση της θερμοκρασίας των συνδέσμων που θα μας απασχολήσουν, μετά την καταπόνησή τους με κρουστικό ρεύμα.

Ονομασία δοκιμίου	*Υλικό δοκιμίου*	*Μέσος όρος μετρήσεων διαφοράς θερμοκρασίας*
2001010 Cu III	*Χαλκός*	*5,2 °C*
2212021 Cu I	*Χαλκός*	*5,9 °C*
1001010 St/tZn III	*Επιψευδαργυρωμένος χάλυβας*	*6,0 °C*

Πίνακας [2.2-I]: Αποτελέσματα μέσου όρου διαφοράς θερμοκρασίας χάλκινων δοκιμίων μετά την καταπόνησής τους με κεραυνικό ρεύμα

2.3 Πειραματική διαδικασία

Γνωρίζουμε ήδη το θερμικό αποτέλεσμα ανά σύνδεσμο που έχει η εφαρμογή κρουστικού ρεύματος σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ευρωπαϊκού προτύπου EN50164.01. Αναζητούμε την ενεργό τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος που προκαλεί την ίδια διαφορά θερμοκρασίας ανά δοκίμιο.

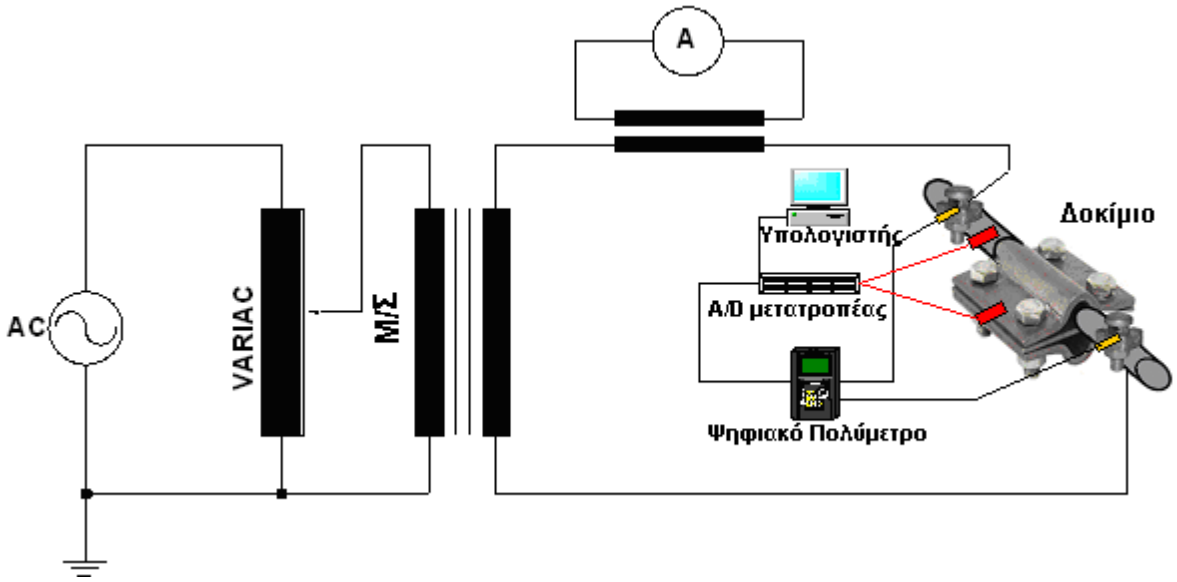
Το θερμικά ισοδύναμο εναλλασσόμενο ρεύμα που επιφέρει στην σταθεροποίηση την ίδια μεταβολή στη θερμοκρασία του κάθε δοκιμίου με το κεραυνικό του ευρωπαϊκού προτύπου και άρα έχει την ίδια επίδραση στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των συνδέσμων, θα προκύψει πειραματικά μετά από μια σειρά μετρήσεων - δοκιμών.

Η διαδικασία των δοκιμών που διεξήχθησαν στο εργαστήριο Υψηλών Τάσεων τηρώντας όλες τις προδιαγραφές ασφαλείας, έχει ως εξής: Αρχικά, με τη βοήθεια δυναμόκλειδου που μας παρέχει την κατάλληλη ακρίβεια, συσφίγγεται το δοκίμιο με τις ράβδους, διαμέτρου 8 mm, με συγκεκριμένη τιμή δύναμης σύσφιξης. Με βάση τα συμπεράσματα πρότερων Διπλωματικών εργασιών [4,5] αναφορικά με την επίδραση της δύναμης σύσφιξης επί των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των συνδέσμων, καθώς και με τις τιμές της δύναμης σύσφιξης που εφαρμόστηκαν στις δοκιμές με το κεραυνικό ρεύμα, επιλέγονται ανά σύνδεσμο οι ακόλουθες τιμές:

Ονομασία δοκιμίου	*Δύναμη σύσφιξης*
2001010 Cu III	*25 Nm*
2212021 Cu I	*11 Nm*
1001010 St/tZn III	*25 Nm*

Πίνακας [2.3-I]: Επιλογή δύναμης σύσφιξης των συνδέσμων επί του αγωγού, ανά δοκίμιο, ανάλογα με τις τιμές της δύναμης σύσφιξης που εφαρμόστηκαν στις δοκιμές με το κεραυνικό ρεύμα

Στην συνέχεια το εξεταζόμενο δοκίμιο προσαρμόζεται στη πειραματική διάταξη που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα [2.3-1]: Το κύκλωμα μέτρησης

Διακρίνονται:

1. *Πηγή A/C τάσης*
2. *Καταμεριστής τάσης (VARIAC)*
3. *Μονοφασικός μετασχηματιστής (Μ/Σ)*
4. *Αμπερόμετρο*
5. *Υπολογιστής*
6. *A /D μετατροπέας*
7. *Θερμοστοιχεία*
8. *Ψηφιακό πολύμετρο*
9. *Δοκίμιο*

Ως πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος χρησιμοποιήθηκε ρεύμα δικτύου. Μέσω κυκλώματος αυτό-μετασχηματιστή και αμπερόμετρου, που δηλώνει την τιμή της έντασης του ρεύματος που διαρρέει το δοκίμιο, παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης και ελέγχου του ρεύματος. Το ρεύμα εγχύεται σε μικρή απόσταση από το δοκίμιο και συγκεκριμένα σε απόσταση περίπου 3 cm, έτσι ώστε οι μετρήσεις της αντίστασης να αφορούν κατά το δυνατόν μόνο το δοκίμιο και όχι και τον αγωγό. Σημειώνεται ότι το ρεύμα μετράται με αμπεροτσιμπίδα, δηλαδή με τρόπο επαγωγικό και όχι άμεσο επί του κυκλώματος πράγμα που θα είχε ως αποτέλεσμα την εισαγωγή σοβαρού σφάλματος ειδικά στις

μετρήσεις που έχουν να κάνουν με την υπολογιζόμενη αντίσταση του συνδέσμου. Στα σημεία έγχυσης του ρεύματος προσαρμόζονται και οι ακροδέκτες ενός ψηφιακού βολτόμετρου, το οποίο ρυθμίζεται να μετρά τιμές τάσεων της τάξης των mV, για την μέτρηση της πτώσης τάσης πάνω στο δοκίμιο.

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται δύο θερμοστοιχεία τύπου Pt 100. Το ένα επικολλάται στο κέντρο του δοκιμίου, ώστε να καταγραφεί η θερμοκρασία του ηλεκτρικού συνδέσμου ενώ το άλλο στο μέσο της απόστασης του συνδέσμου και του σημείου έγχυσης του ρεύματος, δηλαδή σε απόσταση 1,5 cm από το σύνδεσμο, ώστε να καταγραφεί η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στους αγωγούς.

Τόσο το βολτόμετρο όσο και τα θερμοστοιχεία είναι συνδεδεμένα με ειδική κάρτα μετατροπής των αναλογικών σημάτων της πτώσης τάσης στα άκρα του δοκιμίου και της θερμοκρασίας, σε ψηφιακά. Τα δεδομένα για την πτώση της τάσης πάνω στο δοκίμιο που μας δίνει το ψηφιακό βολτόμετρο, καθώς και τα δεδομένα για την θερμοκρασία που μας δίνουν τα θερμοστοιχεία, είναι είσοδοι, μέσω του ψηφιακού / αναλογικού μετατροπέα, για το ειδικό λογισμικό που είναι εγκατεστημένο στον υπολογιστή. Η λειτουργία του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο.

Αρχικά, ρυθμίζονται οι επιλογές που δίνονται από το λογισμικό ώστε να καταγράφονται σε προκαθορισμένο αρχείο οι τιμές της θερμοκρασίας στο δοκίμιο και στην ράβδο καθώς και οι τιμές της πτώσης τάσης στο δοκίμιο, με συχνότητα δειγματοληψίας 60 sec και συνολική διάρκεια μέτρησης 10800 sec.

Πριν την εκκίνηση της κάθε δοκιμής, ελέγχεται το δοκίμιο ώστε να βρίσκεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και καταγράφεται η θερμοκρασία αυτή. Εφόσον ο σύνδεσμος και τα όργανα καταγραφής των μετρήσεων είναι συνδεδεμένα και ρυθμισμένα κατάλληλα,

τροφοδοτείται το κύκλωμα με ρεύμα και εκκινάται ταυτόχρονα η διαδικασία καταγραφής των μετρήσεων. Καθ΄ όλη τη διάρκεια της δοκιμής, η τιμή του ρεύματος θα παραμείνει σταθερή και ίση με την αρχική. Ανά σύνδεσμο λαμβάνει χώρα μια σειρά δοκιμών κατά τη διάρκεια της οποίας ελέγχονται διάφορες τιμές ρεύματος ώστε να προκύψει η τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος που προκαλεί την ίδια μεταβολή στη θερμοκρασία του δοκιμίου με αυτή που προέκυψε από την αντίστοιχη δοκιμή με κρουστικό ρεύμα σύμφωνα με το πρότυπο EN50164.01. Η διάρκεια κάθε δοκιμής είναι 3 ώρες και η καταγραφή των τιμών της τάσης και της θερμοκρασίας επί του δοκιμίου γίνεται ανά λεπτό.

Κατά την πρώτη από την σειρά δοκιμών για τον κάθε σύνδεσμο, έγινε μία προσπάθεια εκτίμησης της τιμής του θερμικά ισοδύναμου κεραυνικού ρεύματος με βάση την – ήδη γνωστή από τα αποτελέσματα των δοκιμών με κρουστικό ρεύμα – τιμή της αντίστασης ανά δοκίμιο που θέλουμε να επιτευχθεί.

Με το πέρας κάθε δοκιμής, υπολογίζεται η διαφορά θερμοκρασίας του δοκιμίου, αφαιρώντας την τελική θερμοκρασία του δοκιμίου από αυτήν που είχε κατά την έναρξη της διαδικασίας. Το ζητούμενο θερμικά ισοδύναμο ρεύμα του αντίστοιχου κρουστικού, ορίζεται ανά σύνδεσμο, όταν η θερμοκρασία έχει σταθεροποιηθεί, με διαφορά θερμοκρασίας σύμφωνα με τον Πίνακα [2.2–I], δηλαδή περίπου 6°C. Η θερμοκρασία θεωρείται ότι σταθεροποιείται όταν η τιμή της διαφοράς δύο διαδοχικών τιμών της, που απέχουν μεταξύ τους μία ώρα, δεν είναι μεγαλύτερη από 0,5 °C. Οι μετρήσεις είναι δυνατό να διακοπούν αν παρατηρηθεί υπερθέρμανση, ή αν παρατηρηθεί μεγάλη απόκλιση από το αναμενόμενο αποτέλεσμα. Σε αυτή τη περίπτωση η δοκιμή διακόπτεται και το δοκίμιο αφήνεται να επανέλθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Ανάλογα με το αποτέλεσμα κάθε σειράς μετρήσεων προκύπτει το ρεύμα της επόμενης δοκιμής ώστε βαθμιαία πετυχαίνουμε με σειρά δοκιμών την ζητούμενη τιμή.

2.4 Περιγραφή Λογισμικού Καταγραφής Μετρήσεων

Κατά τη διαδικασία των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το ειδικό λογισμικό που συνόδευε των αναλογικό / ψηφιακό μετατροπέα. Το πρόγραμμα παρέχει το γραφικό περιβάλλον για τον ορισμό του χρόνου δειγματοληψίας σε δευτερόλεπτα (πεδίο: 'Sampling Period' [sec]) καθώς και του συνολικού χρόνου των μετρήσεων επίσης σε δευτερόλεπτα (πεδίο: 'Sampling Time' [sec]). Το πεδίο 'DME' προσφέρει δύο επιλογές που αντιστοιχούν σε δύο κανάλια καταμέτρησης: επιλέγοντας το '0' ορίζεται η πρόθεση καταγραφής της πτώσης τάσης και επιλέγοντας το '1' ορίζεται η πρόθεση καταγραφής του ρεύματος. Για την καταγραφή της θερμοκρασίας υπάρχουν 8 διαφορετικά κανάλια, τα οποία ενεργοποιούνται αυτόματα με τη σύνδεση των θερμοστοιχείων στην κάρτα.

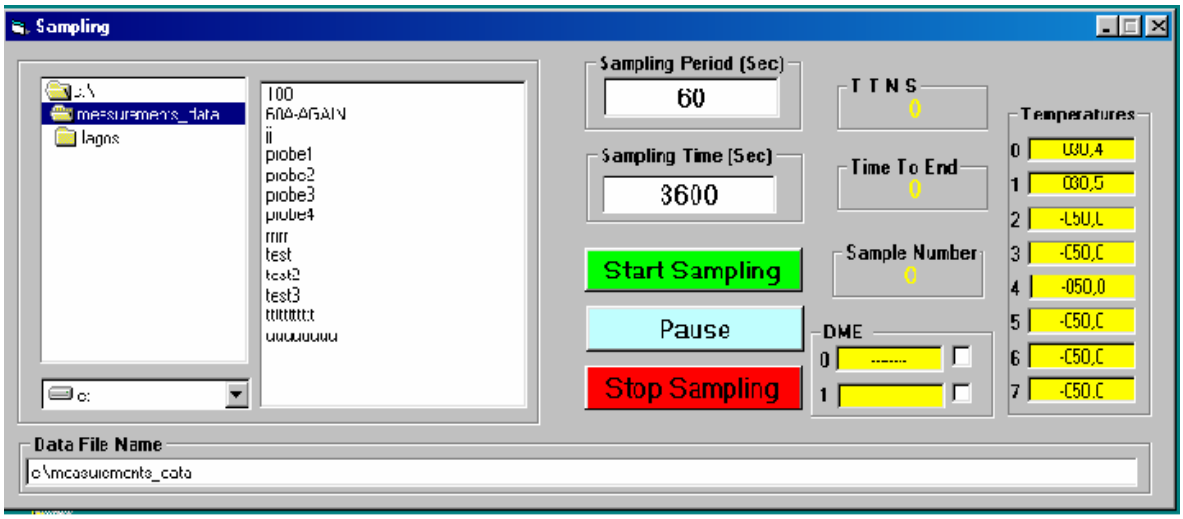
Η διαδικασία των μετρήσεων ξεκινά επιλέγοντας την ένδειξη 'Start Sampling' και τελειώνει είτε με την επιλογή της ένδειξης 'Stop', είτε αυτόματα με την συμπλήρωση του χρόνου που ορίστηκε στο πεδίο 'Sampling Time'. Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα προσωρινής διακοπής της διαδικασίας των μετρήσεων με την επιλογή του πλήκτρου-διακόπτη 'Pause' και συνέχισή της με το ίδιο πλήκτρο που εμφανίζει τώρα την ένδειξη 'Continue'.

Πριν την έναρξη της διαδικασίας των μετρήσεων, ο χρήστης προτρέπεται να ορίσει το όνομα του αρχείου μέσα στο οποίο θα καταγραφούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε ascci μορφή (πεδίο: Data File Name'), καθώς και τη θέση του αρχείου αυτού, μέσω του browser που βρίσκεται αριστερά στην οθόνη.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων το πρόγραμμα παρέχει ενδείξεις για τον αριθμό των δειγμάτων που έχουν ληφθεί στο πεδίο 'Sample Number', για τον χρόνο που υπολείπεται για να ληφθεί κάθε μέτρηση στο πεδίο 'TTNS', καθώς και για τον χρόνο που υπολείπεται για να ολοκληρωθεί η διαδικασία των μετρήσεων στο πεδίο 'Time to End'. Επίσης, στα πεδία '0' εως και '7' με την ένδειξη 'Temperature'

εμφανίζονται οι τρέχουσες τιμές τις θερμοκρασίας που λαμβάνουν τα θερμοστοιχεία.

Το γραφικό περιβάλλον του περιγράφηκε, παρουσιάζεται στο Σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα [2.4-1]: Γραφικό περιβάλλον λογισμικού καταγραφής των μετρήσεων

Για τις ανάγκες των μετρήσεων της παρούσας εργασίας στα πεδία 'Sampling Period' και 'Sampling Time' ορίστηκαν η συχνότητα δειγματοληψίας (60 sec) και η συνολική διάρκεια κάθε κύκλου μετρήσεων (10800 sec). Στο πεδίο 'DME' επιλέχθηκε το κανάλι '0', ώστε να εξασφαλισθεί η καταγραφή των τιμών της πτώσης τάσης που λαμβάνει το ψηφιακό βολτόμετρο που συνδέθηκε με την κάρτα. Στο πεδίο 'Temperature' εμφανίζονται οι τρέχουσες τιμές που αντιστοιχούν στα 2 θερμοστοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν: κανάλια '0' και '1'.

2.5 Χαρακτηριστικά συνδέσμων

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά των υπό δοκιμή συνδέσμων. Οι μόνιμοι ηλεκτρικοί σύνδεσμοι που χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις, αφορούν κυρίως στα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας για την σύνδεση των αγωγών απαγωγής του

κεραυνικού πλήγματος προς τη γείωση. Οι απαιτήσεις για τους λυόμενους αυτούς συνδέσμους, προδιαγράφονται στο πρότυπο EN50164.01 [1]. Κατά τη διαδικασία των μετρήσεων, για την αναζήτηση του θερμικά ισοδύναμου εναλλασσόμενου ρεύματος που επιφέρει στην σταθεροποίηση την ίδια μεταβολή στη θερμοκρασία του κάθε δοκιμίου με το κεραυνικό του ευρωπαϊκού προτύπου, επιλέχθηκε να καταπονηθούν τα ίδια δοκίμια για τα οποία η επίδραση του κεραυνικού ρεύματος στη θερμοκρασία τους είναι ήδη γνωστή. Το κύκλωμα και η διαδικασία των μετρήσεων έχουν περιγραφεί σε προηγούμενη ενότητα.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται συνοπτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συνδέσμων. Δίνονται δηλαδή η ονομασία, το υλικό, η μάζα, η αντίσταση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μετρούμενη με εναλλασσόμενο ρεύμα 100 A, οι διαστάσεις των εξωτερικών και των εσωτερικών μεταλλικών μερών που αποτελούν τον σύνδεσμο (φύλλα συνδέσμου), καθώς και οι φωτογραφίες τους. Η ονομασία των δοκιμίων έχει κωδικοποιηθεί, με δύο διαφορετικές μεθόδους. Εκτός από την ονομασία των δοκιμίων από την εταιρία παραγωγής τους, μέσω ενός αριθμού, έχει ορισθεί στα πλαίσια προηγούμενης Διδακτορικής Διατριβής [2] να γίνεται η αναφορά σε αυτά με έναν όρο που αποτελείται από δύο πεδία – το πρώτο αφορά στο σύμβολο του υλικού του συνδέσμου και το δεύτερο είναι ένας λατινικός αριθμός που προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά μεγέθη του συνδέσμου – με σκοπό την ευκολότερη χρήση τους. Έτσι, η αναφορά π.χ. στο χάλκινο Δοκίμιο 2001010 γίνεται ως Δοκίμιο Cu III και η αναφορά στο επιψευδαργυρωμένο χαλύβδινο Δοκίμιο 1001010 γίνεται ως Δοκίμιο Zn III. Όλοι οι σύνδεσμοι έχουν τη δυνατότητα σύνδεσης αγωγών διατομής 8 mm^2 και 10 mm^2.

Σύνδεσμος αγωγών κυκλικής διατομής τριών πλακιδίων (ενδιάμεσο πλακίδιο 2mm) DIN 48845K. Μορφής σύνδεσης + ⌐ T ‖				
		Δοκίμιο 2001010	Ονομασία 2212021	Δοκίμιο 1001010
Ονομασία δοκιμίου		Cu III	Cu I	St/tZn III
Απεικόνιση				
Υλικό		Χαλκός (Cu)	Χαλκός (Cu)	Επιψευδ-αργυρωμένος χάλυβας (St/tZn)
Μάζα [gr]		400	200	380
Αντίσταση [μΩ]		30	10	140
Διαστάσεις [mm]	Εξωτερικού φύλλου	60 × 60 × 4	50 × 50 × 4	60 × 60 × 4
	Εσωτερικού φύλλου	60 × 60 × 2	50 × 50 × 2	60 × 60 × 2

Πίνακας [2.5-I]: Τεχνικά χαρακτηριστικά δοκιμίων

3 Επεξεργασία αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα

Η διαδικασία των δοκιμών που διεξάχθηκαν στο εργαστήριο Υψηλών Τάσεων και Ηλεκτρικών Μετρήσεων καθώς και η περιγραφή των χρησιμοποιούμενων δοκιμίων, αναπτύχθηκαν ήδη σε προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτό που ενδιαφέρει κυρίως, είναι το δοκίμιο αρχικά να βρίσκετε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και η δύναμη σύσφιξης να είναι η ίδια με αυτή της δοκιμής με κρουστικό ρεύμα. Γνωρίζοντας ήδη για κάθε δοκίμιο την αλλαγή που επιφέρει η εφαρμογή του κρουστικού ρεύματος στη θερμοκρασία του δοκιμίου, αναζητήσαμε πειραματικά την ενεργό τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος που προκαλεί –στη σταθεροποίηση– την ίδια διαφορά θερμοκρασίας. Η τιμή αυτή του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι το θερμικά ισοδύναμο του κεραυνικού ρεύματος ανά ηλεκτρικό σύνδεσμο.

Το αντικείμενο του παρόντος κεφαλαίου είναι η γραφική παρουσίαση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων ανά δοκίμιο και ανά ρεύμα δοκιμής. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα ανά σύνδεσμο.

Ονομασία δοκιμίου	*Θερμικά ισοδύναμο ρεύμα [A]*
2001010 Cu III	*85*
2212021 Cu I	*100*
1001010 St/tZn III	*45*

Πίνακας [3-I]: Το θερμικά ισοδύναμο (σταθεροποιημένη ενεργός τιμή εναλλασσόμενου ρεύματος) του κεραυνικού ρεύματος

3.1 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων

Αναλυτικά οι μετρήσεις που διεξάχθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων παρουσιάζονται στο Παράρτημα. Στους πίνακες του Παραρτήματος παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων βάση της διαδικασίας και του κυκλώματος που παρουσιάσθηκαν στην ενότητα 2.2, όπως προέκυψαν ανά δοκιμή από το λογισμικό που αναλύθηκε στην ενότητα 2.3 και αφορούν στους σταθερούς ηλεκτρικούς συνδέσμους που περιγράφηκαν στην ενότητα 2.4.

Το ειδικό λογισμικό καταγραφής των μετρήσεων είχε χρόνο δειγματοληψίας το ένα λεπτό, η διάρκεια κάθε δοκιμής ήταν τρεις ώρες και επομένως καταγράφηκαν 180 μετρήσεις για κάθε δοκίμιο και κάθε ρεύμα δοκιμής. Κάθε μία από αυτές τις μετρήσεις περιλαμβάνει την πτώση τάσης στον εξεταζόμενο σύνδεσμο ($\Delta V[mV]$) και τις θερμοκρασίες στο δοκίμιο ($\theta_1[°C]$) και τον αγωγό ($\theta_2[°C]$). Με βάση την θερμοκρασία του δοκιμίου τη στιγμή της έναρξης κάθε δοκιμής, που ταυτίζεται με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος ($\Theta_{\alpha\rho\chi.}[°C]$), υπολογίστηκαν ανά μέτρηση και οι αντίστοιχες διαφορές της θερμοκρασίας για το δοκίμιο ($\Delta\theta_1[°C]$) και για τον αγωγό ($\Delta\theta_2[°C]$). Επίσης ανά μέτρηση, υπολογίστηκε η στιγμιαία αντίσταση διάβασης του δοκιμίου ($R[m\Omega]$) με βάση την σχέση $R = \frac{\Delta V}{I}$, όπου I [A] είναι το ρεύμα δοκιμής το οποίο παραμένει σταθερό σε όλη την διάρκεια της δοκιμής.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, το ζητούμενο θερμικά ισοδύναμο ρεύμα του αντίστοιχου κρουστικού, ορίζεται όταν η θερμοκρασία του υπό εξέταση συνδέσμου έχει σταθεροποιηθεί, με διαφορά θερμοκρασίας σύμφωνα με τον Πίνακα [2.2–I] (δηλαδή 6°C με επιτρεπόμενη απόκλιση ±0,5°C). Η θερμοκρασία θεωρείται ότι σταθεροποιείται όταν η τιμή της διαφοράς δύο διαδοχικών τιμών της, που απέχουν μεταξύ τους μία ώρα, δεν είναι μεγαλύτερη από 0,5 °C. Η διαδικασία της σταθεροποίησης συμβαίνει ως εξής: Αρχικά ένα μέρος της ισχύος που

παράγεται από την πηγή καταναλώνεται στο σύνδεσμο προκαλώντας την αύξηση της θερμοκρασίας του και το υπόλοιπο μέρος της ισχύος της πηγής διοχετεύεται στο περιβάλλον σαν θερμική ενέργεια. Σταδιακά καθώς η θερμοκρασία και άρα η αντίσταση του συνδέσμου αυξάνεται, συμβαίνει να αυξάνεται και το ποσοστό της ισχύος που διοχετεύεται στο περιβάλλον ($P=I^2R=I^2R_0(1+\alpha(\theta-\theta_0)]$), μέχρι τη στιγμή της σταθεροποίησης της θερμοκρασίας του συνδέσμου. Τελικά στη σταθεροποίηση, η ισχύς που καταναλώνεται στον σύνδεσμο και διοχετεύεται στο περιβάλλον σαν θερμική ενέργεια ισούται με την συνολική στιγμιαία ενέργεια που παράγεται στην πηγή. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι στις παρούσες μετρήσεις παρατηρήθηκε η σταθεροποίηση πρακτικά να συμβαίνει νωρίτερα από το πέρας των μετρήσεων, δηλαδή το όριο των τριών ωρών. Ακόμα πρέπει να σημειώσουμε ότι κάποιες από τις δοκιμές έχουν διακοπεί πριν το πέρας των τριών ωρών. Αυτό μπορεί να συμβεί αν παρατηρηθεί υπερθέρμανση, ή αν παρατηρηθεί μεγάλη απόκλιση από το αναμενόμενο αποτέλεσμα.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται εποπτικά τα πειραματικά αποτελέσματα των μετρήσεων ανά σύνδεσμο και ανά δοκιμή. Περιλαμβάνονται οι μέγιστες και οι μέσες τιμές της τάσης ($\Delta V[mV]$) και της αντίστασης ($R[m\Omega]$) στο δοκίμιο καθώς και οι μεταβολές της θερμοκρασίας στο δοκίμιο ($\Delta\theta_1[°C]$) και στον αγωγό ($\Delta\theta_2[°C]$). Προσεγγιστικά παρουσιάζεται και ο χρόνος σταθεροποίησης ανά δοκιμή [min]. Σημειώνεται ότι οι μέσες τιμές έχουν υπολογιστεί από την σταθεροποίηση και μετά. Με επισήμανση παρουσιάζονται οι μετρήσεις που αντιστοιχούν στο ζητούμενο θερμικά ισοδύναμο ρεύμα.

Ακόμα, ακολουθούν ανά σύνδεσμο οι γραφικές παραστάσεις των μεταβολών της θερμοκρασίας, καθώς και οι μεταβολές της τάσης για κάθε ρεύμα δοκιμής. Ιδιαίτερα για τη τιμή του ρεύματος που αντιστοιχεί στο ζητούμενο θερμικά ισοδύναμο, παρουσιάζονται οι μεταβολές σε όλες τις μετρούμενες τιμές.

3.1.1 Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου 2001010 Cu III

Ονομασία δοκιμίου	2001010 Cu III								
Δύναμη σύσφιξης	25 Nm								
I [A]	t [min]	ΔV [mV]		R [mΩ]		Δθ1[°C]		Δθ2[°C]	
		Max.	Aver.	Max.	Aver.	Max.	Aver.	Max.	Aver.
150	60	11,0	10,4	0,073	0,069	15,3	14,4	15,8	14,9
100	60	7,3	6,9	0,073	0,069	8,9	8,5	9,4	9,0
85	**45**	**5,8**	**5,6**	**0,068**	**0,066**	**5,8**	**5,6**	**6,3**	**5,9**
80	45	5,2	5,1	0,065	0,064	4,9	4,5	5,3	4,8
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-

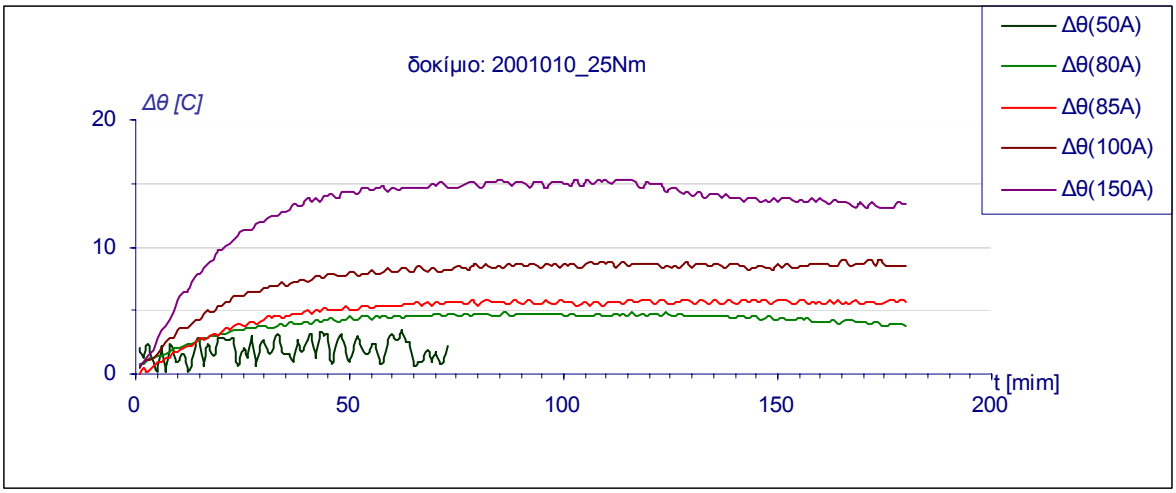
Πίνακας [3.1-I]: Συνοπτικά αποτελέσματα δοκιμίου 2001010 Cu III

Όπου:

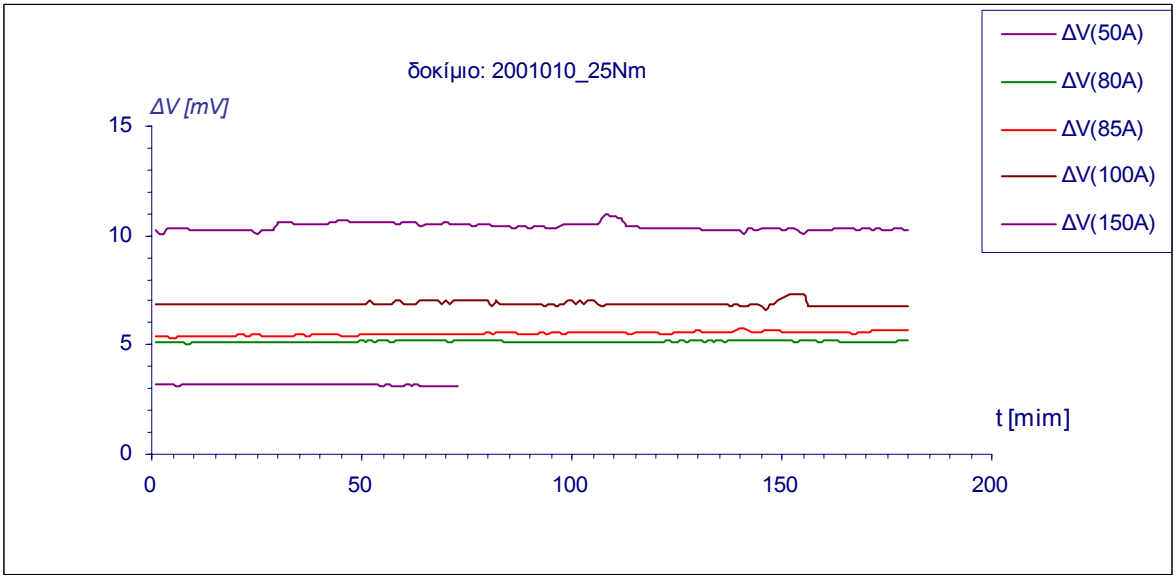
1. F: η δύναμη σύσφιξης
2. t: ο χρόνος σταθεροποίησης
3. I: το ρεύμα δοκιμής

και οι μέγιστες και μέσες τιμές στη σταθεροποίηση:

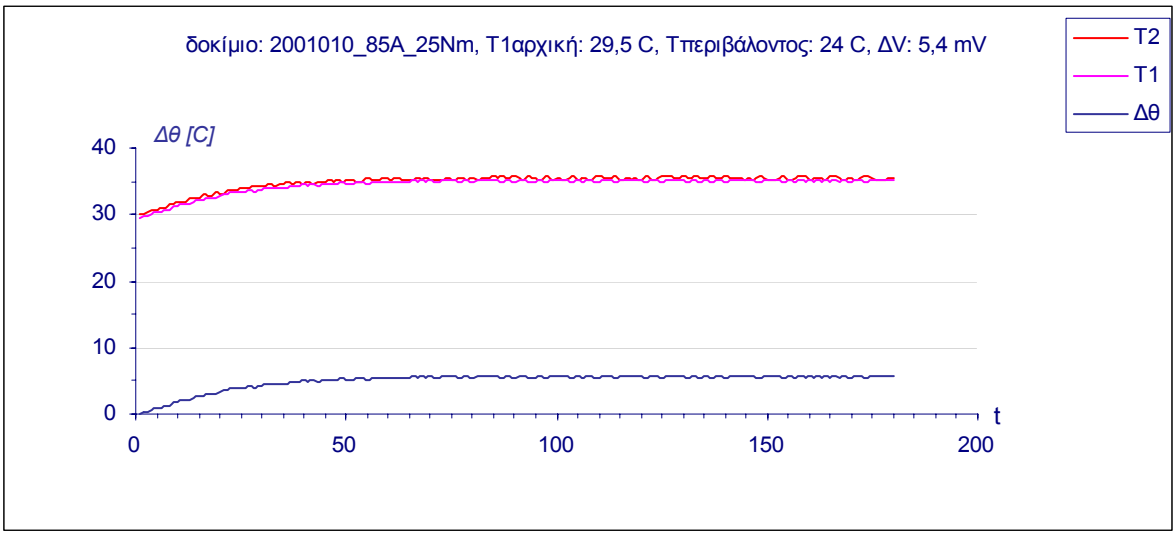
4. ΔV: η πτώση τάσης στο δοκίμιο
5. R: η αντίσταση στο δοκίμιο
6. Δθ1: η μεταβολή της θερμοκρασίας στο δοκίμιο
7. Δθ2: η μεταβολή της θερμοκρασίας στον αγωγό



Σχήμα [3.1-1]: Γραφική απεικόνιση της διαφοράς θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο, όλων των δοκιμών επί του συνδέσμου 2001010 Cu III, με δύναμη σύσφιξης 25Nm



Σχήμα [3.1-2]: Γραφική απεικόνιση της πτώσης τάσης σε συνάρτηση με το χρόνο, όλων των δοκιμών επί του συνδέσμου 2001010 Cu III, με δύναμη σύσφιξης 25Nm



Σχήμα [3.1-3]: Γραφική απεικόνιση της θερμοκρασίας (T1: στο δοκίμιο, T2: στον αγωγό, Δθ: στο δοκίμιο) σε συνάρτηση με το χρόνο, επί του συνδέσμου 2001010 Cu III

3.1.2 Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου 2212021 Cu I

Ονομασία δοκιμίου	2212021 Cu I								
Δύναμη σύσφιξης	11 Nm								
I [A]	t [min]	ΔV [mV]		R [mΩ]		Δθ1[°C]		Δθ2[°C]	
		Max.	Aver.	Max.	Aver.	Max.	Aver.	Max.	Aver.
120	60	9,8	9,7	0,082	0,081	10,7	10,5	9,5	9,0
100	**40**	**8,2**	**8,1**	**0,082**	**0,081**	**6,8**	**6,5**	**5,8**	**5,3**
90	30	7,3	7,2	0,081	0,081	4,1	3,8	3,2	2,9

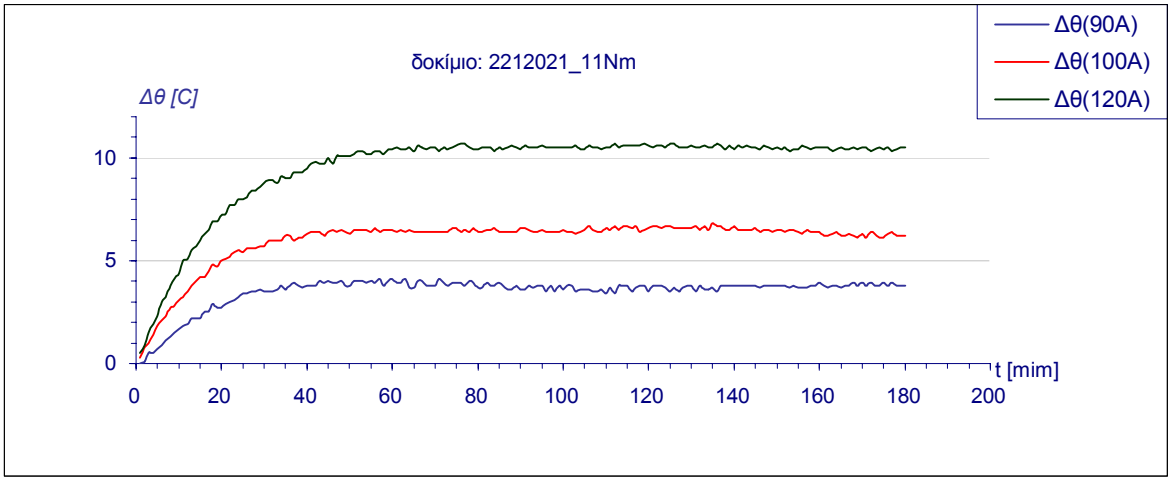
Πίνακας [3.1-ΙΙ]: Συνοπτικά αποτελέσματα δοκιμίου 2212021 Cu I

Όπου:

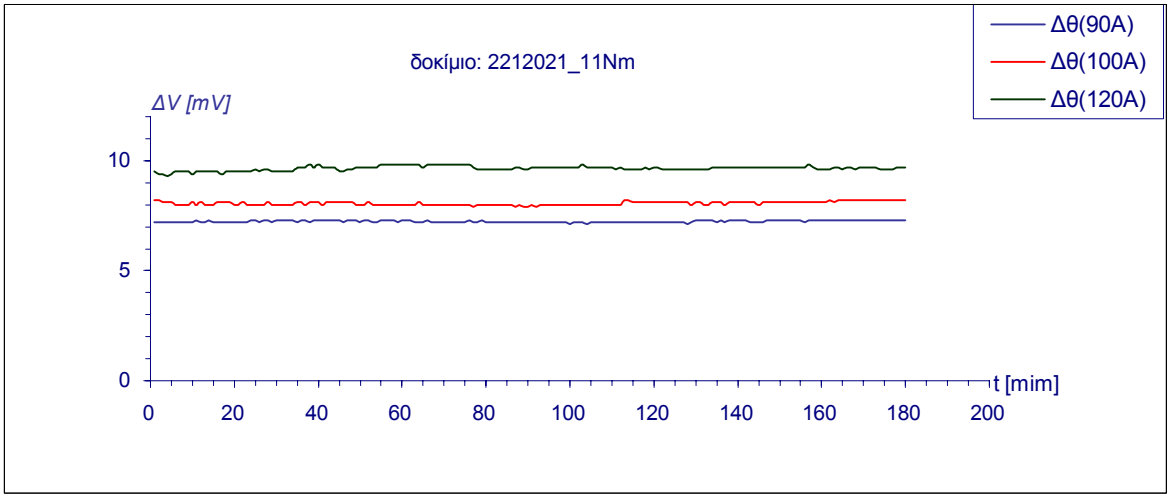
1. F: η δύναμη σύσφιξης
2. t: ο χρόνος σταθεροποίησης
3. I: το ρεύμα δοκιμής

και οι μέγιστες και μέσες τιμές στη σταθεροποίηση:

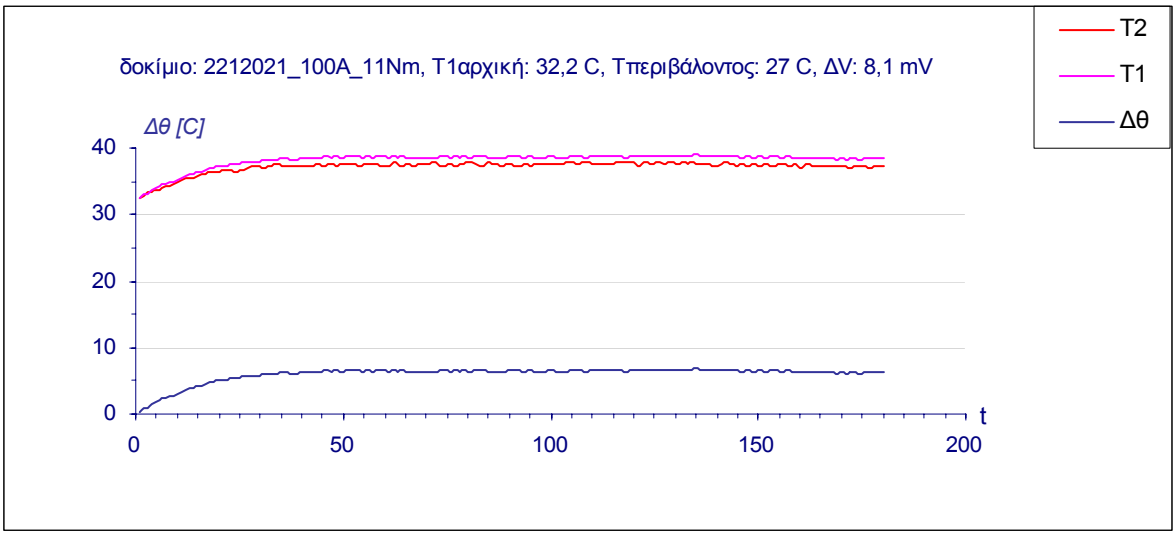
4. ΔV: η πτώση τάσης στο δοκίμιο
5. R: η αντίσταση στο δοκίμιο
6. Δθ1: η μεταβολή της θερμοκρασίας στο δοκίμιο
7. Δθ2: η μεταβολή της θερμοκρασίας στον αγωγό



Σχήμα [3.1-4]: Γραφική απεικόνιση της διαφοράς θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο, όλων των δοκιμών επί του συνδέσμου 2212021 Cu I, με δύναμη σύσφιξης 11Nm



Σχήμα [3.1-5]: Γραφική απεικόνιση της πτώσης τάσης σε συνάρτηση με το χρόνο, όλων των δοκιμών επί του συνδέσμου 2212021 Cu I, με δύναμη σύσφιξης 25Nm



Σχήμα [3.1-6]: Γραφική απεικόνιση της θερμοκρασίας (T1: στο δοκίμιο, T2: στον αγωγό, Δθ: στο δοκίμιο) σε συνάρτηση με το χρόνο, επί του συνδέσμου 2212021 Cu I

3.1.3 Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου 1001010 St/tZn III

Ονομασία δοκιμίου	1001010 St/tZn III								
Δύναμη σύσφιξης	11 Nm								
I [A]	t[min]	ΔV [mV]		R [mΩ]		Δθ1[°C]		Δθ2[°C]	
		Max.	Aver.	Max.	Aver.	Max.	Aver.	Max.	Aver.
90	78	98,0	95,1	1,089	1,056	19,4	19,0	18,6	17,6
50	60	63,2	61,8	1,264	1,236	7,6	7,3	7,4	7,2
45	**55**	**54,1**	**52,3**	**1,202**	**1,162**	**4,3**	**4,1**	**5,6**	**5,2**
40	40	53,8	52,0	1,345	1,300	4,5	4,0	5,8	5,2
35	35	40,1	38,7	1,146	1,106	3,6	2,7	4,4	3,6

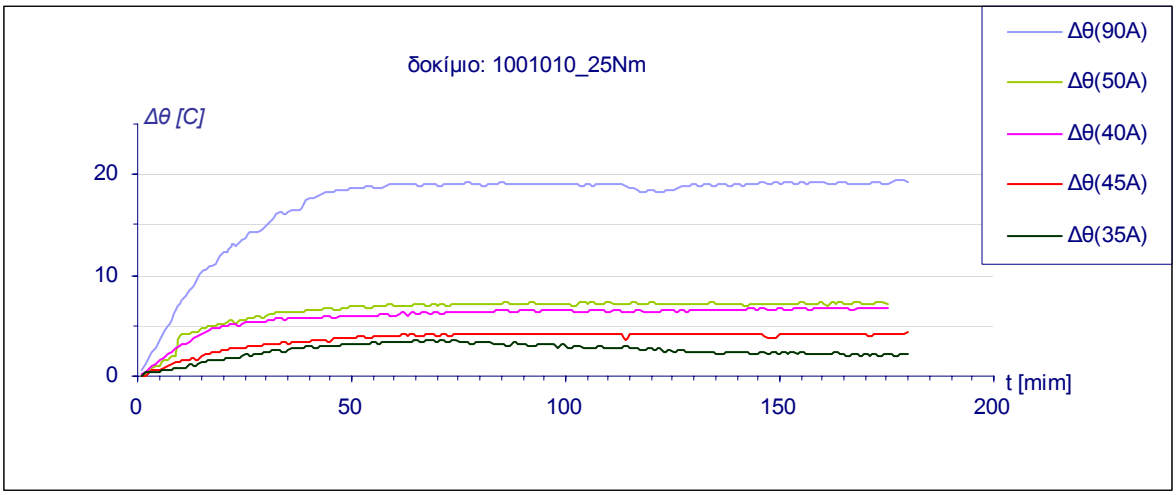
Πίνακας [3.1-III]: Συνοπτικά αποτελέσματα δοκιμίου 1001010 St/tZn III

Όπου:

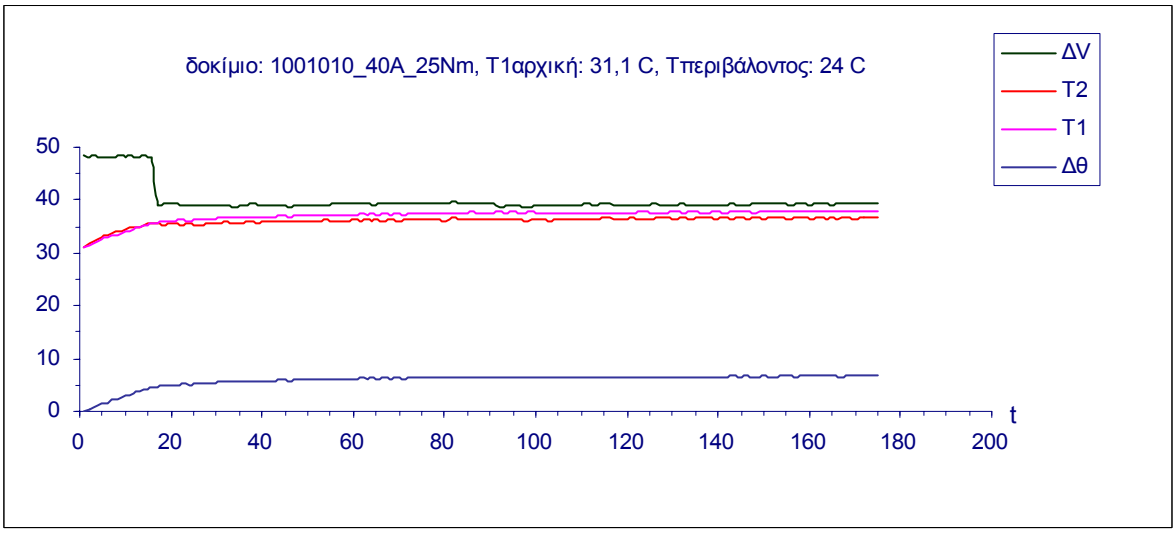
1. *F: η δύναμη σύσφιξης*
2. *t: ο χρόνος σταθεροποίησης*
3. *I: το ρεύμα δοκιμής*

και οι μέγιστες και μέσες τιμές στη σταθεροποίηση:

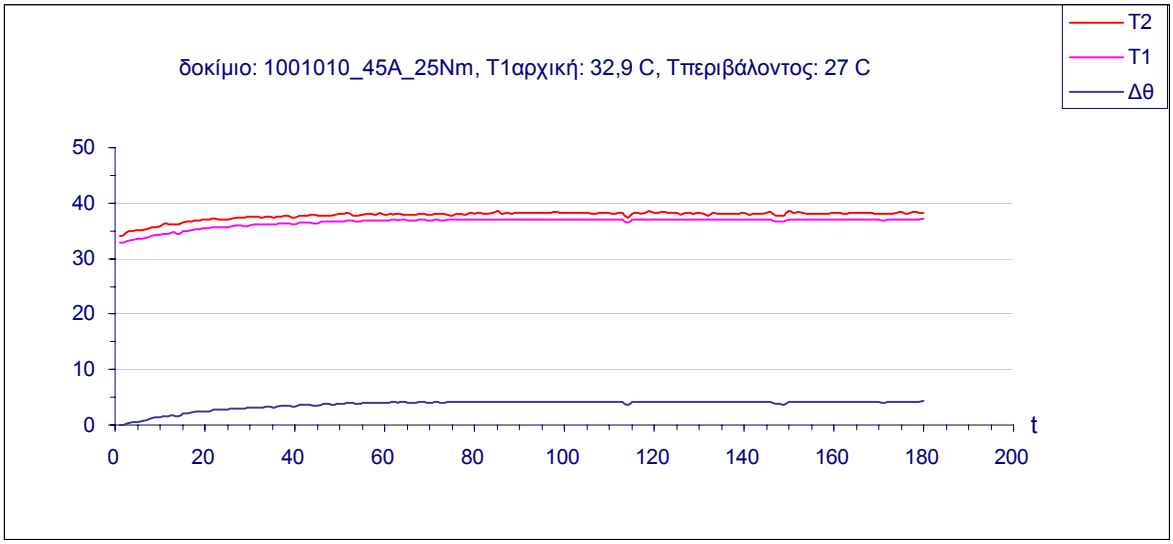
4. *ΔV: η πτώση τάσης στο δοκίμιο*
5. *R: η αντίσταση στο δοκίμιο*
6. *Δθ1: η μεταβολή της θερμοκρασίας στο δοκίμιο*
7. *Δθ2: η μεταβολή της θερμοκρασίας στον αγωγό*



Σχήμα [3.1-7]: Γραφική απεικόνιση της διαφοράς θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο, όλων των δοκιμών επί του συνδέσμου 1001010 St/tZn III, με δύναμη σύσφιξης 25Nm



Σχήμα [3.1-8]: Γραφική απεικόνιση της πτώσης τάσης σε συνάρτηση με το χρόνο, όλων των δοκιμών επί του συνδέσμου 1001010 St/tZn III, με δύναμη σύσφιξης 25Nm



Σχήμα [3.1-9]: Γραφική απεικόνιση της θερμοκρασίας (T1: στο δοκίμιο, T2: στον αγωγό, Δθ: στο δοκίμιο) σε συνάρτηση με το χρόνο, επί του συνδέσμου 1001010 St/tZn III

Σε αρκετές γραφικές παραστάσεις, παρατηρείται ότι κατά τη σταθεροποίηση της διαφοράς της θερμοκρασίας, αυτή δεν παραμένει σταθερή αυστηρά σε μια μόνο τιμή, αλλά λόγω διάφορων εξωγενών ως προς τη μέτρηση παραγόντων μεταβάλλεται ελαφρά.

3.2 Επεξεργασία των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων

Στη συνέχεια θα γίνει μία προσπάθεια σύγκρισης των αποτελεσμάτων που βρέθηκαν πειραματικά, με αυτά που προκύπτουν από την ανάλυση του θεωρητικού μοντέλου.

3.2.1 Σύγκριση θεωρητικού τύπου για το φορτίο του κεραυνικού ρεύματος με τα πειραματικά αποτελέσματα

1η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ: Με βάση το φορτίο

Θεωρώντας γνωστά μεγέθη την τιμή του ισοδύναμου εναλλασσόμενου ρεύματος που μετρήθηκε για κάθε σύνδεσμο, καθώς και το χρόνο

σταθεροποίησης, υπολογίσθηκε το μεταφερόμενο φορτίο. Στη συνέχεια υπολογίσθηκε το φορτίο που προκύπτει από το ισοδύναμο κεραυνικό ρεύμα και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα.

Από τις μετρήσεις που έγιναν, έγινε μια προσπάθεια ευρέσεως με πειραματικό τρόπο της τιμής του εναλλασσομένου ρεύματος (I) το οποίο είναι ισοδύναμο με το αντίστοιχο κεραυνικό, δηλαδή βρέθηκε η ενεργός τιμή του ρεύματος για το οποίο έχουμε διαφορά θερμοκρασίας στο σύνδεσμο περίπου 6^oC.

Από τις δοθείσες γραφικές παραστάσεις παρατηρήθηκε επίσης ότι ο χρόνος σταθεροποίησης (t) της διαφοράς θερμοκρασίας είναι διαφορετικός για κάθε σύνδεσμο.

Έτσι έχουμε τα παρακάτω συγκεντρωτικά αποτελέσματα για κάθε σύνδεσμο:

- *2001010 Cu III : $I_1 = 85A$, $t_1 = 70min$*
- *2212021 Cu I : $I_2 = 100A$, $t_2 = 30min$*
- *1001010 St/tZn III : $I_3 = 45A$, $t_3 = 65min$*

Είναι γνωστό ότι το μεταφερόμενο φορτίο για κάθε σύνδεσμο, δίνεται από τη σχέση:

$$Q = \int_0^t i(t)dt \qquad [3.2\text{-}1]$$

και επειδή στη συγκεκριμένη περίπτωση θεωρούμε την ενεργό τιμή του ρεύματος (I) σταθερή, έχουμε:

$$Q = \int_0^t i(t)dt = I \cdot t \qquad [3.2\text{-}2]$$

Οπότε για την περίπτωση του ισοδύναμου ρεύματος I η τιμή του μεταφερόμενου φορτίου για κάθε σύνδεσμο, θα είναι:

- $Q_1 = I_1\ t_1 = 357000\ Asec$
- $Q_2 = I_2\ t_2 = 180000\ Asec$
- $Q_3 = I_3\ t_3 = 175500\ Asec$

Θεωρητικά το φορτίο του κεραυνικού ρεύματος δίνεται από τον τύπο:

$$Q_{\kappa\varepsilon\rho\alpha\upsilon\nu} = \int_0^a I_{max}(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})dt \qquad [3.2\text{-}3]$$

όπου:

$a = 2msec$
$I_{max} = 100\ kA$
$\lambda_1 = 2.100\ sec^{-1}$
$\lambda_2 = 150.000\ sec^{-1}$

Όπου το λ_1 και λ_2 αφορούν τη μορφή 10/350μs του κεραυνικού ρεύματος. Έγινε η επιλογή αυτής της μορφής του κεραυνικού ρεύματος επειδή αυτή ικανοποιεί τις απαιτήσεις του ευρωπαϊκού προτύπου EN50164.1, για ανοιγμένη τιμή ενέργειας 2,5MJ/Ω για την διάρκεια των 2msec και κορυφή ρεύματος 100kA.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και κάνοντας τις πράξεις βρέθηκε ότι

$Q_{\kappa\varepsilon\rho\alpha\upsilon\nu} = 46,2383\ Asec$

Θεωρητικά σύμφωνα με την υπόθεση που έγινε, θα αναμενόταν ότι $Q_{\kappa\varepsilon\rho\alpha\upsilon\nu}=Q_1=Q_2=Q_3$, γεγονός που δεν ισχύει. Παρατηρούμε ότι οι τιμές των Q_2, Q_3 είναι σχετικά παρεμφερείς (τις ίδιας τάξης μεγέθους), αλλά απέχουν πολύ από την τιμή Q_1 καθώς και από την τιμή που προκύπτει από το θεωρητικό τύπο του $Q_{\kappa\varepsilon\rho\alpha\upsilon\nu}$.

Ένας λόγος στον οποίο μπορεί να οφείλεται αυτή η διαφορά είναι ότι η φύση του κεραυνικού ρεύματος είναι διαφορετική από του

εναλλασσόμενου που εφαρμόστηκε στους συνδέσμους, γεγονός το οποίο πιθανότατα οδηγεί σε μη συγκρίσιμα αποτελέσματα.

Ακόμα όταν σε υψηλές συχνότητες εφαρμόζουμε κεραυνικό ρεύμα στους λυόμενους συνδέσμους αυτό ρέει επιδερμικά σε αντίθεση με το εναλλασσόμενο το οποίο διαχέεται σε όλο τον σύνδεσμο. Αυτός μπορεί να είναι ένας επιπλέον λόγος για την μεγάλη απόκλιση που παρουσιάζεται στα θερμικά αποτελέσματα.

2η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ: Με βάση την ενέργεια

Θεωρώντας γνωστή την τιμή του θερμικά ισοδύναμου εναλλασσόμενου ρεύματος για κάθε σύνδεσμο, εφαρμόζεται η σχέση που προσομοιώνει το θεωρητικό μοντέλο:

$$\int_0^{2msec} I_{\kappa\varepsilon\rho\alpha\upsilon\upsilon}{}^2(t)dt = \int_0^{t_{\sigma\tau\alpha\theta}} I^2(t) = 2{,}5MJ/\Omega \qquad [3.2\text{-}4]$$

όπου $I_{\kappa\varepsilon\rho\alpha\upsilon\upsilon} = I_{max} \cdot \left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right)$
με $I_{max}=100kA$, $\lambda_1= 2100s^{-1}$ και $\lambda_2=150000s^{-1}$
ενώ $I(t) = \sqrt{2} \cdot I_{\varepsilon\upsilon} \cdot sin(\omega t)$

Η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$\int_0^{t_{\sigma\tau\alpha\theta}} I^2(t)dt = \int_0^{t_{\sigma\tau\alpha\theta}} 2I_{\varepsilon\upsilon}^2 sin^2(\omega t)dt$$

$$2I_{\varepsilon\upsilon}^2 \int_0^{t_{\sigma\tau\alpha\theta}} \frac{1-cos(2\omega t)}{2}dt = I_{\varepsilon\upsilon}^2 \int_0^{t_{\sigma\tau\alpha\theta}} \left(1-cos(2\omega t)\right)dt = 2{,}5MJ/\Omega \qquad [3.2\text{-}5]$$

επιλύοντας την ως προς το χρόνο σταθεροποίησης έχουμε:

$$t_{σταθ} - \frac{1}{2\omega} sin(2\omega t) = \frac{2,5 \cdot 10^6}{I_{εν}^2} \qquad [3.2\text{-}6]$$

Οπότε για κάθε σύνδεσμο, έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

- 2001010: για I_1=85A t_1= 692sec = 11,5min
- 2212021: για I_2=100A t_2= 500sec = 8,3min
- 1001010: για I_3=45A t_3= 2469,14sec = 41,15min

Σε σχέση με τα αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα, παρατηρούμε ότι υπάρχουν πολύ μεγάλες αποκλίσεις, πράγμα που καθιστά την προσέγγισή μας επισφαλή.

3.2.2 Σύγκριση θεωρητικού τύπου για τη σχέση 'πτώσης τάσης – θερμοκρασίας' με τα πειραματικά αποτελέσματα

Θα γίνει μια προσπάθεια να αποδείξουμε τον θεωρητικό τύπο με τον οποίο η ανύψωση της θερμοκρασίας σχετίζεται με την πτώση τάσης στον σύνδεσμο.

Η διαφορά δυναμικού κατά μήκος των συνδέσμων (ΔV) ή η διαφορά θερμοκρασίας στο σημείο επαφής (Δθ) αποτελεί κριτήριο για τη συμπεριφορά του διακόπτη υπό ονομαστικό ρεύμα (έλεγχος υπερθέρμανσης).

Ισχύει μια σχέση της μορφής:

$$\Delta V = k\sqrt{\Delta\theta} \qquad [3.2\text{-}7]$$

Όπου k μια σταθερά που εξαρτάται από το υλικό και τη γεωμετρία της επαφής και την ποσότητα των ξένων επικαθίσεων. Για καθαρές επαφές αργύρου η τιμή του κ είναι 0,00740 mV/^{o}C, για χάλκινες επαφές είναι 0,00744 mV/^{o}C. Ύστερα από μακρά χρήση, όταν ξένο υλικό έχει επικαθίσει στις επαφές, κυρίως σκόνη και μεταλλικά οξείδια, αυτή η

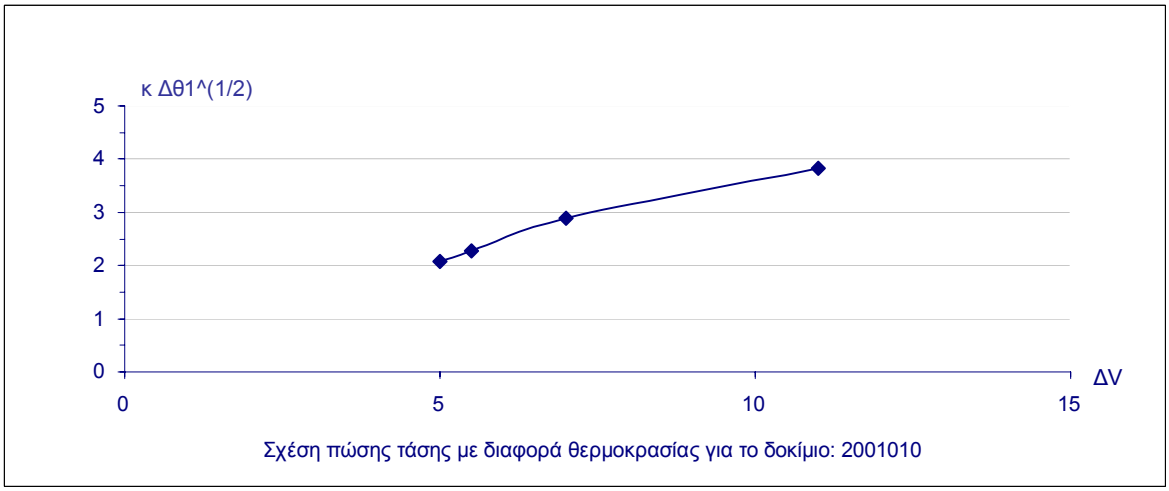
σταθερά k μπορεί να πάρει τιμή διπλάσια της κανονικής που προκαλεί δυσλειτουργίες στις επαφές που λειτουργούν υπό ονομαστικά ρεύματα.

Οι μετρήσεις που έδωσαν τις παραπάνω τιμές του k έγιναν σε καθαρές επιφάνειες.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι γραφικές παραστάσεις $\Delta V = f(\sqrt{\Delta\theta})$ *για τον κάθε σύνδεσμο. Σε καθέναν από τους συνδέσμους βρέθηκε, για το κάθε ρεύμα που εφαρμόστηκε, η χρονική στιγμή στην οποία σταθεροποιείται η διαφορά θερμοκρασίας Δθ. Στη συνέχεια με βάση την αντίστοιχη γραφική παράσταση* $\Delta V = f(t)$*, παρατηρήθηκε η πτώση τάσης στον λυόμενο σύνδεσμο τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Έτσι προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα ανά σύνδεσμο:*

Ονομασία δοκιμίου	I [A]	t [min]	ΔV [mV]	$\Delta\theta_1$[°C]	$\sqrt{\Delta\theta_1}$
2001010	150	60	11	14,6	3,820995
	100	60	7	8,3	2,880972
	85	45	5,5	5,2	2,280351
	80	45	5	4,3	2,073644
	50	-	-	-	-

Πίνακας [3.2-I]: Αποτελέσματα πτώσης τάσης και διαφοράς θερμοκρασίας για το δοκιμίο 2001010 Cu III



Σχήμα [3.2-1]: Γραφική απεικόνιση της ρίζας της διαφοράς της θερμοκρασίας σε σχέση με την πτώση τάσης, επί του συνδέσμου 2001010 Cu III

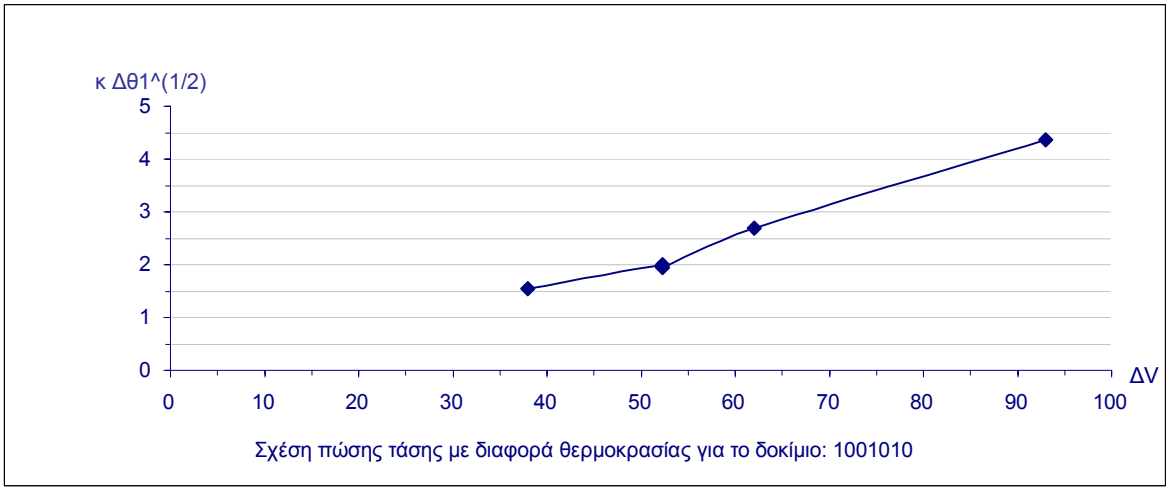
Ονομασία δοκιμίου	I [A]	t [min]	ΔV [mV]	$\Delta\theta_1$[°C]	$\sqrt{\Delta\theta_1}$
2212021	120	60	9,8	10,4	3,224900
	100	40	8,1	6,3	2,509980
	90	30	7,2	3,6	1,897367

Πίνακας [3.2-II]: Αποτελέσματα πτώσης τάσης και διαφοράς θερμοκρασίας για το δοκιμίο 2212021 Cu I

Σχήμα [3.2-2]: Γραφική απεικόνιση της ρίζας της διαφοράς της θερμοκρασίας σε σχέση με την πτώση τάσης, επί του συνδέσμου 2212021 Cu I

Ονομασία δοκιμίου	I [A]	t [min]	ΔV [mV]	$\Delta\theta_1$[°C]	$\sqrt{\Delta\theta_1}$
1001010	90	78	93	19,1	4,370355
	50	60	62	7,2	2,683282
	45	55	52,3	3,8	1,949359
	40	40	52,3	4	2,000000
	35	35	38	2,4	1,549193

Πίνακας [3.2-III]: Αποτελέσματα πτώσης τάσης και διαφοράς θερμοκρασίας για το δοκιμίο 1001010 St/tZn III



Σχήμα [3.2-3]: Γραφική απεικόνιση της ρίζας της διαφοράς της θερμοκρασίας σε σχέση με την πτώση τάσης, επί του συνδέσμου 1001010 St/tZn III

Παρατηρήθηκε ότι και για τους τρεις συνδέσμους επαληθεύεται η γραμμική σχέση μεταξύ πτώσης τάσης και ρίζας διαφοράς θερμοκρασίας. Για την ακριβή τιμή του συντελεστή k πρέπει να γίνουν επιπλέον μετρήσεις.

3.3 Γενικά συμπεράσματα

Από τη θεωρητική προσέγγιση γίνεται φανερό ότι υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ θεωρητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στο ότι η καταπόνηση με το εναλλασσόμενο ρεύμα διαρκεί πολύ περισσότερο χρόνο, με αποτέλεσμα η παραγόμενη θερμότητα να απάγεται στο περιβάλλον και κατά συνέπεια, η υπολογιζόμενη ενέργεια να μην είναι συγκρίσιμη με την αντίστοιχη εκλυόμενη του κεραυνικού ρεύματος.

Εν τούτοις, η διαδικασία μέτρησης του ζητούμενου θερμικά ισοδύναμου ρεύματος, με το αντίστοιχο κεραυνικό, είναι αρκετά απλή, εύκολα εφαρμόσιμη και εφικτή σε κάθε εργαστήριο, αφού απαιτεί πολύ βασικό εργαστηριακό εξοπλισμό. Και μπορεί μεν να μην οδήγησε στην επαλήθευση της αρχικής υπόθεσης για την εύρεση του θερμικά ισοδύναμου ρεύματος, αλλά στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τους συνδέσμους που χρησιμοποιούνται στα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας.

Η διαδικασία αυτή εφαρμόστηκε σε συνδέσμους διαφορετικών υλικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών για λόγους σύγκρισης. Στις μετρήσεις που έγιναν στο χάλκινο δοκίμιο το ρεύμα αξιολόγησης είναι αρκετά μεγαλύτερο, η θερμοκρασία που αναπτύσσεται είναι μικρότερη και έχει μικρότερη τιμή αντίστασης σε σχέση με το χαλύβδινο δοκίμιο. Αυτό οφείλεται στο ότι ο χαλκός έχει καλύτερο συντελεστή αγωγιμότητας, οπότε μπορεί να θεωρηθεί ως καταλληλότερο υλικό για χρήση στα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας και γειώσεων.

Η μάζα είναι επίσης ένας παράγοντας για την τιμή του ζητούμενου θερμικά ισοδύναμου ρεύματος, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι είναι και απόλυτος. Από τις δοθείσες μετρήσεις, παρατηρούμε ότι δοκίμια με μεγαλύτερες μάζες έχουν και μεγαλύτερη τιμή ρεύματος.

Τέλος, σημαντική παρατήρηση είναι ότι η απαίτηση του προτύπου για αντίσταση κάτω του 1mΩ τηρείται σε όλες τις μετρήσεις.

Προτείνεται η περαιτέρω διερεύνηση του θέματος με διαφορετική θεωρητική προσέγγιση του θέματος και επιπλέον μετρήσεις, ώστε να επιτευχθεί η εύρεση ενός ρεύματος θερμικά ισοδύναμου του κεραυνικού που πιστεύεται ότι θα αποτελέσει ένα χρήσιμο και εύχρηστο κριτήριο αξιολόγησης της αξιοπιστίας των συνδέσμων που χρησιμοποιούνται στα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας και γειώσεων.

4 Παράρτημα: Αναλυτικές πειραματικές μετρήσεις

Στο παράρτημα αυτό δίνονται αναλυτικά οι μετρήσεις που ελήφθησαν κατά την πειραματική διαδικασία. Συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων που ακολουθούν βρίσκεται στην ενότητα 3.1.

4.1 Αναλυτικές Μετρήσεις Συνδέσμου 2001010 Cu III

Δοκίμιο 2001010 _ 50 A _ 25 Nm _ $T_{αρχ.}$=29 °C						
α/α	ΔV [mV]	θ1 [°C]	Δθ1 [°C]	θ2 [°C]	Δθ2 [°C]	R [mΩ]
1	3,2	31,1	2,1	30,3	1,3	0,064
2	3,2	30,3	1,3	30,3	1,3	0,064
3	3,2	31,4	2,4	30,3	1,3	0,064
4	3,2	29,9	0,9	30,4	1,4	0,064
5	3,2	29,1	0,1	30,4	1,4	0,064
6	3,1	31,2	2,2	30,3	1,3	0,062
7	3,2	29,1	0,1	30,5	1,5	0,064
8	3,2	31,3	2,3	30,5	1,5	0,064
9	3,2	30,6	1,6	30,6	1,6	0,064
10	3,2	29,9	0,9	30,5	1,5	0,064
11	3,2	30,5	1,5	30,7	1,7	0,064
12	3,2	29,2	0,2	30,7	1,7	0,064
13	3,2	29,7	0,7	30,7	1,7	0,064
14	3,2	31,5	2,5	30,6	1,6	0,064
15	3,2	31,8	2,8	30,7	1,7	0,064
16	3,2	29,7	0,7	30,7	1,7	0,064
17	3,2	31,3	2,3	30,7	1,7	0,064
18	3,2	30,4	1,4	30,7	1,7	0,064
19	3,2	31,9	2,9	30,7	1,7	0,064
20	3,2	31,8	2,8	30,7	1,7	0,064
21	3,2	31,6	2,6	30,8	1,8	0,064
22	3,2	31,6	2,6	30,8	1,8	0,064
23	3,2	31,9	2,9	30,8	1,8	0,064
24	3,2	29,7	0,7	30,9	1,9	0,064
25	3,2	31,0	2,0	30,8	1,8	0,064
26	3,2	30,2	1,2	30,9	1,9	0,064
27	3,2	32,0	3,0	30,9	1,9	0,064
28	3,2	29,6	0,6	31,0	2,0	0,064
29	3,2	31,2	2,2	30,9	1,9	0,064
30	3,2	31,6	2,6	30,9	1,9	0,064
31	3,2	30,8	1,8	30,9	1,9	0,064
32	3,2	30,8	1,8	31,1	2,1	0,064
33	3,2	32,1	3,1	31,0	2,0	0,064
34	3,2	30,8	1,8	31,0	2,0	0,064
35	3,2	30,6	1,6	31,1	2,1	0,064
36	3,2	30,6	1,6	30,8	1,8	0,064
37	3,2	29,9	0,9	31,2	2,2	0,064
38	3,2	31,7	2,7	31,0	2,0	0,064
39	3,2	30,7	1,7	31,0	2,0	0,064
40	3,2	31,7	2,7	31,1	2,1	0,064
41	3,2	32,2	3,2	31,0	2,0	0,064
42	3,2	30,3	1,3	31,2	2,2	0,064
43	3,2	32,3	3,3	31,0	2,0	0,064
44	3,2	32,0	3,0	31,2	2,2	0,064
45	3,2	32,2	3,2	31,1	2,1	0,064

Δοκίμιο 2001010 _ 50 A _ 25 Nm _ $T_{αρχ.}$=29 °C						
α/α	ΔV [mV]	θ1 [°C]	Δθ1 [°C]	θ2 [°C]	Δθ2 [°C]	R [mΩ]
46	3,2	29,8	0,8	31,2	2,2	0,064
47	3,2	31,7	2,7	31,1	2,1	0,064
48	3,2	32,1	3,1	31,1	2,1	0,064
49	3,2	30,7	1,7	31,2	2,2	0,064
50	3,2	29,9	0,9	31,1	2,1	0,064
51	3,2	31,2	2,2	31,1	2,1	0,064
52	3,2	32,0	3,0	31,1	2,1	0,064
53	3,2	31,0	2,0	31,1	2,1	0,064
54	3,2	30,6	1,6	31,2	2,2	0,064
55	3,1	31,3	2,3	31,2	2,2	0,062
56	3,2	31,4	2,4	31,1	2,1	0,064
57	3,1	29,8	0,8	31,2	2,2	0,062
58	3,1	29,9	0,9	31,2	2,2	0,062
59	3,1	31,6	2,6	31,2	2,2	0,062
60	3,1	32,1	3,1	31,2	2,2	0,062
61	3,2	31,7	2,7	31,2	2,2	0,064
62	3,1	32,4	3,4	31,1	2,1	0,062
63	3,2	31,5	2,5	31,2	2,2	0,064
64	3,1	31,5	2,5	31,2	2,2	0,062
65	3,1	29,7	0,7	31,2	2,2	0,062
66	3,1	29,9	0,9	31,2	2,2	0,062
67	3,1	30,0	1,0	31,2	2,2	0,062
68	3,1	30,9	1,9	31,2	2,2	0,062
69	3,1	29,9	0,9	31,2	2,2	0,062
70	3,1	30,7	1,7	31,2	2,2	0,062
71	3,1	29,8	0,8	31,2	2,2	0,062
72	3,1	29,9	0,9	31,0	2,0	0,062
73	3,1	31,2	2,2	31,0	2,0	0,062

Δοκίμιο 2001010 _ 80 A _ 25 Nm _ Ταρχ.=30 °C						
α/α	**ΔV [Mv]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [Mω]**
1	5,1	30,8	0,8	31,2	1,2	0,064
2	5,1	30,8	0,8	31,3	1,3	0,064
3	5,1	31,1	1,1	31,5	1,5	0,064
4	5,1	31,2	1,2	31,4	1,4	0,064
5	5,1	31,4	1,4	31,7	1,7	0,064
6	5,1	31,4	1,4	32,0	2,0	0,064
7	5,1	31,6	1,6	32,3	2,3	0,064
8	5,0	31,8	1,8	32,1	2,1	0,063
9	5,0	32,0	2,0	32,5	2,5	0,063
10	5,1	32,0	2,0	32,7	2,7	0,064
11	5,1	32,2	2,2	32,8	2,8	0,064
12	5,1	32,4	2,4	32,7	2,7	0,064
13	5,1	32,4	2,4	32,9	2,9	0,064
14	5,1	32,5	2,5	32,9	2,9	0,064
15	5,1	32,7	2,7	33,2	3,2	0,064
16	5,1	32,8	2,8	33,2	3,2	0,064
17	5,1	32,9	2,9	33,2	3,2	0,064
18	5,1	33,0	3,0	33,2	3,2	0,064
19	5,1	33,0	3,0	33,6	3,6	0,064
20	5,1	33,2	3,2	33,5	3,5	0,064
21	5,1	33,2	3,2	33,7	3,7	0,064
22	5,1	33,3	3,3	33,8	3,8	0,064
23	5,1	33,5	3,5	33,6	3,6	0,064
24	5,1	33,5	3,5	33,8	3,8	0,064
25	5,1	33,5	3,5	33,9	3,9	0,064
26	5,1	33,6	3,6	33,8	3,8	0,064
27	5,1	33,6	3,6	34,1	4,1	0,064
28	5,1	33,7	3,7	33,9	3,9	0,064
29	5,1	33,8	3,8	33,9	3,9	0,064
30	5,1	33,8	3,8	34,0	4,0	0,064
31	5,1	33,6	3,6	34,3	4,3	0,064
32	5,1	33,7	3,7	34,4	4,4	0,064
33	5,1	33,8	3,8	34,3	4,3	0,064
34	5,1	34,0	4,0	34,2	4,2	0,064
35	5,1	33,8	3,8	34,5	4,5	0,064
36	5,1	34,1	4,1	34,1	4,1	0,064
37	5,1	33,9	3,9	34,5	4,5	0,064
38	5,1	34,0	4,0	34,6	4,6	0,064
39	5,1	34,0	4,0	34,7	4,7	0,064
40	5,1	34,1	4,1	34,5	4,5	0,064
41	5,1	34,0	4,0	34,6	4,6	0,064
42	5,1	34,2	4,2	34,5	4,5	0,064
43	5,1	34,1	4,1	34,7	4,7	0,064
44	5,1	34,3	4,3	34,4	4,4	0,064
45	5,1	34,3	4,3	34,5	4,5	0,064

Δοκίμιο 2001010 _ 80 A _ 25 Nm _ Ταρχ.=30 °C						
α/α	**ΔV [Mv]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [Mω]**
46	5,1	34,4	4,4	34,5	4,5	0,064
47	5,1	34,1	4,1	34,8	4,8	0,064
48	5,1	34,3	4,3	34,6	4,6	0,064
49	5,1	34,2	4,2	34,8	4,8	0,064
50	5,2	34,5	4,5	34,5	4,5	0,065
51	5,1	34,2	4,2	34,9	4,9	0,064
52	5,2	34,3	4,3	34,8	4,8	0,065
53	5,1	34,5	4,5	34,7	4,7	0,064
54	5,2	34,5	4,5	34,7	4,7	0,065
55	5,2	34,3	4,3	34,9	4,9	0,065
56	5,2	34,5	4,5	34,6	4,6	0,065
57	5,1	34,4	4,4	34,8	4,8	0,064
58	5,2	34,5	4,5	34,7	4,7	0,065
59	5,2	34,4	4,4	34,8	4,8	0,065
60	5,2	34,4	4,4	34,8	4,8	0,065
61	5,2	34,6	4,6	34,7	4,7	0,065
62	5,2	34,4	4,4	34,8	4,8	0,065
63	5,2	34,6	4,6	34,7	4,7	0,065
64	5,2	34,6	4,6	34,7	4,7	0,065
65	5,2	34,6	4,6	34,9	4,9	0,065
66	5,2	34,5	4,5	35,1	5,1	0,065
67	5,2	34,5	4,5	34,9	4,9	0,065
68	5,2	34,5	4,5	34,9	4,9	0,065
69	5,2	34,5	4,5	35,1	5,1	0,065
70	5,2	34,7	4,7	34,7	4,7	0,065
71	5,1	34,8	4,8	34,8	4,8	0,064
72	5,2	34,5	4,5	35,0	5,0	0,065
73	5,2	34,8	4,8	34,7	4,7	0,065
74	5,2	34,8	4,8	34,8	4,8	0,065
75	5,2	34,5	4,5	35,1	5,1	0,065
76	5,2	34,6	4,6	34,9	4,9	0,065
77	5,2	34,7	4,7	34,9	4,9	0,065
78	5,2	34,5	4,5	35,1	5,1	0,065
79	5,2	34,8	4,8	34,8	4,8	0,065
80	5,2	34,8	4,8	34,8	4,8	0,065
81	5,2	34,8	4,8	34,9	4,9	0,065
82	5,2	34,8	4,8	34,9	4,9	0,065
83	5,2	34,5	4,5	35,2	5,2	0,065
84	5,1	34,6	4,6	35,1	5,1	0,064
85	5,1	34,6	4,6	35,1	5,1	0,064
86	5,1	34,9	4,9	34,9	4,9	0,064
87	5,1	34,7	4,7	34,9	4,9	0,064
88	5,1	34,6	4,6	35,1	5,1	0,064
89	5,1	34,7	4,7	34,8	4,8	0,064
90	5,1	34,7	4,7	34,9	4,9	0,064

Δοκίμιο 2001010 _ 80 A _ 25 Nm _ $T_{αρχ.}$=30 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
91	5,1	34,8	4,8	34,9	4,9	0,064
92	5,1	34,8	4,8	34,8	4,8	0,064
93	5,1	34,7	4,7	34,7	4,7	0,064
94	5,1	34,7	4,7	34,9	4,9	0,064
95	5,1	34,7	4,7	34,9	4,9	0,064
96	5,1	34,7	4,7	34,8	4,8	0,064
97	5,1	34,8	4,8	34,7	4,7	0,064
98	5,1	34,7	4,7	34,8	4,8	0,064
99	5,1	34,8	4,8	34,7	4,7	0,064
100	5,1	34,5	4,5	35,0	5,0	0,064
101	5,1	34,5	4,5	35,0	5,0	0,064
102	5,1	34,8	4,8	34,7	4,7	0,064
103	5,1	34,5	4,5	35,0	5,0	0,064
104	5,1	34,6	4,6	35,1	5,1	0,064
105	5,1	34,6	4,6	34,9	4,9	0,064
106	5,1	34,6	4,6	34,9	4,9	0,064
107	5,1	34,5	4,5	35,2	5,2	0,064
108	5,1	34,8	4,8	34,8	4,8	0,064
109	5,1	34,5	4,5	35,0	5,0	0,064
110	5,1	34,5	4,5	35,1	5,1	0,064
111	5,1	34,5	4,5	35,0	5,0	0,064
112	5,1	34,8	4,8	34,9	4,9	0,064
113	5,1	34,5	4,5	35,1	5,1	0,064
114	5,1	34,7	4,7	34,8	4,8	0,064
115	5,1	34,5	4,5	35,1	5,1	0,064
116	5,1	34,9	4,9	34,8	4,8	0,064
117	5,1	34,6	4,6	35,1	5,1	0,064
118	5,1	34,8	4,8	35,2	5,2	0,064
119	5,1	34,6	4,6	35,3	5,3	0,064
120	5,1	34,7	4,7	35,1	5,1	0,064
121	5,1	34,7	4,7	35,2	5,2	0,064
122	5,1	34,7	4,7	35,2	5,2	0,064
123	5,2	34,5	4,5	35,2	5,2	0,065
124	5,1	34,9	4,9	34,9	4,9	0,064
125	5,1	34,6	4,6	35,2	5,2	0,064
126	5,2	34,6	4,6	35,2	5,2	0,065
127	5,1	34,7	4,7	35,1	5,1	0,064
128	5,2	34,6	4,6	35,0	5,0	0,065
129	5,2	34,6	4,6	34,9	4,9	0,065
130	5,2	34,5	4,5	35,1	5,1	0,065
131	5,2	34,5	4,5	35,0	5,0	0,065
132	5,1	34,5	4,5	35,1	5,1	0,064
133	5,2	34,6	4,6	34,8	4,8	0,065
134	5,1	34,6	4,6	34,9	4,9	0,064
135	5,1	34,8	4,8	34,9	4,9	0,064

Δοκίμιο 2001010 _ 80 A _ 25 Nm _ $T_{αρχ.}$=30 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
136	5,2	34,6	4,6	34,9	4,9	0,065
137	5,1	34,5	4,5	34,9	4,9	0,064
138	5,2	34,5	4,5	34,9	4,9	0,065
139	5,2	34,5	4,5	34,9	4,9	0,065
140	5,2	34,4	4,4	34,9	4,9	0,065
141	5,2	34,4	4,4	34,9	4,9	0,065
142	5,2	34,5	4,5	34,8	4,8	0,065
143	5,2	34,5	4,5	34,7	4,7	0,065
144	5,2	34,4	4,4	34,8	4,8	0,065
145	5,2	34,5	4,5	34,5	4,5	0,065
146	5,2	34,5	4,5	34,6	4,6	0,065
147	5,2	34,3	4,3	34,9	4,9	0,065
148	5,2	34,4	4,4	34,6	4,6	0,065
149	5,2	34,5	4,5	34,5	4,5	0,065
150	5,2	34,2	4,2	34,9	4,9	0,065
151	5,2	34,2	4,2	34,5	4,5	0,065
152	5,2	34,4	4,4	34,5	4,5	0,065
153	5,2	34,2	4,2	34,8	4,8	0,065
154	5,1	34,3	4,3	34,4	4,4	0,064
155	5,1	34,3	4,3	34,6	4,6	0,064
156	5,2	34,4	4,4	34,4	4,4	0,065
157	5,2	34,3	4,3	34,4	4,4	0,065
158	5,2	34,4	4,4	34,4	4,4	0,065
159	5,2	34,1	4,1	34,6	4,6	0,065
160	5,1	34,1	4,1	34,6	4,6	0,064
161	5,2	34,1	4,1	34,3	4,3	0,065
162	5,2	34,1	4,1	34,5	4,5	0,065
163	5,2	34,1	4,1	34,5	4,5	0,065
164	5,2	34,2	4,2	34,2	4,2	0,065
165	5,1	34,0	4,0	34,5	4,5	0,064
166	5,1	34,1	4,1	34,4	4,4	0,064
167	5,1	34,2	4,2	34,2	4,2	0,064
168	5,1	34,2	4,2	34,1	4,1	0,064
169	5,1	34,1	4,1	34,5	4,5	0,064
170	5,1	34,1	4,1	34,3	4,3	0,064
171	5,1	34,1	4,1	34,1	4,1	0,064
172	5,1	34,0	4,0	34,2	4,2	0,064
173	5,1	34,0	4,0	34,2	4,2	0,064
174	5,1	34,1	4,1	34,1	4,1	0,064
175	5,1	34,0	4,0	34,3	4,3	0,064
176	5,1	33,8	3,8	34,5	4,5	0,064
177	5,1	34,0	4,0	34,1	4,1	0,064
178	5,1	33,9	3,9	34,3	4,3	0,064
179	5,2	33,9	3,9	34,1	4,1	0,065
180	5,2	33,9	3,9	34,3	4,3	0,065

Δοκίμιο 2001010 _ 85 A _ 25 Nm _ $T_{αρχ.}$=29,5 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
1	5,4	29,5	0,0	30,1	0,6	0,064
2	5,4	29,9	0,4	30,0	0,5	0,064
3	5,4	29,7	0,2	30,5	1,0	0,064
4	5,4	30,1	0,6	30,7	1,2	0,064
5	5,3	30,4	0,9	30,7	1,2	0,062
6	5,4	30,4	0,9	31,0	1,5	0,064
7	5,4	30,8	1,3	31,1	1,6	0,064
8	5,4	30,7	1,2	31,6	2,1	0,064
9	5,4	31,2	1,7	31,5	2,0	0,064
10	5,4	31,2	1,7	32,0	2,5	0,064
11	5,4	31,6	2,1	31,9	2,4	0,064
12	5,4	31,7	2,2	32,0	2,5	0,064
13	5,4	31,7	2,2	32,4	2,9	0,064
14	5,4	32,0	2,5	32,4	2,9	0,064
15	5,4	32,3	2,8	32,5	3,0	0,064
16	5,4	32,1	2,6	33,0	3,5	0,064
17	5,4	32,4	2,9	32,8	3,3	0,064
18	5,4	32,6	3,1	32,9	3,4	0,064
19	5,4	32,5	3,0	33,3	3,8	0,064
20	5,4	32,8	3,3	33,2	3,7	0,064
21	5,5	33,1	3,6	33,2	3,7	0,065
22	5,5	33,0	3,5	33,7	4,2	0,065
23	5,4	33,3	3,8	33,6	4,1	0,064
24	5,5	33,4	3,9	33,6	4,1	0,065
25	5,5	33,3	3,8	34,1	4,6	0,065
26	5,4	33,5	4,0	34,1	4,6	0,064
27	5,4	33,6	4,1	33,9	4,4	0,064
28	5,4	33,5	4,0	34,2	4,7	0,064
29	5,4	33,6	4,1	34,2	4,7	0,064
30	5,4	33,8	4,3	34,3	4,8	0,064
31	5,4	34,0	4,5	34,4	4,9	0,064
32	5,4	33,9	4,4	34,5	5,0	0,064
33	5,4	34,1	4,6	34,3	4,8	0,064
34	5,4	33,9	4,4	34,6	5,1	0,064
35	5,5	34,1	4,6	34,7	5,2	0,065
36	5,5	34,0	4,5	34,8	5,3	0,065
37	5,4	34,3	4,8	34,6	5,1	0,064
38	5,5	34,2	4,7	34,9	5,4	0,065
39	5,5	34,2	4,7	34,9	5,4	0,065
40	5,5	34,5	5,0	34,7	5,2	0,065
41	5,5	34,3	4,8	35,0	5,5	0,065
42	5,5	34,6	5,1	34,7	5,2	0,065
43	5,5	34,4	4,9	35,0	5,5	0,065
44	5,5	34,7	5,2	34,8	5,3	0,065
45	5,4	34,5	5,0	35,0	5,5	0,064

Δοκίμιο 2001010 _ 85 A _ 25 Nm _ $T_{αρχ.}$=29,5 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
46	5,4	34,5	5,0	35,3	5,8	0,064
47	5,4	34,6	5,1	35,0	5,5	0,064
48	5,4	34,5	5,0	35,3	5,8	0,064
49	5,4	34,8	5,3	35,0	5,5	0,064
50	5,5	34,6	5,1	35,3	5,8	0,065
51	5,5	34,6	5,1	35,3	5,8	0,065
52	5,5	34,6	5,1	35,3	5,8	0,065
53	5,5	34,9	5,4	35,0	5,5	0,065
54	5,5	34,9	5,4	35,1	5,6	0,065
55	5,5	34,7	5,2	35,4	5,9	0,065
56	5,5	34,9	5,4	35,1	5,6	0,065
57	5,5	34,9	5,4	35,1	5,6	0,065
58	5,5	34,9	5,4	35,1	5,6	0,065
59	5,5	34,8	5,3	35,4	5,9	0,065
60	5,5	34,9	5,4	35,4	5,9	0,065
61	5,5	34,9	5,4	35,2	5,7	0,065
62	5,5	34,8	5,3	35,5	6,0	0,065
63	5,5	35,0	5,5	35,2	5,7	0,065
64	5,5	35,0	5,5	35,1	5,6	0,065
65	5,5	35,0	5,5	35,3	5,8	0,065
66	5,5	35,1	5,6	35,3	5,8	0,065
67	5,5	34,9	5,4	35,4	5,9	0,065
68	5,5	35,2	5,7	35,3	5,8	0,065
69	5,5	34,9	5,4	35,4	5,9	0,065
70	5,5	35,1	5,6	35,3	5,8	0,065
71	5,5	35,0	5,5	35,3	5,8	0,065
72	5,5	35,0	5,5	35,3	5,8	0,065
73	5,5	35,1	5,6	35,3	5,8	0,065
74	5,5	35,2	5,7	35,4	5,9	0,065
75	5,5	35,2	5,7	35,3	5,8	0,065
76	5,5	35,2	5,7	35,3	5,8	0,065
77	5,5	35,0	5,5	35,5	6,0	0,065
78	5,5	35,1	5,6	35,5	6,0	0,065
79	5,5	35,3	5,8	35,3	5,8	0,065
80	5,6	34,9	5,4	35,6	6,1	0,066
81	5,5	35,2	5,7	35,3	5,8	0,065
82	5,6	35,3	5,8	35,4	5,9	0,066
83	5,6	35,1	5,6	35,5	6,0	0,066
84	5,6	35,2	5,7	35,4	5,9	0,066
85	5,6	35,1	5,6	35,7	6,2	0,066
86	5,6	35,2	5,7	35,4	5,9	0,066
87	5,5	35,0	5,5	35,7	6,2	0,065
88	5,5	35,1	5,6	35,6	6,1	0,065
89	5,5	35,3	5,8	35,4	5,9	0,065
90	5,5	35,0	5,5	35,8	6,3	0,065

Δοκίμιο 2001010 _ 85 A _ 25 Nm _ $T_{αρχ.}$=29,5 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
91	5,5	35,1	5,6	35,6	6,1	0,065
92	5,5	35,3	5,8	35,3	5,8	0,065
93	5,6	35,0	5,5	35,7	6,2	0,066
94	5,5	35,0	5,5	35,4	5,9	0,065
95	5,6	35,0	5,5	35,5	6,0	0,066
96	5,6	35,3	5,8	35,3	5,8	0,066
97	5,6	35,0	5,5	35,6	6,1	0,066
98	5,5	35,0	5,5	35,7	6,2	0,065
99	5,6	35,3	5,8	35,3	5,8	0,066
100	5,6	35,1	5,6	35,5	6,0	0,066
101	5,6	35,2	5,7	35,2	5,7	0,066
102	5,6	35,2	5,7	35,3	5,8	0,066
103	5,6	34,9	5,4	35,6	6,1	0,066
104	5,6	35,0	5,5	35,7	6,2	0,066
105	5,6	35,2	5,7	35,3	5,8	0,066
106	5,6	34,9	5,4	35,6	6,1	0,066
107	5,6	35,2	5,7	35,4	5,9	0,066
108	5,6	35,2	5,7	35,3	5,8	0,066
109	5,6	34,9	5,4	35,6	6,1	0,066
110	5,6	35,0	5,5	35,7	6,2	0,066
111	5,6	35,2	5,7	35,5	6,0	0,066
112	5,6	35,2	5,7	35,4	5,9	0,066
113	5,6	35,2	5,7	35,5	6,0	0,066
114	5,5	35,0	5,5	35,7	6,2	0,065
115	5,6	35,3	5,8	35,3	5,8	0,066
116	5,6	35,3	5,8	35,3	5,8	0,066
117	5,6	35,2	5,7	35,4	5,9	0,066
118	5,6	35,3	5,8	35,3	5,8	0,066
119	5,6	35,3	5,8	35,4	5,9	0,066
120	5,6	35,3	5,8	35,3	5,8	0,066
121	5,5	35,0	5,5	35,7	6,2	0,065
122	5,5	35,1	5,6	35,6	6,1	0,065
123	5,5	35,3	5,8	35,3	5,8	0,065
124	5,5	35,2	5,7	35,5	6,0	0,065
125	5,6	35,0	5,5	35,7	6,2	0,066
126	5,6	35,1	5,6	35,7	6,2	0,066
127	5,6	35,1	5,6	35,7	6,2	0,066
128	5,6	35,3	5,8	35,4	5,9	0,066
129	5,6	35,3	5,8	35,5	6,0	0,066
130	5,7	35,1	5,6	35,7	6,2	0,067
131	5,6	35,0	5,5	35,6	6,1	0,066
132	5,6	35,3	5,8	35,5	6,0	0,066
133	5,6	35,2	5,7	35,7	6,2	0,066
134	5,6	35,0	5,5	35,6	6,1	0,066
135	5,6	35,3	5,8	35,4	5,9	0,066

Δοκίμιο 2001010 _ 85 A _ 25 Nm _ $T_{αρχ.}$=29,5 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
136	5,6	35,2	5,7	35,6	6,1	0,066
137	5,6	35,0	5,5	35,7	6,2	0,066
138	5,6	35,2	5,7	35,6	6,1	0,066
139	5,7	35,3	5,8	35,4	5,9	0,067
140	5,8	35,0	5,5	35,7	6,2	0,068
141	5,8	35,2	5,7	35,6	6,1	0,068
142	5,7	35,3	5,8	35,4	5,9	0,067
143	5,6	35,2	5,7	35,4	5,9	0,066
144	5,6	35,3	5,8	35,4	5,9	0,066
145	5,6	35,3	5,8	35,3	5,8	0,066
146	5,7	35,1	5,6	35,6	6,1	0,067
147	5,7	35,3	5,8	35,3	5,8	0,067
148	5,7	35,0	5,5	35,7	6,2	0,067
149	5,7	35,1	5,6	35,6	6,1	0,067
150	5,6	35,3	5,8	35,3	5,8	0,066
151	5,6	35,3	5,8	35,3	5,8	0,066
152	5,6	35,3	5,8	35,3	5,8	0,066
153	5,6	35,2	5,7	35,5	6,0	0,066
154	5,6	35,0	5,5	35,7	6,2	0,066
155	5,6	35,3	5,8	35,3	5,8	0,066
156	5,6	35,3	5,8	35,3	5,8	0,066
157	5,6	35,0	5,5	35,5	6,0	0,066
158	5,6	35,1	5,6	35,7	6,2	0,066
159	5,6	35,0	5,5	35,7	6,2	0,066
160	5,6	35,2	5,7	35,3	5,8	0,066
161	5,6	35,0	5,5	35,4	5,9	0,066
162	5,6	35,3	5,8	35,4	5,9	0,066
163	5,6	35,0	5,5	35,5	6,0	0,066
164	5,6	35,3	5,8	35,3	5,8	0,066
165	5,6	35,0	5,5	35,7	6,2	0,066
166	5,6	35,2	5,7	35,7	6,2	0,066
167	5,5	35,0	5,5	35,6	6,1	0,065
168	5,6	35,3	5,8	35,3	5,8	0,066
169	5,6	35,0	5,5	35,6	6,1	0,066
170	5,6	35,0	5,5	35,4	5,9	0,066
171	5,6	35,2	5,7	35,3	5,8	0,066
172	5,7	35,2	5,7	35,5	6,0	0,067
173	5,7	35,0	5,5	35,7	6,2	0,067
174	5,7	35,0	5,5	35,7	6,2	0,067
175	5,7	35,1	5,6	35,5	6,0	0,067
176	5,7	35,3	5,8	35,3	5,8	0,067
177	5,7	35,3	5,8	35,3	5,8	0,067
178	5,7	35,2	5,7	35,3	5,8	0,067
179	5,7	35,3	5,8	35,4	5,9	0,067
180	5,7	35,2	5,7	35,6	6,1	0,067

Δοκίμιο 2001010 _100 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=28 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
1	6,9	28,4	0,4	29,1	1,1	0,069
2	6,9	28,9	0,9	29,5	1,5	0,069
3	6,9	29,1	1,1	29,9	1,9	0,069
4	6,9	29,3	1,3	30,2	2,2	0,069
5	6,9	29,6	1,6	30,5	2,5	0,069
6	6,9	30,0	2,0	30,7	2,7	0,069
7	6,9	30,5	2,5	31,0	3,0	0,069
8	6,9	30,8	2,8	31,3	3,3	0,069
9	6,9	30,8	2,8	31,8	3,8	0,069
10	6,9	31,4	3,4	31,9	3,9	0,069
11	6,9	31,6	3,6	32,0	4,0	0,069
12	6,9	31,6	3,6	32,5	4,5	0,069
13	6,9	31,9	3,9	32,8	4,8	0,069
14	6,9	32,3	4,3	32,8	4,8	0,069
15	6,9	32,3	4,3	33,2	5,2	0,069
16	6,9	32,8	4,8	33,2	5,2	0,069
17	6,9	33,0	5,0	33,5	5,5	0,069
18	6,9	32,9	4,9	33,9	5,9	0,069
19	6,9	33,4	5,4	33,7	5,7	0,069
20	6,9	33,3	5,3	34,2	6,2	0,069
21	6,9	33,7	5,7	34,1	6,1	0,069
22	6,9	33,6	5,6	34,4	6,4	0,069
23	6,9	34,1	6,1	34,4	6,4	0,069
24	6,9	34,1	6,1	34,5	6,5	0,069
25	6,9	34,2	6,2	34,8	6,8	0,069
26	6,9	34,5	6,5	34,7	6,7	0,069
27	6,9	34,4	6,4	35,1	7,1	0,069
28	6,9	34,4	6,4	35,3	7,3	0,069
29	6,9	34,5	6,5	35,0	7,0	0,069
30	6,9	34,7	6,7	35,3	7,3	0,069
31	6,9	34,7	6,7	35,5	7,5	0,069
32	6,9	35,0	7,0	35,3	7,3	0,069
33	6,9	34,9	6,9	35,4	7,4	0,069
34	6,9	35,2	7,2	35,4	7,4	0,069
35	6,9	34,9	6,9	35,8	7,8	0,069
36	6,9	35,1	7,1	35,7	7,7	0,069
37	6,9	35,3	7,3	35,8	7,8	0,069
38	6,9	35,2	7,2	36,0	8,0	0,069
39	6,9	35,4	7,4	35,7	7,7	0,069
40	6,9	35,3	7,3	35,9	7,9	0,069
41	6,9	35,4	7,4	36,1	8,1	0,069
42	6,9	35,7	7,7	36,0	8,0	0,069
43	6,9	35,7	7,7	35,9	7,9	0,069
44	6,9	35,6	7,6	36,0	8,0	0,069
45	6,9	35,8	7,8	36,0	8,0	0,069

Δοκίμιο 2001010 _ 100 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=28 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
46	6,9	35,8	7,8	36,0	8,0	0,069
47	6,9	35,7	7,7	36,3	8,3	0,069
48	6,9	35,7	7,7	36,2	8,2	0,069
49	6,9	35,7	7,7	36,4	8,4	0,069
50	6,9	36,1	8,1	36,2	8,2	0,069
51	6,9	36,1	8,1	36,2	8,2	0,069
52	7,0	35,7	7,7	36,5	8,5	0,07
53	6,9	35,8	7,8	36,5	8,5	0,069
54	6,9	35,8	7,8	36,6	8,6	0,069
55	6,9	36,2	8,2	36,3	8,3	0,069
56	6,9	35,9	7,9	36,5	8,5	0,069
57	6,9	35,9	7,9	36,7	8,7	0,069
58	7,0	36,0	8,0	36,5	8,5	0,07
59	7,0	36,3	8,3	36,5	8,5	0,07
60	6,9	36,0	8,0	36,7	8,7	0,069
61	6,9	36,0	8,0	36,7	8,7	0,069
62	6,9	36,3	8,3	36,5	8,5	0,069
63	6,9	36,3	8,3	36,5	8,5	0,069
64	7,0	36,0	8,0	36,8	8,8	0,07
65	7,0	36,0	8,0	36,7	8,7	0,07
66	7,0	36,5	8,5	36,5	8,5	0,07
67	7,0	36,3	8,3	36,5	8,5	0,07
68	7,0	36,0	8,0	36,8	8,8	0,07
69	6,9	36,4	8,4	36,5	8,5	0,069
70	7,0	36,2	8,2	36,8	8,8	0,07
71	6,9	36,1	8,1	36,6	8,6	0,069
72	7,0	36,2	8,2	36,8	8,8	0,07
73	7,0	36,2	8,2	36,8	8,8	0,07
74	7,0	36,2	8,2	36,7	8,7	0,07
75	7,0	36,5	8,5	36,6	8,6	0,07
76	7,0	36,3	8,3	36,6	8,6	0,07
77	7,0	36,4	8,4	36,7	8,7	0,07
78	7,0	36,2	8,2	37,0	9,0	0,07
79	7,0	36,6	8,6	36,7	8,7	0,07
80	7,0	36,5	8,5	36,7	8,7	0,07
81	6,8	36,4	8,4	36,9	8,9	0,068
82	7,0	36,6	8,6	36,7	8,7	0,07
83	6,9	36,3	8,3	37,0	9,0	0,069
84	6,9	36,4	8,4	37,0	9,0	0,069
85	6,9	36,5	8,5	36,8	8,8	0,069
86	6,9	36,3	8,3	37,1	9,1	0,069
87	6,9	36,6	8,6	36,8	8,8	0,069
88	6,9	36,5	8,5	37,0	9,0	0,069
89	6,9	36,7	8,7	36,7	8,7	0,069
90	6,9	36,6	8,6	36,9	8,9	0,069

Δοκίμιο 2001010 _100 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=28 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
91	6,9	36,5	8,5	37,0	9,0	0,069
92	6,9	36,7	8,7	36,9	8,9	0,069
93	6,9	36,7	8,7	36,8	8,8	0,069
94	6,8	36,5	8,5	37,2	9,2	0,068
95	6,9	36,4	8,4	37,1	9,1	0,069
96	6,8	36,7	8,7	36,9	8,9	0,068
97	6,9	36,5	8,5	37,1	9,1	0,069
98	6,9	36,7	8,7	36,8	8,8	0,069
99	7,0	36,4	8,4	37,1	9,1	0,07
100	7,0	36,6	8,6	37,2	9,2	0,07
101	6,9	36,5	8,5	37,1	9,1	0,069
102	7,0	36,6	8,6	36,8	8,8	0,07
103	6,9	36,5	8,5	37,0	9,0	0,069
104	7,0	36,4	8,4	37,2	9,2	0,07
105	7,0	36,7	8,7	37,0	9,0	0,07
106	6,9	36,8	8,8	36,9	8,9	0,069
107	6,8	36,7	8,7	37,0	9,0	0,068
108	6,9	36,7	8,7	37,0	9,0	0,069
109	6,9	36,8	8,8	36,9	8,9	0,069
110	6,9	36,7	8,7	37,1	9,1	0,069
111	6,9	36,8	8,8	37,0	9,0	0,069
112	6,9	36,4	8,4	37,4	9,4	0,069
113	6,9	36,6	8,6	37,0	9,0	0,069
114	6,9	36,8	8,8	36,9	8,9	0,069
115	6,9	36,5	8,5	37,3	9,3	0,069
116	6,9	36,6	8,6	37,1	9,1	0,069
117	6,9	36,7	8,7	36,8	8,8	0,069
118	6,9	36,7	8,7	37,0	9,0	0,069
119	6,9	36,7	8,7	36,9	8,9	0,069
120	6,9	36,6	8,6	37,0	9,0	0,069
121	6,9	36,7	8,7	36,9	8,9	0,069
122	6,9	36,7	8,7	37,0	9,0	0,069
123	6,9	36,4	8,4	37,1	9,1	0,069
124	6,9	36,5	8,5	37,1	9,1	0,069
125	6,9	36,4	8,4	37,2	9,2	0,069
126	6,9	36,5	8,5	37,2	9,2	0,069
127	6,9	36,4	8,4	37,4	9,4	0,069
128	6,9	36,7	8,7	36,9	8,9	0,069
129	6,9	36,8	8,8	37,0	9,0	0,069
130	6,9	36,4	8,4	37,3	9,3	0,069
131	6,9	36,7	8,7	36,8	8,8	0,069
132	6,9	36,6	8,6	36,9	8,9	0,069
133	6,9	36,7	8,7	36,9	8,9	0,069
134	6,9	36,5	8,5	36,8	8,8	0,069
135	6,9	36,7	8,7	36,9	8,9	0,069

Δοκίμιο 2001010 _ 100 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=28 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
136	6,9	36,6	8,6	36,9	8,9	0,069
137	6,9	36,5	8,5	36,9	8,9	0,069
138	6,8	36,3	8,3	37,1	9,1	0,068
139	6,9	36,6	8,6	36,8	8,8	0,069
140	6,8	36,6	8,6	36,8	8,8	0,068
141	6,8	36,5	8,5	37,0	9,0	0,068
142	6,8	36,5	8,5	36,8	8,8	0,068
143	6,9	36,2	8,2	37,1	9,1	0,069
144	6,9	36,4	8,4	37,1	9,1	0,069
145	6,8	36,4	8,4	36,9	8,9	0,068
146	6,6	36,5	8,5	36,9	8,9	0,066
147	6,9	36,4	8,4	37,1	9,1	0,069
148	6,9	36,4	8,4	37,0	9,0	0,069
149	7,0	36,2	8,2	37,1	9,1	0,07
150	7,1	36,6	8,6	37,0	9,0	0,071
151	7,2	36,4	8,4	37,0	9,0	0,072
152	7,3	36,7	8,7	36,8	8,8	0,073
153	7,3	36,5	8,5	37,1	9,1	0,073
154	7,3	36,4	8,4	37,3	9,3	0,073
155	7,3	36,5	8,5	37,4	9,4	0,073
156	6,8	36,5	8,5	37,4	9,4	0,068
157	6,8	36,5	8,5	37,4	9,4	0,068
158	6,8	36,6	8,6	37,1	9,1	0,068
159	6,8	36,7	8,7	37,1	9,1	0,068
160	6,8	36,6	8,6	37,2	9,2	0,068
161	6,8	36,7	8,7	37,0	9,0	0,068
162	6,8	36,5	8,5	37,3	9,3	0,068
163	6,8	36,5	8,5	37,4	9,4	0,068
164	6,8	36,5	8,5	37,4	9,4	0,068
165	6,8	36,9	8,9	37,0	9,0	0,068
166	6,8	36,9	8,9	37,0	9,0	0,068
167	6,8	36,5	8,5	37,3	9,3	0,068
168	6,8	36,6	8,6	37,2	9,2	0,068
169	6,8	36,6	8,6	37,0	9,0	0,068
170	6,8	36,6	8,6	37,3	9,3	0,068
171	6,8	36,9	8,9	37,0	9,0	0,068
172	6,8	36,9	8,9	37,0	9,0	0,068
173	6,8	36,5	8,5	37,3	9,3	0,068
174	6,8	36,9	8,9	37,0	9,0	0,068
175	6,8	36,5	8,5	37,1	9,1	0,068
176	6,8	36,5	8,5	37,3	9,3	0,068
177	6,8	36,5	8,5	37,1	9,1	0,068
178	6,8	36,5	8,5	37,3	9,3	0,068
179	6,8	36,5	8,5	37,2	9,2	0,068
180	6,8	36,5	8,5	37,4	9,4	0,068

Δοκίμιο 2001010 _150 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=29,7 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
1	10,2	30,3	0,6	30,7	1,0	0,068
2	10,1	30,6	0,9	31,6	1,9	0,067
3	10,1	31,1	1,4	32,0	2,3	0,067
4	10,3	31,6	1,9	32,9	3,2	0,069
5	10,3	32,5	2,8	33,5	3,8	0,069
6	10,3	33,1	3,4	34,0	4,3	0,069
7	10,3	33,5	3,8	34,9	5,2	0,069
8	10,3	34,0	4,3	35,3	5,6	0,069
9	10,2	34,6	4,9	36,1	6,4	0,068
10	10,2	35,5	5,8	36,5	6,8	0,068
11	10,2	36,1	6,4	36,9	7,2	0,068
12	10,2	36,2	6,5	37,4	7,7	0,068
13	10,2	36,9	7,2	37,8	8,1	0,068
14	10,2	37,4	7,7	38,4	8,7	0,068
15	10,2	37,6	7,9	38,9	9,2	0,068
16	10,2	38,1	8,4	39,3	9,6	0,068
17	10,2	38,3	8,6	39,6	9,9	0,068
18	10,2	38,7	9,0	40,0	10,3	0,068
19	10,2	39,4	9,7	40,1	10,4	0,068
20	10,2	39,5	9,8	40,6	10,9	0,068
21	10,2	39,7	10,0	40,7	11,0	0,068
22	10,2	39,9	10,2	41,1	11,4	0,068
23	10,2	40,3	10,6	41,4	11,7	0,068
24	10,2	40,5	10,8	41,3	11,6	0,068
25	10,1	41,1	11,4	41,5	11,8	0,067
26	10,2	41,1	11,4	41,9	12,2	0,068
27	10,2	41,1	11,4	42,0	12,3	0,068
28	10,2	41,5	11,8	42,1	12,4	0,068
29	10,2	41,6	11,9	42,2	12,5	0,068
30	10,6	41,6	11,9	42,6	12,9	0,071
31	10,6	42,0	12,3	42,8	13,1	0,071
32	10,6	42,1	12,4	43,1	13,4	0,071
33	10,6	42,2	12,5	43,2	13,5	0,071
34	10,5	42,4	12,7	43,3	13,6	0,070
35	10,5	42,5	12,8	43,2	13,5	0,070
36	10,5	42,6	12,9	43,6	13,9	0,070
37	10,5	43,1	13,4	43,3	13,6	0,070
38	10,5	42,9	13,2	43,8	14,1	0,070
39	10,5	43,0	13,3	44,0	14,3	0,070
40	10,5	43,5	13,8	43,7	14,0	0,070
41	10,5	43,2	13,5	44,0	14,3	0,070
42	10,5	43,6	13,9	43,9	14,2	0,070
43	10,6	43,3	13,6	44,3	14,6	0,071
44	10,6	43,7	14,0	44,0	14,3	0,071
45	10,7	43,7	14,0	44,2	14,5	0,071

Δοκίμιο 2001010 _ 150 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=29,7 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
46	10,7	43,8	14,1	44,4	14,7	0,071
47	10,6	43,6	13,9	44,6	14,9	0,071
48	10,6	44,0	14,3	44,3	14,6	0,071
49	10,6	44,0	14,3	44,3	14,6	0,071
50	10,6	44,1	14,4	44,4	14,7	0,071
51	10,6	44,0	14,3	44,4	14,7	0,071
52	10,6	43,9	14,2	44,9	15,2	0,071
53	10,6	44,4	14,7	44,4	14,7	0,071
54	10,6	44,4	14,7	44,7	15,0	0,071
55	10,6	44,2	14,5	44,7	15,0	0,071
56	10,6	44,4	14,7	44,9	15,2	0,071
57	10,6	44,3	14,6	44,8	15,1	0,071
58	10,5	44,5	14,8	44,8	15,1	0,070
59	10,5	44,1	14,4	45,2	15,5	0,070
60	10,6	44,3	14,6	44,8	15,1	0,071
61	10,6	44,2	14,5	45,3	15,6	0,071
62	10,6	44,4	14,7	44,9	15,2	0,071
63	10,6	44,3	14,6	45,2	15,5	0,071
64	10,4	44,4	14,7	44,8	15,1	0,069
65	10,5	44,4	14,7	45,2	15,5	0,070
66	10,5	44,3	14,6	45,3	15,6	0,070
67	10,5	44,4	14,7	45,1	15,4	0,070
68	10,5	44,4	14,7	45,3	15,6	0,070
69	10,5	44,6	14,9	44,9	15,2	0,070
70	10,6	44,5	14,8	45,0	15,3	0,071
71	10,5	44,8	15,1	45,0	15,3	0,070
72	10,5	44,7	15,0	44,9	15,2	0,070
73	10,5	44,4	14,7	45,3	15,6	0,070
74	10,5	44,4	14,7	45,3	15,6	0,070
75	10,5	44,4	14,7	45,4	15,7	0,070
76	10,4	44,5	14,8	45,3	15,6	0,069
77	10,4	44,7	15,0	45,1	15,4	0,069
78	10,5	44,8	15,1	45,3	15,6	0,070
79	10,5	44,8	15,1	45,1	15,4	0,070
80	10,5	44,5	14,8	45,3	15,6	0,070
81	10,4	44,4	14,7	45,4	15,7	0,069
82	10,4	44,8	15,1	45,0	15,3	0,069
83	10,4	44,8	15,1	45,0	15,3	0,069
84	10,4	44,8	15,1	45,1	15,4	0,069
85	10,4	44,9	15,2	45,1	15,4	0,069
86	10,3	44,8	15,1	45,1	15,4	0,069
87	10,4	44,8	15,1	45,0	15,3	0,069
88	10,4	44,5	14,8	45,3	15,6	0,069
89	10,4	44,8	15,1	45,1	15,4	0,069
90	10,3	44,8	15,1	44,9	15,2	0,069

Δοκίμιο 2001010 _150 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=29,7 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
91	10,4	44,7	15,0	45,0	15,3	0,069
92	10,4	44,4	14,7	45,3	15,6	0,069
93	10,4	44,8	15,1	45,1	15,4	0,069
94	10,3	44,8	15,1	45,1	15,4	0,069
95	10,3	44,8	15,1	45,1	15,4	0,069
96	10,3	44,4	14,7	45,2	15,5	0,069
97	10,4	44,8	15,1	44,9	15,2	0,069
98	10,5	44,8	15,1	45,0	15,3	0,070
99	10,5	44,8	15,1	44,9	15,2	0,070
100	10,5	44,6	14,9	44,9	15,2	0,070
101	10,5	44,6	14,9	45,3	15,6	0,070
102	10,5	44,5	14,8	45,3	15,6	0,070
103	10,5	45,0	15,3	45,2	15,5	0,070
104	10,5	44,5	14,8	45,3	15,6	0,070
105	10,5	44,9	15,2	45,2	15,5	0,070
106	10,5	44,8	15,1	45,2	15,5	0,070
107	10,8	44,6	14,9	45,4	15,7	0,072
108	11,0	45,0	15,3	45,2	15,5	0,073
109	10,9	44,8	15,1	45,2	15,5	0,073
110	10,9	45,0	15,3	45,3	15,6	0,073
111	10,8	44,7	15,0	45,5	15,8	0,072
112	10,8	45,0	15,3	45,3	15,6	0,072
113	10,4	45,0	15,3	45,1	15,4	0,069
114	10,4	44,9	15,2	45,3	15,6	0,069
115	10,4	44,9	15,2	45,0	15,3	0,069
116	10,3	45,0	15,3	45,1	15,4	0,069
117	10,3	44,8	15,1	45,0	15,3	0,069
118	10,3	44,4	14,7	45,3	15,6	0,069
119	10,3	44,8	15,1	45,0	15,3	0,069
120	10,3	44,7	15,0	44,9	15,2	0,069
121	10,3	44,7	15,0	44,8	15,1	0,069
122	10,3	44,7	15,0	44,8	15,1	0,069
123	10,3	44,7	15,0	44,8	15,1	0,069
124	10,3	44,0	14,3	45,0	15,3	0,069
125	10,3	44,3	14,6	44,6	14,9	0,069
126	10,3	44,4	14,7	44,5	14,8	0,069
127	10,3	44,0	14,3	44,4	14,7	0,069
128	10,3	43,9	14,2	44,8	15,1	0,069
129	10,3	44,1	14,4	44,4	14,7	0,069
130	10,3	43,7	14,0	44,5	14,8	0,069
131	10,2	43,9	14,2	44,4	14,7	0,068
132	10,2	44,0	14,3	44,1	14,4	0,068
133	10,2	43,6	13,9	44,4	14,7	0,068
134	10,2	43,9	14,2	44,1	14,4	0,068
135	10,2	43,9	14,2	44,0	14,3	0,068

Δοκίμιο 2001010 _ 150 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=29,7 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
136	10,2	43,8	14,1	44,0	14,3	0,068
137	10,2	43,5	13,8	44,3	14,6	0,068
138	10,2	43,8	14,1	44,1	14,4	0,068
139	10,2	43,6	13,9	44,3	14,6	0,068
140	10,2	43,6	13,9	44,2	14,5	0,068
141	10,1	43,6	13,9	43,8	14,1	0,067
142	10,3	43,3	13,6	44,2	14,5	0,069
143	10,3	43,5	13,8	44,0	14,3	0,069
144	10,2	43,6	13,9	43,9	14,2	0,068
145	10,3	43,6	13,9	43,9	14,2	0,069
146	10,3	43,2	13,5	44,1	14,4	0,069
147	10,3	43,4	13,7	43,7	14,0	0,069
148	10,3	43,3	13,6	43,9	14,2	0,069
149	10,3	43,6	13,9	43,7	14,0	0,069
150	10,2	43,3	13,6	44,0	14,3	0,068
151	10,2	43,5	13,8	43,7	14,0	0,068
152	10,3	43,5	13,8	43,7	14,0	0,069
153	10,3	43,5	13,8	44,0	14,3	0,069
154	10,2	43,2	13,5	44,1	14,4	0,068
155	10,1	43,4	13,7	43,8	14,1	0,067
156	10,2	43,2	13,5	44,0	14,3	0,068
157	10,2	43,2	13,5	43,8	14,1	0,068
158	10,2	43,6	13,9	43,6	13,9	0,068
159	10,2	43,2	13,5	43,7	14,0	0,068
160	10,2	43,5	13,8	43,6	13,9	0,068
161	10,2	43,2	13,5	43,7	14,0	0,068
162	10,2	43,1	13,4	43,8	14,1	0,068
163	10,3	43,4	13,7	43,6	13,9	0,069
164	10,3	43,2	13,5	43,7	14,0	0,069
165	10,3	43,2	13,5	43,3	13,6	0,069
166	10,3	43,3	13,6	43,5	13,8	0,069
167	10,3	43,1	13,4	43,5	13,8	0,069
168	10,2	42,8	13,1	43,8	14,1	0,068
169	10,3	43,2	13,5	43,4	13,7	0,069
170	10,3	42,9	13,2	43,9	14,2	0,069
171	10,3	42,8	13,1	43,8	14,1	0,069
172	10,2	43,2	13,5	43,4	13,7	0,068
173	10,3	43,0	13,3	43,6	13,9	0,069
174	10,2	42,8	13,1	43,8	14,1	0,068
175	10,2	42,8	13,1	43,9	14,2	0,068
176	10,2	42,8	13,1	43,6	13,9	0,068
177	10,3	42,8	13,1	43,6	13,9	0,069
178	10,3	43,2	13,5	43,5	13,8	0,069
179	10,2	43,1	13,4	43,3	13,6	0,068
180	10,2	43,1	13,4	43,4	13,7	0,068

4.2 Αναλυτικές Μετρήσεις Συνδέσμου 2212021 Cu I

Δοκίμιο 2212021 _90 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=23,6 °C						
α/α	ΔV [mV]	θ1 [°C]	Δθ1 [°C]	θ2 [°C]	Δθ2 [°C]	R [mΩ]
1	7,2	33,6	0,0	33,7	0,1	0,080
2	7,2	33,7	0,1	33,8	0,2	0,080
3	7,2	34,1	0,5	33,7	0,1	0,080
4	7,2	34,1	0,5	34,1	0,5	0,080
5	7,2	34,3	0,7	34,2	0,6	0,080
6	7,2	34,5	0,9	34,4	0,8	0,080
7	7,2	34,7	1,1	34,3	0,7	0,080
8	7,2	34,9	1,3	34,5	0,9	0,080
9	7,2	35,1	1,5	34,7	1,1	0,080
10	7,2	35,3	1,7	34,9	1,3	0,080
11	7,3	35,4	1,8	34,9	1,3	0,081
12	7,2	35,5	1,9	35,3	1,7	0,080
13	7,2	35,8	2,2	35,1	1,5	0,080
14	7,3	35,8	2,2	35,3	1,7	0,081
15	7,2	35,8	2,2	35,5	1,9	0,080
16	7,2	36,1	2,5	35,3	1,7	0,080
17	7,2	36,1	2,5	35,6	2,0	0,080
18	7,2	36,5	2,9	35,6	2,0	0,080
19	7,2	36,3	2,7	35,9	2,3	0,080
20	7,2	36,3	2,7	36,1	2,5	0,080
21	7,2	36,5	2,9	36,0	2,4	0,080
22	7,2	36,6	3,0	36,1	2,5	0,080
23	7,2	36,7	3,1	36,1	2,5	0,080
24	7,3	36,8	3,2	36,3	2,7	0,081
25	7,3	37,0	3,4	36,1	2,5	0,081
26	7,2	37,0	3,4	36,1	2,5	0,080
27	7,3	37,1	3,5	36,2	2,6	0,081
28	7,3	37,1	3,5	36,1	2,5	0,081
29	7,2	37,2	3,6	36,4	2,8	0,080
30	7,3	37,1	3,5	36,2	2,6	0,081
31	7,3	37,1	3,5	36,5	2,9	0,081
32	7,3	37,1	3,5	36,6	3,0	0,081
33	7,3	37,2	3,6	36,5	2,9	0,081
34	7,3	37,4	3,8	36,3	2,7	0,081
35	7,2	37,2	3,6	36,8	3,2	0,080
36	7,3	37,4	3,8	36,5	2,9	0,081
37	7,3	37,5	3,9	36,5	2,9	0,081
38	7,2	37,4	3,8	36,5	2,9	0,080
39	7,3	37,3	3,7	36,7	3,1	0,081
40	7,3	37,4	3,8	36,8	3,2	0,081
41	7,3	37,4	3,8	36,6	3,0	0,081
42	7,3	37,4	3,8	36,7	3,1	0,081
43	7,3	37,6	4,0	36,5	2,9	0,081
44	7,3	37,5	3,9	36,6	3,0	0,081
45	7,3	37,6	4,0	36,4	2,8	0,081

Δοκίμιο 2212021 _90 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=23,6 °C						
α/α	ΔV [mV]	θ1 [°C]	Δθ1 [°C]	θ2 [°C]	Δθ2 [°C]	R [mΩ]
46	7,2	37,5	3,9	36,5	2,9	0,080
47	7,3	37,5	3,9	36,6	3,0	0,081
48	7,3	37,6	4,0	36,5	2,9	0,081
49	7,3	37,4	3,8	36,7	3,1	0,081
50	7,2	37,4	3,8	36,8	3,2	0,080
51	7,3	37,6	4,0	36,5	2,9	0,081
52	7,3	37,6	4,0	36,6	3,0	0,081
53	7,2	37,6	4,0	36,5	2,9	0,080
54	7,2	37,5	3,9	36,7	3,1	0,080
55	7,3	37,6	4,0	36,6	3,0	0,081
56	7,3	37,5	3,9	36,7	3,1	0,081
57	7,3	37,7	4,1	36,5	2,9	0,081
58	7,3	37,4	3,8	36,8	3,2	0,081
59	7,2	37,6	4,0	36,7	3,1	0,080
60	7,3	37,7	4,1	36,5	2,9	0,081
61	7,3	37,5	3,9	36,5	2,9	0,081
62	7,3	37,5	3,9	36,8	3,2	0,081
63	7,2	37,7	4,1	36,5	2,9	0,080
64	7,2	37,3	3,7	36,7	3,1	0,080
65	7,2	37,3	3,7	36,7	3,1	0,080
66	7,3	37,6	4,0	36,5	2,9	0,081
67	7,2	37,6	4,0	36,5	2,9	0,080
68	7,2	37,4	3,8	36,7	3,1	0,080
69	7,2	37,4	3,8	36,8	3,2	0,080
70	7,2	37,4	3,8	36,7	3,1	0,080
71	7,2	37,7	4,1	36,5	2,9	0,080
72	7,2	37,5	3,9	36,5	2,9	0,080
73	7,2	37,4	3,8	36,5	2,9	0,080
74	7,2	37,5	3,9	36,5	2,9	0,080
75	7,2	37,5	3,9	36,5	2,9	0,080
76	7,3	37,5	3,9	36,3	2,7	0,081
77	7,2	37,4	3,8	36,5	2,9	0,080
78	7,2	37,6	4,0	36,3	2,7	0,080
79	7,3	37,5	3,9	36,4	2,8	0,081
80	7,2	37,3	3,7	36,7	3,1	0,080
81	7,2	37,3	3,7	36,6	3,0	0,080
82	7,2	37,5	3,9	36,4	2,8	0,080
83	7,2	37,4	3,8	36,5	2,9	0,080
84	7,2	37,4	3,8	36,2	2,6	0,080
85	7,2	37,5	3,9	36,4	2,8	0,080
86	7,2	37,4	3,8	36,3	2,7	0,080
87	7,2	37,2	3,6	36,5	2,9	0,080
88	7,2	37,2	3,6	36,5	2,9	0,080
89	7,2	37,4	3,8	36,3	2,7	0,080
90	7,2	37,2	3,6	36,6	3,0	0,080

Δοκίμιο 2212021 _90 A _ 25 Nm _Ταρχ.=23,6 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
91	7,2	37,2	3,6	36,5	2,9	0,080
92	7,2	37,4	3,8	36,2	2,6	0,080
93	7,2	37,3	3,7	36,5	2,9	0,080
94	7,2	37,4	3,8	36,1	2,5	0,080
95	7,2	37,4	3,8	36,1	2,5	0,080
96	7,2	37,1	3,5	36,4	2,8	0,080
97	7,2	37,4	3,8	36,1	2,5	0,080
98	7,2	37,1	3,5	36,5	2,9	0,080
99	7,2	37,4	3,8	36,1	2,5	0,080
100	7,1	37,2	3,6	36,4	2,8	0,079
101	7,2	37,4	3,8	36,3	2,7	0,080
102	7,2	37,4	3,8	36,3	2,7	0,080
103	7,2	37,1	3,5	36,5	2,9	0,080
104	7,1	37,2	3,6	36,5	2,9	0,079
105	7,2	37,2	3,6	36,3	2,7	0,080
106	7,2	37,2	3,6	36,4	2,8	0,080
107	7,2	37,1	3,5	36,4	2,8	0,080
108	7,2	37,1	3,5	36,5	2,9	0,080
109	7,2	37,2	3,6	36,4	2,8	0,080
110	7,2	37,0	3,4	36,5	2,9	0,080
111	7,2	37,3	3,7	36,4	2,8	0,080
112	7,2	37,0	3,4	36,4	2,8	0,080
113	7,2	37,4	3,8	36,1	2,5	0,080
114	7,2	37,4	3,8	36,1	2,5	0,080
115	7,2	37,4	3,8	36,1	2,5	0,080
116	7,2	37,1	3,5	36,5	2,9	0,080
117	7,2	37,3	3,7	36,2	2,6	0,080
118	7,2	37,4	3,8	36,2	2,6	0,080
119	7,2	37,4	3,8	36,2	2,6	0,080
120	7,2	37,1	3,5	36,5	2,9	0,080
121	7,2	37,4	3,8	36,2	2,6	0,080
122	7,2	37,4	3,8	36,4	2,8	0,080
123	7,2	37,4	3,8	36,3	2,7	0,080
124	7,2	37,3	3,7	36,1	2,5	0,080
125	7,2	37,1	3,5	36,5	2,9	0,080
126	7,2	37,3	3,7	36,3	2,7	0,080
127	7,2	37,1	3,5	36,7	3,1	0,080
128	7,1	37,3	3,7	36,1	2,5	0,079
129	7,2	37,4	3,8	36,3	2,7	0,080
130	7,3	37,4	3,8	36,2	2,6	0,081
131	7,3	37,1	3,5	36,6	3,0	0,081
132	7,3	37,4	3,8	36,1	2,5	0,081
133	7,3	37,2	3,6	36,5	2,9	0,081
134	7,3	37,2	3,6	36,5	2,9	0,081
135	7,2	37,3	3,7	36,2	2,6	0,080

Δοκίμιο 2212021 _90 A _ 25 Nm _Ταρχ.=23,6 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
136	7,3	37,1	3,5	36,5	2,9	0,081
137	7,2	37,4	3,8	36,2	2,6	0,080
138	7,3	37,4	3,8	36,1	2,5	0,081
139	7,3	37,4	3,8	36,2	2,6	0,081
140	7,3	37,4	3,8	36,5	2,9	0,081
141	7,3	37,4	3,8	36,2	2,6	0,081
142	7,3	37,4	3,8	36,6	3,0	0,081
143	7,2	37,4	3,8	36,5	2,9	0,080
144	7,2	37,4	3,8	36,2	2,6	0,080
145	7,2	37,4	3,8	36,6	3,0	0,080
146	7,2	37,3	3,7	36,5	2,9	0,080
147	7,3	37,4	3,8	36,3	2,7	0,081
148	7,3	37,4	3,8	36,1	2,5	0,081
149	7,3	37,4	3,8	36,5	2,9	0,081
150	7,3	37,4	3,8	36,4	2,8	0,081
151	7,3	37,4	3,8	36,3	2,7	0,081
152	7,3	37,4	3,8	36,4	2,8	0,081
153	7,3	37,3	3,7	36,6	3,0	0,081
154	7,3	37,4	3,8	36,5	2,9	0,081
155	7,3	37,3	3,7	36,8	3,2	0,081
156	7,2	37,3	3,7	36,6	3,0	0,080
157	7,3	37,3	3,7	36,5	2,9	0,081
158	7,3	37,4	3,8	36,4	2,8	0,081
159	7,3	37,4	3,8	36,5	2,9	0,081
160	7,3	37,5	3,9	36,2	2,6	0,081
161	7,3	37,4	3,8	36,5	2,9	0,081
162	7,3	37,3	3,7	36,5	2,9	0,081
163	7,3	37,4	3,8	36,6	3,0	0,081
164	7,3	37,4	3,8	36,5	2,9	0,081
165	7,3	37,3	3,7	36,5	2,9	0,081
166	7,3	37,4	3,8	36,5	2,9	0,081
167	7,3	37,4	3,8	36,4	2,8	0,081
168	7,3	37,5	3,9	36,4	2,8	0,081
169	7,3	37,4	3,8	36,5	2,9	0,081
170	7,3	37,5	3,9	36,4	2,8	0,081
171	7,3	37,4	3,8	36,5	2,9	0,081
172	7,3	37,5	3,9	36,5	2,9	0,081
173	7,3	37,4	3,8	36,6	3,0	0,081
174	7,3	37,4	3,8	36,7	3,1	0,081
175	7,3	37,5	3,9	36,4	2,8	0,081
176	7,3	37,4	3,8	36,5	2,9	0,081
177	7,3	37,5	3,9	36,4	2,8	0,081
178	7,3	37,4	3,8	36,5	2,9	0,081
179	7,3	37,4	3,8	36,5	2,9	0,081
180	7,3	37,4	3,8	36,5	2,9	0,081

Δοκίμιο 2212021 _100 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=32,2 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
1	8,2	32,5	0,3	32,5	0,3	0,082
2	8,2	33,0	0,8	32,9	0,7	0,082
3	8,1	33,2	1,0	33,3	1,1	0,081
4	8,1	33,6	1,4	33,4	1,2	0,081
5	8,1	34,0	1,8	33,6	1,4	0,081
6	8,0	34,3	2,1	33,8	1,6	0,080
7	8,0	34,5	2,3	34,2	2,0	0,080
8	8,0	34,9	2,7	34,4	2,2	0,080
9	8,0	35,0	2,8	34,7	2,5	0,080
10	8,1	35,3	3,1	34,9	2,7	0,081
11	8,0	35,4	3,2	35,3	3,1	0,080
12	8,1	35,7	3,5	35,5	3,3	0,081
13	8,0	36,0	3,8	35,4	3,2	0,080
14	8,0	36,2	4,0	35,6	3,4	0,080
15	8,0	36,4	4,2	35,8	3,6	0,080
16	8,1	36,4	4,2	36,1	3,9	0,081
17	8,1	36,7	4,5	36,1	3,9	0,081
18	8,1	37,0	4,8	36,3	4,1	0,081
19	8,1	36,9	4,7	36,4	4,2	0,081
20	8,0	37,2	5,0	36,3	4,1	0,080
21	8,0	37,3	5,1	36,7	4,5	0,080
22	8,1	37,4	5,2	36,8	4,6	0,081
23	8,0	37,6	5,4	36,6	4,4	0,080
24	8,0	37,7	5,5	36,5	4,3	0,080
25	8,0	37,6	5,4	36,8	4,6	0,080
26	8,0	37,8	5,6	36,8	4,6	0,080
27	8,0	37,8	5,6	36,9	4,7	0,080
28	8,1	37,8	5,6	37,2	5,0	0,081
29	8,0	37,9	5,7	37,2	5,0	0,080
30	8,0	37,9	5,7	37,3	5,1	0,080
31	8,0	38,2	6,0	37,0	4,8	0,080
32	8,0	38,2	6,0	37,4	5,2	0,080
33	8,0	38,2	6,0	37,2	5,0	0,080
34	8,0	38,2	6,0	37,5	5,3	0,080
35	8,1	38,4	6,2	37,2	5,0	0,081
36	8,1	38,4	6,2	37,4	5,2	0,081
37	8,0	38,2	6,0	37,3	5,1	0,080
38	8,1	38,3	6,1	37,2	5,0	0,081
39	8,1	38,3	6,1	37,3	5,1	0,081
40	8,1	38,5	6,3	37,2	5,0	0,081
41	8,0	38,6	6,4	37,3	5,1	0,080
42	8,1	38,6	6,4	37,3	5,1	0,081
43	8,1	38,6	6,4	37,2	5,0	0,081
44	8,1	38,4	6,2	37,5	5,3	0,081
45	8,1	38,6	6,4	37,3	5,1	0,081

Δοκίμιο 2212021 _100 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=32,2 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
46	8,1	38,7	6,5	37,4	5,2	0,081
47	8,1	38,6	6,4	37,6	5,4	0,081
48	8,1	38,7	6,5	37,3	5,1	0,081
49	8,0	38,6	6,4	37,7	5,5	0,080
50	8,0	38,5	6,3	37,6	5,4	0,080
51	8,0	38,7	6,5	37,7	5,5	0,080
52	8,1	38,7	6,5	37,6	5,4	0,081
53	8,0	38,7	6,5	37,5	5,3	0,080
54	8,0	38,7	6,5	37,4	5,2	0,080
55	8,0	38,6	6,4	37,7	5,5	0,080
56	8,0	38,8	6,6	37,6	5,4	0,080
57	8,0	38,6	6,4	37,6	5,4	0,080
58	8,0	38,7	6,5	37,5	5,3	0,080
59	8,0	38,7	6,5	37,4	5,2	0,080
60	8,0	38,7	6,5	37,4	5,2	0,080
61	8,0	38,6	6,4	37,4	5,2	0,080
62	8,0	38,7	6,5	37,8	5,6	0,080
63	8,0	38,6	6,4	37,6	5,4	0,080
64	8,1	38,7	6,5	37,4	5,2	0,081
65	8,0	38,6	6,4	37,7	5,5	0,080
66	8,0	38,6	6,4	37,5	5,3	0,080
67	8,0	38,6	6,4	37,4	5,2	0,080
68	8,0	38,6	6,4	37,6	5,4	0,080
69	8,0	38,6	6,4	37,6	5,4	0,080
70	8,0	38,6	6,4	37,7	5,5	0,080
71	8,0	38,6	6,4	37,5	5,3	0,080
72	8,0	38,6	6,4	37,8	5,6	0,080
73	8,0	38,6	6,4	37,7	5,5	0,080
74	8,0	38,8	6,6	37,4	5,2	0,080
75	8,0	38,8	6,6	37,5	5,3	0,080
76	8,0	38,6	6,4	37,7	5,5	0,080
77	7,9	38,7	6,5	37,4	5,2	0,079
78	8,0	38,6	6,4	37,7	5,5	0,080
79	8,0	38,8	6,6	37,5	5,3	0,080
80	8,0	38,6	6,4	37,8	5,6	0,080
81	8,0	38,6	6,4	37,8	5,6	0,080
82	8,0	38,7	6,5	37,6	5,4	0,080
83	8,0	38,7	6,5	37,4	5,2	0,080
84	8,0	38,8	6,6	37,4	5,2	0,080
85	8,0	38,6	6,4	37,8	5,6	0,080
86	8,0	38,6	6,4	37,5	5,3	0,080
87	7,9	38,6	6,4	37,7	5,5	0,079
88	8,0	38,6	6,4	37,4	5,2	0,080
89	7,9	38,6	6,4	37,6	5,4	0,079
90	7,9	38,8	6,6	37,6	5,4	0,079

Δοκίμιο 2212021 _100 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=32,2 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
91	8,0	38,8	6,6	37,4	5,2	0,080
92	7,9	38,7	6,5	37,4	5,2	0,079
93	8,0	38,6	6,4	37,4	5,2	0,080
94	8,0	38,6	6,4	37,7	5,5	0,080
95	8,0	38,7	6,5	37,4	5,2	0,080
96	8,0	38,6	6,4	37,7	5,5	0,080
97	8,0	38,6	6,4	37,7	5,5	0,080
98	8,0	38,6	6,4	37,5	5,3	0,080
99	8,0	38,6	6,4	37,6	5,4	0,080
100	8,0	38,7	6,5	37,5	5,3	0,080
101	8,0	38,6	6,4	37,7	5,5	0,080
102	8,0	38,6	6,4	37,6	5,4	0,080
103	8,0	38,5	6,3	37,7	5,5	0,080
104	8,0	38,6	6,4	37,8	5,6	0,080
105	8,0	38,7	6,5	37,8	5,6	0,080
106	8,0	38,9	6,7	37,7	5,5	0,080
107	8,0	38,7	6,5	37,6	5,4	0,080
108	8,0	38,6	6,4	37,8	5,6	0,080
109	8,0	38,6	6,4	37,8	5,6	0,080
110	8,0	38,8	6,6	37,6	5,4	0,080
111	8,0	38,7	6,5	37,7	5,5	0,080
112	8,0	38,9	6,7	37,6	5,4	0,080
113	8,2	38,7	6,5	37,6	5,4	0,082
114	8,2	38,9	6,7	37,6	5,4	0,082
115	8,1	38,9	6,7	37,5	5,3	0,081
116	8,1	38,8	6,6	38,0	5,8	0,081
117	8,1	38,9	6,7	37,9	5,7	0,081
118	8,1	38,6	6,4	37,8	5,6	0,081
119	8,1	38,7	6,5	37,8	5,6	0,081
120	8,1	38,8	6,6	37,8	5,6	0,081
121	8,1	38,9	6,7	37,4	5,2	0,081
122	8,1	38,9	6,7	37,7	5,5	0,081
123	8,1	38,8	6,6	38,0	5,8	0,081
124	8,1	38,9	6,7	37,7	5,5	0,081
125	8,1	38,9	6,7	37,6	5,4	0,081
126	8,1	38,8	6,6	37,8	5,6	0,081
127	8,1	38,8	6,6	37,6	5,4	0,081
128	8,1	38,8	6,6	37,8	5,6	0,081
129	8,0	38,8	6,6	37,8	5,6	0,080
130	8,1	38,8	6,6	37,6	5,4	0,081
131	8,1	38,9	6,7	37,7	5,5	0,081
132	8,0	38,7	6,5	37,9	5,7	0,080
133	8,0	38,9	6,7	37,6	5,4	0,080
134	8,1	38,7	6,5	37,8	5,6	0,081
135	8,1	39,0	6,8	37,7	5,5	0,081

Δοκίμιο 2212021 _100 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=32,2 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
136	8,1	38,9	6,7	37,7	5,5	0,081
137	8,0	38,9	6,7	37,5	5,3	0,080
138	8,1	38,7	6,5	37,5	5,3	0,081
139	8,1	38,7	6,5	37,4	5,2	0,081
140	8,1	38,9	6,7	37,4	5,2	0,081
141	8,1	38,7	6,5	37,7	5,5	0,081
142	8,1	38,7	6,5	37,8	5,6	0,081
143	8,1	38,7	6,5	37,6	5,4	0,081
144	8,1	38,7	6,5	37,7	5,5	0,081
145	8,0	38,8	6,6	37,4	5,2	0,080
146	8,1	38,6	6,4	37,7	5,5	0,081
147	8,1	38,7	6,5	37,4	5,2	0,081
148	8,1	38,7	6,5	37,4	5,2	0,081
149	8,1	38,6	6,4	37,5	5,3	0,081
150	8,1	38,7	6,5	37,4	5,2	0,081
151	8,1	38,7	6,5	37,4	5,2	0,081
152	8,1	38,6	6,4	37,5	5,3	0,081
153	8,1	38,7	6,5	37,4	5,2	0,081
154	8,1	38,7	6,5	37,3	5,1	0,081
155	8,1	38,6	6,4	37,6	5,4	0,081
156	8,1	38,5	6,3	37,5	5,3	0,081
157	8,1	38,7	6,5	37,2	5,0	0,081
158	8,1	38,6	6,4	37,3	5,1	0,081
159	8,1	38,6	6,4	37,6	5,4	0,081
160	8,1	38,6	6,4	37,1	4,9	0,081
161	8,1	38,4	6,2	37,4	5,2	0,081
162	8,2	38,4	6,2	37,5	5,3	0,082
163	8,1	38,5	6,3	37,4	5,2	0,081
164	8,2	38,6	6,4	37,2	5,0	0,082
165	8,2	38,4	6,2	37,4	5,2	0,082
166	8,2	38,4	6,2	37,4	5,2	0,082
167	8,2	38,5	6,3	37,3	5,1	0,082
168	8,2	38,4	6,2	37,3	5,1	0,082
169	8,2	38,3	6,1	37,4	5,2	0,082
170	8,2	38,5	6,3	37,3	5,1	0,082
171	8,2	38,3	6,1	37,4	5,2	0,082
172	8,2	38,6	6,4	37,1	4,9	0,082
173	8,2	38,5	6,3	37,2	5,0	0,082
174	8,2	38,3	6,1	37,4	5,2	0,082
175	8,2	38,3	6,1	37,4	5,2	0,082
176	8,2	38,5	6,3	37,3	5,1	0,082
177	8,2	38,6	6,4	37,1	4,9	0,082
178	8,2	38,4	6,2	37,4	5,2	0,082
179	8,2	38,4	6,2	37,3	5,1	0,082
180	8,2	38,4	6,2	37,2	5,0	0,082

Δοκίμιο 2212021 _120 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=31 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
1	9,5	31,5	0,5	31,7	0,7	0,079
2	9,4	31,9	0,9	32,2	1,2	0,078
3	9,4	32,5	1,5	32,4	1,4	0,078
4	9,3	32,9	1,9	32,8	1,8	0,078
5	9,4	33,3	2,3	33,5	2,5	0,078
6	9,5	34,0	3,0	33,6	2,6	0,079
7	9,5	34,2	3,2	34,1	3,1	0,079
8	9,5	34,8	3,8	34,3	3,3	0,079
9	9,5	35,1	4,1	34,5	3,5	0,079
10	9,4	35,4	4,4	35,0	4,0	0,078
11	9,5	36,0	5,0	35,3	4,3	0,079
12	9,5	36,1	5,1	35,5	4,5	0,079
13	9,5	36,5	5,5	36,0	5,0	0,079
14	9,5	36,7	5,7	36,2	5,2	0,079
15	9,5	37,0	6,0	36,5	5,5	0,079
16	9,5	37,3	6,3	36,5	5,5	0,079
17	9,4	37,5	6,5	36,6	5,6	0,078
18	9,5	37,9	6,9	37,1	6,1	0,079
19	9,5	37,9	6,9	37,3	6,3	0,079
20	9,5	38,2	7,2	37,3	6,3	0,079
21	9,5	38,3	7,3	37,7	6,7	0,079
22	9,5	38,7	7,7	37,6	6,6	0,079
23	9,5	38,7	7,7	37,9	6,9	0,079
24	9,5	39,0	8,0	37,9	6,9	0,079
25	9,6	39,0	8,0	38,0	7,0	0,080
26	9,5	39,1	8,1	38,1	7,1	0,079
27	9,6	39,4	8,4	38,6	7,6	0,080
28	9,6	39,4	8,4	38,5	7,5	0,080
29	9,5	39,6	8,6	38,6	7,6	0,079
30	9,5	39,8	8,8	38,5	7,5	0,079
31	9,5	39,9	8,9	38,6	7,6	0,079
32	9,5	39,9	8,9	38,5	7,5	0,079
33	9,5	39,8	8,8	38,6	7,6	0,079
34	9,5	40,1	9,1	38,6	7,6	0,079
35	9,7	40,0	9,0	39,0	8,0	0,081
36	9,7	40,0	9,0	39,0	8,0	0,081
37	9,7	40,3	9,3	38,9	7,9	0,081
38	9,8	40,3	9,3	39,3	8,3	0,082
39	9,7	40,3	9,3	38,9	7,9	0,081
40	9,8	40,5	9,5	39,0	8,0	0,082
41	9,7	40,7	9,7	39,4	8,4	0,081
42	9,7	40,8	9,8	39,3	8,3	0,081
43	9,7	40,7	9,7	39,6	8,6	0,081
44	9,7	40,7	9,7	39,8	8,8	0,081
45	9,5	41,0	10,0	39,5	8,5	0,079

Δοκίμιο 2212021 _120 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=31 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
46	9,5	40,7	9,7	39,5	8,5	0,079
47	9,6	41,1	10,1	39,5	8,5	0,080
48	9,6	41,1	10,1	39,7	8,7	0,080
49	9,7	41,1	10,1	39,7	8,7	0,081
50	9,7	41,1	10,1	39,8	8,8	0,081
51	9,7	41,2	10,2	39,7	8,7	0,081
52	9,7	41,3	10,3	39,4	8,4	0,081
53	9,7	41,3	10,3	39,4	8,4	0,081
54	9,7	41,2	10,2	39,5	8,5	0,081
55	9,8	41,2	10,2	40,0	9,0	0,082
56	9,8	41,3	10,3	40,0	9,0	0,082
57	9,8	41,3	10,3	40,0	9,0	0,082
58	9,8	41,2	10,2	40,2	9,2	0,082
59	9,8	41,4	10,4	39,7	8,7	0,082
60	9,8	41,4	10,4	40,2	9,2	0,082
61	9,8	41,5	10,5	39,9	8,9	0,082
62	9,8	41,4	10,4	39,9	8,9	0,082
63	9,8	41,4	10,4	40,1	9,1	0,082
64	9,8	41,5	10,5	39,9	8,9	0,082
65	9,7	41,3	10,3	39,9	8,9	0,081
66	9,8	41,6	10,6	40,0	9,0	0,082
67	9,8	41,5	10,5	39,7	8,7	0,082
68	9,8	41,4	10,4	40,0	9,0	0,082
69	9,8	41,5	10,5	40,2	9,2	0,082
70	9,8	41,5	10,5	40,4	9,4	0,082
71	9,8	41,3	10,3	40,0	9,0	0,082
72	9,8	41,5	10,5	40,3	9,3	0,082
73	9,8	41,4	10,4	40,3	9,3	0,082
74	9,8	41,5	10,5	40,3	9,3	0,082
75	9,8	41,6	10,6	40,2	9,2	0,082
76	9,8	41,7	10,7	40,0	9,0	0,082
77	9,7	41,7	10,7	40,0	9,0	0,081
78	9,6	41,5	10,5	40,1	9,1	0,080
79	9,6	41,4	10,4	39,9	8,9	0,080
80	9,6	41,4	10,4	40,0	9,0	0,080
81	9,6	41,5	10,5	40,1	9,1	0,080
82	9,6	41,5	10,5	39,9	8,9	0,080
83	9,6	41,5	10,5	39,8	8,8	0,080
84	9,6	41,3	10,3	39,9	8,9	0,080
85	9,6	41,5	10,5	40,0	9,0	0,080
86	9,6	41,4	10,4	40,2	9,2	0,080
87	9,7	41,5	10,5	40,0	9,0	0,081
88	9,7	41,6	10,6	40,1	9,1	0,081
89	9,6	41,5	10,5	40,2	9,2	0,080
90	9,6	41,4	10,4	40,1	9,1	0,080

Δοκίμιο 2212021 _120 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=31 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
91	9,7	41,6	10,6	40,1	9,1	0,081
92	9,7	41,5	10,5	39,9	8,9	0,081
93	9,7	41,5	10,5	40,2	9,2	0,081
94	9,7	41,5	10,5	40,2	9,2	0,081
95	9,7	41,6	10,6	40,1	9,1	0,081
96	9,7	41,5	10,5	40,3	9,3	0,081
97	9,7	41,5	10,5	40,1	9,1	0,081
98	9,7	41,5	10,5	40,3	9,3	0,081
99	9,7	41,5	10,5	40,0	9,0	0,081
100	9,7	41,5	10,5	40,4	9,4	0,081
101	9,7	41,5	10,5	40,3	9,3	0,081
102	9,7	41,5	10,5	40,3	9,3	0,081
103	9,8	41,6	10,6	39,9	8,9	0,082
104	9,7	41,4	10,4	40,2	9,2	0,081
105	9,7	41,4	10,4	40,0	9,0	0,081
106	9,7	41,6	10,6	40,3	9,3	0,081
107	9,7	41,5	10,5	40,0	9,0	0,081
108	9,7	41,5	10,5	40,3	9,3	0,081
109	9,7	41,4	10,4	40,1	9,1	0,081
110	9,7	41,5	10,5	40,5	9,5	0,081
111	9,6	41,5	10,5	40,2	9,2	0,080
112	9,7	41,7	10,7	40,1	9,1	0,081
113	9,6	41,5	10,5	40,3	9,3	0,080
114	9,6	41,6	10,6	40,4	9,4	0,080
115	9,6	41,6	10,6	40,3	9,3	0,080
116	9,6	41,6	10,6	40,3	9,3	0,080
117	9,6	41,6	10,6	40,3	9,3	0,080
118	9,7	41,6	10,6	40,3	9,3	0,081
119	9,6	41,7	10,7	40,0	9,0	0,080
120	9,7	41,6	10,6	40,4	9,4	0,081
121	9,7	41,5	10,5	40,2	9,2	0,081
122	9,6	41,6	10,6	39,9	8,9	0,080
123	9,6	41,6	10,6	39,9	8,9	0,080
124	9,6	41,5	10,5	40,0	9,0	0,080
125	9,6	41,7	10,7	40,2	9,2	0,080
126	9,6	41,7	10,7	40,1	9,1	0,080
127	9,6	41,5	10,5	39,9	8,9	0,080
128	9,6	41,5	10,5	40,1	9,1	0,080
129	9,6	41,5	10,5	39,9	8,9	0,080
130	9,6	41,6	10,6	40,0	9,0	0,080
131	9,6	41,5	10,5	40,1	9,1	0,080
132	9,6	41,5	10,5	40,2	9,2	0,080
133	9,6	41,6	10,6	39,9	8,9	0,080
134	9,7	41,5	10,5	40,0	9,0	0,081
135	9,7	41,5	10,5	40,1	9,1	0,081

Δοκίμιο 2212021 _120 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=31 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
136	9,7	41,7	10,7	39,9	8,9	0,081
137	9,7	41,6	10,6	39,8	8,8	0,081
138	9,7	41,4	10,4	40,3	9,3	0,081
139	9,7	41,6	10,6	40,0	9,0	0,081
140	9,7	41,4	10,4	40,0	9,0	0,081
141	9,7	41,6	10,6	39,8	8,8	0,081
142	9,7	41,5	10,5	39,7	8,7	0,081
143	9,7	41,6	10,6	40,2	9,2	0,081
144	9,7	41,5	10,5	40,0	9,0	0,081
145	9,7	41,5	10,5	39,9	8,9	0,081
146	9,7	41,4	10,4	40,1	9,1	0,081
147	9,7	41,6	10,6	40,3	9,3	0,081
148	9,7	41,5	10,5	39,9	8,9	0,081
149	9,7	41,4	10,4	40,0	9,0	0,081
150	9,7	41,5	10,5	40,1	9,1	0,081
151	9,7	41,4	10,4	40,3	9,3	0,081
152	9,7	41,5	10,5	40,0	9,0	0,081
153	9,7	41,3	10,3	39,9	8,9	0,081
154	9,7	41,4	10,4	39,9	8,9	0,081
155	9,7	41,4	10,4	40,0	9,0	0,081
156	9,7	41,6	10,6	39,8	8,8	0,081
157	9,8	41,5	10,5	40,1	9,1	0,082
158	9,7	41,4	10,4	40,3	9,3	0,081
159	9,6	41,5	10,5	39,8	8,8	0,080
160	9,6	41,5	10,5	39,7	8,7	0,080
161	9,6	41,5	10,5	39,7	8,7	0,080
162	9,6	41,5	10,5	39,7	8,7	0,080
163	9,7	41,3	10,3	39,9	8,9	0,081
164	9,7	41,4	10,4	39,8	8,8	0,081
165	9,6	41,5	10,5	39,7	8,7	0,080
166	9,7	41,4	10,4	39,9	8,9	0,081
167	9,7	41,4	10,4	39,9	8,9	0,081
168	9,6	41,5	10,5	39,9	8,9	0,080
169	9,7	41,4	10,4	40,1	9,1	0,081
170	9,7	41,5	10,5	39,7	8,7	0,081
171	9,7	41,5	10,5	39,6	8,6	0,081
172	9,7	41,3	10,3	39,9	8,9	0,081
173	9,7	41,4	10,4	39,7	8,7	0,081
174	9,6	41,5	10,5	39,7	8,7	0,080
175	9,6	41,4	10,4	39,7	8,7	0,080
176	9,6	41,5	10,5	39,6	8,6	0,080
177	9,6	41,3	10,3	40,1	9,1	0,080
178	9,7	41,4	10,4	39,9	8,9	0,081
179	9,7	41,5	10,5	39,9	8,9	0,081
180	9,7	41,5	10,5	39,8	8,8	0,081

4.3 Αναλυτικές Μετρήσεις Συνδέσμου 1001010 St/tZn III

Δοκίμιο 1001010 _35 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=30,8 °C						
α/α	ΔV [mV]	θ1 [°C]	Δθ1 [°C]	θ2 [°C]	Δθ2 [°C]	R [mΩ]
1	37,7	30,8	0,0	31,8	1,0	1,077
2	38,0	31,1	0,3	31,8	1,0	1,086
3	38,4	31,2	0,4	32,1	1,3	1,097
4	38,6	31,1	0,3	32,3	1,5	1,103
5	38,2	31,1	0,3	32,4	1,6	1,091
6	38,2	31,3	0,5	32,4	1,6	1,091
7	38,1	31,3	0,5	32,7	1,9	1,089
8	37,8	31,4	0,6	32,8	2,0	1,080
9	37,9	31,6	0,8	32,9	2,1	1,083
10	37,7	31,6	0,8	32,8	2,0	1,077
11	37,9	31,6	0,8	33,0	2,2	1,083
12	37,9	31,9	1,1	32,8	2,0	1,083
13	38,9	31,8	1,0	33,2	2,4	1,111
14	38,6	32,0	1,2	33,2	2,4	1,103
15	38,5	32,1	1,3	32,9	2,1	1,100
16	38,6	32,2	1,4	33,4	2,6	1,103
17	38,5	32,3	1,5	33,2	2,4	1,100
18	38,6	32,4	1,6	33,3	2,5	1,103
19	38,6	32,4	1,6	33,4	2,6	1,103
20	38,4	32,4	1,6	33,6	2,8	1,097
21	38,4	32,5	1,7	33,5	2,7	1,097
22	38,4	32,5	1,7	33,7	2,9	1,097
23	38,1	32,6	1,8	33,6	2,8	1,089
24	38,1	32,6	1,8	33,9	3,1	1,089
25	38,5	32,9	2,1	33,6	2,8	1,100
26	38,5	32,8	2,0	33,7	2,9	1,100
27	38,1	32,9	2,1	34,1	3,3	1,089
28	38,6	33,0	2,2	33,8	3,0	1,103
29	38,6	33,0	2,2	34,1	3,3	1,103
30	38,6	33,2	2,4	33,9	3,1	1,103
31	38,6	33,2	2,4	34,1	3,3	1,103
32	38,6	33,3	2,5	34,2	3,4	1,103
33	38,6	33,4	2,6	34,1	3,3	1,103
34	38,4	33,2	2,4	34,5	3,7	1,097
35	38,3	33,4	2,6	34,4	3,6	1,094
36	38,5	33,5	2,7	34,1	3,3	1,100
37	38,4	33,5	2,7	34,4	3,6	1,097
38	38,4	33,5	2,7	34,4	3,6	1,097
39	38,3	33,5	2,7	34,5	3,7	1,094
40	38,3	33,7	2,9	34,3	3,5	1,094
41	38,2	33,6	2,8	34,6	3,8	1,091
42	38,2	33,6	2,8	34,6	3,8	1,091
43	38,2	33,7	2,9	34,5	3,7	1,091
44	38,2	33,7	2,9	34,5	3,7	1,091
45	38,3	33,7	2,9	34,7	3,9	1,094

Δοκίμιο 1001010 _35 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=30,8 °C						
α/α	ΔV [mV]	θ1 [°C]	Δθ1 [°C]	θ2 [°C]	Δθ2 [°C]	R [mΩ]
46	38,4	33,7	2,9	34,6	3,8	1,097
47	38,4	33,8	3,0	34,9	4,1	1,097
48	38,3	34,0	3,2	34,8	4,0	1,094
49	38,6	34,0	3,2	34,8	4,0	1,103
50	38,7	34,0	3,2	34,5	3,7	1,106
51	38,8	33,9	3,1	34,9	4,1	1,109
52	38,8	33,9	3,1	34,9	4,1	1,109
53	38,7	34,0	3,2	35,0	4,2	1,106
54	38,8	34,0	3,2	34,9	4,1	1,109
55	38,7	34,1	3,3	34,8	4,0	1,106
56	38,8	34,0	3,2	35,0	4,2	1,109
57	38,8	34,2	3,4	34,9	4,1	1,109
58	38,8	34,1	3,3	35,0	4,2	1,109
59	38,6	34,2	3,4	34,9	4,1	1,103
60	38,6	34,1	3,3	35,0	4,2	1,103
61	38,6	34,1	3,3	35,1	4,3	1,103
62	38,6	34,1	3,3	35,1	4,3	1,103
63	38,6	34,1	3,3	35,0	4,2	1,103
64	38,6	34,1	3,3	35,1	4,3	1,103
65	38,7	34,3	3,5	34,9	4,1	1,106
66	39,0	34,1	3,3	35,0	4,2	1,114
67	39,3	34,2	3,4	35,2	4,4	1,123
68	39,3	34,4	3,6	34,9	4,1	1,123
69	39,3	34,3	3,5	34,9	4,1	1,123
70	39,2	34,2	3,4	34,9	4,1	1,120
71	39,3	34,4	3,6	34,8	4,0	1,123
72	39,3	34,2	3,4	34,9	4,1	1,123
73	38,9	34,2	3,4	35,0	4,2	1,111
74	39,2	34,3	3,5	34,7	3,9	1,120
75	39,1	34,2	3,4	34,8	4,0	1,117
76	39,1	34,2	3,4	34,8	4,0	1,117
77	39,2	34,1	3,3	34,8	4,0	1,120
78	39,1	34,0	3,2	34,9	4,1	1,117
79	39,0	34,1	3,3	34,6	3,8	1,114
80	39,0	34,1	3,3	34,7	3,9	1,114
81	39,0	34,1	3,3	34,7	3,9	1,114
82	38,9	34,1	3,3	34,5	3,7	1,111
83	38,8	34,0	3,2	34,6	3,8	1,109
84	38,9	34,0	3,2	34,8	4,0	1,111
85	39,1	34,0	3,2	34,5	3,7	1,117
86	39,0	33,8	3,0	34,7	3,9	1,114
87	38,9	33,8	3,0	34,8	4,0	1,111
88	38,9	34,1	3,3	34,3	3,5	1,111
89	38,9	34,0	3,2	34,4	3,6	1,111
90	38,9	33,9	3,1	34,6	3,8	1,111

Δοκίμιο 1001010 _35 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=30,8 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
91	38,9	33,8	3,0	34,6	3,8	1,111
92	38,8	33,8	3,0	34,7	3,9	1,109
93	38,9	33,8	3,0	34,6	3,8	1,111
94	38,8	33,9	3,1	34,5	3,7	1,109
95	38,7	33,9	3,1	34,2	3,4	1,106
96	38,7	33,9	3,1	34,3	3,5	1,106
97	38,7	33,9	3,1	34,2	3,4	1,106
98	39,0	33,6	2,8	34,5	3,7	1,114
99	39,1	33,9	3,1	34,3	3,5	1,117
100	39,2	33,7	2,9	34,5	3,7	1,120
101	39,2	33,6	2,8	34,4	3,6	1,120
102	39,1	33,7	2,9	34,4	3,6	1,117
103	39,2	33,8	3,0	34,2	3,4	1,120
104	39,2	33,6	2,8	34,3	3,5	1,120
105	39,2	33,6	2,8	34,3	3,5	1,120
106	39,8	33,6	2,8	34,4	3,6	1,137
107	39,9	33,6	2,8	34,5	3,7	1,140
108	40,1	33,7	2,9	34,2	3,4	1,146
109	39,5	33,6	2,8	34,6	3,8	1,129
110	38,6	33,6	2,8	34,1	3,3	1,103
111	38,4	33,6	2,8	34,3	3,5	1,097
112	38,4	33,6	2,8	34,4	3,6	1,097
113	38,4	33,6	2,8	34,3	3,5	1,097
114	38,4	33,7	2,9	34,1	3,3	1,097
115	38,2	33,6	2,8	34,4	3,6	1,091
116	38,3	33,6	2,8	34,1	3,3	1,094
117	38,3	33,6	2,8	34,1	3,3	1,094
118	38,2	33,4	2,6	34,3	3,5	1,091
119	38,1	33,6	2,8	34,1	3,3	1,089
120	38,1	33,6	2,8	34,0	3,2	1,089
121	38,2	33,4	2,6	34,3	3,5	1,091
122	38,1	33,5	2,7	33,9	3,1	1,089
123	38,2	33,2	2,4	34,2	3,4	1,091
124	38,2	33,3	2,5	33,9	3,1	1,091
125	38,4	33,2	2,4	34,1	3,3	1,097
126	38,5	33,4	2,6	33,8	3,0	1,100
127	38,5	33,3	2,5	33,8	3,0	1,100
128	38,5	33,2	2,4	34,1	3,3	1,100
129	38,5	33,2	2,4	34,1	3,3	1,100
130	38,4	33,2	2,4	34,1	3,3	1,097
131	38,5	33,2	2,4	33,9	3,1	1,100
132	38,6	33,2	2,4	33,6	2,8	1,103
133	38,6	33,2	2,4	33,6	2,8	1,103
134	38,6	33,1	2,3	33,8	3,0	1,103
135	38,6	33,0	2,2	34,0	3,2	1,103

Δοκίμιο 1001010 _35 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=30,8 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
136	38,6	33,0	2,2	33,8	3,0	1,103
137	38,6	32,9	2,1	33,9	3,1	1,103
138	38,6	33,2	2,4	33,6	2,8	1,103
139	38,5	33,1	2,3	33,6	2,8	1,100
140	38,6	33,2	2,4	33,6	2,8	1,103
141	38,6	33,1	2,3	33,8	3,0	1,103
142	38,6	33,1	2,3	33,6	2,8	1,103
143	38,7	33,0	2,2	33,9	3,1	1,106
144	38,7	32,9	2,1	33,7	2,9	1,106
145	38,7	32,9	2,1	33,9	3,1	1,106
146	38,5	33,1	2,3	33,8	3,0	1,100
147	38,5	33,0	2,2	34,2	3,4	1,100
148	38,4	33,1	2,3	34,0	3,2	1,097
149	38,4	33,1	2,3	34,1	3,3	1,097
150	38,3	33,0	2,2	34,4	3,6	1,094
151	38,4	33,1	2,3	34,1	3,3	1,097
152	38,4	32,9	2,1	34,4	3,6	1,097
153	38,5	33,2	2,4	34,1	3,3	1,100
154	38,4	32,9	2,1	34,3	3,5	1,097
155	38,4	33,1	2,3	34,1	3,3	1,097
156	38,4	33,0	2,2	34,3	3,5	1,097
157	38,5	32,9	2,1	34,2	3,4	1,100
158	38,5	33,0	2,2	34,1	3,3	1,100
159	38,6	33,0	2,2	34,2	3,4	1,103
160	38,7	32,9	2,1	34,2	3,4	1,106
161	38,6	32,9	2,1	34,2	3,4	1,103
162	38,6	32,9	2,1	34,2	3,4	1,103
163	38,6	33,1	2,3	34,0	3,2	1,103
164	38,5	32,9	2,1	34,2	3,4	1,100
165	38,5	33,0	2,2	34,1	3,3	1,100
166	38,5	32,8	2,0	34,2	3,4	1,100
167	38,5	32,9	2,1	34,0	3,2	1,100
168	38,6	33,0	2,2	33,9	3,1	1,103
169	38,6	32,8	2,0	34,3	3,5	1,103
170	38,6	32,9	2,1	34,2	3,4	1,103
171	38,6	32,8	2,0	34,3	3,5	1,103
172	38,5	32,9	2,1	33,9	3,1	1,100
173	38,5	32,8	2,0	34,0	3,2	1,100
174	38,6	32,8	2,0	34,2	3,4	1,103
175	38,6	33,0	2,2	33,9	3,1	1,103
176	38,8	32,9	2,1	33,9	3,1	1,109
177	38,8	32,8	2,0	34,0	3,2	1,109
178	38,9	32,9	2,1	34,1	3,3	1,111
179	38,7	32,9	2,1	34,1	3,3	1,106
180	38,9	33,0	2,2	34,1	3,3	1,111

Δοκίμιο 1001010 _40 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=34,1 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
1	51,4	34,1	0,0	35,8	1,7	1,285
2	51,6	34,5	0,4	35,9	1,8	1,290
3	51,7	34,6	0,5	36,1	2,0	1,293
4	51,6	34,6	0,5	36,2	2,1	1,290
5	51,4	34,8	0,7	36,4	2,3	1,285
6	51,4	35,0	0,9	36,6	2,5	1,285
7	51,5	35,2	1,1	36,8	2,7	1,288
8	51,4	35,2	1,1	36,8	2,7	1,285
9	51,4	35,4	1,3	37,0	2,9	1,285
10	51,3	35,4	1,3	37,3	3,2	1,283
11	51,4	35,6	1,5	37,2	3,1	1,285
12	51,3	35,7	1,6	37,4	3,3	1,283
13	51,5	35,9	1,8	37,5	3,4	1,288
14	51,4	35,9	1,8	37,6	3,5	1,285
15	51,3	36,1	2,0	37,7	3,6	1,283
16	51,3	36,1	2,0	37,8	3,7	1,283
17	50,9	36,2	2,1	37,9	3,8	1,273
18	51,3	36,3	2,2	38,0	3,9	1,283
19	51,4	36,3	2,2	38,0	3,9	1,285
20	51,6	36,4	2,3	38,2	4,1	1,290
21	51,5	36,5	2,4	38,2	4,1	1,288
22	51,4	36,7	2,6	38,3	4,2	1,285
23	51,4	36,9	2,8	38,2	4,1	1,285
24	51,4	36,8	2,7	38,2	4,1	1,285
25	51,5	36,9	2,8	38,5	4,4	1,288
26	51,4	37,0	2,9	38,6	4,5	1,285
27	51,5	37,0	2,9	38,6	4,5	1,288
28	51,2	37,1	3,0	38,6	4,5	1,280
29	51,7	37,2	3,1	38,6	4,5	1,293
30	51,6	37,4	3,3	38,7	4,6	1,290
31	51,7	37,4	3,3	38,8	4,7	1,293
32	51,7	37,4	3,3	38,8	4,7	1,293
33	51,7	37,4	3,3	38,8	4,7	1,293
34	51,7	37,4	3,3	38,9	4,8	1,293
35	51,7	37,4	3,3	38,9	4,8	1,293
36	51,3	37,5	3,4	38,9	4,8	1,283
37	51,5	37,6	3,5	38,9	4,8	1,288
38	51,5	37,6	3,5	39,0	4,9	1,288
39	51,5	37,8	3,7	39,0	4,9	1,288
40	51,3	37,7	3,6	39,0	4,9	1,283
41	51,3	37,8	3,7	39,0	4,9	1,283
42	51,2	37,8	3,7	39,1	5,0	1,280
43	51,1	37,8	3,7	39,2	5,1	1,278
44	51,1	38,0	3,9	39,2	5,1	1,278
45	51,1	37,9	3,8	39,1	5,0	1,278

Δοκίμιο 1001010 _40 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=34,1 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
46	51,9	37,8	3,7	39,4	5,3	1,298
47	51,9	38,0	3,9	39,3	5,2	1,298
48	51,8	38,0	3,9	39,3	5,2	1,295
49	51,7	37,9	3,8	39,4	5,3	1,293
50	51,7	38,1	4,0	39,4	5,3	1,293
51	51,9	38,1	4,0	39,5	5,4	1,298
52	51,9	38,1	4,0	39,4	5,3	1,298
53	51,9	38,1	4,0	39,5	5,4	1,298
54	51,8	38,2	4,1	39,5	5,4	1,295
55	51,7	38,2	4,1	39,5	5,4	1,293
56	51,6	38,1	4,0	39,5	5,4	1,290
57	51,7	38,2	4,1	39,5	5,4	1,293
58	51,6	38,2	4,1	39,4	5,3	1,290
59	51,6	38,0	3,9	39,5	5,4	1,290
60	51,5	38,2	4,1	39,5	5,4	1,288
61	51,4	38,2	4,1	39,5	5,4	1,285
62	51,9	38,3	4,2	39,5	5,4	1,298
63	51,8	38,3	4,2	39,5	5,4	1,295
64	51,9	38,2	4,1	39,5	5,4	1,298
65	51,9	38,2	4,1	39,6	5,5	1,298
66	51,9	38,3	4,2	39,6	5,5	1,298
67	51,9	38,3	4,2	39,5	5,4	1,298
68	51,8	38,2	4,1	39,6	5,5	1,295
69	51,9	38,2	4,1	39,5	5,4	1,298
70	52,0	38,2	4,1	39,5	5,4	1,300
71	52,0	38,3	4,2	39,7	5,6	1,300
72	52,2	38,3	4,2	39,6	5,5	1,305
73	52,1	38,3	4,2	39,7	5,6	1,303
74	52,1	38,4	4,3	39,8	5,7	1,303
75	52,1	38,5	4,4	39,7	5,6	1,303
76	52,1	38,4	4,3	39,7	5,6	1,303
77	52,2	38,5	4,4	39,7	5,6	1,305
78	51,9	38,4	4,3	39,7	5,6	1,298
79	52,0	38,4	4,3	39,9	5,8	1,300
80	52,1	38,4	4,3	39,7	5,6	1,303
81	52,1	38,4	4,3	39,7	5,6	1,303
82	52,2	38,5	4,4	39,7	5,6	1,305
83	53,8	38,6	4,5	39,9	5,8	1,345
84	53,4	38,6	4,5	39,8	5,7	1,335
85	52,9	38,5	4,4	39,6	5,5	1,323
86	52,5	38,4	4,3	39,6	5,5	1,313
87	52,5	38,3	4,2	39,6	5,5	1,313
88	52,3	38,3	4,2	39,6	5,5	1,308
89	52,3	38,3	4,2	39,5	5,4	1,308
90	52,4	38,2	4,1	39,5	5,4	1,310

Δοκίμιο 1001010 _40 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=34,1 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
91	52,3	38,2	4,1	39,5	5,4	1,308
92	51,9	38,2	4,1	39,5	5,4	1,298
93	51,9	38,4	4,3	39,5	5,4	1,298
94	51,8	38,3	4,2	39,5	5,4	1,295
95	51,8	38,2	4,1	39,5	5,4	1,295
96	51,8	38,2	4,1	39,4	5,3	1,295
97	52,0	38,2	4,1	39,5	5,4	1,300
98	52,0	38,2	4,1	39,5	5,4	1,300
99	51,9	38,3	4,2	39,5	5,4	1,298
100	51,9	38,2	4,1	39,5	5,4	1,298
101	51,8	38,3	4,2	39,5	5,4	1,295
102	51,9	38,2	4,1	39,4	5,3	1,298
103	51,8	38,4	4,3	39,5	5,4	1,295
104	51,7	38,2	4,1	39,5	5,4	1,293
105	51,6	38,4	4,3	39,4	5,3	1,290
106	51,7	38,2	4,1	39,4	5,3	1,293
107	51,7	38,3	4,2	39,5	5,4	1,293
108	51,5	38,4	4,3	39,4	5,3	1,288
109	51,6	38,2	4,1	39,4	5,3	1,290
110	51,1	38,2	4,1	39,5	5,4	1,278
111	51,2	38,2	4,1	39,5	5,4	1,280
112	51,3	38,1	4,0	39,4	5,3	1,283
113	51,2	38,2	4,1	39,4	5,3	1,280
114	51,1	38,2	4,1	39,3	5,2	1,278
115	51,5	38,2	4,1	39,5	5,4	1,288
116	51,4	38,2	4,1	39,3	5,2	1,285
117	51,5	38,1	4,0	39,3	5,2	1,288
118	51,3	38,0	3,9	39,2	5,1	1,283
119	51,3	38,2	4,1	39,4	5,3	1,283
120	51,3	37,9	3,8	39,2	5,1	1,283
121	51,7	38,1	4,0	39,0	4,9	1,293
122	51,8	38,0	3,9	39,3	5,2	1,295
123	51,7	37,9	3,8	39,0	4,9	1,293
124	52,2	37,8	3,7	39,0	4,9	1,305
125	52,4	38,0	3,9	39,0	4,9	1,310
126	52,4	38,0	3,9	39,2	5,1	1,310
127	52,5	37,9	3,8	39,0	4,9	1,313
128	52,5	37,9	3,8	39,0	4,9	1,313
129	52,4	38,1	4,0	39,1	5,0	1,310
130	52,4	38,0	3,9	39,0	4,9	1,310
131	52,6	37,8	3,7	39,0	4,9	1,315
132	52,1	38,0	3,9	39,0	4,9	1,303
133	52,0	37,8	3,7	39,0	4,9	1,300
134	52,1	37,9	3,8	39,0	4,9	1,303
135	52,1	37,8	3,7	38,9	4,8	1,303

Δοκίμιο 1001010 _40 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=34,1 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
136	51,9	37,9	3,8	39,0	4,9	1,298
137	52,0	38,0	3,9	39,0	4,9	1,300
138	52,1	37,8	3,7	38,9	4,8	1,303
139	52,0	37,8	3,7	38,8	4,7	1,300
140	52,1	37,9	3,8	38,8	4,7	1,303
141	52,0	37,8	3,7	38,8	4,7	1,300
142	52,2	37,8	3,7	38,9	4,8	1,305
143	52,1	37,8	3,7	38,8	4,7	1,303
144	52,2	37,6	3,5	38,8	4,7	1,305
145	52,0	37,8	3,7	38,8	4,7	1,300
146	52,1	37,8	3,7	38,8	4,7	1,303
147	52,0	37,7	3,6	38,8	4,7	1,300
148	51,9	37,8	3,7	38,9	4,8	1,298
149	52,0	37,8	3,7	38,8	4,7	1,300
150	51,9	37,7	3,6	38,7	4,6	1,298
151	52,0	37,7	3,6	38,7	4,6	1,300
152	52,1	37,8	3,7	38,8	4,7	1,303
153	52,1	37,8	3,7	38,8	4,7	1,303
154	52,0	37,7	3,6	39,0	4,9	1,300
155	52,1	37,8	3,7	38,9	4,8	1,303
156	52,1	37,6	3,5	38,8	4,7	1,303
157	52,2	37,8	3,7	39,0	4,9	1,305
158	52,1	37,8	3,7	39,0	4,9	1,303
159	52,2	37,8	3,7	38,9	4,8	1,305
160	52,2	37,8	3,7	38,9	4,8	1,305
161	52,2	37,8	3,7	39,0	4,9	1,305
162	52,3	37,8	3,7	39,0	4,9	1,308
163	52,4	37,8	3,7	39,1	5,0	1,310
164	52,4	38,0	3,9	39,0	4,9	1,310
165	52,4	38,0	3,9	39,0	4,9	1,310
166	52,5	38,0	3,9	39,1	5,0	1,313
167	52,6	37,9	3,8	39,1	5,0	1,315
168	52,6	37,8	3,7	39,2	5,1	1,315
169	52,6	37,9	3,8	39,2	5,1	1,315
170	52,6	37,9	3,8	39,1	5,0	1,315
171	52,6	37,9	3,8	39,2	5,1	1,315
172	52,6	38,1	4,0	39,1	5,0	1,315
173	52,6	38,1	4,0	39,0	4,9	1,315
174	52,6	38,1	4,0	39,1	5,0	1,315
175	52,2	38,0	3,9	39,1	5,0	1,305
176	52,2	38,1	4,0	39,1	5,0	1,305
177	52,2	37,9	3,8	39,3	5,2	1,305
178	52,4	38,0	3,9	39,0	4,9	1,310
179	52,5	37,8	3,7	39,1	5,0	1,313
180	52,8	38,0	3,9	39,0	4,9	1,320

Δοκίμιο 1001010 _45 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=32,9 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
1	52,4	32,9	0,0	34,1	1,2	1,164
2	52,3	32,9	0,0	34,3	1,4	1,162
3	51,8	33,2	0,3	34,9	2,0	1,151
4	51,7	33,4	0,5	34,9	2,0	1,149
5	52,1	33,5	0,6	35,2	2,3	1,158
6	52,0	33,6	0,7	35,2	2,3	1,156
7	51,5	33,8	0,9	35,3	2,4	1,144
8	52,2	34,1	1,2	35,7	2,8	1,160
9	52,5	34,2	1,3	35,7	2,8	1,167
10	53,0	34,3	1,4	35,8	2,9	1,178
11	53,1	34,5	1,6	36,3	3,4	1,180
12	53,0	34,5	1,6	36,1	3,2	1,178
13	52,9	34,7	1,8	36,1	3,2	1,176
14	53,1	34,5	1,6	36,1	3,2	1,180
15	53,2	34,9	2,0	36,5	3,6	1,182
16	52,1	35,0	2,1	36,6	3,7	1,158
17	52,7	35,1	2,2	36,6	3,7	1,171
18	52,6	35,3	2,4	36,8	3,9	1,169
19	52,1	35,3	2,4	36,9	4,0	1,158
20	52,1	35,4	2,5	37,0	4,1	1,158
21	51,8	35,4	2,5	37,0	4,1	1,151
22	51,9	35,6	2,7	37,2	4,3	1,153
23	52,1	35,6	2,7	37,0	4,1	1,158
24	52,2	35,7	2,8	37,1	4,2	1,160
25	52,1	35,6	2,7	37,1	4,2	1,158
26	51,7	35,8	2,9	37,2	4,3	1,149
27	52,2	35,9	3,0	37,3	4,4	1,160
28	52,2	35,9	3,0	37,3	4,4	1,160
29	52,2	35,8	2,9	37,3	4,4	1,160
30	52,2	36,0	3,1	37,5	4,6	1,160
31	52,3	36,1	3,2	37,5	4,6	1,162
32	52,3	36,1	3,2	37,5	4,6	1,162
33	52,1	36,1	3,2	37,4	4,5	1,158
34	52,3	36,2	3,3	37,6	4,7	1,162
35	52,3	36,1	3,2	37,4	4,5	1,162
36	52,3	36,2	3,3	37,6	4,7	1,162
37	52,3	36,3	3,4	37,5	4,6	1,162
38	52,3	36,3	3,4	37,7	4,8	1,162
39	52,3	36,3	3,4	37,6	4,7	1,162
40	52,2	36,2	3,3	37,4	4,5	1,160
41	52,3	36,5	3,6	37,8	4,9	1,162
42	52,3	36,5	3,6	37,8	4,9	1,162
43	52,3	36,5	3,6	37,8	4,9	1,162
44	52,2	36,4	3,5	37,9	5,0	1,160
45	52,2	36,3	3,4	37,8	4,9	1,160

Δοκίμιο 1001010 _45 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=32,9 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
46	52,2	36,6	3,7	37,8	4,9	1,160
47	52,2	36,7	3,8	37,8	4,9	1,160
48	52,3	36,6	3,7	37,8	4,9	1,162
49	52,5	36,6	3,7	37,9	5,0	1,167
50	52,3	36,7	3,8	38,0	5,1	1,162
51	52,3	36,7	3,8	38,1	5,2	1,162
52	52,3	36,8	3,9	38,2	5,3	1,162
53	52,3	36,9	4,0	37,8	4,9	1,162
54	52,3	36,7	3,8	37,8	4,9	1,162
55	52,3	36,9	4,0	37,9	5,0	1,162
56	52,3	36,9	4,0	38,0	5,1	1,162
57	52,3	36,8	3,9	38,0	5,1	1,162
58	52,2	36,8	3,9	37,9	5,0	1,160
59	52,2	36,9	4,0	38,2	5,3	1,160
60	52,2	36,8	3,9	37,9	5,0	1,160
61	52,3	36,8	3,9	38,0	5,1	1,162
62	52,3	37,0	4,1	37,9	5,0	1,162
63	52,3	36,9	4,0	38,0	5,1	1,162
64	52,2	37,0	4,1	37,9	5,0	1,160
65	52,2	36,9	4,0	37,9	5,0	1,160
66	52,1	36,8	3,9	37,9	5,0	1,158
67	52,1	36,9	4,0	37,9	5,0	1,158
68	52,2	37,0	4,1	38,0	5,1	1,160
69	52,0	37,0	4,1	38,1	5,2	1,156
70	52,1	36,9	4,0	37,9	5,0	1,158
71	52,2	37,0	4,1	38,0	5,1	1,160
72	51,8	37,0	4,1	38,0	5,1	1,151
73	52,2	36,9	4,0	38,0	5,1	1,160
74	52,0	37,0	4,1	37,9	5,0	1,156
75	51,9	37,0	4,1	37,8	4,9	1,153
76	52,0	37,0	4,1	38,1	5,2	1,156
77	52,0	37,0	4,1	38,0	5,1	1,156
78	52,0	37,0	4,1	37,9	5,0	1,156
79	52,6	37,0	4,1	38,2	5,3	1,169
80	52,4	37,0	4,1	38,0	5,1	1,164
81	52,3	37,0	4,1	38,2	5,3	1,162
82	52,5	37,0	4,1	38,1	5,2	1,167
83	52,7	37,0	4,1	38,1	5,2	1,171
84	53,9	37,0	4,1	38,2	5,3	1,198
85	53,6	37,0	4,1	38,5	5,6	1,191
86	53,1	37,0	4,1	38,1	5,2	1,180
87	52,7	37,0	4,1	38,2	5,3	1,171
88	52,3	37,0	4,1	38,1	5,2	1,162
89	52,1	37,1	4,2	38,2	5,3	1,158
90	52,1	37,1	4,2	38,2	5,3	1,158

Δοκίμιο 1001010 _45 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=32,9 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
91	52,0	37,0	4,1	38,2	5,3	1,156
92	52,1	37,0	4,1	38,2	5,3	1,158
93	52,1	37,0	4,1	38,3	5,4	1,158
94	52,1	37,1	4,2	38,2	5,3	1,158
95	52,1	37,0	4,1	38,2	5,3	1,158
96	52,1	37,1	4,2	38,2	5,3	1,158
97	51,9	37,1	4,2	38,2	5,3	1,153
98	52,0	37,0	4,1	38,4	5,5	1,156
99	51,9	37,0	4,1	38,2	5,3	1,153
100	51,9	37,0	4,1	38,2	5,3	1,153
101	51,9	37,1	4,2	38,2	5,3	1,153
102	51,8	37,1	4,2	38,2	5,3	1,151
103	51,9	37,0	4,1	38,2	5,3	1,153
104	51,9	37,0	4,1	38,2	5,3	1,153
105	51,9	37,0	4,1	38,2	5,3	1,153
106	51,8	37,0	4,1	38,1	5,2	1,151
107	51,9	37,1	4,2	38,1	5,2	1,153
108	51,8	37,1	4,2	38,2	5,3	1,151
109	51,8	37,0	4,1	38,2	5,3	1,151
110	51,8	37,1	4,2	38,2	5,3	1,151
111	51,7	37,0	4,1	38,0	5,1	1,149
112	51,8	37,0	4,1	38,2	5,3	1,151
113	52,3	37,0	4,1	38,2	5,3	1,162
114	52,2	36,5	3,6	37,4	4,5	1,160
115	52,1	37,1	4,2	38,1	5,2	1,158
116	52,2	37,0	4,1	38,3	5,4	1,160
117	52,2	37,0	4,1	38,0	5,1	1,160
118	52,2	37,0	4,1	38,2	5,3	1,160
119	52,2	37,0	4,1	38,5	5,6	1,160
120	52,2	37,0	4,1	38,2	5,3	1,160
121	52,2	37,1	4,2	38,2	5,3	1,160
122	52,2	37,1	4,2	38,4	5,5	1,160
123	52,2	37,0	4,1	38,2	5,3	1,160
124	52,2	37,0	4,1	38,2	5,3	1,160
125	52,1	37,0	4,1	38,2	5,3	1,158
126	52,1	37,0	4,1	37,9	5,0	1,158
127	52,1	37,0	4,1	38,2	5,3	1,158
128	52,1	37,1	4,2	38,2	5,3	1,158
129	52,1	37,0	4,1	38,1	5,2	1,158
130	52,0	37,1	4,2	38,2	5,3	1,156
131	51,8	37,0	4,1	38,0	5,1	1,151
132	51,8	37,0	4,1	37,8	4,9	1,151
133	51,7	37,1	4,2	38,2	5,3	1,149
134	51,7	37,0	4,1	38,0	5,1	1,149
135	52,2	37,0	4,1	38,0	5,1	1,160

Δοκίμιο 1001010 _45 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=32,9 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
136	52,0	37,0	4,1	38,0	5,1	1,156
137	52,2	37,0	4,1	38,1	5,2	1,160
138	52,0	37,0	4,1	38,1	5,2	1,156
139	52,1	37,0	4,1	38,0	5,1	1,158
140	52,1	37,1	4,2	38,2	5,3	1,158
141	52,0	37,0	4,1	37,9	5,0	1,156
142	51,9	37,0	4,1	38,1	5,2	1,153
143	51,9	37,0	4,1	38,1	5,2	1,153
144	51,9	37,0	4,1	38,1	5,2	1,153
145	52,0	37,0	4,1	38,2	5,3	1,156
146	52,0	37,0	4,1	38,4	5,5	1,156
147	52,0	36,7	3,8	37,8	4,9	1,156
148	51,9	36,7	3,8	37,8	4,9	1,153
149	51,9	36,6	3,7	37,8	4,9	1,153
150	52,3	37,0	4,1	38,5	5,6	1,162
151	52,2	37,1	4,2	38,3	5,4	1,160
152	52,6	37,0	4,1	38,4	5,5	1,169
153	52,6	37,1	4,2	38,2	5,3	1,169
154	52,6	37,0	4,1	38,1	5,2	1,169
155	52,6	37,0	4,1	38,1	5,2	1,169
156	52,6	37,0	4,1	38,1	5,2	1,169
157	52,6	37,0	4,1	38,1	5,2	1,169
158	52,6	37,0	4,1	38,1	5,2	1,169
159	52,6	37,1	4,2	38,1	5,2	1,169
160	52,6	37,0	4,1	38,2	5,3	1,169
161	52,5	37,0	4,1	38,2	5,3	1,167
162	52,6	37,0	4,1	38,1	5,2	1,169
163	52,5	37,0	4,1	38,0	5,1	1,167
164	52,3	37,0	4,1	38,2	5,3	1,162
165	52,8	37,0	4,1	38,2	5,3	1,173
166	52,7	37,0	4,1	38,2	5,3	1,171
167	52,9	37,1	4,2	38,2	5,3	1,176
168	52,8	37,0	4,1	38,2	5,3	1,173
169	52,8	37,0	4,1	38,0	5,1	1,173
170	52,7	37,0	4,1	38,1	5,2	1,171
171	52,7	36,9	4,0	38,1	5,2	1,171
172	52,8	37,0	4,1	38,1	5,2	1,173
173	52,6	37,0	4,1	38,1	5,2	1,169
174	51,5	37,0	4,1	38,2	5,3	1,144
175	52,3	37,1	4,2	38,4	5,5	1,162
176	53,2	37,1	4,2	38,1	5,2	1,182
177	54,0	37,1	4,2	38,2	5,3	1,200
178	54,0	37,1	4,2	38,4	5,5	1,200
179	54,1	37,1	4,2	38,2	5,3	1,202
180	54,1	37,2	4,3	38,3	5,4	1,202

Δοκίμιο 1001010 _50 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=33,5 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
1	60,1	33,5	0,0	35,3	1,8	1,202
2	60,2	33,7	0,2	35,7	2,2	1,204
3	60,2	34,1	0,6	35,8	2,3	1,204
4	60,2	34,4	0,9	36,1	2,6	1,204
5	60,3	34,5	1,0	36,2	2,7	1,206
6	60,4	35,0	1,5	36,5	3,0	1,208
7	60,4	35,0	1,5	36,6	3,1	1,208
8	60,4	35,4	1,9	36,8	3,3	1,208
9	60,5	35,4	1,9	37,0	3,5	1,210
10	60,5	35,9	2,4	37,2	3,7	1,210
11	60,6	36,2	2,7	37,4	3,9	1,212
12	60,6	36,3	2,8	37,6	4,1	1,212
13	60,6	36,5	3,0	37,7	4,2	1,212
14	60,6	36,7	3,2	37,8	4,3	1,212
15	60,6	37,0	3,5	37,9	4,4	1,212
16	60,7	37,1	3,6	38,2	4,7	1,214
17	60,8	37,4	3,9	38,3	4,8	1,216
18	60,8	37,4	3,9	38,4	4,9	1,216
19	60,8	37,6	4,1	38,5	5,0	1,216
20	60,8	37,8	4,3	38,6	5,1	1,216
21	60,9	37,9	4,4	38,7	5,2	1,218
22	60,9	38,1	4,6	38,9	5,4	1,218
23	61,0	38,3	4,8	39,0	5,5	1,220
24	61,0	38,2	4,7	38,7	5,2	1,220
25	61,0	38,6	5,1	39,0	5,5	1,220
26	61,0	38,6	5,1	39,1	5,6	1,220
27	61,1	38,7	5,2	39,2	5,7	1,222
28	61,1	38,8	5,3	39,3	5,8	1,222
29	61,2	38,8	5,3	39,4	5,9	1,224
30	61,2	39,0	5,5	39,3	5,8	1,224
31	61,1	39,3	5,8	39,5	6,0	1,222
32	61,2	39,2	5,7	39,7	6,2	1,224
33	61,2	39,5	6,0	39,7	6,2	1,224
34	61,2	39,5	6,0	39,9	6,4	1,224
35	61,2	39,4	5,9	39,8	6,3	1,224
36	61,2	39,6	6,1	39,9	6,4	1,224
37	61,2	39,5	6,0	39,8	6,3	1,224
38	61,1	39,8	6,3	39,9	6,4	1,222
39	61,1	39,8	6,3	39,9	6,4	1,222
40	61,2	39,8	6,3	39,9	6,4	1,224
41	61,2	39,9	6,4	40,0	6,5	1,224
42	61,2	40,0	6,5	40,0	6,5	1,224
43	61,3	39,9	6,4	40,1	6,6	1,226
44	61,2	40,0	6,5	40,0	6,5	1,224
45	61,3	40,0	6,5	40,2	6,7	1,226

Δοκίμιο 1001010 _50 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=33,5 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
46	61,7	40,0	6,5	40,3	6,8	1,234
47	61,7	40,2	6,7	40,1	6,6	1,234
48	61,7	40,2	6,7	40,1	6,6	1,234
49	61,7	40,3	6,8	40,3	6,8	1,234
50	61,8	40,3	6,8	40,3	6,8	1,236
51	61,8	40,3	6,8	40,4	6,9	1,236
52	61,8	40,3	6,8	40,4	6,9	1,236
53	61,8	40,4	6,9	40,4	6,9	1,236
54	61,7	40,3	6,8	40,4	6,9	1,234
55	61,7	40,3	6,8	40,3	6,8	1,234
56	61,7	40,4	6,9	40,4	6,9	1,234
57	61,6	40,5	7,0	40,4	6,9	1,232
58	61,7	40,5	7,0	40,4	6,9	1,234
59	61,6	40,7	7,2	40,5	7,0	1,232
60	61,5	40,6	7,1	40,7	7,2	1,230
61	61,6	40,6	7,1	40,4	6,9	1,232
62	61,6	40,6	7,1	40,5	7,0	1,232
63	61,5	40,6	7,1	40,4	6,9	1,230
64	61,6	40,7	7,2	40,5	7,0	1,232
65	61,6	40,7	7,2	40,4	6,9	1,232
66	61,7	40,7	7,2	40,6	7,1	1,234
67	61,6	40,7	7,2	40,6	7,1	1,232
68	61,7	40,7	7,2	40,6	7,1	1,234
69	61,7	40,7	7,2	40,5	7,0	1,234
70	61,7	40,7	7,2	40,6	7,1	1,234
71	61,7	40,6	7,1	40,5	7,0	1,234
72	61,7	40,7	7,2	40,6	7,1	1,234
73	61,8	40,6	7,1	40,4	6,9	1,236
74	61,7	40,6	7,1	40,4	6,9	1,234
75	61,8	40,7	7,2	40,6	7,1	1,236
76	61,6	40,7	7,2	40,6	7,1	1,232
77	61,9	40,7	7,2	40,7	7,2	1,238
78	61,9	40,7	7,2	40,7	7,2	1,238
79	62,0	40,8	7,3	40,6	7,1	1,240
80	62,0	40,7	7,2	40,7	7,2	1,240
81	62,0	40,7	7,2	40,7	7,2	1,240
82	62,1	40,8	7,3	40,7	7,2	1,242
83	62,0	40,8	7,3	40,6	7,1	1,240
84	61,9	40,9	7,4	40,7	7,2	1,238
85	61,8	40,7	7,2	40,7	7,2	1,236
86	61,9	40,9	7,4	40,7	7,2	1,238
87	61,9	40,9	7,4	40,8	7,3	1,238
88	61,8	40,8	7,3	40,7	7,2	1,236
89	61,8	40,7	7,2	40,7	7,2	1,236
90	61,9	40,8	7,3	40,7	7,2	1,238

Δοκίμιο 1001010 _50 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=33,5 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
91	61,8	40,7	7,2	40,7	7,2	1,236
92	61,8	40,7	7,2	40,7	7,2	1,236
93	61,9	40,9	7,4	40,8	7,3	1,238
94	61,9	40,7	7,2	40,6	7,1	1,238
95	61,9	40,8	7,3	40,7	7,2	1,238
96	61,9	40,9	7,4	40,7	7,2	1,238
97	61,7	40,9	7,4	40,7	7,2	1,234
98	61,8	40,9	7,4	40,7	7,2	1,236
99	61,8	40,9	7,4	40,6	7,1	1,236
100	61,8	40,7	7,2	40,7	7,2	1,236
101	61,8	40,9	7,4	40,6	7,1	1,236
102	61,7	40,8	7,3	40,7	7,2	1,234
103	61,8	40,8	7,3	40,5	7,0	1,236
104	61,6	40,9	7,4	40,7	7,2	1,232
105	61,7	40,8	7,3	40,8	7,3	1,234
106	61,8	40,8	7,3	40,7	7,2	1,236
107	61,8	40,8	7,3	40,8	7,3	1,236
108	61,8	40,9	7,4	40,7	7,2	1,236
109	61,7	40,9	7,4	40,7	7,2	1,234
110	61,7	40,7	7,2	40,6	7,1	1,234
111	61,7	41,0	7,5	40,8	7,3	1,234
112	61,7	40,8	7,3	40,7	7,2	1,234
113	61,7	40,7	7,2	40,7	7,2	1,234
114	61,7	40,9	7,4	40,7	7,2	1,234
115	61,7	40,9	7,4	40,7	7,2	1,234
116	61,8	40,9	7,4	40,7	7,2	1,236
117	61,6	40,9	7,4	40,8	7,3	1,232
118	61,6	40,8	7,3	40,7	7,2	1,232
119	61,6	40,8	7,3	40,7	7,2	1,232
120	61,6	40,8	7,3	40,7	7,2	1,232
121	61,6	40,8	7,3	40,8	7,3	1,232
122	61,7	40,9	7,4	40,7	7,2	1,234
123	61,6	40,9	7,4	40,7	7,2	1,232
124	61,7	40,8	7,3	40,7	7,2	1,234
125	61,5	40,9	7,4	40,7	7,2	1,230
126	61,5	40,8	7,3	40,7	7,2	1,230
127	61,5	40,7	7,2	40,7	7,2	1,230
128	61,4	40,8	7,3	40,7	7,2	1,228
129	61,4	40,8	7,3	40,7	7,2	1,228
130	61,3	41,0	7,5	40,7	7,2	1,226
131	61,2	40,8	7,3	40,7	7,2	1,224
132	61,1	41,0	7,5	40,7	7,2	1,222
133	61,7	40,7	7,2	40,6	7,1	1,234
134	61,8	40,9	7,4	40,7	7,2	1,236
135	61,7	41,0	7,5	40,8	7,3	1,234

Δοκίμιο 1001010 _50 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=33,5 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
136	61,6	40,8	7,3	40,7	7,2	1,232
137	61,4	40,9	7,4	40,6	7,1	1,228
138	61,4	40,7	7,2	40,7	7,2	1,228
139	61,4	40,9	7,4	40,7	7,2	1,228
140	61,1	40,8	7,3	40,7	7,2	1,222
141	61,3	40,7	7,2	40,7	7,2	1,226
142	61,1	40,8	7,3	40,7	7,2	1,222
143	62,0	40,8	7,3	40,4	6,9	1,240
144	61,7	40,7	7,2	40,6	7,1	1,234
145	61,5	40,9	7,4	40,7	7,2	1,230
146	61,3	40,9	7,4	40,7	7,2	1,226
147	61,6	40,7	7,2	40,7	7,2	1,232
148	61,6	40,9	7,4	40,7	7,2	1,232
149	61,6	40,7	7,2	40,7	7,2	1,232
150	61,6	40,8	7,3	40,7	7,2	1,232
151	61,4	40,9	7,4	40,7	7,2	1,228
152	61,5	41,0	7,5	40,7	7,2	1,230
153	61,6	40,9	7,4	40,7	7,2	1,232
154	63,0	40,7	7,2	40,7	7,2	1,260
155	63,2	40,9	7,4	40,7	7,2	1,264
156	62,7	40,8	7,3	40,8	7,3	1,254
157	62,7	41,0	7,5	40,7	7,2	1,254
158	62,8	40,8	7,3	40,7	7,2	1,256
159	62,8	40,9	7,4	40,7	7,2	1,256
160	62,8	40,9	7,4	40,7	7,2	1,256
161	62,5	41,0	7,5	40,8	7,3	1,250
162	61,9	40,8	7,3	40,4	6,9	1,238
163	62,0	40,8	7,3	40,8	7,3	1,240
164	61,9	41,0	7,5	40,7	7,2	1,238
165	62,0	40,9	7,4	40,8	7,3	1,240
166	62,0	40,9	7,4	40,7	7,2	1,240
167	61,9	40,9	7,4	40,7	7,2	1,238
168	61,9	40,8	7,3	40,7	7,2	1,238
169	62,0	41,1	7,6	40,8	7,3	1,240
170	61,9	41,0	7,5	40,7	7,2	1,238
171	62,0	40,8	7,3	40,7	7,2	1,240
172	61,9	41,1	7,6	40,7	7,2	1,238
173	61,9	41,1	7,6	40,7	7,2	1,238
174	62,0	41,0	7,5	40,9	7,4	1,240
175	61,9	41,0	7,5	40,8	7,3	1,238
176	61,9	40,9	7,4	40,7	7,2	1,238
177	61,9	41,1	7,6	40,7	7,2	1,238
178	62,0	41,0	7,5	40,5	7,0	1,240
179	62,0	40,9	7,4	40,7	7,2	1,240
180	61,9	41,0	7,5	40,8	7,3	1,238

Δοκίμιο 1001010 _90 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=35,4 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
1	85,6	35,9	0,5	36,4	1,0	0,951
2	85,5	36,6	1,2	37,6	2,2	0,950
3	85,6	37,4	2,0	38,6	3,2	0,951
4	85,8	38,2	2,8	39,1	3,7	0,953
5	86,6	38,9	3,5	40,4	5,0	0,962
6	86,7	39,7	4,3	41,0	5,6	0,963
7	86,8	40,4	5,0	42,1	6,7	0,964
8	87,2	41,0	5,6	42,7	7,3	0,969
9	87,4	42,0	6,6	43,3	7,9	0,971
10	87,5	42,6	7,2	43,8	8,4	0,972
11	87,5	43,3	7,9	44,2	8,8	0,972
12	87,8	44,0	8,6	45,0	9,6	0,976
13	87,8	44,4	9,0	45,5	10,1	0,976
14	87,8	45,2	9,8	45,5	10,1	0,976
15	87,6	45,7	10,3	46,2	10,8	0,973
16	88,5	46,0	10,6	46,9	11,5	0,983
17	88,8	46,3	10,9	47,0	11,6	0,987
18	89,1	46,5	11,1	47,6	12,2	0,990
19	88,9	47,3	11,9	47,8	12,4	0,988
20	88,9	47,7	12,3	48,2	12,8	0,988
21	88,9	47,8	12,4	48,6	13,2	0,988
22	88,9	48,5	13,1	48,7	13,3	0,988
23	89,5	48,3	12,9	49,3	13,9	0,994
24	89,5	48,6	13,2	49,4	14,0	0,994
25	89,6	49,0	13,6	49,8	14,4	0,996
26	89,7	49,7	14,3	50,2	14,8	0,997
27	90,0	49,7	14,3	50,2	14,8	1,000
28	89,7	49,7	14,3	50,2	14,8	0,997
29	90,1	49,8	14,4	50,6	15,2	1,001
30	90,2	50,2	14,8	50,7	15,3	1,002
31	90,0	50,7	15,3	50,5	15,1	1,000
32	90,0	51,1	15,7	51,0	15,6	1,000
33	89,7	51,6	16,2	51,0	15,6	0,997
34	90,5	51,5	16,1	51,0	15,6	1,006
35	90,5	51,7	16,3	51,2	15,8	1,006
36	90,6	51,9	16,5	51,7	16,3	1,007
37	90,4	51,9	16,5	51,9	16,5	1,004
38	90,2	51,9	16,5	51,9	16,5	1,002
39	90,4	52,4	17,0	52,4	17,0	1,004
40	90,5	53,0	17,6	52,2	16,8	1,006
41	90,7	53,1	17,7	52,5	17,1	1,008
42	91,3	53,3	17,9	52,7	17,3	1,014
43	91,5	53,5	18,1	52,9	17,5	1,017
44	93,0	53,6	18,2	52,7	17,3	1,033
45	91,0	53,6	18,2	52,7	17,3	1,011

Δοκίμιο 1001010 _90 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=35,4 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
46	90,2	53,6	18,2	52,4	17,0	1,002
47	90,1	53,8	18,4	52,7	17,3	1,001
48	90,3	53,8	18,4	52,3	16,9	1,003
49	90,6	53,9	18,5	52,5	17,1	1,007
50	90,6	54,0	18,6	53,2	17,8	1,007
51	90,5	54,0	18,6	52,9	17,5	1,006
52	90,4	54,0	18,6	52,8	17,4	1,004
53	91,4	54,0	18,6	52,9	17,5	1,016
54	91,7	54,3	18,9	53,1	17,7	1,019
55	91,5	54,0	18,6	53,4	18,0	1,017
56	91,4	54,1	18,7	53,2	17,8	1,016
57	91,6	54,1	18,7	53,4	18,0	1,018
58	91,4	54,3	18,9	53,6	18,2	1,016
59	91,7	54,4	19,0	53,5	18,1	1,019
60	91,5	54,4	19,0	53,6	18,2	1,017
61	91,6	54,5	19,1	52,7	17,3	1,018
62	91,6	54,5	19,1	52,7	17,3	1,018
63	91,7	54,4	19,0	53,2	17,8	1,019
64	92,1	54,4	19,0	53,2	17,8	1,023
65	92,3	54,4	19,0	53,2	17,8	1,026
66	92,4	54,3	18,9	53,4	18,0	1,027
67	92,3	54,5	19,1	53,3	17,9	1,026
68	92,3	54,5	19,1	52,8	17,4	1,026
69	92,6	54,4	19,0	53,0	17,6	1,029
70	92,5	54,2	18,8	52,9	17,5	1,028
71	92,4	54,3	18,9	53,4	18,0	1,027
72	92,5	54,4	19,0	52,9	17,5	1,028
73	92,5	54,4	19,0	52,9	17,5	1,028
74	92,8	54,4	19,0	53,5	18,1	1,031
75	92,7	54,4	19,0	53,2	17,8	1,030
76	92,7	54,4	19,0	54,0	18,6	1,030
77	92,7	54,6	19,2	53,1	17,7	1,030
78	93,0	54,5	19,1	53,3	17,9	1,033
79	92,8	54,4	19,0	53,2	17,8	1,031
80	92,8	54,4	19,0	52,9	17,5	1,031
81	93,0	54,2	18,8	52,9	17,5	1,033
82	93,0	54,4	19,0	53,2	17,8	1,033
83	93,2	54,5	19,1	53,1	17,7	1,036
84	93,2	54,5	19,1	53,1	17,7	1,036
85	92,5	54,6	19,2	53,2	17,8	1,028
86	92,5	54,5	19,1	53,1	17,7	1,028
87	92,4	54,5	19,1	52,9	17,5	1,027
88	92,9	54,4	19,0	52,9	17,5	1,032
89	92,5	54,5	19,1	53,0	17,6	1,028
90	92,5	54,4	19,0	52,7	17,3	1,028

Δοκίμιο 1001010 _90 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=35,4 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
91	92,6	54,4	19,0	52,8	17,4	1,029
92	92,6	54,4	19,0	53,0	17,6	1,029
93	92,7	54,4	19,0	52,9	17,5	1,030
94	92,8	54,4	19,0	52,9	17,5	1,031
95	92,8	54,5	19,1	52,6	17,2	1,031
96	92,7	54,5	19,1	52,7	17,3	1,030
97	92,8	54,5	19,1	52,7	17,3	1,031
98	93,0	54,4	19,0	53,0	17,6	1,033
99	92,9	54,4	19,0	52,8	17,4	1,032
100	93,2	54,4	19,0	52,8	17,4	1,036
101	93,2	54,4	19,0	52,7	17,3	1,036
102	93,4	54,4	19,0	52,7	17,3	1,038
103	93,6	54,4	19,0	52,5	17,1	1,040
104	93,4	54,3	18,9	53,0	17,6	1,038
105	93,7	54,4	19,0	53,2	17,8	1,041
106	93,7	54,3	18,9	52,8	17,4	1,041
107	93,6	54,5	19,1	52,7	17,3	1,040
108	93,6	54,4	19,0	52,7	17,3	1,040
109	93,8	54,4	19,0	53,0	17,6	1,042
110	93,7	54,4	19,0	52,7	17,3	1,041
111	93,7	54,4	19,0	52,7	17,3	1,041
112	93,7	54,4	19,0	52,5	17,1	1,041
113	93,8	54,4	19,0	52,7	17,3	1,042
114	93,8	54,2	18,8	52,4	17,0	1,042
115	93,7	54,1	18,7	52,5	17,1	1,041
116	94,0	54,0	18,6	52,4	17,0	1,044
117	94,1	53,8	18,4	52,8	17,4	1,046
118	94,2	53,7	18,3	53,3	17,9	1,047
119	94,3	53,8	18,4	52,5	17,1	1,048
120	94,4	53,8	18,4	52,7	17,3	1,049
121	94,2	53,7	18,3	52,7	17,3	1,047
122	94,5	53,7	18,3	52,7	17,3	1,050
123	94,5	53,7	18,3	53,4	18,0	1,050
124	94,7	53,9	18,5	52,9	17,5	1,052
125	94,7	53,9	18,5	52,7	17,3	1,052
126	95,2	54,0	18,6	53,1	17,7	1,058
127	95,2	54,2	18,8	52,7	17,3	1,058
128	95,2	54,3	18,9	52,5	17,1	1,058
129	95,3	54,2	18,8	53,0	17,6	1,059
130	95,4	54,4	19,0	52,7	17,3	1,060
131	95,4	54,3	18,9	52,6	17,2	1,060
132	95,6	54,3	18,9	53,0	17,6	1,062
133	95,4	54,4	19,0	52,7	17,3	1,060
134	95,4	54,2	18,8	53,2	17,8	1,060
135	95,6	54,3	18,9	53,0	17,6	1,062

Δοκίμιο 1001010 _90 A _ 25 Nm _$T_{αρχ.}$=35,4 °C						
α/α	**ΔV [mV]**	**θ1 [°C]**	**Δθ1 [°C]**	**θ2 [°C]**	**Δθ2 [°C]**	**R [mΩ]**
136	95,7	54,4	19,0	52,9	17,5	1,063
137	95,9	54,4	19,0	52,8	17,4	1,066
138	96,1	54,3	18,9	53,2	17,8	1,068
139	96,1	54,3	18,9	52,8	17,4	1,068
140	96,2	54,4	19,0	53,0	17,6	1,069
141	96,2	54,3	18,9	52,9	17,5	1,069
142	96,2	54,4	19,0	53,1	17,7	1,069
143	96,2	54,4	19,0	52,9	17,5	1,069
144	96,3	54,5	19,1	53,0	17,6	1,070
145	96,3	54,5	19,1	52,8	17,4	1,070
146	96,4	54,6	19,2	52,7	17,3	1,071
147	96,8	54,5	19,1	52,9	17,5	1,076
148	96,1	54,5	19,1	53,2	17,8	1,068
149	95,9	54,7	19,3	53,1	17,7	1,066
150	96,0	54,4	19,0	53,2	17,8	1,067
151	96,1	54,6	19,2	52,9	17,5	1,068
152	96,2	54,7	19,3	53,2	17,8	1,069
153	96,3	54,6	19,2	53,1	17,7	1,070
154	96,1	54,5	19,1	52,7	17,3	1,068
155	96,1	54,6	19,2	52,8	17,4	1,068
156	96,5	54,5	19,1	53,0	17,6	1,072
157	96,4	54,6	19,2	52,9	17,5	1,071
158	96,4	54,7	19,3	52,9	17,5	1,071
159	96,5	54,6	19,2	53,0	17,6	1,072
160	96,6	54,7	19,3	53,0	17,6	1,073
161	96,6	54,5	19,1	53,2	17,8	1,073
162	96,6	54,4	19,0	53,2	17,8	1,073
163	96,5	54,5	19,1	53,7	18,3	1,072
164	96,8	54,6	19,2	53,6	18,2	1,076
165	97,1	54,7	19,3	52,8	17,4	1,079
166	97,4	54,4	19,0	53,1	17,7	1,082
167	97,1	54,4	19,0	52,9	17,5	1,079
168	97,5	54,5	19,1	53,0	17,6	1,083
169	97,3	54,4	19,0	53,2	17,8	1,081
170	97,7	54,4	19,0	53,2	17,8	1,086
171	97,6	54,5	19,1	53,3	17,9	1,084
172	97,5	54,6	19,2	53,4	18,0	1,083
173	97,5	54,6	19,2	53,2	17,8	1,083
174	97,7	54,5	19,1	53,1	17,7	1,086
175	97,8	54,4	19,0	53,2	17,8	1,087
176	98,0	54,7	19,3	53,4	18,0	1,089
177	97,3	54,8	19,4	54,0	18,6	1,081
178	97,4	54,8	19,4	53,0	17,6	1,082
179	97,4	54,8	19,4	53,3	17,9	1,082
180	97,6	54,7	19,3	52,9	17,5	1,084

5 Βιβλιογραφία

[1] CENELEC. EN50164.1 "Lightning Protection Components (LPC) Part 1: Requirements for connection components", 1999.

[2] Αικατερίνη Πολυκράτη: " Συμπεριφορά στατικών ηλεκτρικών συνδέσμων υπό ταχέως μεταβαλλόμενες ηλεκτρικές καταπονήσεις", Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2005

[3] Π.Δ. Μπούρκας , Κ.Γ. Καραγιαννόπουλος: "Μετρήσεις σε βιομηχανικές διατάξεις και υλικά", Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2004

[4] Κυριάκος Ν. Βασιλάκης: "Διερεύνηση της επίδρασης της ροπής σύσφιξης στην αξιοπιστία των στατικών ηλεκτρικών συνδέσμων", Διπλωματική εργασία, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π. ,2005

[5] Κωνσταντινίδης Γεώργιος : " Μετρήσεις λυόμενων συνδέσμων σε κυκλώματα γειώσεων", Διπλωματική εργασία, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π. ,2005

[6] Karagiannopoulos C.G., Bourkas P.D., Dervos C.T.: "Measurements on contacts of no-load switches, using different currents and clamping spring force values" Pro.Int.Applied Modeling and Simulations, Lugano, p.94-97 (1990)

[7] Κοντός Δημήτριος: "Προστασία κτισμάτων & κατασκευών με την αρχή κλωβού Faraday και ακίδα Franklin", Εκδόσεις ΕΛΕΜΚΟ, 1987

[8] A.Polykrati, M. Paisios, K. Karagiannopoulos, P. Bourkas : "Model for temperature, estimation of electric couplings suffering heavy lightning currents", IEE Proc. – Gener. Trasm. Distrib., Vol. 151, No. 1, Jan 2004

[9] Ι. Α. Σταθόπουλος: "Προστασία τεχνικών εγκαταστάσεων έναντι υπερτάσεων", Εκδόσεις Συμεών

[10] Ι. Α. Σταθόπουλος: "Υψηλές τάσεις Ι ", Εκδόσεις Συμεών

[11] R. Holm: " Electric Contacts, Theory and Applications", Εκδόσεις Springer

[12] Ψωμόπουλος Κων/νος: "Μη γραμμικά φαινόμενα σε μονωτές και επαφές διακοπτών υψηλών τάσεων / ψηφιακών μετατροπέων", Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π

[13]Ηλίας Α. Σαββινίδης: "Επίδραση ροπής σύσφιξης στην αξιοπιστία μόνιμων ηλεκτρικών συνδέσμων κυκλωμάτων γειώσεων", Διπλωματική εργασία, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

[14] A.D. Polykrati, N.E. Koungelis, M.P. Paisios, P.T. Tsarabaris, P.D. Bourkas:"Evaluation of the reliability of electrical screw couplings of lightning protection systems", Int.Conference on Power and Energy Systems (EuroPES) Rhodes, Greece,28-30 June, 2004