ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΔΑΠΕΔΩΝ

Μεταπτυχιακή Εργασία

της

Μαργαρίτας Δ. Δημητρέση

Επιβλέπων Καθηγητής: Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, 2020

Copyright © Μαργαρίτα Δ. Δημητρέση, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allrightsreserved.

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

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

Ευχαριστίες

στον κ. Τσαραμπάρη Παναγιώτη, Επίκουρο Καθηγητή της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών για την υποστήριξη που μου παρείχε στην εκπόνηση της παρούσης μεταπτυχιακής εργασίας, καθώς και για τις καθοριστικής σημασίας υποδείξεις και συμβουλές του.

Αφιερωμένο στην αδελφή μου

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή Π. Τσαραμπάρη στο πλαίσιο του ΔΠΜΣ Συστήματα Αυτοματισμού. Στόχο της εργασίας αποτελεί η μελέτη των αντιστατικών δαπέδων, και συγκεκριμένα η επίδραση της σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στη μέτρηση της αντίστασης που αυτά παρουσιάζουν.

Στο πλαίσιο της εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με σκοπό την μελέτη της επίδρασης των συνθηκών του περιβάλλοντος στη μέτρηση της αντίστασης αντιστατικών δαπέδων και εξάχθηκαν συμπεράσματα με βάση τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία θα βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση των ιδιοτήτων των αντιστατικών δαπέδων και θα αποτελέσουν βάση για περαιτέρω έρευνα.

Περιεχόμενα

Πρόλογος 6

Περιεχόμενα 7

1 Εισαγωγή 9

1.1 Στατικός ηλεκτρισμός 9
1.1.1 Τί είναι η στατική φόρτιση 9
1.1.2 Μηχανισμοί δημιουργίας στατικού φορτίου 10
1.1.2.1 Τριβοηλεκτρική φόρτιση 10
1.1.2.2 Επαγωγή 12
1.1.2.3 Άλλες μέθοδοι 13
1.1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν το στατικό φορτίο 13
1.1.3.1 Στην τριβοηλεκτρική φόρτιση 13
1.1.3.2 Απόσταση σώματος από τη γη 14
1.1.3.3 Υγρασία 14
1.1.3.4 Είδος υλικού (Αγώγιμα υλικά) 15
1.1.3.5 Είδος υλικού (Μονωτικά υλικά) 15
1.1.3.6 Είδος υλικού (Αντιστατικά υλικά) 15
1.1.4 Χρήσεις του στατικού ηλεκτρισμού 16
1.1.5 Ηλεκτροστατική έλξη και άπωση 17
1.2.1 Κίνδυνος πυρκαγιάς 17
1.2.2 Συνέπειες στον άνθρωπο 19
1.2.3 Συνέπειες σε ηλεκτρικές διατάξεις 19
1.2.4 Ευαισθησία ηλεκτρικών διατάξεων 20
1.2.4.1 Μοντέλο ανθρωπίνου σώματος 20
1.2.4.2 Μοντέλο μηχανής 22
1.2.4.3 Μοντέλο φορτισμένης διάταξης 23
1.2.5 Προστασία από την ηλεκτροστατική εκφόρτιση 25
1.2.5.1 Περιοχές που χρήζουν προστασίας (EPA) 25
1.2.5.10 Εκπαίδευση προσωπικού 35
1.2.5.2 Νομοθετικό πλαίσιο για τις EPA 26
1.2.5.3 Γείωση 27
1.2.5.4 Πάγκοι-Επιφάνειες εργασίας 28
1.2.5.5 Σύστημα περικαρπίου καλωδίου 29
1.2.5.6 Υποδήματα 31
1.2.5.7 Ενδυμασία 32
1.2.5.8 Ιονιστές 33
1.2.5.9 Σήμανση 34
1.2.6 Καθαροί θάλαμοι – Cleanrooms 36
1.2Ηλεκτροστατικήεκφόρτιση – ElectrostaticDischarge (ESD 17
1.3 Δάπεδα 37
1.3.1 Είδη δαπέδων 37
1.3.1.1 Μονωτικά δάπεδα 37
1.3.1.2 Αγώγιμα δάπεδα 38
1.3.1.3 Ημιαγώγιμα δάπεδα 39
1.3.1.4 Αντιστατικά δάπεδα 39
1.3.1.4.1 Τύποι και υλικά αντιστατικών δαπέδων 39
1.3.1.4.2 Συντήρηση αντιστατικών δαπέδων 40
1.3.1.4.3 Αντιστατικά δάπεδα και σχετική υγρασία 40

2.Πειραματικές διατάξεις και διαδικασίες μετρήσεων επί αντιστατικών δαπέδων 41
2.1 Η επιρροή της σχετικής υγρασίας στις μετρήσεις 42
2.2 Πειραματική διάταξη 42
2.3 Πειραματικά αποτελέσματα και σχόλια 43
Βιβλιογραφία 51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.Εισαγωγή

1.1 Στατικός Ηλεκτρισμός

1.1.1. Τί είναι η στατική φόρτιση

Υπό κανονικές συνθήκες τα άτομα ή τα μόρια διαθέτουν ισάριθμες ποσότητες θετικά φορτισμένων πρωτονίων και αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων, είναι δηλαδή ηλεκτρικά ουδέτερα. Η κίνηση των πρωτονίων δεν είναι το ίδιο εφικτή με αυτή των ηλεκτρονίων, καθώς τα πρώτα αποτελούν μέρος του πυρήνα του ατόμου. Ως εκ τούτου, είναι η μεταπήδηση των ηλεκτρονίων εκείνη που προκαλεί έλλειμα ή συσσώρευση αρνητικού φορτίου από άτομο σε άτομο δημιουργώντας θετικά ή αρνητικά φορτισμένα ιόντα αντίστοιχα. Η ανισοκατανομή αυτή του ηλεκτρικού φορτίου μεταξύ των ατόμων καλείται στατική φόρτιση και αποτελεί θεμελιώδη ιδιότητα της ύλης. Τα ως άνω πλεονάζοντα ηλεκτρόνια δεν είναι δεσμευμένα σε έναν συγκεκριμένο ατομικό πυρήνα, όσο προσκολλημένα στην επιφάνεια του υλικού. Αυτά τα ηλεκτρόνια έχουν την τάση να μένουν σταθερά στη θέση τους άπαξ και βρεθούν σε αυτή, γεγονός που προσδίδει στο φαινόμενο τον χαρακτηρισμό ‘στατικός’, δηλαδή αμετάβλητος, ηλεκτρισμός. Στην πραγματικότητα όμως ο στατικός ηλεκτρισμός δεν είναι και τόσο στατικός, αφού αν σε ένα θετικά φορτισμένο σώμα πλησιάσουμε ένα σώμα με αρνητικό φορτίο τα ηλεκτρόνια από το πρώτο θα μεταφερθούν στο δεύτερο εξουδετερώνοντας την ηλεκτρική φόρτιση. Για να γίνουν πιο κατανοητές οι ηλεκτροστατικές παράμετροι έπρεπε να οριστεί μία ‘μονάδα φόρτισης’. Η πιο κοινή μονάδα για τη μέτρηση της φόρτισης είναι το Coulomb (C) και ισούται με το ποσό του φορτίου που ρέει μέσω ενός καλωδίου υπό τη ροή ενός Ampere DC για ένα δευτερόλεπτο, και ισούται με 6.25×10^{18} ηλεκτρόνια.

Εικόνα 1. Φορτισμένα σωματίδια.

1.1.2. Μηχανισμοί δημιουργίας στατικού φορτίου

Οι βασικές αιτίες δημιουργίας στατικού ηλεκτρισμού είναι οι ακόλουθες:

1.1.2.1. Τριβοηλεκτρική φόρτιση

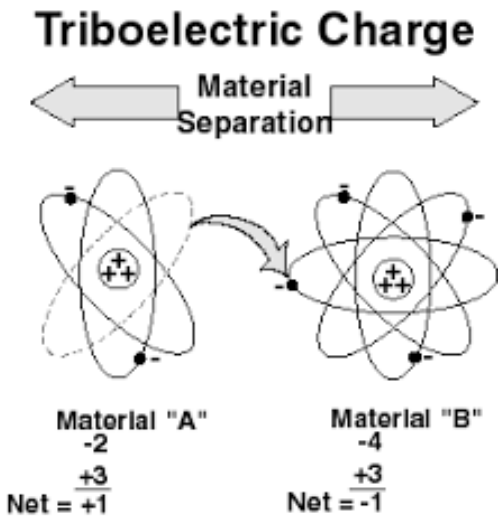
Αποτελεί ίσως την κυριότερη αιτία συσσώρευσης στατικών φορτίων στη βιομηχανία αλλά και στην καθημερινή ζωή. Ο στατικός ηλεκτρισμός δημιουργείται ή από τη σχετική κίνηση υλικών που βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους ή κατά τη διαδικασία του διαχωρισμού των υλικών. Με την τριβή τα ηλεκτρόνια μεταπηδούν (βλ. Εικόνα 2) από το υλικό που χαρακτηρίζεται από πιο ασθενείς δεσμούς ηλεκτρονίων στο έτερο υλικό, που πιθανώς περιέχει κενά ηλεκτρονίων στην εξωτερική του στοιβάδα.

Ηλεκτροστατικά φορτία δημιουργούνται όταν μονωτές τρίβονται ή ο ένας με τον άλλον ή με αγωγούς, όπως επίσης και κατά τη ροή υγρών μέσα σε σωληνώσεις. Αυτό συμβαίνει διότι ηλεκτρόνια μεταφέρονται από το ένα υλικό στο άλλο και λόγω της χαμηλής αγωγιμότητας δεν "προλαβαίνουν" να επιστρέψουν πίσω κατά την διάσπασή τους. Αυτά τα θετικά και αρνητικά φορτία είναι υπεύθυνα για την μετέπειτα έλξη των προαναφερθέντων υλικών. Καθώς τέτοιου είδους φορτίσεις αλληλοαπωθούνται μέσα στο ίδιο υλικό τείνουν να μεταφέρονται στα άκρα του

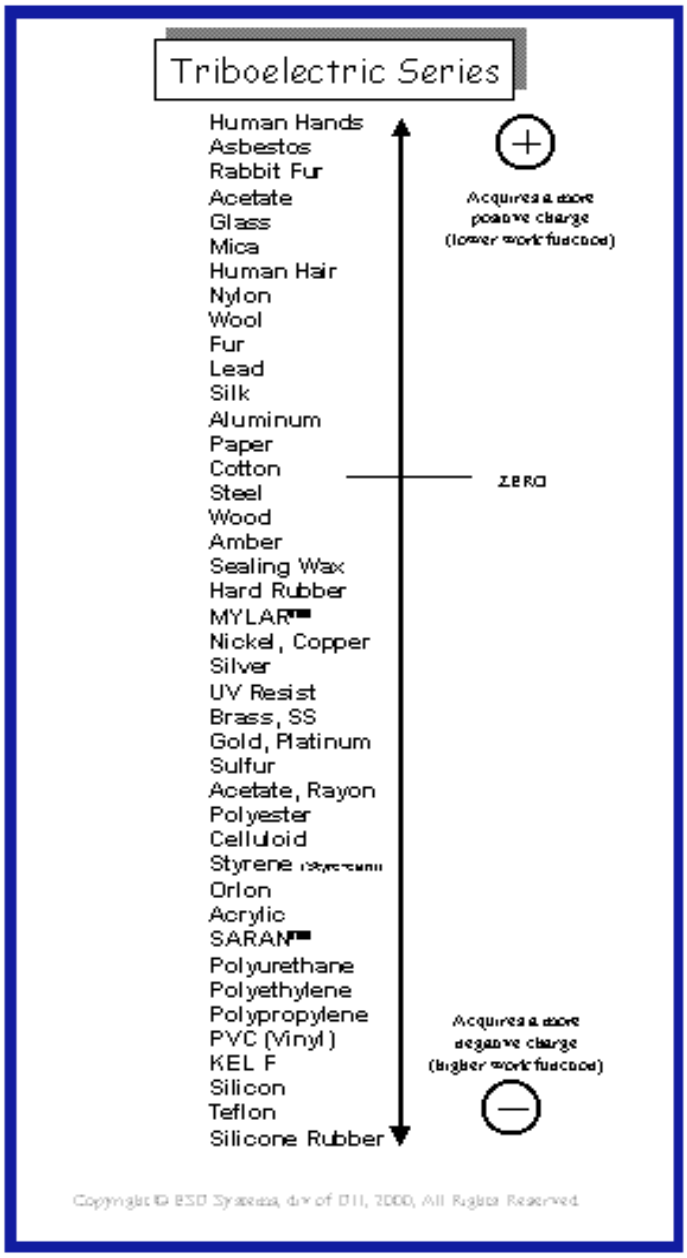
φορτισμένου αντικειμένου, φαινόμενο το οποίο γίνεται εύκολα αντιληπτό αν σκεφτεί κανείς το ανασήκωμα των τριχών της κεφαλής μετά από μια τυχούσα φόρτισή τους.

Σύνθετα οργανικά υλικά όπως το πλαστικό, το νάιλον, το λάστιχο ή το χαρτί τείνουν να δημιουργούν ευκολότερα στατικό ηλεκτρισμό. Ένα κοινό παράδειγμα είναι το περπάτημα με λαστιχένια παπούτσια πάνω σε συνθετικό χαλί. Τα υλικά τα οποία μπορούν να χάσουν ή να αποκτήσουν ηλεκτρόνια με την παραπάνω διαδικασία ονομάζονται τριβοηλεκτρικά.

Τα τριβοηλεκτρικά υλικά μπορούν να ακολουθήσουν μία συγκεκριμένη κατάταξη, την τριβοηλεκτρική σειρά, η οποία προβλέπει ποια υλικά θα φορτιστούν θετικά, ποια αρνητικά και τί έντασης θα είναι το παραπάνω φαινόμενο με βάση την τάση των υλικών να χάνουν ή να κερδίζουν ηλεκτρόνια. Στην λίστα που ακολουθεί (βλ. Εικόνα 3). τα υλικά τοποθετούνται από το υψηλότερο προς το χαμηλότερο με κριτήριο την τάση τους να αποκτήσουν θετικό φορτίο. Έτσι, αν ένα υλικό από την κορυφή της κατάταξης, πχ ο άσβεστος, τριφτεί με ένα υλικό από το τέλος, όπως το τεφλόν, το πρώτο θα φορτιστεί θετικά και το δεύτερο ισόποσα αρνητικά. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση των υλικών στην κατάταξη τόσο πιο έντονη θα είναι η μεταφορά ηλεκτρονίων μεταξύ τους. Τα υλικά στο μέσο της λίστας δεν έχουν ισχυρή τάση να χάσουν ή να προσλάβουν ηλεκτρόνια. Ο πρώτος που στοιχειοθέτησε τριβοηλεκτρική λίστα ήταν ο Voltaro 1779.



Εικόνα 2. Μηχανισμός τριβοηλεκτρικής φόρτισης.



Εικόνα 3. Τριβοηλεκτρική σειρά.

1.1.2.2. Επαγωγή

Ο στατικός ηλεκτρισμός παράγει ένα ηλεκτρικό πεδίο που είναι μετρήσιμο και ικανό να επηρεάσει άλλα αντικείμενα σε κάποια απόσταση. Πρόκειται για την περίπτωση της πόλωσης αγώγιμων αντικειμένων όταν βρίσκονται εντός των δυναμικών γραμμών ηλεκτρικού πεδίου που έχει δημιουργηθεί από στατικό φορτίο. Όταν, δηλαδή ένα σώμα βρίσκεται εντός του ηλεκτρικού πεδίου ενός φορτισμένου

αντικειμένου, όπως ένα ρολό φιλμ, τότε το σώμα θα φορτιστεί από επαγωγή. Δεν θα παρατηρηθεί αλλαγή στο συνολικό φορτίο του αντικειμένου από τη διαδικασία της επαγωγής, παρά μόνο ανακατανομή των θετικών και αρνητικών ιόντων στις διάφορες περιοχές του. Όταν το αντικείμενο εκτεθεί σε θετικό ηλεκτρικό πεδίο, τότε αρνητικά ιόντα θα συγκεντρωθούν στην επιφάνειά του ελκυόμενα από αυτό και το αντίθετο θα συμβεί με την έκθεση σε αρνητικό ηλεκτρικό πεδίο. Ως συνέπεια των παραπάνω ένας μονωτής δεν μπορεί να φορτιστεί μέσω επαγωγής, αφού η μετακίνηση ηλεκτρονίων στο εσωτερικό του είναι δύσκολη έως αδύνατη.

1.1.2.3. Άλλες μέθοδοι

Στην παραγωγή ηλεκτροστατικού φορτίου μπορούν να οδηγήσουν κι άλλες μέθοδοι. Ενδεικτικά αναφέρονται α) η ταχεία μεταφορά θερμότητας π.χ. η είσοδος ενός αντικειμένου σε εργαστηριακό κλίβανο β) η έκθεση σε ακτινοβολία υψηλής ενέργειας όπως ακτίνες X, UV ή έντονα μαγνητικά πεδία γ) διαδικασίες κοπής όπως το κόψιμο φύλλων μετάλλου. Όμως οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι παραμένουν ο τριβοηλεκτρισμός και η επαγωγή.

1.1.3. Παράγοντες που επηρεάζουν το στατικό φορτίο

Το μέγεθος του στατικού φορτίου δεν είναι σε καμία περίπτωση δεδομένο. Ένα πλήθος διαφορετικών παραγόντων μπορεί να επηρεάσει και να διαμορφώσει τη διαδικασία και το τελικό αποτέλεσμα της στατικής φόρτισης των σωμάτων. Οι διάφοροι μηχανισμοί που δρουν κατά τη διάρκεια μιας στατικής φόρτισης είναι πολλοί και το πώς ενορχηστρώνονται είναι περίπλοκο και δυσνόητο.

1.1.3.1. Στην τριβοηλεκτρική φόρτιση

Όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 1.1.2.1 η τριβοηλεκτρική σειρά παίζει σημαντικό ρόλο στο πώς φορτίζονται τα διάφορα υλικά όταν έρθουν σε επαφή. Το είδος και η κατάταξή τους είναι πολύ σημαντικά. Στην στατική φόρτιση μέσω επαφής και διαχωρισμού, όμως σημαντική είναι και η ένταση της επαφής, εάν δηλαδή πρόκειται για μια προσέγγιση, ένα απλό ακούμπισμα ή αν τα δύο υλικά πιέζονται μεταξύ τους. Στην τρίτη περίπτωση το μέγεθος του στατικού φορτίου είναι μεγαλύτερο. Ακόμη, ο χρόνος κατά τον οποίο λαμβάνει χώρα το φαινόμενο δρα

ευεργετικά στα αποτελέσματά του. Επίσης, το είδος των επιφανειών που έρχονται σε επαφή επηρεάζει τη φόρτιση, το αν δηλαδή οι επιφάνειες είναι λείες ή τραχιές.

1.1.3.2. Απόσταση σώματος από τη γη

Μία ακόμη σημαντική παράμετρος είναι η απόσταση από άλλα αντικείμενα και από τη γη. Αν ένα σώμα περιέχει συγκεκριμένη ποσότητα φορτίου, όταν βρίσκεται μακριά από τη γη ή από ένα άλλο σώμα με αντίθετο φορτίο, η τάση του μεγαλώνει. Φέρνοντας τη γη κοντά συγκεντρώνονται στην επιφάνειά της αντίθετα φορτία, οπότε η άπωση μεταξύ των όμοιων φορτίων στην επιφάνεια του σώματος μειώνεται, με συνέπεια τη μείωση της ολικής ηλεκτρικής ενέργειάς του.

1.1.3.3. Υγρασία

Μέσα από πειράματα έχει αποδειχθεί πως, κατά γενικό κανόνα, η αύξηση της σχετικής υγρασίας του χώρου, και επομένως του σώματος, που υφίσταται τριβοηλεκτρική φόρτιση οδηγεί σε μείωση της δημιουργούμενης τάσης (βλ. Εικόνα 4). Η αύξηση της υγρασίας κάνει το περιβάλλον πιο αγώγιμο, γεγονός που καθιστά τη δέσμευση περίσσειας ηλεκτρονίων από τα σώματα δυσκολότερη μετά τον διαχωρισμό τους. Ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες, όπου οι χώροι εργασίας θερμαίνονται, το περιβάλλον γίνεται ακόμη ξηρότερο και ο κίνδυνος συσσώρευσης στατικού φορτίου μεγαλύτερος. Ένα κοινώς αποδεκτό ασφαλές εύρος τιμών της σχετικής υγρασίας είναι από 30 έως 70%.

Means of generation	10–25% Relative humidity (kV)	65–90% Relative humidity (kV)
Walking across carpet	35	1.5
Walking across vinyl tile	12	0.25
Worker at bench	6	0.1
Poly bag picked up from bench	20	1.2
Chair with urethane foam	18	1.5

Εικόνα 4. Παραδείγματα ηλεκτροστατικών φορτίσεων σε διαφορετικές σχετικές υγρασίες.

1.1.3.4. Είδος υλικού (Αγώγιμα υλικά)

Αγωγός χαρακτηρίζεται ένα σώμα που, λόγω της χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης που παρουσιάζει, επιτρέπει στα ηλεκτρόνια να ρέουν ελεύθερα μέσα του. Έτσι, σε ένα αγώγιμο υλικό, από τη στιγμή της φόρτισης, το φορτίο που έχει δημιουργηθεί θα κατανεμηθεί σε όλη την επιφάνειά του, λόγω της απρόσκοπτης κίνησης των ηλεκτρονίων. Αυτή η διαδικασία της κατανομής του φορτίου στην επιφάνειά του θα σταματήσει όταν θα ελαχιστοποιηθούν οι απωστικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των ομόσημων ιόντων. Στην περίπτωση όπου ένας φορτισμένος αγωγός έρθει σε επαφή με κάποιο άλλο αντικείμενο, ειδικά με έναν άλλον αγωγό, τότε μέρος του φορτίου του μπορεί να μεταφερθεί στο δεύτερο σώμα, ή αν είναι γειωμένο, στη γη. Στην τριβοηλεκτρική φόρτιση μεταξύ δύο αγωγών το αποτέλεσμα δεν θα είναι τόσο έντονο, καθώς πριν την απομάκρυνσή τους, μέρος των ηλεκτρονίων μου έχουν μεταπηδήσει από το ένα σώμα στο άλλο προλαβαίνουν να ανακτηθούν από το πρώτο. Όταν ένας αγωγός έρχεται σε επαφή με έναν μονωτή τα αποτελέσματα θα είναι σαφώς εντονότερα για τον παραπάνω λόγο.

1.1.3.5. Είδος υλικού (Μονωτικά υλικά)

Στα μονωτικά υλικά η ηλεκτρική αντίσταση είναι πολύ υψηλή και, ως εκ τούτου, τα ηλεκτρόνια δεν είναι ελεύθερα να κινηθούν από άτομο σε άτομο και από μόριο σε μόριο. Έτσι το στατικό φορτίο δεν ισοκατανέμεται στην επιφάνεια του υλικού και παραμένει στο σημείο που δημιουργήθηκε. Με αυτόν τον τρόπο αρνητικά και θετικά φορτία μπορεί να συνυπάρχουν σε διαφορετικά σημεία του ίδιου μονωτικού υλικού. Οι μονωτές μπορεί να παίξουν ευεργετικό ρόλο στη δημιουργία ηλεκτρικής φόρτισης, καθώς ‘εγκλωβίζουν’ το αποκτηθέν φορτίο όπως έχει περιγραφεί στην προηγούμενη παράγραφο.

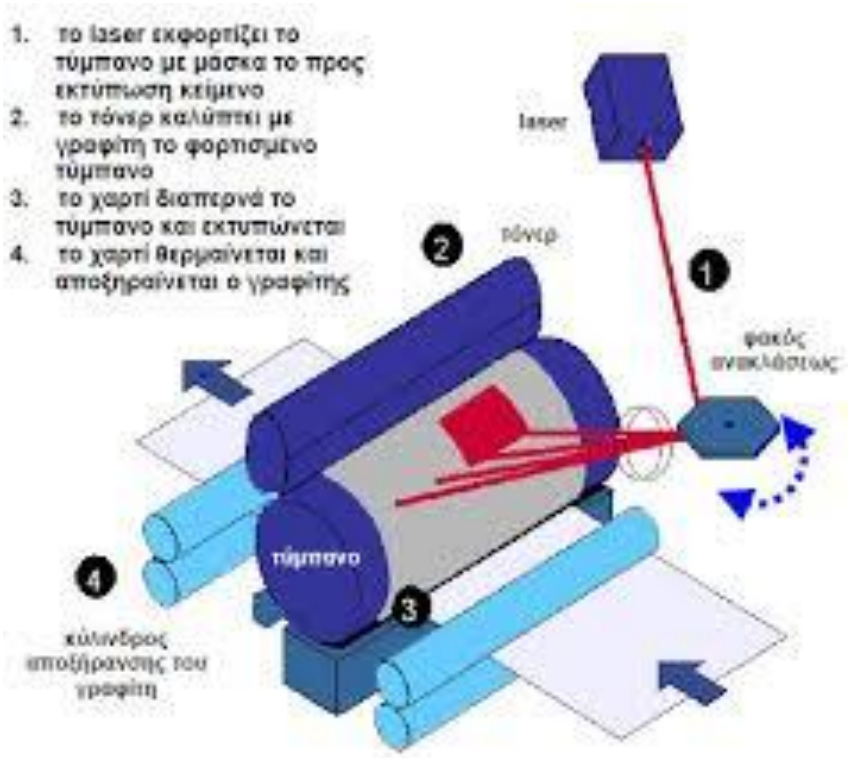
1.1.3.6. Είδος υλικού (Αντιστατικά υλικά)

Πρόκειται για υλικά των οποίων η ηλεκτρική αντίσταση βρίσκεται μεταξύ αυτής των μονωτών και των αγωγών. Σε αυτά τα υλικά η ροή των ηλεκτρονίων υφίσταται αλλά είναι ελεγχόμενη. Έτσι, η συμπεριφορά τους στην διαδικασία της

τριβοηλεκτρικής φόρτισης έχει χαρακτηριστικά και των δύο προηγούμενων κατηγοριών.

1.1.4. Χρήσεις του στατικού ηλεκτρισμού

Αν και με την πρώτη ματιά δεν γίνεται αντιληπτό, παρόλα αυτά ο στατικός ηλεκτρισμός βρίσκει χρήσεις στη σημερινή τεχνολογία. Στους εκτυπωτές λέιζερ η ακτίνα λέιζερ σχηματίζει σε ένα τύμπανο ένα σταθερό ηλεκτροστατικό φορτίο το οποίο συγκρατεί το μελάνι στην επιφάνεια του τυμπάνου και σχηματίζει την εικόνα μιας σελίδας εκτύπωσης (βλ. Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Λειτουργία εκτυπωτή laser.

Στα φωτοτυπικά μηχανήματα το λευκό χαρτί μετακινείται αργά προς έναν ιμάντα φωτοαγωγού με αρνητικά φορτισμένα σωματίδια γραφίτη, που αναπαριστούν την προς αντιγραφή εικόνα. Καθώς το χαρτί κινείται πάνω στον ιμάντα, παρέχεται σε αυτό ένα ισχυρό θετικό φορτίο. Η ισχυρή θετική φόρτιση του χαρτιού τραβάει τα σωματίδια του γραφίτη. Έτσι, δημιουργείται η αρχική εικόνα.

Οι λεγόμενοι ηλεκτροστατικοί κατακρημνιστές (ESP) χρησιμοποιούν ένα ηλεκτροστατικό πεδίο για να φορτίσουν αρνητικά τα σωματίδια του άνθρακα και

έπειτα τα εξαναγκάζουν να περάσουν από ένα θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο. Τα σωματίδια έλκονται από το ηλεκτρόδιο λόγω αντίθετης φόρτισης και δεσμεύονται από αυτό. Αυτή η μέθοδος βρίσκει εφαρμογή στην διαχείριση της μόλυνσης του αέρα σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής μέσω καύσης άνθρακα, στη βιομηχανία αλλά και σε οικιακό περιβάλλον.

Στην ηλεκτροστατική βαφή, το αντικείμενο προς βαφή φορτίζεται αρνητικά από ένα ηλεκτρόδιο. Αντίστοιχα, το χρώμα είναι θετικά φορτισμένο και όταν γίνεται ο ψεκασμός τα σωματίδια του χρώματος έλκονται από το αντικείμενο, λόγω του στατικού πεδίου που σχηματίζεται, και προσκολλώνται σε αυτό.

1.1.5. Ηλεκτροστατική έλξη και άπωση

Λόγω του δημιουργούμενου στατικού ηλεκτρισμού τα διάφορα αντικείμενα αναπτύσσουν μεταξύ τους ελκτικές και απωστικές δυνάμεις. Αυτό το γεγονός μπορεί να αποβεί επιζήμιο, ειδικά σε περιβάλλον παραγωγής, όπου μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή των προϊόντων, κακή διαχείρισή τους (κολλάνε μεταξύ τους ή στο μηχάνημα), έλξη σκόνης και άλλα παρόμοια φαινόμενα.

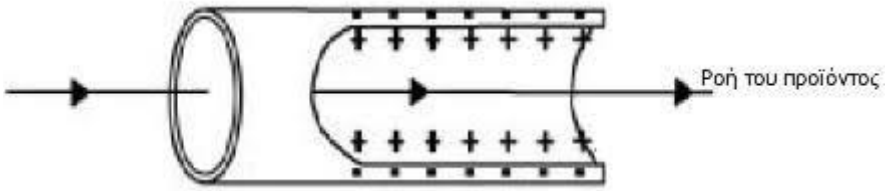
1.2. Ηλεκτροστατική εκφόρτιση – Electrostatic Discharge (ESD)

Η διαδικασία της στατικής φόρτισης των αντικειμένων, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενες παραγράφους, μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία μεγάλων δυναμικών με αποθηκευμένες ενέργειες μερικών mJ. Όταν δύο αντίθετα φορτισμένα σώματα προσεγγίσουν περισσότερο από μία οριακή απόσταση συμβαίνει απότομη μεταφορά φορτίου, η λεγόμενη ηλεκτροστατική εκφόρτιση. Η εκφόρτιση αυτή δημιουργεί ένα ρεύμα το οποίο είναι ικανό να βλάψει συσκευές, ηλεκτρονικές διατάξεις αλλά και τον άνθρωπο.

1.2.1. Κίνδυνος πυρκαγιάς

Ο κίνδυνος της πυρκαγιάς δεν είναι ο πλέον συχνός αλλά ενέχει στις περιπτώσεις βίαιης εκφόρτισης όπου εμπλέκονται εύφλεκτα υλικά. Στις

περιπτώσεις αυτές ένα μη γειωμένο αγώγιμο σώμα ή ο χρήστης της εγκατάστασης, όταν είναι ηλεκτροστατικά φορτισμένος, με την επαφή με το εύφλεκτο υλικό μπορεί να προκαλέσει σπινθήρα και φλόγα. Για την αποφυγή τέτοιων φαινομένων τα δοχεία, οι γραμμές παραγωγής, τα εξαρτήματα και γενικά όλος ο εξοπλισμός που έχει να κάνει με διαχείριση εύφλεκτων διαλυτών πρέπει να είναι γειωμένος. Στην διαχείριση υγρών διαλυτών ο στατικός ηλεκτρισμός μπορεί να προκληθεί από τη ροή του υγρού (βλ. Εικόνα 6), το φιλτράρισμα, την ανάδευσή του ή τη μετάγγιση. Στην περίπτωση, ιδιαίτερα που το ρευστό έχει χαμηλή αγωγιμότητα (πχ υδρογονάνθρακες διαλύτες), τότε το στατικό φορτίο του δεν διαχέεται γρήγορα και συσσωρεύεται στην επιφάνεια του δοχείου στο οποίο καταλήγει. Έτσι, μπορούν να δημιουργηθούν σπινθήρες και πιθανή ανάφλεξη των ατμών του ρευστού. Η αποφόρτιση του ηλεκτροστατικού φορτίου γίνεται μέσω της συνεχούς διάχυσής του προς τα τοιχώματα του συστήματος εγκλεισμού (βαρέλια, δεξαμενές, δοχεία). Ο χρόνος διάχυσης περιγράφεται από τον χρόνο ανάπαυσης **τ**. Πρόκειται για το χρόνο που απαιτείται για να μειωθεί το ηλεκτρικό φορτίο στο 37% της αρχικής του τιμής. Αυτό που καθορίζει κυρίως τον χρόνο διάχυσης είναι η αγωγιμότητα του ρευστού. Για λόγους ασφαλείας οι γενικοί κανονισμοί προτείνουν το 3**τ**ως τον ενδεδειγμένο χρόνο για την ικανοποιητική αποφόρτιση του διαλύτη. Για τους παραπάνω λόγους, ρευστά με χαμηλό σημείο ανάφλεξης δεν θα πρέπει να αποθηκεύονται σε πλαστικά δοχεία, όπου επιβραδύνεται η διάχυση του φορτίου τους. Άλλες παράμετροι που μπορεί να προκαλέσουν αύξηση της φόρτισης σε αυτές τις εφαρμογές είναι η χρήση πολύ λεπτών και μεγάλης επιφάνειας φίλτρων, η υψηλή ταχύτητα και η τυρβώδης ροή, ο ψεκασμός βαφών ή η χρήση αντλιών υψηλής διάτμησης.



Εικόνα 6. Φόρτιση σε αγωγό.

1.2.2. Συνέπειες στον άνθρωπο

Οι άνθρωποι αποτελούμαστε ως επί τω πλείστων από νερό. Αυτό μας καθιστά καλούς αγωγούς του ρεύματος. Παρόλα αυτά, πολλές φορές τα υποδήματα που φοράμε είναι φτιαγμένα από μονωτικά υλικά τα οποία, ως συνέπεια, μας αποκόπτουν τη σύνδεση με τη γη. Έτσι, διευκολύνουν τη συσσώρευση ηλεκτρικού φορτίου στο σώμα μέσω καθημερινών κινήσεων, όπως το περπάτημα πάνω σε χαλί, το κάθισμα πάνω σε μία καρέκλα, το ξετύλιγμα μιας συσκευασίας ή από επαγωγή. Όταν, λοιπόν είμαστε φορτισμένοι και έρθουμε σε επαφή με έναν άλλον αγωγό, ο οποίος είναι γειωμένος, μεταξύ μας θα δημιουργηθεί ηλεκτροστατική εκφόρτιση.Το ποσό της στατικής εκφόρτισης που αντιλαμβάνονται οι ανθρώπινες αισθήσεις είναι 2-5kV, ενώ το όριο της ηλεκτρικής εκκένωσης που μπορεί να προκαλέσει δυσφορία στον άνθρωπο θεωρείται τα 3kV. Ως εκ τούτου, μια στατική εκφόρτιση, ενώ δεν μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην υγεία, μπορεί να αποδειχθεί επικίνδυνη αν ο άνθρωπος που την υφίσταται αντιδράσει λόγω της δυσφορίας και έχει άλλου είδους ατυχήματα.

1.2.3. Συνέπειες σε ηλεκτρικές διατάξεις

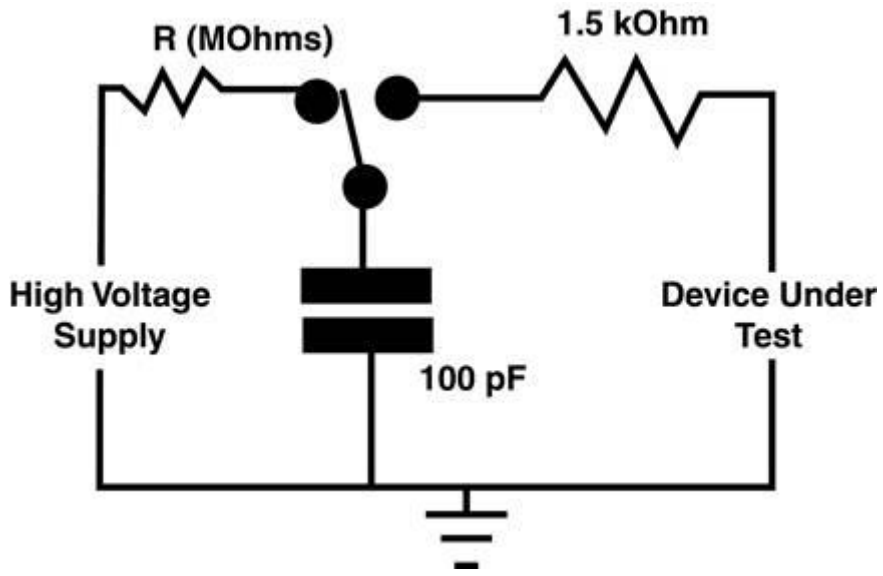
Οι μικρές ηλεκτρικές εκφορτίσεις που αισθανόμαστε ως μία απλή ενόχληση μπορεί, όμως να δράσουν επιζήμια πάνω σε εξελιγμένες ηλεκτρικές διατάξεις. Η βλάβη μπορεί να συμβεί οποιαδήποτε στιγμή, από το στάδιο της παραγωγής και του ελέγχου μέχρι τη λειτουργία και τη συντήρηση.Μία τέτοια βλάβη μπορεί να είναι καταστροφική για το κύκλωμα, αφού μπορεί να προκαλέσειφαινόμενα όπως τήξη μεταλλικών γραμμών σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα μέχρι αστοχία κάποιας επαφής ή καταστροφή μονωτικών στοιχείων κυκλωμάτων. Υπάρχει, όμως και η περίπτωση η εκφόρτιση να μην καταστρέψει τη διάταξη, αλλά να την υποβαθμίσει, να την επηρεάσει δηλαδή σε τέτοιο βαθμό ώστε να συνεχίσει να λειτουργεί αλλά με ελαττώματα. Τέτοια φαινόμενα μπορεί να έχουν αρνητικά αποτελέσματα και στο χρόνο ζωής της συσκευής και είναι πολύ δύσκολο να ανιχνευτούν. Τέτοιες βλάβες κοστίζουν καθημερινά στη βιομηχανία σε χρόνο παραγωγής και κόστος επισκευών.

1.2.4. Ευαισθησία ηλεκτρικών διατάξεων

Η ευαισθησία μίας ηλεκτρικής διάταξης καθορίζεται από την αντοχή της στο ρεύμα που τη διαρρέει λόγω της στατικής εκφόρτισης και από την ικανότητά της να απορροφήσει την παραγόμενη ενέργεια. Όσο πιο μικρή σε μέγεθος είναι μια διάταξη και με όσο περισσότερα κυκλώματα, τόσο πιο ευαίσθητη θεωρείται στις στατικές εκκενώσεις. Συνήθως, όταν μιλάμε για ευαισθησία έχουμε στο μυαλό μας την ηλεκτρική τάση, όμως και άλλες παράμετροι όπως η φόρτιση, η χωρητικότητα και η ηλεκτρική αντίσταση μπορεί να παίζουν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της ευαισθησίας μιας συσκευής. Τα σύγχρονα ολοκληρωμένα κυκλώματα περιέχουν διατάξεις ασφαλείας που τα προστατεύουν από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις. Είναι, όμως απαραίτητο αυτές οι διατάξεις να ελέγχονται για την αξιοπιστία τους. Η ανάγκη της αναπαραγωγής του φαινομένου της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης υπό ελεγχόμενες συνθήκες στο εργαστήριο οδήγησε στη δημιουργία συγκεκριμένων μοντέλων.

1.2.4.1. Μοντέλο ανθρωπίνου σώματος – Human Body Model (HBM)

Αποτελεί το πλέον διαδεδομένο μοντέλο για την αξιολόγηση μιας διάταξης προστασίας ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος από την εκφόρτιση που προκαλείται κατά τον χειρισμό από τον άνθρωπο. Επίσης προσπαθεί να εκτιμήσει την αντοχή και την αξιοπιστία ενός τέτοιου κυκλώματος στο πραγματικό ενδεχόμενο μιας εκφόρτισης κατά τη χρήση από έναν στατικά φορτισμένο άνθρωπο. Σε αυτό το μοντέλο, λαμβάνεται η χειρότερη περίπτωση όπου το ολοκληρωμένο κύκλωμα είναι γειωμένο. Έχουν κυκλοφορήσει πολλά διαφορετικά μοντέλα ανθρωπίνου σώματος, ένα από αυτά αποτυπώνεται στην παρακάτω διάταξη.



Εικόνα 7. Ισοδύναμο μοντέλου ανθρωπίνου σώματος.

Για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων το πείραμα πρέπει να διεξάγεται σε ελεγχόμενο εργαστηριακό περιβάλλον με σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας 24±4°Cκαι 32±5% αντίστοιχα. Τα όρια ασφαλείας σε αυτό το μοντέλο είναι της τάξεως των 2kV. Με βάση το HBM τα διάφορα κυκλώματα χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες.

Πίνακας 1. Κατηγοριοποίηση κυκλωμάτων βάσει HBM.

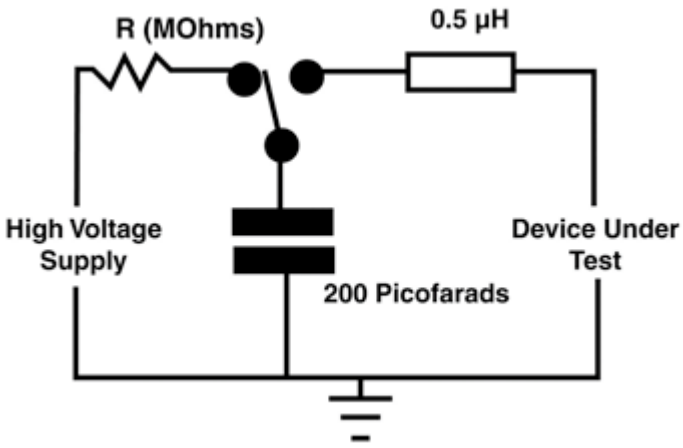
ΚΛΑΣΗ	ΤΙΜΗ ΤΑΣΗΣ
Κλάση 0	< 250 volt
Κλάση 1A	250 ως < 500 volt
Κλάση 1B	500 ως < 1000 volt
Κλάση 1C	1000 ως < 2000 volt
Κλάση 2	2000 ως < 4000 volt
Κλάση 3A	4000 ως < 8000 volt
Κλάση 3B	>= 8000 volt

Πίνακας 2. Παραδείγματα ευαισθησίας συσκευών κατά HBM.

Device type	ESD withstand voltage sensitivity (V) HBM
MR heads, RF FETs	10 - 100
Power MOSFETs PIN diodes, laser diodes	100 - 300V
Pre - 1990 VLSI	400 - 1000V
Modern VSLI	1000 - 3000V
HCMOS	1500 - 3000V
CMOS B Series	2000 - 5000 V
Linear MOS	800 - 4000 V
Small geometry older bipolar	600 - 6000 V
Small geometry modern bipolar	2000 - 8000 V
Power bipolar	7000 - 25000 V
Film resistor	1000 - 5000 V

1.2.4.2. Μοντέλο μηχανής – Machine Model (MM)

Αναπαριστά την εκφόρτιση που προέρχεται από μία φορτισμένη μηχανή σε ένα γειωμένο ολοκληρωμένο κύκλωμα και συνήθως χρησιμοποιείται σε αλυσίδες συναρμολόγησης αυτοκινήτων. Οι απαιτήσεις για τους ημιαγωγούς με βάση αυτό το μοντέλο δεν υπερβαίνουν τα 200V. Η σχετική διάταξη, η οποία δεν έχει πολλές διαφορές σε σχέση με αυτή του HBM, παρουσιάζεται στην εικόνα 8.



Εικόνα 8. Ισοδύναμο μοντέλου μηχανής.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι κατηγορίες των ηλεκτρικών κυκλωμάτων συμφώνως του Μοντέλου Μηχανής.

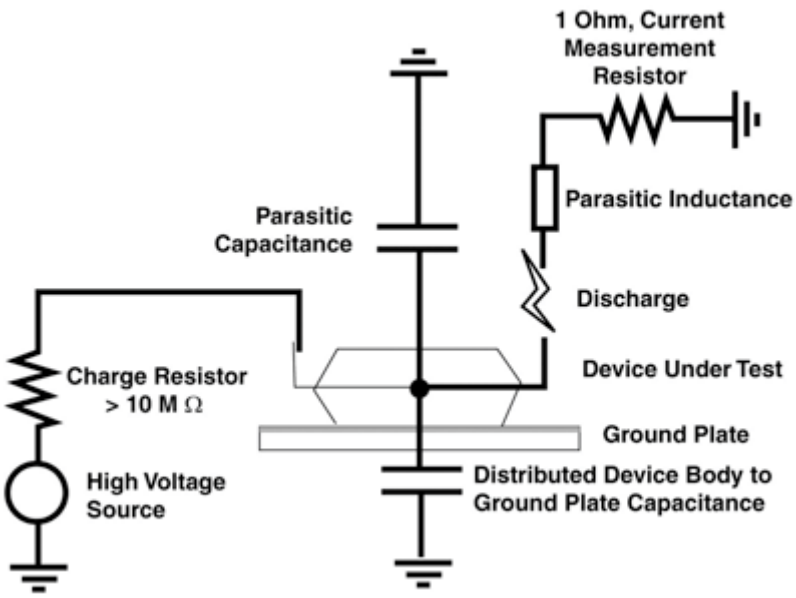
Πίνακας 3. Κατηγοριοποίηση κυκλωμάτων βάσει ΜΜ.

ΚΛΑΣΗ	ΤΙΜΗ ΤΑΣΗΣ
Κλάση M0	< 25 volt
Κλάση M1	25 ως < 100 volt
Κλάση M2	100 ως < 200 volt
Κλάση M3	200 ως < 400 volt
Κλάση M4	400 ως < 800 volt
Κλάση M5	> 800 volt

1.2.4.3. Μοντέλο φορτισμένης διάταξης– Charge Device Model(CDM)

Πρόκειται για το πιο πρόσφατο μοντέλο (βλ. Εικόνα 9), αλλά και το πιο δύσκολο να αναπαραχθεί στο εργαστήριο. Προσπαθεί να μοντελοποιήσει την αποφόρτιση ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος ή συσκευής κατά τη διαδικασία της παραγωγής, ή της μεταφοράς του, όπου έρχεται σε επαφή με τον υπόλοιπο αγώγιμο εξοπλισμό. Μία τέτοια ηλεκτρική εκκένωση μπορεί να αποδειχθεί πιο επιζήμια από αυτήν του HBM. Το όριο ασφαλείας των 500Vγια εκφόρτιση κατά το

μοντέλο DCMθεωρείται αρκετό σε αυτό το μοντέλο για να εγγυηθεί την αξιοπιστία του κυκλώματος.



Εικόνα 9. Ισοδύναμο μοντέλου φορτισμένης διάταξης.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι κατηγορίες των ηλεκτρικών κυκλωμάτων συμφώνως του Μοντέλου Φορτισμένης Διάταξης.

Πίνακας 4. Κατηγοριοποίηση κυκλωμάτων βάσει CDM.

ΚΛΑΣΗ	ΤΙΜΗ ΤΑΣΗΣ
Κλάση C0	< 125 volt
Κλάση C1	125 ως < 250 volt
Κλάση C2	250 ως < 500 volt
Κλάση C3	500 ως < 1000 volt
Κλάση C4	1000 ως < 2000 volt
Κλάση C5	> 2000 volt

1.2.5. Προστασία από την ηλεκτροστατική εκφόρτιση

Με την τεχνολογική ανάπτυξη και τη δημιουργία όλο και πιο περίπλοκων και μικροσκοπικών συσκευών και κυκλωμάτων, η προστασία από τον κίνδυνο ESD βλάβης αποτελεί πρωταρχικό μέλημα των κατασκευαστών. Έτσι, έχουν αναπτυχθεί βοηθητικά μικροκυκλώματα τα οποία εγκαθίστανται μέσα στην προς προστασία ηλεκτρική διάταξη και απομακρύνουν το επικίνδυνο φορτίο. Τα κυκλώματα αυτά υπηρετούν τις ανάγκες των συσκευών ανάλογα με την ευαισθησία που παρουσιάζουν σε ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις.

Σε περιπτώσεις όπου είναι αναγκαία η λήψη μέτρων προστασίας από τις ηλεκτρικές εκφορτίσεις σε ολόκληρους χώρους πολλές είναι οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψιν. Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός συστήματος προστασίας πρέπει να εξυπηρετεί τις ανάγκες της εγκατάστασης και του χρήστη, να αξιολογεί το μέγεθος του κινδύνου, να προβλέπει τις ασυνήθιστες περιπτώσεις και να συμμορφώνεται με τους ισχύοντες κανόνες και τις οδηγίες των αρμόδιων αρχών.

1.2.5.1. Περιοχές που χρήζουν προστασίας – ESD Protected Areas (EPA)

Ως EPA ορίζεται ο χώρος ο οποίος, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα μέσα, διασφαλίζει την ελάχιστη δυνατή συσσώρευση στατικού φορτίου και προσφέρει προστασία στον χρήστη και στις ευαίσθητες ηλεκτρονικές συσκευές από φαινόμενα ηλεκτροστατικής εκφόρτισης. Ο χώρος αυτός μπορεί να είναι στο μέγεθος ενός πάγκου εργασίας μέχρι μίας βιομηχανικής περιοχής χιλιάδων τετραγωνικών μέτρων.

Για να εκτιμήσει κανείς το αν μία περιοχή χρήζει προστασίας από φαινόμενα ηλεκτροστατικής εκφόρτισης πρέπει αρχικά να γίνει πλήρης καταγραφή του υλικού που περιέχει και του οποίου γίνεται διαχείριση σε αυτήν τη περιοχή, και όλα αυτά συναρτήσει της ασφάλειας του προσωπικού. Η ευαισθησία σε ηλεκτρικές εκφορτίσεις της κάθε συσκευής πρέπει να είναι γνωστή. Για το λόγο αυτό, είναι πολύ σημαντική η διεξαγωγή μετρήσεων της ευαισθησίας και η κατηγοριοποίηση των συσκευών με βάση τα μοντέλα που αναλύθηκαν στην παράγραφο 1.1.7. Όταν οι

συσκευές είναι χαρακτηρισμένες μπορεί να αποφασιστεί το επίπεδο της προστασίας και το ποιος είναι ο κατάλληλος εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί. Το να ληφθούν όλα τα υπάρχοντα μέτρα χωρίς ανάλυση των πραγματικών αναγκών είναι κάτι το εύκολο, αλλά θα κοστίσει ίσως πολύ περισσότερο από ένα σωστά μελετημένο και σχεδιασμένο σύστημα που θα ανταποκρίνεται στις εξειδικευμένες ανάγκες της περιοχής. Ένα ευρέως γνωστό πρότυπο για την ανάπτυξη προγραμμάτων ESD ελέγχου εγκαταστάσεων είναι το ANSI/ESDS.20.20 που εκδόθηκε από το Electrostatic Discharge Association και εφαρμόζεται σε τομείς όπως η αεροναυπηγική, η βιομηχανία ηλεκτρονικών, ιατρικών συσκευών και οι τηλεπικοινωνίες.

Σε γενικές γραμμές, αυτούς τους χώρους θα πρέπει να αποφεύγονται τα μονωτικά υλικά, όπως τα πλαστικά, καθώς τείνουν να συσσωρεύουν στατικά φορτία και να τα συγκρατούν. Σε περίπτωση που η ύπαρξη μονωτικών υλικών κρίνεται αναγκαία, θα πρέπει να υπάρχουν ιονιστές που θα τροφοδοτούν την ατμόσφαιρα με ανιόντα και κατιόντα. Από την άλλη, όλα τα αγώγιμα (συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπου), αλλά και τα αντιστατικά αντικείμενα είναι σημαντικό να συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους αλλά και με τη γη. Επίσης, η είσοδος και το δάπεδο των EPA πρέπει να φέρουν τη σχετική σήμανση. Τέλος, η μετακίνηση ενός ευαίσθητου υλικού από έναν προστατευμένο χώρο σε έναν άλλο πρέπει να γίνεται μέσα σε κατάλληλη συσκευασία.

Κάποια κλασσικά παραδείγματα EPA είναι οι χώροι παραγωγής, επεξεργασίας, συναρμολόγησης, ελέγχου, συσκευασίας, αποθήκευσης και μεταφοράς ευαίσθητων ηλεκτρονικών διατάξεων, εγκαταστάσεις που διαχειρίζονται εύφλεκτους διαλύτες ή αέρια, γραφεία, εργαστήρια, χειρουργεία και καθαροί θάλαμοι.

1.2.5.2. Νομοθετικό πλαίσιο για τις EPA

Το νομοθετικό πλαίσιο που περικλείει τις προδιαγραφές και τα μέτρα ασφαλείας μίας EPA έχει οριστεί από διεθνείς επιτροπές, όπως η International Electrotechnical Commission (IEC) , από φορείς όπως το ESD Association που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, αλλά και από την Ευρωπαϊκή επιτροπή προτύπων (EN standards). Οι προϋποθέσεις κατά ISO, από την άλλη,

δεν είναι νομικά δεσμευτικές αλλά αποτελούν ένα καλό κριτήριο για την εφαρμογή σωστών πρακτικών. Τα σχετικά κείμενα αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

1.2.5.3. Γείωση

Ο βασικός στόχος μιας ΕΡΑ είναι η απαλοιφή των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων. Ως εκ τούτου, μια αποτελεσματική γείωση αποτελεί ίσως το πιο βασικό χαρακτηριστικό μίας ΕΡΑ και σε συνδυασμό με μία αλυσίδα μεθόδων και ειδικών υλικών στοιχειοθετούν ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα προστασίας. Ένας γειωμένος αγωγός δεν μπορεί να διατηρήσει το στατικό του φορτίο, έτσι όλα τα αγώγιμα στοιχεία του χώρου, που θα είναι συνδεδεμένα με την κοινή γη, θα βρίσκονται στο ίδιο, θεωρητικά μηδενικό, δυναμικό.

Κάθε ΕΡΑ επιτρέπεται να έχει μόνο μία εγκατάσταση γείωσης. Τυπικά, θα χρειαστούν πολλά σημεία πρόσβασης στην κοινή γη και διασκορπισμένα σε όλο το εύρος της ΕΡΑ για να βρίσκονται κοντά σε κάθε στοιχείο/συσκευή, αλλά και για να διευκολύνουν τη σύνδεση των περικαρπίων των εργαζομένων. Τα σημεία αυτά δεν πρέπει να είναι συμβατά με άλλους τύπους ακροδεκτών, παρά μόνο με αυτούς που προορίζονται για συστήματα γείωσης. Συνδεδεμένα στην κοινή γη θα πρέπει να είναι και δομικά στοιχεία του χώρου, όπως τα θεμέλια και οι σωληνώσεις, αλλά και τυχόν μηχανολογικός εξοπλισμός μεγάλης κλίμακας (πχ σε βιομηχανικές ζώνες). Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στον συχνό έλεγχο της καλής κατάστασης της γείωσης και στη σωστή και επαρκή σήμανση των σημείων σύνδεσης με αυτή (βλ. Εικόνα 10).

Οι μονωτές δεν μπορούν να γειωθούν, οπότε η χρήση τους πρέπει να αποφεύγεται, καθώς είναι ύποπτοι για τη συσσώρευση στατικού φορτίου. Επίσης, σε κάποιες περιπτώσεις, η ηλεκτρική σύνδεση με τη γη όλων των αντικειμένων μπορεί να μην είναι εφικτή. Τότε προτιμάται η σύνδεση όλων των στοιχείων του χώρου μεταξύ τους, η οποία επιτρέπει την εξίσωση του φορτίου στο σύνολο των αντικειμένων.

Εικόνα 10. Σήμανση σημείων γείωσης.

1.2.5.4. Πάγκοι-Επιφάνειες εργασίας

Μία επιφάνεια εργασίας (βλ. Εικόνα 11). μπορεί από μόνη της να αποτελεί μία ολοκληρωμένη προστατευμένη περιοχή από ESD φαινόμενα ή να αποτελεί μέρος μίας ευρύτερης EPA. Είναι ένα σημείο-κλειδί για τους χώρους αυτούς διότι είναι το σημείο με το οποίο έρχεται σε συχνότερη επαφή ο χειριστής και που εναποτίθενται για έλεγχο, επεξεργασία, συσκευασία ή οποιαδήποτε άλλη διαδικασία τα υλικά που διαχειρίζεται ο συγκεκριμένος χώρος.

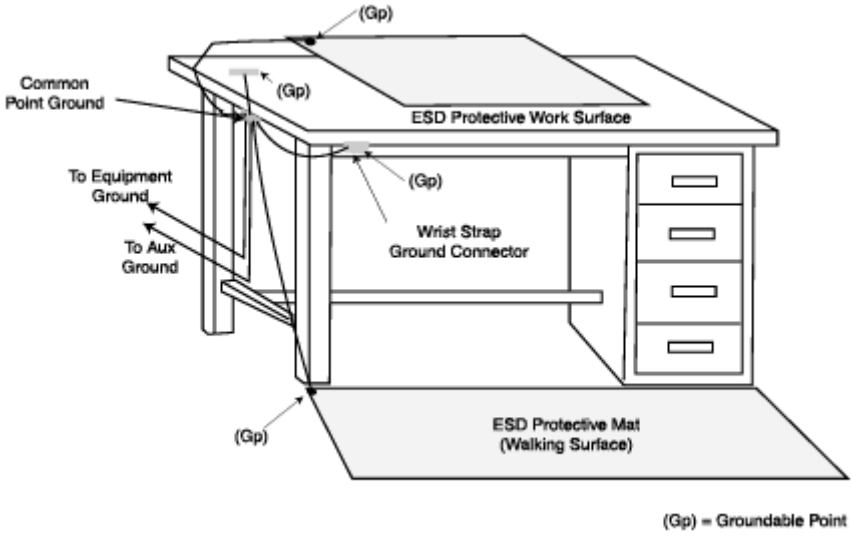
Πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό της επιφάνειας αυτής αποτελεί η γείωσή της. Η σύνδεση με τη γη πρέπει να ελέγχεται συχνά και να διατηρείται σε καλή κατάσταση, να είναι καθαρή και να μην έχει υποστεί φθορές, ειδικά στο σημείο (ή τα σημεία) επαφής με την επιφάνεια. Η σύνδεση με τη γη μέσω άλλων αντικειμένων με τη μέθοδο της αλυσίδας ή μέσω διεπαφών με άλλα αντικείμενα δεν θεωρούνται δόκιμες πρακτικές. Ακόμη, οποιουδήποτε είδους ράφι ή ντουλάπι αποτελεί μέρος του πάγκου εργασίας θα πρέπει να ακολουθεί τις ίδιες προδιαγραφές. Τα μεταλλικά στοιχεία είναι σημαντικό να είναι βαμμένα με αντιστατικό χρώμα.

Ενώ με την πρώτη ματιά κανείς θα πίστευε πως το καλύτερο θα ήταν να χρησιμοποιηθεί μια καθαρά αγώγιμη επιφάνεια, αυτό στην πραγματικότητα είναι λάθος. Με την ύπαρξη πολύ μικρής αντίστασης ελλοχεύει ο κίνδυνος για την ασφάλεια του εξοπλισμού και του προσωπικού σε περίπτωση ταυτόχρονης επαφής του τελευταίου με μία πηγή υψηλής τάσης. Κάτι τέτοιο δεν είναι επιθυμητό, αντιθέτως μια επιφάνεια με αντίσταση τέτοια που να διαχέει το στατικό φορτίο, να

προσφέρει μικρό, άρα και ασφαλές, ρεύμα εκφόρτισης, αλλά και εύλογο χρόνο εκφόρτισης είναι η ιδανική. Επίσης, οι χημικές και μηχανικές και τριβοηλεκτρικές ιδιότητες του υλικού θα πρέπει να παίξουν ρόλο στην επιλογή του.

Στις διάφορες εφαρμογές η επιθυμητή αντίσταση διαφέρει, άρα δεν υπάρχει ένα μόνο ιδανικό υλικό. Στην προσπάθεια, όμως να τεθεί ένα ασφαλές εύρος αυτό ορίστηκε από $1x10^6\Omega$ μέχρι $1x1^9\Omega$ αντίσταση ως προς τη γη και επιφανειακή αντίσταση μεγαλύτερη ή ίση με $1x10^6\Omega$. Οι οδηγίες για τη σωστή μέτρηση των παραπάνω τιμών δίδονται στο πρότυπο ANSI/ESDS4.12006.

Για την εξασφάλιση της ορθής λειτουργίας των πάγκων εργασίας είναι απαραίτητες οι περιοδικές μετρήσεις της αντίστασής του. Υπάρχουν, επιπλέον ηλεκτρονικές συσκευές για τη συνεχή παρακολούθηση της αντίστασης της επιφάνειας και της σύνδεσής της με τη γη. Ακόμη, θα πρέπει να δίνεται βάρος στον καθαρισμό τους με τα σωστά προϊόντα (όχι προϊόντα με κερί), η προφύλαξη από φθορές όπως οπές ή χαρακιές και η απομάκρυνση των εργαλείων μετά την εργασία.



Εικόνα 11. Ενδεικτικός πάγκος εργασίας σε EPA.

1.2.5.5. Σύστημα περικαρπίου - καλωδίου

Το σύστημα περικαρπίου – καλωδίου είναι μία διάταξη η οποία, αν και δεν αποτρέπει τη δημιουργία της ηλεκτροστατικής φόρτισης, βοηθά στην ομαλή διοχέτευση του φορτίου προς τη γη. Αποτελείται από δύο στοιχεία. Πρώτον, το περικάρπιο το οποίο πρέπει να εφαρμόζει καλά στο χέρι του χρήστη, αλλά συνάμα

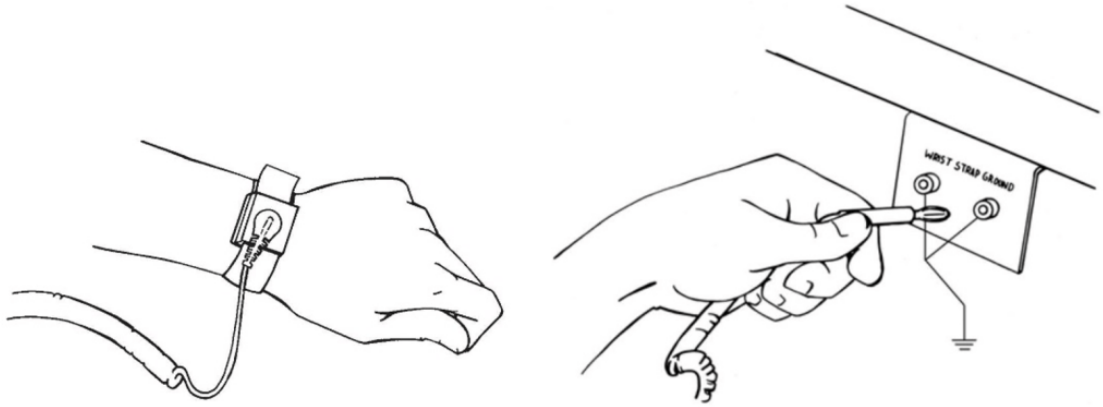
να μην τον ενοχλεί ούτε να τον εμποδίζει στις κινήσεις του. Η εμφανής εξωτερική πλευρά του δεν πρέπει να είναι μεταλλική και για λόγους ασφαλείας. Επειδή μερικοί άνθρωποι έχουν πολύ ξηρό δέρμα, πριν τη χρήση του περικαρπίου μπορούν να εφαρμόσουν μία κρέμα που θα εξασφαλίσει την καλύτερη επαφή. Σε περιπτώσεις καθαρών δωματίων που απαιτείται η χρήση ειδικής στολής, και μόνο τότε, επιτρέπεται το περικάρπιο να φοράται πάνω από αυτή. Δεύτερον, από το καλώδιο που συνδέει το περικάρπιο κατευθείαν με ένα σημείο γείωσης, και όχι μέσω τρίτων γειωμένων αντικειμένων. Στην περίπτωση που ο χρήστης πρέπει να κινηθεί πέρα από τα όρια του καλωδίου, τότε το καλώδιο πρέπει να ξετυλίγεται (κατά προτίμηση από την πλευρά του χρήστη και όχι της γείωσης) με μία τάση από 5N μέχρι 25N. Δεν επιτρέπονται τα καλώδια παλαιότερης τεχνολογίας τα οποία έπρεπε να ξετυλιχθούν ολόκληρα για να παρουσιάσουν την τελική τους αντίσταση. Τα πιο πολλά περικάρπια διαθέτουν στο σημείο σύνδεσης με το καλώδιο έναν αντιστάτη ,συνήθως του 1 ΜΩ, για να εξασφαλίζουν την ασφαλή εκφόρτιση.

Όλο το σύστημα χρήστη-περικαρπίου-καλωδίου θα πρέπει να εμφανίζει μέγιστη αντίσταση προς τη γη ίση με 35ΜΩ. Το περικάρπιο αυτόνομα πρέπει να μην ξεπερνά τα 10 kΩ και το καλώδιο να κυμαίνεται μεταξύ 750 kΩ και 5 ΜΩ. Στις ΕΡΑ που διαχειρίζονται ηλεκτρονικά κυκλώματα πολύ υψηλής ευαισθησίας (λιγότερο από 100 V κατά το HBM) τα όρια αναπροσαρμόζονται από 35 ΜΩ σε 10 ΜΩ.

Τα συχνότερα προβλήματα που μπορεί να αντιμετωπιστούν στη χρήση του συστήματος: 1) Χρήση φθαρμένου περικαρπίου ή/και καλωδίου 2) Χαλαρά περικάρπια με κακή επαφή με το δέρμα 3) Ξηρό δέρμα χρήστη που ανεβάζει τις τιμές της αντίστασης 4) Ακατάλληλη τοποθέτηση περικαρπίου π.χ. πάνω από τα μανίκια.

Ο έλεγχος του συστήματος περικαρπίου-καλωδίου είναι πολύ σημαντικός. Πρέπει να γίνεται κάθε φορά από τον χρήστη πριν ξεκινήσει να δουλεύει με αυτό. Αν, δηλαδή μία εργάσιμη μέρα περιλαμβάνει τρεις βάρδιες τότε το ίδιο σύστημα θα πρέπει να ελεγχθεί τρεις φορές μέσα στην ίδια μέρα. Σε αυτόν τον κανονισμό δημιουργούνται προβληματισμοί για δύο λόγους. Πρώτον, όταν το σύστημα υποβάλλεται σε τεστ από ελεγκτικά μηχανήματα το καλώδιο είναι τυλιγμένο, ενώ πολλές ανωμαλίες στην λειτουργία μπορεί να εμφανίζονται όταν το καλώδιο είναι υπό τάση. Δεύτερον, κατά το μεσοδιάστημα των ελέγχων, όταν δηλαδή το σύστημα χρησιμοποιείται, δεν μπορεί να εντοπιστεί επί τόπου κάποια επικίνδυνη βλάβη. Για

τους παραπάνω λόγους έχουν αναπτυχθεί συσκευές παρακολούθησης των συστημάτων περικαρπίου-καλωδίου σε αληθινό χρόνο και ενημερώνουν τον χρήστη για την αντίσταση αλλά και την επαφή με τη γη (βλ. Εικόνα 12).



Εικόνα 12. Ενδεικτικό σύστημα περικαρπίου-καλωδίου.

1.2.5.6. Υποδήματα

Όταν σε μία ΕΡΑ χρησιμοποιείται δάπεδο που προστατεύει από ESDφαινόμενα, τότε η χρήση των περικαρπίων είναι περιττή. Αυτό ισχύει διότι το σύστημα περικαρπίου-καλωδίου μπορεί να αποδειχθεί άβολο όταν ο χειριστής πρέπει να κινηθεί ελεύθερα στα όρια του χώρου. Σε αυτήν την περίπτωση είναι απαραίτητη η χρήση υποδημάτων ειδικών για την προστασία από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις. Μόνο η περίπτωση κατά την οποία ο χρήστης είναι καθισμένος και τα πόδια του δεν ακουμπάνε στο ειδικό δάπεδο επιβάλλει τη χρήση περικαρπίου με καλώδιο γείωσης.

Οι πιο πολλοί άνθρωποι δεν πατάνε συνεχώς με όλο το πέλμα τους στο έδαφος, γι' αυτό πρέπει να δίνεται έμφαση στην περιοχή των δαχτύλων και της φτέρνας για τη δημιουργία του κατάλληλου «μονοπατιού» του φορτίου προς τη γη. Επίσης, όταν τα ειδικά υποδήματα χρησιμοποιούνται και εκτός της ΕΡΑ μπορεί να συγκεντρώσουν χνούδια από μοκέτες, χώμα ή άλλες ακαθαρσίες οι οποίες επηρεάζουν τις επιδόσεις τους. Επιπλέον, η θερμοκρασία του υποδήματος, αν π.χ. ξεχάστηκε για ώρα σε ένα κρύο περιβάλλον όπως ένα αμάξι το χειμώνα επηρεάζει την αντίστασή του. Άλλος ένας παράγοντας που μπορεί να αλλάξει την αντίσταση του συστήματος πόδι-υπόδημα είναι ο ιδρώτας σε περίπτωση της χρήσης για

πολλή ώρα. Τέλος, η χρήση ESD υποδημάτων πρέπει πάντα να συνοδεύεται από την ταυτόχρονη χρήση ESD δαπέδου.

Γενικά, τα υποδήματα πρέπει να ελέγχονται συχνά, και σίγουρα κάθε φορά πριν τη χρήση. Κατά τον έλεγχο, ο οποίος διεξάγεται από τον ίδιο τον χρήστη, πρέπει να είναι καθαρά και οπτικά άρτια. Ο έλεγχος γίνεται ενώ είναι φορεμένα , μιας και μπορεί να δημιουργηθεί μεγάλη αντίσταση μεταξύ ποδιού και υποδήματος. Κάθε ένα πόδι ελέγχεται ξεχωριστά. Ιδανικές τιμές θεωρούνται αυτές που κινούνται κάτω από την τιμή των 35 ΜΩ. Όταν η EPA διαχειρίζεται υπερευαίσθητο υλικό (λιγότερο από 100 V κατά το HBM) η ελάχιστη τιμή της αντίστασης δεν πέφτει κάτω των 10 ΜΩ.

Πολλές φορές υπάρχει μία σύγχυση μεταξύ αντιστατικών και ESD υποδημάτων. Στην πραγματικότητα τα δεύτερα είναι μια υποκατηγορία των πρώτων. Ενώ, λοιπόν αντιστατικό θεωρείται ένα υπόδημα με αντίσταση μεταξύ 100 kΩ και 1 GΩ, ESDείναι το υπόδημα με αντίσταση από 100 kΩ μέχρι 35 ΜΩ.

1.2.5.7. Ενδυμασία

Το στατικό φορτίο που συσσωρεύεται στα ρούχα είναι ακόμα μία από τις πηγές ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων. Το φορτίο συγκεντρώνεται τριβοηλεκτρικά όταν ο χειριστής εργάζεται, κινείται, κάθεται. Έτσι, πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικά ρούχα που φοριούνται πάνω από αυτά του χειριστή και αποτρέπουν την συσσώρευση στατικού φορτίου. Αυτά τα ενδύματα δεν ενδείκνυνται μόνο για την αποτροπή ESD φαινομένων, αλλά και για την αποφυγή έλξης της σκόνης (σε καθαρούς θαλάμους).

Για την κατασκευή αυτών των ενδυμάτων χρησιμοποιείται ένα πλέγμα από αγώγιμο υλικό (βαμβάκι ή μέταλλο) μέσα σε πολυεστέρα ή μια μίξη των παραπάνω υλικών. Φυσικά, και τα ρούχα εξ ολοκλήρου από βαμβάκι επιτυγχάνουν αυτόν τον σκοπό. Τα μανίκια του προστατευτικού ρουχισμού πρέπει να καλύπτουν τα μανίκια των ρούχων του χειριστή. Επιπλέον, πρέπει να είναι γειωμένα είτε μέσω του σώματος του χειριστή και του περικαρπίου του, είτε με δικό τους καλώδιο που να οδηγεί σε μία γείωση. Τέλος, η αντίστασή τους πρέπει να ελέγχεται συχνά, αφού επηρεάζεται από το πλύσιμο και τον χρόνο. Οι τιμή της μετρούμενης αντίστασης θεωρείται αποδεκτή αν βρεθεί κάτω από 100 GΩ. Φυσικά, όπως και τα υπόλοιπα

αντικείμενα με παρόμοιες ιδιότητες, έτσι και τα συγκεκριμένα ενδύματα φέρουν την αντίστοιχη σήμανση σε εμφανές σημείο.

1.2.5.8. Ιονιστές

Σε περιπτώσεις όπου η γείωση δεν μπορεί να επιτευχθεί εκτεταμένα ή η χρήση μονωτικών υλικών, όπως του πλαστικού, είναι αναπόφευκτη χρησιμοποιείται η μέθοδος του ιονισμού του αέρα. Ένας ιονιστής εκλύει στην ατμόσφαιρα ίσες ποσότητες θετικά και αρνητικά φορτισμένων ιόντων, τα οποία με τη σειρά τους δεσμεύονται από τις φορτισμένες επιφάνειες των διαφόρων υλικών του χώρου και εξουδετερώνουν το στατικό τους φορτίο. Από τη στιγμή που ο ιονιστής χρησιμοποιεί ανακυκλωμένο αέρα από τον ίδιο χώρο, η χρήση του ενδείκνυται και σε καθαρούς θαλάμους.

Ο ιονισμός δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ως πρωτεύουσα προστασία από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις υποκαθιστώντας τη γείωση, αλλά ως μέρος ενός ολοκληρωμένου προγράμματος. Στο πρόσφατο παρελθόν, οι ιονιστές δεν προτιμούνταν λόγω του υψηλού τους κόστους, των προβλημάτων που παρουσίαζαν οι πρώτοι ιονιστές στη λειτουργία τους και της μικρότερης αξιοπιστίας τους σε σχέση με τα περικάρπια ή τα αγώγιμα υποδήματα. Πια, η τεχνολογία έχει αναπτυχθεί και κατασκευάζονται πιο φθηνοί και συνάμα αξιόπιστοι ιονιστές με αποτέλεσμα την ευρεία χρήση τους.

Κάποια είδη ιονιστών είναι τα παρακάτω:

1) Πυρηνικοί ιονιστές. Συνήθως χρησιμοποιούν το Πολώνιο 210 ως ραδιενεργό στοιχείο για την παραγωγή ιόντων. Το στοιχείο είναι ερμητικά κλεισμένο μέσα στον ιονιστή, αλλά ιονίζει την ατμόσφαιρα μέσω της εκπομπής άλφα σωματιδίων, Σε μερικές χώρες η νομοθεσία ελέγχει τη χρήση τέτοιου τύπου ιονιστή.
2) Ιονιστές εναλλασσόμενου ρεύματος. Εκπέμπουν θετικά και αρνητικά φορτισμένα ιόντα που παράγονται από την απότομη εναλλαγή θετικής και αρνητικής τάσης σε μία συχνότητα λειτουργίας 50/60 Hz.
3) Ιονιστές συνεχούς ρεύματος. Αποτελούνται από ξεχωριστούς πομπούς θετικών και αρνητικών ιόντων που ενώνονται με ένα ζεύγος καλωδίων υψηλής τάσης στην παροχή τους.

4) Ιονιστές παλλόμενου συνεχούς ρεύματος. Παράγουν ιόντα και των δύο πολικοτήτων από έναν και μόνο πομπό ή ένα ζεύγος πομπών. Εναλλάσσοντας σχετικά αργά την πολικότητα με έναν ρυθμό κάτω των 10Hz ο ρυθμός με τον οποίο τα εκλυόμενα ιόντα επανασυνδέονται είναι πολύ μικρός.

Οι ιονιστές μπορεί να είναι επιτραπέζιοι και φορητοί, εγκατεστημένοι στο σύστημα αερισμού του χώρου ή πάνω από πάγκους εργασίας. Τα κύρια κριτήρια για την επιλογή τους είναι το κόστος, το μέγεθος, η ευαισθησία, η ροή αέρα, το περιβάλλον χρήσης, η δυνατότητα αποφόρτισης και το ισοζύγιο των παραγόμενων ιόντων.

1.2.5.9. Σήμανση

Για τη σωστή και ασφαλή εργασία μέσα σε έναν χώρο που προστατεύεται από ηλεκτροστατικές εκκενώσεις είναι απαραίτητη η επαρκής και ορθή σήμανση όλων των στοιχείων του. Αρχικά, τα ίδια τα όρια του παραπάνω χώρου θα πρέπει να είναι σαφώς προσδιορισμένα με τη χρήση αυτοκόλλητων ταινιών και σημάνσεων, αν στον εν λόγω χώρο εμφανίζονται υψηλές τάσεις, αυτό πρέπει επίσης να σημαίνεται. Αντίστοιχα, αν κάποια επιφάνεια μέσα σε αυτόν τον χώρο δεν πληροί τις προϋποθέσεις ασφαλείας αυτό θα πρέπει να αναφέρεται εμφανώς. Συσκευές εντός τις περιοχής οι οποίες εμφανίζουν ευαισθησία σε ESD φαινόμενα ξεχωρίζουν από τις υπόλοιπες με τις αντίστοιχες ταμπέλες. Αντικείμενα πιστοποιημένα για χρήση σε EPA, όπως ειδικός ρουχισμός ή εξοπλισμός γραφείου πρέπει να φέρουν την αντίστοιχη σήμανση (βλ. Εικόνα 13). σε εμφανές σημείο. Σημεία σύνδεσης με το κοινό σύστημα γείωσης, χώροι που διεξάγονται οι καθημερινοί έλεγχοι αντίστασης του εξοπλισμού και ταμπέλες στις οποίες αναγράφονται οι χρόνοι εκτέλεσης των ελέγχων είναι απαραίτητες.

Εικόνα 13. Διάφορες σημάνσεις σε EPA.

1.2.5.10. Εκπαίδευση προσωπικού

Ενώ τα φαινόμενα ηλεκτροστατικής εκφόρτισης είναι καθημερινά, πολλά από αυτά συμβαίνουν σε κλίμακα που δεν μπορεί να γίνει αντιληπτή από τις ανθρώπινες αισθήσεις. Αυτό δεν τα καθιστά, όμως λιγότερο επικίνδυνα για τις ευαίσθητες συσκευές και τα μικροκυκλώματα. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη η εκπαίδευση του προσωπικού που εργάζεται στις EPA, έτσι ώστε η προστασία από ESD φαινόμενα να γίνει γι' αυτούς τρόπος σκέψης.

Η εκπαίδευση αυτή, θεωρητική και πρακτική, θα πρέπει να είναι προσαρμοσμένη στο γνωστικό επίπεδο και τον ρόλο του εκάστοτε εργαζομένου. Σε γενικές γραμμές, ένα πρόγραμμα εκπαίδευσης που περιλαμβάνει όλους τους τομείς του ελέγχου της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης αποτελείται από τα εξής επίπεδα:

1^{ο} επίπεδο: Αφορά άτομα που μπορεί να κινηθούν στις EPA χωρίς επίβλεψη για μικρό χρονικό διάστημα, πχ πελάτες, μεταφορείς, προσωρινοί εργαζόμενο κλπ. και περιλαμβάνει τα βασικά σημεία προσοχής και τον τρόπο χρήσης των διαφόρων μέτρων όπως τα ειδικά περικάρπια ή υποδήματα.

2ο επίπεδο: Αφορά το μόνιμο προσωπικό που εργάζεται στις EPA. Περιλαμβάνει θεωρητική και πρακτική κατάρτιση όλων των μέτρων αποφυγής ESD φαινομένων.
3ο επίπεδο: Ακολουθεί την εκπαίδευση επιπέδου 2 και αφορά το προσωπικό που εργάζεται σε πιο ευαίσθητους τομείς, όπως αυτός των επισκευών .

Η εκπαίδευση θα πρέπει να εκτελείται από ειδικά καταρτισμένο προσωπικό και η διατήρηση της γνώσης να εξασφαλίζεται μέσω περιοδικών μετεκπαιδεύσεων.

1.2.6. Καθαροί θάλαμοι – Cleanrooms

Όταν αναφερόμαστε σε καθαρούς θαλάμους, εννοούμε χώρους οι οποίοι αποτελούν ελεγχόμενα περιβάλλοντα και στεγάζουν επιστημονικές ή τεχνολογικές δραστηριότητες, ελέγχοντας παράλληλα το επίπεδο των ρύπων όπως σκόνη, αερόβια μικρόβια κλπ. Το επίπεδο αυτό καθορίζεται από τον αριθμό των σωματιδίων ανά κυβικό μέτρο σε συγκεκριμένο μέγεθος σωματιδίου (βλ. Πίνακα 5). Οι καθαροί θάλαμοι λοιπόν κατηγοριοποιούνται με βάση τα παραπάνω επίπεδα. Επίσης, σημαντική είναι και η διατήρηση παραμέτρων όπως η θερμοκρασία. Η υγρασία και η πίεση του χώρου σε καθορισμένες τιμές.

Πίνακας 5. Κατηγοριοποίηση καθαρών θαλάμων.

ISO classification number (*N*)	Maximum concentration limits (particles/m³ of air) for particles equal to and larger than the considered sizes shown below (concentration limits are calculated in accordance with equation (1) in 3.2)					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
ISO Class 1	10	2				
ISO Class 2	100	24	10	4		
ISO Class 3	1 000	237	102	35	8	
ISO Class 4	10 000	2 370	1 020	352	83	
ISO Class 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
ISO Class 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
ISO Class 7				352 000	83 200	2 930
ISO Class 8				3 520 000	832 000	29 300
ISO Class 9				35 200 000	8 320 000	293 000
NOTE Uncertainties related to the measurement process require that concentration data with no more than three significant figures be used in determining the classification level						

Οι καθαροί θάλαμοι χρησιμοποιούνται σε όποια εφαρμογή μπορεί να επηρεαστεί δυσμενώς από την ύπαρξη σωματιδίων. Τέτοια παραδείγματα

αποτελούν χώροι που διαχειρίζονται ευαίσθητο υλικό όπως φαρμακοβιομηχανίες, βιομηχανίες ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, βιοτεχνολογίας, αεροναυπηγικής ή στρατιωτικές εφαρμογές.

Η προσπάθεια για την επίτευξη υψηλής ποιότητας προϊόντων στους καθαρούς θαλάμους προϋποθέτει και την ελαχιστοποίηση της συγκέντρωσης στατικών φορτίων. Τα μη ελεγχόμενα φορτία ευθύνονται για την επιμόλυνση της ατμόσφαιρας με μικροσωματίδια, για βλάβες του εξοπλισμού και των προϊόντων από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις, αλλά και για παρεμβολές στους αυτοματισμούς παραγωγής. Ως εκ τούτου, οι καθαροί θάλαμοι βρίσκονται ένα σκαλί πάνω από τις EPA, στην κλίμακα της προφύλαξης από ESD φαινόμενα, με τα απαραίτητα μέτρα που λαμβάνονται να είναι ακόμα πιο αυστηρά.

1.3. Δάπεδα

1.3.1. Είδη δαπέδων

Τα διάφορα δάπεδα που διατίθενται στην αγορά με κριτήριο τις ηλεκτρικές, χημικές και μηχανικές ιδιότητες που εμφανίζουν, επιλέγονται για διαφορετικούς σκοπούς στο βιομηχανικό, ιατρικό ή οποιοδήποτε άλλο περιβάλλον. Στην παρούσα ανάλυση θα γίνει κατηγοριοποίηση των διαφόρων ειδών δαπέδων με βάση την ηλεκτρική τους αντίσταση, η οποία αποτελεί και το μέτρο σύγκρισης των ιδιοτήτων τους.

1.3.1.1. Μονωτικά δάπεδα

Η συγκεκριμένη κατηγορία αναφέρεται σε δάπεδα που παρουσιάζουν τοπική αντίσταση μόνωσης R_{st}>50KΩ, μετρούμενη ανάμεσα στην πάνω επιφάνεια του δαπέδου και τη γη. Προορίζονται για χρήση μπροστά σε ηλεκτρικούς πίνακες και γενικά σε περιοχές που απαιτείται προστασία του προσωπικού από υψηλές τάσεις και από τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας. Με τη χρήση μονωτικού δαπέδου δημιουργείται ένα ‘φράγμα’ μεταξύ της πηγής υψηλής τάσης και του εδάφους, που δεν επιτρέπει τη ροή ρεύματος από το πρώτο στο δεύτερο μέσω του αγώγιμου ανθρώπινου σώματος. Τα μονωτικά δάπεδα υποβάλλονται σε μία σειρά δοκιμών

που πιστοποιούν την ποιότητά τους και βοηθούν στην κατηγοριοποίησή τους. Οι εν λόγω κατηγορίες παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6. Κλάσεις μονωτικών δαπέδων.

ΚΛΑΣΕΙΣ ΣΥΜΦΩΝΩΣ IEC61111	ΤΕΣΤ	ΜΑΧ ΑC ΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΤΕΣΤ ΑΝΤΟΧΗΣ
ΚΛΑΣΗ 0	5KV	1000V – LV Low Voltage	10KV
ΚΛΑΣΗ 1	10KV	7500V – MV Medium Voltage	20KV
ΚΛΑΣΗ 2	20KV	17000V – MV Medium Voltage	30KV
ΚΛΑΣΗ 3	30KV	26500V – MV Medium Voltage	40KV
ΚΛΑΣΗ 4	40KV	36000V – HV High Voltage	50KV

1.3.1.2. Αγώγιμα δάπεδα

Η κατηγορία αυτή αφορά τα δάπεδα που παρουσιάζουν αντίσταση γείωσης $R_e<10^8\Omega$, η οποία αποτελεί την αντίσταση μόνωσης μετρούμενη ανάμεσα στην πάνω επιφάνεια του δαπέδου και τη γη. Λόγω της μικρής τιμής ηλεκτρικής αντίστασης, τα αγώγιμα δάπεδα έχουν την ιδιότητα να συγκεντρώνουν το ηλεκτρικό φορτίο και να το οδηγούν προς τη γη. Το γεγονός πως δεν επιτρέπουν τη μηδαμινή

συσσώρευση στατικού φορτίου τα καθιστά απαραίτητα για χώρους με υψηλές απαιτήσεις σε αντιστατικό έλεγχο όπως τα χειρουργεία, οι καθαροί θάλαμοι και οι χώροι που περιέχουν εκρηκτικές ύλες. Αποτελούνται από υλικό PVC εμπλουτισμένο με σωματίδια άνθρακα. Η εφαρμογή τους γίνεται με αγώγιμη κόλλα, πλέγμα χαλκού και γείωση. Οι ενώσεις των πλακιδίων θερμοκολλούνται για τη βέλτιστη συνοχή.

1.3.1.3. Ημιαγώγιμα δάπεδα

Αυτή η κατηγορία αφορά κυρίως μοκέτες με κατακόρυφη αντίσταση $R_{dt}<10^9\Omega$, μετρούμενη ανάμεσα στην πάνω και κάτω επιφάνεια της μη τοποθετημένης μοκέτας.

1.3.1.4. Αντιστατικά δάπεδα

Στην πραγματικότητα, η κατάταξη των δαπέδων με βάση την ηλεκτρική τους αντίσταση και τις αντιστατικές τους ιδιότητες δεν είναι απόλυτη, και αυτό διότι διαφέρει ανάλογα με το ποιος διεξάγει τη μέτρηση, τον σκοπό για τον οποίο δίνεται μια πιστοποίηση, αλλά και συμφώνως ποιου προτύπου γίνονται οι μετρήσεις.

Τα χαρακτηριστικά ενός αντιστατικού δαπέδου είναι τα εξής: α) δεν θα πρέπει να παράγει ηλεκτροστατική φόρτιση κατά την τριβή του με άλλα αντικείμενα, όπως υποδήματα και πόδια καρεκλών. β) πρέπει να προσφέρει άμεση διαδρομή για την εκφόρτιση προς τη γη και γ) να προσαρμόζεται στα εκάστοτε νομοθετικά πλαίσια.

Ένα αντιστατικό δάπεδο είναι σημαντικό να διασκορπίζει το ηλεκτροστατικό φορτίο στην επιφάνειά του και μετά να το οδηγεί προς τη γη με μη βίαιο, αλλά ελεγχόμενο τρόπο. Αυτός είναι ο λόγος που σε πολλές εφαρμογές προτιμώνται τα αντιστατικά έναντι των αγώγιμων δαπέδων, αφού τα πρώτα παρουσιάζουν τιμές ηλεκτρικής αντίστασης σε ένα φάσμα τέτοιο ώστε να προσφέρουν αυτήν την ‘ασφαλή’ εκφόρτιση.

1.3.1.4.1. Τύποι και υλικά αντιστατικών δαπέδων

Τα αντιστατικά δάπεδα απαντώνται στην αγορά συνήθως με τη μορφή των πλακιδίων, των ρολών αλλά και σε χυτή μορφή. Σε περιπτώσεις χώρων εργασίας όπως γραφεία χρησιμοποιούνται αντιστατικά χαλιά. Το υλικό της επιφάνειας δεν

παίζει τόσο ρόλο από μόνο του, όσο το ολικό σύστημα που διαμορφώνει σε συνδυασμό με τα υλικά της επίστρωσης. Αν και τα συστήματα των αντιστατικών επιστρώσεων υποβάλλονται συχνά σε δοκιμές, τα αποτελέσματα από τις αντίστοιχες δοκιμές μεμονωμένων των μερών που τα απαρτίζουν δεν θα δώσουν τα ίδια αποτελέσματα. Ως εκ τούτου, κατά την επιλογή του κατάλληλου αντιστατικού δαπέδου, δεν είναι μόνο η επιφανειακή επίστρωση που πρέπει να ληφθεί υπόψιν.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι το βινύλιο, το PVC και το ελαστικό. Πολλές φορές, για να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή αγωγιμότητας, η μεγάλη διάρκεια ζωής και η μηχανική αντοχή, χρησιμοποιούνται αγώγιμα πρόσθετα, όπως ο άνθρακας και τα ρινίσματα σιδήρου. Κατά την εγκατάσταση, πολλές φορές τοποθετούνται μεταλλικά πλέγματα, συνήθως από χαλκό, στο υπόστρωμα σε συνδυασμό με αγώγιμη κόλλα. Αυτά τα πλέγματα είναι συνδεδεμένα και με μία γείωση.

1.3.1.4.2. Συντήρηση αντιστατικών δαπέδων

Η σωστή συντήρηση είναι εξίσου σημαντική με την εγκατάσταση. Μέσω της επιμελούς συντήρησης όχι μόνο παρατείνεται ο χρόνος ζωής του δαπέδου, αλλά και διατηρούνται τα αντιστατικά χαρακτηριστικά του. Καθαριστικά που περιέχουν αμμωνία έχουν την ιδιότητα να φθείρουν τα μεταλλικά μέρη, ενώ η σιλικόνη επικάθεται στις επαφές και απομειώνει την αγωγιμότητα. Η χρήση βερνικιών και κεριών επίσης δεν ενδείκνυται για τους ίδιους λόγους, παρά μόνο αν πρόκειται για ειδικά προϊόντα. Τέλος, ο καθαρισμός με ρίψη άφθονου νερού δεν επιτρέπεται, αλλά προτιμάται το σφουγγάρισμα και το σκούπισμα.

1.3.1.4.3. Αντιστατικά δάπεδα και σχετική υγρασία

Σε ό,τι αφορά τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση των φαινομένων ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων, συμπεριλαμβανομένων και των αντιστατικών δαπέδων, ο παράγοντας της σχετικής υγρασίας του χώρου είναι καθοριστικός. Η ιδιαιτέρως ξηρή ατμόσφαιρα, που συναντάται συχνά σε ψυχρά μη ωκεάνια κλίματα, μπορεί να ευνοήσει τη συσσώρευση φορτίου και τη δημιουργία υψηλών δυναμικών, να εμποδίσει την ελεύθερη κίνηση-διάχυση των πλεοναζόντων φορτίων, και επομένως να καταστήσει ένα αντιστατικό δάπεδο αναποτελεσματικό.

Ένα ασφαλές κατώτερο όριο σχετικής υγρασίας στο οποίο τα πιο πολλά υλικά διατηρούν τις αντιστατικές τους ιδιότητες έχει καθοριστεί περί το 20%. Επομένως, τα χρησιμοποιούμενα υλικά θα πρέπει να επιλέγονται και με το κριτήριο της αποτελεσματικότητας σε συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος. Η διατήρηση της σχετικής υγρασίας μιας ΕΡΑ σε υψηλά επίπεδα δεν θεωρείται αποδεκτή μέθοδος προστασίας από ESDφαινόμενα, καθώς κάτι τέτοιο μπορεί μακροχρόνια να προκαλέσει φθορές στα υλικά, όπως διάβρωση.

Το πώς θα αντιδράσει ένα υλικό στην αλλαγή της σχετικής υγρασίας ποικίλει ανάλογα με τη φύση του. Σε γενικό πλαίσιο, υλικά με χαμηλή ηλεκτρική αντίσταση (αντίσταση επιφανείας $<10^7$ Ω) θα παρουσιάσουν ελάχιστες αλλαγές στην αντίστασή τους. Αντιθέτως, υλικά λιγότερο αγώγιμα θα υποστούν σημαντικότερες αλλαγές και συγκεκριμένα θα παρατηρηθεί αύξηση της ηλεκτρικής τους αντίστασης όσο η σχετική υγρασία μειώνεται. Το παραπάνω φαινόμενο δεν είναι γραμμικό, ενώ σε αλλαγές της σχετικής υγρασίας από 20% μέχρι 30% η αντίσταση του υλικού μπορεί να αλλάξει μέχρι και δύο τάξεις, από 40% και πάνω, η αλλαγή αυτή επιφέρει μικρότερες συνέπειες. Κάτω από 20% οι αλλαγές συνεχίζονται. Κάποια φυσικά υλικά όπως το βαμβάκι επηρεάζονται σημαντικά και με αλλαγές μικρής κλίμακας στη σχετική υγρασία του χώρου μπορούν να παρουσιάσουν πολύ μεγάλες διαφοροποιήσεις στην αντίσταση.

Σε ΕΡΑ στις οποίες οι συνθήκες είναι ελέγξιμες μία ικανοποιητική τιμή για τη σχετική υγρασίας είναι το 50%. Φυσικά, οι συνθήκες αυτές καλό είναι να παραμένουν όσο το δυνατό αμετάβλητες, όπου αυτό μπορεί να ρυθμιστεί, με σκοπό την σταθερή συμπεριφορά των υλικών.

2. Πειραματικές διατάξεις και διαδικασίες μετρήσεων επί αντιστατικών δαπέδων.

Τα επιμέρους στοιχεία και οι συνθήκες υπό τις οποίες εκπονούνται τα πειράματα για τη μέτρηση της ωμικής αντίστασης των αντιστατικών δαπέδων ποικίλουν. Κάθε ερευνητής μπορεί να επιλέξει τη μέθοδο που ταιριάζει στις απαιτήσεις του πειράματος και εξυπηρετεί τους ερευνητικούς σκοπούς του. Σε ό,τι αφορά, όμως την πιστοποίηση υλικών και την απόδειξη πως τα τελευταία

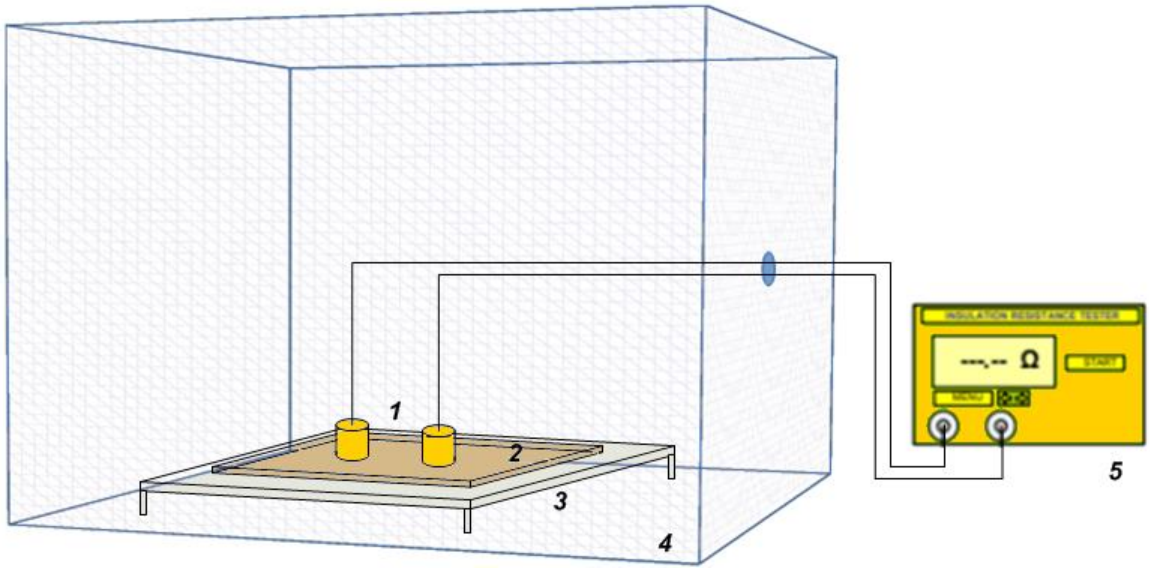
υπόκεινται στο ισχύον νομικό πλαίσιο κάθε χώρας, οι μέθοδοι που ακολουθούνται πρέπει να είναι σαφώς καθορισμένοι και οι πρακτικές διεξαγωγής των πειραμάτων σαφείς.

2.1. Η επιρροή της σχετικής υγρασίας στις μετρήσεις

Κατά τη διεξαγωγή πειραμάτων με σκοπό την εξέταση της συμπεριφοράς των αντιστατικών δαπέδων σε διαφορετικές συνθήκες σχετικής υγρασίας θα πρέπει αρχικά κα καθορίσουμε σαφώς τα όρια στα οποία θα κινηθεί το πείραμα. Σε συνθήκες πολύ υψηλής σχετικής υγρασίας, όπου συχνά μπορεί να δημιουργηθεί στην επιφάνεια του δοκιμίου ένα λεπτό υδάτινο φιλμ θα πρέπει να δοθεί προσοχή έτσι ώστε η μετρούμενη αντίσταση να είναι αυτή του υλικού και όχι της επηρεασμένης από την υγρασία επιφάνειάς του ή του γύρω χώρου. Τα υλικά θα πρέπει να μετρούνται μεταξύ της υψηλότερης και της χαμηλότερης τιμής σχετικής υγρασίας κατά τις οποίες αναμένεται να λειτουργήσουν και κατά προτίμηση σε θερμοκρασίες κοντά στη θερμοκρασία λειτουργίας τους. Η μέτρηση μετά την αλλαγή της μεταβλητής της σχετικής υγρασίας δεν πρέπει να λαμβάνεται σε μικρό χρονικό διάστημα, ώστε το δοκίμιο να έχει το χρόνο να ισορροπήσει στις νέες συνθήκες και η μέτρηση να είναι το δυνατόν πιο αξιόπιστη.

2.2. Πειραματική διάταξη

Σκοπός του εν λόγω πειράματος είναι η εξέταση της επιρροής που ασκεί η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία του χώρου στην μετρούμενη αντίσταση αντιστατικών δαπέδων. Για τις ανάγκες του πειράματος θα χρησιμοποιηθούν δύο διαφορετικά δοκίμια με διαφορετικά χαρακτηριστικά υλικού. Τα δοκίμια τοποθετούνται πάνω σε μη αγώγιμο υπόστρωμα και μέσα σε θάλαμο ρυθμιζόμενων συνθηκών. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας επιλέγεται η μέτρηση της αντίστασης επιφανείας. Τα δοκίμια θα δοκιμαστούν το κάθε ένα ξεχωριστά σε διαφορετικές μετρήσεις εκάστης αντίστασης υπό διαφορετικές συνθήκες σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας. Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων θα χρησιμοποιηθεί η διάταξη της εικόνας 14.



Εικόνα 14. Διάταξη μέτρησης αντίστασης επιφανείας 1:Ηλεκτρόδια, 2: Δοκίμιο, 3: Μη-αγώγιμο υπόστρωμα, 4: Θάλαμος τεχνητών συνθηκών περιβάλλοντος, 5: Όργανο μέτρησης αντίστασης μόνωσης.

Τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται πάνω στο προς μέτρηση δοκίμιο σε απόσταση 10cm μεταξύ τους και συνδέονται με τους ακροδέκτες του οργάνου μέτρησης. Μεταξύ των ηλεκτροδίων εφαρμόζεται σταθερή τάση 100V για σταθερό χρονικό διάστημα.

2.3. Πειραματικά αποτελέσματα και Συμπεράσματα

Με σκοπό να μελετηθεί η επίδραση της θερμοκρασίας στην μέτρηση της αντίστασης στη συνέχεια παρουσιάζονται αποτελέσματα των μετρήσεων μετά την κατάλληλη επεξεργασία τους για διάφορες τιμές της θερμοκρασίας και για τιμές της σχετικής υγρασίας από 45% έως 90 % για το δοκίμιο 1 και από 25% έως 35% για το δοκίμιο 2.

Δοκίμιο 1:

Πίνακας 7: Τιμές της Αντίστασης για διάφορες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας περιβάλλοντος.

Θερμοκρασία (ºC)	Σχετική Υγρασία (%)	Αντίσταση (GΩ)
23,3	45	3,92
24,3	45	3,74
19,4	50	5,59
19,9	50	5,23
21	50	4,98
21,4	50	4,31
22,3	50	4,09
25,7	50	3,45
25,9	50	3,45
20,1	55	5,02
20,7	55	4,61
25,9	55	3,42
26	55	3,31
26,1	55	3,22
20,3	60	4,84
20,5	60	4,94
25,3	60	2,74
25,4	60	2,75
20,3	65	4,19
25,3	65	2,33
26	65	971
26,4	65	2,1
20,6	70	2,87
25,3	70	1,61
25,3	75	0,595
20,8	75	1,44
21,8	85	0,151
25,2	85	0,0622
22,2	90	0,0879
23,1	90	0,0406
24	90	0,0161

Δοκίμιο 2:

Πίνακας 8: Τιμές της Αντίστασης για διάφορες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας περιβάλλοντος.

Θερμοκρασία (ºC)	Σχετική Υγρασία (%)	Αντίσταση (GΩ)
22	25	3,19
27,5	25	2,08
31	25	1,59
40	25	1,17
21	30	3,87
25	30	2,54
35	30	1,32
20,5	35	3,98
37	35	1,24
40	35	1,42
16	45	8,39
16,6	45	8,29
17	45	7,59
18	45	6,44
19	45	5,62
40	45	1,15

Με σκοπό να μελετηθεί η επίδραση της σχετικής υγρασίας στη μέτρηση της αντίστασης στη συνέχεια παρουσιάζονται αποτελέσματα των μετρήσεων μετά την κατάλληλη επεξεργασία της για διάφορες τιμές της σχετικής υγρασίας και για τιμές της θερμοκρασίας 20 ºC και 25 ºC για το δοκίμιο 1 και 40 ºC για το δοκίμιο 2.

Δοκίμιο 1:

Πίνακας 9:Τιμές της Αντίστασης για διάφορες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας περιβάλλοντος.

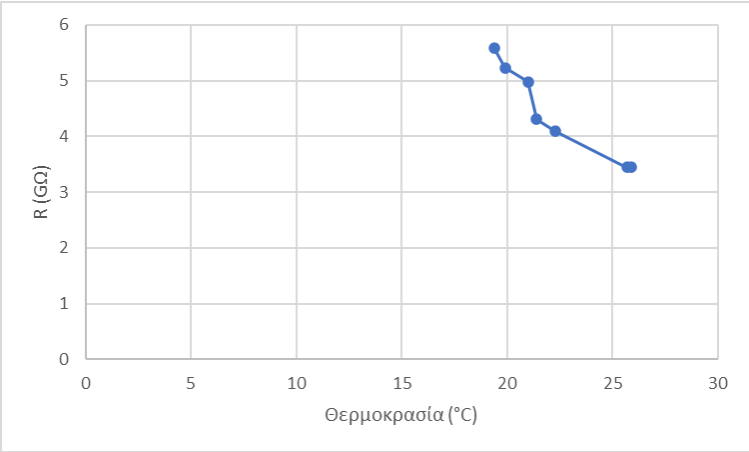
Θερμοκρασία (ºC)	Σχετική Υγρασία (%)	Αντίσταση (GΩ)
20	48	4,09
20	48,2	5,59
20	48,9	4,98
20	50	4,31
20	51	5,23
20	53,8	5,02
20	56	4,61
20	57,6	4,94
20	60,1	4,84
20	65,4	4,19
20	70,4	2,87
20	76,8	1,44
20	81,5	0,590
20	86,1	0,151
20	88,5	0,0879
25	46,1	3,92
25	46,1	3,74
25	50,3	3,45
25	50,7	3,45
25	53	3,42
25	53,6	3,31
25	56,6	3,22
25	58	2,75
25	60	2,74
25	63,2	2,33
25	65	971
25	67	2,1
25	69	1,61
25	76,5	0,595
25	84,5	0,0622
25	87,7	0,0406
25	89	0,0161

Δοκίμιο 2:

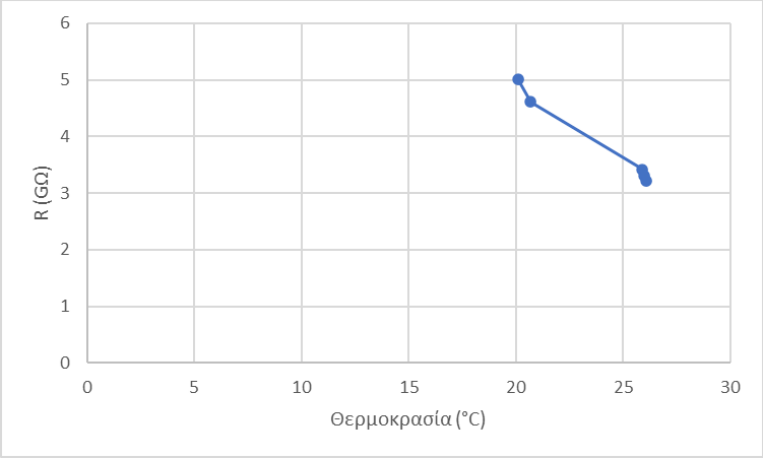
Πίνακας 10: Τιμές της Αντίστασης για διάφορες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας περιβάλλοντος.

Θερμοκρασία (ºC)	Σχετική Υγρασία (%)	Αντίσταση (GΩ)
40	26	1,17
40	35	1,42
40	44	1,15
40	50	0,173
40	51	0,229
40	51	0,652
40	52	0,436

Παρατηρώντας τα στοιχεία του πίνακα 7 καθώς επίσης και τα διαγράμματα 1 και 2 που ακολουθούν προκύπτει ότι για το δοκίμιο 1 η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μείωση της τιμής της αντίστασης, για σταθερή τιμή σχετικής υγρασίας.

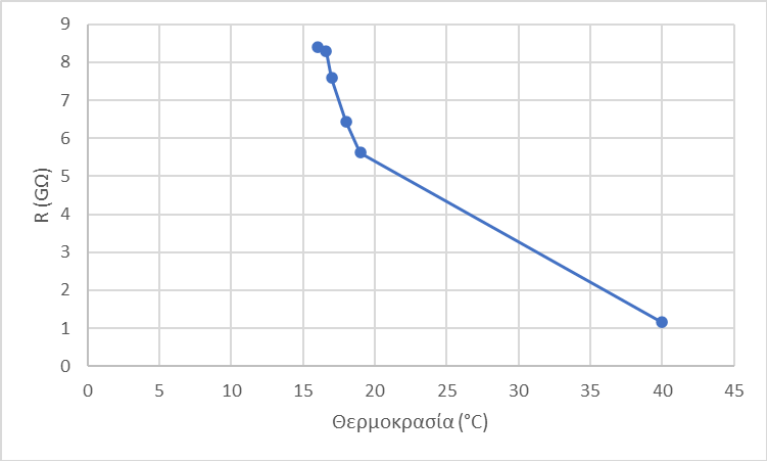


Διάγραμμα 1. Μεταβολή της αντίστασης του δοκιμίου 1 σε σχέση με την θερμοκρασία για Σ.Υ. 50%.



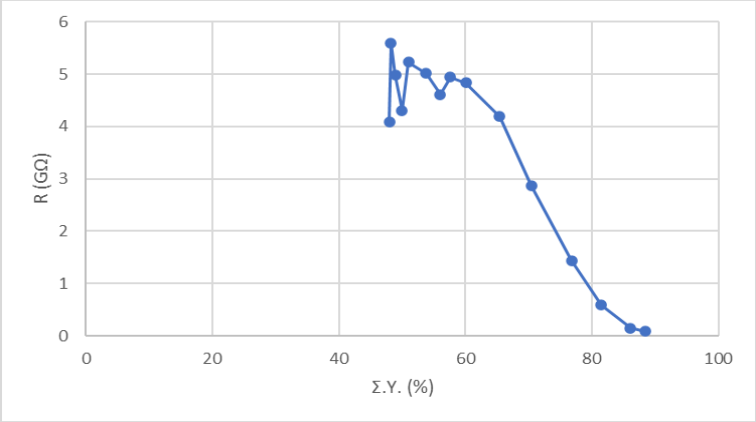
Διάγραμμα 2. Μεταβολή της αντίστασης του δοκιμίου 1 σε σχέση με την θερμοκρασία για Σ.Υ. 55%.

Παρατηρώντας τα στοιχεία του πίνακα 8 καθώς επίσης και το διάγραμμα 3 που ακολουθεί προκύπτει ότι και για το δοκίμιο 2 η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μείωση της τιμής της αντίστασης, για σταθερή τιμή σχετικής υγρασίας.

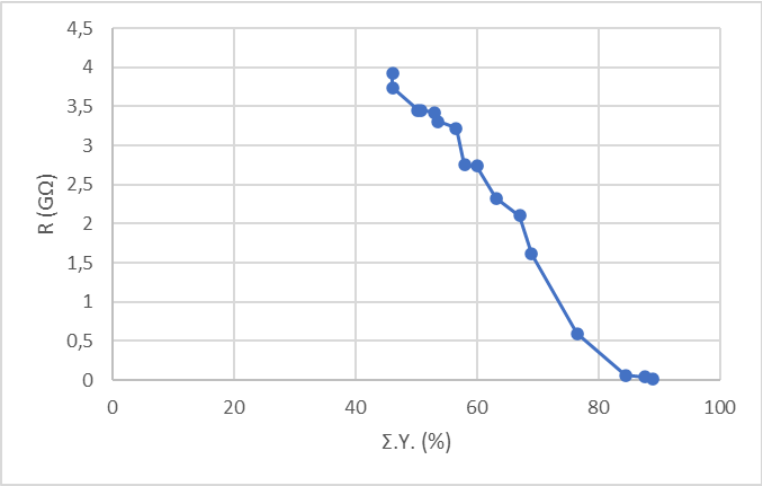


Διάγραμμα 3. Μεταβολή της αντίστασης του δοκιμίου 2 σε σχέση με την θερμοκρασία για Σ.Υ. 45%.

Σχετικά με την μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την μεταβολή της σχετικής υγρασίας παρατηρώντας τα στοιχεία του πίνακα 9 καθώς επίσης και τα διαγράμματα 4 και 5 που ακολουθούν προκύπτει ότι για το δοκίμιο 1 η αύξηση της σχετικής υγρασίας οδηγεί σε μείωση της τιμής της αντίστασης, για σταθερή τιμή της θερμοκρασίας.

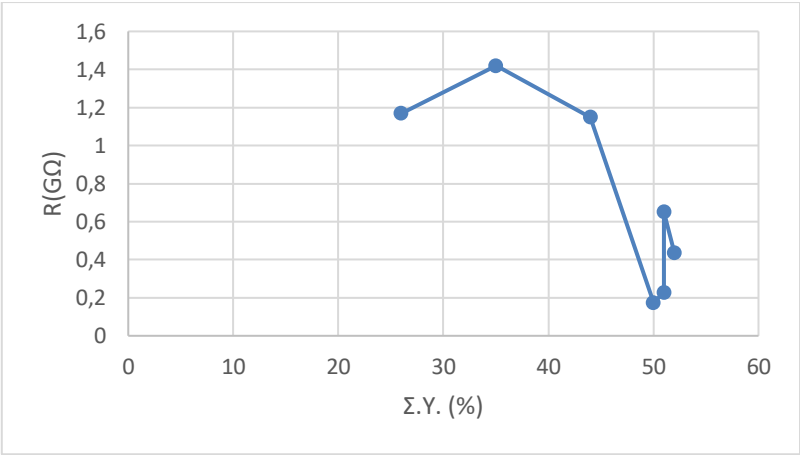


Διάγραμμα 4. Μεταβολή της αντίστασης του δοκιμίου 1 σε σχέση με την Σ.Υ. για θερμοκρασία 20°C.



Διάγραμμα 5. Μεταβολή της αντίστασης του δοκιμίου 1 σε σχέση με την Σ.Υ. για θερμοκρασία 25°C.

Παρατηρώντας τα στοιχεία του πίνακα 10 καθώς επίσης όπως αυτά απεικονίζονται γραφικά στο διάγραμμα 6 προκύπτει ότι και για το δοκίμιο 2 η αύξηση της σχετικής υγρασίας οδηγεί σε μείωση της τιμής της αντίστασης, για σταθερή τιμή της θερμοκρασίας.



Διάγραμμα 6. Μεταβολή της αντίστασης του δοκιμίου 2 σε σχέση με την Σ.Υ. για θερμοκρασία 40°C.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ανωτέρω αποτελούν μια ένδειξη του ότι τόσο η αύξηση της θερμοκρασίας όσο και αυτή της σχετικής υγρασίας οδηγεί σε μείωση της μετρούμενης τιμής της επιφανειακής αντίστασης. Για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σχετικά με την επίδραση των ανωτέρω παραγόντων τόσο στη μετρούμενη τιμή της επιφανειακής αντίστασης όσο και στην ίδια την αντίσταση του υπό μελέτη υλικού η ανωτέρω διαδικασία θα πρέπει να γίνει σε ένα μεγάλο αριθμό δοκιμίων διαφόρων τύπων και κατασκευαστών.

Βιβλιογραφία

[1] 61340-5-2 Protection of electronic devices from electrostatic phenomena. User guide[2007].

[2] Oleg Semenov, Hossein Sanbishaei, Manoj Sachdev, “ESD Protection Device and Circuit Design for Advanced CMOS Technologies” ,Springer[2008].

[3] Ulrich von Pidoll, “An overview of standards concerning unwanted electrostatic discharges”, Journal of Electrostatics [2009].

[4] AtiehTalebzadeh, Abhishek Patnaik, Xu Gao, Mahdi Moradian, David E. Swenson, David Pommerenke, “Dependence of ESD Charge Voltage on Humidity in Data Centers: Part II—Data Analysis” [2015].

[5] Αραμπατζής Ε., “Διαδικασίες για τον Ελεγχο του Στατικού Ηλεκτρισμού και για Δοκιμές της Αντίστασης Γείωσης και Μόνωσης”, Θεσσαλονίκη [2004].

[6] Graham Hearn, “Static Electricity, Guidance for Plant Engineers”, Wolfson Electrostatics Limited [2002].

[7] J. Paasi, S. Nurmi, R. Vuorinen, S. Strengell, P. Maijala, “Performance of ESD protective materials at low relative humidity”, Journal of Electrostatics [2001].

[8] Ιωάννης Γ. Βλάχος, “Επίδραση του χρόνου εφαρμογής της τάσης στη μέτρηση της αντίστασης αντιστατικών δαπέδων”, Αθήνα [2010].

[9] Γεωργία Παυλοπούλου, “Μελέτη της επίδρασης του βάρους των ηλεκτροδίων και της εφαρμοζόμενης τάσης στη μέτρηση της αντίστασης αντιστατικών δαπέδων” , Αθήνα [2010].

[10] Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο υγείας πρόνοιας, Γεν. Δ/νση τεχνικών υποδομών, Δ/νση τεχνικών υπηρεσιών, Τμήμα μελετών και προδιαγραφών, “Ηλεκτρικές αντιστάσεις ελαστικών καλυμμάτων δαπέδων κρίσιμων χώρων νοσοκομείων (χειρουργείων, αναισθησίας και εντατικής παρακολούθησης)”, ΟΔΗΓΙΑ με αριθμό 1 / 2004.

[11] Deutsche Bauchemiee.V. “Conductive Coatings for Industrial Floors State-of-the-Art Report”, Frankfurt [2003].

[12] Meurig W. Williams, “What Creates Static Electricity?”, American Scientist [2012].

[13]Joseph M. Crowley., “Fundamentals of Applied Electrostatics”, [1999].

[14] https://www.fraser-antistatic.com/en/

[15] https://vermasonesd.wordpress.com/

[16] http://www.firesecurity.gr/index.htm

[17] https://www.alphalabinc.com/

[18] https://akasimatis.com.gr/

[19] http://www.esdjournal.com/

[20] https://www.omstat.gr/

[21] https://www.esda.org/