



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΩΜΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΔΑΠΕΔΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Ευάγγελου Τερζάκη

Επιβλέπων : Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΩΜΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΔΑΠΕΔΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Ευάγγελου Τερζάκη

Επιβλέπων : Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 25 Οκτωβρίου 2010.

.....
Π.ΤΣΑΡΑΜΠΑΡΗΣ
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

.....
Κ.ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ν.ΘΕΟΔΩΡΟΥ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2010

.....

ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΤΕΡΖΑΚΗΣ

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

© 2010 – 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 παρών μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη 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 ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περιεχόμενα

| | |
|--|-----------|
| Περίληψη..... | 7 |
| Κεφάλαιο 1. Βασικές Αρχές Ηλεκτροστατικής Εκφόρτισης..... | 9 |
| Ιστορικά στοιχεία..... | 9 |
| Γενικά περί Στατικού Ηλεκτρισμού και Ηλεκτροστατικής Εκφόρτισης | 11 |
| 1.1 Τρόποι δημιουργίας Στατικού Ηλεκτρισμού | 12 |
| 1.1.1 Τριβοηλεκτρισμός | 12 |
| 1.1.2 Επαγωγή | 18 |
| 1.1.3 Απευθείας Μεταφορά Φορτίου με Επαφή | 19 |
| 1.1.4 Βομβαρδισμός με Ιόντα | 20 |
| 1.2 Είδη Ηλεκτροστατικών Εκφορτίσεων | 21 |
| 1.2.1 Ηλεκτρικός Σπινθηρισμός | 22 |
| 1.2.2 Φαινόμενο Corona | 22 |
| 1.2.3 Διάσπαση μεταξύ αγώγιμου ηλεκτροδίου και μονωτικού | 23 |
| 1.2.4 Θυσανοειδής Ηλεκτρική Εκκένωση | 23 |
| 1.2.5 Μεταδιδόμενη Θυσανοειδής Εκκένωση..... | 23 |
| 1.2.6 Εκκένωση Κώνου..... | 24 |
| 1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη δημιουργία ηλεκτροστατικού πεδίου | 24 |
| 1.3.1 Συνθήκες χώρου..... | 24 |
| 1.3.2 Ηλεκτρική Συμπεριφορά Υλικού | 25 |
| 1.4 Γενικά περί δαπέδων | 28 |
| 1.5 Μοντέλα Ελέγχου Ευαισθησίας Διατάξεων σε Ηλεκτροστατικές Εκφορτίσεις .. | 30 |
| 1.5.1 Μοντέλο Ανθρωπίνου Σώματος(HBM-Human Body Model) | 31 |
| 1.5.2 Μοντέλο Μηχανής(MM-Machine Model) | 32 |
| 1.5.3 Μοντέλο Φορτισμένης Διάταξης(CDM-Charged Device Model) | 34 |
| 1.6 Ευαισθησία Διατάξεων – Κατάταξη Ευαισθησίας Ηλεκτρικών Διατάξεων | 35 |
| 1.7 Βλάβες Ηλεκτροστατικών Εκφορτίσεων σε Ηλεκτρονικές Διατάξεις | 37 |
| 1.7.1 Αστοχία Παραμέτρου | 38 |
| 1.7.2 Καταστροφική Αστοχία | 38 |
| 1.7.3 Λανθάνον Ελάττωμα..... | 38 |

| | |
|--|------------|
| 1.8 Μηχανισμοί Βλαβών από Ηλεκτροστατικές Εκφορτίσεις | 39 |
| 1.8.1 Διηλεκτρική Κατάρρευση | 39 |
| 1.8.2 Κάρφωμα Συνένωσης(Junction Spiking) | 39 |
| 1.8.3 Μανδάλωση (Latch up Failure) | 40 |
| 1.9 Έλεγχος Ηλεκτρικών Εκφορτίσεων | 40 |
| 1.9.1 Σχεδιασμός για απαλλαγή από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις | 41 |
| 1.9.2 Καθορισμός του επιθυμητού επιπέδου ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων | 41 |
| 1.9.3 Καθορισμός προστατευμένης περιοχής | 42 |
| 1.9.4 Μειώνοντας και Αποβάλλοντας το Σχηματισμό Φορτίου | 43 |
| 1.9.5 Διασκορπισμός και Ουδετεροποίηση | 43 |
| 1.9.6 Προστασία από Ηλεκτροστατικές Εκφορτίσεις(ESD) | 44 |
| 1.10 Πολυμερή και Στατικός Έλεγχος | 45 |
| 1.10.1 Μέθοδοι Ενίσχυσης Αγωγιμότητας Πολυμερών | 46 |
| 1.11 Γείωση | 48 |
| 1.12 Αντιστατικά Δάπεδα | 55 |
| 1.12.1 Δάπεδα – Πρώτες Εφαρμογές | 55 |
| 1.12.2 Σύγχρονα Δάπεδα Προστασίας | 56 |
| 1.12.3 Επιλογή Δαπέδου | 58 |
| 1.12.4 Συντήρηση Δαπέδων | 60 |
| 1.12.5 Επιδιόρθωση και Αντικαταστάσεις | 61 |
| Κεφάλαιο 2 Διάταξη Μέτρησης και Διαδικασία Μετρήσεων | 63 |
| 2.1 Γενικά | 63 |
| 2.2 Χρησιμοποιούμενα Δοκίμια | 63 |
| 2.3 Διάταξη Μετρήσεων | 63 |
| 2.4 Διαδικασία Μετρήσεων | 64 |
| Κεφάλαιο 3 Αποτελέσματα Μετρήσεων | 67 |
| Κεφάλαιο 4 Επεξεργασία Μετρήσεων – διαγράμματα και σχολιασμός αποτελεσμάτων | 87 |
| Κεφάλαιο 5 Βιβλιογραφία | 123 |

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τη μελέτη δύο παραμέτρων που επηρεάζουν τη μέτρηση της επιφανειακής αντίστασης των αντιστατικών δαπέδων. Συγκεκριμένα μελετώνται η επίδραση α) του χρόνου μέτρησης της αντίστασης και β) της απόστασης των ηλεκτροδίων.

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε ένα μεγάλο πλήθος μετρήσεων με στόχο να εξαλειφθούν τυχόν σφάλματα μέτρησης καθώς και να παρατηρηθούν άλλοι παράγοντες ή φαινόμενα που τυχόν μπορούν να επηρεάσουν την ωμική συμπεριφορά των δαπέδων.

Ως εκ τούτου τα συμπεράσματα που προκύπτουν βοηθούν στην καλύτερη και βαθύτερη κατανόηση των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των αντιστατικών δαπέδων στη περαιτέρω βελτίωσή τους και ίσως στη χρήση τους και σε άλλες εφαρμογές υπό διαφορετικό πρίσμα.

Λέξεις κλειδιά

Δάπεδο, αντιστατικό δάπεδα, δάπεδο διασκορπισμού, ηλεκτροστατικό φορτίο, ηλεκτροστατική εκφόρτιση, επιφανειακή αντίσταση, αντίσταση όγκου, μόνωση, ηλεκτρόδια.

ABSTRACT

The purpose of the present project is the study of two (2) parameters that have effect on the measurement of surface resistivity of the antistatic floors. Particularly we study the effects of a)voltage time application and b)electrodes distance.

For that purpose, there have been conducted a huge number of measurements to minimize any measuring faults and observe any other variables or phenomena that affect the resistivity of an antistatic floor.

Consequently the conclusions that stem from this project help in the better and deeper comprehension of electric properties of anti-static floors in their further improvement and perhaps in their use and in other applications under different prism.

Keywords

Floor, flooring, antistatic floors, static dissipative flooring, electrostatic charge, electrostatic discharge, surface resistivity, volume resistivity, electrodes.

Κεφάλαιο 1. Βασικές Αρχές Ηλεκτροστατικής Εκφόρτισης

Ιστορικά στοιχεία.

Η ύπαρξη του στατικού ηλεκτρισμού δεν είναι κάτι το οποίο έγινε αντιληπτό τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της ραγδαίας ανάπτυξης των ηλεκτρονικών και κυρίως των μικροηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

Ήδη από τον 6^ο π.Χ. αιώνα ο Θαλής ο Μιλήσιος διεξήγαγε τα πρώτα πειράματα στατικού ηλεκτρισμού που περιλάμβαναν το τρίψιμο ενός κομματιού από ήλεκτρο (κεχριμπάρι) με ένα δερμάτινο κομμάτι και την παρατήρηση ότι κατόπιν το ήλεκτρο μπορούσε να ελκύει ελαφρά αντικείμενα όπως τρίχες, πούπουλα κτλ.

Η κατανόηση ωστόσο των προβλημάτων που προκύπτουν από το φαινόμενο αυτό καθώς και οι πρώτες προσπάθειες αντιστατικής προστασίας έγιναν πολύ αργότερα. Περί τον 15^ο αιώνα στα οχυρά της Ευρώπης και της Καραϊβικής, καθώς και στα πολεμικά πλοία της εποχής εκείνης, χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι και διατάξεις για την αντιμετώπιση του στατικού ηλεκτρισμού καθώς υπήρχε κίνδυνος ανάφλεξης της πυρίτιδας (μπαρούτι) που αυτά έφεραν.

Η πιο σοβαρή εργασία πάνω στον τομέα του στατικού ηλεκτρισμού ξεκίνησε κατά τη διάρκεια της Αναγέννησης, όταν ο Gilbert εξέδωσε το βιβλίο του De Magnete (Ο Μαγνήτης) στα 1600. Στους επόμενους αιώνες τα πειράματα και οι εργασίες των Gauss, Coulomb, Faraday και Franklin θεμελίωσαν μια στέρεα βάση όσον αφορά τη γνώση και την κατανόηση του φαινομένου αυτού.

Από το 1860, τα εργοστάσια χαρτοποιίας των ΗΠΑ χρησιμοποιούσαν τεχνικές γείωσης, ιονισμού καθώς και ατμό για να διασκορπίσουν τον στατικό ηλεκτρισμό από τα ρολά χαρτιού κατά τη διαδικασία του στεγνώματος.

Κατά τα τέλη του 19^{ου} αιώνα, μπορεί το ενδιαφέρον στην επιστήμη του ηλεκτρισμού να μεταφέρθηκε από τον στατικό ηλεκτρισμό στον δυναμικό ηλεκτρισμό (μπαταρίες και γεννήτριες), είχαμε όμως σημαντικές εφευρέσεις για τον αντιστατικό έλεγχο. Μερικές από αυτές ήταν ο ηλεκτροστατικός κρημνιστής για τον καθαρισμό του βιομηχανικού καπνού (μέσω της καθίζησης των σωματιδίων του καπνού), τα ηλεκτροστατικά φίλτρα αέρα για τον καθαρισμό του αέρα σε κλειστά

περιβάλλοντα και οι μπάρες ιονισμού για τον έλεγχο της ανάπτυξης στατικού ηλεκτρισμού κατά τη κατασκευή υφασμάτων και χαρτιού.

Η κατάσταση άρχισε να αλλάζει μετά τον 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο με την εμφάνιση και την ευρεία χρήση των πολυμερών και υψηλής μόνωσης υλικών όπως το πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο, το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) και άλλα. Η κατασκευή και ο χειρισμός αυτών των προϊόντων δημιούργησε προβλήματα ιδίως στα ξηρά περιβάλλοντα.

Αρχικά οι διαδικασίες στατικού ελέγχου τελούνταν μέσω της γεφύρωσης των μεταλλικών μερών των συσκευών μεταξύ τους κατά τη διάρκεια της φόρτωσης, χρησιμοποιώντας μπάρες γείωσης και εργάτες που είχαν «γειωθεί» για να τα χειρίζονται. Στα τέλη της δεκαετίας του 60 και στις αρχές της δεκαετίας του 70 ο Αμερικανικός στρατός σε συνεργασία με τις βιομηχανίες έθεσαν τα πρώτα πρότυπα αντιστατικού ελέγχου και προστασίας.

Στα επόμενα χρόνια αυτά εξειδικεύτηκαν, συμπληρώθηκαν, αναθεωρήθηκαν και μέχρι σήμερα επανεξετάζονται ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των ημερών. Επιστέγασμα όλων αυτών ήταν η δημιουργία του οργανισμού ESD (ESD Association), ο οποίος έχει και τον πρώτο λόγο στο θέμα των προτύπων σε συνεργασία πάντα με τους άλλους μεγάλους επιστημονικούς οργανισμούς όπως IEEE, EIA, ASTM και ANSI. Παρά τις μεγάλες προσπάθειες της τελευταία δεκαετίας, η ηλεκτροστατική εκφόρτιση (**ESD : ElectroStatic Discharge**) εξακολουθεί να επιδρά στην απόδοση της παραγωγής, την ποιότητα την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα των προϊόντων.

Στις βιομηχανίες, οι ειδικοί έχουν υπολογίσει το μέσο όρο της παραγωγής, που χάνεται εξαιτίας του στατικού ηλεκτρισμού, από 8 – 33% (Πίνακας 1-1). Άλλοι εκτιμούν ότι το κόστος από τις βλάβες ηλεκτροστατικής εκφόρτισης στην ηλεκτρονική βιομηχανία, αγγίζει τα 2 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως. Το κόστος των κατεστραμμένων μηχανημάτων κοστίζει, από λίγα σεντς για μια απλή δίοδο, σε αρκετές εκατοντάδες δολάρια για σύνθετα τσιπς.

Πίνακας 1-1: Πίνακας απωλειών στην παραγωγή λόγω στατικού φορτίου.

| Περίληπτικός Πίνακας Απωλειών Στατικού Ηλεκτρισμού ανά Κατηγορία | | | |
|--|-------------|------------|-------------------------|
| Αναφερόμενες Απώλειες Στατικού Ηλεκτρισμού | | | |
| Περιγραφή | Ελαχ. Απωλ. | Μεγ. Απωλ. | Εκτιμώμενες Μέσες Απώλ. |
| Κατασκευαστές Εξαρτημάτων | 4% | 97% | 16-22% |
| Υπεργολάβοι | 3% | 70% | 9-15% |
| Εργολάβοι | 2% | 35% | 8-14% |
| Χρήστης | 5% | 70% | 27-33% |

Πηγή: Stephen Halperin "Guidelines for Static Control Management", Eurostat, 1990

Γενικά περί Στατικού Ηλεκτρισμού και Ηλεκτροστατικής Εκφόρτισης.

Ο στατικός ηλεκτρισμός ορίζεται ως ένα ηλεκτρικό φορτίο που προκαλείται από τη δυσαναλογία των ηλεκτρονίων στην επιφάνεια ενός υλικού. Αυτή η δυσαναλογία των ηλεκτρονίων παράγει ένα ηλεκτρικό πεδίο που μπορεί να μετρηθεί και που μπορεί να επηρεάσει άλλα αντικείμενα σε μια ορισμένη απόσταση. Η ηλεκτροστατική εκφόρτιση ορίζεται ως η μεταφορά φορτίου μεταξύ σωμάτων με διαφορετικό ηλεκτρικό δυναμικό.

Η ηλεκτροστατική εκφόρτιση μπορεί να αλλάξει τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας συσκευής ημιαγωγών, ή ακόμα και να την καταστρέψει. Η ηλεκτροστατική εκφόρτιση μπορεί επίσης να διαταράξει την κανονική λειτουργία ενός ηλεκτρονικού συστήματος, προκαλώντας τη δυσλειτουργία ή την αποτυχία του εξοπλισμού.

Ένα άλλο πρόβλημα που προκαλείται από το στατικό ηλεκτρισμό εμφανίζεται στα καθαρά περιβάλλοντα. Οι φορτισμένες επιφάνειες μπορούν να προσελκύσουν και να κατακρατήσουν διάφορες ακαθαρσίες, καθιστώντας δύσκολη την αφαίρεσή τους από το χώρο. Όταν ελκύονται στην επιφάνεια μιας φέτας πυριτίου ή στο ηλεκτρικό κύκλωμα μιας συσκευής, αυτά τα σωματίδια μπορούν να προκαλέσουν τυχαίες ατέλειες στη φέτα πυριτίου και να μειώσουν την απόδοση των προϊόντων.

1.1 Τρόποι δημιουργίας Στατικού Ηλεκτρισμού

Για τον έλεγχο των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων, πρέπει πρώτα να εξεταστούν ποιά είναι τα γενεσιουργά αίτια μιας ηλεκτροστατικής εκφόρτισης. Η ηλεκτροστατική εκφόρτιση προκαλείται βασικά από τη μεταφορά ηλεκτρονίων ανάμεσα σε δυο σώματα.

Οι βασικοί μηχανισμοί δημιουργίας ηλεκτροστατικού φορτίου και αυτοί είναι: 1) ο τριβοηλεκτρισμός (δηλαδή η επαφή και στη συνέχεια διαχωρισμός δύο αντικειμένων), 2) η επαγωγή, 3) η απευθείας μεταβίβαση φορτίου με επαφή και 4) ο βομβαρδισμός ενός αντικειμένου με ιόντα.

Σε όλες τις πιο πάνω περιπτώσεις, τα αντικείμενα αποκτούν και διατηρούν για αρκετό διάστημα στατική φόρτιση στις επιφάνειές τους που κυμαίνεται συνήθως από τα 5V έως και περισσότερα από τα 35,000 V (Πίνακας 1.1-1).

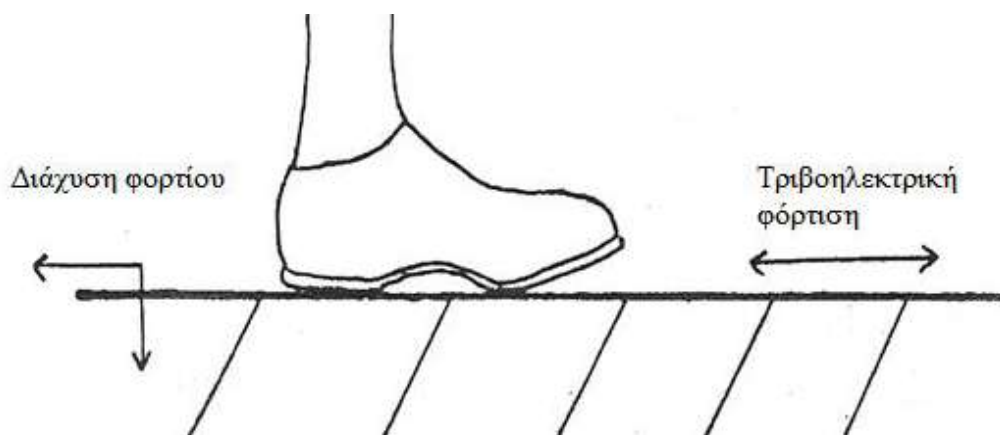
Πίνακας 1.1-1: Τυπικά επίπεδα τάσης που δημιουργούνται από στατικά φορτία.

| Παραδείγματα δημιουργίας στατικού φορτίου και προκαλούμενα επίπεδα τάσης σε διάφορα επίπεδα σχετικής υγρασίας (Σχ. Υγρ.) | | |
|---|------------------------|------------------------|
| Τρόποι δημιουργίας | 10-20% Σχ. Υγρ. | 65-90% Σχ. Υγρ. |
| Περπάτημα σε μοκέτα (χαλί) | 35.000V | 1.500V |
| Περπάτημα σε πλακάκι βινυλίου | 12.000V | 250V |
| Εργάτης σε πάγκο εργασίας | 6.000V | 100V |
| Τσάντα από πολυμερές που σύρεται πάνω σε πάγκο | 20.000V | 1.200V |
| Καρέκλα με αφρό ουρεθάνης | 18.000V | 1.500V |

1.1.1 Τριβοηλεκτρισμός

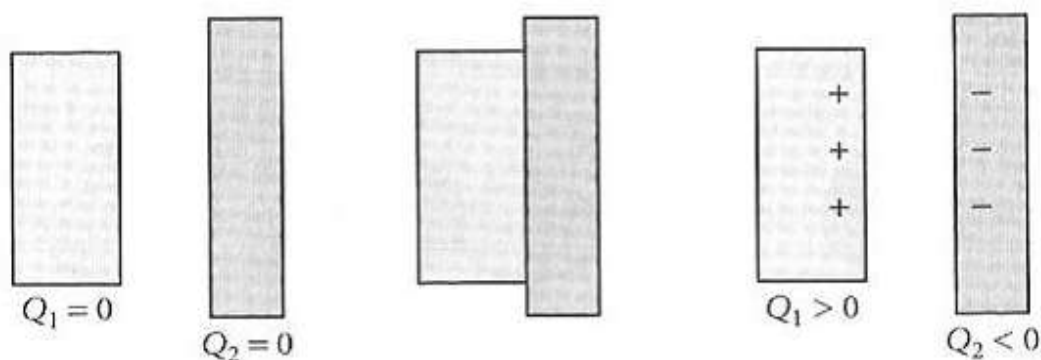
Ο συνηθέστερος τρόπος δημιουργίας ηλεκτροστατικής φόρτισης είναι από την επαφή και το διαχωρισμό δύο υλικών. Παραδείγματος χάριν, ένα άτομο που

περπατά πάνω σε ένα πάτωμα παράγει ηλεκτροστατικό φορτίο ως αποτέλεσμα της επαφή και έπειτα του αποχωρισμού των πελμάτων των παπουτσιών του από την επιφάνεια του πατώματος (Εικόνα 1.1.1-1).



Εικόνα 1.1.1-1: Το τριβοηλεκτρικό φαινόμενο κατά το περπάτημα.

Επίσης από μια ηλεκτρονική συσκευή που γλιστρά μέσα σε μία τσάντα ή από μια τσάντα, παράγεται ηλεκτροστατικό φορτίο είτε ακόμα από ένα περιοδικό (ή έναν σωλήνα) καθώς το κάλυμμα του αντικειμένου (ή τα μεταλλικά μέρη του σωλήνα) έρχονται σε επαφή με την επιφάνεια του περιβλήματος (το αμπαλάρισμα για τη μεταφορά τους) και διαχωρίζονται από αυτήν πολλές φορές(Εικόνα 1.1.1-2).



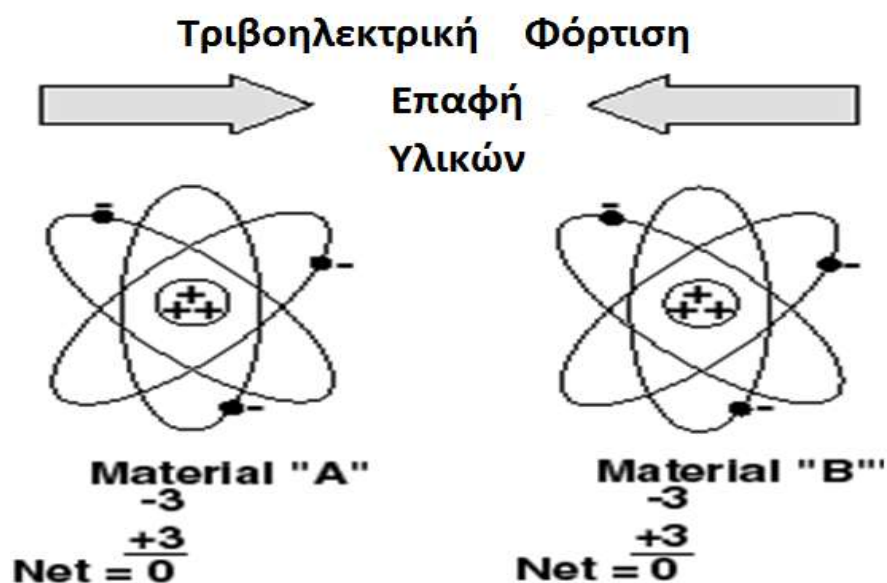
Εικόνα 1.1.1-2: Το τριβοηλεκτρικό φαινόμενο κατά την επαφή και τον αποχωρισμό δυο αντικειμένων.

Η δημιουργία της ηλεκτροστατικής φόρτισης από την επαφή και το χωρισμό των υλικών είναι γνωστή ως τριβοηλεκτρική φόρτιση και περιλαμβάνει τη

μεταφορά των ηλεκτρονίων μεταξύ των υλικών. Τα άτομα ενός αρχικά αφόρτιστου υλικού έχουν ίσο αριθμό πρωτονίων και ηλεκτρονίων.

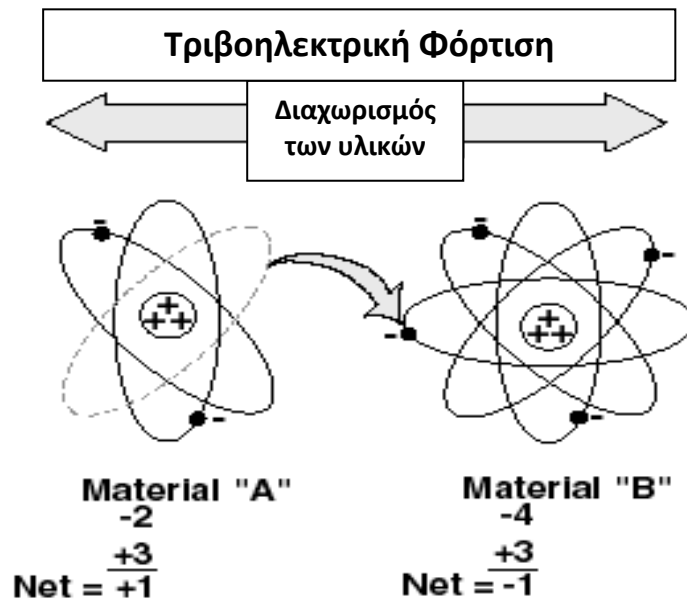
Τα ηλεκτρόνια κατανέμονται γύρω από τον πυρήνα σε διάφορες στιβάδες και υποστιβάδες σύμφωνα με συγκεκριμένους κανόνες. Τα ηλεκτρόνια τα οποία καταλαμβάνουν τις εξωτερικές υποστιβάδες είναι τα πιο απομακρυσμένα και επομένως τα πιο ασθενώς συνδεδεμένα με τον θετικά φορτισμένο πυρήνα.

Ένας τρόπος να διεγείρουμε τα ηλεκτρόνια των εξωτερικών υποστιβάδων που κινούνται ελεύθερα στη μάζα των υλικών (κυρίως μετάλλων) είναι και η τριβή. Με την τριβή τα δύο εμπλεκόμενα υλικά που αρχικά είναι ηλεκτρικά ουδέτερα φορτίζονται. Το υλικό «Α» αποτελείται από άτομα με ίσους αριθμούς πρωτονίων και ηλεκτρονίων. Το υλικό Β αποτελείται επίσης από άτομα με ίσους (εν τούτοις ίσως διαφορετικούς) αριθμούς πρωτονίων και ηλεκτρονίων. Και τα δύο υλικά είναι ηλεκτρικά ουδέτερα (Εικόνα 1.1.1-3).



Εικόνα 1.1.1-3: Δυο υλικά προτού έρθουν σε επαφή τα άτομά τους.

Όταν τα δύο υλικά τοποθετούνται σε επαφή και έπειτα χωρίζονται, τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια μεταφέρονται από την επιφάνεια του ενός υλικού στην επιφάνεια του άλλου υλικού (Εικόνα 1.1.1-4).



Εικόνα 1.1.1-4: Τα άτομα των υλικών μετά τον διαχωρισμό τους.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι αν κατά τη διαδικασία της τριβής και τα δύο υλικά που εμπλέκονται είναι αγωγοί τότε τα ελεύθερα ηλεκτρόνια θα επανακατανεμηθούν και θα ισορροπήσουν ξανά στα δύο υλικά, δηλαδή δεν θα υπάρξει φόρτιση σε αυτή την περίπτωση. Αν όμως ένα από τα δύο υλικά είναι μονωτής ή αν και τα δύο είναι μονωτές τότε ένα υπολειπόμενο φορτίο θα παραμείνει στο μονωτικό υλικό. Αυτό το πλεονάζον φορτίο δημιουργεί τη διαφορά δυναμικού που μπορεί στη συνέχεια να οδηγήσει σε κάποια ηλεκτροστατική εκφόρτιση.

Κατά την ανταλλαγή των ηλεκτρονίων μεταξύ των δυο υλικών το ένα θα γίνει θετικά φορτισμένο και το άλλο θα γίνει αρνητικά φορτισμένο. Το ποιο υλικό χάνει ηλεκτρόνια και το ποιο αποκτά ηλεκτρόνια θα εξαρτηθεί από τη φύση των δύο υλικών. Το υλικό που χάνει τα ηλεκτρόνια γίνεται θετικά φορτισμένο, ενώ το υλικό που αποκτά τα ηλεκτρόνια είναι αρνητικά φορτισμένο.

Το ηλεκτροστατικό φορτίο μετριέται σε Coulomb. Το φορτίο « q » σε ένα αντικείμενο ορίζεται από το γινόμενο της χωρητικότητας του αντικειμένου « C » και της διαφοράς δυναμικού « V »: $q = C \cdot V$.

Συνήθως, εντούτοις, όταν μιλάμε για το ηλεκτροστατικό δυναμικό σε ένα αντικείμενο, το μετράμε ως τάση.

Το ποσό του φορτίου που δημιουργείται από τον τριβοηλεκτρισμό επηρεάζεται από το μέγεθος της επιφάνειας της επαφής, την ταχύτητα του διαχωρισμού, τη σχετική υγρασία, και από άλλους παράγοντες. Μόλις δημιουργηθεί το φορτίο σε ένα υλικό, γίνεται ηλεκτροστατικό φορτίο (εάν παραμένει στο υλικό). Αυτό το φορτίο μπορεί να μεταφερθεί από το υλικό, δημιουργώντας μια ηλεκτροστατική εκφόρτιση (ή ESD κατά τη διεθνή ορολογία).

Επιπρόσθετοι παράγοντες όπως η αντίσταση του πραγματικού κυκλώματος εκφόρτισης και η αντίσταση επαφής στη διεπαφή μεταξύ των αντικείμενων επαφών έχει επίσης επιπτώσεις στο πραγματικό φορτίο που μπορεί να προκαλέσει τη βλάβη.

Όταν δύο υλικά έρχονται σε επαφή μεταξύ τους και διαχωρίζονται, η πολικότητα και το μέγεθος του φορτίου καθορίζονται από τις θέσεις των υλικών στον πίνακα της τριβοηλεκτρικής σειράς. Ο πίνακας τριβοηλεκτρικής σειράς (βλ. Πίνακα 1.1.1-1) δείχνει πώς παράγεται φορτίο σε διάφορα υλικά.

Όταν δύο υλικά έρχονται σε επαφή και μετά αποχωρίζονται, αυτό που βρίσκεται πλησιέστερα στην κορυφή της σειράς παίρνει θετικό φορτίο, ενώ το άλλο αρνητικό φορτίο. Τα υλικά που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση στον πίνακα παράγουν τυπικά υψηλότερο φορτίο από αυτά που βρίσκονται σε μικρότερη απόσταση μεταξύ τους.

Αυτός ο πίνακας, εντούτοις, πρέπει μόνο να χρησιμοποιηθεί ως γενικός οδηγός επειδή είναι πολλές οι σχετικές μεταβλητές που δεν μπορούν να ελεγχθούν αρκετά καλά και να εξασφαλίσουν την επαναληψιμότητα της μέτρησης (δηλαδή ότι μπορεί να επαναληφθεί η ίδια μέτρηση κάτω ακριβώς από τις ίδιες συνθήκες). Ένας τυπικός τέτοιος πίνακας είναι ο ακόλουθος:

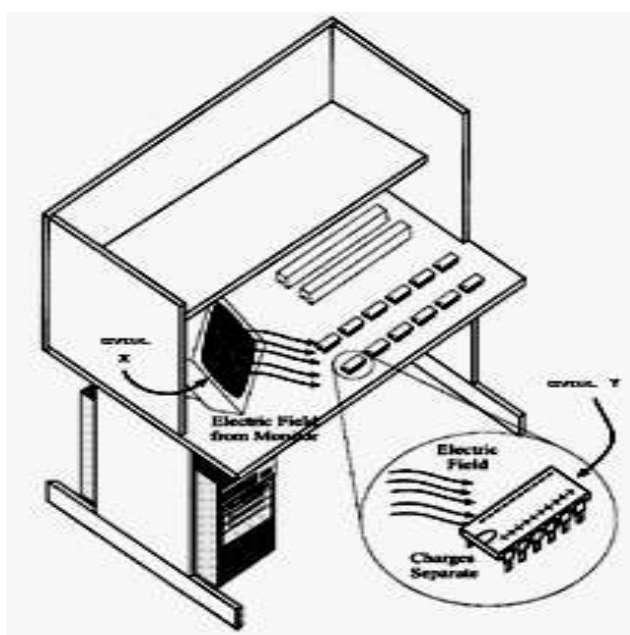
Πίνακας 1.1.1-1: Πίνακας Τριβηλεκτρικής Σειράς διαφόρων υλικών.

| Περισσότερο θετικά (+) | | |
|---------------------------------|-----|-----|
| Air | +++ | |
| Human Hands, Skin | | |
| Asbestos | | |
| Rabbit Fur | | |
| Glass | | |
| Human Hair | | |
| Mica | | |
| Nylon | | |
| Wool | | |
| Lead | | |
| Cat Fur | | + |
| Silk | | |
| Aluminum | | |
| Paper | | |
| Cotton | | |
| Steel | - | |
| Wood | | |
| Lucite | | |
| Sealing Wax | | |
| Amber | | |
| Rubber Balloon | | |
| Hard Rubber | | |
| Mylar | | |
| Nickel | | |
| Copper | | |
| Silver | | |
| uv Resist | | |
| Brass | | |
| Synthetic Rubber | | |
| Gold, Platinum | | |
| Sulfur | | |
| Acetate, Rayon | | |
| Polyester | | |
| Celluloid | | |
| Polystyrene | | |
| Orlon, Acrylic | | |
| Cellophane Tape | | |
| Polyvinylidene chloride (Saran) | | |
| Polyurethane | | |
| Polyethylene | | |
| Polypropylene | | |
| Polyvinylchloride (Vinyl) | | --- |
| Kel-F (PCTFE) | | |
| Silicon | | |
| Teflon | | |
| Silicone Rubber | | |
| Περισσότερο αρνητικά (-) | | |

Ουσιαστικά όλα τα υλικά, συμπεριλαμβανομένων των μορίων νερού και των ρυπογόνων σωματιδίων του αέρα, μπορούν να φορτιστούν τριβοηλεκτρικά. Το πόσο φορτίο παράγεται, το που αυτό πηγαίνει, και το πόσο γρήγορα, προκύπτει ως συνάρτηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των υλικών.

1.1.2 Επαγωγή

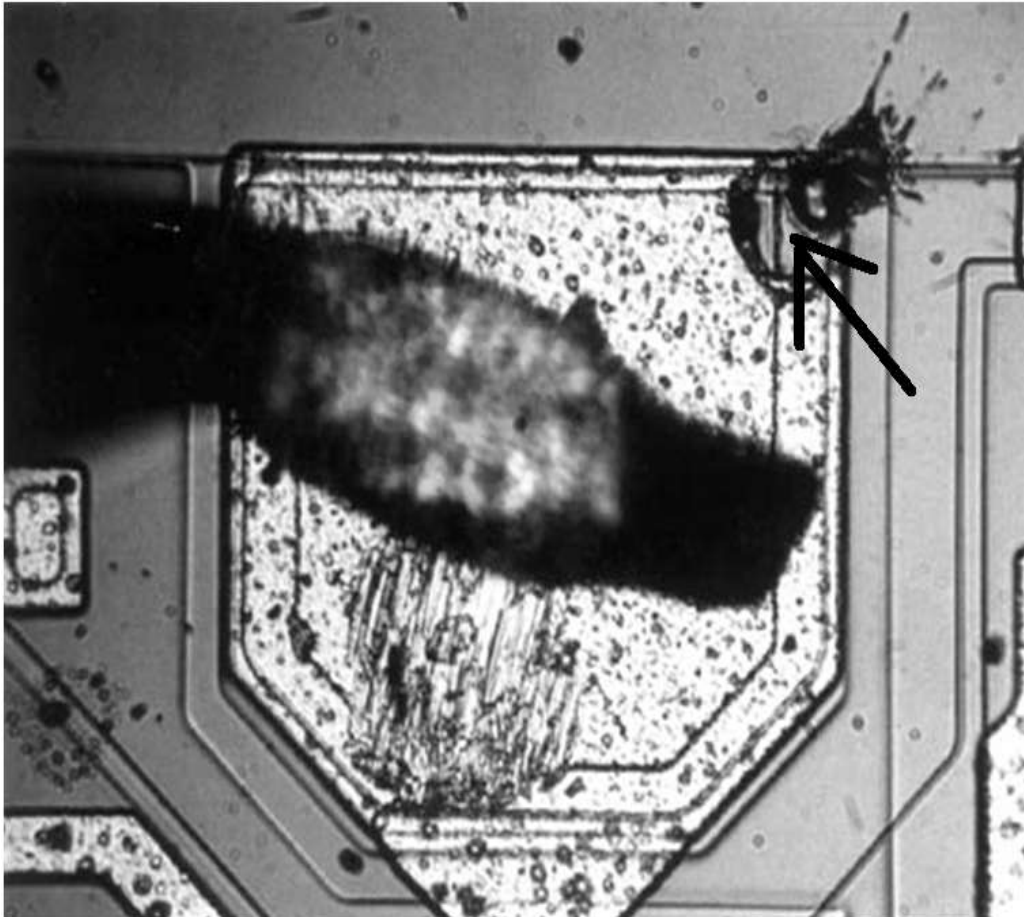
Ένας άλλος τρόπος δημιουργίας ηλεκτρικού φορτίου είναι η φόρτιση μέσω επαγωγής. Το φαινόμενο αυτό λαμβάνει χώρα όταν ένα φορτισμένο υλικό έστω 'X' έρθει πολύ κοντά σε ένα άλλο υλικό έστω 'Y' ή στο ηλεκτρικό του πεδίο του 'X' εισχωρήσει ένα άλλο υλικό 'Y'. Όταν συμβεί αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εσωτερική απομάκρυνση και τον διαχωρισμό των θετικών και αρνητικών φορτίων στο υλικό "Y". Αν προς στιγμή γειωθεί το υλικό "Y" και το πολωμένο φορτίο πάει στη γη τότε το υλικό "Y" θα αποκτήσει φορτίο αντίθετο με το φορτίο που είχε το φορτισμένο υλικό "X"(Εικόνα 1.1.2-1).



Εικόνα 1.1.2-1: Δημιουργία στατικού φορτίου από το αντικείμενο X στο Y.

Ένα παράδειγμα επαγόμενου φορτίου έχουμε όταν το πλαστικό μέρος μιας τυπικής συσκευασίας ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος αποκτά φορτίο ,είτε μέσω της τριβοηλεκτρικής φόρτισης είτε με άλλο τρόπο, παράγει έναν ηλεκτροστατικό

πεδίο και επάγει ηλεκτρικό φορτίο στα αγώγιμα μέρη της συσκευής. Όταν τα αγώγιμα αυτά μέρη των συσκευών γειώνονται, μπορεί να πραγματοποιηθεί ένας σύντομης διάρκειας αλλά καταστρεπτικός σπινθήρας (Εικόνα 1.1.2-2).

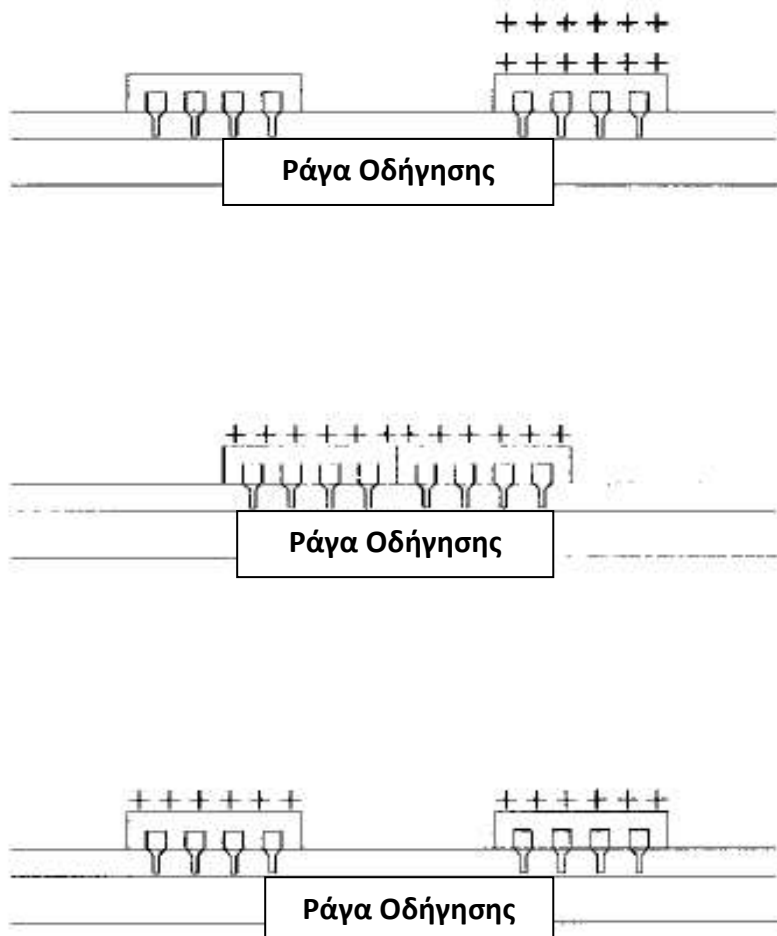


Εικόνα 1.1.2-2: Καταστροφή ολοκληρωμένου από στατικό ηλεκτρισμό στο πάνω δεξιά τμήμα.

1.1.3 Απευθείας Μεταφορά Φορτίου Με Επαφή.

Μια ακόμη διαδικασία ηλεκτροστατικής φόρτισης είναι αυτή της απευθείας μεταφοράς φορτίου. Το φαινόμενο συμβαίνει μέσω της άμεσης φυσικής επαφής δύο αντικειμένων και της εξισορρόπησης των φορτίων μεταξύ τους. Όταν ένα φορτισμένο αντικείμενο έρχεται σε φυσική επαφή με ένα απομονωμένο αντικείμενο χαμηλότερου δυναμικού, το φορτίο του μεταφέρεται στο αντικείμενο

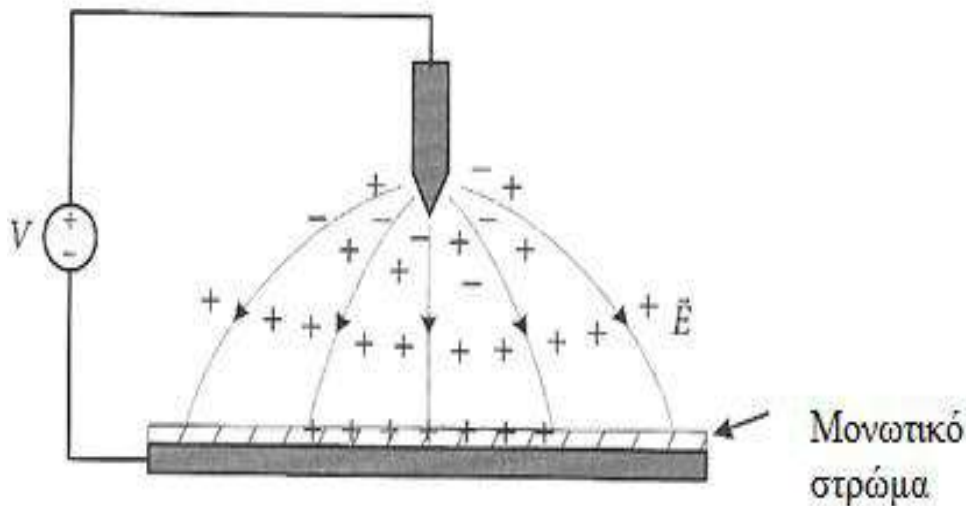
με το χαμηλότερο δυναμικό μέχρις ότου τα δυναμικά των δύο αντικειμένων να έρθουν σε ισορροπία. Όταν διαχωριστούν τα δύο αντικείμενα τότε και τα δύο έχουν φορτίο της ίδιας πολικότητας με αυτή του αρχικά φορτισμένου αντικειμένου και το ίδιο δυναμικό, ενώ το καθένα θα έχει φορτίο που θα εξαρτάται από τη χωρητικότητα του κάθε υλικού (Εικόνα 1.1.3-1).



Εικόνα 1.1.3-1: Μεταφορά φορτίου με επαφή.

1.1.4 Βομβαρδισμός με Ιόντα.

Γενικά αυτού του είδους η φόρτιση χρησιμοποιείται με σκοπό την ουδετεροποίηση φορτισμένων επιφανειών που μπορεί να κινδυνεύουν λόγω **ESD** (ElectroStatic Discharge). Στην επόμενη εικόνα (εικόνα 1.1.4-1) φαίνεται τι συμβαίνει όταν εφαρμόσουμε θετική συνεχή τάση σε ένα αιχμηρό αντικείμενο.



Εικόνα 1.1.4 -1: Δημιουργία Στατικού Φορτίου με βομβαρδισμό ιόντων.

Θετικά ιόντα κατακάθονται σε μια μονωτική επιφάνεια και δημιουργούν γύρω από αυτά ηλεκτρικό πεδίο. Το πεδίο που δημιουργείται μπορεί να διασπάσει το μέσο γύρω από αυτό (μαζί και το μονωτικό επίπεδο) και να προκληθεί έτσι ιονισμός. Με συνεχή τάση αρνητικής πολικότητας ενεργοποιούμε αρνητικά ιόντα, ενώ με εναλλασσόμενη τάση και τα δυο είδη ιόντων.

Πλην της παραπάνω περιγραφείσας μεθόδου υπάρχουν και άλλες μέθοδοι δημιουργίας στατικού ηλεκτρισμού όπως θερμιονικής εκπομπής, φωτοηλεκτρικού φαινομένου, ραδιενεργούς διάσπασης και άλλα.

1.2)Είδη Ηλεκτροστατικών Εκφορτίσεων.

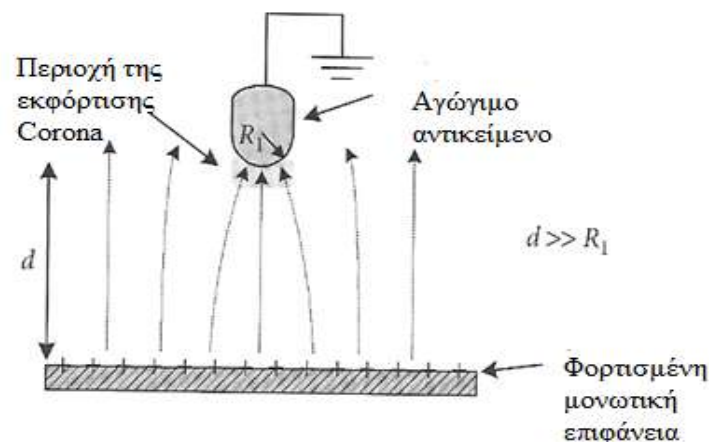
Όταν συναντούμε τον όρο ηλεκτροστατική εκφόρτιση, συνήθως το μυαλό όλων πηγαίνει στον σπινθηρισμό μεταξύ δύο σωμάτων με πιο κοινά παρατηρούμενο φαινόμενο την εκφόρτιση από την πόρτα του αυτοκινήτου στο χέρι μας κατά τη διάρκεια αποβίβασης μας από αυτό. Όλοι σχεδόν έχουν νιώσει ένα σύντομης διάρκειας «τσίμπημα» στα άκρα του χεριού που καμιά φορά συνοδεύεται και από τον χαρακτηριστικό ήχο του σπινθήρα. Ωστόσο υπάρχουν και άλλοι τρόποι εκφόρτισης, οι οποίοι δεν συνδέονται πάντα με την δημιουργία σπινθήρα. Τόσο σε αγώγιμα όσο και σε μη αγώγιμα υλικά έχουμε εμφάνιση εκκενώσεων.

1.2.1 Ηλεκτρικός Σπινθηρισμός.

Αυτό το είδος ηλεκτρικής εκκένωσης είναι υπεύθυνο για την πλειοψηφία των περιστατικών φωτιάς και εκρήξεων στη βιομηχανία λόγω στατικού ηλεκτρισμού. Οι εκκενώσεις σπινθήρα μπορούν να προκύψουν από αγωγίμα αντικείμενα ή αγωγίμες επιφάνειες και προσωπικό που δεν είναι γειωμένα και έχουν φορτιστεί σε κάποιο ηλεκτροστατικό δυναμικό. Ακόμη μπορεί να εμφανιστεί και σε στερεό ή αέριο μονωτικό σε περιβάλλον ατμοσφαιρικού αέρα και σχετίζεται με την εμφάνιση φορτίου λόγω ιονισμού με κρούσεις. Η ενέργεια (E) ενός σπινθήρα εκφράζεται σε Joules (J) και υπολογίζεται με βάση την εξίσωση $E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2$ όπου C είναι η χωρητικότητα του αντικειμένου και V το δυναμικό που έχει αποκτήσει.

1.2.2 Φαινόμενο Corona.

Όταν η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου κοντά σε μια αιχμηρή, αγωγίμη επιφάνεια (με ακτίνα καμπυλότητας μικρότερη των 5 mm) είναι αρκετά μεγάλη, παρατηρείται τοπική διάσπαση κοντά στην επιφάνεια. Το επίπεδο τάσης που είναι ικανό να προκαλέσει τη διάσπαση εξαρτάται από την πολικότητα της τάσης εφαρμογής. Το φαινόμενο χωρίζεται σε δυο κατηγορίες: 1) ενεργό και 2) παθητικό φαινόμενο Corona. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 1.2.2) το ηλεκτρικό πεδίο που προξενεί το φαινόμενο Corona προέρχεται από μια φορτισμένη μονωτική επιφάνεια.



Εικόνα 1.2.2: Εκφόρτιση τύπου Corona.

Επίσης εκφόρτιση τύπου Corona μπορεί να συμβεί μεταξύ δυο ηλεκτροδίων, με υψηλή διαφορά δυναμικού και ανομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο.

1.2.3 Διάσπαση μεταξύ αγώγιμου ηλεκτροδίου και μονωτικού

Όταν το ηλεκτρικό πεδίο κοντά σε ένα ηλεκτρόδιο με ακτίνα καμπυλότητας από 5 mm έως 50 mm είναι αρκετά μεγάλη (500 kV/m), παρατηρούνται πολλαπλά μονοπάτια εκφόρτισης. Σε κάθε τέτοια διάσπαση το συνολικό ποσόν ενέργειας που παράγεται είναι αρκετά μικρότερο από ότι στο φαινόμενο Corona. Παρατηρείται όταν ένα μεταλλικό αντικείμενο πλησιάζει φορτισμένα μονωτικά σώματα.

1.2.4 ΘΥΣΑΝΟΕΙΔΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΚΚΕΝΩΣΗ

Θυσανοειδής ηλεκτρική εκκένωση προκύπτει από φορτισμένες μη αγώγιμες επιφάνειες όπως αυτές των πλαστικών ή ακόμα και από ισχυρά φορτισμένα μη αγώγιμα υγρά όπως διαλύτες υδρογονανθράκων και καύσιμα. Θεωρητικά η μέγιστη ενέργεια που μπορεί να απελευθερωθεί από μια τέτοια εκκένωση δεν ξεπερνάει τα 4 mJ. Είναι προφανές ότι η γείωση των μη-αγώγιμων επιφανειών δεν μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή αυτής της μορφής ηλεκτρικής εκκένωσης.

1.2.5 ΜΕΤΑΔΙΔΟΜΕΝΗ ΘΥΣΑΝΟΕΙΔΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΚΚΕΝΩΣΗ

Η μεταδιδόμενη θυσανοειδής ηλεκτρική εκκένωση απελευθερώνει μεγάλη ενέργεια και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη αφού είναι ικανή να πυροδοτήσει πολλές εκρηκτικές ατμόσφαιρες. Οι εκκενώσεις αυτές αντλούν την μεγάλη τους ενέργεια από το σχηματισμό ενός διπλού στρώματος φορτίου και στις δύο πλευρές μιας επιφάνειας. Μόνο υλικά που διαθέτουν συγκεκριμένη διηλεκτρική αντοχή μπορούν να αντέξουν το διπλό αυτό στρώμα φορτίου χωρίς να προκληθεί μια μεταδιδόμενη θυσανοειδής εκκένωση. Ένα μέτρο διηλεκτρικής αντοχής είναι το δυναμικό κατάρρευσης, το οποίο αναφέρεται σε εκείνο το κρίσιμο σημείο που οι μονωτικές ιδιότητες ενός υλικού καταρρέουν υπό την εφαρμογή ισχυρού δυναμικού.

1.2.6 ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΚΩΝΟΥ

Η κωνοειδής εκκένωση προκύπτει κατά μήκος του όγκου ενός σωρού φορτισμένων σωματιδίων (σκόνη εύφλεκτων στερεών). Το δυναμικό του φορτίου εξαρτάται από την πυκνότητα του. Τα φορτισμένα σωματίδια μέσα σε ένα σωλήνα σταθερής διαμέτρου δεν μπορούν να παρουσιάσουν σημαντικές διαφορές δυναμικού ανάμεσα στις σχηματιζόμενες επιφάνειες ενώ συνήθως η πυκνότητα του φορτίου είναι μικρή. Όταν όμως αυτά ρίχνονται μέσα σε μια χοάνη καθώς αυτά κατακάθονται η πυκνότητα του φορτίου θα αρχίσει να αυξάνει, από κάτω προς τα πάνω, αυξάνοντας το δυναμικό, συχνά τόσο ώστε να προκληθούν εκκενώσεις κατά μήκος των επιφανειών του κωνικού σωρού.

1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη δημιουργία ηλεκτροστατικού πεδίου

Αν και αναφέρθηκαν γενικά κάποιοι παράγοντες που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του ηλεκτροστατικού πεδίου κατά την παρουσίαση των τρόπων ηλεκτροστατικής φόρτισης και εκφόρτισης, στην παράγραφο αυτή γίνεται μια συγκεντρωτική παρουσίαση των παραγόντων αυτών.

1.3.1 Συνθήκες χώρου

Από πειράματα που έχουν γίνει (ανάλογα και με το είδος του υλικού), αποδεικνύεται ότι από την αύξηση της θερμοκρασίας διευκολύνεται η παραγωγή ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων, ως αποτέλεσμα της χαλάρωσης των δεσμών στο πλέγμα των μορίων.

Επίσης, η αύξηση της σχετικής υγρασίας μειώνει εκθετικά το επίπεδο τάσης που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια μιας ηλεκτροστατικής εκφόρτισης (βλέπε και Πίνακα 2 παράγραφο 1.1). Αυτό συμβαίνει διότι η αύξηση της σχετικής υγρασίας προκαλεί μείωση της ωμικής αντίστασης των υλικών, επιτρέποντας την απαγωγή των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων υπό τη μορφή ρεύματος διαρροής. Ως

συνέπεια του ρεύματος διαρροής είναι η μείωση της έντασης του ηλεκτροστατικού πεδίου.

Επιπροσθέτως, έχει παρατηρηθεί ότι τα φαινόμενα πριν και μετά από μια ηλεκτροστατική εκφόρτιση περιορίζονται από την αύξηση της πίεσης του αέρα.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [Ιάσων Α. Κρητικός, Μέτρηση της Αντίστασης Μόνωσης Αντιστατικών Δαπέδων, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Φεβρουάριος 2009 σελ 37] η ενέργεια (E) του ηλεκτροστατικού πεδίου περιγράφεται από μια εξίσωση της μορφής:

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 \cdot f\left(\frac{\theta}{P, \Sigma Y}\right)$$

όπου :

- C η χωρητικότητα του πυκνωτή που συνθέτουν τα δυο υλικά στα οποία συμβαίνει η ηλεκτροστατική εκφόρτιση.
- V η τάση λόγω της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης
- f μια συνάρτηση, της οποίας η τιμή αυξάνει (ή μειώνεται) με την αύξηση (ή τη μείωση) της θερμοκρασίας θ , ενώ η τιμή της μειώνεται (ή αυξάνεται) με την αύξηση (ή τη μείωση) της πίεσης P και της σχετικής υγρασίας ΣY .

1.3.2 Ηλεκτρική Συμπεριφορά του υλικού

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω ο κυριότερος τρόπος δημιουργίας στατικού ηλεκτρικού πεδίου είναι ο τριβοηλεκτρισμός. Ως εκ τούτου, όλα τα υλικά έχουν τη δυνατότητα φόρτισης με τριβή. Η πολικότητα του φορτίου εξαρτάται από τη θέση των υλικών στον τριβοηλεκτρικό πίνακα, ενώ το μέγεθος του φορτίου η ευκολία μετακίνησής του από την απόσταση των υλικών στον τριβοηλεκτρικό πίνακα και την ηλεκτρική αγωγιμότητά τους. Έχουμε τις παρακάτω κατηγορίες υλικών:

• **Μονωτικά Υλικά** : Μονωτής ονομάζεται κάθε υλικό που παρουσιάζει υψηλή ηλεκτρική αντίσταση (συνήθεις τιμές πάνω από $10^{12} \Omega/m^2$ για επιφανειακή αντίσταση και $10^{11} \Omega\text{-cm}$ για αντίσταση όγκου). Αυτό σημαίνει πως περιορίζει κατά πολύ την κίνηση των ηλεκτρονίων στην επιφάνεια του. Μια σημαντική ποσότητα φορτίου μπορεί να παραχθεί στην επιφάνεια ενός μονωτή. Επειδή όμως ένα μονωτικό υλικό δεν επιτρέπει εύκολα την κίνηση των ηλεκτρονίων, στην επιφάνειά του μπορεί να υπάρχουν ταυτόχρονα και θετικά και αρνητικά φορτία ακόμη και σε διαφορετικές τοποθεσίες. Το πλεόνασμα ηλεκτρονίων που υπάρχει στην αρνητικά φορτισμένη περιοχή ίσως να επαρκεί για να καλύψει την έλλειψη ηλεκτρονίων στη θετικά φορτισμένη περιοχή. Εν τούτοις τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να κινηθούν εύκολα πάνω στην επιφάνεια του μονωτικού υλικού (ούτε βέβαια και στον όγκο του), και έτσι τα δύο είδη φορτίων μπορεί να παραμείνουν στην ίδια θέση για πολλή ώρα.

• **Αγώγιμα Υλικά** : Ένα αγώγιμο υλικό, επειδή έχει μικρή ηλεκτρική αντίσταση, επιτρέπει στα ηλεκτρόνια να κινούνται εύκολα στην επιφάνεια του ή διαμέσου του όγκου του (τυπικές τιμές μικρότερη από $10^5 \Omega/m^2$ για επιφανειακή αντίσταση και $10^4 \Omega\text{-cm}$ για αντίσταση όγκου). Όταν ένα αγώγιμο υλικό φορτίζεται, το φορτίο (είτε από έλλειψη, είτε από περίσσεια ηλεκτρονίων) θα διασκορπιστεί ομοιόμορφα μέσα στο υλικό. Αν ένα φορτισμένο αγώγιμο υλικό έρθει σε επαφή με ένα άλλο υλικό τότε το φορτίο θα μοιραστεί ανάμεσα στα δύο υλικά. Αν το δεύτερο γειωθεί με κάποιον τρόπο φορείς τα ηλεκτρόνια του θα κινηθούν προς το έδαφος και το υλικό θα ουδετεροποιηθεί. Το ποσό του φορτίου που θα μετακινηθεί προς το δεύτερο υλικό εξαρτάται από την ειδική αγωγιμότητά του, δηλαδή την ευκολία ή δυσκολία με την οποία άγεται το ηλεκτρικό ρεύμα δια μέσω του υλικού.

Εφόσον λοιπόν ένας αγωγός είναι μονωμένος από άλλους αγωγούς ή το έδαφος, το στατικό φορτίο που μπορεί να δημιουργηθεί σ' αυτόν θα παραμείνει στον αγωγό. Αν ο αγωγός είναι γειωμένος τότε το στατικό φορτίο εύκολα θα πάει στη γη λόγω της διαφοράς δυναμικού (ιδανικά, το δυναμικό της γης είναι μηδενικό).

• **Υλικά Διασκορπισμού Ηλεκτροστατικών Φορτίων** : Τα υλικά διασκορπισμού έχουν τιμές ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται μεταξύ των τιμών που έχουν οι μονωτές και οι αγωγοί. Με άλλα λόγια έχουν 10^5 - 10^{12} Ω/m^2 για την επιφανειακή αντίσταση και 10^4 - 10^{11} $\Omega\cdot cm$ για την αντίσταση όγκου. Μπορεί να υπάρξει ροή ηλεκτρονίων πάνω στο υλικό διασκορπισμού ή μέσα από αυτό, αλλά αυτό ελέγχεται από την αντίσταση επιφάνειας ή την αντίσταση όγκου του υλικού. Όπως και στα άλλα δυο είδη, έχουμε δημιουργία ηλεκτροστατικού φορτίου με τριβοηλεκτρισμό και σε αυτού του είδους τα υλικά. Εντούτοις, όπως στα αγώγιμα υλικά, το υλικό διασκορπισμού θα επιτρέψει τη μεταφορά του φορτίου προς τη γη ή προς άλλα αγώγιμα αντικείμενα. Η μεταφορά φορτίου από τα υλικά διασκορπισμού είναι σημαντικά γρηγορότερη απ' ότι στους μονωτές, και πιο αργή απ' ότι στους αγωγούς. Αυτό μας παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου του φαινομένου της ηλεκτροστατικής φόρτισης και εκφόρτισης ανάλογα με τον περιβάλλον στο οποίο απαιτείται η ύπαρξη αντιστατικού ελέγχου και προστασίας.

Παρακάτω παρατίθεται μια εικόνα που δείχνει την κατηγοριοποίηση των υλικών με βάση την τιμή της επιφανειακής τους αντίστασης (Πίνακας 1.3.2-1)

Πίνακας 1.3.2-1: Τιμές επιφανειακής αντίστασης διαφόρων υλικών.

| | | |
|--|-----------------------------------|---|
| Επιφανειακή Αντίσταση (Ω/\square) | 10^{18} | Πολυμερή βάσης |
| | 10^{15} | |
| | 10^{14} | |
| | 10^{13} | Συνθετικά με αντιστατική συμπεριφορά |
| | 10^{12} | |
| | 10^{11} | |
| | 10^{10} | Συνθετικά διασκορπισμού στατικού φορτίου |
| | 10^9 | |
| | 10^8 | |
| | 10^7 | Αγώγιμα Συνθετικά |
| 10^6 | | |
| 10^5 | | |
| 10^4 | Συνθετικά Επικάλυψης | |
| 10^3 | | |
| 10^2 | Σκόνη και ίνες από άνθρακα | |
| 10^1 | | |
| 1 | | |
| 10^{-1} | Μέταλλα | |
| 10^{-2} | | |
| 10^{-3} | | |
| 10^{-4} | | |
| 10^{-5} | | |

1.4 Γενικά περί δαπέδων

Τα δάπεδα (ή αλλιώς γνωστά σαν πατώματα) παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία, από απλή χωμάτινη στρώση έως πολλαπλών στρώσεων υλικών τελευταίας τεχνολογίας για ειδικές εφαρμογές. Τα δάπεδα-πατώματα μπορεί να είναι πέτρινα, ξύλινα, μεταλλικά ή οποιοδήποτε υλικό μπορεί να συγκρατήσει το βάρος του ανθρώπου και πολύ περισσότερο το βάρος των μηχανημάτων, των συσκευών και των εν γένει αντικειμένων στο χώρο που θα βρει το συγκεκριμένο δάπεδο εφαρμογή. Στα σύγχρονα κτήρια τοποθετούνται μέσα στον όγκο του δαπέδου οι διάφορες καλωδιώσεις, τα υδραυλικά συστήματα ή άλλα παρόμοια συστήματα.

Υποστρώματα δαπέδων

Το υπόστρωμα είναι το τμήμα εκείνο του δαπέδου που παρέχει τη σταθερότητα της όλης κατασκευής. Αρκετά δάπεδα δεν έχουν κάποιο άλλο στρώμα για κάλυμμα και έτσι το υπόστρωμα αποτελεί ουσιαστικά και την επιφάνεια βάδισης και κίνησης. Το υπόστρωμα μπορεί να εξυπηρετεί και άλλες ανάγκες όπως θέρμανσης (θερμαινόμενα δάπεδα) μέσω αγωγών που το διαρρέουν ή διέλευσης των αεραγωγών για τις ανάγκες κλιματισμού και αερισμού του χώρου.

Τα καλύμματα των πατωμάτων είναι εκείνα που ουσιαστικά έρχονται σε επαφή με τον ανθρώπινο παράγοντα και περιγράφουν κάθε υλικό που χρησιμοποιείται για την τελική διαμόρφωση του δαπέδου.

Συνήθεις Κατηγορίες Καλυμμάτων

Τα καλύμματα δαπέδων που χρησιμοποιούμε σε διάφορες εγκαταστάσεις, χωρίζονται σε πιο κάτω κατηγορίες:

- ❖ Μαλακά καλύμματα
- ❖ Ξύλινη επένδυση
- ❖ Ελαστικά καλύμματα
- ❖ Σκληρά καλύμματα
- ❖ Μονοκόμματα χημικά καλύμματα
- ❖ PVC πλαστικά δάπεδα

Μαλακά Καλύμματα

Τα χαλιά αποτελούν ένα είδος υφαντού καλύμματος δαπέδου, κατασκευασμένα από φυσικές ή τεχνητές ίνες. Αυτά προσκολλώνται στην δομή του δαπέδου και εκτείνονται συνήθως σε όλη την έκταση του χώρου και δεν μπορούν να μετακινηθούν από μέρος σε μέρος.

Ξύλινη επένδυση

Πολλά διαφορετικά είδη ξύλου επεξεργάζονται για τη δημιουργία πατωμάτων ξύλινης επένδυσης. Τα σκληρά ξύλα όπως είναι εύκολα αντιληπτό είναι πιο ανθεκτικά από τα μαλακά.

Ελαστικά καλύμματα

Για την ελαστική επένδυση δαπέδων χρησιμοποιούνται υλικά τα οποία όπως είναι κατανοητό έχουν κάποια ελαστικότητα. Το βινύλιο είναι από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα ελαστικά καλύμματα και κατασκευάζεται συνήθως συνδυασμός πολυβινυλοχλωριδίου (PVC), πλαστικοποιητών και άλλων συνθετικών και σταθεροποιητών και εφαρμόζεται συνήθως πάνω από ξύλινο υπόστρωμα, με την χρήση κόλλας.

Σκληρά καλύμματα

Τα κεραμικά πλακίδια περιλαμβάνουν μια μεγάλη γκάμα από πήλινα προϊόντα, τα οποία προκύπτουν από θερμική επεξεργασία και η τελική τους μορφή είναι μικρά κομμάτια που τοποθετούνται μέσα σε σοβά, με τους συνδέσμους μεταξύ των πλακιδίων να γεμίζονται με τσιμέντο.

Επειδή τα καλύμματα αυτά έχουν μονωτικές ιδιότητες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε χώρους όπου υπάρχει ανάγκη απομάκρυνσης του στατικού φορτίου.

Μονοκόμματα χημικά καλύμματα

Υπάρχουν πολλά διαθέσιμα υλικά σε αυτή την κατηγορία επένδυσης δαπέδων. Εδώ έχουμε κυρίως τα λατέξ, πολυεστέρες, ουραιθάνιο και διάφορα εποξειδικά στοιχεία τα οποία είναι σε υγρή μορφή και εφαρμόζονται σε ολόκληρη

την επιφάνεια που μας ενδιαφέρει για κάλυψη. Τέτοια καλύμματα δαπέδων χρησιμοποιούνται σε περιοχές με αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης υγρασίας, όπως είναι τα εργοστάσια επεξεργασίας και παρασκευής τροφίμων.

PVC πλαστικά δάπεδα

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι δαπέδων από PVC, τα ομοιογενή και τα ετερογενή. Για επαγγελματική και βιομηχανική χρήση, τα κυριότερα δάπεδα από PVC που χρησιμοποιούνται είναι τα ομοιογενή με έμφαση σε αυτά με αντιστατικές ή αγώγιμες ιδιότητες. Στα δάπεδα αυτά θα γίνει εκτενής αναφορά σε επόμενη παράγραφο.

Ομοιογενή δάπεδα

Τα πατώματα-δάπεδα αυτά κατασκευάζονται από ένα ή περισσότερα φύλλα του ίδιου υλικού και της αυτής σύνθεσης. Αυτό σημαίνει ότι όλα τα φύλλα πρέπει να έχουν το ίδιο χρώμα και το ίδιο σχέδιο στην ίδια κατεύθυνση, με το πάχος του δαπέδου να είναι τα πάχος όλων των φύλλων.

Ετερογενή δάπεδα

Τα δάπεδα αυτά είναι σε ρολό και αποτελούνται από πολλά φύλλα με διαφορετική σύνθεση, αλλά από τα ίδια βασικά υλικά. Είναι πιο φθηνά από τα ομοιογενή, αλλά δεν είναι κατάλληλα για βαριά επαγγελματική χρήση. Εφαρμόζεται πάνω σε λείες, στεγνές και στεγανοποιημένες επιφάνειες με χρήση ειδικής κόλλας και κορδόνι.

1.5 ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

Η ηλεκτροστατική εκφόρτιση (ESD) μπορεί να συμβεί με διάφορους τρόπους. Εξαρτάται από το που και πώς έχει συσσωρευτεί το στατικό φορτίο και πώς αυτό το φορτίο έχει “εγκατασταθεί – διασκορπιστεί” πάνω στην επιφάνεια του υλικού. Υπάρχουν τρία βιομηχανικά πρότυπα-μοντέλα ηλεκτροστατικής εκφόρτισης που καθορίζουν πώς μπορεί να εξεταστεί η ευαισθησία των ημιαγώγιμων υλικών σε

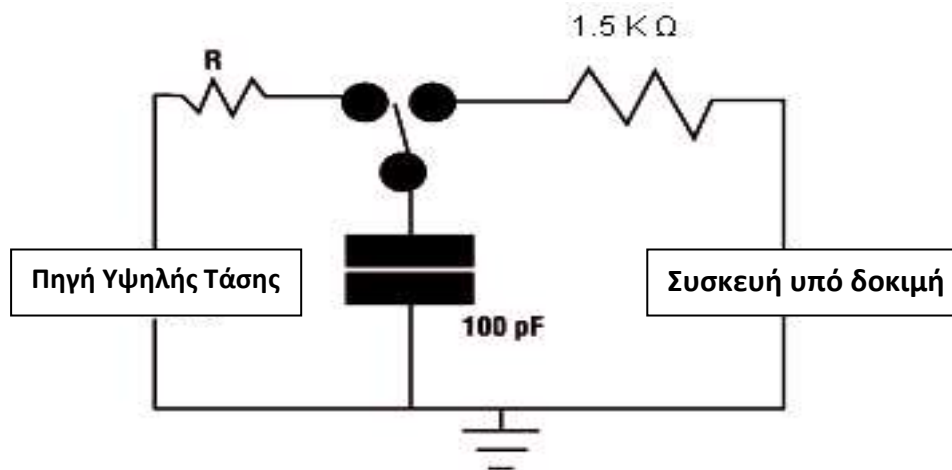
ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις, κάτω από διάφορες συνθήκες δημιουργίας ηλεκτροστατικού φορτίου και εκφόρτισης αυτού. Αυτά τα μοντέλα είναι, το Μοντέλο Ανθρώπινου Σώματος (Human Body Model), το Μοντέλο Μηχανής (Machine Model) και το Μοντέλο Φορτισμένης Διάταξης (Charged Device Model).

1.5.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ (HBM – HUMAN BODY MODEL)

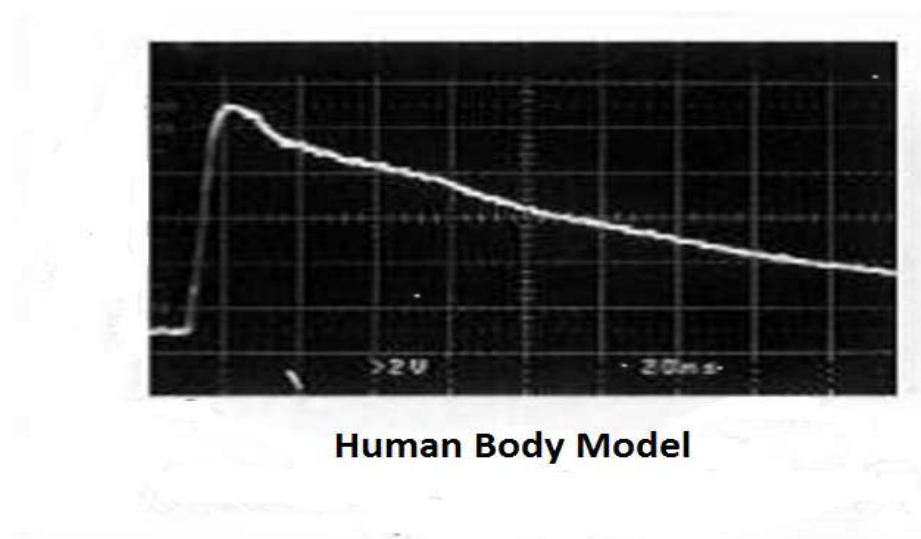
Το Μοντέλο Ανθρώπινου Σώματος (HBM) προσομοιάζει την ηλεκτροστατική εκφόρτιση με ένα φορτισμένο σώμα το οποίο μεταφέρει απευθείας το ηλεκτροστατικό φορτίο που έχει συσσωρευτεί σε αυτό στην διάταξη που βρίσκεται υπό δοκιμή και παρουσιάζει ευαισθησία σε ηλεκτροστατική εκφόρτιση.

Ένα σύνηθες παράδειγμα αυτού του φαινομένου, από το οποίο πήρε και το όνομά του το μοντέλο αυτό, είναι όταν έχουμε έναν άνθρωπο να συσσωρεύει στατικό ηλεκτρισμό περπατώντας πάνω σε ένα δάπεδο και στη συνέχεια να μεταφέρει αυτό το φορτίο σε μια ευαίσθητη σε ηλεκτροστατική εκφόρτιση διάταξη (ESDs) απλώς μέσω της επαφής ενός δακτύλου του με αυτή.

Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο (HBM) κύκλωμα είναι αυτό που καθορίστηκε σύμφωνα με το στρατιωτικό πρότυπο των Ηνωμένων Εθνών MIL – STD – 883, Method 3015.7, Electrostatic Discharge Sensitivity Classification. Αυτή η μέθοδος καθιέρωσε ένα απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα και τις απαραίτητες διαδικασίες δοκιμών που απαιτούνται για να μοντελοποιηθεί ένα HBM ESD συμβάν. Στο πρότυπο MIL – STD -883, το ανθρώπινο σώμα αντικαθίστανται από ένα πυκνωτή 100pF που εκφορτίζεται μέσω ενός διακόπτη και μιας αντίστασης 1500Ω. Στη διάρκεια του τεστ, ο πυκνωτής, που έχει φορτιστεί σε μια συγκεκριμένη τάση, αποφορτίζεται μέσω της αντίστασης που βρίσκεται συνδεδεμένη σε σειρά με την διάταξη υπό δοκιμή. Στο σχήμα 1.5.1-1 δίδεται το κύκλωμα βάσει του προτύπου MIL – STD – 883.



Σχήμα 1.5.1-1: Το HBM Κύκλωμα Βάσει Του Προτύπου MIL – STD – 883.



Εικόνα 1.5.1-2: Τυπικό παλμογράφημα του HBM μοντέλου.

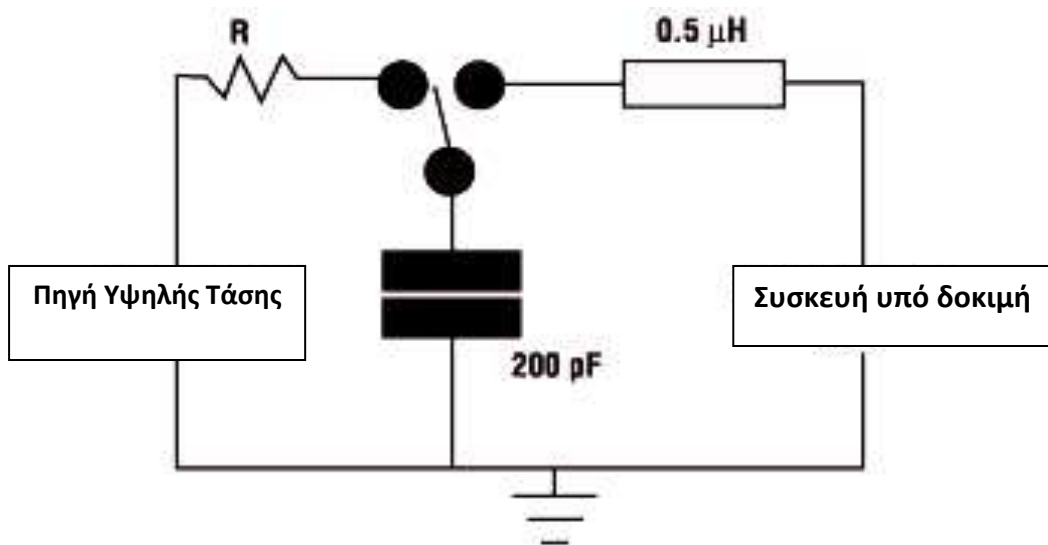
1.5.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΗΧΑΝΗΣ (MM – MACHINE MODEL)

Παρόμοια εκφόρτιση με αυτή που περιγράφηκε παραπάνω (HBM) μπορεί να συμβεί από ένα φορτισμένο αγώγιμο αντικείμενο, όπως ένα μεταλλικό εργαλείο ή εξάρτημα. Το μοντέλο που χαρακτηρίζει αυτό το περιστατικό είναι γνωστό σαν Μοντέλο Μηχανής (MM). Ξεκίνησε στην Ιαπωνία, σαν αποτέλεσμα μιας προσπάθειας για την δημιουργία και έρευνα μιας πολύ κακής περίπτωσης HBM συμβάντος.

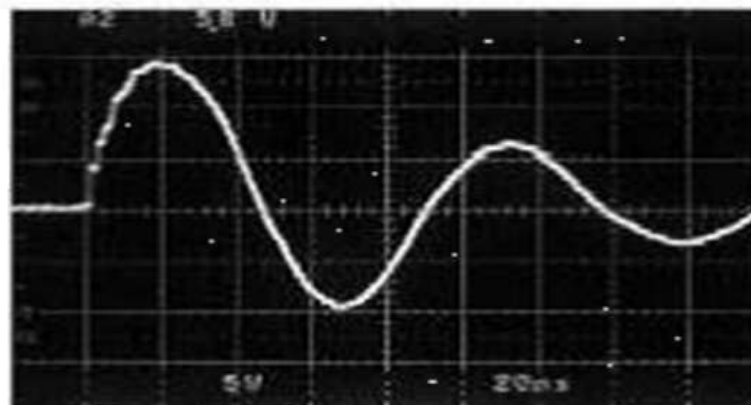
Σαν μια χειρότερη περίπτωση μοντέλου ανθρωπίνου σώματος (HBM), το Μοντέλο Μηχανής μπορεί να είναι κάτι παραπάνω από οδυνηρό, ωστόσο αναπαριστά πραγματικές καταστάσεις που μπορούν να προκύψουν όπως για

παράδειγμα μια γρήγορη εκφόρτιση από ένα φορτισμένο εξάρτημα μιας διάταξης ή ένα φορτισμένο καλώδιο κάποιας αυτόματης μηχανής.

Το κύκλωμα ενός Μοντέλου Μηχανής (σχήμα 1.5.2-1) δεν διαφέρει πολύ από αυτό του Μοντέλου Ανθρώπινου Σώματος. Συγκεκριμένα αποτελείται από ένα πυκνωτή 200pF ο οποίος φορτίζεται σε κάποια τάση και στη συνέχεια αποφορτίζεται απευθείας στην διάταξη που βρίσκεται υπό δοκιμή (και είναι ευαίσθητη σε ηλεκτροστατική εκφόρτιση), μέσω ενός πηνίου 500nH (0.5μH) χωρίς να παρεμβάλλεται αντίσταση σε σειρά.



Σχήμα 1.5.2-1: Το κύκλωμα Μοντέλου Μηχανής.



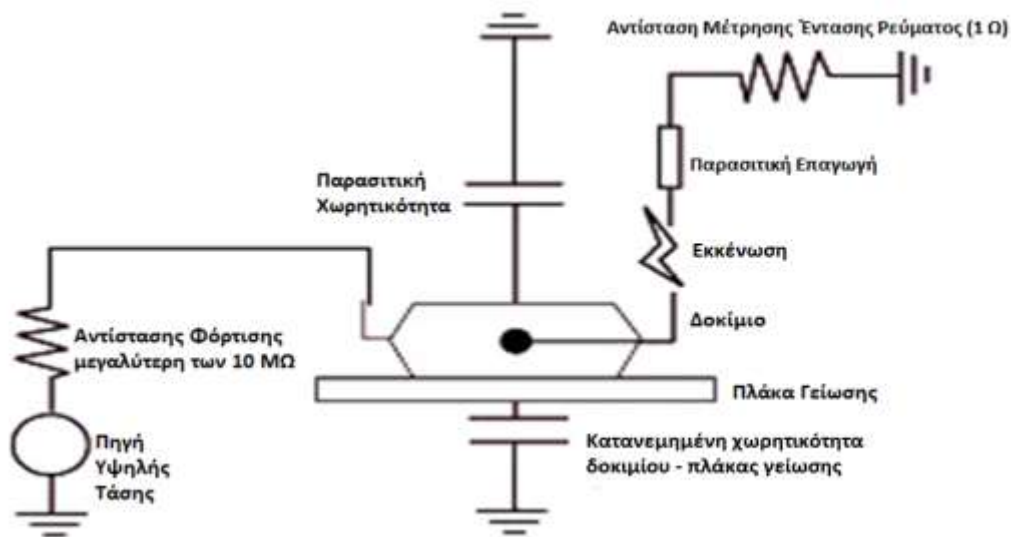
Machine Model

Εικόνα 1.5.2-2: Τυπικό παλμογράφημα MM μοντέλου.

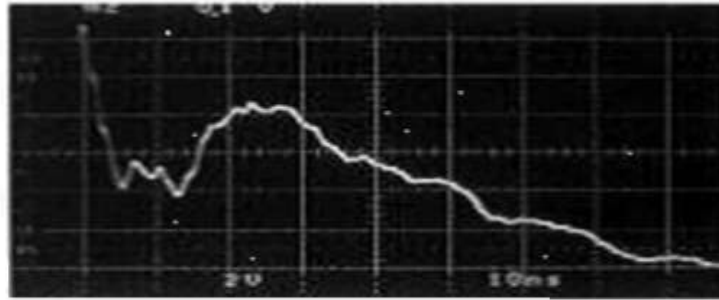
1.5.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ (CDM – CHARGED DEVICE MODEL)

Η μεταφορά φορτίου από μια ευαίσθητη σε ESD φαινόμενο διάταξη είναι επίσης ένα περιστατικό ηλεκτροστατικής εκφόρτισης και μάλιστα πολύ συνηθισμένο. Η χρήση της αυτόματης συναρμολόγησης έδειχνε ότι θα μπορούσε να λύσει τα προβλήματα των HBM εκφορτίσεων. Όμως ένα εξάρτημα μπορεί να φορτιστεί και όταν κυλά σε ένα μάντα τροφοδοσίας. Αν στη συνέχεια έρθει σε επαφή με μια κεφαλή εισαγωγής ή κάποια άλλη αγώγιμη επιφάνεια, μια μικρής διάρκειας εκφόρτιση μπορεί να συμβεί από το εξάρτημα στο μεταλλικό αντικείμενο. Αυτό το περιστατικό είναι γνωστό ως Μοντέλο Φορτισμένης Διάταξης (**Charged Device Model, CDM**) και μπορεί να είναι πιο καταστροφικό απ' ό,τι το HBM για ορισμένες διατάξεις. Παρόλο που η διάρκεια εκφόρτισης σε ένα τέτοιο περιστατικό είναι πολύ μικρή – συχνά μικρότερη από ένα nanosecond – η αιχμή του ρεύματος μπορεί να φτάσει αρκετές δεκάδες Amperes. Προς το παρόν υπάρχουν δύο μοντέλα που χρησιμοποιούνται ευρέως για CDM έλεγχο.

- i. Το μοντέλο **SDM (Socketed Discharge Model)**. Το εξάρτημα τοποθετείται σε μια υποδοχή που φορτίζεται από μια πηγή υψηλής τάσης και στη συνέχεια αποφορτίζεται μέσω αντίστασης 1ohm.
- ii. Το μοντέλο **RCDM (Real – World Charged Device Model)** που αναπαριστά καλύτερα πραγματικά περιστατικά μοντέλου φορτισμένης διάταξης (CDM). Ένα τυπικό RCDM κύκλωμα δίδεται στο σχήμα 1.5.3-1.



Σχήμα 1.5.3-1: Τυπικό RCDM Κύκλωμα.



Charged Device Model

Εικόνα 1.5.3-2: Τυπικό παλμογράφημα του CDM μοντέλου.

1.6 ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ – ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

Η βλάβη σε μια ημιαγωγική διάταξη (με ευαισθησία στην ηλεκτροστατική εκφόρτιση) από ένα περιστατικό ηλεκτροστατικής εκφόρτισης καθορίζεται από την ικανότητα της διάταξης να απορροφήσει την ενέργεια εκφόρτισης ή να αντέξει τα επίπεδα ρεύματος που θα δημιουργηθούν. Οι διαδικασίες δοκιμών, που βασίζονται σε διάφορα μοντέλα περιστατικών ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων, βοηθούν στον ορισμό της ευαισθησίας των διατάξεων στην ηλεκτροστατική εκφόρτιση.

Μερικές διατάξεις μπορεί να παθαίνουν πιο εύκολα βλάβες από τις εκφορτίσεις που συμβαίνουν σε συστήματα αυτοματισμού, ενώ άλλες μπορεί να είναι περισσότερο επιρρεπείς σε βλάβες από εκφόρτιση κατά τη διαχείριση από το προσωπικό. Ο προσδιορισμός της ευαισθησίας ηλεκτροστατικής εκφόρτισης είναι το πρώτο βήμα για τον καθορισμό του βαθμού της απαιτούμενης προστασίας από ηλεκτροστατική εκφόρτιση.

Οι σύγχρονες τάσεις στη σχεδίαση και ανάπτυξη προϊόντων είναι να περιληφθούν περισσότερα κυκλώματα σε μικρών διαστάσεων εξαρτήματα, γεγονός που μεγαλώνει ακόμη περισσότερο την ευαισθησία τους στην ηλεκτροστατική εκφόρτιση. Για παράδειγμα δύο είδη τρανζίστορ τα MOSFET και τα JFET ανήκουν στις συσκευές με περιοχή ευαισθησίας 0 - 3999V για το HBM μοντέλο, ενώ οι δίοδοι Scottky στην περιοχή 0 – 1999V.

Η ύπαρξη διαφορετικών διατάξεων μας οδηγεί στην κατασκευή διαφορετικών επιπέδων ευαισθησίας σε ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις (ESD). Γι' αυτό το λόγο, υπάρχει ανάγκη για τον καθορισμό της ευαισθησίας ηλεκτρονικών διατάξεων με τη βοήθεια των αντίστοιχων μοντέλων καθορισμού και μέτρησης της ευαισθησίας ηλεκτρονικών διατάξεων σε ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις (HBM, MM, CDM). Κάθε ένα από αυτά τα μοντέλα ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων έχει το δικό του σύστημα ταξινόμησης και βαθμολογίας για την κατηγοριοποίηση και τη σύγκριση των διατάξεων βάσει της ευαισθησίας τους σε ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις, ενώ η βαθμολογία μας δίνει μια ένδειξη του επιπέδου ESD προστασίας που απαιτείται για τη διάταξη. Στους πίνακες 1.6-1 έως 1.6-3 που ακολουθούν δίδονται τα διάφορα επίπεδα τάσης για τα διάφορα μοντέλα ESD και τις αντίστοιχες κλάσεις υλικών.

Πίνακας 1.6.1: Βαθμολογία Ευαισθησίας Υλικού – Human Body Model.

| Ταξινόμηση για το Μοντέλο Ανθρωπίνου Σώματος (HBM) | |
|---|----------------------------|
| Κλάση | Εύρος Τάσης |
| Κλάση 0 | <250 volts |
| Κλάση 1A | 250 volts έως <500 volts |
| Κλάση 1B | 500 volts έως <1000 volts |
| Κλάση 1C | 1000 volts έως <2000 volts |
| Κλάση 2 | 2000 volts έως <4000 volts |
| Κλάση 3A | 4000 volts έως <8000 volts |
| Κλάση 3B | >=8000 volts |

Πίνακας 1.6.2: Βαθμολογία Ευαισθησίας Υλικού – Machine Model.

| Ταξινόμηση για το Μοντέλο Μηχανής (MM) | |
|---|--------------------------|
| Κλάση | Εύρος Τάσης |
| Κλάση M1 | <100 volts |
| Κλάση M2 | 100 volts έως <200 volts |
| Κλάση M3 | 200 volts έως <400 volts |
| Κλάση M4 | >=400 volts |

Πίνακας 1.6.3: Βαθμολογία Ευαισθησίας Υλικού – Charged Device Model.

| Ταξινόμηση για το Μοντέλο Φορτισμένης Μηχανής (CDM) | |
|---|----------------------------|
| Κλάση | Εύρος Τάσης |
| Κλάση C1 | <125 volts |
| Κλάση C2 | 125 volts έως <250 volts |
| Κλάση C3 | 250 volts έως <500 volts |
| Κλάση C4 | 500 volts έως <1000 volts |
| Κλάση C5 | 1000 volts έως <1500 volts |
| Κλάση C6 | 1500 volts έως <2000 volts |
| Κλάση C7 | >=2000 volts |

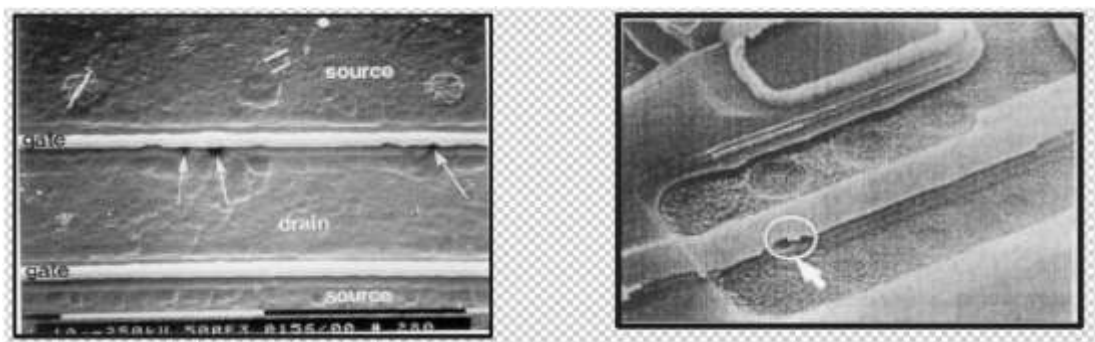
Για να θεωρηθεί πλήρως χαρακτηρισμένο ένα υλικό, θα πρέπει να βαθμολογείται χρησιμοποιώντας και τα τρία μοντέλα. Για παράδειγμα ένα πλήρως χαρακτηρισμένο υλικό θα μπορούσε να ήταν το ακόλουθο: Κλάση 1A (250V ως 499V, HBM), κλάση M3 (201V ως 400V, MM) και κλάση C3 (250V ως 499V, CDM).

1.7 ΒΛΑΒΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ

ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Βλάβη από ηλεκτροστατικά φορτία μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε στάδιο, από την κατασκευή ως την επισκευή μιας ηλεκτρονικής διάταξης (Εικόνα 1.7-1). Η βλάβη προκύπτει από τη χρήση διατάξεων σε περιβάλλον που δεν υπάρχει επαρκές σύστημα ελέγχου ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων.

Η πιο συνηθισμένη αιτία ηλεκτροστατικής εκφόρτισης είναι η απευθείας μεταφορά ηλεκτρικού φορτίου είτε από το ανθρώπινο σώμα είτε από κάποιο φορτισμένο αντικείμενο σε κάποια ESD – ευαίσθητη διάταξη.



Εικόνα 1.7-1: Προβλήματα σε ηλεκτρονικές συσκευές κατά την HBM (δεξιά) και CDM (αριστερά) καταπόνηση.

Γενικά οι βλάβες από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες.

1.7.1 ΑΣΤΟΧΙΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ

Σε αυτή τη περίπτωση μια ηλεκτροστατική εκφόρτιση μπορεί να έχει άμεση επίδραση σε μια ή και περισσότερες παραμέτρους της ηλεκτρονικής διάταξης και να προκαλέσει έτσι μια μεταβολή της απαιτούμενης ανοχής της. Αυτή η αστοχία δεν αφορά άμεσα τη λειτουργικότητα της διάταξης. Για αυτό ακόμα και αν η διάταξη έχει υποστεί μια αστοχία παραμέτρου λόγω μιας ηλεκτροστατικής εκφόρτισης μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί. Ωστόσο παρότι η διάταξη συνεχίζει να λειτουργεί η αλλαγή αυτών των παραμέτρων δεν την καθιστά κατάλληλη για την αρχική λειτουργία για την οποία και προοριζόταν.

1.7.2 ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΑΣΤΟΧΙΑ

Όταν μια διάταξη εκτεθεί σε κάποιο περιστατικό ηλεκτροστατικής εκφόρτισης ή σε μια σειρά τέτοιων περιστατικών ώστε τελικά να πάψει να λειτουργεί τότε πρόκειται για βλάβη καταστροφικής αστοχίας. Αυτή η βλάβη είναι μόνιμη και άμεσα αντιληπτή και μπορεί να οφείλεται σε τήξη μετάλλου, διάσπαση επαφής ή κατάρρευση κάποιου διηλεκτρικού. Μια τέτοια βλάβη είναι πολύ εύκολο να ανιχνευτεί με τον κατάλληλο εξοπλισμό.

1.7.3 ΛΑΝΘΑΝΟΝ ΕΛΑΤΤΩΜΑ

Σε αυτή την περίπτωση, οι ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις προκαλούν μια αρκετά περιορισμένη βλάβη, με αποτέλεσμα η ηλεκτρονική διάταξη να συνεχίσει να λειτουργεί κανονικά, να εκτελεί δηλαδή την αναμενόμενη λειτουργία της. Όμως ο χρόνος ζωής της μπορεί να μειωθεί δραστικά. Ένα προϊόν ή σύστημα που ενσωματώνει διατάξεις με λανθάνοντα ελαττώματα μπορεί να εμφανίσει πρόωρη αστοχία αφότου ο χρήστης το θέσει σε λειτουργία. Αυτό το ελάττωμα αποτελεί και τη μεγαλύτερη ανησυχία καθώς είναι πολύ δύσκολο να ανιχνευτεί με οπτική

επιθεώρηση ή επανακαταμέτρηση, ειδικά μετά τη συναρμολόγηση της διάταξης στο τελικό προϊόν.

1.8 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΒΛΑΒΩΝ ΑΠΟ ΗΛΕΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

1.8.1 ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ ΟΞΕΙΔΙΟΥ

Η λειτουργία του τρανζίστορ επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλης πόλωσης ανάμεσα στους ακροδέκτες του τρανζίστορ. Το συνηθέστερο διηλεκτρικό που χρησιμοποιείται για την βάση είναι το οξείδιο του πυριτίου SiO_2 .

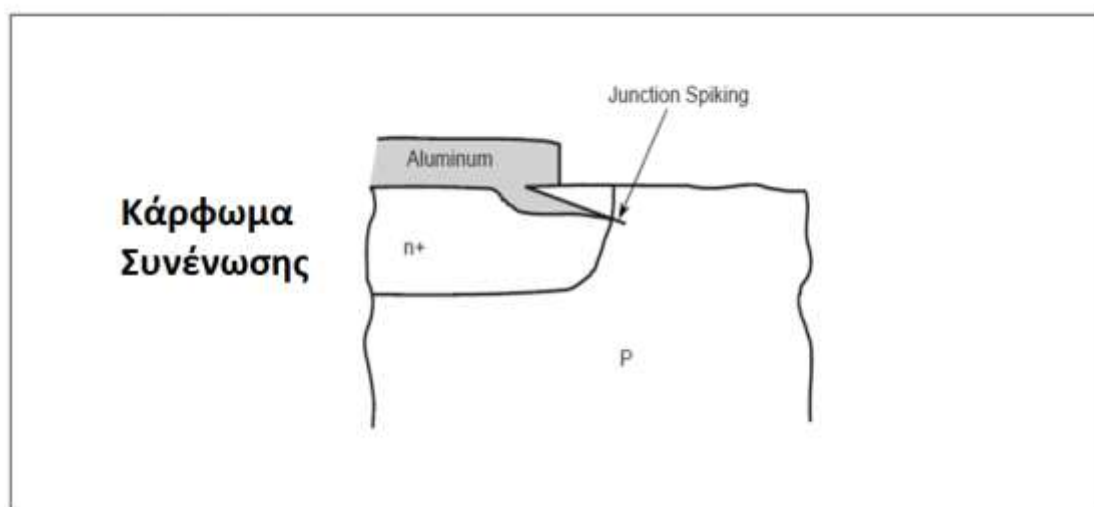
Διηλεκτρική κατάρρευση οξειδίου προκύπτει όταν μέσα στο διηλεκτρικό υλικό της βάσης αρχίζουν να σχηματίζονται αγώγιμα μονοπάτια μεταξύ των κρυστάλλων του εκπομπού και του συλλέκτη. Αυτά μπορούν να προκαλέσουν ατέλειες στην δομή του διηλεκτρικού υλικού οι οποίες ονομάζονται “παγίδες”. Οι “παγίδες” είναι αρχικά ουδέτερες αλλά σύντομα φορτίζονται θετικά όταν βρίσκονται κοντά στην Άνοδο (Εκπομπός) και αρνητικά κοντά στην κάθοδο (Συλλέκτη). Όσο περισσότερες “παγίδες” αρχίζουν να δημιουργούνται μέσα στο διηλεκτρικό τόσο περισσότερες στήλες αρχίζουν να σχηματίζονται από αγώγιμα μονοπάτια μέσα σε αυτό. Έτσι προκαλείται η κατάρρευση του διηλεκτρικού (Soft Breakdown).

Από την στιγμή που υπάρχει αγώγιμη οδός υπάρχει και τοπική αύξηση της θερμοκρασίας στο σημείο της κατάρρευσης. Το διηλεκτρικό υλικό (οξείδιο πυριτίου) αρχίζει να λιώνει, απελευθερώνεται οξυγόνο και τελικά στο σημείο δημιουργείται ένα λεπτό νήμα πυριτίου (Si) (Hard Breakdown).

1.8.2 ΚΑΡΦΩΜΑ ΣΥΝΕΝΩΣΗΣ (JUNCTION SPIKING)

Το κάρφωμα συνένωσης (Junction Spiking) αναφέρεται στη διάχυση ατόμων μετάλλου (συνήθως αλουμίνιο – Al) στο υπόστρωμα του πυριτίου. Όταν η μεταφορά ατόμων Al έχει γίνει σε τέτοιο βαθμό που να έχει διεισδύσει πολύ βαθιά

μέσα στο πυρίτιο και να έχει δημιουργήσει ένα μονοπάτι συντόμευσης μιας $p-n$ επαφής τότε η διάταξη έχει καταστραφεί (εικόνα 1.8.2-1).



Εικόνα 1.8.2-1: Σφάλμα Καρφώματος συνένωσης.

1.8.3 ΜΑΝΔΑΛΩΣΗ (LATCH UP FAILURE)

Η μανδάλωση (Latchup) είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται στο πεδίο των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (ICs) για να περιγράψει ένα ιδιαίτερο είδος βραχυκυκλώματος που μπορεί να συμβεί σε ένα σχεδιασμένο κύκλωμα.

Από τη στιγμή που θα δημιουργηθεί μια μανδάλωση, τότε αυτή τροφοδοτεί το κύκλωμα με μεγάλης ποσότητας και συνεχούς ροής ρεύμα που τελικά θα προκαλέσει βλάβη στην διάταξη.

1.9 ΕΛΕΓΧΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

Υπάρχουν έξι βασικές αρχές για την ανάπτυξη και την εφαρμογή ενός αποτελεσματικού προγράμματος ελέγχου ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων (ESD control):

- 1) Σχεδιασμός για απαλλαγή από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις (ESD).
- 2) Καθορισμός του επιθυμητού επιπέδου προστασίας από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις (ESD).

- 3) Καθορισμός της προστατευόμενης από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις περιοχής (EPAs).
- 4) Μείωση, ή και εξάλειψη, της δημιουργίας στατικών φορτίων.
- 5) Διασκορπισμός και εξουδετέρωση του στατικού ηλεκτρισμού και
- 6) προστασία προϊόντων από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις (ESD).

1.9.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΑΠΑΛΛΑΓΗ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

Ο περιορισμός των προβλημάτων που σχετίζονται με ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις ξεκινά με την ικανότητα να σχεδιάζονται κυρίως ηλεκτρονικές διατάξεις που παρουσιάζουν αντοχή σε φαινόμενα ηλεκτροστατικής εκφόρτισης.

Αυτό επιτυγχάνεται εισάγοντας στις υπό κατασκευή διατάξεις, βοηθητικά εσωτερικά κυκλώματα που θα απομακρύνουν το φορτίο μιας πιθανής εκφόρτισης από το κυρίως κύκλωμα με ESD ευαισθησία και θα το οδηγούν στο βοηθητικό κύκλωμα προστασίας. Έτσι οι διατάξεις μπορούν να έχουν σημαντική προστασία από μια ESD βλάβη.

Ο σχεδιασμός απαγωγής ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων αποτελεί πρόκληση για τους σχεδιαστές και τους μηχανικούς σήμερα, αφού η σύγχρονη τεχνολογία προϊόντων απαιτεί μικρότερες και πιο περίπλοκες γεωμετρικές διατάξεων που συχνά είναι πιο ευαίσθητες σε ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις.

1.9.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

Ο καθορισμός του επιπέδου ευαισθησίας σε ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις των ευαίσθητων συσκευών πριν την διάθεση τους στην παραγωγή είναι ένα ακόμη ζητούμενο.

Ο καθορισμός αυτός επιτυγχάνεται υποβάλλοντας αντιπροσωπευτικά δείγματα των νέων συσκευών που κατασκευάζονται σε βιομηχανικά, τυποποιημένα

μοντέλα ελέγχου ESD ευαισθησίας, όπως αυτά που έχουν ήδη παρουσιαστεί (HBM, MM, CDM).

Είναι καλό οι διατάξεις να δοκιμάζονται χρησιμοποιώντας όλα τα διαθέσιμα τυποποιημένα μοντέλα δοκιμής που υπάρχουν σήμερα ώστε να είναι πλήρως χαρακτηρισμένες.

1.9.3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Το ποιες περιοχές πρέπει να προστατεύονται από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις είναι ένα ακόμη ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί ώστε να διασφαλιστεί ένα ηλεκτροστατικά ασφαλές περιβάλλον.

Τέτοιες περιοχές είναι μεταξύ άλλων όλες οι περιοχές χειρισμού, μετακίνησης και αποθήκευσης ηλεκτροστατικά ευαίσθητων εξαρτημάτων και εύφλεκτων αερίων. Οι προστατευόμενες περιοχές θα πρέπει να έχουν τα εξής τρία χαρακτηριστικά:

Πρώτον: Έλεγχος σχηματισμού στατικού ηλεκτρισμού όπου αυτό είναι δυνατό. Απομακρύνονται όλα τα μη αγώγιμα υλικά από τους χώρους εργασίας καθώς δημιουργούν σημαντικά στατικά φορτία τα οποία έχουν την τάση να τα συκρατούν και όχι να τα στέλνουν στη γη.

Δεύτερον: Περιορισμός των φορτίων όπου αυτά υπάρχουν. Το πώς αυτά τα φορτία θα μετακινηθούν εξαρτάται από το αν το υλικό είναι αγωγός ή μονωτής. Τα φορτία σε μονωτικά υλικά θα πρέπει είτε να απομονώνονται και να απομακρύνονται από ηλεκτροστατικά ευαίσθητες διατάξεις και συσκευές, είτε να εξουδετερώνονται με τη χρήση ιονιστών που παρέχουν στο χώρο θετικά και αρνητικά ιόντα.

Τρίτον: Γείωση όλων των αγώγιμων υλικών και του προσωπικού, μέσα στο χώρο εργασίας. Η γείωση απομακρύνει με ασφάλεια όλα τα φορτία που μπορεί να έχουν αναπτυχθεί πάνω σε προσωπικό και αντικείμενα.

Τυπικές περιοχές που χρειάζονται προστασία από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις (EPAs) είναι οι χώροι παραλαβής, οι χώροι επιθεώρησης και δοκιμών,

τα καταστήματα και οι αποθήκες, οι χώροι συναρμολόγησης, οι χώροι έρευνας και ανάπτυξης, οι χώροι που γίνεται η συσκευασία, οι χώροι επισκευής (σέρβις) τα γραφεία και τα εργαστήρια καθώς και οι καθαροί θάλαμοι, οι χώροι εύφλεκτων αερίων, τα χειρουργεία κλπ.

1.9.4 ΜΕΙΩΝΟΝΤΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΒΑΛΛΟΝΤΑΣ ΤΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ ΦΟΡΤΙΩΝ

Είναι πολύ σημαντικό να εξαλειφθούν ή να περιοριστούν οι διαδικασίες δημιουργίας στατικού ηλεκτρισμού όπως για παράδειγμα η φυσική ένωση και κατόπιν ο διαχωρισμός υλικών διαφορετικών αγωγιμοτήτων ενώ είναι σημαντικό να απομακρυνθούν τα συνήθη πλαστικά από το περιβάλλον εργασίας.

Οι υπόλοιπες εργασίες καθώς και τα υλικά στους χώρους εργασίας πρέπει να διατηρούνται στο ίδιο ηλεκτρικό δυναμικό. Ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις δεν μπορούν να συμβούν μεταξύ υλικών που βρίσκονται στο ίδιο δυναμικό.

Επιπλέον για να περιορίσουμε την δημιουργία και την συγκέντρωση ηλεκτροστατικών φορτίων, δημιουργούμε μονοπάτια γείωσης ώστε να μπορούν τα φορτία να διαφύγουν προς την γη.

1.9.5 ΔΙΑΣΚΟΡΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΟΥΔΕΤΕΡΟΠΟΙΗΣΗ

Επειδή είναι πρακτικά αδύνατο να απομακρυνθεί το σύνολο του στατικού ηλεκτρισμού σε ένα περιβάλλον εργασίας είναι σημαντικό να μπορούν να διασκορπιστούν με ασφάλεια ή να ουδετεροποιηθούν τα ηλεκτροστατικά φορτία που θα προκύψουν.

Η κατάλληλη γείωση και η χρήση υλικών διασκορπισμού ή αλλιώς διάχυσης στατικού ηλεκτρισμού (static dissipative materials) μπορούν να παίξουν σπουδαίο ρόλο.

Για παράδειγμα όταν ένας άνθρωπος σε χώρο εργασίας φέρει κάποιο ηλεκτροστατικό φορτίο μπορεί να απαλλαγεί απ' αυτό καθώς περπατά σε ένα αγωγίμο δάπεδο ή δάπεδο διασκορπισμού ηλεκτροστατικού φορτίου. Έτσι αντί να

μεταφέρει το φορτίο που κουβαλά σε κάποια ESD ευαίσθητη συσκευή, το δάπεδο θα απορροφήσει αυτό το φορτίο και θα το οδηγήσει σταδιακά και με ασφάλεια στο έδαφος μέσω της γείωσης.

Ωστόσο για κάποια υλικά όπως τα κοινά πλαστικά και διάφοροι άλλοι μονωτές, η γείωση δεν μπορεί να απομακρύνει τον στατικό ηλεκτρισμό. Λόγω της φύσης αυτών των υλικών, το στατικό φορτίο που έχει δημιουργηθεί σε αυτά θα παραμείνει δεσμευμένο στην επιφάνεια τους και δεν θα μπορεί εύκολα να απομακρυνθεί.

Με τον ιονισμό αυτό που επιτυγχάνεται είναι να ουδετεροποιήσουμε αυτά τα φορτία. Η διαδικασία ιονισμού δημιουργεί αρνητικά και θετικά ιόντα, τα οποία έλκονται από την επιφάνεια ενός φορτισμένου αντικειμένου και έτσι τελικά αυτό ουδετεροποιείται αποτελεσματικά έναντι του συσσωρευμένου φορτίου.

1.9.6 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΙΣ (ESD)

Τέλος για έναν αποτελεσματικό ESD έλεγχο είναι σημαντική η προστασία των προϊόντων από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις. Όπως αναφέρθηκε ένας τρόπος είναι να παρέχεται σε όλα τα εξαρτήματα ένα αγώγιμο μονοπάτι προς τη γη ώστε να μπορούν να απομακρυνθούν τα επικίνδυνα φορτία από τα προϊόντα.

Μια δεύτερη μέθοδος είναι να πακετάρονται και να μεταφέρονται τα ευαίσθητα σε ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις εξαρτήματα σε κατάλληλα πακέτα και υλικά διακίνησης προϊόντων.

Αυτά τα υλικά μπορούν αποτελεσματικά να προστατέψουν το προϊόν από την φόρτιση και επίσης να μειώσουν την γέννηση στατικών φορτίων, που προκαλείται από κάθε μετατόπιση του προϊόντος, εντός του περιεχομένου.

1.10 ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Από ένα συνηθισμένο χαρτόκουτο γάλακτος ως έναν πολύ εξειδικευμένων απαιτήσεων ηλεκτρονικό εξοπλισμό, τα υλικά από πολυμερή παρουσιάζουν ίσως

την μεγαλύτερη ποικιλία εφαρμογών από κάθε άλλο υλικό. Η ευρεία αυτή εφαρμογή των πολυμερών οφείλεται σε δυο σημαντικά πλεονεκτήματα: το εξαιρετικά ευρύ φάσμα ιδιοτήτων που καλύπτουν τα διάφορα είδη πολυμερών και την απεριόριστη σχεδόν ευελιξία τους στην επεξεργασία.

Για παράδειγμα ορισμένες ρητίνες πολυμερών είναι ιδιαίτερα καθαρές και ελαστικές, ιδανικές για την παρασκευή συσκευασιών χαμηλού κόστους, ενώ άλλες παρουσιάζουν εξαιρετική ανθεκτικότητα και ιδιότητες που τις καθιστούν κατάλληλες για χρήση σε ιδιαίτερα απαιτητικές μηχανικές εφαρμογές. Τα πολυμερή μπορούν να τεντωθούν, να συμπιεστούν, να φορμαριστούν και να πάρουν οποιοδήποτε σχήμα και μέγεθος. Επιπλέον τα πολυμερή είναι η καλύτερη επιλογή, όταν το κόστος και το βάρος μιας συσκευής αποτελούν σημαντικά κριτήρια.

Οι εφαρμογές του ελέγχου στατικού ηλεκτρισμού αποτελούν πρόκληση για τους μηχανικούς πολυμερών. Η προστασία ευαίσθητων ηλεκτρονικών διατάξεων απαιτούν ένα περιβάλλον όπου επικίνδυνα ηλεκτρικά φορτία, δυναμικά και ηλεκτρικά πεδία πρέπει να περιορίζονται στο ελάχιστο.

Προκειμένου να απομακρυνθούν αυτά τα φορτία και να προστατευθούν οι διατάξεις, τα πολυμερή που χρησιμοποιούνται για την συσκευασία, μεταφορά και την αποθήκευση των ηλεκτρονικών διατάξεων πρέπει να είναι ικανά να άγουν τον ηλεκτρισμό. Ωστόσο, στην φυσική τους κατάσταση, όλα σχεδόν τα εμπορικά διαθέσιμα πολυμερή είναι ηλεκτρικοί μονωτές.

Τα πολυμερή, προκειμένου να αποκτήσουν αγωγιμα χαρακτηριστικά, υφίστανται ειδικές τροποποιήσεις είτε μέσω χημικής επεξεργασίας είτε προσθέτοντας σε αυτά αγώγιμους παράγοντες κατά την επεξεργασία τους. Το επίπεδο αγωγιμότητας που απαιτείται για το κάθε πολυμερές εξαρτάται από την τελική χρήση για την οποία προορίζεται.

Για παράδειγμα πλαστικά υψηλής αγωγιμότητας προορίζονται για κιβώτια και φορτία προστασίας από στατικά φορτία. Συνήθως τέτοια πλαστικά έχουν αντίσταση που δεν ξεπερνά τα $10^4\Omega$ ενώ τα πλαστικά που χρησιμοποιούνται για δάπεδα και για επιφάνειες εργασίας έχουν αντίσταση που κυμαίνεται συνήθως μεταξύ $10^6\Omega$ ως $10^9\Omega$.

1.10.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Πολύς χρόνος και έρευνα έχει αφιερωθεί στην ανάπτυξη μεθόδων που είτε καθιστούν τα πολυμερή αγώγιμα είτε τους προσδίδουν ιδιότητες διασκορπισμού στατικών φορτίων. Ακολούθως παρουσιάζονται τρεις από τις δημοφιλέστερες μεθόδους ενίσχυσης της αγωγιμότητας των πολυμερών.

➤ **ΧΗΜΙΚΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ (CHEMICAL ADDITIVES)**

Οι ρητίνες μπορούν συχνά να φτάσουν σε εκείνο το εύρος αντιστάσεων που τους προσδίδουν ιδιότητες διασκορπισμού φορτίων, ενσωματώνοντας χημικά πρόσθετα όπως έναν αντιστατικό παράγοντα (antistatic agent) στο μείγμα. Οι αντιστατικοί παράγοντες μπορούν να τοποθετηθούν είτε εξωτερικά είτε εσωτερικά.

Οι εξωτερικοί αντιστατικοί παράγοντες βρίσκονται στην επένδυση της εξωτερικής επιφάνειας του τελικού προϊόντος και οι ιδιότητες που προσδίδουν είναι εντελώς προσωρινές. Αντίθετα οι εσωτερικοί αντιστατικοί παράγοντες διαλύονται μέσα στο λιωμένο πλαστικό κατά την επεξεργασία και προσδίδουν πιο μόνιμα χαρακτηριστικά στο υλικό του τελικού προϊόντος.

Όταν το μείγμα αρχίζει να στερεοποιείται οι αντιστατικοί παράγοντες που έχουν ενσωματωθεί σε αυτό αρχίζουν να μετακινούνται προς την εξωτερική επιφάνεια, προσδίδοντας στο προϊόν τα επιθυμητά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Οι αντιστατικοί παράγοντες χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω του χαμηλού τους κόστους. Ωστόσο η παροδική και σχετικά μικρή αγωγιμότητα που προσδίδουν στα υλικά καθώς και η τάση τους να απορροφούν την υγρασία της ατμόσφαιρας με συνέπεια να μεταβάλλεται σημαντικά η αγωγιμότητα των αντικειμένων τα καθιστά μια όχι ιδιαίτερα ασφαλή επιλογή για αρκετές εφαρμογές.

➤ **ΑΓΩΓΙΜΑ ΥΛΙΚΑ ΠΛΗΡΩΣΕΩΣ (CONDUCTIVE FILLERS)**

Ίσως η πιο παλιά και πιο γνωστή μέθοδος ενίσχυσης της αγωγιμότητας ενός πολυμερούς είναι το “γέμισμα” των ρητινών με αγώγιμα υλικά πλήρωσεως για να

φτιαχτεί ένα συνθετικό υλικό. Υπάρχουν διαθέσιμα πολλά τέτοια υλικά όπως είναι τα σωματίδια μετάλλων και οι ίνες άνθρακα.

Υπάρχει ένα πλήθος παραγόντων που μπορεί να επηρεάσει τις αγώγιμες ιδιότητες που μπορούν να προσδώσουν τα αγώγιμα υλικά πληρώσεως στο συνθετικό πολυμερές. Ο μηχανικός πολυμερών είναι αυτός που θα επιλέξει το υλικό πληρώσεως, το επίπεδο “γεμίσματος” της ρητίνης και το σχήμα της μοριακής δομής, καθορίζοντας έτσι τις ιδιότητες που θα έχει το τελικό προϊόν (συνδετικό πολυμερές).

➤ **ΕΓΓΕΝΩΣ ΑΓΩΓΙΜΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΔΙΑΣΚΟΡΠΙΣΜΟΥ**
(INHERENTLY CONDUCTIVE AND DISSIPATIVE POLYMERS)

Τα εγγενώς αγώγιμα πολυμερή (ICP) και τα εγγενώς πολυμερή διασκορπισμού (IDP) αντιπροσωπεύουν δυο νέες κατηγορίες υλικών που παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στις εφαρμογές ελέγχου στατικού ηλεκτρισμού. Αυτά τα δυο υλικά έχουν πολύ διαφορετικές χημικές δομές και πολύ διαφορετικές ιδιότητες.

Τα εγγενώς αγώγιμα πολυμερή έχουν αντιστάσεις που πλησιάζουν αυτές των μετάλλων και συχνά αναφέρονται ως “συνθετικά μέταλλα”. Τα εγγενώς πολυμερή διασκορπισμού έχουν αντιστάσεις που κυμαίνονται στα όρια αντιστάσεων των αντιστατικών παραγόντων. Μείγματα ρητινών με αυτά τα πολυμερή μπορούν να δώσουν προϊόντα καθορισμένης αγωγιμότητας.

1.11 ΓΕΙΩΣΗ

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες παραγράφους, η γείωση παίζει τον πιο καθοριστικό ρόλο για την ασφαλή απομάκρυνση του στατικού ηλεκτρισμού. Μέσω της γείωσης παρέχεται ένας αγωγίμος δρόμος διαφυγής στα ηλεκτροστατικά φορτία, που δημιουργούνται στους χώρους εργασίας, προς το έδαφος το οποίο είναι ένα σημείο με μηδενικό θεωρητικά δυναμικό. Η γείωση λειτουργεί σαν μια πρακτικά άπειρη καταβόθρα φορτίου.

Μπορεί δηλαδή να εξουδετερώσει οποιοδήποτε θετικό ή αρνητικό φορτίο. Βέβαια αυτό δεν είναι απόλυτα ακριβές. Στην πραγματικότητα αυτό που επιδιώκουμε να πετύχουμε με την σωστή γείωση είναι να καταφέρουμε όλες οι αγωγίμες επιφάνειες, ο εξοπλισμός, οι διατάξεις ακόμα και το προσωπικό εργασίας που βρίσκονται σε ένα προστατευόμενο από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις χώρο (Electrostatic Discharge Protected Area –EPA) να βρίσκονται στο ίδιο δυναμικό.

Όλα τα σημεία που είναι γειωμένα συμπεριφέρονται σαν να είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους, γιατί το δυναμικό σε κάθε γειωμένο σημείο είναι το ίδιο. Όσο υπάρχει ισορροπία δυναμικού, ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις δεν μπορούν να συμβούν. Πρέπει να επισημανθεί πως οι μονωτές, όπως τα κοινά πλαστικά, δεν μπορούν να γειωθούν και για αυτό πρέπει να αποφεύγονται σε περιοχές προστατευόμενες από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις (EPA's).

Για να επιτευχθεί δυναμική ισορροπία θα πρέπει να υπάρχει σε κάθε εγκατάσταση ένα κοινό σημείο γείωσης (common grounding point) στο οποίο θα συνδέονται όλα τα εξαρτήματα, τα εργαλεία και το ίδιο το προσωπικό του χώρου εργασίας. Το κοινό σημείο γείωσης συχνά αναφέρεται και ως κοινό σημείο γείωσης ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων (ESD common grounding point) γιατί αυτό απορροφά όλα τα επικίνδυνα στατικά φορτία που δημιουργούνται σε μια εγκατάσταση. Το κοινό σημείο γείωσης πρέπει να έχει κατάλληλα ταυτοποιηθεί. Σύμφωνα με το ESD Association Standard, EOS/ESD S8.1 – 1993, προτείνεται ειδικός συμβολισμός για την ταυτοποίηση του κοινού σημείου γείωσης (Εικόνα 1.11-1).



Εικόνα 1.11-1: Συμβολισμός για το κοινό σημείο γείωσης.

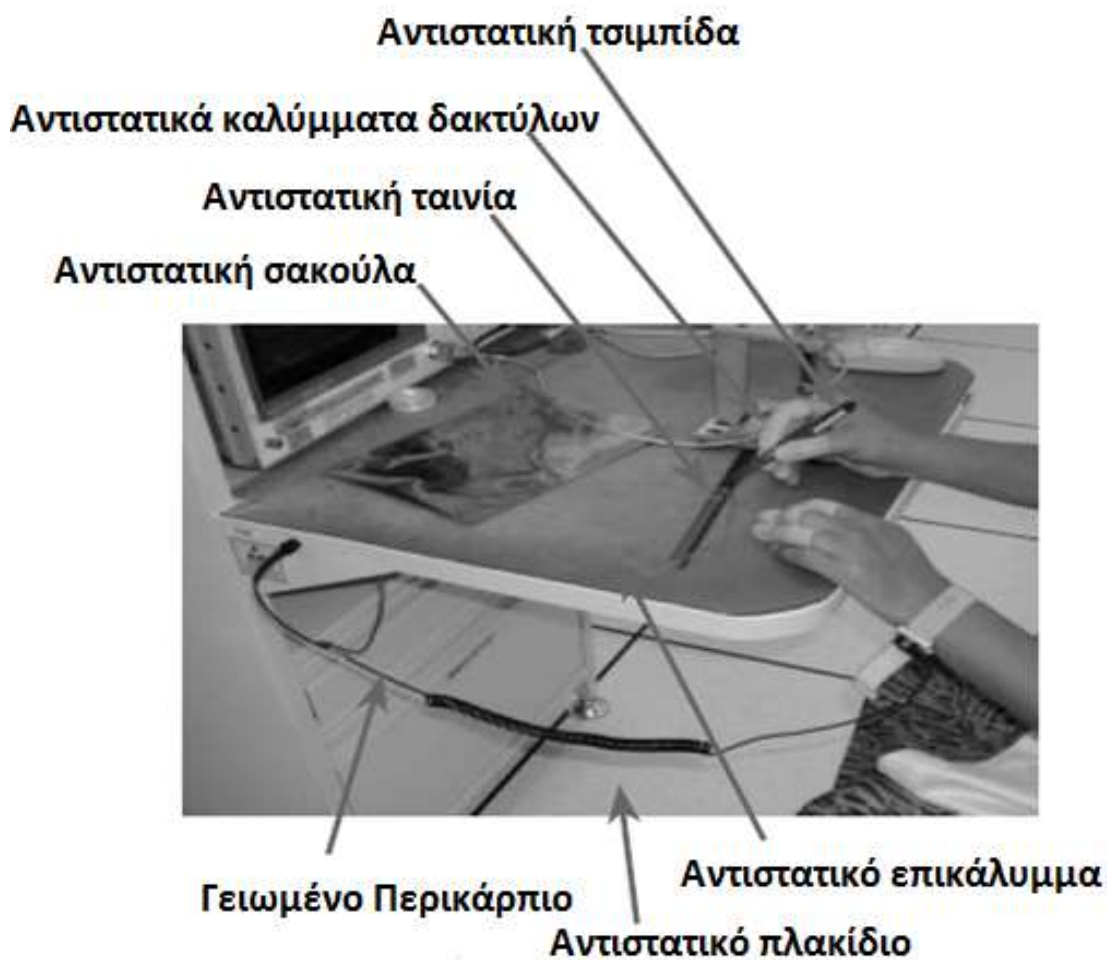
Το προσωπικό, σε ένα χώρο εργασίας, είναι η κύρια αιτία σχηματισμού στατιστικού ηλεκτρισμού. Το περπάτημα στους χώρους εργασίας, η διαδικασία επισκευής μιας διάταξης ή απλά ο χειρισμός μιας συσκευής μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία αρκετών χιλιάδων Volts.

Αν δεν ελεγχθεί κατάλληλα ή δεν διασκορπιστεί σταδιακά, το συσσωρευμένο στατικό φορτίο που κουβαλάει ένας άνθρωπος τότε αυτό μπορεί εύκολα να εκφορτιστεί σε κάποια ηλεκτροστατικά ευαίσθητη διάταξη. Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους απομάκρυνσης των φορτίων που συσσωρεύονται στο ανθρώπινο σώμα προς το κοινό σημείο γείωσης είναι τα περικάρπια(Εικόνα 1.11-2).



Εικόνα 1.11-2: Περικάρπιο γείωσης.

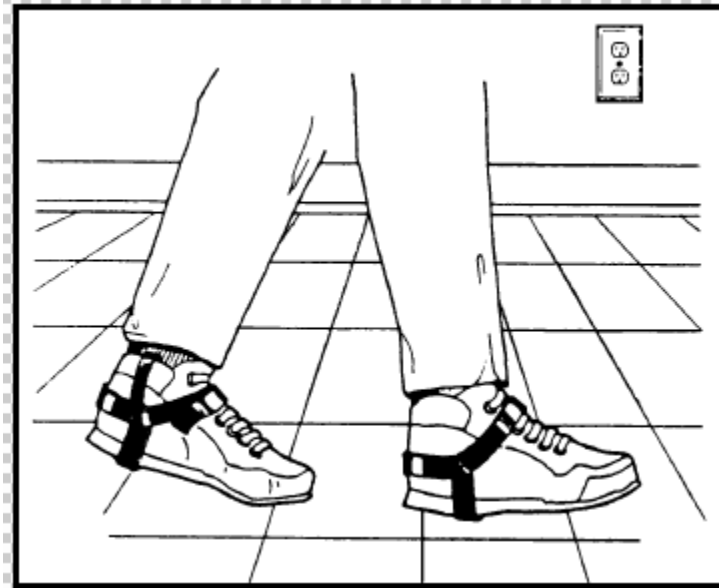
Όταν έχουν φορεθεί σωστά από το προσωπικό και είναι συνδεδεμένα μέσω λεπτού αγώγιμου ιμάντα με το κοινό σημείο γείωσης, τότε μπορούν να κρατούν το δυναμικό του σώματος κοντά στο δυναμικό της γείωσης. Όσο το δυναμικό του ανθρώπινου σώματος και το δυναμικό των υπόλοιπων γειωμένων αντικειμένων στον χώρο εργασίας είναι το ίδιο ή σχεδόν το ίδιο, δεν μπορούν να υπάρξουν επικίνδυνες εκφορτίσεις ανάμεσα τους (Εικόνα 1.11-3).



Εικόνα 1.11-3: Συνολικό σύστημα αντιστατικής προστασίας.

Τα περικάρπια θα απομακρύνουν σύντομα τα στατικά φορτία που σχηματίζονται στο ανθρώπινο σώμα πριν αυτά προλάβουν να συσσωρευτούν.

Μια άλλη μέθοδος ρύθμισης του ηλεκτροστατικού φορτίου στο προσωπικό είναι η χρήση αγώγιμων δαπέδων ή δαπέδων διασκορπισμού φορτίων σε συνδυασμό με αγώγιμα παπούτσια ή αγώγιμους ιμάντες ποδιών (Εικόνες 1.11-4 και 1.11-5).



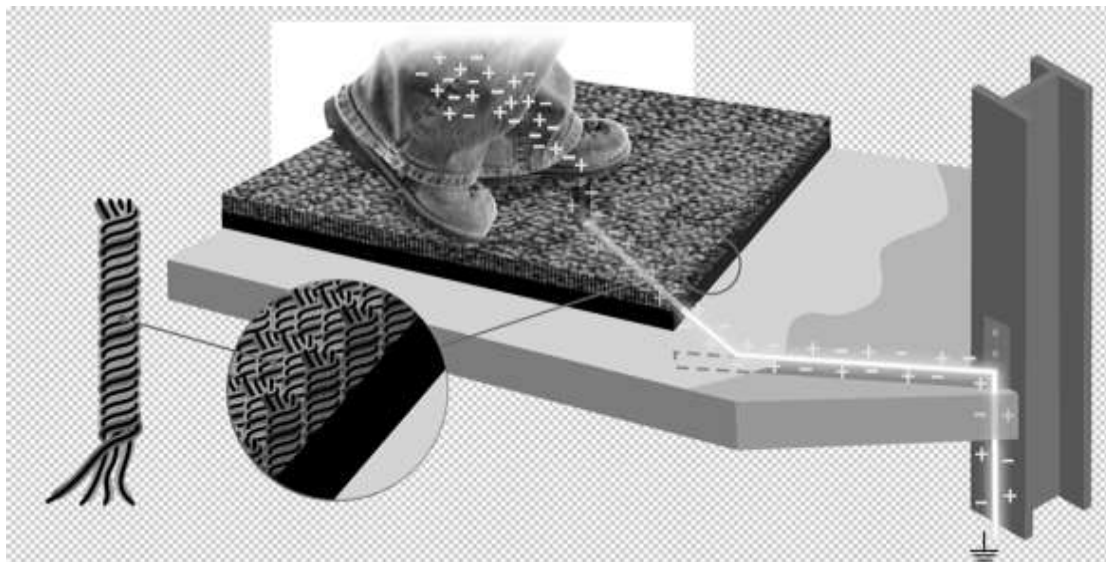
Εικόνα 1.11-4: Αντιστατικά παπούτσια.



Εικόνα 1.11-5: Αντιστατικά παπούτσια με αγώγιμους μάντες(πάνω βέλος) σε αντιστατικό δάπεδο(κάτω βέλος) .

Κάθε ηλεκτροστατικό φορτίο που πιθανόν να σχηματιστεί σε ένα άτομο που φορά αγώγιμα παπούτσια εύκολα διαχέεται στο αγώγιμο δάπεδο (Εικόνα 1.11-6) που είναι κατάλληλα συνδεδεμένο με το κοινό σημείο γείωσης ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων. Θα πρέπει να αναφερθεί πως υπάρχουν υλικά που προσδίδουν στα δάπεδα την επιπλέον ικανότητα να περιορίζουν την τριβοηλεκτρική φόρτιση, εμποδίζοντας έτσι τον σχηματισμό φορτίων λόγω τριβής. Η χρήση αγώγιμων

δαπέδων ή δαπέδων διασκορπισμού είναι απαραίτητη σε χώρους που η αυξημένη κινητικότητα του προσωπικού είναι αναγκαία.



Εικόνα 1.11-6: Διάχυση φορτίων στο αντιστατικό δάπεδο και η διαφυγή τους προς τη γη.

Ο κινούμενος εξοπλισμός σε ένα χώρο εργασίας, (όπως η καρέκλες, τα καροτσάκια, οι ανυψωτές[Εικόνες 1.11-7 και 1.11-8]) μπορεί εύκολα να δημιουργήσει στατικά φορτία, για αυτό πρέπει κι αυτός να είναι συνδεδεμένος με το κοινό σημείο γείωσης ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων μέσω του δαπέδου. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η παροχή στον εν λόγω εξοπλισμό αγώγιμων τροχών ή συρόμενων αγώγιμων αλυσίδων ή ιμάντων που θα επιτρέπουν την διαφυγή των φορτίων που σχηματίζονται στον κινούμενο εξοπλισμό προς το αγώγιμο δάπεδο ή δάπεδο διασκορπισμού φορτίων που είναι κατάλληλα συνδεδεμένα στο κοινό σημείο γείωσης.



Εικόνα 1.11-7: Κινούμενο τμήμα καρέκλας που δημιουργεί στατικό ηλεκτρισμό.



Εικόνα 1.11-8: Ανυψωτικό μηχάνημα. Αποτελεί κινούμενο εξοπλισμό που ευθύνεται για τη δημιουργία στατικού ηλεκτρισμού.

Μια άλλη γείωση απαραίτητη σε κάθε χώρο εργασίας είναι η γείωση εξοπλισμού.

Παρότι η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι ο κύριος παράγοντας σχηματισμού ηλεκτροστατικών φορτίων στους χώρους εργασίας, σε αρκετά περιβάλλοντα οι αυτοματισμοί στην παραγωγή και διάφοροι εξοπλισμοί δοκιμών μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στον ηλεκτροστατικό έλεγχο. Για παράδειγμα μια διάταξη μπορεί να φορτιστεί καθώς γλιστρά πάνω σε κάποιον μάντα τροφοδοσίας (Εικόνα 1.11-9).



Εικόνα 1.11-9: Αντικείμενο που κυλά σε μάντα τροφοδοσίας με πιθανή εμφάνιση στατικού φορτίου.

Αν αυτή η διάταξη έρθει σε επαφή με κάποιο γειωμένο μεταλλικό αντικείμενο τότε θα εκδηλωθεί μια ταχεία ηλεκτροστατική εκφόρτιση από τη συσκευή προς το μεταλλικό αντικείμενο. Για να αποφευχθούν τέτοιες εκφορτίσεις πρέπει ο εξοπλισμός παραγωγής να είναι κατάλληλα συνδεδεμένος με την γείωση εξοπλισμού που ήδη υπάρχει σε μια εγκατάσταση για να προστατεύει το προσωπικό από λανθάνοντα ρεύματα του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.

1.12 Αντιστατικά Δάπεδα

Ένα από τα κυριότερα μέσα αντιστατικού ελέγχου και προστασίας είναι όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα αντιστατικά δάπεδα. Αν και η αντιστατική προστασία απασχόλησε την ανθρωπότητα από τον 15^ο αιώνα, η χρήση των αντιστατικών δαπέδων και μετατροπή τους σε κυρίαρχο μέσο προστασίας έγινε μόλις τις τελευταίες δεκαετίες. Τα χαρακτηριστικά ενός καλού αντιστατικού δαπέδου είναι μεταξύ άλλων τα ακόλουθα:

- Ικανότητα απαγωγής στατικού ηλεκτρισμού.
- Η ύπαρξη λείας, στιλπνής επιφάνειας με αντοχή στο βάδισμα ανθρώπου και μετακίνηση μηχανημάτων ή λοιπού εξοπλισμού.

1.12.1 ΔΑΠΕΔΑ – ΠΡΩΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Τη δεκαετία του 1970 και αρχές 1980, ο στατικός ηλεκτρισμός και οι επιδράσεις του άρχισαν σταδιακά να κάνουν την εμφάνιση τους στον τομέα της ηλεκτρονικής καθώς αυτός εξελισσόταν και οδήγησε στον κόσμο υψηλής τεχνολογίας που γνωρίζουμε σήμερα. Τότε οι κατασκευαστές δαπέδων δεν ήταν ακόμα ενήμεροι για τις επιπτώσεις του στατικού ηλεκτρισμού και για την ανάγκη, η οποία αργότερα θα γινόταν επιτακτική, για τον έλεγχο των στατικών φορτίων στους διάφορους χώρους των εγκαταστάσεων υψηλής τεχνολογίας ούτε για τον σπουδαίο ρόλο που θα έπαιζαν τα δάπεδα σε αυτό τον τομέα.

Το 1979 όταν οι εργολάβοι στρατού υιοθέτησαν το πρότυπο MIL-STD-1686 (πρόγραμμα Ελέγχου Ηλεκτροστατικών Εκφορτίσεων για την προστασία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών μερών, διατάξεων και εξοπλισμών) ξεκίνησε και ο αγώνας μεταξύ των κατασκευαστών δαπέδων για την δημιουργία υλικών που μπορούν να άγουν τον στατικό ηλεκτρισμό και να τον απομακρύνουν με ασφάλεια μέσω γειώσεων από τους χώρους όπου βρίσκονταν αντικείμενα ευαίσθητα σε ηλεκτροστατικά φορτία.

Όπως σε κάθε αναπτυσσόμενη βιομηχανία, χρειάστηκε χρόνος μέχρι να τελειοποιηθούν τα διάφορα υλικά δαπέδων προστασίας.

1.12.2 ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΔΑΠΕΔΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Στο τέλος της δεκαετίας του 1980, νέες αξιόπιστες επιλογές εισήχθησαν στην βιομηχανία παραγωγής δαπέδων προστασίας και ελέγχου στατικού ηλεκτρισμού. Σήμερα υπάρχουν διάφοροι τύποι υλικών, οι οποίοι παρέχουν σχετικά μεγάλης διάρκειας (2-5 χρόνια) και πάνω απ' όλα αποτελεσματική προστασία από τα στατικά φορτία. Κάθε προϊόν διαθέτει τα δικά του θετικά γνωρίσματα όπως επίσης και εν δυνάμει μειονεκτήματα τα οποία είναι σημαντικό να γνωρίζουν οι σχεδιαστές χώρων, οι διαχειριστές και οι συντηρητές εγκαταστάσεων.

- **VINYL (ΒΙΝΥΛΙΟ)**

Το βινύλιο είναι το παλαιότερο χρησιμοποιούμενο υλικό αποτελεσματικής προστασίας από ηλεκτροστατικά φορτία. Το βινύλιο όταν διατηρηθεί σωστά είναι μια πολύ καλή επιλογή και μπορεί να δώσει στην εγκατάσταση μια καθαρή και καλαίσθητη εμφάνιση. Επιπλέον, επειδή το υλικό αυτό είναι σχετικά φθινό, αποτελεί μια χαμηλού κόστους επιλογή προστασίας από το στατικό ηλεκτρισμό.

Οι μηχανικοί/κατασκευαστές συχνά προτιμούν τα δάπεδα βινυλίου επειδή το βινύλιο έχει την φήμη ενός φθηνού και εύκολου στον καθαρισμό υλικού. Οι κατασκευαστές βινυλίου γνωρίζουν την ανάγκη να συνυπολογίζουν το κόστος συντήρησης και καθαρισμού των δαπέδων στο συνολικό κόστος εφαρμογής. Για αυτό συχνά προτείνουν μεθόδους και υλικά καθαρισμού διαφορετικά από τα συνηθισμένα γυαλιστικά φινιρίσματα ή τα κεριά καθαρισμού.

Η μέθοδος που συνήθως προτείνεται είναι η περιοδική υψηλής ταχύτητας στίλβωση (high speed buffing) για τον εύκολο καθαρισμό των δαπέδων βινυλίου. Η συσκευή στίλβωσης (buffing equipment) γυαλίζει το δάπεδο χρησιμοποιώντας θερμότητα.

- **ΕΡΟΧΥ (ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΑ)**

Τα εποξειδικά δάπεδα έχουν γίνει μια αποτελεσματική, υψηλής ποιότητας επιλογή ηλεκτροστατικής προστασίας. Σήμερα τα εποξειδικά δάπεδα παρουσιάζουν

μεγάλη ευκολία στην εγκατάσταση, την συντήρηση και την ανθεκτικότητα ενώ παράλληλα αποτελούν μια ελκυστική επιλογή και από άποψη αισθητικής.

Εκτός από τις έγχρωμες επενδύσεις που συνήθως χρησιμοποιούνται σε χώρους στάθμευσης και σε υπόστεγα αεροπλάνων, η νέα γενιά εποξειδικών δαπέδων είναι διαθέσιμη σε διάφορα πρότυπα σχεδίων όπως επίσης σε μια ποικιλία χρωμάτων και υφών.

Η χρήση πολλαπλών στρωμάτων αγώγιμων υλικών ως μέρος του συνολικού πάχους της επένδυσης παρέχει πλεονάζοντα μονοπάτια γείωσης, με αποτέλεσμα, αν γίνει σωστή εγκατάσταση, τα εποξειδικά δάπεδα να είναι εξαιρετικά αποτελεσματικά, καλύπτοντας όλες τις προδιαγραφές ηλεκτροστατικής προστασίας.

- **CARPET (ΜΟΚΕΤΕΣ)**

Σήμερα, στη προσπάθεια ενίσχυσης των μοκετών ώστε να αποκτήσουν αγώγιμες ιδιότητες, μπορούν να υφανθούν βαρύτερες και ανθεκτικότερες αγώγιμες ίνες μέσα στη δέσμη νημάτων της μοκέτας. Έτσι δημιουργείται ένας σχεδόν απεριόριστος αριθμός επαφών παρέχοντας ένα αξιόπιστο και γρήγορο αγώγιμο μονοπάτι προς τη γη. Έτσι η νέα γενιά μοκετών παρουσιάζει αντοχή στις καταπονήσεις που υφίστανται σε περιοχές υψηλής κινητικότητας.

Επειδή η εγκατάσταση και αντικατάσταση είναι εύκολη, τα πλακίδια μοκέτας (carpet tiles) είναι δημοφιλής επιλογή για τους μηχανικούς και τους συντηρητές. Η εγκατάσταση των πλακιδίων μοκέτας γίνεται με την βοήθεια κόλλας ταχείας ζήρασης με αγώγιμα χαρακτηριστικά.

Επίσης η μοκέτα μπορεί να τοποθετηθεί και απευθείας πάνω σε φθαρμένα πλακάκια βινυλίου ή ανισόπεδες επιφάνειες τσιμέντου, γεγονός που μειώνει σημαντικά το κόστος εγκατάστασης. Εάν κάποιο κομμάτι της μοκέτας φθαρεί είναι εύκολη η αντικατάστασή του χωρίς ειδικά εργαλεία ή ακόμη και τη χρήση αγώγιμης κόλλας.

Επειδή οι μοκέτες είναι σχετικά ανθεκτικές και εύκολες στον καθαρισμό και την αντικατάσταση σε περίπτωση φθοράς, αποτελούν μια φθηνή επιλογή προστασίας από στατικά φορτία.

- **RUBBER (ΕΛΑΣΤΙΚΑ)**

Τα ελαστικά δάπεδα αποτελούν μια καλή επιλογή ανάμεσα στα υπόλοιπα υλικά δαπέδων καθώς συνήθως ανταποκρίνονται σε όλες τις προδιαγραφές που καθορίζονται από τους διεθνώς ισχύοντες κανονισμούς. Τα ελαστικά δάπεδα μπορούν να είναι το ίδιο αποτελεσματικά στην προστασία όσο ένα εξαιρετικά αγώγιμο δάπεδο βινυλίου.

Επιπλέον θεωρούνται από πολλούς ειδικούς ως μια ιδιαίτερα επιθυμητή επιφάνεια δαπέδου καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με αγώγιμα παπούτσια αλλά μπορεί να είναι το ίδιο αποτελεσματικό στον έλεγχο και την απομάκρυνση στατικών φορτίων ακόμα και σε χώρους που τέτοιου είδους προστασίας (αγώγιμα παπούτσια) δεν προβλέπεται ή δεν μπορεί να εφαρμοστεί.

Τα ελαστικά δάπεδα εμφανίζουν αντοχή σε καταπονήσεις, ενώ όπως και οι μοκέτες, περιορίζουν το θόρυβο από την μετακίνηση του προσωπικού αλλά και των συρόμενων αντικειμένων και εξοπλισμών.

Στα ελαστικά δάπεδα είναι ευκολότερος ο καθαρισμός τους και η διατήρησή τους, επειδή είναι λιγότερο πορώδη. Συγκεκριμένα, ύστερα από μελέτες, έγινε φανερό πως οι ελαστικές επιφάνειες μπορούν να διατηρηθούν με ουδέτερα καθαριστικά αραιωμένα σε νερό χωρίς να απαιτούνται φινιρίσματα ή μηχανές στίλβωσης.

1.12.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΑΠΕΔΟΥ

Η βασική λειτουργία των ηλεκτροστατικών δαπέδων είναι να άγουν ή να διασκορπίζουν στατικά φορτία και να βοηθήσουν έτσι στον έλεγχο των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων. Για να εκπληρώσουν αυτή τη βασική λειτουργία, τα ηλεκτροστατικά δάπεδα πρέπει να διατηρούν τα χαρακτηριστικά προστασίας τους στους διάφορους χώρους μιας εγκατάστασης η οποία έχει απαιτήσεις ελέγχου ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων.

Η ταξινόμηση των δαπέδων ως προς την ικανότητά τους να ελέγχουν τα στατικά φορτία γίνεται βάσει των ιδιοτήτων τους ως αγωγοί ή ως διασκορπιστές

ηλεκτροστατικών φορτίων. Η αντίσταση ενός αγώγιμου δαπέδου είναι συνήθως μικρότερη από $1 \times 10^4 \Omega$, ενώ αυτή ενός δαπέδου διασκορπισμού κυμαίνεται συνήθως από $1 \times 10^4 \Omega$ ως $1 \times 10^{11} \Omega$. Ένα αγώγιμο δάπεδο είναι προτιμητέο σε χώρους εργασίας όπου το προσωπικό είναι εφοδιασμένο με παπούτσια ελέγχου στατικού ηλεκτρισμού (static - control footwear) ενώ ένα δάπεδο διασκορπισμού αποτελεί καλή λύση για ένα χώρο εργασίας που πιθανώς να φιλοξενεί ένα μεγαλύτερο σε ποικιλία και εύρος αριθμό χρηστών.

Αρχικά, αφού γίνει η επιλογή με βάση την επιθυμητή αντίσταση, η χρήση για την οποία προβλέπεται καθώς και η επιθυμητή εμφάνιση αποτελούν τους καθοριστικότερους παράγοντες για την τελική επιλογή ενός δαπέδου. Κάθε τύπος ηλεκτροστατικού δαπέδου ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένες απαιτήσεις προστασίας από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις που ορίζονται στους διάφορους χώρους μια εγκατάστασης.

Ακόμα και όταν η αισθητική του χώρου αποτελεί κριτήριο υπάρχει η δυνατότητα επιλογής ειδικών πλακιδίων ή μοκετών έλεγχου στατικού ηλεκτρισμού σε μια ποικιλία χρωμάτων και προτύπων. Με τόσο μεγάλη ποικιλία δαπέδων έλεγχου στατικού ηλεκτρισμού που υπάρχει σήμερα, η κατάλληλη επιλογή αποτελεί πρόκληση για τους αρχιτέκτονες και τους μηχανικούς/κατασκευαστές εγκαταστάσεων υψηλής τεχνολογίας. Οι ειδικές απαιτήσεις του κάθε χώρου μιας εγκατάστασης οδηγούν σε ένα συνδυασμό επιλογών δαπέδων. Τα βασικότερα κριτήρια για την επιλογή ενός δαπέδου πρέπει να είναι:

- 1) η καταλληλότητα του δαπέδου για το συγκεκριμένο χώρο
- 2) η συντήρηση που απαιτεί το δάπεδο
- 3) ηλεκτροστατικές απαιτήσεις που πρέπει να καλύπτει το δάπεδο

Σε χώρους με μεγάλη κινητικότητα, απαιτούνται πυκνές επιφάνειες δαπέδων με αντοχή σε τριβή και προσκρούσεις, θλιπτική και εφελκιστική αντοχή καθώς και αντοχή σε χημικά διαλύματα.

Τα δάπεδα καθαρών θαλάμων (Clean Rooms) συχνά δεν χρειάζεται να εμφανίσουν αντοχές σε υψηλή κινητικότητα και μηχανικές καταπονήσεις. Ωστόσο το υλικό του δαπέδου που επιλέγεται για “καθαρούς” θαλάμους δεν μπορεί να

περιέχει άνθρακα ή άλλα πτητικά οργανικά συστατικά που σε περίπτωση ανάφλεξης μπορεί να οδηγήσουν στην δημιουργία επικινδύνων διαβρωτικών αερίων.

Στα γραφεία ή σε άλλους χώρους εργασίας που παρουσιάζουν χαμηλή κινητικότητα, κατάλληλοι τύποι δαπέδων είναι, εκτός των άλλων, και οι μοκέτες που πέραν της προστασίας που παρέχουν από τα ηλεκτροστατικά φορτία, περιορίζουν παράλληλα τον θόρυβο που μπορεί να προέρχεται από μετακινήσεις προσώπων, καροτσάκια ή συρόμενους μηχανισμούς αυτοματισμού.

1.12.4 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΑΠΕΔΩΝ

Κατά την επιλογή του υλικού του δαπέδου, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη η σχέση μεταξύ της όσο το δυνατό καλύτερης διατήρησης των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του υλικού, που προσδίδουν στο δάπεδο τις απαραίτητες ιδιότητες, καθώς και των παραγόντων συντήρησης.

Ορισμένα δάπεδα απαιτούν μονάχα περιοδικό σκούπισμα ή σφουγγάρισμα ενώ άλλα, για να μπορέσουν να αποδώσουν τα ηλεκτρικά τους χαρακτηριστικά, πιθανώς να απαιτούν και την εγκατάσταση διαφόρων στρωμάτων επένδυσης από ειδικό ESD φινιρίσμα. Το κόστος συντήρησης αλλά και η ίδια η συντήρηση των δαπέδων μπορούν εύκολα να ξεπεράσουν από τις αρχικές εκτιμήσεις των προμηθευτών, για το συνολικό κόστος της εγκατάστασης. Για αυτό το λόγο, καμία απόφαση, που αφορά ειδικά στην επιλογή υλικών για τα δάπεδα, δεν πρέπει να λαμβάνεται χωρίς να έχουν εκτιμηθεί πλήρως οι απαιτήσεις για την συντήρηση.

Αν απαιτούνται ειδικά φινιρίσματα δαπέδου το εκτιμώμενο συνολικό κόστος θα πρέπει να περιλαμβάνει το πρόσθετο κόστος των φινιρισμάτων, το κόστος πιστοποίησης της εκπλήρωσης των χαρακτηριστικών του φινιρίσματος αλλά και το κρυφό κόστος που σχετίζεται με τις μετακινήσεις επίπλων και εξοπλισμών και κάθε άλλης ενέργειας που απαιτείται για τις διαδικασίες συντήρησης.

Όσον αφορά την συντήρηση, σημαντικό ρόλο παίζουν εκτός των άλλων η λειτουργία της μονάδας, η προβλεπόμενη κίνηση στους χώρους, η εγγύτητα των ESD δαπέδων στις εισόδους, το κλίμα της περιοχής όπως ακόμη και οι

υποκειμενικοί παράγοντες που σχετίζονται με την επιθυμητή εμφάνιση του χώρου μιας εταιρίας. Ένα αλέκιστο και αστραφτερό δάπεδο ενός καθαρού θαλάμου μπορεί για κάποιον να μην είναι ιδιαίτερα όμορφο αισθητικά και να έχει αυξημένες απαιτήσεις συντήρησης γύρω από σημεία φόρτωσης.

Ένα πολύ ανθεκτικό και σκληρό κάλυμμα ίσως να μπορεί να αντέξει τις καταπονήσεις χώρων φόρτωσης, όμως σε εργοστάσια που η δομή των χώρων πιθανώς να μεταβάλλεται μπορεί να προκύψουν προβλήματα σχετικά με την συντήρηση και την εμφάνιση ενός δαπέδου.

1.12.5 ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Μια παράμετρος που συχνά παραβλέπεται όταν γίνεται η επιλογή υλικού δαπέδου είναι η ευκολία και το κόστος των επισκευών. Όποια επιλογή δαπέδου και να γίνει πάντα αναμένεται κάποια μελλοντική επιδιόρθωση ή και αντικατάσταση.

Για να αποφευχθούν λάθη που πιθανώς να έχουν, τόσο οικονομικό αντίκτυπο όσο και χρονικές καθυστερήσεις, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη όλα τα σενάρια που σχετίζονται με την λειτουργία των χώρων εγκατάστασης των δαπέδων, καθώς και όλες οι μεταβλητές που αφορούν στη χρήση αλλά και στην αναμενόμενη καταπόνηση των δαπέδων. Μια επιδιόρθωση μπορεί να είναι εύκολη υπόθεση σε ένα ανοιχτό χώρο ενώ να είναι πολύ δύσκολη σε ένα χώρο που φιλοξενεί πολυάριθμο προσωπικό και εξοπλισμό καθ' όλη τη διάρκεια της εβδομάδας.

Κεφάλαιο 2. Διάταξη μέτρησης και διαδικασία μετρήσεων.

2.1 Γενικά

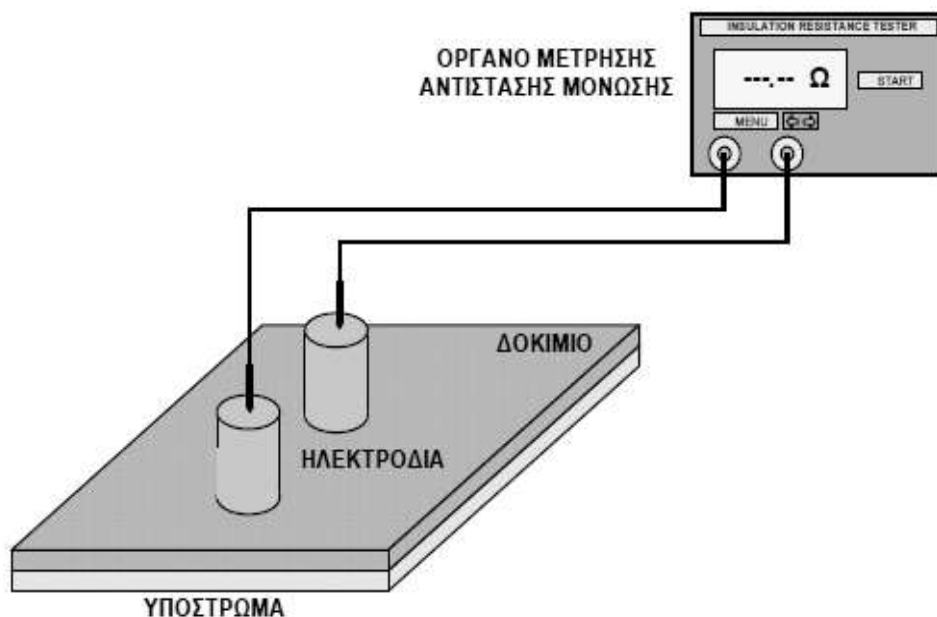
Σκοπός των μετρήσεων είναι η μέτρηση σε περιβάλλον εργαστηρίου της επιφανειακής αντίστασης δειγμάτων αντιστατικών δαπέδων και η παρατήρηση της μεταβολής της σε συνάρτηση με δύο παράγοντες: 1) χρόνος εφαρμογής της τάσης 2) απόσταση ηλεκτροδίων.

2.2 Χρησιμοποιούμενα Δοκίμια

Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια από 6 διαφορετικά εμπορικά αντιστατικά δάπεδα. Τα δοκίμια αυτά διαφοροποιούνται ως προς τις διαστάσεις, το σχήμα, το υλικό κατασκευής, το πάχος, το χρώμα και φυσικά διέφεραν στην τιμή της επιφανειακής αντίστασης.

2.3 Διάταξη μετρήσεων

Η διάταξη η οποία χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να γίνουν οι μετρήσεις της επιφανειακής αντίστασης δίδεται στο σχήμα 2.3-1 που ακολουθεί.



Σχήμα 2.3-1: Πειραματική διάταξη.

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Το **ψηφιακό όργανο μέτρησης**. Το ψηφιακό όργανο μέτρησης έχει τη δυνατότητα να μετρήσει την επιφανειακή αντίσταση του εκάστοτε δοκίμιου (δαπέδου), μεταβάλλοντας τόσο το χρόνο μέτρησης όσο και το επίπεδο της τάσης εφαρμογής.
- Τα **ηλεκτρόδια** για τη μέτρηση της επιφανειακής αντίστασης. Ως ηλεκτρόδια μέτρησης χρησιμοποιήθηκαν δυο ακριβώς όμοια κυλινδρικά ηλεκτρόδια διαμέτρου 7 cm, ύψους 8 cm και βάρους 2,3 kg περίπου έκαστο.
- Το υπό εξέταση **δάπεδο-δοκίμιο**. Χρησιμοποιήθηκαν 6 εμπορικά δοκίμια, διαφόρων μεγεθών και χρωμάτων και πιθανότατα διαφορετικού υλικού.
- Το **υπόστρωμα** του αντιστατικού δαπέδου. Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δυο είδη υποστρώματος. Χρησιμοποιήθηκε ένα αγωγίμο υπόστρωμα, κατασκευασμένο από χαλκό και ένα μονωτικό κατασκευασμένο από ξύλο.

2.4 Διαδικασία των Μετρήσεων

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας θα εξεταστεί όπως έχει ήδη αναφερθεί η επίδραση δύο παραμέτρων στη μέτρηση της επιφανειακής αντίστασης. Οι παράμετροι αυτοί είναι ο χρόνος που διαρκεί η μέτρηση καθώς και η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων. Στη συνέχεια αναλύονται λεπτομερώς τα βήματα που θα ακολουθηθούν.

1) Επίδραση του χρόνου μέτρησης

Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα.

Βήμα 1.1: Για κάθε δοκίμιο και τύπο υποστρώματος θα πραγματοποιηθούν τα ακόλουθα βήματα.

Βήμα 1.2: Για τάση 100, 250 και 500 V θα πραγματοποιηθούν τα ακόλουθα βήματα.

Βήμα 1.3: Για χρόνο μέτρησης 1, 2, 5, 15, 30, 60 και 110 sec διαδοχικά θα πραγματοποιηθεί το παρακάτω βήμα.

Βήμα 1.4: Για απόσταση ηλεκτροδίων 5 cm θα γίνουν 4 μετρήσεις της επιφανειακής αντίστασης σε δύο θέσεις του δοκιμίου (άκρη και κέντρο). Για κάθε θέση (4 μετρήσεις) προκύπτει ένας μέσος όρος. Από τους δύο μέσους όρους προκύπτει η τιμή της αντίστασης του δοκιμίου ως ο μέσος όρος αυτών η οποία και καταγράφεται.

2) Επίδραση της απόστασης των ηλεκτροδίων

Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα.

Βήμα 2.1^ο: Για κάθε δοκίμιο και τύπο υποστρώματος θα πραγματοποιηθούν τα ακόλουθα βήματα.

Βήμα 2.2^ο: Για χρόνο μέτρησης 1,2,5,15,30,60 και 110 sec θα πραγματοποιηθούν τα ακόλουθα βήματα.

Βήμα 2.3^ο: Για τάση 100, 250 και 500 V θα πραγματοποιηθούν το ακόλουθο βήμα.

Βήμα 2.4^ο: Ρυθμίζοντας την απόσταση των ηλεκτροδίων διαδοχικά στις τιμές 10, 5 και 1 cm θα πραγματοποιηθούν τέσσερις μετρήσεις της τιμής της επιφανειακής αντίστασης, για δύο θέσεις πάνω στο δοκίμιο (άκρη και κέντρο). Για κάθε θέση (4 μετρήσεις) αντιστοιχεί ένας μέσος όρος. Από το μέσο όρο των δύο μέσων όρων προκύπτει η τιμή της αντίστασης για κάθε απόσταση ηλεκτροδίων.

Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα Μετρήσεων

Χρησιμοποιώντας τη διάταξη του σχήματος 2.3-1 και ακολουθώντας τα βήματα 1.1 έως 1.4 προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Πίνακας 3-1: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 1 σε υπόστρωμα χαλκού.

| Χρόνος Τάση | 1 | 2 | 5 | 15 | 30 | 60 | 110 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 100 V | 8,355 | 38,500 | 43,133 | 43,050 | 46,083 | 50,261 | 45,292 |
| 250 V | 35,247 | 37,369 | 38,550 | 39,328 | 37,422 | 39,261 | 41,608 |
| 500 V | 32,003 | 37,369 | 37,514 | 38,684 | 38,359 | 38,750 | 39,331 |

Πίνακας 3-2: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 2 σε υπόστρωμα χαλκού.

| Χρόνος Τάση | 1 | 2 | 5 | 15 | 30 | 60 | 110 |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 100 V | 181,333 | 231,750 | 218,167 | 278,361 | 228,694 | 245,222 | 245,889 |
| 250 V | 190,831 | 201,639 | 201,667 | 196,750 | 236,361 | 223,833 | 199,528 |
| 500 V | 164,094 | 161,056 | 158,722 | 162,972 | 175,083 | 171,972 | 191,917 |

Πίνακας 3-3: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 3 σε υπόστρωμα χαλκού.

| Χρόνος Τάση | 1 | 2 | 5 | 15 | 30 | 60 | 110 |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 100 V | 152,694 | 195,222 | 185,611 | 182,861 | 181,861 | 181,694 | 185,222 |
| 250 V | 21,053 | 117,361 | 121,111 | 125,361 | 132,389 | 144,111 | 174,333 |
| 500 V | 134,972 | 128,972 | 133,694 | 135,889 | 136,750 | 136,056 | 125,000 |

Πίνακας 3-4: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 4 σε υπόστρωμα χαλκού.

| Χρόνος Τάση | 1 | 2 | 5 | 15 | 30 | 60 | 110 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 100 V | 0,033 | 0,036 | 0,031 | 0,032 | 0,026 | 0,028 | 0,025 |
| 250 V | 0,028 | 0,030 | 0,029 | 0,026 | 0,026 | 0,025 | 0,025 |
| 500 V | 0,028 | 0,028 | 0,028 | 0,025 | 0,022 | 0,026 | 0,023 |

Πίνακας 3-5: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 5 σε υπόστρωμα χαλκού.

| Χρόνος Τάση | 1 | 2 | 5 | 15 | 30 | 60 | 110 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 100 V | 8,641 | 90,515 | 78,671 | 77,489 | 81,478 | 85,350 | 80,251 |
| 250 V | 29,137 | 15,936 | 33,945 | 31,868 | 31,835 | 31,384 | 32,415 |
| 500 V | 4,661 | 6,722 | 11,394 | 11,586 | 10,614 | 11,291 | 11,038 |

Πίνακας 3-6: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 6 σε υπόστρωμα χαλκού.

| Χρόνος Τάση | 1 | 2 | 5 | 15 | 30 | 60 | 110 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 100 V | 8,162 | 40,861 | 47,689 | 49,014 | 49,731 | 50,542 | 51,539 |
| 250 V | 42,958 | 41,033 | 46,952 | 47,786 | 48,528 | 49,153 | 50,431 |
| 500 V | 44,433 | 45,864 | 46,150 | 46,686 | 47,189 | 48,147 | 49,661 |

Πίνακας 3-7: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 1 σε υπόστρωμα ξύλου.

| Χρόνος Τάση | 1 | 2 | 5 | 15 | 30 | 60 | 110 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 100 V | 16,445 | 68,430 | 65,644 | 66,708 | 67,283 | 67,967 | 68,517 |
| 250 V | 28,739 | 54,186 | 53,969 | 55,236 | 56,278 | 57,786 | 59,244 |
| 500 V | 40,725 | 42,653 | 43,375 | 44,644 | 45,711 | 47,292 | 48,719 |

Πίνακας 3-8: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 2 σε υπόστρωμα ξύλου.

| Χρόνος Τάση | 1 | 2 | 5 | 15 | 30 | 60 | 110 |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 100 V | 311,278 | 391,083 | 406,250 | 406,444 | 405,889 | 405,250 | 396,833 |
| 250 V | 296,000 | 382,917 | 380,333 | 380,583 | 380,139 | 380,639 | 380,083 |
| 500 V | 162,139 | 359,750 | 367,944 | 367,417 | 367,139 | 366,583 | 366,250 |

Πίνακας 3-9: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 3 σε υπόστρωμα ξύλου.

| Χρόνος Τάση | 1 | 2 | 5 | 15 | 30 | 60 | 110 |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 100 V | 362,972 | 446,861 | 410,417 | 422,528 | 423,167 | 423,722 | 423,833 |
| 250 V | 324,556 | 440,333 | 400,972 | 402,417 | 402,556 | 402,750 | 402,833 |
| 500 V | 288,283 | 400,528 | 364,278 | 365,250 | 365,472 | 365,944 | 366,500 |

Πίνακας 3-10: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 4 σε υπόστρωμα ξύλου.

| Χρόνος Τάση | 1 | 2 | 5 | 15 | 30 | 60 | 110 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 100 V | 0,038 | 0,038 | 0,034 | 0,034 | 0,034 | 0,034 | 0,034 |
| 250 V | 0,037 | 0,038 | 0,033 | 0,033 | 0,033 | 0,033 | 0,033 |
| 500 V | 0,032 | 0,036 | 0,030 | 0,029 | 0,029 | 0,029 | 0,029 |

Πίνακας 3-11: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 5 σε υπόστρωμα ξύλου.

| Χρόνος Τάση | 1 | 2 | 5 | 15 | 30 | 60 | 110 |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 100 V | 554,111 | 772,139 | 884,944 | 895,167 | 893,750 | 890,306 | 884,389 |
| 250 V | 487,250 | 665,250 | 736,722 | 741,667 | 741,944 | 741,278 | 737,861 |
| 500 V | 382,617 | 519,028 | 540,444 | 542,278 | 540,417 | 538,361 | 536,500 |

Πίνακας 3-12: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 6 σε υπόστρωμα ξύλου.

| Χρόνος Τάση | 1 | 2 | 5 | 15 | 30 | 60 | 110 |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 100 V | 176,917 | 224,278 | 273,417 | 273,528 | 273,194 | 272,750 | 272,111 |
| 250 V | 169,000 | 210,194 | 274,083 | 274,111 | 273,889 | 273,528 | 273,083 |
| 500 V | 40,053 | 191,000 | 265,778 | 265,750 | 265,528 | 265,278 | 265,194 |

Χρησιμοποιώντας τη διάταξη του σχήματος 2.3-1 και ακολουθώντας τα βήματα 2.1 έως 2.4 προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Πίνακας 3-13: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 1 σε υπόστρωμα χαλκού (1 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 cm | 5 cm | 1 cm |
|------------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 8,664 | 8,347 | 8,055 |
| 250 V | 42,450 | 38,650 | 24,642 |
| 500 V | 43,167 | 32,025 | 20,817 |

Πίνακας 3-14: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 1 σε υπόστρωμα χαλκού (2 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 cm | 5 cm | 1 cm |
|------------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 88,592 | 71,822 | 44,875 |
| 250 V | 69,750 | 54,708 | 38,100 |
| 500 V | 52,400 | 36,875 | 22,833 |

Πίνακας 3-15: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 1 σε υπόστρωμα χαλκού (5 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 cm | 5 cm | 1 cm |
|------------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 86,417 | 66,667 | 43,850 |
| 250 V | 69,808 | 55,817 | 36,283 |
| 500 V | 52,933 | 36,517 | 23,092 |

Πίνακας 3-16: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 1 σε υπόστρωμα χαλκού (15 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 cm | 5 cm | 1 cm |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 87,750 | 67,517 | 44,858 |
| 250 V | 70,708 | 57,517 | 37,483 |
| 500 V | 54,525 | 37,144 | 24,383 |

Πίνακας 3-17: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 1 σε υπόστρωμα χαλκού (30 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 cm | 5 cm | 1 cm |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 88,258 | 67,833 | 45,758 |
| 250 V | 71,333 | 59,200 | 38,300 |
| 500 V | 54,687 | 37,458 | 22,933 |

Πίνακας 3-18: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 1 σε υπόστρωμα χαλκού (60 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 cm | 5 cm | 1 cm |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 88,692 | 68,375 | 46,833 |
| 250 V | 72,108 | 61,692 | 39,558 |
| 500 V | 52,883 | 38,133 | 25,233 |

Πίνακας 3-19: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 1 σε υπόστρωμα χαλκού (110 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 cm | 5 cm | 1 cm |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 88,850 | 68,875 | 47,825 |
| 250 V | 73,142 | 63,492 | 41,100 |
| 500 V | 52,333 | 38,300 | 27,358 |

Πίνακας 3-20: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 2 σε υπόστρωμα χαλκού (1 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 cm | 5 cm | 1 cm |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 160,500 | 186,083 | 197,417 |
| 250 V | 214,333 | 209,500 | 148,658 |
| 500 V | 156,750 | 164,617 | 170,917 |

Πίνακας 3-21: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 2 σε υπόστρωμα χαλκού (2 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 cm | 5 cm | 1 cm |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 219,167 | 237,917 | 238,167 |
| 250 V | 213,083 | 208,333 | 183,500 |
| 500 V | 151,167 | 164,333 | 167,667 |

Πίνακας 3-22: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 2 σε υπόστρωμα χαλκού (5 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 cm | 5 cm | 1 cm |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 207,667 | 221,167 | 225,667 |
| 250 V | 201,667 | 191,000 | 212,333 |
| 500 V | 144,083 | 165,333 | 166,750 |

Πίνακας 3-23: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 2 σε υπόστρωμα χαλκού (15 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 cm | 5 cm | 1 cm |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 275,667 | 278,833 | 280,583 |
| 250 V | 190,250 | 201,333 | 198,667 |
| 500 V | 141,250 | 167,750 | 179,917 |

Πίνακας 3-24: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 2 σε υπόστρωμα χαλκού (30 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 205,583 | 234,167 | 246,333 |
| 250 V | 228,333 | 236,750 | 244,000 |
| 500 V | 147,500 | 191,917 | 185,833 |

Πίνακας 3-25: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 2 σε υπόστρωμα χαλκού (60 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 222,333 | 244,417 | 268,917 |
| 250 V | 211,667 | 223,500 | 236,333 |
| 500 V | 157,583 | 177,750 | 180,583 |

Πίνακας 3-26: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 2 σε υπόστρωμα χαλκού (110 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 240,167 | 244,833 | 252,667 |
| 250 V | 197,833 | 188,583 | 212,167 |
| 500 V | 177,417 | 206,000 | 192,333 |

Πίνακας 3-27: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 3 σε υπόστρωμα χαλκού (1 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 156,833 | 155,583 | 145,667 |
| 250 V | 20,933 | 21,100 | 21,125 |
| 500 V | 140,667 | 134,333 | 129,917 |

Πίνακας 3-28: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 3 σε υπόστρωμα χαλκού (2 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 199,750 | 194,917 | 191,000 |
| 250 V | 110,250 | 116,917 | 124,917 |
| 500 V | 128,583 | 130,750 | 127,583 |

Πίνακας 3-29: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 3 σε υπόστρωμα χαλκού (5 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 188,000 | 185,667 | 183,167 |
| 250 V | 114,000 | 120,583 | 128,750 |
| 500 V | 135,250 | 135,167 | 130,667 |

Πίνακας 3-30: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 3 σε υπόστρωμα χαλκού (15 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 185,833 | 185,083 | 177,667 |
| 250 V | 114,083 | 128,750 | 133,250 |
| 500 V | 135,417 | 135,750 | 136,500 |

Πίνακας 3-31: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 3 σε υπόστρωμα χαλκού (30 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 180,250 | 182,667 | 182,667 |
| 250 V | 120,500 | 133,417 | 143,250 |
| 500 V | 139,000 | 138,667 | 132,583 |

Πίνακας 3-32: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 3 σε υπόστρωμα χαλκού (60 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 180,250 | 181,417 | 183,417 |
| 250 V | 132,667 | 143,833 | 155,833 |
| 500 V | 143,667 | 141,000 | 123,500 |

Πίνακας 3-33: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 3 σε υπόστρωμα χαλκού (110 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 181,167 | 183,667 | 190,833 |
| 250 V | 163,333 | 182,417 | 177,250 |
| 500 V | 131,833 | 125,167 | 118,000 |

Πίνακας 3-34: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 4 σε υπόστρωμα χαλκού (1sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|-------|-------|-------|
| 100 V | 0,036 | 0,032 | 0,030 |
| 250 V | 0,032 | 0,027 | 0,024 |
| 500 V | 0,027 | 0,026 | 0,031 |

Πίνακας 3-35: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 4 σε υπόστρωμα χαλκού (2sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|-------|-------|-------|
| 100 V | 0,039 | 0,038 | 0,030 |
| 250 V | 0,032 | 0,032 | 0,027 |
| 500 V | 0,030 | 0,028 | 0,026 |

Πίνακας 3-36: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 4 σε υπόστρωμα χαλκού (5 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|-------|-------|-------|
| 100 V | 0,032 | 0,034 | 0,027 |
| 250 V | 0,028 | 0,029 | 0,028 |
| 500 V | 0,028 | 0,029 | 0,026 |

Πίνακας 3-37: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 4 σε υπόστρωμα χαλκού (15 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|-------|-------|-------|
| 100 V | 0,032 | 0,036 | 0,029 |
| 250 V | 0,027 | 0,031 | 0,020 |
| 500 V | 0,028 | 0,023 | 0,025 |

Πίνακας 3-38: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 4 σε υπόστρωμα χαλκού (30 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|-------|-------|-------|
| 100 V | 0,024 | 0,033 | 0,020 |
| 250 V | 0,024 | 0,027 | 0,027 |
| 500 V | 0,025 | 0,021 | 0,020 |

Πίνακας 3-39: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 4 σε υπόστρωμα χαλκού (60 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|-------|-------|-------|
| 100 V | 0,026 | 0,037 | 0,020 |
| 250 V | 0,027 | 0,026 | 0,023 |
| 500 V | 0,027 | 0,029 | 0,023 |

Πίνακας 3-40: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 4 σε υπόστρωμα χαλκού (110 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|-------|-------|-------|
| 100 V | 0,027 | 0,025 | 0,023 |
| 250 V | 0,024 | 0,028 | 0,023 |
| 500 V | 0,027 | 0,023 | 0,020 |

Πίνακας 3-41: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 5 σε υπόστρωμα χαλκού (1 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 8,632 | 8,281 | 9,009 |
| 250 V | 24,729 | 31,815 | 30,867 |
| 500 V | 8,938 | 3,722 | 1,324 |

Πίνακας 3-42: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 5 σε υπόστρωμα χαλκού (2 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|---------|--------|--------|
| 100 V | 103,375 | 93,238 | 74,933 |
| 250 V | 13,981 | 20,694 | 13,133 |
| 500 V | 1,896 | 6,227 | 12,043 |

Πίνακας 3-43: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 5 σε υπόστρωμα χαλκού (5 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|--------|---------|--------|
| 100 V | 73,242 | 113,836 | 48,936 |
| 250 V | 28,408 | 36,441 | 36,987 |
| 500 V | 12,131 | 14,338 | 7,713 |

Πίνακας 3-44: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 5 σε υπόστρωμα χαλκού (15 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|--------|---------|--------|
| 100 V | 64,158 | 116,135 | 52,175 |
| 250 V | 25,858 | 34,655 | 35,091 |
| 500 V | 12,774 | 14,477 | 7,507 |

Πίνακας 3-45: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 5 σε υπόστρωμα χαλκού (30 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|--------|---------|--------|
| 100 V | 76,017 | 118,181 | 50,237 |
| 250 V | 25,450 | 34,613 | 35,443 |
| 500 V | 13,209 | 11,221 | 7,413 |

Πίνακας 3-46: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 5 σε υπόστρωμα χαλκού (60 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|--------|---------|--------|
| 100 V | 81,267 | 120,358 | 54,425 |
| 250 V | 25,750 | 35,551 | 32,850 |
| 500 V | 13,854 | 11,833 | 8,186 |

Πίνακας 3-47: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 5 σε υπόστρωμα χαλκού (110 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|--------|---------|--------|
| 100 V | 75,717 | 107,043 | 57,992 |
| 250 V | 26,125 | 36,915 | 34,204 |
| 500 V | 15,260 | 9,461 | 8,393 |

Πίνακας 3-48: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 6 σε υπόστρωμα χαλκού (1 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 8,201 | 8,153 | 8,133 |
| 250 V | 44,292 | 41,992 | 42,592 |
| 500 V | 45,425 | 43,450 | 44,425 |

Πίνακας 3-49: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 6 σε υπόστρωμα χαλκού (2 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 40,550 | 41,900 | 40,133 |
| 250 V | 39,525 | 40,533 | 43,042 |
| 500 V | 48,017 | 45,375 | 44,200 |

Πίνακας 3-50: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 6 σε υπόστρωμα χαλκού (5 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 45,358 | 47,692 | 50,017 |
| 250 V | 44,017 | 47,414 | 49,425 |
| 500 V | 44,933 | 45,850 | 47,667 |

Πίνακας 3-51: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 6 σε υπόστρωμα χαλκού (15 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 46,517 | 48,817 | 51,708 |
| 250 V | 44,542 | 48,292 | 50,525 |
| 500 V | 45,433 | 46,258 | 48,367 |

Πίνακας 3-52: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 6 σε υπόστρωμα χαλκού (30 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 47,150 | 49,417 | 52,625 |
| 250 V | 45,017 | 48,725 | 51,842 |
| 500 V | 45,892 | 46,725 | 48,950 |

Πίνακας 3-53: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 6 σε υπόστρωμα χαλκού (60 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 48,017 | 50,117 | 53,492 |
| 250 V | 45,742 | 49,383 | 52,333 |
| 500 V | 46,750 | 47,658 | 50,033 |

Πίνακας 3-54: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 6 σε υπόστρωμα χαλκού (110 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 48,983 | 51,033 | 54,600 |
| 250 V | 46,917 | 50,558 | 53,817 |
| 500 V | 48,150 | 49,175 | 51,658 |

Πίνακας 3-55: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 1 σε υπόστρωμα ξύλου (1 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 32,289 | 8,709 | 8,336 |
| 250 V | 19,242 | 27,717 | 39,258 |
| 500 V | 58,000 | 40,467 | 23,708 |

Πίνακας 3-56: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 1 σε υπόστρωμα ξύλου (2 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 88,592 | 71,822 | 44,875 |
| 250 V | 69,750 | 54,708 | 38,100 |
| 500 V | 58,558 | 42,108 | 27,292 |

Πίνακας 3-57: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 1 σε υπόστρωμα ξύλου (5 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 86,417 | 66,667 | 43,850 |
| 250 V | 69,808 | 55,817 | 36,283 |
| 500 V | 58,875 | 44,117 | 27,133 |

Πίνακας 3-58: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 1 σε υπόστρωμα ξύλου (15 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 87,750 | 67,517 | 44,858 |
| 250 V | 70,708 | 57,517 | 37,483 |
| 500 V | 60,392 | 45,125 | 28,417 |

Πίνακας 3-59: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 1 σε υπόστρωμα ξύλου (30 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 88,258 | 67,833 | 45,758 |
| 250 V | 71,333 | 59,200 | 38,300 |
| 500 V | 61,625 | 46,192 | 29,317 |

Πίνακας 3-60: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 1 σε υπόστρωμα ξύλου (60 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 88,692 | 68,375 | 46,833 |
| 250 V | 72,108 | 61,692 | 39,558 |
| 500 V | 63,258 | 47,775 | 30,842 |

Πίνακας 3-61: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 1 σε υπόστρωμα ξύλου (110 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|--------|--------|--------|
| 100 V | 88,850 | 68,875 | 47,825 |
| 250 V | 73,142 | 63,492 | 41,100 |
| 500 V | 64,825 | 48,883 | 32,450 |

Πίνακας 3-62: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 2 σε υπόστρωμα ξύλου (1 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 358,417 | 314,750 | 260,667 |
| 250 V | 326,500 | 300,000 | 261,500 |
| 500 V | 400,333 | 43,825 | 42,258 |

Πίνακας 3-63: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 2 σε υπόστρωμα ξύλου (2 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 448,417 | 392,250 | 332,583 |
| 250 V | 441,583 | 388,417 | 318,750 |
| 500 V | 428,750 | 368,083 | 282,417 |

Πίνακας 3-64: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 2 σε υπόστρωμα ξύλου (5 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 459,667 | 414,167 | 344,917 |
| 250 V | 430,500 | 389,000 | 321,500 |
| 500 V | 430,000 | 370,500 | 303,333 |

Πίνακας 3-65: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 2 σε υπόστρωμα ξύλου (15 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 460,000 | 413,917 | 345,417 |
| 250 V | 430,917 | 388,917 | 321,917 |
| 500 V | 429,000 | 369,917 | 303,333 |

Πίνακας 3-66: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 2 σε υπόστρωμα ξύλου (30 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 459,750 | 413,083 | 344,833 |
| 250 V | 430,417 | 387,500 | 322,500 |
| 500 V | 428,333 | 369,833 | 303,250 |

Πίνακας 3-67: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 2 σε υπόστρωμα ξύλου (60 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 459,083 | 412,250 | 344,417 |
| 250 V | 430,583 | 388,667 | 322,667 |
| 500 V | 427,750 | 368,917 | 303,083 |

Πίνακας 3-68: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 2 σε υπόστρωμα ξύλου (110 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 458,583 | 388,083 | 343,833 |
| 250 V | 429,250 | 388,083 | 322,917 |
| 500 V | 427,250 | 368,417 | 303,083 |

Πίνακας 3-69: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 3 σε υπόστρωμα ξύλου (1 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 425,917 | 363,417 | 299,583 |
| 250 V | 364,333 | 324,500 | 284,833 |
| 500 V | 432,833 | 389,167 | 42,850 |

Πίνακας 3-70: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 3 σε υπόστρωμα ξύλου (2 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 523,167 | 450,250 | 367,167 |
| 250 V | 518,917 | 442,917 | 359,167 |
| 500 V | 476,500 | 410,917 | 314,167 |

Πίνακας 3-71: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 3 σε υπόστρωμα ξύλου (5 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 471,833 | 398,250 | 361,167 |
| 250 V | 455,083 | 406,167 | 341,667 |
| 500 V | 421,583 | 369,000 | 302,250 |

Πίνακας 3-72: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 3 σε υπόστρωμα ξύλου (15 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 472,667 | 432,667 | 362,250 |
| 250 V | 457,167 | 407,667 | 342,417 |
| 500 V | 422,833 | 369,917 | 303,000 |

Πίνακας 3-73: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 3 σε υπόστρωμα ξύλου (30 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 473,667 | 433,000 | 362,833 |
| 250 V | 457,083 | 408,000 | 342,583 |
| 500 V | 423,000 | 370,000 | 303,417 |

Πίνακας 3-74: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 3 σε υπόστρωμα ξύλου (60 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 474,667 | 433,250 | 363,250 |
| 250 V | 457,167 | 408,083 | 343,000 |
| 500 V | 423,333 | 370,750 | 303,750 |

Πίνακας 3-75: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 3 σε υπόστρωμα ξύλου (110 sec).

| Απόσταση Τάση | 10 | 5 | 1 |
|------------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 474,583 | 433,667 | 363,250 |
| 250 V | 457,167 | 408,167 | 343,167 |
| 500 V | 423,750 | 371,167 | 304,583 |

Πίνακας 3-76: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 4 σε υπόστρωμα ξύλου (1 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|-------|-------|-------|
| 100 V | 0,045 | 0,038 | 0,031 |
| 250 V | 0,043 | 0,037 | 0,030 |
| 500 V | 0,042 | 0,034 | 0,020 |

Πίνακας 3-77: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 4 σε υπόστρωμα ξύλου (2 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|-------|-------|-------|
| 100 V | 0,043 | 0,040 | 0,030 |
| 250 V | 0,040 | 0,044 | 0,030 |
| 500 V | 0,048 | 0,035 | 0,026 |

Πίνακας 3-78: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 4 σε υπόστρωμα ξύλου (5 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|-------|-------|-------|
| 100 V | 0,043 | 0,034 | 0,026 |
| 250 V | 0,038 | 0,039 | 0,023 |
| 500 V | 0,035 | 0,030 | 0,024 |

Πίνακας 3-79: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 4 σε υπόστρωμα ξύλου (15 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|-------|-------|-------|
| 100 V | 0,043 | 0,034 | 0,026 |
| 250 V | 0,037 | 0,038 | 0,023 |
| 500 V | 0,034 | 0,029 | 0,024 |

Πίνακας 3-80: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 4 σε υπόστρωμα ξύλου (30 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|-------|-------|-------|
| 100 V | 0,042 | 0,034 | 0,026 |
| 250 V | 0,037 | 0,038 | 0,023 |
| 500 V | 0,036 | 0,028 | 0,024 |

Πίνακας 3-81: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 4 σε υπόστρωμα ξύλου (60 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|-------|-------|-------|
| 100 V | 0,042 | 0,033 | 0,026 |
| 250 V | 0,037 | 0,038 | 0,023 |
| 500 V | 0,034 | 0,028 | 0,023 |

Πίνακας 3-82: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 4 σε υπόστρωμα ξύλου (110 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|-------|-------|-------|
| 100 V | 0,042 | 0,034 | 0,026 |
| 250 V | 0,037 | 0,039 | 0,023 |
| 500 V | 0,034 | 0,028 | 0,024 |

Πίνακας 3-83: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 5 σε υπόστρωμα ξύλου (1 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 668,833 | 624,083 | 369,417 |
| 250 V | 588,000 | 491,833 | 381,917 |
| 500 V | 523,667 | 457,583 | 166,600 |

Πίνακας 3-84: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 5 σε υπόστρωμα ξύλου (2 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 925,917 | 769,333 | 621,167 |
| 250 V | 795,000 | 686,583 | 514,167 |
| 500 V | 655,333 | 531,167 | 370,583 |

Πίνακας 3-85: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 5 σε υπόστρωμα ξύλου (5 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|----------|---------|---------|
| 100 V | 1068,833 | 935,167 | 650,833 |
| 250 V | 898,083 | 777,667 | 534,417 |
| 500 V | 659,083 | 539,500 | 422,750 |

Πίνακας 3-86: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 5 σε υπόστρωμα ξύλου (15 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|----------|---------|---------|
| 100 V | 1078,750 | 949,667 | 657,083 |
| 250 V | 904,500 | 782,417 | 538,083 |
| 500 V | 659,167 | 541,667 | 426,000 |

Πίνακας 3-87: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 5 σε υπόστρωμα ξύλου (30 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|----------|---------|---------|
| 100 V | 1077,083 | 947,000 | 657,167 |
| 250 V | 904,917 | 781,917 | 539,000 |
| 500 V | 656,500 | 540,083 | 424,667 |

Πίνακας 3-88: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 5 σε υπόστρωμα ξύλου (60 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|----------|---------|---------|
| 100 V | 1070,417 | 943,500 | 657,000 |
| 250 V | 904,417 | 781,917 | 537,500 |
| 500 V | 652,333 | 537,917 | 424,833 |

Πίνακας 3-89: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 5 σε υπόστρωμα ξύλου (110 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|----------|---------|---------|
| 100 V | 1062,583 | 938,167 | 652,417 |
| 250 V | 901,333 | 776,583 | 535,667 |
| 500 V | 648,917 | 535,083 | 425,500 |

Πίνακας 3-90: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 6 σε υπόστρωμα ξύλου (1 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 212,583 | 175,417 | 142,750 |
| 250 V | 227,083 | 202,833 | 77,083 |
| 500 V | 41,017 | 40,092 | 39,050 |

Πίνακας 3-91: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 6 σε υπόστρωμα ξύλου (2 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 262,250 | 222,250 | 188,333 |
| 250 V | 255,000 | 208,250 | 167,333 |
| 500 V | 227,750 | 191,083 | 154,167 |

Πίνακας 3-92: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 6 σε υπόστρωμα ξύλου (5 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 329,917 | 269,083 | 221,250 |
| 250 V | 328,583 | 271,417 | 222,250 |
| 500 V | 316,250 | 264,250 | 216,833 |

Πίνακας 3-93: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 6 σε υπόστρωμα ξύλου (15 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 330,083 | 269,417 | 221,083 |
| 250 V | 328,250 | 271,833 | 222,250 |
| 500 V | 316,250 | 264,667 | 216,333 |

Πίνακας 3-94: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 6 σε υπόστρωμα ξύλου (30 sec).

| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 329,250 | 269,333 | 221,000 |
| 250 V | 328,083 | 271,750 | 221,833 |
| 500 V | 315,833 | 264,667 | 216,083 |

Πίνακας 3-95: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 6 σε υπόστρωμα ξύλου (60 sec).

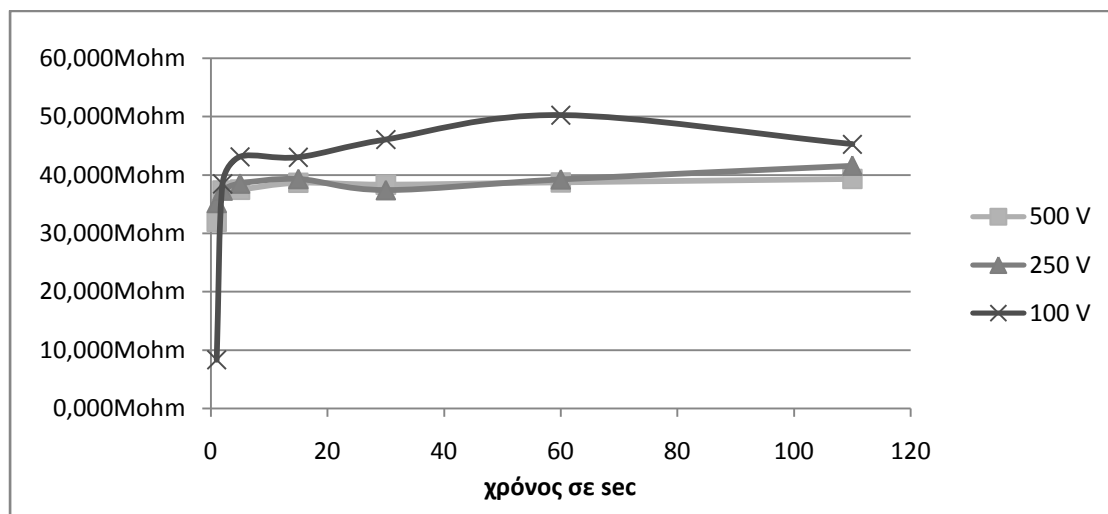
| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 328,583 | 268,917 | 220,750 |
| 250 V | 327,667 | 271,500 | 221,417 |
| 500 V | 315,750 | 264,583 | 215,500 |

Πίνακας 3-96: Τιμές της αντίστασης για το Δοκίμιο 6 σε υπόστρωμα ξύλου (110 sec).

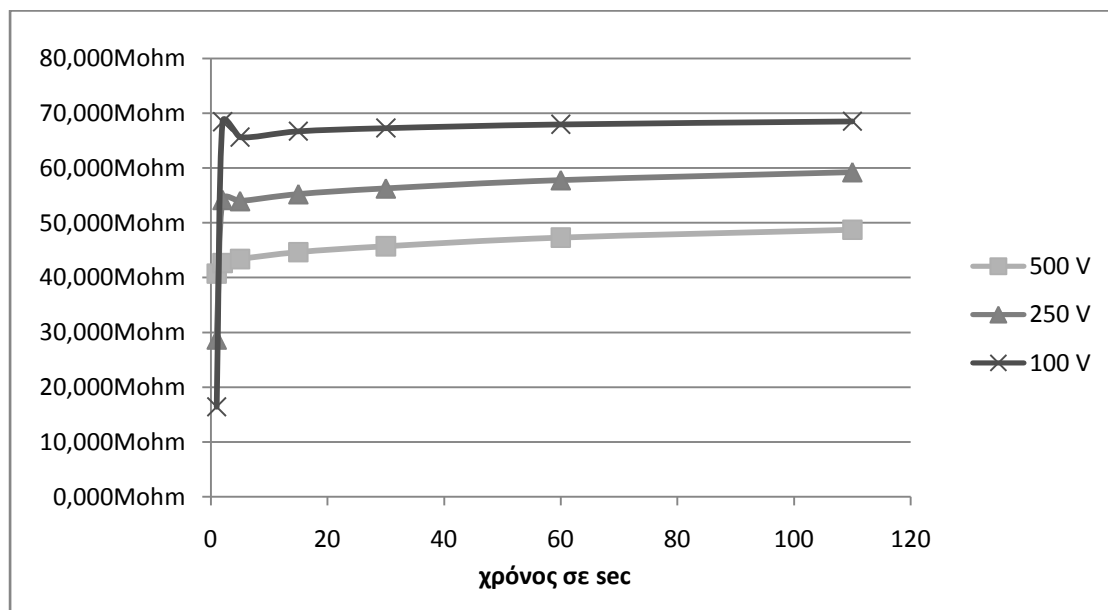
| Τάση \ Απόσταση | 10 | 5 | 1 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 100 V | 328,083 | 268,583 | 219,667 |
| 250 V | 326,917 | 271,417 | 220,917 |
| 500 V | 315,750 | 264,667 | 215,167 |

Κεφάλαιο 4. Επεξεργασία Μετρήσεων - διαγράμματα και σχολιασμός αποτελεσμάτων.

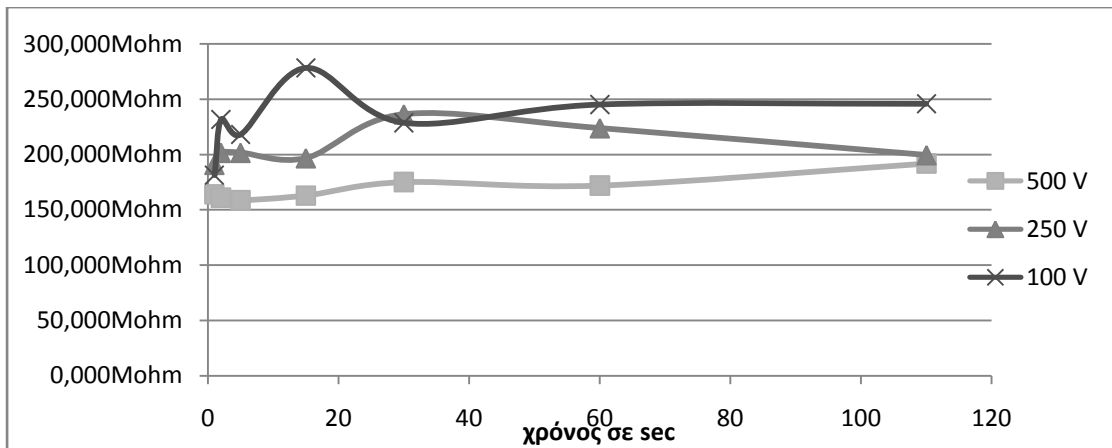
Με βάση τα στοιχεία των πινάκων 3.1 έως και 3.12 προκύπτουν τα ακόλουθα διαγράμματα μεταβολής της επιφανειακής αντίστασης σε συνάρτηση με τον χρόνο μέτρησης.



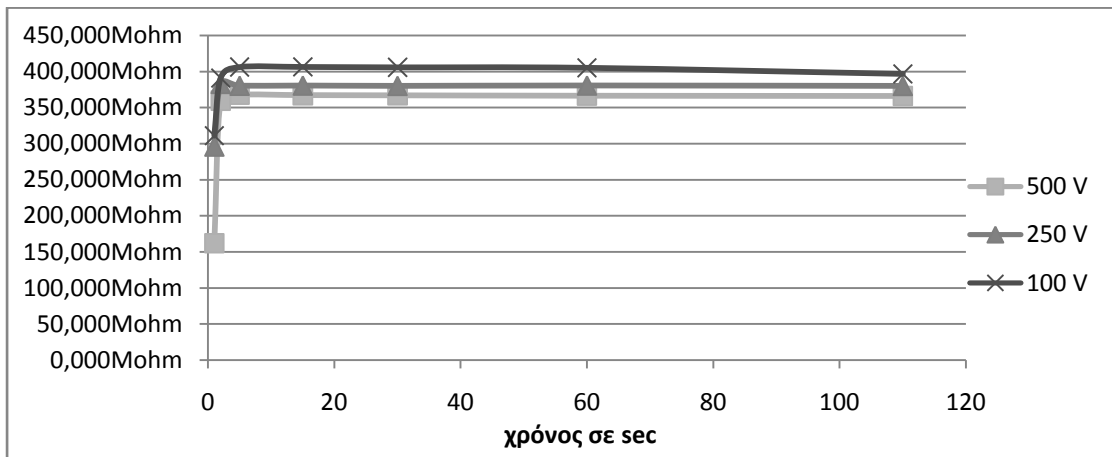
Σχήμα 4-1: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με το χρόνο για το δοκίμιο 1 με υπόστρωμα χαλκού για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



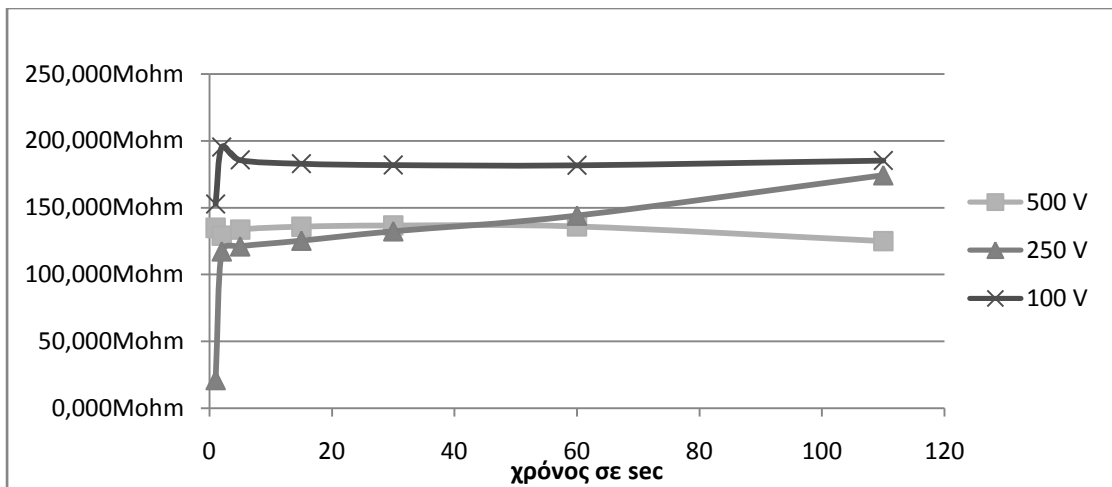
Σχήμα 4-2: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με το χρόνο για το δοκίμιο 1 με υπόστρωμα ξύλου για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



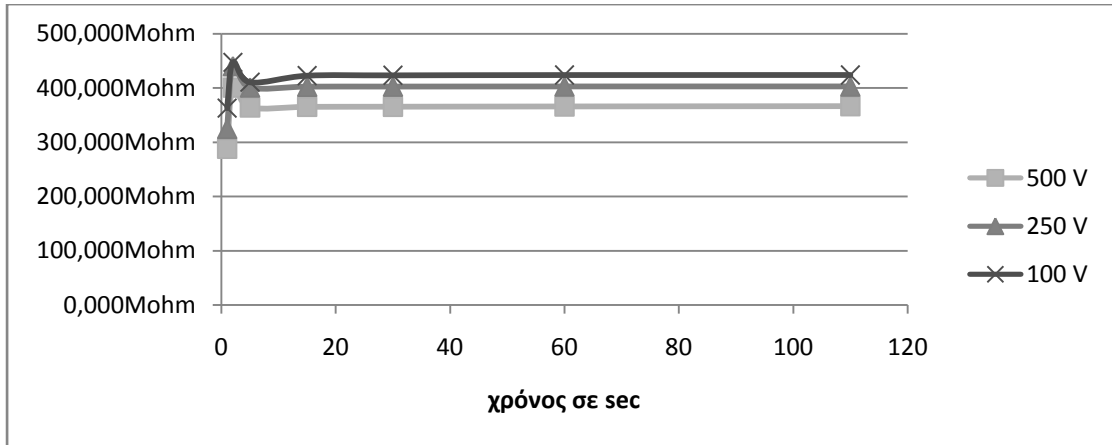
Σχήμα 4-3: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με το χρόνο για το δοκίμιο 2 με υπόστρωμα χαλκού για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



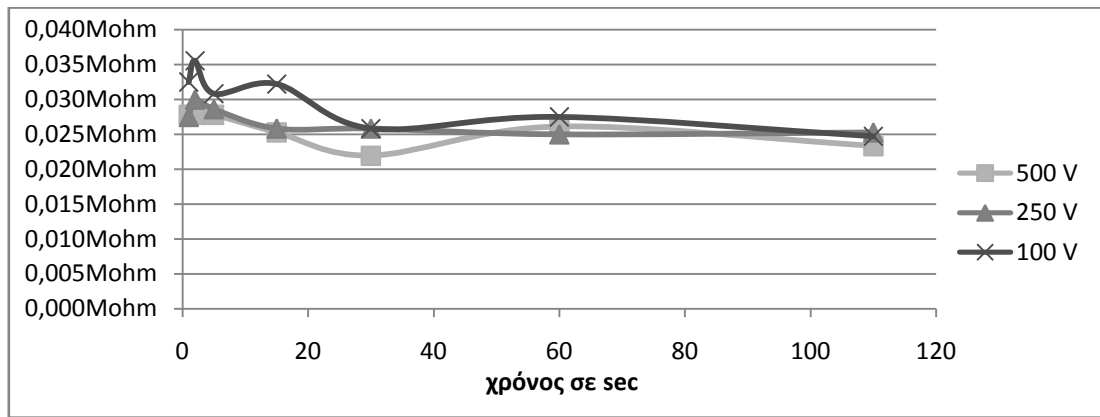
Σχήμα 4-4: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με το χρόνο για το δοκίμιο 2 με υπόστρωμα ξύλου για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



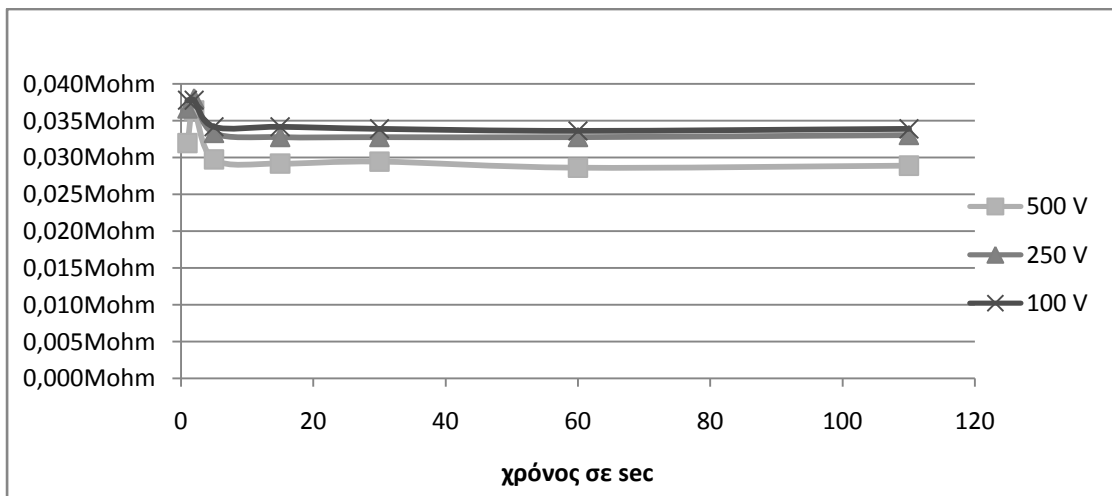
Σχήμα 4-5: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με το χρόνο για το δοκίμιο 3 με υπόστρωμα χαλκού για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



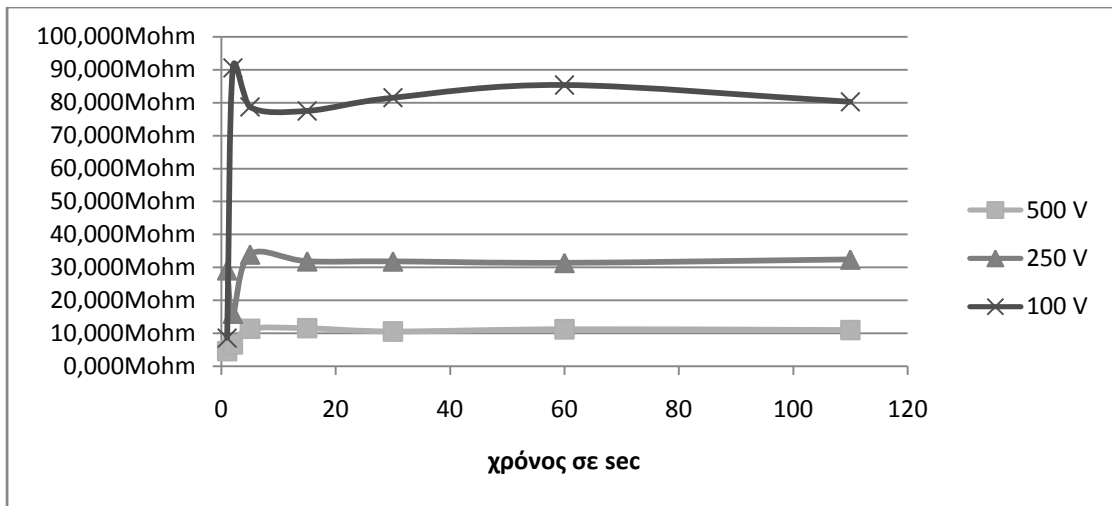
Σχήμα 4-6: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με το χρόνο για το δοκίμιο 3 με υπόστρωμα ξύλου για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



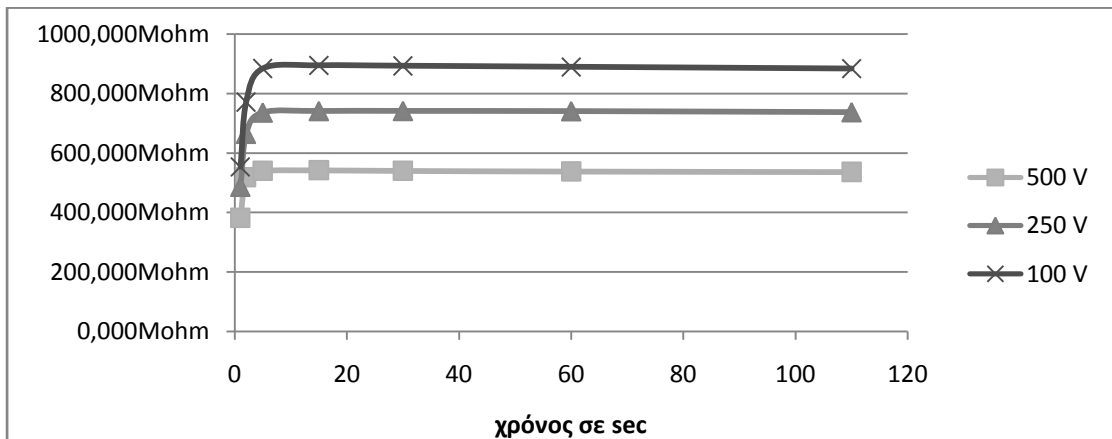
Σχήμα 4-7: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με το χρόνο για το δοκίμιο 4 με υπόστρωμα χαλκού για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



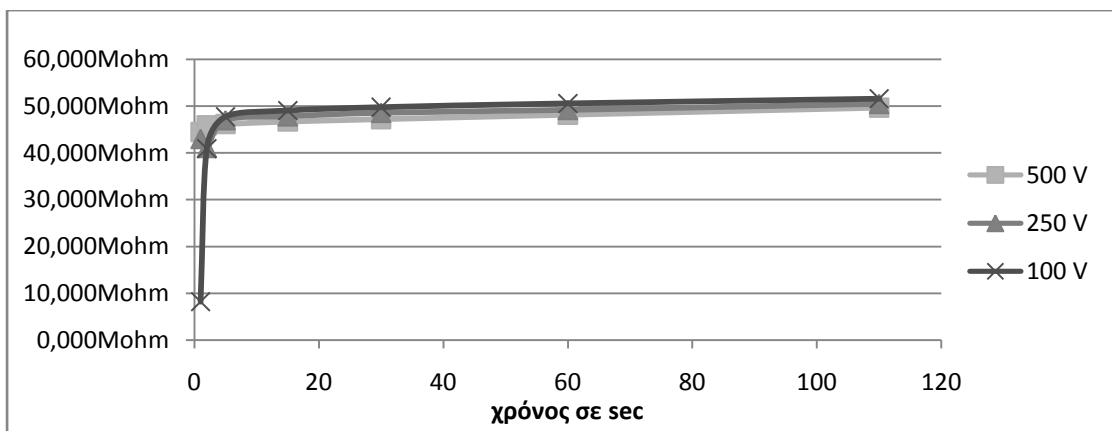
Σχήμα 4-8: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με το χρόνο για το δοκίμιο 4 με υπόστρωμα ξύλου για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



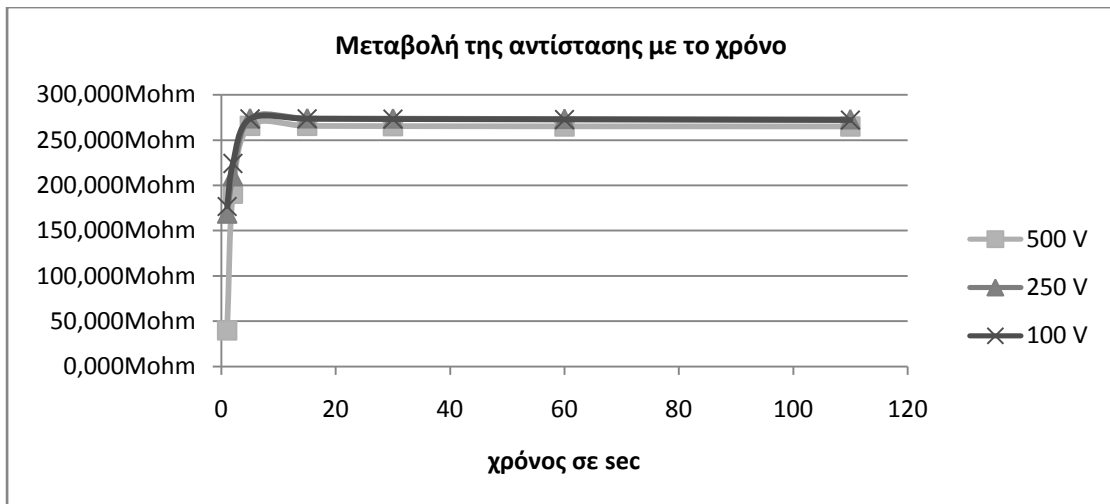
Σχήμα 4-9: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με το χρόνο για το δοκίμιο 5 με υπόστρωμα χαλκού για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



Σχήμα 4-10: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με το χρόνο για το δοκίμιο 5 με υπόστρωμα ξύλου για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.

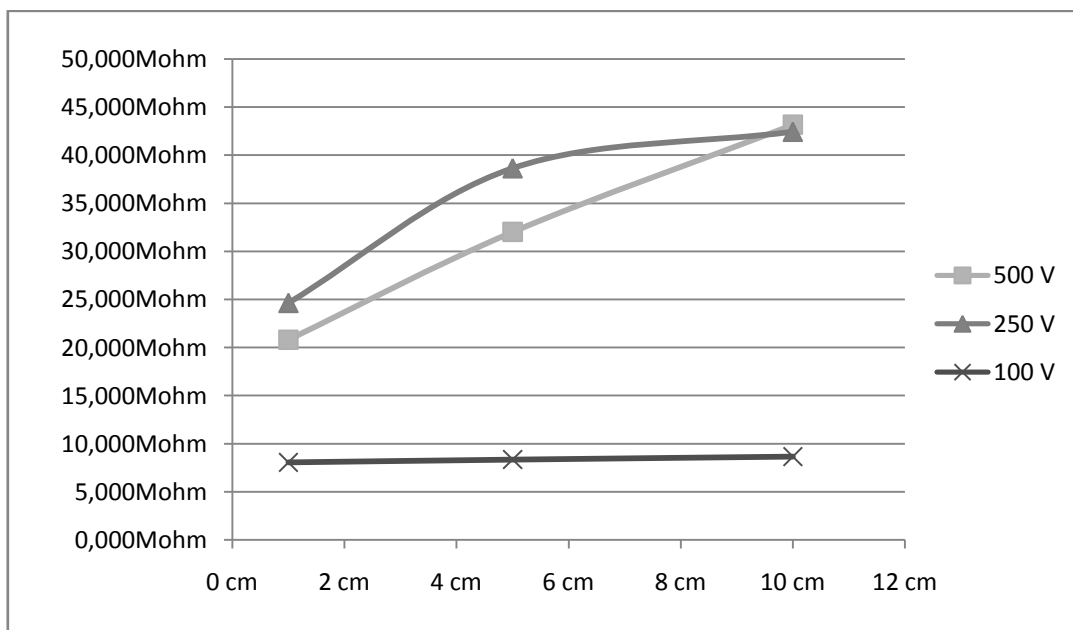


Σχήμα 4-11: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με το χρόνο για το δοκίμιο 6 με υπόστρωμα χαλκού για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.

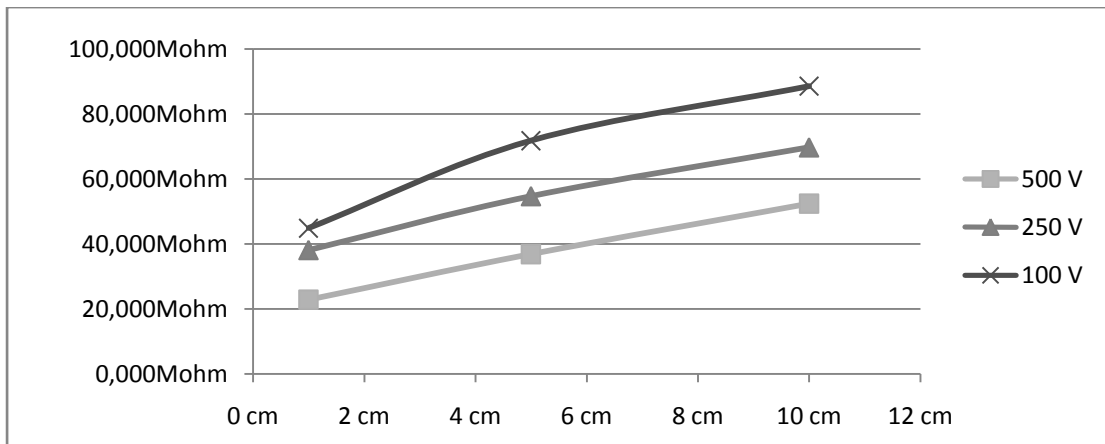


Σχήμα 4-12: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με το χρόνο για το δοκίμιο 6 με υπόστρωμα ξύλου για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.

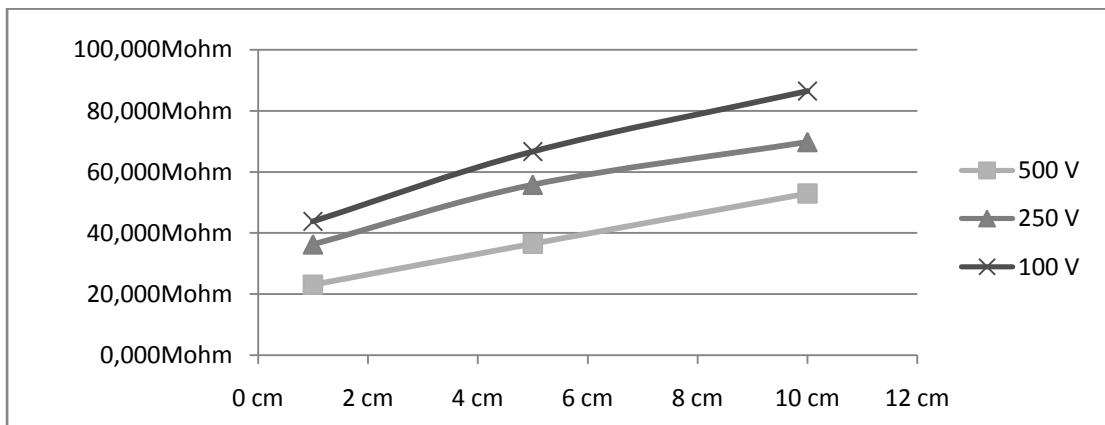
Με βάση τα στοιχεία των πινάκων 3-13 έως και 3-96 προκύπτουν τα ακόλουθα διαγράμματα μεταβολής της επιφανειακής αντίστασης σε συνάρτηση με την απόσταση των ηλεκτροδίων.



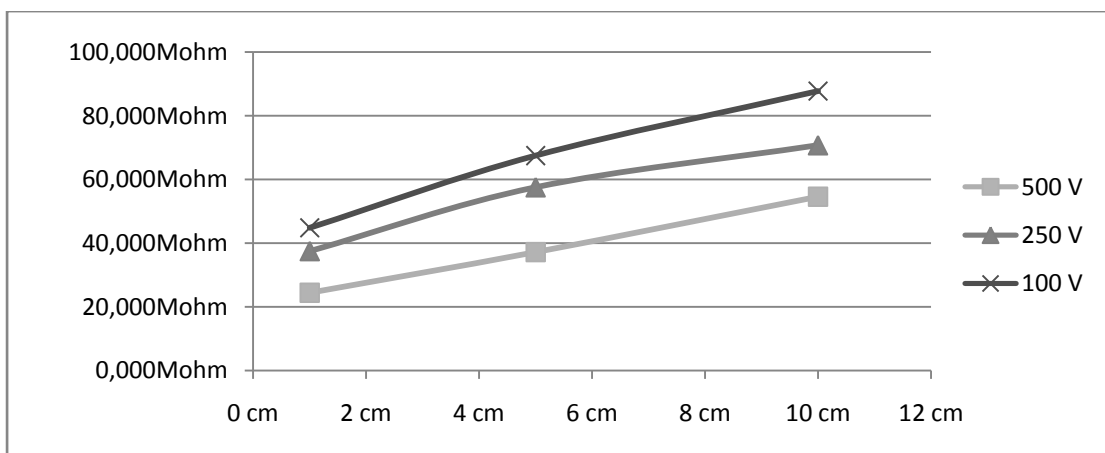
Σχήμα 4-13: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 1 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 1 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



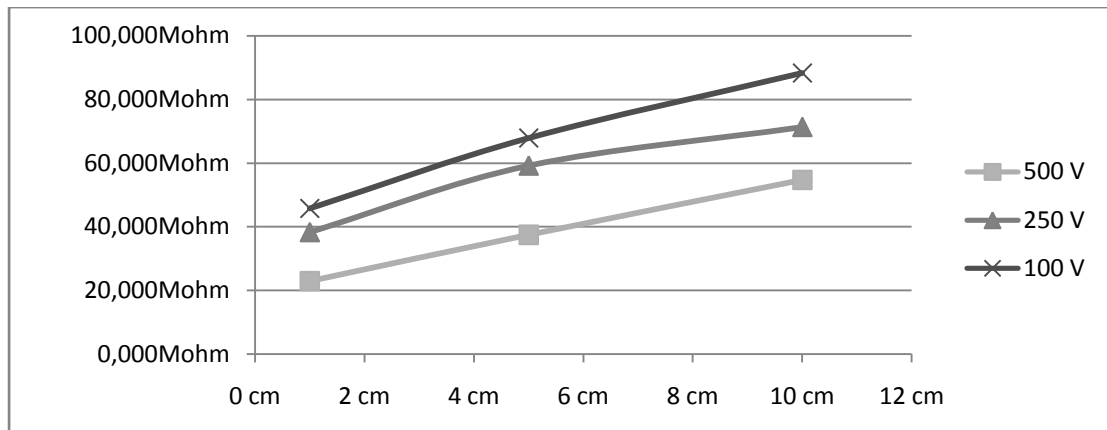
Σχήμα 4-14: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 1 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 2 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



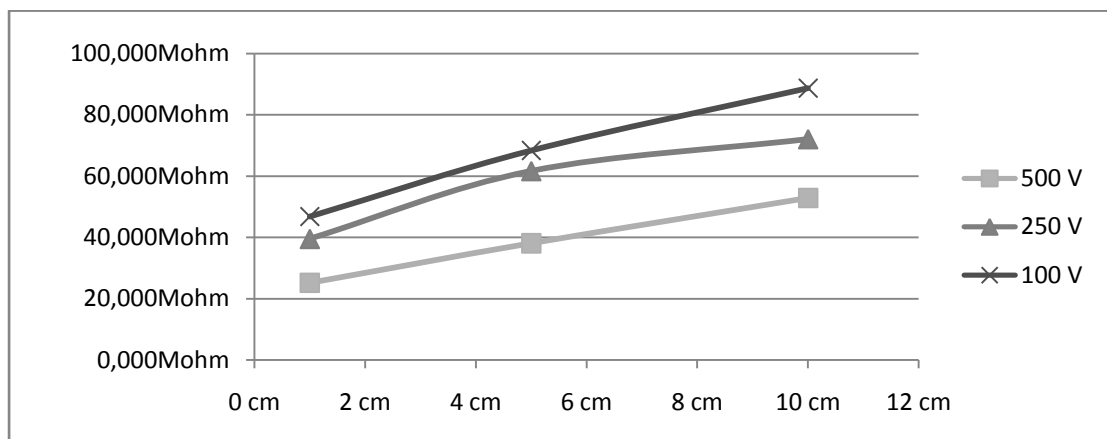
Σχήμα 4-15: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 1 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 5 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



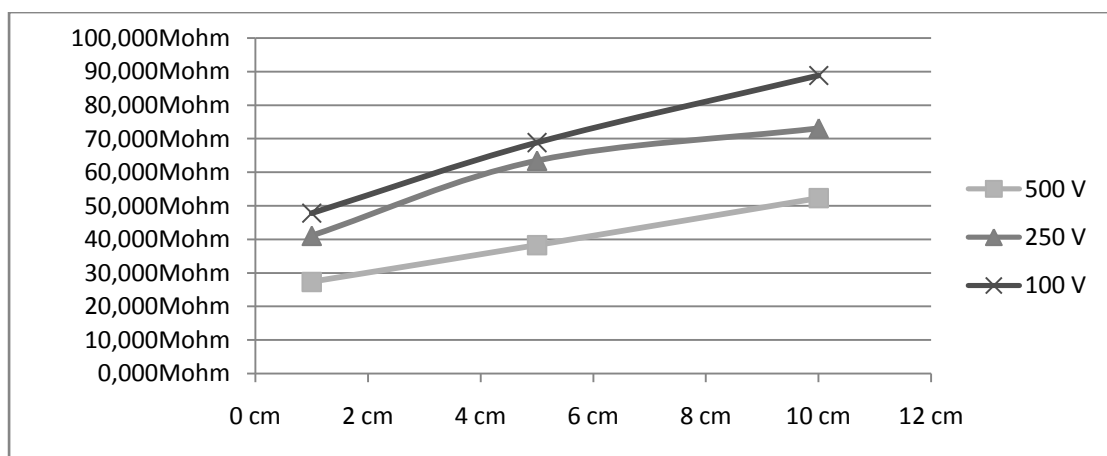
Σχήμα 4-16: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 1 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 15 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



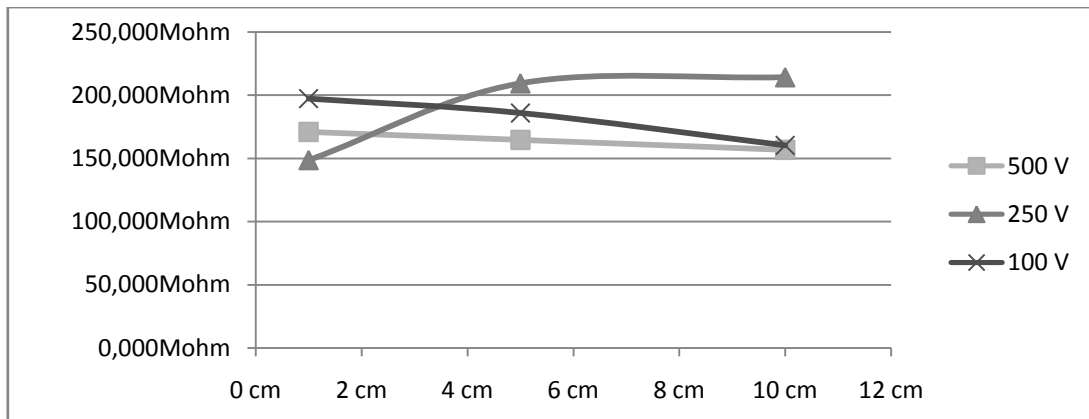
Σχήμα 4-17: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 1 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 30 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



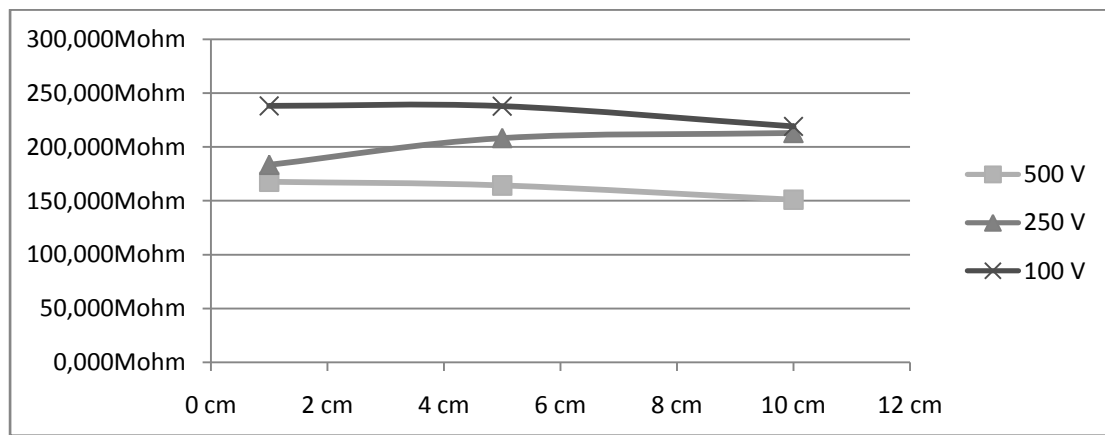
Σχήμα 4-18: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 1 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 60 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



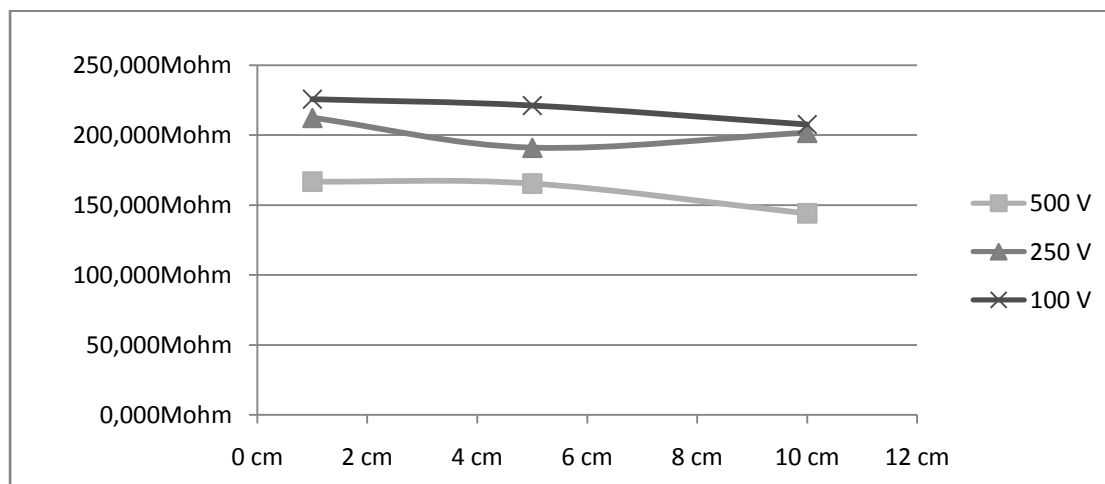
Σχήμα 4-19: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 1 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 110 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



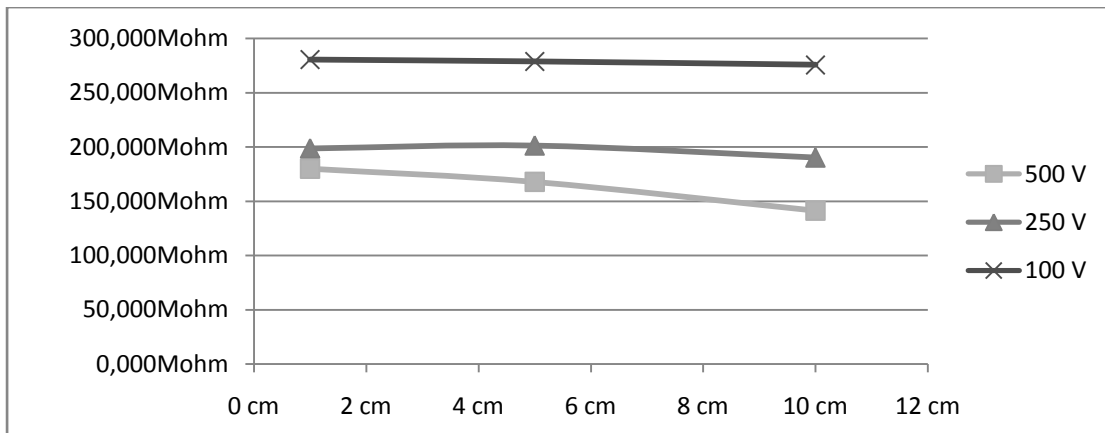
Σχήμα 4-20: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 2 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 1 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



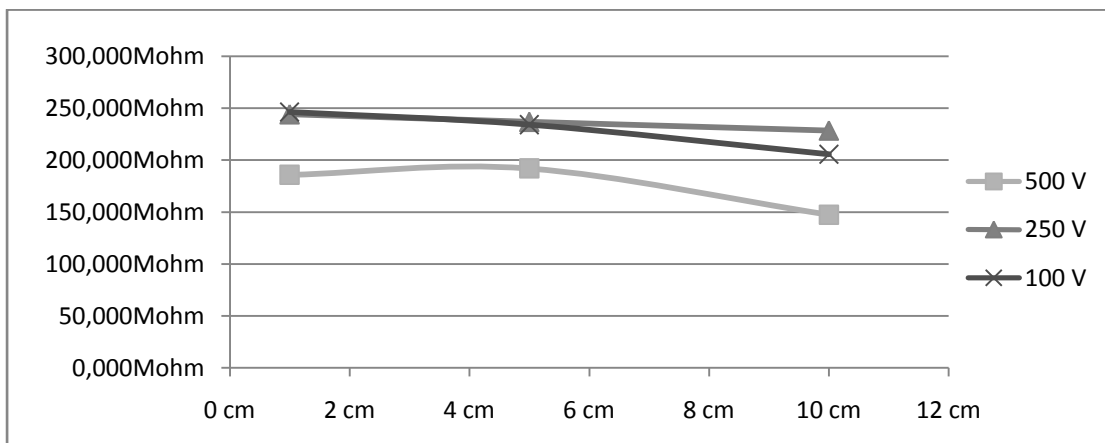
Σχήμα 4-21: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 2 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 2 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



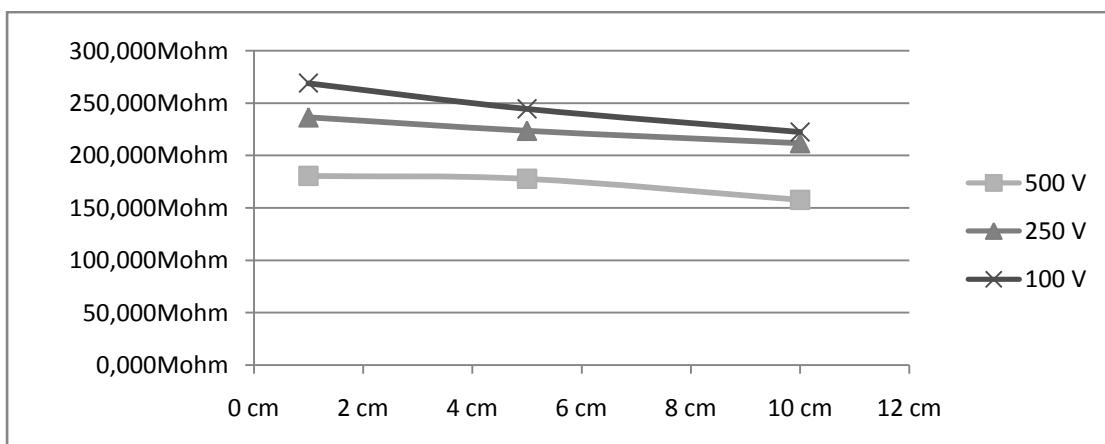
Σχήμα 4-22: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 2 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 5 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



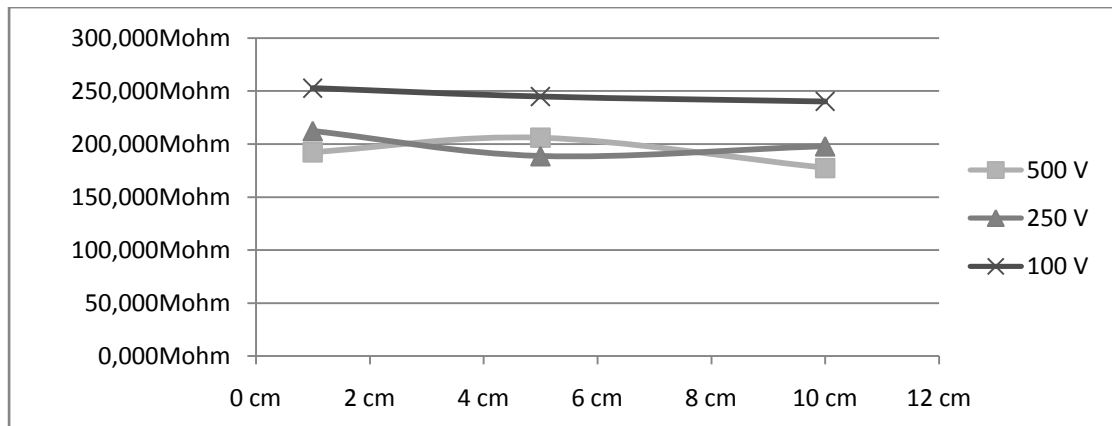
Σχήμα 4-23: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 2 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 15 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



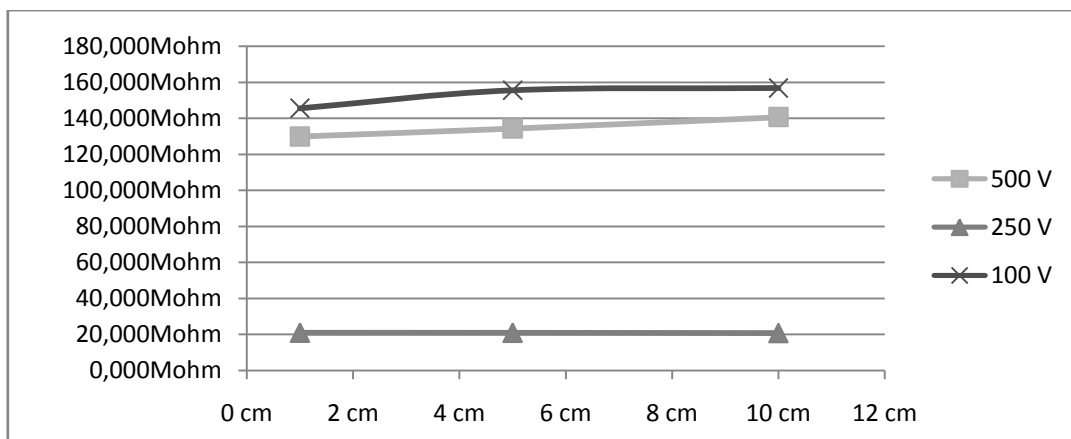
Σχήμα 4-24: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 2 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 30 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



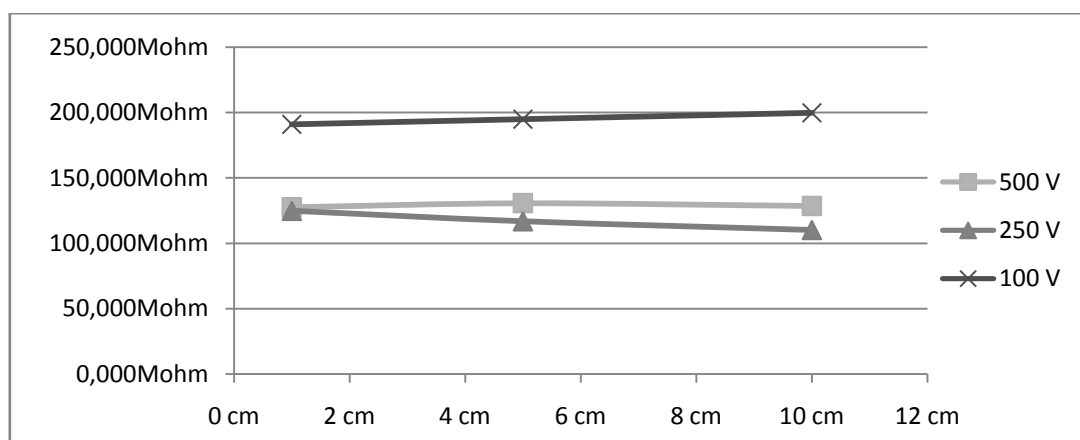
Σχήμα 4-25: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 2 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 60 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



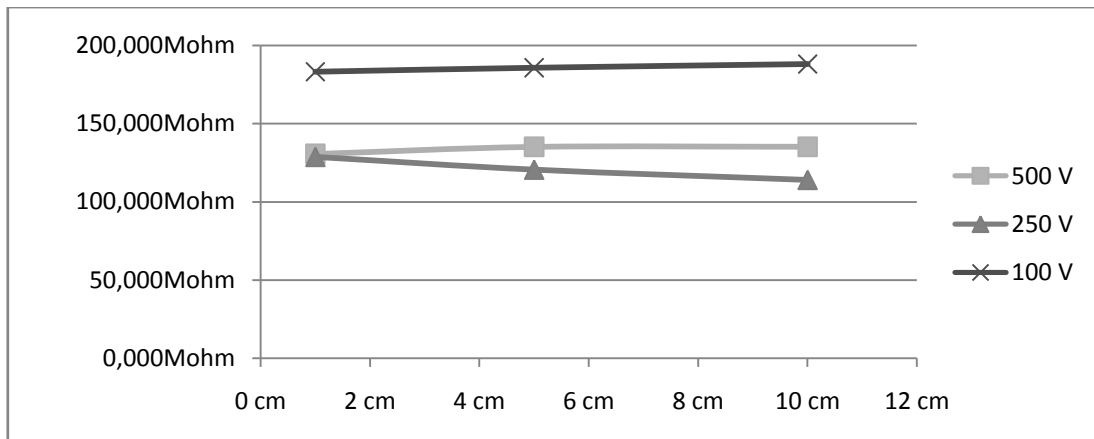
Σχήμα 4-26: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 2 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 110 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



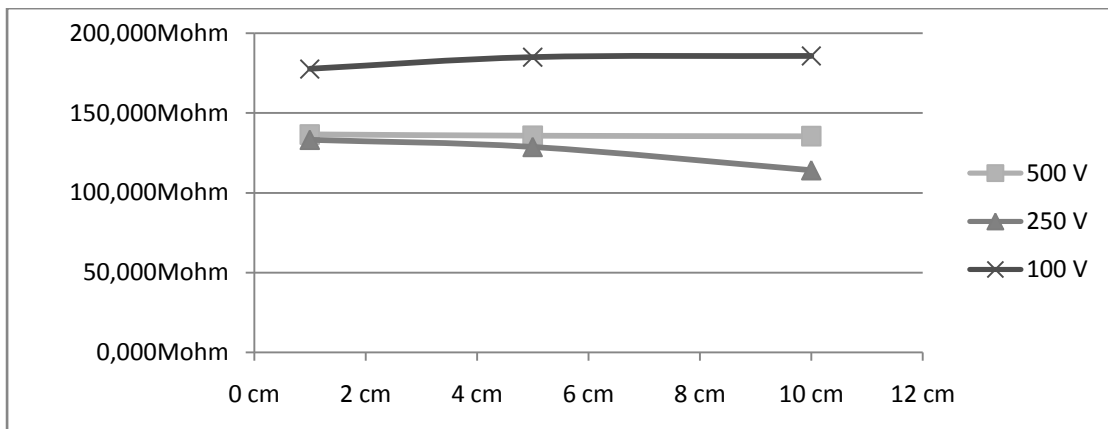
Σχήμα 4-27: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 3 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 1 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



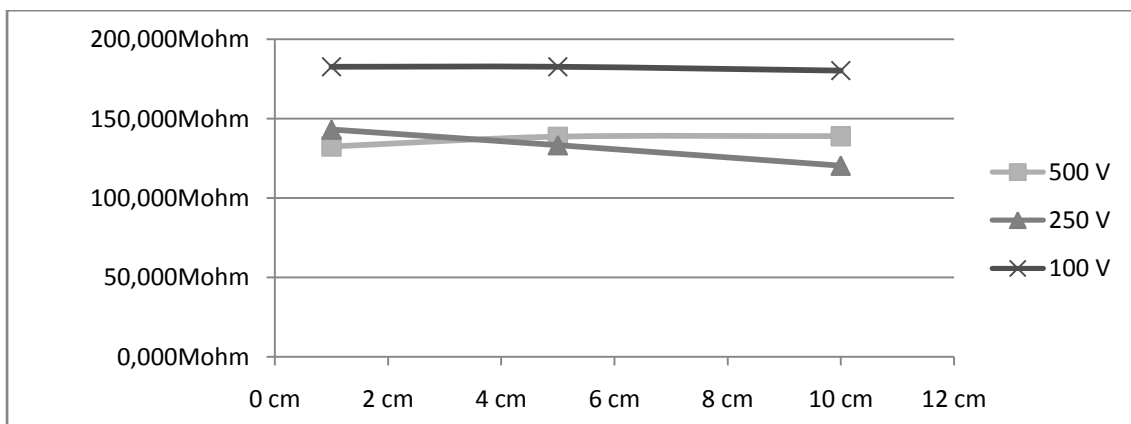
Σχήμα 4-28: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 3 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 2 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



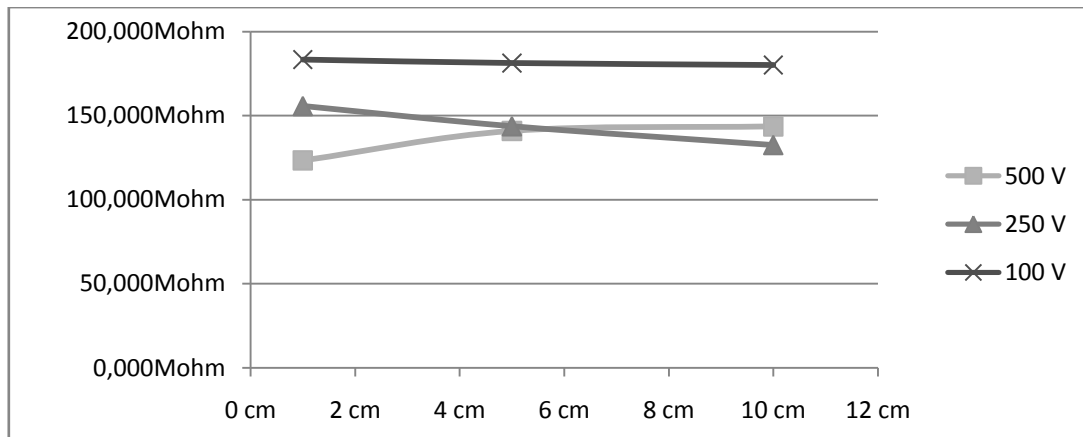
Σχήμα 4-29: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 3 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 5 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



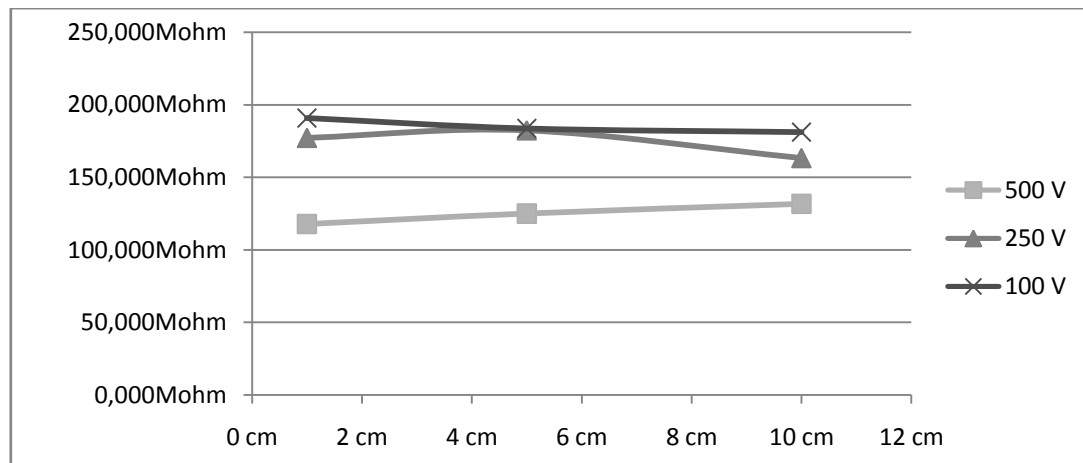
Σχήμα 4-30: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 3 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 15 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



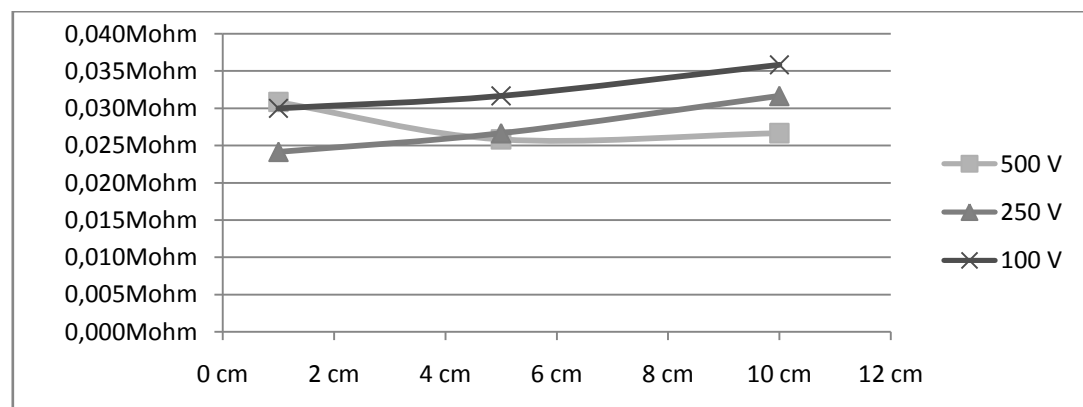
Σχήμα 4-31: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 3 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 30 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



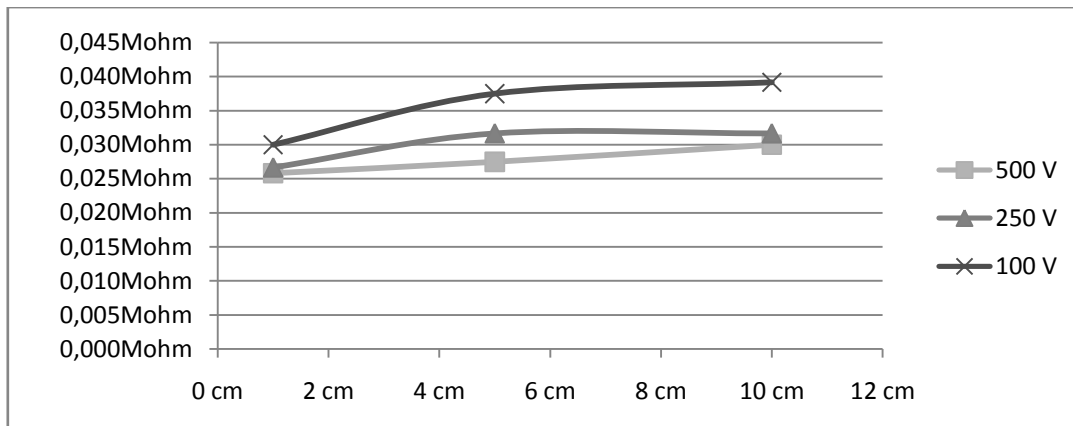
Σχήμα 4-32: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 3 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 60 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



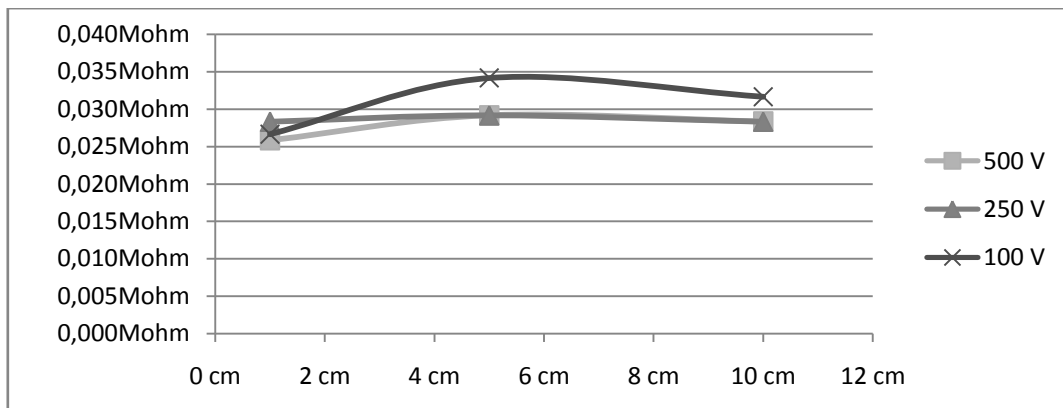
Σχήμα 4-33: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 3 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 110 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



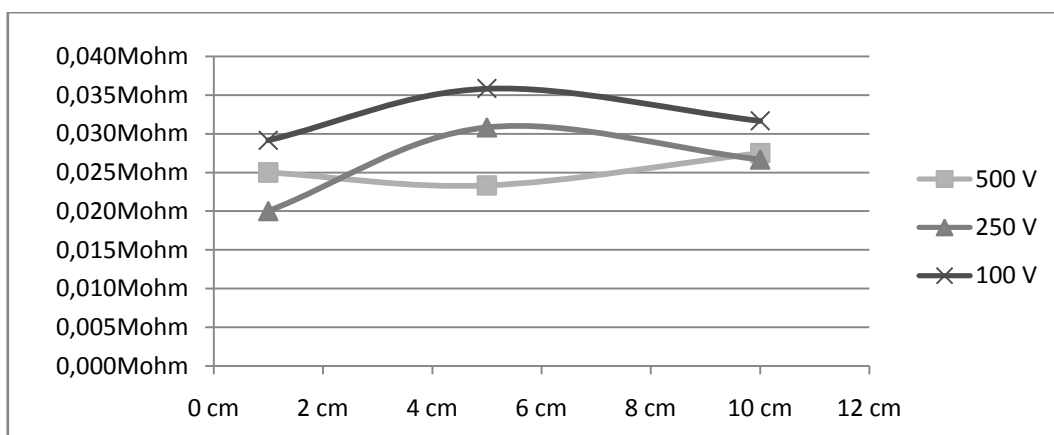
Σχήμα 4-34: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 4 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 1 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



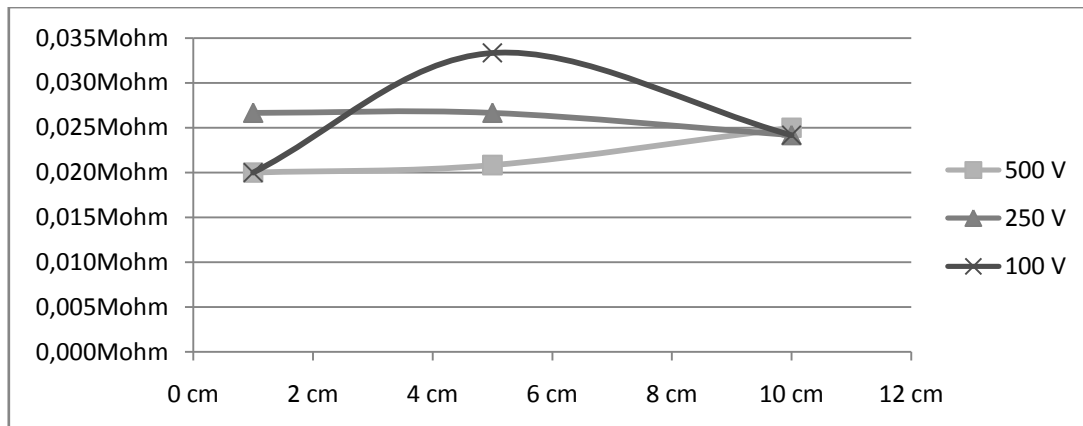
Σχήμα 4-35: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 4 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 2 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



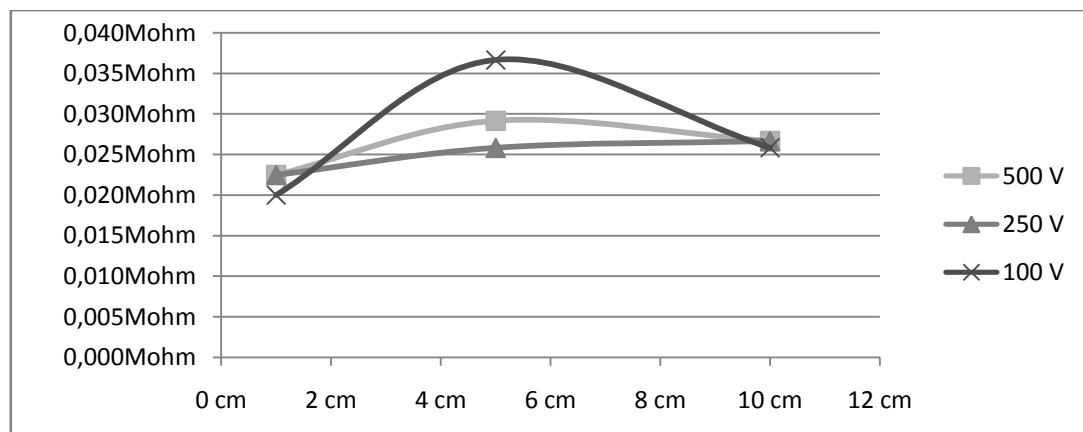
Σχήμα 4-36: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 4 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 5 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



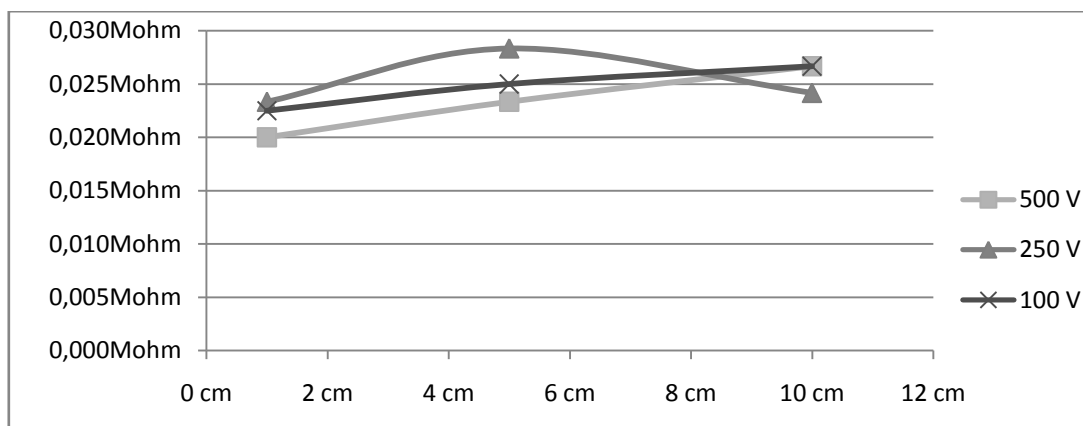
Σχήμα 4-37: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 4 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 15 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



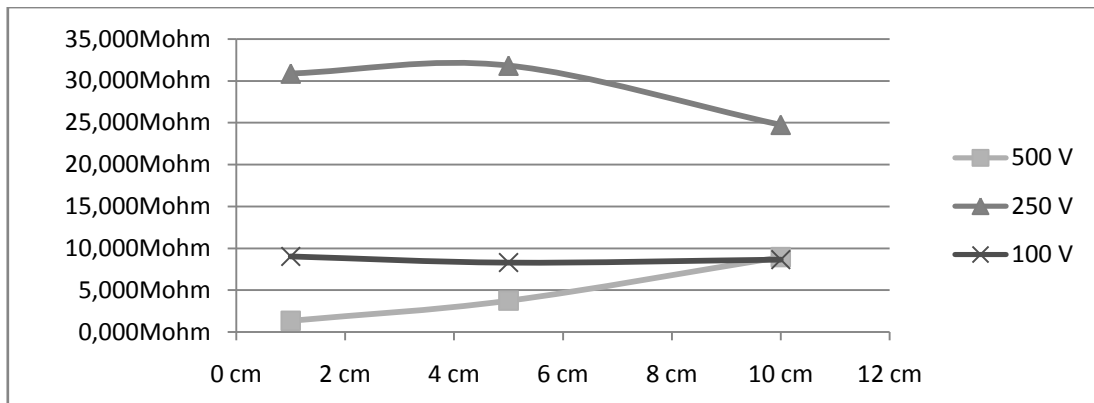
Σχήμα 4-38: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 4 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 30 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



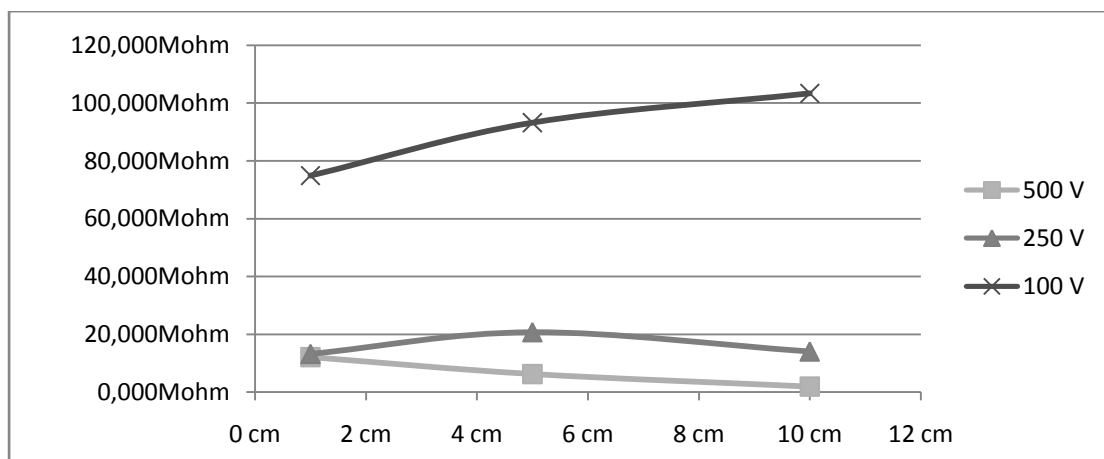
Σχήμα 4-39: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 4 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 60 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



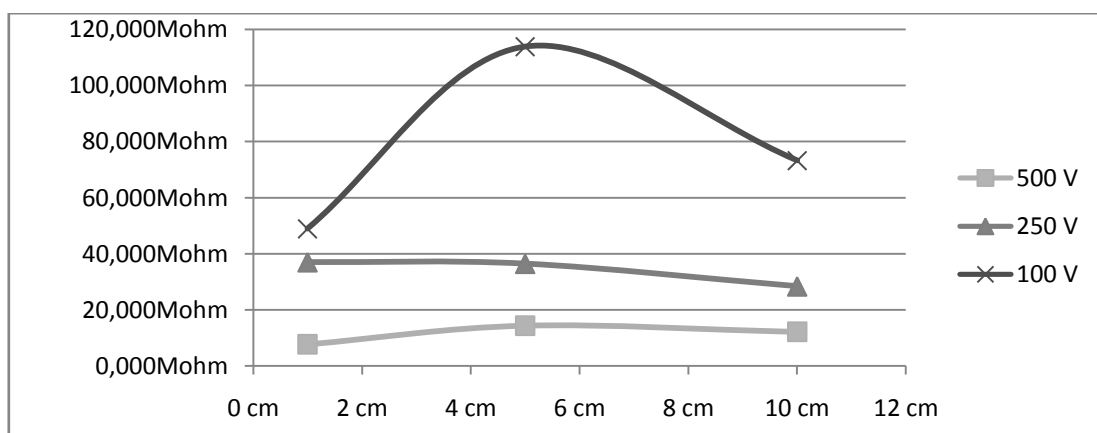
Σχήμα 4-40: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 4 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 110 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



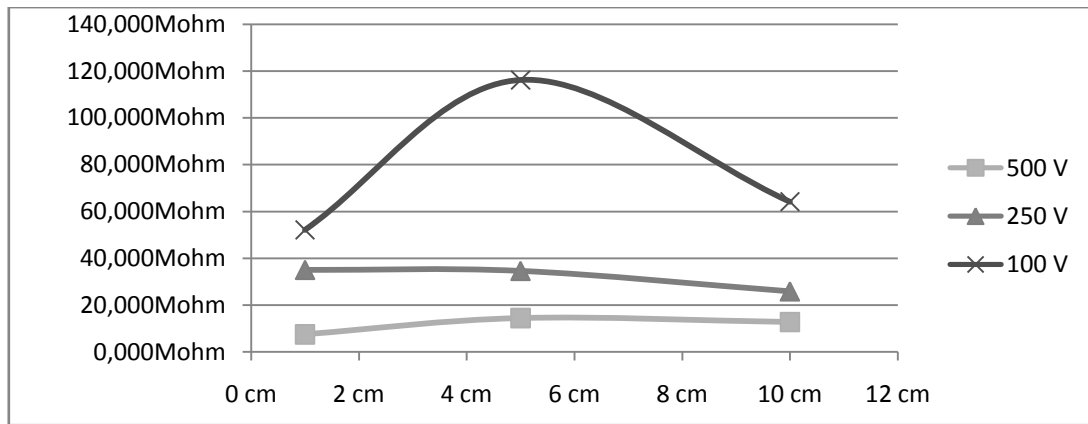
Σχήμα 4-41: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 5 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 1 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



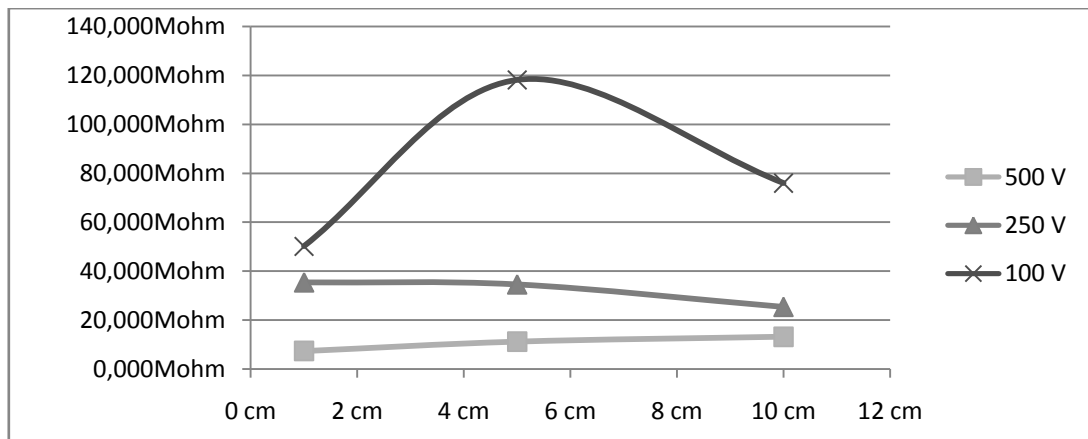
Σχήμα 4-42: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 5 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 2 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



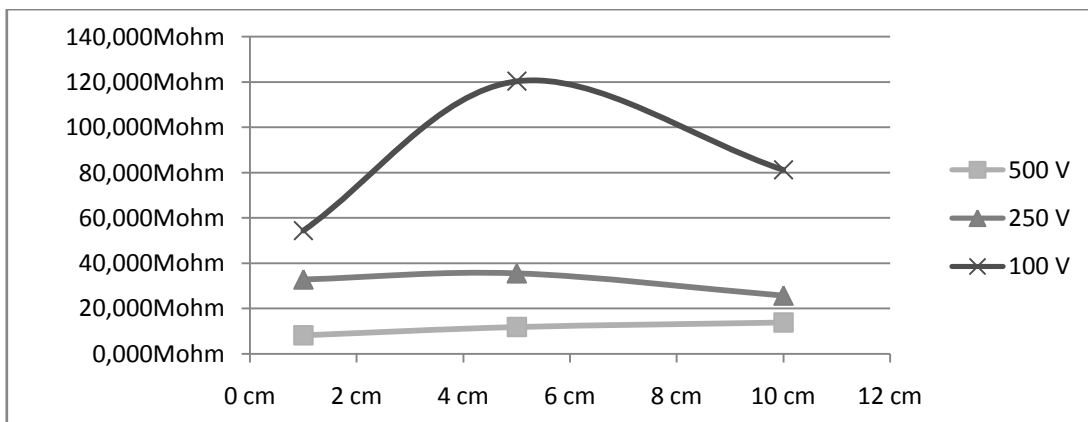
Σχήμα 4-43: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 5 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 5 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



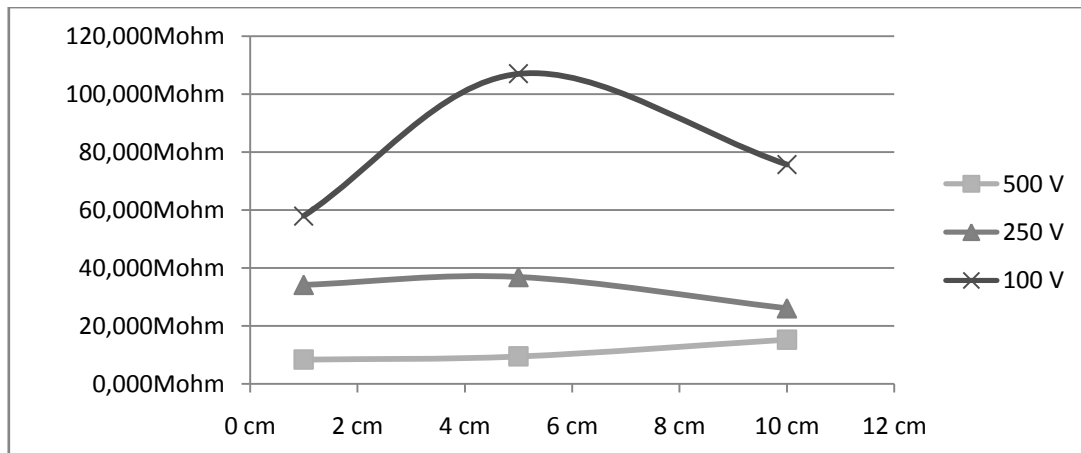
Σχήμα 4-44: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 5 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 15 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



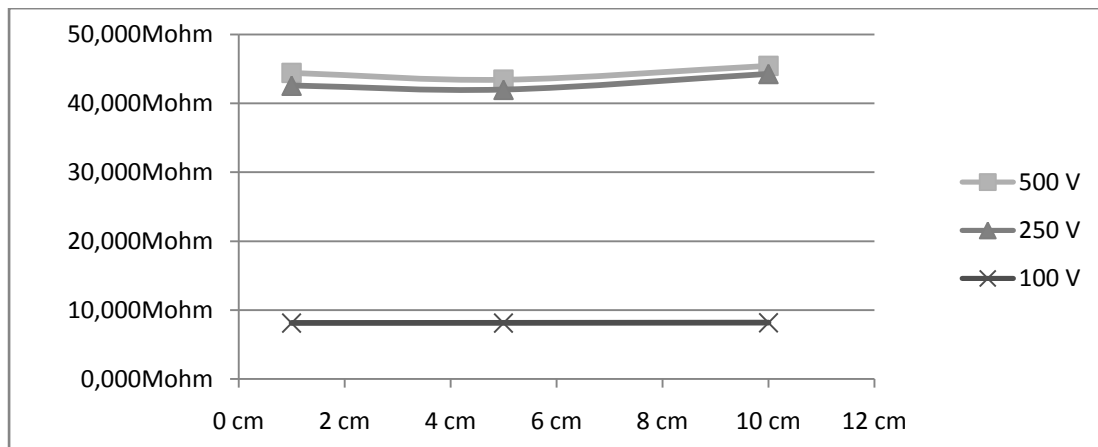
Σχήμα 4-45: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 5 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 30 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



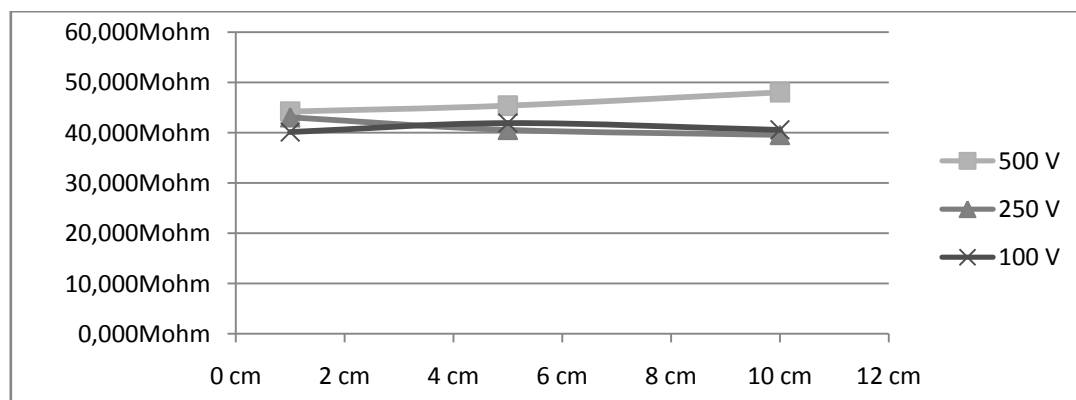
Σχήμα 4-46: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 5 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 60 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



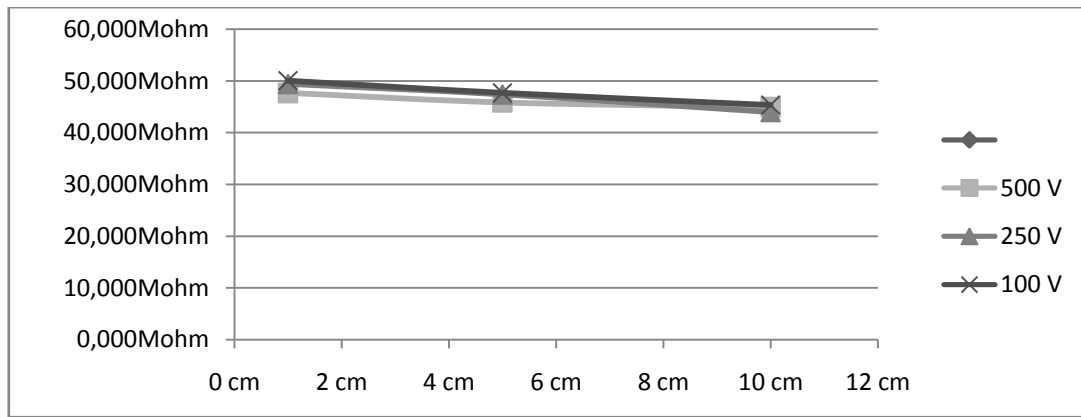
Σχήμα 4-47: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 5 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 110 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



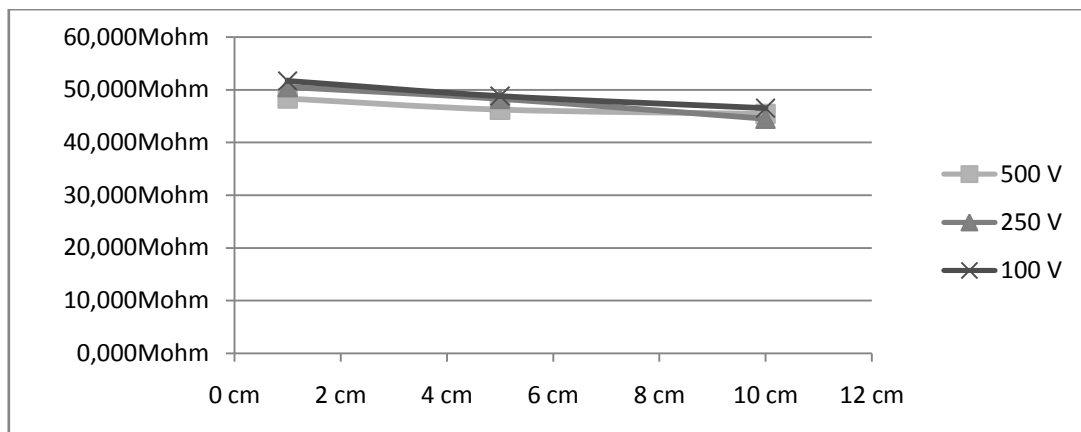
Σχήμα 4-48: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 6 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 1 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



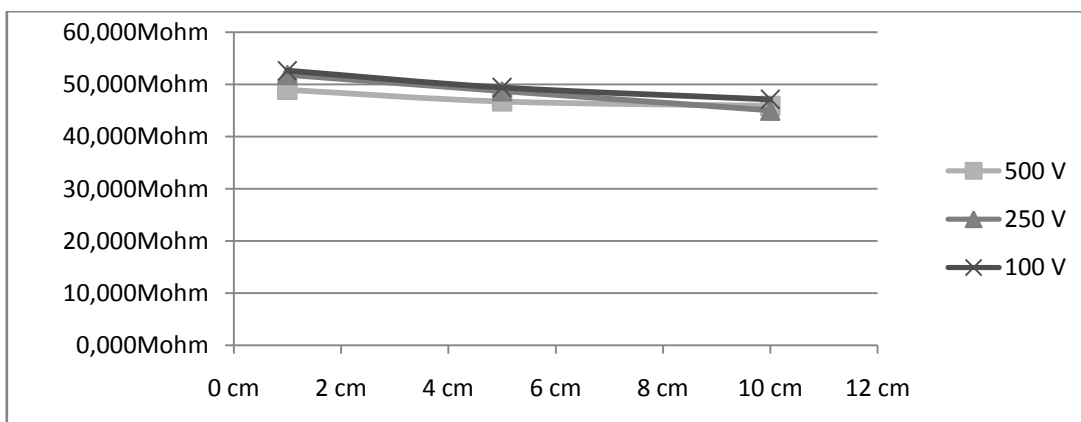
Σχήμα 4-49: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 6 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 2 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



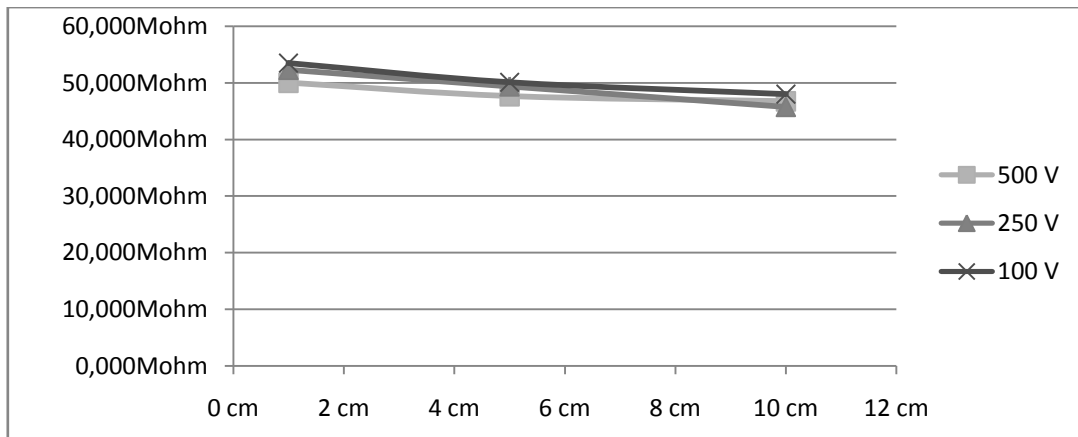
Σχήμα 4-50: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 6 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 5 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



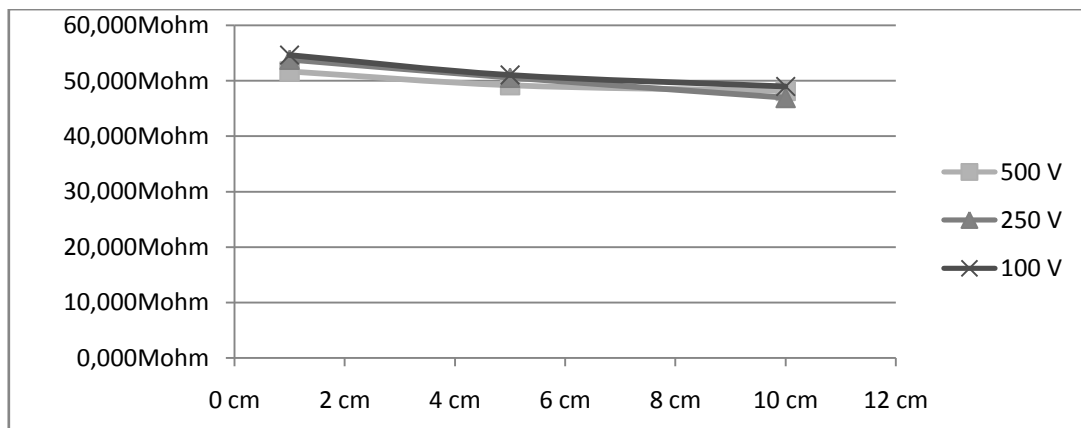
Σχήμα 4-51: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 6 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 15 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



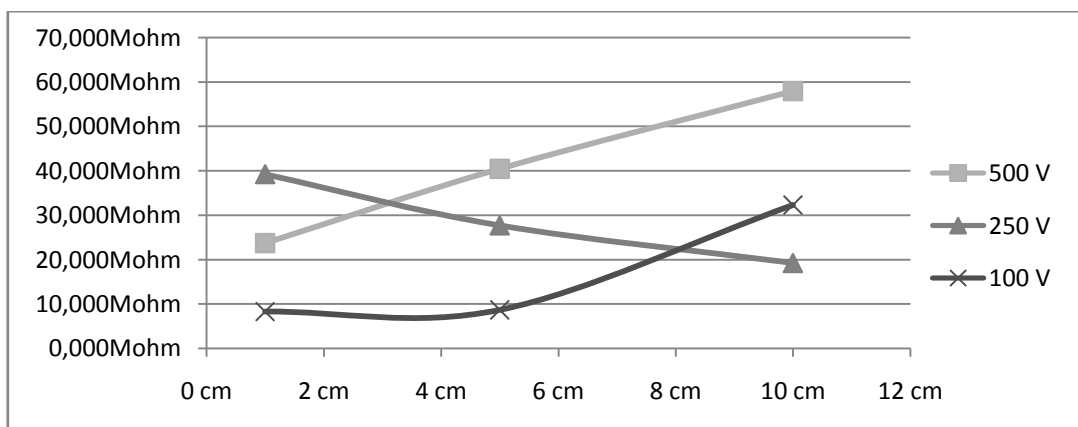
Σχήμα 4-52: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 6 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 30 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



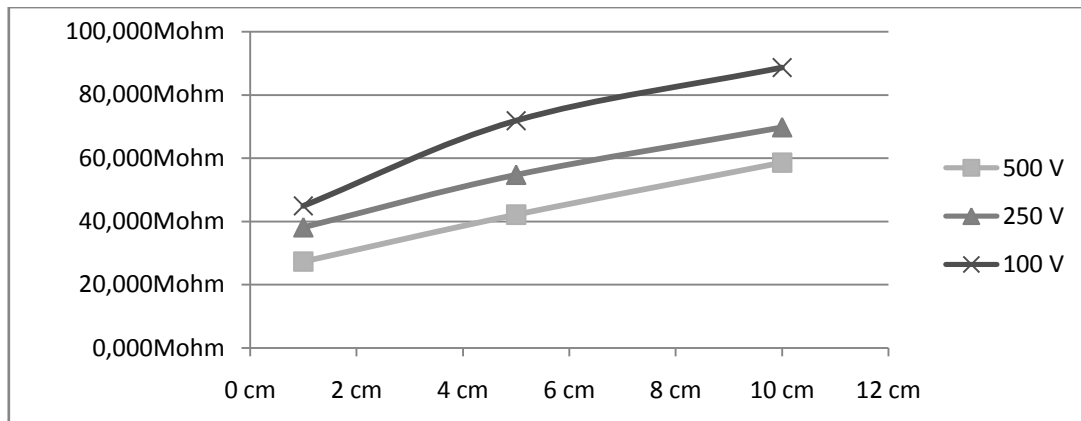
Σχήμα 4-53: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 6 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 60 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



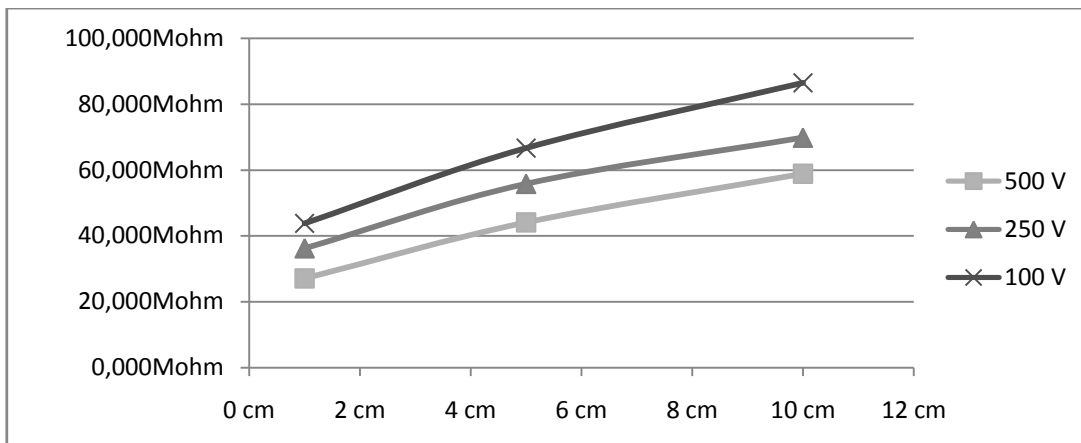
Σχήμα 4-54: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 6 με υπόστρωμα χαλκού και χρόνο 110 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



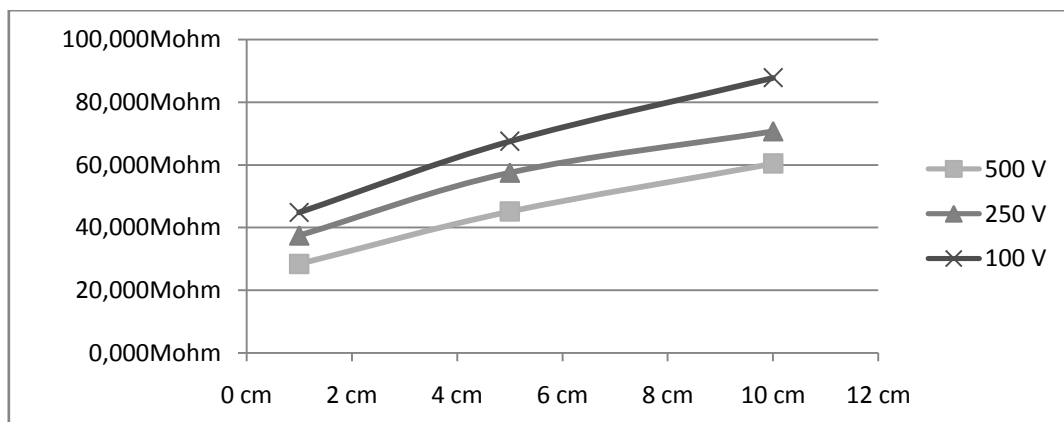
Σχήμα 4-55: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 1 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 1 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



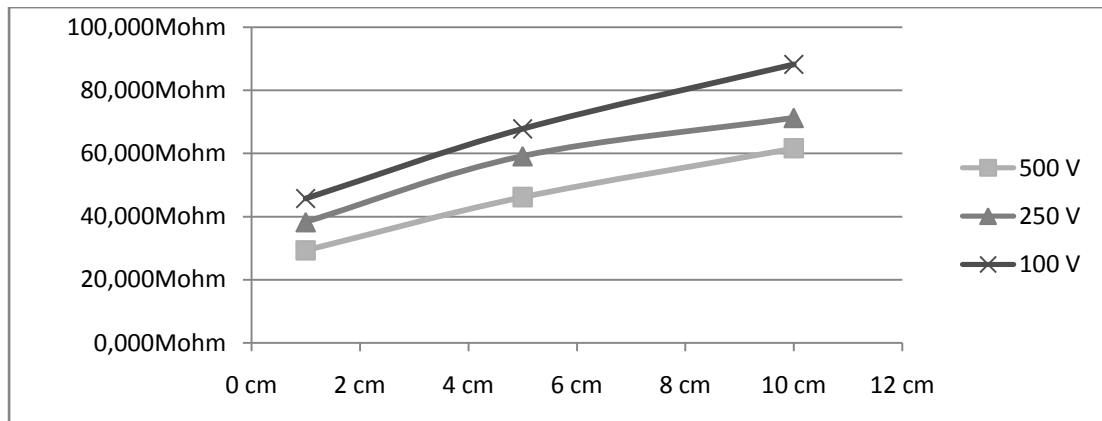
Σχήμα 4-56: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 1 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 2 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



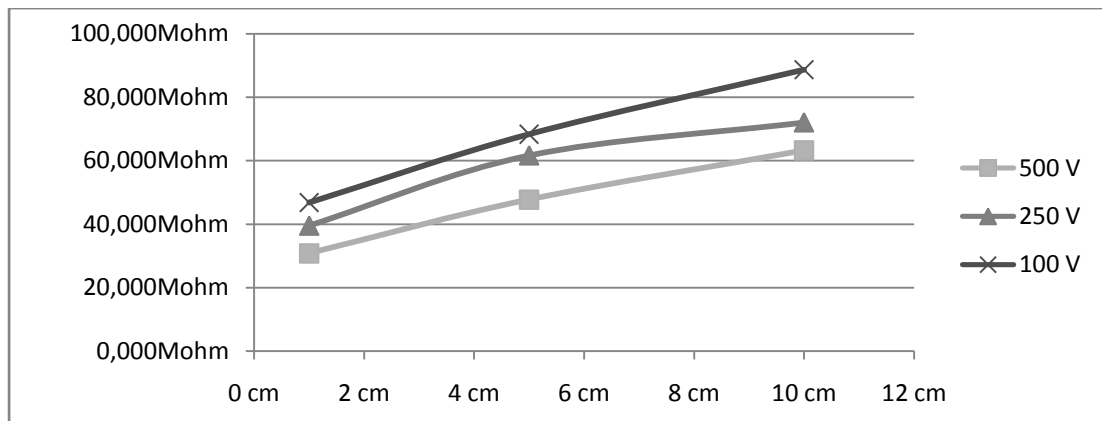
Σχήμα 4-57: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 1 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 5 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



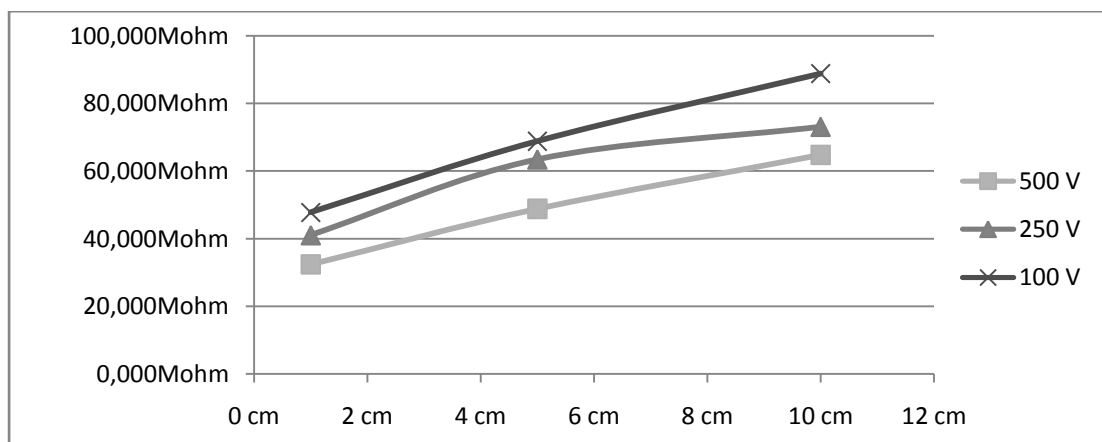
Σχήμα 4-58: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 1 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 15 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



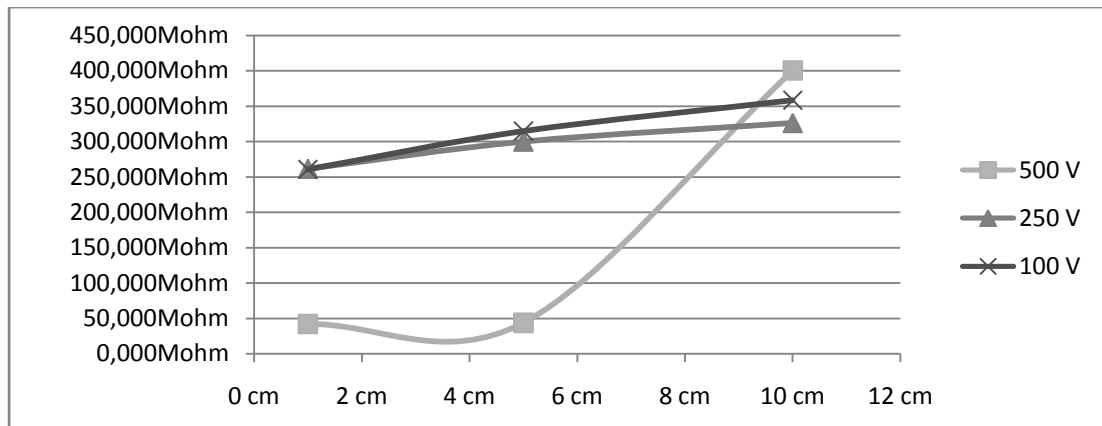
Σχήμα 4-59: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 1 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 30 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



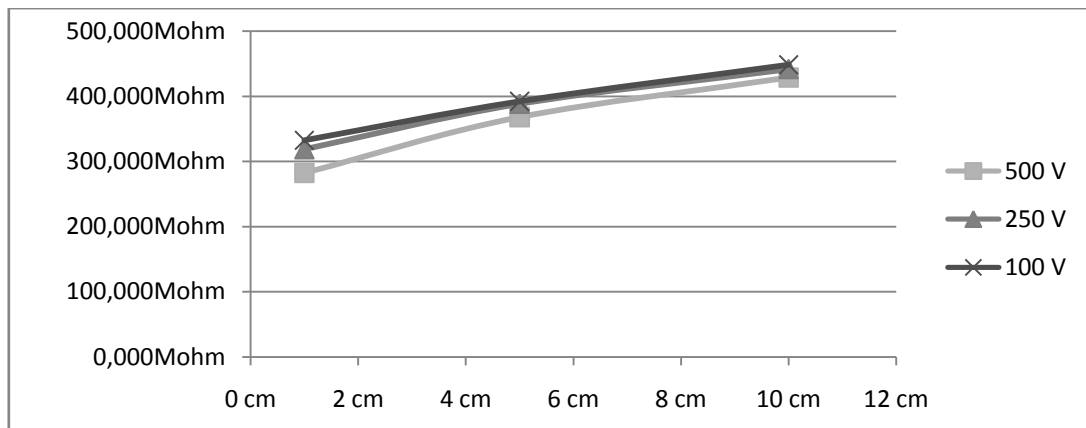
Σχήμα 4-60: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 1 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 60 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



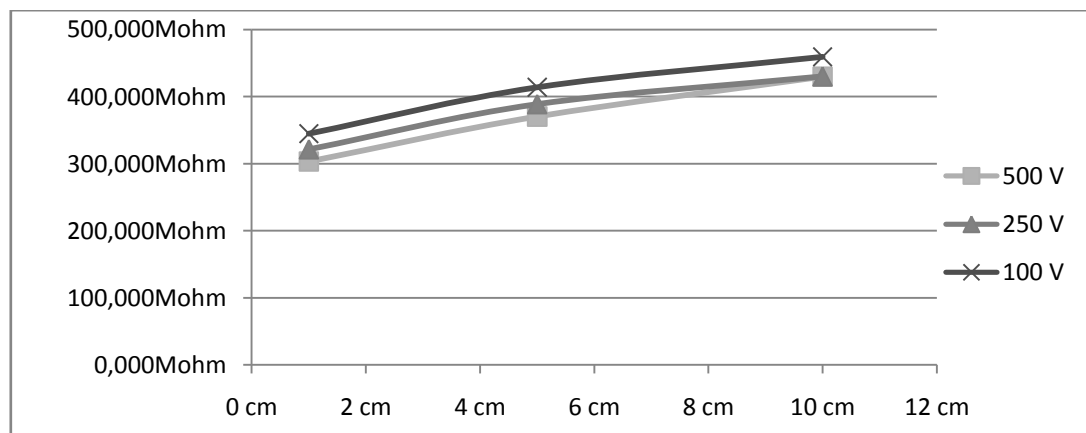
Σχήμα 4-61: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 1 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 110 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



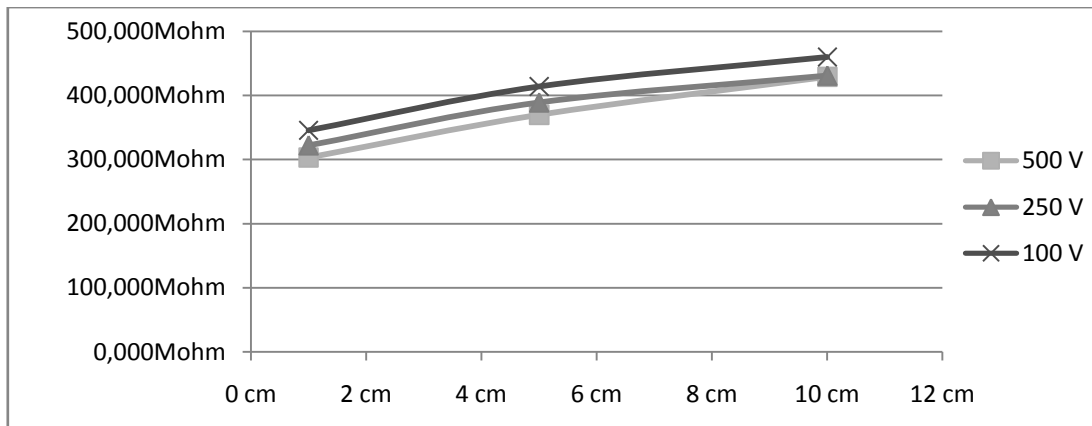
Σχήμα 4-62: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 2 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 1 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



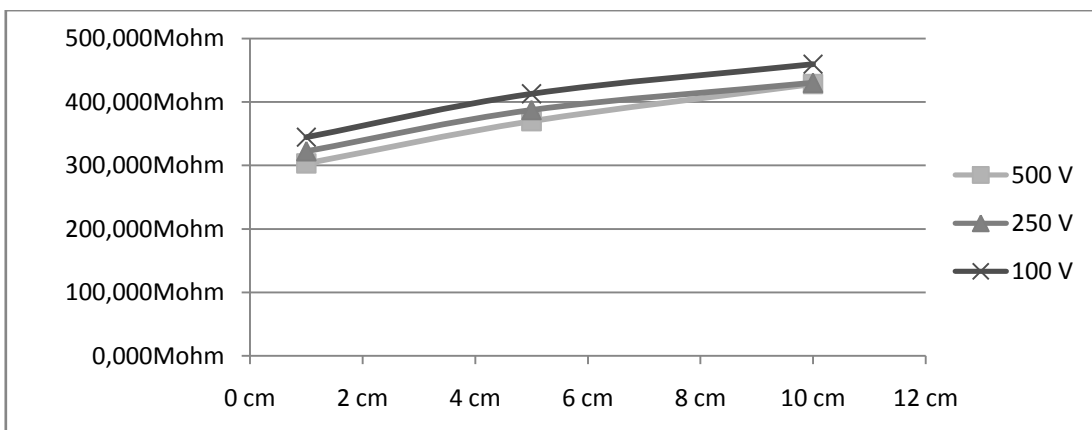
Σχήμα 4-63: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 2 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 2 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



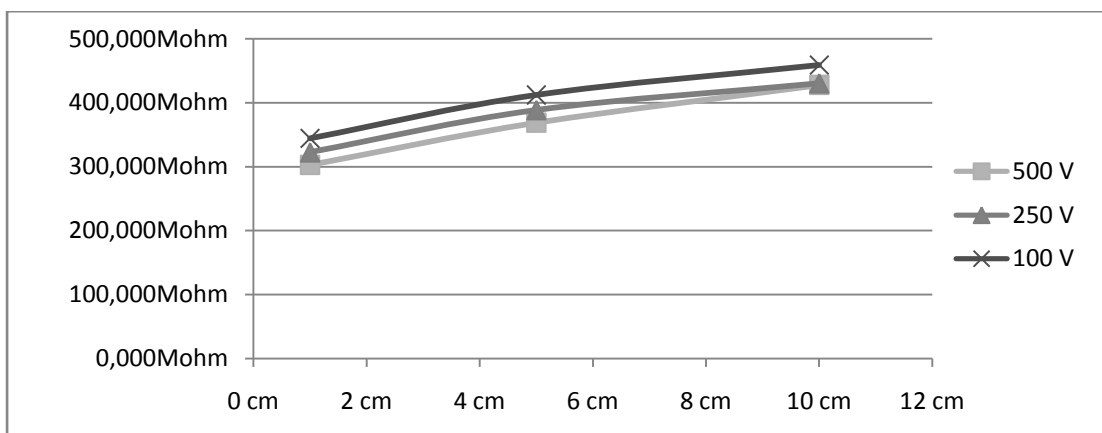
Σχήμα 4-64: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 2 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 5 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



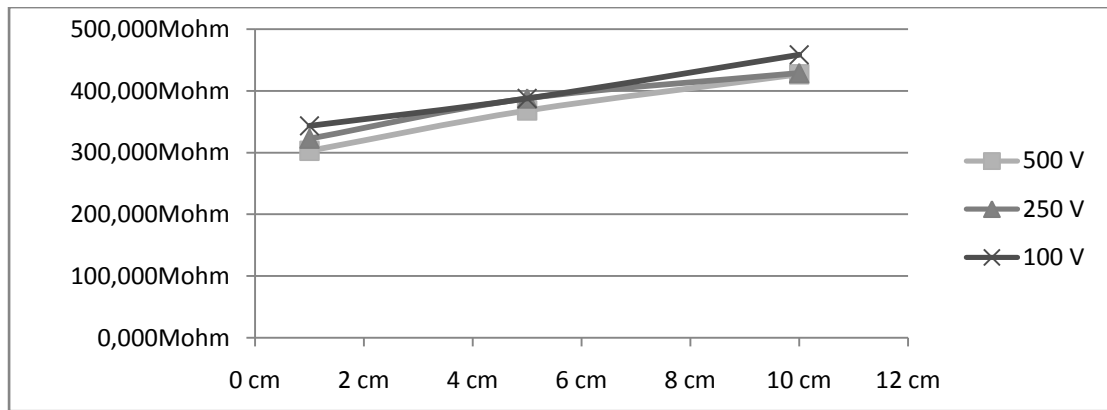
Σχήμα 4-65: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 2 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 15 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



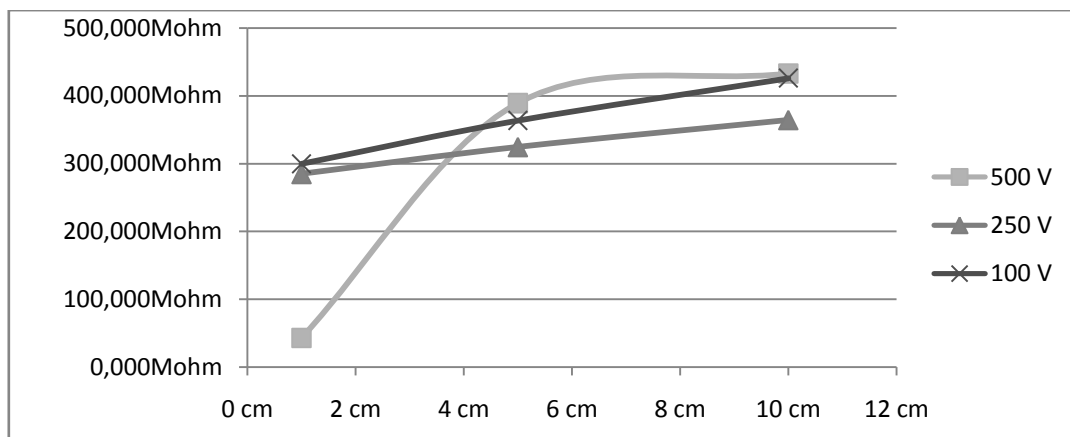
Σχήμα 4-66: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 2 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 30 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



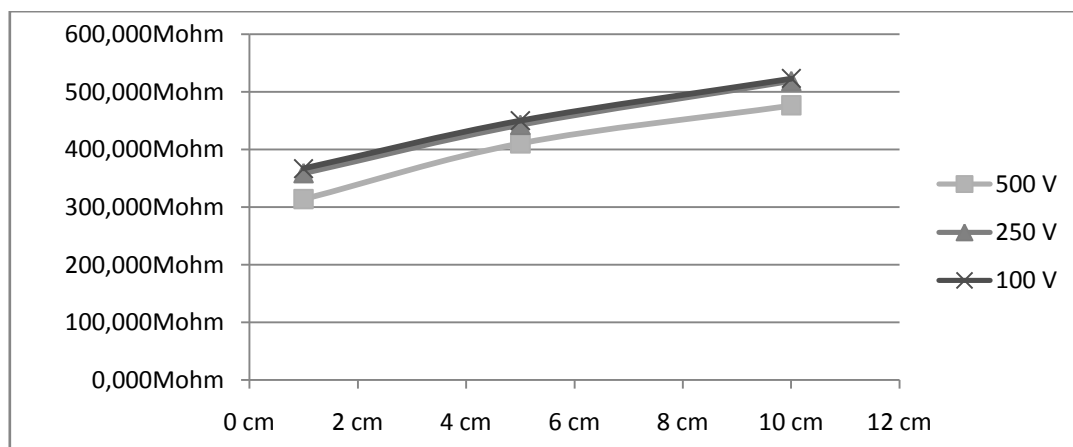
Σχήμα 4-67: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 2 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 60 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



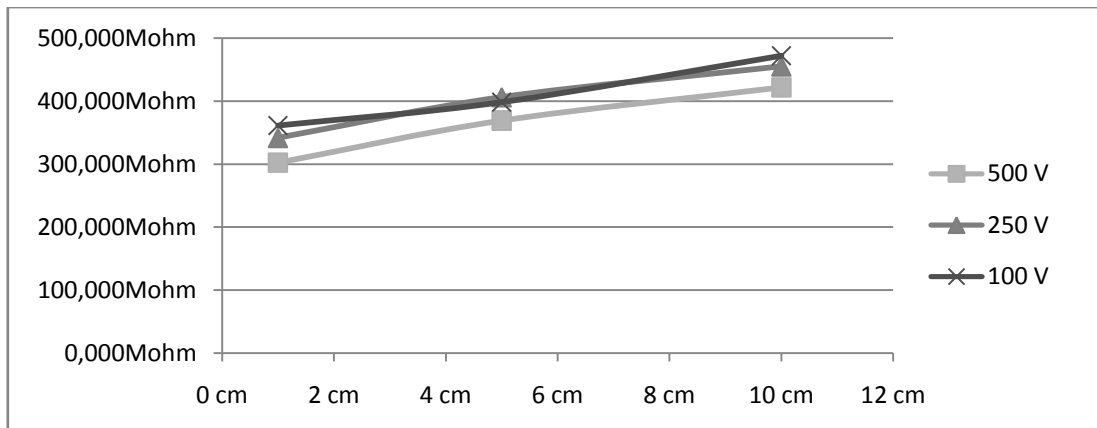
Σχήμα 4-68: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 2 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 110 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



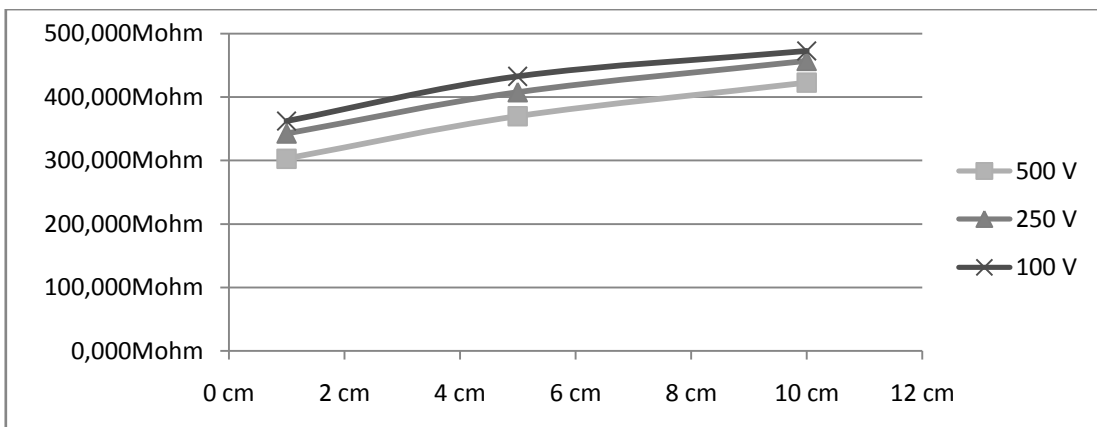
Σχήμα 4-69: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 3 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 1 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



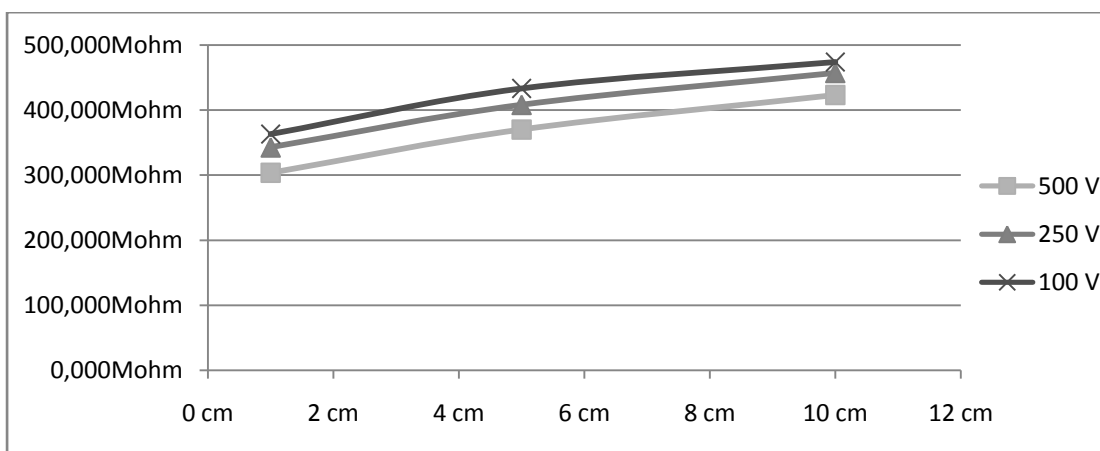
Σχήμα 4-70: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 3 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 2 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



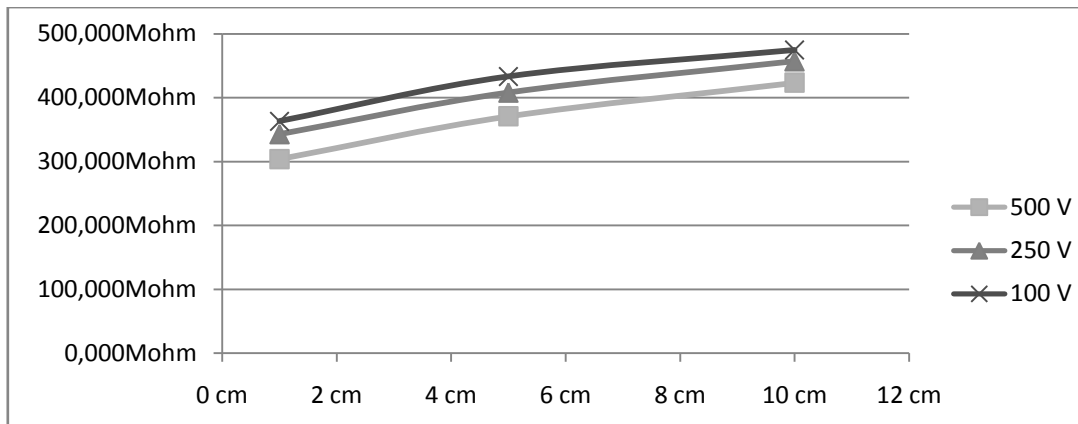
Σχήμα 4-71: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 3 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 5 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



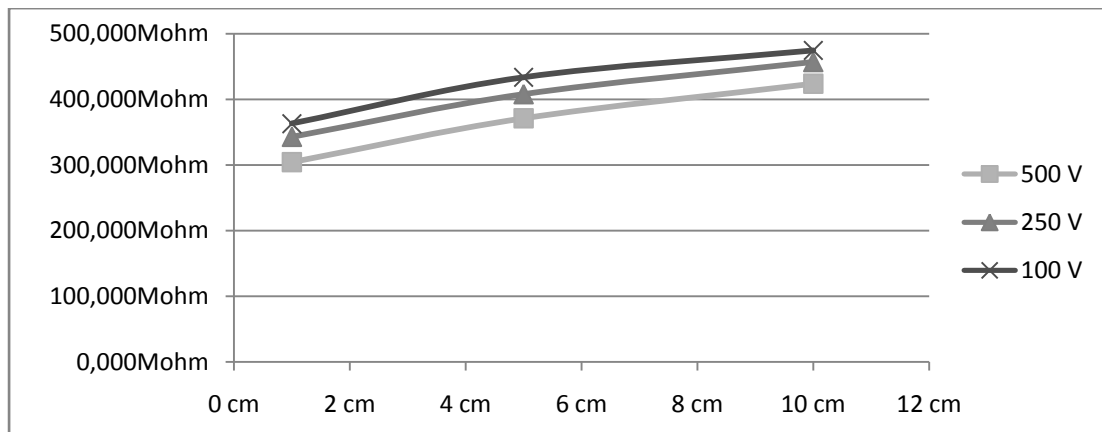
Σχήμα 4-72: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 3 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 15 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



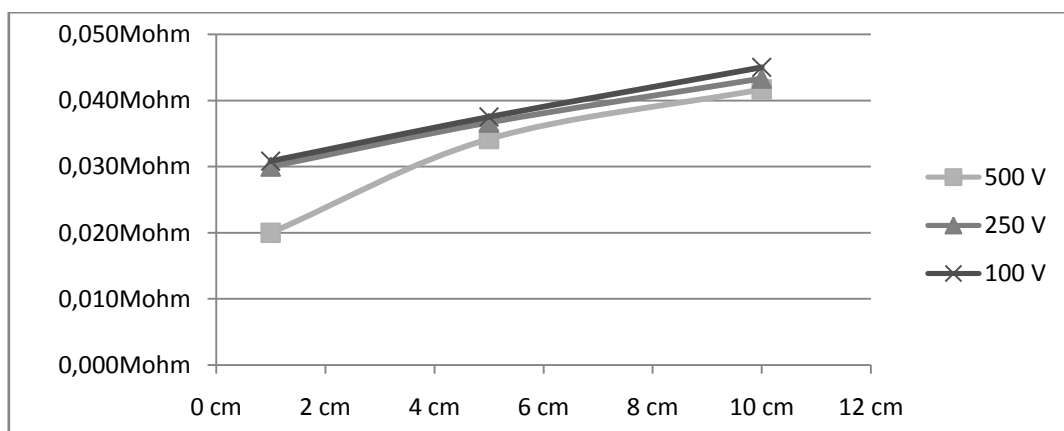
Σχήμα 4-73: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 3 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 30 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



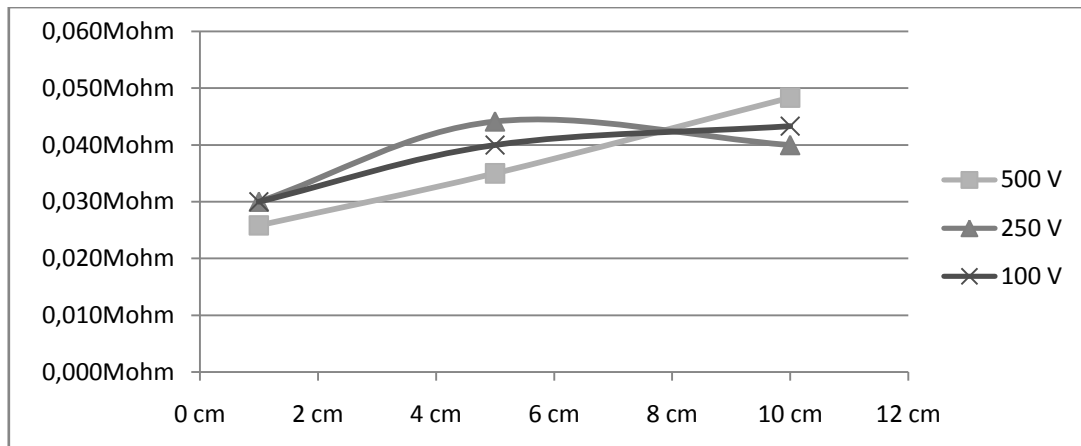
Σχήμα 4-74: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 3 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 60 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



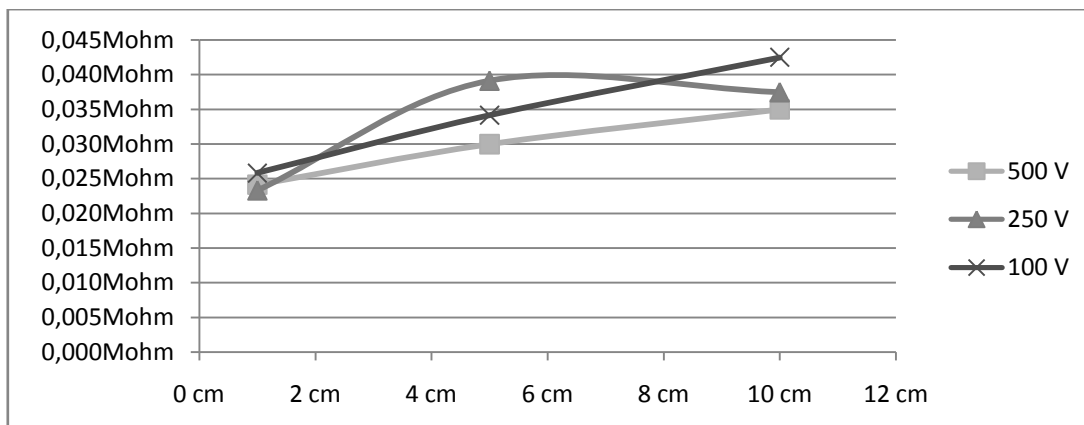
Σχήμα 4-75: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 3 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 110 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



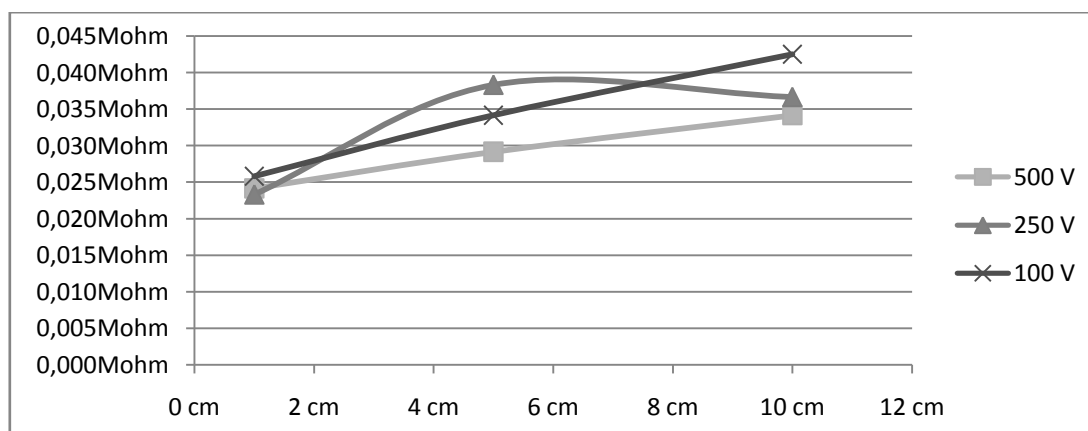
Σχήμα 4-76: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 4 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 1 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



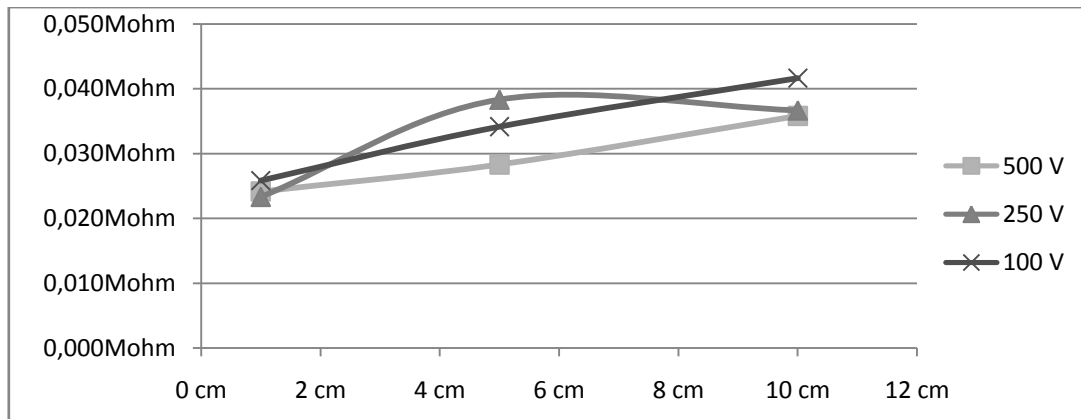
Σχήμα 4-77: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 4 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 2 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



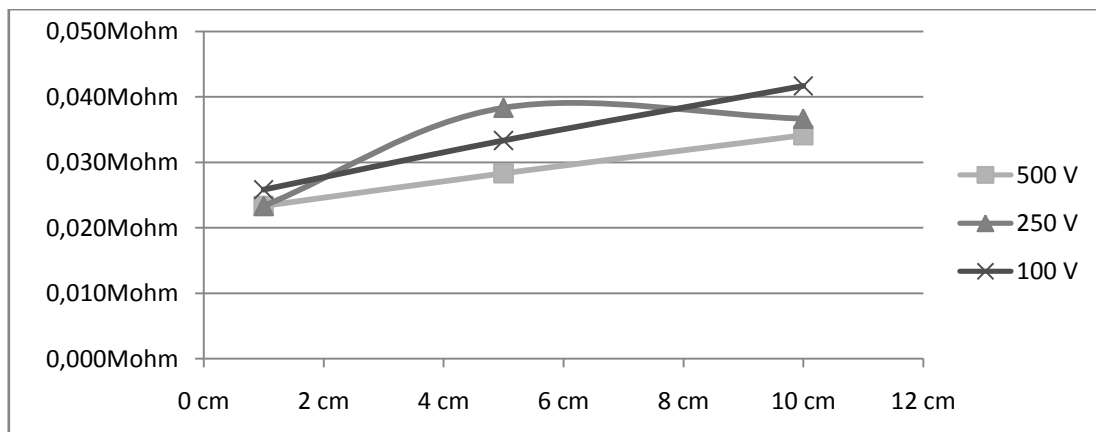
Σχήμα 4-78: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 4 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 5 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



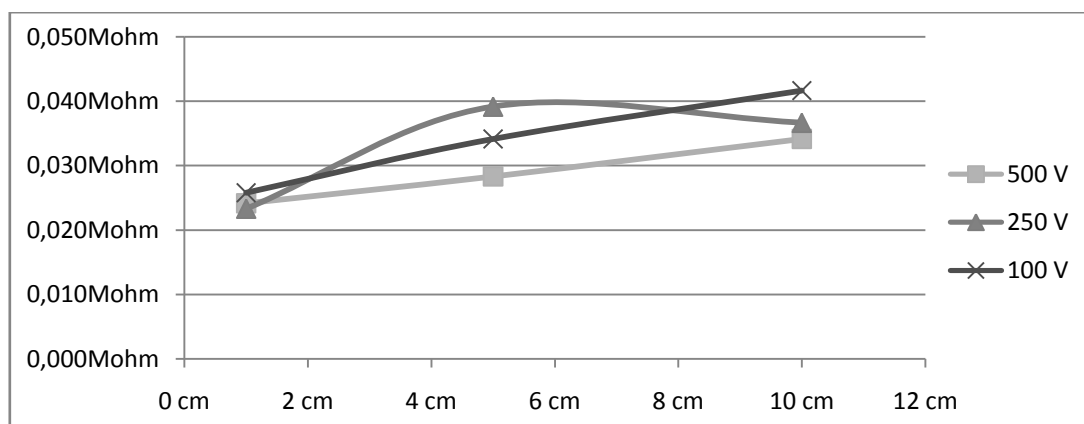
Σχήμα 4-79: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 4 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 15 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



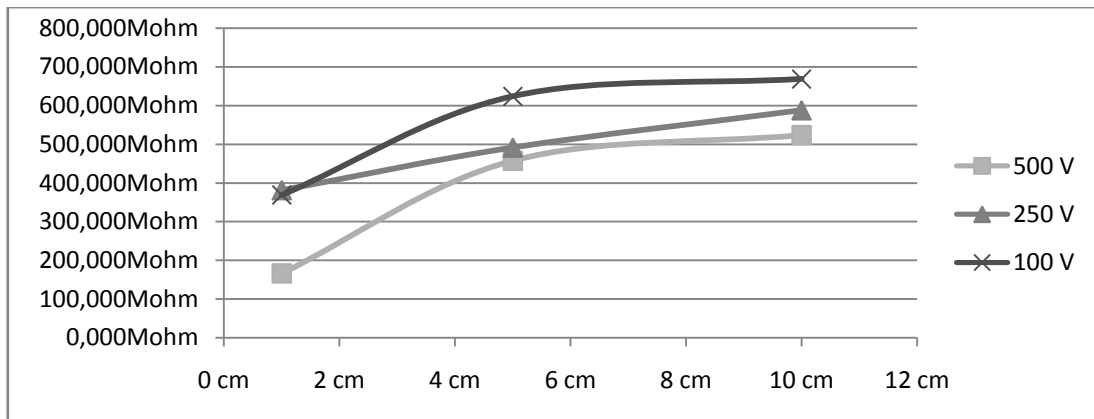
Σχήμα 4-80: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 4 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 30 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



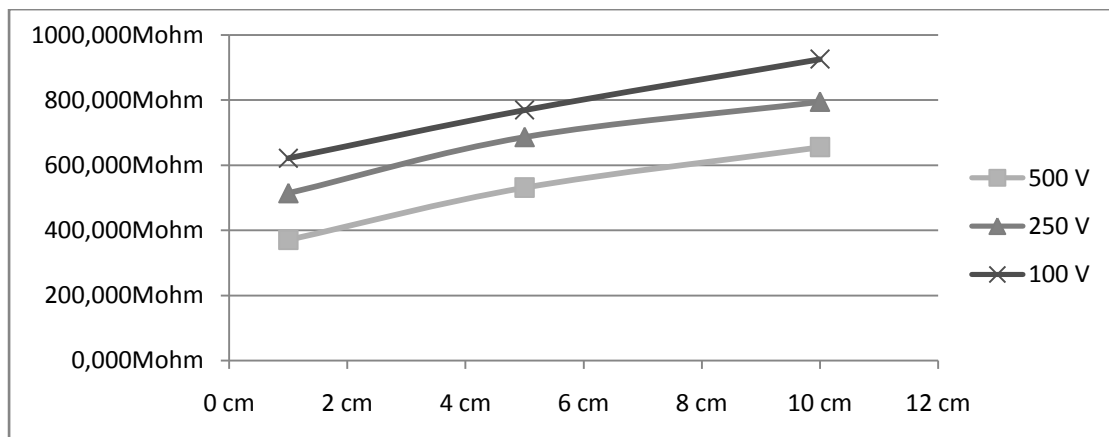
Σχήμα 4-81: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 4 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 60 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



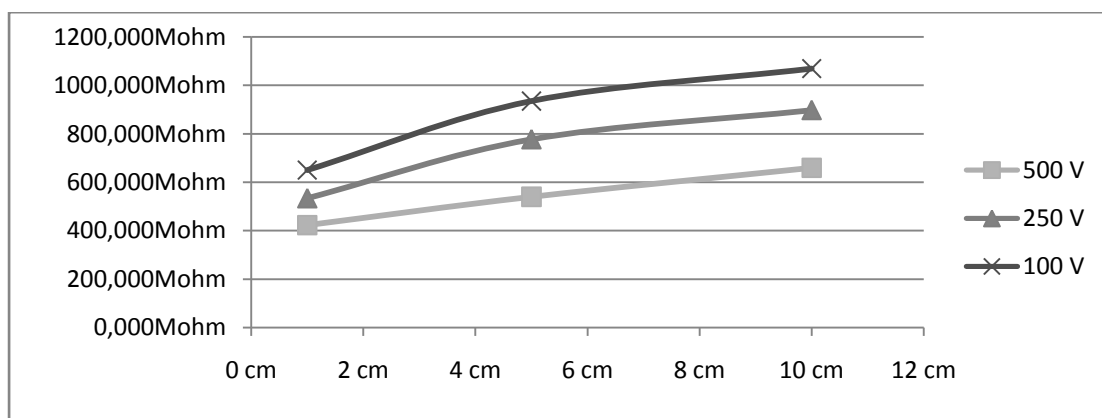
Σχήμα 4-82: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 4 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 110 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



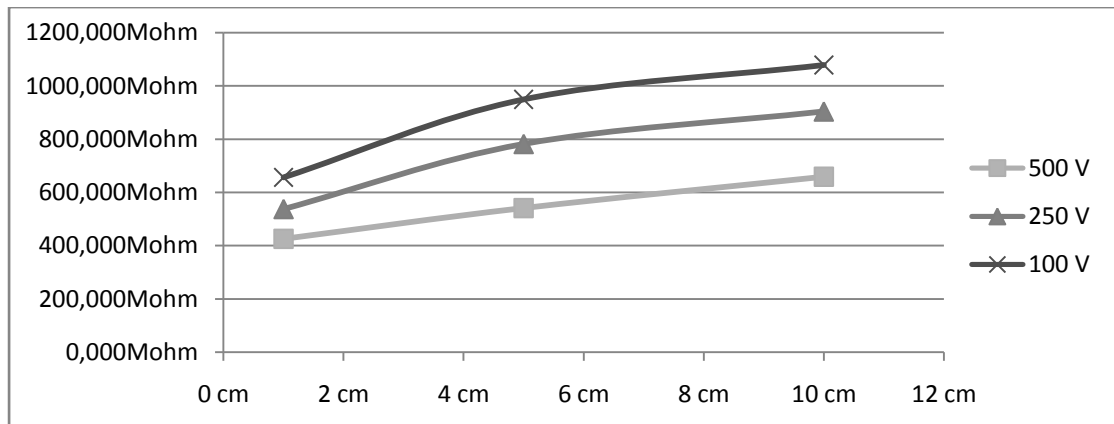
Σχήμα 4-83: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 5 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 1 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



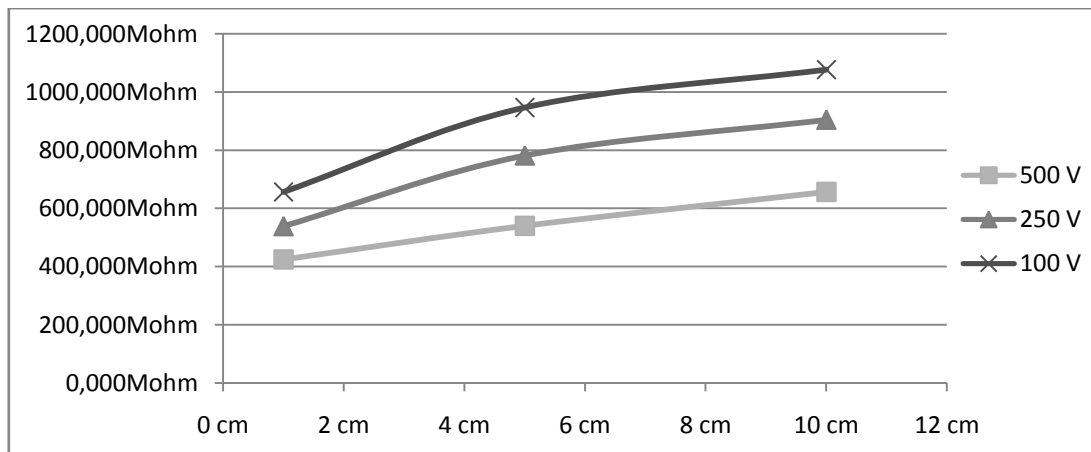
Σχήμα 4-84: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 5 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 2 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



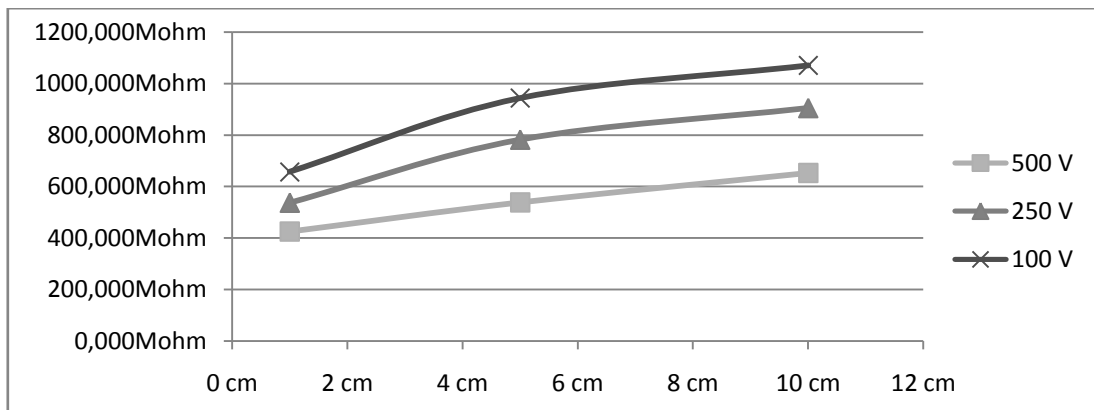
Σχήμα 4-85: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 5 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 5 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



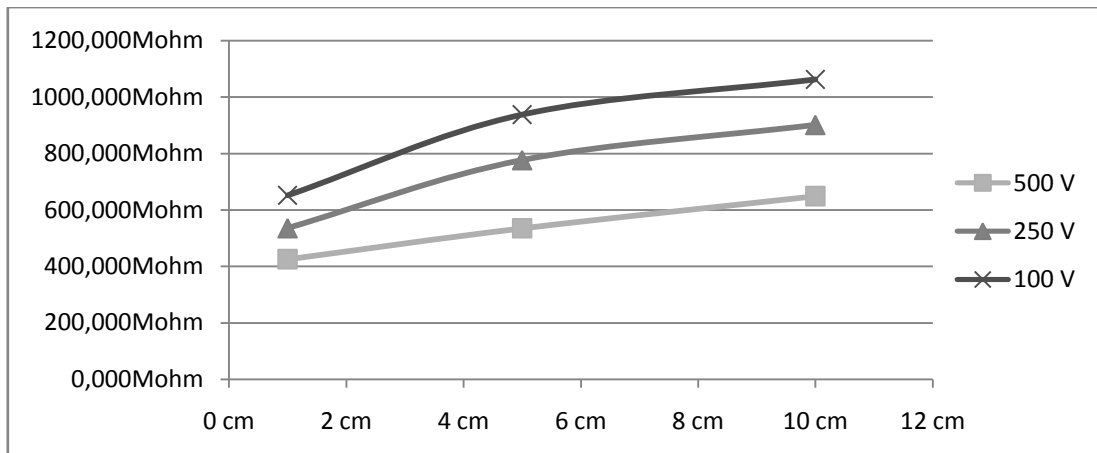
Σχήμα 4-86: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 5 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 15 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



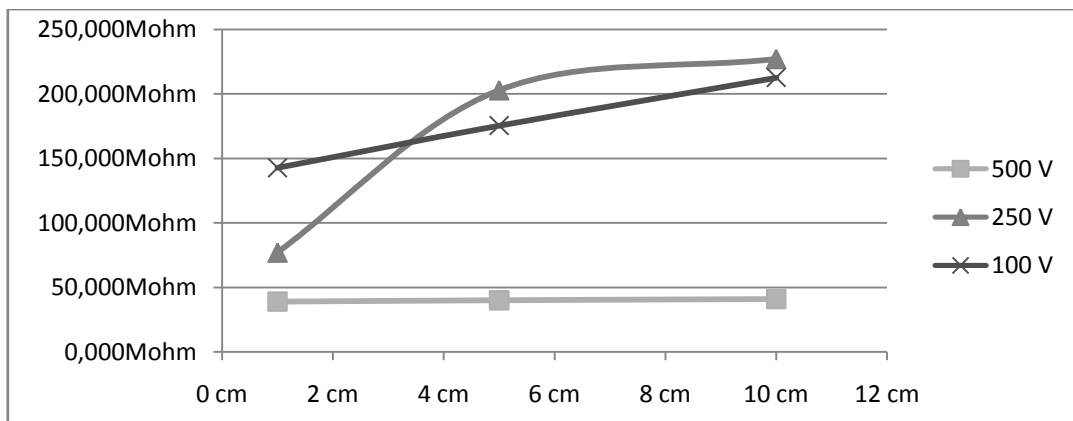
Σχήμα 4-87: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 5 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 30 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



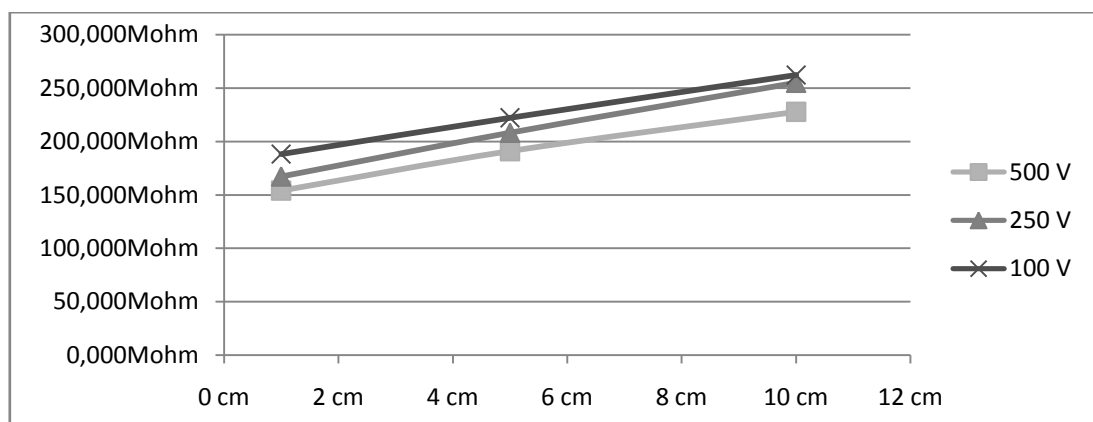
Σχήμα 4-88: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 5 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 60 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



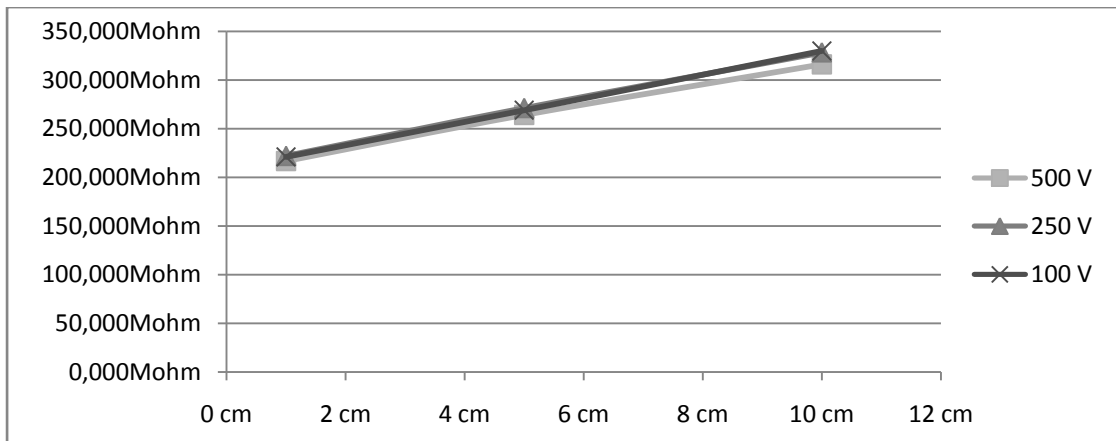
Σχήμα 4-89: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 5 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 110 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



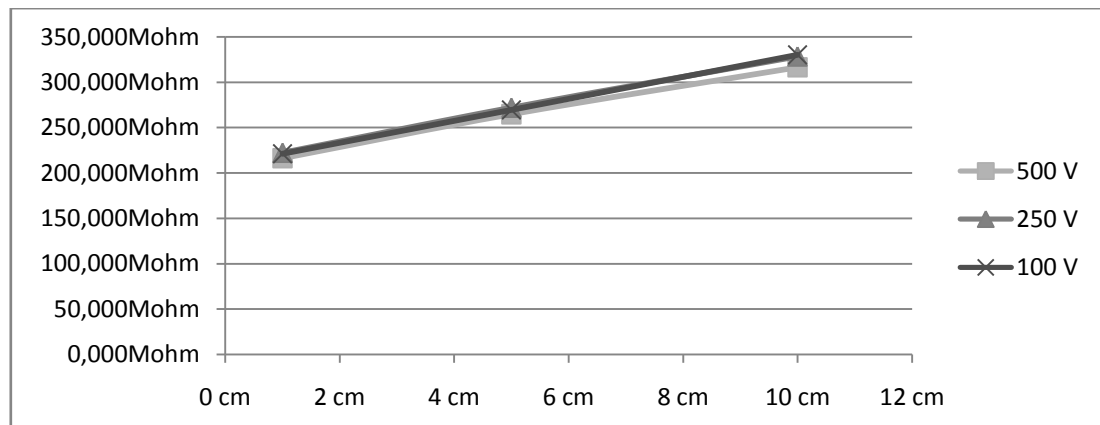
Σχήμα 4-90: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 6 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 1 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



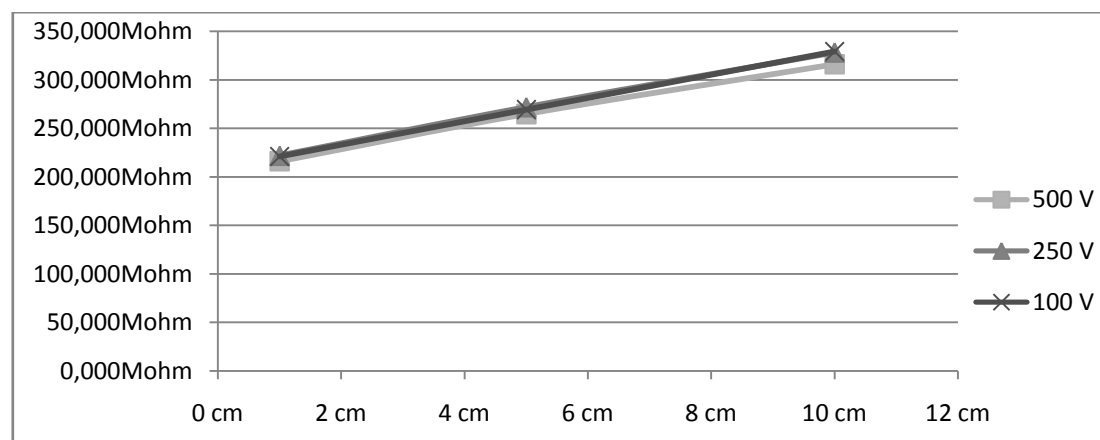
Σχήμα 4-91: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 6 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 2 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



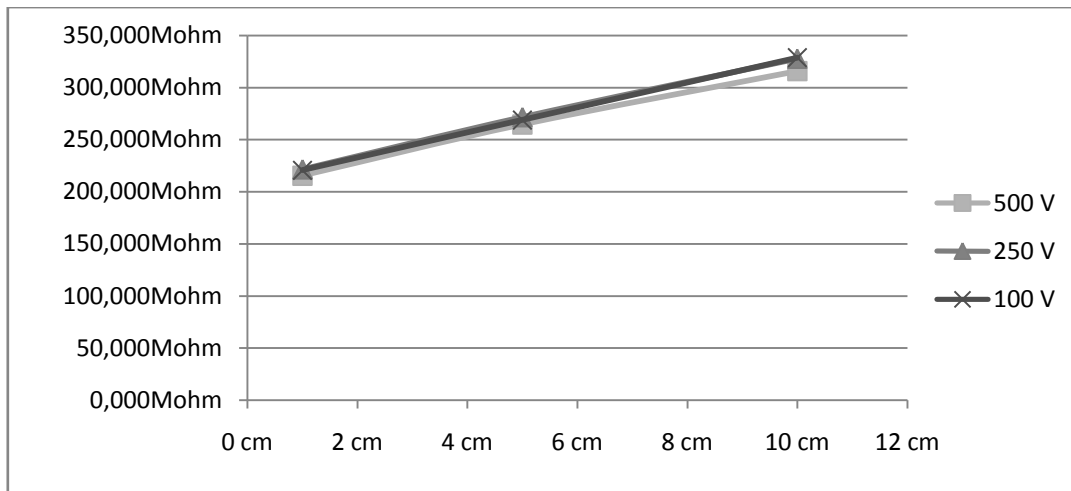
Σχήμα 4-92: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 6 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 5 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



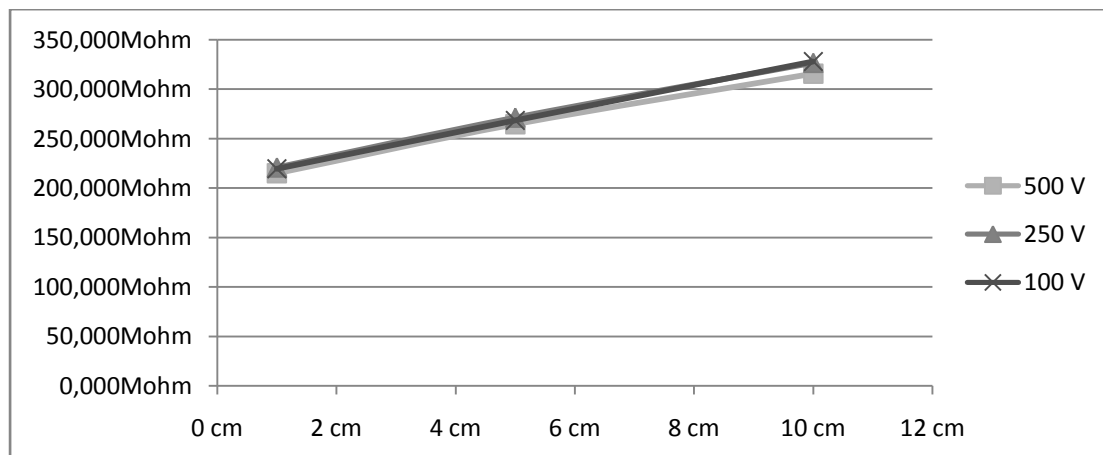
Σχήμα 4-93: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 6 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 15 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



Σχήμα 4-94: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 6 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 30 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



Σχήμα 4-95: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 6 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 60 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.



Σχήμα 4-96: Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων για το δοκίμιο 6 με υπόστρωμα ξύλου και χρόνο 110 sec για εφαρμοζόμενη τάση 100, 250 και 500 V.

Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

Με βάση τα διαγράμματα μεταβολής της επιφανειακής αντίστασης σε σχέση με το χρόνο μέτρησης όπως αυτά δίδονται από τα Σχήματα 4-1 έως 4-12, μπορεί κανείς να παρατηρήσει τα ακόλουθα:

- Για υπόστρωμα χαλκού και μετά από μια διακύμανση της μετρούμενης τιμής της αντίστασης στους τέσσερις πρώτους χρόνους (1,2,5 και 15 sec) υπάρχει μια

σχετική σταθεροποίηση της αντίστασης στα δοκίμια 1,4,5,6 και αυξομειώσεις της αντίστασης στα δοκίμια 2,3. Αυτό δείχνει πως κατά τη διάρκεια της μέτρησης στα δοκίμια 1,4,5,6 υπάρχουν μεταβατικά φαινόμενα που εμφανίζονται στην αρχή της μέτρησης. Στα δοκίμια 2,3 οι αυξομειώσεις της μετρούμενης τιμής της επιφανειακής αντίστασης δείχνουν πως υπάρχει πιθανή ετερογένεια του υλικού που επηρεάζει τη μέτρηση της τιμής της αντίστασης όγκου του δοκιμίου και εξάρτηση της μέτρησης από τον χρόνο εφαρμογής της τάσης που με την πάροδο του χρόνου είτε μειώνει την τιμή της αντίστασης είτε την αυξάνει.

- Για υπόστρωμα ξύλου σε όλα τα δοκίμια η τιμή της μετρούμενης επιφανειακής αντίστασης σταθεροποιείται και μάλιστα σε λιγότερο χρόνο.
- Για υπόστρωμα ξύλου σε όλα τα δάπεδα-δοκίμια η τιμή της μετρούμενης επιφανειακής αντίστασης εμφανίζεται μεγαλύτερη σε σχέση με το χάλκινο υπόστρωμα. Αυτό συμβαίνει διότι αυξάνει η τιμή της αντίστασης του υποστρώματος και έτσι μειώνεται η πιθανή διαρροή ρεύματος διαμέσου του υποστρώματος.
- Με εξαίρεση τα σχήματα 4-5, 4-7 (και όχι σε όλους τους χρόνους μέτρησης) αύξηση της τάσης εφαρμογής στο δοκίμιο συνεπάγεται μείωση της μετρούμενης τιμής της αντίστασης, κάτι το οποίο σημαίνει πως παρουσία ισχυρότερου πεδίου υπάρχει μεγαλύτερο πλήθος προσανατολισμένων φορέων άρα και μεγαλύτερη διάχυσή τους.
- Κάνοντας μια σύγκριση των δαπέδων-δοκιμίων μπορεί κανείς εύκολα να δει πως την πιο σταθερή μετρούμενη τιμή αντίστασης, ανεξαρτήτως επιπέδου τάσης και χρόνου μέτρησης, παρουσιάζει το δοκίμιο 6. Βέβαια όπως είναι φυσικό η μετρούμενη τιμή της αντίστασης του μεταβάλλεται με το υπόστρωμα.

Με βάση τα διαγράμματα μεταβολής της αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων όπως αυτά δίδονται από τα σχήματα Σχήμα 4-13 έως 4-96 μπορεί κανείς να παρατηρήσει τα κάτωθι:

- Για υπόστρωμα χαλκού το κάθε δοκίμιο παρουσιάζει λίγο πολύ ξεχωριστή συμπεριφορά από το άλλο. Έτσι:
 - Στο δοκίμιο 1 αύξηση της απόστασης ηλεκτροδίων συνεπάγεται αύξηση της μετρούμενης τιμής της επιφανειακής αντίστασης (εξαίρεση ο χρόνος μέτρησης 1 sec λόγω ύπαρξης μεταβατικών φαινομένων). Αυτό είναι

αναμενόμενα καθώς παρεμβάλλεται μεγαλύτερη διαδρομή για τους φορείς μεταξύ των ηλεκτροδίων του οργάνου μέτρησης. Επίσης αύξηση της εφαρμοζόμενης τάσης οδηγεί σε μείωση της μετρούμενης τιμής της αντίστασης που όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα διαγράμματα είναι λογικό λόγω ύπαρξης ισχυρότερου πεδίου.

- Στα δοκίμια 2,3 αύξηση της απόστασης ηλεκτροδίων συνεπάγεται αυξομείωση της τιμής της μετρούμενης επιφανειακής αντίστασης. Αυτό δηλώνει πως υπάρχει πιθανή ετερογένεια του υλικού που επηρεάζει όπως έχει ήδη αναφερθεί, τη μέτρηση της τιμής της αντίστασης όγκου του δοκιμίου. Ακόμη αύξηση της τάσης συνεπάγεται αυξομείωση της αντίστασης που δηλώνει εξάρτηση από το επίπεδο τάσης.
 - Στα δοκίμια 4,5 αύξηση της απόστασης ηλεκτροδίων συνεπάγεται εντονότερη μεταβολή της μετρούμενης τιμής επιφανειακής αντίστασης (πιο έντονη μεταβολή από τα δοκίμια 2,3). Ακόμη αύξηση της τάσης εφαρμογής συνεπάγεται αυξομείωση της τιμής της μετρούμενης επιφανειακής αντίστασης. Αυτό δηλώνει πιθανώς έντονη ετερογένεια του υλικού κάτι το οποίο προκαλεί τη διακύμανση της μετρούμενης τιμής της αντίστασης όγκου του δοκιμίου καθώς και έντονη εξάρτηση της μέτρησης από το επίπεδο τάσης.
 - Στο δοκίμιο 6 αύξηση της απόστασης ηλεκτροδίων συνεπάγεται πολύ μικρή μείωση της μετρούμενης τιμής αντίστασης (εξαίρεση οι χρόνοι μέτρησης 1,2 sec λόγω ύπαρξης μεταβατικών φαινομένων). Επιπρόσθετα με αύξηση της εφαρμοζόμενης τάσης στο δοκίμιο δεν μεταβάλλεται ουσιαστικά η μετρούμενη επιφανειακή αντίστασή του. Αυτό σημαίνει πως στο δοκίμιο υπάρχει τέτοια ετερογένεια υλικού και άρα και μεταβολή της τιμής της μετρούμενης αντίστασης όγκου ώστε τείνει να έχει σταθερή τιμή μέτρησης επιφανειακής αντίστασης ανεξαρτήτου απόστασης ηλεκτροδίων και επιπέδου τάσης.
- Για υπόστρωμα ξύλου τα πράγματα είναι διαφορετικά. Ως εκ τούτου προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Σε όλα τα δοκίμια αύξηση της απόστασης ηλεκτροδίων προκαλεί αύξηση της μετρούμενης τιμής της επιφανειακής αντίστασης. Εξαίρεση αποτελούν τα δοκίμια 1,6 για χρόνο 1,2 sec (ύπαρξη μεταβατικών) και το δοκίμιο 4 για επίπεδο τάσης 250V (όπως αναφέρθηκε στο δοκίμιο 4 η μέτρηση εξαρτάται έντονα από την τάση)
 - Στα δοκίμια 1,2,3,5 αύξηση της τάσης εφαρμογής προκαλεί μείωση της τιμής της μετρούμενης αντίστασης λόγω ισχυρότερου πεδίου.
 - Στο δοκίμιο 4 αύξηση της εφαρμοζόμενης τάσης προκαλεί διακύμανση της μετρούμενης τιμής της επιφανειακής αντίστασης λόγω έντονης εξάρτησης του δοκιμίου από την τάση.
 - Στο δοκίμιο 6 αύξηση της τάσης εφαρμογής δεν προκαλεί μεταβολή της αντίστασης. Αυτό σημαίνει όπως προείπαμε ότι η εσωτερική δομή του δοκιμίου είναι τέτοια που του εξασφαλίζει αυτή σταθερότητα στη τιμή της μετρούμενης αντίστασης.
- Ακόμη, οι διακυμάνσεις στην τιμή της επιφανειακής αντίστασης είναι πιο έντονες σε υπόστρωμα χαλκού και πολύ μικρότερες σε υπόστρωμα ξύλου. Αυτό πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη όταν γίνεται μελέτη για αντιστατική προστασία με χρήση δαπέδου, καθώς το αντιστατικό δάπεδο θα πρέπει να συνεργάζεται ομαλά με το υπόστρωμά του. Βέβαια από άποψη μετρήσεων η παρουσία του ξύλινου υποστρώματος κατευθύνει περισσότερα ηλεκτρόνια να διέλθουν από το δοκίμιο και ως εκ τούτου να παίρνουμε ακριβέστερες μετρήσεις για την τιμή της επιφανειακής αντίστασης του υλικού.
- Πέρα του χρόνου εφαρμογής της τάσης, του επιπέδου τάση, της απόστασης και της τοπολογίας των ηλεκτροδίων και βεβαίως του υλικού κατασκευής, φαίνεται πως υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ωμική συμπεριφορά των αντιστατικών δαπέδων. Μερικοί υποψήφιοι παράγοντες είναι η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του χώρου δοκιμών, ο χρόνος απορρόφησης (ή διασκόρπισης) φορέων του υλικού. Όλοι αυτοί οι παράγοντες χρήζουν περαιτέρω μελέτης και βεβαίως δεν μπορούσαν να πραγματοποιηθούν σε επίπεδο διπλωματικής εργασίας.

Κεφάλαιο 5 - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η ακόλουθη:

- [1] ELECTROSTATIC DISSIPATIVE (ESD) FLOORCOVERINGS, Polyfloor Technical Information
- [2] Standard Test Method for Electrical Resistance of Conductive and Static Dissipative Resilient Flooring, Designation F 150-98
- [3] EOS/ESD SYMPOSIUM 1992, Static Phenomena and Test Methods for Static Controlled Floors
- [4] Sheila L.Jones, Resilient Flooring: A Comparison of Vinyl, Linoleum and Cork, Georgia Tech Research Institute, Fall 1999
- [5] Ιάσων Α. Κρητικός, Μέτρηση της Αντίστασης Μόνωσης Αντιστατικών Δαπέδων, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Φεβρουάριος 2009
- [6] Γεωργία Παυλοπούλου, ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΔΑΠΕΔΩΝ, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Ιούλιος 2010
- [7] ElectroStatic Discharge (ESD) Tutorial, Technical Memorandum, Walter Debus , August 4, 2006
- [8] A.D.Moore, "Electrostatics and its applications", John Wiley Sons, 1973
- [9] ElectroStatic Discharge (ESD) , Tom Diep and Charvaka Durvury, January 2001
- [10] Trends In ESD Test Methods, Stan Weitz, Electro-Tech Systems, Inc. (ETS)
- [11] <http://www.esda.org> (Electrostatic Discharge Association)
- [12] <http://www.gossenmetrawatt.com>
- [13] <http://www.staticworx.com>