



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

**Διακρίβωση εξοπλισμού και οδηγός διενέργειας δοκιμών
ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χαράλαμπος Κ. Κωνσταντίνου

Καθηγητής: Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

Επιβλέποντες: Ι.Φ. Γκόνος

Ι. Ν. Ζτούπης

Αθήνα, Μάιος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

**Διακρίβωση εξοπλισμού και οδηγός διενέργειας δοκιμών
ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χαράλαμπος Κ. Κωνσταντίνου

Καθηγητής: Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

Επιβλέποντες: Ι.Φ. Γκόνοσ

Ι.Ν. Ζτούπης

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 23^η Μαΐου 2012.

.....
Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Φ. Β. Τοπαλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2012

.....

Χαράλαμπος Κ. Κωνσταντίνου

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

Copyright © Χαράλαμπος Κ. Κωνσταντίνου, 2012.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Στην οικογένεια μου

“Let the future tell the truth and evaluate each one according to his work and accomplishments. The present is theirs; the future, for which I have really worked, is mine.”

Nikola Tesla (1856 – 1943)

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό τη μελέτη και διεξαγωγή δοκιμών ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας σύμφωνα με τα Πρότυπα της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής IEC (International Electrotechnical Commission).

Πιο συγκεκριμένα, αφού περιγραφεί η έννοια της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (ElectroMagnetic Compratibility, EMC) παρουσιάζεται η έννοια και η χρησιμότητα της διαδικασίας διακρίβωσης. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η σειρά 61000-4 της IEC που σχετίζεται με το αντικείμενο της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Όλες οι ηλεκτρικές συσκευές που πωλούνται στις χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης πληρούν συγκεκριμένα πρότυπα της σειράς 61000-4, όπως ορίζει η Επίσημη Ηλεκτρομαγνητική Οδηγία (EMC directive). Η συμμόρφωση μιας ηλεκτρικής συσκευής στην Οδηγία αυτή υποδηλώνεται από τα διακριτικά CE.

Τα Πρότυπα της σειράς 61000-4 της IEC παρουσιάζονται αναλυτικά ώστε ο αναγνώστης να κατανοήσει τη φιλοσοφία και το πνεύμα τους. Επιπλέον, διεξήχθησαν δοκιμές σύμφωνα με τις προδιαγραφές των ανωτέρω Προτύπων και σχηματίστηκαν οδηγίες εργασίας με σκοπό την αυτοματοποίηση των δοκιμών. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι έχει γίνει λεπτομερής περιγραφή των συσκευών και των προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε δοκιμή, ώστε να μπορεί ο αναγνώστης να κατανοήσει και να αξιοποιήσει πλήρως τη διαδικασία που υλοποιήθηκε.

Λέξεις Κλειδιά: Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, ατρωσία, διακρίβωση, ιχνηλασιμότητα, αβεβαιότητα μέτρησης, ηλεκτροστατική φόρτιση, διεξαγωγή και επίπεδα δοκιμών, δοκιμές ατρωσίας γρήγορων μεταβατικών φαινομένων και απότομων εκφορτίσεων, υπερτάσεων και υπερεντάσεων, μαγνητικού πεδίου, βυθίσεων, σύντομων διακοπών και διακυμάνσεων τάσης.

Abstract

This thesis aims to study and experiment with electromagnetic immunity under the Standards of the International Electrotechnical Commission, IEC.

Specifically, after describing the concept of ElectroMagnetic Compatibility (EMC) it presents the concept and usefulness of the calibration procedure. Furthermore, the IEC 61000-4 series that is related to the subject of the electromagnetic compatibility is introduced. According to the Official Electromagnetic Directive (EMC directive), all electrical appliances trade within the EU member countries should meet certain standards of the 61000-4 series. The compliance of electrical equipment with these standards is indicated by the letters CE.

The standards of the IEC 61000-4 series are further presented in detail in order for the reader to better understand their reasoning and importance. Additionally, tests were conducted according to the specifications of the above standards and directions were formed to automate the tests. Finally, it is worth noting that a detailed description of the equipment and software programs used in each test are included to enable the reader to fully understand and utilize the implemented procedure.

Key Words: Electromagnetic compatibility, immunity, calibration, traceability, uncertainty of measurement, electrostatic charge, operation and tests levels, electrical fast transient/burst, surge, magnetic field, voltage dips, short interruptions and voltage variation immunity tests.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο της πενταετούς φοίτησης στη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και αποτελεί το επιστέγασμα αυτής. Αντικείμενο της εργασίας είναι η διακρίβωση εξοπλισμού και η διενέργεια δοκιμών ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας.

Ειδικότερα, η διπλωματική εργασία αποτελείται από τα εξής κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται κάποιες εισαγωγικές έννοιες σχετικά με την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα. Δίνονται χρήσιμοι ορισμοί και αναλύονται οι πτυχές της. Αναφέρονται οι τύποι και οι κατηγορίες δοκιμών ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας καθώς και τα πρότυπα που τη ρυθμίζουν.

Κεφάλαιο 2. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι βασικές αρχές της διακρίβωσης με τη βοήθεια ορισμών και την περιγραφή των χαρακτηριστικών της. Γίνεται εκτενής αναφορά για την αβεβαιότητα μέτρησης, όπου παρουσιάζονται οι κατηγορίες αυτής καθώς και ο τρόπος εκτίμησης της. Τέλος δίνονται παραδείγματα αβεβαιότητας σε δοκιμές ατρωσίας και περιγράφεται ποιος εκτελεί τη διακρίβωση.

Κεφάλαιο 3. Στο κεφάλαιο αυτό πραγματεύεται τα Πρότυπα της σειράς IEC 61000 τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά. Αρχικά περιγράφεται η έννοια της ηλεκτροστατικής φόρτισης και οι επιπτώσεις της στον ηλεκτροτεχνικό εξοπλισμό. Αναφέρονται τα μοντέλα που υπάρχουν για την ηλεκτροστατική εκφόρτιση και ακολούθως γίνεται επισκόπηση του Προτύπου IEC 61000-4-2 που σχετίζεται με αυτή. Επίσης, περιγράφονται τα Πρότυπα 61000-4-4, 61000-4-5, 61000-4-11, 61000-4-8 και 61000-4-9 της IEC που είναι στην ουσία το θεωρητικό υπόβαθρο για τη διεξαγωγή των δοκιμών που παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 4. Στο κεφάλαιο αυτό δίνονται οι οδηγίες για την πραγματοποίηση των δοκιμών ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 3. Περιλαμβάνει αναλυτικά τα βήματα για τη διεξαγωγή κάθε δοκιμής και παρουσιάζονται οι φωτογραφίες για κάθε πειραματική διάταξη.

Κεφάλαιο 5. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία ανακεφαλαίωση της διπλωματικής εργασίας και συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν μέσα από αυτή. Επιπλέον, γίνονται κάποιες παρατηρήσεις σχετικά με βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν σε μελλοντικές μελέτες.

Παράρτημα Α. Στην ενότητα αυτή δίνονται πληροφορίες σχετικά με την επιλογή των επιπέδων κάθε δοκιμής σύμφωνα με το περιβάλλον της εγκατάστασης.

Παράρτημα Β. Στο παράρτημα αυτό παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας TRA3000 για τις δοκιμές 61000-4-2, 61000-4-4, 61000-4-5 και 61000-4-11 σύμφωνα με το εγχειρίδιο λειτουργίας της.

Παράρτημα Γ. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι λειτουργίες ελέγχου της γεννήτριας TRA3000 καθώς και όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη ρύθμιση των παραμέτρων των δοκιμών που πραγματοποιούνται σε αυτή.

Παράρτημα Δ. Στην ενότητα αυτή περιγράφονται αναλυτικά ρυθμίσεις και διαδικασίες επαλήθευσης που αφορούν τις δοκιμές μαγνητικού πεδίου 61000-4-8 και 61000-4-9. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται λεπτομερώς οι ρυθμίσεις στο πρόγραμμα WIN2120, η διαδικασία επαλήθευσης του παράγοντα πηνίου του INA 702 και οι ρυθμίσεις ελέγχου των παραμέτρων της γεννήτριας PNW2050 και της βασικής μονάδας NSG2050.

Παράρτημα Ε. Στην τελευταία αυτή ενότητα παρουσιάζονται τα όργανα που περιλαμβάνει ο εξοπλισμός ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας του εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του ΕΜΠ. Τα συγκεκριμένα όργανα αναφέρονται στις τεχνικές οδηγίες που σχηματίστηκαν και είναι απαραίτητα για τη διεξαγωγή των δοκιμών που μελετάμε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Σ' αυτό το σημείο επιθυμώ να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου σε όσους συνέδραμαν στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και συγκεκριμένα:

Τον κ. Ιωάννη Αθ. Σταθόπουλο, καθηγητή του Τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της συγκεκριμένης εργασίας, την αμέριστη συμπαράσταση του και το ευχάριστο περιβάλλον που μου παρείχε.

Τον κ. Ιωάννη Φ. Γκόνο, διδάκτορα και μηχανικό του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για τη διάθεση του πολύτιμου χρόνου και της μεγάλης πείρας του προς καθοδήγησή μου και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Τον κ. Ιωάννη Ν. Ζτούπη, υποψήφιο διδάκτορα και μηχανικό του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για τη σημαντική βοήθεια και τις καίριες υποδείξεις που μου παρείχε καθώς και για την πολύ καλή συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής της μελέτης.

Την κ. Ελένη Π. Νικολοπούλου, υποψήφια διδάκτορα και μηχανικό του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για τις συμβουλές και την υποστήριξη που πρόθυμα προσέφερε κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών δοκιμών της εργασίας.

Το σύνολο του προσωπικού του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων για τη συνεργασία και την υποστήριξη του στα πλαίσια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, αισθάνομαι το χρέος να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, για τη βοήθεια και την ηθική, συναισθηματική και οικονομική στήριξη κατά τη διάρκεια της πενταετούς φοίτησής μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Περιεχόμενα

	Σελίδα
Περίληψη	i
Abstract.....	iii
Πρόλογος.....	v
Περιεχόμενα.....	viii
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στην Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα.....	1
1.1 Γενικά για την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα.....	1
1.2 Χρήσιμοι ορισμοί.....	3
1.3 Πτυχές ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας	4
1.4 Εγκατάσταση και δοκιμές ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας	7
1.5 Δοκιμές ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας.....	8
1.6 Πρότυπα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και οι εφαρμογές τους.....	9
1.6.1 Η ανάγκη για τυποποίηση.....	9
1.6.2 Πρότυπα	9
1.6.3 Κατηγορίες προτύπων.....	10
Κεφάλαιο 2: Η έννοια της διακρίβωσης	12
2.1 Βασικές αρχές διακρίβωσης	12
2.1.1 Ορισμός διακρίβωσης	12
2.2 Χαρακτηριστικά διακρίβωσης	16
2.2.1 Εύρος διακρίβωσης	17
2.2.2 Ακρίβεια και ανοχή διακρίβωσης	17
2.2.3 Λόγος ακρίβειας.....	18
2.2.4 Ιχνηλασιμότητα.....	18
2.2.5 Αβεβαιότητα μέτρησης	19
2.2.5.1 Από το σφάλμα στην αβεβαιότητα	19
2.2.5.2 Κατηγοριοποίηση αβεβαιοτήτων (Τύπου A & Τύπου B).....	22
2.3 Εκτίμηση αβεβαιοτήτων	24
2.3.1 Εκτίμηση αβεβαιοτήτων τύπου A.....	24
2.3.2 Εκτίμηση αβεβαιοτήτων τύπου B.....	25
2.3.3 Υπολογισμός ολικής αβεβαιότητας	27
2.4 Αβεβαιότητες ατρωσίας.....	27

2.5 Ποιός εκτελεί τη διακρίβωση.....	29
Κεφάλαιο 3: Δοκιμές ατρωσίας	31
3.1 Διεθνή πρότυπα IEC – Σειρά 61000	31
3.2 Η ηλεκτροστατική φόρτιση	32
3.2.1 Δημιουργία ηλεκτροστατικής φόρτισης	32
3.2.1.1 Τριβοηλεκτρικό φαινόμενο.....	32
3.2.1.2 Ηλεκτροστατική φόρτιση εξ επαγωγής	35
3.2.2 Η ηλεκτροστατική εκφόρτιση σε ηλεκτροστατικό εξοπλισμό και τα μέτρα προστασίας που μπορούν να ληφθούν	35
3.2.2.1 Οι επιπτώσεις σε ηλεκτροστατικό εξοπλισμό.....	35
3.2.2.2 Μέτρα προστασίας του ηλεκτροστατικού εξοπλισμού.....	36
3.2.3 Μοντέλα για την ηλεκτροστατική εκφόρτιση	37
3.2.3.1 Γενικά.....	37
3.2.3.2 Αξιολόγηση του Human Body Model	38
3.3 Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-2 Ed.2.0 (2008-12).....	40
3.3.1 Εξοπλισμός δοκιμών.....	42
3.3.2 Επίπεδα τάσεων δοκιμής.....	42
3.3.3 Γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων	43
3.3.3.1 Γενικά.....	43
3.3.3.2 Χαρακτηριστικά και επίδοση της γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων.....	44
3.3.3.3 Επαλήθευση της διάταξης της γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων.....	46
3.3.4 Περιγραφή του χώρου δοκιμών	47
3.3.4.1 Διάταξη δοκιμών.....	47
3.3.4.2 Διάταξη δοκιμών σε εργαστήρια	47
3.3.4.3 Διάταξη δοκιμών μετά την εγκατάσταση του εξοπλισμού	53
3.3.5 Αβεβαιότητα μετρήσεων γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων...54	
3.4 Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-4 Ed.2.0 (2004-07).....	55
3.4.1 Γενικά.....	55
3.4.2 Επίπεδα δοκιμών.....	56
3.4.3 Εξοπλισμός δοκιμών.....	56
3.4.3.1 Γεννήτρια EFT/B	57
3.4.3.2 CDN για τη θύρα τροφοδοσίας a.c./d.c.	60

3.4.3.3	Αρπάγη χωρητικής σύζευξης.....	61
3.4.4	Διάταξη δοκιμών.....	62
3.4.4.1	Απαιτήσεις δοκιμής	63
3.4.4.2	Διάταξη δοκιμών σε εργαστήρια	63
3.4.4.3	Διάταξη δοκιμών μετά την εγκατάσταση του εξοπλισμού	66
3.5	Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-5 Ed.2.0 (2005-11).....	67
3.5.1	Γενικά.....	67
3.5.2	Επίπεδα δοκιμών.....	71
3.5.3	Όργανα δοκιμών	71
3.5.3.1	Γεννήτρια συχνοτήτων 1.2/50 μs.....	71
3.5.3.2	Γεννήτρια συχνοτήτων 10/700 μs.....	73
3.5.4	Ενεργεία υπερτάσεων	76
3.5.5	Διατάξεις ελέγχου δοκιμών.....	77
3.6	Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-11 Ed.2.0 (2004-03).....	86
3.6.1	Γενικά.....	86
3.6.2	Επίπεδα δοκιμών.....	88
3.6.2.1	Επίπεδα δοκιμών για βυθίσεις και σύντομες διακοπές τάσης	89
3.6.2.2	Επίπεδα δοκιμών για διακυμάνσεις τάσης.....	91
3.6.3	Εξοπλισμός δοκιμών.....	92
3.6.3.1	Γεννήτρια δοκιμών	92
3.6.3.2	Πηγή τροφοδοσίας.....	95
3.6.4	Διάταξη δοκιμών.....	95
3.7	Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-8 Ed.2.0 (2009-09).....	99
3.7.1	Γενικά.....	99
3.7.2	Επίπεδα δοκιμών.....	100
3.7.3	Συσκευή δοκιμών.....	100
3.7.3.1	Γεννήτρια δοκιμής	101
3.7.3.2	Πηνίο επαγωγής.....	104
3.7.3.3	Όργανα (μέτρησης) δοκιμής και βοηθητικά	109
3.7.4	Διάταξη δοκιμής	109
3.7.4.1	Εδαφικό επίπεδο αναφοράς (GRP) για επιδαπέδιο εξοπλισμό.....	109
3.7.4.2	Υπό δοκιμή συσκευή	110
3.7.4.3	Γεννήτρια δοκιμής	110

3.7.4.4 Πηνίο επαγωγής	110
3.8 Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-9 Ed.1.1 (2001-03).....	111
3.8.1 Γενικά.....	111
3.8.2 Επίπεδα δοκιμών.....	111
3.8.3 Συσκευή δοκιμών.....	112
3.8.3.1 Γεννήτρια δοκιμής	112
3.8.3.2 Πηνίο επαγωγής.....	115
3.8.3.3 Όργανα (μέτρησης) δοκιμής και βοηθητικά	117
3.8.4 Διάταξη δοκιμής	118
3.8.4.1 Εδαφικό επίπεδο αναφοράς (GRP).....	119
3.8.4.2 Υπό δοκιμή συσκευή	120
3.8.4.3 Γεννήτρια δοκιμής	120
3.8.4.4 Πηνίο επαγωγής.....	120
Κεφάλαιο 4: Διεξαγωγή δοκιμών	122
4.1 Γενικά.....	122
4.2 Δοκιμές ατρωσίας ηλεκτροστατικής εκφόρτισης σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-2 Ed.2.0 (2008-2012)	122
4.2.1 Διαδικασία δοκιμής ατρωσίας ηλεκτροστατικής εκφόρτισης	122
4.2.1.1 Γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων TRA3000 της EMC Partner	122
4.2.1.2 Συνθήκες αναφοράς εργαστηρίου.....	123
4.2.1.3 Καταπόνηση δοκιμίου.....	123
4.2.1.4 Εκτέλεση της δοκιμής.....	123
4.2.2 Διαδικασία επαλήθευσης των γεννητριών ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων.....	128
4.2.2.1 Εξοπλισμός	128
4.2.2.2 Γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων TRA3000 της EMC Partner	128
4.2.2.3 Λειτουργικός έλεγχος	129
4.2.2.4 Πραγματοποίηση δοκιμής.....	130
4.2.2.5 Ανασύνθεση ρεύματος – Ισοδύναμο κύκλωμα.....	132
4.2.2.6 Επεξεργασία μετρήσεων – Εύρεση τιμών των παραμέτρων του ρεύματος εκφόρτισης.....	133

4.2.3 Διαδικασία διακρίβωσης των γεννητριών ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων.....	134
4.2.3.1 Εξοπλισμός	134
4.2.3.2 Πραγματοποίηση διακρίβωσης.....	134
4.3 Δοκιμές ατρωσίας για γρήγορα ηλεκτρικά μεταβατικά φαινόμενα και απότομες εκφορτίσεις σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-4 Ed.2.0 (2004-2007).....	136
4.3.1 Γεννήτρια TRA3000 EMC Partner.....	136
4.3.1.1 Γεννήτρια παρασίτων EXT-TRA3000 F.....	136
4.3.2 Διεξαγωγή δοκιμής ατρωσίας για γρήγορα ηλεκτρικά μεταβατικά φαινόμενα και απότομες εκφορτίσεις.....	136
4.3.3 Διαδικασία διακρίβωσης για γρήγορα ηλεκτρικά μεταβατικά φαινόμενα και απότομες εκφορτίσεις.....	138
4.3.3.1 Εξοπλισμός	138
4.3.3.2 Παράμετροι διακρίβωσης	138
4.3.3.3 Διεξαγωγή διακρίβωσης	139
4.4 Δοκιμές ατρωσίας από υπερτάσεις και υπερεντάσεις σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-5 Ed.2.0 (2005-2011)	143
4.4.1 Γεννήτρια TRA3000 EMC Partner.....	143
4.4.1.1 Γεννήτρια παρασίτων EXT-TRA3000 S	143
4.4.2 Διεξαγωγή δοκιμής ατρωσίας από υπερτάσεις και υπερεντάσεις	143
4.4.3 Διαδικασία διακρίβωσης από υπερτάσεις και υπερεντάσεις	145
4.4.3.1 Εξοπλισμός	145
4.4.3.2 Παράμετροι διακρίβωσης κυματομορφής τάσης.....	145
4.4.3.3 Παράμετροι διακρίβωσης κυματομορφής ρεύματος	146
4.4.3.4 Διεξαγωγή διακρίβωσης της μορφής της τάσης	147
4.4.3.5 Διεξαγωγή διακρίβωσης της γωνιάς της τάσης	148
4.4.3.6 Διεξαγωγή διακρίβωσης της μορφής του ρεύματος	149
4.5 Δοκιμές ατρωσίας σε βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-11 Ed.2.0 (2004-03).....	152
4.5.1 Γεννήτρια TRA3000 EMC Partner.....	152
4.5.1.1 Γεννήτρια βυθίσεων, διακοπών και διακυμάνσεων τάσης EXT-TRA3000 D-V	152
4.5.2 Διεξαγωγή δοκιμής ατρωσίας σε βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης	152

4.6 Δοκιμές ατρωσίας σε βιομηχανικές συχνότητες μαγνητικού πεδίου σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-8 Ed.2.0 (2009-09).....	155
4.6.1 Πειραματική διάταξη δοκιμής και εξοπλισμός.....	155
4.6.2 Στάδια πειραματικής διαδικασίας.....	155
4.6.3 Διαδικασία επαλήθευσης παράγοντα πηνίου (COIL FACTOR).....	161
4.7 Δοκιμές ατρωσίας παλμικού μαγνητικού πεδίου σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-9 Ed.1.1 (2001-03)	162
4.7.1 Πειραματική διάταξη δοκιμής και εξοπλισμός.....	162
4.7.2 Στάδια διεξαγωγής της δοκιμής.....	163
Κεφάλαιο 5: Η επόμενη μέρα.....	166
5.1 Ανακεφαλαίωση της διπλωματικής εργασίας.....	166
5.2 Συμπεράσματα και η επόμενη μέρα.....	166
Παράρτημα Α: Επιλογή επιπέδων δοκιμής.....	168
A.1 Επιλογή επιπέδων δοκιμής στο Πρότυπο IEC 61000-4-2 Ed.2.0 (2008-2012) ..	168
A.2 Επιλογή επιπέδων δοκιμής στο Πρότυπο IEC 61000-4-4 Ed.2.0 (2004-2007)..	168
A.3 Επιλογή επιπέδων δοκιμής στο Πρότυπο IEC 61000-4-5 Ed.2.0 (2005-2011)..	170
A.4 Επιλογή επιπέδων δοκιμής στο Πρότυπο IEC 61000-4-11 Ed.2.0 (2004-03)....	174
A.5 Επιλογή επιπέδων δοκιμής στο Πρότυπο IEC 61000-4-8 Ed.2.0 (2009-09).....	174
A.6 Επιλογή επιπέδων δοκιμής στο Πρότυπο IEC 61000-4-9 Ed.1.1 (2001-03).....	176
Παράρτημα Β: Τεχνικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας TRA3000.....	178
B.1 Ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις ESD σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-2: Χαρακτηριστικά γεννήτριας EXT-TRA3000 E	178
B.2 Γρήγορα ηλεκτρικά μεταβατικά φαινόμενα και απότομες εκφορτίσεις EFT σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-4: Χαρακτηριστικά γεννήτριας EXT-TRA3000 F	179
B.3 Υπερτάσεις και υπερεντάσεις SURGE σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-5: Χαρακτηριστικά γεννήτριας EXT-TRA3000 S	180
B.4 Σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης με το εσωτερικό variac σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-11: EXT-TRA3000 D-V	181
Παράρτημα Γ: Ρύθμιση παραμέτρων της γεννήτριας TRA3000	183
Γ.1 Λειτουργίες ελέγχου TRA3000	183
Γ.2 Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής ηλεκτροστατικής εκφόρτισης.....	189
Γ.3 Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής γρήγορων ηλεκτρικών μεταβατικών φαινομένων και των απότομων εκφορτίσεων	191

Γ.4 Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής γρήγορων υπερτάσεων και υπερεντάσεων.....	196
Γ.5 Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής σε βυθίσεις τάσης, μικρής διάρκειας διακοπές τάσης και διακυμάνσεις τάσης.....	201
Γ.5.1 Βυθίσεις και σύντομες διακοπές τάσης.	201
Γ.5.2 Διακυμάνσεις τάσης	207
Παράρτημα Δ: Ρυθμίσεις δοκιμών μαγνητικού πεδίου.....	208
Δ.1 Ρυθμίσεις στο πρόγραμμα WIN 2120 για τη δοκιμή ατρωσίας σε βιομηχανικές συχνότητες μαγνητικού πεδίου σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-8 Ed. 2.0 (2009-09).....	208
Δ.2 Διαδικασία επαλήθευσης παράγοντα πηνίου (COIL FACTOR) του INA 702...211	
Δ.3 Ρυθμίσεις παραμέτρων της γεννήτριας PNW 2050 και της βασικής μονάδας NSG 2050 για τη δοκιμή ατρωσίας παλμικού μαγνητικού πεδίου σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-9 Ed. 1.1 (2001-03)	213
Παράρτημα Ε: Φωτογραφίες του εξοπλισμού ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας του εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του ΕΜΠ	222
Βιβλιογραφία	230

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή στην Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα

1.1 Γενικά για την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα

Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (Electromagnetic Compatibility, EMC), είναι ο τομέας της επιστήμης και της μηχανικής που ασχολείται με το σχεδιασμό και τη λειτουργία εξοπλισμού με τέτοιο τρόπο ώστε να τον καθιστά άτρωτο σε συγκεκριμένα ποσά ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής, ενώ ταυτόχρονα οι παρεμβολές του εξοπλισμού να παραμένουν μέσα σε καθορισμένα όρια. Ως εκ τούτου, είναι εμφανές ότι η σημασία της EMC είναι τεράστια αφού πρακτικά σχετίζεται με οτιδήποτε που τροφοδοτείται ηλεκτρικά. Το εύρος συχνοτήτων ενδιαφέροντος εκτείνεται από τα 0 Hz (DC) μέχρι και τα 400 GHz, και σε συγκεκριμένα τμήματα αυτού του φάσματος έχει εφαρμοστεί ένα αυστηρό διεθνές ρυθμιστικό πλαίσιο ώστε να βεβαιωθεί η ατρωσία εξοπλισμών σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (Electromagnetic Interference, EMI) και εκπομπές.

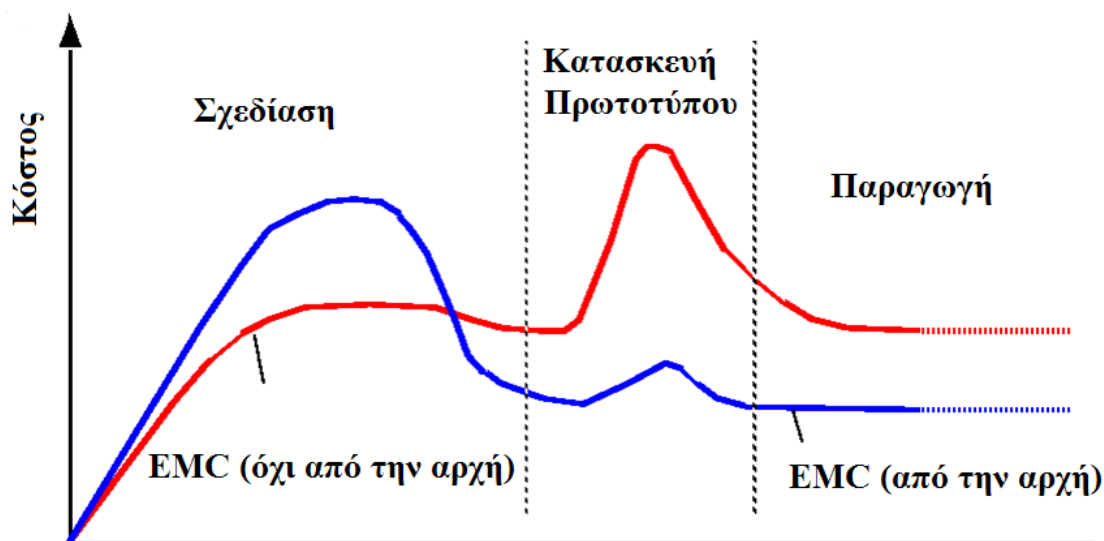
Το ενδιαφέρον για την EMC δεν είναι καινούριο. Από την εποχή που το ραδιόφωνο έγινε μέρος της ζωής του ανθρώπου τόσο οι σχεδιαστές όσο και οι ακροατές του είχαν επίγνωση του θορύβου, των παρεμβολών και των προβλημάτων γείωσης που σχετίζονται με αυτό. Εν τούτοις, η ραγδαία ανάπτυξη στη χρήση των ραδιοεπικοινωνιών, των ψηφιακών συστημάτων, των γρήγορων επεξεργαστών, και η εισαγωγή νέων πρακτικών σχεδιασμού έχουν επαναφέρει την EMC στο προσκήνιο του προχωρημένου σχεδιασμού. Την ώθηση για αυτές τις αλλαγές έχουν δώσει τρεις τεχνολογικές τάσεις. Πρώτον, η μοντέρνα ψηφιακή λογική και η επεξεργασία σήματος βασίζονται σε σχετικά χαμηλές τάσεις (μερικά Volt) σε σχέση με παλαιότερες τεχνολογίες. Η ατρωσία των μοντέρνων συστημάτων είναι επομένως εγγενώς χαμηλότερη. Δεύτερον, στην αναζήτηση μεγαλύτερων ταχυτήτων επεξεργασίας, οι παλμοί που χρησιμοποιούνται έχουν σαφώς μικρότερους χρόνους ανύψωσης, συμβάλλοντας έτσι σε σημαντικά ποσά ενέργειας σε υψηλές συχνότητες. Τρίτον, ο σχεδιασμός εξοπλισμών πλέον βασίζεται στη χρήση του πλαστικού αντί του μετάλλου. Έτσι η ηλεκτρομαγνητική θωράκιση κάθε εξοπλισμού είναι μειωμένη λόγω της ολοένα λιγότερης χρήσης του μετάλλου.

Κάθε σύστημα οφείλει να τηρεί συγκεκριμένα όρια EMC που καθορίζονται από εθνικά και διεθνή Πρότυπα. Η συμμόρφωση με αυτά τα όρια μπορεί να καταδειχθεί κάνοντας ένα αριθμό μετρήσεων κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Σε μια τυπική περίπτωση, αυτοί οι έλεγχοι θα καλύπτουν την εκπομπή από EMI του εξοπλισμού καθώς επίσης και την ευαισθησία ή ατρωσία αυτού του εξοπλισμού σε εξωτερικές παρεμβολές. Σε μια δοκιμή εκπομπής, ο εξοπλισμός τοποθετείται, (ανάλογα με το κάθε Πρότυπο), είτε σε ένα θωρακισμένο δωμάτιο είτε σε υπαίθριο χώρο και οι μετρήσεις πραγματοποιούνται από τα εκπεμπόμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία σε μια συγκεκριμένη απόσταση χρησιμοποιώντας δέκτες συγκεκριμένου εύρου ζώνης. Ο

τύπος και η πόλωση των κεραιών που χρησιμοποιούνται είναι τέτοιος ώστε να παράγουν, όσον το δυνατόν, μια επαναλαμβανόμενη μέτρηση. Αυτή η δοκιμή ονομάζεται ακτινοβολούμενη δοκιμή εκπομπής, ώστε να ξεχωρίζει από τη δοκιμή εκπομπής όπου μετρείται η τάση των EMI. Σε κάθε περίπτωση, η μετρημένη ποσότητα πρέπει να είναι κάτω από συγκεκριμένα όρια.

Σε δοκιμή ατρωσίας, ο εξοπλισμός υπόκειται σε ένα καθορισμένο εξωτερικό πεδίο ή σε παρεμβαλλόμενα κύματα με απαίτηση ο εξοπλισμός να παραμένει λειτουργικός. Αυτές οι δοκιμές μπορούν να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων (τυπικά για εμπορικά Πρότυπα, τουλάχιστον μέχρι 1 GHz) και μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν ηλεκτρομαγνητικά σήματα παλμών για τον έλεγχο της απόκρισης του εξοπλισμού σε μεταβατικές και ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις. Για πολύπλοκους εξοπλισμούς με μεγάλο αριθμό τρόπων λειτουργίας θα είναι δύσκολο να αποδειχθεί η ατρώσια τους.

Ο σχεδιαστής είναι υποχρεωμένος να εξακριβώσει τη φύση και τη σημαντικότητα των ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών από διαφορετικά μέρη του εξοπλισμού, όπως και τις επιπτώσεις εξωτερικών παρεμβολών στην λειτουργικότητα ολόκληρου του συστήματος. Επιπλέον, στο μέτρο του δυνατού ο σχεδιαστής αναζητά την ελαχιστοποίηση της δημιουργίας παρεμβολών, την μείωση ή την εξάλειψη σύζευξης με κατάλληλη διαρρύθμιση, θωράκιση, φιλτράρισμα και μεθόδων γείωσης, το σχεδιασμό υλικού με ιδιότητες ατρωσίας σε EMI και την προσαρμογή μεθόδων προγραμματισμού για τη δημιουργία λογισμικού που έχει μεγάλο βαθμό ατρωσίας σε EMI. Οι ανωτέρω τεχνικές έχουν βέβαια κόστος και πολλές ίσως να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις σε λειτουργικά χαρακτηριστικά, στο μέγεθος, στην εμφάνιση και στο βάρος του εξοπλισμού. Η αναζήτηση βέλτιστων λύσεων σε σχεδιαστικά προβλήματα δεν είναι εύκολο ζήτημα καθώς εξαρτάται από πολλές αλληλένδετες παραμέτρους. Ο σκοπός έρευνας στον τομέα της EMC είναι η ανάπτυξη μεθοδολογιών και εργαλείων που να επιτρέπουν τους βέλτιστους σχεδιασμούς EMC να ενσωματώνονται στη σχεδιαστική διαδικασία από πολύ νωρίς, έτσι ώστε, ακόμη και στο στάδιο της αντίληψης και του προβληματισμού ενός σχεδίου, ζητήματα EMC να λαμβάνονται υπόψη και οι μετέπειτα επιλογές να γίνονται με ελάχιστο κόστος (Σχήμα 1.1) [1].



Σχήμα 1.1: Κύκλος παραγωγής και δοκιμές EMC ^[12].

1.2 Χρήσιμοι ορισμοί

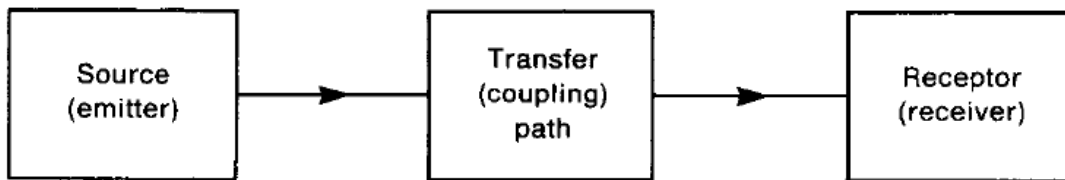
Η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα αποτελεί ένα πεδίο μελέτης του πώς εφαρμόζεται η βασική φυσική σε σύνθετα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα, με σκοπό την εξέταση της δυνατότητας αυτών να συνυπάρχουν αρμονικά [2]. Εάν επιτυγχάνεται αυτό τότε τα συστήματα θεωρείται ότι εκτελούν τις λειτουργίες τους με ικανοποιητικό τρόπο και ονομάζονται ηλεκτρομαγνητικά συμβατά με το περιβάλλον τους. Πρακτικά, ένα σύστημα είναι ηλεκτρομαγνητικά συμβατό με το περιβάλλον του εάν ικανοποιεί τρία κριτήρια:

- Δεν προκαλεί παρεμβολές με άλλα συστήματα.
- Δεν είναι ευαίσθητο σε εκπομπές από άλλα συστήματα.
- Δεν προκαλεί παρεμβολές με τον εαυτό του.

Επιπλέον, οποιαδήποτε εξέταση του EMC εμπεριέχει την ανάλυση ενός συστήματος τριών συνιστωσών (Σχήμα 1.2):

- Τη γεννήτρια (ή πηγή διαταραχής).
- Τη διάδοση (ή σύζευξη).
- Τη συσκευή (ή το σύστημα) που επηρεάζεται (αλλιώς δέκτης).

Ακριβολογώντας, αυτές οι τρεις συνιστώσες δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους αλλά για πρακτικούς λόγους θεωρούνται ότι είναι.



Σχήμα 1.2: Η βασική «αποσύνθεση» ενός προβλήματος EMC σύζευξης^[2].

Είναι χρήσιμο να δοθούν στο σημείο αυτό οι ορισμοί των όρων που συναντώνται στην ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα [3]:

Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) είναι η ικανότητα των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων, διατάξεων, και συσκευών να λειτουργούν ικανοποιητικά στο ηλεκτρομαγνητικό τους περιβάλλον σε καθορισμένα περιθώρια ασφαλείας και σε επίπεδα ή απόδοση που έχει σχεδιαστεί χωρίς να εισάγουν μη αντιμετωπίσιμες ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές σε οτιδήποτε τα περιβάλλει [4].

Ηλεκτρομαγνητική διαταραχή (Electromagnetic Interference) είναι κάθε ηλεκτρομαγνητικό φαινόμενο που μπορεί να προκαλέσει πτώση της απόδοσης μίας διάταξης, συσκευής ή συστήματος ή να επιδράσει δυσμενώς σε αδρανή ή ζωνική ύλη. Μια ηλεκτρομαγνητική διαταραχή μπορεί να είναι θόρυβος ηλεκτρομαγνητικής προέλευσης, ένα ανεπιθύμητο σήμα ή μία μεταβολή ίδιου του μέσου διάδοσης.

Ηλεκτρομαγνητική ευαισθησία (Electromagnetic susceptibility) είναι η αδυναμία μιας διάταξης, συσκευής ή συστήματος να λειτουργεί χωρίς αλλοίωση της ποιότητας της κάτω από την παρουσία μιας ηλεκτρομαγνητικής διαταραχής. Δηλαδή είναι η έλλειψη ατρωσίας.

Ατρωσία (Immunity) είναι η ικανότητα μιας συσκευής να λειτουργεί ικανοποιητικά ως προς τα κριτήρια επίδοσης που προδιαγράφονται για τη συσκευή παρά την ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικής διαταραχής.

Ηλεκτρομαγνητικό Επίπεδο Συμβατότητας (Electromagnetic Compatibility Level) είναι το διευκρινισμένο μέγιστο επίπεδο διαταραχής στο οποίο μια συσκευή, ένας εξοπλισμός ή ένα σύστημα που λειτουργεί σε συγκεκριμένες συνθήκες είναι πιθανό να υποβληθεί. Στην πράξη το ηλεκτρομαγνητικό επίπεδο συμβατότητας δεν είναι ένα απόλυτο μέγιστο επίπεδο αλλά μπορεί να ξεπεραστεί από μια μικρή πιθανότητα.

Περιθώριο Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας (Electromagnetic Compatibility Margin) είναι ο λόγος της στάθμης ατρωσίας μίας διάταξης συσκευής ή συστήματος ως προς μία στάθμη διαταραχής αναφοράς.

Επίπεδο Ατρωσίας (Immunity level) είναι το ανώτατο επίπεδο μίας δεδομένης ηλεκτρομαγνητικής διαταραχής που συμβαίνει σε μία συγκεκριμένη διάταξη, συσκευή ή σύστημα για την οποία αυτό παραμένει ικανό να λειτουργήσει στον απαιτούμενο βαθμό απόδοσης.

Όριο Ατρωσίας (Immunity Limit) είναι το καθορισμένο επίπεδο ατρωσίας.

Περιθώριο Ατρωσίας (Immunity Margin) είναι η διαφορά μεταξύ του ορίου ατρωσίας μίας διάταξης συσκευής ή συστήματος και της στάθμης ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας.

Επίπεδο διαταραχής (Interference Level) είναι το επίπεδο ηλεκτρομαγνητικής διαταραχής μιας δοσμένης μορφής, μετρημένο σε συγκεκριμένες συνθήκες.

Όριο διαταραχής (Interference Limit) είναι το μέγιστο επιτρεπτό ηλεκτρομαγνητικό επίπεδο διαταραχής, μετρημένο σε συγκεκριμένες συνθήκες.

Πολλά ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα μεταβάλλονται με τη συχνότητα, αλλά οι προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς για σχεδιαστικούς σκοπούς εξαρτώνται από τις φυσικές διαστάσεις του συστήματος σε σχέση με τα μήκη κύματος των βασικών πεδίων που υπάρχουν. Αυτό σημαίνει ότι όταν αντιμετωπίσει κανείς ένα πρόβλημα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, υπάρχει πιθανόν μία περιοχή συχνοτήτων για την οποία τα προβλήματα θα είναι πιο σοβαρά και σε αυτή την περίπτωση, θα υπάρχει επίσης μία αντίστοιχη κλίμακα αποστάσεων μέσα στην οποία θα γίνονται διαφορετικές προσεγγίσεις για την εκτέλεση των υπολογισμών. Συνεπώς, η συχνότητα και το μέγεθος παίζουν σημαντικό ρόλο.

1.3 Πτυχές ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας ^[2]

Κάθε μορφή προβλήματος EMC έχει σχέση με την παραγωγή, μετάδοση και τη λήψη ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Αυτές οι τρεις πτυχές αποτελούν και το βασικό πλαίσιο κάθε σχεδιασμού EMC. Αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.2. Η πηγή (source) (εκπομπός - emitter) παράγει την εκπομπή, και ένας μεταδότης (transfer) ή μονοπάτι σύζευξης (coupling path) μεταδίδει την ενέργεια εκπομπής σε ένα δέκτη (receptor),

όπου επεξεργάζεται με αποτέλεσμα την επιθυμητή ή μη συμπεριφορά. Παρεμβολές εμφανίζονται εάν η ενέργεια που λαμβάνεται προκαλεί στο δέκτη συμπεριφορά με μη επιθυμητό τρόπο.

Είναι επίσης σημαντικό να αντιληφθούμε ότι μια πηγή ή ένας δέκτης μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως εκούσιος ή ακούσιος. Στην πραγματικότητα, η πηγή ή ο δέκτης μπορεί να συμπεριφέρεται και με τα δύο μοντέλα. Εάν κατά πόσο η πηγή ή ο δέκτης είναι εκούσιος ή ακούσιος εξαρτάται τόσο από το μονοπάτι σύζευξης όσο και από την πηγή ή το δέκτη.

Επομένως, οι παρεμβολές μπορούν να αποφευχθούν εάν:

- Περιοριστεί η εκπομπή από την πηγή της.
- Το μονοπάτι σύζευξης γίνει όσον το δυνατό λιγότερο αποτελεσματικό.
- Ο δέκτης γίνει λιγότερο ευαίσθητος στην εκπομπή.

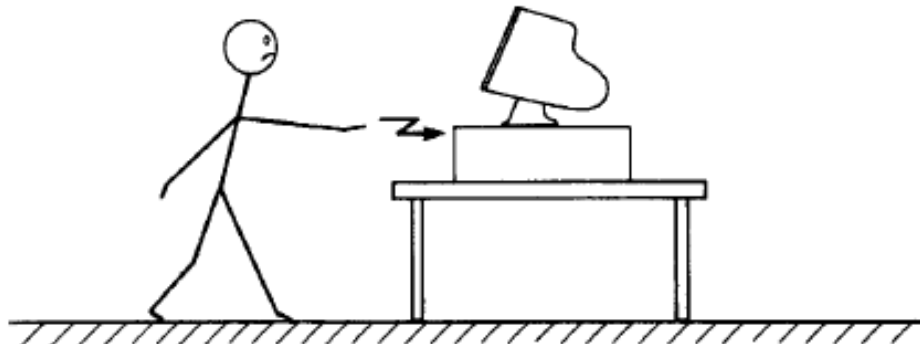
Γενικώς, στον τομέα της EMC κύρια ανησυχία είναι ο σχεδιασμός ηλεκτρονικών συστημάτων που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις που θέτονται από διάφορους οργανισμούς. Εν τούτοις, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός θεμάτων σχετικά με την EMC και μερικά από αυτά παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.3. Το Σχήμα 1.3(a) παρουσιάζει ένα κοινό πρόβλημα ευαισθησίας στα σημερινά μικρής κλίμακας ολοκληρωμένα κυκλώματα, ηλεκτροστατικής εκφόρτισης (electrostatic discharge, ESD). Το περπάτημα πάνω σε νάιλον με παπούτσια από καουτσούκ είναι δυνατόν να προκαλέσει συσσώρευση στατικού φορτίου στο σώμα. Η επαφή με μια ηλεκτρονική συσκευή όπως το πληκτρολόγιο μπορεί να προκαλέσει μεταφορά του στατικού φορτίου στη συσκευή και να δημιουργηθεί ένα τόξο μεταξύ δακτύλων και πληκτρολογίου. Η μεταφορά του φορτίου μπορεί να προκαλέσει μόνιμη καταστροφή των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και δυσλειτουργία του συστήματος.

Μετά την πρώτη πυρηνική έκρηξη στα μέσα της δεκαετίας του 1940, ανακαλύφθηκε ότι οι ημιαγώγιμες συσκευές σε ηλεκτρονικά συστήματα που χρησιμοποιούνταν για την παρακολούθηση των αποτελεσμάτων των εκρήξεων καταστρέφονταν. Το γεγονός αυτό δεν οφειλόταν στις άμεσες φυσικές συνέπειες της έκρηξης αλλά λόγω ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος που παραγόταν από το διαχωρισμό φορτίου και κίνησης εντός της έκρηξης όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 1.3(b). Συνεπώς, στο στρατιωτικό χώρο υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την προστασία δεδομένων και συσκευών λόγω των συνεπειών που προκαλούσε αυτός ο ηλεκτρομαγνητικός παλμός (electromagnetic pulse, EMP).

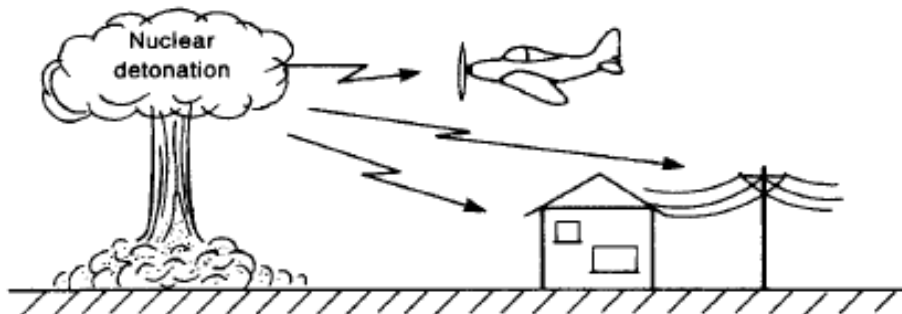
Η συχνή εμφάνιση κεραυνών και το άμεσο «κτύπημα» τους όπως εμφανίζεται στο Σχήμα 1.3(c) είναι προφανώς σημαντική. Παρόλα ταύτα, οι έμμεσες επιπτώσεις σε ηλεκτρονικές συσκευές μπορούν να είναι εξίσου καταστροφικές. Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία λόγω του έντονου ρεύματος (πάνω από 50 kA) μπορούν συζευχθούν με τα ηλεκτρονικά συστήματα είτε από την άμεση ακτινοβολία ή μέσω των καλωδίων του εναλλασσόμενου ρεύματος. Επομένως, είναι σημαντικός ο σχεδιασμός και ο έλεγχος των συσκευών ώστε να είναι θωρακισμένα από τάσεις στα καλώδια εναλλασσόμενου ρεύματος.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το θέμα της προστασίας ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών από μη εξουσιοδοτημένα άτομα. Για παράδειγμα, είναι δυνατόν να παρακολουθήσουμε αυτά που πληκτρολογούνται σε μια ηλεκτρονική γραφομηχανή λαμβάνοντας τις

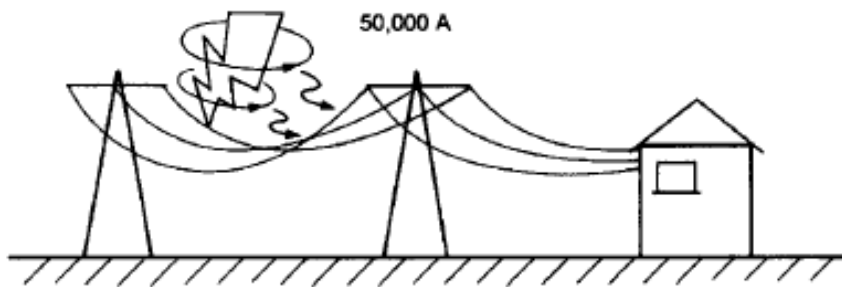
ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές της όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.3(d). Το θέμα αυτό αποτελεί πρόβλημα τόσο για το στρατό όσο και για τις εταιρίες λόγω επιπτώσεων από την παρακολούθηση δεδομένων, και αναφέρεται με το κωδικό όνομα TEMPEST.



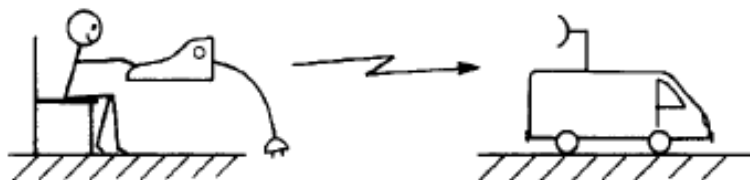
(a)



(b)



(c)

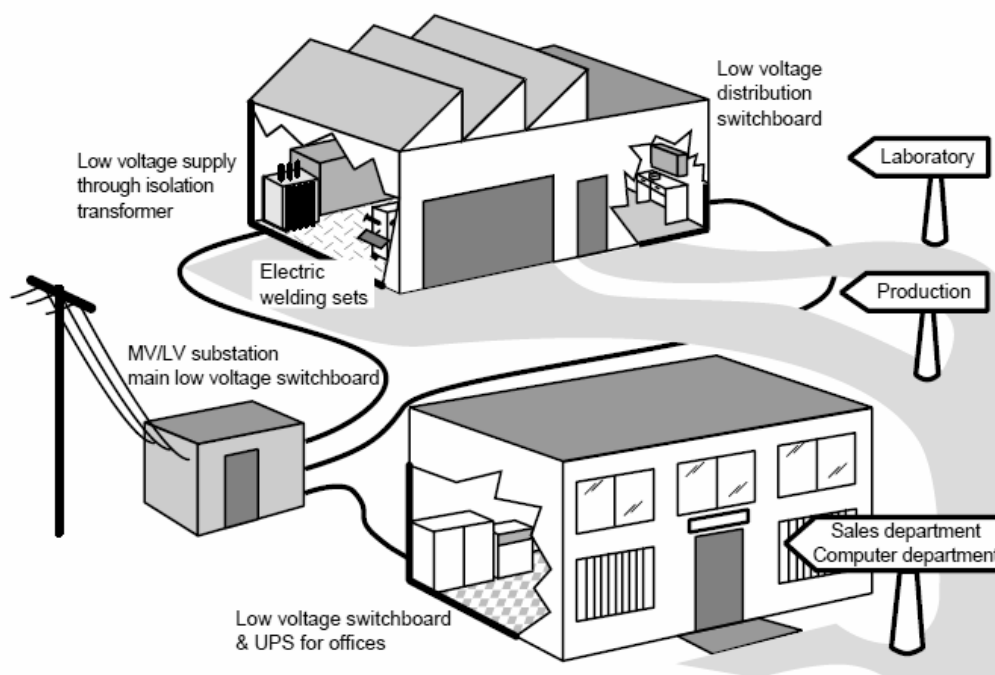


(d)

Σχήμα 1.3: Πτυχές EMC: (a) ηλεκτροστατική εκφόρτιση (ESD), (b) ηλεκτρομαγνητικός παλμός (EMP), (c) κεραυνός, (d) TEMPEST(προστασία επικοινωνίας και δεδομένων) ^[2].

1.4 Εγκατάσταση και δοκιμές ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας

Η εγκατάσταση παίζει σημαντικό ρόλο στην EMC. Αυτό ισχύει τόσο για την σχεδίαση και τη μελέτη της κατασκευής όσο και για την εγκατάσταση. Κατά τη διάρκεια της σχεδίασης και της μελέτης κατασκευής δυο βασικοί παράγοντες διέπουν την EMC. Η επιλογή του εξοπλισμού και η τοποθεσία τους. Στο Σχήμα 1.4 φαίνεται ένα παράδειγμα μελέτης κατασκευής ηλεκτρικού εξοπλισμού. Η πρώτη αρχή αφορά την επιλογή των κομματιών του εξοπλισμού που μπορούν να παράγουν ή να είναι ευαίσθητες σε διαταραχές. Έτσι πρέπει αρχικά να γίνεται ανάλυση σχετική με τον καθορισμό των χαρακτηριστικών των υλικών και των στοιχείων που είναι ικανά να εκπληρώσουν την απαιτούμενη λειτουργία. Επίσης πρέπει να καθοριστούν οι κατάλληλοι ηλεκτρικοί και μηχανικοί σχεδιαστικοί κανόνες ώστε να υπάρξει λειτουργία χωρίς προβλήματα. Αν για παράδειγμα δυο μονάδες λειτουργούν η μία κοντά στην άλλη και η μία παράγει διαταραχές (δηλαδή παίζει το ρόλο του εκπομπού) ενώ η άλλη επηρεάζεται (δηλαδή παίζει το ρόλο του δέκτη) πρέπει ο εκπομπός να παράγει χαμηλά επίπεδα διαταραχής και ο δέκτης να μην είναι υπερβολικά ευαίσθητος ή να βρεθεί κάποιος συνδυασμός συμβιβαστικής λύσης μεταξύ των παραπάνω ακραίων περιπτώσεων.



Σχήμα 1.4: Μελέτη κατασκευής ηλεκτρικού εξοπλισμού ^[5].

Τα έργα των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εγκαταστάσεων θα πρέπει να ακολουθούν τις οδηγίες ώστε η συνύπαρξη διαφορετικών τρόπων σύζευξης να ικανοποιούνται τις απαιτήσεις EMC. Έτσι διαφορετικές τεχνικές θα πρέπει να εφαρμόζονται όπως:

- Το κύκλωμα και οι γειώσεις πρέπει να τοποθετούνται σε πλέγμα.
- Τα κυκλώματα πρέπει να είναι φυσικά χωρισμένα.
- Η καλωδίωση πρέπει να είναι προσεχτικά σχεδιασμένη.

Στις μέρες μας ο εξοπλισμός μπορεί να είναι ευπαθής σε πολύ χαμηλά επίπεδα ενέργειας και να περιέχει αλληλοσυνδεδεμένα ηλεκτρονικά, ευαίσθητα σε υψηλές συχνότητες. Για αποφευχθεί αυτό, είναι απαραίτητο να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό ισοδυναμικό σύστημα γείωσης (τοποθέτηση πλέγματος γείωσης). Αυτό είναι το πρώτο βήμα παροχής προστασίας σε ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές. Σε ένα εργοστασιακό δίκτυο διανομής ισχύος όλα τα καλώδια προστασίας πρέπει να είναι μαζί και να συνδέονται στις υπάρχουσες μεταλλικές κατασκευές. Ομοίως, σε έναν εξοπλισμό, όλες οι γειώσεις και τα πλαίσια πρέπει να είναι συνδεδεμένα σ' ένα κοινό σύστημα γείωσης χρησιμοποιώντας χαμηλή εμπέδηση (σε χαμηλές συχνότητες). Επίσης θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κοντές και φαρδιές συνδέσεις (καλώδια ή πλεξούδες). Η καλωδίωση ενός κλωβού είναι ένα τυπικό παράδειγμα για το ότι όλες οι γειώσεις πρέπει να είναι συνδεδεμένες μαζί.

1.5 Δοκιμές ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας

Κάθε δοκιμή EMC κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής μιας συσκευής έχει διαφορετικές ανάγκες που σχετίζονται με την τεχνική, το κόστος αλλά και τις χρονικές απαιτήσεις. Εάν όμως η δοκιμή EMC γίνει σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του προϊόντος είναι δυνατό να γίνει εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος. Κάθε εταιρεία που σχετίζεται με ηλεκτρονικά είδη θα πρέπει πιθανώς να ασχοληθεί και με τους τέσσερις τύπους EMC δοκιμών [6]:

- Διάγνωσης
- Προκαταρκτικός έλεγχος συμμόρφωσης
- Τελικός έλεγχος συμμόρφωσης
- Παραγωγής

Η δοκιμή διάγνωσης EMC διεξάγεται όταν το προϊόν είναι στη φάση της ανάπτυξης. Σε αυτή τη δοκιμή πρέπει να ελέγχονται τα αποτελέσματα EMC σε διαφορετικούς σχεδιασμούς. Με αυτό το τρόπο ο σχεδιαστής γνωρίζει τις διαφορετικές επιπτώσεις των εναλλακτικών επιλογών σχεδιασμού. Οι πληροφορίες αυτές ίσως αποδειχθούν αργότερα χρήσιμες, όταν οι πιθανές επιπτώσεις από τροποποιήσεις (μετά τη σχεδίαση) πρέπει να αξιολογηθούν.

Οι προκαταρκτικές δοκιμές για έλεγχο συμμόρφωσης πραγματοποιούνται όταν υπάρχει διαθέσιμο ένα πρωτότυπο που αντιπροσωπεύει το μοντέλο, και το οποίο αργότερα θα το αντικείμενο δοκιμής στον τελικό έλεγχο συμμόρφωσης. Αυτές οι δοκιμές είναι σημαντικές ώστε να αποφευχθούν δυσάρεστες εκπλήξεις, να καθορίσουν τη χειρότερη δυνατή περίπτωση διάταξης και τρόπου λειτουργίας, και να καθορίσουν τα κριτήρια αποτυχίας σε δοκιμή ατρωσίας.

Όσον αφορά τις τελικές δοκιμές συμμόρφωσης μπορούν να διεξαχθούν οπουδήποτε. Είναι σημαντικό όμως ο εξοπλισμός για τη δοκιμή να είναι ικανός να πραγματοποιήσει τους ελέγχους σύμφωνα με τα απαιτούμενα Πρότυπα.

Η δοκιμή παραγωγής EMC σημαίνει ότι ο κατασκευαστής θα πρέπει να διασφαλίσει πως η διαδικασία κατασκευής εξασφαλίζει την συμμόρφωση κάθε προϊόντος με τις οδηγίες EMC. Αυτό είναι εφικτό είτε ελέγχοντας το προϊόν με μια απλή διάταξη που θα ανιχνεύει πιθανές «ανωμαλίες» EMC είτε συγκρίνοντας το προϊόν με ένα άλλο που έχει ελέγξει και εγκριθεί σύμφωνα με τις οδηγίες EMC («golden» product comparison).

Υπάρχουν κυρίως πέντε κατηγορίες φαινομένων που εξετάζονται για κάθε προϊόν και είναι οι ακόλουθες [7]:

- Εκπομπές ακτινοβολίας
- Αγόμενες εκπομπές
- Ατρωσία σε ακτινοβολίες
- Ατρωσία σε αγόμενες διαταραχές
- Ηλεκτροστατική εκφόρτιση

Όλες αυτές οι εξετάσεις είναι απαραίτητες επειδή το προϊόν θα πρέπει να λειτουργεί κανονικά όταν γειτνιάζει με άλλα προϊόντα και επίσης και να μην τα «ενοχλεί».

1.6 Πρότυπα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και οι εφαρμογές τους

1.6.1 Η ανάγκη για τυποποίηση ^[50]

Στην σημερινή κοινωνία, χρησιμοποιούμε καθημερινά πληθώρα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών. Η ανάγκη να ελέγχεται η συμπεριφορά των συσκευών αυτών σε διάφορες συνθήκες με σκοπό την ασφάλεια του χρήστη αλλά και την εξασφάλιση της σωστής λειτουργίας αυτών έχει προκύψει προ πολλού.

Οι διεθνείς οργανισμοί τυποποίησης, σε μια προσπάθεια να θεσπίσουν δοκιμές για να πιστοποιήσουν την καλή και ασφαλή λειτουργία των συσκευών, όρισαν Πρότυπα δοκιμών, με τα οποία θα πρέπει να συμμορφώνεται κάθε συσκευή που παράγεται και τελικά θα χρησιμοποιηθεί από κάποιον χρήστη. Ο χρήστης, μπορεί να βρίσκεται είτε σε περιβάλλον ελαφριάς βιομηχανίας, είτε σε περιβάλλον κατοικίας είτε σε εμπορικό περιβάλλον. Ο κατασκευαστής, θα πρέπει να παρέχει πιστοποιητικά συμμόρφωσης με κάποιους κανονισμούς στον αγοραστή ή χρήστη που θα εγγυώνται την ασφαλή και σωστή λειτουργία της κάτω από ορισμένες συνθήκες. Έχοντας ο χρήστης στα χέρια του το εκάστοτε πιστοποιητικό δοκιμής, θα γνωρίζει ότι η συσκευή που έχει στα χέρια του ανταποκρίνεται σε αυτό για το οποίο έχει πιστοποιηθεί και ότι σε αυτή έχουν γίνει κάποιες δοκιμές (σειράς ή τύπου) με σκοπό τον έλεγχο αυτής.

Η πιστοποίηση και οι έλεγχοι γίνονται για χαρακτηριστικά τα οποία βρίσκονται μέσα στις τυπικές συνθήκες λειτουργίας της συσκευής ή σε συνθήκες λειτουργίας που μπορεί να βρεθεί η συσκευή που βρίσκονται πέρα από τις κανονικές, αλλά είναι πιθανές να συμβούν. Οι διεθνείς οργανισμοί τυποποίησης έχουν προσπαθήσει να προσαρμόσουν τις δοκιμές έτσι ώστε να είναι εφαρμόσιμες σε μεγάλο εύρος δοκιμίων. Θα ήταν δύσκολο να υπάρχει διαφορετική δοκιμή για κάθε συσκευή που κυκλοφορεί στην αγορά.

1.6.2 Πρότυπα

Διεθνή Πρότυπα που ρυθμίζουν την EMC των συστημάτων υπάρχουν εδώ και πολύ καιρό. Οι πρώτοι κανονισμοί εκδόθηκαν από τη CISPR (International Special Committee on Radio Interference – Διεθνής Ειδική Επιτροπή σε θέματα Ραδιοπαρεμβολών) και καλύπτουν μόνο το μέγιστο αποδεκτό επίπεδο ισχύος που θα μπορούσε να εκπέμπεται από τους διαφορετικούς τύπους εξοπλισμών, κυρίως για να προστατευτεί η ραδιομετάδοση και λήψη [8].

Εθνικές επιτροπές και η IEC (International Electrotechnical Commission – Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή) έχουν Πρότυπα που καλύπτουν όλες τις πτυχές της εκπομπής και της ευαισθησίας της EMC που συναντιούνται. Η νέα σειρά που δημιουργήθηκε από τη IEC περιλαμβάνει:

- 61000-1: Εφαρμογή, ορισμοί
- 61000-2: Περιβάλλον, επίπεδα συμβατότητας
- 61000-3: Όρια διαταραχής
- 61000-4: Τεχνικές δοκιμής και μέτρησης
- 61000-5: Οδηγίες εγκατάστασης και μετριάσμού
- 61000-6: Γενικά Πρότυπα

Τα στρατιωτικά Πρότυπα στο EMC έχουν συνταχθεί στη σειρά GAM EG 13 στη Γαλλία και στη σειρά MIL-STD [9] στις Η.Π.Α. Η αυξανόμενη σημασία του EMC και η ενοποίηση της Ευρώπης προκαλούν αλλαγή του τοπίου των πολιτικών Προτύπων [11]. Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο δημοσίευσε μια οδηγία (αναφορά 89/336/ΕΚ) το Μάιο του 1989 γι' αυτό το θέμα, όμως το Δεκέμβριο του 2004 προχώρησε στην κατάργησή της και δημοσίευσε τη νέα οδηγία 2004/108/ΕΚ. Οι οδηγίες αυτές αφορούν την ενοποίηση της νομοθεσίας EMC των χωρών μελών. Κάθε χώρα μέλος είναι δεσμευμένη να το περιλάβει στην εθνική νομοθεσία της και να καταστήσει τη χρήση και την εφαρμογή της υποχρεωτική. Η Ευρωπαϊκή οδηγία όχι μόνο επιβάλλει τα όρια στις εκπεμπόμενες διαταραχές αλλά και θέτει την ελάχιστη ατρωσία στις ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές. Η οδηγία επίσης αναφέρεται στα Πρότυπα που καθορίζουν τα μέγιστα επίπεδα διαταραχής. Τα Ευρωπαϊκά αυτά Πρότυπα (EN) αυτά σχετικά με την EMC καθορίζονται από την CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization – Ευρωπαϊκή Επιτροπή για Ηλεκτροτεχνική Τυποποίηση).

Ορισμένα ειδικά Πρότυπα EMC έχουν επίσης δημοσιευτεί από το ISO (International Organization for Standardization – Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης). Τα Πρότυπα EMC στη Βόρεια Αμερική εκδίδονται από το FCC (Federal Communications Commission – Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών), το ANSI (American National Standards Institute – Εθνικό Αμερικάνικο Ινστιτούτο Προτύπων) και το IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers – Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών).

Σε μεγάλο βαθμό τα Διεθνή και Ευρωπαϊκά Πρότυπα έχουν εναρμονιστεί, κι αυτό γιατί πολλά Πρότυπα EN βασίζονται σε Πρότυπα IEC και/ή CISPR. Υπάρχουν επίσης ομοιότητες μεταξύ των Διεθνών και Αμερικάνικων Προτύπων, αν και δεν είναι ισοδύναμες.

1.6.3 Κατηγορίες Προτύπων

Τα Πρότυπα χωρίζονται κυρίως στις πιο κάτω βασικές κατηγορίες [10]:

- Κοινά/Γενικά Πρότυπα

Τα κοινά Πρότυπα αναφέρονται στο ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον στο οποίο το σύστημα ή η συσκευή πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Τα γενικά Πρότυπα αναφέρονται

σε ομάδες εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένο περιβάλλον όπως γενικός τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός και εξοπλισμός εργαστηρίων.

- Βασικά Πρότυπα

Τα Πρότυπα αυτά περιγράφουν μεθόδους μέτρησης και, σε ορισμένες περιπτώσεις, τα επίπεδα και όρια διαταραχών. Αρχικά υπήρξε η σειρά IEC 801-X που σχετίζεται με βιομηχανικές εφαρμογές, η οποία έχει μετατραπεί στη γενική σειρά από βασικά Πρότυπα IEC 61000-4-X, και η οποία υιοθετήθηκε σε Ευρωπαϊκά Πρότυπα ως EN 61000-4-X.

- Πρότυπα Οικογενειακών Προϊόντων

Αυτά τα Πρότυπα ισχύουν για συγκεκριμένους τύπους προϊόντων οι οποίοι προσδιορίζονται ανάλογα με το εύρος κάθε Προτύπου.

Πέραν των ανωτέρω κατηγοριών Προτύπων, υπάρχουν επίσης και Πρότυπα που προσφέρουν οδηγίες και καθοδήγηση σχετικά με τεχνικές εγκατάστασης ή κώδικες πρακτικής, όπως για παράδειγμα η σειρά IEC 61000-5-X.

Κεφάλαιο 2

Η έννοια της διακρίβωσης

2.1 Βασικές αρχές διακρίβωσης

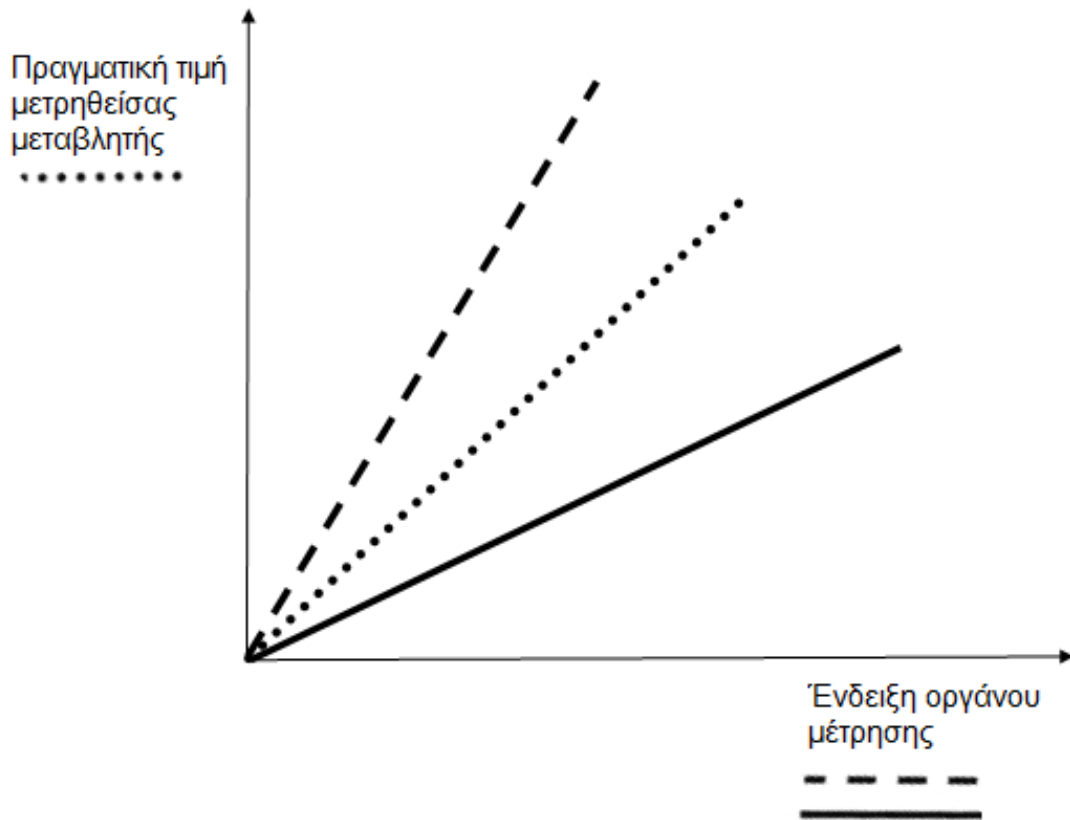
Είναι γνωστό ότι η ποιότητα των προϊόντων και των υπηρεσιών συνδέεται άμεσα με την αξιοπιστία των μετρήσεων και επομένως με την μετρολογική ποιότητα του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στη τρέχουσα παραγωγική διαδικασία. Για το λόγο αυτό σε Πρότυπα σειρών προβλέπονται συγκεκριμένες απαιτήσεις που αφορούν στον έλεγχο, στην συντήρηση και στη διακρίβωση του εξοπλισμού μετρήσεων και δοκιμών [13].

2.1.1 Ορισμός Διακρίβωσης

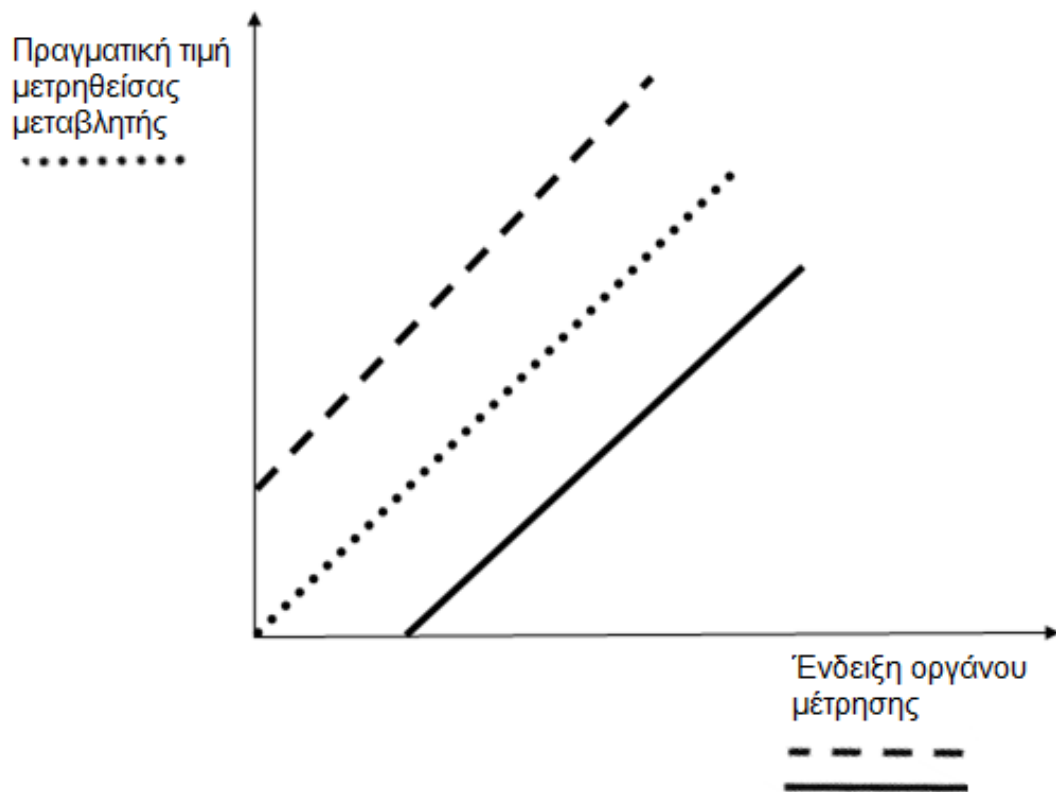
Διακρίβωση είναι η σύγκριση μεταξύ των μετρήσεων μιας συσκευής γνωστής ακριβείας, η οποία καλείται πρότυπη, και μιας άλλης συσκευής μέτρησης, η οποία είναι υπό έλεγχο, ώστε να ανιχνευθεί, να διορθωθεί αν χρειαστεί, και να πιστοποιηθεί η ακρίβεια της τελευταίας [9, 13, 14].

Όλες οι συσκευές μέτρησης απαιτούν διακρίβωση, ακόμη και οι καινούργιες, γιατί θέλουμε να σιγουρευτούμε ότι αυτές παρέχουν ακριβή ένδειξη ή σήμα εξόδου όταν τίθενται σε λειτουργία. Αλλά γιατί δεν επαναπαυόμαστε όσο το όργανο λειτουργεί σωστά και συνεχίζει να μας παρέχει την αναμενόμενη ένδειξη; Ποικιλία παραγόντων οφείλεται για τα σφάλματα των οργάνων μέτρησης: σκόνη, περιβάλλον, παροχή ρεύματος, παρεμβολές σημάτων στην έξοδο, αλλαγή χρήσης κ.τ.λ. Τα σφάλματα αναγνωρίζονται όταν εκτελούμε διακρίβωση, συγκρίνοντας ή εφαρμόζοντας ένα γνωστό σήμα στο υπό εξέταση όργανο. Το σφάλμα ορίζεται ως η αλγεβρική διαφορά μεταξύ μιας ένδειξης και της πραγματικής τιμής της μετρηθείσας μεταβλητής. Τα τυπικά σφάλματα, που συμβαίνουν, περιλαμβάνουν [9, 13, 15]:

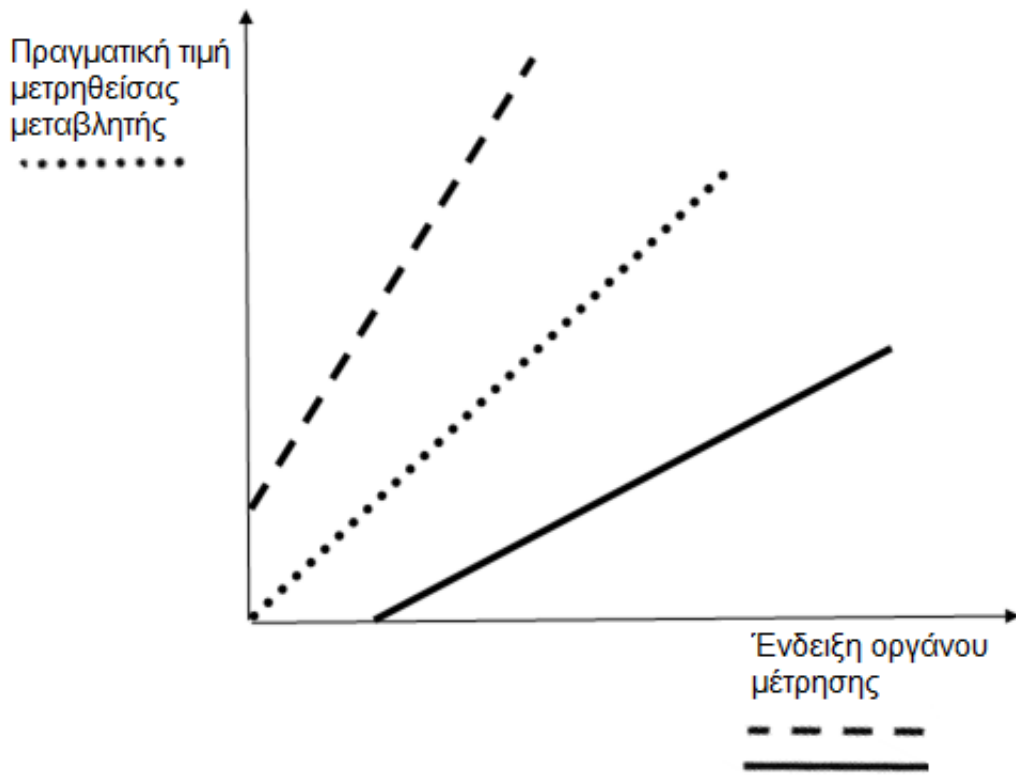
- Σφάλμα εύρους (Σχήμα 2.1)
- Σφάλμα μηδενισμού (Σχήμα 2.2)
- Σφάλμα συνδυασμού εύρους και μηδενισμού (Σχήμα 2.3)
- Σφάλμα ευθυγράμμισης (Σχήμα 2.4)



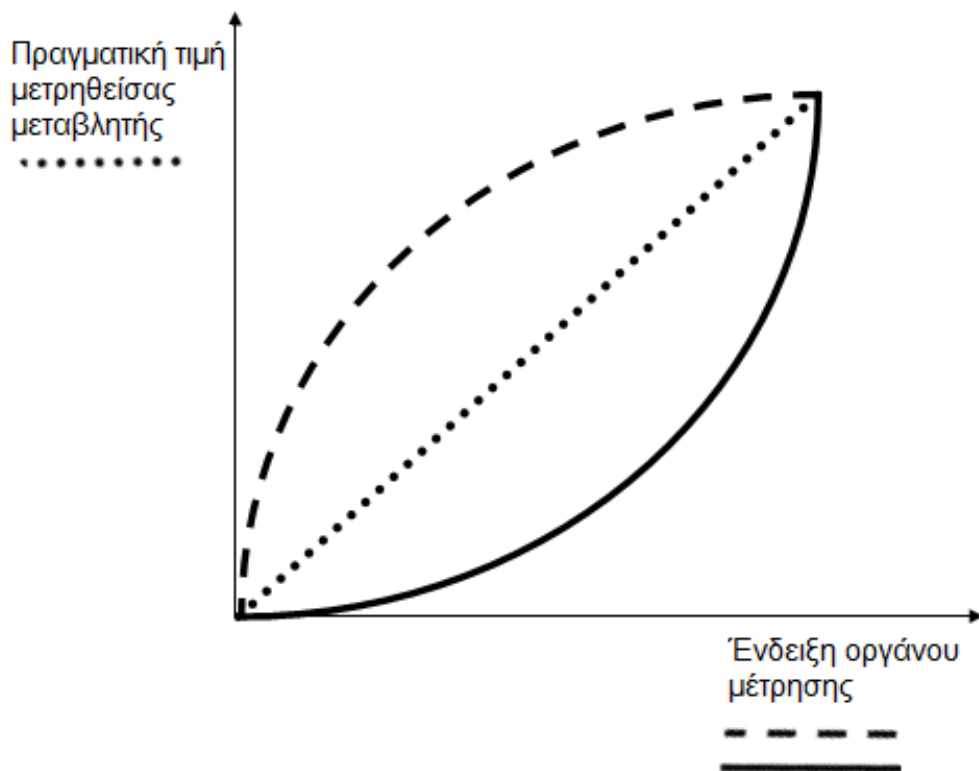
Σχήμα 2.1: Διάγραμμα σφάλματος εύρους.



Σχήμα 2.2: Διάγραμμα σφάλματος μηδενισμού.



Σχήμα 2.3: Διάγραμμα σφάλματος συνδυασμού εύρους και μηδενισμού.



Σχήμα 2.4: Διάγραμμα σφάλματος ευθυγράμμισης.

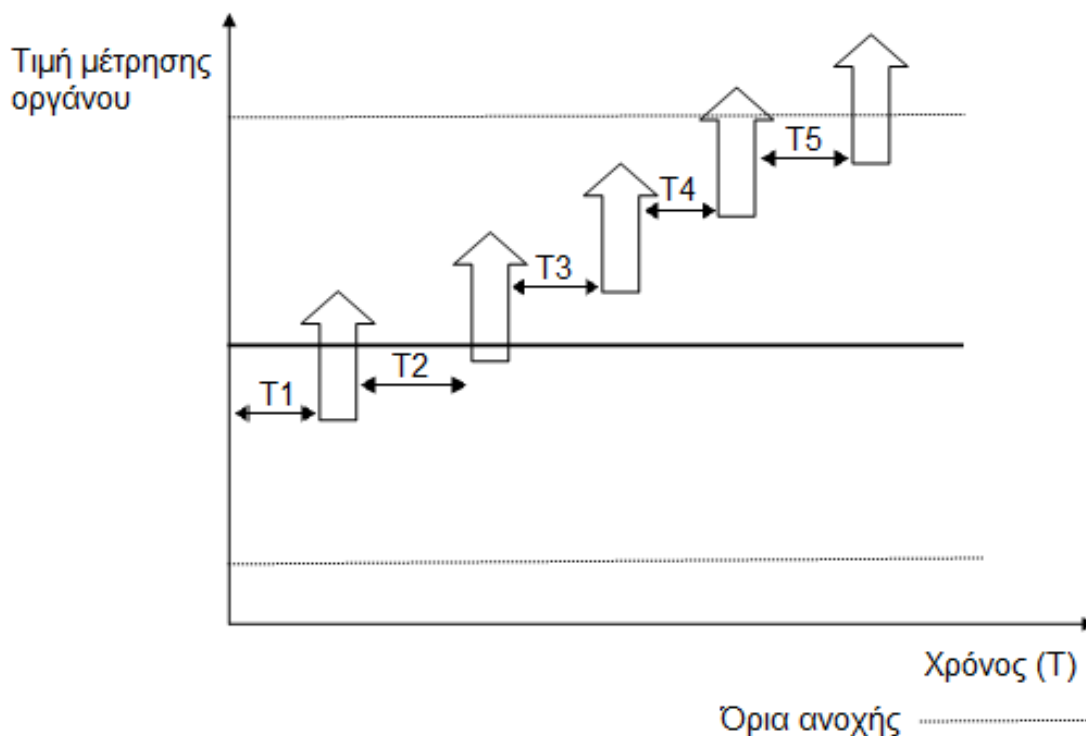
Τα σφάλματα μηδενισμού κι εύρους διορθώνονται με τη διακρίβωση. Οι περισσότεροι κατασκευαστές εκδίδουν οδηγίες βάσει των οποίων πραγματοποιείται η ρύθμιση του μηδέν και του εύρους στα όργανα τους. Για τη ρύθμιση του μηδέν μετατοπίζεται παράλληλα η καμπύλη εισόδου – εξόδου. Για τη ρύθμιση του εύρους αλλάζει η γωνία της καμπύλης εισόδου – εξόδου. Το σφάλμα ευθυγράμμισης μπορεί να διορθωθεί μόνο αν το όργανο διαθέτει αντίστοιχη ρύθμιση κι εφόσον το μέγεθος της μη ευθυγράμμισης είναι αποδεκτό κι επιδέχεται διόρθωσης· αλλιώς το όργανο αντικαθίσταται.

Για να ανιχνευθούν και διορθωθούν τα σφάλματα εφαρμόζονται περιοδικές διακριβώσεις. Ακόμη κι αν η πραγματοποίηση μιας διακριβωσης φανερώσει ότι το όργανο λειτουργεί σωστά και δεν απαιτείται καμία ρύθμιση, δεν θα πρέπει να παραλείπεται ο επόμενος προγραμματισμένος έλεγχος. Άλλωστε για να εξασφαλίσουμε τη ποιότητα και την αξιοπιστία του συστήματος μας θα πρέπει να ανανεώνουμε συχνά τη πιστοποίηση του.

Η βασική λειτουργία του πλήθους των συσκευών μέτρησης βασίζεται στη μετατροπή κάποιας φυσικής παραμέτρου, όπως τάσης, αντίστασης, θερμοκρασίας, κ.τ.λ. σε έναν αριθμό, που αντιστοιχεί στη τιμή μέτρησης της. Για να επιτευχθεί αυτό, περιέχουν ανεξάρτητα ηλεκτρονικά κυκλώματα, που εκτελούν διάφορες συναρτήσεις προκειμένου να απεικονίσουν με ακρίβεια τη τιμή μιας παραμέτρου. Αν υπήρχε τέλειος κόσμος, τα ηλεκτρονικά αυτά στοιχεία, όπως πυκνωτές, αντιστάσεις, αυτεπαγωγές, θα διατηρούσαν αναλλοίωτη την αρχική τους αξία. Όμως η πραγματικότητα είναι ότι φθείρονται, «γερνούν» με το χρόνο, τη θερμοκρασία, τη μόλυνση, την υγρασία. Για αυτό άλλωστε και οι κατασκευαστές ορίζουν τα επίπεδα υγρασίας και θερμοκρασίας που θα πρέπει να τηρούνται στο περιβάλλον όπου λειτουργούν οι συσκευές τους. Με τη φθορά των στοιχείων προκαλούνται λανθασμένες και μη αξιόπιστες μετρήσεις.

Με άλλα λόγια, η ένδειξη ενός μετρητικού οργάνου για μια ορισμένη τιμή μεγέθους δεν παραμένει η ίδια με το χρόνο, ακόμα και όταν οι συνθήκες μέτρησης δεν έχουν αλλάξει. Ανεξάρτητα από το πόσο σύγχρονα ή «έξυπνα» είναι, όλα τα μετρητικά συστήματα μειονεκτούν όσον αφορά τη σταθερότητα της ένδειξης ή της μετρητικής τιμής τους. Οι λόγοι, στους οποίους οφείλεται η ολίσθηση της τιμής, μπορούν να αναζητηθούν στην αρχή λειτουργίας, στον τρόπο κατασκευής του οργάνου και στο υλικό που χρησιμοποιήθηκε για τη κατασκευή του οργάνου. Το μέγεθος της ολίσθησης για ένα συγκεκριμένο όργανο εξαρτάται από τη συχνότητα και τον τρόπο χρήσεως καθώς και από τον τρόπο αποθήκευσης του (μεταβολές θερμοκρασίας, καθαριότητα κλπ). Η ολίσθηση αυτή γίνεται σε μια ορισμένη κατεύθυνση και αποτελεί πλέον μια συστηματική απόκλιση από την αρχική κατάσταση του οργάνου. Αποκλίσεις τέτοιας φύσης δεν αποκαλύπτονται εάν το όργανο δεν συγκριθεί έστω και σε μια τιμή με ένα διακριβωμένο Πρότυπο αντίστοιχης ή καλύτερα μικρότερης αβεβαιότητας. Στις περισσότερες περιπτώσεις η θεωρητική εκτίμηση της ολίσθησης είναι πάρα πολύ δύσκολη και μόνο με την πρακτική εμπειρία για συγκεκριμένα όργανα μπορούν να δοθούν αξιόπιστες τιμές για τη ποσοτική πρόβλεψη της.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 2.5) φαίνεται ο ρυθμός ολίσθησης μιας ορισμένης τιμής μέτρησης ενός οργάνου σχετικά με κάποια αυθαίρετα όρια ανοχής. Το παράδειγμα αυτό παρουσιάζει μια συστηματική ολίσθηση με τάση να αυξηθεί η τιμή με το χρόνο.



Σχήμα 2.5: Διάγραμμα για τον ρυθμό της ολίσθησης ένδειξης/τιμής μετρητικών οργάνων / Προτύπων σχετικά με αυθαίρετα όρια ανοχής (+/-) ^[13].

Όπως παρατηρείται, μετά από κάθε διακρίβωση αυξάνει η αβεβαιότητα των μετρήσεων λόγω της αυξανόμενης συστηματικής απόκλισης. Μετά την τρίτη διακρίβωση γίνονται πλέον αμφίβολες οι μετρήσεις. Οι τιμές έχουν φτάσει τα όρια της επιτρεπόμενης ανοχής. Προτείνεται να γίνει μια ρύθμιση της ένδειξης το αργότερο μετά το διάστημα T4 και αμέσως μετά από μια διακρίβωση.

Η αναπαραγωγιμότητα ενός οργάνου είναι η διαφορά μετρητικών αποτελεσμάτων σε μια ορισμένη τιμή όταν αλλάζει το περιβάλλον / ο τόπος, ο χρήστης και όταν οι επαναλαμβανόμενες μετρήσεις απέχουν μεγάλο χρονικό διάστημα μεταξύ τους. Συχνά αναφέρουν τα εγχειρίδια χρήσης μετρητικών οργάνων μια τιμή για την αναπαραγωγιμότητα του. Η τιμή αυτή είναι χρήσιμη για τον προσδιορισμό της αρχικής περιόδου της επαναδιακρίβωσης.

2.2 Χαρακτηριστικά Διακρίβωσης

Οι λόγοι οι οποίοι καθιστούν τη διακρίβωση εξοπλισμού αναγκαία προκύπτουν κυρίως από την ανάγκη παροχής απόδειξης αποδεκτής μέτρησης από ένα συγκεκριμένο όργανο μέτρησης και την ανάγκη αναγνώρισης της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων μιας μέτρησης. Αλληλένδετες έννοιες με αυτήν της διακρίβωσης είναι η επαλήθευση, η ιχνηλασιμότητα και η αβεβαιότητα μέτρησης. Η κατανόηση αυτών των εννοιών βοηθάει πολύ την κατανόηση της έννοιας Ποιότητα.

Ενώ λοιπόν διακρίβωση ενός οργάνου μέτρησης είναι το σύνολο των δραστηριοτήτων οι οποίες προσδιορίζουν τις τιμές σφάλματος του, επαλήθευση του οργάνου θεωρείται η επιβεβαίωση μετά από εξέταση και η απόδειξη ότι υπάρχει συμμόρφωση του οργάνου με συγκεκριμένες απαιτήσεις.

2.2.1 Εύρος Διακρίβωσης

Τυπικά η διακρίβωση όπως οργάνου ελέγχεται σε πολλά σημεία σε όλο το εύρος διακρίβωσης του οργάνου. Το εύρος διακρίβωσης ορίζεται ως η περιοχή μεταξύ των ορίων, δηλαδή της χαμηλότερης και της υψηλότερης τιμής, εντός των οποίων μια ποσότητα μπορεί να μετρηθεί. Τα όρια αυτά ορίζονται από τη μηδενική τιμή και το εύρος. Μηδενική είναι η χαμηλότερη τιμή κι εύρος είναι η αλγεβρική διαφορά μεταξύ υψηλότερης και χαμηλότερης τιμής. Το εύρος διακρίβωσης μπορεί να διαφέρει από το εύρος που μπορεί να μετρήσει το όργανο.

Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε ένα πομπό ηλεκτρικής πίεσης που έχει εύρος οργάνου 0 – 750 psig κι έξοδο 4 – 20 mA, αλλά ο μηχανικός έχει καθορίσει ότι θα διακριβωθεί για 0 – 300 psig = 4 – 20 mA. Τότε η μηδενική εισόδος είναι 0 psig και η μηδενική έξοδος 4 mA. Η απόσταση εισόδου, δηλαδή το εύρος, είναι 300 psig και εξόδου 16 mA.

2.2.2 Ακρίβεια και Ανοχή Διακρίβωσης

Συχνά γίνεται σύγχυση μεταξύ των όρων ακρίβεια και ανοχή, οπότε καλό είναι να τα ορίσουμε και να τα ξεχωρίσουμε [9, 13]:

Ακρίβεια ενός οργάνου είναι ο λόγος του σφάλματος προς τη συνολική έξοδο σε ποσοστό επί όπως εκατό (%).

Ανοχή διακρίβωσης είναι η επιτρεπτή παρέκκλιση από μια συγκεκριμένη τιμή σε μονάδα μέτρησης ή σπανιότερα σε ποσοστό επί όπως εκατό. Κάθε διακρίβωση θα πρέπει να πραγματοποιείται με μια ορισμένη ανοχή.

Αν αναφερθούμε στο προηγούμενο παράδειγμα μας, στον πομπό πίεσης 0 – 16 mA και 0 – 300 psig και θεωρήσουμε ανοχή διακρίβωσης ± 2 psig, η ανοχή εξόδου θα είναι: $2 \text{ psig} \times 16 \text{ mA} / 300 \text{ psig} = 0,1067 \text{ mA}$. Άρα θα πρέπει να δεχτούμε ότι η ανοχή θα είναι $\pm 0,1 \text{ mA}$, γιατί αλλιώς το 0,11 mA θα υπερέβαινε την υπολογιζόμενη τιμή.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι η ακρίβεια για αυτό το όργανο σύμφωνα με τον κατασκευαστή θα μπορούσε να είναι 0,25 %. Επομένως η ανοχή διακρίβωσης δε θα πρέπει να στηρίζεται μόνο στις προδιαγραφές του κατασκευαστή, αλλά θα πρέπει να καθορίζεται από ένα συνδυασμό παραγόντων, όπως:

- Τις απαιτήσεις της διαδικασίας
- Τις ικανότητες του διατιθέμενου εξοπλισμού
- Την ανοχή του κατασκευαστή

Για παράδειγμα, αν η διαδικασία απαιτεί $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, αλλά ο διαθέσιμος εξοπλισμός είναι ικανός για $\pm 0,25 \text{ }^\circ\text{C}$ και η ακρίβεια βάσει του κατασκευαστή είναι $\pm 0,25 \text{ }^\circ\text{C}$, τότε μια επιτρεπτή ανοχή διακρίβωσης θα ήταν $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, έτσι ώστε να συμφωνεί και με λόγο ακριβείας ίσο με 4:1.

2.2.3 Λόγος Ακρίβειας

Ο λόγος ακρίβειας χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη σχέση μεταξύ της ακρίβειας του Προτύπου με την ακρίβεια της υπό έλεγχο συσκευής. Ένας καλός κανόνας είναι να εξασφαλίσεις λόγο ακρίβειας 4:1 όταν εκτελείς διακρίβωση. Αυτό σημαίνει ότι το Πρότυπο που χρησιμοποιείται θα πρέπει να είναι 4 φορές πιο ακριβές από το όργανο που ελέγχεται. Με τη σημερινή τεχνολογία, ο λόγος ακρίβειας 4:1 γίνεται πολύ δύσκολο να επιτευχθεί. Γιατί συστήνεται ο 4:1 λόγος; Ας εξετάσουμε το ενδεχόμενο να βρεθεί κάποιο υψηλής ακρίβειας Πρότυπο εκτός ανοχών επί τον παράγοντα 2. Αν έχουμε εξασφαλίσει ένα λόγο 4:1, τότε δεν θα χρειαστεί να αμφισβητήσουμε όσες διακρίβώσεις έχουν ήδη γίνει, χρησιμοποιώντας αυτό το Πρότυπο.

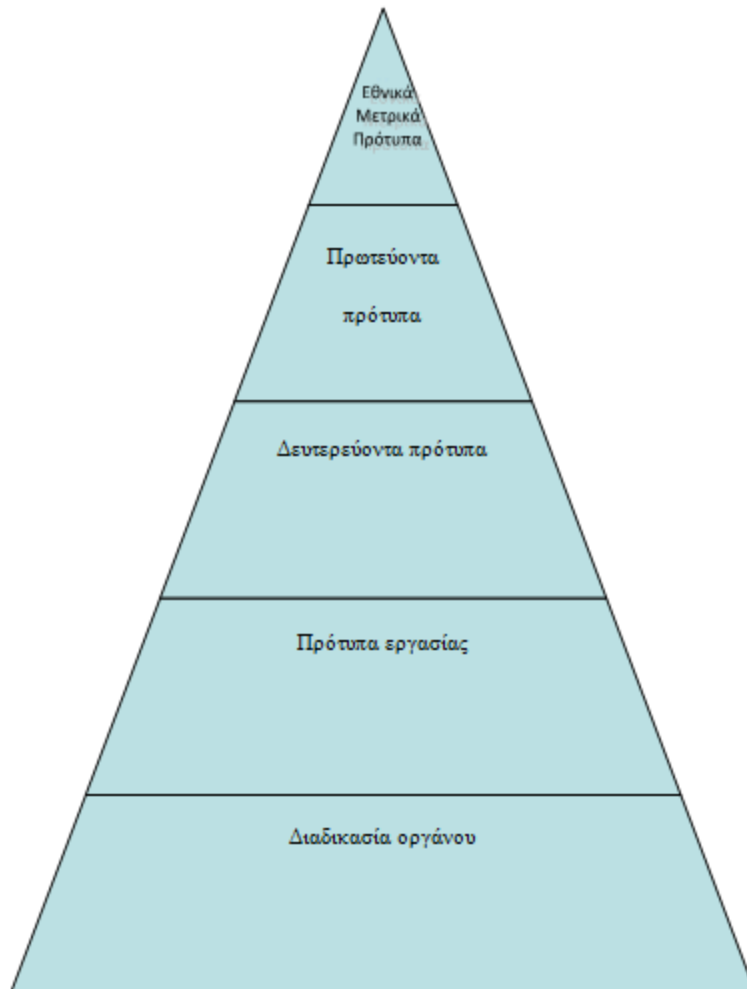
Ας επανέλθουμε πάλι στο προηγούμενο παράδειγμα μας και ας υποθέσουμε ότι χρησιμοποιήσαμε έναν εξοπλισμό με ανοχή $\pm 0,25$ °C και ότι βρέθηκε να είναι εκτός ανοχής $\pm 0,5$ °C κατά τη διάρκεια προγραμματισμένης διακρίβωσης. Από τη στιγμή που λάβαμε υπόψη μας έναν λόγο ακρίβειας 4:1 και ανοχή διακρίβωσης ± 1 °C, είμαστε ασφαλείς και δεν χρειάζεται να αμφισβητήσουμε τη διακρίβωση που εκτελέσαμε χρησιμοποιώντας αυτόν τον εξοπλισμό.

Στην περίπτωση όμως που θα είχαμε αποδεχτεί ανοχή διακρίβωσης $\pm 0,25$ °C ή αν είχαμε χρησιμοποιήσει εξοπλισμό με ανοχή διακρίβωσης ± 1 °C τότε δεν θα ήμασταν σίγουροι για το αποτέλεσμα της μέτρησης και η διακρίβωση θα έπρεπε να επαναληφθεί. Αυτό μας οδηγεί στην έννοια του όρου ιχνηλασιμότητα.

2.2.4 Ιχνηλασιμότητα

Ιχνηλασιμότητα είναι ο συσχετισμός των αποτελεσμάτων – μετρήσεων με εθνικά ή διεθνή Πρότυπα, μέσω μιας αδιάσπαστης αλυσίδας συσχέτισης, δηλαδή συγκρίσεων, επομένως διακρίβωσης. Έτσι δημιουργείται μια πυραμίδα ιχνηλασιμότητας, η οποία περιλαμβάνει ιεραρχικά: τα διεθνή Πρότυπα, τα εθνικά, τα Πρότυπα του εργαστηρίου διακρίβωσης και τα όργανα εργασίας της βιομηχανίας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6. Αυτή η πυραμίδα ιχνηλασιμότητας δείχνει τη μεταφορά ακρίβειας. Η ιχνηλασιμότητα, εκφρασμένη σαν ιεραρχία διακρίβωσης, σημαίνει πως η ένδειξη τελικά ενός οργάνου μέτρησης μπορεί να συσχετιστεί με το εθνικό Πρότυπο του μετρούμενου μεγέθους σε ένα ή περισσότερα στάδια.

Η ιχνηλασιμότητα επιτυγχάνεται εξασφαλίζοντας ότι τα Πρότυπα που χρησιμοποιούμε διακρίβώνονται περιοδικά από Πρότυπα αναφοράς υψηλότερης ακρίβειας. Ο ρόλος του τεχνικού διακρίβωσης στη διατήρηση της ιχνηλασιμότητας είναι να εξασφαλίσει ότι ο εξοπλισμός Προτύπου που χρησιμοποιεί έχει διακριβωθεί και δεν έχει παρέλθει ο χρόνος για τον επόμενο προγραμματισμένο έλεγχο. Στη τήρηση των χρονοδιαγραμμάτων βοηθάει πολύ το πιστοποιητικό διακρίβωσης, το οποίο παρέχεται από το εργαστήριο διακρίβωσης και για το οποίο θα γίνει λόγος αργότερα.



Σχήμα 2.6: Πυραμίδα Ιχνηλασιμότητας^[13].

2.2.5 Αβεβαιότητα Μέτρησης

Αβεβαιότητα μέτρησης είναι μια παράμετρος του αποτελέσματος μέτρησης που χαρακτηρίζει το διάστημα τιμών, μέσα στο οποίο εκτιμάται ότι βρίσκεται το μετρούμενο μέγεθος. Πρόκειται για μια ποσοτική μέτρηση της ισχύος της αλυσίδας της ιχνηλασιμότητας. Η ανάλυση της αβεβαιότητας πραγματοποιείται για να αξιολογήσει και να αναγνωρίσει όλους εκείνους τους παράγοντες που σχετίζονται με τον εξοπλισμό της διακρίβωσης και με το υπό εξέταση όργανο και επηρεάζουν την ακρίβεια της διακρίβωσης. Οι τεχνικοί διακρίβωσης θα πρέπει να γνωρίζουν τους βασικούς παράγοντες για την ανάλυση της αβεβαιότητας, όπως οι περιβαλλοντικές συνθήκες και επίσης πώς να συνδυάζουν πολλαπλές ακρίβειες του επιμέρους εξοπλισμού ώστε να υπολογίζουν μια συνολική ακρίβεια [9].

2.2.5.1 Από το σφάλμα στην αβεβαιότητα

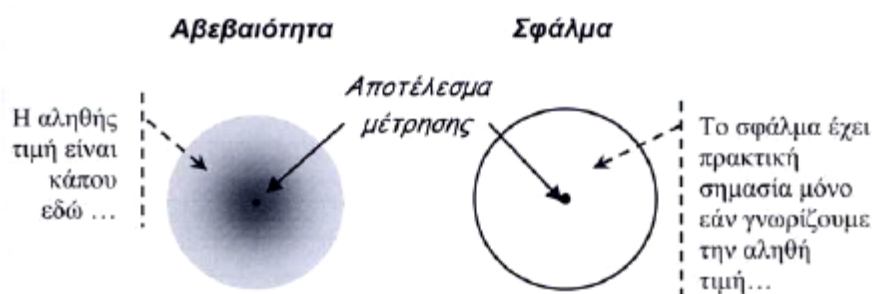
Ως σφάλμα ορίζεται η διαφορά ανάμεσα στο αποτέλεσμα μιας μέτρησης και μιας αληθούς τιμής του μετρούμενου μεγέθους. Πρέπει να σημειωθεί ότι με τη λέξη αληθής χρησιμοποιείται το αόριστο άρθρο «μια» και όχι το οριστικό «η» για να

τονιστεί ότι είναι δυνατόν να υπάρχουν περισσότερες από μία τιμές συμβατές με τον ορισμό του μετρούμενου μεγέθους και ότι δεν μπορούμε να ξέρουμε ποια είναι η αληθής τιμή. Δηλαδή το σφάλμα είναι εξ' ορισμού μια μη προσδιορίσιμη αφηρημένη έννοια, που αντιπροσωπεύει τη διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη και την αληθή αλλά άγνωστη τιμή ενός μεγέθους.

Τα σφάλματα διακρίνονται σε συστηματικά και τυχαία. Τα συστηματικά σφάλματα οφείλονται στην κακή βαθμονόμηση ή χρήση των οργάνων, στην παράβλεψη ορισμένων φαινομένων, στον μη απόλυτο έλεγχο των συνθηκών του πειράματος, στον παρατηρητή ή σε άλλα εξωτερικά αίτια. Η αιτία των συστηματικών σφαλμάτων είναι γνωστή, όχι και όμως και η τιμή τους, ενώ υπακούουν σε φυσικούς νόμους. Τα τυχαία σφάλματα οφείλονται στην έλλειψη ευαισθητής απόκρισης του οργάνου ή του παρατηρητή, σε φαινόμενα όπου το ίδιο το σύστημα χαρακτηρίζεται από διακυμάνσεις, σε εξωτερικό «θόρυβο» ή σε στατιστικές διαδικασίες. Τα τυχαία σφάλματα έχουν άγνωστη αιτία και τιμή, δεν υπακούουν σε φυσικούς νόμους, ενώ μελετώνται στη θεωρία σφαλμάτων [19, 20].

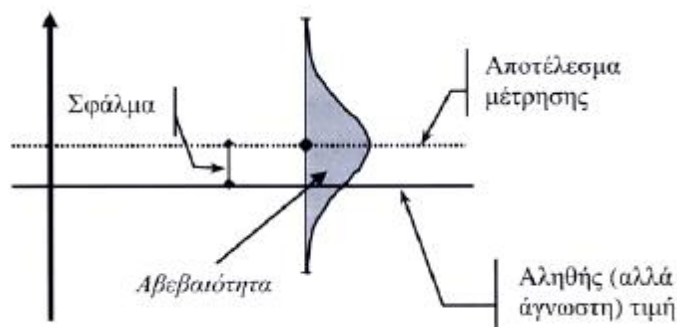
Με τον όρο σφάλμα, λοιπόν, δεν εννοούμε την απόκλιση της μέτρησης από τη θεωρητικά αποδεκτή τιμή. Η έννοια του σφάλματος αναφέρεται στην αβεβαιότητα των μετρήσεων την οποία δεν μπορούμε να διορθώσουμε. Ακόμα και αν επαναλάβουμε τις μετρήσεις δεν μπορεί να εξαλειφθεί, μπορεί όμως να οδηγήσει σε μια κατανομή των μετρούμενων μεγεθών που μπορούν να αναλυθούν στατιστικά. Πρέπει επομένως το σφάλμα να διαφοροποιείται προσεκτικά από την αβεβαιότητα, η οποία αποτελεί ένα ποσοτικό μέτρο της ποιότητας των γνώσεων που διαθέτουμε για το μετρούμενο μέγεθος. Τελικά το σφάλμα δεν έχει ιδιαίτερα πρακτική χρησιμότητα, αφού εκφράζει τη διαφορά της αληθούς τιμής, που δεν είναι δυνατόν να γνωρίζουμε, από μια μέτρηση, για την αξιοπιστία της οποίας δε διαθέτουμε καμία ένδειξη. Το σφάλμα αποτελεί μια αφηρημένη έννοια σχετική με ένα σημείο, ενώ η αβεβαιότητα περιγράφει ένα εύρος τιμών (Σχήμα 2.7) [9, 16].

Σε αντιδιαστολή με τον αφηρημένο χαρακτήρα του σφάλματος, η αβεβαιότητα ορίζεται πρακτικά - σύμφωνα με τον τις οδηγίες που προτείνονται από την International Committee for Weights and Measures (CIPM) και περιγράφονται στον Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) [17] – ως παράμετρος συνδεδεμένη με το αποτέλεσμα μιας μέτρησης, η οποία χαρακτηρίζει τη διασπορά των τιμών που θα μπορούσε εύλογα να αποδοθεί στο μετρούμενο μέγεθος.



Σχήμα 2.7: Η αβεβαιότητα, συγκρινόμενη με το σφάλμα, δίνει μια θολή αλλά ρεαλιστική εικόνα για την τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Σχηματικά μπορεί να ειπωθεί ότι η τοποθέτηση του σφάλματος στο επίκεντρο της προσοχής έχει τις ρίζες της σε μια ντετερμινιστική προσέγγιση, ενώ η αβεβαιότητα συνδέεται με μια στοχαστική προσέγγιση ^[23].

Η πληροφορία επομένως που διαθέτουμε για το αποτέλεσμα μιας μέτρησης αφορά όχι μόνο στην εκτιμώμενη καλύτερη προσέγγιση της τιμής του μετρούμενου μεγέθους, αλλά και στη διασπορά των πιθανών τιμών που το μέγεθος αυτό θα μπορούσε να έχει, με επίγνωση της αδυναμίας να εντοπιστεί η μία και μοναδική αληθής τιμή (Σχήμα 2.8) [9].



Σχήμα 2.8: Σφάλμα και αβεβαιότητα ^[23].

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι ένα αποτέλεσμα μέτρησης μπορεί τελικά να εμπεριέχει μικρό (αλλά άγνωστο) σφάλμα και να χαρακτηρίζεται από μεγάλη αβεβαιότητα, όπως και αντίστροφα, μπορεί να χαρακτηρίζεται από μικρή αβεβαιότητα αλλά στην πραγματικότητα το σφάλμα να είναι μεγάλο. Αυτό που απαιτείται είναι η διατύπωση ενός διαστήματος $\Delta X = (x_a, x_b)$, μέσα στο οποίο περιέχεται η αληθής τιμή με μια λιγότερο ή περισσότερο σημαντική πιθανότητα ρ , αποκαλούμενη πιθανότητα κάλυψης (coverage probability) ή επίπεδο εμπιστοσύνης (confidence level). Για τις συνήθεις κατανομές πιθανοτήτων η επιλογή ενός διαστήματος ΔX εκατέρωθεν της αναμενόμενης τιμής x_e , οδηγεί σε χαμηλά επίπεδα εμπιστοσύνης. Εάν επιζητείται μεγαλύτερη πιθανότητα κάλυψης, είναι αναγκαία η αύξηση του διαστήματος, πολλαπλασιάζοντας αντίστοιχα την τυπική αβεβαιότητα με ένα συντελεστή κάλυψης k , η τιμή του οποίου εξαρτάται από το είδος της κατανομής $f(x)$ και από το επιθυμητό επίπεδο εμπιστοσύνης. Το γινόμενο $U_x = k u_x$ ονομάζεται διευρυμένη αβεβαιότητα και το τελικό αποτέλεσμα διατυπώνεται ως $x_e + U_x$ [9, 20].

Πέρα λοιπόν από την πιθανότερη τιμή, απαιτείται η γνώση της τυπικής απόκλισης σ_x των πιθανών τιμών, αλλά και πληροφορίες για το είδος της κατανομής $f(x)$, έτσι ώστε να είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η τυπική αβεβαιότητα $u_x = \sigma_x$ και το διάστημα $(x_e - k u_x, x_e + k u_x)$, μέσα στο οποίο περιέχεται η ορθή αλλά άγνωστη τιμή για ένα δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης, το οποίο ορίζεται με τη βοήθεια του συντελεστή κάλυψης k , που εξαρτάται με τη σειρά του από την επιθυμητή πιθανότητα εμπιστοσύνης [21].

Για την μέτρηση αβεβαιοτήτων σε EMC με την πιστοποίηση του United Kingdom Accreditation Service (UKAS), σύμφωνα με την προδιαγραφή ISO/IEC 17025 [22], απαιτείται να χρησιμοποιηθούν αποδεκτές μέθοδοι ανάλυσης, μέσω της εφαρμογής συγκεκριμένης διαδικασίας για τη μέτρηση.

Σύμφωνα με τη προδιαγραφή ISO/IEC 17025 [22], η πολυπλοκότητα των δοκιμών μπορεί σε μερικές περιπτώσεις να αποκλείσει μια αυστηρή εκτίμηση της αβεβαιότητας. Σε τέτοιες περιπτώσεις πρέπει να γίνει μια λίστα πιθανών συνεισφερόντων αβεβαιοτήτων και πρέπει να περιλαμβάνει εκτιμήσεις μεγέθους κάθε συστατικού αβεβαιότητας. Αυτές οι εκτιμήσεις μπορούν να βασιστούν σε

προηγούμενες εμπειρίες και να χρησιμοποιούν δεδομένα από επικυρωμένες μεθόδους. Το εργαστήριο πρέπει να εξασφαλίσει ότι η μορφή της παρουσίασης του αποτελέσματος δεν δίνει μια λανθασμένη εντύπωση της αβεβαιότητας.

Σε περιπτώσεις όπου μια αναγνωρισμένη μέθοδος δοκιμής καθορίζει τα όρια στις τιμές των σημαντικών πηγών αβεβαιότητας των μετρήσεων και διευκρινίζει τη μορφή παρουσίασης των αποτελεσμάτων, ο υπολογισμός της αβεβαιότητας θεωρείται ικανοποιητικός ακολουθώντας τη μέθοδο δοκιμής και τις οδηγίες που αναφέρονται [21].

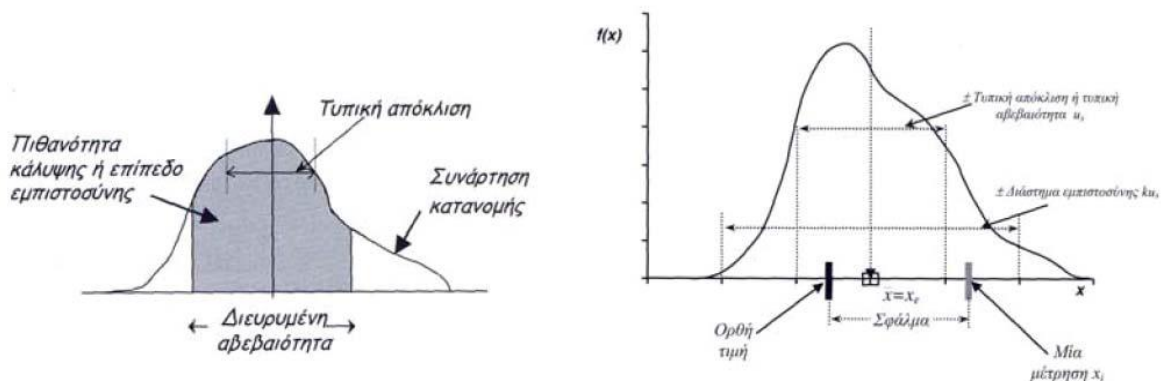
Μια μέτρηση έχει σαν στόχο να καθορίσει τη μετρούμενη τιμή, δηλαδή τη συγκεκριμένη ποσότητα που υπόκειται στη μέτρηση. Όταν εφαρμόζεται σε δοκιμή EMC, ο γενικός όρος του μετρούμενου μπορεί να καλύψει πολλές διαφορετικές ποσότητες, π.χ. τις εκπομπές από δοκιμές εκπομπών ακτινοβολίας, ή το επίπεδο δοκιμής σε μια δοκιμή απαλλαγής ακτινοβολίας. Μια μέτρηση αρχίζει με ένα κατάλληλο καθορισμό του μετρούμενου, τη γενική μέθοδο μέτρησης και τη συγκεκριμένη λεπτομερή διαδικασία μέτρησης [21].

2.2.5.2 Κατηγοριοποίηση αβεβαιοτήτων (Τύπου A & Τύπου B)

Σύμφωνα με όσα ειπώθηκαν παραπάνω, το αποτέλεσμα μιας μέτρησης δεν περιορίζεται σε καμία περίπτωση στην τιμή του μετρούμενου μεγέθους, αφού πρόκειται για μία στοχαστική μεταβλητή και η αποδιδόμενη τιμή χαρακτηρίζεται από μία αβεβαιότητα. Η αβεβαιότητα αυτή μπορεί να εκφραστεί είτε ως τυπική απόκλιση της συνάρτησης κατανομής που χαρακτηρίζει το αποτέλεσμα, και αποκαλείται τότε τυπική αβεβαιότητα (standard uncertainty), είτε ως διάστημα στο οποίο περιέχεται η αληθής τιμή, με μια ορισμένη στάθμη σιγουριάς ή εμπιστοσύνης, και αποκαλείται διευρυμένη αβεβαιότητα (expanded uncertainty) (Σχήμα 2.9).

Πρέπει να τονιστεί ότι, η αβεβαιότητα χαρακτηρίζει την ποιότητα μίας μέτρησης και πιο συγκεκριμένα το αποτέλεσμα της. Δεν αφορά άμεσα τα παρατηρούμενα μεγέθη, τα οποία είναι δεδομένα και ανεξάρτητα από τη δυνατότητα του παρατηρητή να τα προσεγγίσει. Η αβεβαιότητα αφορά πάντα μια συγκεκριμένη τιμή, όπως αυτή εκτιμήθηκε κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, σύμφωνα με συγκεκριμένη διαδικασία, και χαρακτηρίζει τη γνώση που διαθέτουμε για το μετρούμενο μέγεθος.

Είναι επομένως δυνατόν, κάποιος άλλος να δώσει μια άλλη εκτίμηση τόσο για την τιμή του ίδιου μεγέθους όσο και για την αβεβαιότητα που συνοδεύει την τιμή αυτή.



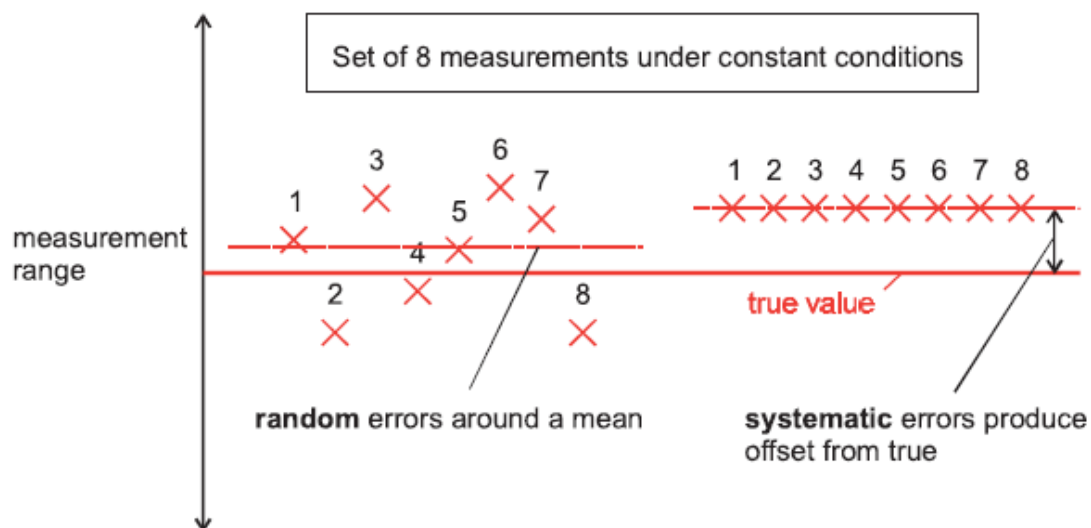
Σχήμα 2.9: Κατανομή πιθανοτήτων των πιθανών τιμών μιας μεταβλητής [23].

Στα EMC ο υπολογισμός αβεβαιότητας είναι ένας κατάλογος των πιθανών πηγών σφαλμάτων με μια εκτίμηση των ορίων αβεβαιότητάς τους και της κατανομής πιθανότητας τους. Είναι πιθανό μερικές συνεισφορές αβεβαιότητας να μην είναι οι ίδιες σε όλη τη διάρκεια της μέτρησης και θα πρέπει να ληφθεί μια απόφαση για την κατάλληλη διακοπή της. Ένας απλός υπολογισμός που καλύπτει όλη τη διάρκεια της μέτρησης μπορεί να σημαίνει ότι υπάρχει μεγαλύτερη αβεβαιότητα από την απαραίτητη. Εντούτοις, αυτό μπορεί να είναι προτιμότερο σε μερικές περιπτώσεις όπου δεν είναι απαραίτητο να δυσκολέψει υπερβολικά ο υπολογισμός και η παρουσίαση της διαδικασίας. Πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στον υπολογισμό της αβεβαιότητας στην περιοχή του ορίου ή των ορίων των προδιαγραφών δοκιμής [16].

Η αβεβαιότητα στο αποτέλεσμα μιας μέτρησης αποτελείται γενικά από πολλές συνιστώσες, οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο είδη ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού τους: οι αβεβαιότητες τύπου A, που υπολογίζονται με στατιστικές μεθόδους, και οι αβεβαιότητες τύπου B, που υπολογίζονται με άλλα μέσα [9, 16, 18].

Οι συνιστώσες τύπου A (random uncertainty, Σχήμα 2.10) προκύπτουν από τη μεταβλητότητα (variance) ή την τυπική απόκλιση (standard deviation) και τους βαθμούς ελευθερίας του αποτελέσματος, ενώ είναι συχνά απαραίτητη και η γνώση της συμμεταβλητότητας (covariance).

Οι συνιστώσες τύπου B (systematic uncertainty, Σχήμα 2.10), παρά το ότι δεν προκύπτουν απευθείας από κάποια στατιστική επεξεργασία, οφείλουν να παρουσιάζονται με όρους τυπικής αβεβαιότητας. Η τυπική αυτή αβεβαιότητα μπορεί να θεωρηθεί ως προσέγγιση της αντίστοιχης μεταβλητότητας, η ύπαρξη της οποίας υφίσταται ως υπόθεση.



Σχήμα 2.10: Τυχαία (random) και συστηματικά (systematic) σφάλματα ^[25].

Η τελική συνδυασμένη αβεβαιότητα (combined uncertainty) προκύπτει από το συνδυασμό όλων των επιμέρους συνιστωσών, εκφραζόμενων με τη μορφή τυπικών αποκλίσεων.

2.3 Εκτίμηση αβεβαιοτήτων

2.3.1 Εκτίμηση αβεβαιοτήτων τύπου A

Η αβεβαιότητα τύπου A (random uncertainty, σύμφωνα με τους κανονισμούς IEC 60-2, 1994, Amendment 1 High Voltage Test Techniques, Part 2: Measuring Systems, Annex H Procedure for estimating uncertainty in High Voltage measurements) χρησιμοποιείται όταν το αποτέλεσμα x μιας μέτρησης προκύπτει από τις τιμές x_i , $i = 1, 2, \dots, n$ των n ανεξάρτητων επαναλαμβανόμενων μετρήσεων μιας μη μεταβαλλόμενης ποσότητας X , κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες επαναληψιμότητας, χρησιμοποιώντας όργανα μέτρησης χαρακτηριζόμενα από αμελητέα απόκλιση στο χρονικό διάστημα που διαρκεί η μέτρηση.

Οι αβεβαιότητες τύπου A υπολογίζονται βάσει στατιστικών κανόνων. Πραγματοποιείται ένας αριθμός μετρήσεων και προκύπτει η στατιστική κατανομή των αποτελεσμάτων μέτρησης. Η πραγματική κατανομή σπάνια είναι γνωστή με ακρίβεια και για λόγους πρακτικούς όσο και στατιστικούς προσεγγίζεται με την κανονική κατανομή.

Ανάλογα με το πλήθος των μετρήσεων διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις [18]:

α) U_r για μικρό αριθμό μετρήσεων (π.χ. 10):

Σε αυτήν την περίπτωση η αβεβαιότητα δίνεται από τη σχέση:

$$U_r = \frac{t \cdot s_r}{\sqrt{n}} \quad (2.1)$$

όπου

t : συντελεστής Student (Student's factor)

P : το επιθυμητό επίπεδο εμπιστοσύνης (confidence level)

s_r : τυπική απόκλιση του δείγματος των μετρήσεων που δίνεται από τη σχέση

$$s_r = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2} \quad (2.2)$$

όπου

n : ο αριθμός των μετρήσεων

x_i : οι μετρηθείσες τιμές

x_m : η μέση τιμή των μετρήσεων

n \ P%	68,3	90	95	99,7
2	1,84	6,31	12,7	-
3	1,32	2,92	4,30	-
4	1,20	2,35	3,18	9,22
5	1,14	2,13	2,78	6,62
6	1,11	2,02	2,57	5,51
7	1,09	1,94	2,45	4,90
8	1,08	1,89	2,36	4,53
9	1,07	1,86	2,31	4,28
10	1,06	1,83	2,26	4,09
20	1,03	1,73	2,09	3,45
∞	1,00	1,65	1,96	3,00

Πίνακας 2.1: Τιμές του συντελεστή Student t για διάφορα επίπεδα εμπιστοσύνης συναρτήσει του αριθμού των μετρήσεων ^[24].

β) U_r μεγάλο αριθμό μετρήσεων ($n \gg 10$):

Για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (που είναι και αυτό που ζητείται συνήθως) και για ένα δείγμα με περισσότερες από 10 μετρήσεις ($n \gg 10$), ο συντελεστής Student t μπορεί να αντικατασταθεί από το συντελεστή κάλυψης k. Σε αυτήν την περίπτωση η αβεβαιότητα της μέσης τιμής είναι:

$$U_r = \frac{k \cdot s_r}{\sqrt{n}} \quad (2.3)$$

γ) Χρησιμοποίηση υπάρχουσας γνώσης για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας:

Η προσέγγιση αυτή μπορεί να εφαρμοστεί όταν υφίσταται προηγούμενη πληροφορία για τη συμπεριφορά του οργάνου ή της μεθόδου μέτρησης. Η πληροφορία αυτή αφορά μια ήδη γνωστή τυπική απόκλιση s_r , η οποία υπολογίστηκε από μεγάλο αριθμό επαναλαμβανόμενων μετρήσεων παρόμοιου μεγέθους, σε παρόμοιες συνθήκες μέτρησης. Στην περίπτωση αυτή αντί να χρησιμοποιηθεί η τυπική απόκλιση του μικρού τρέχοντος δείγματος μετρήσεων, χρησιμοποιείται η παλαιότερα υπολογισμένη s_r και η αβεβαιότητα λαμβάνεται ίση με:

$$U_r = \frac{k \cdot s_r}{\sqrt{n_2}} \quad (2.4)$$

2.3.2 Εκτίμηση αβεβαιοτήτων τύπου B

Αβεβαιότητα τύπου B (systematic uncertainty) έχουμε στην περίπτωση όπου δεν υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες από επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Στην περίπτωση αυτή η αβεβαιότητα υπολογίζεται αξιοποιώντας κάθε διαθέσιμη πληροφορία σχετικά με την πιθανή μεταβλητότητα του μετρούμενου μεγέθους, έτσι ώστε να οικοδομηθεί μια εικόνα για την πιθανή κατανομή των τιμών του μεγέθους. Τέτοιου είδους πληροφορίες είναι δυνατόν να προέρχονται από:

- πιστοποιητικά διακρίβωσης,
- δεδομένα από προηγούμενες μετρήσεις,

- εμπειρία ή επιστημονική ανάλυση,
- χαρακτηριστικά οργάνου μέτρησης,
- υποκειμενικές κρίσεις του μετρολόγου [9]

Η βασική εξίσωση για τον υπολογισμό αβεβαιοτήτων τύπου Β είναι:

$$U_s = k \cdot s_r = k \cdot \sqrt{s_{sa}^2 + s_{sg}^2} \quad (2.5)$$

όπου s_{sa} η τυπική απόκλιση για την περίπτωση ορθογώνιας κατανομής και s_{sg} η τυπική απόκλιση στην περίπτωση κανονικής κατανομής.

Όταν η διαθέσιμη πληροφορία αφορά μόνο στα όρια $\pm a$ ανάμεσα στα οποία κυμαίνεται το αναμενόμενο σφάλμα, χωρίς να υπάρχουν ειδικότερες ενδείξεις για την κατανομή ανάμεσα στα όρια αυτά, τότε η υποτιθέμενη κατανομή είναι ομοιόμορφη (ορθογώνια) και η τυπική απόκλιση είναι ίση με:

$$s_{sa} = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (2.6)$$

Στην περίπτωση που έχουμε n ανεξάρτητες κατανομές η τυπική απόκλιση δίνεται από τη σχέση:

$$s_{sa} = \sqrt{\frac{a_1^2}{3} + \frac{a_2^2}{3} + \frac{a_3^2}{3} + \dots + \frac{a_n^2}{3}} \quad (2.7)$$

Όταν η αβεβαιότητα δίνεται μαζί με ένα επίπεδο εμπιστοσύνης, τότε πρέπει να υποθεθεί ότι έχουμε κανονική κατανομή. Εάν το επίπεδο εμπιστοσύνης είναι της τάξης του 95%, η τιμή του συντελεστή k είναι 2 και η τυπική απόκλιση είναι:

$$s_{sg} = \frac{U_{95}}{2} \quad (2.8)$$

Έτσι η εξίσωση 2.5 γίνεται:

$$U_s = k \cdot \sqrt{\frac{a_1^2}{3} + \frac{a_2^2}{3} + \frac{a_3^2}{3} + \dots + \frac{a_n^2}{3} + \left(\frac{U_{95}}{2}\right)^2} \quad (2.9)$$

Η γενική μορφή της εξίσωσης 2.5 γίνεται:

$$U_s = k \cdot \sqrt{\frac{a_1^2}{3} + \frac{a_2^2}{3} + \frac{a_3^2}{3} + \dots + \frac{a_n^2}{3} + \left(\frac{U_1}{k_1}\right)^2 + \left(\frac{U_2}{k_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{U_m}{k_m}\right)^2} \quad (2.10)$$

όπου U_1 έως U_m είναι οι αβεβαιότητες (calibration contribution) με δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης k_1 έως k_m οι αντίστοιχοι συντελεστές κάλυψης [18].

2.3.3 Υπολογισμός ολικής αβεβαιότητας

Η ολική αβεβαιότητα δίνεται από τη σχέση:

$$u_{total} = \sqrt{U_r^2 + U_s^2} \quad (2.11)$$

2.4 Αβεβαιότητες ατρωσίας

Αυτή η ενότητα δίνει παραδείγματα αβεβαιότητας σε δοκιμές ατρωσίας (Πίνακες 2.2 – 2.4) και συγκεκριμένα για δοκιμές ηλεκτροστατικής εκφόρτισης (ESD), υπέρτασης (SURGE) και γρήγορων ηλεκτρικών μεταβατικών φαινομένων και απότομων εκφορτίσεων (EFT Burst). Φυσικά οι αβεβαιότητες που παρατίθενται πιο κάτω δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται άμεσα αλλά να υπολογίζονται σε κάθε περίπτωση ανάλογα με τον εξοπλισμό και τη διαδικασία.

Σε παροδικά φαινόμενα όπως βυθίσεις και διαταραχές τάσης (DIPS) και τα τρία προαναφερθέντα, ένα σημαντικό πρόβλημα κατά τις δοκιμές είναι ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ του χρόνου και των παραμέτρων πλάτους της γεννήτριας κάνει αδύνατη την ανάλυση της δοκιμής με τρόπο τέτοιο ώστε να υπολογίζεται η ολική αβεβαιότητα. Επιπρόσθετα, οι μεταβολές των εμπεδήσεων της διάταξης και σύζευξης συμβάλλουν ακόμα περισσότερο στη δυσκολία ανάλυσης.

Από την άλλη, καθένα από τα Πρότυπα δοκιμών ορίζει ανοχές στις παραμέτρους της γεννήτριας και δίνει οδηγίες για τη διάταξη της δοκιμής. Σε αυτή την περίπτωση, το ISO 17025 (Πρότυπο διαπίστευσης) δηλώνει ότι η απαίτηση για υπολογισμό της αβεβαιότητας μπορεί να θεωρηθεί ότι πληρούται από την κάθε μέθοδο δοκιμής και τις σχετικές οδηγίες αυτής. Επομένως είναι μόνο απαραίτητο να βεβαιωθούμε ότι η γεννήτρια δοκιμών που χρησιμοποιείται είναι συμβατή με τις απαιτήσεις δοκιμής του Προτύπου [25, 26].

ESD - Επίπεδο τάσης δοκιμής: 4 kV					
	Απαίτηση δοκιμής		Τιμή Cal-Cert*	Αβεβαιότητα βαθμονόμησης	Έλεγχος
I_{κορυφής} (A)	±Ανοχή %	10		5	
	Ελάχιστο	13.5		13.87	OK
	Ονομαστικό	15	14.6		
	Μέγιστο	16.5		15.33	OK
I_{30ns} (A)	±Ανοχή %	30		5	
	Ελάχιστο	5.6		6.77	OK
	Ονομαστικό	8	7.13		
	Μέγιστο	10.4		7.49	OK
I_{60ns} (A)	±Ανοχή %	30		5	
	Ελάχιστο	2.8		4.09	OK
	Ονομαστικό	4	4.3		
	Μέγιστο	5.2		4.52	OK
V_{ενδεικνύμενη} (kV)	±Ανοχή %	5		2	
	Ελάχιστο	3.8		3.94	OK
	Ονομαστικό	4	4.02		

$t_{\text{ανόδου}}$ (ns)	Μέγιστο	4.2		4.10	OK
	\pm Ανοχή %			5	
	Ελάχιστο	0.6		0.69	OK
	Ονομαστικό		0.73		
	Μέγιστο	1.0		0.77	OK

Πίνακας 2.2: Παράδειγμα αβεβαιοτήτων σε επίπεδο δοκιμής 4 kV ESD ^[25].

EFT Burst - Επίπεδο τάσης δοκιμής: 1 kV					
	Απαιτήση δοκιμής		Τιμή Cal-Cert*	Αβεβαιότητα βαθμονόμησης	Έλεγχος
$V_{\text{κορυφής}}$ (kV)	\pm Ανοχή %	10		3	
	Ελάχιστο	0.9		1.00	OK
	Ονομαστικό	1	1.03		
	Μέγιστο	1.1		1.06	OK
$t_{\text{ανόδου}}$ (ns)	\pm Ανοχή %	30		5	
	Ελάχιστο	3.5		5.32	OK
	Ονομαστικό	5	5.6		
	Μέγιστο	6.5		5.88	OK
t_{50} (ns)	\pm Ανοχή %	30		3	
	Ελάχιστο	35		61.60	OK
	Ονομαστικό	50	63.5		
	Μέγιστο	65		65.41	NOT OK**
$F_{\text{επαν.}}$ (kHz)	\pm Ανοχή %	20		2	
	Ελάχιστο	4		4.80	OK
	Ονομαστικό	5	4.9		
	Μέγιστο	6		5.00	OK

Πίνακας 2.3: Παράδειγμα αβεβαιοτήτων σε επίπεδο δοκιμής 1 kV EFT ^[25].

SURGE - Επίπεδο τάσης δοκιμής: 1 kV, (1.2/50 μ s V, 8/20 μ s I)					
	Απαιτήση δοκιμής		Τιμή Cal-Cert*	Αβεβαιότητα βαθμονόμησης	Έλεγχος
$V_{\text{κορυφής α.κ.}}$ (kV)	\pm Ανοχή %	10		3	
	Ελάχιστο	0.9		0.96	OK
	Ονομαστικό	1	0.99		
	Μέγιστο	1.1		1.02	OK
$t_{\text{μετώπου}}$ (μ s)	\pm Ανοχή %	30		3	
	Ελάχιστο	0.84		1.02	OK
	Ονομαστικό	1.2	1.05		
	Μέγιστο	1.56		1.08	OK
t_{50} (μ s)	\pm Ανοχή %	20		3	
	Ελάχιστο	40		55.29	OK
	Ονομαστικό	50	57		
	Μέγιστο	60		58.71	OK
$I_{\text{κορυφής β.κ.}}$ (A)	\pm Ανοχή %	10		3	
	Ελάχιστο	450		470.45	OK
	Ονομαστικό	500	485		
	Μέγιστο	550		499.55	OK
$t_{\text{μετώπου}}$ (μ s)	\pm Ανοχή %	20		3	

	Ελάχιστο	6.4		7.08	OK
	Ονομαστικό	8	7.3		
	Μέγιστο	9.6		7.52	OK
t_{50} (μs)	±Ανοχή %	20		3	
	Ελάχιστο	16		21.34	OK
	Ονομαστικό	20	22		
	Μέγιστο	24		22.66	OK

Πίνακας 2.4: Παράδειγμα αβεβαιοτήτων σε επίπεδο δοκιμής 1 kV SURGE ^[25].

*Cal-Cert (Calibration-Certification) είναι μια εταιρία παροχής υπηρεσιών ISO/IEC 17025 διαπιστευμένης διακρίβωσης και δοκιμής υλικών και εξοπλισμού εργαστηρίων.

**Στην περίπτωση όπου εμφανίζεται το σήμα NOT OK, με κόκκινο χρώμα, στους πιο πάνω πίνακες, οι τιμές είναι εκτός των ορίων προδιαγραφών και το εργαστήριο όπου διεξάγεται η δοκιμή έχει τρεις επιλογές:

- να ρυθμίσει τη γεννήτρια ώστε να είναι εντός προδιαγραφών,
- να επιλέξει ένα εργαστήριο διακρίβωσης με αυστηρότερα κριτήρια ελέγχου από τις δικές του αβεβαιότητες,
- ή, να παραδώσει την αναφορά συμμόρφωσης του εξοπλισμού στον πελάτη με μειωμένο επίπεδο εμπιστοσύνης.

2.5 Ποιος εκτελεί τη διακρίβωση ^[13]

Θα πρέπει να υπογραμμίσουμε ότι δεν μπορεί ο καθένας να πραγματοποιήσει μια διακρίβωση οργάνων, ακόμη κι αν έχει στη διάθεση του τον καλύτερο εξοπλισμό διακρίβωσης. Σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση ενός εργαστηρίου διακρίβωσης είναι οι δυνατότητες του προσωπικού του. Μπορεί με την ανάπτυξη της τεχνολογίας να έχουν απλοποιηθεί αρκετά οι διαδικασίες διακρίβωσης, με αποτέλεσμα να μπορούν να εκτελούνται από περισσότερους τεχνικούς, αυτός όμως που είναι άρτια εκπαιδευμένος θα κάνει τη διαφορά. Γιατί υπάρχει μεγάλη διαφορά να διακριβώνεις ένα ανεξάρτητο εξάρτημα από το να διακριβώνεις ένα ολόκληρο όργανο. Λαμβάνεις υπόψη σου τη συνάρτηση πολλών παραμέτρων. Ο χειριστής του οργάνου μπορεί εύκολα να διαγνώσει ότι αυτό δεν λειτουργεί σωστά, ο τεχνικός όμως που γνωρίζει πως λειτουργεί το όργανο είναι ικανός να αναγνωρίσει το πρόβλημα βάσει των ενδείξεων.

Το προσωπικό του εργαστηρίου διακρίβωσης θα πρέπει καταρχήν να είναι άρτια εκπαιδευμένο πάνω στο αντικείμενο του, να έχει πολύ καλές γνώσεις μηχανικής και ηλεκτρονικής. Όσο απαραίτητο είναι το γνωστικό υπόβαθρο εξίσου σημαντική είναι και η συνεχής εκμάθηση και ενημέρωση του προσωπικού, ώστε να μπορεί να παρακολουθεί τις εξελίξεις της τεχνολογίας και να καλύπτει τις απαιτήσεις διακρίβωσης νέων συσκευών.

Επίσης το προσωπικό διακρίβωσης θα πρέπει να προσέχει και την παραμικρή λεπτομέρεια. Κάθε διαφορετικό μοντέλο οργάνου είναι ξεχωριστό και συνδέεται διαφορετικά, έχει άλλες σταθερές, άλλη συμπεριφορά. Επομένως ο τεχνικός θα πρέπει και για λόγους ασφαλείας πρωτίστως να δίνει σημασία ακόμα και στη πιο μικρή διαφορά.

Αν και οι περισσότεροι τεχνικοί παραπονιούνται ότι η γραφειοκρατία αποτελεί πλέον το 90% της δουλειάς τους, η ορθή και αναλυτική σύνταξη των πιστοποιητικών διακρίβωσης είναι προτέρημα για ένα εργαστήριο. Οποιαδήποτε αλλαγή ή ρύθμιση πραγματοποιηθεί θα πρέπει να σημειώνεται, έτσι ώστε να ανανεώνονται και τα εγχειρίδια και οι βάσεις δεδομένων, αν αυτό απαιτείται.

Κεφάλαιο 3

Δοκιμές ατρωσίας

3.1 Διεθνή Πρότυπα IEC – Σειρά 61000

Τα αρχικά IEC (International Electrotechnical Commission) αφορούν στη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή, έναν παγκόσμιο οργανισμό τυποποίησης που περιλαμβάνει όλες τις Εθνικές Ηλεκτροτεχνικές Επιτροπές (IEC National Committees). Σκοπός της IEC είναι η προώθηση της διεθνούς συνεργασίας σχετικά με την τυποποίηση στα πεδία της ηλεκτρολογίας και της ηλεκτρονικής. Για το σκοπό αυτό, η IEC δημοσιεύει τα ομώνυμα Διεθνή Πρότυπα. Η προετοιμασία τους επαφίεται σε Εθνικές Ηλεκτροτεχνικές Επιτροπές όπως και σε άλλους, κυβερνητικούς και μη, οργανισμούς. Με τον τρόπο αυτό, οι επίσημες αποφάσεις της IEC χαρακτηρίζονται, στο μέτρο του δυνατού, από διεθνή ομοφωνία και αποδοχή.

Η σειρά 61000 της IEC σχετίζεται με το αντικείμενο της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC). Τα Πρότυπα IEC έχουν τη μορφή προτάσεων, μη όντας νομικά δεσμευτικά. Εντούτοις, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εκδώσει τα Πρότυπα EN (European Norms), τα οποία βρίσκονται σε αντιστοιχία με τα Πρότυπα IEC και είναι νομικά δεσμευτικά· δημιουργήθηκε έτσι και υιοθετήθηκε η οικογένεια προτύπων EN 61000. Και άλλες χώρες βρίσκονται ή έχουν ήδη ολοκληρώσει τη διαδικασία υιοθέτησης προτύπων με νομική ισχύ βασιζόμενων σε αυτά της IEC. Όλες οι ηλεκτρικές συσκευές που πωλούνται στις χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης πληρούν συγκεκριμένα Πρότυπα της σειράς 61000, όπως ορίζει η Επίσημη Ηλεκτρομαγνητική Οδηγία (EMC directive). Η συμμόρφωση μιας ηλεκτρικής συσκευής στην Οδηγία αυτή υποδηλώνεται από τα διακριτικά CE. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως τα διακριτικά CE προϋποθέτουν τη συμμόρφωση της συσκευής με έναν αριθμό προτύπων EN.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας θα περιοριστούμε στην ενασχόληση με συγκεκριμένα IEC Πρότυπα, τα οποία αναφέρονται ευθύς αμέσως:

- IEC 61000-4-2 Ed. 2.0 (2008-12). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμές ηλεκτροστατικής εκφόρτισης.
- IEC 61000-4-4 Ed. 2.1 (2011-03). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Ηλεκτρικά ταχέα μεταβατικά φαινόμενα και απότομες εκφορτίσεις. Δοκιμή ατρωσίας σε «ριπές».
- IEC 61000-4-5 Ed. 2.0 (2005-11). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμές ατρωσίας σε απότομες υπερτάσεις – υπερεντάσεις.
- IEC 61000-4-8 Ed. 2.0 (2009-09). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμές ατρωσίας, σε βιομηχανικές συχνότητες, μαγνητικού πεδίου.
- IEC 61000-4-9 Ed. 1.1 (2001-03). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμές ατρωσίας παλμικού μαγνητικού πεδίου.
- IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004-2003). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμές ατρωσίας σε βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης.

Τα παραπάνω Πρότυπα παρουσιάζονται αναλυτικότερα στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού με σκοπό ο αναγνώστης να κατανοήσει τη φιλοσοφία και το πνεύμα τους. Δίδονται περιληπτικά τα κυριότερα σημεία αυτών και όχι μια μετάφραση του συνόλου του περιεχομένου τους. Για μια εις βάθος κατανόηση, ο αναγνώστης καλείται να ανατρέξει στα ίδια τα Πρότυπα βασιζόμενος στη βιβλιογραφία της παρούσας εργασίας. Σύμφωνα με την τακτική που ακολουθεί η IEC, κάποιο Πρότυπο μπορεί να τροποποιηθεί εάν κριθεί αναγκαίο.

3.2 Η ηλεκτροστατική φόρτιση (Electrostatic Charge)

3.2.1 Δημιουργία ηλεκτροστατικής εκφόρτισης

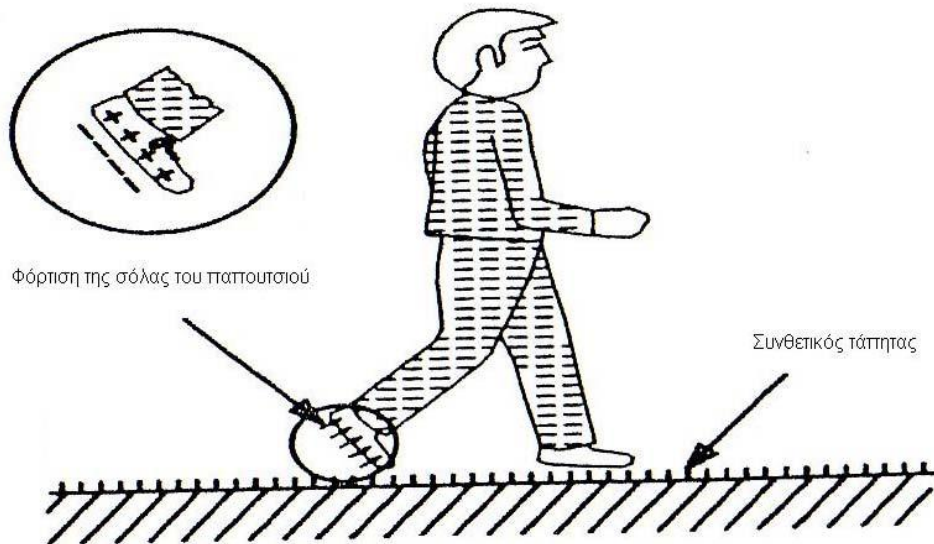
Η ηλεκτροστατική φόρτιση δημιουργείται με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι όταν κατά την κίνηση ενός υλικού σε σχέση με κάποιο άλλο ενώ βρίσκονται σε επαφή (π.χ. ένα αέριο που κινείται ως προς ένα στερεό ή ένα στερεό σε επαφή με ένα άλλο στερεό) συμβαίνει ανταλλαγή ηλεκτρονίων με αποτέλεσμα τη φόρτιση των δύο υλικών με αντίθετα φορτία. Ο δεύτερος είναι η φόρτιση εξ επαγωγής [3, 27].

3.2.1.1 Τριβοηλεκτρικό φαινόμενο

Γενικά όταν δύο υλικά έρθουν σε επαφή και στη συνέχεια αποχωριστούν, θα υπάρξει μία ροή ηλεκτρονίων από το ένα υλικό στο άλλο. Το υλικό που δίνει ηλεκτρόνια φορτίζεται θετικά, ενώ το υλικό που δέχεται ηλεκτρόνια γίνεται φορτίζεται αρνητικά. Τέτοιες φορτίσεις μπορούν να οδηγήσουν στη δημιουργία μεγάλων δυναμικών στην περιοχή των 10-25 kV, με αποθηκευόμενες ενέργειες μερικών mJ. Η εκφόρτιση αυτής της ενέργειας παράγει ρεύμα η κυματομορφή του οποίου παρουσιάζει απότομες διακυμάνσεις και μπορεί να προκαλέσει ηλεκτροπληξία στους ανθρώπους και να βλάψει ηλεκτρικές συσκευές.

Ο όρος τριβοηλεκτρισμός αναφέρεται στη φόρτιση που εμφανίζεται σαν αποτέλεσμα επαφής και τριβής των υλικών. Στο Σχήμα 3.1 φαίνεται η διαδικασία φόρτισης ενός ανθρώπου κατά την κίνηση του πάνω σε συνθετικό τάπητα.

Η τριβοηλεκτρική σειρά γενικά δεν προλέγει τη σωστή πολικότητα της φόρτισης που παρατηρείται σε κάθε περίπτωση. Το αν ένα υλικό φορτιστεί θετικά ή αρνητικά εξαρτάται από τη φύση του υλικού. Αυτή η ιδιότητα συνοψίζεται στην τριβοηλεκτρική σειρά του Πίνακα 3.1 που ακολουθεί όπου τα υλικά κατατάσσονται ανάλογα με το τι φόρτιση αποκτούν (θετική ή αρνητική).



Σχήμα 3.1: Διαδικασία φόρτισης ενός ανθρώπου εξαιτίας της τριβής με το δάπεδο ^[36].

Η φόρτιση εξ επαφής είναι ο πιο κοινός τρόπος εμφάνισης στατικού φορτίου. Άλλοι τρόποι, όπως μία δέσμη φορτισμένων ιόντων, spray charging, φωτοηλεκτρική φόρτιση και φόρτιση corona είναι επίσης δυναμικές πηγές στατικών φορτίσεων.

Αυτές οι φορτίσεις παραμένουν στάσιμες (στατικές) σε ένα αντικείμενο για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα. Η απότομη μεταφορά αυτού του φορτίου από το ένα σώμα στο άλλο όταν πρόκειται για αντίθετα φορτισμένα σώματα και όταν αυτά βρεθούν σε πολύ κοντινή απόσταση λέγεται ηλεκτροστατική εκφόρτιση. Παράγοντες που επηρεάζουν τη φόρτιση και την εκφόρτιση των υλικών φαίνονται στον Πίνακα 3.2.

Η σχετική θέση του υλικού στην τριβοηλεκτρική σειρά είναι μόνο ένας παράγοντας στη διαδικασία δημιουργίας της φόρτισης. Δυο υλικά τα οποία είναι σε πολύ κοντινή απόσταση μπορούν να δημιουργήσουν μία ευρεία στατική φόρτιση.

Η ηλεκτροστατική εκφόρτιση εξαρτάται από τις συνθήκες περιβάλλοντος και κυρίως από την υγρασία. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό υγρασίας τόσο πιο συχνές είναι οι ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις, αλλά πιο ήπιες μορφής. Αντίθετα όταν υπάρχει αυξημένη ξηρασία η συχνότητα των εκφορτίσεων είναι μικρότερη, αλλά οι εκφορτίσεις είναι πιο έντονες (μεγάλο μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης – μεγάλος χρόνος ανόδου). Επιβλαβείς τάσεις μπορεί ακόμα να δημιουργηθούν ακόμα και 55% σχετικής υγρασίας ή και περισσότερο.

Μερικά σοβαρά προβλήματα που έχουν προκληθεί τα τελευταία χρόνια από ηλεκτροστατική εκφόρτιση είναι:

- Εκρήξεις σε υπέρ-δεξαμενόπλοια κατά τη διάρκεια καθαρισμού των δεξαμενών τους.
- Ζημιές και καταστροφές μικροκυκλωμάτων κατά τη διάρκεια της διακίνησής τους.
- Εκρήξεις κατά τη διάρκεια τροφοδοσίας με καύσιμα των αεροσκαφών.
- Βλάβες στα ηλεκτρονικά συστήματα αυτοκινήτων.

Ενδεικτικές ηλεκτροστατικές τάσεις που παράγονται από διαφορετικά γεγονότα φαίνονται στον Πίνακα 3.3. Γενικά είναι καλύτερο να συγκρίνουμε τους μηχανισμούς φόρτισης από το επίπεδο της τάσης που δημιουργούν.

ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΛΟΓΩ ΤΡΙΒΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΥΛΙΚΑ	
ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΑΠΟΚΤΟΥΝ ΘΕΤΙΚΗ ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑ	ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΑΠΟΚΤΟΥΝ ΑΡΝΗΤΙΚΗ ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑ
Αέρας Ανθρώπινο δέρμα Γυαλί Ανθρώπινα μαλλιά Νάιλον Μαλλί Γούνα Μόλυβδος Μετάξι Αλουμίνιο Χαρτί Πολυουρεθάνη Βαμβάκι Ξύλο Ατσάλι	Κερί γυαλίσματος Σκληρό λάστιχο Κόλλα συγκόλλησης Νικέλιο, Χαλκός, Ασήμι Ανοξειδωτο ατσάλι Συνθετικό λάστιχο Ακρυλικό Αφρός πολυουρεθάνης Πολυεστέρας Πολυαιθυλένιο PVC TEFLON Λάστιχο σιλικόνης

Πίνακας 3.1: Τριβοηλεκτρική σειρά ^[36].

Συντελεστές παραγωγής της φόρτισης	Συντελεστές εκφόρτισης
Σχετική θέση στην τριβοηλεκτρική σειρά Επιφάνεια επαφής Συντελεστής τριβής μεταξύ των υλικών Βαθμός διαχωρισμού	Αγωγιμότητα των υλικών Σχετική υγρασία Υγρασία στις επιφάνειες των υλικών Βαθμός αναδιάταξης στη δομή του υλικού

Πίνακας 3.2: Παράγοντες που επηρεάζουν την ένταση μιας φόρτισης ^[36].

ΕΝΕΡΓΕΙΑ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ		
	10%	40%	55%
Περπατώντας πάνω σε χαλί	35	15	7.5
Περπατώντας πάνω σε δάπεδο βινυλίου	12	5	3
Κινήσεις ενός εργαζομένου στο γραφείο	6	0.8	0.4

Πίνακας 3.3: Τυπικές ηλεκτροστατικές τάσεις (kV) ^[36].

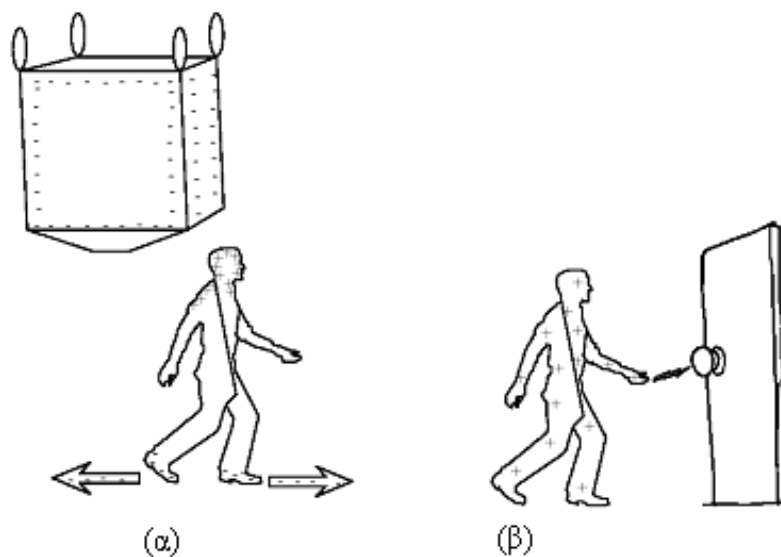
Πολλές προδιαγραφές ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας [28, 29] περιλαμβάνουν δοκιμές σε ηλεκτροστατική εκφόρτιση. Το μέγεθος ενός παλμού ηλεκτροστατικής εκφόρτισης είναι στατικό μέγεθος από τη φύση του και έτσι συνήθως καθορίζονται τυπικοί παλμοί και ρεύματα για τις δοκιμές.

Η ηλεκτροστατική φόρτιση είναι ένας πολύ γνωστός κίνδυνος για τις ηλεκτρονικές διατάξεις η οποία μπορεί να διαταράξει ή και να καταστρέψει ακόμη, ηλεκτρονικά εξαρτήματα και συστήματα τα οποία βρίσκονται κοντά σε αυτή. Αυτό μπορεί να συμβεί από άμεσες εκφορτίσεις πάνω στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό, είτε από τα παροδικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια ενός τέτοιου γεγονότος.

3.2.1.2 Ηλεκτροστατική φόρτιση εξ επαγωγής

Μερικές φορές η φόρτιση ενός αντικειμένου μπορεί να μη γίνει με το τριβηλεκτρικό φαινόμενο [30], αλλά μπορεί να γίνει εξ επαγωγής. Συγκεκριμένα όταν ένα αντικείμενο εκτίθεται σε ένα ηλεκτρικό πεδίο (όπως για παράδειγμα όταν βρίσκεται δίπλα σε ένα φορτισμένο σώμα) τα αντίθετα φορτία μέσα στο υλικό θα τείνουν να χωριστούν, κατευθυνόμενα είτε προς αυτό είτε από αυτό. Οποιοδήποτε πλεονάζον φορτίο και της ίδιας πολικότητας με το γειτνιάζον φορτισμένο σώμα θα διαρρεύσει ανάλογα με την αγωγιμότητα του υλικού και της αγωγικής σύνδεσης. Έτσι, το αντικείμενο θα αποκτήσει μια περίσσεια φορτίου αντίθετης πολικότητας από αυτή που έχει το γειτνιάζον φορτισμένο σώμα.

Για να γίνει αυτό πιο κατανοητό ακολουθεί το Σχήμα 3.2 στο οποίο φαίνεται ένας άνθρωπος (πολύ καλός αγωγός) δίπλα σε μια μεγάλη δεξαμενή η οποία περιέχει ένα μεγάλο φορτίο αρνητικής πολικότητας. Τα αρνητικά με τα θετικά φορτία διαχωρίζονται στο ανθρώπινο σώμα μέσω των υποδημάτων και του δαπέδου. Τελικά το ανθρώπινο σώμα φορτίζεται θετικά αντίθετα από το γειτνιάζον αντικείμενο. Επομένως όταν ο άνθρωπος πλησιάσει με το θετικό φορτίο που έχει αποκτήσει την πόρτα και ακουμπήσει το μεταλλικό πόμολο θα δημιουργηθεί μια ηλεκτροστατική εκφόρτιση όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2 (β).



Σχήμα 3.2: Εποπτική παρουσίαση της φόρτισης εξ επαγωγής ^[36].

3.2.2 Η ηλεκτροστατική εκφόρτιση σε ηλεκτροτεχνικό εξοπλισμό και τα μέτρα προστασίας που μπορούν να ληφθούν

3.2.2.1 Οι επιπτώσεις σε ηλεκτροτεχνικό εξοπλισμό

Όπως έχει προαναφερθεί η ηλεκτροστατική εκφόρτιση παρατηρείται όταν η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου παρουσιάσει υψηλή τιμή, η οποία μπορεί να προκαλέσει καταπόνηση στη διηλεκτρική αντοχή των ηλεκτρονικών στοιχείων συσκευών με τελικό αποτέλεσμα την καταστροφή τους [27]. Κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης τα ακόλουθα φαινόμενα μπορεί να λάβουν χώρα:

- Δευτερεύον ηλεκτρικό τόξο εντός του εξοπλισμού, το οποίο μπορεί να προκαλέσει με τη σειρά του την εμφάνιση νέων φαινομένων.
- Διάχυση υψηλών ηλεκτρικών ρευμάτων εντός των κυκλωμάτων. Η ροή ενός υψηλού ρεύματος μπορεί να διαταράξει τις συνθήκες λειτουργίας των κυκλωμάτων, οδηγώντας σε αλλαγές: στο κέρδος (gain) του κυκλώματος, στο εύρος ζώνης (bandwidth), αλλοιώσεις στα δημιουργούμενα σήματα και στη λογική των ψηφιακών κυκλωμάτων. Τα αποτελέσματα μπορεί να διαφέρουν από προσωρινή παρεμβολή έως καταστροφή των εξαρτημάτων.
- Ηλεκτρική επαγωγή εξαιτίας της χωρητικής σύζευξης σε μέρη του εξοπλισμού τα οποία αναπτύσσουν υψηλές τάσεις εξ επαγωγής. Τα αποτελέσματά τους είναι μια προσωρινή κακή λειτουργία των κυκλωμάτων.
- Μαγνητική επαγωγή εξαιτίας της επαγωγικής σύζευξης από τις διαδρομές που ακολουθεί το εκχυόμενο ηλεκτρικό ρεύμα.

3.2.2.2 Μέτρα προστασίας του ηλεκτροτεχνικού εξοπλισμού

Η προστασία από ενδεχόμενες ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις μπορεί να γίνει τόσο με προληπτικά μέτρα, όσο και με μέσα που θα ελαχιστοποιήσουν τα δυσμενή αποτελέσματά τους όταν οι εκφορτίσεις αυτές εμφανιστούν [27]. Τα προληπτικά μέτρα περιλαμβάνουν:

- Προστασία από την εμφάνιση του τριβηηλεκτρικού φαινομένου. Το φαινόμενο αυτό λαμβάνει χώρα από την τριβή δύο μονωτικών υλικών ή από την τριβή ενός μονωτικού και ενός αγωγού. Άρα για να αποτραπεί η εμφάνιση του ηλεκτροστατικού φορτίου η θωράκιση μίας ή και των δύο επιφανειών που έρχονται σε επαφή είναι επιβεβλημένη, με ένα αγώγιμο στρώμα.
- Αποτροπή της ανάπτυξης της τάσης φόρτισης. Αυτό σημαίνει ότι το αναπτυσσόμενο φορτίο στην επιφάνεια του υλικού θα πρέπει να οδηγηθεί στο έδαφος. Σε αυτό μπορούν να βοηθήσουν αντιστατικά υλικά [31] με ιδιαίτερα γνωστές τις αντιστατικές πλαστικές σακούλες. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι οι Fowler, Klein και Fromm [32] ανέπτυξαν κάποιες προτάσεις σχετικά με τη σχεδίαση των δαπέδων, προκειμένου να αποφεύγεται εξαιτίας τους η δημιουργία ηλεκτροστατικού φορτίου. Τα συμπεράσματά τους συνοψίζονται στο ότι τα δάπεδα θα πρέπει να έχουν αντίσταση ως προς γη μικρότερη των 10 ΜΩ και πως θα πρέπει να έχουν αρκετά καλές μονωτικές ιδιότητες.

Η προστασία των συσκευών από τις ηλεκτροστατικές φορτίσεις όταν αυτές έχουν πλέον συμβεί μπορεί να γίνει με την λήψη των ακόλουθων μέτρων:

- Πλήρης ή μερική μόνωση του εξοπλισμού, της οποίας σκοπός είναι η αποτροπή δευτερευόντων εκφορτίσεων.
- Θωράκιση ή γείωση των συσκευών, οι οποίες θα εξασφαλίζουν μια εναλλακτική διαδρομή της ροής του ηλεκτρικού ρεύματος.
- Θωράκιση κυκλωμάτων εναντίον των πεδίων εξ επαγωγής.
- Εγκατάσταση των συσκευών προστασίας στον εξοπλισμό.

Όταν τα ηλεκτρικά κυκλώματα τοποθετούνται σε μονωμένο πλαίσιο (case) τότε μπορεί να αποτραπούν ενδεχόμενες δευτερεύουσες φορτίσεις. Για αυτό προκειμένου να είναι αποτελεσματικές πρέπει τα πλαίσια να μην έχουν οπές, αρμούς ή άλλα ανοίγματα μέσω των οποίων οι κύριες εκφορτίσεις μπορεί να λάβουν χώρα, είτε άμεσα στα εσωτερικά κυκλώματα ή έμμεσα σε μια προεξοχή, διακόπτη ή Μπουτάν, τα οποία διαπερνούν το πλαίσιο.

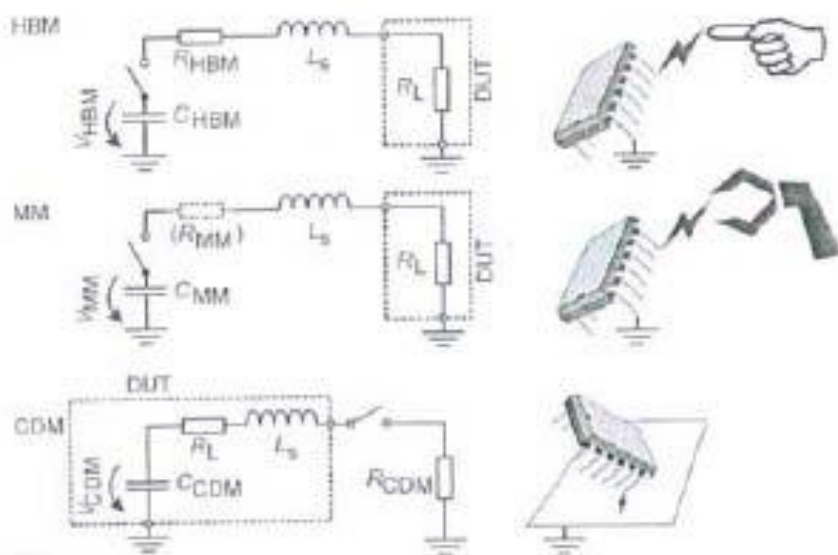
Το μέγιστο δυναμικό το οποίο μπορεί να αναπτύξει ένα ανθρώπινο σώμα είναι 25 kV. Εάν ένα άτομο πλησιάσει κάποιο μέρος του σώματός του, το οποίο συνηθέστερα είναι το δάκτυλό του, πλησιέστερα από 1 cm, μακριά από το κύκλωμα, τότε δεν θα συμβεί η ηλεκτροστατική εκφόρτιση εφόσον η διάσπαση του αέρα γίνεται στα 30 kV. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος προστασίας κυκλωμάτων από ηλεκτροστατική εκφόρτιση είναι η τοποθέτησή τους σε ένα αγωγίμο πλαίσιο, το οποίο δεν έχει οπές, αρμούς ή άλλα ανοίγματα στα τοιχώματά του.

3.2.3 Μοντέλα για την ηλεκτροστατική εκφόρτιση

3.2.3.1 Γενικά

Προκειμένου να προσομοιωθούν οι ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα, ώστε μέσω αυτών να μπορέσουν να εκτιμήσουν την επίδραση που μπορεί να έχουν οι εκφορτίσεις στην πραγματικότητα. Με αυτά έχουν ασχοληθεί εκτενέστατα πολλοί ερευνητές [27, 33, 34]. Τα τρία επικρατέστερα μοντέλα είναι: το μοντέλο του ανθρώπινου σώματος (Human Body Model – HBM), το μοντέλο της μηχανής (Machine Model – MM) και το μοντέλο της φορτισμένης συσκευής (Charged Device Model – CDM).

Απλές κυκλωματικές αναπαραστάσεις των κυκλωμάτων αυτών φαίνονται στο Σχήμα 3.3. Και τα τρία μοντέλα μπορούν να περιγραφούν από της δεύτερης τάξης διαφορικές εξισώσεις οι οποίες ισχύουν στα RLC κυκλώματα.



Σχήμα 3.3: Παραδείγματα εκφορτίσεων σύμφωνα με τα τρία μοντέλα (HBM, MM, CDM) και η κυκλωματική τους αναπαράσταση με κυκλώματα RLC^[33].

Θεωρώντας R_{ESD} τη συνολική ωμική αντίσταση σε κάθε κύκλωμα, δηλαδή το άθροισμα της ωμικής αντίστασης σε κάθε κύκλωμα και της ωμικής αντίστασης R_L της υπό εξέταση συσκευής (Device Under Test- DUT), C_{ESD} την χωρητικότητα ο οποίος αρχικά είναι φορτισμένος σε τάση V_{ESD} και L_S την αυτεπαγωγή στη διαδρομή εκφόρτισης η διαφορική εξίσωση 2ης τάξης που ισχύει είναι:

$$L_S \frac{d^2 i}{dt} + R_{ESD} \frac{di}{dt} + \frac{1}{C_{ESD}} i = 0 \quad (3.1)$$

της οποίας η αναλυτική λύση είναι:

$$i_{ESD}(t) = V_{ESD} C_{ESD} \frac{\omega_o^2}{\sqrt{\alpha^2 - \omega_o^2}} e^{-\alpha t} \sinh(\sqrt{\alpha^2 - \omega_o^2} t), \text{ για } \alpha > \omega_o \quad (3.2)$$

$$i_{ESD}(t) = V_{ESD} C_{ESD} \frac{\omega_o^2}{\sqrt{\alpha^2 - \omega_o^2}} e^{-\alpha t} \sinh(\sqrt{\omega_o^2 - \alpha^2} t), \text{ για } \alpha < \omega_o \quad (3.3)$$

όπου $\alpha = \frac{R_{ESD}}{2L_S}$ ο συντελεστής απόσβεσης και $\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_S C_{ESD}}}$ η συχνότητα ταλάντωσης.

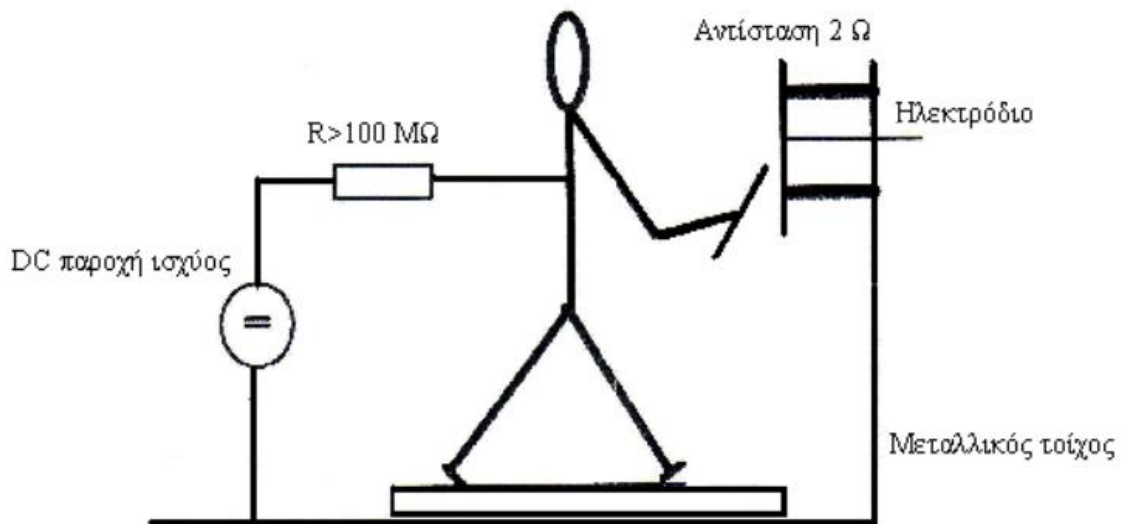
Παραδείγματα για τις τυπικές παραμέτρους και των τριών μοντέλων φαίνονται στον Πίνακα 3.4.

Παράμετρος	HBM	MM	CDM
V_{ESD}	4000 V	200 V	500 V
$R_{HBM} / R_{MM} / R_{CDM}$	1.5 kΩ	5 Ω	10 Ω
C_{ESD}	100 pF	200 pF	10 pF
L_S	500 nH	750 nH	750 nH
R_L	10 Ω	10 Ω	10 Ω
I_{ESD}	2.6 A	2.8 A	10.4 A
$T_{rise} (10\% / 90\%)$	≈7 ns	≈11 ns	≈0.3 ns
A	$1.5 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$	$0.1 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$	$10 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$
ω_o	$0.5 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$	$0.8 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$	$30 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$
$FWHM$	≈120 ns	≈26 ns	≈0.7 ns

Πίνακας 3.4: Τυπικές τιμές παραμέτρων για τα μοντέλα ηλεκτροστατικής εκφόρτισης ^[33].

3.2.3.2 Αξιολόγηση του Human Body Model

Από πολλές μετρήσεις που έγιναν σε διαφορετικούς ανθρώπους [35] είναι ξεκάθαρο ότι δημιουργήθηκαν πολλές διαφορετικές αποδεκτές κυματομορφές. Ο χρόνος ανόδου αυτών των κυματομορφών κυμαίνεται μεταξύ 100 ps έως 30 ns. Οι άνθρωποι νοιώθουν μια εκφόρτιση, μόνον όταν η τάση είναι περίπου 3 kV ή μεγαλύτερη.

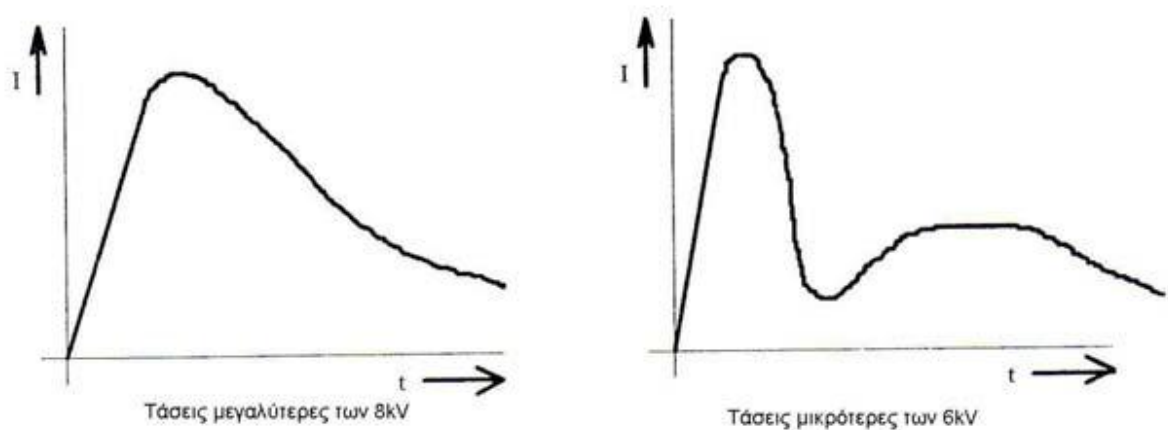


Σχήμα 3.4: Διάταξη μετρήσεων για εκφορτίσεις ανθρωπίνου σώματος ^[35].

Μια ανάλυση των αποτελεσμάτων από μετρήσεις που έχουν παρθεί από διάταξη όπως αυτή του Σχήματος 3.4 δίνουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Η αντίσταση της επιδερμίδας R είναι περίπου 150Ω έως 1000Ω (χωρίς ο άνθρωπος να κρατά κάποιο μεταλλικό αντικείμενο όπως κλειδιά, μαχαίρι, βίδα, κ.τ.λ.).
- Ανθρώπινη χωρητικότητα περίπου 150 pF .
- Τάσεις πάνω από 15 kV υπολογισμένες με το καθιερωμένο μέγεθος και τη χωρητικότητα του ανθρώπου.

Η κυματομορφή της εκφόρτισης βρέθηκε να είναι πολύ διαφορετική από άνθρωπο σε άνθρωπο και επίσης από μέτρηση σε μέτρηση. Δυο ακραία παραδείγματα φαίνονται στο Σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5: Διάφορες κυματομορφές εκφορτίσεων (ns) ^[35].

3.3 Επισκόπηση του Προτύπου IEC 61000-4-2 Ed. 2.0 (2008-12)

Το Πρότυπο IEC 61000-4-2 Ed. 2.0 (2008-12) πραγματεύεται την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα. Το διεθνές αυτό Πρότυπο σχετίζεται με την ατρωσία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών σε ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις και περιγράφει την μέθοδο και τις διαδικασίες που πρέπει να ακολουθηθούν για την διενέργεια της δοκιμής ηλεκτροστατικών εκκενώσεων στα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα με έμφαση στον οικιακό εξοπλισμό και τα όργανα μέτρησης.

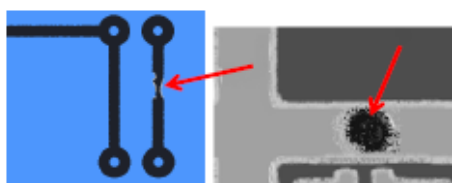


Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 3.2 η ηλεκτροστατική εκφόρτιση είναι η ξαφνική και στιγμιαία ροή ηλεκτρικού ρεύματος μεταξύ δύο αντικειμένων διαφορετικού ηλεκτρικού δυναμικού που προκαλείται είτε μέσω άμεσης επαφής είτε επάγεται μέσω ηλεκτροστατικών πεδίων [44].

Τα προβλήματα που προκύπτουν λόγω ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων (Σχήμα 3.6) είναι η άμεση καταστροφή εξοπλισμού, η απρόβλεπτη συμπεριφορά συσκευών λόγω ανεκδήλωτων φαινομένων και προβλήματα που σχετίζονται με το λογισμικό του εξοπλισμού [44].



**Catastrophic damage
(burn-out)**



**Latent effect
(unpredictability)**

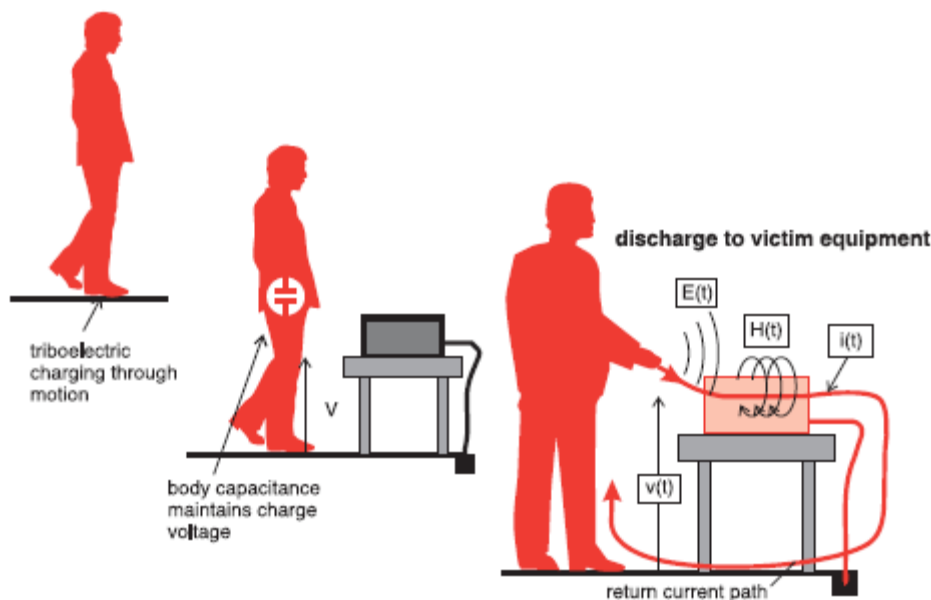


**Interference
(software upset)**

Σχήμα 3.6: Προβλήματα λόγω ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων [44].

Οι συνέπειες στα ηλεκτρονικά [45]

Όταν ένα φορτισμένο αντικείμενο έρθει σε επαφή με ένα άλλο διαφορετικού δυναμικού (το δεύτερο αντικείμενο μπορεί να είναι γειωμένο αλλά αυτό δεν είναι απαραίτητο), η φόρτιση εξισώνεται μεταξύ των δυο αντικειμένων και υπάρχει μια τάση $v(t)$ και ρεύμα $i(t)$ όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7. Το πλάτος και η κυματομορφή των παροδικών αυτών μεγεθών εξαρτάται από τη διαφορά τάσης και τη συνολική εμπέδηση της διαδρομής του ρεύματος κατά την εξίσωση.



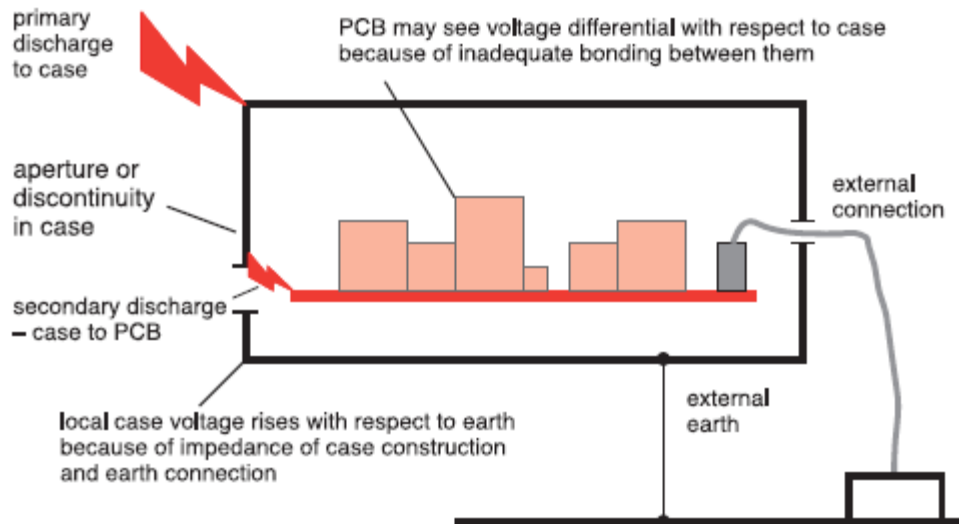
Σχήμα 3.7: Η τυπική περίπτωση προσωπικής εκφόρτισης ^[45].

Σχετιζόμενα με την τάση $v(t)$ και ρεύμα $i(t)$ είναι τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία $E(t)$ και $H(t)$. Αυτές οι τέσσερις παράμετροι του φαινομένου θα συζευχθούν με τα ηλεκτρονικά κυκλώματα που βρίσκονται στη διαδρομή του ρεύματος ή κοντά στην πηγή του πεδίου. Αυτή η σύζευξη προκαλεί επαγόμενες παροδικές τάσεις εντός των κυκλωμάτων σήματος. Συγκεκριμένα, τα ψηφιακά κυκλώματα αποκρίνονται σε αυτούς τους παλμούς σαν να ήταν κανονικά σήματα και επομένως η λειτουργία τους θα διακοπεί.

Ο σχεδιασμός για την αποφυγή προβλημάτων ηλεκτροστατικής εκφόρτισης περιλαμβάνει επιλογή διαμορφώσεων σε κυκλώματα ώστε να μην αποκρίνονται σε σύντομα παροδικά φαινόμενα, σχεδιασμό μεγαλύτερου εμβαδού πλακετών ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επαγόμενες τάσεις σε κρίσιμους κόμβους, η εμπόδιση της σύζευξης σε κυκλώματα και καλώδια αναπόφευκτων παροδικών φαινομένων εκφόρτισης και ο σχεδιασμός περιβλημάτων ώστε να αποφεύγονται εκφορτίσεις.

Δευτερεύουσες εκφορτίσεις

Δευτερεύουσα εκφόρτιση είναι δυνατό να προκληθεί εντός του εξοπλισμού εάν το ρεύμα εκφόρτισης ακολουθήσει μια διαδρομή η οποία περιλαμβάνει κενό αέρος. Η τάση πέραν του κενού αέρος αυξάνεται μέχρι το κενό να καταρρεύσει, και αυτό το δευτερεύον σπάσιμο μπορεί να είναι πιο έντονο και πειστικό για τα κυκλώματα από ότι το αρχικό φαινόμενο γιατί είναι πιο κοντά σε αυτά και πιθανώς περιλαμβάνει μια μικρότερη σε τιμή εμπέδηση διαδρομής. Η κατάρρευση αυτή συμβαίνει ταυτόχρονα με την αρχική εφαρμοζόμενη εκφόρτιση (Σχήμα 3.8). Οι δευτερεύουσες εκφορτίσεις αντιμετωπίζονται καλύτερα εάν βεβαιωθούμε ότι δεν υπάρχουν κενά αέρος στα κυκλώματα του εξοπλισμού ή κάνοντας αυτά τα κενά αρκετά μεγάλα ώστε να μη μπορούν να σπάσουν ή συνδέοντας τα, και αποφεύγοντας αιχμηρές γωνίες οι οποίες ενισχύουν τα υψηλά πεδία.



Σχήμα 3.8: Μηχανισμός δευτερεύουσας εκφόρτισης ^[45].

Στο Πρότυπο αυτό καθορίζονται [37]:

- Η τυπική κυματομορφή του ρεύματος εκφόρτισης
- Τα διάφορα επίπεδα τάσεων δοκιμής
- Ο απαιτούμενος για τις δοκιμές εξοπλισμός
- Η εγκατάσταση της δοκιμής
- Η διαδικασία των δοκιμών
- Η διαδικασία της διακρίβωσης
- Η μέτρηση αβεβαιοτήτων

3.3.1 Εξοπλισμός δοκιμών

Ο απαιτούμενος εξοπλισμός [46] για την διακρίβωση γεννητριών ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων είναι ο ακόλουθος:

- κλωβός Faraday για τοποθέτηση του εξοπλισμού μετρήσεων
- γεννήτριες ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων (ESD generators)
- παλμογράφος με εύρος ζώνης τουλάχιστον 1GHz
- ομοαξονικός προσαρμοστής μέτρησης
- εξασθενιτής
- ομοαξονικό καλώδιο για υψίσυχνα σήματα
- βολτόμετρο συνεχούς υψηλής τάσης ($R_i > 30G\Omega$).

3.3.2 Επίπεδα τάσεων δοκιμής ^[37]

Το Πρότυπο IEC 61000-4-2 όπως αναφέρθηκε ανωτέρω καθορίζει τις βασικές αρχές δοκιμών ατρωσίας ηλεκτροστατικής εκφόρτισης. Ορίζει μια κυματομορφή ρεύματος σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο τάσης από μια γεννήτρια, η οποία είναι στην ουσία ένας πυκνωτής που τροφοδοτείται από μια πηγή υψηλής τάσης και του οποίου η τάση φόρτισης εκφορτίζεται μέσω αντιστάσεων μέσω του σημείου επαφής στη γείωση. Οι δύο μέθοδοι εκφόρτισης είναι μέσω επαφής και μέσω αέρα.

Τα προτεινόμενα επίπεδα τάσεων για τη δοκιμή ESD δίνονται στον Πίνακα 3.5. Η μέθοδος εκφόρτισης μέσω επαφής πρέπει να προτιμάτε έναντι της εκφόρτισης μέσω του αέρα η οποία χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις εκείνες όπου δεν είναι δυνατό να εκτελεστεί εκφόρτιση με επαφή. Οι τάσεις δίνονται στον Πίνακα 3.5, και όπως φαίνεται είναι διαφορετικές για κάθε μέθοδο. Αυτό δεν συνεπάγεται ότι η αυστηρότητας της δοκιμής είναι ισοδύναμη μεταξύ των δύο μεθόδων.

Για τη μέθοδο εκφόρτισης μέσω του αέρα, η δοκιμή πρέπει να εφαρμόζεται σε όλα τα επίπεδα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5 μέχρι και το συγκεκριμένο επιθυμητό επίπεδο δοκιμής. Από την άλλη, για την μέθοδο εκφόρτισης μέσω επαφής, η δοκιμή πρέπει να πραγματοποιείται μόνο για το καθορισμένο επίπεδο δοκιμής εκτός αν προβλέπεται κάτι διαφορετικό από τον κατασκευαστή του προϊόντος. Επιπλέον για δοκιμές σε μεταλλικές επιφάνειες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι δυο μέθοδοι ηλεκτροστατικής εκφόρτισης, ενώ για δοκιμές σε μονωτικές επιφάνειες η επικρατούσα μέθοδος είναι η εκφόρτιση μέσω αέρα. Όταν επιχειρούμε έμμεσα δοκιμές ηλεκτροστατικής εκφόρτισης χρησιμοποιώντας επίπεδα ζεύξης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είτε εκφορτίσεις μέσω αέρα είτε μέσω επαφής, αλλά οι εκφορτίσεις επαφής προτιμούνται λόγω της ικανότητάς τους για επαναληψιμότητα.

Εκφορτίσεις επαφής		Εκφορτίσεις στον αέρα	
Επίπεδο	Ένδειξη τάσης kV	Επίπεδο	Ένδειξη τάσης kV
1	2	1	2
2	4	2	4
3	6	3	8
4	8	4	15
X*	Special	X*	Special

*Το επίπεδο X μπορεί να είναι οποιοδήποτε επίπεδο, μεγαλύτερο, μικρότερο ή ανάμεσα στα άνωθεν επίπεδα. Το επίπεδο τάσης δοκιμής πρέπει να καθορίζεται στις προδιαγραφές του εξοπλισμού. Εάν προβλέπονται μεγαλύτερες τάσεις δοκιμής από τις παραπάνω, ίσως να χρειάζεται ειδικό εξοπλισμός για τη δοκιμή

Πίνακας 3.5: Επίπεδα τάσεων δοκιμών^[37].

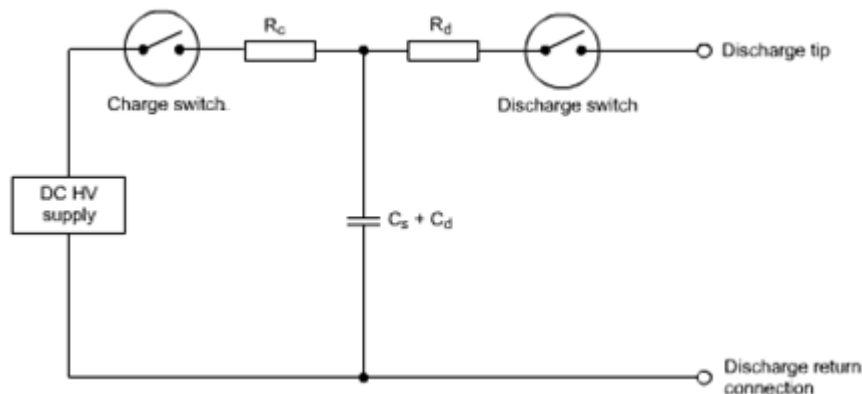
3.3.3 Γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων^[37]

3.3.3.1 Γενικά

Η γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων, που περιγράφεται στο Πρότυπο IEC 61000-4-2 βασίζεται στο μοντέλο του ανθρωπίνου σώματος (Human Body Model). Στο Σχήμα 3.9 παρουσιάζεται ένα απλοποιημένο κύκλωμα της γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων, το οποίο απαρτίζουν:

- μια αντίσταση φόρτισης R_c
- ένας πυκνωτή εκταμίευσης ενέργειας C_s
- μια κατανεμημένη χωρητικότητα C_d (μεταξύ γεννήτριας και αυτών που την περιβάλλουν)
- μια αντίσταση εκφόρτισης R_d
- Ενδεικτής τάσης (voltage indicator)
- ένας διακόπτης εκφόρτισης (discharge switch)
- ένας διακόπτης φόρτισης (charge switch)

- Αντικαθιστάμενα ακροφύσια του ηλεκτροδίου εκφόρτισης (interchangeable tips of the discharge electrode)
- καλώδιο επιστροφής (εκφόρτισης)
- τροφοδοτικό (DC HV supply)



Σχήμα 3.9: Κυκλωματικό διάγραμμα της γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων ^[37].

Η αντίσταση φόρτισης R_c έχει τιμή που κυμαίνεται στα 50-100 MΩ, οι δύο χωρητικότητες $C_s + C_d$ έχουν μια τυπική τιμή γύρω στα 150 pF και η αντίσταση εκφόρτισης R_d που αντιπροσωπεύει τη συνολική αντίσταση της επιδερμίδας (και όχι μόνο της περιοχής κοντά στο σημείο της εκφόρτισης) έχει τιμή περίπου 330 Ω .

3.3.3.2 Χαρακτηριστικά και επίδοση της γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων

Η γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων θα πρέπει να πληροί τις προδιαγραφές που δίνονται στους ακόλουθους Πίνακες 3.6 και 3.7. Το Σχήμα 3.10 παρουσιάζει την ιδανική κυματομορφή του ρεύματος εκφόρτισης και τα σημεία μετρήσεων που αναφέρονται στους Πίνακες 3.6 και 3.7.

Παράμετροι	Τιμές
Τάση εξόδου, μέθοδος εκφόρτισης μέσω επαφής [βλ. Σημείωση 1]	Τουλάχιστον 1 - 6 kV (ονομαστική)
Τάση εξόδου, μέθοδος εκφόρτισης μέσω αέρα [βλ. Σημείωση 1]	Τουλάχιστον 2 - 15 kV (ονομαστική) [βλ. Σημείωση 2]
Ακρίβεια τάσης εξόδου	± 5%
Πολικότητα τάσης εξόδου	Θετική και αρνητική
Χρόνος κρατήματος	≥ 5 sec
Τρόπος λειτουργίας εκφόρτισης	Απλές εκφορτίσεις [βλ. Σημείωση 2]
<p><u>Σημείωση 1:</u> Η τάση ανοικτοκύκλωσης μετριέται στο ηλεκτρόδιο εκφόρτισης της γεννήτριας ηλεκτροστατικής εκφόρτισης.</p> <p><u>Σημείωση 2:</u> Η γεννήτρια πρέπει να έχει την δυνατότητα συνεχών εκφορτίσεων με ρυθμό μέχρι και 20 ανά δευτερόλεπτο (20Hz) για διερευνητικούς λόγους.</p> <p><u>Σημείωση 3:</u> Δεν είναι απαραίτητη η χρήση γεννήτριας με ικανότητα εκφόρτισης μέσω αέρα 15 kV εάν η μέγιστη τάση δοκιμής είναι μικρότερη.</p>	

Πίνακας 3.6: Γενικές προδιαγραφές γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων ^[37].

Επίπεδο	Ένδειξη τάσης kV	Ρεύμα κορυφής I_{max} ($\pm 15\%$) A	Χρόνος ανόδου t_r ($\pm 25\%$) ns	Ρεύμα στα 30ns ($\pm 30\%$) A	Ρεύμα στα 60ns ($\pm 30\%$) A
1	2	7.5	0.8	4	2
2	4	15	0.8	8	4
3	6	22.5	0.8	12	6
4	8	30	0.8	16	8

Σημείωση:

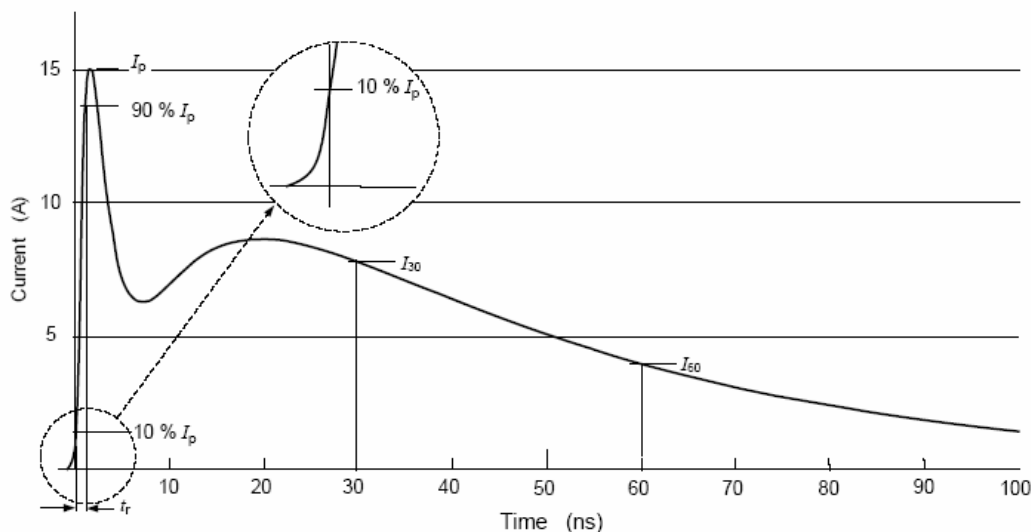
Το ρεύμα κορυφής I_{max} είναι η μέγιστη του ρεύματος εκφόρτισης (αρχική κορυφή).

Ο χρόνος ανόδου t_r είναι ο χρόνος μεταξύ του 10% και 90% της πρώτης κορυφής του ρεύματος.

Το ρεύμα στα 30 ns I_{30} είναι η τιμή του ρεύματος 30 ns μετά την χρονική στιγμή, που παρουσιάζεται για πρώτη φορά κατά τη φάση ανόδου το 10% της μέγιστης τιμής του ρεύματος εκφόρτισης.

Το ρεύμα στα 60 ns I_{60} είναι η τιμή του ρεύματος 60 ns μετά την χρονική στιγμή, που παρουσιάζεται για πρώτη φορά κατά τη φάση ανόδου το 10% της μέγιστης τιμής του ρεύματος εκφόρτισης.

Πίνακας 3.7: Παράμετροι της κυματομορφής του ρεύματος σε εκφόρτιση μέσω επαφής ^[37].



Σχήμα 3.10: Ιδανική κυματομορφή του ρεύματος εκφόρτισης στα 4 kV ^[37].

Το ρεύμα εκφόρτισης σύμφωνα με την κυματομορφή του Σχήματος 3.10, μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη: το πρώτο μέγιστο (peak) του ρεύματος, το οποίο ονομάζεται και «αρχική κορυφή» (initial peak) και προσομοιώνει την εκφόρτιση του χειριού, και το δεύτερο, που προσομοιώνει την εκφόρτιση του ανθρωπίνου σώματος.

Η εξίσωση για την ανωτέρω ιδανική κυματομορφή του ρεύματος εκφόρτισης $I(t)$ δίνεται από την πιο κάτω εξίσωση:

$$I(t) = \frac{I_1}{k_1} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n} \cdot e^{\left(-\frac{t}{\tau_2}\right)} + \frac{I_2}{k_2} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_3}\right)^n}{1 + \left(\frac{t}{\tau_3}\right)^n} \cdot e^{\left(-\frac{t}{\tau_4}\right)} \quad (3.4)$$

όπου

$$k_1 = e^{\left[-\frac{\tau_1}{\tau_2} \left(\frac{n\tau_2}{\tau_1}\right)^{\frac{1}{n}}\right]} \quad k_2 = e^{\left[-\frac{\tau_3}{\tau_4} \left(\frac{n\tau_4}{\tau_3}\right)^{\frac{1}{n}}\right]}$$

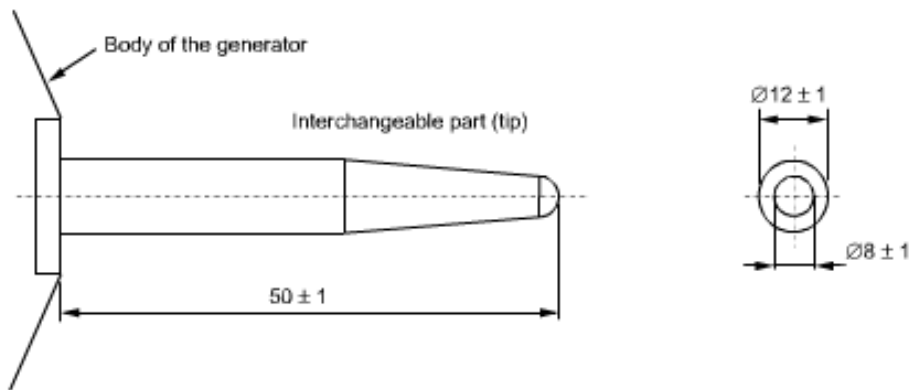
$$\tau_1 = 1.1 \text{ ns} \quad \tau_2 = 2 \text{ ns} \quad \tau_3 = 12 \text{ ns} \quad \tau_4 = 37 \text{ ns}$$

$$I_1 = 16.6 \text{ A} \quad I_2 = 9.3 \text{ A}$$

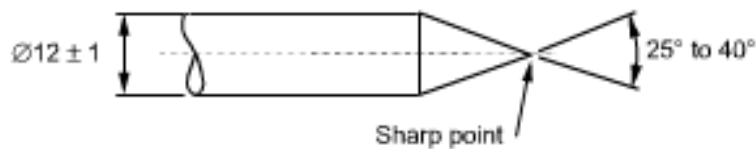
$$n = 1.8$$

Η γεννήτρια πρέπει να είναι κατάλληλα «εφοδιασμένη» με μέσα τέτοια ώστε να αποτρέπονται μη ηθελημένες εκπομπές (επαγόμενες ή ακτινοβολούμενες), είτε συνεχείς είτε σε μορφή παλμού, και εκ ως τούτου να μην επηρεάζεται από διαταραχές και παράσιτα ο εξοπλισμός της δοκιμής.

Τα ηλεκτρόδια εκφόρτισης πρέπει να είναι σύμφωνα με τα σχήματα και τις διαστάσεις που φαίνονται στο Σχήμα 3.11. Επιπλέον πρέπει να καλύπτονται από μονωτικές επιστρώσεις ώστε να έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα από τη δοκιμή.



Σχήμα 3.11 (α): Ηλεκτρόδια για εκφόρτιση μέσω αέρα.



Σχήμα 3.11 (β): Ηλεκτρόδια για εκφόρτιση μέσω επαφής.

Σχήμα 3.11: Ηλεκτρόδια εκφόρτισης της γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων ^[37].

3.3.3.3 Επαλήθευση της διάταξης της γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων

Ο σκοπός της επαλήθευσης είναι να βεβαιωθούμε ότι η διάταξη για τη δοκιμή είναι λειτουργική. Η διάταξη της δοκιμής ηλεκτροστατικής εκφόρτισης περιλαμβάνει:

- την γεννήτρια ηλεκτροστατικής εκφόρτισης
- το καλώδιο επιστροφής (εκφόρτισης)
- αντιστάσεις διαρροής (470 kΩ)
- επίπεδο αναφοράς γείωσης
- συνδέσεις που σχηματίζουν το μονοπάτι εκφόρτισης

Για την επαλήθευση του καταλλήλου της διάταξης ηλεκτροστατικής εκφόρτισης, μια μέθοδος είναι να παρατηρήσουμε ότι σε ρύθμιση χαμηλού επιπέδου τάσεως δημιουργείται ένας μικρός σπινθήρας κατά την εκφόρτιση μέσω αέρα και σε υψηλότερες ρυθμίσεις δημιουργείται ένας μεγαλύτερος σπινθήρας. Πριν την επαλήθευση μέσω αυτής της μεθόδου, είναι σημαντικό να ελέγξουμε και να επαληθεύσουμε τη θέση και τη σύνδεση της ταινίας γείωσης.

3.3.4 Περιγραφή του χώρου δοκιμών ^[37]

Το εύρος των διαταραχών από τις ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις είναι μεγάλο και εκτείνεται μέχρι την περιοχή VHF (Very High Frequency, 30MHz – 300MHz). Οι ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις προβλέπεται να γίνονται σε θωρακισμένο θάλαμο. Το δοκίμιο και η γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων τοποθετούνται εντός του θωρακισμένου θαλάμου μεταβατικών διαταραχών (transient immunity room). Ο παλμογράφος καταγραφής του ρεύματος ηλεκτροστατικής εκφόρτισης βρίσκεται στον θάλαμο ελέγχου (control room). Κατά την διάρκεια των δοκιμών η πόρτα του θαλάμου μεταβατικών διαταραχών είναι κλειστή.

3.3.4.1 Διάταξη δοκιμών

Η διάταξη δοκιμών αποτελείται από την γεννήτρια δοκιμών, το δοκίμιο (EUT) και τα βοηθητικά όργανα και εξοπλισμό που απαιτείται για την εκτέλεση άμεσων και έμμεσων ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων με τον ακόλουθο τρόπο:

- α) Εκφόρτιση μέσω επαφής στις αγωγίμες επιφάνειες και στα επίπεδα σύζευξης.
- β) Εκφόρτιση μέσω αέρα στις μονωτικές επιφάνειες.

Δύο διαφορετικές δοκιμές είναι δυνατό να διακριθούν:

- Δοκιμές τύπου (συμμόρφωσης) σε εργαστήρια.
- Δοκιμές μετά την εγκατάσταση του εξοπλισμού.

Η προτεινόμενη μέθοδος είναι αυτή που πραγματοποιείται σε εργαστήρια.

3.3.4.2 Διάταξη δοκιμών σε εργαστήρια

(A) Απαιτήσεις δοκιμής

Στο δάπεδο του εργαστηρίου πρέπει να υπάρχει ένα εδαφικό επίπεδο αναφοράς (Ground Reference Plane, GRP). Μπορεί να είναι ένα μεταλλικό φύλλο (χαλκός ή αλουμίνιο) ελάχιστου πάχους 0.25mm, ενώ αν χρησιμοποιηθεί άλλο μεταλλικό υλικό το ελάχιστο πάχος πρέπει να είναι 0.65mm. Το GRP πρέπει να έχει απόσταση από το δοκίμιο (EUT) ή το οριζόντιο επίπεδο σύζευξης τουλάχιστον 0.5m από όλες τις πλευρές, και πρέπει να είναι ενωμένο στο πλέγμα γείωσης προστασίας.

Αφού το δοκίμιο συνδεθεί ακόλουθα με τις λειτουργικές του απαιτήσεις, πρέπει να τηρείται μια απόσταση τουλάχιστον 0.8m μεταξύ του δοκιμίου και των τοίχων του εργαστηρίου και οποιασδήποτε άλλης μεταλλικής κατασκευής.

Τόσο το δοκίμιο όσο και η γεννήτρια ηλεκτροστατικής εκφόρτισης πρέπει να γειωθούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις εγκατάστασης τους. Δεν είναι επιτρεπτές επιπρόσθετες συνδέσεις γείωσης.

Το καλώδιο επιστροφής (εκφόρτισης) της γεννήτριας πρέπει να είναι ενωμένο στο GRP και να είναι σε απόσταση τουλάχιστον 0.2m από άλλα αγωγίμα μέρη της διάταξης.

Οι συνδέσεις των καλωδίων γείωσης στο GRP και όλες οι ενώσεις πρέπει είναι χαμηλής αντίστασης, για παράδειγμα χρησιμοποιώντας μηχανικές συσκευές σύσφιξης για εφαρμογές υψηλών συχνοτήτων.

Όταν τα επίπεδα σύζευξης προσδιοριστούν, (π.χ. επιτρέποντας έμμεση εφαρμογή εκφόρτισης) τότε το μεταλλικό φύλλο (χαλκός ή αλουμίνιο) ελάχιστου πάχους 0.25mm (αν χρησιμοποιηθεί άλλο μεταλλικό υλικό το ελάχιστο πάχος πρέπει να είναι 0.65mm) πρέπει να συνδεθεί στο GRP μέσω ενός καλωδίου με αντιστάσεις 470 kΩ στις δύο άκρες του. Αυτές οι αντιστάσεις πρέπει να είναι ικανές να αντέχουν την τάση εκφόρτισης. Τόσο τα καλώδια όσο και οι αντιστάσεις πρέπει να είναι κατάλληλα μονωμένα ώστε να αποφευχθούν βραχυκυκλώματα στο GRP όταν τα καλώδια ευρίσκονται πάνω στο GRP.

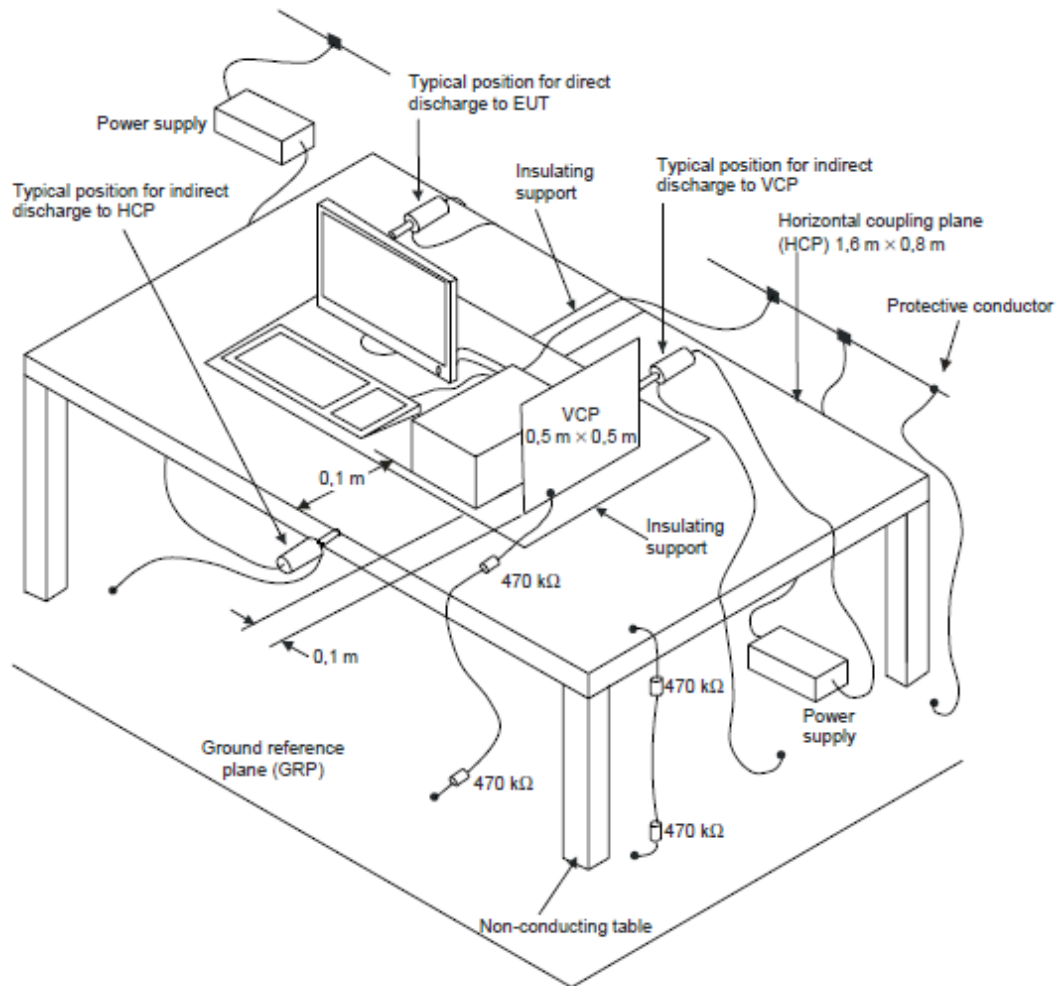
(B) Επιτραπέζιος εξοπλισμός

Η διάταξη πρέπει να περιλαμβάνει ένα μη αγωγίμο τραπέζι, ύψους (0.8 ± 0.8) m, που θα βρίσκεται πάνω στο GRP.

Το οριζόντιο επίπεδο σύζευξης (Horizontal Coupling Plane, HCP), διαστάσεων (1.6 ± 0.02) m x (0.8 ± 0.02) m, πρέπει να είναι τοποθετημένο πάνω στο τραπέζι. Το δοκίμιο και τα καλώδια πρέπει να είναι μονωμένα από το HCP μέσω μονωτικού στηρίγματος πάχους (0.5 ± 0.05) mm.

Εάν το δοκίμιο είναι αρκετά μεγάλο ώστε να τοποθετηθεί τουλάχιστον 0.1m από όλες τις πλευρές του HCP, τότε ένα παρόμοιο HCP πρέπει να χρησιμοποιηθεί, τοποθετημένο σε απόσταση (0.3 ± 0.02) m από το πρώτο HCP. Το τραπέζι πρέπει να μεγαλώσει ή να χρησιμοποιηθούν δύο τραπέζια. Επιπλέον, τα HCP δεν πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους, εκτός μέσω των καλωδίων αντίστασης στο GRP.

Ένα παράδειγμα της διάταξης για επιτραπέζιο εξοπλισμό δίνεται στο Σχήμα 3.12.

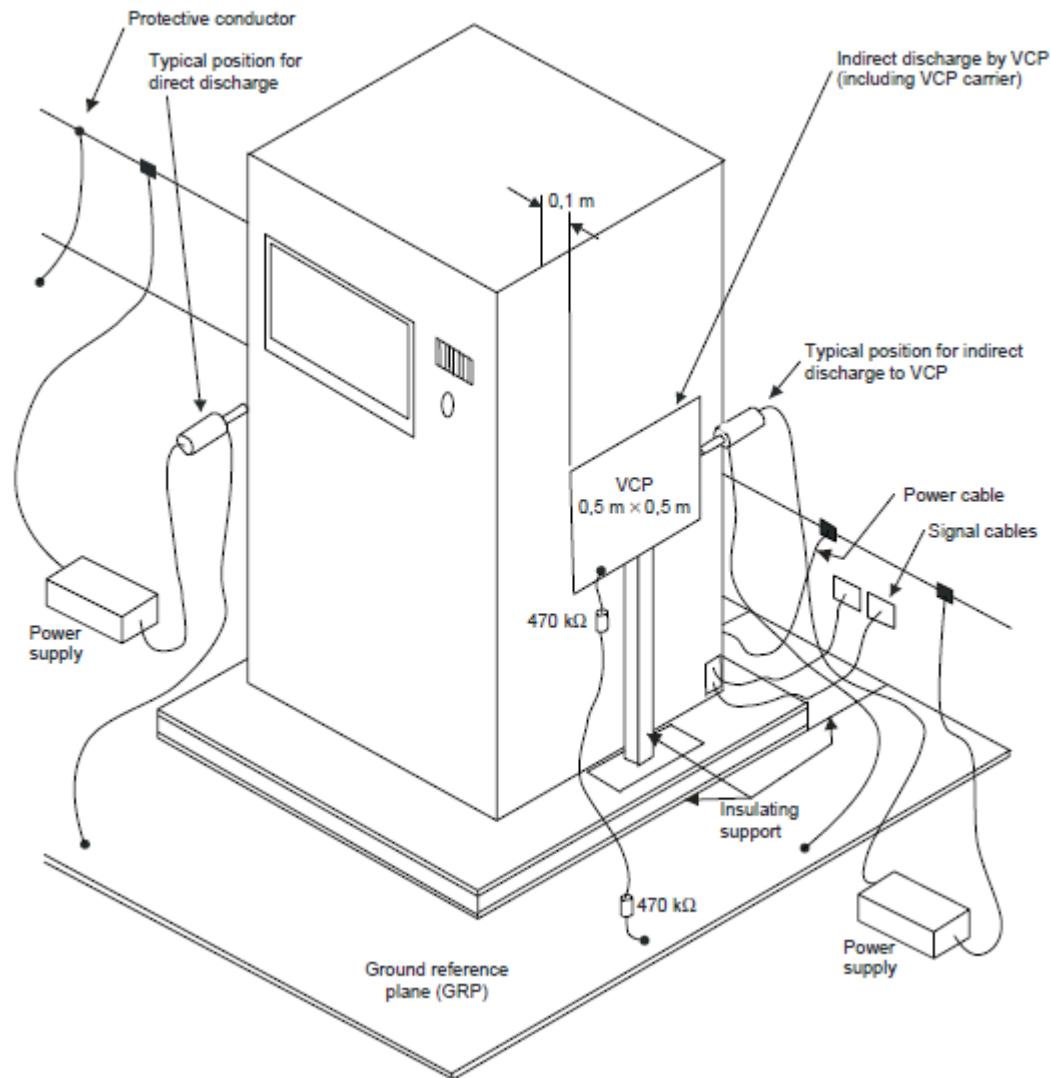


Σχήμα 3.12 Παράδειγμα διάταξης επιτραπέζιου εξοπλισμού για δοκιμές σε εργαστήρια ^[37].

(Γ) Επιδαπέδιος εξοπλισμός

Το δοκίμιο πρέπει να είναι απομονωμένο από το GRP με ένα μονωτικό στήριγμα πάχους 0.05 m έως 0.15 m. Τα καλώδια του δοκιμίου πρέπει να είναι επίσης απομονωμένα από το GRP μέσω μονωτικού στηρίγματος πάχους (0.5 ± 0.05) mm.

Ένα παράδειγμα της διάταξης για επιδαπέδιο εξοπλισμό δίνεται στο Σχήμα 3.13.



Σχήμα 3.13: Παράδειγμα διάταξης επιδαπέδιου εξοπλισμού για δοκιμές σε εργαστήρια ^[37].

(Δ) Αγείοτος εξοπλισμός

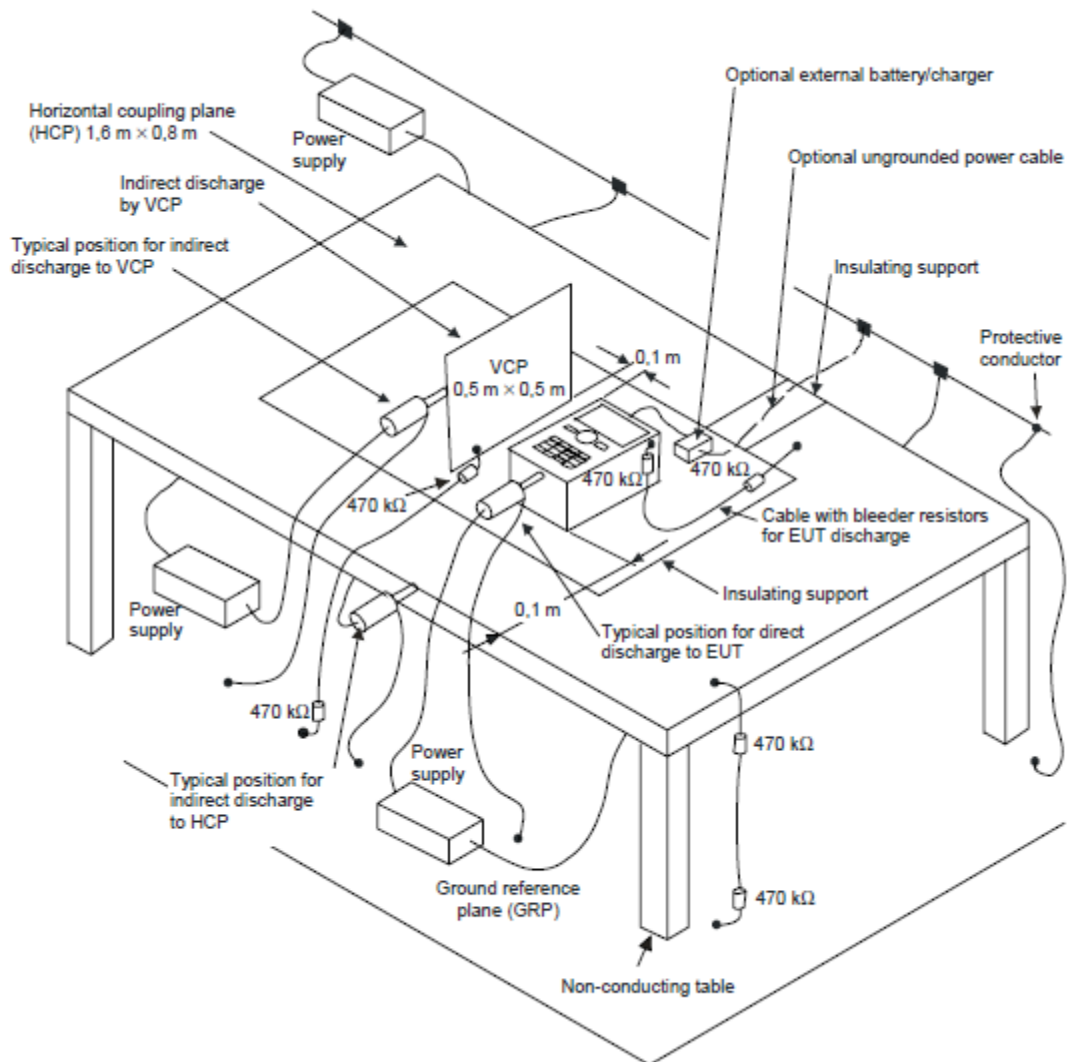
Η διάταξη που περιγράφεται σε αυτή την παράγραφο αφορά εξοπλισμό του οποίου οι απαιτήσεις εγκατάστασης δεν προβλέπουν σύνδεση με οποιοδήποτε σύστημα γείωσης, όπως φορητός εξοπλισμός, εξοπλισμός που λειτουργεί με μπαταρία με ή χωρίς φορτιστή (αγείοτο καλώδιο τροφοδοσίας) και διπλά μονωμένο εξοπλισμό.

Η γενική διάταξη δοκιμής πρέπει να είναι παρόμοια με τις προαναφερθείσες στις παραγράφους 3.3.4.2 (Β) και 3.3.4.2 (Γ) για επιτραπέζιο και επιδαπέδιο εξοπλισμό αντίστοιχα.

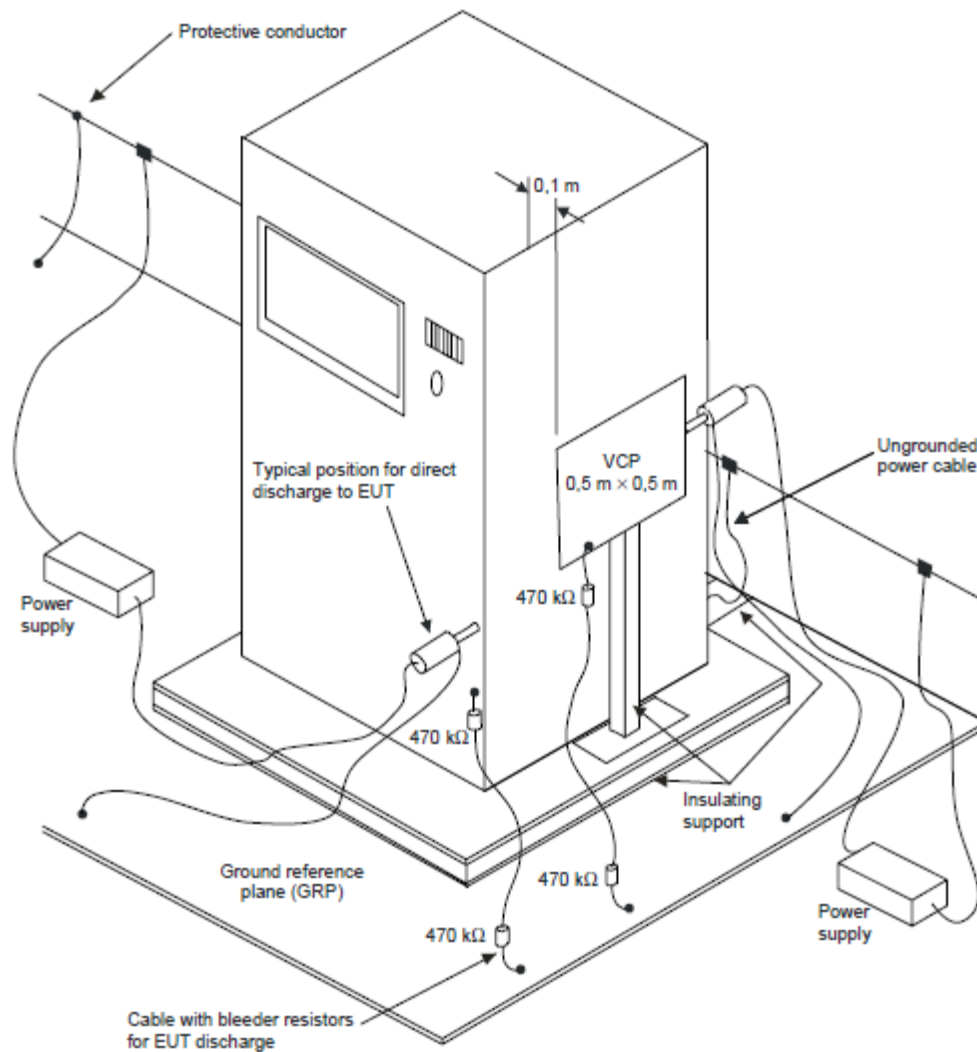
Για την προσομοίωση ενός απλού φαινομένου ηλεκτροστατικής εκφόρτισης, πρέπει πρώτα να «αφαιρείται» η φόρτιση του δοκιμίου πριν να εφαρμοσθεί ο παλμός ηλεκτροστατικής εκφόρτισης, με τη χρήση αντιστάσεων διαρροής 470 kΩ.

Όπως και η χωρητικότητα μεταξύ του δοκιμίου και του HCP (επιτραπέζιος εξοπλισμός) και μεταξύ του δοκιμίου και του GRP (επιδαπέδιος εξοπλισμός) καθορίζεται από το μέγεθος του δοκιμίου, έτσι και το καλώδιο με τις αντιστάσεις

διαρροής μπορεί να παραμένει εγκατεστημένο κατά τη διάρκεια της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης όπου επιτρέπεται λειτουργικά. Στο καλώδιο με τις αντιστάσεις διαρροής, η μία αντίσταση πρέπει να συνδέεται όσο πιο κοντά γίνεται, σε απόσταση μικρότερη από 20 mm, από το σημείο δοκιμής. Η άλλη αντίσταση πρέπει να συνδέεται κοντά στο τέλος του καλωδίου, συνημμένη στο HCP για επιτραπέζιο εξοπλισμό (βλ. Σχήμα 3.14), ή στο GRP για επιδαπέδιο εξοπλισμό (βλ. Σχήμα 3.15).



Σχήμα 3.14: Παράδειγμα μια διάταξης για αγείοτο επιτραπέζιο εξοπλισμό ^[37].



Σχήμα 3.15: Παράδειγμα μια διάταξης για αγείοτο επιδαπέδιο εξοπλισμό ^[37].

(I) Επιτραπέζιος εξοπλισμός

Επιτραπέζιος εξοπλισμός χωρίς οποιαδήποτε μεταλλική σύνδεση στο GRP πρέπει να εγκαθίσταται όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3.3.4.2 (B) και το Σχήμα 3.12.

Όταν ένα μεταλλικό προσβάσιμο μέρος είναι στο δοκίμιο, στο οποίο ο παλμός ηλεκτροστατικής εκφόρτισης θα εφαρμοστεί, αυτό το κομμάτι πρέπει να είναι ενωμένο στο HCP μέσω καλωδίου με αντιστάσεις διαρροής (βλ. Σχήμα 3.14).

(II) Επιδαπέδιος εξοπλισμός

Επιδαπέδιος εξοπλισμός χωρίς οποιαδήποτε μεταλλική σύνδεση στο GRP πρέπει να εγκαθίσταται όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3.3.4.2 (Γ) και το Σχήμα 3.13.

Όταν ένα μεταλλικό προσβάσιμο μέρος είναι στο δοκίμιο, στο οποίο ο παλμός ηλεκτροστατικής εκφόρτισης θα εφαρμοστεί, αυτό το κομμάτι πρέπει να είναι ενωμένο στο GRP μέσω καλωδίου με αντιστάσεις διαρροής (βλ. Σχήμα 3.15).

3.3.4.3 Διάταξη δοκιμών μετά την εγκατάσταση του εξοπλισμού

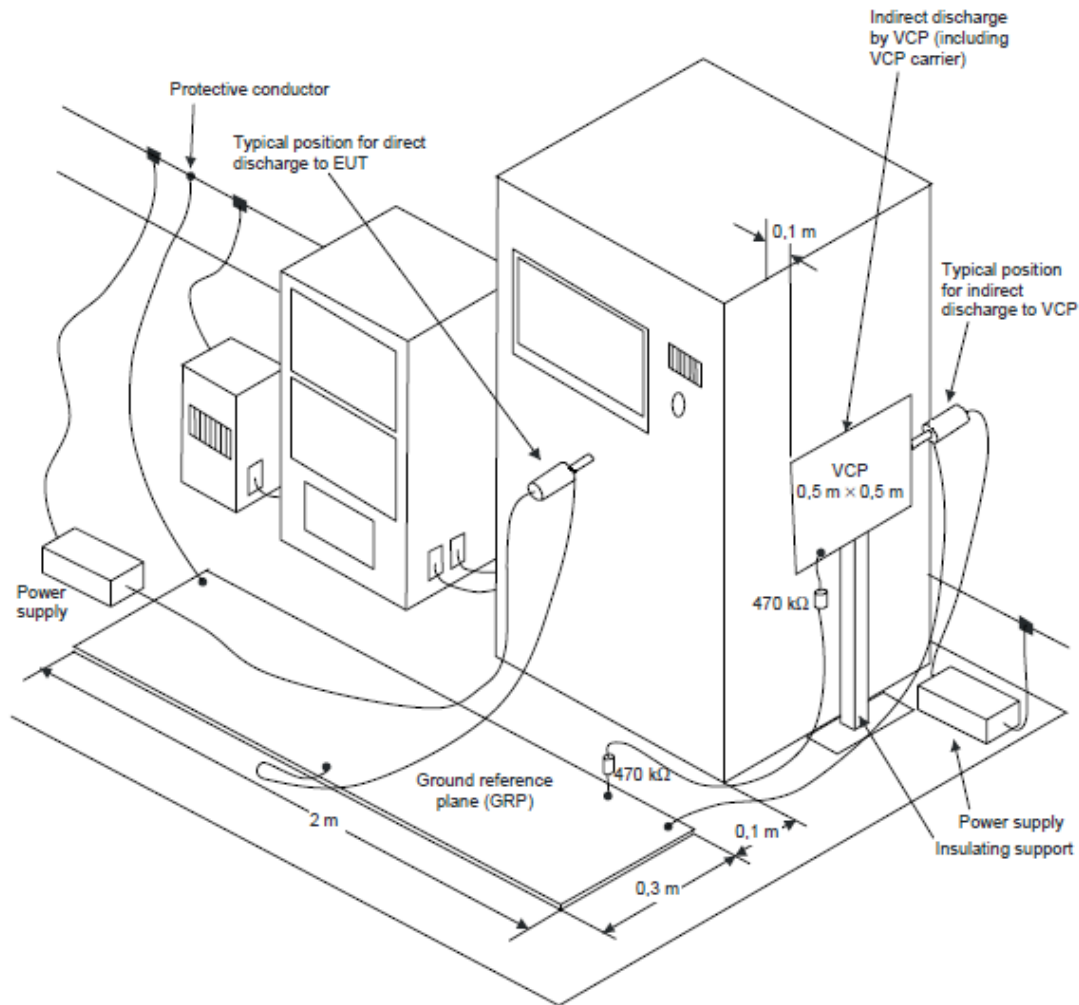
Οι δοκιμές μετά την εγκατάσταση του εξοπλισμού γίνονται σε περιπτώσεις συμφωνίας μεταξύ κατασκευαστή και πελάτη. Ο τελευταίος πρέπει να έχει υπόψη ότι εξοπλισμός που συστεγάζεται κοντά σε εκείνον που θα πραγματοποιηθεί η δοκιμή, είναι δυνατό να επηρεαστεί. Εάν αποφασισθεί όμως να πραγματοποιηθεί δοκιμή μετά την εγκατάσταση, τότε το δοκίμιο πρέπει να εξετασθεί στην τελική κατάσταση εγκατάστασης του.

Προκειμένου να διευκολυνθεί η σύνδεση για το καλώδιο επιστροφής (εκφόρτισης), ένα GRP πρέπει να είναι τοποθετημένο στο δάπεδο της εγκατάστασης, κοντά στο δοκίμιο σε απόσταση περίπου 0.1 m. Αυτό το GRP πρέπει να είναι από χαλκό ή αλουμίνιο με ελάχιστο πάχος 0.25 mm. Αν χρησιμοποιηθεί άλλο μεταλλικό υλικό το ελάχιστο πάχος πρέπει να είναι 0.65mm. Επιπλέον το GRP πρέπει να έχει πλάτος περίπου 0.3 m και μήκος 2 m, όπου το επιτρέπει η εγκατάσταση.

Το GRP πρέπει να είναι ενωμένο στο πλέγμα γείωσης προστασίας και όπου αυτό δεν είναι εφικτό πρέπει να ενώνεται στον ακροδέκτη γείωσης του δοκιμίου, εάν υπάρχει. Το καλώδιο επιστροφής (εκφόρτισης) της γεννήτριας ηλεκτροστατικής εκφόρτισης πρέπει να είναι ενωμένο στο επίπεδο αναφοράς. Όταν το δοκίμιο είναι σε εγκατεστημένο σε μεταλλικό τραπέζι, τότε και το τραπέζιο πρέπει να είναι ενωμένο στο επίπεδο αναφοράς μέσω καλωδίου με αντίσταση 470 kΩ σε κάθε άκρη του, ώστε να αποφευχθεί συσσώρευση φόρτισης.

Τα αγείωτα μεταλλικά μέρη πρέπει να δοκιμάζονται σύμφωνα με την παράγραφο 3.3.4.2 (Δ). Το καλώδιο με τις αντιστάσεις διαρροής πρέπει να είναι ενωμένο στο GRP κοντά στο δοκίμιο.

Ένα παράδειγμα της διάταξης για δοκιμή μετά την εγκατάσταση του εξοπλισμού δίνεται στο Σχήμα 3.16.



Σχήμα 3.16: Παράδειγμα διάταξης επιδαπέδιου εξοπλισμού για δοκιμές μετά την εγκατάσταση^[37].

3.3.5 Αβεβαιότητα μετρήσεων γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων

Τέλος το Πρότυπο IEC 61000-4-2 προσπαθώντας να επιτύχει υψηλότερο επίπεδο αξιοπιστίας, εισάγει την έννοια της αβεβαιότητας των μετρήσεων (Measurement Uncertainty, MU).

Σύμφωνα με αυτό [37] για εργαστήρια τα οποία διεξάγουν διακριβώσεις συνιστώνται τα ακόλουθα όρια αβεβαιότητας:

- Χρόνος ανόδου t_r : $MU \leq 15\%$
- Κορυφή του ρεύματος I_p : $MU \leq 7\%$
- Ρεύμα στα 30 ns I_{30} : $MU \leq 7\%$
- Ρεύμα στα 60 ns I_{60} : $MU \leq 7\%$

3.4 Επισκόπηση του Προτύπου IEC 61000-4-4 Ed. 2.0 (2004-07)

Αυτό το μέρος του Προτύπου IEC 61000-4 σχετίζεται με δοκιμές ατρωσίας ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού σε γρήγορα ηλεκτρικά μεταβατικά φαινόμενα και απότομες εκφορτίσεις (EFT/B – Electrical Fast Transients/Bursts). Παρουσιάζει τις απαιτήσεις ατρωσίας, τη διαδικασία δοκιμής και επιπλέον ορίζει το εύρος των επιπέδων δοκιμής.

Το αντικείμενο αυτού του προτύπου είναι να θεσπίσει μια ενιαία βάση αναφοράς για την αξιολόγηση και απόδοση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών όταν υποβάλλονται σε EFT/B μέσω της θυρών τροφοδοσίας, σήματος, ελέγχου και γείωσης.

Αποσκοπεί στην επίδειξη της ατρωσίας του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού όταν υποβάλλεται σε τύπους μεταβατικών διαταραχών όπως αυτών που προέρχονται από το ανοιγοκλείσιμο επαφών (Σχήμα 3.17 [διακοπή των επαγωγικών φορτίων, αναπήδηση ρελέ επαφής, κ.λπ]).

3.4.1 Γενικά

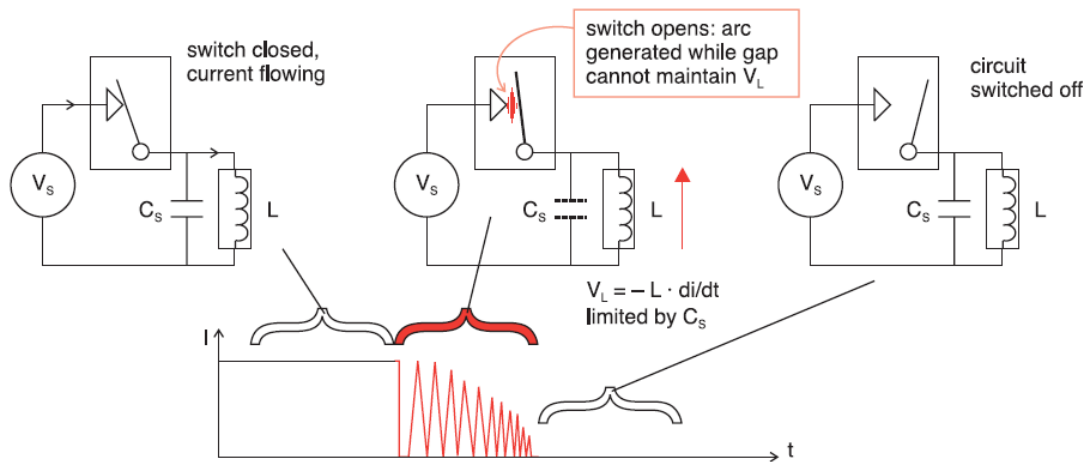
Η δοκιμή γρήγορων επαναλαμβανόμενων μεταβατικών φαινομένων με εκφορτίσεις αποτελείται από γρήγορες μεταβάσεις, συζευγμένες στις θύρες τροφοδοσίας σήματος, ελέγχου και γείωσης των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών. Σημαντικά στοιχεία της δοκιμής αυτής αποτελούν ο μικρός χρόνος ανόδου, η χαμηλή ενέργεια, το μεγάλο πλάτος και ο μεγάλος ρυθμός επανάληψης των μεταβατικών φαινομένων.

EFT

Γενικά το φαινόμενο EFT προκαλείται από χειρισμούς επαγωγικών φορτίων και μπορεί να περιγραφεί σε όρους όπως [38, 48, 49]:

- τη διάρκεια της ριπής (burst) (που κατά κύριο λόγο καθορίζεται από την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στην επαγωγή πριν το χειρισμό).
- το ρυθμό επανάληψης των μεμονωμένων μεταβάσεων.
- το πλάτος των μεταβατικών φαινομένων που συνθέτουν τη ριπή – που προσδιορίζεται κυρίως από μηχανικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της επαφής (ταχύτητα κατά το άνοιγμα της επαφής, ικανότητα τάσης αντοχής των επαφών κατά το άνοιγμα).

Επί της ουσίας, το EFT δεν έχει μοναδικές παραμέτρους που εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της επαφής χειρισμού ή του φορτίου χειρισμού.



Σχήμα 3.17: Μεταβατικά φαινόμενα (υψηλής ενέργειας), που προέρχονται από ανοιγοκλεισίματα επαφών ^[45].

3.4.2 Επίπεδα δοκιμών ^[38]

Τάση εξόδου ανοικτού κυκλώματος και ρυθμός επανάληψης παλμών				
Επίπεδο	Σε θύρα τροφοδοσίας (PE – Power Port)		Σε θύρες εισόδου – εξόδου (I/O – Input/Output) σημάτων, δεδομένων και ελέγχου.	
	Μέγιστη τιμή τάσης kV	Ρυθμός επανάληψης kHz	Μέγιστη τιμή τάσης kV	Ρυθμός επανάληψης kHz
1	0.5	5 ή 100	0.25	5 ή 100
2	1	5 ή 100	0.5	5 ή 100
3	2	5 ή 100	1	5 ή 100
4	4	5 ή 100	2	5 ή 100
X ^a	Ειδικό	Ειδικό	Ειδικό	Ειδικό

Σημείωση 1: Είθισται η χρήση ρυθμού επανάληψης να είναι 5 kHz, όμως τα 100 kHz είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα.

Σημείωση 2: Σε κάποια προϊόντα, ίσως να μη γίνεται σαφής διαχωρισμός μεταξύ των θυρών PE και I/O, και επομένως εξαρτάται από τις επιτροπές των προϊόντων αυτός ο προσδιορισμός για σκοπούς δοκιμών.

^a Το επίπεδο «X» είναι ένα οποιοδήποτε επίπεδο, που πρέπει όμως να καθορίζεται στις προδιαγραφές του εξοπλισμού.

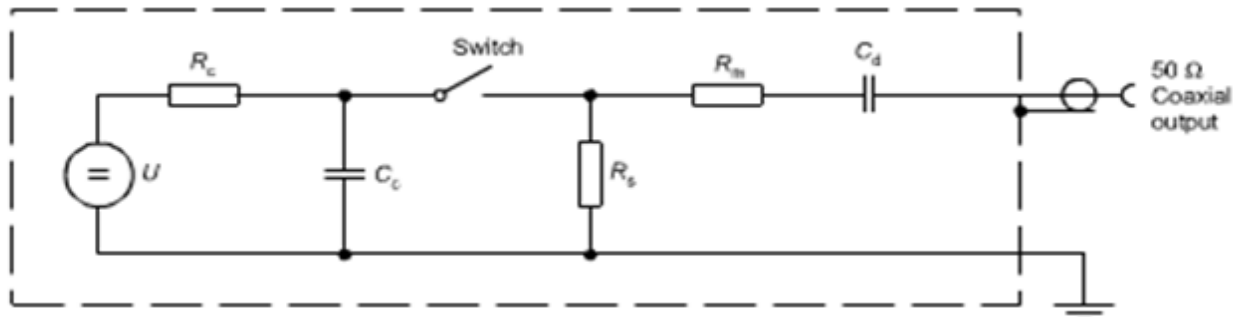
Πίνακας 3.8: Επίπεδα δοκιμών ^[38].

3.4.3 Εξοπλισμός δοκιμών ^[38]

Οι διαδικασίες επαλήθευσης που αναφέρονται στις παρακάτω παραγράφους 3.4.3.1 (A) και 3.4.3.2 (B) είναι ο οδηγός για την βεβαίωση της σωστής λειτουργίας της γεννήτριας της δοκιμής, του CDN (δίκτυο σύζευξης/απόζευξης), και άλλων συσκευών που αποτελούν τον εξοπλισμό της δοκιμής προκειμένου να φθάσει στο δοκίμιο που θα εξεταστεί η κυματομορφή που επιθυμούμε.

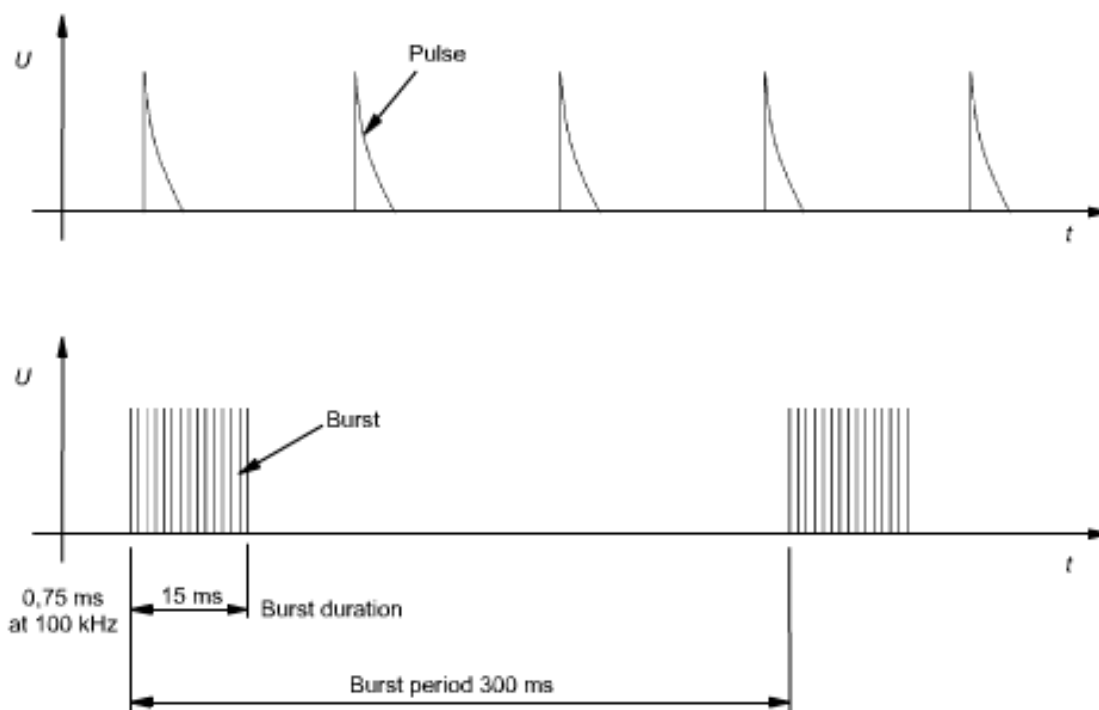
3.4.3.1 Γεννήτρια EFT/B

Το απλοποιημένο κυκλωματικό διάγραμμα της γεννήτριας δίνεται στο Σχήμα 3.18. Οι τιμές των στοιχείων R_S , R_m , C_d , και C_C επιλέγονται έτσι ώστε η γεννήτρια να δίνει γρήγορα μεταβατικά φαινόμενα σε ανοικτοκύκλωμα και με ωμικό φορτίο 50Ω . Η ενεργός τιμή της εμπέδησης εξόδου της γεννήτρια πρέπει να έχει τιμή 50Ω . Στο Σχήμα 3.19 δίνεται η γενική μορφή ενός EFT/B.



Σχήμα 3.18: Απλοποιημένο κυκλωματικό διάγραμμα της γεννήτριας EFT/B^[38].

- U : πηγή υψηλής τάσης
- R_C : αντίσταση φόρτισης
- C_C : πυκνωτής αποθήκευσης ενέργειας
- R_S : αντίσταση διαμόρφωσης διάρκειας παλμού
- R_m : αντίσταση προσαρμογής εμπέδησης
- C_d : d.c.-block πυκνωτής



Σχήμα 3.19: Γενική μορφή ενός EFT/B^[38].

(A) Χαρακτηριστικά γεννήτριας EFT/B

Τα χαρακτηριστικά της γεννήτριας EFT/B (Πίνακας 3.9) είναι τα ακόλουθα:

- Εύρος τάσης εξόδου με φορτίο 1000 Ω πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.25 kV έως 4 kV.
- Εύρος τάσης εξόδου με φορτίο 50 Ω πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.125 kV έως 2 kV.

Επιπλέον η γεννήτρια πρέπει να είναι ικανή να λειτουργεί σε συνθήκες βραχυκυκλώματος.

Πολικότητα	Θετική και αρνητική
Τύπος εξόδου	Ομοαξονικό, 50 Ω
D.c.-block πυκνωτής	10 nF ± 20%
Ρυθμός επανάληψης	(βλ. Πίνακα 3.10) ± 20%
Σχέση με το τροφοδοτικό	Ασύγχρονη
Διάρκεια ριπής (βλ. Σχήμα 2.4.2)	15 ms ± 20% στα 5 kHz 0.75 ms ± 20% στα 100 kHz
Περίοδος ριπής (βλ. Σχήμα 2.4.2)	300 ms ± 20%
Κυματομορφή παλμού <ul style="list-style-type: none"> • Με φορτίο 50 Ω • Με φορτίο 1000 Ω 	Χρόνος ανόδου $t_r = 5 \text{ ns} \pm 30\%$ Χρόνος ημίσειας εύρους $t_d = 50 \text{ ns} \pm 30\%$ Μέγιστη τάση = σύμφωνα με τον Πίνακα 3.10, ± 10% (βλ. Σχήμα 3.20 για την κυματομορφή των 50 Ω) Χρόνος ανόδου $t_r = 5 \text{ ns} \pm 30\%$ Χρόνος ημίσειας εύρους $t_d = 50 \text{ ns}$ με ανοχή - 15 ns ÷ 100 ns Μέγιστη τάση = σύμφωνα με τον Πίνακα 3.10, ± 20% (βλ. Σημείωση 2 στον Πίνακα 3.10)
Φορτίο δοκιμής	50 Ω ± 2% 1000 Ω ± 2% παράλληλα με χωρητικότητα ≤ 6 pF. Η μέτρηση του ωμικού φορτίου γίνεται σε κατάσταση d.c. και η μέτρηση της τιμής του πυκνωτή γίνεται με εμπορικό μετρητή χωρητικότητας που λειτουργεί σε χαμηλές συχνότητες.

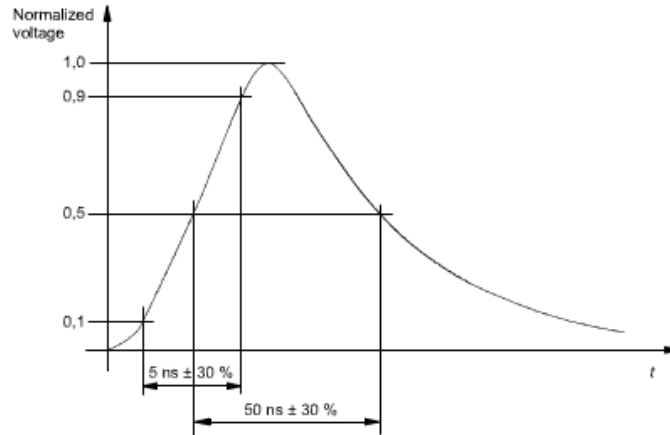
Πίνακας 3.9: Χαρακτηριστικά γεννήτριας EFT/B^[38].

Η πιο κάτω εξίσωση δίνει μια καλή προσέγγιση της κυματομορφής της τάσης EFT:

$$V_{EFT}(t) = A \cdot V_p \cdot \left[1 - e^{\left(\frac{-t}{\tau_1}\right)} \right] \cdot e^{\left(\frac{-t}{\tau_2}\right)} \quad (3.5)$$

όπου

$$A = 1.27, \tau_1 = 3.5 \text{ ns}, \tau_2 = 55.6 \text{ ns}.$$



Σχήμα 3.20: Κυματομορφή τάσης EFT ενός παλμού σε φορτίο 50 Ω ^[38].

(B) Επαλήθευση των χαρακτηριστικών της γεννήτριας EFT/B

Τα χαρακτηριστικά της γεννήτριας πρέπει να επαληθεύονται ώστε να υπάρχει μια ενιαία αναφορά για όλες τις γεννήτριες. Γι' αυτό το σκοπό πρέπει να γίνεται η παρακάτω διαδικασία.

Η έξοδος της γεννήτριας πρέπει να συνδέεται με τερματικό ομοαξονικό καλώδιο 50 Ω και 1000 Ω αντίστοιχα και η τάση να παρακολουθείται με παλμογράφο. Το εύρος ζώνης -3 db του μετρούμενου εξοπλισμού και του φορτίου δοκιμής πρέπει να είναι τουλάχιστον 400 MHz. Ο χρόνος ανόδου, η διάρκεια του παλμού και ο ρυθμός επανάληψης των παλμών εντός μιας ριπής πρέπει να παρακολουθούνται, όπως επίσης και η διάρκεια και περίοδος της ριπής. Για καθένα από τα επίπεδα τάσης που θέτουμε στο Πίνακα 3.10, μετρείται η τιμή της τάσης εξόδου στο φορτίο 50Ω [V_p (50 Ω)] και πρέπει να είναι ίση με $[0.5 \times V_p$ (ανοικτοκύκλωμα)] $\pm 10\%$. Αντίστοιχα σε φορτίο 1000 Ω η μετρούμενη τάση [V_p (1000 Ω)] πρέπει να είναι ίση με [V_p (ανοικτοκύκλωμα)] $\pm 20\%$.

Επίπεδο τάσης kV	V_p (ανοικτοκύκλωμα) kV	V_p (1000 Ω) kV	V_p (50 Ω) kV	Συχνότητα επανάληψης kHz
0.25	0.25	0.24	0.125	5 ή 100
0.5	0.5	0.48	0.25	5 ή 100
1	1	0.95	0.5	5 ή 100
2	2	1.9	1	5 ή 100
4	4	3.8	2	5 ή 100

Σημείωση 1: Οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται ώστε να βεβαιωθούμε ότι οι παράσιτες χωρητικότητες παραμένουν ελάχιστες.

Σημείωση 2: Η χρήση του φορτίου των 1000 Ω έχει ως άμεσο αποτέλεσμα, η τάση που διαβάζεται να είναι 5% μικρότερη του επιπέδου τάσης που ορίζουμε όπως φαίνεται στη στήλη V_p (1000 Ω). Επομένως η μετρούμενη τάση V_p στα 1000 Ω είναι ίση με την V_p σε ανοικτοκύκλωμα πολλαπλασιασμένη με 1000/1050 (ο λόγος του φορτίου δοκιμής προς την συνολική εμπέδηση του κυκλώματος, 1000 Ω + 50 Ω).

Σημείωση 3: Με το φορτίο των 50 Ω, η μετρούμενη τάση εξόδου είναι η μισή της τάσης ανοικτού κυκλώματος όπως φαίνεται στον πιο πάνω πίνακα.

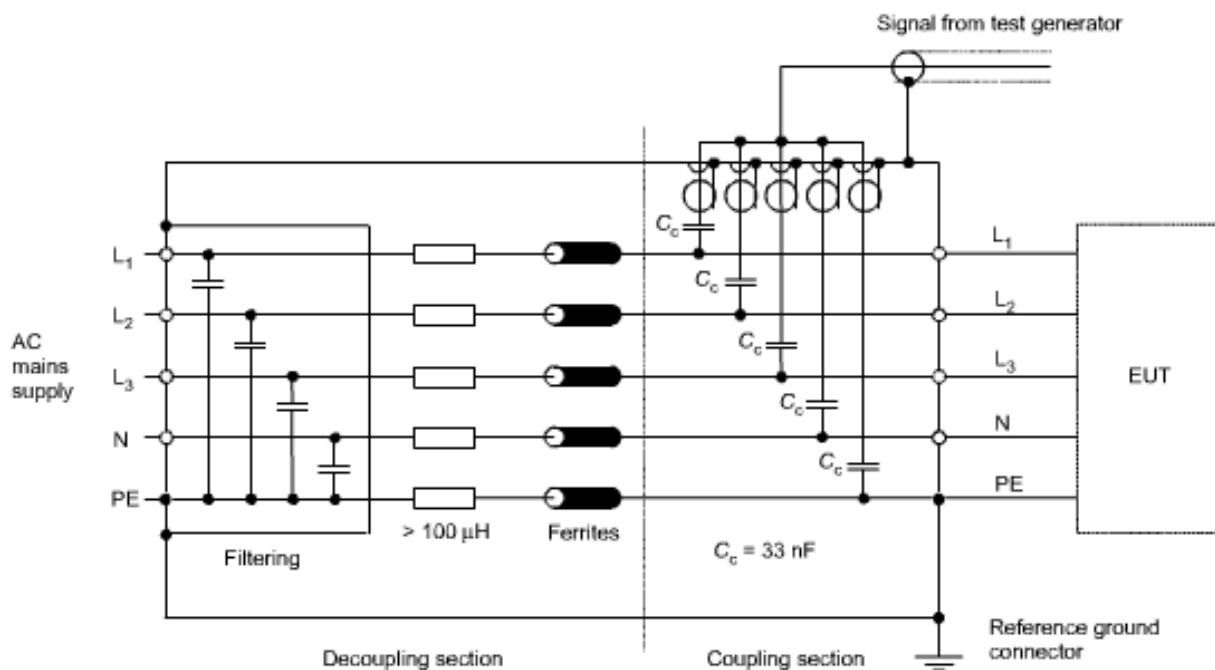
Πίνακας 3.10: Μέγιστη τάση εξόδου και ρυθμός επανάληψης ^[38].

3.4.3.2 CDN για τη θύρα τροφοδοσίας a.c./d.c.

Για την πραγματοποίηση δοκιμών σε θύρες τροφοδοσίας a.c./d.c. απαιτείται δίκτυο σύζευξης/απόζευξης (Coupling/Decoupling Network).

Η κυματομορφή της γεννήτριας EFT/B πρέπει να επαληθεύεται στην έξοδο του δικτύου σύζευξης σύμφωνα με την παράγραφο 3.4.3.1 (B).

Το κυκλωματικό διάγραμμα (παράδειγμα για τριφασικό δίκτυο παροχής) δίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Στοιχεία: L_1, L_2, L_3 : Φάσεις
 N : Ουδέτερος
 PE : Γείωση προστασίας
 C_c : Πυκνωτής σύζευξης

Σχήμα 3.21: CDN για θύρες/τερματικά τροφοδοσίας a.c./d.c.^[38].

(A) Χαρακτηριστικά CDN

Τα χαρακτηριστικά του CDN είναι τα ακόλουθα:

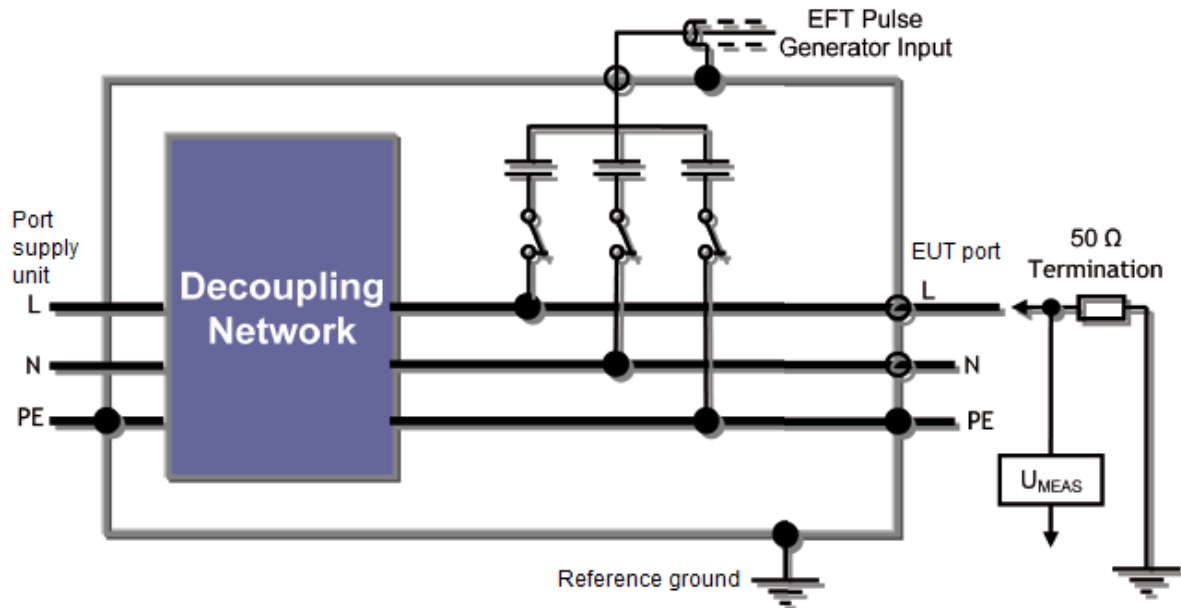
Πυκνωτές σύζευξης: 33 nF

Τρόπος σύζευξης: κοινή μέθοδος.

(B) Επαλήθευση των χαρακτηριστικών του CDN^[39]

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, οι απαιτήσεις που δίνονται στην παράγραφο 3.4.3.1 (B) πρέπει να ισχύουν επίσης και για τον εξοπλισμό μέτρησης που χρησιμοποιείται για την επαλήθευση των χαρακτηριστικών του CDN.

Η κυματομορφή της γεννήτριας EFT/B πρέπει να επαληθεύεται για κάθε γραμμή σύζευξης σε κάθε τερματικό εξόδο (L1, L2, L3, N και PE) του CDN με ένα τερματικό των 50 Ω στο επίπεδο αναφοράς γείωσης. Το Σχήμα 3.22 δείχνει μία από τις πέντε μετρήσεις επαλήθευσης (την επαλήθευση μέτρησης του L στο επίπεδο αναφοράς).



Σχήμα 3.22: Επαλήθευση της κυματομορφής εξόδου του CDN^[47].

Η επαλήθευση πραγματοποιείται θέτοντας την τάση εξόδου της γεννήτριας σε τιμή 4 kV και συνδέοντας τη με την είσοδο του CDN. Η κάθε μια από τις εξόδους του CDN (κανονικά είναι συνδεδεμένες με το δοκίμιο που εξετάζεται) τερματίζονται σε φορτίο των 50 Ω ενώ οι άλλες εξόδους παραμένουν ανοικτές. Τέλος καταγράφεται η μέγιστη τάση και η κυματομορφή.

Ο χρόνος ανόδου των παλμών πρέπει να είναι $5 \text{ ns} \pm 1.5 \text{ ns}$, ο χρόνος ημίσειας εύρους $50 \text{ ns} \pm 15 \text{ ns}$ και η μέγιστη τάση $2 \text{ kV} \pm 0.2 \text{ kV}$ σύμφωνα με τον Πίνακα 3.10.

3.4.3.3 Αρπάγη χωρητικής σύζευξης

Η αρπάγη προσφέρει τη δυνατότητα σύζευξης των γρήγορων μεταβατικών φαινομένων και απότομων εκφορτίσεων με το κύκλωμα υπό δοκιμή χωρίς καμία γαλβανική σύνδεση με τα τερματικά στις θύρες του δοκιμίου, καθώς επίσης και τη θωράκιση των καλωδίων ή οποιουδήποτε άλλου μέρους του δοκιμίου.

Η χωρητικότητα σύζευξης της αρπάγης εξαρτάται από τη διάμετρο, το υλικό και τη θωράκιση (εάν υπάρχει) των καλωδίων.

Η συσκευή αποτελείται από μια μονάδα αρπάγης (κατασκευασμένη, για παράδειγμα, από γαλβανιζέ ατσάλι, μπρούτζο, χαλκό ή αλουμίνιο) για περίβλημα των καλωδίων (επίπεδα ή στρογγυλά) των κυκλωμάτων υπό εξέταση και πρέπει να τοποθετείται σε

ένα GRP ελάχιστου εμβαδού 1 m². Το GRP πρέπει να εκτείνεται πέρα από την αρπάγη τουλάχιστον 0.1 m από όλες τις πλευρές.

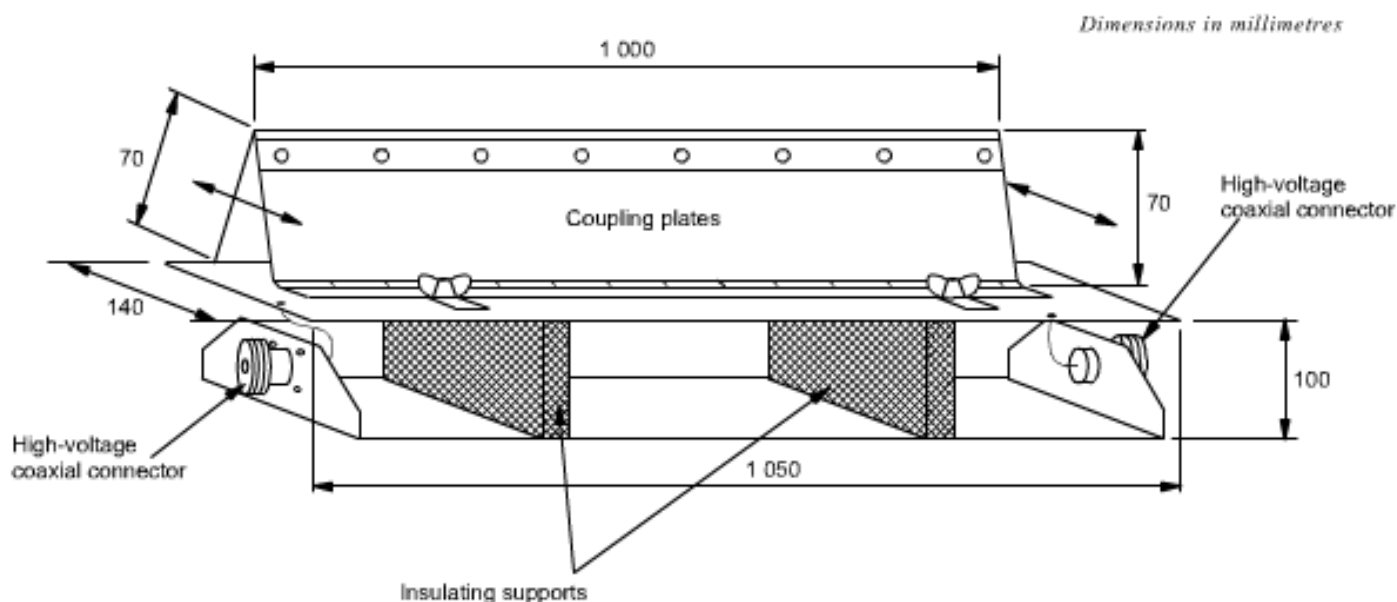
Η αρπάγη πρέπει να είναι συνδεδεμένη και στις δύο άκρες του με υψηλής τάσης ομοαξονικό για τη σύνδεση με τη γεννήτρια δοκιμής σε κάθε άκρο. Η γεννήτρια πρέπει να είναι ενωμένη σε εκείνο το άκρο της αρπάγης που είναι πλησιέστερα στο δοκίμιο που θα εξετασθεί.

Επιπλέον η αρπάγη πρέπει να είναι κλειστή όσο το δυνατό περισσότερο ώστε να παρέχει μέγιστη χωρητικότητα σύζευξης μεταξύ καλωδίου και αρπάγης.

Η μηχανική διάταξη αρπάγης σύζευξης δίνεται στο Σχήμα 3.23 και τα χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα:

- Τυπική χωρητικότητα σύζευξης μεταξύ καλωδίου και αρπάγης: 100 pF έως 1000 pF.
- Ωφέλιμη διάμετρος καλωδίων: 4 mm έως 40 mm.
- Αντοχή μονωτικής ικανότητας: 5 kV (παλμός δοκιμής: 1.2/50μs).

Η μέθοδος σύζευξης χρησιμοποιώντας την αρπάγη απαιτείται για δοκιμές σε γραμμές συνδεδεμένες με θύρες εισόδου/εξόδου και επικοινωνιών. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε θύρες τροφοδοσίας a.c./d.c. εάν το CDN της παραγράφου 3.4.3.2 δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί.



Σχήμα 3.23: Μηχανική διάταξη της αρπάγης χωρητικής σύζευξης ^[38].

3.4.4 Διάταξη δοκιμών ^[38]

Οι τύποι διαφορετικών δοκιμών εξαρτώνται από το περιβάλλον δοκιμής και είναι οι ακόλουθοι:

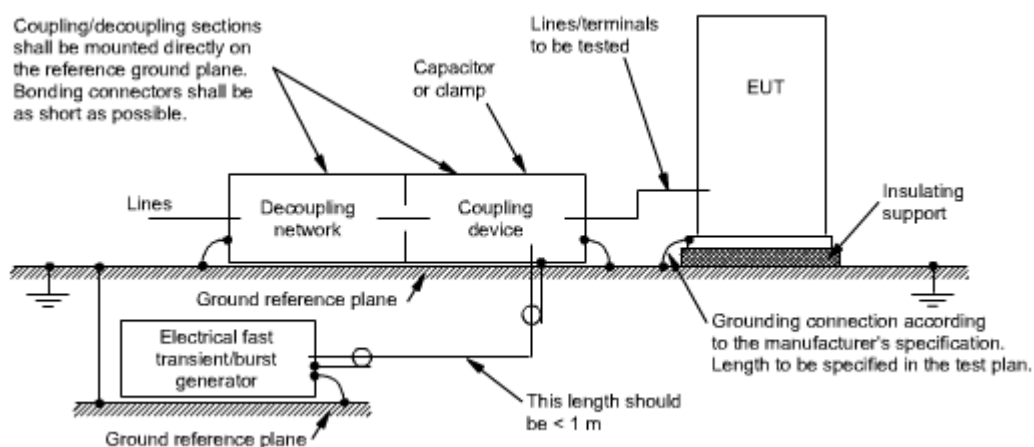
- Δοκιμές τύπου (συμμόρφωσης) σε εργαστήρια.
- Δοκιμές μετά την εγκατάσταση του εξοπλισμού.

Η προτεινόμενη μέθοδος είναι αυτή που πραγματοποιείται σε εργαστήρια.

3.4.4.1 Απαιτήσεις δοκιμής

Ο εξοπλισμός της δοκιμής περιλαμβάνει τον ακόλουθο εξοπλισμό (Σχήμα 3.24):

- GRP
- Σύσκευή σύζευξης (δίκτυο ή αρπάγη)
- Δίκτυο απόζευξης
- Γεννήτρια δοκιμών



Σχήμα 3.24: Σχηματικό διάγραμμα για τη δοκιμή ατρωσίας EFT/B ^[38].

3.4.4.2 Διάταξη δοκιμών σε εργαστήρια

Τα δοκίμια, είτε επιδαπέδια είτε επιτραπέζια, και ο εξοπλισμός σχεδιασμένος να είναι τοποθετημένος σε άλλους σχηματισμούς, πρέπει να τοποθετούνται πάνω σε ένα GRP και να είναι μονωμένα από αυτό, με μονωτικό στήριγμα $0.1\text{ m} \pm 0.01\text{ m}$ πάχους (βλ. Σχήμα 3.25).

σε EFT πρέπει να είναι όσον το δυνατό πιο μακριά από το καλώδιο της δοκιμής ώστε να αποφευχθεί η σύζευξη μεταξύ τους.

Η σύνδεση εμπέδησης των καλωδίων γείωσης του CDN στο GRP και όλες οι ενώσεις πρέπει είναι χαμηλής επαγωγικότητας.

Για την εφαρμογή δοκιμών επιπέδων τάσης πρέπει να χρησιμοποιείται είτε ένα άμεσο δίκτυο σύζευξης είτε μια χωρητική αρπάγη. Τα επίπεδα τάσης δοκιμών πρέπει να είναι συζευγμένα με όλες τις θύρες του δοκιμίου υπό εξέταση συμπεριλαμβανομένων και εκείνων μεταξύ των δύο μονάδων του εξοπλισμού, εκτός εάν το μήκος του καλωδίου διασύνδεσης το κάνει αυτό ανέφικτο.

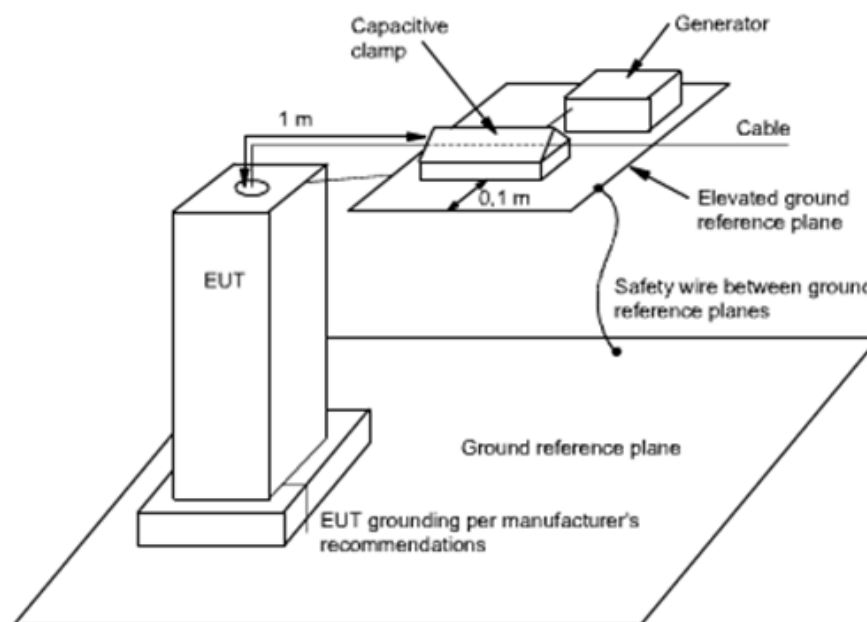
Τα δίκτυα απόζευξης πρέπει να χρησιμοποιούνται για τη προστασία του βοηθητικού εξοπλισμού και των δημόσιων δικτύων.

Όταν γίνεται χρήση της αρπάγης σύζευξης, η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των πλακών σύζευξης και άλλων αγωγίμων επιφανειών, εκτός του GRP κάτω από την αρπάγη σύζευξης, πρέπει να είναι 0.5 m.

Εκτός αν ορίζεται διαφορετικά από τις προδιαγραφές του εξοπλισμού, η απόσταση των γραμμών σήματος και τροφοδοσίας μεταξύ της συσκευής σύζευξης και του δοκιμίου πρέπει να είναι $0.5 \text{ m} \pm 0.05 \text{ m}$.

Εάν ο κατασκευαστής προμηθεύει με τον εξοπλισμό ένα μη αποσπώμενο καλώδιο μήκους πάνω από $0.5 \text{ m} \pm 0.05 \text{ m}$, τότε το επιπλέον μήκος αυτού του καλωδίου πρέπει να είναι διπλωμένο ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία ενός επίπεδου πηνίου και να τοποθετείται σε απόσταση είναι 0.1 m πάνω από το GRP.

Παραδείγματα για τη διάταξη δοκιμών σε εργαστήρια δίνονται στα Σχήματα 3.25 και 3.26. Στο Σχήμα 3.26 χρησιμοποιείται ένα επιπλέον επίπεδο γείωσης συνδεδεμένο στο σκελετό (σασί) του δοκιμίου υπό εξέταση.



Σχήμα 3.26: Παράδειγμα διάταξης δοκιμής εξοπλισμού τοποθετημένου σε ράγες ^[38].

Η μέθοδος σύζευξης της τάσης δοκιμής στο δοκίμιο υπό εξέταση εξαρτάται από τον τύπο της θύρας του δοκιμίου. Οι διακρίσεις γίνονται σύμφωνα με τις πιο κάτω θύρες:

- Θύρες τροφοδοσίας.
- Θύρες εισόδου/εξόδου και επικοινωνίας.
- Θύρες γείωσης.

3.4.4.3 Διάταξη δοκιμών μετά την εγκατάσταση του εξοπλισμού

Οι δοκιμές αυτές είναι προαιρετικές και γίνονται μόνο σε περιπτώσεις συμφωνίας μεταξύ κατασκευαστή και πελάτη. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η δοκιμή από μόνη της μπορεί να είναι καταστρεπτική για το δοκίμιο και άλλο εξοπλισμό που βρίσκεται κοντά σε αυτό.

Το δοκίμιο πρέπει να εξετάζεται στην τελική κατάσταση εγκατάστασης του. Η εξέταση αυτή πρέπει να πραγματοποιείται χωρίς CDN ώστε να προσομοιωθεί όσον το δυνατόν καλύτερα το πραγματικό ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον.

Επιπρόσθετα εάν εξοπλισμός ή σύστημα εκτός του δοκιμίου υπό εξέταση επηρεαστεί υπερβολικά τότε δίκτυα απόζευξης πρέπει να χρησιμοποιούνται μετά από συμφωνία μεταξύ κατασκευαστή και πελάτη.

Όπως και στην περίπτωση δοκιμών τύπου σε εργαστήρια οι διακρίσεις στις δοκιμές γίνεται ανάλογα με το είδος της θύρας του δοκιμίου και συγκεκριμένα σε θύρες τροφοδοσίας και γείωσης (είτε σε σταθερό επιδαπέδιο εξοπλισμό είτε σε μη στερεωμένο εξοπλισμό συνδεδεμένο στην πρίζα) και σε θύρες εισόδου/εξόδου και επικοινωνίας.

3.5 Επισκόπηση του Προτύπου IEC 61000-4-5 Ed. 2.0 (2005-11)

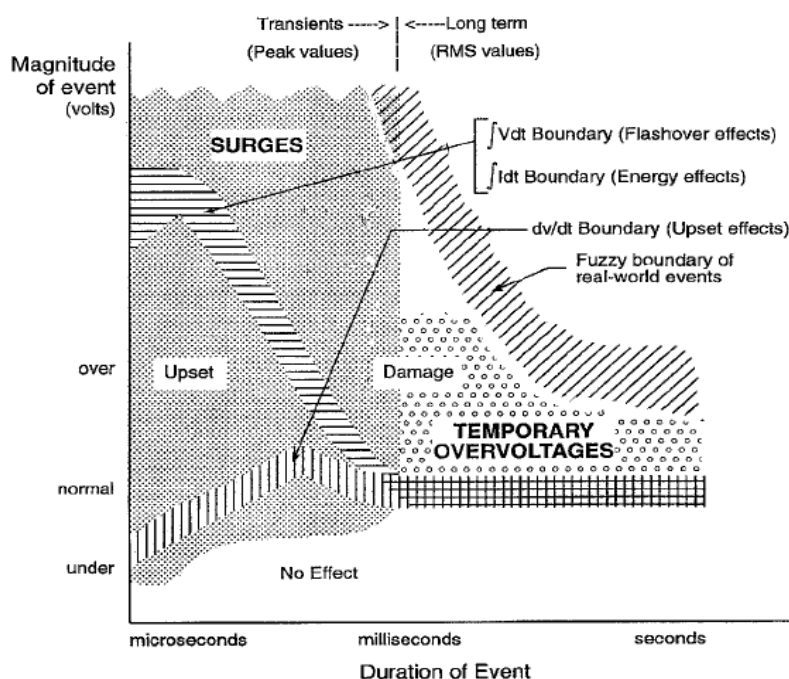
Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, για δοκιμές που αφορούν τις υπερτάσεις μεταξύ φάσης και γης αλλά και μεταξύ φάσεων, υπάρχει το Πρότυπο IEC 61000-4-5 το οποίο περιγράφει τις τεχνικές δοκιμών και μετρήσεων για την δοκιμή της ατρωσίας από υπερτάσεις – υπερεντάσεις [40, 50].

Είναι μια πολύ σημαντική δοκιμή αφού στην καθημερινή ζωή, υπερτάσεις μπορούν να συμβούν ανά πάσα στιγμή. Το δημόσιο δίκτυο παροχής ισχύος έχει αντικεραυνική προστασία στους υποσταθμούς. Σε περίπτωση όμως που ο καταναλωτής βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από το τελευταίο εγκατεστημένο αντικεραυνικό, θα πρέπει ο ίδιος να λάβει μέτρα για την αντικεραυνική προστασία αφού τυχόν κεραυνικό πλήγμα μπορεί να βρίσκεται πλησίον του καταναλωτή. Επιπλέον, υπερτάσεις και υπερεντάσεις μπορούν να δημιουργηθούν από την έναυση ή την σβέση ενός μεγάλου κινητήρα ή από την απότομη έναυση ή σβέση μεγάλων φορτίων. Συνεπώς, μια συσκευή που προορίζεται για σύνδεση στο δημόσιο δίκτυο παροχής ισχύος, πρέπει να έχει πιστοποιηθεί ότι για συνήθεις υπερτάσεις που μπορεί να συμβούν δεν θα καταστραφεί.

Το Πρότυπο περιγράφει δοκιμές για υπέρταση μεταξύ φάσης και γης αλλά και μεταξύ δύο φάσεων για μονοφασικές αλλά και τριφασικές διατάξεις. Το Πρότυπο καθορίζει τις συνθήκες της δοκιμής καθώς και την μέθοδο των μετρήσεων.

3.5.1 Γενικά

Γενικά, το Πρότυπο αποδέχεται ότι υπερτάσεις μπορούν να συμβούν είτε λόγω κάποιου κεραυνικού πλήγματος είτε λόγω μεταβατικών φαινομένων από διακόπτες φορτίων. Η διάρκεια, η τιμή της τάσης, ο ρυθμός μεταβολής, οι επιπτώσεις στον εξοπλισμό από τις υπερτάσεις καθώς και οι σχέσεις μεταξύ αυτών παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.27.



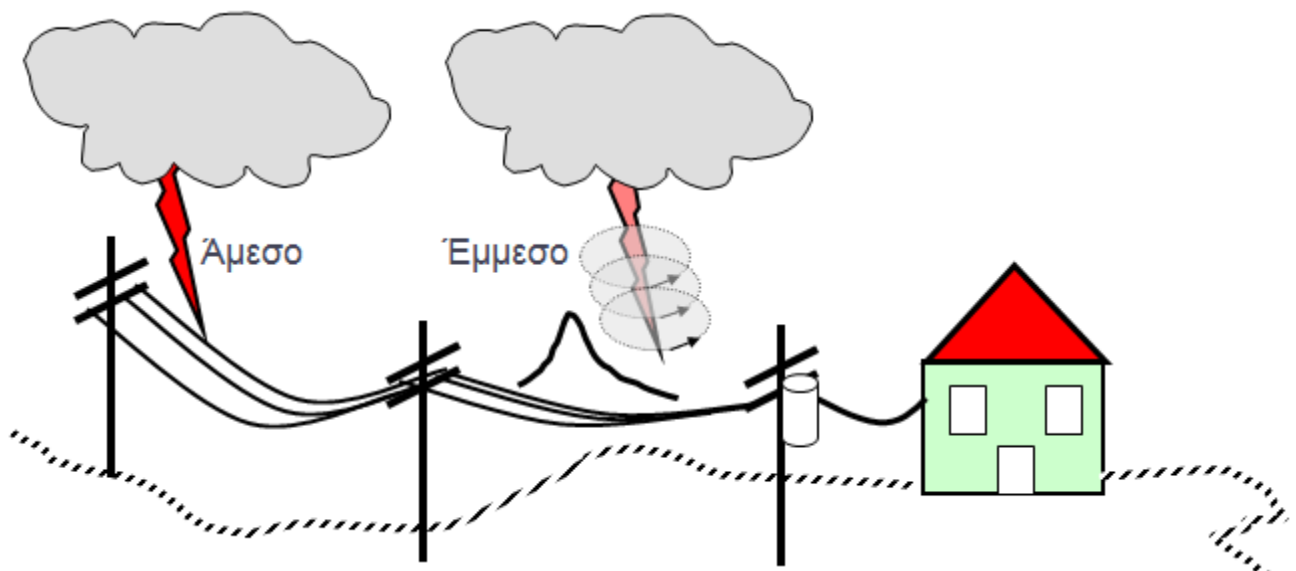
Σχήμα 3.27: Απλοποιημένη σχέση μεταξύ τάσης, διάρκειας, ρυθμού μεταβολής και επιπτώσεων στον εξοπλισμό από υπερτάσεις ^[51].

Κεραυνοί ^[52]

Οι κεραυνοί δημιουργούν σημαντική ηλεκτρική εκφόρτιση στην τοποθεσία όπου κτυπούν. Το άμεσο κεραυνικό πλήγμα σε ένα κτήριο μπορεί να θέσει σε κίνδυνο το ηλεκτρικό του σύστημα, ωστόσο υπάρχουν και άλλοι τρόποι για την δημιουργία υπερτάσεων μέσω κεραυνού. Για παράδειγμα, όταν ένας κεραυνός πετύχει μια γραμμή μεταφοράς (Σχήμα 3.28), οι επιπτώσεις μπορούν να προκαλέσουν μια ισοδύναμη επικίνδυνη αιχμή τάσης χιλιόμετρα μακριά.

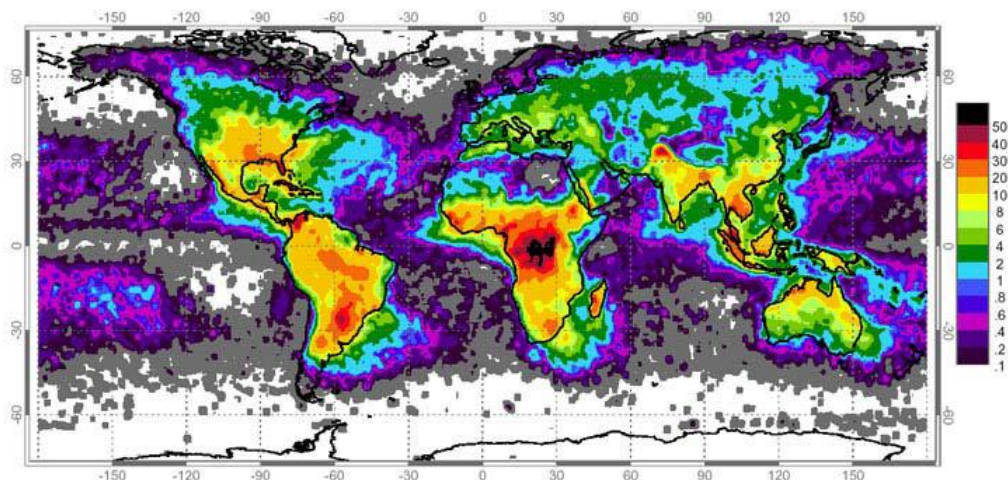


Σχήμα 3.28: Τα κεραυνικά πλήγματα μπορούν να προκαλέσουν ρεύματα που φθάνουν τα 20 – 150 kA ^[52].



Σχήμα 3.29: Κεραυνοί και εσωτερικές υπερτάσεις δημιουργούν μεταβατικά φαινόμενα υψηλής ενέργειας στα καλώδια τροφοδοσίας και δεδομένων ^[12].

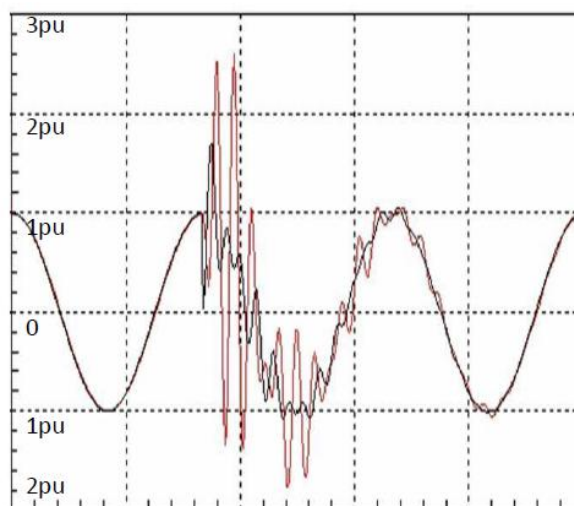
Οι κεραυνοί είναι ένας μόνιμος κίνδυνος απειλής για τα ευαίσθητα ηλεκτρονικά συστήματα. Αυτή τη στιγμή υπάρχουν σε εξέλιξη 2000 κεραυνικές καταιγίδες και γενικώς υπάρχουν περίπου 50000 κεραυνικές καταιγίδες καθημερινά ανά το παγκόσμιο. Φυσικά, οι κεραυνοί είναι πιο συνηθισμένοι σε κάποιες περιοχές παρά σε άλλες. Παρόλα ταύτα, ακόμα και σε περιοχές με μικρότερη συχνότητα εμφάνισης κεραυνών, τα πλήγματα αυτά κατέχουν ένα σημαντικό ποσοστό κινδύνου και οι συνέπειες τους πρέπει να μετριάζονται.



Σχήμα 3.30: Παγκόσμια κατανομή των κεραυνικών πληγμάτων (NASA) ^[52].

Υπερτάσεις χειρισμού ^[52]

Ως γνωστό, στον ηλεκτρικό εξοπλισμό υπάρχουν πολλές δυσλειτουργίες που μπορούν να οδηγήσουν σε υπερτάσεις. Μερικές από αυτές είναι βραχυκυκλώματα, προβλήματα σε διακόπτες κυκλωμάτων και ενεργειακές μεταβάσεις. Αυτές οι ηλεκτρικές ανωμαλίες αν και είναι δυνατό να δημιουργηθούν από ανθρώπινα λάθη, μπορούν να προκαλέσουν βλάβες όπως ακριβώς και σε περίπτωση κεραυνικού πλήγματος.



Σχήμα 3.31: Τυπική μορφή αποτελέσματος υπέρτασης χειρισμού σε ένα ηλεκτρικό σύστημα (Η κυματομορφή είναι πολύ σύνθετη. Το πλάτος της υπέρτασης χειρισμού είναι περίπου 2.5 ανά μονάδα, το οποίο είναι πολύ κοινό για υπερτάσεις χειρισμού. Επίσης η διάρκεια του φαινομένου είναι περίπου ένας κύκλος της συχνότητας τροφοδοσίας, που είναι επίσης σχετικά κοινό σε φαινόμενα υπερτάσεων χειρισμού) ^[53].

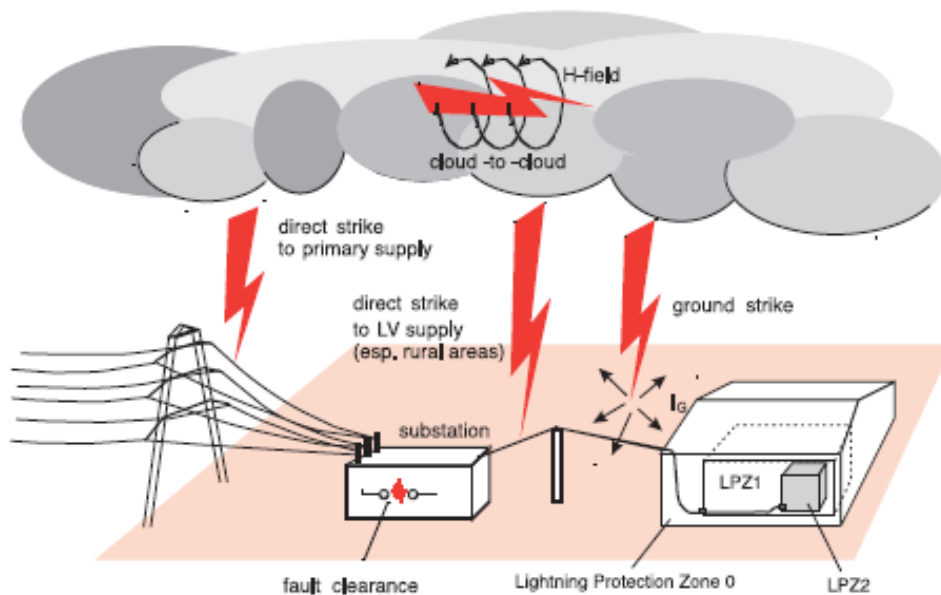
A) Συγκεκριμένα, λόγω μεταβατικών φαινομένων, το Πρότυπο αναφέρει [50]:

- την διαταραχή λόγω αποσύνδεσης σημαντικών στοιχείων ενός δικτύου όπως είναι συστοιχίες πυκνωτών.
- την διαταραχή λόγω αποσύνδεσης φορτίων κοντά στην περιοχή του δοκιμίου ή λόγω σημαντικών αλλαγών στα φορτία του δικτύου διανομής ισχύος.

- την διαταραχή λόγω κυκλωμάτων συντονισμού με διακοπτικές συσκευές όπως θυρίστορ.
- τις διαταραχές λόγω σφαλμάτων στο δίκτυο, όπως βραχυκυκλώματα και σφάλματα στις γειώσεις.

Β) Οι κυριότεροι μηχανισμοί με τους οποίους προκαλούνται υπερτάσεις από κεραυνό (Σχήμα 3.32) είναι σύμφωνα με το Πρότυπο οι εξής:

- κατευθείαν πτώση κεραυνού σε ένα εξωτερικό δίκτυο στο οποίο θα εισάγει υψηλά ρεύματα τα οποία θα δημιουργήσουν υπερτάσεις τα οποία θα ρέουν είτε μέσω της αντίστασης της γης είτε μέσω της εμπέδησης του εξωτερικού δικτύου.
- η επαγωγική δημιουργία υπέρτασης στους αγωγούς εντός ή εκτός ενός κτιρίου από ηλεκτρομαγνητικό πεδίο το οποίο έχει προκληθεί από κεραυνό μεταξύ νεφών ή γενικότερα από έμμεσο κεραυνικό πλήγμα.
- ρεύμα εντός της γης που ρέει έπειτα από κεραυνικό πλήγμα και επηρεάζει την γείωση κάποιας εγκατάστασης.



Σχήμα 3.32: Δημιουργία υπερτάσεων μέσω κεραυνού ^[45].

Γ) Η προσομοίωση που προτείνει το Πρότυπο πρέπει να προσομοιώνει τα παραπάνω φαινόμενα πολύ καλά.

Εάν η πηγή της διαταραχής είναι μέσα στο ίδιο το κύκλωμα, για παράδειγμα μέσα στο δίκτυο τροφοδοσίας (άμεση σύζευξη), η γεννήτρια μπορεί να προσομοιώνει μια πηγή μικρότερης αντίστασης στους ακροδέκτες του δοκιμίου.

Εάν η πηγή της διαταραχής δεν είναι μέσα στο ίδιο το κύκλωμα (έμμεση σύζευξη), η γεννήτρια μπορεί να προσομοιώνει μια πηγή μεγαλύτερης αντίστασης.

3.5.2 Επίπεδα δοκιμών ^[40]

Επίπεδο	Τάση ανοικτού κυκλώματος $\pm 10\%$ kV
1	0.5
2	1.0
3	2.0
4	4.0
X	Ειδικό (ανάλογα με το δοκίμιο)

Σημείωση: Το επίπεδο X μπορεί να είναι οποιοδήποτε επίπεδο, μεγαλύτερο, μικρότερο ή ανάμεσα στα άνωθεν επίπεδα. Αυτό είναι δυνατό να προσδιοριστεί από τις προδιαγραφές του εξοπλισμού.

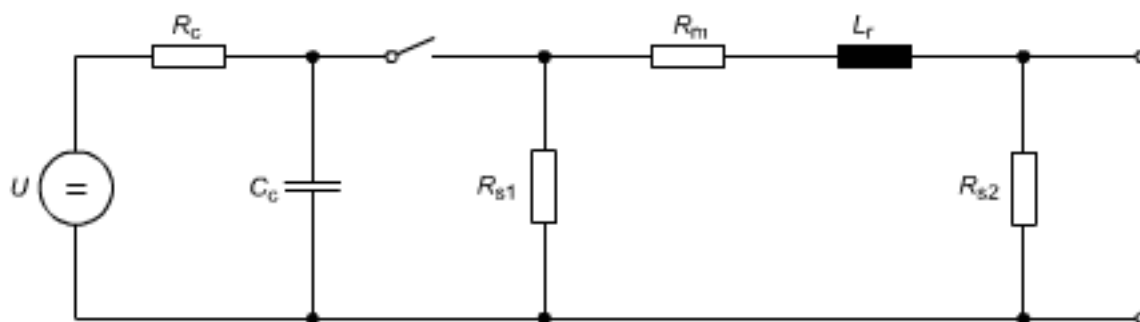
Πίνακας 3.11: Επίπεδα δοκιμών ^[40].

3.5.3 Όργανα δοκιμών ^[40]

Σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-2 διακρίνονται δύο είδη συνδυασμών γεννήτριας συχνοτήτων. Κάθε ένα από αυτά έχει τις δικές του εφαρμογές ανάλογα με το είδος της θύρας που θα εξετασθεί. Η γεννήτρια συχνοτήτων 10/700μs χρησιμοποιείται για δοκιμές σε θύρες όπου προορίζονται για σύνδεση με συμμετρικές επικοινωνιακές γραμμές, ενώ η γεννήτρια συχνοτήτων 1.2/50μs χρησιμοποιείται σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, και συγκεκριμένα, για δοκιμές θυρών γραμμών μεταφοράς ενέργειας και συνδέσεων σημάτων μικρών αποστάσεων.

3.5.3.1 Γεννήτρια συχνοτήτων 1.2/50μs

Ένα απλοποιημένο κυκλωματικό διάγραμμα της γεννήτριας δίνεται στο Σχήμα 3.33. Οι τιμές των στοιχείων R_{S1} , R_{S2} , R_m , L_r , και C_c επιλέγονται έτσι ώστε η γεννήτρια να δίνει υπερτάσεις 1.2/50μs (σε ανοικτό κύκλωμα) και υπερεντάσεις 8/20μs (σε βραχυκύκλωμα).



Σχήμα 3.33: Απλοποιημένο κυκλωματικό διάγραμμα της γεννήτριας (1.2/50μs – 8/20μs) ^[40].

- U: πηγή υψηλής τάσης
- R_C : αντίσταση φόρτισης
- C_C : πυκνωτής αποθήκευσης ενέργειας
- R_S : αντίσταση διαμόρφωσης διάρκειας παλμού
- R_m : αντίσταση προσαρμογής εμπέδησης
- L_r : πηνίο διαμόρφωσης χρόνου ανόδου

Χαρακτηριστικά και επίδοση της γεννήτριας

Πολικότητα	Θετική και αρνητική
Μετατόπιση φάσεως	Μεταξύ 0° και 360° σχετικά με τη φάση της γραμμής εισόδου (a.c. τάση) με το δοκίμιο, με ανοχή $\pm 10^\circ$
Επανάληψη δοκιμής	Μία ανά λεπτό ή γρηγορότερα
Μέγιστη τάση εξόδου ανοικτού κυκλώματος	Προσαρμοζόμενη από 0.5kV στο απαιτούμενο επίπεδο δοκιμής
Κυματομορφή υπέρτασης	Βλέπε Πίνακα 3.13 και Σχήμα 3.34
Ακρίβεια τάσης εξόδου	Βλέπε Πίνακα 3.14
Μέγιστο ρεύμα εξόδου βραχυκύκλωσης	Εξαρτάται από τη ρύθμιση του μέγιστου της τάσης (βλ. Βλέπε Πίνακα 3.13 και Πίνακα 3.14)
Κυματομορφή υπερέντασης	Βλέπε Πίνακα 3.13 και Σχήμα 3.35
Ακρίβεια ρεύματος εξόδου	Βλέπε Πίνακα 3.14
Ενεργός τιμή εμπέδησης εξόδου	$2 \pm 10\%$

Πίνακας 3.12: Χαρακτηριστικά και επίδοση γεννήτριας (1.2/50μs – 8/20μs)^[40].

Προσδιορισμός	Σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 60060-1		Σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 60469-1	
	Χρόνος μετώπου μs	Χρόνος ημίσεως εύρους μs	Χρόνος ανόδου (10% - 90%) μs	Χρόνος διάρκειας (50% - 50%) μs
Τάση ανοικτού κυκλώματος	$1.2 \pm 30\%$	$50 \pm 20\%$	$1 \pm 30\%$	$50 \pm 20\%$
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	$8 \pm 20\%$	$20 \pm 20\%$	$6.4 \pm 20\%$	$16 \pm 20\%$

Πίνακας 3.13: Προσδιορισμός παραμέτρων της κυματομορφής (1.2/50μs – 8/20μs)^[40].

Μέγιστο τάσης ανοικτού κυκλώματος $\pm 10\%$	Μέγιστο ρεύματος βραχυκύκλωσης $\pm 10\%$
0.5 kV	0.25 kA
1 kV	0.5 kA
2 kV	1.0 kA
4 kV	2.0 kA

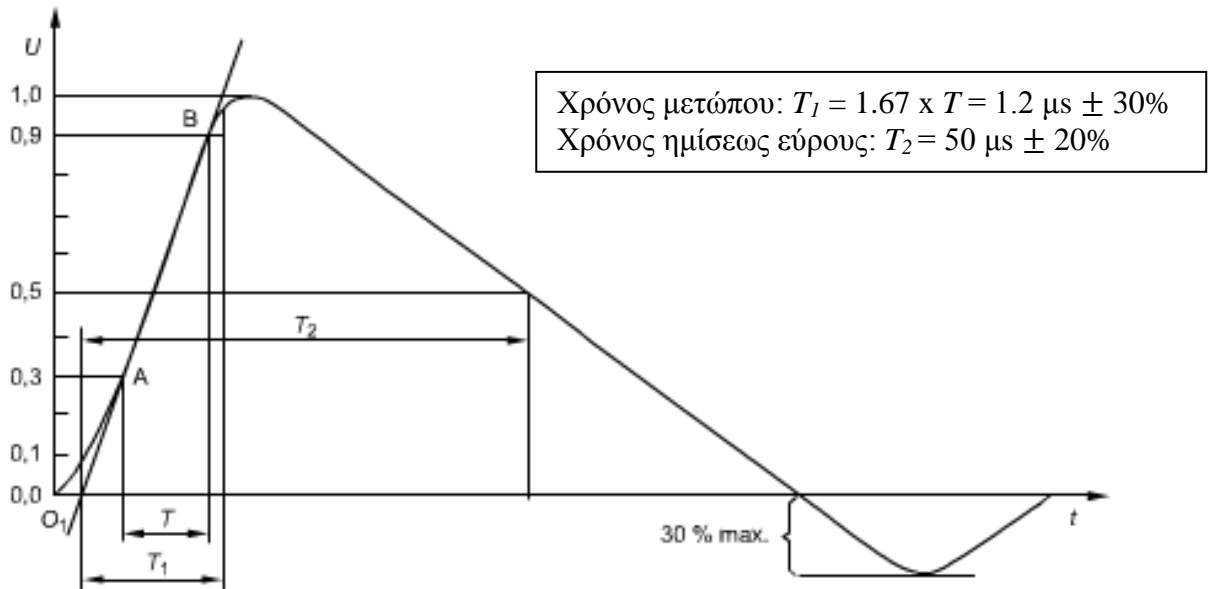
Πίνακας 3.14: Σχέση μεταξύ του μέγιστου τάσης ανοικτού κυκλώματος και του μεγίστου ρεύματος βραχυκύκλωσης^[40].

Η πιο κάτω εξίσωση δίνει μια καλή προσέγγιση της κυματομορφής της τάσης 1.2/50 μs:

$$V_{SURGE}(t) = A \cdot V_P \cdot \left[1 - e^{\left(\frac{-t}{\tau_1}\right)} \right] \cdot e^{\left(\frac{-t}{\tau_2}\right)} \quad (3.6)$$

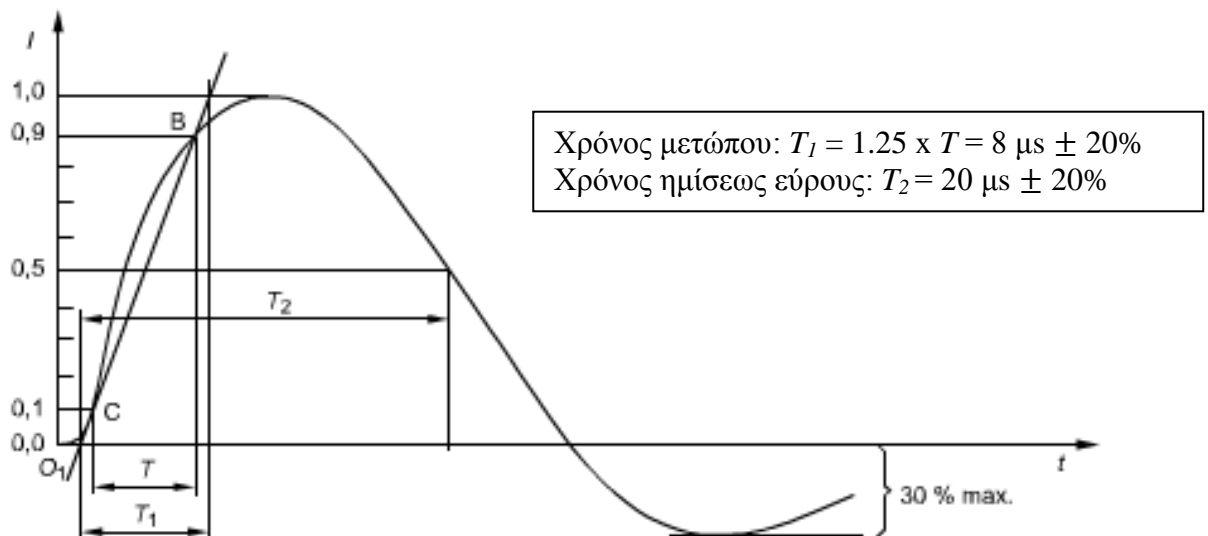
όπου

$$A = 1.037, \tau_1 = 0.407 \mu s, \tau_2 = 68.22 \mu s.$$



Σχήμα 3.34: Κυματομορφή τάσης ανοικτού κυκλώματος (1.2/50μs) στην έξοδο της γεννήτριας χωρίς την σύνδεση CDN*^[40].

*CDN: Δίκτυο σύζευξης/απόζευξης (Coupling/Decoupling Network).

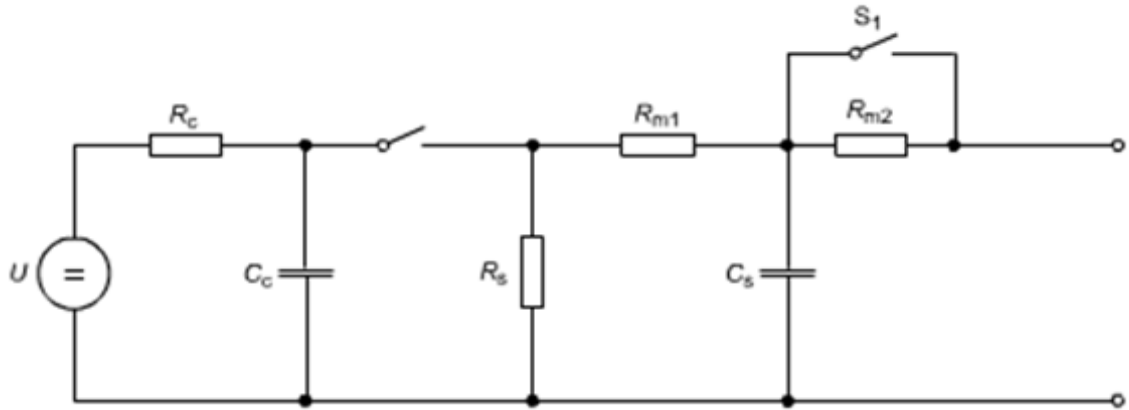


Σχήμα 3.35: Κυματομορφή ρεύματος βραχυκύκλωσης (8/20μs) στην έξοδο της γεννήτριας χωρίς την σύνδεση CDN*^[40].

*CDN: Δίκτυο σύζευξης/απόζευξης (Coupling/Decoupling Network).

3.5.3.2 Γεννήτρια συχνοτήτων 10/700μs

Ένα απλοποιημένο κυκλωματικό διάγραμμα της γεννήτριας δίνεται στο Σχήμα 3.36. Οι τιμές των στοιχείων επιλέγονται έτσι ώστε η γεννήτρια να δίνει υπερτάσεις 10/700μs (σε ανοικτό κύκλωμα) και υπερεντάσεις 5/320μs (σε βραχυκύκλωμα).



Σχήμα 3.36: Απλοποιημένο κυκλωματικό διάγραμμα της γεννήτριας ($10/700\mu\text{s} - 5/320\mu\text{s}$)^[40].

U: πηγή υψηλής τάσης

R_C : αντίσταση φόρτισης

C_C : πυκνωτής αποθήκευσης ενέργειας

R_S : αντίσταση διαμόρφωσης διάρκειας παλμού

R_m : αντίσταση προσαρμογής εμπέδησης

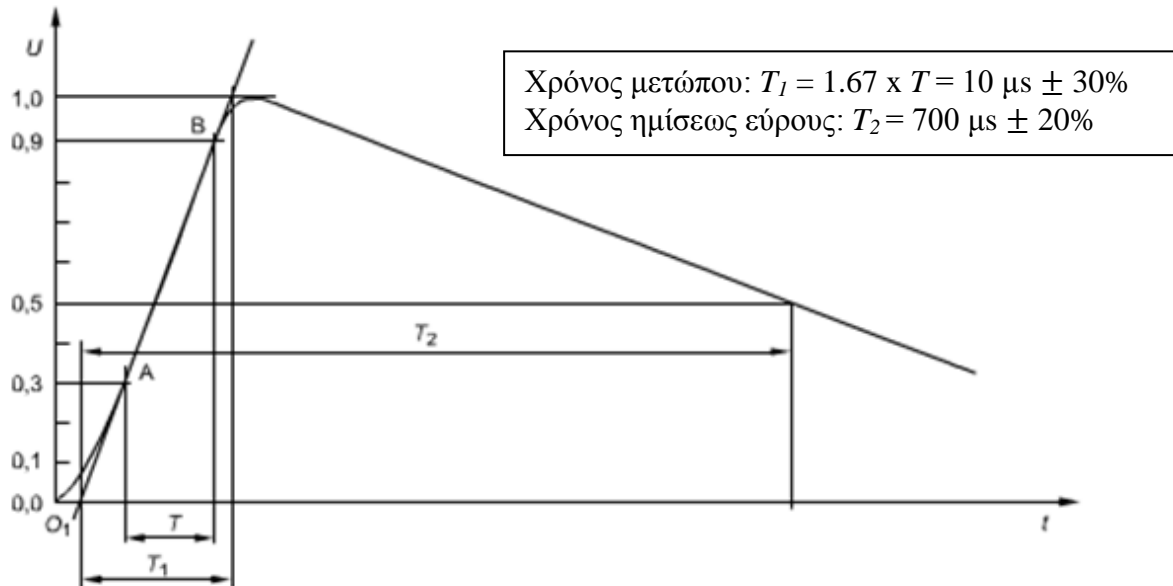
C_S : πυκνωτής διαμόρφωσης χρόνου ανόδου

S_1 : διακόπτης (κλειστός όταν γίνεται χρήση εξωτερικών αντιστάσεων προσαρμογής)

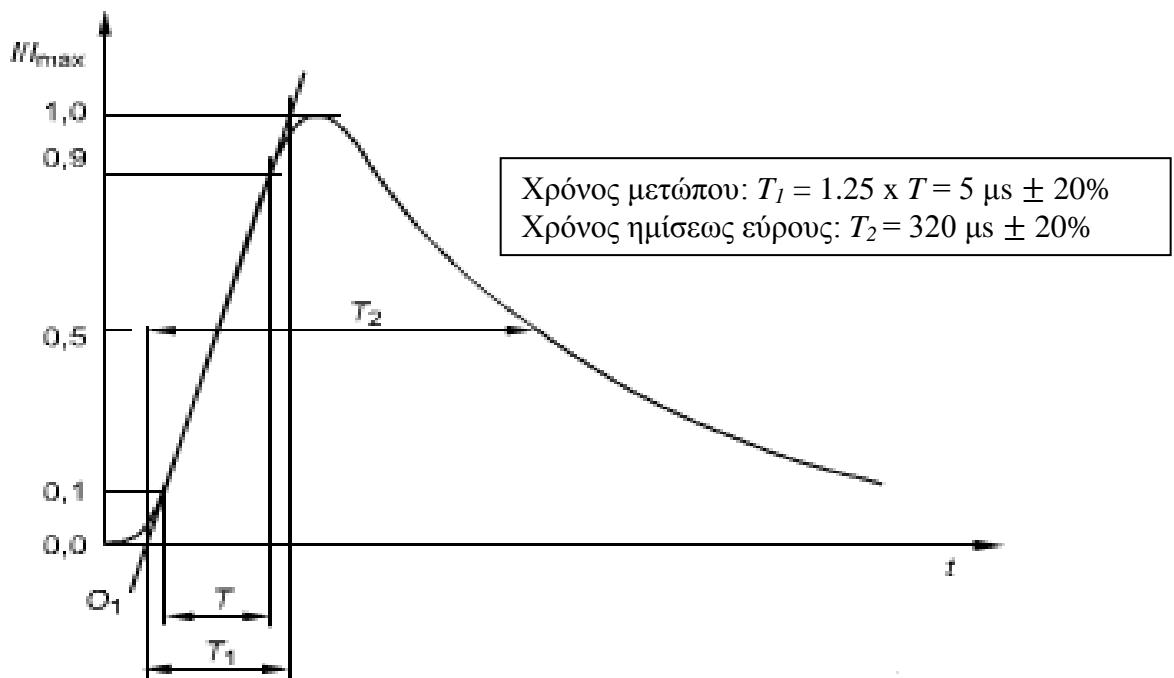
Χαρακτηριστικά και επίδοση της γεννήτριας

Πολικότητα	Θετική και αρνητική
Επανάληψη δοκιμής	Μία ανά λεπτό ή γρηγορότερα
Μέγιστη τάση εξόδου ανοικτού κυκλώματος	Προσαρμοζόμενη από 0.5kV στο απαιτούμενο επίπεδο δοκιμής
Κυματομορφή υπέρτασης	Βλέπε Πίνακα 3.16 και Σχήμα 3.37
Ακρίβεια τάσης εξόδου	Βλέπε Πίνακα 3.17
Μέγιστο ρεύμα εξόδου βραχυκύκλωσης	Εξαρτάται από τη ρύθμιση του μέγιστου της τάσης (βλ. Βλέπε Πίνακα 3.16 και Πίνακα 3.17)
Ακρίβεια ρεύματος εξόδου	Βλέπε Πίνακα 3.17
Ενεργός τιμή εμπέδησης εξόδου	$40 \pm 10\%$

Πίνακας 3.15: Χαρακτηριστικά και επίδοση γεννήτριας ($10/700\mu\text{s} - 5/320\mu\text{s}$)^[40].



Σχήμα 3.37: Κυματομορφή τάσης ανοικτού κυκλώματος (10/700μs)^[40].



Σχήμα 3.38: Κυματομορφή ρεύματος βραχυκύκλωσης (5/320μs)^[40].

Προσδιορισμός	Σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 60060-1 και τη σειρά ITU-T K		Σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 60469-1	
	Χρόνος μετώπου μs	Χρόνος ημίσειας εύρους μs	Χρόνος ανόδου (10% -90%) μs	Χρόνος διάρκειας (50% - 50%) Ms
Τάση ανοικτού κυκλώματος	$10 \pm 30 \%$	$700 \pm 20 \%$	$6.5 \pm 30 \%$	$700 \pm 20 \%$
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	$5 \pm 20 \%$	$320 \pm 20 \%$	$4 \pm 20 \%$	$300 \pm 20 \%$

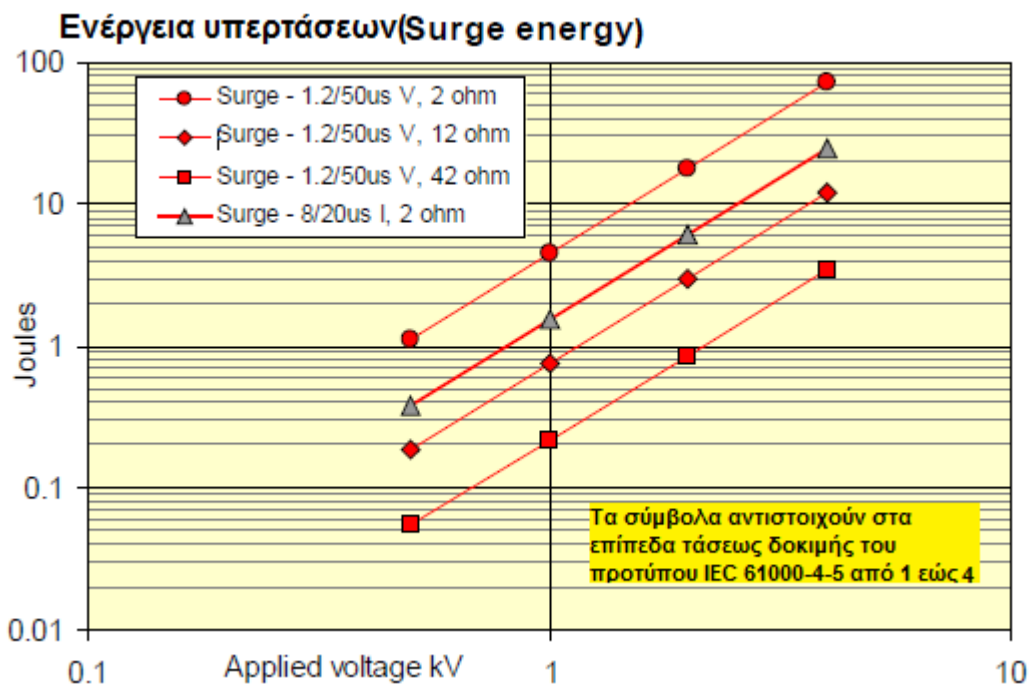
Πίνακας 3.16: Προσδιορισμός παραμέτρων της κυματομορφής (10/700 μs – 5/320 μs)^[40].

Μέγιστο τάσης ανοικτού κυκλώματος $\pm 10 \%$	Μέγιστο ρεύματος βραχυκύκλωσης $\pm 10 \%$
0.5 kV	12.5 kA
1 kV	25 kA
2 kV	50 kA
4 kV	100 kA

Πίνακας 3.17: Σχέση μεταξύ του μέγιστου τάσης ανοικτού κυκλώματος και του μεγίστου ρεύματος βραχυκύκλωσης^[40].

3.5.4 Ενέργεια υπερτάσεων^[54]

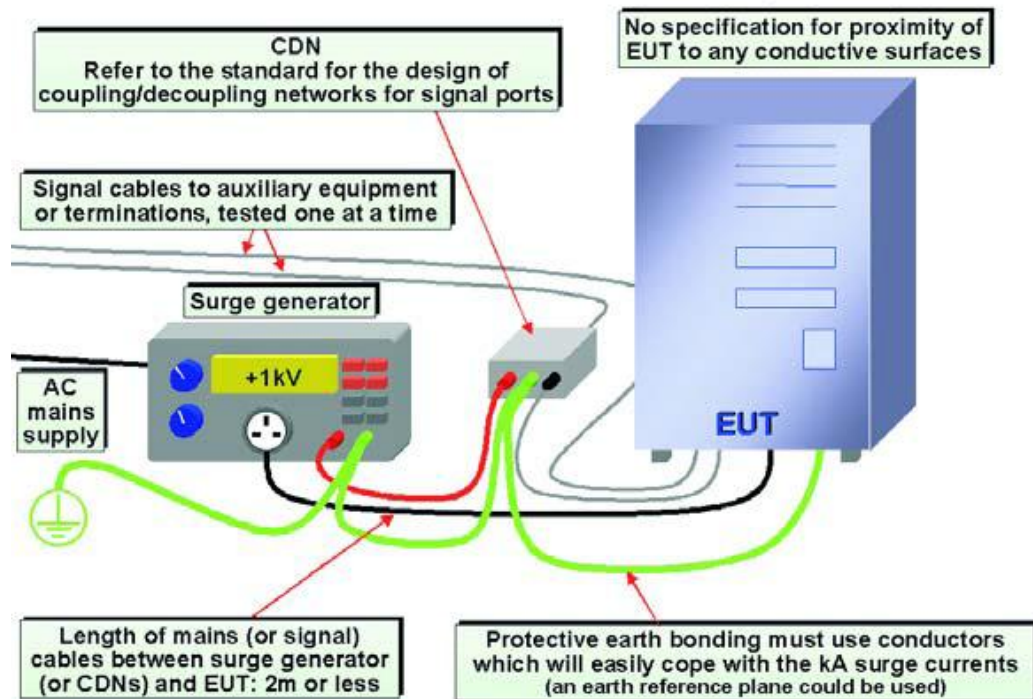
Η διαθέσιμη ενέργεια η οποία μπορεί να μεταφερθεί από τη γεννήτρια που περιγράφεται στο παρόν Πρότυπο σε ένα ωμικό φορτίο παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.39. Η ενέργεια αυτή δεν είναι φυσικά η ίδια που θα μπορούσε να μεταφερθεί σε μια μη γραμμική συσκευή αρπαγής.



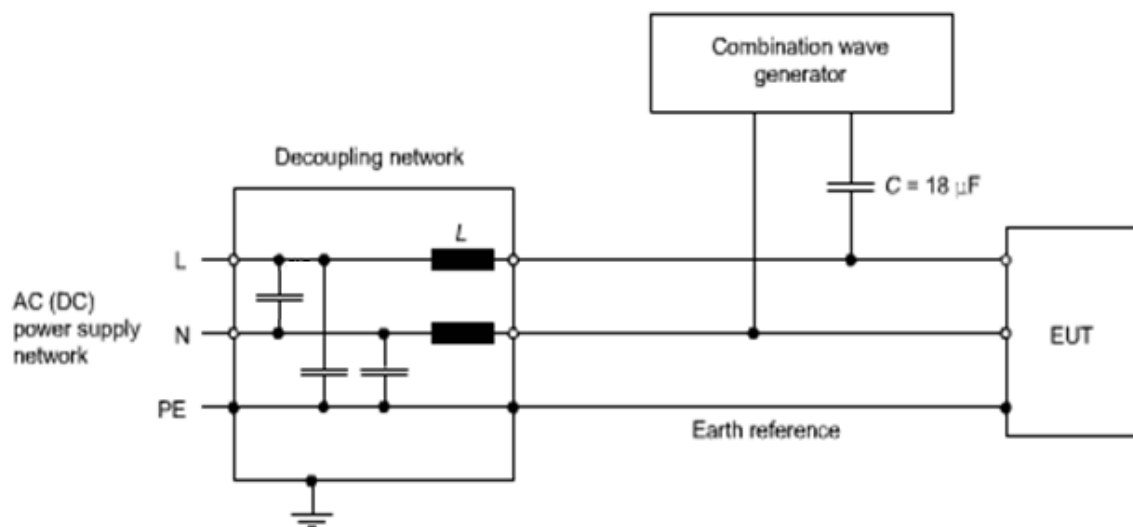
Σχήμα 3.39: Ενέργεια υπερτάσεων στα επίπεδα τάσεως δοκιμής που περιγράφονται στον Πίνακα 3.11 σε ωμικά φορτία 2, 12, 42 Ω για γεννήτρια συχνότητων 1.2/50 μs και σε φορτίο 2 Ω για γεννήτρια συχνότητων 8/20 μs ^[54].

3.5.5 Διατάξεις ελέγχου δοκιμών ^[40]

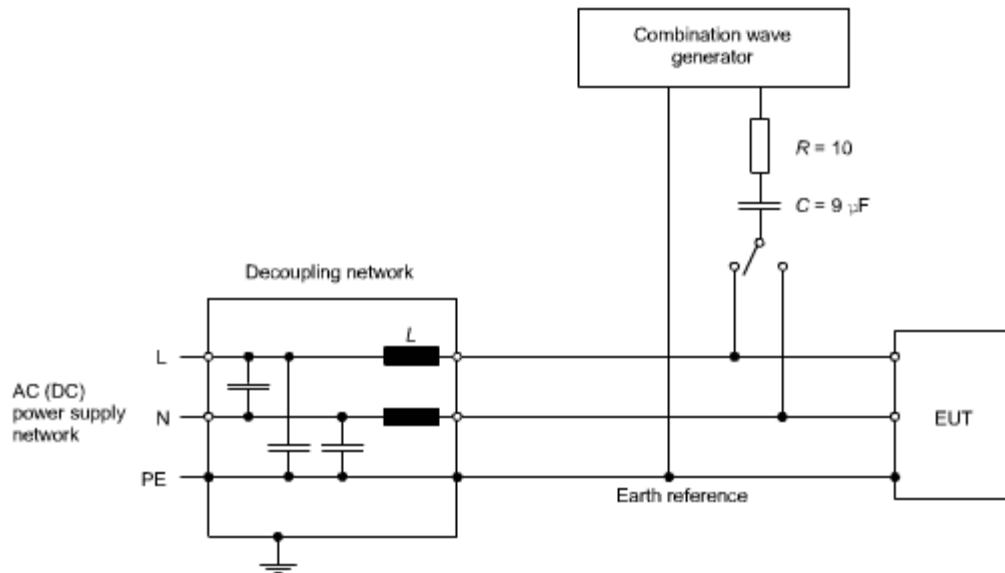
Κάθε δίκτυο σύζευξης/απόζευξης (CDN) περιέχει ένα δίκτυο απόζευξης και ένα στοιχείο σύζευξης όπως παρουσιάζονται στα Σχήματα 3.41 –3.52. Στο Σχήμα 3.53 παρουσιάζεται ένα σχηματικό διάγραμμα το οποίο βοηθά στην επιλογή της κατάλληλης διάταξης.



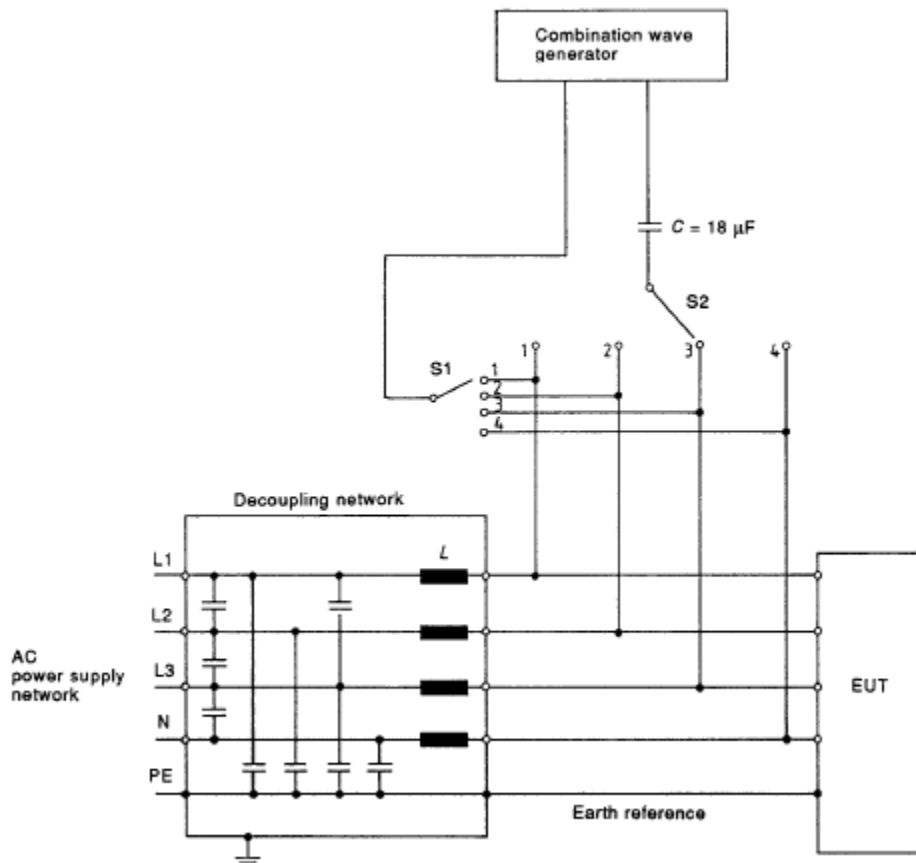
Σχήμα 3.40: Γενική διάταξη δοκιμής υπερτάσεων ^[55].



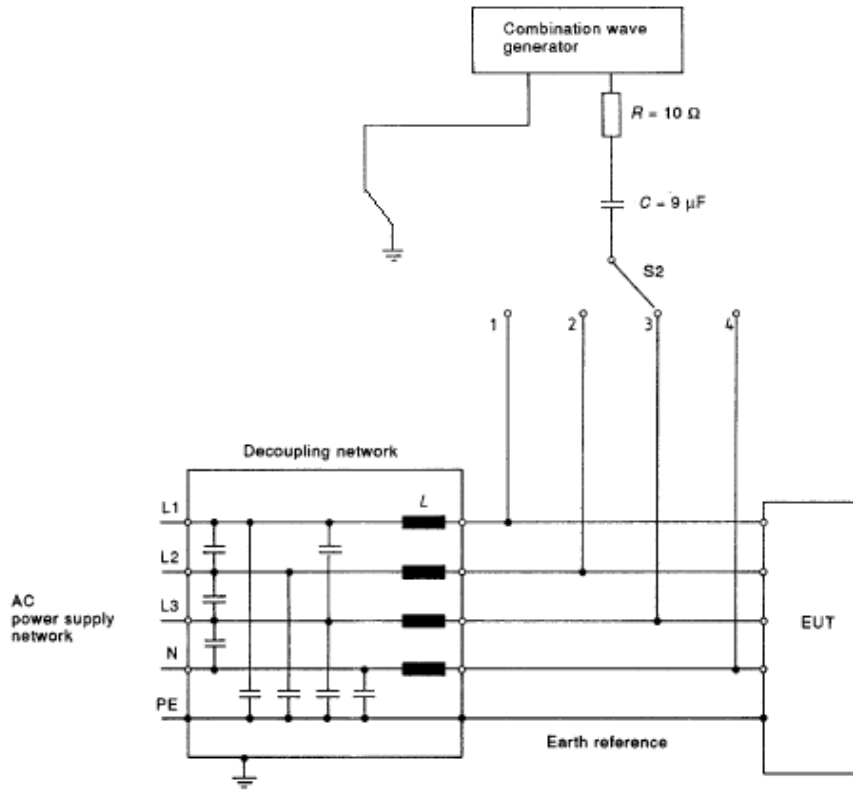
Σχήμα 3.41: Παράδειγμα διάταξης δοκιμής μονοφασικού δοκιμίου για χωρητική σύζευξη σε a.c./d.c. γραμμές. Σύζευξη μεταξύ δύο φάσεων ^[40].



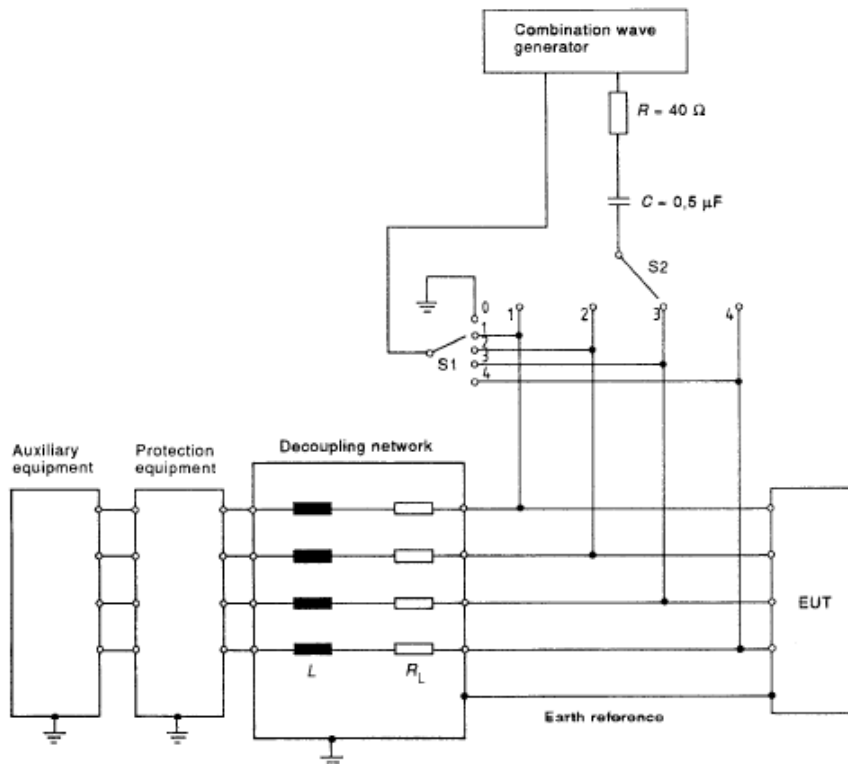
Σχήμα 3.42: Παράδειγμα διάταξης δοκιμής μονοφασικού δοκιμίου για χωρητική σύζευξη σε a.c./d.c. γραμμές. Σύζευξη μεταξύ φάσης και γης^[40].



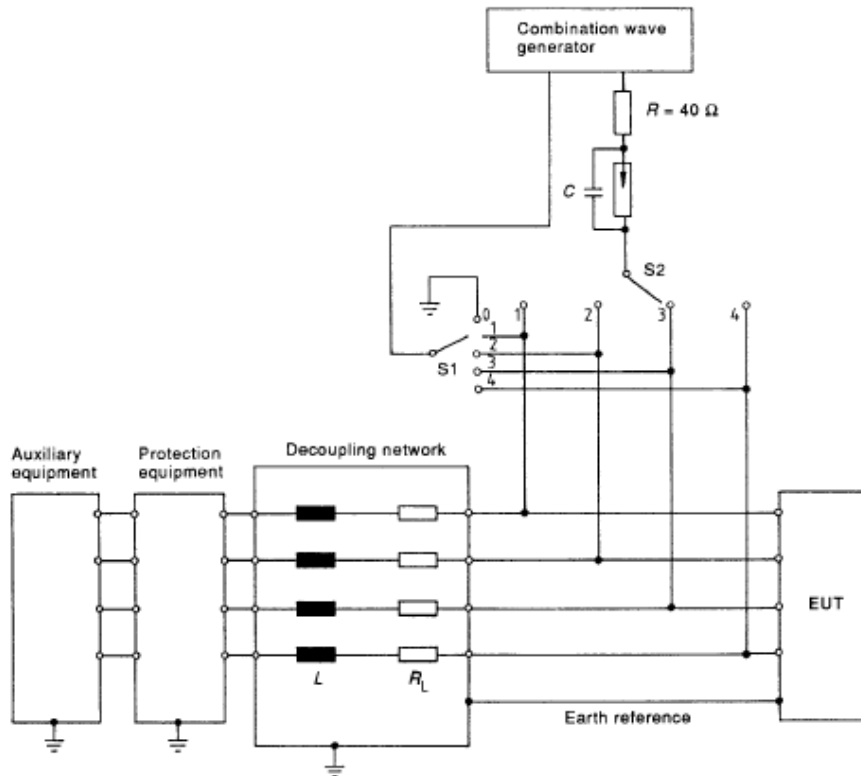
Σχήμα 3.43: Παράδειγμα διάταξης δοκιμής τριφασικού δοκιμίου για χωρητική σύζευξη σε a.c. γραμμές. Σύζευξη μεταξύ δύο φάσεων (L1 και L3)^[40].



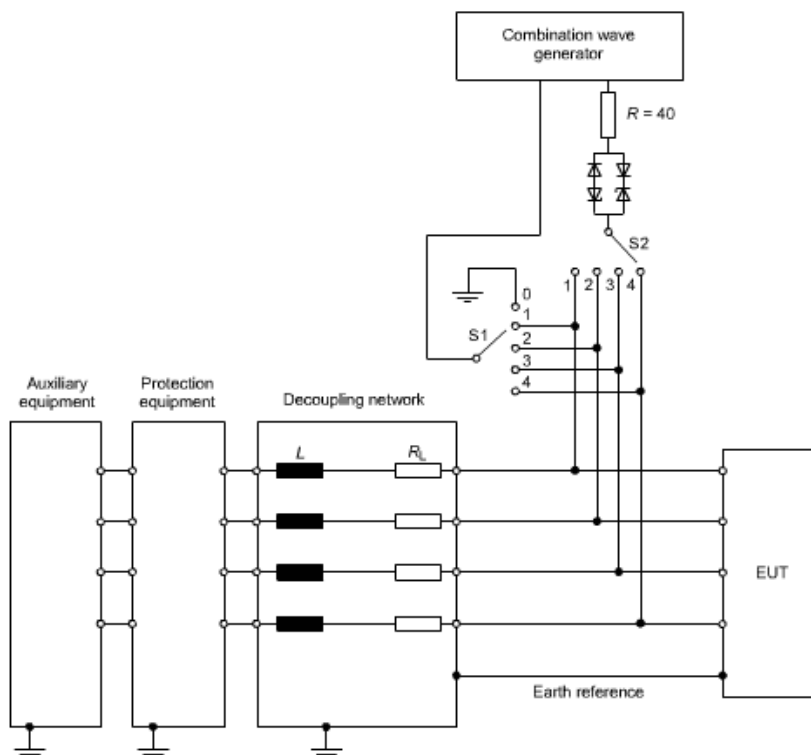
Σχήμα 3.44: Παράδειγμα διάταξης δοκιμής τριφασικού δοκιμίου για χωρητική σύζευξη σε a.c. γραμμές. Σύζευξη μεταξύ φάσης (L3) και γης^[40].



Σχήμα 3.45: Παράδειγμα διάταξης δοκιμής τριφασικού δοκιμίου για μη θωρακισμένες ασύμμετρες διασυνδέσεις γραμμών. Σύζευξη γραμμής – γραμμής και γραμμής – γης, μέσω χωρητικότητας^[40].



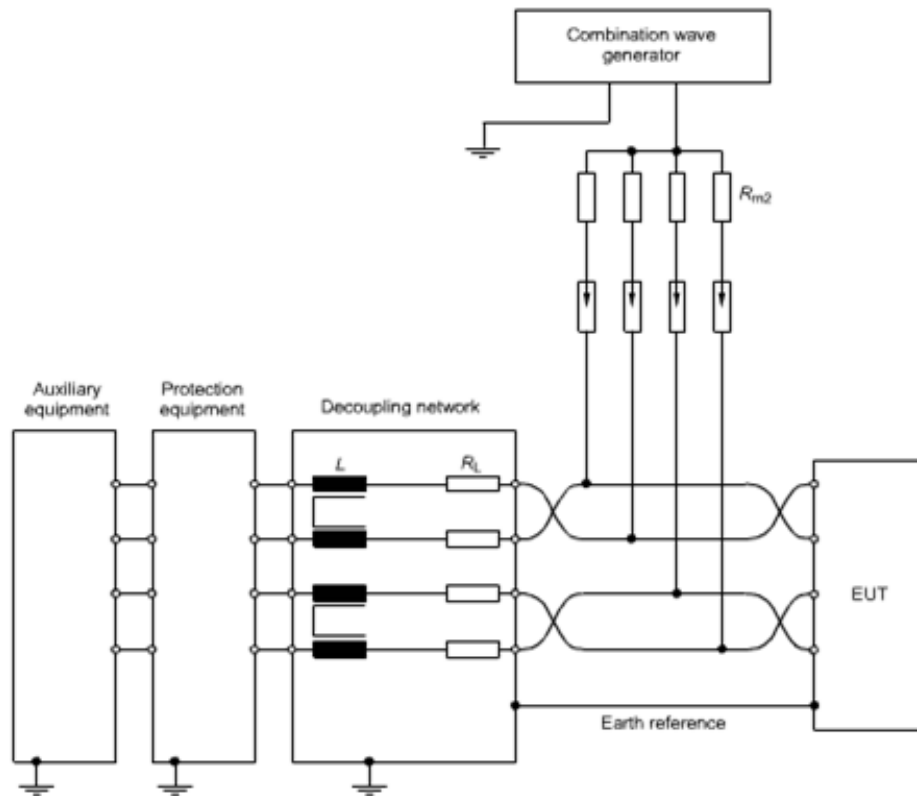
Σχήμα 3.46: Παράδειγμα διάταξης δοκιμής τριφασικού δοκιμίου για μη θωρακισμένες ασύμμετρες διασυνδέσεις γραμμών. Σύζευξη γραμμής – γραμμής και γραμμής – γης, μέσω απαγωγέων υπερτάσεων^[40].



Σχήμα 3.47: Παράδειγμα διάταξης δοκιμής τριφασικού δοκιμίου για μη θωρακισμένες ασύμμετρες διασυνδέσεις γραμμών. Σύζευξη γραμμής – γραμμής και γραμμής – γης, μέσω clamper (κύκλωμα διόδων)^[40].

Στα προαναφερθέντα Σχήματα 3.45 - 3.47 ισχύουν τα ακόλουθα:

- Διακόπτης S1
 - Γραμμή – Γείωση: θέση 0
 - Γραμμή – Γραμμή: θέσεις 1 έως 4
- Διακόπτης S2
 - Κατά τη διάρκεια των δοκιμών θέσεων 1 έως 4, αλλά όχι στην ίδια θέση με τον Διακόπτη S1
- $L = 20 \text{ mH}$, R_L : αντιπροσωπεύει το ωμικό μέρος της αυτεπαγωγής L



Υπολογισμός της R_{m2} όταν χρησιμοποιείται η γεννήτρια $1.2/50 \mu\text{s}$

Παράδειγμα για $n = 4$:

$$R_{m2} = 4 \times 40 = 160 \text{ (μέγιστη 250)}$$

Υπολογισμός της R_{m2} όταν χρησιμοποιείται η γεννήτρια $10/700 \mu\text{s}$

Παράδειγμα για $n = 4$:

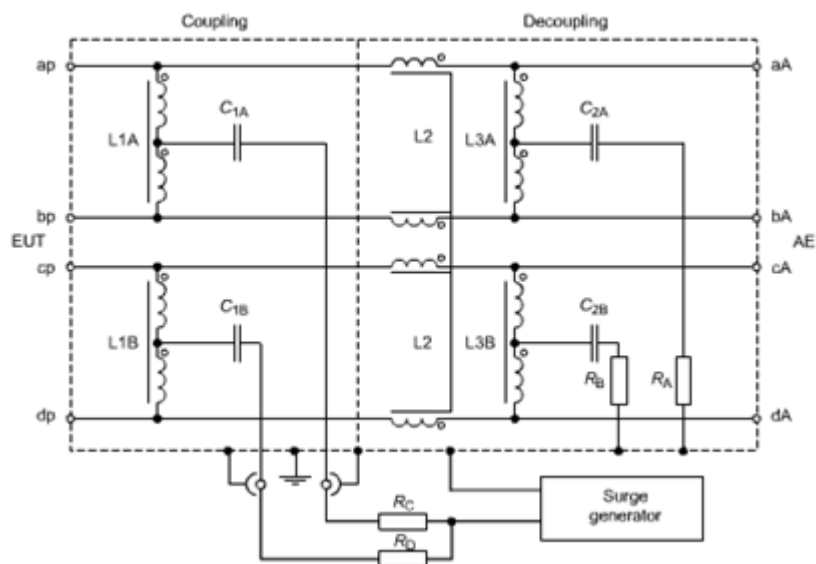
$$R_{m2} = 4 \times 25 = 100 \text{ (μέγιστη 250)}$$

$$L = 20 \text{ mH}$$

R_L : η τιμή της εξαρτάται από την εξασθένηση του σήματος μετάδοσης.

Σημείωση: Οι απαγωγείς είναι δυνατό να αντικατασταθούν με clamper όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.47.

Σχήμα 3.48: Παράδειγμα διάταξης δοκιμής τριφασικού δοκιμίου για μη θωρακισμένες συμμετρικές διασυνδέσεις γραμμών (γραμμές επικοινωνίας). Σύζευξη γραμμών – γης, μέσω απαγωγέων υπερτάσεων^[40].



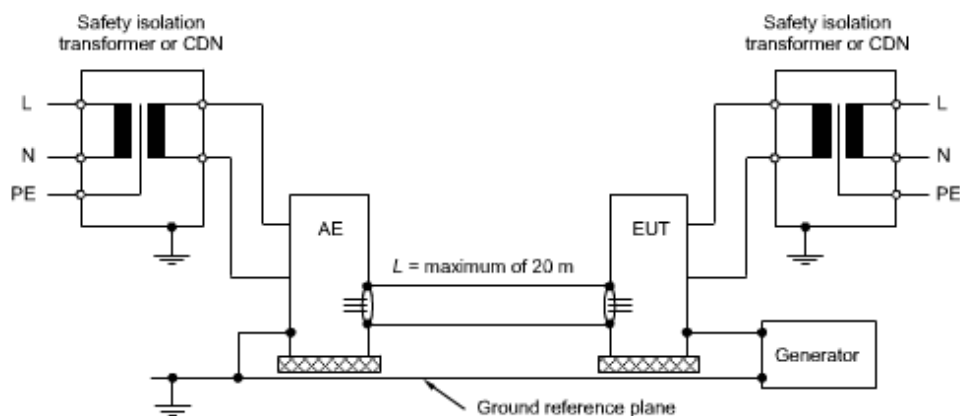
Σημείωση 1: Η αυτεπαγωγή L_2 πρέπει να είναι αντισταθμισμένο στραγγαλιστικό πηνίο ρεύματος τεσσάρων σπειρών και να έχει μικρή ωμική εμπέδηση.

Σημείωση 2: Οι αντιστάσεις R_A και R_B πρέπει έχουν μικρή τιμή για να αποφευχθούν ταλαντώσεις.

Σημείωση 3: Οι αντιστάσεις R_C και R_D πρέπει να είναι αντιστάσεις μόνωσης.

Σημείωση 4: Η διάταξη αυτή δεν συνιστάται να χρησιμοποιείται για την κυματομορφή 10/700 μ s γιατί τα πηνία πιθανόν να κορεστούν.

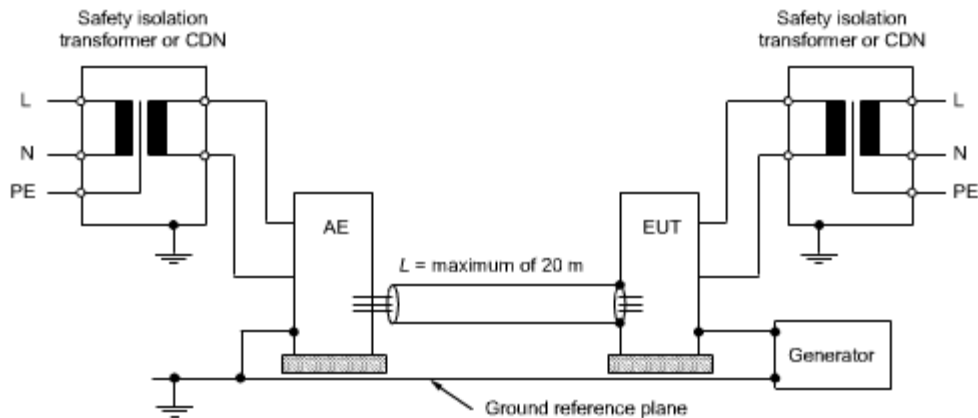
Σχήμα 3.49: Παράδειγμα διάταξης CDN για συμμετρικές, μεγάλης ταχύτητας, γραμμές επικοινωνίας με χρήση υπερτάσεων 1.2/50 μ s^[40].



Σημείωση 1: Είναι επιτρεπτό η τροφοδοσία του δοκιμίου (EUT) και/ή της βοηθητικού εξοπλισμού - συσκευής (AE - Auxiliary Equipment) να γίνεται μέσω ενός δικτύου απόζευξης όπως φαίνεται για παράδειγμα στο Σχήμα 3.41, αντί μέσω ενός μετασχηματιστή απομόνωσης. Σε τέτοια περίπτωση, η σύνδεση της γείωσης προστασίας του δοκιμίου πρέπει να μένει ανοικτοκυκλωμένη.

Σημείωση 2: Το παράδειγμα αυτής της διάταξης εφαρμόζεται επίσης και σε τροφοδοτούμενα δοκίμια από d.c. τάση.

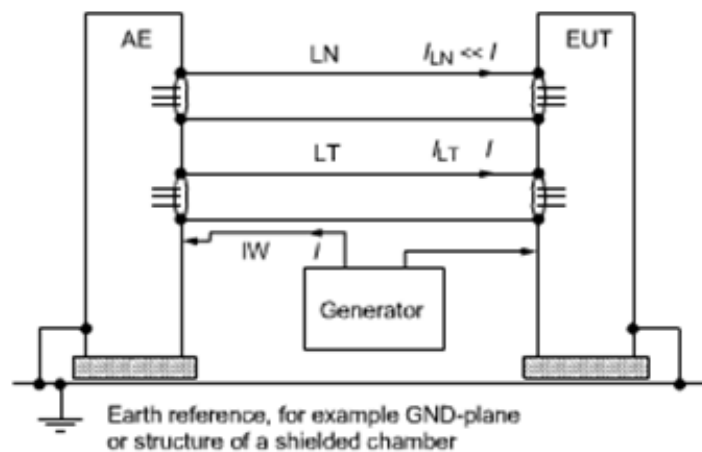
Σχήμα 3.50: Παράδειγμα διάταξης δοκιμής που εφαρμόζεται σε θωρακισμένες γραμμές^[40].



Σημείωση 1: Είναι επιτρεπτό η τροφοδοσία του δοκιμίου (EUT) και/ή της βοηθητικού εξοπλισμού - συσκευής (AE - Auxiliary Equipment) να γίνεται μέσω ενός δικτύου απόζευξης όπως φαίνεται για παράδειγμα στο Σχήμα 3.41, αντί μέσω ενός μετασχηματιστή απομόνωσης. Σε τέτοια περίπτωση, η σύνδεση της γείωσης προστασίας του δοκιμίου πρέπει να μένει ανοικτοκυκλωμένη.

Σημείωση 2: Το παράδειγμα αυτής της διάταξης εφαρμόζεται επίσης και σε τροφοδοτούμενα δοκίμια από d.c. τάση.

Σχήμα 3.51: Παράδειγμα διάταξης δοκιμής που εφαρμόζεται σε θωρακισμένες γραμμές γειωμένες μόνο στο ένα άκρο^[40].



LN: Σήμα της γραμμής διασύνδεσης που θα εξετασθεί

LT: Σήμα της γραμμής διασύνδεσης που δεν θα εξετασθεί

IW: Αγωγός έγχυσης (injection wire)

Σημείωση: Το παράδειγμα αυτής της διάταξης εφαρμόζεται επίσης και σε τροφοδοτούμενα δοκίμια από d.c. τάση.

Σχήμα 3.52: Μέθοδος σύζευξης και διάταξη δοκιμής που εφαρμόζεται σε θωρακισμένες γραμμές, και συγκεκριμένα σε πολλαπλές θωρακισμένες καλωδιακές συνδέσεις^[40].

Σε γραμμές τροφοδοσίας a.c. ή d.c., το δίκτυο απόζευξης παρέχει σχετικά μεγάλη εμπέδηση στην κυματομορφή της υπέρτασης και ταυτόχρονα επιτρέπει στο a.c. ρεύμα ή στο d.c. ρεύμα να «εισρεύσουν» στο δοκίμιο. Αυτή η εμπέδηση δίνει τη δυνατότητα στην κυματομορφή της τάσης να σχηματίζεται στην έξοδο του CDN και αποτρέπει να επηρεαστούν άλλες συσκευές συνδεδεμένες στο δίκτυο από την υπέρταση που επιβάλλεται στο δοκίμιο. Ως στοιχείο σύζευξης χρησιμοποιούνται χωρητικότητες υψηλής τάσης. Το CDN για γραμμές τροφοδοσίας a.c. ή d.c. πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε οι κυματομορφές της τάσης ανοικτοκύκλωσης και του ρεύματος βραχυκύκλωσης να πληρούν τις απαιτήσεις ανοχής στους Πίνακες 3.18 και 3.19.

Παράμετροι υπερτάσεως σε κατάσταση ανοικτού κυκλώματος	Εμπέδηση σύζευξης	
	18μF	9μF + 10
Χρόνος μετώπου	1.2 μs ± 30 %	1.2 μs ± 30 %
Χρόνος ημίσεως εύρους		
Ονομαστικό ρεύμα < 25 A	50 μs +10μs/-10μs	50 μs +10μs/-25μs
Ονομαστικό ρεύμα 25 A – 60 A	50 μs +10μs/-15μs	50 μs +10μs/-30μs
Ονομαστικό ρεύμα 60 A -100 A	50 μs +10μs/-20μs	50 μs +10μs/-35μs

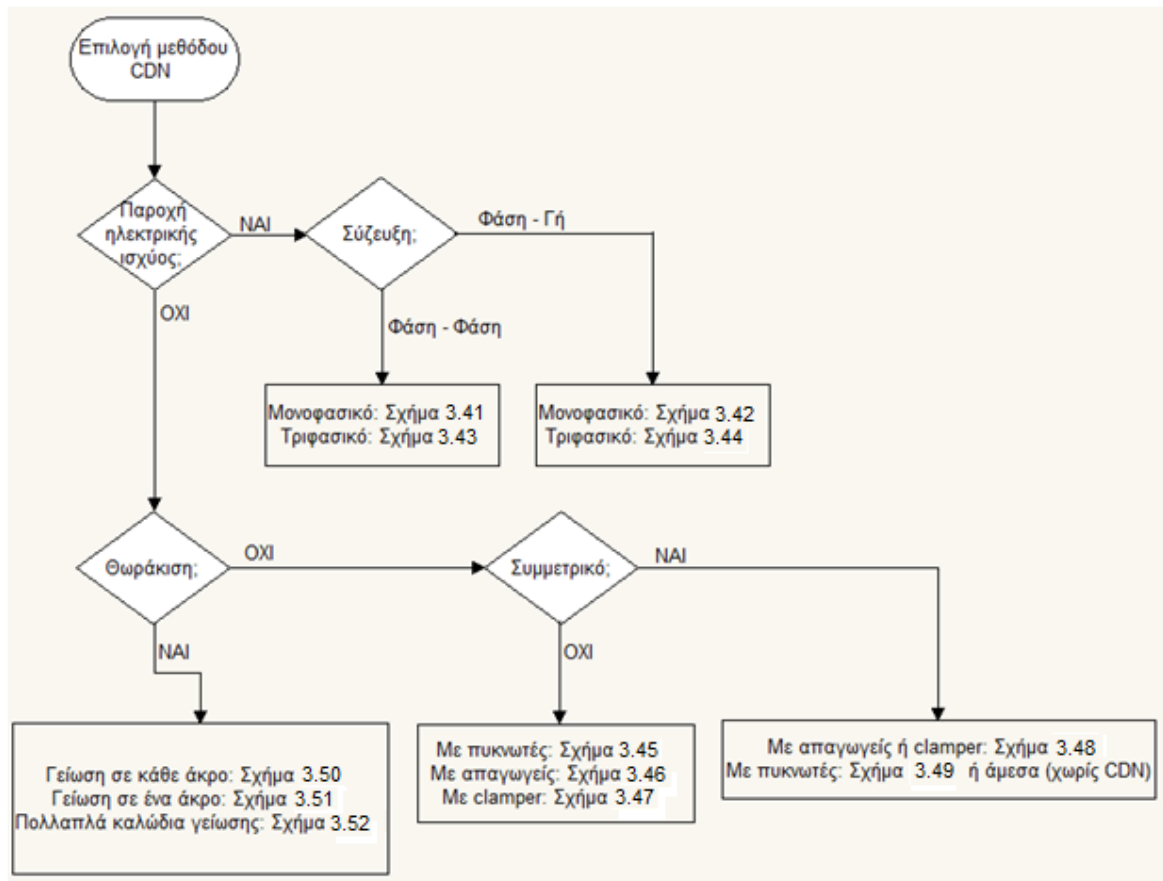
Πίνακας 3.18: Απαιτήσεις κυματομορφής τάσεως του CDN στη θύρα του δοκιμίου ^[40].

Παράμετροι ρεύματος υπέρτασης σε κατάσταση βραχυκυκλώματος	Εμπέδηση σύζευξης	
	18μF	9μF + 10
Χρόνος μετώπου	8 μs ± 20 %	2.5 μs ± 30 %
Χρόνος ημίσεως εύρους	20 μs ± 20 %	25 μs ± 30 %

Πίνακας 3.19: Απαιτήσεις κυματομορφής ρεύματος του CDN στη θύρα του δοκιμίου ^[40].

Σε γραμμές εισόδου και εξόδου και σε γραμμές επικοινωνιών, η εμπέδηση σειράς του δικτύου απόζευξης θα περιορίσει τα όρια του διαθέσιμου εύρους ζώνης για μεταφορά δεδομένων. Το στοιχείο σύζευξης μπορεί να είναι μια χωρητικότητα ή ένας απαγωγέας.

Σύνοψη: επιλογή διάταξης



Σχήμα 3.53: Διάγραμμα ροής για την επιλογή της διάταξης δοκιμών^[40].

3.6 Επισκόπηση του Προτύπου IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004-03)

Αυτό το μέρος της οικογένειας προτύπων IEC 61000 καθορίζει τις μεθόδους δοκιμών ατρωσίας και το φάσμα του προτεινόμενου επιπέδου των δοκιμών για βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης, για είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού που συνδέονται σε ηλεκτρικά δίκτυα χαμηλής τάσης [41, 56].

Το παρόν Πρότυπο 61000-4-11 αναφέρεται σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού που έχουν ονομαστικό ρεύμα εισόδου που δεν υπερβαίνει τα 16 A ανά φάση, για τη σύνδεση με 50 ή 60 Hz a.c. δίκτυα.

Το αντικείμενο της παρούσας προδιαγραφής είναι να καθορίσει ένα κοινό σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση της ατρωσίας του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, όταν υποβάλλεται σε βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης.

Βυθίσεις και σύντομες διακοπές τάσης προκαλούνται από βλάβες στο δίκτυο, κυρίως βραχυκυκλώματα, από βλάβες σε εγκαταστάσεις ή από απότομες μεγάλες αλλαγές του φορτίου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, δύο ή περισσότερες συνεχόμενες βυθίσεις ή διακοπές τάσης μπορεί να συμβούν. Οι διακυμάνσεις τάσης προκαλούνται από συνεχώς μεταβαλλόμενα φορτία που συνδέονται στο δίκτυο.

3.6.1 Γενικά

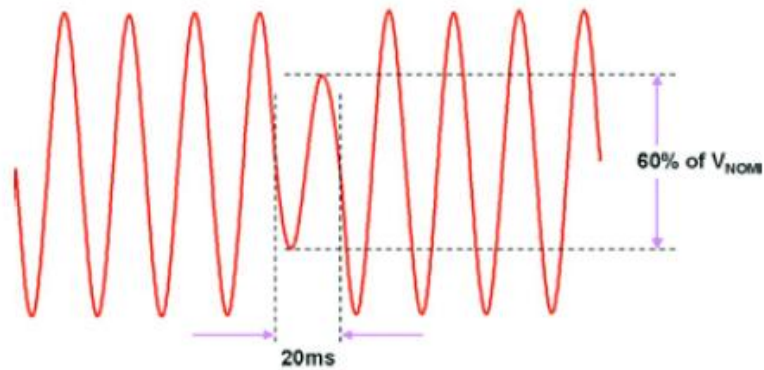
Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός μπορούν να επηρεαστούν από τις βυθίσεις της τάσης, τις σύντομες διακοπές ή τις διακυμάνσεις τάσης της τροφοδοσίας [41]. Αυτά τα φαινόμενα είναι εκ φύσεως τυχαία και μπορούν να χαρακτηριστούν για τους σκοπούς της προσομοίωσης στο εργαστήριο σε όρους απόκλισης από την ονομαστική τάση και διάρκεια. Κατά συνέπεια, διαφορετικοί τύποι δοκιμών προσδιορίζονται στο συγκεκριμένο Πρότυπο για την προσομοίωση των επιπτώσεων της απότομης αλλαγής τάσης. Αυτές οι δοκιμές πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο σε συγκεκριμένες και αιτιολογημένες περιπτώσεις, υπό την ευθύνη των προδιαγραφών του προϊόντος ή των επιτροπών προϊόντων.

Πριν προχωρήσουμε στην εκτενέστερη περιγραφή του συγκεκριμένου προτύπου αξίζει να δώσουμε δυο χρήσιμους ορισμούς [41, 56]:

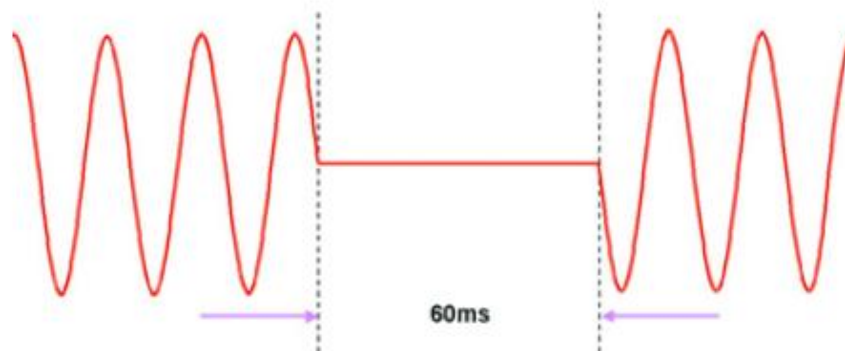
Βύθιση τάσης: μια ξαφνική μείωση της τάσης σε ένα συγκεκριμένο σημείο του συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο βύθισης, ακολουθούμενη από την αποκατάστασή της μετά από ένα σύντομο χρονικό διάστημα (Σχήμα 3.54). Συνήθως, μια βύθιση σχετίζεται με την εμφάνιση και τη λήξη ενός βραχυκυκλώματος ή άλλης ακραίας αύξησης του ρεύματος στο σύστημα ή σε εγκαταστάσεις που συνδέονται σε αυτό. Επίσης, είναι μια δισδιάστατη ηλεκτρομαγνητική διαταραχή, το επίπεδο της οποίας καθορίζεται από την τάση και του χρόνο (διάρκεια).

Σύντομη διακοπή: μια ξαφνική μείωση της τάσης όλων των φάσεων σε ένα συγκεκριμένο σημείο ενός συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο διακοπής, ακολουθούμενη από την αποκατάστασή της μετά από

ένα σύντομο χρονικό διάστημα (Σχήμα 3.55). Οι σύντομες διακοπές κατά κανόνα συνδέονται με λειτουργίες του εξοπλισμού διανομής που σχετίζονται με την εμφάνιση και τη λήξη βραχυκυκλωμάτων στο σύστημα ή σε εγκαταστάσεις που συνδέονται σε αυτό.



Σχήμα 3.54: Βύθιση τάσης 40% διάρκειας 20 ms. Η βύθιση ξεκίνησε και τελείωσε σε σημεία διασταύρωσης από το μηδέν (όπως στις περισσότερες δοκιμές IEC 61000-4-11), όμως στην πραγματικότητα οι βυθίσεις μπορούν να γίνουν σε οποιοδήποτε γωνίες φάσεως ^[57].



Σχήμα 3.55: Σύντομη διακοπή τάσης 60 ms. Η διακοπή ξεκίνησε και τελείωσε σε σημεία διασταύρωσης από το μηδέν (όπως στις περισσότερες δοκιμές IEC 61000-4-11), όμως στην πραγματικότητα οι διακοπές μπορούν να γίνουν σε οποιοδήποτε γωνίες φάσεως ^[57].

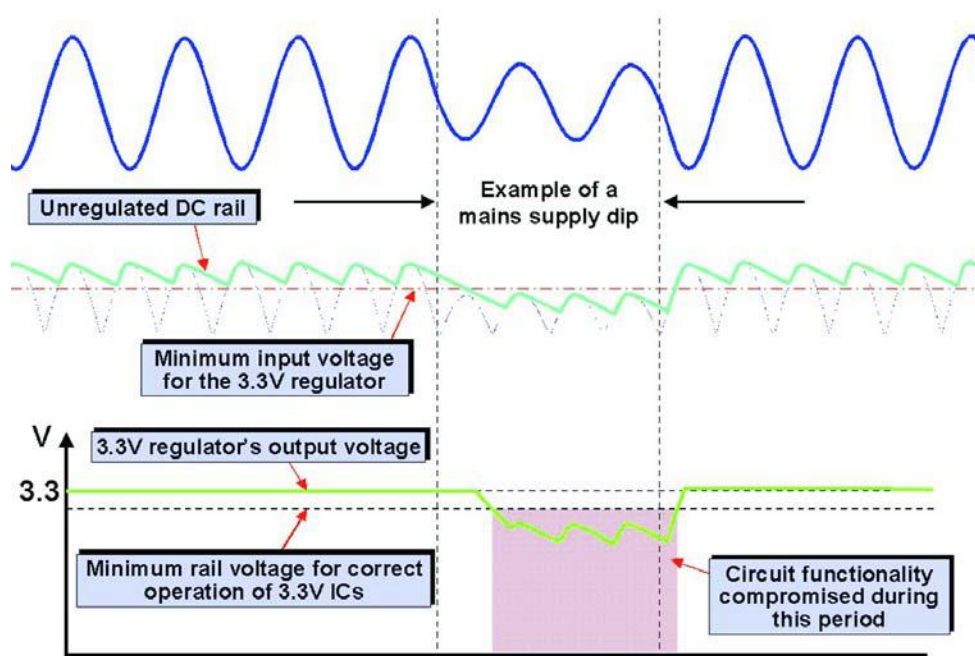
Πως οι βυθίσεις και διακοπές τάσεως μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα ^[57]

Οι ηλεκτρομηχανολογικές συσκευές όπως ρελέ, επαφές κ.α. μπορούν να παρουσιάσουν διακυμάνσεις τάσεως και αυτές οι διακυμάνσεις ποικίλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία, τις ταραχές, τις δονήσεις και την ηλικία της συσκευής. Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες οι συσκευές αδυνατούν να επανέλθουν σε φυσιολογική λειτουργία μετά τη διακοπή της τάσης.

Κάποια ηλεκτρονικά κυκλώματα βασίζονται στη μέτρηση των κύκλων της τροφοδοσίας, και αυτά είναι δυνατό «ξεγελαστούν» από τις βυθίσεις και τις διακοπές τάσεως, όμως το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι ο χρόνος (ms) που μπορούν τα συστήματα να συνεχίζουν να λειτουργούν μετά από μια διακοπή η βύθιση της τάσης (hold-up time). Το Σχήμα 3.56 παρουσιάζει ένα παράδειγμα ψηφιακού κυκλώματος τροφοδοτούμενο με τάση 3.3 V. Η βύθιση της τάσης τροφοδοσίας προκαλεί μια εκφόρτιση (άναρχη) σε επίπεδο μικρότερο από την ελάχιστη τάση εισόδου των 3.3 V

του ρυθμιστή τάσης. Σε αυτή την κατάσταση τα ολοκληρωμένα κυκλώματα (ICs) δεν μπορούν να κάνουν σχεδόν τίποτα με αποτέλεσμα να υπάρχουν συνέπειες στη λειτουργία του συστημάτων που ελέγχονται από αυτά. Για αυτό το λόγο οι κατασκευαστές συσκευών με ψηφιακά κυκλώματα προσθέτουν λογισμικό που ελέγχει το επίπεδο τάσης και σε περίπτωση κάποιου σφάλματος επανεκκινεί το σύστημα ή κάνει κάποια άλλη διορθωτική πράξη.

Μια στιγμιαία βύθιση τάσης ή σύντομη διακοπή σε αναλογικά κυκλώματα μπορεί να προκαλέσει λειτουργικά σφάλματα, όμως συνήθως επανέρχονται από μόνα τους σε λειτουργία όταν η βύθιση ή η διακοπή τελειώσει.



Σχήμα 3.56: Πως οι βυθίσεις ή οι διακοπές τάσεις μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα σε ηλεκτρονικά κυκλώματα – Παράδειγμα κυκλώματος τάσης τροφοδοσίας 3.3 V^[57].

3.6.2 Επίπεδα δοκιμών^[41]

Οι τάσεις σε αυτό το Πρότυπο χρησιμοποιούν την ονομαστική τάση του εξοπλισμού (U_t) ως βάση των προδιαγραφών για τα επίπεδα τάσης των δοκιμών. Όταν όμως η ονομαστική τάση του εξοπλισμού καλύπτει ένα φάσμα, ισχύουν τα εξής:

- αν το εύρος φάσματος της τάσης δεν υπερβαίνει το 20% του κάτω ορίου τάσης ονομαστικής τάσης που προδιαγράφεται, μια ενιαία τάση εντός αυτού του φάσματος μπορεί να οριστεί ως βάση για τον προσδιορισμό του επιπέδου της τάσης δοκιμών (U_t).
- σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, η διαδικασία δοκιμής πρέπει να εφαρμόζεται τόσο για την κατώτατη όσο και για την ανώτατη τάση που δηλώνονται στο φάσμα ονομαστικής τάσης του εξοπλισμού.
- οδηγίες για την επιλογή των επιπέδων δοκιμής και τις διάρκειες δοκιμών δίνονται στο Πρότυπο IEC 61000-2-8.

3.6.2.1 Επίπεδα δοκιμών για βυθίσεις και σύντομες διακοπές τάσης

Σύμφωνα με τους ορισμούς που δόθηκαν στην παράγραφο 3.6.1, η αλλαγή μεταξύ της ονομαστικής τάσης U_t και της τάσης δοκιμής είναι απότομη. Τα ακόλουθα επίπεδα τάσης δοκιμής (σε % U_t) χρησιμοποιούνται: 0%, 40%, 70% και 80%, που αντιστοιχούν σε βυθίσεις με εναπομένουσα τάση 0%, 40%, 70% και 80%.

Για βυθίσεις τάσης, τα προτιμώμενα επίπεδα και διάρκειες δοκιμών παρατίθενται στον Πίνακα 3.20, ενώ παραδείγματα φαίνονται στα Σχήματα 3.57 (α) και 3.57 (β). Τα προτιμώμενα επίπεδα δοκιμών του Πίνακα 3.20 είναι αρκετά αυστηρά και είναι αντιπροσωπευτικά πολλών βυθίσεων τάσης που συμβαίνουν στην πραγματικότητα, αλλά δεν έχουν ως στόχο να εγγυηθούν τη ατρωσία του υπό δοκιμή εξοπλισμού έναντι σε όλες τις δυνατές βυθίσεις τάσης. Οι πιο σύντομες διάρκειες του πίνακα, και ιδίως αυτές του μισού κύκλου, θα πρέπει να ελέγχονται για να βεβαιωθεί ότι ο εξοπλισμός υπό δοκιμή λειτουργεί εντός των ορίων απόδοσης που καθορίζονται για αυτόν.

Για σύντομες διακοπές τάσης, τα προτιμώμενα επίπεδα και διάρκειες δοκιμών παρατίθενται στον Πίνακα 3.21, ενώ ένα παράδειγμα φαίνεται στο Σχήμα 3.58.

Να αναφερθεί εδώ ότι ένα επίπεδο δοκιμής της τάξης του 0% αντιστοιχεί σε συνολική διακοπή της τάσης τροφοδοσίας. Στην πράξη, ένα επίπεδο τάσης δοκιμής της τάξης από 0% έως 20% της ονομαστικής τάσης μπορεί να θεωρηθεί ως συνολική διακοπή τάσης.

Κλάση ^a	Επίπεδα και διάρκειες δοκιμών για βυθίσεις τάσης (t_s) (50Hz/60Hz)				
Κλάση 1	Εξέταση της κάθε περίπτωσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εξοπλισμού				
Κλάση 2	0% για ½ κύκλο	0% για 1 κύκλο	70% για 25/30 ^c κύκλους		
Κλάση 3	0% για ½ κύκλο	0% για 1 κύκλο	40% για 10/12 ^c κύκλους	70% για 25/30 ^c κύκλους	80% για 250/300 ^c κύκλους
Κλάση X ^b	X	X	X	X	X

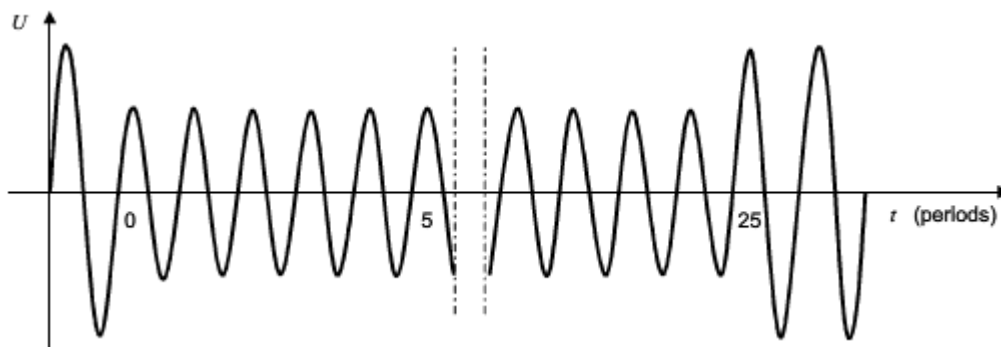
^a Οι κλάσεις είναι σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-2-4 (βλ. Παράρτημα Α).
^b Καθορίζεται από την επιτροπή προϊόντος. Για εξοπλισμό άμεσα ή έμμεσα συνδεδεμένο σε δημόσιο δίκτυο, τα επίπεδα πρέπει να είναι λιγότερα αυστηρά από την Κλάση 2.
^c «25/30 κύκλους» σημαίνει «25 κύκλους για δοκιμή 50 Hz» και «30 κύκλους για δοκιμή 60 Hz».

Πίνακας 3.20: Προτιμώμενα επίπεδα και διάρκειες δοκιμών για βυθίσεις τάσης^[41].

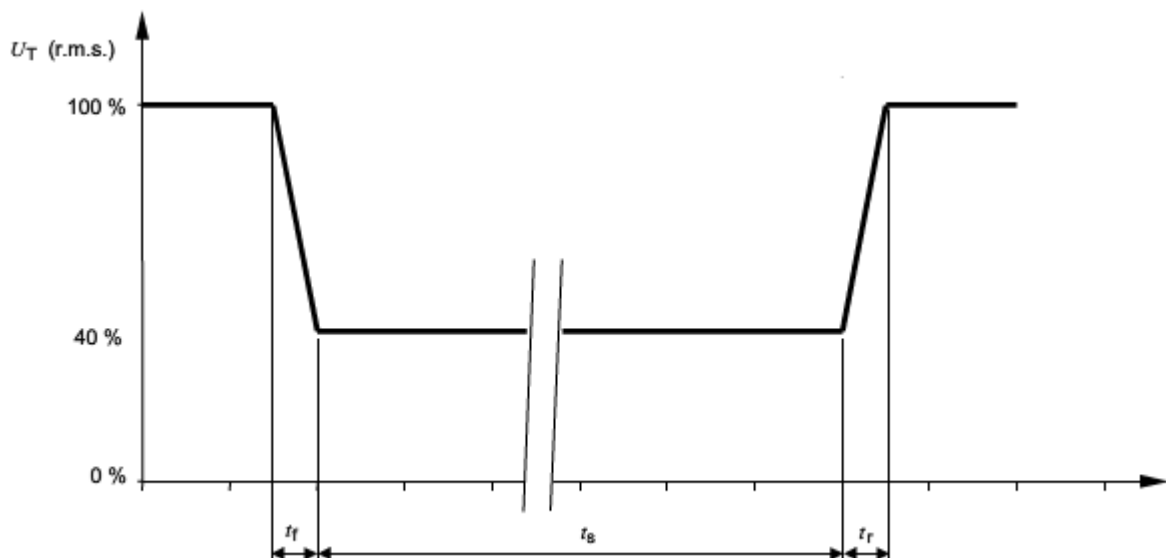
Κλάση ^a	Επίπεδα και διάρκειες δοκιμών για σύντομες διακοπές τάσης (t_s) (50Hz)
Κλάση 1	Εξέταση της κάθε περίπτωσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εξοπλισμού
Κλάση 2	0% για 250/300 ^c κύκλους
Κλάση 3	0% για 250/300 ^c κύκλους
Κλάση X ^b	X

^a Οι κλάσεις είναι σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-2-4 (βλ. Παράρτημα Α).
^b Καθορίζεται από την επιτροπή προϊόντος. Για εξοπλισμό άμεσα ή έμμεσα συνδεδεμένο σε δημόσιο δίκτυο, τα επίπεδα πρέπει να είναι λιγότερα αυστηρά από την Κλάση 2.
^c «250/300 κύκλους» σημαίνει «250 κύκλους για δοκιμή 50 Hz» και «300 κύκλους για δοκιμή 60 Hz».

Πίνακας 3.21: Προτιμώμενα επίπεδα και διάρκειες δοκιμών για σύντομες διακοπές τάσης ^[41].



Σχήμα 3.57 (α): Γράφημα ημιτονοειδούς κύματος για βύθιση τάσης σε επίπεδο 70% για 25 κύκλους ^[41].

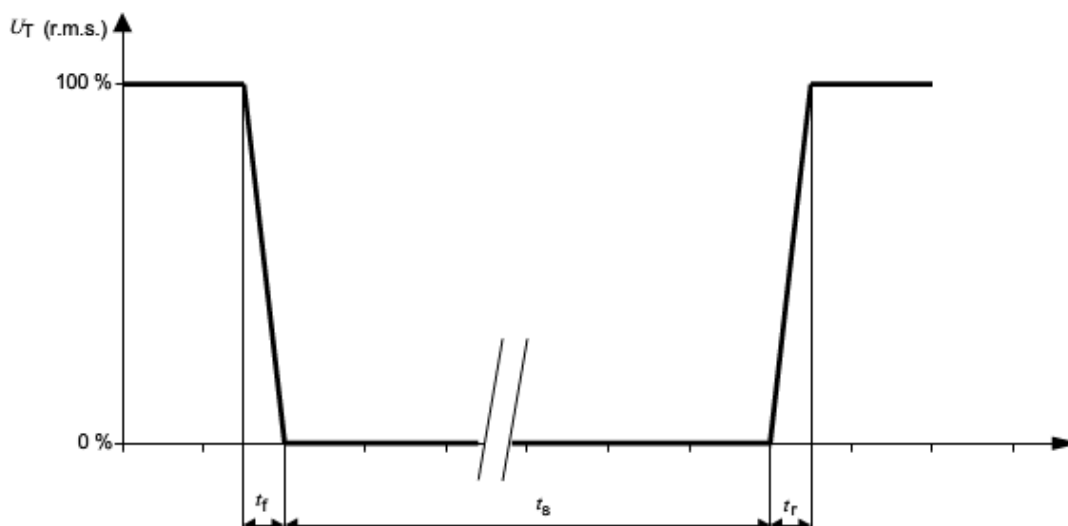


t_r : χρόνος ανόδου της τάσης (κυμαίνεται από 1μs έως 5μs).

t_f : χρόνος καθόδου της τάσης (κυμαίνεται από 1μs έως 5μs).

t_s : χρόνος παραμονής της τάσης σε μειωμένο επίπεδο.

Σχήμα 3.57 (β): Γράφημα r.m.s. τάσης για βύθιση τάσης σε επίπεδο 40% ^[41].



t_f : χρόνος ανόδου της τάσης (κυμαίνεται από 1 μ s έως 5 μ s)
 t_r : χρόνος καθόδου της τάσης (κυμαίνεται από 1 μ s έως 5 μ s)
 t_s : χρόνος παραμονής της τάσης σε μειωμένο επίπεδο

Σχήμα 3.58: Σύντομη διακοπή τάσης ^[41].

3.6.2.2 Επίπεδα δοκιμών για διακυμάνσεις τάσης

Η δοκιμή αυτή θεωρεί μια καθορισμένη μετάβαση μεταξύ της ονομαστικής τάσης U_T και της τάσης δοκιμής. Η μεταβολή της τάσης γίνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα και μπορεί να συμβεί λόγω αλλαγής του φορτίου.

Η προτιμώμενη διάρκεια των μεταβολών τάσης και ο χρόνος κατά τον οποίο οι μειωμένες τάσεις θα πρέπει να διατηρηθούν παρατίθενται στον Πίνακα 3.22. Ο ρυθμός των μεταβολών πρέπει να είναι σταθερός. Ωστόσο η τάση μπορεί να ενισχυθεί. Τα βήματα πρέπει να τοποθετούνται στα σημεία διασταύρωσης από το μηδέν, και να μην είναι μεγαλύτερα από το 10% της U_T . Βήματα κάτω του 1% της U_T θεωρούνται ως σταθερές μεταβολές της αλλαγής τάσης.

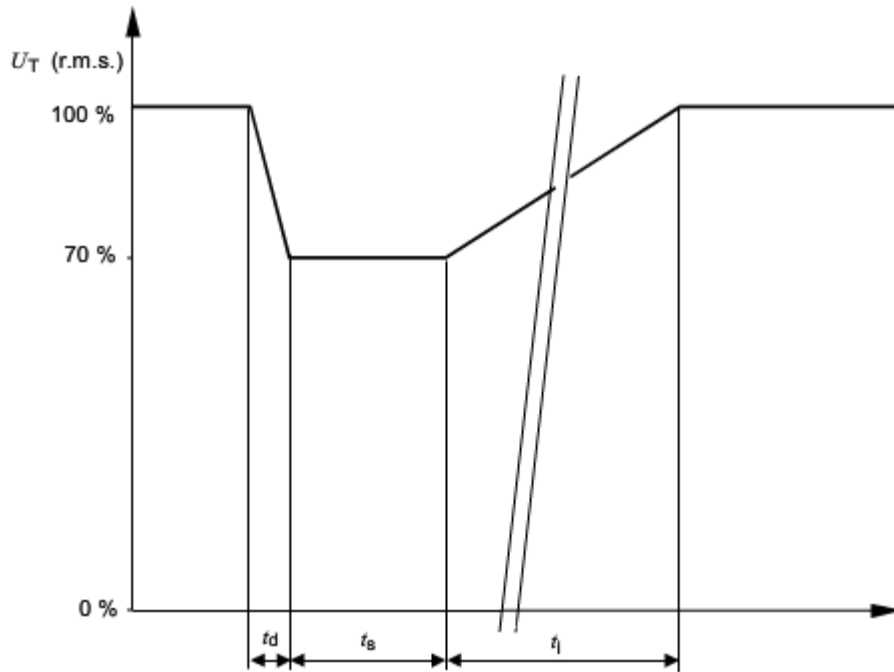
Επίπεδο τάσης δοκιμής	Χρόνος μείωσης της τάσης (t_d)	Χρόνος παραμονής σε μειωμένη τάση (t_s)	Χρόνος αύξησης της τάσης (t_i)
70%	1 μ s έως 5 μ s	1 κύκλος	25/30 ^b κύκλοι
X ^a	X ^a	X ^a	X ^a

^a Καθορίζεται από την επιτροπή προϊόντος.

^b «25/30 κύκλους» σημαίνει «25 κύκλους για δοκιμή 50 Hz» και «30 κύκλους για δοκιμή 60 Hz».

Πίνακας 3.22: Χρονοδιάγραμμα διακυμάνσεων τάσης βραχείας διάρκειας ^[41].

Το Σχήμα 3.59 δείχνει την ενεργό τάση ως συνάρτηση του χρόνου. Αυτό το σχήμα είναι το τυπικό σχήμα για την εκκίνηση ενός κινητήρα.



t_d : χρόνος μείωσης της τάσης
 t_i : χρόνος αύξησης της τάσης
 t_B : χρόνος παραμονής σε μειωμένη τάση

Σχήμα 3.59: Διακύμανση τάσης ^[41].

3.6.3 Εξοπλισμός δοκιμών ^[41]

3.6.3.1 Γεννήτρια δοκιμών

Τα ακόλουθα χαρακτηριστικά είναι κοινά για τη γεννήτρια για βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης, εκτός από όπου υποδεικνύεται. Η γεννήτρια θα πρέπει να έχει πρόνοια για να αποτρέπει εκπομπή διαταραχών, οι οποίες, αν εμβάλλουν στο δίκτυο τροφοδοσίας, μπορούν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα της δοκιμής. Γεννήτρια που προκαλεί βύθιση τάσης πιο έντονων χαρακτηριστικών (πλάτος και διάρκεια) από αυτό που προβλέπεται στο παρόν Πρότυπο επιτρέπεται.

(Α) Χαρακτηριστικά και επίδοση γεννήτριας

Τάση εξόδου χωρίς φορτίο	Όπως καθορίζεται στον Πίνακα 3.20, \pm 5% της τιμής της τάσεως διαρκείας
Μεταβολή τάσης με φορτίο στην έξοδο της γεννήτριας Έξοδος 100%, 0 A έως 16 A Έξοδος 80%, 0 A έως 20 A Έξοδος 70%, 0 A έως 23 A Έξοδος 40%, 0 A έως 40 A	< 5% του U_T < 5% του U_T < 5% του U_T < 5% του U_T
Ικανότητα ρεύματος εξόδου	16 A r.m.s. ανά φάση σε ονομαστική τάση. Η γεννήτρια πρέπει να έχει την ικανότητα

	να μεταφέρει: 20 A σε 80% ονομαστικής τιμής για διάρκεια 5 s 23 A σε 70% ονομαστικής τιμής για διάρκεια 3 s 40 A σε 40% ονομαστικής τιμής για διάρκεια 3 s (Αυτή η απαίτηση είναι δυνατό να μειωθεί σύμφωνα με το ονομαστικό ρεύμα τροφοδοσίας σταθερής κατάστασης)
Ικανότητα μέγιστου ρεύματος εισροής (δεν υπάρχει απαίτηση για δοκιμές διακυμάνσεις τάσης)	Να μην είναι περιοριστική από με τη γεννήτρια. Ωστόσο η μέγιστη ικανότητα κορυφής της γεννήτριας δεν πρέπει να υπερβαίνει: τα 1000 A για τροφοδοσία από 250 V έως 600 V τα 500 A για τροφοδοσία από 200 V έως 240 V τα 250 A για τροφοδοσία από 100 V έως 120 V
Στιγμαία αύξηση/μείωση του μέγιστου της πραγματικής τάσης (με ωμικό φορτίο 100 Ω στην γεννήτρια)	< 5% του U_T
Χρόνος ανόδου (t_r) και καθόδου της τάσης (t_f) [βλ. Σχήματα 2.5.4 (β) και 2.5.5] σε απότομη μεταβολή (με ωμικό φορτίο 100 Ω στην γεννήτρια)	Μεταξύ 1 μs και 5 μs
Μετατόπιση φάσεως (εάν απαιτείται)	Μεταξύ 0° και 360°
Σχέση μεταξύ της φάσης των βυθίσεων τάσεων και διακοπών και της συχνότητας τροφοδοσίας	< $\pm 10^\circ$
Έλεγχος σημείων διασταύρωσης από το μηδέν των γεννητριών	$\pm 10^\circ$

Πίνακας 3.23: Προδιαγραφές γεννήτριας ^[41].

Η εμπέδηση εξόδου πρέπει να είναι κατά κύριο λόγο ωμική. Επιπλέον η εμπέδηση εξόδου της γεννήτριας τάσεων δοκιμής πρέπει να είναι μικρή ακόμα και κατά τη διάρκεια των μεταβολών (για παράδειγμα, μικρότερη από $0.4 + j0.25 \Omega$).

Σημείωση 1: Το φορτίο των 100 Ω που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή της γεννήτριας δεν πρέπει να έχει επιπρόσθετη επαγωγικότητα.

Σημείωση 2: Για δοκιμή εξοπλισμού που αναπαράγει ενέργεια, μπορεί να προστεθεί μια εξωτερική αντίσταση παράλληλα με το φορτίο. Το αποτέλεσμα της δοκιμής δεν πρέπει να επηρεάζεται από αυτό το φορτίο.

(B) Επαλήθευση των χαρακτηριστικών βύθισης τάσης και σύντομων διακοπών της γεννήτριας

Προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα των δοκιμών που λαμβάνονται από διαφορετικές γεννήτριες δοκιμών, τα χαρακτηριστικά της γεννήτριας πρέπει να επαληθεύονται σύμφωνα με τα ακόλουθα:

- Το 100%, 80%, 70% και 40% της r.m.s. τιμής της τάσης εξόδου της γεννήτριας πρέπει να συμφωνεί με αυτά τα ποσοστά των επιλεγμένων τάσεων λειτουργίας: 230 V, 120 V, κλπ.
- Το 100%, 80%, 70% και 40% της r.m.s. τιμής της τάσης εξόδου της γεννήτριας πρέπει να μετράται χωρίς φορτίο και πρέπει να υποστηρίζεται με ένα συγκεκριμένο ποσοστό της U_T .
- Η ρύθμιση φορτίου πρέπει να επαληθεύεται σε ονομαστικό ρεύμα φορτίου σε κάθε μια από τις τάσεις εξόδου και η παρέκκλιση να μην υπερβαίνει το 5% της ονομαστικής τάσης τροφοδοσίας (στο 100%, 80%, 70% και 40%).

Για τάση εξόδου 80% της ονομαστικής τιμής, πρέπει οι ανωτέρω απαιτήσεις να ελεγχθούν μόνο για μέγιστη διάρκεια 5 s, ενώ για τάση εξόδου 70% και 40% της ονομαστικής τιμής, οι πιο πάνω απαιτήσεις πρέπει να ελεγχθούν μόνο για μέγιστη διάρκεια 3 s.

Εάν είναι αναγκαία η επαλήθευση ικανότητας μέγιστου ρεύματος εισροής, η γεννήτρια πρέπει να χειρίζεται από 0% έως 100% της πλήρους εξόδου, όταν οδηγείτε ένα φορτίο αποτελούμενο από ένα κατάλληλο ανορθωτή με αφόρτιστο πυκνωτή του οποίου η τιμή είναι 1700 μF σε κατάσταση d.c. Η δοκιμή πρέπει να διεξάγεται σε γωνίες φάσεων και 90° και 270°.

Όταν υπάρχει η πεποίθηση ότι χρησιμοποιείται μια γεννήτρια μικρότερης, σε σχέση με τις προδιαγραφές, ικανότητας μέγιστου ρεύματος εισροής, επειδή το δοκίμιο μπορεί να αντλεί μικρότερο από το καθορισμένο ρεύμα (π.χ. 500 A για τροφοδοσία 220 V – 240 V), τότε αυτό πρέπει πρώτα να επαληθεύεται μετρώντας το μέγιστο ρεύμα εισροής. Το ρεύμα αυτό πρέπει να είναι μικρότερο του 70% της ικανότητας μέγιστου ρεύματος εισροής της γεννήτριας.

Τα χαρακτηριστικά χειρισμού της γεννήτριας πρέπει να μετρώνται με φορτίο 100 Ω κατάλληλης ονομαστικής ισχύος διάχυσης.

Ο χρόνος ανόδου και καθόδου της τάσης, καθώς και η αύξηση/μείωση του μεγίστου της τάσης πρέπει να επαληθεύονται για μεταβολές και στις 90° και στις 270°, από 0% έως 100%, από 100% έως 80%, από 100% έως 70%, από 100% έως 40% και από 100% έως 0%.

Η ακρίβεια της γωνίας φάσεως πρέπει να επαληθεύεται για μεταβολές από 0% έως 100% και από 100% έως 0%, σε εννιά γωνίες φάσεων από 0° έως 360° με βήμα 45°. Πρέπει επιπλέον να επαληθεύεται για μεταβολές από 100% έως 80% και από 80% έως 100%, από 100% έως 70% και από 70% έως 100%, όπως επίσης από 100% έως 40% και από 40% έως 100%, σε γωνίες 90° και 180°.

Η γεννήτρια τάσεων πρέπει κατά προτίμηση να επαναβαθμονομείται σε καθορισμένες χρονικές περιόδους σύμφωνα με ένα αναγνωρισμένο σύστημα διασφάλισης ποιότητας.

3.6.3.2 Πηγή τροφοδοσίας

Η συχνότητα της τάσης δοκιμής πρέπει να είναι μεταξύ $\pm 2\%$ της ονομαστικής συχνότητας.

3.6.4 Διάταξη δοκιμών^[41]

Η δοκιμή πρέπει να διεξάγεται με το δοκίμιο υπό εξέταση ενωμένο στη γεννήτρια δοκιμών με το μικρότερο σε μήκος καλώδιο τροφοδοσίας όπως καθορίζεται από τον κατασκευαστή του δοκιμίου. Εάν το μήκος του καλωδίου δεν καθορίζεται, πρέπει το καλώδιο να έχει το μικρότερο δυνατό μήκος κατάλληλο για την εφαρμογή του δοκιμίου.

Η διάταξη δοκιμών για τους τρεις τύπους φαινομένων που περιγράφηκαν σε αυτό το Πρότυπο είναι:

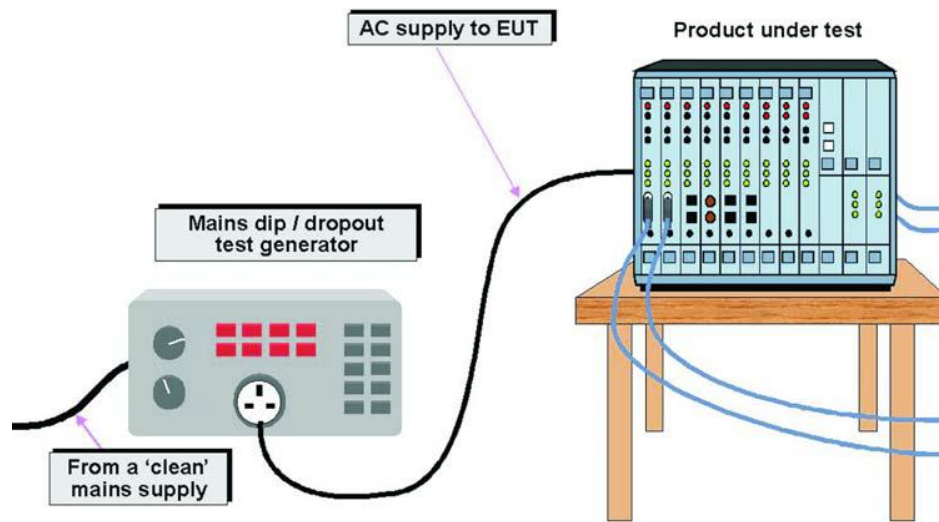
- Βυθίσεις τάσης.
- Σύντομες διακοπές τάσης.
- Διακυμάνσεις τάσης με βαθμιαία μεταβολή μεταξύ της ονομαστικής τάσης και της τάσης αλλαγής (επιλογή).

Παραδείγματα διατάξεων δοκιμών δίνονται στα πιο κάτω σχήματα:

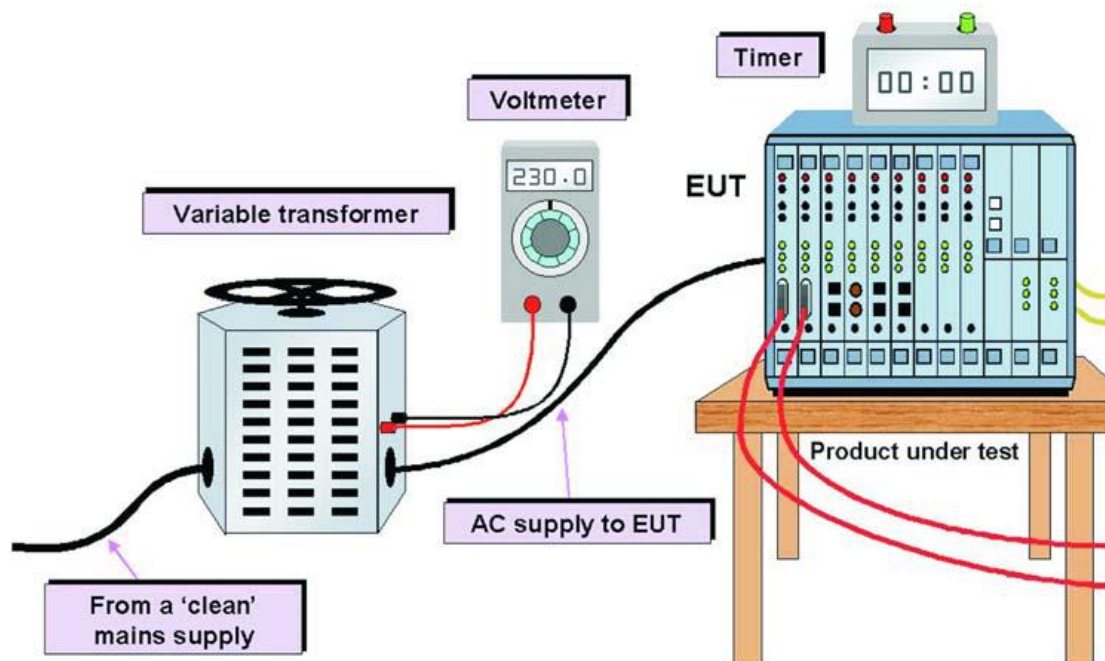
Στα Σχήματα 3.60 και 3.61 δίνεται η γενική διάταξη δοκιμών για βυθίσεις – σύντομες διακοπές και για διακυμάνσεις τάσεως αντίστοιχα, ενώ στα υπόλοιπα σχήματα δίνονται με περισσότερες λεπτομέρειες τα σχηματικά διαγράμματα των κυκλωμάτων της διάταξης.

Το Σχήμα 3.62 (α) δείχνει ένα σχηματικό διάγραμμα για την παραγωγή βυθίσεων τάσης, σύντομων διακοπών και διακυμάνσεων τάσης με βαθμιαία μεταβολή μεταξύ της ονομαστικής τάσης και της τάσης αλλαγής χρησιμοποιώντας γεννήτρια με εσωτερική μεταβολή (χειρισμού), το Σχήμα 3.62 (β) χρησιμοποιώντας γεννήτρια και ενισχυτή και το Σχήμα 3.62 (γ) χρησιμοποιώντας μετασχηματιστές με μεταγωγέα τάσης και διακόπτες.

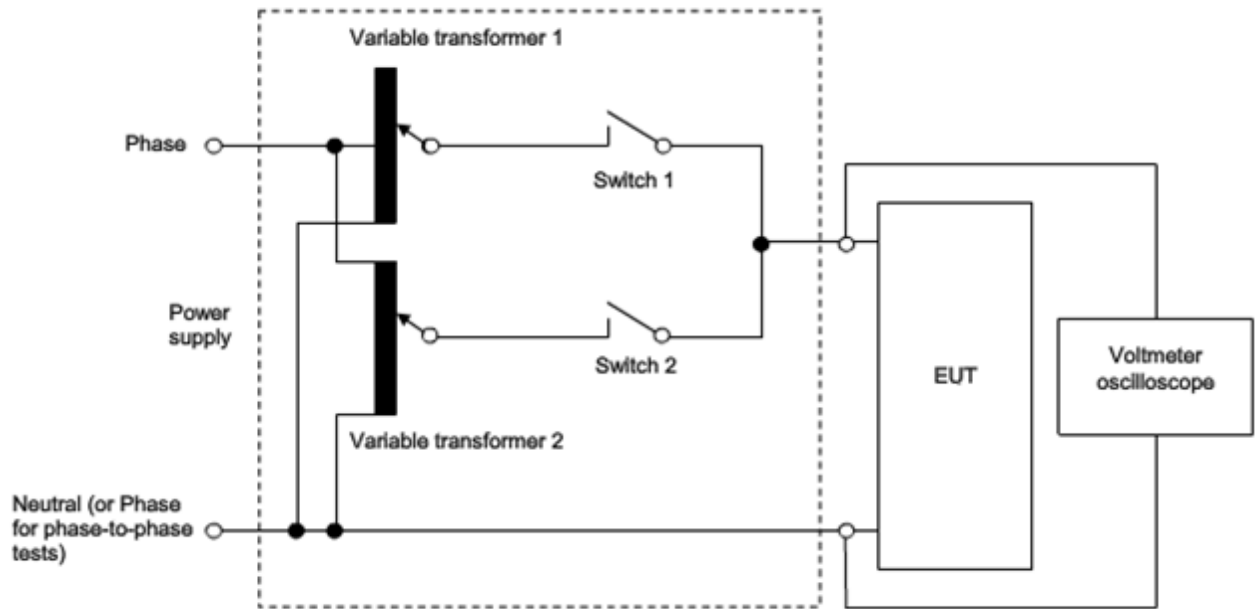
Το Σχήμα 3.63 παρουσιάζει ένα σχηματικό διάγραμμα για την παραγωγή βυθίσεων τάσης, σύντομων διακοπών και διακυμάνσεων τάσης χρησιμοποιώντας γεννήτρια και ενισχυτή για τριφασικό εξοπλισμό.



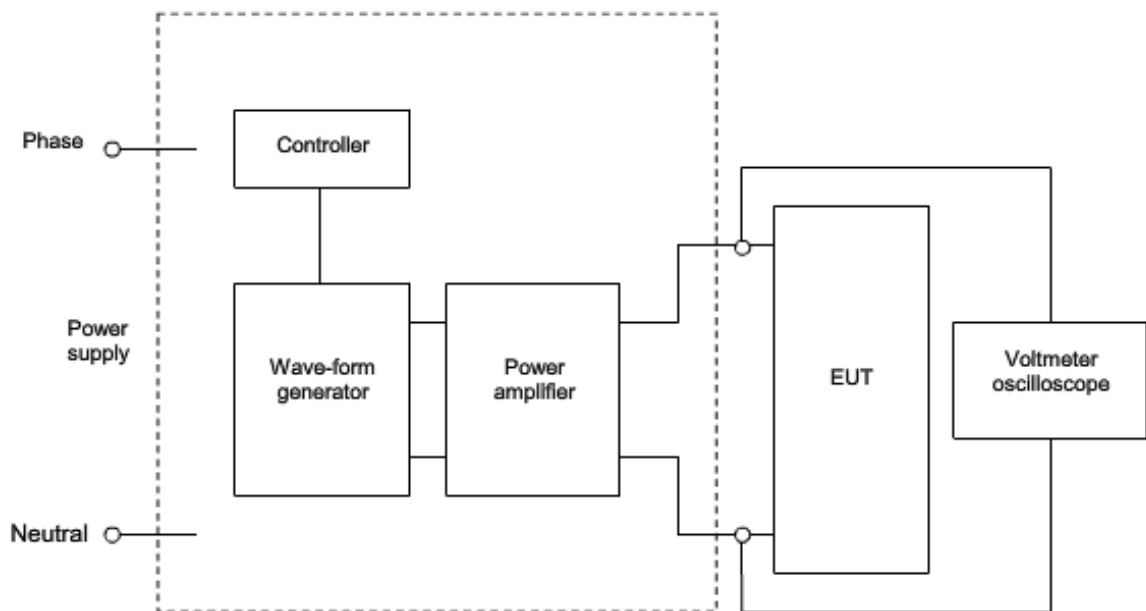
Σχήμα 3.60: Γενική διάταξη δοκιμής για βυθίσεις και σύντομες διακοπές τάσης ^[57].



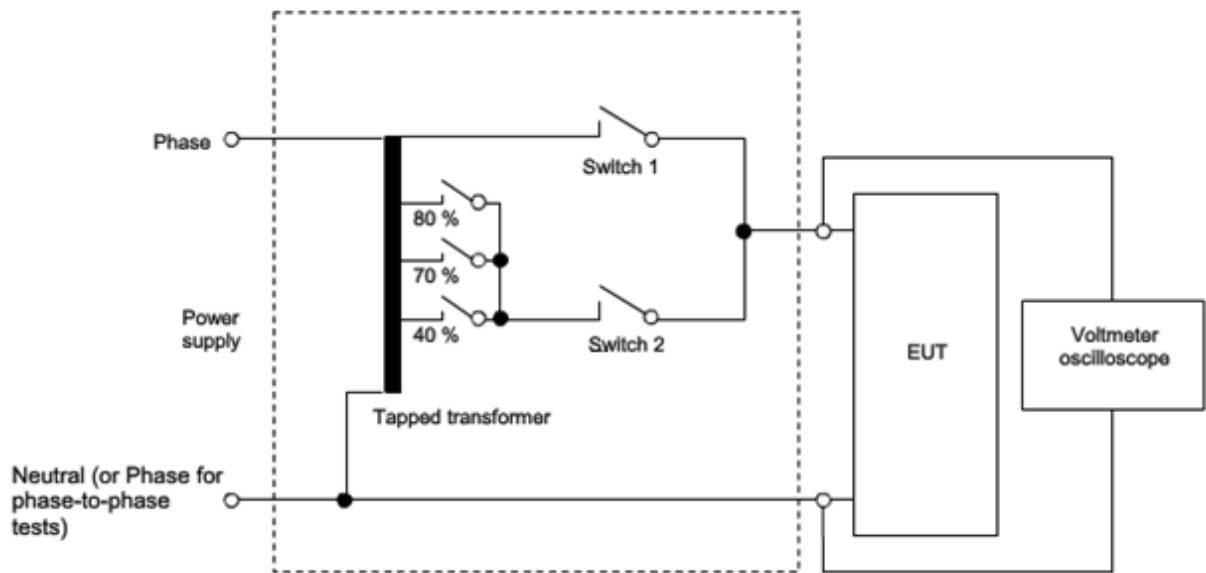
Σχήμα 3.61: Γενική διάταξη δοκιμής για διακυμάνσεις τάσης ^[57].



Σχήμα 3.62 (α): Σχηματικό διάγραμμα των οργάνων δοκιμής για βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης χρησιμοποιώντας μεταβλητούς μετασχηματιστές και διακόπτες.

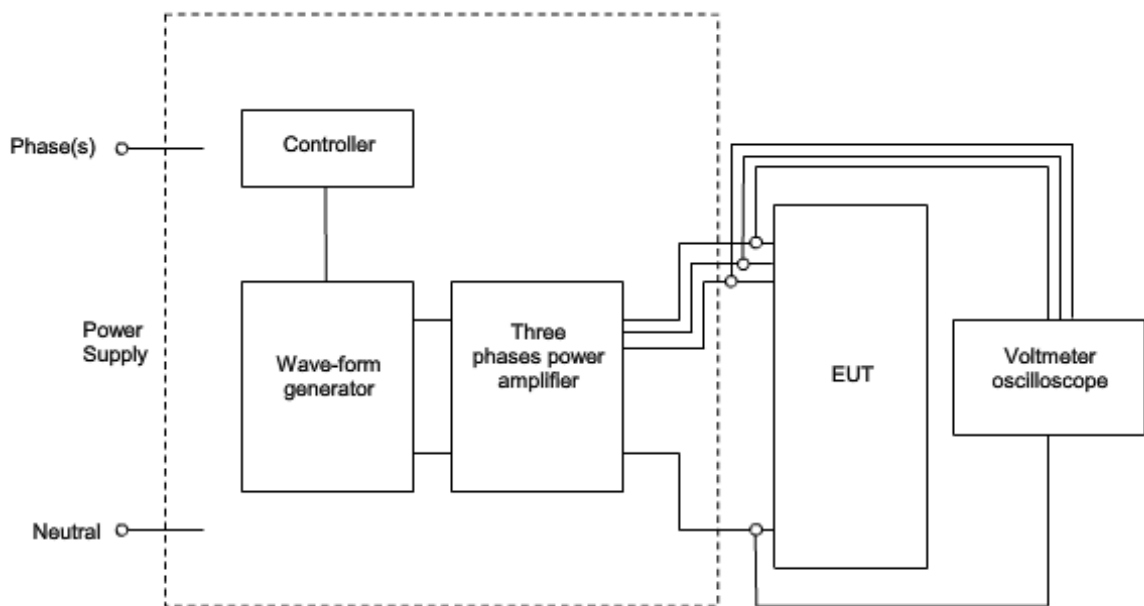


Σχήμα 3.62 (β): Σχηματικό διάγραμμα των οργάνων δοκιμής για βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης ενισχυτή.



Σχήμα 3.62 (γ): Σχηματικό διάγραμμα των οργάνων δοκιμής για βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης χρησιμοποιώντας μετασχηματιστές με μεταγωγέα τάσης και διακόπτες.

Σχήμα 3.62: Σχηματικό διάγραμμα των οργάνων δοκιμής για βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης ^[41].



Σχήμα 3.63: Σχηματικό διάγραμμα των οργάνων δοκιμής για τριφασικές βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης χρησιμοποιώντας ενισχυτή ^[41].

3.7 Επισκόπηση του Προτύπου IEC 61000-4-8 Ed. 2.0 (2009-09)

Το Πρότυπο αυτό [42] αναφέρεται στις απαιτήσεις ατρωσίας εξοπλισμού, μόνο υπό λειτουργικές συνθήκες, από μαγνητικές διαταραχές σε βιομηχανικές συχνότητες 50 Hz και 60 Hz που σχετίζονται με:

- κατοικήσιμες και εμπορικές θέσεις,
- βιομηχανικές εγκαταστάσεις και εργοστάσια παραγωγής εξοπλισμού,
- υποσταθμούς μέσης και υψηλής τάσης.

Αυτό το Πρότυπο δεν θεωρεί διαταραχές λόγω χωρητικής ή επαγωγικής σύζευξης σε καλώδια ή άλλα μέρη της εγκατάστασης του πεδίου. Αυτές οι πτυχές καλύπτονται από άλλα Πρότυπα IEC που ασχολούνται με αγόμενες διαταραχές.

Το αντικείμενο αυτού του προτύπου είναι να δημιουργήσει μια κοινή αναπαραγωγίμη βάση για την αποτίμηση της επίδοσης οικιακών ηλεκτρικών συσκευών, εμπορικών και βιομηχανικών εφαρμογών όταν υποβάλλονται σε μαγνητικά πεδία σε βιομηχανική συχνότητα (συνεχές ή βραχείας διάρκειας πεδίο).

3.7.1 Γενικά ^[42]

Τα μαγνητικά πεδία στα οποία υπόκειται μια συσκευή μπορούν να επηρεάζουν την αξιόπιστη λειτουργία συσκευών και συστημάτων. Οι ακόλουθες δοκιμές σχεδιάζονται για να επιτευχθεί η ατρωσία της συσκευής όταν υπόκειται σε μαγνητικά πεδία βιομηχανικής συχνότητας σχετιζόμενα με την ειδική κατάσταση εγκατάστασης της συσκευής (π.χ. εγγύτητα της συσκευής σε πηγή διαταραχής).

Το μαγνητικό πεδίο βιομηχανικής συχνότητας δημιουργείται από ρεύμα βιομηχανικής συχνότητας σε αγωγούς ή, πιο σπάνια, από άλλες διατάξεις (π.χ. διαρροή μετασχηματιστών) στην εγγύτητα της συσκευής.

Σε ότι αφορά την επίδραση των κοντινών αγωγών, θα πρέπει να λαμβάνεται η διαφοροποίηση μεταξύ:

- του ρεύματος υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, το οποίο παράγει ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο, με ένα συγκριτικά μικρό μέτρο (μεγέθους).
- του ρεύματος υπό συνθήκες βλάβης, το οποίο μπορεί να παράγει συγκριτικά υψηλά μαγνητικά πεδία αλλά βραχείας διάρκειας, μέχρις ότου λειτουργήσουν οι διατάξεις προστασίας (μερικά χιλιοστοδευτερόλεπτα με ηλεκτρικές ασφάλειες, μερικά δευτερόλεπτα για ηλεκτρονόμους προστασίας).

Οι δοκιμές με ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο μπορούν να εφαρμοστούν σε όλους τους τύπους συσκευών που είναι σχεδιασμένες για δημόσια ή βιομηχανικά δίκτυα διανομής χαμηλής τάσης ή εργοστάσια ηλεκτρισμού.

Από την άλλη, οι δοκιμές με ένα μαγνητικό πεδίο βραχείας διάρκειας που σχετίζονται με συνθήκες βλάβης, απαιτούν στάθμες δοκιμής που να διαφέρουν από εκείνες των συνθηκών σταθερής κατάστασης. Οι υψηλότερες τιμές εφαρμόζονται κυρίως σε συσκευές που πρόκειται να εγκατασταθούν σε εκτεθειμένες τοποθεσίες εργοστασίων ηλεκτρισμού.

Η κυματομορφή του πεδίου δοκιμής είναι εκείνη της βιομηχανικής συχνότητας.

Σε πολλές περιπτώσεις (κατοικήσιμες περιοχές, υποσταθμοί και εργοστάσια ηλεκτρισμού κάτω από κανονικές συνθήκες), το μαγνητικό πεδίο που παράγεται από αρμονικές είναι αμελητέο.

3.7.2 Επίπεδα δοκιμών ^[42]

Το προτιμώμενο εύρος των επιπέδων δοκιμής για εφαρμογή του μαγνητικού πεδίου συνεχούς ή βραχείας διάρκειας, αντίστοιχα, που είναι εφαρμόσιμο σε δίκτυα διανομής 50 Hz ή 60 Hz, δίνεται στον Πίνακα 3.24 και Πίνακα 3.25.

Επίπεδο	Ένταση μαγνητικού πεδίου (A/m)
1	1
2	3
3	10
4	30
5	100
X ^a	Ειδική

^a Το επίπεδο X μπορεί να είναι οποιοδήποτε επίπεδο, μεγαλύτερο, μικρότερο ή ανάμεσα στα άνωθεν επίπεδα. Αυτό είναι δυνατό να προσδιοριστεί από τις προδιαγραφές του εξοπλισμού.

Πίνακας 3.24 : Επίπεδα δοκιμών για συνεχές πεδίο ^[42].

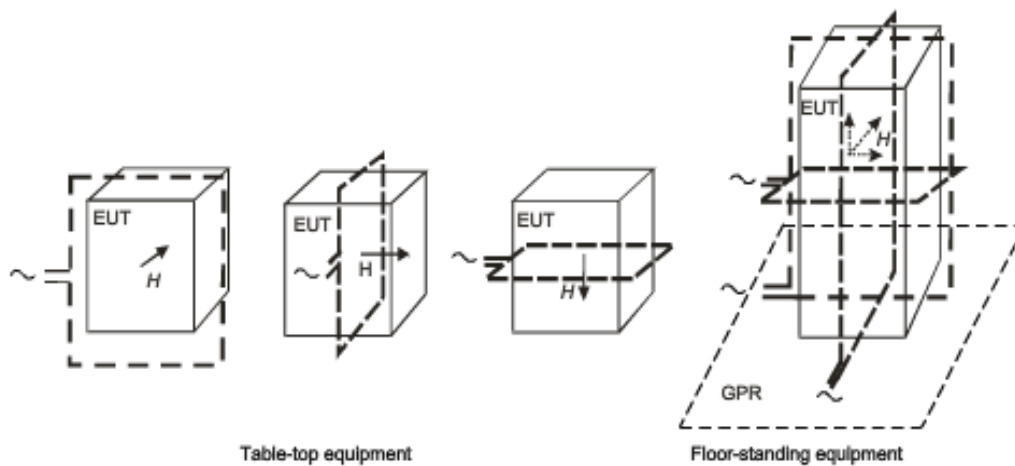
Επίπεδο	Ένταση μαγνητικού πεδίου (A/m)
1	Δεν εφαρμόζεται
2	Δεν εφαρμόζεται
3	Δεν εφαρμόζεται
4	300
5	1000
X ^a	Ειδική

^a Το επίπεδο X μπορεί να είναι οποιοδήποτε επίπεδο, μεγαλύτερο, μικρότερο ή ανάμεσα στα άνωθεν επίπεδα. Αυτό είναι δυνατό να προσδιοριστεί από τις προδιαγραφές του εξοπλισμού.

Πίνακας 3.25 : Επίπεδα δοκιμών για πεδίο βραχείας διάρκειας: 1s έως 3s ^[42].

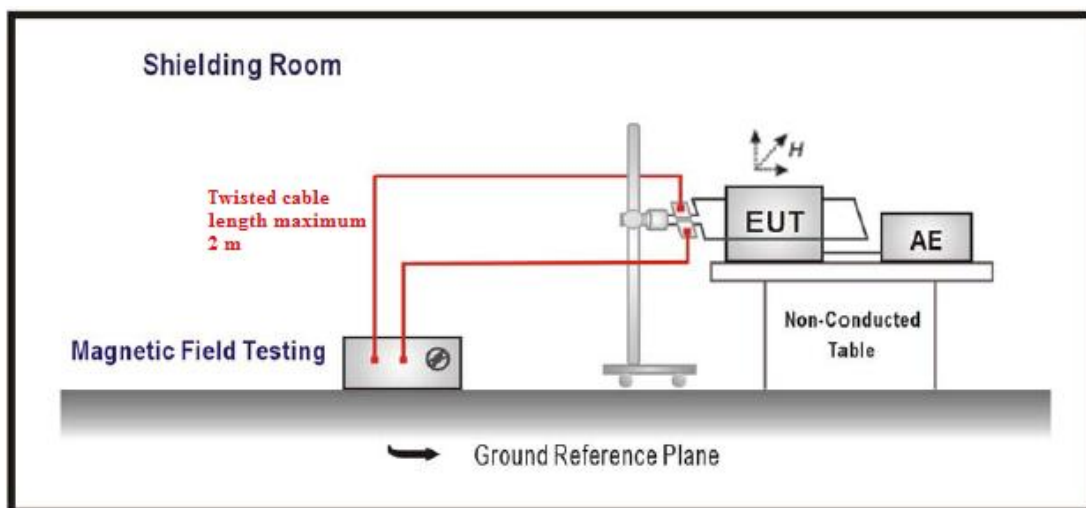
3.7.3 Συσκευή δοκιμών ^[42]

Σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-8 το μαγνητικό πεδίο δοκιμής επιτυγχάνεται από ένα ρεύμα που διαρρέει ένα πηνίο επαγωγής και η εφαρμογή του πεδίου δοκιμής στο δοκίμιο υπό εξέταση γίνεται με τη μέθοδο βύθισης. Ένα παράδειγμα της μεθόδου βύθισης δίνεται στο Σχήμα 3.64.



Σχήμα 3.64: Παράδειγμα εφαρμογής του πεδίου δοκιμής με τη μέθοδο βύθισης ^[42].

Η συσκευή δοκιμής περιλαμβάνει την πηγή ρεύματος (γεννήτρια δοκιμής), το πηνίο επαγωγής και τα βοηθητικά όργανα (μέτρησης) δοκιμής, τα οποία φαίνονται στο Σχήμα 3.65.



Σχήμα 3.65: Παράδειγμα διάταξης δοκιμής για επιτραπέζιο εξοπλισμό ^[58].

3.7.3.1 Γεννήτρια δοκιμής

Η γεννήτρια δοκιμής ως πηγή ρεύματος της διάταξης τυπικά αποτελείται από ένα ρυθμιστή τάσης (συνδεδεμένο στο δίκτυο διανομής της τροφοδοσίας), ένα μετασχηματιστή ρεύματος και ένα κύκλωμα για τον έλεγχο της εφαρμογής βραχείας διάρκειας.

Η γεννήτρια πρέπει να είναι ικανή να λειτουργεί σε τρόπο συνεχή ή βραχείας διάρκειας.

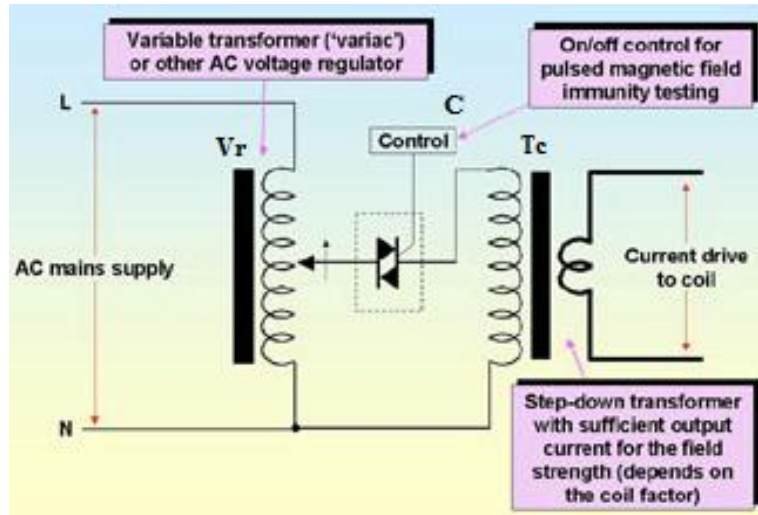
Η σύνδεση μεταξύ του μετασχηματιστή ρεύματος και του πηνίου επαγωγής πρέπει να είναι όσον το δυνατό πιο βραχεία, ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία μαγνητικών πεδίων λόγω του ρεύματος σύνδεσης τους και να επηρεάσουν το μαγνητικό πεδίο της δοκιμής. Είναι προτιμώμενο τα καλώδια να είναι συνεστραμμένα μεταξύ τους.

Χαρακτηριστικά και επίδοση της γεννήτριας δοκιμής σε διαφορετικά πηνία επαγωγής

	Με τυποποιημένο τετραγωνικό πηνίο 1 σπείρας, 1 m × 1 m	Με τυποποιημένο ορθογώνιο πηνίο 1 σπείρας, 1 m × 2.6 m	Άλλα επαγωγικά πηνία
Εύρος ρεύματος εξόδου συνεχούς λειτουργίας	1 A ÷ 120 A	1 A ÷ 160 A	Όπως απαιτείται για να επιτευχθεί η ένταση του μαγνητικού πεδίου στον Πίνακα 3.27
Εύρος ρεύματος εξόδου για λειτουργία βραχείας διάρκειας	320 A ÷ 1200 A	500 A ÷ 1600 A	Όπως απαιτείται για να επιτευχθεί η ένταση του μαγνητικού πεδίου στον Πίνακα 3.27
Κυματομορφή ρεύματος / μαγνητικού πεδίου	Ημιτονοειδής	Ημιτονοειδής	Ημιτονοειδής
Παράγοντας παραμόρφωσης ρεύματος	≤ 8%	≤ 8%	≤ 8%
Συνεχής λειτουργία	Μέχρι 8 ώρες	Μέχρι 8 ώρες	Μέχρι 8 ώρες
Λειτουργία βραχείας διάρκειας	1 sec ÷ 3 sec	1 sec ÷ 3 sec	1 sec ÷ 3 sec
Έξοδος μετασχηματιστή	Ελεύθερη, μη συνδεδεμένη στη γείωση	Ελεύθερη, μη συνδεδεμένη στη γείωση	Ελεύθερη, μη συνδεδεμένη στη γείωση

Πίνακας 3.26: Προδιαγραφές γεννήτριας δοκιμής σε διαφορετικά πηνία δοκιμής ^[42].

Το σχηματικό διάγραμμα της γεννήτριας δίνεται στο Σχήμα 3.66.



V_r : ρυθμιστής τάσης

C: κύκλωμα ελέγχου

T_c : μετασχηματιστής ρεύματος

Σχήμα 3.66: Σχηματικό διάγραμμα της γεννήτριας δοκιμής για μαγνητικό πεδίο βιομηχανικής συχνότητας ^[59].

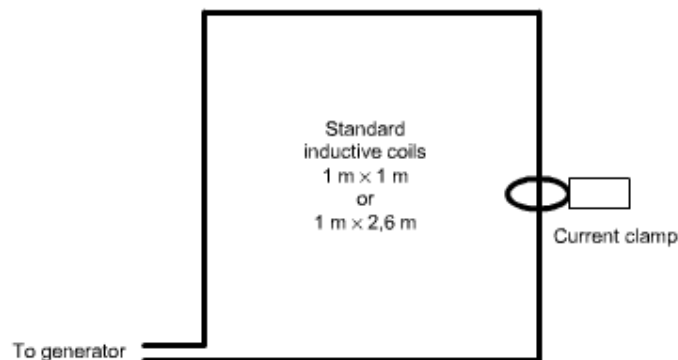
Επαλήθευση των χαρακτηριστικών της γεννήτριας δοκιμών

Προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα για διαφορετικές γεννήτριες δοκιμής, πρέπει να επαληθευτούν τα ουσιαστικά χαρακτηριστικά των παραμέτρων του ρεύματος μέσα στα τυποποιημένα επαγωγικά πηνία.

Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να επαληθεύονται είναι:

- η τιμή ρεύματος μέσα στα τυποποιημένα επαγωγικά πηνία,
- η ένταση του πεδίου σε άλλα επαγωγικά πηνία,
- ο παράγοντας ολικής παραμόρφωσης στα επαγωγικά πηνία.

Για τα τυποποιημένα επαγωγικά πηνία, οι επαληθεύσεις πρέπει να γίνονται με αμπεροτσιμπίδα και όργανα μέτρησης που έχουν ακρίβεια καλύτερη από $\pm 2\%$. Το Σχήμα 3.67 παρουσιάζει τη διάταξη επαλήθευσης και ο Πίνακας 3.27 τους παραμέτρους για επαλήθευση διαφορετικών επαγωγικών πηνίων.



Σχήμα 3.67: Επαλήθευση τυποποιημένων πηνίων ^[42].

Για άλλα επαγωγικά πηνία, η επαλήθευση πρέπει με μετρητή της έντασης του πεδίου που να έχει ακρίβεια $< \pm 1$ dB.

Επίπεδο δοκιμής Πίνακα 3.20	Τιμές ρεύματος για το τυποποιημένο πηνίο, 1 m × 1 m (A)	Τιμές ρεύματος για το τυποποιημένο πηνίο, 1 m × 2.6 m (A)	Ένταση πεδίου (στο μέσο) για άλλα επαγωγικά πηνία (A/m)
1	1.15	1.51	1
2	3.45	4.54	3
3	11.5	15.15	10
4	34.48	45.45	30
5	114.95	151.5	100

Πίνακας 3.27: Επαλήθευση παραμέτρων για διαφορετικά επαγωγικά πηνία ^[42].

3.7.3.2 Πηνίο επαγωγής

Κατανομή πεδίου

Για τα δύο τυποποιημένα πηνία μίας σπείρας 1 m × 1 m και 1 m × 2.6 m, η κατανομή του πεδίου είναι γνωστή και επομένως, δεν χρειάζεται επαλήθευση ή βαθμονόμηση του πεδίου και η μέτρηση του ρεύματος είναι ικανοποιητική όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.67.

Όσον αφορά άλλα πηνία όπως αυτά πολλαπλών σπειρών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να έχουμε ένα μικρότερο ρεύμα δοκιμής. Επιπλέον, ανάλογα με το μέγεθος του δοκιμίου υπό εξέταση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πηνία επαγωγής διαφορετικών διαστάσεων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η κατανομή του πεδίου (μέγιστη αποδεκτή μεταβολή ± 3 dB) πρέπει να επαληθεύεται.

Χαρακτηριστικά των τυποποιημένων πηνίων επαγωγής 1m × 1m και 1m × 2.6m

Η επαγωγή για το τυποποιημένο πηνίο 1 m × 1 m μίας σπείρας είναι περίπου 2.5 μH και για το τυποποιημένο πηνίο 1 m × 2.6 m περίπου 6 μH.

Το πηνίο επαγωγής πρέπει να είναι από χαλκό, αλουμίνιο ή οποιοδήποτε άλλο αγώγιμο μη μαγνητικό υλικό, τέτοιας διατομής και μηχανικής διάταξης ώστε να διευκολύνει τη σταθερή τοποθέτηση του κατά τη διάρκεια των δοκιμών. Για συνεχείς δοκιμές μέχρι 100 A/m η διατομή του αλουμινίου πρέπει να είναι 1.5 cm² και για δοκιμές βραχείας διάρκειας μέχρι 1000 A/m η διατομή πρέπει να είναι 4 cm².

Η ακρίβεια στις διαστάσεις των τυποποιημένων πηνίων πρέπει να είναι ± 1 cm, μετρούμενη από το κέντρο της διατομής τους.

Χαρακτηριστικά των πηνίων επαγωγής για επιτραπέζιο και επιδαπέδιο εξοπλισμό

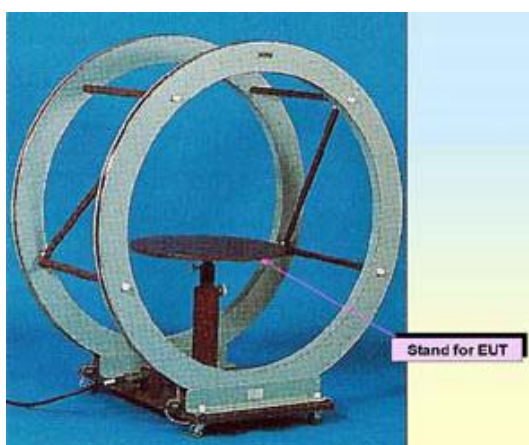
A) Πηνίο επαγωγής για επιτραπέζια συσκευή

Το πηνίο επαγωγής τυποποιημένων διαστάσεων για δοκιμές μικρών συσκευών (π.χ. θόνες υπολογιστών, μετρητές βαττών κτλ) έχει τετραγωνική μορφή με πλευρά 1

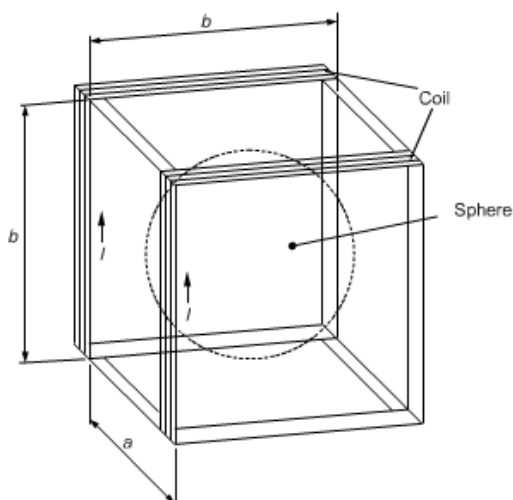
m. Ο όγκος δοκιμής του τυποποιημένου τετραγωνικού πηνίου είναι $0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ (ύψος).

Οποιοδήποτε άλλο πηνίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να επιτύχουμε μια ομοιογένεια πεδίου, καλύτερη από 3 dB. Για παράδειγμα, ένα διπλό πηνίο τυποποιημένου μεγέθους (πηνίο Helmholtz) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να επιτύχουμε ομοιογένεια πεδίου καλύτερη από 3 dB ή για εξέταση δοκιμών μεγαλύτερων διαστάσεων. Το διπλό αυτό πηνίο πρέπει να αποτελείται από δύο ή περισσότερες σειρές σπειρών, που απέχουν όσο πρέπει (βλ. Σχήμα 3.68 και Σχήμα 3.69). Ο όγκος δοκιμής του διπλού πηνίου τυποποιημένου μεγέθους με διάστημα 0.8 m , για ομοιογένεια 3 dB είναι $0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ (ύψος). Για παράδειγμα, τα πηνία Helmholtz, για ομοιογένεια 0.2 dB, έχουν διαστάσεις και αποστάσεις διαχωρισμού όπως δίνονται στο Σχήμα 3.69.

Τέλος, δεν επιτρέπεται να υπάρχει GRP ούτε ως μέρος του πηνίου ούτε πάνω στο μονωτικό τραπέζι κάτω από το δοκίμιο (βλ. Σχήμα 3.65).



Σχήμα 3.68: Φωτογραφία του πηνίου Helmholtz ^[59].



n: αριθμός σπειρών σε κάθε πηνίο

b: πλευρά των πηνίων (m)

H: ένταση μαγνητικού πεδίου (A/m)

(με $a=b/2.5$ η ανομοιογένεια της έντασης του μαγνητικού πεδίου είναι $\pm 0.2 \text{ dB}$).

a: διαχωρισμός των πηνίων

I: τιμή ρεύματος (A)

H: $1.22 \times n/b \times I$

Σχήμα 3.69: Επεξήγηση των πηνίων Helmholtz ^[42].

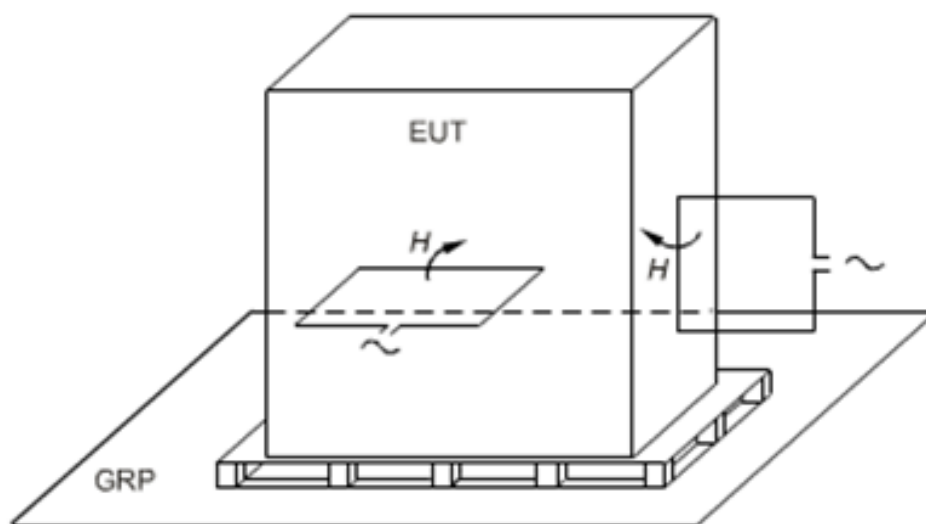
B) Πηνίο επαγωγής για επιδαπέδια συσκευή

Το πηνίο επαγωγής τυποποιημένων διαστάσεων για δοκιμές επιδαπέδιου εξοπλισμού (π.χ. ράγες κτλ) έχει τετραγωνική μορφή με πλευρά 1 m και ύψος 2.6 m. Ο όγκος δοκιμής του τυποποιημένου τετραγωνικού πηνίου είναι 0.6 m × 2 m (ύψος) × 0.6 m.

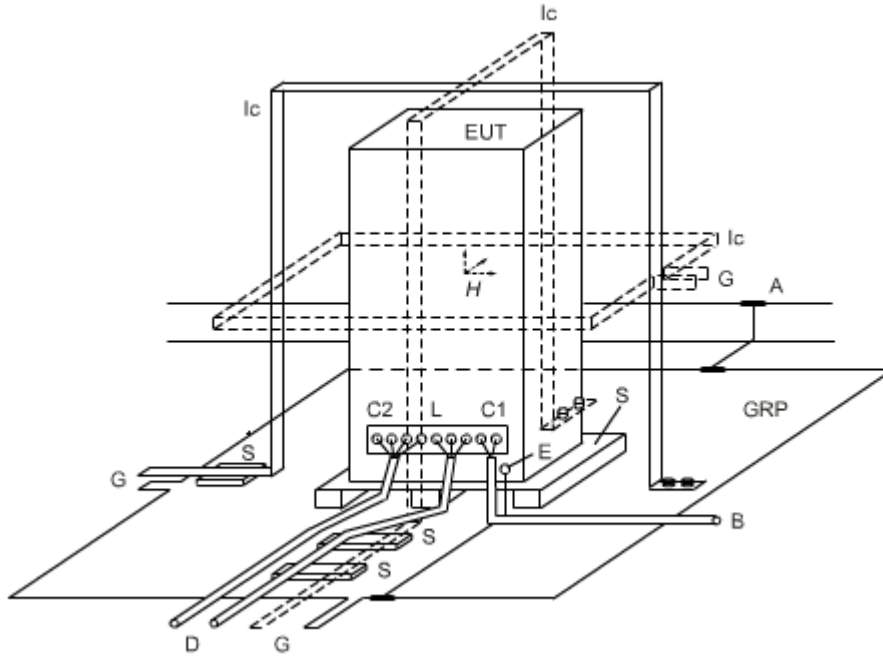
Όταν ένα δοκίμιο υπό εξέταση δεν χωράει στο τυποποιημένο πηνίο επαγωγής 1 m × 2.6 m, η επιτροπή προϊόντος πρέπει να επιλέγει τη μέθοδο δοκιμής: είτε με τη μέθοδο προσέγγισης με το τυποποιημένο πηνίο επαγωγής μίας σπείρας 1 m × 1 m (Σχήμα 3.70) είτε να κατασκευάζονται επαγωγικά πηνία σύμφωνα με τις διαστάσεις του δοκιμίου και το διαφορετικό προσανατολισμό του μαγνητικού πεδίου. Τα μεγάλα επαγωγικά πηνία αν και δίνουν πολύ συγκρίσιμα αποτελέσματα είναι συνήθως μη πρακτικά στην κατασκευή. Σε αυτή την περίπτωση η μέθοδος προσέγγισης μπορεί να φανεί χρήσιμη.

Το GRP παρίσταται όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.71.

Στο Σχήμα 3.72 δίνεται η ελάχιστη απόσταση μεταξύ του πηνίου και της συσκευής υπό δοκιμή, η οποία πρέπει να είναι το 1/3 των διαστάσεων της συσκευής (εάν η συσκευή είναι ορθογώνια με πλευρές A και B απαιτείται ένα πηνίο διαστάσεων 5/3xA και 5/3xB).

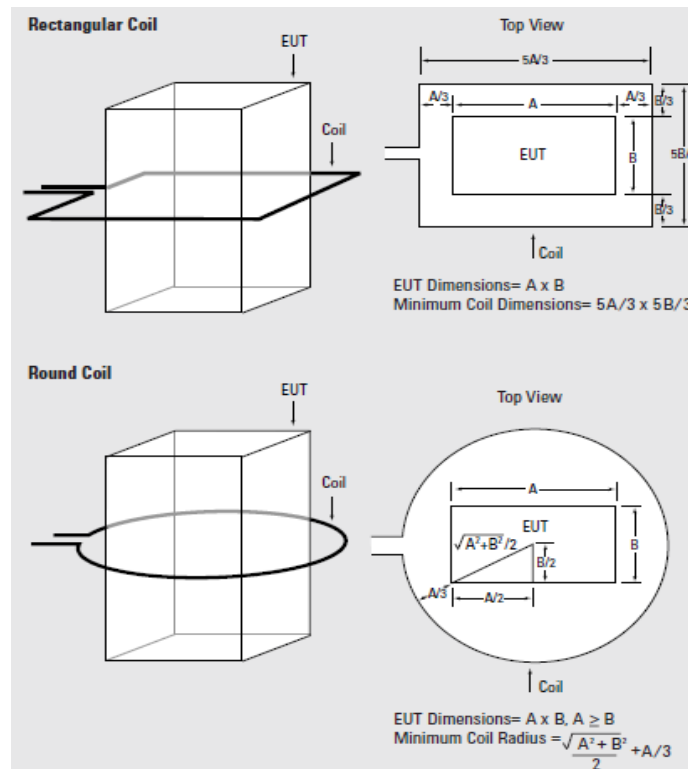


Σχήμα 3.70: Παράδειγμα διερεύνησης επιδεκτικότητας σε μαγνητικό πεδίο με τη μέθοδο της αμεσότητας σε επαγωγικό πηνίο 1 m × 1 m^[42].

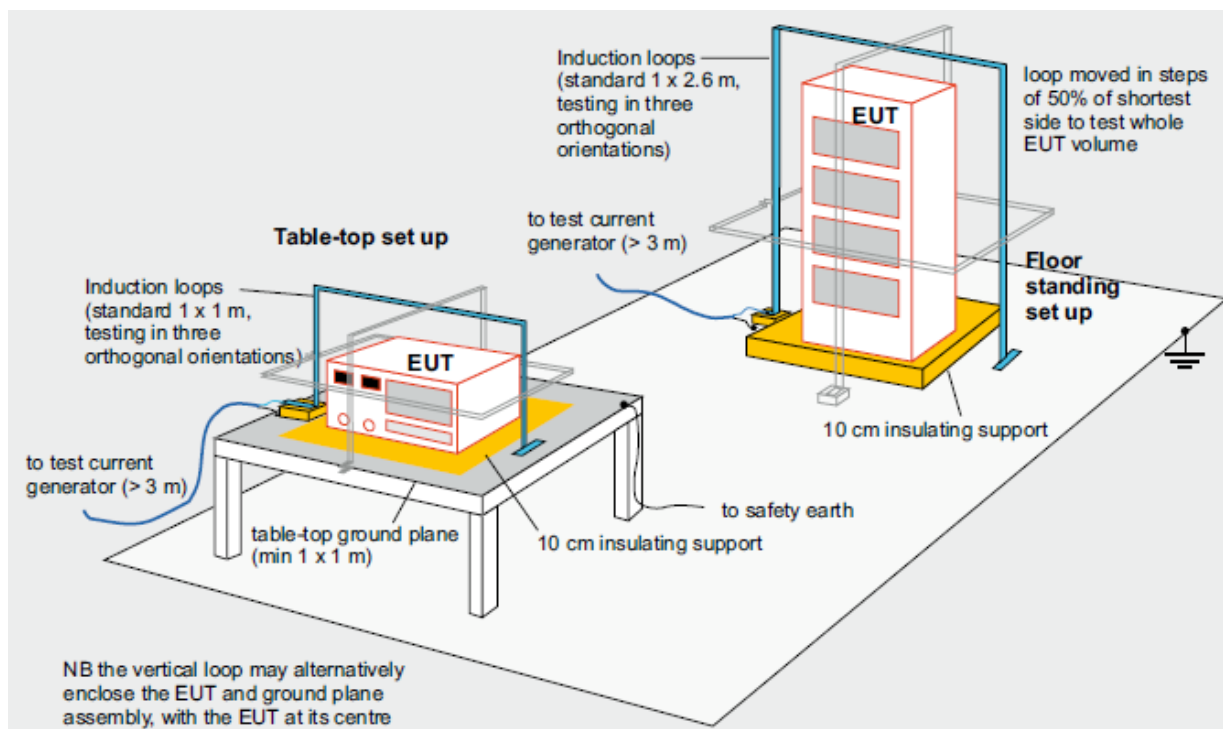


- GRP: εδαφικό επίπεδο
- A: ασφάλεια γης
- S: μονωτικό υποστήριγμα
- EUT: συσκευή υπό δοκιμή
- Ic: πηνίο επαγωγής
- E: ακροδέκτης γης
- C1: κύκλωμα τροφοδοτικού
- C2: κύκλωμα σήματος
- L: γραμμή επικοινωνίας
- B: προς πηγή τροφοδοτικού
- D: προς πηγή σήματος, προσομοιωτή
- G: προς γεννήτρια δοκιμής

Σχήμα 3.71: Παράδειγμα διάταξης δοκιμής για επιδαπέδια συσκευή ^[42].



Σχήμα 3.72: Ελάχιστη απόσταση μεταξύ της επιδαπέδιας συσκευής υπό δοκιμή και του πηνίου ^[60].



Σχήμα 3.73: Διάταξη δοκιμών για επιτραπέζιο και επιδαπέδιο εξοπλισμό με τις απαιτούμενες αποστάσεις ^[61].

Βαθμονόμηση του πηνίου επαγωγής – Παράγοντας πηνίου

Για να είναι δυνατό να συγκριθούν τα αποτελέσματα δοκιμής από διαφορετικές συσκευές δοκιμής, ο παράγοντας του πηνίου (δίνει την τιμή ρεύματος που πρέπει να εισέλθει στο πηνίο ώστε να ληφθεί το απαιτούμενο μαγνητικό πεδίο δοκιμής – H/I) πρέπει να μετράται χωρίς τη συσκευή υπό δοκιμή, σε συνθήκη ελεύθερου χώρου.

Για τα δύο τυποποιημένα πηνία μίας σπείρας 1 m × 1 m και 1 m × 2.6 m, η κατανομή του πεδίου όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως είναι γνωστή και επομένως, δεν χρειάζεται επαλήθευση ή βαθμονόμηση του πεδίου και η μέτρηση του ρεύματος είναι ικανοποιητική όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.67.

Για όλα τα υπόλοιπα επαγωγικά πηνία πρέπει να γίνεται η ακόλουθη διαδικασία. Ένα πηνίο επαγωγής σωστών διαστάσεων για τις διαστάσεις της συσκευής υπό δοκιμή, πρέπει να τοποθετείται σε ελάχιστη απόσταση 1 m από τον τοίχο του εργαστηρίου και κάθε μαγνητικό υλικό, χρησιμοποιώντας μονωτικά υποστηρίγματα, και πρέπει να συνδέεται στη γεννήτρια δοκιμής όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3.7.3.1. Πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλοι αισθητήρες μαγνητικού πεδίου για να επαληθευτεί η ένταση του μαγνητικού πεδίου που παράγεται από το πηνίο επαγωγής. Ο αισθητήρας πεδίου πρέπει να τοποθετείται στο κέντρο του πηνίου επαγωγής (χωρίς την συσκευή υπό δοκιμή) και με κατάλληλο προσανατολισμό για να ανιχνεύει τη μέγιστη τιμή του πεδίου. Το ρεύμα στο πηνίο επαγωγής πρέπει να ρυθμίζεται για να λαμβάνεται η μέγιστη ένταση πεδίου που προδιαγράφεται από τη στάθμη δοκιμής. Η βαθμονόμηση πρέπει να εκτελείται στη βιομηχανική συχνότητα και η όλη διαδικασία βαθμονόμησης πρέπει να εκτελείται με τη γεννήτρια δοκιμής

και το πηνίο επαγωγής. Έτσι, ο παράγοντας πηνίου καθορίζεται (και επαληθεύεται) με την παραπάνω διαδικασία.

3.7.3.3 Όργανα (μέτρησης) δοκιμής και βοηθητικά

Όργανα (μέτρησης) δοκιμής

Τα όργανα (μέτρησης) δοκιμής περιλαμβάνουν το σύστημα μετρήσεων ρεύματος (αισθητήρες και όργανο) για να ρυθμιστεί και να μετρηθεί το ρεύμα που εισέρχεται στο πηνίο επαγωγής. Το σύστημα μέτρησης ρεύματος είναι ένα διακριβωμένο αμπερόμετρο ή αμπεροτσιμπίδα.

Η ορθότητα των οργάνων μέτρησης πρέπει να είναι $\pm 2\%$.

Βοηθητικά όργανα μέτρησης

Τα βοηθητικά όργανα μέτρησης περιλαμβάνουν ένα προσομοιωτή και κάθε άλλο όργανο απαραίτητο για τη λειτουργία και επαλήθευση των λειτουργικών προδιαγραφών της συσκευής υπό δοκιμή.

3.7.4 Διάταξη δοκιμής ^[42]

Η διάταξη δοκιμής περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία:

- εδαφικό επίπεδο (αναφοράς) (GRP)
- συσκευή υπό δοκιμή (EUT)
- πηνίο επαγωγής
- γεννήτρια δοκιμής

Πρέπει να λαμβάνονται προφυλάξεις αν το μαγνητικό πεδίο δοκιμής μπορεί να προκαλεί παρεμβολή στα όργανα δοκιμής και σε άλλες ευαίσθητες συσκευές στην εγγύς περιοχή της διάταξης δοκιμής.

Παραδείγματα διατάξεων δοκιμής δίνονται στα Σχήματα 3.65 και 3.71 για επιτραπέζια και επιδαπέδια συσκευή αντίστοιχα αλλά και στο Σχήμα 3.73.

3.7.4.1 Εδαφικό επίπεδο αναφοράς (GRP) για επιδαπέδιο εξοπλισμό

Το εδαφικό επίπεδο (GRP) πρέπει να τοποθετείται στο εργαστήριο και η συσκευή υπό δοκιμή καθώς και η βοηθητική συσκευή δοκιμής να τοποθετούνται πάνω σε αυτό και να συνδέονται σε αυτό ή στη θύρα γείωσης.

Το εδαφικό επίπεδο πρέπει να είναι μη μαγνητικό φύλλο μετάλλου (χαλκός ή αλουμίνιο) ελάχιστου πάχους 0.25 mm. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα μέταλλα αλλά σε αυτή την περίπτωση πρέπει να έχουν ελάχιστο πάχος 0.65 mm.

Το ελάχιστο μέγεθος του εδαφικού επιπέδου είναι 1 m × 1 m. Το τελικό μέγεθος εξαρτάται από τις διαστάσεις της συσκευής υπό δοκιμή.

Το εδαφικό επίπεδο πρέπει να συνδέεται στο σύστημα γείωσης του εργαστηρίου.

3.7.4.2 Υπό δοκιμή συσκευή

Η συσκευή είναι διαρθρωμένη και συνδεδεμένη για να ικανοποιεί τις λειτουργικές της απαιτήσεις. Οι επιδαπέδιες συσκευές πρέπει να τοποθετούνται πάνω στο εδαφικό επίπεδο αναφοράς με παρεμβολή ενός μονωτικού υποστηρίγματος πάχους 0.1 m (π.χ. στεγνό ξύλο), ενώ για επιτραπέζιες συσκευές η διάταξη φαίνεται στο Σχήμα 3.65.

Τα κελύφη της συσκευής τα οποία μπορούν να γειώνονται πρέπει να συνδέονται στη γη ασφαλείας απευθείας πάνω στο εδαφικό επίπεδο αναφοράς ή μέσω του ακροδέκτη γης στη γείωση προστασίας.

Τα κυκλώματα τροφοδοτικού, εισόδου και εξόδου πρέπει να συνδέονται στις πηγές τροφοδοτικού, ελέγχου και σήματος.

Πρέπει να χρησιμοποιούνται τα καλώδια τα οποία παρέχονται ή συνιστώνται από τον κατασκευαστή της συσκευής. Εν απουσία οποιοδήποτε συστάσεων, πρέπει να υιοθετούνται αθωράκιστα καλώδια, ενός τύπου κατάλληλου για τα εμπλεκόμενα σήματα. Όλα τα καλώδια πρέπει να εκτίθενται στο μαγνητικό πεδίο για 1 m του μήκους τους.

Τα φίλτρα αντεπιστροφής, αν υπάρχουν, πρέπει να παρεμβάλλονται στα κυκλώματα σε μήκη καλωδίου 1 m από τη συσκευή υπό δοκιμή και να συνδέονται στο εδαφικό επίπεδο.

Οι γραμμές επικοινωνίας (γραμμές δεδομένων) πρέπει να συνδέονται στη συσκευή υπό δοκιμή με καλώδια που δίνονται στην τεχνική προδιαγραφή ή στο Πρότυπο για αυτή την εφαρμογή.

3.7.4.3 Γεννήτρια δοκιμής

Η γεννήτρια δοκιμής δεν πρέπει να επηρεάζει το μαγνητικό πεδίο και επομένως να μην τοποθετείται κοντά στο πηνίο επαγωγής (≥ 3 m).

3.7.4.4 Πηνίο επαγωγής

Το πηνίο επαγωγής, του τύπου που προδιαγράφεται στην παράγραφο 3.7.3.2 για τα χαρακτηριστικά των τυποποιημένων πηνίων επαγωγής 1 m \times 1 m και 1 m \times 2.6 m, πρέπει να περικλείει τη συσκευή υπό δοκιμή τοποθετημένη στο κέντρο του.

Διαφορετικά πηνία επαγωγής μπορούν να επιλέγονται για δοκιμές στις διαφορετικές ορθογώνιες κατευθύνσεις, σύμφωνα με τα γενικά κριτήρια που προδιαγράφονται στην παράγραφο 3.7.3.2 (Χαρακτηριστικά των πηνίων επαγωγής για επιτραπέζιο και επιδαπέδιο εξοπλισμό).

Το πηνίο επαγωγής πρέπει να συνδέεται στη γεννήτρια δοκιμής με όμοιο τρόπο όπως για τη διαδικασία βαθμονόμησης που προδιαγράφεται στην παράγραφο 3.7.3.2 (Βαθμονόμηση του πηνίου επαγωγής – Παράγοντας πηνίου).

Το πηνίο επαγωγής που επιλέγεται για τις δοκιμές πρέπει να προδιαγράφεται στο σχέδιο δοκιμής.

3.8 Επισκόπηση του Προτύπου IEC 61000-4-9 Ed. 1.1 (2001-03)

Το Πρότυπο αυτό [43] αναφέρεται στις απαιτήσεις ατρωσίας εξοπλισμού, μόνο υπό λειτουργικές συνθήκες, από παλμικές μαγνητικές διαταραχές που σχετίζονται με:

- βιομηχανικές εγκαταστάσεις και εργοστάσια ηλεκτρισμού,
- υποσταθμοί μέσης και υψηλής τάσης.

Αυτό το Πρότυπο δεν θεωρεί διαταραχές λόγω χωρητικής ή επαγωγικής σύζευξης σε καλώδια ή άλλα μέρη της εγκατάστασης του πεδίου. Αυτές οι πτυχές καλύπτονται από άλλα Πρότυπα IEC που ασχολούνται με αγόμενες διαταραχές.

Το αντικείμενο αυτού του προτύπου είναι να δημιουργήσει μια κοινή αναπαραγωγίμη βάση για την αποτίμηση της επίδοσης οικιακών ηλεκτρικών συσκευών, εμπορικών και βιομηχανικών εφαρμογών όταν υποβάλλονται σε παλμικά μαγνητικά πεδία.

3.8.1 Γενικά ^[43]

Τα μαγνητικά πεδία στα οποία υπόκειται μια συσκευή μπορούν να επηρεάζουν την αξιόπιστη λειτουργία συσκευών και συστημάτων. Οι ακόλουθες δοκιμές σχεδιάζονται για να επιτευχθεί η ατρωσία της συσκευής όταν υπόκειται σε παλμικά μαγνητικά πεδία σχετιζόμενα με τη θέση και με την ειδική κατάσταση εγκατάστασης της συσκευής (π.χ. εγγύτητα της συσκευής σε πηγή διαταραχής).

Το παλμικό μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από εκκενώσεις κεραυνού σε κτήρια και άλλες μεταλλικές κατασκευές συμπεριλαμβανομένου εναέριους ιστούς, αγωγούς και διατάξεις γείωσης και μεταβατικά σφάλματα σε ηλεκτρικά συστήματα χαμηλής, μέσης και υψηλής τάσης. Σε υποσταθμούς υψηλής τάσης, ένα παλμικό μαγνητικό πεδίο μπορεί επίσης να δημιουργηθεί με το χειρισμό ζυγών και γραμμών τροφοδοσίας από διακόπτες του κυκλώματος.

Η δοκιμή είναι κυρίως εφαρμόσιμη σε ηλεκτρονικό εξοπλισμό που εγκαθίσταται σε εργοστάσια ηλεκτρισμού όπως και σε κέντρα τηλεχειρισμού. Δεν σχετίζεται με εξοπλισμό σε δίκτυα διανομής. Επίσης είναι δυνατόν η δοκιμή αυτή να είναι εφαρμόσιμη και σε άλλες περιπτώσεις που ορίζονται από τις επιτροπές προϊόντος.

Η κυματομορφή του πεδίου δοκιμής είναι αυτή του πρότυπου παλμικού ρεύματος 6.4/16 μ s.

3.8.2 Επίπεδα δοκιμών ^[43]

Το προτιμώμενο εύρος των επιπέδων δοκιμής δίνεται στον Πίνακα 3.28.

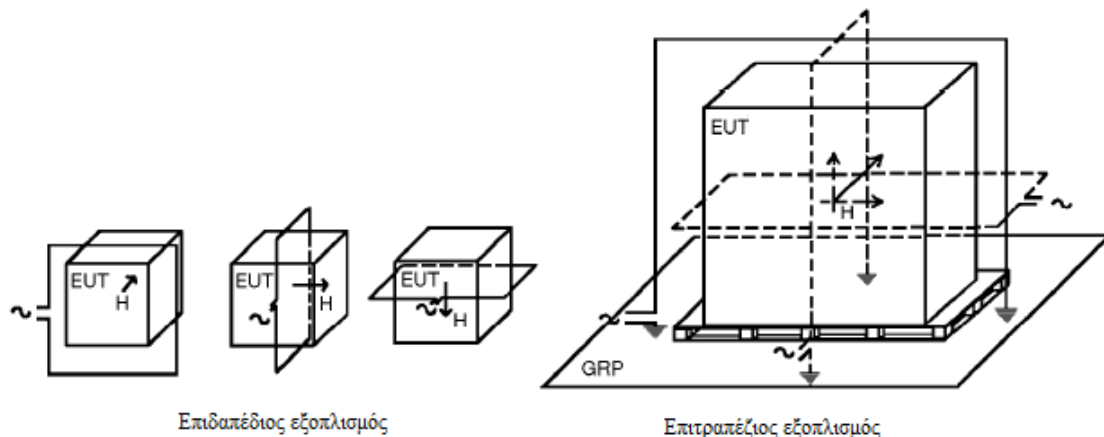
Επίπεδο	Ένταση παλμικού μαγνητικού πεδίου (A/m) [μέγιστο]
1	Δεν εφαρμόζεται
2	Δεν εφαρμόζεται
3	100
4	300
5	1000
X ^a	Ειδική

^a Το επίπεδο X μπορεί να είναι οποιοδήποτε επίπεδο. Αυτό είναι δυνατό να προσδιοριστεί από τις προδιαγραφές του εξοπλισμού.

Πίνακας 3.28: Επίπεδα δοκιμών ^[43].

3.8.3 Συσκευή δοκιμών ^[43]

Σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-9 το μαγνητικό πεδίο δοκιμής επιτυγχάνεται από ένα ρεύμα που διαρρέει ένα πηνίο επαγωγής και η εφαρμογή του πεδίου δοκιμής στο δοκίμιο υπό εξέταση γίνεται με τη μέθοδο βύθισης. Ένα παράδειγμα της μεθόδου βύθισης δίνεται στο Σχήμα 3.74.



Σχήμα 3.74: Παράδειγμα εφαρμογής του πεδίου δοκιμής με τη μέθοδο βύθισης ^[43].

Η συσκευή δοκιμής περιλαμβάνει την πηγή ρεύματος (γεννήτρια δοκιμής), το πηνίο επαγωγής και τα βοηθητικά όργανα (μέτρησης) δοκιμής.

3.8.3.1 Γεννήτρια δοκιμής

Η γεννήτρια, με την κυματομορφή εξόδου που αντιστοιχεί στο μαγνητικό πεδίο δοκιμής, πρέπει να είναι ικανή να μεταφέρει το απαιτούμενο ρεύμα στα πηνία επαγωγής που καθορίζονται στην παράγραφο 3.8.3.2.

Η ικανότητα ισχύος της γεννήτριας πρέπει επομένως να καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη την εμπέδηση του πηνίου. Η επαγωγή μπορεί να κυμαίνεται από 2.5 μH για τυποποιημένο πηνίο 1 m, σε μερικά μH (π.χ. 6 μH) για ένα τυποποιημένο ορθογώνιο πηνίο (1 m \times 2.6 m, βλ. παράγραφο 3.8.3.2).

Οι προδιαγραφές της γεννήτριας είναι:

- η ικανότητα ρεύματος, που καθορίζεται από το μέγιστο επιλεγμένο επίπεδο δοκιμής και τον παράγοντα του πηνίου επαγωγής, που κυμαίνεται από 0.87 m^{-1} (τυποποιημένο πηνίο 1 m για επιτραπέζιο εξοπλισμό ή μικρές συσκευές) έως 0.66 m^{-1} (τυποποιημένο ορθογώνιο πηνίο 1 m × 2.6 m για επιδαπέδιο εξοπλισμό ή μεγάλες συσκευές),
- η λειτουργικότητα σε συνθήκες βραχυκύκλωσης,
- η μικρή τιμή εμπέδησης εξόδου του ακροδέκτη που συνδέεται στον ακροδέκτη γείωσης (για σύνδεση στο σύστημα ασφάλειας γης του εργαστηρίου),
- οι προφυλάξεις για την αποφυγή εκπομπών μεγάλων διαταραχών που μπορούν να εισέλθουν στο ηλεκτρικό δίκτυο ή μπορούν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα της δοκιμής.

Χαρακτηριστικά και επίδοση της γεννήτριας

Η γεννήτρια δοκιμής είναι μια μη επαναλαμβανόμενη (single shot) γεννήτρια παλμικού ρεύματος με τα πιο κάτω χαρακτηριστικά:

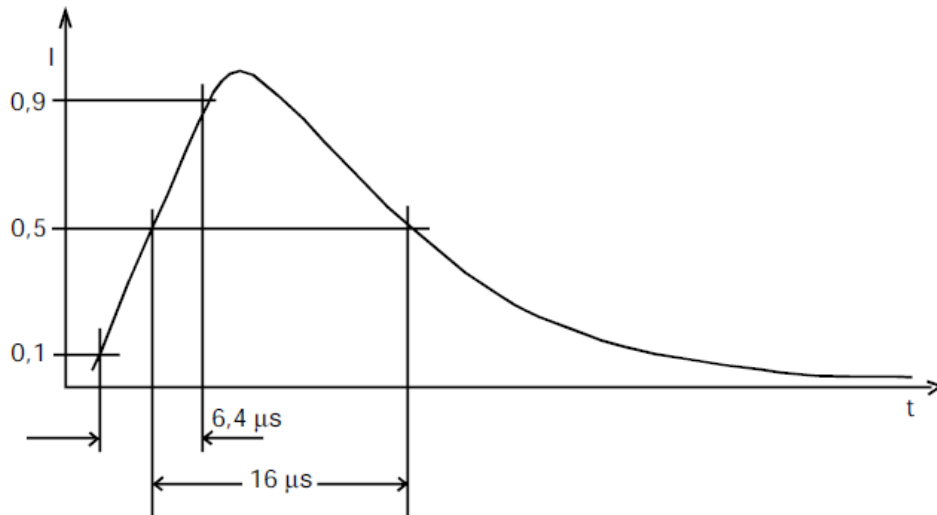
Πολικότητα	Θετική και αρνητική
Σχέση φάσης με τη συχνότητα τροφοδοσίας	Συγχρονισμένη από 0° έως 360° με βήματα 10°
Συγχρονισμός	Ενεργοποιημένος από εξωτερικό σήμα
Χρόνος ανόδου	$6.4 \mu\text{s} \pm 30\%$
Διάρκεια	$16 \mu\text{s} \pm 30\%$
Εύρος ρεύματος εξόδου	100 A έως 1000 A, διαιρεμένο με το παράγοντα του πηνίου

Πίνακας 3.29: Προδιαγραφές γεννήτριας δοκιμής^[43].

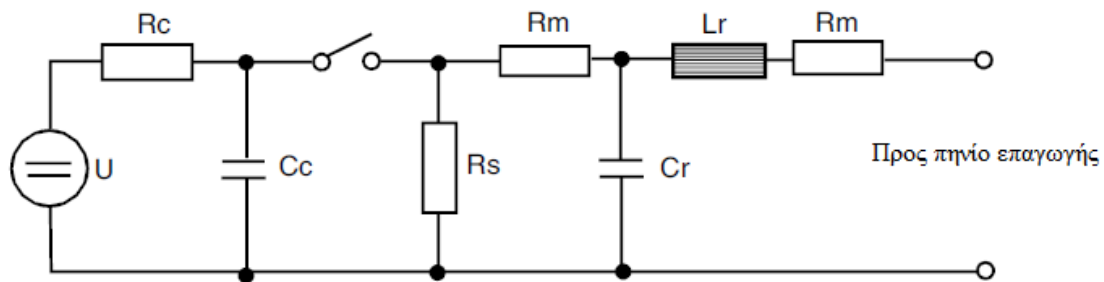
Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί μια τυποποιημένη γεννήτρια παλμικού ρεύματος όπως την υβριδική γεννήτρια υπερτάσεων (κυματομορφής 1.2/50 – 6.4/16 μs).

Το εύρος του μέγιστου του ρεύματος εξόδου για το τυποποιημένο πηνίο είναι 120 A έως 1200 A.

Η κυματομορφή του ρεύματος εξόδου και το σχηματικό διάγραμμα της γεννήτριας δίνονται στα Σχήματα 3.75 και 3.76 αντίστοιχα.



Σχήμα 3.75: Κυματομορφή ρεύματος της γεννήτριας δοκιμής για παλμικό μαγνητικό πεδίο (6.4/16 μs)^[43].



Σχήμα 3.76: Κυκλωματικό διάγραμμα της γεννήτριας δοκιμής για παλμικό μαγνητικό πεδίο (6.4/16 μs)^[43].

U : πηγή υψηλής τάσης

R_C : αντίσταση φόρτισης

C_C : πυκνωτής αποθήκευσης ενέργειας

L_r : πηνίο διαμόρφωσης χρόνου ανόδου

R_m : αντίσταση προσαρμογής εμπέδησης

R_S : αντίσταση διαμόρφωσης διάρκειας παλμού

Επαλήθευση των χαρακτηριστικών της γεννήτριας δοκιμών

Προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα για διαφορετικές γεννήτριες δοκιμής, πρέπει να επαληθευτούν τα ουσιαστικά χαρακτηριστικά των παραμέτρων του ρεύματος εξόδου.

Το ρεύμα εξόδου πρέπει να επαληθεύεται με τη γεννήτρια συνδεδεμένη στο τυποποιημένο επαγωγικό πηνίο και η σύνδεση αυτή να γίνεται με συνεστραμμένους αγωγούς ή ομοαξονικό καλώδιο μέχρι 3 m μήκος και κατάλληλης διατομής.

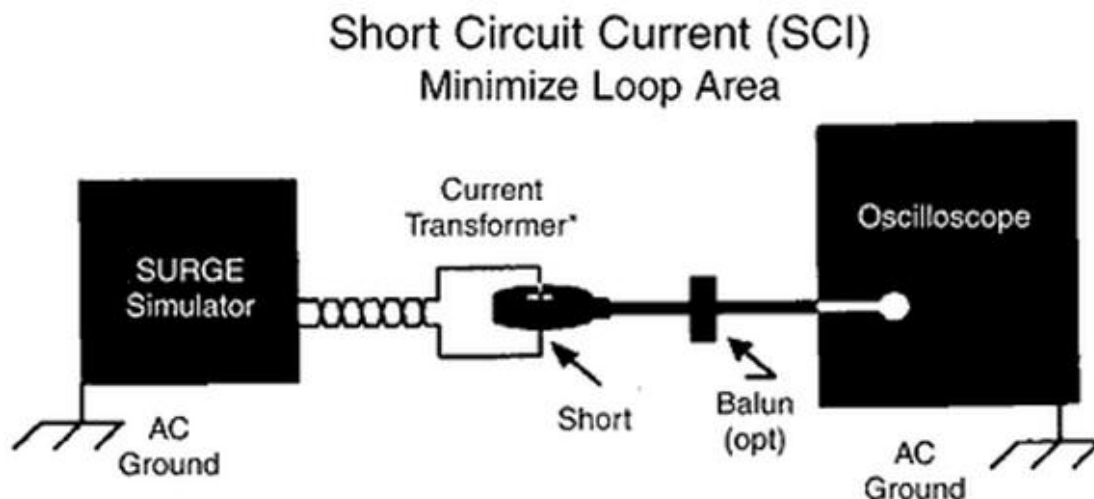
Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να επαληθεύονται είναι:

- η μέγιστη τιμή του ρεύματος εξόδου,
- ο χρόνος ανόδου,
- η διάρκεια.

Για το βρόγχο της λειτουργίας του ρεύματος βραχυκύκλωσης πρέπει να χρησιμοποιείται σύρμα διαμέτρου 1.8 mm (2.5 mm²).

Οι επαληθεύσεις πρέπει να γίνονται με ένα ανιχνευτήρα ρεύματος και παλμογράφο ή άλλο ισοδύναμο μετρητικό εξοπλισμό με ελάχιστο εύρος ζώνης 10 MHz.

Η ακρίβεια των μετρήσεων πρέπει να είναι $\pm 10\%$.



Σχήμα 3.77: Διάταξη επαλήθευσης των χαρακτηριστικών της γεννήτριας δοκιμής^[62].

3.8.3.2 Πηνίο επαγωγής

Χαρακτηριστικά επαγωγικού πηνίου

Το πηνίο επαγωγής, συνδεδεμένο με τη γεννήτρια δοκιμής, πρέπει να παράγει μια ένταση πεδίου που να αντιστοιχεί στο επιλεγμένο επίπεδο δοκιμής και την ομοιογένεια που ορίζεται.

Το πηνίο επαγωγής πρέπει να είναι από χαλκό, αλουμίνιο ή οποιοδήποτε άλλο αγώγιμο μη μαγνητικό υλικό, τέτοιας διατομής και μηχανικής διάταξης ώστε να διευκολύνει τη σταθερή τοποθέτηση του κατά τη διάρκεια των δοκιμών.

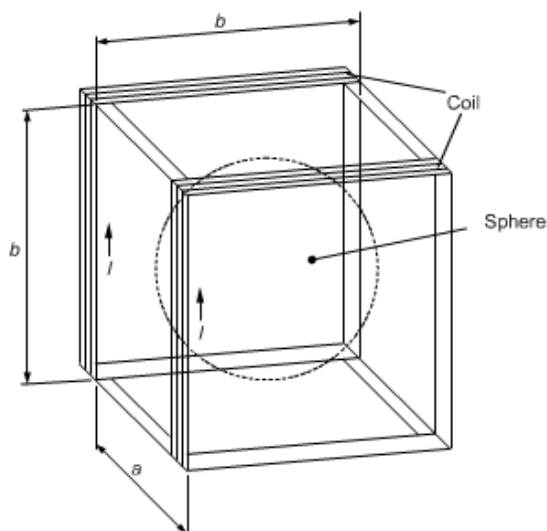
Μπορεί να είναι μίας μόνο σπείρας και να έχει μια κατάλληλη ικανότητα ρεύματος που είναι αναγκαία για το επιλεγμένο επίπεδο δοκιμής. Όσον αφορά άλλα πηνία όπως αυτά πολλαπλών σπειρών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να έχουμε ένα μικρότερο ρεύμα δοκιμής.

Το επαγωγικό πηνίο πρέπει να έχει επαρκείς διαστάσεις ώστε να περιβάλλει τη συσκευή υπό εξέταση (τρεις ορθογώνιες θέσεις). Ανάλογα με το μέγεθος του δοκιμίου υπό εξέταση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πηνία επαγωγής διαφορετικών διαστάσεων. Οι διαστάσεις που συστήνονται πιο κάτω είναι κατάλληλες για την παραγωγή των μαγνητικών πεδίων γύρω από όλο τον όγκο της συσκευής υπό δοκιμή με μια αποδεκτή απόκλιση ± 3 dB.

A) Πηνίο επαγωγής για επιτραπέζια συσκευή

Το πηνίο επαγωγής τυποποιημένων διαστάσεων για δοκιμές μικρών συσκευών (π.χ. οθόνες υπολογιστών, μετρητές βαττών, πομποί για έλεγχο διεργασίας κτλ) έχει τετραγωνική (ή κυκλική) μορφή με πλευρά (ή διάμετρο) 1 m, που κατασκευάζεται από έναν αγωγό σχετικά μικρής διατομής. Ο όγκος δοκιμής του τυποποιημένου τετραγωνικού πηνίου είναι 0.6 m × 0.6 m × 0.5 m (ύψος).

Ένα διπλό πηνίο τυποποιημένου μεγέθους (πηνίο Helmholtz) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να επιτύχουμε ομοιογένεια πεδίου καλύτερη από 3 dB ή για εξέταση δοκιμών μεγαλύτερων διαστάσεων. Το διπλό αυτό πηνίο πρέπει να αποτελείται από δύο ή περισσότερες σειρές σπειρών, που απέχουν όσο πρέπει (βλ. Σχήμα 3.78). Ο όγκος δοκιμής του διπλού πηνίου τυποποιημένου μεγέθους με διάστημα 0.8 m, για ομοιογένεια 3 dB είναι 0.6 m × 0.6 m × 1 m (ύψος). Για παράδειγμα, τα πηνία Helmholtz, για ομοιογένεια 0.2 dB, έχουν διαστάσεις και αποστάσεις διαχωρισμού όπως δίνονται στο Σχήμα 3.78.



n : αριθμός σπειρών σε κάθε πηνίο

b : πλευρά των πηνίων (m)

H : ένταση μαγνητικού πεδίου (A/m)

(με $a=b/2.5$ η ανομοιογένεια της έντασης του μαγνητικού πεδίου είναι ± 0.2 dB).

a : διαχωρισμός των πηνίων

I : τιμή ρεύματος (A)

H : $1.22 \times n/b \times I$

Σχήμα 3.78: Επεξήγηση των πηνίων Helmholtz^[43].

B) Πηνίο επαγωγής για επιδαπέδια συσκευή

Τα επαγωγικά πηνία πρέπει να κατασκευάζονται σύμφωνα με τις διαστάσεις του δοκιμίου και το διαφορετικό προσανατολισμό του μαγνητικού πεδίου.

Το πηνίο πρέπει να είναι ικανό να περικαλύπτει τη συσκευή υπό δοκιμή και να είναι κατασκευασμένο από αγωγούς σχετικά μικρής διατομής.

Ο όγκος δοκιμής καθορίζεται από το εμβαδόν δοκιμής του πηνίου (60 % × 60 % κάθε πλευράς) πολλαπλασιασμένο με το βάθος που αντιστοιχεί στο 50 % της μικρότερης πλευράς του πηνίου.

Βαθμονόμηση του πηνίου επαγωγής – Παράγοντας πηνίου

Για να είναι δυνατό να συγκριθούν τα αποτελέσματα δοκιμής από διαφορετικές συσκευές δοκιμής, τα επαγωγικά πηνία πρέπει να βαθμονομούνται σε κατάσταση λειτουργίας πριν την πραγματοποίηση της δοκιμής (χωρίς τη συσκευή υπό δοκιμή, σε συνθήκη ελεύθερου χώρου).

Ένα πηνίο επαγωγής σωστών διαστάσεων για τις διαστάσεις της συσκευής υπό δοκιμή, πρέπει να τοποθετείται σε ελάχιστη απόσταση 1 m από τον τοίχο του εργαστηρίου και κάθε μαγνητικό υλικό, χρησιμοποιώντας μονωτικά υποστηρίγματα, και πρέπει να συνδέεται στη γεννήτρια δοκιμής όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3.8.3.1. Πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλοι αισθητήρες μαγνητικού πεδίου (εύρος ζώνης > 10 MHz), με απόκριση συχνότητας και δύναμης που να αντιστοιχεί στο παλμικό πεδίο, για να επαληθεύεται η ένταση του μαγνητικού πεδίου που παράγεται από το πηνίο επαγωγής. Ο αισθητήρας πεδίου πρέπει να τοποθετείται στο κέντρο του πηνίου επαγωγής (χωρίς την συσκευή υπό δοκιμή) και με κατάλληλο προσανατολισμό για να ανιχνεύει τη μέγιστη τιμή του πεδίου. Το ρεύμα στο πηνίο επαγωγής πρέπει να ρυθμίζεται για να λαμβάνεται η μέγιστη ένταση πεδίου που προδιαγράφεται από τη στάθμη δοκιμής. Η βαθμονόμηση πρέπει να εκτελείται στη βιομηχανική συχνότητα: η τιμή του ρεύματος που παράγει τη δεδομένη ένταση πεδίου πρέπει να χρησιμοποιείται για τη δοκιμή παλμών αυτού του προτύπου. Η όλη διαδικασία βαθμονόμησης πρέπει να εκτελείται με τη γεννήτρια δοκιμής και το πηνίο επαγωγής.

Έτσι, ο παράγοντας πηνίου (δίνει την τιμή ρεύματος που πρέπει να εισέλθει στο πηνίο ώστε να ληφθεί το απαιτούμενο μαγνητικό πεδίο δοκιμής – H/I) καθορίζεται (και επαληθεύεται) με την παραπάνω διαδικασία.

3.8.3.3 Όργανα (μέτρησης) δοκιμής και βοηθητικά

Όργανα (μέτρησης) δοκιμής

Τα όργανα (μέτρησης) δοκιμής περιλαμβάνουν:

- το σύστημα μετρήσεων ρεύματος (αισθητήρες και όργανο) για να ρυθμιστεί και να μετρηθεί το ρεύμα που εισέρχεται στο πηνίο επαγωγής,
- τερματικά δίκτυα, φίλτρα αντεπιστροφής κτλ, σε γραμμές τροφοδοσίας, ελέγχου και σήματος.

Το τερματικό δίκτυο δίνει μια ορισμένη εμπέδηση 50 Ω στη γείωση για όλα τα εξωτερικά κυκλώματα που συνδέονται στις θύρες της συσκευής υπό δοκιμή.

Τόσο τα φίλτρα αντεπιστροφής όσο και τα τερματικά δίκτυα κτλ πρέπει να είναι συμβατά με τα σήματα λειτουργίας.

Το σύστημα μέτρησης ρεύματος είναι ένα βαθμονομημένο αμπερόμετρο ή αμπεροτσιμπίδα με εύρος ζώνης 10 MHz.

Η ορθότητα των οργάνων μέτρησης πρέπει να είναι $\pm 10\%$.

Βοηθητικά όργανα μέτρησης

Τα βοηθητικά όργανα μέτρησης περιλαμβάνουν ένα προσομοιωτή και κάθε άλλο όργανο απαραίτητο για τη λειτουργία και επαλήθευση των λειτουργικών προδιαγραφών της συσκευής υπό δοκιμή.

3.8.4 Διάταξη δοκιμής^[43]

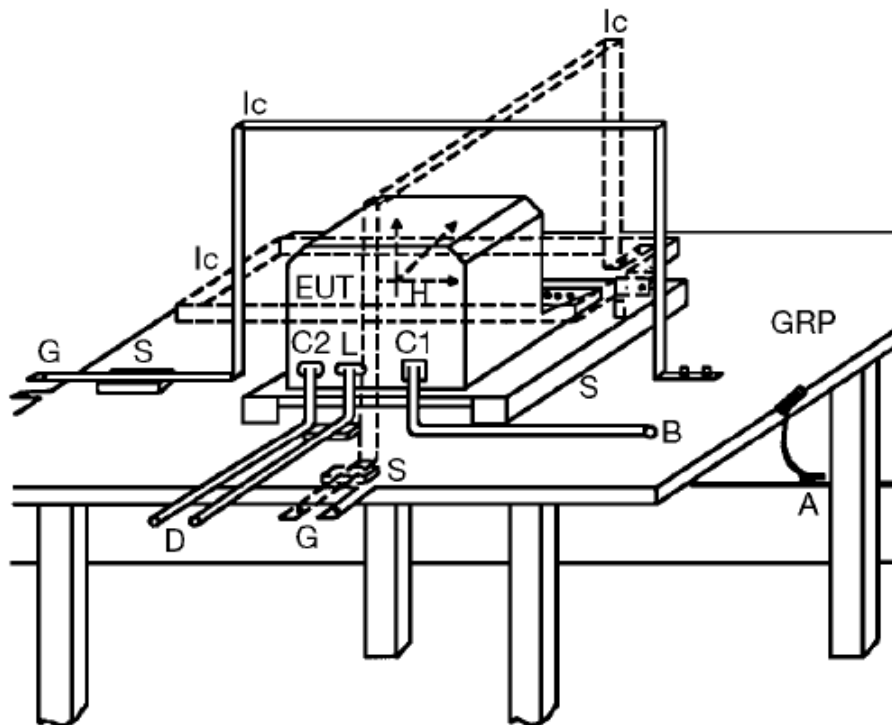
Η διάταξη δοκιμής περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία:

- εδαφικό επίπεδο (αναφοράς) (GRP)
- συσκευή υπό δοκιμή (EUT)
- πηνίο επαγωγής
- γεννήτρια δοκιμής
- τερματικό δίκτυο, φίλτρο αντεπιστροφής

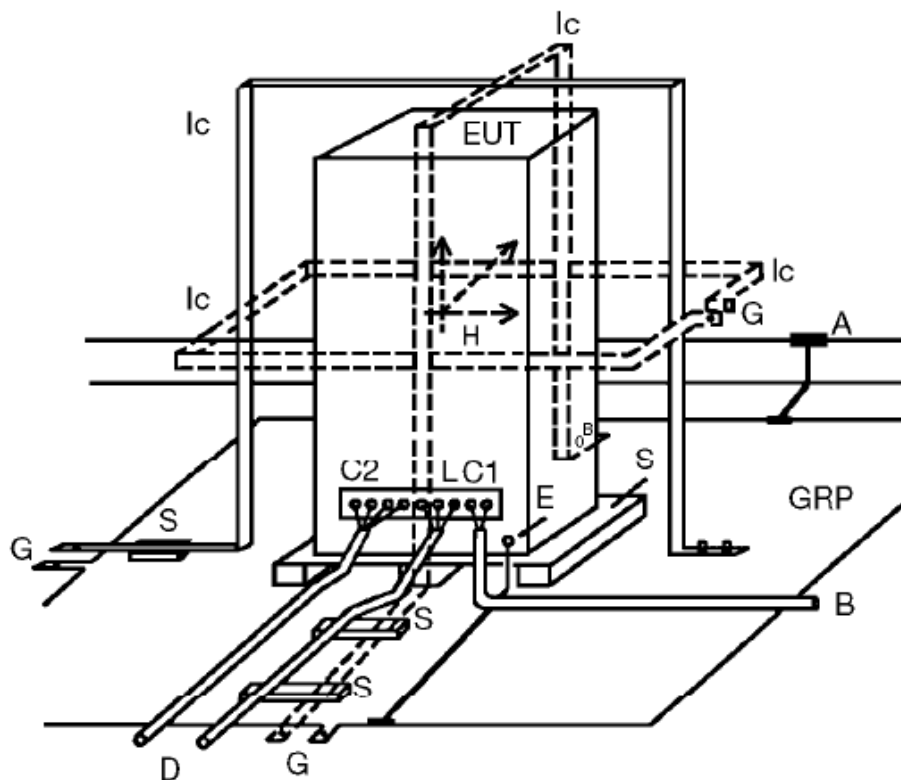
Πρέπει να λαμβάνονται προφυλάξεις αν το μαγνητικό πεδίο δοκιμής μπορεί να προκαλεί παρεμβολή στα όργανα δοκιμής και σε άλλες ευαίσθητες συσκευές στην εγγύς περιοχή της διάταξης δοκιμής.

Παραδείγματα διατάξεων δοκιμής δίνονται στα Σχήματα 3.79 και 3.80 για επιτραπέζια και επιδαπέδια συσκευή αντίστοιχα.

Στο Σχήμα 3.81 δίνεται ένα διάγραμμα της δοκιμής όπου συνδέοντας άμεσα την έξοδο του ρεύματος υπέρτασης της γεννήτριας με ένα εξωτερικό τετραγωνικό πηνίο 1 m παράγεται το παλμικό μαγνητικό πεδίο. Οι έλεγχοι στη γεννήτρια προσαρμόζουν το επίπεδο του ρεύματος μέσα στο πηνίο για να έχουμε τη κατάλληλη στάθμη μαγνητικού πεδίου.



Σχήμα 3.79: Παράδειγμα διάταξης δοκιμής για επιτραπέζιο εξοπλισμό^[43].



Σχήμα 3.80: Παράδειγμα διάταξης δοκιμής για επιδαπέδια συσκευή ^[43].

GRP: εδαφικό επίπεδο

A: ασφάλεια γης

S: μονωτικό υποστήριγμα

EUT: συσκευή υπό δοκιμή

I_c: πηνίο επαγωγής

E: ακροδέκτης γης

C1: κύκλωμα τροφοδοτικού

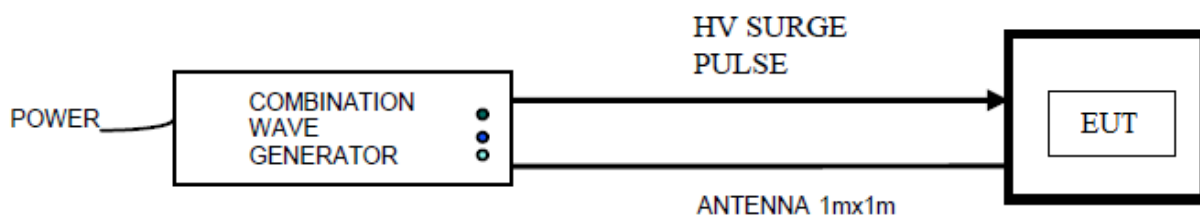
C2: κύκλωμα σήματος

L: γραμμή επικοινωνίας

B: προς πηγή τροφοδοτικού

D: προς πηγή σήματος, προσομοιωτή

G: προς γεννήτρια δοκιμής



Σχήμα 3.81: Διάγραμμα δοκιμής παλμικού μαγνητικού πεδίου ^[63].

3.8.4.1 Εδαφικό επίπεδο αναφοράς (GRP)

Το εδαφικό επίπεδο (GRP) πρέπει να τοποθετείται στο εργαστήριο και η συσκευή υπό δοκιμή καθώς και η βοηθητική συσκευή δοκιμής να τοποθετούνται πάνω σε αυτό και να συνδέονται σε αυτό.

Το εδαφικό επίπεδο πρέπει να είναι μη μαγνητικό φύλλο μετάλλου (χαλκός ή αλουμίνιο) ελάχιστου πάχους 0.25 mm. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα μέταλλα αλλά σε αυτή την περίπτωση πρέπει να έχουν ελάχιστο πάχος 0.65 mm.

Το ελάχιστο μέγεθος του εδαφικού επιπέδου είναι 1 m × 1 m. Το τελικό μέγεθος εξαρτάται από τις διαστάσεις της συσκευής υπό δοκιμή.

Το εδαφικό επίπεδο πρέπει να συνδέεται στο σύστημα ασφάλειας γης του εργαστηρίου.

3.8.4.2 Υπό δοκιμή συσκευή

Η συσκευή είναι διαρθρωμένη και συνδεδεμένη για να ικανοποιεί τις λειτουργικές της απαιτήσεις. Πρέπει να τοποθετείται πάνω στο εδαφικό επίπεδο αναφοράς με παρεμβολή ενός μονωτικού υποστηρίγματος πάχους 0.1 m (π.χ. στεγνό ξύλο).

Τα κελύφη της συσκευής πρέπει να συνδέονται στη γη ασφαλείας απευθείας πάνω στο εδαφικό επίπεδο αναφοράς με μία σύνδεση ελαχίστου μήκους μέσω του ακροδέκτη γης της συσκευής υπό δοκιμή.

Τα κυκλώματα τροφοδοτικού, εισόδου και εξόδου πρέπει να συνδέονται στις πηγές τροφοδοτικού, ελέγχου και σήματος μέσω φίλτρων αντεπιστροφής.

Πρέπει να χρησιμοποιούνται τα καλώδια τα οποία παρέχονται ή συνιστώνται από τον κατασκευαστή της συσκευής. Εν απουσία οποιοδήποτε συστάσεων, πρέπει να υιοθετούνται αθωράκιστα καλώδια, ενός τύπου κατάλληλου για τα εμπλεκόμενα σήματα. Όλα τα καλώδια πρέπει να εκτίθενται στο μαγνητικό πεδίο για 1 m του μήκους τους.

Τα φίλτρα αντεπιστροφής πρέπει να παρεμβάλλονται στα κυκλώματα σε μήκη καλωδίου 1 m από τη συσκευή υπό δοκιμή και να συνδέονται στο εδαφικό επίπεδο.

Τα κυκλώματα εισόδου και εξόδου, στον προσομοιωτή, πρέπει να είναι εξοπλισμένα με φίλτρα αντεπιστροφής ώστε να αποφεύγονται παρεμβολές σε αυτόν τον εξοπλισμό.

Οι γραμμές επικοινωνίας (γραμμές δεδομένων) πρέπει να συνδέονται στη συσκευή υπό δοκιμή με καλώδια που δίνονται στην τεχνική προδιαγραφή ή στο Πρότυπο για αυτή την εφαρμογή. Κάθε γραμμή, που γειτνιάζει με τη συσκευή υπό δοκιμή, πρέπει να διατηρείται σε απόσταση περίπου 0.1 m από το εδαφικό επίπεδο.

3.8.4.3 Γεννήτρια δοκιμής

Η γεννήτρια δοκιμής πρέπει να τοποθετείται σε απόσταση μικρότερη των 3 m από το πηνίο επαγωγής και ένας ακροδέκτης αυτής να συνδέεται με το εδαφικό επίπεδο.

3.8.4.4 Πηνίο επαγωγής

Το πηνίο επαγωγής, του τύπου που προδιαγράφεται στην παράγραφο 3.8.3.2, πρέπει να περικλείει τη συσκευή υπό δοκιμή τοποθετημένη στο κέντρο του.

Διαφορετικά πηνία επαγωγής μπορούν να επιλέγονται για δοκιμές στις διαφορετικές ορθογώνιες κατευθύνσεις, σύμφωνα με τα γενικά κριτήρια που προδιαγράφονται στην παράγραφο 3.8.3.2 (Χαρακτηριστικά επαγωγικού πηνίου).

Τα επαγωγικά πηνία που χρησιμοποιούνται σε κατακόρυφη θέση (οριζόντια πόλωση του πεδίου) μπορούν να συνδέονται άμεσα στο εδαφικό επίπεδο. Σε αυτή την

περίπτωση μια ελάχιστη απόσταση 0.1 m μεταξύ συσκευής υπό δοκιμή και εδαφικού επιπέδου είναι ικανοποιητική.

Το πηνίο επαγωγής πρέπει να συνδέεται στη γεννήτρια δοκιμής με όμοιο τρόπο όπως για τη διαδικασία βαθμονόμησης που προδιαγράφεται στην παράγραφο 3.8.3.2 (Βαθμονόμηση του πηνίου επαγωγής – Παράγοντας πηνίου).

Το πηνίο επαγωγής που επιλέγεται για τις δοκιμές πρέπει να προδιαγράφεται στο σχέδιο δοκιμής.

Κεφάλαιο 4

Διεξαγωγή δοκιμών

4.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό δίνονται τα βήματα για την πραγματοποίηση των δοκιμών ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 3. Πληροφορίες σχετικά με τη γεννήτρια TRA3000 [64] καθώς και τα χαρακτηριστικά αυτής παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β και Γ.

4.2 Δοκιμές ατρωσίας ηλεκτροστατικής εκφόρτισης σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-2 Ed. 2.0 (2008-12)

4.2.1 Διαδικασία δοκιμής ατρωσίας ηλεκτροστατικής εκφόρτισης

4.2.1.1 Γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων TRA3000 της EMC Partner

(A) Βασικά τμήματα ηλεκτροστατικής γεννήτριας

Τα βασικά τμήματα ηλεκτροστατικής γεννήτριας [64] είναι:

- Η βασική μονάδα (TRA3000), η οποία παρέχει την απαιτούμενη τροφοδοσία για τη γεννήτρια. Επί της βασικής μονάδας υπάρχει ψηφιακή ένδειξη των παραμέτρων της δοκιμής ηλεκτροστατικής εκφόρτισης. Περιλαμβάνει επίσης τα πλήκτρα εισαγωγής δεδομένων για τη ρύθμιση των παραμέτρων της δοκιμής και το καλώδιο γείωσης.
- Το «πιστόλι» EXT-TRA3000 E στο οποίο βρίσκεται το κύκλωμα παραγωγής του παλμού και η ακίδα εκφόρτισης (αέρα ή επαφής). Στη λαβή του πιστολιού βρίσκεται η σκανδάλη, η οποία ενεργοποιεί τις ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις.



Σχήμα 4.1: «Πιστόλι» EXT-TRA3000 E.

(B) Έλεγχοι για ορθή και ασφαλή λειτουργία

Πριν τη λειτουργία της γεννήτριας οφείλουμε να κάνουμε τους ακόλουθους ελέγχους [37, 75] προκειμένου να εξασφαλίσουμε την ορθή και ασφαλή της λειτουργία:

- i. Ελέγχουμε ότι όλα τα επιμέρους μέρη της γεννήτριας έχουν συναρμολογηθεί σωστά μεταξύ τους (έχει προσαρμοστεί σωστά η σωστή ακίδα εκφόρτισης και έχει προσαρμοστεί σωστά το καλώδιο γείωσης).

- ii. Συνδέουμε το πιστόλι στη θύρα ESD/AUX της γεννήτριας.
- iii. Συνδέουμε τη γείωση του πιστολιού (καλώδιο) με τη γείωση του κλωβού. **Προσοχή: Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται η γεννήτρια αν δεν έχει συνδεθεί σε μια σταθερή γείωση.**
- iv. Συνδέουμε τη γεννήτρια με το δίκτυο.

4.2.1.2 Συνθήκες αναφοράς εργαστηρίου

Για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των περιβαλλοντικών συνθηκών στα αποτελέσματα των δοκιμών, οι δοκιμές πρέπει να διεξάγονται σε κλιματικές και ηλεκτρομαγνητικές συνθήκες αναφοράς, που προσδιορίζονται στην παράγραφο 3.3.4.2 [37].

(A) Κλιματικές συνθήκες

Στην περίπτωση δοκιμών εκκένωσης αέρα, οι κλιματικές συνθήκες πρέπει να είναι μέσα στα ακόλουθα όρια:

- θερμοκρασία χώρου: 15°C - 35°C
- σχετική υγρασία 30% - 60%
- ατμοσφαιρική πίεση 86 kPa (860 mbar) - 106 Pa (1060 mbar)

Το δοκίμιο πρέπει να λειτουργεί στις κλιματικές συνθήκες για τις οποίες κατασκευάστηκε.

(B) Ηλεκτρομαγνητικές συνθήκες

Το ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον του εργαστηρίου δεν πρέπει να επηρεάζει τα αποτελέσματα των δοκιμών.

4.2.1.3 Καταπόνηση δοκιμίου^[37]

Τα προγράμματα και λογισμικό των δοκιμών πρέπει να επιλεγούν ώστε να ελεγχθούν όλες οι κανονικές συνθήκες λειτουργίας επί του δοκιμίου. Η χρήση ειδικού λογισμικού ενθαρρύνεται, αλλά επιτρέπεται μόνο όταν μπορεί να αποδειχθεί ότι το δοκίμιο ελέγχεται διεξοδικά.

Για δοκιμή συμμόρφωσης, το δοκίμιο πρέπει να λειτουργεί συνεχώς στον πιο ευαίσθητο κύκλο του προγράμματός του, ο οποίος προσδιορίζεται από προκαταρκτικές δοκιμές.

Εάν απαιτούνται συσκευές παρακολούθησης, πρέπει ν' αποσυνδεθούν ώστε να μειωθεί η πιθανότητα λανθασμένης ένδειξης βλάβης.

4.2.1.4 Εκτέλεση της δοκιμής^[37]

Η δοκιμή πρέπει να γίνει με την εφαρμογή αμέσων και εμμέσων εκκενώσεων στο δοκίμιο σύμφωνα με ένα σχέδιο δοκιμών. Αυτό πρέπει να περιλαμβάνει:

- αντιπροσωπευτικές συνθήκες λειτουργίας για το δοκίμιο
- διευκρίνιση, εάν το δοκίμιο ελέγχεται ως επιτραπέζιος ή ως επιδαπέδιος εξοπλισμός
- τα σημεία εφαρμογής των εκκενώσεων
- για κάθε σημείο, αν θα εφαρμοσθεί εκκένωση επαφής ή εκκένωση αέρα
- το επίπεδο δοκιμής που θα ισχύει
- τον αριθμό εκκενώσεων που θα εφαρμοσθούν σε κάθε σημείο για δοκιμή συμμόρφωσης

- αν θα εκτελεσθούν, επίσης, δοκιμές στον τόπο εγκατάστασης
Ίσως να απαιτηθεί να πραγματοποιηθούν διερευνητικές δοκιμές, ώστε να καθορισθούν μερικές λεπτομέρειες του σχεδίου δοκιμών.

(Α) Άμεση εφαρμογή εκκενώσεων στο δοκίμιο

Εκτός και αν αναφέρεται διαφορετικά στο γένιο Πρότυπο ή στις προδιαγραφές του προϊόντος, οι ηλεκτροστατικές εκκενώσεις θα πρέπει να εφαρμόζονται μόνο σε εκείνα τα σημεία και επιφάνειες του δοκιμίου, τα οποία είναι προσβάσιμα σε άτομα κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας (Πίνακας 4.1). Ισχύουν οι παρακάτω εξαιρέσεις (δηλαδή δεν εφαρμόζονται σ' αυτά τα σημεία):

- α) στα σημεία και επιφάνειες τα οποία είναι προσβάσιμα μόνο κατά τη συντήρηση. Σ' αυτήν την περίπτωση, θα πρέπει να δίνονται ειδικές ηπιότερες διαδικασίες ελέγχου σε ESD στα συνοδεύοντα έγγραφα.
- β) στα σημεία και επιφάνειες που είναι προσβάσιμα μόνο κατά την επισκευή από τον τελικό χρήστη. Παραδείγματα τέτοιων σπάνια προσβάσιμων σημείων είναι: επαφές μπαταριών κατά την αλλαγή μπαταριών, κασέτα σε αυτόματο τηλεφωνητή κ.λπ..
- γ) στα σημεία και επιφάνειες, οι οποίες δεν είναι πλέον προσβάσιμες μετά την τελική εγκατάσταση ή μετά την εφαρμογή οδηγιών χρήσης, για παράδειγμα το πίσω μέρος επιτοίχιου εξοπλισμού ή περιοχές πίσω από τοποθετημένους ακροδέκτες.
- δ) στις επαφές ομοαξονικών και πολυακιδωτών (multipins) ακροδεκτών, οι οποίοι διαθέτουν μεταλλικό περίβλημα. Σ' αυτήν την περίπτωση, οι εκκενώσεις επαφής πρέπει να εφαρμοσθούν μόνο στο μεταλλικό περίβλημα του ακροδέκτη.
Επαφές μέσα σε μη-αγώγιμο (π.χ. πλαστικό) ακροδέκτη και οι οποίες είναι προσβάσιμες, θα πρέπει να ελέγχονται μόνο με εκκενώσεις αέρα. Αυτός ο έλεγχος γίνεται με τη χρήση του στρογγυλού ηλεκτροδίου της ESD γεννήτριας.

Περίπτωση	Κέλυφος ακροδέκτη	Υλικό επικάλυψης	Εκκένωση αέρα στο:	Εκκένωση επαφής στο:
1	Μεταλλικό	Κανένα	-	Κέλυφος
2	Μεταλλικό	Μονωτικό	Περίβλημα	Κέλυφος όταν είναι προσβάσιμο
3	Μεταλλικό	Μεταλλικό	-	Κέλυφος και περίβλημα
4	Μονωτικό	Κανένα	^a	-
5	Μονωτικό	Μονωτικό	Περίβλημα	-
6	Μονωτικό	Μεταλλικό	-	Περίβλημα

Σημείωση: σε περίπτωση που υπάρχει περίβλημα για να παρέχει ESD θωράκιση στις ακίδες του ακροδέκτη, θα πρέπει να υπάρχει προειδοποιητική ESD σήμανση πάνω στο περίβλημα ή στον εξοπλισμό κοντά στον ακροδέκτη.

^a αν το Πρότυπο του προϊόντος ή της οικογένειας του προϊόντος απαιτεί έλεγχο στις ανεξάρτητες ακίδες ενός μονωμένου ακροδέκτη, θα πρέπει να εφαρμοσθούν εκκενώσεις αέρα.

Πίνακας 4.1: Περιπτώσεις εκκενώσεων ανάλογα με το κέλυφος του ακροδέκτη και του υλικό επικάλυψης αυτού ^[37,75].

ε) στις επαφές ακροδεκτών ή άλλων προσβάσιμων μερών, που είναι ευαίσθητα στις ηλεκτροστατικές εκκενώσεις, εξαιτίας λειτουργικών λόγων και που έχουν προειδοποιητική σήμανση έναντι ESD, για παράδειγμα είσοδοι για μέτρηση ραδιοσυχνότητας, δέκτες ή άλλες λειτουργίες επικοινωνίας.

ΑΙΤΙΟΛΟΓΙΑ: πολλές θύρες σύνδεσης είναι σχεδιασμένες για διαχείριση πληροφοριών υψηλής συχνότητας, είτε αναλογικά, είτε ψηφιακά, και έτσι δεν μπορούν να διατίθενται με εξαρτήματα ικανοποιητικής προστασίας από υπερτάσεις. Στην περίπτωση των αναλογικών σημάτων, τα ζωνοπερατά φίλτρα μπορεί να είναι μια λύση. Οι προστατευτικές δίοδοι υπερτάσεων έχουν πολύ μεγάλη παράσιτη χωρητικότητα για να είναι χρήσιμες στις συχνότητες για τις οποίες είναι σχεδιασμένος το δοκίμιο να λειτουργεί.

Σ' όλες τις προηγούμενες περιπτώσεις, συνιστάται, να δίνονται με τα συνοδευτικά έγγραφα, ειδικές διαδικασίες μείωσης των ESD.

Η τάση της δοκιμής πρέπει να αυξάνεται από το ελάχιστο ως το επιλεγμένο επίπεδο δοκιμής, ώστε να προσδιορισθεί τυχόν κρίσιμο σημείο ή βλάβη (βλέπε παράγραφο 5). Το τελικό επίπεδο δοκιμής δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή της προδιαγραφής του προϊόντος, ώστε να αποφευχθεί ζημιά στον εξοπλισμό.

Η δοκιμή πρέπει να γίνει με μεμονωμένες (single) εκκενώσεις. Σε προεπιλεγμένα σημεία θα εφαρμόζονται τουλάχιστον δέκα εκκενώσεις (σ' εκείνη την πολικότητα στην οποία το δοκίμιο εμφανίζει τη μεγαλύτερη ευαισθησία).

Το μεσοδιάστημα μεταξύ διαδοχικών μονών εκκενώσεων συνιστάται να είναι 1 s. Μεγαλύτερα μεσοδιαστήματα μπορεί να χρειάζονται για να καθοριστεί αν επήλθε βλάβη συστήματος.

Σημείωση: τα σημεία στα οποία θα εφαρμοσθούν εκκενώσεις πρέπει να επιλεγούν μετά από διερεύνηση, η οποία γίνεται με ρυθμό επανάληψης 20 εκκενώσεις ανά s ή και περισσότερες.

Η γεννήτρια ESD πρέπει να κρατείται κάθετη προς την επιφάνεια επί της οποίας εφαρμόζεται η εκκένωση. Αυτό συντελεί στη βελτίωση της επαναληψιμότητας των αποτελεσμάτων της δοκιμής.

Το καλώδιο γείωσης της γεννήτριας πρέπει να κρατείται σε απόσταση τουλάχιστον 0,2 m από το δοκίμιο, ενώ εφαρμόζεται η εκκένωση.

Στην περίπτωση εκκενώσεων επαφής, η άκρη του ηλεκτροδίου εκφόρτισης θα ακουμπά το δοκίμιο, πριν από την ενεργοποίηση του διακόπτη εκφόρτισης.

Στην περίπτωση βαμμένων επιφανειών που καλύπτουν ένα αγώγιμο υπόστρωμα, πρέπει να υιοθετηθεί η ακόλουθη διαδικασία:

Αν η βαφή δεν προσδιορίζεται από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού ως μονωτική, τότε το προτεταμένο άκρο του ηλεκτροδίου θα εισχωρήσει στην μπογιά, ώστε να έλθει σε επαφή με το αγώγιμο υπόστρωμα. Αν η βαφή προσδιορίζεται από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού ως μονωτική, τότε θα εφαρμόζεται μόνο εκκένωση αέρα, και η δοκιμή εκκένωσης επαφής δεν θα εφαρμόζεται σε τέτοιες επιφάνειες.

Στην περίπτωση εκκενώσεων αέρα, το στρόγγυλο άκρο εκφόρτισης του ηλεκτροδίου εκφόρτισης θα προσεγγίζεται όσο το δυνατό ταχύτερα (χωρίς να προκαλείται μηχανική βλάβη) για να έλθει σε επαφή με το δοκίμιο. Μετά από κάθε εκφόρτιση, η γεννήτρια ESD (ηλεκτρόδιο εκφόρτισης) θα απομακρύνεται από το δοκίμιο. Στην συνέχεια η γεννήτρια επανενεργοποιείται για μια νέα μονή εκκένωση. Αυτή η

διαδικασία θα επαναλαμβάνεται μέχρι να συμπληρωθούν οι εκκενώσεις. Στην περίπτωση δοκιμής εκκενώσεων αέρα, ο διακόπτης εκφόρτισης, που χρησιμοποιείται για εκφόρτιση επαφής, θα είναι κλειστός.



Σχήμα 4.2: Άμεση εφαρμογή εκκενώσεων μέσω αέρα στο περίβλημα του δοκιμίου.



Σχήμα 4.3: Άμεση εφαρμογή εκκενώσεων μέσω επαφής στο δοκίμιο.

(B) Έμμεση εφαρμογή της εκφόρτισης

Εκκενώσεις σε αντικείμενα που είναι τοποθετημένα ή εγκατεστημένα κοντά στο δοκίμιο θα προσομοιώνονται με εφαρμογή των εκκενώσεων της γεννήτριας ESD σε ένα επίπεδο ζεύξης, με τον τρόπο της εκκένωσης επαφής.

Επιπροσθέτως της διαδικασίας δοκιμής που περιγράφεται στην παράγραφο 4.2.1.4 (Α), πρέπει να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των παραγράφων 4.2.1.4 (Γ) και 4.2.1.4 (Δ).

(Γ) Οριζόντιο επίπεδο ζεύξης κάτω από το δοκίμιο

Θα εφαρμοσθούν τουλάχιστον δέκα μονές εκκενώσεις (σ' εκείνη την πολικότητα στην οποία το δοκίμιο εμφανίζει τη μεγαλύτερη ευαισθησία) στο οριζόντιο επίπεδο ζεύξης, σε σημεία κάθε πλευράς του δοκιμίου (Σχήμα 3.12).

Η γεννήτρια ESD πρέπει να τοποθετείται κάθετα σε απόσταση 0.1 m από το δοκίμιο, με το ηλεκτρόδιο εκφόρτισης σε επαφή με το επίπεδο ζεύξης.



Σχήμα 4.4: Εκκενώσεις στο οριζόντιο επίπεδο ζεύξης.

(Δ) Κάθετο επίπεδο ζεύξης

Πρέπει να εφαρμοστούν τουλάχιστον δέκα εκκενώσεις (σ' εκείνη την πολικότητα στην οποία το δοκίμιο εμφανίζει τη μεγαλύτερη ευαισθησία) στο κέντρο μιας κάθετης ακμής του επιπέδου ζεύξης (Σχήματα 3.13 και 3.14). Το επίπεδο ζεύξης, διαστάσεων 0.5 m x 0.5 m, τοποθετείται παράλληλα προς και σε απόσταση 0.1 m από το δοκίμιο.

Οι εκκενώσεις πρέπει να εφαρμόζονται στο επίπεδο ζεύξης σε αρκετές διαφορετικές θέσεις, ώστε οι τέσσερις όψεις του δοκιμίου να καλυφθούν πλήρως.



Σχήμα 4.5: Εκκενώσεις στο κάθετο επίπεδο ζεύξης.

4.2.2 Διαδικασία επαλήθευσης των γεννητριών ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων

4.2.2.1 Εξοπλισμός

Ο απαιτούμενος εξοπλισμός για την πραγματοποίηση της επαλήθευσης των γεννητριών ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων είναι:

- Γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων TRA3000 της EMC Partner [64].
- Ομοαξονικός προσαρμοστής μέτρησης (Pellegrini target) [66].
- Παλμογράφος TDS 7254B [65].
- Ψηφιακό βολτόμετρο Υψηλής Τάσης Brandenburg Model 149 [67].
- Ομοαξονικό καλώδιο (N-type), που μεταφέρει το σήμα του ρεύματος ηλεκτροστατικής εκφόρτισης.

4.2.2.2 Γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων TRA3000 της EMC Partner

Η Γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων TRA3000 [64] παράγει ηλεκτροστατικές εκκενώσεις από $\pm 2\text{kV}$ έως $\pm 15\text{kV}$ για εκφορτίσεις αέρα και εκκενώσεις από $\pm 2\text{kV}$ έως $\pm 10\text{kV}$ για εκφορτίσεις επαφής, με χρόνο ανόδου μικρότερο από 0.8 ns . Στο Σχήμα 4.6 φαίνεται η γεννήτρια και τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται. Η αλλαγή της πολικότητας, η ρύθμιση του επιπέδου τάσης, και όλες οι επιθυμητές ρυθμίσεις για τη διεξαγωγή της δοκιμής γίνονται με τα πλήκτρα που βρίσκονται πάνω στη γεννήτρια.



Σχήμα 4.6: Τα βασικά τμήματα της γεννήτριας TRA3000 και η μεταξύ τους συνδεσμολογία.

4.2.2.3 Λειτουργικός έλεγχος

- i. Βάζουμε σε λειτουργία τη γεννήτρια πατώντας το μπουτόν ON/STBY που βρίσκεται στο εμπρόσθιο μέρος της συσκευής.
- ii. Θέτοντας σε λειτουργία τη συσκευή εμφανίζεται η οθόνη του Σχήματος 4.7.



Σχήμα 4.7: Οθόνη υποδοχής.

- iii. Εφόσον επιλέξουμε τη δοκιμή που θα πραγματοποιήσουμε (ESD) πατώντας το μπουτόν ENTER εμφανίζονται οι παράμετροι της δοκιμής που μπορούμε να ρυθμίσουμε όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.8.
- iv. Στη βασική μονάδα μπορούμε να επιλέξουμε πατώντας το μπουτόν EDIT την τιμή των παρακάτω παραμέτρων:

V-charge: Εύρος τάσης δοκιμής ($2 \div 15\text{kV}$ για εκφορτίσεις αέρα, $2 \div 10\text{kV}$ για εκφορτίσεις επαφής).

Polarity: Πολικότητα (θετική/αρνητική).

No Pulses: Αριθμός παλμών ($1 \div 29999$).

Discharge: Μέθοδος εκφόρτισης (εκκένωση επαφής ή αέρα).

Repetition: Επανάληψη εκφορτίσεων ($0.05 \div 30\text{s}$).

Pulse Counter: Μέτρηση παλμών εκφόρτισης (σε κάθε παλμό - Every Pulse ή μόνο στην εκφόρτιση - Discharge Only δηλ. όταν η τάση του πυκνωτή εκφόρτισης των 150pF φτάσει κάτω από το 10% της τάσης φόρτισης)

Τρόπος εκφόρτισης: Αυτόματα ή χειροκίνητα.



Σχήμα 4.8: Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής.

- v. Η τιμή για την κάθε παράμετρο που θα ρυθμίσουμε εισάγεται με τη βοήθεια των πλήκτρων στη βασική μονάδα (αριθμητικά μπουτόν και μπουτόν UP/DOWN) και πατώντας στη συνέχεια το μπουτόν ENTER.
- vi. Η γεννήτρια είναι έτοιμη προς λειτουργία.
- vii. Για την επαλήθευση της γεννήτριας οι εκφορτίσεις είναι επαφής και η τάση στα 4 kV . Γι' αυτό το λόγο αφού ακουμπήσει το πιστόλι (με τη μυτερή ακίδα) στον ομοαξονικό προσαρμοστή μέτρησης κατακόρυφα πατάμε το κουμπί εκφόρτισης (σκανδάλη) ή το μπουτόν RUN στο εμπρόσθιο μέρος της γεννήτριας. Επίσης, το καλώδιο της γείωσης του πιστολιού θα πρέπει είναι τραβηγμένο προς τα πίσω στη μέση σχηματίζοντας ένα ισοσκελές τρίγωνο και επιπλέον δεν πρέπει

να ακουμπά στο έδαφος κατά τη διάρκεια της επαλήθευσης. Το σχήμα του καλωδίου γείωσης επηρεάζει το ρεύμα στα 60 ns.



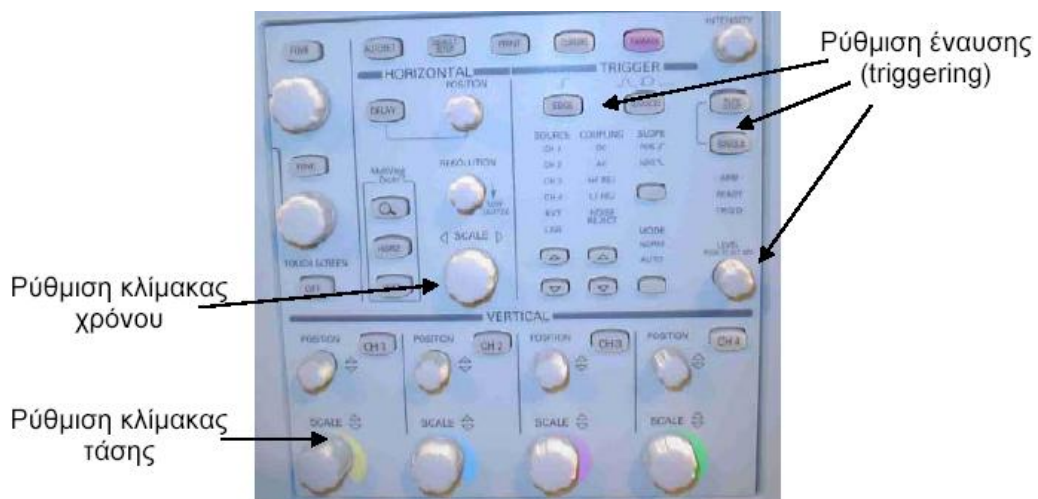
Σχήμα 4.9: Οθόνη γεννήτριας σε λειτουργία εκφόρτισης επαφής.

viii. Όταν τελειώσουν οι δοκιμές για την επαλήθευση πιέζουμε το μπουτόν ON/STBY στο εμπρόσθιο μέρος της συσκευής και κατόπιν βγάζουμε την τροφοδοσία της γεννήτριας από την παροχή ρεύματος.

4.2.2.4 Πραγματοποίηση δοκιμής

A. Η πραγματοποίηση της δοκιμής επαλήθευσης των γεννητριών ηλεκτροστατικής εκφόρτισης συνίσταται στα ακόλουθα βήματα [65, 76]:

- i. Συνδέουμε το στόχο (ομοαξονικό προσαρμοστή) στον παλμογράφο.
- ii. Ελέγχουμε την κοινή γείωση.
- iii. Ανοίγουμε και ρυθμίζουμε τον παλμογράφο.



Σχήμα 4.10: Κομβία του παλμογράφου TDS 7254B.

Ρύθμιση παλμογράφου

- a. Ρυθμίζουμε την κλίμακα τάσης από το κομβίον που φαίνεται στο Σχήμα 4.6 στο κατάλληλο επίπεδο, ώστε ο παλμός που θα καταγραφεί να μην έχει κοπεί εν μέρει, αλλά να φαίνεται ολόκληρος επί της οθόνης του παλμογράφου. Για επαλήθευση στα 2 kV η κλίμακα είναι στα 200 mV/div, ενώ στα 4 kV στα 500 mV/div. Η ρύθμιση της κλίμακας για διαφορετικές τιμές μεταξύ 200 και 500 mV/div μπορεί να γίνει και από το μενού Vertical (της οθόνης αφής), επιλέγοντας Vertical Setup και κατόπιν από την επιλογή scale επιλέγουμε την επιθυμητή κλίμακα.
- b. Ρυθμίζουμε το χρόνο από το κομβίον ρύθμισης κλίμακας (scale) που φαίνεται στο Σχήμα 4.10 στα 20 ns/div. Αυτό έχει να κάνει με την

- ανάλυση που θα καταγραφεί ο παλμός στην οθόνη του παλμογράφου (μεγάλο ή μικρό εύρος χρόνου).
- c. Στο μενού του Σχήματος 4.10 φροντίζουμε το coupling να είναι DC και να ανάβουν οι λυχνίες POS και NEG.
 - d. **Η θέση των δρομέων (cursors) ρυθμίζει σε τι χρονική περίοδο θα καταγραφούν οι τιμές του ρεύματος. Επιλέγουμε από -4 ns (οριακά πριν το 0) έως 160 ns .** Η ρύθμιση αυτή μπορεί να γίνει από το μενού Cursors (της οθόνης αφής), επιλέγουμε cursors control και κατόπιν από την επιλογή ρυθμίζουμε τις τιμές του cursor 1 και cursor 2 σε -4 ns και 160 ns αντίστοιχα.
 - e. Πιέζουμε το πλήκτρο Advance και στο «παράθυρο» trigger type επιλέγουμε Edge.
 - f. Πιέζουμε το κομβίον Single.
 - g. Ο παλμογράφος είναι έτοιμος να καταγράψει το ρεύμα της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης.

Προσοχή: Λόγω του ότι η καταγραφόμενη από τον παλμογράφο κυματομορφή του ρεύματος εκφόρτισης ενδέχεται να ξεπεράσει τα όρια στην οθόνη του παλμογράφου (δηλαδή να εμφανίσει την ένδειξη clipped δίπλα στην max τιμή του ρεύματος), πρέπει να φροντίζουμε να είμαστε στην κατάλληλη κλίμακα. Αν τυχόν εμφανιστεί η ένδειξη clipped θα πρέπει η μέτρηση να επαναληφθεί, γιατί οι τιμές που αποθηκεύονται είναι ελλιπείς.

- iv. Επιτελείται ο λειτουργικός έλεγχος που αντιστοιχεί στο υπό επαλήθευση «πιστόλι» (§4.2.2.3).
- v. Πιέζουμε την σκανδάλη, και
- vi. Καταγράφουμε την κυματομορφή σε μορφή csv.
 - a. Με το που θα γίνει η εκφόρτιση από τη γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων η κυματομορφή του ρεύματος που θα εμφανισθεί στην οθόνη του παλμογράφου.
 - b. Προκειμένου να αποθηκεύσουμε τις τιμές του ρεύματος εκφόρτισης σαν εικόνα, αλλά και σαν τιμές για την περαιτέρω επεξεργασία τους, κάνουμε τα ακόλουθα: από το μενού file επιλέγουμε το export setup. Από εδώ έχουμε δύο τρόπους να αποθηκεύσουμε τα δεδομένα. Είτε σαν εικόνα (jpeg, είτε σαν δεδομένα (csv) με τα ονόματα metrisi.jpeg και metrisi.csv αντίστοιχα

B. Διενέργεια δοκιμής.

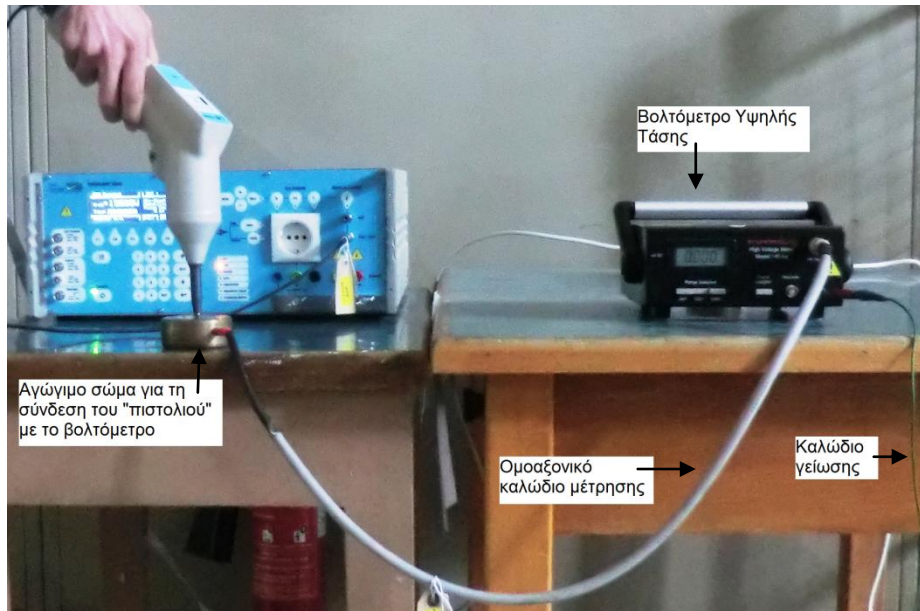
Στόχος είναι η καταγραφή της κυματομορφής και η εύρεση των τιμών των παραμέτρων I_p , t_r , I_{30} , I_{60} και η λήψη της αντίστοιχης κυματομορφής, στην οποία θα είναι εμφανείς αυτές. **Για να αποτυπωθούν στο παλμογράφο κάνουμε την ρύθμιση Time/div=20 ns/div. Η θέση των δρομέων (cursors) επιλέγεται από -4 ns (οριακά πριν το 0) έως 160 ns .**

Επιλέγεται το μέγιστο δυνατό sampling. Αυτό πρέπει να είναι **20 GS/sec.**

Γ. Η μέτρηση της τάσης φόρτισης της γεννήτριας γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο:

- i. Συνδέουμε το ομοαξονικό καλώδιο του βολτομέτρου υψηλής τάσεως Brandenburg Model 149 [67] στο ίδιο το βολτόμετρο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.11. Στην άκρη του ομοαξονικού καλωδίου, συνδέεται μία αγωγίμη πλάκα.
- ii. Γειώνουμε το βολτόμετρο υψηλής τάσης στην ίδια γη με το προς μέτρηση “πιστόλι”.

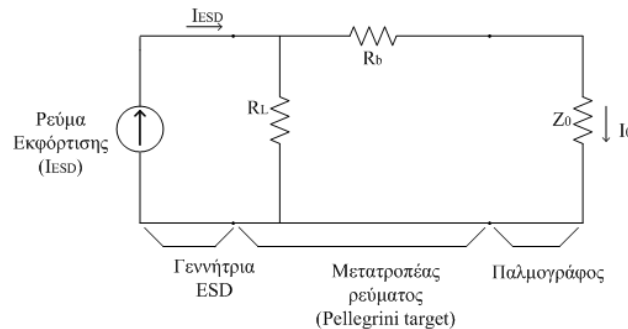
- iii. Ανοίγουμε το βολτόμετρο υψηλής τάσης πιέζοντας το πλήκτρο Power ON/OFF.
- iv. Επιλέγουμε από το RangeSelector το πλήκτρο 20kV.
- v. Ρυθμίζουμε το “πιστόλι”, για εκφορτίσεις αέρος με επαναλήψεις.
- vi. Ρυθμίζουμε την τάση στο πιστόλι στην επιθυμητή τάση και πολικότητα.
- vii. Προκαλούμε εκφόρτιση, έχοντας πρώτα ακουμπήσει το “πιστόλι” στο αγώγιμο σώμα. Κρατούμε πατημένη τη σκανδάλη του “πιστολιού”, μέχρι να σταθεροποιηθεί η τιμή τάσης που εκτίθεται στο display του βολτομέτρου.
- viii. Καταγράφουμε αυτήν την τιμή.



Σχήμα 4.11: Διάταξη για τη μέτρηση της τάσης φόρτισης.

4.2.2.5 Ανασύνθεση ρεύματος – Ισοδύναμο κύκλωμα

- i. Επειδή στον παλμογράφο μετράται η τάση και όχι το ρεύμα, είναι αναγκαία η ανασύνθεση του μέσω της τάσης. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιείται το ισοδύναμο κύκλωμα της μετρητικής διάταξης στην DC ανάλυση, που φαίνεται στο Σχήμα 4.12. Περιλαμβάνει τη γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων, τον ομοαξονικό μετατροπέα και τον παλμογράφο.



Σχήμα 4.12: Το ισοδύναμο κύκλωμα της μετρητικής διάταξης στην DC ανάλυση ^[75].

- ii. Το ρεύμα εκφόρτισης δίνεται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$I_{ESD} = \frac{C \cdot V_R}{Z_0} \quad (4.1)$$

$$C = C_{CT} \cdot C_A \quad (4.2)$$

$$C_{CT} = \frac{I_{ESD}}{I_0} = \frac{R_L + R_b + Z_0}{R_L} \quad (4.3)$$

όπου I_{ESD} είναι το πλάτος του ρεύματος εκφόρτισης, V_R η μετρούμενη από τον παλμογράφο τάση εξαιτίας του ρεύματος I_0 , C ο συνολικός συντελεστής μετατροπής, ενώ C_{CT} και C_A είναι οι συντελεστές μετατροπής του ομοαξονικού προσαρμοστή και του εξασθενητή αντίστοιχα. Επειδή ο εξασθενητής είναι 20 dB το σήμα εξασθενείται 10 φορές ($C_A=10$).

iii. Στο Σχήμα 4.12 συμβολίζεται ως R_L η αντίσταση φορτίου (load resistance) του ομοαξονικού προσαρμοστή, ως R_b η αντίσταση προσαρμογής (backward matching resistance) του ομοαξονικού προσαρμοστή και Z_0 η ονομαστική αντίσταση προσαρμογής του ομοαξονικού καλωδίου, η οποία είναι 50 Ω. Οι τιμές των R_L και R_b μπορούν να βρεθούν μετρώντας την DC αντίσταση του ομοαξονικού προσαρμοστή. Παρ' όλο που οι τιμές αυτές υπάρχουν διαθέσιμες, κάτι τέτοιο πρέπει να αποφεύγεται, ώστε οι μετρήσεις να είναι όσο το περισσότερο ακριβείς. Η R_L είναι η αντίσταση μεταξύ του εσωτερικού ηλεκτροδίου (δίσκου) και του εξωτερικού ηλεκτροδίου του ομοαξονικού προσαρμοστή και είναι περίπου ίση με 2 Ω. Η R_b είναι η αντίσταση μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του εσωτερικού ηλεκτροδίου του ομοαξονικού προσαρμοστή και ισούται περίπου με 48 Ω.

iv. Τελικά με υπολογισμούς βρίσκεται ότι 1 Volt στον παλμογράφο αντιστοιχεί σε ρεύμα εκφόρτισης περί τα 10 A.

Σημείωση: Αν αντί του ενσωματωμένου εξασθενητή 20 db χρησιμοποιήσουμε κάποιον άλλο με διαφορετική εξασθένιση (π.χ. αν βάλουμε 2 εξασθενητές των 20 db εν σειρά τότε έχουμε εξασθένιση 40 db) πρέπει να υπολογίσουμε εκ νέου τον συντελεστή C_A από τη σχέση $20\log C_A = X$ (db) όπου X ο αριθμός των db.

4.2.2.6 Επεξεργασία μετρήσεων – Εύρεση τιμών των παραμέτρων του ρεύματος εκφόρτισης

A. Προκειμένου να βρούμε τις τιμές του μέγιστου ρεύματος (I_{max}) και του χρόνου ανόδου (t_r), και των παραμέτρων I_{30} και I_{60} χρησιμοποιούμε το πρόγραμμα current.m που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον Matlab, κάνοντας τα ακόλουθα [76]:

- i. Το αρχείο XLL_D.csv το μετατρέπουμε σε αρχείο txt μέσω του προγράμματος Excel. Αφού το ανοίξουμε με το Excel διαγράφουμε τα πρώτα σχόλια του αρχείου και αντικαθιστούμε όλα τα κόμματα στους αριθμούς με κενό (space). Το αρχείο το σώζουμε σαν αρχείο txt οριοθετημένο με tab με το όνομα XLL_D.txt. Με αυτόν τον τρόπο το αρχείο μπορεί να διαβαστεί από το πρόγραμμα Matlab.
- ii. Τοποθετούμε όλα τα αρχεία XLL_D.txt σε ένα φάκελο στον C: με την ονομασία 61000-4-2_ESD_CURRENT_VERIFICATION\positive.
- iii. Ανοίγουμε το πρόγραμμα Matlab και από τον φάκελο C:\61000-4-2_ESD_CURRENT_VERIFICATION\positive επιλέγουμε το αρχείο **current.m** το οποίο σχεδιάζει το ρεύμα συναρτήσει του χρόνου. Τοποθετούμε ως **αξία της μεταβλητής**

NAME_OF_LAST, το όνομα του τελευταίου αρχείου εκ των **XLL_D.txt**.

- iv. Πατώντας F5 δημιουργείται το γράφημα που απεικονίζει το ρεύμα εκφόρτισης σε συνάρτηση με το χρόνο. Επίσης
 - Εντοπίζονται οι τιμές των κρίσιμων για την επαλήθευση μεγεθών $I_{max}, t_r = t_{90\%} - t_{10\%}, I_{30}, I_{60}$.
 - Ελέγχεται, αυτομάτως, η συμβατότητα με τις προδιαγραφές.
 - Δίνεται κατάλογος με τις παραπάνω τιμές
- v. Κάνουμε το ίδιο για όλες τις τάσεις της εκάστοτε πολικότητας.

➤ Για εκφορτίσεις υπό αρνητική τάση φόρτισης εκτελούμε τα αντίστοιχα βήματα με τα προηγούμενα, επιλέγονται όμως τα αντίστοιχα αρχεία που βρίσκονται στο φάκελο **C:\61000-4-2_ESD_CURRENT_VERIFICATION\negative**.

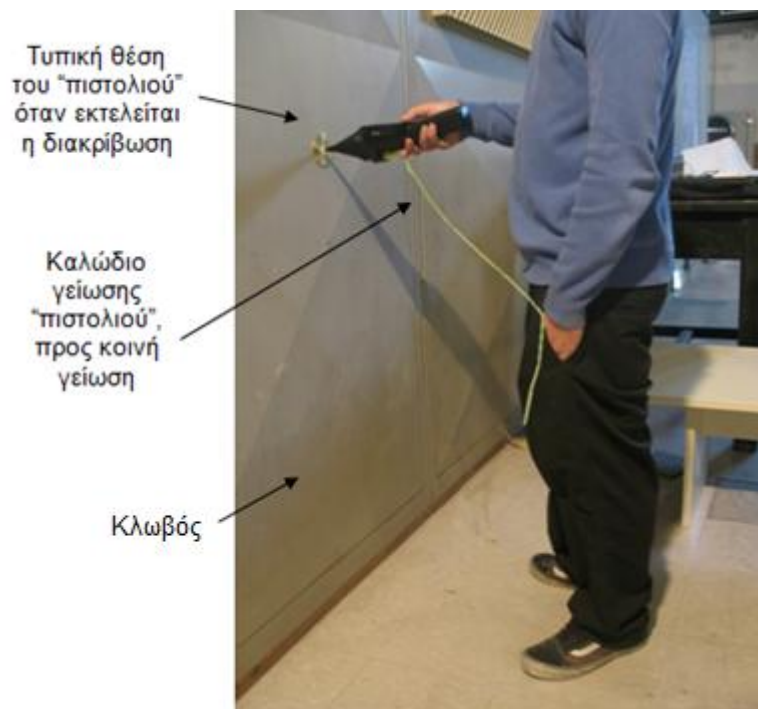
B. Αν οι 4 παράμετροι δεν είναι εντός ορίων το όργανο χρειάζεται διακρίβωση. Έπειτα καταγράφουμε τα αποτελέσματα στο αντίστοιχο αρχείο του Equal.

4.2.3 Διαδικασία διακρίβωσης των γεννητριών ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων

4.2.3.1 Εξοπλισμός

Ο απαιτούμενος εξοπλισμός για την πραγματοποίηση της επαλήθευσης των γεννητριών ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων είναι ο ίδιος που αναφέρεται στην παράγραφο 4.2.2.1.

4.2.3.2 Πραγματοποίηση διακρίβωσης



Σχήμα 4.13: Στιγμιότυπο ελέγχου του ρεύματος ηλεκτροστατικής εκφόρτισης, κατά τη διαδικασία διακρίβωσης γεννητριών ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων.

Η πραγματοποίηση της διακρίβωσης των γεννητριών ηλεκτροστατικής εκφόρτισης συνίσταται στα ακόλουθα βήματα [77].

- i. Παραλαμβάνουμε την, προς διακρίβωση, γεννήτρια και διενεργούμε λειτουργικό έλεγχο σύμφωνα με το εγχειρίδιο λειτουργίας της.
- ii. Συνδέουμε τα όργανα της διάταξης της διαδικασίας διακρίβωσης και τα θέτουμε σε λειτουργία όπως αναφέρεται στην παράγραφο 4.2.2 και την αντίστοιχη οδηγία του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων.
- iii. Διενεργούμε τη μέτρηση τιμών και καταγραφή των απαραίτητων αλλά και, πιθανά, σε περίπτωση που ζητηθεί, των συμπληρωματικών μεγεθών που χαρακτηρίζουν το φαινόμενο, σύμφωνα με την παράγραφο 4.2.2 και την αντίστοιχη οδηγία του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων.

- a) Για την τάση φόρτισης, θέτουμε τη γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων σε Air Discharge Mode. Ο έλεγχος για την τάση, γίνεται για τις τιμές ± 2 kV, ± 4 kV, ± 6 kV, ± 8 kV, ± 15 kV και \pm (μέγιστη επιθυμητή τιμή τάσης) kV.

Για τη συμπλήρωση του πρωτοκόλλου διακρίβωσης κάνουμε τα εξής. Με τη γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων σε Air Discharge Mode και για την εκάστοτε τάση φόρτισης, αγγίζουμε το ειδικό αγωγίμο σώμα για τη μέτρηση της τάσης με την air discharge tip, και κρατούμε τη σκανδάλη πατημένη. Καθώς η αναγραφόμενη στο βολτόμετρο τιμή αγγίζει τα επίπεδα της τάσης φόρτισης στην οποία έχουμε ρυθμίσει το όργανο, καταγράφουμε τιμές της τάσης φόρτισης ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Οι τιμές αυτές εισάγονται στα αντίστοιχα κελιά του πρωτοκόλλου. Αφού καταγράψουμε 5 τιμές αφήνουμε τη σκανδάλη, και περιμένουμε μέχρι η ένδειξη του βολτομέτρου να μηδενιστεί. Έπειτα γειώνουμε την air discharge tip της γεννήτριας.

- b) Για το ρεύμα ηλεκτροστατικής εκφόρτισης, θέτουμε τη γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων σε Contact Discharge Mode. Ο έλεγχος γίνεται για επίπεδα τάσης φόρτισης ± 2 kV, ± 4 kV, ± 6 kV, ± 8 kV, από 5 φορές στο κάθε επίπεδο. Για κάθε ένα από τους 40 αυτούς ελέγχους εκτελούνται δύο εκφορτίσεις, ώστε να καταγραφούν με ακρίβεια οι τιμές των παραμέτρων I_{max} , t_r , και I_{30} , I_{60} [76].

Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται σε ένα φάκελο που έχει το όνομα 9999_MONTELO_ΠΙΣΤΟΛΙΟΥ. Τα αρχεία ονομάζονται με κωδικοποιημένο τρόπο, ως εξής.

XLL_D:

- Το “X” δηλώνει την πολικότητα, **XC{P, N}** (για θετική τάση φόρτισης και αρνητική αντίστοιχα).
- Το “LL” την τιμή στην οποία ρυθμίζεται η τάση φόρτισης, **LLC{±02, ±04, ±06, ±08, ±MAX}**.
- το “D” τον αύξοντα αριθμό μέτρησης, **DC{1..5}**.

Π.χ. Δύο τυπικά ονόματα αρχείων είναι τα εξής P04_1, N02_3.

4.3 Δοκιμές ατρωσίας για γρήγορα ηλεκτρικά μεταβατικά φαινόμενα και απότομες εκφορτίσεις σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-4 Ed. 2.0 (2004-07)

4.3.1 Γεννήτρια TRA3000 EMC Partner

Η συσκευή TRA3000 [64] περιέχει μονοφασικό δίκτυο σύζευξης/απόζευξης, το οποίο επιτρέπει υπέρθεση των μεταβατικών φαινομένων σε μια γραμμή τροφοδοσίας. Όλα τα μεταβατικά φαινόμενα παράγονται στην ίδια έξοδο τροφοδοσίας στην οποία θα συνδεθεί η υπό δοκιμή συσκευή. Επιπλέον, επιτρέπει την αυτόματη μεταγωγή των διαδρομών σύζευξης και τον προγραμματισμό μεγάλου εύρους ακολουθιών δοκιμής.

4.3.1.1 Γεννήτρια παρασίτων EXT-TRA3000 F

Η μονάδα EXT-TRA3000 F για γρήγορα ηλεκτρικά μεταβατικά φαινόμενα βρίσκεται εντός της συσκευής TRA3000 και προσομοιώνει παράσιτα όπως αυτά που παράγονται από επαφές διακοπών επαγωγικών φορτίων, ασφάλειες, ρελέ, κ.λπ..

4.3.2 Διεξαγωγή δοκιμής ατρωσίας για γρήγορα ηλεκτρικά μεταβατικά φαινόμενα και απότομες εκφορτίσεις ^[38, 64, 78]

- i. Καταγράφουμε στο πρωτόκολλο:
 - τα στοιχεία του δοκιμίου.
 - την ώρα έναρξης του ελέγχου.
 - τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία του αέρα και την ατμοσφαιρική πίεση (χωρίς τα δεκαδικά).
 - τα όργανα που χρησιμοποιούμε.
- ii. Ελέγχεται αν η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία του αέρα και η ατμοσφαιρική πίεση είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων, που καθορίζει ο κατασκευαστής του δοκιμίου, ώστε να ξεκινήσει η δοκιμή.
- iii. Τοποθετούμε το δοκίμιο πάνω σε μονωτικό υλικό πάχους 10cm.
- iv. Συνδέουμε το δοκίμιο στο ρευματοδότη που διαθέτει γι' αυτό το σκοπό η συσκευή TRA3000. Το καλώδιο τοποθετείται πάνω στο μονωτικό υλικό πάχους 10cm. Σε περίπτωση που το καλώδιο έχει μεγάλο μήκος, αυτό πρέπει να διπλώνεται σε δέσμη.
- v. Συνδέουμε στην τροφοδοσία τη συσκευή TRA3000 με την ορθή πολικότητα. Αυτό επιτυγχάνεται ελέγχοντας ποιος αγωγός είναι η φάση και ποιος ο ουδέτερος στην πηγή με τη βοήθεια π.χ. ενός δοκιμαστικού κατσαβιδιού. Πρέπει ο αντίστοιχος ρευματοδότης να μην συνδέεται με το ρελέ διαφυγής του πίνακα, γιατί το ρεύμα διαρροής θα προκαλεί το κλείσιμό του (μέσω του ρελέ διαφυγής). Επιπλέον στην τροφοδοσία συνδέουμε τα τρία καλώδια χρώματος μαύρου, μπλε και κίτρινου στις υποδοχές L, N και PE αντίστοιχα που βρίσκονται στο πίσω μέρος της συσκευής TRA3000.
- vi. Ανοίγουμε το διακόπτη (41) που βρίσκεται στο πίσω μέρος της TRA3000. Πατάμε το POWER (6) στο εμπρόσθιο μέρος της συσκευής TRA3000.
- vii. Στην οθόνη εμφανίζεται το κύριο μενού:



Σχήμα 4.14: Οθόνη υποδοχής.

Πατάμε ENTER και στην οθόνη εμφανίζεται:



Σχήμα 4.15: Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής.

- viii. Κάνουμε τις απαραίτητες ρυθμίσεις για τη δοκιμή σύμφωνα με τις απαιτήσεις που θέλουμε και τις οδηγίες που αναφέρονται στην παράγραφο Γ.3 στο Παράρτημα Γ με τη χρήση των μπουτόν UP/DOWN (7,8), ENTER (14), EDIT (15) και του μπουτόν MORE (F6) προκειμένου να μεταβούμε και στις τρεις οθόνες ρύθμισης παραμέτρων του EFT Main Menu.
- ix. Ανοίγουμε το δοκίμιο και φροντίζουμε να δουλεύει με το συνηθισμένο τρόπο (πατάμε EUT POWER 1).
- x. Φωτογραφίζουμε τη διάταξη και το δοκίμιο (να φαίνονται και τα δύο στην ίδια φωτογραφία).
- xi. Πατάμε το RUN (19). Το μπουτόν RUN (19) τότε να ανάβει, και η δοκιμή ξεκινά.



Σχήμα 4.16: Οθόνη γεννήτριας σε λειτουργία EFT.

- xii. Σε κατάσταση λειτουργίας, οι τιμές των παραμέτρων Spike Frequency και Burst Duration είναι δυνατό να αλλαχθούν χωρίς να αλλάξουμε την προγραμματισμένη δοκιμή.
- xiii. Όταν ο χειριστής διακρίνει αποτυχία του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της δοκιμής, πατώντας το μπουτόν F4 (“Fail”) μπορεί να διακόψει τη δοκιμή και στο πρωτόκολλο της δοκιμής θα εμφανιστεί ότι η δοκιμή απέτυχε (“test failed”).



Σχήμα 4.17: Οθόνη γεννήτριας πατώντας το μπουτόν F4 (“Fail”).

xiv. Πατώντας το μπουτόν F5 (“Mark”) οι πραγματικές παράμετροι της δοκιμής θα εγγραφούν στο πρωτόκολλο της δοκιμής και θα εμφανιστούν στην οθόνη μετά το πέρας της δοκιμής.



Σχήμα 4.18: Οθόνη γεννήτριας πατώντας το μπουτόν F5 (“Mark”).

- xv. Εάν για οποιοδήποτε λόγο πρέπει να σταματήσει η δοκιμή, πατάμε το RUN (19).
- xvi. Η δοκιμή τερματίζεται μετά το πέρας του χρονικού διαστήματος που ορίσαμε αρχικά. Πατάμε το POWER (6).
- xvii. Μετά το πέρας της δοκιμής σημειώνεται στο πρωτόκολλο της δοκιμής το κριτήριο που ικανοποιείται.
- xviii. Κλείνουμε το διακόπτη (41) στο πίσω μέρος της συσκευής TRA3000 και την αποσυνδέουμε από την τροφοδοσία.

4.3.3 Διαδικασία διακρίβωσης για γρήγορα ηλεκτρικά μεταβατικά φαινόμενα και απότομες εκφορτίσεις

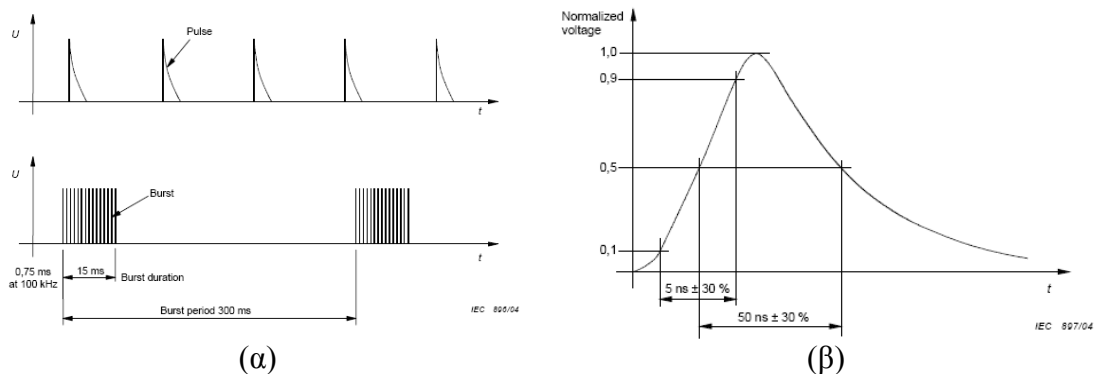
4.3.3.1 Εξοπλισμός

Ο απαιτούμενος εξοπλισμός για την πραγματοποίηση της διακρίβωσης για γρήγορα ηλεκτρικά μεταβατικά φαινόμενα και απότομες εκφορτίσεις είναι:

- Γεννήτρια TRA3000 της EMC Partner [64].
- Παλμογράφος TDS 3052 της TEKTRONIX [65].
- Σειτ βαθμονόμησης CAS 3025 (INA 265A και INA266) της SCHAFFNER [68].

4.3.3.2 Παράμετροι διακρίβωσης

- i. Σύμφωνα με το Πρότυπο [38] οι παλμοί των παρασίτων (burst) θα πρέπει να έχουν την κυματομορφή που φαίνεται στο Σχήμα 4.19.



Σχήμα 4.19: Παλμοί παρασίτων (burst) [38].

- ii. Ελέγχεται αν οι παράμετροι της τάσεως, που παράγει η γεννήτρια, βρίσκονται εντός των ορίων που ορίζει το Πρότυπο. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, η γεννήτρια παράγει κρούσεις σύμφωνα με την §6.1.2 του Προτύπου IEC 61000-4-4. Στους Πίνακες 4.2 και 4.3, φαίνονται τα όρια, στα οποία πρέπει να βρίσκονται οι τιμές των τριών παραμέτρων.

Επίπεδο τάσης [kV]	Ρυθμός επανάληψης f [kHz]	Τάση κορυφής U_p [V]	Χρόνος ανόδου t_r [ns]	Διάρκεια παλμού t_d [ns]
0,25	5 ή 100	113 – 138	3,5 - 6,5	35 - 65
0,5	5 ή 100	225 – 275	3,5 - 6,5	35 - 65
1,0	5 ή 100	450 - 550	3,5 - 6,5	35 - 65
2,0	5 ή 100	900 - 1100	3,5 - 6,5	35 - 65
4,0	5 ή 100	1800 - 2200	3,5 - 6,5	35 - 65

Πίνακας 4.2: Επίπεδα τάσεων διακρίβωσης για φορτίο 50Ω ^[79].

Επίπεδο τάσης [kV]	Ρυθμός επανάληψης f [kHz]	Τάση κορυφής U_p [V]	Χρόνος ανόδου t_r [ns]	Διάρκεια παλμού t_d [ns]
0,25	5 ή 100	192 – 288	3,5 - 6,5	35 - 150
0,5	5 ή 100	384 – 576	3,5 - 6,5	35 - 150
1,0	5 ή 100	760 - 1140	3,5 - 6,5	35 - 150
2,0	5 ή 100	1520 - 2280	3,5 - 6,5	35 - 150
4,0	5 ή 100	3040 - 4560	3,5 - 6,5	35 - 150

Πίνακας 4.3: Επίπεδα τάσεων διακρίβωσης για φορτίο 1000Ω ^[79].

- iii. Η τάση των παραγόμενων παρασίτων υποβιβάζεται από τον INA 265A (-60db ή 1000:1) ή INA 266 (1710:1) οδηγείται μέσω ομοαξονικού καλωδίου, αφού πρώτα διέλθει από αντίσταση τερματισμού 50Ω , σε ένα από τα δύο κανάλια του παλμογράφου, όπου και καταγράφεται η κυματομορφή της τάσης.

- iv. Για τον υπολογισμό των προαναφερθεισών παραμέτρων χρησιμοποιούνται κατάλληλες ρυθμίσεις του παλμογράφου.

4.3.3.3 Διεξαγωγή διακρίβωσης

- i. Καταγράφουμε στο αντίστοιχο έντυπο:
- την ημερομηνία της διακρίβωσης.
 - τα όργανα που χρησιμοποιούμε.
 - το λόγο των εξασθενητών (από τα πιστοποιητικά διακρίβωσής τους).

- ii. Ελέγχεται αν η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία του αέρα και η ατμοσφαιρική πίεση είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων, που καθορίζει το Πρότυπο, ώστε να ξεκινήσει η επαλήθευση.
- iii. Συνδέουμε στην τροφοδοσία τη συσκευή TRA3000 με την ορθή πολικότητα. Αυτό επιτυγχάνεται ελέγχοντας ποιος αγωγός είναι η φάση και ποιος ο ουδέτερος στην πηγή με τη βοήθεια π.χ. ενός δοκιμαστικού κατσαβιδιού. Πρέπει ο αντίστοιχος ρευματοδότης να μην συνδέεται με το ρελέ διαφυγής του πίνακα, γιατί το ρεύμα διαρροής θα προκαλεί το κλείσιμό του (μέσω του ρελέ διαφυγής). Επιπλέον στην τροφοδοσία συνδέουμε τα τρία καλώδια χρώματος μαύρου, μπλε και κίτρινου στις υποδοχές L, N και PE αντίστοιχα που βρίσκονται στο πίσω μέρος της συσκευής TRA3000.
- iv. Συνδέουμε τον παλμογράφο (TDS 3052) στην τροφοδοσία του και τον ανοίγουμε.
- v. Επιλέγουμε στον παλμογράφο την κατάλληλη διαμόρφωση:
 - a. “SAVE/RECALL”
 - b. “Recall Saved Setup”
 - c. “Setup 1” για θετικούς παλμούς ή “Setup 4” για αρνητικούς παλμούς
 Δηλαδή, η τάση ρυθμίζεται στα 200mV/div, ο χρόνος 10ns/div, το trigger level στα 192mV για θετικό παλμό ή στα -192mV για αρνητικό παλμό, στο “Acquisition mode” (από μενού ACQUIRE) επιλέγεται “Average 32” και MEASURE → Gating Cursors → Between V Bar Cursors. Οι ρυθμίσεις αυτές είναι ιδανικές για το 1kV. Οι ρυθμίσεις του παλμογράφου για κάθε άλλο επίπεδο τάσης παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

Μετρούμενη τάση	Τάση παλμογράφου	Trigger level
250V	20mV/div	~20mV
500V	50mV/div	~50mV
1000V	100mV/div	~100mV
2000V	200mV/div	~200mV
4000V	500mV/div	~500mV

Πίνακας 4.4: Ρυθμίσεις παλμογράφου για επίπεδα της τάσης διακρίβωσης^[65].

- vi. Για τη λειτουργία του υπό διακρίβωση εξοπλισμού ακολουθούμε τα επόμενα βήματα:
 - a. Συνδέουμε την προς διακρίβωση έξοδο (L1 ή N ή PE) στην κατάλληλη θύρα (banana plug type), μέσω κατάλληλου προσαρμογέα (το εξόγκωμα στη γη δηλ. το εξόγκωμα στην επιφάνεια γείωσης της συσκευής) και είτε του INA 265A (για φορτίο 50Ω) είτε του INA 266 (για φορτίο 1kΩ) και καλωδίου 50Ω τερματισμένου με αντίσταση 50Ω, με το 1^ο κανάλι του παλμογράφου (βλέπε επόμενη φωτογραφία).



Σχήμα 4.20: Διάταξη σύνδεσης γεννήτριας, INA 265/INA 266 και παλμογράφου.

- b. Ανοίγουμε το διακόπτη (41) που βρίσκεται στο πίσω μέρος της TRA3000.
- c. Πατάμε το POWER (6) στο εμπρόσθιο μέρος της συσκευής TRA3000.
- d. Στην οθόνη εμφανίζεται το κύριο μενού:



Σχήμα 4.21: Οθόνη υποδοχής.

- e. Πατάμε ENTER και στην οθόνη εμφανίζεται



Σχήμα 4.22: Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής.

- f. Κάνουμε τις απαραίτητες ρυθμίσεις για τη δοκιμή, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των Πινάκων 4.2 και 4.3, με τη χρήση των μπουτόν UP/DOWN (7,8), ENTER (14), EDIT (15) και του μπουτόν MORE (F6) προκειμένου να μεταβούμε και στις τρεις οθόνες ρύθμισης παραμέτρων του EFT Main Menu.
- Σημείωση: Ο χρόνος διάρκειας της δοκιμής συνήθως επιλέγεται 60 sec.
- g. Πατάμε το μπουτόν L, N ή PE (22) της αντίστοιχης φάσης που διακριβώνουμε.
- h. Πατάμε το RUN (19). Το μπουτόν RUN (19) τότε να ανάβει, και η δοκιμή ξεκινά.
- i. Εάν για οποιοδήποτε λόγο πρέπει να σταματήσει η δοκιμή, πατάμε το RUN (19).
- vii. Καταγράφουμε τα αποτελέσματα στον πίνακα της αντίστοιχης οδηγίας.

- Το Ch1 Max για θετικό παλμό ή Ch1 Min για αρνητικό παλμό
- Το Ch1 Rise ισούται με το t_r για θετικό παλμό ή Ch1 Fall για αρνητικό παλμό
- Το Ch1 +Width ισούται με το t_d για θετικό παλμό ή Ch1 -Width για αρνητικό παλμό

Προσοχή: Κατά την καταγραφή των αποτελεσμάτων, ειδικά του χρόνου ανόδου, ο αριστερός δρομέας (cursor) πρέπει να βρίσκεται στο 0 της τάσης (@ 0.00V). Αν απαιτηθεί, γίνονται μικρορρυθμίσεις στις θέσεις των δύο δρομέων (cursors) (μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το zoom).

- viii. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα x – viii όσες φορές χρειάζεται για να συμπληρωθούν οι πίνακες της οδηγίας.
- ix. Για την συμπλήρωση του προτελευταίου πίνακα, μέτρηση συχνότητας απαιτούνται οι εξής ρυθμίσεις του παλμογράφου:
 - a. MEASURE → Select measure for Ch1 → Frequency → MENU OFF
 - b. ACQUIRE → MENU → Peak detector
 - c. 500mV/div
 - d. 100msec/div - 4msec/div - 2msec/div - 1msec/div - 100μsec/div - 10μsec/div (για τη μέτρηση συχνότητας $f=100\text{Hz}$, 2kHz, 5kHz, 10kHz, 100kHz, 1000kHz).
 - e. Οι μετρήσεις της συχνότητας γίνεται με την αντίστοιχη ένδειξη (μέτρηση) του παλμογράφου.
- x. Για την συμπλήρωση του τελευταίου πίνακα απαιτείται η εξής ρύθμιση του παλμογράφου
 - a. ACQUIRE → MENU → Mode Peak detect → Envelope 64 (Το 64 αλλάζει από το κομβίο δίπλα από τα SELECT / COARSE)
 - b. 500mV/div ή κατάλληλη μεταβολή του
 - c. 2msec/div (για την μέτρηση του burst duration για συχνότητα $f=5\text{kHz}$) ή 100μsec/div (για την μέτρηση του burst duration για συχνότητα $f=100\text{kHz}$)
 - d. 40msec/div (για την μέτρηση του burst period)
 - e. Οι μετρήσεις των χρόνων γίνεται με την χρήση των κερσόρων (CURSOR - SELECT) του παλμογράφου και καταγράφονται στο Πρωτόκολλο. Το σύμβολο Δ δείχνει την διαφορά μεταξύ των κερσόρων.
- xi. Η διακρίβωση τερματίζεται μετά το πέρας του χρονικού διαστήματος που ορίσαμε αρχικά. Πατάμε το POWER (6).
- xii. Αν οι προς διακρίβωση παράμετροι δεν είναι εντός ορίων το όργανο χρειάζεται αποστολή σε διαπιστευμένο εργαστήριο για ρύθμιση.
- xiii. Κλείνουμε το διακόπτη (41) στο πίσω μέρος της συσκευής TRA3000 και την αποσυνδέουμε από την τροφοδοσία.
- xiv. Τέλος, αποσυνδέουμε από την τροφοδοσία τους και φυλάσσουμε τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήσαμε.

4.4 Δοκιμές ατρωσίας από υπερτάσεις και υπερεντάσεις σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-5 Ed. 2.0 (2005-11)

4.4.1 Γεννήτρια TRA3000 EMC Partner

Η συσκευή TRA3000 [64] περιέχει μονοφασικό δίκτυο σύζευξης/απόζευξης, το οποίο επιτρέπει υπέρθεση των μεταβατικών φαινομένων σε μια γραμμή τροφοδοσίας. Όλα τα μεταβατικά φαινόμενα παράγονται στην ίδια έξοδο τροφοδοσίας στην οποία θα συνδεθεί η υπό δοκιμή συσκευή. Επιπλέον, επιτρέπει την αυτόματη μεταγωγή των διαδρομών σύζευξης και τον προγραμματισμό μεγάλου εύρους ακολουθιών δοκιμής.

4.4.1.1 Γεννήτρια παρασίτων EXT-TRA3000 S

Η μονάδα EXT-TRA3000 S βρίσκεται εντός της συσκευής TRA3000 και προσομοιώνει υπερτάσεις και υπερεντάσεις που μπορούν να συμβούν είτε λόγω κάποιου κεραυνικού πλήγματος είτε λόγω μεταβατικών φαινομένων από διακόπτες φορτίων.

4.4.2 Διεξαγωγή δοκιμής ατρωσίας από υπερτάσεις και υπερεντάσεις [40, 64, 80]

- i. Καταγράφουμε στο πρωτόκολλο:
 - τα στοιχεία του δοκιμίου.
 - την ώρα έναρξης του ελέγχου.
 - τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία του αέρα και την ατμοσφαιρική πίεση (χωρίς τα δεκαδικά).
 - τα όργανα που χρησιμοποιούμε.
- ii. Ελέγχεται αν η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία του αέρα και η ατμοσφαιρική πίεση είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων, που καθορίζει ο κατασκευαστής του δοκιμίου, ώστε να ξεκινήσει η δοκιμή.
- iii. Συνδέουμε το δοκίμιο στο ρευματοδότη που διαθέτει γι' αυτό το σκοπό η συσκευή TRA3000.
- iv. Συνδέουμε στην τροφοδοσία τη συσκευή TRA3000 με την ορθή πολικότητα. Αυτό επιτυγχάνεται ελέγχοντας ποιος αγωγός είναι η φάση και ποιος ο ουδέτερος στην πηγή με τη βοήθεια π.χ. ενός δοκιμαστικού κατσαβιδιού. Πρέπει ο αντίστοιχος ρευματοδότης να μην συνδέεται με το ρελέ διαφυγής του πίνακα, γιατί το ρεύμα διαρροής θα προκαλεί το κλείσιμό του (μέσω του ρελέ διαφυγής). Επιπλέον στην τροφοδοσία συνδέουμε τα τρία καλώδια χρώματος μαύρου, μπλε και κίτρινου στις υποδοχές L, N και PE αντίστοιχα που βρίσκονται στο πίσω μέρος της συσκευής TRA3000.
- v. Ανοίγουμε το διακόπτη (41) που βρίσκεται στο πίσω μέρος της TRA3000. Πατάμε το POWER (6) στο εμπρόσθιο μέρος της συσκευής TRA3000.
- vi. Στην οθόνη εμφανίζεται το κύριο μενού:



Σχήμα 4.23: Οθόνη υποδοχής.

- vii. Επιλέγουμε με τα μπουτόν UP/DOWN (7,8) τη δοκιμή SURGE, πατάμε ENTER (14) και στην οθόνη εμφανίζεται:



Σχήμα 4.24: Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής.

- viii. Κάνουμε τις απαραίτητες ρυθμίσεις για τη δοκιμή σύμφωνα με τις απαιτήσεις που θέλουμε και τις οδηγίες που αναφέρονται στην παράγραφο Γ.4 στο Παράρτημα Γ με τη χρήση των μπουτόν UP/DOWN (7,8), ENTER (14), EDIT (15) και του μπουτόν MORE (F6) προκειμένου να μεταβούμε και στις τρεις οθόνες ρύθμισης παραμέτρων του SURGE Main Menu.
- ix. Ανοίγουμε το δοκίμιο και φροντίζουμε να δουλεύει με το συνηθισμένο τρόπο (πατάμε EUT POWER 1).
- x. Φωτογραφίζουμε τη διάταξη και το δοκίμιο (να φαίνονται και τα δύο στην ίδια φωτογραφία).
- xi. Πατάμε το RUN (19). Το μπουτόν RUN (19) τότε να ανάβει, και η δοκιμή ξεκινά.



Σχήμα 4.25: Οθόνη γεννήτριας σε λειτουργία SURGE.

- xii. Όταν ο χειριστής διακρίνει αποτυχία του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της δοκιμής, πατώντας το μπουτόν F4 (“Fail”) μπορεί να διακόψει τη δοκιμή και στο πρωτόκολλο της δοκιμής θα εμφανιστεί ότι η δοκιμή απέτυχε (“test failed”).
- xiii. Πατώντας το μπουτόν F5 (“Mark”) οι πραγματικές παράμετροι της δοκιμής θα εγγραφούν στο πρωτόκολλο της δοκιμής και θα εμφανιστούν στην οθόνη μετά το πέρας της δοκιμής.
- xiv. Εάν για οποιοδήποτε λόγο πρέπει να σταματήσει η δοκιμή, πατάμε το RUN (19).
- xv. Η δοκιμή τερματίζεται μετά το πέρας του χρονικού διαστήματος που ορίσαμε αρχικά. Πατάμε το POWER (6).
- xvi. Μετά το πέρας της δοκιμής σημειώνεται στο πρωτόκολλο της δοκιμής το κριτήριο που ικανοποιείται.
- xvii. Κλείνουμε το διακόπτη (41) στο πίσω μέρος της συσκευής TRA3000 και την αποσυνδέουμε από την τροφοδοσία.

4.4.3 Διαδικασία διακρίβωσης από υπερτάσεις και υπερεντάσεις

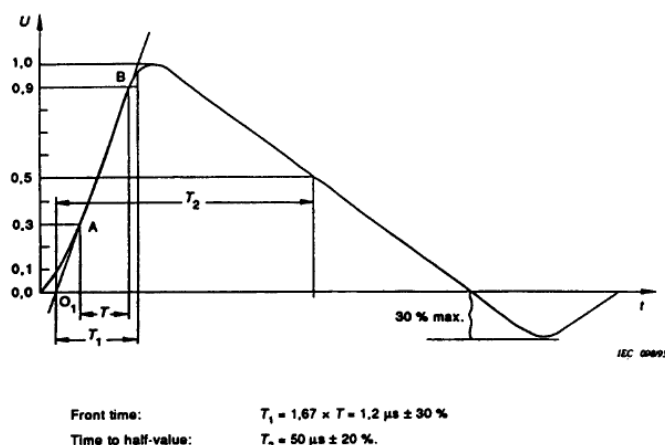
4.4.3.1 Εξοπλισμός

Ο απαιτούμενος εξοπλισμός για την πραγματοποίηση της διακρίβωσης από υπερτάσεις και υπερεντάσεις είναι:

- Γεννήτρια TRA3000 της EMC Partner [64].
- Παλμογράφος TDS 3052 της TEKTRONIX [65].
- Διαφορικός καταμεριστής MD 200 της SCHAFFNER [69].
- Current monitor (Αμπεροτσιμπίδα) Pearson/8260 [70].

4.4.3.2 Παράμετροι διακρίβωσης κυματομορφής τάσης

- Σύμφωνα με το Πρότυπο [40] οι παλμοί της υψηλής τάσης θα πρέπει να έχουν την κυματομορφή που φαίνεται στο Σχήμα 4.26.



Σχήμα 4.26: Κυματομορφή τάσης ανοικτού κυκλώματος^[40].

- Ελέγχεται αν οι παράμετροι της τάσεως, που παράγει η γεννήτρια, βρίσκονται εντός των ορίων που ορίζει το Πρότυπο. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, η γεννήτρια παράγει κρούσεις πάνω στο διαφορικό καταμεριστή σύμφωνα με την §6.1.2 του Προτύπου IEC 61000-4-5. Στον κατωτέρω Πίνακα 4.5, φαίνονται τα όρια, στα οποία πρέπει να βρίσκονται οι τιμές των τριών παραμέτρων.

Επίπεδο	Τάση ανοικτοκύκλωσης U_p [kV] $\pm 10\%$	Χρόνος μετώπου T_1 [μs] $\pm 30\%$	Χρόνος ημίσεως εύρους T_2 [μs] $\pm 20\%$
1	0,5	1,2	50
2	1,0	1,2	50
3	2,0	1,2	50
4	4,0	1,2	50

Πίνακας 4.5: Επίπεδα τάσεων δοκιμών^[40].

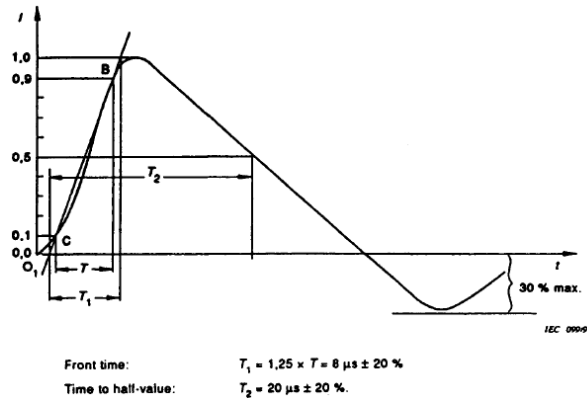
- Η τάση των παραγόμενων παρασίτων υποβιβάζεται από το διαφορικό καταμεριστή MD 200 (Attenuation Ratio 1/1000) και οδηγείται μέσω

ομοαξονικού καλωδίου στο πρώτο κανάλι του παλμογράφου TDS 3052, όπου και καταγράφεται η κυματομορφή της τάσης.

- iv. Για τον υπολογισμό των προαναφερθεισών παραμέτρων γίνονται κατάλληλες ρυθμίσεις στον παλμογράφο.

4.4.3.3 Παράμετροι διακρίβωσης κυματομορφής ρεύματος

- i. Σύμφωνα με το Πρότυπο [40] οι παλμοί του ρεύματος θα πρέπει να έχουν την κυματομορφή που φαίνεται στο Σχήμα 4.27.



Σχήμα 4.27: Κυματομορφή τάσης ρεύματος βραχυκύκλωσης ^[40].

- ii. Ελέγχεται αν οι παράμετροι του ρεύματος που παράγει η γεννήτρια βρίσκονται εντός των ορίων που ορίζει το Πρότυπο. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, η γεννήτρια παράγει κρούσεις με βραχυκυκλωμένους τους αντίστοιχους ακροδέκτες (L1-N, L1-PE, N-PE) σύμφωνα με την §6.1.2 του Προτύπου IEC 61000-4-5. Στον κατωτέρω Πίνακα 2 φαίνονται τα όρια εντός των οποίων πρέπει να βρίσκονται οι τιμές των τριών παραμέτρων.

Επίπεδο	Ρεύμα βραχυκύκλωσης I_p [kA] $\pm 10\%$	Χρόνος μετώπου T_1 [μs] $\pm 20\%$	Χρόνος ημίσεως εύρους T_2 [μs] $\pm 20\%$
1	0,25	8	20
2	0,5	8	20
3	1	8	20
4	2	8	20

Πίνακας 4.6: Επίπεδα ρευμάτων δοκιμών ^[40].

- iii. Το κεραυνικό ρεύμα μετράται με τη χρήση της αμπεροτσιμπίδας Pearson/8260 (2mV/A) και οδηγείται μέσω ομοαξονικού καλωδίου στο πρώτο κανάλι του παλμογράφου TDS 3052, το οποίο τερματίζεται σε αντίσταση 50Ω (CH1, Menu, 50Ω) και καταγράφεται η κυματομορφή του ρεύματος.
- iv. Για τον υπολογισμό των προαναφερθεισών παραμέτρων πραγματοποιούνται κατάλληλες ρυθμίσεις του παλμογράφου.

4.4.3.4 Διεξαγωγή διακρίβωσης της μορφής της τάσης

- i. Καταγράφουμε στο έντυπο της οδηγίας:
 - την ημερομηνία της διακρίβωσης.
 - τα όργανα που χρησιμοποιούμε.
 - το προς διακρίβωση όργανο.
- ii. Ελέγχεται αν η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία του αέρα και η ατμοσφαιρική πίεση είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων, που καθορίζει το Πρότυπο, ώστε να ξεκινήσει η επαλήθευση.
- iii. Συνδέουμε τους επιθυμητούς ακροδέκτες (L1, N ή L1, PE) του δικτύωματος μέσω του διαφορικού καταμεριστή MD 200 (Επιλέγουμε Attenuation Ratio 1/1000) με το 1^ο κανάλι του παλμογράφου. Στην περίπτωση θετικού παλμού ο ακροδέκτης με το κόκκινο καλώδιο συνδέεται στο L1 και ο ακροδέκτης με το μαύρο καλώδιο συνδέεται στο N ή PE. Αντίστοιχα, στην περίπτωση αρνητικού παλμού ο ακροδέκτης με το μαύρο καλώδιο συνδέεται στο L1 και ο ακροδέκτης με το κόκκινο καλώδιο συνδέεται στο N ή PE.
- iv. Συνδέουμε στην τροφοδοσία τη συσκευή TRA3000 με την ορθή πολικότητα. Αυτό επιτυγχάνεται ελέγχοντας ποιος αγωγός είναι η φάση και ποιος ο ουδέτερος στην πηγή με τη βοήθεια π.χ. ενός δοκιμαστικού κατσαβιδιού. Πρέπει ο αντίστοιχος ρευματοδότης να μην συνδέεται με το ρελέ διαφυγής του πίνακα, γιατί το ρεύμα διαρροής θα προκαλεί το κλείσιμό του (μέσω του ρελέ διαφυγής). Επιπλέον στην τροφοδοσία συνδέουμε τα τρία καλώδια χρώματος μαύρου, μπλε και κίτρινου στις υποδοχές L, N και PE αντίστοιχα που βρίσκονται στο πίσω μέρος της συσκευής TRA3000.
- v. Συνδέουμε στην τροφοδοσία το διαφορικό καταμεριστή MD 200 και στην συνέχεια τον ανοίγουμε.
- vi. Συνδέουμε τον παλμογράφο (TDS 3052) στην τροφοδοσία, τον ανοίγουμε και επιλέγουμε:
 - a. “SAVE/RECALL”
 - b. “Recall Saved Setup”
 - c. “Setup 5”Δηλαδή, η τάση ρυθμίζεται στα 200mV/div, ο χρόνος 10μs/div, το trigger level στα 200mV και στο “Acquisition mode” επιλέγεται “Sample”.
- vii. Ανοίγουμε την τροφοδοσία του εξοπλισμού μέσω του διακόπτη (41) που βρίσκεται στο πίσω μέρος της TRA3000. Πατάμε το POWER (6) στο εμπρόσθιο μέρος της συσκευής TRA3000. Επιλέγουμε με τα μπουτόν UP/DOWN (7,8) τη δοκιμή SURGE και πατάμε ENTER (14). Κάνουμε τις απαραίτητες ρυθμίσεις για τη δοκιμή σύμφωνα με τις απαιτήσεις σύμφωνα με το πρωτόκολλο της οδηγίας (Coupling, V-peak, Polarity, No Pulses κ.ά).
- viii. Προσοχή κατά τη διάρκεια της διακρίβωσης η τροφοδοσία του δοκιμίου πρέπει να είναι απενεργοποιημένη.
- ix. Η διακρίβωση κάθε επιπέδου τερματίζεται μετά από πέντε κρούσεις. Ανάλογα με το επίπεδο της προς μέτρηση τάσης πραγματοποιούμε τις εξής ρυθμίσεις στον παλμογράφο:

Μετρούμενη τάση	Τάση παλμογράφου	Trigger level
500V	100mV/div	~100mV
1000V	200mV/div	~200mV
2000V	500mV/div	~500mV
4000V	1V/div	~1V

Πίνακας 4.7: Ρυθμίσεις παλμογράφου για επίπεδα της τάσης διακρίβωσης ^[65].

- x. Καταγράφουμε τα αποτελέσματα στο αντίστοιχο έντυπο.
 - Το Ch1 Max πολλαπλασιασμένο με το λόγο του διαφορικού καταμεριστή ισούται με το U_p
 - Το Ch1 Rise πολλαπλασιασμένο με 1,67 ισούται με το T_1
 - Το Ch1 +Width ισούται με το T_2
- xi. Συνεχίζουμε την διακρίβωση σε επόμενο επίπεδο σύμφωνα με το έντυπο της οδηγίας.
- xii. Αν οι προς διακρίβωση παράμετροι δεν είναι εντός ορίων το όργανο χρειάζεται αποστολή στον κατασκευαστή του για ρύθμιση.
- xiii. Μετά την ολοκλήρωση της διακρίβωσης όλων των παραμέτρων της τάσης κλείνουμε τη γεννήτρια.

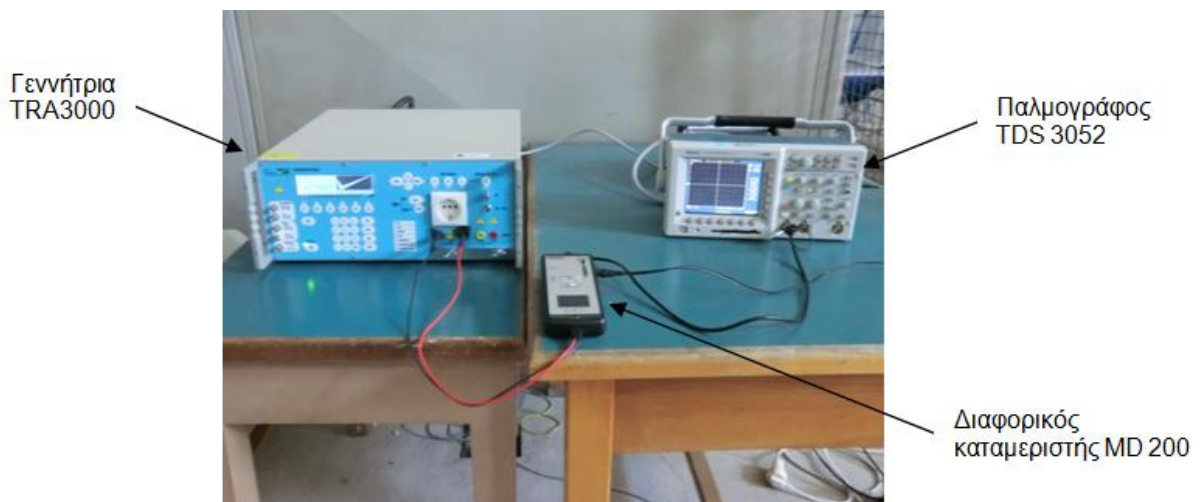
4.4.3.5 Διεξαγωγή διακρίβωσης της γωνιάς της τάσης

- i. Ελέγχεται αν η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία του αέρα και η ατμοσφαιρική πίεση είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων, που καθορίζει το Πρότυπο, ώστε να ξεκινήσει η διακρίβωση.
- ii. Συνδέουμε τους επιθυμητούς ακροδέκτες (L1, N) του δικτύματος μέσω του διαφορικού καταμεριστή MD 200 (Επιλέγουμε Attenuation Ratio 1/1000) με το 1^ο κανάλι του παλμογράφου. Στην περίπτωση θετικού παλμού ο ακροδέκτης με το κόκκινο καλώδιο συνδέεται στο L1 και ο ακροδέκτης με το μαύρο καλώδιο συνδέεται στο N ή PE.
- iii. Συνδέουμε στην τροφοδοσία τη συσκευή TRA3000 με την ορθή πολικότητα. Αυτό επιτυγχάνεται ελέγχοντας ποιος αγωγός είναι η φάση και ποιος ο ουδέτερος στην πηγή με τη βοήθεια π.χ. ενός δοκιμαστικού κατσαβιδιού. Πρέπει ο αντίστοιχος ρευματοδότης να μην συνδέεται με το ρελέ διαφυγής του πίνακα, γιατί το ρεύμα διαρροής θα προκαλεί το κλείσιμό του (μέσω του ρελέ διαφυγής). Επιπλέον στην τροφοδοσία συνδέουμε τα τρία καλώδια χρώματος μαύρου, μπλε και κίτρινου στις υποδοχές L, N και PE αντίστοιχα που βρίσκονται στο πίσω μέρος της συσκευής TRA3000.
- iv. Συνδέουμε στην τροφοδοσία το διαφορικό καταμεριστή MD 200 και στην συνέχεια τον ανοίγουμε.
- v. Συνδέουμε τον παλμογράφο (TDS 3052) στην τροφοδοσία, τον ανοίγουμε και επιλέγουμε:
 - a. "SAVE/RECALL"
 - b. "Recall Saved Setup"
 - c. "Setup 7"
 Δηλαδή, η τάση ρυθμίζεται στα 200mV/div, ο χρόνος 4ms/div, το trigger level στα 420mV και στο "Acquisition mode" επιλέγεται "Sample".
- vi. Ανοίγουμε την τροφοδοσία του εξοπλισμού μέσω του διακόπτη (41) που βρίσκεται στο πίσω μέρος της TRA3000. Πατάμε το POWER (6) στο εμπρόσθιο μέρος της συσκευής TRA3000. Επιλέγουμε με τα μπουτόν UP/DOWN (7,8) τη δοκιμή SURGE και πατάμε ENTER (14). Κάνουμε τις απαραίτητες ρυθμίσεις για τη δοκιμή σύμφωνα με τις απαιτήσεις σύμφωνα με το πρωτόκολλο της οδηγίας (Coupling, V-peak, Polarity, No Pulses κ.ά). Επιλέγουμε Repetition και θέτουμε 60s.
- vii. Η σύνδεση του δοκιμίου πρέπει να είναι ενεργοποιημένη.
- viii. Η διακρίβωση κάθε επιπέδου τερματίζεται μετά από πέντε κρούσεις.
- ix. Καταγράφουμε στον τελευταίο πίνακα του εντύπου της οδηγίας.

- είτε του χρόνου που μεσολαβεί από την έναρξη του παλμού έως τη λήξη του ημιτόνου της τάσης.
- είτε τη διαφορά ανάμεσα στην περίοδο του ημιτόνου (20ms) και του χρόνου που μεσολαβεί από την έναρξη του ημιτόνου της τάσης τροφοδοσίας έως την έναρξη του παλμού

Για τη μέτρηση του χρόνου χρησιμοποιούμε τους κέρσορες και την εστίαση (zoom) του παλμογράφου.

- Συνεχίζουμε την διακρίβωση για επόμενη τιμή της γωνίας σύμφωνα με το έντυπο της οδηγίας.
- Αν οι προς διακρίβωση παράμετροι δεν είναι εντός ορίων το όργανο χρειάζεται αποστολή στον κατασκευαστή του για ρύθμιση.
- Κλείνουμε τους διακόπτες του εξοπλισμού που χρησιμοποιήσαμε.
- Τέλος, αποσυνδέουμε από την τροφοδοσία τους και φυλάσσουμε τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήσαμε.



Σχήμα 4.28: Διάταξη σύνδεσης εξοπλισμού για την πραγματοποίησης της διακρίβωσης της μορφής και της γωνίας της τάσης.

4.4.3.6 Διεξαγωγή διακρίβωσης της μορφής του ρεύματος

- Ελέγχεται αν η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία του αέρα και η ατμοσφαιρική πίεση είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων, που καθορίζει το Πρότυπο, ώστε να ξεκινήσει η διακρίβωση.
- Βραχυκυκλώνουμε τους επιθυμητούς ακροδέκτες L1, N και συνδέουμε το current monitor στο 1^ο κανάλι του παλμογράφου αφού το τερματίσω σε αντίσταση 50Ω. Προσοχή εφόσον η διακρίβωση γίνεται για θετικό ρεύμα η φορά του βέλους του current monitor πρέπει να δείχνει από το N στο L1.
- Συνδέουμε στην τροφοδοσία τη συσκευή TRA3000 με την ορθή πολικότητα. Αυτό επιτυγχάνεται ελέγχοντας ποιος αγωγός είναι η φάση και ποιος ο ουδέτερος στην πηγή με τη βοήθεια π.χ. ενός δοκιμαστικού κατσαβιδιού. Πρέπει ο αντίστοιχος ρευματοδότης να μην συνδέεται με το ρελέ διαφυγής του πίνακα, γιατί το ρεύμα διαρροής θα προκαλεί το κλείσιμό του (μέσω του ρελέ διαφυγής). Επιπλέον στην τροφοδοσία συνδέουμε τα τρία καλώδια χρώματος μαύρου, μπλε και κίτρινου στις υποδοχές L, N και PE αντίστοιχα που βρίσκονται στο πίσω μέρος της συσκευής TRA3000.

- iv. Συνδέουμε τον παλμογράφο (TDS 3052) στην τροφοδοσία, τον ανοίγουμε και επιλέγουμε:
 - a. “SAVE/RECALL”
 - b. “Recall Saved Setup”
 - c. “Setup 6”
 Δηλαδή, η τάση ρυθμίζεται στα 200mV/div, ο χρόνος 10μs/div, το trigger level στα 200mV και στο “Acquisition mode” επιλέγεται “Sample”.
- v. Ανοίγουμε την τροφοδοσία του εξοπλισμού μέσω του διακόπτη (41) που βρίσκεται στο πίσω μέρος της TRA3000. Πατάμε το POWER (6) στο εμπρόσθιο μέρος της συσκευής TRA3000. Επιλέγουμε με τα μπουτόν UP/DOWN (7,8) τη δοκιμή SURGE και πατάμε ENTER (14). Κάνουμε τις απαραίτητες ρυθμίσεις για τη δοκιμή σύμφωνα με τις απαιτήσεις σύμφωνα με το πρωτόκολλο της οδηγίας (Coupling, V-peak, Polarity, No Pulses κ.ά).
- vi. Η σύνδεση του δοκιμίου πρέπει να είναι απενεργοποιημένη.
- vii. Η διακρίβωση κάθε επιπέδου τερματίζεται μετά από πέντε κρούσεις. Ανάλογα με το επίπεδο του προς μέτρηση ρεύματος πραγματοποιούμε τις εξής ρυθμίσεις στον παλμογράφο:

Επιβαλλόμενη τάση	Μετρούμενο ρεύμα	Τάση παλμογράφου	Trigger level
500V	250V	50mV/div	~50mV
1000V	500V	100mV/div	~100mV
2000V	1000V	200mV/div	~200mV
4000V	2000V	500mV/div	~500mV

Πίνακας 4.8: Ρυθμίσεις παλμογράφου για επίπεδα του ρεύματος διακρίβωσης ^[65].

- viii. Καταγράφουμε τα αποτελέσματα στο αντίστοιχο έντυπο.
 - Το Ch1 Max διαιρεμένο με το ratio current monitor (=0,002V/A) και πολλαπλασιασμένο επί 2 (λόγω της προσαρμογής των 50Ω στον παλμογράφο) ισούται με το I_p
 - Το Ch1 Rise πολλαπλασιασμένο με 1,25 ισούται με το T_1
 - Το T_2 με χρήση των κερσόρων του παλμογράφου. Για τη μέτρηση μπορούμε να επιλέξουμε εναλλακτικά, χρόνο 4μs/div ή να χρησιμοποιήσουμε την εστίαση (zoom) του παλμογράφου
- ix. Συνεχίζουμε την διακρίβωση σε επόμενο επίπεδο σύμφωνα με το έντυπο της οδηγίας.
- x. Αν οι προς διακρίβωση παράμετροι δεν είναι εντός ορίων το όργανο χρειάζεται αποστολή στον κατασκευαστή του για ρύθμιση.
- xi. Κλείνουμε τους διακόπτες του εξοπλισμού που χρησιμοποιήσαμε.
- xii. Τέλος, αποσυνδέουμε τον εξοπλισμό από την τροφοδοσία του και τον φυλάσσουμε.



Σχήμα 4.29: Διάταξη σύνδεσης εξοπλισμού για την πραγματοποίηση της διακρίβωσης της μορφής του ρεύματος.

4.5 Δοκιμές ατρωσίας σε βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004-03)

4.5.1 Γεννήτρια TRA3000 EMC Partner

Η συσκευή TRA3000 [64] περιέχει μονοφασικό δίκτυο σύζευξης/απόζευξης, το οποίο επιτρέπει υπέρθεση των μεταβατικών φαινομένων σε μια γραμμή τροφοδοσίας. Όλα τα μεταβατικά φαινόμενα παράγονται στην ίδια έξοδο τροφοδοσίας στην οποία θα συνδεθεί η υπό δοκιμή συσκευή.

4.5.1.1 Γεννήτρια βυθίσεων, διακοπών και διακυμάνσεων τάσης EXT-TRA3000 D-V

Η μονάδα EXT-TRA3000 D-V που βρίσκεται εντός της συσκευής TRA3000, προσομοιώνει βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης, για είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού που συνδέονται σε ηλεκτρικά δίκτυα χαμηλής τάσης.

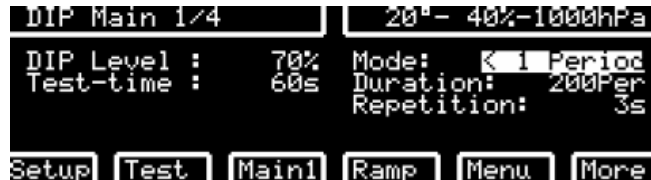
4.5.2 Διεξαγωγή δοκιμής ατρωσίας σε βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης ^[41, 64, 82]

- i. Στο πρωτόκολλο της δοκιμής - μέτρησης σημειώνουμε:
 - Την ημερομηνία και τις ώρες έναρξης - λήξης της δοκιμής.
 - Τις περιβαλλοντικές συνθήκες.
 - Τον τρόπο λειτουργίας του δοκιμίου (Ο τρόπος λειτουργίας, μπορεί να προκύπτει είτε από το εγχειρίδιο λειτουργίας του δοκιμίου, είτε από τις οδηγίες του πελάτη).
 - Τα στοιχεία του χειριστή και τυχόντος παρευρισκόμενου, από την πλευρά του πελάτη, στη δοκιμή.
 - Τα όργανα, τα οποία χρησιμοποιούμε.
- ii. Συνδέουμε το δοκίμιο στο ρευματοδότη που διαθέτει γι' αυτό το σκοπό η συσκευή TRA3000.
- iii. Συνδέουμε στην τροφοδοσία τη συσκευή TRA3000 με την ορθή πολικότητα. Αυτό επιτυγχάνεται ελέγχοντας ποιος αγωγός είναι η φάση και ποιος ο ουδέτερος στην πηγή με τη βοήθεια π.χ. ενός δοκιμαστικού κατσαβιδιού. Πρέπει ο αντίστοιχος ρευματοδότης να μην συνδέεται με το ρελέ διαφυγής του πίνακα, γιατί το ρεύμα διαρροής θα προκαλεί το κλείσιμό του (μέσω του ρελέ διαφυγής). Επιπλέον στην τροφοδοσία συνδέουμε τα τρία καλώδια χρώματος μαύρου, μπλε και κίτρινου στις υποδοχές L, N και PE αντίστοιχα που βρίσκονται στο πίσω μέρος της συσκευής TRA3000.
- iv. Ανοίγουμε το διακόπτη (41) που βρίσκεται στο πίσω μέρος της TRA3000. Πατάμε το POWER (6) στο εμπρόσθιο μέρος της συσκευής TRA3000.
- v. Στην οθόνη εμφανίζεται το κύριο μενού:

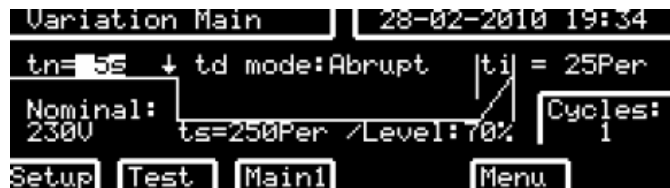


Σχήμα 4.30: Οθόνη υποδοχής.

- vi. Επιλέγουμε με τα μπουτόν UP/DOWN (7,8) τη δοκιμή που θα πραγματοποιήσουμε (DIP AC ή VAR), πατάμε ENTER (14) και στην οθόνη εμφανίζεται ανάλογα η δοκιμή που επιλέξαμε:



Σχήμα 4.31: Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής DIP AC (Interrupt).



Σχήμα 4.32: Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής VAR (Variation).

- vii. Κάνουμε τις απαραίτητες ρυθμίσεις για τη δοκιμή σύμφωνα με τις απαιτήσεις που θέλουμε και τις οδηγίες που αναφέρονται στην παράγραφο Γ.5 στο Παράρτημα Γ.
- viii. Ανοίγουμε το δοκίμιο και φροντίζουμε να δουλεύει με το συνηθι τρόπο.
- ix. Πατάμε το RUN (19). Το μπουτόν RUN (19) τότε να ανάβει, και η δοκιμή ξεκινά.



Σχήμα 4.33: Οθόνη γεννήτριας σε λειτουργία DIP AC (Interrupt) με DIPS μικρότερα από μια περίοδο.



Σχήμα 4.34: Οθόνη γεννήτριας σε λειτουργία DIP AC (Interrupt) με DIPS μεγαλύτερα από μια περίοδο.



Σχήμα 4.35: Οθόνη γεννήτριας σε λειτουργία VAR (Variation).

- x. Φωτογραφίζουμε τη διάταξη και το δοκίμιο (να φαίνονται και τα δύο στην ίδια φωτογραφία, βλ. Σχήμα 4.36).
- xi. Όταν ο χειριστής διακρίνει αποτυχία του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της δοκιμής, πατώντας το μπουτόν F4 (“Fail”) μπορεί να διακόψει τη δοκιμή και στο πρωτόκολλο της δοκιμής θα εμφανιστεί ότι η δοκιμή απέτυχε (“test failed”).
- xii. Πατώντας το μπουτόν F5 (“Mark”) οι πραγματικές παράμετροι της δοκιμής θα εγγραφούν στο πρωτόκολλο της δοκιμής και θα εμφανιστούν στην οθόνη μετά το πέρας της δοκιμής.
- xiii. Εάν για οποιοδήποτε λόγο πρέπει να σταματήσει η δοκιμή, πατάμε το RUN (19).
- xiv. Η δοκιμή τερματίζεται μετά το πέρας του χρονικού διαστήματος που ορίσαμε αρχικά.
- xv. Μετά το πέρας της δοκιμής σημειώνεται στο πρωτόκολλο της δοκιμής το κριτήριο που ικανοποιείται.
- xvi. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα x έως xv για την πραγματοποίηση της επόμενης δοκιμής.
- xvii. Πατάμε το POWER (6). Κλείνουμε το διακόπτη (41) στο πίσω μέρος της συσκευής TRA3000 και την αποσυνδέουμε από την τροφοδοσία.



Σχήμα 4.36: Πειραματική διάταξη της δοκιμής (γεννήτρια και δοκίμιο).

4.6 Δοκιμές ατρωσίας σε βιομηχανικές συχνότητες μαγνητικού πεδίου σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-8 Ed. 2.0 (2009-09)

4.6.1 Πειραματική διάταξη δοκιμής και εξοπλισμός

Η πειραματική διάταξη καθώς και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή, φαίνεται στο Σχήμα 4.37.

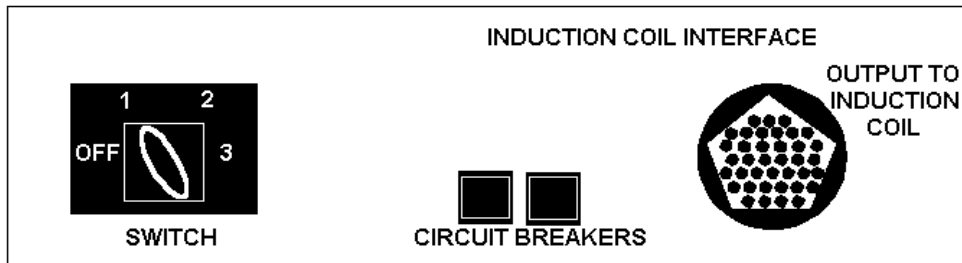


Σχήμα 4.37: Η πειραματική διάταξη της δοκιμής.

4.6.2 Στάδια πειραματικής διαδικασίας ^[42, 72]

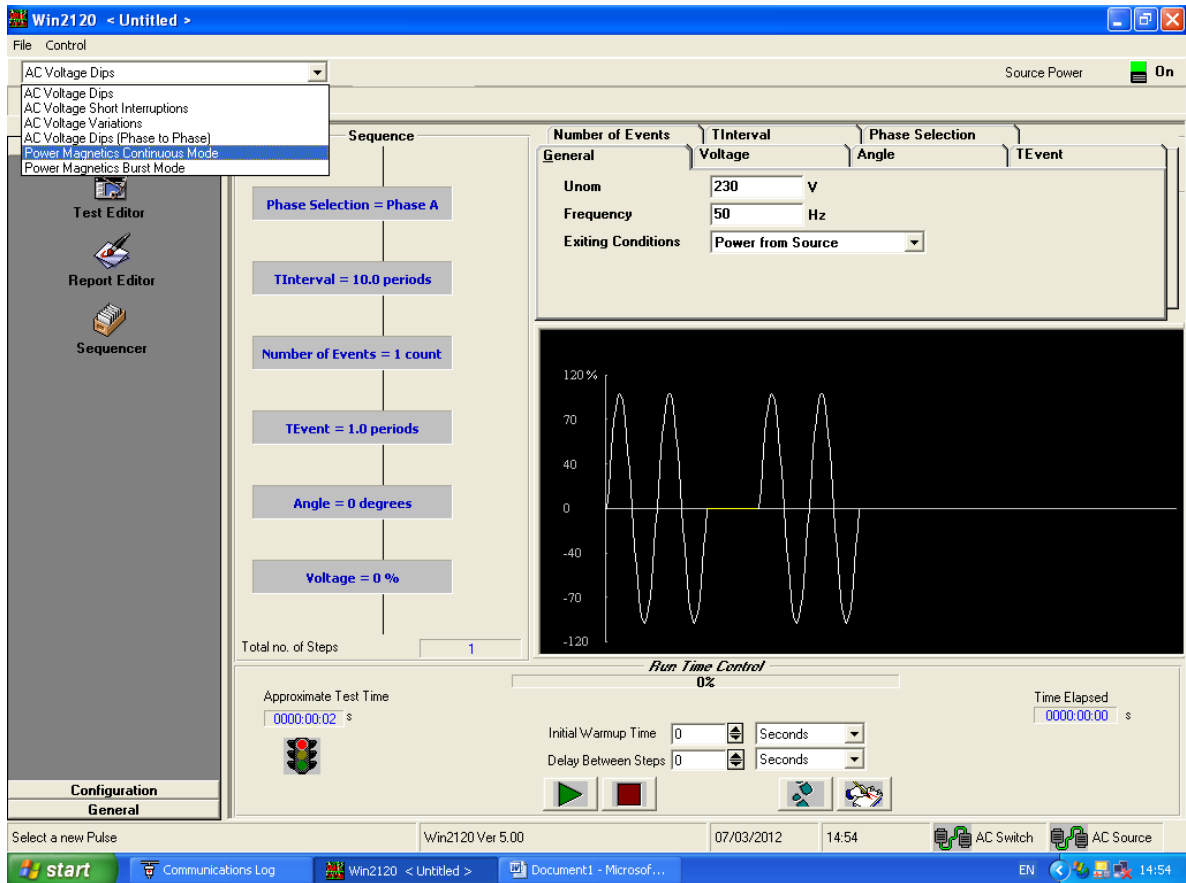
- i. Στο πρωτόκολλο της δοκιμής - μέτρησης σημειώνουμε:
 - Την ημερομηνία και τις ώρες έναρξης - λήξης της δοκιμής.
 - Τις περιβαλλοντικές συνθήκες.
 - Τον τρόπο λειτουργίας του δοκιμίου (Ο τρόπος λειτουργίας, μπορεί να προκύπτει είτε από το εγχειρίδιο λειτουργίας του δοκιμίου, είτε από τις οδηγίες του πελάτη).
 - Τα στοιχεία του χειριστή και τυχόντος παρευρισκόμενου, από την πλευρά του πελάτη, στη δοκιμή.
 - Τα όργανα, τα οποία χρησιμοποιούμε.
- ii. Η διαδικασία της δοκιμής περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:
 - a. Ανεβάζουμε την τριφασική ασφάλεια από τον κεντρικό ηλεκτρικό πίνακα, (βρίσκεται έξω από τον κλωβό).
 - b. Ανάβουμε τα φώτα του θαλάμου.
 - c. Τοποθετούμε το δοκίμιο στο μονωτικό τραπέζι (εάν δεν είναι τοποθετείται μονωτικό υποστήριγμα πάχους 0.1m), αν πρόκειται για επιτραπέζιο εξοπλισμό, ειδάλλως τοποθετείται στο εδαφικό επίπεδο αναφοράς(μη μαγνητικό φύλλο μετάλλου ελάχιστου πάχους 0.25 mm και ελάχιστου μεγέθους 1 m × 1 m) με παρεμβολή ενός μονωτικού υποστηρίγματος πάχους 0.1 m.
 - d. Συνδέουμε το καλώδιο μεταξύ του Induction coil interface και του πηνίου επαγωγής INA 702.

- e. Τοποθετούμε το επαγωγικό πηνίο INA 702 σε οριζόντια διάταξη (άξονας-X) και στο κέντρο του την υπό δοκιμή συσκευή.
- f. Συνδέουμε το δοκίμιο στην τροφοδοσία και ελέγχουμε ότι είναι στη θέση ON.
- g. Ανοίγουμε τη διακοπτική μονάδα NSG 2200-1 (διακόπτης στο πίσω μέρος της συσκευής στη θέση ON). Οι 2 τριφασικές ασφάλειες στο πίσω μέρος της συσκευής (Mains CB και AC Source CB) πρέπει να είναι στη θέση ON.
- h. Ανοίγουμε τη συσκευή NSG-1007 (3-φασικός διακόπτης στη θέση ON).
- i. Ανοίγουμε τη συσκευή CCN 1000-1 (διακόπτης στη θέση ON).
- j. Ανοίγουμε τη συσκευή Induction coil interface με το διακόπτη στη θέση 1 (επιλογή πηνίου μίας σπείρας).



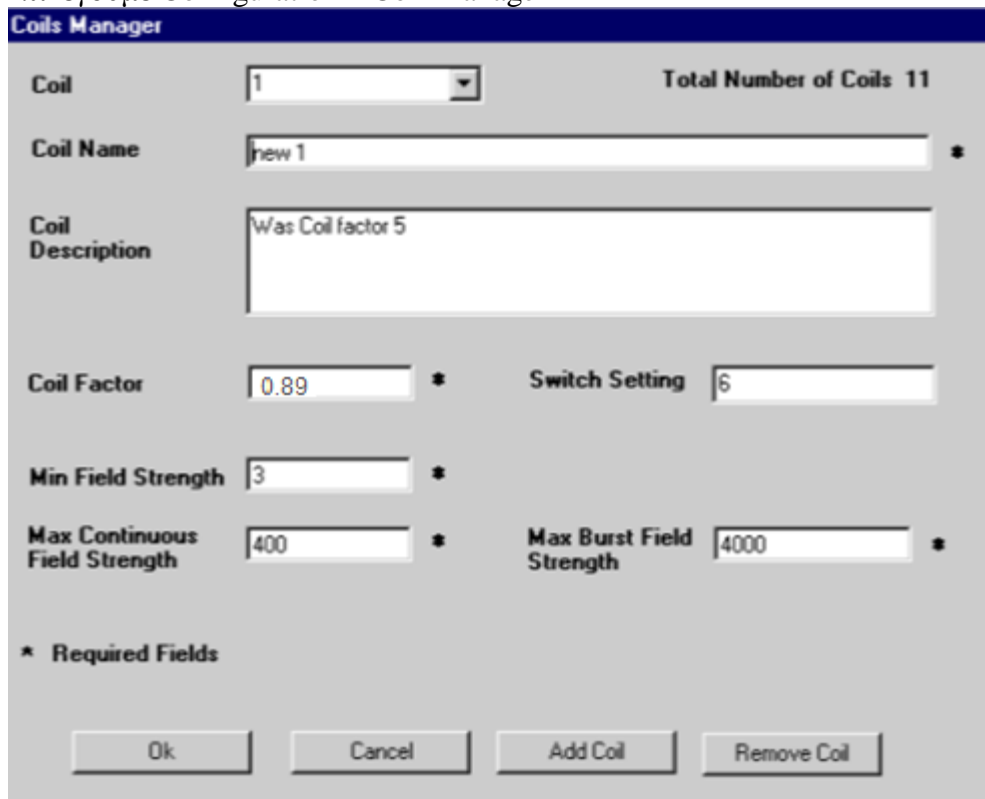
Σχήμα 4.38: Πρόσωση Induction Coil Interface ^[72].

- k. Ανοίγουμε τον ηλεκτρονικό υπολογιστή.
- l. Ανοίγουμε στον Η/Υ το πρόγραμμα Win 2120. Εμφανίζεται τότε το παράθυρο του Σχήματος 4.39 για τις ρυθμίσεις και επιλέγουμε Power Magnetics Continuous Mode για δοκιμή σε συνεχές πεδίο ή Power Magnetics Burst Mode για δοκιμή σε πεδίο βραχείας διάρκειας.



Σχήμα 4.39: Πλαίσιο διαλόγου του προγράμματος WIN 2120.

m. Επιλέγουμε Configuration→Coil Manager



Σχήμα 4.40: Πλαίσιο διαλόγου επιλογής Coil Manager.

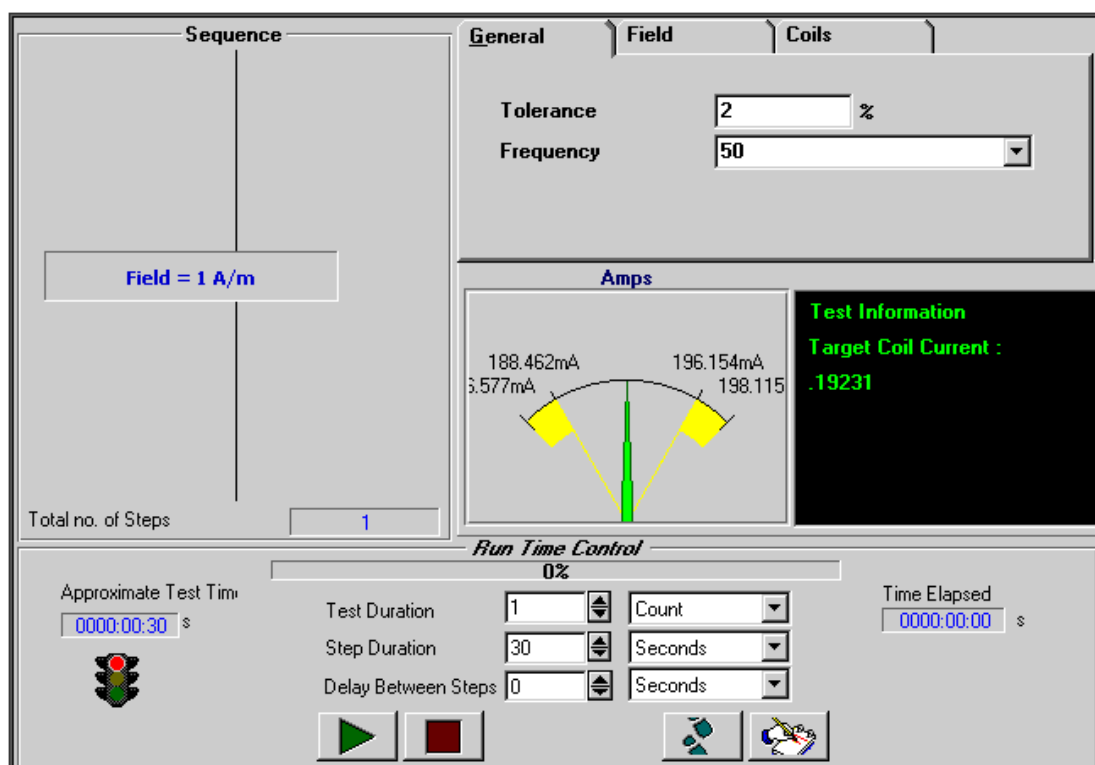
Για δοκιμές με ακρίβεια και ασφάλεια είναι σημαντικό να δοθούν ορθά οι απαραίτητες πληροφορίες στο παράθυρο Coil Manager του λογισμικού WIN2120 για το χρησιμοποιούμενο επαγωγικό πηνίο. Υπάρχουν 8 πεδία που μπορούν να συμπληρωθούν και τα 5 είναι υποχρεωτικά. Πληροφορίες σχετικά με τα πεδία αυτά δίνονται στο Παράρτημα Δ και στην παράγραφο Δ.1.

Προσοχή: Λανθασμένες πληροφορίες στο Coil Manager μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στο πηνίο ή στην συσκευή υπό δοκιμή.

n. Επιλέγουμε Editor View → Test Editor



Patώντας το Test Editor έχουμε πρόσβαση στις παραμέτρους και τις μεταβλητές της δοκιμής.




Σχήμα 4.41: Πλαίσιο διαλόγου επιλογής Test Editor.

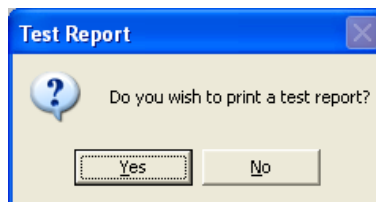
Οι ρυθμίσεις στις καρτέλες που φαίνονται στο δεξί πάνω τμήμα του παραθύρου Test Editor (Σχήμα 4.41), συμπληρώνονται σύμφωνα με το Πρότυπο και την κατηγορία στην οποία εμπίπτει το δοκίμιο (Παράρτημα Γ Προτύπου IEC 61000-4-8 Ed. 2.0:2009). Αναλυτικότερα για αυτές τις ρυθμίσεις δίνονται πληροφορίες στο Παράρτημα Δ και στην παράγραφο Δ.1.

iii. Στο Πλαίσιο διαλόγου επιλογής Test Editor και στο κάτω μέρος ο χρήστης μπορεί να ορίσει τη διάρκεια της δοκιμής, τη διάρκεια κάθε βήματος στη δοκιμή αλλά και την καθυστέρηση μεταξύ των βημάτων. Τα βήματα μπορούν να είναι σε seconds, hours ή minutes.



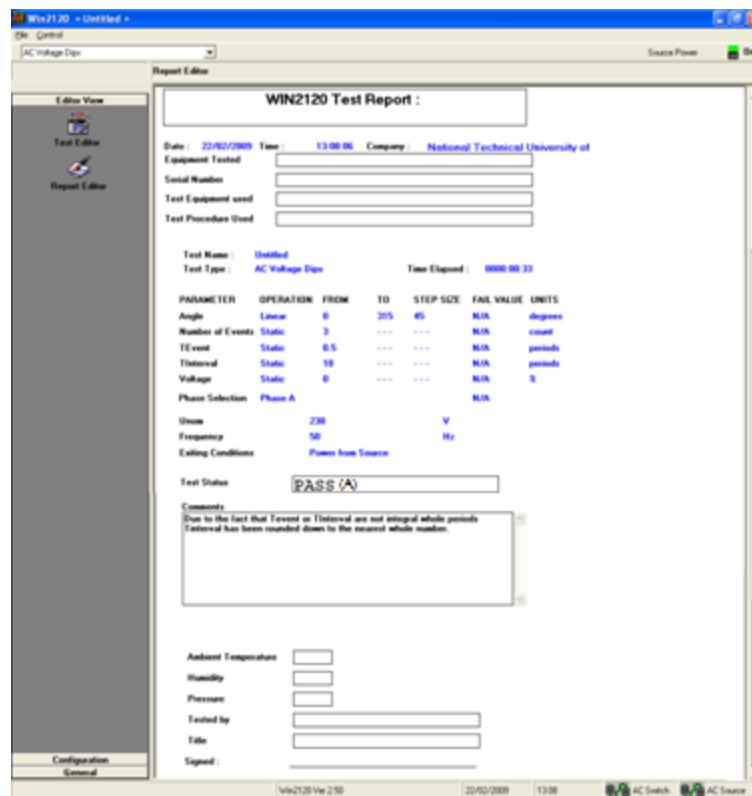
Σχήμα 4.42: Ρύθμιση διάρκειας δοκιμής, διάρκειας κάθε βήματος στη δοκιμή και καθυστέρησης μεταξύ των βημάτων.

- iv. Αφού καθορίσουμε ή/και ελέγξουμε όλες τις τιμές των παραμέτρων πατάμε το κομμάτι .
- v. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών το δοκίμιο πρέπει να λειτουργεί με τον συνηθισμένο τρόπο χρήσης του.
- vi. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών φωτογραφίζουμε δοκίμιο και διάταξη δοκιμών.
- vii. Όταν τελειώσει η δοκιμή εμφανίζεται ένα πλαίσιο διαλόγου (Σχήμα 4.43) που μας ρωτά



Σχήμα 4.43: Πλαίσιο διαλόγου μετά το πέρας της δοκιμής.

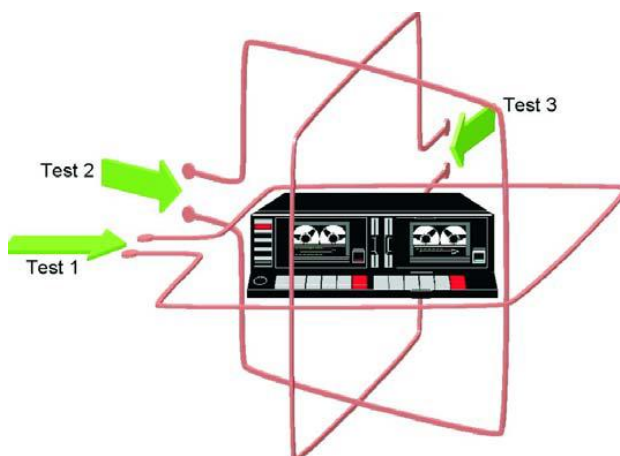
και εμείς επιλέγουμε YES ώστε να εκτυπωθεί το Report της δοκιμής (Σχήμα 4.44).



Σχήμα 4.44: WIN 2120 test report.

Σε αυτό, το ηλεκτρονικό αρχείο, γράφουμε τα χαρακτηριστικά του δοκιμίου [το μοντέλο (Equipment Tested), το σειριακό αριθμό (Serial Number)], τον αριθμό πιστοποιητικού (Test Equipment used), τον τρόπο διεξαγωγής της δοκιμής (test procedure), τη θερμοκρασία, την υγρασία, την πίεση, τον χειριστή, που διεξήγαγε τη δοκιμή, καθώς και το κριτήριο που ικανοποίησε το δοκίμιο (Test Status).

- viii. Επιλέγοντας Files→ View Report in Word και στη συνέχεια το path όπως αυτό ορίστηκε παραπάνω αποθηκεύουμε το report της δοκιμής σε μορφή Microsoft Document (*.doc) στο C:\Reports\Αριθμός πιστοποιητικού\Αριθμός πιστοποιητικού_dips_EN 61000-4-8 (π.χ. C:\Reports\9999\9999_mag_IEC 61000-4-8.doc).
- ix. Προαιρετικά, επιλέγοντας File→Save Report As σώζουμε το αποτέλεσμα της δοκιμής στο C:\Reports\Αριθμός πιστοποιητικού\Αριθμός πιστοποιητικού_IEC 61000-4-8 (π.χ. C:\Reports\9999\9999_IEC 61000-4-8). Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν οι αντίστοιχοι φάκελοι, τους δημιουργούμε.
- x. Στην οθόνη (Editor View) επιλέγουμε Test Editor και κάνουμε τις επόμενες δοκιμές στους άξονες Y και Z περιστρέφοντας το πηνίο κατά 90° κάθε φορά. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα ii έως xi.



Σχήμα 4.45: Δοκίμιο ως προς το πηνίο επαγωγής (θέσεις δοκιμής) ^[59].

- xi. Τα αρχεία αυτά αποτελούν ηλεκτρονικά αρχεία της δοκιμής. Τα ηλεκτρονικά αρχεία, οι φωτογραφίες και το χειρόγραφο πρωτόκολλο παραδίδονται στον Τεχνικό Υπεύθυνο.
- xii. Αφού ολοκληρωθεί η δοκιμή:
 - a. κλείνουμε και αποσυνδέουμε το δοκίμιο.
 - b. κλείνουμε το Induction Coil Interface (διακόπτης στη θέση OFF).
 - c. κλείνουμε τη διακοπτική μονάδα NSG 2200-1 (διακόπτης στο πίσω μέρος της συσκευής στη θέση OFF).
 - d. κλείνουμε τη συσκευή NSG-1007 (3-φασικός διακόπτης στη θέση OFF).
 - e. κλείνουμε τη συσκευή CCN 1000-1 (διακόπτης στη θέση OFF).
 - f. κλείνουμε τον H/Y της διάταξης.
 - g. κλείνουμε (κατεβάζουμε) την τριφασική ασφάλεια από τον ηλεκτρικό πίνακα.

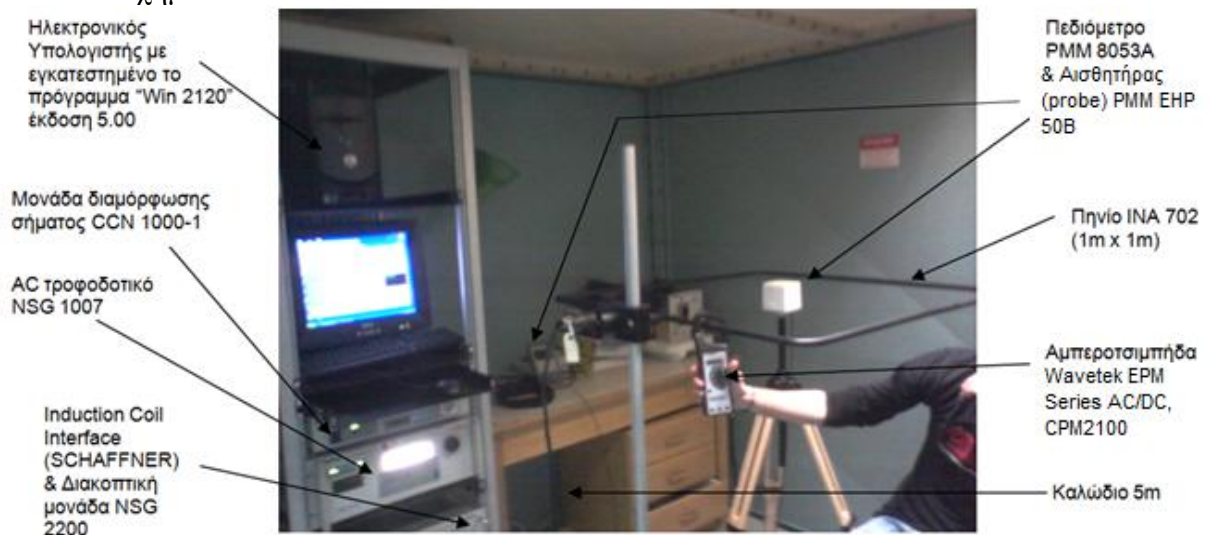
4.6.3 Διαδικασία επαλήθευσης παράγοντα πηνίου (COIL FACTOR)

Για να είναι δυνατό να συγκριθούν τα αποτελέσματα δοκιμής από διαφορετικές συσκευές δοκιμής, ο παράγοντας του πηνίου (δίνει την τιμή ρεύματος που πρέπει να εισέλθει στο πηνίο ώστε να ληφθεί το απαιτούμενο μαγνητικό πεδίο δοκιμής – H/I –, είναι χαρακτηριστική παράμετρος του επαγωγικού πηνίου και δεν σχετίζεται με την κυματομορφή του ρεύματος) πρέπει να μετράται χωρίς τη συσκευή υπό δοκιμή, σε συνθήκη ελεύθερου χώρου.

Για τα δύο τυποποιημένα πηνία μίας σπείρας $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ και $1\text{ m} \times 2.6\text{ m}$, η κατανομή του πεδίου είναι γνωστή και επομένως, δεν χρειάζεται επαλήθευση ή βαθμονόμηση του πεδίου και η μέτρηση του ρεύματος είναι ικανοποιητική όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.67.

Για όλα τα υπόλοιπα επαγωγικά πηνία πρέπει να γίνεται η ακόλουθη διαδικασία, την οποία όμως ακολουθήσαμε και για το πηνίο INA 702 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ (Coil Factor 0.894), και οι τιμές της διαδικασίας αυτής παρατίθενται στην παράγραφο Δ.2 του Παραρτήματος Δ της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ένα πηνίο επαγωγής σωστών διαστάσεων για τις διαστάσεις της συσκευής υπό δοκιμή, πρέπει να τοποθετείται σε ελάχιστη απόσταση 1 m από τον τοίχο του εργαστηρίου και κάθε μαγνητικό υλικό, χρησιμοποιώντας μονωτικά υποστηρίγματα, και πρέπει να συνδέεται στη γεννήτρια δοκιμής όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3.7.3.1. Πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλοι αισθητήρες μαγνητικού πεδίου για να επαληθεύεται η ένταση του μαγνητικού πεδίου που παράγεται από το πηνίο επαγωγής. Ο αισθητήρας πεδίου πρέπει να τοποθετείται στο κέντρο του πηνίου επαγωγής (χωρίς την συσκευή υπό δοκιμή) και με κατάλληλο προσανατολισμό για να ανιχνεύει τη μέγιστη τιμή του πεδίου. Το ρεύμα στο πηνίο επαγωγής πρέπει να ρυθμίζεται για να λαμβάνεται η μέγιστη ένταση πεδίου που προδιαγράφεται από τη στάθμη δοκιμής. Η βαθμονόμηση πρέπει να εκτελείται στη βιομηχανική συχνότητα και η όλη διαδικασία βαθμονόμησης πρέπει να εκτελείται με τη γεννήτρια δοκιμής και το πηνίο επαγωγής. Έτσι, ο παράγοντας πηνίου καθορίζεται (και επαληθεύεται) με την παραπάνω διαδικασία.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε καθώς και η πειραματική διάταξη φαίνονται στο πιο κάτω Σχήμα:

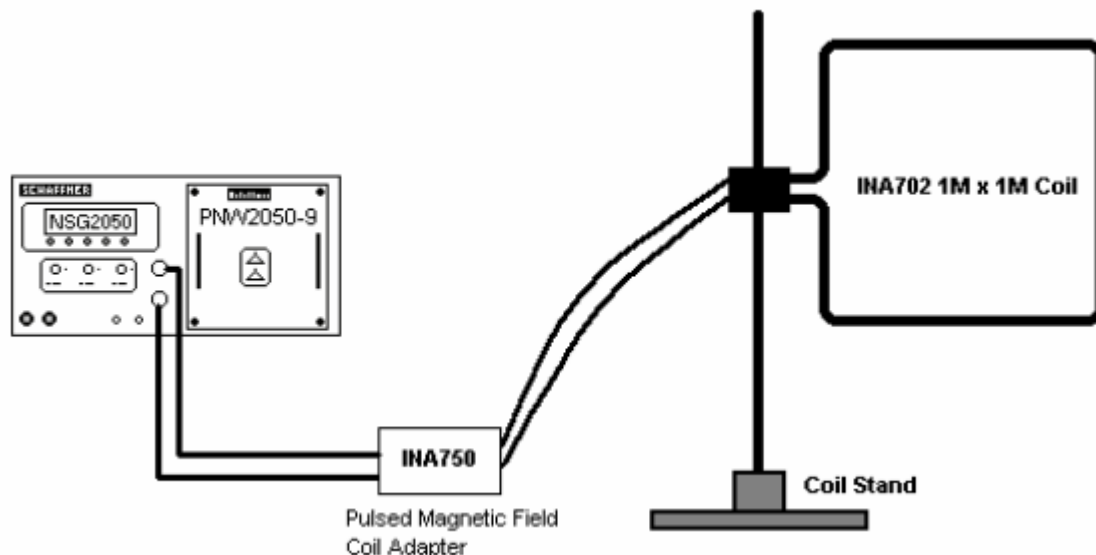


Σχήμα 4.46: Διάταξη επαλήθευσης παράγοντα πηνίου (COIL FACTOR).

4.7 Δοκιμές ατρωσίας παλμικού μαγνητικού πεδίου σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-9 Ed. 1.1 (2001-03)

4.7.1 Πειραματική διάταξη δοκιμής και εξοπλισμός

Η πειραματική διάταξη καθώς και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή, φαίνεται στο Σχήμα 4.47.



Σχήμα 4.47: Η πειραματική διάταξη της δοκιμής^[74].

(A) Γεννήτρια PNW 2050

Η γεννήτρια PNW 2050 [74] έχει τη δυνατότητα παραγωγής παλμικού μαγνητικού πεδίου 100 A/m έως 1000 A/m της μορφής 6.4/16 μ s. Ο χειρισμός της γεννήτριας γίνεται μέσω της βασικής μονάδας NSG 2050 [73].

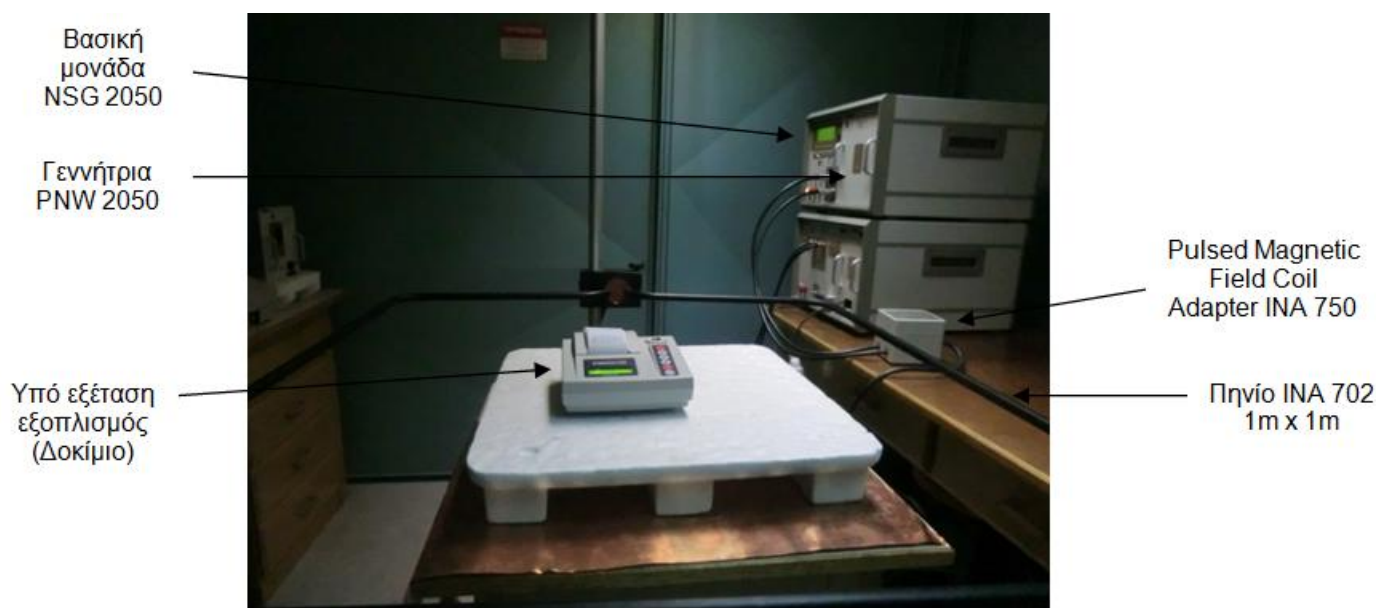
(B) Πηνίο INA 702 και προσαρμογέας INA 750

Το πηνίο επαγωγής, συνδεδεμένο με τη γεννήτρια δοκιμής, πρέπει να παράγει μια ένταση πεδίου που να αντιστοιχεί στο επιλεγμένο επίπεδο δοκιμής και την ομοιογένεια που ορίζεται.

Ο προσαρμογέας INA 750 συνδέεται στη βασική μονάδα NSG 2050 μέσω των υποδοχέων LEMO. Τα καλώδια στην άλλη πλευρά του INA 750 συνδέονται με το πηνίο INA 702. Αυτό το σύστημα είναι τώρα ικανό να παράγει παλμικά μαγνητικά πεδία από 0.1kA/m μέχρι 1kA/m. Παρόλο που θεωρητικά είναι εφικτό να έχουμε πεδία μέχρι 2000 A/m χρησιμοποιώντας αυτό το σύστημα, ο προσαρμογέας INA 750 έχει αξιολογηθεί μέχρι 1000 A/m. Εάν επιλεγθούν πεδία μεγαλύτερα των 1000 A/m, τότε ο INA 750 μπορεί να παρουσιάσει βλάβη. Το λογισμικό WIN 2050 οριοθετεί το μέγιστο του πεδίου στα 1000 A/m.

Ο προσαρμογέας INA 750 απαιτείται ώστε να βεβαιωθεί ότι η κυματομορφή του παλμού είναι σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-9 δηλαδή με χρόνο ανόδου 6.4 μ s και διάρκεια παλμού 16 μ s.

Το πηνίο INA 702 έχει παράγοντα πηνίου που είναι συνήθως περίπου 0.9 και είναι σφραγισμένο και διακριβωμένο. Αυτό χρησιμοποιείται έτσι ώστε να επαληθευτεί ότι ρέει το σωστό ρεύμα μέσα από το πηνίο.

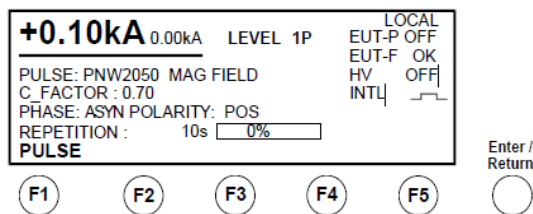


Σχήμα 4.48: Σχηματική διάταξη σύνδεσης INA 750 με INA 702 και NSG 2050 στο εργαστήριο.

4.7.2 Στάδια διεξαγωγής της δοκιμής ^[43, 74]

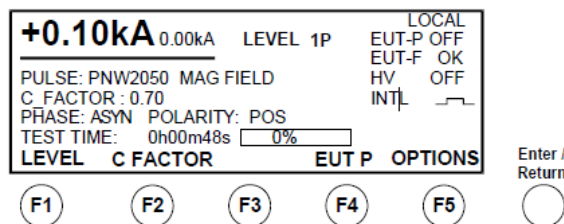
- i. Καταγράφουμε στο πρωτόκολλο:
 - τα στοιχεία του δοκιμίου.
 - την ώρα έναρξης του ελέγχου.
 - τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία του αέρα και την ατμοσφαιρική πίεση (χωρίς τα δεκαδικά).
 - τα όργανα που χρησιμοποιούμε.
- ii. Ελέγχεται αν η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία του αέρα και η ατμοσφαιρική πίεση είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων, που καθορίζει ο κατασκευαστής του δοκιμίου, ώστε να ξεκινήσει η δοκιμή.
- iii. Τοποθετούμε τη γεννήτρια κρουστικών παλμών PNW 2050 στη βασική μονάδα NSG 2050. Βεβαιωνόμαστε για το «κούμπωμα» των δύο μονάδων.
- iv. Συνδέουμε το Coil Adapter Pulse Mag_Field INA 750 με τη βασική μονάδα NSG 2050 (στις εισόδους HV_OUT HIGH και HV_OUT LOW) και με το πηνίο INA 702 (κόκκινο – κόκκινο, μαύρο – μαύρο).
- v. Τοποθετούμε το δοκίμιο πάνω στο εδαφικό επίπεδο αναφοράς (μη μαγνητικό φύλλο μετάλλου - χαλκός ή αλουμίνιο - ελάχιστου πάχους 0.25 mm και ελάχιστου μεγέθους 1m×1m) με παρεμβολή ενός μονωτικού υποστηρίγματος πάχους 0.1 m Συνδέουμε το δοκίμιο στο ρευματοδότη που διαθέτει για αυτό το σκοπό το CDN 131/151.

- vi. Συνδέουμε στην τροφοδοσία το CDN 131/151. Πρέπει ο αντίστοιχος ρευματοδότης να μην συνδέεται με το ρελέ διαφυγής του πίνακα, γιατί το ρεύμα διαρροής θα προκαλεί το κλείσιμό του (μέσω του ρελέ διαφυγής).
- vii. Συνδέουμε στην τροφοδοσία το NSG 2050.
- viii. Ανοίγουμε τους διακόπτες που βρίσκονται στο πίσω μέρος των CDN 131/151 και NSG 2050 (22).
- ix. Πατάμε το POWER (1) στο NSG 2050.
- x. Πατάμε το Interlock reset (3) στο NSG 2050. Με το πάτημα του Interlock reset (3) σβήνει το αντίστοιχο λαμπάκι. Εάν αυτό δε συμβεί, ελέγχουμε εάν έχουμε πατήσει το EMERGENCY OFF στο CDN 131/151 ή το OFF HV AND EUT (2) στο NSG 2050.
- xi. Στην οθόνη εμφανίζεται το μενού LEVEL.



Σχήμα 4.49: Οθόνη υποδοχής:

Πατώντας το μπουτόν F1 επιλέγεται στην οθόνη η παράμετρος PULSE. Με τη συγκεκριμένη παράμετρο μεταβάλλουμε το Πρότυπο που θα ακολουθήσουμε στη δοκιμή και επιλέγουμε PNW2050 MAG FIELD. Η επιλογή γίνεται με τον περιστροφικό διακόπτη (16) και επικυρώνεται πατώντας το μπουτόν ENTER/RETURN.



Σχήμα 4.50: Επιλογή της δοκιμής PNW2050 MAG FIELD.

Πατάμε ENTER και στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη LEVEL πάνω από το μπουτόν F1. Πατάμε το F1, και επιλέγουμε το επιθυμητό επίπεδο.

- xii. Πατάμε το μπουτόν F2 για να ρυθμίσουμε τον παράγοντα διόρθωσης (C-FACTOR) και στρέφουμε τον περιστροφικό διακόπτη μέχρι να εμφανισθεί στην οθόνη η επιθυμητή ένδειξη 0.63 που προκύπτει σύμφωνα με την παράγραφο Δ.3 στην ενότητα C-FACTOR του Παραρτήματος Δ (με παράγοντα πηνίου 0.894). Πατάμε ENTER. Πατάμε το μπουτόν F4 για να ενεργοποιήσουμε τη σύνδεση του δοκιμίου (EUT P) και στρέφουμε τον περιστροφικό διακόπτη (16) μέχρι να εμφανισθεί στην οθόνη η τιμή ON. Πατάμε ENTER.
- xiii. Ανοίγουμε το δοκίμιο και φροντίζουμε να δουλεύει με το συνήθη τρόπο.

- xiv. Φωτογραφίζουμε τη διάταξη και το δοκίμιο (να φαίνονται και τα δύο στην ίδια φωτογραφία).
- xv. Πατάμε το RUN (11). Το μπουτόν RUN (11) αρχίζει τότε να αναβοσβήνει, και η δοκιμή έχει ξεκινήσει.
- xvi. Εάν για οποιοδήποτε λόγο πρέπει να σταματήσει η δοκιμή, πατάμε το STOP (10). Επίσης, για άμεση διακοπή της παροχής τάσης στο δοκίμιο και της λειτουργίας της γεννήτριας, πατάμε το EMERGENCY OFF στο CDN 131/151 ή το OFF HV AND EUT (2) στο NSG 2050.
- xvii. Η δοκιμή τερματίζεται μετά το πέρας του χρονικού διαστήματος που ορίσαμε αρχικά, θέτοντας τιμές στις παραμέτρους number of pulses και repetition. Ισχύει για τη χρονική διάρκεια της δοκιμής: $(\text{test time}) = (\text{repetition}) * (\text{number of pulses})$. Πατάμε το POWER (1).
- xviii. Η δοκιμή σε αυτή τη θέση του δοκιμίου τερματίζεται και επαναλαμβάνεται με τη συσκευή υπό εξέταση σε άλλη ορθογώνια θέση.
- xix. Μετά το πέρας της δοκιμής σημειώνεται στο πρωτόκολλο της δοκιμής το κριτήριο που ικανοποιείται.
- xx. Τέλος, κλείνουμε το διακόπτη (22) στο πίσω μέρος του NSG 2050, καθώς και τον αντίστοιχο διακόπτη στο πίσω μέρος του CDN 131/151.

Κεφάλαιο 5

Η επόμενη μέρα

5.1 Ανακεφαλαίωση της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει τη μελέτη και διεξαγωγή δοκιμών ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας σύμφωνα με τα Πρότυπα της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής IEC (International Electrotechnical Commission). Για το σκοπό αυτό τα δύο πρώτα κεφάλαια έχουν εισαγωγικό χαρακτήρα και αποσκοπούν στην κατανόηση βασικών αρχών της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και της διακρίβωσης. Ακολούθως, παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα Πρότυπα της σειράς 61000-4 της IEC και στα οποία επικεντρώνεται το θέμα της διπλωματικής εργασίας. Περιγράφεται η βασική θεωρία των δοκιμών ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας, παρατίθενται πίνακες και σχήματα που αφορούν τα χαρακτηριστικά κάθε δοκιμής και γίνεται λεπτομερής περιγραφή του χώρου και της διάταξης των δοκιμών ώστε να καλύπτονται σε βάθος οι διαδικασίες που πρέπει να ακολουθηθούν. Έτσι, αφού έγινε όλη η θεωρητική προσέγγιση, στο επόμενο κεφάλαιο δίνονται για κάθε δοκιμή ατρωσίας τα βήματα για την πραγματοποίησή τους. Η καταγραφή των βημάτων επιτεύχθηκε με την πραγματοποίηση κάθε δοκιμής χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του Ε.Μ.Π. Για κάθε διαδικασία δοκιμής και διακρίβωσης αυτής πάρθηκαν φωτογραφίες ώστε να γίνεται αντιληπτή με ευκολία η πειραματική διάταξη σε μελλοντικούς ελέγχους. Επιπλέον, στα βήματα για την πραγματοποίηση κάθε δοκιμής περιγράφονται με λεπτομέρεια και οι ρυθμίσεις που γίνονται στο λογισμικό του εξοπλισμού.

5.2 Συμπεράσματα και η επόμενη μέρα

Η καταγραφή της θεωρίας των δοκιμών ηλεκτροστατικής εκφόρτισης, γρήγορων ηλεκτρικών μεταβατικών φαινομένων, απότομων εκφορτίσεων, υπερτάσεων και υπερεντάσεων, βυθίσεων, σύντομων διακοπών και διακυμάνσεων τάσης, δοκιμών σε βιομηχανικές συχνότητες μαγνητικού πεδίου καθώς και των δοκιμών παλμικού μαγνητικού πεδίου υπήρξε η βάση για τη διενέργεια των πειραματικών δοκιμών. Κατά την πραγματοποίηση των δοκιμών εξετάστηκε κατά πόσο είναι εφικτή η εφαρμογή όλων των δυνατών περιπτώσεων διατάξεων που περιγράφονται στα αντίστοιχα Πρότυπα. Εν τέλει, διενεργήθηκαν και καταγράφηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία οι περιπτώσεις εκείνες που ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθούν με τα υπάρχοντα μέσα στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Ε.Μ.Π.

Σε μια μελλοντική προσπάθεια που θα επεκτείνει τις εφαρμογές και τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν οι ακόλουθες παρατηρήσεις. Στις δοκιμές των Προτύπων IEC 61000-4-11 και IEC 61000-4-9, δηλαδή κατά τις δοκιμές ατρωσίας σε βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές, διακυμάνσεων τάσης και τις δοκιμές ατρωσίας παλμικού

μαγνητικού πεδίου θα μπορούσε να διενεργηθεί η διαδικασία διακρίβωσης του εξοπλισμού χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες συσκευές και διατάξεις. Ακόμα θα πρέπει να εξεταστεί η ανάγκη για χρήση νέου εξοπλισμού στις δοκιμές που διεξήχθησαν ή εάν ο υφιστάμενος εξοπλισμός του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του Ε.Μ.Π. καλύπτει τις απαιτήσεις των Προτύπων δοκιμής. Παράλληλα, θα πρέπει να διερευνηθεί η αναγκαιότητα αλλαγής της μορφής των κυματομορφών τάσης και ρεύματος σύμφωνα με τα νέα δεδομένα και προδιαγραφές του μετρητικού εξοπλισμού. Δηλαδή, θα πρέπει να μελετηθεί εάν το κόστος π.χ. από την κυματομορφή που παράγει μια γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων είναι αποδεκτό καθώς δεν είναι εφικτή η παραγωγή της ακριβούς κυματομορφής που ορίζει το συγκεκριμένο Πρότυπο. Τέλος, σε μελλοντική δουλεία θα μπορούσε να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων κάθε δοκιμής και διακρίβωσης με άλλα εργαστήρια στα πλαίσια της αναπαραγωγιμότητας, της επαναληψιμότητας και των διεργαστηριακών δοκιμών.

Συνοψίζοντας, η παρούσα διπλωματική εργασία μπορεί να αποτελέσει οδηγό αναφοράς για τη διεξαγωγή των δοκιμών ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας των Προτύπων της σειράς 61000-4 της IEC, καθώς η τόσο η θεωρητική μελέτη που έγινε όσο και η αναλυτική καταγραφή των βημάτων κάθε δοκιμής την καθιστούν ένα πολύτιμο εργαλείο αναφοράς.

Παράρτημα Α

Επιλογή επιπέδων δοκιμής

Τα επίπεδα δοκιμής πρέπει να επιλέγονται σύμφωνα με το περιβάλλον της εγκατάστασης. Οι δοκιμές ατρωσίας συσχετίζονται με αυτές τις στάθμες για να δημιουργηθεί μια στάθμη επίδοσης για το περιβάλλον στο οποίο αναμένεται να λειτουργήσει η συσκευή.

A.1. Επιλογή επιπέδων δοκιμής στο Πρότυπο IEC 61000-4-2 Ed.2.0 (2008-12)

Μια κατευθυντήρια γραμμή για το Πρότυπο αυτό δίνεται στον Πίνακα Α.1.

Κλάση	Σχετική υγρασία %	Αντιστατικό υλικό	Συνθετικό υλικό	Μέγιστη τάση kV
1	35	x		2
2	10	x		4
3	50		x	8
4	10		x	15

Πίνακας Α.1: Οδηγός επιλογής επιπέδων δοκιμής Προτύπου IEC 61000-4-2^[37].

Για κάποια υλικά, για παράδειγμα ξύλο, σκυρόδεμα και κεραμικό, το προτιμώμενο επίπεδο δεν είναι μεγαλύτερο από το επίπεδο 2.

Είναι σημαντικό, όταν γίνεται η επιλογή επιπέδου για ένα συγκεκριμένο περιβάλλον, να γίνεται κατανόηση των κρίσιμων παραμέτρων της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης. Η πιο κρίσιμη παράμετρος είναι ίσως ο ρυθμός επανάληψης του ρεύματος εκφόρτισης ο οποίος μπορεί να λαμβάνεται μέσα από συνδυασμό της αλλαγής της τάσης, του μεγίστου του ρεύματος εκφόρτισης και του χρόνου ανόδου.

Για παράδειγμα, η απαιτούμενη καταπόνηση ηλεκτροστατικής εκφόρτισης για περιβάλλον 15 kV συνθετικού υλικού καλύπτεται και με το παραπάνω από τη δοκιμή 8 kV/30 A κλάσης 4 χρησιμοποιώντας της μέθοδο εκφόρτισης μέσω επαφής. Παρόλα ταύτα, σε πολύ ξηρό περιβάλλον με συνθετικά υλικά, εμφανίζονται τάσεις υψηλότερες από 15 kV. Στην περίπτωση δοκιμής εξοπλισμού με μονωτικές επιφάνειες, η μέθοδος εκφόρτισης μέσω του αέρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τάσεις πάνω από 15 kV.

A.2. Επιλογή επιπέδων δοκιμής στο Πρότυπο IEC 61000-4-4 Ed.2.0 (2004-07)

Πριν αναφερθούν αναλυτικά οι κατηγορίες για επιλογή του κάθε επιπέδου δοκιμής αξίζει να σημειώσουμε ότι για δοκιμή θυρών εισόδου/εξόδου, ελέγχου, σήματος και δεδομένων στη συσκευή υπό δοκιμή, πρέπει να χρησιμοποιείται η μισή τιμή της τάσης δοκιμής που εφαρμόζεται στην τροφοδοσία.

Βασιζόμενοι σε κοινές πρακτικές εγκατάστασης, τα προτεινόμενα επίπεδα δοκιμών επιλογής για δοκιμές γρήγορων ηλεκτρικών μεταβατικών φαινομένων και απότομων

εκφορτίσεων σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ηλεκτρομαγνητικού περιβάλλοντος είναι τα ακόλουθα [38]:

α) Επίπεδο 1: Καλά προστατευόμενο περιβάλλον.

Το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω ιδιότητες:

- καταστολή όλων των γρήγορων ηλεκτρικών μεταβατικών φαινομένων και απότομων εκφορτίσεων σε κυκλώματα ελέγχου και μεταγωγής τροφοδοσίας.
- διαχωρισμός μεταξύ γραμμών τροφοδοσίας (a.c. και d.c.) και ελέγχου, και κυκλωμάτων μέτρησης που προέρχονται από άλλα περιβάλλοντα που ανήκουν σε υψηλότερα επίπεδα αυστηρότητας.
- θωρακισμένα καλώδια τροφοδοσίας με τις θωρακίσεις γειωμένες και στα δύο άκρα πάνω στο επίπεδο αναφοράς της εγκατάστασης, και τροφοδοσία προστατευόμενη μέσω φίλτρων.

Η αίθουσα υπολογιστών είναι αντιπροσωπευτική αυτού του περιβάλλοντος.

Η εφαρμογή του συγκεκριμένου επιπέδου σε δοκιμή συσκευών είναι περιορισμένη σε κυκλώματα τροφοδοσίας για δοκιμές τύπου, και σε κυκλώματα γείωσης και κελύφη εξοπλισμού για δοκιμές μετά την εγκατάσταση.

β) Επίπεδο 2: Προστατευόμενο περιβάλλον.

Το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω ιδιότητες:

- μερική καταστολή των γρήγορων ηλεκτρικών μεταβατικών φαινομένων και απότομων εκφορτίσεων σε κυκλώματα ελέγχου και τροφοδοσίας που χειρίζονται μόνο με ρελέ.
- ικανοποιητικός διαχωρισμός των βιομηχανικών κυκλωμάτων που ανήκουν σε βιομηχανικό περιβάλλον από άλλα κυκλώματα που σχετίζονται με περιβάλλοντα υψηλότερων επιπέδων αυστηρότητας.
- διαχωρισμός των μη θωρακισμένων καλωδίων τροφοδοσίας και ελέγχου από καλώδια σήματος και επικοινωνίας.

Η αίθουσα ελέγχου βιομηχανικών και ηλεκτρικών εργοστασίων είναι αντιπροσωπευτική αυτού του περιβάλλοντος.

γ) Επίπεδο 3: Τυπικό βιομηχανικό περιβάλλον.

Το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω ιδιότητες:

- καμία καταστολή των γρήγορων ηλεκτρικών μεταβατικών φαινομένων και απότομων εκφορτίσεων σε κυκλώματα ελέγχου και τροφοδοσίας που χειρίζονται μόνο με ρελέ.
- ικανοποιητικός διαχωρισμός των βιομηχανικών κυκλωμάτων από άλλα κυκλώματα που σχετίζονται με περιβάλλοντα υψηλότερων επιπέδων αυστηρότητας.
- ειδικά καλώδια γραμμών τροφοδοσίας, ελέγχου, σήματος και επικοινωνίας.

- ικανοποιητικός διαχωρισμός μεταξύ καλωδίων τροφοδοσίας, ελέγχου, σήματος και επικοινωνίας.
- διαθεσιμότητα συστήματος γείωσης που να παρουσιάζεται με αγωγίμους σωλήνες, αγωγούς γείωσης σε σχάρα καλωδίων (συνδεδεμένων στο σύστημα προστασίας γείωσης) και με πλέγμα γείωσης.

Η περιοχή εξοπλισμού βιομηχανικών διαδικασιών είναι αντιπροσωπευτική αυτού του περιβάλλοντος.

δ) Επίπεδο 4: Δυσμενές βιομηχανικό περιβάλλον.

Το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω ιδιότητες:

- καμία καταστολή των γρήγορων ηλεκτρικών μεταβατικών φαινομένων και απότομων εκφορτίσεων σε κυκλώματα ελέγχου και τροφοδοσίας που χειρίζονται με ρελέ και αγωγούς.
- κανένας διαχωρισμός των βιομηχανικών κυκλωμάτων που ανήκουν σε δυσμενές βιομηχανικό περιβάλλον από άλλα κυκλώματα που σχετίζονται με περιβάλλοντα υψηλότερων επιπέδων αυστηρότητας.
- κανένας διαχωρισμός μεταξύ καλωδίων τροφοδοσίας, ελέγχου, σήματος και επικοινωνίας.
- χρήση πολύκλωνων καλωδίων μαζί σε γραμμές ελέγχου και σήματος.

Η εξωτερική περιοχή εξοπλισμού βιομηχανικών διαδικασιών όπου καμία συγκεκριμένη πρακτική εγκατάστασης δεν εφαρμόστηκε, εργοστάσια ηλεκτρισμού, δωμάτια με ρελέ σε ανοικτό περιβάλλον υποσταθμών υψηλής τάσης και υποσταθμοί με μόνωση αερίου μέχρι 500 kV τάσης λειτουργίας είναι αντιπροσωπευτικά αυτού του περιβάλλοντος.

ε) Επίπεδο 5: Ειδικό περιβάλλον.

Ο μικρός ή μεγάλος ηλεκτρομαγνητικός διαχωρισμός των πηγών παρεμβολής από κυκλώματα, καλώδια, γραμμές εξοπλισμού κτλ, και η ποιότητα των εγκαταστάσεων μπορούν να απαιτήσουν τη χρήση υψηλότερης ή χαμηλότερης περιβαλλοντικής στάθμης από εκείνες που περιγράφονται παραπάνω. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι γραμμές συσκευής μιας υψηλότερης στάθμης μπορούν να διεισδύουν σε περιβάλλον χαμηλότερης δριμύτητας.

A.3. Επιλογή επιπέδων δοκιμής στο Πρότυπο IEC 61000-4-5 Ed.2.0 (2005-11)

Η επιλογή των επιπέδων δοκιμής πρέπει να βασίζεται στις συνθήκες εγκατάστασης. Εκτός αν ορίζεται διαφορετικά από τα Πρότυπα του προϊόντος, ο Πίνακας A.2 πρέπει να χρησιμοποιείται μαζί με τις πληροφορίες που δίνονται πιο κάτω όπου [40]:

α) Κλάση 0: Καλά προστατευόμενο ηλεκτρικό περιβάλλον, συχνά σε ειδικό δωμάτιο.

Όλα τα εισερχόμενα καλώδια πρέπει να προμηθεύονται με προστασία υπερτάσεων (βασική και δευτερεύουσα). Οι μονάδες του ηλεκτρονικού εξοπλισμού είναι διασυνδεδεμένες με ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα γείωσης, το οποίο δεν επηρεάζεται σημαντικά από την εγκατάσταση τροφοδοσίας και τους κεραυνούς.

Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός έχει μια ειδική τροφοδοσία (βλ. Πίνακα Α.2).

Η τιμή της υπέρτασης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 25 V.

β) Κλάση 1: Μερικώς προστατευόμενο ηλεκτρικό περιβάλλον.

Όλα τα εισερχόμενα καλώδια στο δωμάτιο πρέπει να προμηθεύονται με προστασία υπερτάσεων (βασική). Οι μονάδες του ηλεκτρονικού εξοπλισμού είναι καλά διασυνδεδεμένες με ένα δίκτυο γείωσης, το οποίο δεν επηρεάζεται σημαντικά από την εγκατάσταση τροφοδοσίας και τους κεραυνούς.

Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός έχει τη δική του τροφοδοσία εντελώς διαχωρισμένη από άλλο εξοπλισμό.

Χειρισμοί λειτουργιών μπορούν να δημιουργήσουν τάσεις παρεμβολής εντός του δωματίου.

Η τιμή της υπέρτασης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 500 V.

γ) Κλάση 2: Ηλεκτρικό περιβάλλον όπου τα καλώδια είναι καλά διαχωρισμένα.

Η εγκατάσταση είναι γειωμένη μέσω ξεχωριστής σύνδεσης στο σύστημα γείωσης της εγκατάστασης τροφοδοσίας η οποία μπορεί να υπόκειται σε τάσεις παρεμβολής που δημιουργούνται από την ίδια την εγκατάσταση ή από κεραυνούς. Η τροφοδοσία του ηλεκτρονικού εξοπλισμού είναι διαχωρισμένη από άλλα κυκλώματα, συνήθως μέσω ενός ειδικού μετασχηματιστή για τροφοδοσία.

Στην εγκατάσταση υπάρχουν μη προστατευμένα κυκλώματα, αλλά καλά διαχωρισμένα και σε περιορισμένο αριθμό.

Η τιμή της υπέρτασης δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1 kV.

δ) Κλάση 3: Ηλεκτρικό περιβάλλον όπου τα καλώδια λειτουργούν παράλληλα.

Η εγκατάσταση είναι γειωμένη στο κοινό σύστημα γείωσης της εγκατάστασης τροφοδοσίας η οποία μπορεί να υπόκειται σε τάσεις παρεμβολής που δημιουργούνται από την ίδια την εγκατάσταση ή από κεραυνούς.

Σφάλματα γείωσης, λειτουργίες χειρισμού και κεραυνοί στην εγκατάσταση τροφοδοσίας μπορούν να προκαλέσουν ρεύματα που να δημιουργήσουν τάσεις παρεμβολής, με σχετικά μεγάλο πλάτος, στο σύστημα γείωσης. Ο προστατευμένος ηλεκτρονικός εξοπλισμός και λιγότερο ευαίσθητος ηλεκτρικός εξοπλισμός είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο δίκτυο τροφοδοσίας. Τα καλώδια διασυνδέσεων μπορούν να είναι μερικώς εξωτερικά καλώδια, αλλά κοντά στο δίκτυο γείωσης.

Στην εγκατάσταση υπάρχουν επαγωγικά φορτία και συνήθως δεν υπάρχει διαχωρισμός των καλωδίων διαφορετικού πεδίου.

Η τιμή της υπέρτασης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2 kV.

ε) Κλάση 4: Ηλεκτρικό περιβάλλον όπου οι διασυνδέσεις λειτουργούν ως εξωτερικά καλώδια μαζί με τα καλώδια τροφοδοσίας, και καλώδια χρησιμοποιούνται και για ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα.

Η εγκατάσταση είναι γειωμένη στο σύστημα γείωσης της εγκατάστασης τροφοδοσίας η οποία μπορεί να υπόκειται σε τάσεις παρεμβολής που δημιουργούνται από την ίδια την εγκατάσταση ή από κεραυνούς.

Σφάλματα γείωσης, λειτουργίες χειρισμού και κεραυνοί στην εγκατάσταση τροφοδοσίας μπορούν να προκαλέσουν ρεύματα εύρους kA που να δημιουργήσουν τάσεις παρεμβολής, με σχετικά μεγάλο πλάτος, στο σύστημα γείωσης. Το δίκτυο τροφοδοσίας μπορεί να είναι το ίδιο και για τον ηλεκτρονικό και για τον άλλο ηλεκτρικό εξοπλισμό. Τα καλώδια διασυνδέσεων λειτουργούν ως εξωτερικά καλώδια, ακόμα και σε υψηλής τάσης εξοπλισμό.

Μια ειδική περίπτωση αυτής της κλάσης περιβάλλοντος είναι όταν ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός είναι συνδεδεμένος σε δίκτυο τηλεπικοινωνίας εντός πυκνοκατοικημένης περιοχής. Δεν υπάρχει συστηματικώς κατασκευασμένο δίκτυο γείωσης έξω από τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό, και το σύστημα γείωσης περιλαμβάνει μόνο σωλήνες-αγωγούς, καλώδια κτλ.

Η τιμή της υπέρτασης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 4 kV.

στ) Κλάση 5: Ηλεκτρικό περιβάλλον για ηλεκτρονικό εξοπλισμό συνδεδεμένο σε καλώδια επικοινωνιών και εναέριες γραμμές τροφοδοσίας σε μη πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Όλα αυτά τα καλώδια και οι γραμμές προμηθεύονται με προστασία υπερτάσεων (βασική). Έξω από τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό δεν υπάρχει εκτενή σύστημα γείωσης (εκτεθειμένο εργοστάσιο). Οι τάσεις παρεμβολής λόγω σφαλμάτων γείωσης (ρεύματα μέχρι 10 kA) και κεραυνοί (ρεύματα μέχρι 100 kA) μπορούν να είναι εξαιρετικά υψηλές.

Οι απαιτήσεις για αυτή την κλάση καλύπτονται από το επίπεδο δοκιμής 4.

ζ) Κλάση x: Ειδικές καταστάσεις που καθορίζονται από τις προδιαγραφές του προϊόντος.

Οι υπερτάσεις (και οι γεννήτριες) που σχετίζονται με τις διαφορετικές κλάσεις είναι οι ακόλουθες:

- Κλάση 1 έως 4: 1.2/50 μs (8/20 μs).
- Κλάση 5: 1.2/50 μs (8/20 μs) για θύρες γραμμών τροφοδοσίας και σήματα κυκλωμάτων/γραμμών μικρής απόστασης.
- Κλάση 1 έως 5: 10/700 μs (5/320 μs) για συμμετρικές γραμμές επικοινωνίας.

Κλάση εγκατάστασης	Επίπεδα δοκιμής (kV)											
	Τροφοδοσία AC και a.c. εισόδου/εξόδου άμεσα συνδεδεμένο στο κυρίως δίκτυο τροφοδότησης. Μέθοδος σύζευξης		Τροφοδοσία AC και a.c. εισόδου/εξόδου όχι άμεσα συνδεδεμένο στο κυρίως δίκτυο τροφοδότησης. Μέθοδος σύζευξης		Τροφοδοσία DC και d.c. εισόδου/εξόδου άμεσα συνδεδεμένο. Μέθοδος σύζευξης		Μη συμμετρικά κυκλώματα/γραμμές λειτουργίας ^{Δ,Ζ} . Μέθοδος σύζευξης		Συμμετρικά κυκλώματα/γραμμές λειτουργίας ^{Δ,Ζ} . Μέθοδος σύζευξης		Θωρακισμένες γραμμές εισόδου/εξόδου και επικοινωνίας ^Ζ . Μέθοδος σύζευξης	
	Γραμμή – Γραμμή	Γραμμή – Γη	Γραμμή – Γραμμή	Γραμμή – Γη	Γραμμή – Γραμμή	Γραμμή – Γη	Γραμμή – Γραμμή	Γραμμή – Γη	Γραμμή – Γραμμή	Όλες οι γραμμές – Γη	Γραμμή – Γραμμή	Γραμμή – Γη
0	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H
1	Δ.Ε. ^H	0.5	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H	0.5	Δ.Ε. ^H	0.5	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H
2	0.5	1.0	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H	Δ.Ε. ^H	0.5	1.0	Δ.Ε. ^H	1.0	Δ.Ε. ^H	0.5
3	1.0	2.0	1.0 ^E	2.0 ^{B,E}	1.0 ^E	2.0 ^{B,E}	1.0 ^Γ	2.0 ^{B,Γ}	Δ.Ε. ^H	2.0 ^{B,Γ}	Δ.Ε. ^H	2.0 ^Γ
4	2.0	4.0 ^B	2.0 ^E	4.0 ^{B,E}	2.0 ^E	4.0 ^{B,E}	2.0 ^Γ	4.0 ^{B,Γ}	Δ.Ε. ^H	2.0 ^{B,Γ}	Δ.Ε. ^H	4.0 ^Γ
5	^A	^A	2.0	4.0 ^B	2.0	4.0 ^B	2.0	4.0 ^B	Δ.Ε. ^H	4.0 ^B	Δ.Ε. ^H	4.0 ^Γ

^A Εξαρτάται από την κλάση του τοπικού συστήματος τροφοδοσίας.

^B Κανονική δοκιμή με βασική προστασία.

^Γ Το επίπεδο δοκιμής μπορεί να είναι χαμηλότερο κατά ένα επίπεδο αν το μήκος του καλωδίου είναι μικρότερο ή ίσο από 10 m.

^Δ Καμία δοκιμή δεν συνίσταται σε συνδέσεις δεδομένων που προορίζονται για καλώδια μικρότερα από 10 m.

^E Εάν η προστασία καθορίζεται ξεχωριστά από τη συσκευή υπό δοκιμή, το επίπεδο δοκιμής πρέπει να αντιστοιχεί στο επίπεδο προστασίας όταν η προστασία δεν είναι στη θέση της.

^Ζ Γραμμές επικοινωνίας υψηλών ταχυτήτων μπορούν να περιλαμβάνουν μη συμμετρικές, συμμετρικές, θωρακισμένες γραμμές εισόδου/εξόδου και/ή επικοινωνίας.

^H Δεν Εφαρμόζεται.

Πίνακας Α.2: Επιλογή των επιπέδων δοκιμής (ανάλογα με τις συνθήκες εγκατάστασης) ^[40].

A.4. Επιλογή επιπέδων δοκιμής στο Πρότυπο IEC 61000-4-11 Ed.2.0 (2004-03)

Οι ακόλουθες κλάσεις ηλεκτρομαγνητικής φύσεως συνοψίζονται από το IEC 61000-2-4 [41]:

α) Κλάση 1

Η κλάση αυτή για έχει επίπεδα συμβατότητας χαμηλότερα από τα επίπεδα του δημοσίου δικτύου. Σχετίζεται με τη χρήση εξοπλισμού πολύ ευαίσθητου σε διαταραχές στην παροχή ρεύματος, για παράδειγμα, όργανα μέτρησης των τεχνολογικών εργαστηρίων, συστήματα αυτοματισμών, συστήματα ασφαλείας, ορισμένους υπολογιστές κ.λπ. Γενικότερα, η κλάση 1 περιλαμβάνει τον εξοπλισμό που, υπό κανονικές συνθήκες, η χρήση του πρέπει να συνδυαστεί με συσκευές προστασίας, όπως UPS, φίλτρα και άλλα.

β) Κλάση 2

Η κλάση αυτή εφαρμόζεται στα σημεία της κοινής ζεύξης (Points of Common Coupling ή PCC's για τα συστήματα καταναλωτών) και στα σημεία της κοινής ζεύξης εντός εγκαταστάσεων στο βιομηχανικό περιβάλλον (In-plant Points of Common coupling ή IPC's). Τα επίπεδα συμβατότητας σε αυτή την κατηγορία είναι πανομοιότυπα με εκείνα των δημοσίων δικτύων. Επομένως, συσκευές που προορίζονται για χρήση σε δημόσια δίκτυα ηλεκτρισμού, μπορούν να ενταχθούν σε αυτή την κατηγορία βιομηχανικού περιβάλλοντος.

γ) Κλάση 3

Η κλάση αυτή αφορά μόνο τα IPC's σε βιομηχανικό περιβάλλον. Έχει επίπεδα συμβατότητας υψηλότερα από εκείνα της Κλάσης 2 για ορισμένα φαινόμενα διαταραχής. Για παράδειγμα, η κατηγορία αυτή θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν ισχύει οποιαδήποτε από τις ακόλουθες προϋποθέσεις: α) ένα μεγάλο μέρος του φορτίου τροφοδοτείται μέσω μετατροπών, β) υπάρχουν συσκευές ηλεκτροσυγκόλλησης, γ) συμβαίνουν συχνές εκκινήσεις μεγάλων κινητήρων και δ) συμβαίνουν γρήγορες μεταβολές φορτίων.

A.5. Επιλογή επιπέδων δοκιμής στο Πρότυπο IEC 61000-4-8 Ed.2.0 (2009-09)

Η στάθμη δοκιμής πρέπει να επιλέγεται σύμφωνα με:

- το ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον,
- την αμεσότητα των πηγών διαταραχών στην υπόψη συσκευή,
- τα περιθώρια συμβατότητας.

Ένας οδηγός για την επιλογή των σταθμών δοκιμής για δοκιμές μαγνητικών πεδίων, βασισμένος σε κοινές πρακτικές εγκατάστασης, μπορεί να είναι ο εξής [42]:

α) Κλάση 1: Η περιβαλλοντική αυτή στάθμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπου υπάρχει ευαίσθητη διάταξη χρησιμοποιώντας δέσμη ηλεκτρονίων.

Ηλεκτρικά μικροσκόπια, οθόνες CRT, κτλ, είναι αντιπροσωπευτικά αυτών των διατάξεων.

β) Κλάση 2: Καλά προστατευόμενο περιβάλλον.

Το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω ιδιότητες:

- απουσία ηλεκτρικού εξοπλισμού όπως μετασχηματιστές ισχύος οι οποίοι μπορούν να δημιουργήσουν ρεύμα διαρροής,
- περιοχές μη υποβαλλόμενες σε επίδραση των ζυγών υψηλής τάσης.

Το περιβάλλον αυτό μπορεί να αντιπροσωπευτεί από προστατευόμενες περιοχές κατοικιών, γραφείων, νοσοκομείων, πολύ μακριά από αγωγούς προστασίας γης, περιοχές βιομηχανικών εγκαταστάσεων και υποσταθμούς υψηλής τάσης.

γ) Κλάση 3: Προστατευόμενο περιβάλλον.

Το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω ιδιότητες:

- ηλεκτρικές συσκευές και καλώδια που μπορούν να δημιουργήσουν ροές διαρροών ή μαγνητικό πεδίο,
- αμεσότητα των αγωγών γης των συστημάτων προστασίας,
- κυκλώματα μέσης τάσης και ζυγοί υψηλής τάσης, πολύ μακριά (μερικές εκατοντάδες μέτρα) από τον υπόψη εξοπλισμό.

Το περιβάλλον αυτό μπορεί να αντιπροσωπευτεί από εμπορικές περιοχές, κτήρια ελέγχου, πεδία μη βαριάς βιομηχανίας και από δωμάτιο υπολογιστών σε υποσταθμούς υψηλής τάσης.

δ) Κλάση 4: Τυπικό βιομηχανικό περιβάλλον.

Το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω ιδιότητες:

- γραμμές ισχύος βραχείας διακλάδωσης όπως ζυγοί κτλ,
- ηλεκτρική συσκευή υψηλής ισχύος που μπορεί να προκαλέσει ροές διαρροής,
- εδαφικοί αγωγοί του συστήματος προστασίας,
- κυκλώματα μέσης τάσης και ζυγοί υψηλής τάσης σε σχετική απόσταση (λίγες δεκάδες μέτρα) από την υπόψη συσκευή.

Το περιβάλλον αυτό μπορεί να αντιπροσωπευτεί από πεδία εργοστασίων βαριάς βιομηχανίας και εργοστασίων ηλεκτρικής ενέργειας και από το δωμάτιο ελέγχου υποσταθμών υψηλής τάσης.

ε) Κλάση 5: Δυσμενές βιομηχανικό περιβάλλον.

Το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω ιδιότητες:

- αγωγοί, ζυγοί, ή γραμμές μέσης ή υψηλής τάσης, που φέρουν δεκάδες kA,
- εδαφικοί αγωγοί του συστήματος προστασίας,
- αμεσότητα ζυγών μέσης και υψηλής τάσης,
- αμεσότητα ηλεκτρικού εξοπλισμού υψηλής ισχύος.

Το περιβάλλον αυτό μπορεί να αντιπροσωπευτεί από περιοχές (χώροι) διακοπών εξοπλισμού εργοστασίων βαριάς βιομηχανίας και σταθμούς ισχύος μέσης και υψηλής τάσης.

στ) Κλάση x: Ειδικό περιβάλλον.

Ο μικρός ή μεγάλος ηλεκτρομαγνητικός διαχωρισμός των πηγών παρεμβολής από κυκλώματα, καλώδια, γραμμές εξοπλισμού κτλ, και η ποιότητα των εγκαταστάσεων μπορούν να απαιτήσουν τη χρήση υψηλότερης ή χαμηλότερης περιβαλλοντικής στάθμης από εκείνες που περιγράφονται παραπάνω. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι γραμμές συσκευής μιας υψηλότερης στάθμης μπορούν να διεισδύουν σε περιβάλλον χαμηλότερης δριμύτητας.

A.6. Επιλογή επιπέδων δοκιμής στο Πρότυπο IEC 61000-4-9 Ed.1.1 (2001-03)

Η στάθμη δοκιμής πρέπει να επιλέγεται σύμφωνα με:

- το ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον,
- την αμεσότητα των πηγών διαταραχών στην υπόψη συσκευή,
- τα περιθώρια συμβατότητας.

Ένας οδηγός για την επιλογή των σταθμών δοκιμής για δοκιμές μαγνητικών πεδίων, βασισμένος σε κοινές πρακτικές εγκατάστασης, μπορεί να είναι ο εξής [43]:

α) Κλάση 1: Η δοκιμή δεν εφαρμόζεται σε αυτό το περιβάλλον όπου υπάρχουν ευαίσθητες συσκευές που χρησιμοποιούν δέσμες ηλεκτρονίων (ηλεκτρικά μικροσκόπια, οθόνες CRT, κτλ, είναι αντιπροσωπευτικά αυτών των συσκευών).

β) Κλάση 2: Καλά προστατευόμενο περιβάλλον.

Η δοκιμή δεν εφαρμόζεται σε αυτό το περιβάλλον γιατί οι περιοχές που μας ενδιαφέρουν δεν υπόκεινται στην επήρεια κεραυνικού και αρχικού μεταβατικού λόγω σφάλματος ρεύμα.

Το περιβάλλον αυτό μπορεί να αντιπροσωπευτεί από προστατευόμενες περιοχές κατοικιών, γραφείων, νοσοκομείων, πολύ μακριά από αγωγούς γείωσης κεραυνικής προστασίας.

γ) Κλάση 3: Προστατευόμενο περιβάλλον.

Το περιβάλλον αυτό χαρακτηρίζεται από την αμεσότητα των αγωγών γείωσης των συστημάτων κεραυνικής προστασίας και μεταλλικές κατασκευές.

Το περιβάλλον αυτό μπορεί να αντιπροσωπευτεί από εμπορικές περιοχές, κτήρια ελέγχου, πεδία μη βαριάς βιομηχανίας με σύστημα κεραυνικής προστασίας ή μεταλλικές κατασκευές στη γειτονία αυτών, και από δωμάτιο υπολογιστών σε υποσταθμούς υψηλής τάσης.

δ) Κλάση 4: Τυπικό βιομηχανικό περιβάλλον.

Το περιβάλλον αυτό χαρακτηρίζεται από τους εδαφικούς αγωγούς του κεραυνικού συστήματος προστασίας ή κατασκευές.

Το περιβάλλον αυτό μπορεί να αντιπροσωπευτεί από πεδία εργοστασίων βαριάς βιομηχανίας και εργοστασίων ηλεκτρικής ενέργειας και από το δωμάτιο ελέγχου υποσταθμών υψηλής τάσης.

ε) Κλάση 5: Δυσμενές βιομηχανικό περιβάλλον.

Το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω ιδιότητες:

- αγωγοί, ζυγοί, ή γραμμές μέσης ή υψηλής τάσης, που φέρουν δεκάδες kA,
- εδαφικοί αγωγοί του κεραυνικού συστήματος προστασίας ή μεγάλες κατασκευές όπως πυλώνες γραμμών που φέρουν όλο το κεραυνικό ρεύμα.

Το περιβάλλον αυτό μπορεί να αντιπροσωπευτεί από περιοχές (χώροι) διακοπών εξοπλισμού εργοστασίων βαριάς βιομηχανίας και σταθμούς ισχύος μέσης και υψηλής τάσης.

στ) Κλάση x: Ειδικό περιβάλλον.

Ο μικρός ή μεγάλος ηλεκτρομαγνητικός διαχωρισμός των πηγών παρεμβολής από κυκλώματα, καλώδια, γραμμές εξοπλισμού κτλ, και η ποιότητα των εγκαταστάσεων μπορούν να απαιτήσουν τη χρήση υψηλότερης ή χαμηλότερης περιβαλλοντικής στάθμης από εκείνες που περιγράφονται παραπάνω. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι γραμμές συσκευής μιας υψηλότερης στάθμης μπορούν να διεισδύουν σε περιβάλλον χαμηλότερης δριμύτητας.

Παράρτημα Β

Τεχνικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας TRA3000

Παρακάτω παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας TRA3000 [64] για κάθε μονάδα που σχετίζεται με τις δοκιμές ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας της παρούσας διπλωματικής εργασίας που έγιναν μέσω της γεννήτριας αυτής.

B.1. Ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις ESD σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-2: Χαρακτηριστικά γεννήτριας EXT-TRA3000 E

Πυκνωτής αποθήκευσης ενέργειας	150 pF		
Αντίσταση εκφόρτισης	330 Ω		
Αντίσταση φόρτισης	54 MΩ		
Χρόνος «κρατήματος» διακόπτη (μείωση στο 95%)	τουλάχιστον 5 sec		
Χρόνος ανόδου ρεύματος, με φορτίο 2 Ω	0.8 ns	±25%	Βλ. § 6.1 Προτύπου IEC 61000-4-2 Ed.2
<i>Ορισμός κυματομορφής ρεύματος</i>			
Ρεύμα στα 30 ns	4 A ÷ 16 A	±30%	
Ρεύμα στα 60 ns	2 A ÷ 8 A	±30%	
Εύρος τάσης «εκφόρτιση αέρα»	2 kV ÷ 15 kV	±10%	
Εύρος τάσης «εκφόρτιση επαφής»	2 kV ÷ 10 kV	±10%	
Αρχικό πλάτος ρεύματος στα 2 Ω «εκφόρτιση επαφής»	7.5 A ÷ 30 A	±15%	
Πολικότητα	Θετική/Αρνητική, Αυτόματη μετάβαση		
Αριθμός εκφορτίσεων Ανίχνευση του αριθμού των εκφορτίσεων	- Προεπιλεγόμενη - Μέτρηση σε κάθε παλμό, «Every Pulse» - Μέτρηση κατά την εκφόρτιση, «Discharge Only» *Σε λειτουργία μέτρησης εκφορτίσεων «Discharge Only», μετρούνται μόνο οι παλμοί όπου η τάση του πυκνωτή εκφόρτισης πέφτει κάτω από το 10% της τάσης φόρτισης.	1 ÷ 29999	
Ramps	Το πλάτος της τάσης αλλάζει από «βολή» σε «βολή», εναλλασσόμενη πολικότητα		
Έκθεση αναφοράς	Ακολουθία των δοκιμών με τον αριθμό των εκφορτίσεων, το πλάτος της τάσης και την πολικότητα		

Επανάληψη των εκφορτίσεων	0.05 s μέχρι 30 s Απλή εκφόρτιση, χειροκίνητη «Man»
---------------------------	--

Πίνακας Β.1: Χαρακτηριστικά γεννήτριας EXT-TRA3000 E^[64].

B.2. Γρήγορα ηλεκτρικά μεταβατικά φαινόμενα και απότομες εκφορτίσεις EFT σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-4: Χαρακτηριστικά γεννήτριας EXT-TRA3000 F

	Έξοδος παλμού		IEC 61000-4-4
<i>Κυματομορφή τάσης στα 50 Ω</i>			
Χρόνος ανόδου	5 ns	±30%	
Χρόνος ημίσεως εύρους	50 ns	±30%	
<i>Κυματομορφή τάσης στα 100 Ω</i>			
Χρόνος ανόδου	5 ns	±30%	
Χρόνος ημίσεως εύρους	50 ns	-15 ns	+100 ns
Ρυθμιζόμενο εύρος τάσης	250 V ÷ 4400 V	±10%	
Πλάτος τάσης στα 50 Ω	125 V ÷ 2000 V	±20%	
Πλάτος τάσης στα 100 Ω	250 V ÷ 4000 V	±10%	
Εμπέδηση πηγής	50 Ω		
Συχνότητα spikes	1 kHz ÷ 1MHz		
Μέγιστος αριθμός ριπών ανά δευτερόλεπτο	8000 στα 1000 V		1000 στα 4000V
Διάρκεια διαταραχής	0,001 ms ÷ 30 ms		
Επανάληψη διαταραχής	1 ms ÷ 1000 ms		
Πολικότητα	Θετική/Αρνητική		
Ramps	- Τάση - Συχνότητα αιχμών - Συγχρονισμός Διάρκεια διαταραχής		
Έξοδος τάσης	10 nF αποζευγμένο	Μέγιστο 450 V ac	

Πίνακας Β.2: Χαρακτηριστικά γεννήτριας EXT-TRA3000 F^[64].

Χαρακτηριστικά δικτύου σύζευξης/απόζευξης EFT

Μέγιστη συνεχόμενη τροφοδοσία τάσης στο δοκίμιο	280 V ac 50/60 Hz		
Μέγιστο συνεχόμενο επιτρεπτό ρεύμα	16 A		
Κυματομορφή αιχμής που υπερτίθεται στις γραμμές της τροφοδοσίας του δοκιμίου	Εντός των ανοχών όπως πιο πάνω	IEC 61000-4-4 Ed.1 and Ed.2 Amd.1	
Μονοπάτια σύζευξης	L-GND, N-GND, PE-GND, L+N+PE- GND, L+N -GND, L+PE - GND, N+PE -GND		

Πίνακας Β.3: Χαρακτηριστικά δικτύου σύζευξης/απόζευξης EFT^[64].

B.3. Υπερτάσεις και υπερεντάσεις SURGE σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-5: Χαρακτηριστικά γεννήτριας EXT-TRA3000 S

	Έξοδος παλμού		IEC 61000-4-5 (βλ. παράγραφο 6.1)
<i>Κυματομορφή σε κενό φορτίο</i>			
Χρόνος ανόδου	1.2 μs	±30%	
Χρόνος ημίσεως εύρους	50 μs	±20%	
<i>Κυματομορφή σε βραχυκύκλωμα</i>			
Χρόνος ανόδου	8 μs	±20%	
Χρόνος ημίσεως εύρους	20 μs	±20%	
Προεπιλεγμένο εύρος τάσης	220 V ÷ 4100 V		
Εύρος τάσης εξόδου ανοικτοκυκλώματος	250 V ÷ 4000 V	±10%	
Εύρος ρεύματος εξόδου βραχυκυκλώματος	125 A ÷ 2000 A	±10%	
Εμπέδηση εξόδου U_{max} / I_{max}	2 Ω		
Πολικότητα	Θετική/Αρνητική		
Ramps	- Τάση - Πολικότητα - Συγχρονισμός		
Έξοδος υψηλής τάσης “low”	Μέγιστη τάση μεταξύ “low” και γης: 260 V ac		5 sec στα 4000 V

Πίνακας B.4: Χαρακτηριστικά γεννήτριας EXT-TRA3000 S^[64].

Χαρακτηριστικά δικτύου σύζευξης/απόζευξης SURGE

Μέγιστη επιτρεπτή συνεχόμενη τάση φάσης ουδέτερου	280 V ac 50/60 Hz	16 A
Σύζευξη φάσης - γείωσης	9 μF + 10 Ω	(L-PE)
Σύζευξη ουδέτερου - γείωσης	9 μF + 10 Ω	(N-PE)
Σύζευξη φάσης - ουδέτερου	18 μF	(L-N)
Τρόποι σύζευξης	L-N, L-PE, N-PE, αυτόματη μεταγωγή μονοπατιού σύζευξης	

Πίνακας B.5: Χαρακτηριστικά δικτύου σύζευξης/απόζευξης SURGE^[64].

Προσοχή: Το δίκτυο σύζευξης/απόζευξης SURGE 1.2/50 μs – 8/20μs είναι σχεδιασμένο για μέγιστη κατανάλωση ενέργειας στα 280 V rms, 50/60 Hz και με χωρητικότητα σύζευξης 18μF.

Εάν χρησιμοποιούνται δίκτυα σύζευξης/απόζευξης από άλλους κατασκευαστές, η μέγιστη κατανάλωση ισχύος της συσκευής TRA3000 F-S-D-V-C πρέπει να θεωρηθεί. Γραμμές τροφοδοσίας υψηλότερης τάσης απ’ όσο καθορίζεται μπορούν να καταστρέψουν τον εξοπλισμό διαμόρφωσης παλμών εντός της συσκευής TRA3000 F-S-D-V-C.

B.4 Σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης με το εσωτερικό variac σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-11: EXT-TRA3000 D-V

Εύρος τάσης	0 ÷ 260 V όταν η τροφοδοσία του δοκιμίου είναι 230 V		Τροφοδοσία δοκιμίου	Εξαρτάται από την τάση τροφοδοσίας του δοκιμίου
Εύρος συχνότητας χωρίς variac	DC μέχρι 400 Hz			Εξωτερική πηγή
Εύρος συχνότητας με variac	48 Hz ÷ 60 Hz			Εξωτερική πηγή
Ονομαστικό ρεύμα	16 A χωρίς εσωτερικό variac			
Σύντομη διακοπή με εσωτερικό variac και γραμμική φόρτιση	Ελάχιστο: 12 A Μέγιστο: 16 A			< 5 s < 300 ms
Ρεύμα εισροής	500 A Μέγιστο		- 0%, ±30%	
Χρόνος διακοπής	50 μs ÷ 30 s			Επιλογή φασικής γωνίας
Πλάτος σύντομων διακοπών	Συνεχής επιλογή από 0 ως 100 %			IEC: 0 %, 40 %, 70 %, 80 %
Φασική γωνία για ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του δοκιμίου. Επιλογή στο εύρος.	0 ÷ 360°		±5°	
Διακύμανση τάσης με το εσωτερικό variac	0 ÷ 110 % μέγιστο. 5 A		±20%	2 s ÷ 30000 s
Διακύμανση τάσης με εξωτερικό variac	0 ÷ 110 % μέγιστο. 16 A		±20%	2 s ÷ 30000 s
Μικρότερη της μίας περιόδου Περισσότερο από μία περίοδο d.c. διακοπή	Σύντομη διακοπή εντός της μίας περιόδου. Είσοδος ως γωνία. Σύντομη διακοπή πέραν της μίας περιόδου. Είσοδος σε ms. Είσοδος σε ms			
Ramps	- Τάση - Γωνία συγχρονισμού - Χρόνος διακοπής			
Διακοπή για όλα τα είδη φορτίσεων UT = Τάση στο EUT Power 1	DIP 100 %	% UT 0 %	0 ÷ 16 A	

Πίνακας B.6: Χαρακτηριστικά γεννήτριας EXT-TRA3000 D-V^[64].

Προσοχή: Για διακοπές τάσης 0 % ως 100 % και 100% ως 0 % το εσωτερικό variac δεν περιλαμβάνεται, επομένως η δοκιμή μπορεί να γίνει μέχρι και τα 16 A. Για διακοπές με την τάση UT = EUT Power 1 να μην είναι στο μηδέν, το εσωτερικό variac περιορίζει το ρεύμα τροφοδοσίας του δοκιμίου. Οι μέγιστες επιτρεπόμενες

τιμές του ρεύματος δίνονται στον επόμενο πίνακα. Τα διαφορετικά είδη φορτίσεων επηρεάζουν την τιμή του μέγιστου ρεύματος.

Χαρακτηριστικά σύντομων διακοπών και διακυμάνσεων τάσης με εσωτερικό variac

Είδη φόρτισης:		Μεταβλητή κατανάλωση ενέργειας. Μέγιστη: 2.6 kW στα UT 230 V. Με τη μείωση της τάσης, το ρεύμα επίσης μειώνεται. Παραδείγματα: Ωμικά, επαγωγικά, χωρητικά, σύνθετα φορτία	Σταθερή κατανάλωση ενέργειας. Μέγιστη: 1.2 kW στα UT 220 V. Με τη μείωση της τάσης, το ρεύμα αυξάνεται. Παράδειγμα: Τροφοδοσία μεταγωγής	Αλλαγή τάσης επί της % του UT σε αλλαγή ρεύματος από 0 ως 100%. UT = Τάση στο EUT Power 1
Μεταγωγή Από	Έως			
UT	% UT	Εύρος ρεύματος (r.m.s)	Εύρος ρεύματος (r.m.s)	% του UT
100 %	0 %	0 ÷ 16 A	0 ÷ 16 A	0.7 %
100 %	80 %	0 ÷ 10 A	0 ÷ 5 A	4 %
100 %	70 %	0 ÷ 9 A	0 ÷ 6 A	4 %
100 %	40 %	0 ÷ 5 A	0 ÷ 10 A	5 %

Πίνακας Β.7: Χαρακτηριστικά σύντομων διακοπών και διακυμάνσεων τάσης με εσωτερικό variac ^[64].

Σημείωση: Όλες οι τιμές ισχύουν για χρόνο μεταγωγής στο % UT < 5 s.

Χαρακτηριστικά σύντομων διακοπών και διακυμάνσεων τάσης με εξωτερικό variac

Είδη φόρτισης:		Μεταβλητή κατανάλωση ενέργειας. Μέγιστη: 3.7 kW στα UT 230 V. Με τη μείωση της τάσης, το ρεύμα επίσης μειώνεται. Παραδείγματα: Ωμικά, επαγωγικά, χωρητικά, σύνθετα φορτία	Σταθερή κατανάλωση ενέργειας. Μέγιστη: 3.7 kW στα UT 220 V. Με τη μείωση της τάσης, το ρεύμα αυξάνεται. Παράδειγμα: Τροφοδοσία μεταγωγής	Αλλαγή τάσης επί της % του UT σε αλλαγή ρεύματος από 0 ως 100%. UT = Τάση στο EUT Power 1
Μεταγωγή Από	Έως			
UT	% UT	Εύρος ρεύματος (r.m.s)	Εύρος ρεύματος (r.m.s)	% του UT
100 %	0 %	0 ÷ 16 A	0 ÷ 16 A	0.7 %
100 %	80 %	0 ÷ 12.8 A	0 ÷ 20 A	4 %
100 %	70 %	0 ÷ 11.2 A	0 ÷ 23 A	4 %
100 %	40 %	0 ÷ 6.5 A	0 ÷ 40 A	5 %

Πίνακας Β.8: Χαρακτηριστικά σύντομων διακοπών και διακυμάνσεων τάσης με εξωτερικό variac ^[64].

Σημείωση: Όλες οι τιμές ισχύουν για χρόνο μεταγωγής στο % UT < 5 s.

Παράρτημα Γ

Ρύθμιση παραμέτρων της γεννήτριας TRA3000

Γ.1. Λειτουργίες ελέγχου TRA3000 ^[64]

i. Εμπρόσθιο μέρος



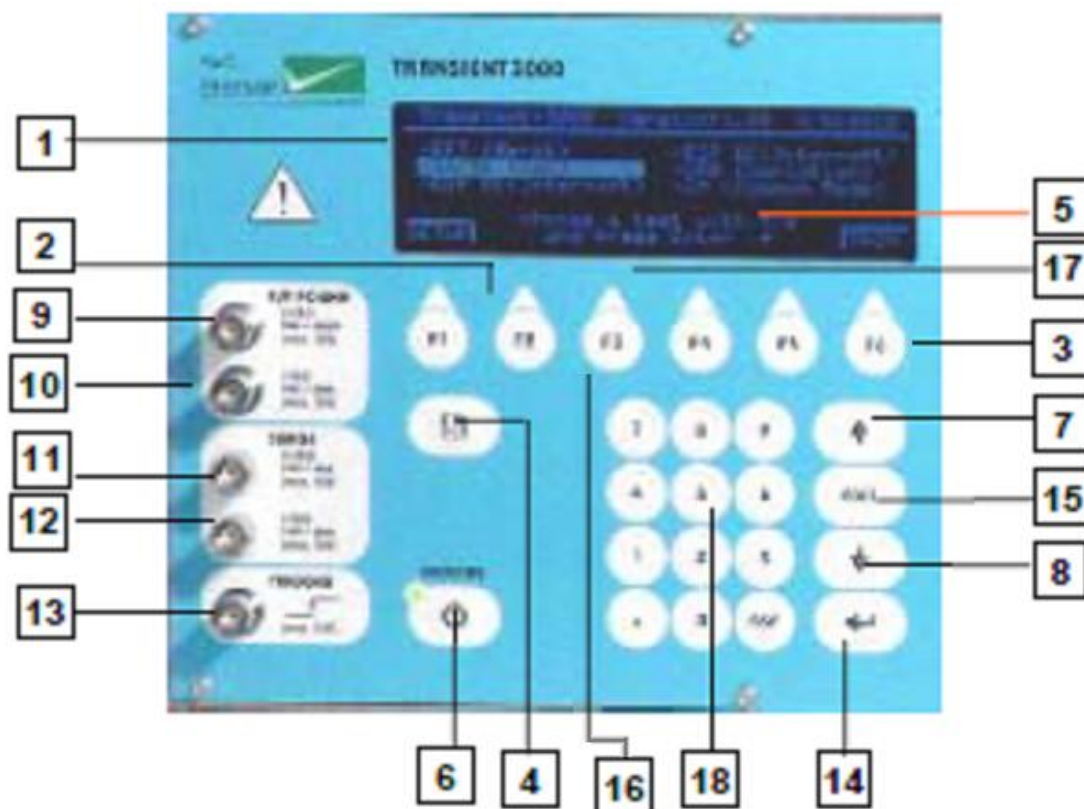
Σχήμα Γ.1: Εμπρόσθιο μέρος συσκευής TRA3000 ^[64].

Η βασική μονάδα TRA3000 χωρίζεται σε δύο μέρη :

- (1) Πίνακας ελέγχου
- (2) Πίνακας λειτουργιών

Πίνακας ελέγχου

Ο έλεγχος της συσκευής TRA3000 γίνεται μέσω εσωτερικού υπολογιστή. Ο υπολογιστής ελέγχει τις EMC δοκιμές, αποθηκεύει τα δεδομένα εισόδου, ανανεώνει την οθόνη, ελέγχει κατά πόσο οι τιμές που εισάγει ο χρήστης είναι επιτρεπτές ή όχι, αποθηκεύει το πρόγραμμα και προετοιμάζει τις αναφορές της δοκιμής. Ο χειριστής επικοινωνεί με την TRA3000 μέσω των μπουτόν αριθμών εισόδου, της οθόνης και των πλήκτρων.

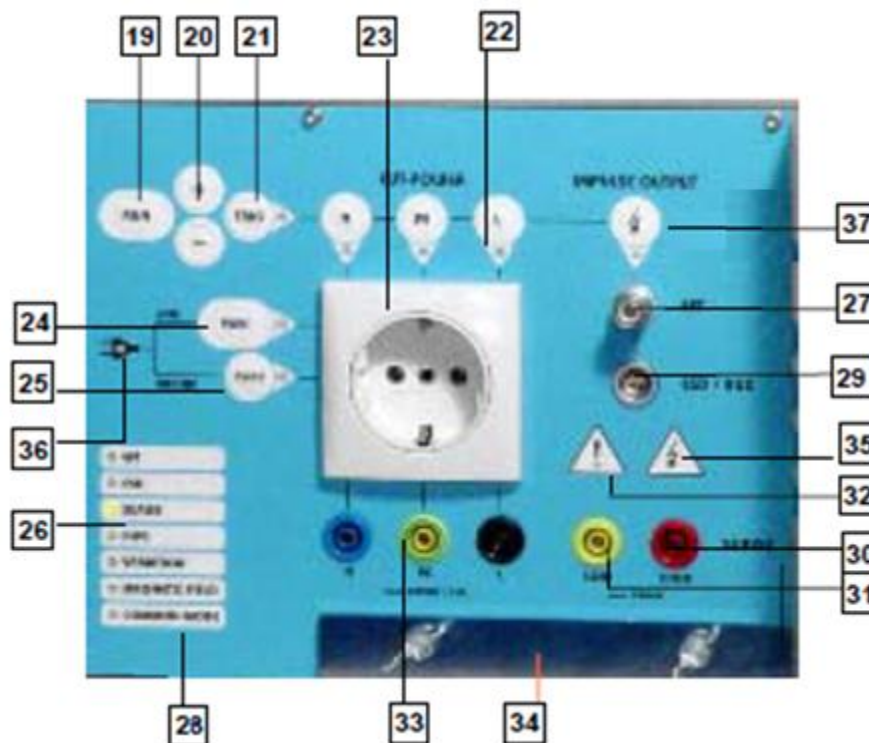


Σχήμα Γ.2: Πίνακας ελέγχου συσκευής TRA3000^[64].

- (1) Οθόνη
Όλες οι σημαντικές πληροφορίες για τον χειριστή φαίνονται μόνιμα στην οθόνη κατά τη διάρκεια της δοκιμής.
- (2,3) Πλήκτρα
Έξι πλήκτρα μας δίνουν τη δυνατότητα γρήγορης κίνησης και αλλαγής σε διαφορετικά μενού.
- (4) Μπουτόν USB. Όλα τα στοιχεία των υπηρεσιών αποθηκεύονται στο USB stick όταν εισαχθεί στο πίσω μέρος της συσκευής και στη θύρα «USB Port».
- (5) Γραμμή διαλόγου εντός της οθόνης. Υποδεικνύει το εύρος που μπορεί να επιλεγεί ή ποιο επόμενο βήμα πρέπει να γίνει.
- (6) Μπουτόν ON/STBY. Με αυτό το μπουτόν η συσκευή μπορεί να είναι εντός και εκτός λειτουργίας. Σε κατάσταση εκτός λειτουργίας, ο έλεγχος και τα σήματα είναι απενεργοποιημένα. Επίσης σε αυτή την κατάσταση η κατανάλωση ενέργειας είναι τουλάχιστον 5 W.
- (7,8) Μπουτόν UP/DOWN. Αυτά τα δύο μπουτόν δίνουν τη δυνατότητα κίνησης του κέρσορα πάνω ή κάτω στα μενού.
- (9,10) EUT POWER. Έξοδοι (BNC) μέτρησης τάσης και ρεύματος συσκευής υπό δοκιμή, με μέγιστη τάση 12 V και μέγιστο ρεύμα 12 A.
- (11,12) SURGE. Έξοδοι μέτρησης τάσης και ρεύματος σε δοκιμή SURGE.
- (13) Trigger output. Έξοδος σήματος σκανδαλισμού παλμογράφου.
- (14) Μπουτόν ENTER. Τερματίζει κάθε εισαγωγή δεδομένων και ενεργοποιεί την επιλεγμένη λειτουργία.

- (15) Μπουτόν EDIT. Αυτό το μπουτόν ενεργοποιεί τη γραμμή διαλόγου και ανοίγει παράθυρα για διαμόρφωση δεδομένων.
- (16,17) Μπουτόν F1-F6. Τα μπουτόν F1 ως F6 αντιστοιχούν στη λειτουργία που φαίνεται πάνω από αυτά στην οθόνη.
- (18) Αριθμητικός πίνακας ελέγχου. Εάν ο κέρσορας είναι ενεργοποιημένος σε μία γραμμή της οθόνης, τότε δεδομένα μπορούν να εισαχθούν με το πληκτρολόγιο αριθμών. Κάθε δεδομένου εισόδου πρέπει να τερματίζεται με το μπουτόν ENTER. Το μπουτόν BSP (Backspace) επιτρέπει διόρθωση λανθασμένων δεδομένων εισόδου.

Πινάκας λειτουργιών

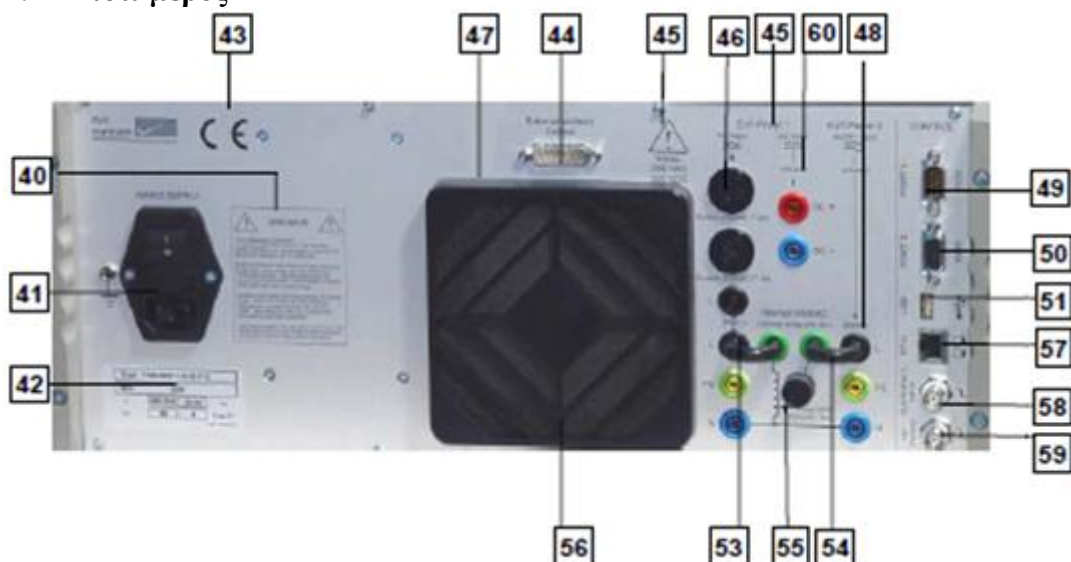


Σχήμα Γ.3: Πινάκας λειτουργιών συσκευής TRA3000 [64].

- (19) Μπουτόν RUN. Έναρξη ή τερματισμός μιας δοκιμής.
- (20) Μπουτόν +/-.
- (21) Μπουτόν Manual Trigger. Όταν προγραμματίζεται χειροκίνητο trigger και ο χειριστής είναι έτοιμος αυτό θα υποδεικνύεται από το LED δίπλα στο μπουτόν αυτό. Μόλις το σήμα εμφανιστεί και το LED φωτιστεί ο παλμός μπορεί να «ελευθερωθεί» πατώντας το μπουτόν Manual Trigger.
- (22) Τα τέσσερα LED δείχνουν ποιο μονοπάτι δέχεται τη διαταραχή. Οι τρεις γραμμές της τροφοδοσίας του δοκιμίου ή οι απευθείας έξοδοι υψηλής τάσης. Τα σήματα εμφανίζονται μόλις ενεργοποιηθεί η δοκιμή. Με τα μπουτόν πάνω από τις ενδείξεις των LED, το μονοπάτι σύζευξης μπορεί να αλλαχθεί και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.
- (23,33) Μονοφασική πρίζα σούκο (23) ή πρίζα τύπου μπανάνα (banana plug type) (33). Όταν υπερτίθεται η διαταραχή στη γραμμή τροφοδοσίας του δοκιμίου, τότε το δοκίμιο πρέπει να είναι ενωμένο στην υποδοχή (23).

- (24) Μπουτόν LINE PWR1. Με αυτό το μπουτόν η τροφοδοσία του δοκιμίου τίθεται εντός ή εκτός λειτουργίας στην καθορισμένη φασική γωνία.
- (25) Μπουτόν Variac (μεταβλητός αυτομετασχηματιστής). Το μπουτόν αυτό θέτει σε λειτουργία την τροφοδοσία του δοκιμίου από το Variac. Όταν η τροφοδοσία του δοκιμίου γίνεται από την είσοδο (48) (βλ. Εικόνα X) π.χ. εσωτερικό ή εξωτερικό Variac, αυτό θα υποδεικνύεται από το LED (25).
- (26,28) Το σήμα που φωτίζει το LED δείχνει ποια από τις πιθανές επτά δοκιμές έχει επιλεγθεί: ESD, EFT, SURGE, DIPS, Variation, Magnetic Field, Common Mode. Ένα συνεχές σήμα δείχνει ποια δοκιμή έχει επιλεγθεί για ρύθμιση, ενώ ένα σήμα που αναβοσβήνει δείχνει ποια δοκιμή πραγματοποιείται.
- (27) Αυτή η έξοδος χρειάζεται για την πραγματοποίηση δοκιμών με εξωτερικό χωρητικό clamp σύζευξης ή ένα επιπλέον δίκτυο σύζευξης/απόζευξης.
- (29) Εδώ μπορεί να συνδεθεί η συσκευή EXT-TRA3000 E για τη δοκιμή ηλεκτροστατικής εκφόρτισης (ESD).
- (30,31) Εδώ μπορεί να συνδεθεί η συσκευή σύζευξης SURGE ή τριφασικά δίκτυα σύζευξης/απόζευξης. Αυτές οι έξοδοι είναι σημαδεμένες με «low» και «high». Η έξοδος «low» δεν είναι γειωμένη και μια μέγιστη εξωτερική τάση 280 V ac μπορεί να συνδεθεί όπως περιγράφεται στο εμπρόσθιο μέρος.
- (32) Αυτό το σήμα προτρέπει τον χειριστή να μελετήσει τον οδηγό της συσκευής.
- (34) Σύνδεση γείωσης. Για δοκιμές παρεμβολών υψηλών συχνοτήτων, όπως EFT, μια μεγάλη επιφάνεια γείωσης είναι απαραίτητη. Ο ακροδέκτης γείωσης του TRA3000 επιτρέπει να υπάρχει μικρή επαγωγικότητα σύνδεσης γείωσης μεταξύ του εξοπλισμού δοκιμής και του εδαφικού επιπέδου αναφοράς.
- (35) Εδώ επισημάνεται ότι υπάρχει υψηλή τάση στην πρίζα EFT BNC κα SURGE (MC plugs).
- (36) Όταν μια τάση μεγαλύτερη των 30 V εφαρμόζεται στην είσοδο EUT Power 1 στο πίσω μέρος του TRA3000, ο συγχρονισμός θα αναφέρεται στην τροφοδοσία της τάσης. Το LED (36) δείχνει κατά πόσο ο συγχρονισμός βασίζεται στην τροφοδοσία τάσης του δοκιμίου ή όχι. Σε τάσεις μικρότερες των 30 V ο συγχρονισμός βασίζεται στη γραμμή τροφοδοσίας του TRA3000 (41). Εάν η φάση και ο ουδέτερος εναλλαχθούν, καμία ένδειξη δεν θα εμφανίζεται.
- (37) Ενεργοποίηση εξόδου για την πραγματοποίηση δοκιμών με εξωτερικό χωρητικό clamp σύζευξης ή ένα επιπλέον δίκτυο σύζευξης/απόζευξης.

ii. Πίσω μέρος



Σχήμα Γ.4: Πίσω μέρος συσκευής TRA3000^[64].

- (40) Προειδοποιήσεις.
- (41) Τροφοδοσία συσκευής TRA3000 (Κατανάλωση: ελάχιστο < 75 VA, μέγιστο < 150 W, standby < 1 W).
- (42) Σημαντικές πληροφορίες τροφοδοσίας και ο σειριακός αριθμός της συσκευής.
- (43) Ένδειξη CE.
- (44) External Variac Control, external synchronization. Με αυτή την ειδική υποδοχή, το εξωτερικό variac μπορεί να ελέγχεται από το TRA3000. Το εξωτερικό variac χρειάζεται για δοκίμια (>12 A) και μεταβολές της τάσης τροφοδοσίας (>5 A).
- (45) Αυτό το σήμα προτρέπει τον χειριστή να μελετήσει τον οδηγό της συσκευής.
- (46,53) Είσοδοι του EUT Power 1. Όλοι οι υποδοχείς εισόδου και οι ασφάλειες για το EUT Power 1 βρίσκονται στη γραμμή (46). Οι δύο ασφάλειες των 16 A για τη φάση και τον ουδέτερο βρίσκονται πάνω σε αυτή τη γραμμή και κάτω (53) είναι οι τρεις γραμμές σύνδεσης για την τροφοδοσία του δοκιμίου (EUT power supply). Για τη φάση, υπάρχουν δύο υποδοχείς για την σύνδεση εσωτερικού variac στην τροφοδοσία. Για λειτουργία εξωτερικού variac, η γέφυρα (53) και (54) πρέπει να αφαιρείται.
- (47,56) Εξαεριστήρας. Εσωτερικά η συσκευή TRA3000 εξαερίζεται καθώς αυτό είναι απαραίτητο για τις εσωτερικές συσκευές και δίκτυα διαμόρφωσης παλμού και τους ηλεκτρονικούς διακόπτες υψηλών τάσεων. Πρέπει να υπάρχει απόσταση τουλάχιστον 20 cm μεταξύ του πίσω μέρους της συσκευής και οποιουδήποτε τοίχου και απόσταση τουλάχιστον 3 cm μεταξύ των πλευρών της συσκευής και οποιουδήποτε άλλου τοίχου ή εξοπλισμού.
- (48) Είσοδοι του EUT Power 2. Είσοδος για το επίπεδο διαταραχής κατά τη διάρκεια διακοπτικών φαινομένων. Όταν μια εξωτερική πηγή, π.χ. εξωτερικό variac ή εξωτερική ac/dc πηγή χρησιμοποιείται, τότε αυτή η εξωτερική πηγή πρέπει να συνδέεται σε αυτές τις εισόδους.

Δεδομένα τροφοδοσίας a.c.: 20 V ÷ 250 V, 16 A.

Δεδομένα τροφοδοσίας d.c.: 20 V ÷ 300 V, 10 A.

- (49) Interface “Port 1” RS232 for controller PC. Η θύρα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση της συσκευής TRA3000 με εξωτερικό υπολογιστή ώστε να γίνεται ο έλεγχος της μέσω αυτού.
- (50) Interface “Port 1” RS485 for controlling external coupling networks or checking the EUT failed status. Μέσω αυτής της θύρας μπορεί να ελέγχεται το μονοπάτι σύζευξης εξωτερικού δικτύου σύζευξης/απόζευξης ή να ελέγχεται η κατάσταση αποτυχίας του δοκιμίου.
- (51) USB Port. Μέσω αυτής της θύρας μπορούν να αποθηκεύονται τα δεδομένα σε USB stick.
- (55) Internal Variac. Για τις δοκιμές Interruption και Variation χρειάζονται διαφορετικές τάσεις. Η συσκευή TRA3000 έχει εσωτερικό variac συνεχούς ρεύματος 6 A. Κατά την αποστολή της συσκευής δύο γέφυρες είναι ενωμένες στις θύρες (53) (54). Το variac προστατεύεται με τις δικές του ασφάλειες. Για λειτουργία εξωτερικού variac, Οι δύο γέφυρες πρέπει να αφαιρεθούν.
- (57) Ethernet remote control. Η θύρα Ethernet μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της συσκευής TRA3000 με εξωτερικό υπολογιστή και τη χρήση του προγράμματος GENECS-TRA.
- (58) Emergency stop. Όταν η είσοδος «emergency stop» είναι ενεργοποιημένη, τότε η δοκιμή και η τροφοδοσία του δοκιμίου διακόπτεται αμέσως. Η τροφοδοσία της συσκευής TRA3000 δεν θα απενεργοποιηθεί. Η κατάσταση «emergency stop», η οποία αντιστοιχεί σε 0 V στην είσοδο, θα υποδεικνύεται στον μπροστινό πίνακα ελέγχου.
- (59) EUT Failed Input. Αυτή η είσοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα απλό κανάλι διαπίστωσης κατά πόσο το δοκίμιο επέτυχε ή απέτυχε στη δοκιμή.
- (60) EUT Power 1 d.c. input. Για d.c. τροφοδοσία του δοκιμίου τότε πρέπει να γίνεται χρήση των εισόδων (60). Η είσοδος EUT Power 1 d.c δεν προστατεύεται με ασφάλεια. Η πολικότητα + και - πρέπει να εκτιμάται. Ο διακόπτης PWR1 λειτουργεί μόνο όταν η εξωτερική d.c. τροφοδοσία είναι σωστά συνδεδεμένη στις εισόδους + και -.

Δεδομένα τροφοδοσίας: 20 V ÷ 300 V, 10 A.

Γ.2. Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής ηλεκτροστατικής εκφόρτισης

Οι παράμετροι που ρυθμίζονται στο μενού ESD MAIN 1/2 είναι οι ακόλουθες [64]:

V-charge: Εύρος τάσης δοκιμής.

Polarity: Πολικότητα.

No Pulses: Αριθμός παλμών

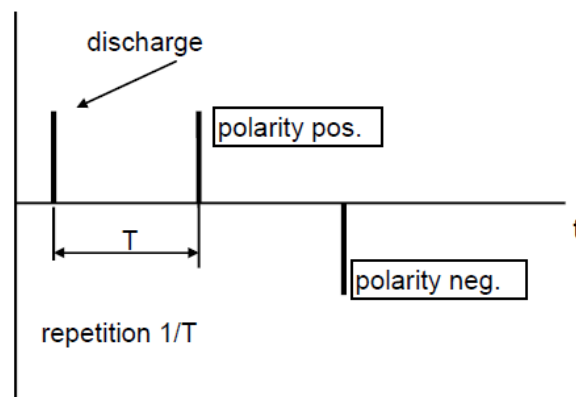
Discharge: Μέθοδος εκφόρτισης.

Repetition: Επανάληψη εκφορτίσεων.

Pulse Counter: Μέτρηση παλμών εκφόρτισης.



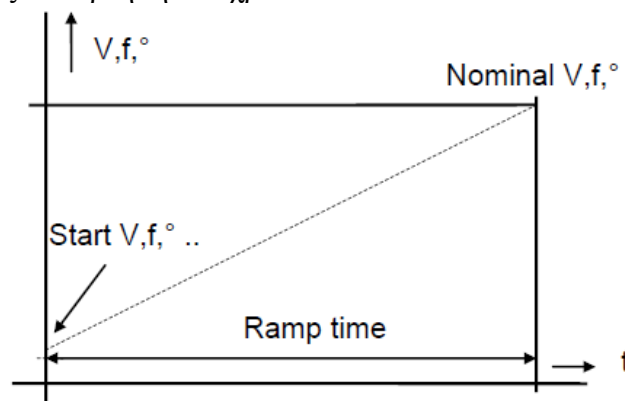
Σχήμα Γ.5: Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής ηλεκτροστατικής εκφόρτισης ESD.



Σχήμα Γ.6: Ορισμός παραμέτρων ηλεκτροστατικής εκφόρτισης ESD [64].

Ρύθμιση “Ramp”

Μια “Ramp” ορίζεται ως η γραμμική μεταβολή ενός μεγέθους π.χ. τάσης, γωνίας, συχνότητας κτλ, ως συνάρτηση του χρόνου.



Εικόνα Γ.7: Ορισμός της “ramp”.

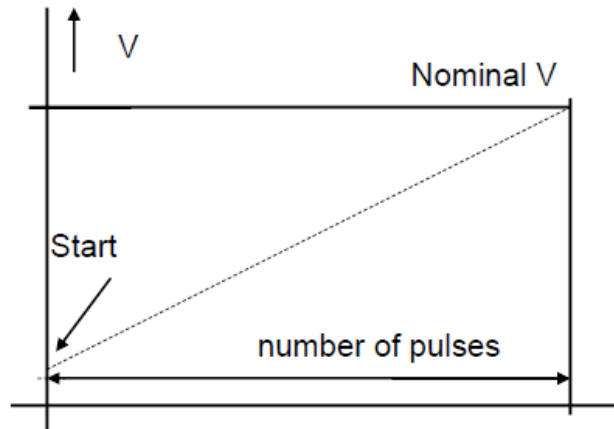
Τα βήματα μίας “Ramp” εξαρτώνται από το χρόνο της “ramp” και τη διαφορά μεταξύ των ονομαστικών και αρχικών τιμών.

ESD Ramp

Με το μπουτόν F4 επιλέγουμε τη ρύθμιση της “Ramp”.



Εικόνα Γ.8: Ρύθμιση ESD ramp.

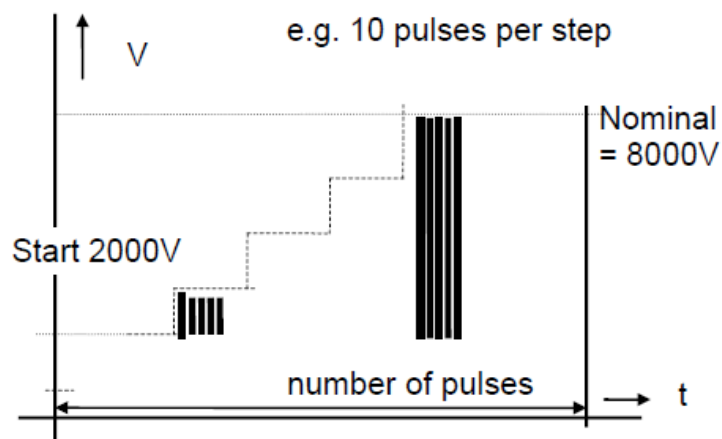


Σχήμα Γ.9: Ορισμός ESD ramp^[64].

Παράδειγμα: Η τάση θα αυξηθεί από 2000 V σε 8000 V με βήμα 500 V κάθε 10 εκφορτίσεις.



Σχήμα Γ.10: Παράδειγμα ESD ramp.



Σχήμα Γ.11: Παράδειγμα ορισμού ESD ramp^[64].

Γ.3. Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής γρήγορων ηλεκτρικών μεταβατικών φαινομένων και των απότομων εκφορτίσεων

Οι παράμετροι που ρυθμίζονται στο μενού EFT MAIN 1/3 είναι οι ακόλουθες [64]:

V-peak: Κορυφή τάσης.

Polarity: Πολικότητα.

Test-time: Διάρκεια δοκιμής.

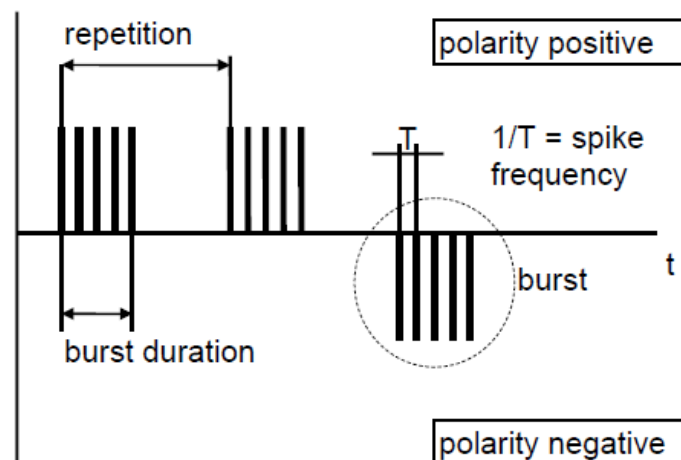
Spike Freq: Συχνότητα spikes.

Burst Dur.: Διάρκεια διαταραχής.

Repetition: Επανάληψη διαταραχής.

EFT Main 1/3		PWR1 : 230V 50Hz	
U-peak :	1000V	Spike Freq:	5kHz
Polarity :	pos	Burst Dur.:	15ms
Test-time :	60s	Repetition:	300ms
Setup	Test	Main1	Ramp
		Menu	More

Σχήμα Γ.12: Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής EFT.



Σχήμα Γ.13: Ορισμός παραμέτρων για τη δοκιμή EFT^[64].

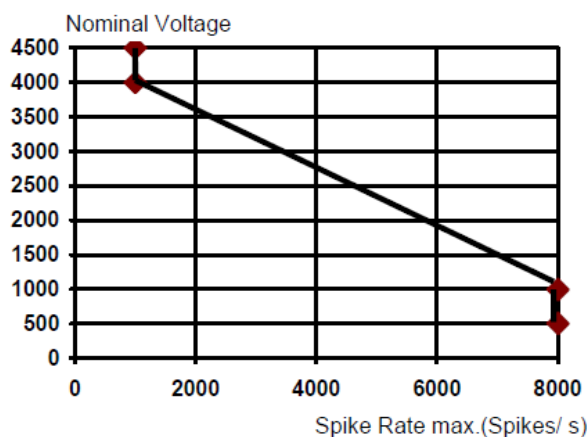
Οι παράμετροι Repetition, Burst Duration, Spike Frequency συνδυάζονται με τον αριθμό των spikes ανά seconds (Spike Rate):

$$\text{Spike rate [Spikes/sec]} = (\text{Burst duration [ms]} / \text{Repetition [ms]}) \times \text{Spike frequency [kHz]} \times 1000$$

Αυτή η εξίσωση ορίζεται μόνο όταν το Burst duration είναι μικρότερο από το Repetition. Εάν το Burst duration είναι ίσο με το Repetition, τότε το Spike rate θα είναι ίσο με το Spike frequency (συνεχόμενη διαταραχή).

$$\text{Spikes ανά διαταραχή} = \text{Burst duration [ms]} \times \text{Spike frequency [kHz]}$$

Τα πιο κάτω όρια Spike Rate ισχύουν για τη συσκευή TRA3000:



Σχήμα Γ.14: Spike Rate = αριθμός των spikes / seconds^[64].

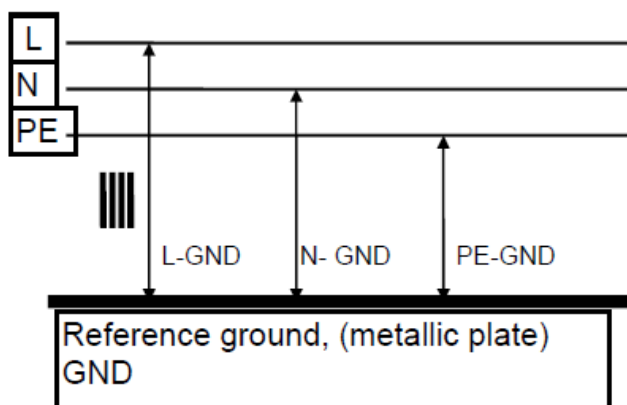
Επιλογή του μονοπατιού σύζευξης (coupling path)

Πατώντας το μπουτόν “More” (F6) στην οθόνη θα εμφανιστεί:



Σχήμα Γ.15: Μενού EFT MAIN 2/3 - Επιλογή του μονοπατιού σύζευξης.

Η επιλογή του μονοπατιού σύζευξης γίνεται εφόσον θέσουμε τον κέρσορα στο κατάλληλο μονοπάτι σύζευξης, επιλέξουμε ON ή OFF και επιβεβαιώσουμε αυτή την επιλογή πατώντας το μπουτόν ENTER.



Σχήμα Γ.16: Ορισμός μονοπατιού σύζευξης^[64].

Όταν ενεργοποιηθούν πάνω από ένα μονοπάτια σύζευξης, τότε θα επιλεγόνται βήμα - βήμα. Η σειρά που θα ενεργοποιούνται αντιστοιχεί στη σειρά που φαίνονται στο “Main Menu”. Στην περίπτωση που η εντολή “Impulse-Out” είναι σε θέση “ON” οι παλμοί burst μένουν σε υψηλή τάση. Το χωρητικό clamp σύζευξης είναι δυνατό να συνδεθεί στην έξοδο υψηλής τάσης EFT, με υπέρθεση του EFT στη γραμμή δεδομένων.

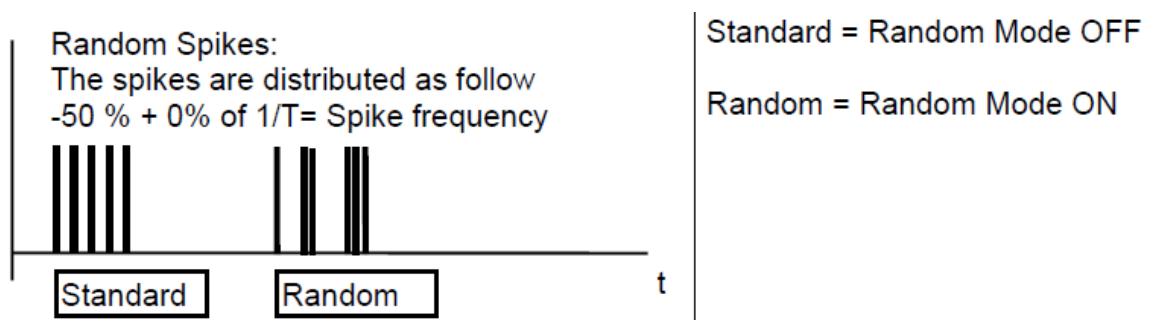
Τυχαία spikes

Πατώντας ξανά το μπουτόν “More” (F6) στην οθόνη θα εμφανιστεί:



Σχήμα Γ.17: Μενού EFT MAIN 3/3 - Τυχαία spikes.

Τυχαία καταναμημένα spikes μπορούν να μειώσουν δραστικά το χρόνο δοκιμής, ειδικά για ψηφιακά κυκλώματα. Τα «αδύναμα» σημεία της συσκευής υπό δοκιμή βρίσκονται πολύ γρήγορα.



Σχήμα Γ.18: Ορισμός τυχαίων spikes^[64].

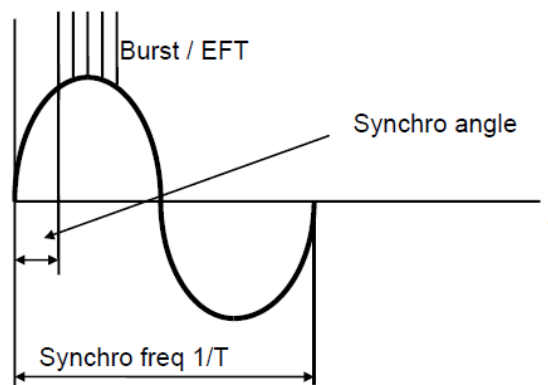
Συγχρονισμός ενός burst

Όταν επιλεγθεί στο συγχρονισμό (Syncro) η κατάσταση “power”, τότε ο συγχρονισμός θα είναι στη συχνότητα τροφοδοσίας της συσκευής υπό δοκιμή.



Σχήμα Γ.19: Μενού EFT MAIN 3/3 - Συγχρονισμός τροφοδοσίας των bursts.

Πατώντας “Manual Trigger” ένα burst θα «ελευθερωθεί».



Σχήμα Γ.20: Ορισμός συγχρονισμού^[64].

Η επιλογή στο συγχρονισμό (Sychro) της κατάστασης “power” θα εμφανίζεται στο “Sychro Deg.” στην οθόνη ρύθμισης παραμέτρων για τη δοκιμή EFT.



Σχήμα Γ.21: Επιλογή “Sychro Deg.” στην οθόνη ρύθμισης παραμέτρων για τη δοκιμή EFT.

EFT Ramp

Εάν επιλεχθούν πολλαπλά μονοπάτια σύζευξης, η “ramp” θα εκτελείται για κάθε μονοπάτι σύζευξης, π.χ. L-GND, N-GND, PE-GND.

Με το μπουτόν F4 επιλέγουμε τη ρύθμιση της “Ramp”.



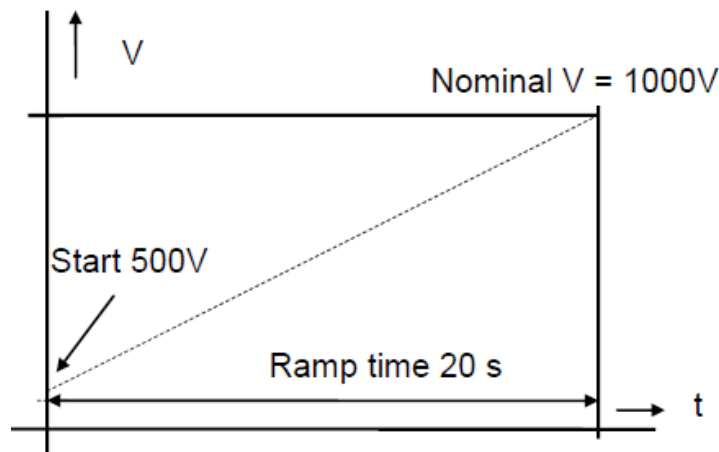
Σχήμα Γ.22: Ρύθμιση EFT ramp.

Όταν επιλέξουμε “V-peak” τότε μπορούμε να ρυθμίσουμε την αρχική και τελική τιμή της τάσης καθώς και το χρόνο της “ramp”.



Σχήμα Γ.23: Επιλογή Ramp Kind V-peak.

Ramp: Πλάτος spike (τάση)



Σχήμα Γ.24: Παράδειγμα ορισμού ramp^[64].

Στο Σχήμα Γ.24, η τάση θα αυξηθεί από 500 V σε 1000 V μέσα σε 20 sec. Τα βήματα ή η ανάλυση της ramp εξαρτάται από το χρόνο της ramp και από τη διαφορά μεταξύ της ονομαστικής V (V nominal) τάσης και της αρχικής V (V-peak start).

Ramp: Spike Frequency

Τα βήματα ή η ανάλυση της ramp εξαρτάται από το χρόνο της και τη διαφορά στη συχνότητα μεταξύ της ονομαστικής και αρχικής τιμής. Ο επιλεγμένος αριθμός των spikes (=10) ανά burst είναι σταθερός. Ως επακόλουθο η διάρκεια του burst μειώνεται αυξάνοντας τη συχνότητα των spikes. Η ενέργεια που περικλείεται σε ένα burst είναι σταθερή. Η σταθερή αυτή ενέργεια απλοποιεί την ανάλυση σε περίπτωση αποτυχίας του δοκιμίου. Κι αυτό γιατί σε περίπτωση αποτυχίας σε υψηλή συχνότητα, η αποτυχία σχετίζεται με τη συχνότητα και όχι με την ενέργεια. Η διάρκεια του burst δεν είναι πλέον εφαρμόσιμη.

Ramp: Burst duration ramp

Όταν εξετάζονται αναλογικά κυκλώματα, η ενέργεια ανά burst είναι σημαντική. Με το burst duration ramp, ο αριθμός των spikes θα αυξάνεται συνεχόμενα και επομένως η ενέργεια. Εάν στο κύκλωμα ενσωματώνονται RC δίκτυα, π.χ. φίλτρα, η ενέργεια διαταραχής μπορεί να οριστεί με αυτό τον τρόπο.

Ramp: Synchronisation angle

Με αυτή τη ρύθμιση, η γωνία συγχρονισμού προσαρμόζεται συνεχόμενα από την αρχική γωνία στην τελική γωνία που θα επιλέξουμε.

Γ.4. Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής γρήγορων υπερτάσεων και υπερεντάσεων

Οι παράμετροι που ρυθμίζονται στο μενού SURGE MAIN 1/3 είναι οι ακόλουθες [64]:

V-peak: Κορυφή τάσης.

Polarity: Πολικότητα.

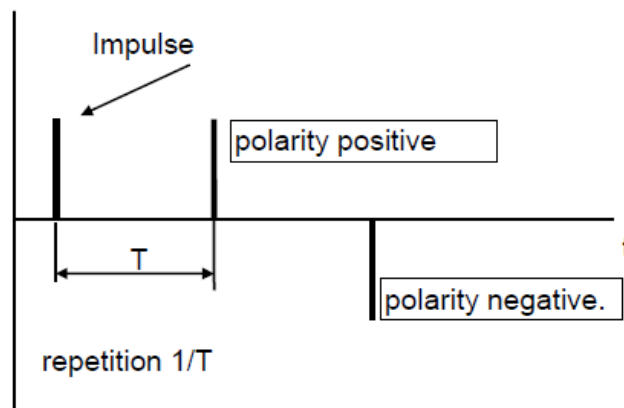
No Pulses: Αριθμός παλμών.

Waveform: Κυματομορφή.

Repetition: Επανάληψη διαταραχής.



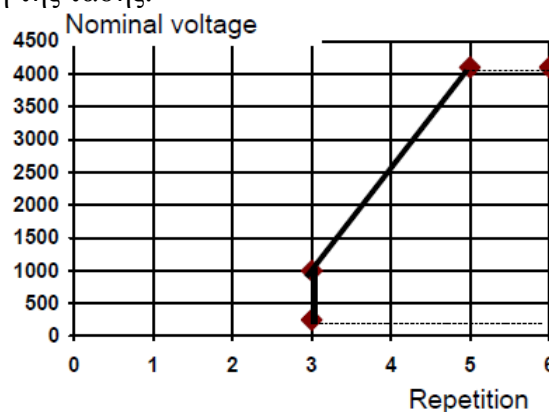
Σχήμα Γ.25: Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής SURGE.



Σχήμα Γ.26: Ορισμός παραμέτρων για τη δοκιμή SURGE [64].

Repetition

Repetition ορίζεται ως ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών παλμών. Για κάθε εκφόρτιση ο πυκνωτής στη συσκευή TRA3000 πρέπει να φορτίζεται. Η αποθηκευμένη ενέργεια είναι μια συνάρτηση της τάσης φόρτισης, επομένως ο ρυθμός επανάληψης (repetition rate) είναι συνάρτηση της τάσης.



Σχήμα Γ.27: Ελάχιστος χρόνος (repetition) μεταξύ δύο διαδοχικών παλμών ως συνάρτηση της τάσης [64].

Επιλογή του μονοπατιού σύζευξης (coupling path)

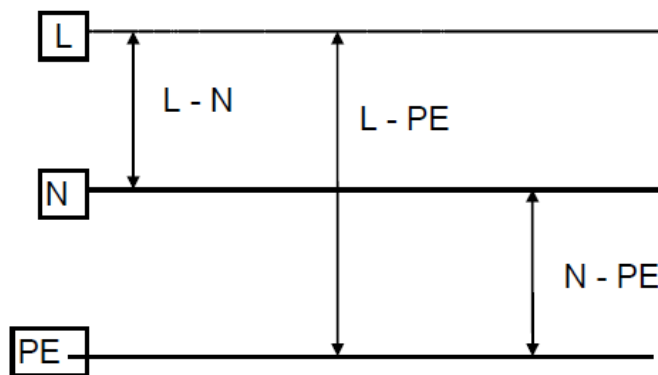
Πατώντας το μπουτόν “More” (F6) στην οθόνη θα εμφανιστεί:



Σχήμα Γ.28: Μενού SURGE MAIN 2/3 - Επιλογή του μονοπατιού σύζευξης.

Η επιλογή του μονοπατιού σύζευξης γίνεται εφόσον θέσουμε τον κέρσορα στο κατάλληλο μονοπάτι σύζευξης, επιλέξουμε ON ή OFF και επιβεβαιώσουμε αυτή την επιλογή πατώντας το μπουτόν ENTER.

Όταν η επιλογή 2 x V-peak είναι σε θέση ON τότε η τάση στο επιλεγμένο μονοπάτι σύζευξης (στην πάνω εικόνα L→N) θα διπλασιαστεί όπως καθορίζεται στο Πρότυπο για κοινές (common, γραμμή-γη ή όλες οι γραμμές-γη) και διαφοροποιημένες (differential, γραμμή-γραμμή) δοκιμές.



Σχήμα Γ.29: Ορισμός μονοπατιού σύζευξης SURGE^[64].

Όταν ενεργοποιηθούν πάνω από ένα μονοπάτια σύζευξης, τότε θα επιλέγονται βήμα - βήμα. Η σειρά που θα ενεργοποιούνται αντιστοιχεί στη σειρά που φαίνονται στο “Main Menu”. Στην περίπτωση που η εντολή “Impulse-Out” είναι σε θέση “ON” οι παλμοί μένουν σε υψηλή τάση (banana plugs). Το kit σύζευξης ή το τριφασικό φίλτρο είναι δυνατό να συνδεθεί στην έξοδο υψηλής τάσης SURGE.

Συγχρονισμός

Synchronisation Power



Υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι για το συγχρονισμό της γεννήτριας-TRA με ένα τριφασικό φίλτρο σύζευξης.

Παράδειγμα: TRA2000/TRA3000

Ο παλμός SURGE πρέπει να είναι συγχρονισμένος με τη φάση L1 στην γείωση PE.

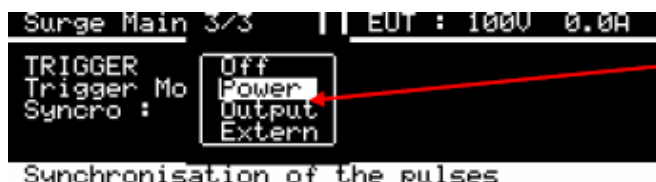
Συνδέουμε το μαύρο καλώδιο τύπου banana για συγχρονισμό και το κίτρινο και κόκκινο καλώδιο για τον παλμό surge όπως φαίνεται στις εικόνες.

Καλώδιο για συγχρονισμό. Να γίνεται χρήση του μαύρου καλωδίου ενός μέτρου που παραδίδεται με το CDN2000 για το συγχρονισμό της TRA3000 με την επιθυμητή φάση του CDN2000.

Στις εικόνες ο συγχρονισμός γίνεται για τη φάση L1.

Επιπρόσθετα ο ουδέτερος και η γείωση ασφαλείας πρέπει να είναι ενωμένα στο πίσω μέρος της TRA3000 και του CDN2000.

Σχήμα Γ.30: Εμπρόσθιο και πίσω μέρος συσκευών TRA3000 και CDN2000 [64].



Αρχικά πρέπει να επιλεγεί η πηγή συγχρονισμού.

Σχήμα Γ.31: Μενού SURGE MAIN 3/3 – Επιλογή πηγής συγχρονισμού.

Όταν επιλεχθεί η πηγή τότε:



Ανάλογα με τη σύζευξη SURGE (κίτρινο και κόκκινο καλώδιο) η γωνία συγχρονισμού πρέπει να ρυθμιστεί.

Σχήμα Γ.32: Μενού SURGE MAIN 3/3 – Ρύθμιση γωνιάς συγχρονισμού.

Σύζευξη: Φάση/εις με PE ή N και συγχρονισμός. (μαύρο καλώδιο στο L1)	Σύζευξη: Φάση/εις με Φάση/εις και συγχρονισμός. (μαύρο καλώδιο στο L1)
SURGE L1: 0° ισούνται με 0°	SURGE L1 – L2: 0° ισούνται με 330°
SURGE L2: 0° ισούνται με 120°	SURGE L2 – L3: 0° ισούνται με 90°
SURGE L3: 0° ισούνται με 240°	SURGE L1 – L3: 0° ισούνται με 30°

Πίνακας Γ.1: Φάσεις και συγχρονισμός ^[64].

Σημείωση: Η γωνία 0° ορίζεται ως αυτή στην οποία ο παλμός SURGE υπερτίθεται στην τροφοδοσία και εξαρτάται από τις χειροκίνητες επιλεγμένες κόκκινες και κίτρινες συνδέσεις.

Synchronisation Output

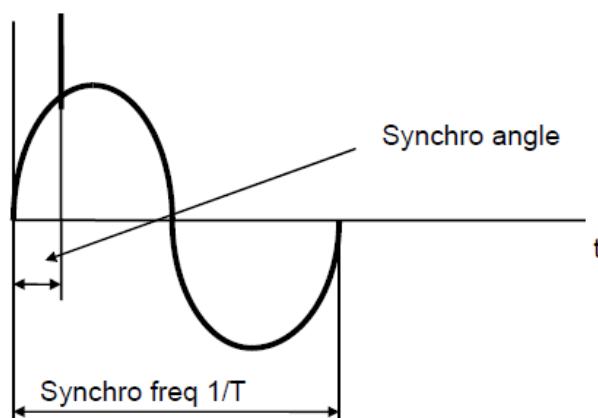


Σχήμα Γ.33: Μενού SURGE MAIN 3/3 – Επιλογή πηγής συγχρονισμού Output.

Σημείωση: Η γωνία 0° ορίζεται ως αυτή στην οποία ο παλμός SURGE υπερτίθεται στην τροφοδοσία και εξαρτάται από το επιλεγμένο μονοπάτι σύζευξης στο τριφασικό δίκτυο σύζευξης/απόζευξης.

Όταν επιλεγθεί στο συγχρονισμό (Sychro) η κατάσταση “power”, τότε οι παλμοί surges που θα «ελευθερωθούν» θα είναι σύγχρονοι με την συχνότητα τροφοδοσίας.

Στην επιλογή Trigger Mode: Manual, ο παλμός surge δεν «ελευθερώνεται» αυτόματα μετά το χρόνο επανάληψης (repetition time), αλλά από τον χειριστή πατώντας το μπουτόν Manual Trigger (21).



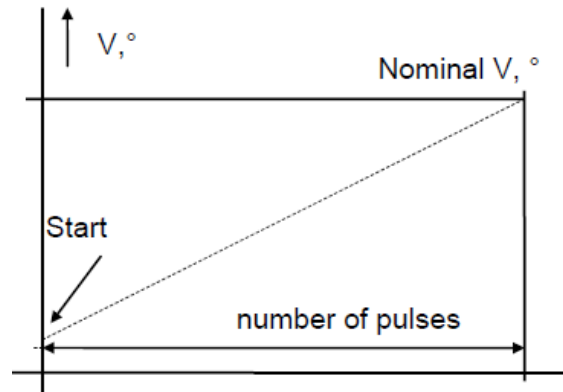
Σχήμα Γ.34: Ορισμός συγχρονισμού ^[64].

SURGE Ramp

Με το μπουτόν F4 επιλέγουμε τη ρύθμιση της “Ramp”.



Σχήμα Γ.35: Ρύθμιση SURGE ramp.

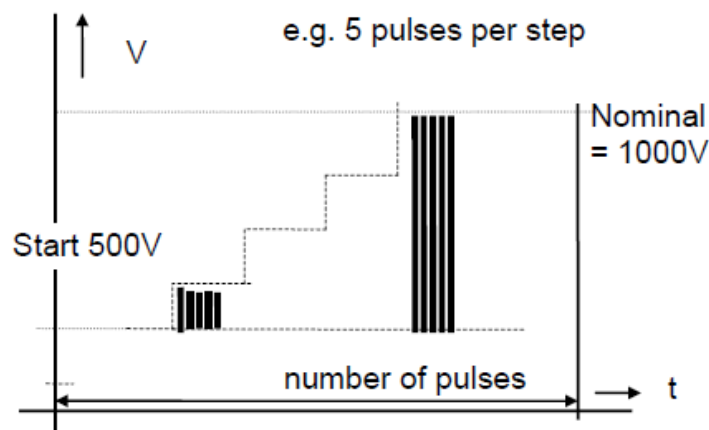


Σχήμα Γ.36: Ορισμός της SURGE “ramp”^[64].

Παράδειγμα: Όταν επιλέξουμε “V-peak” τότε μπορούμε να ρυθμίσουμε την αρχική και τελική τιμή της τάσης, καθώς και το βήμα που θα πραγματοποιείται μετά από τους παλμούς που θα ρυθμίσουμε.



Σχήμα Γ.37: Παράδειγμα SURGE ramp.



Σχήμα Γ.38: Ορισμός της SURGE “ramp” (η ονομαστική τιμή της τάσης μπορεί να επιλεγεί και στο “Main Menu”)^[64].

Γ.5. Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής σε βυθίσεις τάσης, μικρής διάρκειας διακοπές τάσης και διακυμάνσεις τάσης

Γ.5.1. Βυθίσεις και σύντομες διακοπές τάσης

Οι παράμετροι που ρυθμίζονται στο μενού DIP MAIN 1/4 είναι οι ακόλουθες [64]:

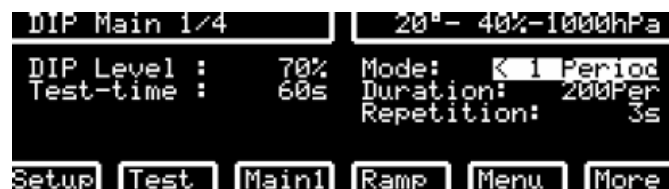
DIP Level: Επιλογή ποσοστού της τάσης κατά τη διάρκεια του DIP.

Test-time: Χρόνος δοκιμής.

Mode: Το είδος του DIP (μικρότερο ή μεγαλύτερο από μια περίοδο).

Duration: Αριθμός των DIPS μετά από κάθε επανάληψη (repetition).

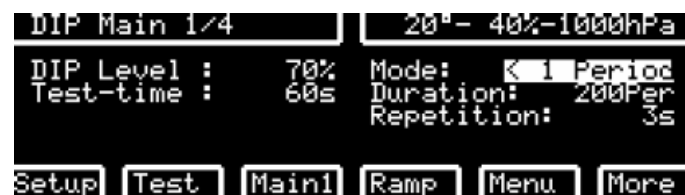
Repetition: Επανάληψη διαταραχής – χρόνος μεταξύ δύο DIPS.



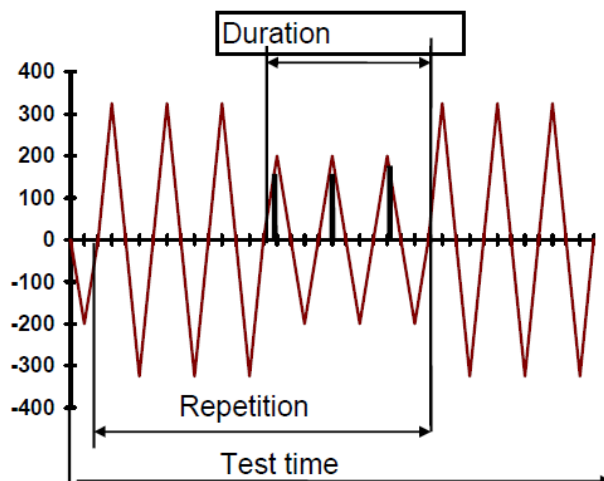
Σχήμα Γ.39: Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής DIP.

Ρύθμιση παραμέτρων για DIPS μικρότερα από μια περίοδο

Τα μικρά DIPS είναι διακοπές της τάσης μικρότερες της μίας περιόδου της τροφοδοσίας του δοκιμίου. Η διάρκεια ενός dip εισάγεται ως γωνία σε μοίρες (°). Μπορούν να οριστούν δύο διαφορετικά dips το πολύ ανά περίοδο. Περίοδοι με ίσα dips είναι δυνατό να πολλαπλασιαστούν.



Σχήμα Γ.40: Ρύθμιση DIPS μικρότερα από μια περίοδο.



Ο αριθμός των περιόδων είναι ίσος με τον αριθμό των περιόδων της διαταραχής. Η επανάληψη (repetition) ορίζει πόσο συχνά η διαταραχή συμβαίνει.

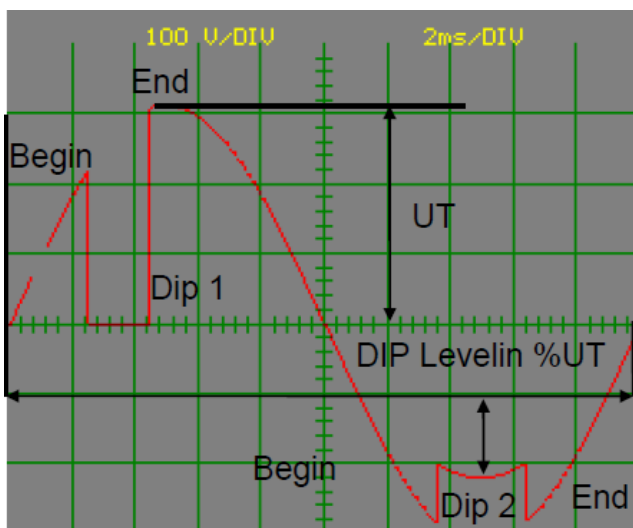
Σχήμα Γ.41: Ορισμός του αριθμού των περιόδων, επανάληψης και χρόνου δοκιμής [64].

Πατώντας το μπουτόν “More” (F6) στην οθόνη θα εμφανιστεί:



Σχήμα Γ.42: Μενού DIP MAIN 2/4 – Dip Power Sychronisation.

Η επιλογή του πότε θα αρχίζει και πότε θα τελειώνει το dip καθώς και αν θα υπάρχει και δεύτερο γίνεται εφόσον θέσουμε τον κέρσορα στο κατάλληλο σημείο, επιλέξουμε την γωνία έναρξης ή τέλους και αντίστοιχα ON ή OFF και επιβεβαιώσουμε αυτή την επιλογή πατώντας το μπουτόν ENTER.



Συνθήκες που πρέπει να πληρούνται:

DIP End \geq DIP Begin

DIP 2 Begin \geq DIP 1 Begin

Μόνο όταν απαιτείται ένα DIP, τότε το DIP 2 μπορεί να τοποθετηθεί πάνω στο DIP 1, ή το DIP 2 Begin να είναι ίσο με το DIP2 End.

Σχήμα Γ.43: Ορισμός συγχρονισμού [64].

Πατώντας το μπουτόν “More” (F6) στην οθόνη θα εμφανιστεί:

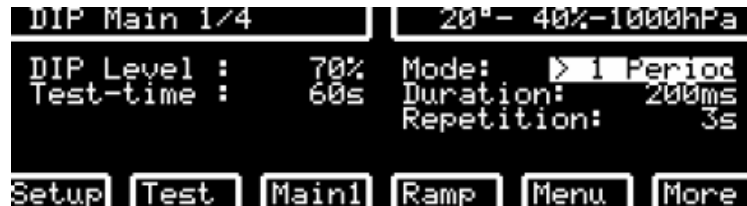


Σχήμα Γ.44: Μενού DIP MAIN 3/4.

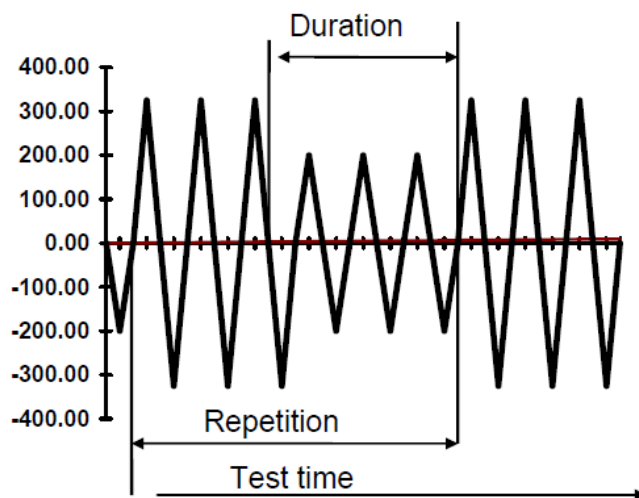
Σε διακοπή τάσης στο 0 %, μπορούν να διακριθούν δύο ειδών σύνθετες αντιστάσεις στην τροφοδοσία: εμπέδηση τροφοδοσίας high Z και low Z. Σε κατάσταση high-Z και 0% = OFF, το δοκίμιο θα εκφορτίζεται στην έναρξη του DIP μέσω μίας χαμηλής εμπέδησης, όπως συμβαίνει στην πραγματικότητα.

Ρύθμιση παραμέτρων για DIPS μεγαλύτερα από μια περίοδο

Τα μεγάλα DIPS είναι διακοπές της τάσης μεγαλύτερες της μίας περιόδου της τροφοδοσίας του δοκιμίου. Η διάρκεια ενός dip ορίζεται σε ms. Επίσης μπορούν να επιλεγθούν οι γωνίες έναρξης και τέλους του dip.



Σχήμα Γ.45: Ρύθμιση DIPS μεγαλύτερα από μια περίοδο.



Η διάρκεια (duration) είναι ο χρόνος που διαρκεί η χαμηλότερη τιμή της τάσης. Η επανάληψη (repetition) ορίζει πόσο συχνά η διαταραχή συμβαίνει.

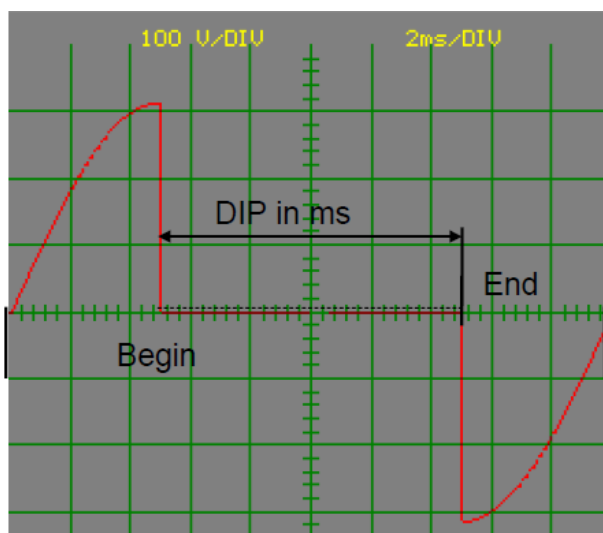
Σχήμα Γ.46: Ορισμός διάρκειας, επανάληψης και χρόνου δοκιμής^[64].

Πατώντας το μπουτόν “More” (F6) στην οθόνη θα εμφανιστεί:



Σχήμα Γ.47: Μενού DIP MAIN 2/4 – Dip Power Synchronisation.

Η επιλογή του πότε θα αρχίζει και πότε θα τελειώνει το dip γίνεται εφόσον θέσουμε τον κέρσορα στο κατάλληλο σημείο, επιλέξουμε την γωνία έναρξης ή τέλους και επιβεβαιώσουμε αυτή την επιλογή πατώντας το μπουτόν ENTER.



Σχήμα Γ.48: Έναρξη και τέλος dip^[64].

Ο επεξεργαστής της συσκευής TRA3000 υπολογίζει τον αριθμό των περιόδων με διαταραχή ως συνάρτηση της επιλεγμένης διάρκειας. Η συνθήκη για μία ορθή δοκιμή είναι η σωστά επιλεγμένη συχνότητα, στο εύρος των $16\frac{2}{3}$ έως 400 Hz. Εάν η γωνία στο DIP Begin και DIP End είναι διαφορετική, τότε η διάρκεια του DIP (duration) θα προσαρμόζεται.

Πατώντας το μπουτόν “More” (F6) στην οθόνη θα εμφανιστεί:



Σχήμα Γ.49: Μενού DIP MAIN 3/4.

Σε διακοπή τάσης στο 0 %, μπορούν να διακριθούν δύο καταστάσεις:

- A) High Z at 0% = ON
Σε αυτή την κατάσταση, η τάση στο δοκίμιο μειώνεται με σταθερό χρόνο κατά τη διάρκεια της διακοπής.
- B) High Z at 0% = OFF
Μερικά ms μετά που την έναρξη του DIP, η είσοδος του δοκιμίου θα εκφορτίζεται μέσω του κυκλώματος EUT Power 2.

DIP Ramp

Με το μπουτόν F4 επιλέγουμε τη ρύθμιση της “Ramp”.

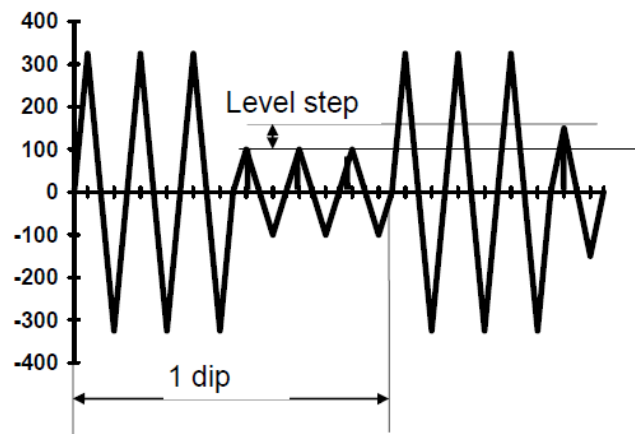


Σχήμα Γ.50: Ρύθμιση DIP ramp.

Level Ramp: Όταν επιλέξουμε “Level” τότε μπορούμε να ρυθμίσουμε την αρχική και τελική τιμή της τάσης βύθισης, καθώς και το βήμα που θα πραγματοποιείται (ως ποσοστό της τάσης του δοκιμίου) μετά από τον αριθμό των dips που θα ρυθμίσουμε.



Σχήμα Γ.51: Ρύθμιση Dip Level Ramp.



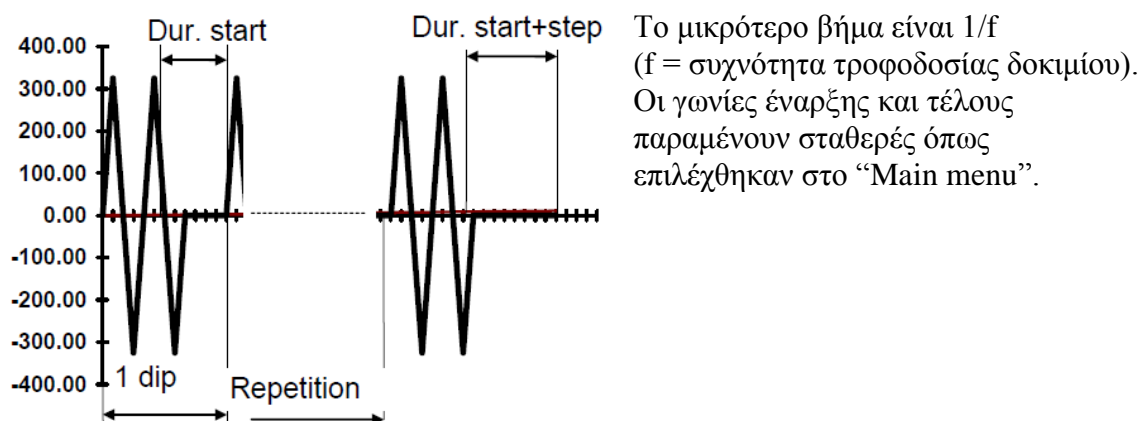
Σχήμα Γ.52: Ορισμός της “DIP Level Ramp”^[64].

Η έναρξη της ramp ξεκινά στο 100% και αλλάζει με το “level step” (10%) στην τάση βύθισης (DIP). Εάν ο χρόνος δοκιμής έχει επιλεγεί αρκετά μεγάλος, τότε η τάση UT θα επιτευχθεί.

Duration Ramp: Όταν επιλέξουμε “Duration” τότε μπορούμε να ρυθμίσουμε την αρχική και τελική τιμή της τάσης διακοπής, καθώς και το βήμα που θα πραγματοποιείται (σε χρόνο - ms) μετά από τον αριθμό των dips που θα ρυθμίσουμε.



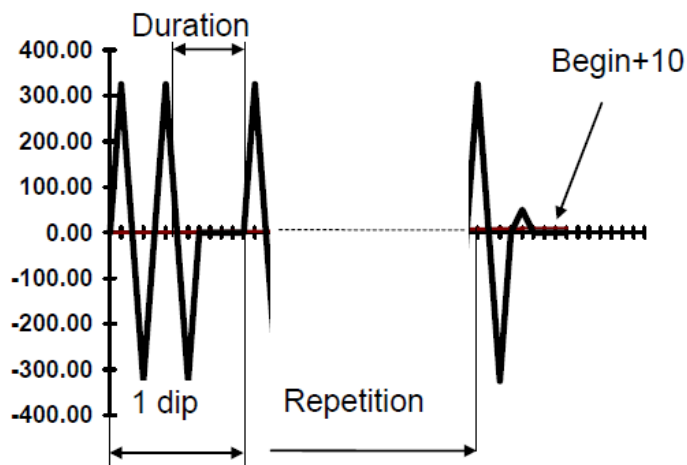
Σχήμα Γ.53: Ρύθμιση Dip Duration Ramp.



Σχήμα Γ.54: Ορισμός “duration ramp” [64].

Ramp angle at DIP Begin: Όταν επιλέξουμε “DIP Begin” τότε μπορούμε να ρυθμίσουμε την αρχική και τελική τιμή της γωνίας του DIP, καθώς και το βήμα που θα πραγματοποιείται (σε μοίρες - °) μετά από τον αριθμό των dips που θα ρυθμίσουμε.

Στο DIP Begin, η γωνία αλλάζει μέσα στο εύρος που καθορίζεται.



Σχήμα Γ.55: Ορισμός “ramp” [64].

Ramp angle at DIP End: Όταν επιλέξουμε “DIP End” τότε η γωνία αλλάζει σε βήματα των 5° από 90° σε 0° όταν η τροφοδοσία του δοκιμίου είναι ενεργοποιημένη. Με αυτό τον τρόπο το ρεύμα εισροής μετά από μια σύντομη διακοπή μπορεί να μελετηθεί.

Γ.5.2. Διακυμάνσεις τάσης

Οι παράμετροι που ρυθμίζονται στο μενού Variation Main είναι οι ακόλουθες [64]:

t_n : Διάρκεια στο επίπεδο τάσης (Nominal)

Nominal: Ονομαστική τιμή τάσης για τη δοκιμή

t_d mode: Abrupt (απότομο), Adjust (προσαρμοζόμενο)

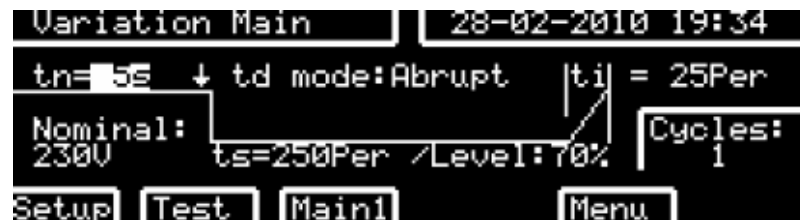
t_d : Χρόνος μετάβασης στο επίπεδο τάσης Nominal (σε κατάσταση Adjust)

t_s : Διάρκεια στο επίπεδο τάσης (Level)

Level: Επίπεδο τάσης διακύμανσης επί της % της ονομαστικής τιμής της τάσης

t_i : Χρόνος μετάβασης στο επίπεδο τάσης Level

Cycles: Αριθμός κύκλων διακυμάνσεων



Σχήμα Γ.56: Ρύθμιση παραμέτρων δοκιμής Variation.

Παράρτημα Δ

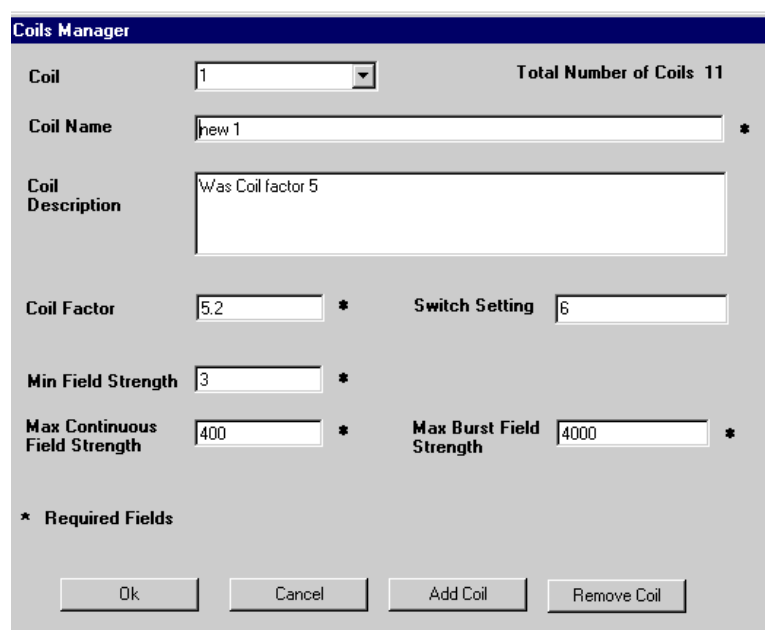
Ρυθμίσεις δοκιμών μαγνητικού πεδίου

Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά ρυθμίσεις και διαδικασίες επαλήθευσης που αφορούν τις δοκιμές μαγνητικού πεδίου.

Δ.1 Ρυθμίσεις στο πρόγραμμα WIN 2120 για τη δοκιμή ατρωσίας σε βιομηχανικές συχνότητες μαγνητικού πεδίου σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-8 Ed. 2.0 (2009-09)

Coil Manager στο πρόγραμμα WIN2120 [72]

Στο πλαίσιο διαλόγου επιλογής Coil Manager που εμφανίζεται εφόσον επιλέξουμε στο πρόγραμμα WIN 2120 την επιλογή Configuration στο αριστερό μέρος της οθόνης, μπορούμε να δώσουμε τις πληροφορίες για το επαγωγικό πηνίο στο λογισμικό. Υπάρχουν 8 πεδία που μπορούν να συμπληρωθούν και τα 5 είναι υποχρεωτικά.



Σχήμα Δ.1: Πλαίσιο διαλόγου επιλογής Coil Manager.

Αναλυτικά τα πεδία που μπορούν να συμπληρωθούν είναι:

Coil: Εδώ εμφανίζονται όλα τα πηνία που έχουν εισαχθεί στο λογισμικό.

Coil Name: Καθένα από τα πηνία που έχουν εισαχθεί στο λογισμικό μπορεί να ονομαστεί και να αποθηκευτεί με αυτό το όνομα, π.χ. INA 702 range 1.

Coil Description: Εδώ μπορούμε να εισάγουμε τον τύπο του πηνίου, π.χ. INA 702 1 m × 1 m Single Turn


Coil Factor: Λόγος της έντασης του μαγνητικού πεδίου (A/m) προς το ρεύμα πηνίου (A). Για το INA 702 ο Coil Factor είναι 0.89 σύμφωνα με το πιστοποιητικό διακρίβωσης του.

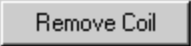
Switch Setting: Η θέση στο διακόπτη SWITCH του Induction Coil Interface.

Min Field Strength: Παρόλο που κάθε πηνίο μπορεί με ασφάλεια να χρησιμοποιηθεί σε χαμηλής έντασης πεδία, το Min Field Strength δείχνει τη χαμηλότερη τιμή με ακρίβεια που μπορεί να υποστηρίξει το πηνίο.

Max Continuous Field Strength: Δείχνει την υψηλότερη τιμή με ακρίβεια που μπορεί να υποστηρίξει το πηνίο ώστε η δοκιμή να είναι συνεχής και ασφαλής.

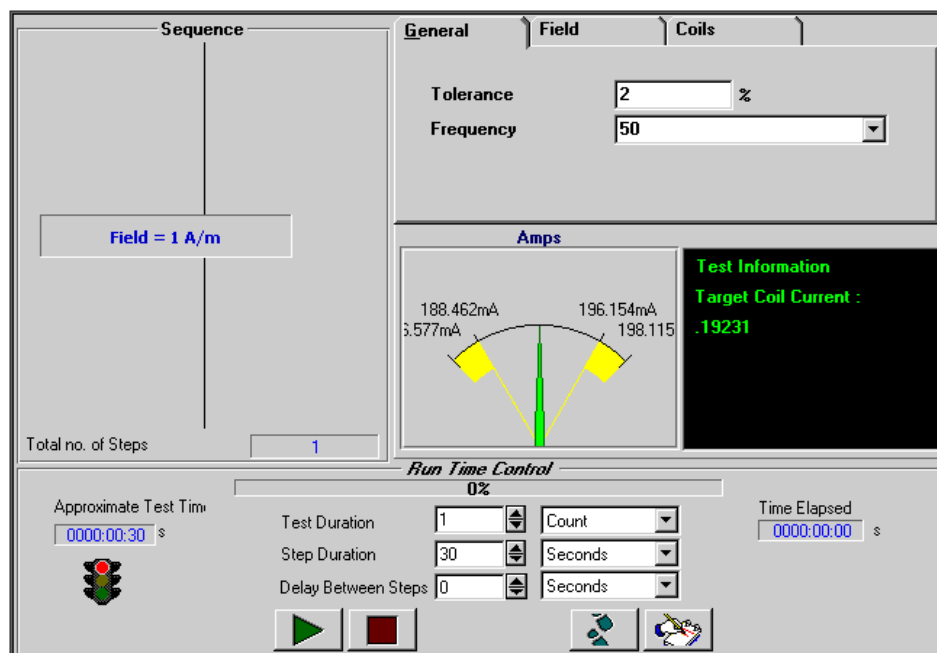
Max Burst Field Strength: Δείχνει την υψηλότερη τιμή που μπορεί να υποστηρίξει το πηνίο ώστε η δοκιμή να είναι τύπου Burst για μικρές περιόδους μέχρι 3 sec.

 : Πρόσθεση και αποθήκευση νέου πηνίου στο Coil Manager. Ο αριθμός των συνολικών πηνίων που υπάρχουν αποθηκευμένα στο λογισμικό φαίνονται πάνω δεξιά στην Εικόνα 5.

 : Αφαίρεση πηνίου από το Coil Manager.

Test Editor στο πρόγραμμα WIN2120 ^[72]

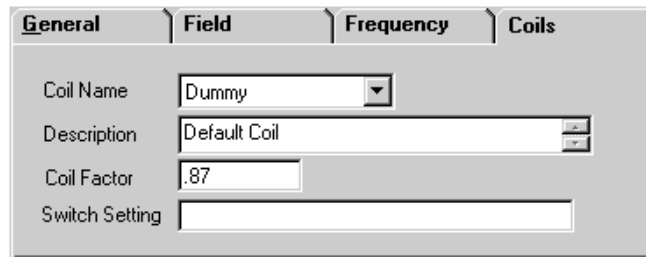
Στο πλαίσιο διαλόγου επιλογής Test Editor που εμφανίζεται εφόσον επιλέξουμε στο πρόγραμμα WIN 2120 την επιλογή Editor View στο αριστερό μέρος της οθόνης, μπορούμε να έχουμε πρόσβαση στις παραμέτρους και τις μεταβλητές της δοκιμής.



Σχήμα 4.2: Πλαίσιο διαλόγου επιλογής Test Editor.

Αναλυτικότερα:

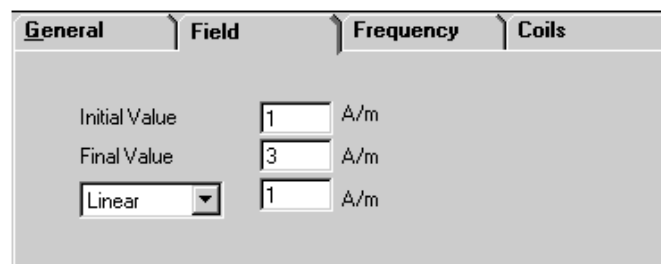
- **Coils:** Επιλέγουμε το κατάλληλο πηνίο για την δοκιμή. Όλα τα πηνία έχουν καταχωρηθεί προηγουμένως με την επιλογή Coils Manager.



General	Field	Frequency	Coils
Coil Name: Dummy			
Description: Default Coil			
Coil Factor: .87			
Switch Setting: [Empty]			

Σχήμα 1.3: Πλαίσιο διαλόγου Coils.

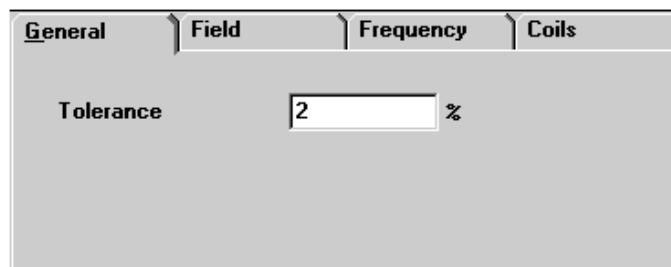
- **Field:** Επιλέγουμε την αρχική και τελική τιμή του ρεύματος της δοκιμής. Επίσης μπορούμε να επιλέξουμε το βήμα στο κάτω κουτί.



General	Field	Frequency	Coils
Initial Value: 1 A/m			
Final Value: 3 A/m			
Linear: 1 A/m			

Σχήμα 1.4: Πλαίσιο διαλόγου Field.

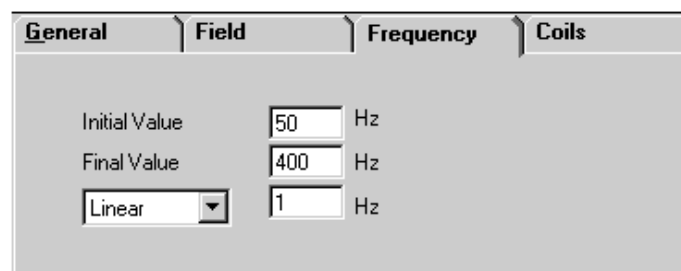
- **General:** Στην επιλογή General επιλέγουμε το ποσοστό ανοχής της δοκιμής.



General	Field	Frequency	Coils
Tolerance: 2 %			

Σχήμα 1.5: Πλαίσιο διαλόγου General.

- **Frequency:** Επιλέγουμε τη συχνότητα της πηγής, η οποία μπορεί να έχει τιμή μεταξύ 16 και 500 Hz.



General	Field	Frequency	Coils
Initial Value: 50 Hz			
Final Value: 400 Hz			
Linear: 1 Hz			

Σχήμα 1.6: Πλαίσιο διαλόγου Frequency.

Δ.2 Διαδικασία επαλήθευσης παράγοντα πηνίου (COIL FACTOR) του INA 702

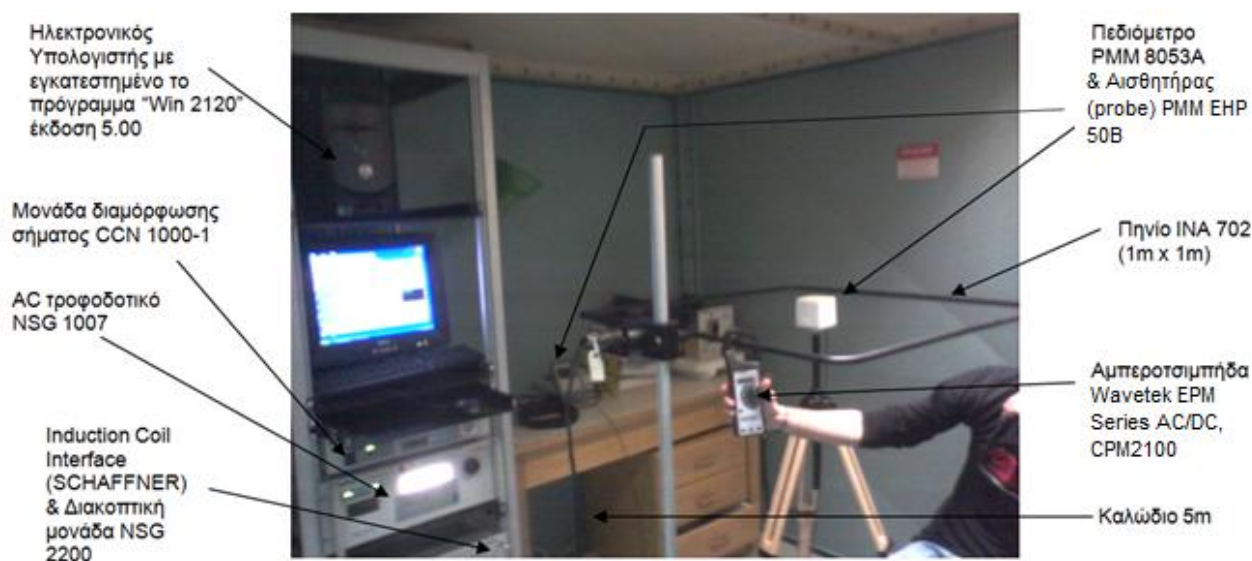
Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.6.3, πριν την πραγματοποίηση των δοκιμών σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-8, επαληθεύσαμε τον παράγοντα πηνίου του INA 702.

Παράγοντας Πηνίου

Η διακρίβωση για το σύστημα πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Το πρώτο είναι να διακρίβώσουμε το πηνίο βάζοντας γνωστής RMS τιμής ρεύμα μέσα στο πηνίο και μετρώντας το επακόλουθο μαγνητικό πεδίο. Αυτό πραγματοποιείται για διάφορες τιμές του ρεύματος. Έτσι, ο παράγοντας πηνίου υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση [74]:

$$\text{Παράγοντας Πηνίου} = H (\text{Μαγνητικό Πεδίο}) / I (\text{RMS ρεύμα})$$

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε καθώς και η πειραματική διάταξη φαίνονται στο Σχήμα Δ.7:



Σχήμα Δ.7: Διάταξη επαλήθευσης παράγοντα πηνίου (COIL FACTOR).

Οι μετρήσεις που πάρθηκαν παρατίθενται πιο κάτω μαζί με τη μέση τιμή καθώς και τη τυπική απόκλιση.

Αξίζει να αναφέρουμε ότι κάθε μέτρηση είχε χρονική διαφορά 30 s από την επόμενη καθώς θέσαμε ως διάρκεια δοκιμής 300 s με βήμα 30 s. Έγιναν 10 μετρήσεις (1 A/m) για κάθε μία από τις θέσεις 1,2 και 3 του Induction Coil Interface δηλαδή με αριθμό τυλιγμάτων 1, 5 και 11 αντίστοιχα.

Για να εκφράσουμε την τιμή του μαγνητικού πεδίου σε A/m ώστε να μπορούμε να υπολογίσουμε τον παράγοντα πηνίου είναι απαραίτητο να διαιρέσουμε την τιμή που μας δίνει το πεδιόμετρο σε μT με τον αριθμό 1.26. Κι αυτό γιατί 1 A/m αντιστοιχεί στον ελεύθερο χώρο σε πυκνότητα μαγνητικής ροής 1.26 μT.

A/A	Ένδειξη στο πρόγραμμα WIN2120 (A)	Αμπεροτσιμπίδα Wavetek EPM Series AC/DC, CPM2100 (A)	Πεδιόμετρο PMM 8053A (μT)	Τιμή πεδίου σε A/m	Παράγοντας Πηνίου
Θέση 1					
1	1	0.99	1.118	0.887302	0.896264
2	0.999	0.99	1.117	0.886508	0.895463
3	0.999	0.97	1.097	0.870635	0.897562
4	1	0.99	1.112	0.88254	0.891454
5	0.998	0.99	1.120	0.888889	0.897868
6	0.998	1.00	1.126	0.893651	0.893651
7	0.999	0.99	1.118	0.887302	0.896264
8	0.998	0.98	1.105	0.876984	0.894882
9	0.999	0.98	1.104	0.87619	0.894072
10	0.998	1.00	1.128	0.895238	0.895238
Μέση τιμή	0.9988	0.988	1.1145	0.884524	0.895272
Τυπική απόκλιση	0.000748331	0.009189	0.009426028	0.007886	0.001909
Θέση 2					
1	0.993	4.90	5.52	4.380952	0.894072
2	0.994	4.90	5.526	4.385714	0.895044
3	0.996	4.90	5.531	4.389683	0.895854
4	0.996	4.90	5.523	4.383333	0.894558
5	0.997	4.90	5.521	4.381746	0.894234
6	0.997	4.90	5.528	4.387302	0.895368
7	0.997	4.90	5.525	4.384921	0.894882
8	0.997	4.91	5.534	4.392063	0.894514
9	0.997	4.92	5.550	4.404762	0.895277
10	0.998	4.90	5.522	4.38254	0.894396
Μέση τιμή	0.9962	4.903	5.528	4.387302	0.89482
Τυπική απόκλιση	0.001469694	0.006749	0.008461678	0.007079	0.000565
Θέση 3					
1	1.012	10.92	12.31	9.769841	0.894674
2	1.012	10.93	12.32	9.777778	0.894582
3	1.013	10.96	12.35	9.801587	0.894305
4	1.014	10.95	12.34	9.793651	0.894397
5	1.013	11.00	12.39	9.833333	0.893939
6	1.015	11.00	12.40	9.84127	0.894661
7	1.016	10.99	12.39	9.833333	0.894753
8	1.017	11.01	12.41	9.849206	0.894569
9	1.016	10.98	12.38	9.825397	0.894845
10	1.015	11.00	12.40	9.84127	0.894661
Μέση τιμή	1.0143	10.974	12.369	9.816667	0.894539
Τυπική απόκλιση	0.001676305	0.032042	0.034190642	0.028603	0.000263
Μέση τιμή παράγοντα πηνίου: 0.894877					
Τυπική απόκλιση παράγοντα πηνίου: 0.00116					

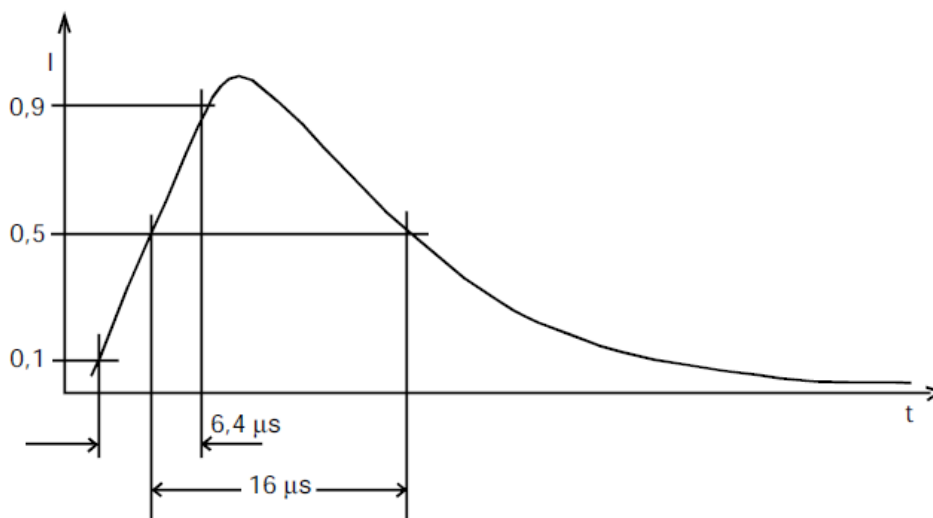
Πίνακας Δ.1: Επαλήθευση παράγοντα πηνίου.

Η τιμή του παράγοντα πηνίου 0.894877 που υπολογίσαμε κατά την επαλήθευση του INA 702, φαίνεται να συμφωνεί με αυτήν του πιστοποιητικού διακρίβωσης που είναι 0.894.

Δ.3 Ρυθμίσεις παραμέτρων της γεννήτριας PNW 2050 και της βασικής μονάδας NSG 2050 για τη δοκιμή ατρωσίας παλμικού μαγνητικού πεδίου σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-9 Ed. 1.1 (2001-03)

Γεννήτρια PNW 2050

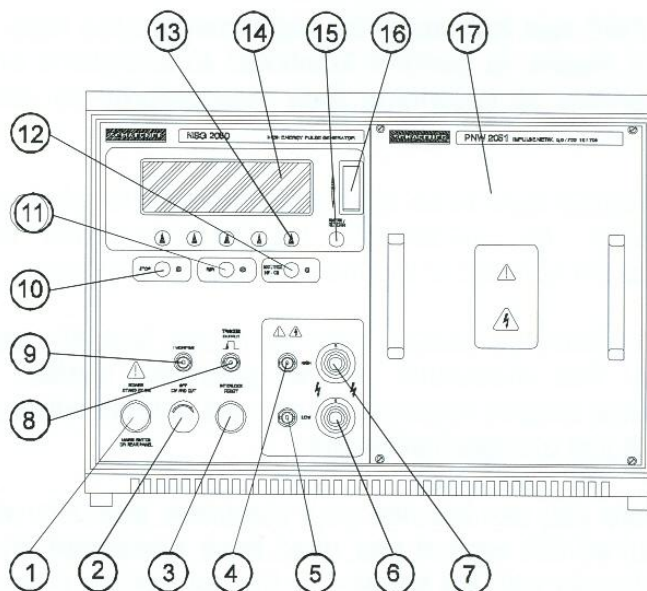
Η γεννήτρια PNW 2050 [74] έχει τη δυνατότητα παραγωγής παλμικού μαγνητικού πεδίου 100 A/m έως 1000 A/m της μορφής 6.4/16 μ s. Ο χειρισμός της γεννήτριας γίνεται μέσω της βασικής μονάδας NSG 2050 [73].



Σχήμα Δ.8: Κυματομορφή ρεύματος της γεννήτριας δοκιμής για παλμικό μαγνητικό πεδίο (6.4/16 μ s) ^[43].

Βασική μονάδα NSG 2050 ^[73]

i. Εμπρόσθιο μέρος

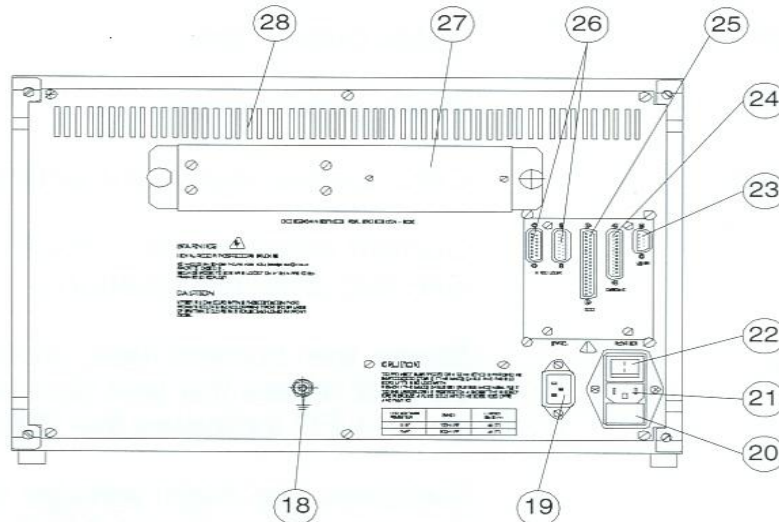


Σχήμα Δ.9: Εμπρόσθιο μέρος βασικής μονάδας NSG 2050 ^[73].

- (1) Μπουτόν POWER.
Αφού πατήσουμε τον κύριο διακόπτη (22), ο οποίος βρίσκεται στο πίσω μέρος της γεννήτριας, και τεθεί η γεννήτρια σε κατάσταση αναμονής STAND BY, το μπουτόν POWER ανάβει. Περιμένουμε 10 sec για να πραγματοποιηθεί ο αυτοέλεγχος (self test) και πατάμε το μπουτόν POWER για τη μετάβαση από την κατάσταση STAND BY σε ON.
- (2) Μπουτόν EMERGENCY OFF. Έχει τη λειτουργία άμεσης διακοπής της τροφοδοσίας του δοκιμίου. Θέτει τη γεννήτρια παλμών στην κατάσταση STOP. Επίσης, ανοίγει το Interlock.
- (3) Μπουτόν Interlock reset. Μηδενίζει τις ρυθμίσεις όταν έχει «σκανδαλισθεί» (triggered) το Interlock.
- (4) Έξοδος για ομοαξονικό καλώδιο Monitor output, HIGH. 1:1000 voltage monitor, μεγάλη εσωτερική αντίσταση της γεννήτριας.
- (5) Έξοδος για ομοαξονικό καλώδιο Monitor output, LOW. 1:1000 voltage monitor, μικρή εσωτερική αντίσταση γεννήτριας.
Οι έξοδοι (4) και (5) είναι μόνο για σκοπούς επιτήρησης και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για διακρίβωση ή μετρήσεις. Τα σήματα τα προερχόμενα από αυτές τις εξόδους υφίστανται εξασθένηση 1000:1, έτσι ώστε να μπορεί να παρατηρηθεί ο παλμός σε παλμογράφο.
- (6) Output LOW. Έξοδος παλμού, low.
- (7) Output HIGH. Έξοδος παλμού, high.
- (8) Trigger output. Έξοδος σήματος σκανδαλισμού παλμογράφου.
30ms περίπου πριν από κάθε παλμό παράγεται ένα σήμα σκανδαλισμού 5V (μεγάλης σύνθετης αντίστασης) εύρους 100 ms περίπου.
- (9) I-monitor. Έξοδος για ομοαξονικό καλώδιο καταγραφής σε παλμογράφο της κυματομορφής του ρεύματος με εξωτερικό τερματισμό αντίσταση 50Ω, έτσι ώστε το 1V να αντιστοιχεί σε 200A.
- (10) Μπουτόν STOP. Διακόπτει την τρέχουσα δοκιμή, κλείνει την υψηλή τάση και μηδενίζει το χρονομετρητή της δοκιμής. Το πράσινο φως δείχνει την κατάσταση STOP.
- (11) Μπουτόν RUN. Ανοίγει την υψηλή τάση και, μόλις η γεννήτρια φτάσει το επιθυμητό επίπεδο της τάσης, ξεκινά τη δοκιμή για τη διάρκεια που καθορίζεται από τον χρονομετρητή Test time. Το κόκκινο φως RUN δείχνει την κατάσταση RUN.
- (12) Μπουτόν Ext. Trigger HV-ON. Το εξωτερικό σήμα σκανδαλισμού (trigger) ενεργοποιείται εντός χρόνου λίγων δευτερολέπτων μετά το πάτημα αυτού του μπουτόν.
- (13) Μπουτόν λειτουργίας. Με αυτά τα 5 μπουτόν εμφανίζονται στην οθόνη και επιλέγονται οι επιθυμητές παράμετροι για τη διεξαγωγή του ελέγχου.
- (14) Οθόνη προβολής. Εμφανίζει τιμές μεταβλητών και μηνύματα του συστήματος.
- (15) Μπουτόν ENTER. Τερματίζει κάθε εισαγωγή δεδομένων και ενεργοποιεί την επιλεγμένη λειτουργία. Επίσης, δίνει τη δυνατότητα επιστροφής στο βασικό μενού.
- (16) Περιστροφικός διακόπτης. Χρησιμοποιείται για την αλλαγή των επιλεγμένων παραμέτρων.

- (17) Θέση για την τοποθέτηση της κατάλληλης γεννήτριας PNW 2225 ή PNW 2050. Για τη διεξαγωγή της δοκιμής, σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-9, χρησιμοποιείται η γεννήτρια PNW 2050.

ii. Πίσω μέρος



Σχήμα 4.10: Πίσω μέρος βασικής μονάδας NSG 2050^[73].

- (18) Σημείο σύνδεσης γης.
- (19) Υποδοχή εισόδου συγχρονισμού.
- (20) Επιλογέας τάσης με ρευματολήπτη για την παροχή ισχύος.
- (21) Κύρια υποδοχή εισόδου για την παροχή ισχύος στη γεννήτρια.
- (22) Κύριος διακόπτης.
- (23) Κανάλι χρήστη, User. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως: είσοδος προς την οθόνη του υπό έλεγχο εξοπλισμού, είσοδος για εξωτερικό σήμα σκανδαλισμού (trigger) μέσω σήματος συγχρονισμού, έξοδος για έτοιμο σήμα εξωτερικού σκανδαλισμού (trigger), έξοδος για σήμα τερματισμού του ελέγχου, είσοδος για ένδειξη της λειτουργίας του υπό έλεγχο εξοπλισμού.
- (24) Remote control connector (25-pin RS 232, DCE, without HW control lines 9600 baud, even parity, 2 stop bit).
Είναι εφικτός ο εκ του μακρόθεν έλεγχος της γεννήτριας από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω αυτής της σύνδεσης RS232. Λόγω των παλμών που δημιουργεί η γεννήτρια πρέπει να χρησιμοποιείται για τη σύνδεση οπτική ίνα, για να αποφευχθούν προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και επίσης για να είναι δυνατή η τοποθέτηση του υπολογιστή εκτός του κλωβού Faraday.
- (25) Connector για τον έλεγχο συσκευής εξωτερικής σύζευξης (CDN).
- (26) Connector for interlock.
*Η γεννήτρια διαθέτει ένα ολοκληρωμένο σύστημα interlock σύμφωνα με τα Πρότυπα ασφάλειας εξοπλισμού ελέγχου υψηλής τάσης. Αυτό το σύστημα έχει τις ακόλουθες λειτουργίες:
 Είσοδοι: - Είσοδο για εξωτερική παρακολούθηση, π.χ. από ειδικά δίκτυα σύζευξης και περιοριστικές διατάξεις ελέγχου πρόσβασης*

- Εσωτερικό διακόπτη «Emergency Off», ο οποίος ανοίγει το κύκλωμα interlock.
- Εξοδοι:
- Κατάσταση λειτουργίας: Η γεννήτρια δεν μπορεί να ξεκινήσει στο «RUN» ή «EXT. TRIGGER HV ON» αν το κύκλωμα interlock δεν είναι κλειστό. Η λειτουργία STOP εφαρμόζει αν το interlock είναι ανοικτό, ενώ η γεννήτρια είναι στην κατάσταση RUN.
 - EUT-Power: ο υπό έλεγχο εξοπλισμός δεν είναι δυνατόν να τεθεί υπό τάση αν το interlock δεν είναι κλειστό. Η παροχή του υπό έλεγχο εξοπλισμού διακόπτεται αν το κύκλωμα interlock είναι ανοικτό, ακόμα και αν η παροχή της βασικής μονάδας είναι ON.
 - Ενδεικτικές λυχνίες: η πράσινη λυχνία σβήνει και η κόκκινη ανάβει όταν το interlock είναι κλειστό.
 - Οθόνη: ένα ανοικτό κύκλωμα interlock εμφανίζεται στην οθόνη με το σύμβολο ενός ανοικτού διακόπτη.
 - Μηνύματα καταστάσεως στο remote control computer
 - Έξοδο interlock για σύνδεση με εξοπλισμό άλλου συστήματος της σειράς ProfLine.

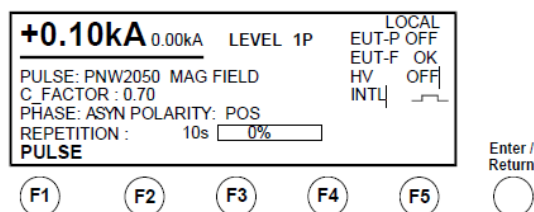
(27) Connector τερματισμού.

(28) Σχισμές εξαερισμού.

Ρύθμιση παραμέτρων παλμικού μαγνητικού πεδίου: Παρακάτω περιγράφεται αναλυτικά ο τρόπος ρύθμισης, μέσω του NSG 2050, των χαρακτηριστικών του παλμικού μαγνητικού πεδίου που θέλουμε να παράγει η γεννήτρια PNW 2050 κατά τη διάρκεια της δοκιμής [74].

A. Το μενού LEVEL

Μόλις ανοίξουμε το PNW 2050 και το NSG 2050 εμφανίζεται στην οθόνη προβολής (14) το παρακάτω μενού:



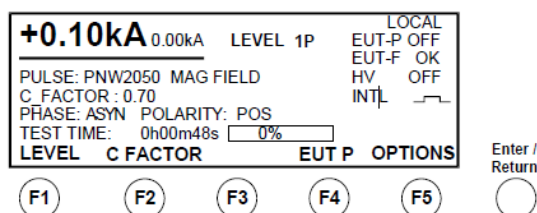
Σχήμα Α.11: Οθόνη προβολής βασικής μονάδας NSG 2050 κατά την έναρξη.

PULSE

Πατώντας το μπουτόν F1 επιλέγεται στην οθόνη η παράμετρος PULSE. Με τη συγκεκριμένη παράμετρο μεταβάλλουμε το Πρότυπο που θα ακολουθήσουμε στη δοκιμή. Οι δυνατές επιλογές είναι 2 Ohms; 12 Ohms; MAG FIELD. Η επιλογή γίνεται με τον περιστροφικό διακόπτη (16) και επικυρώνεται πατώντας το μπουτόν ENTER/RETURN.

ENTER/RETURN

Το παρακάτω μενού εμφανίζεται πατώντας το μπουτόν ENTER.



Σχήμα Α.12: Οθόνη προβολής στην επιλογή PNW2050 MAG FIELD στο επίπεδο LEVEL 1P.

LEVEL

Το προεπιλεγμένο επίπεδο φαίνεται στην οθόνη πατώντας το μπουτόν F1. Επιλέγουμε το επίπεδο που επιθυμούμε με τον περιστροφικό διακόπτη (16) και το επικυρώνουμε πατώντας ENTER/RETURN. Οι δυνατές επιλογές επιπέδου είναι:

LEVEL 1P; LEVEL 1N; LEVEL 1A; (3*)
 LEVEL 2P; LEVEL 2N; LEVEL 2A; (4*)
 LEVEL 3P; LEVEL 3N; LEVEL 3A; (5*)
 LEVEL 4P; LEVEL 4N; LEVEL 4A;

Κάθε επίπεδο ορίζει συγκεκριμένες τιμές για τις παραμέτρους της δοκιμής, όπως δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

LEVEL*	CURRENT	POLARITY	REPETITION	PHASE	NUMBER OF PULSES
1P (3)	0.10kA	Positive	10s	Asynch.	5
1N (3)	0.10kA	Negative	10s	Asynch.	5
1A (3)	0.10kA	Alternate	10s	Asynch.	10 (5 Pos; 5 Neg)
2P (4)	0.30kA	Positive	10s	Asynch.	5
2N (4)	0.30kA	Negative	10s	Asynch.	5
2A (4)	0.30kA	Alternate	10s	Asynch.	10 (5 Pos; 5 Neg)
3P (5)	1kA	Positive	10s	Asynch.	5
3N (5)	1kA	Negative	10s	Asynch.	5
3A (5)	1kA	Alternate	10s	Asynch.	10 (5 Pos; 5 Neg)
4P	3.2kA	Να μην χρησιμοποιείται	-	-	-
4N	3.2kA	Να μην χρησιμοποιείται	-	-	-
4A	3.2kA	Να μην χρησιμοποιείται	-	-	-

Πίνακας Α.2: Επίπεδα δοκιμής και τιμές παραμέτρων ^[74].

*Οι παρενθέσεις δείχνουν το πραγματικό επίπεδο δοκιμής σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-9 (Πίνακας 4.1).

Τα επίπεδα τάσης είναι σε συμφωνία με το Πρότυπο IEC 61000-4-9. Για κάθε επίπεδο, το ρεύμα εξόδου της γεννήτριας χαρακτηρίζεται από το πλάτος του (CURRENT), την πολικότητά του (POLARITY), το χρόνο επανάληψης (REPETITION), τη φάση σε σχέση με το ημιτονικό ρεύμα του δικτύου που τροφοδοτεί τη γεννήτρια (PHASE) και τον αριθμό των παλμών (NUMBER OF PULSES). Η πολικότητα μπορεί να είναι είτε θετική (Positive), είτε αρνητική

(Negative), είτε εναλλασσόμενη (Alternate), και η φάση ασύγχρονη (Asynch.). Στρέφοντας τον περιστροφικό διακόπτη (16) περισσότερο εμφανίζονται στην οθόνη οι επιλογές USER 1 έως 8. Είναι εφικτό να αλλάξουμε παραμέτρους και να τις αποθηκεύσουμε αυτές τις αλλαγές στο επιλεγμένο επίπεδο USER.

Σημείωση: Το πεδίο A/m να μην προγραμματιστεί μεγαλύτερο από 1000 A/m. Για το πηνίο μίας σπείρας 1m x 1m ο παράγοντας πηνίου είναι κανονικά 0.89. Ο παράγοντας διόρθωσης για την NSG 2050 και το coil adapter pulse magn_field INA 750 είναι περίπου 0.63. Μέσω του λογισμικού των συσκευών (firmware) θα επιτρέπονται να προγραμματιστούν πεδία μεγαλύτερα των 1000 A/m, όμως η Schaffner συμβουλεύει ότι αυτό δεν υπερβαίνεται.

C-FACTOR

Το C-FACTOR είναι ο παράγοντας διόρθωσης (Correction Factor) και φαίνεται στην οθόνη πατώντας το μπουτόν F2. Ο παράγοντας διόρθωσης είναι μια βαθμονομημένη τιμή που προσδιορίζεται για την NSG 2050, τον προσαρμογέα (pulse adapter box) και το πηνίο όταν χρησιμοποιείται γεννήτρια παλμικού μαγνητικού πεδίου. Η επιλογή γίνεται με τον περιστροφικό διακόπτη (16) και επικυρώνεται πατώντας το μπουτόν ENTER/RETURN. Ο παράγοντας διόρθωσης εξασφαλίζει ότι ρέει το σωστό ρεύμα μέσω του πηνίου ώστε να έχουμε το απαιτούμενο μαγνητικό πεδίο.

Παράγοντας Διόρθωσης

Ο παράγοντας διόρθωσης για το σύστημα που εισάγεται στο NSG 2050 μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση [74]:

$$\text{Παράγοντας Διόρθωσης} = \text{Παράγοντας Πηνίου} \times \text{Παράγοντας Προσαρμογέα Παλμού}$$

Όταν το πηνίο και ο προσαρμογέας παλμού στέλλονται ως ένα σύστημα τότε ο παράγοντας διόρθωσης θα είναι ήδη εγγραμμένος στο NSG 2050. Όταν χρησιμοποιείται ένα διαφορετικό πηνίο τότε ένας νέος παράγοντας διόρθωσης πρέπει να υπολογιστεί.

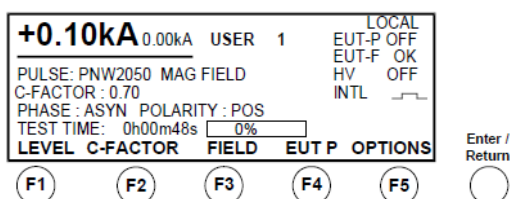
EUT-P

Το EUT-P προβάλλεται επιλεγμένο στην οθόνη όταν πιάσουμε το μπουτόν F4. Η επιθυμητή τιμή επιλέγεται με τον περιστροφικό διακόπτη (16) και επικυρώνεται πατώντας ENTER/RETURN. Αυτό απαιτείται όταν τροφοδοτείται το δοκίμιο υπό εξέταση και όταν «ρίχνονται» οι παλμοί συγχρονισμένα. Η λειτουργία του είναι να θέτει το δοκίμιο εντός ή εκτός λειτουργίας όταν ένα CDN 131/133 ελέγχεται από την NSG 2050. Επίσης ελέγχει την τροφοδοσία για τη γεννήτρια PNW με εσωτερική σύζευξη. Οι δυνατές επιλογές είναι ON και OFF.

OPTIONS

Το προηγούμενο μενού θα ξαναεμφανιστεί όταν πατήσουμε το μπουτόν F5. Σε αυτήν την περίπτωση το μενού PULSE.

B. Το μενού USER



Σχήμα 4.13: Οθόνη προβολής στην επιλογή PNW2050 MAG FIELD στο μενού USER.

LEVEL

Το επίπεδο χρήστη (USER) για το IEC 61000-4-9 φαίνεται στην οθόνη όταν πιάσουμε το μπουτόν F1. Υπάρχουν 8 επίπεδα χρήστη (USER) για προσαρμοσμένες ρυθμίσεις. Η επιλογή γίνεται με τον περιστροφικό διακόπτη (16) και επικυρώνεται πατώντας το μπουτόν ENTER. Όταν το επίπεδο χρήστη (USER) που ταιριάζει κατάλληλα επιλεγεί τότε μπορεί να επεξεργαστεί και να αποθηκευτεί όταν πατηθεί το μπουτόν ENTER/RETURN. Οι δυνατές επιλογές επιπέδου είναι:

USER 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Σημείωση: Σε αντίθεση με το μενού LEVEL, στο μενού USER και χρησιμοποιώντας το μπουτόν Option, είναι δυνατόν να αλλάξουν οι τιμές των παραμέτρων number, phase, repetition και polarity.

C-FACTOR

Το C-FACTOR είναι ο παράγοντας διόρθωσης (Correction Factor) και φαίνεται στην οθόνη πατώντας το μπουτόν F2. Ο παράγοντας διόρθωσης είναι μια βαθμονομημένη τιμή που προσδιορίζεται για την NSG 2050, τον προσαρμογέα (pulse adapter box) και το πηνίο όταν χρησιμοποιείται γεννήτρια παλμικού μαγνητικού πεδίου. Η επιλογή γίνεται με τον περιστροφικό διακόπτη (16) και επικυρώνεται πατώντας το μπουτόν ENTER/RETURN. Ο παράγοντας διόρθωσης εξασφαλίζει ότι ρέει το σωστό ρεύμα μέσω του πηνίου ώστε να έχουμε το απαιτούμενο μαγνητικό πεδίο.

FIELD

Το επίπεδο του μαγνητικού πεδίου (H-Field) φαίνεται στην οθόνη όταν πιάσουμε το μπουτόν F3 και το επίπεδο χρήστη (USER) ρυθμίζεται από 1 ως 8. Επιλέγουμε την τιμή που επιθυμούμε με τον περιστροφικό διακόπτη (16) και την επικυρώνουμε πατώντας ENTER/RETURN. Οι δυνατές επιλογές είναι:

0.1kA ως kA (μέγιστο) με βήματα 10 A/m.*

*Το μέγιστο επιτρεπτό μαγνητικό πεδίο εξαρτάται από τον παράγοντα διόρθωσης (Correction Factor). Για πηνία διαφορετικών διαστάσεων και διαφορετικού προσαρμογέα INA 75X ο παράγοντας διόρθωσης θα αλλάζει.

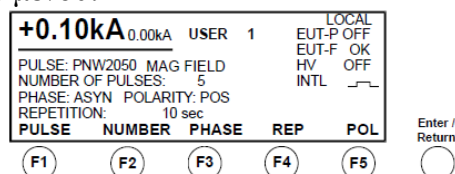
EUT-P

Το EUT-P προβάλλεται επιλεγμένο στην οθόνη όταν πιάσουμε το μπουτόν F4. Η επιθυμητή τιμή επιλέγεται με τον περιστροφικό διακόπτη (16) και επικυρώνεται πατώντας ENTER/RETURN. Αυτό απαιτείται όταν τροφοδοτείται το δοκίμιο υπό εξέταση και όταν «ρίχνονται» οι παλμοί συγχρονισμένα.

Η λειτουργία του είναι να θέτει το δοκίμιο εντός ή εκτός λειτουργίας όταν ένα CDN 131/133 ελέγχεται από την NSG 2050. Επίσης ελέγχει την τροφοδοσία για τη γεννήτρια PNW με εσωτερική σύζευξη. Οι δυνατές επιλογές είναι ON και OFF.

OPTIONS

Η μετάβαση στο υπο-μενού OPTIONS γίνεται πατώντας το μπουτόν F5. Αυτό το υπο-μενού είναι προσβάσιμο μόνο όταν έχουμε επιλέξει επίπεδο USER. Εμφανίζεται στην οθόνη το παρακάτω μενού:



Σχήμα Δ.14: Οθόνη προβολής στο μενού OPTIONS.

PULSE

Πατώντας το μπουτόν F1 επιλέγεται στην οθόνη η παράμετρος PULSE. Η επιλογή PNW 2050 MAG FIELD γίνεται με τον περιστροφικό διακόπτη (16) και επικυρώνεται πατώντας το μπουτόν ENTER/RETURN.

NUMBER

Ο τρέχων επιλεγμένος αριθμός των παλμών εμφανίζεται στην οθόνη όταν πιάσουμε το μπουτόν F2. Η επιθυμητή τιμή επιλέγεται με τον περιστροφικό διακόπτη και επικυρώνεται πατώντας ENTER/RETURN. Καθορίζουμε έτσι τον αριθμό των παλμών που θέλουμε να εφαρμοστούν στο δοκίμιο κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Οι δυνατές τιμές είναι 1...9999.

PHASE

Η φάση εμφανίζεται επιλεγμένη στην οθόνη όταν πατήσουμε το μπουτόν F3. Η επιλογή γίνεται με τον περιστροφικό διακόπτη και επικυρώνεται πατώντας ENTER/RETURN. Οι δυνατές επιλογές είναι ASYN; $0^0 \dots 359^0$ σε βήματα 1^0 μοίρας. Η γωνία αναφέρεται στη φασική γωνία της παροχής τάσης στο δοκίμιο και της τάσης τροφοδοσίας του NSG 2050 (είσοδος συγχρονισμού (19)). Στην ασύγχρονη κατάσταση λειτουργίας οι παλμοί θα στέλνονται ανεξάρτητα από την φασική γωνία. Στη σύγχρονη κατάσταση λειτουργίας οι παλμοί θα στέλνονται με συγκεκριμένη φασική γωνία. Η φασική μετατόπιση στη σύγχρονη κατάσταση λειτουργίας του PNW 2050 μπορεί να κυμαίνεται έως και $\pm 25^0$ εξαιτίας της χρήσης μηχανικών ηλεκτρονόμων.

REPetition

Η περίοδος επανάληψης εμφανίζεται επιλεγμένη στην οθόνη όταν πατήσουμε το μπουτόν F4. Η επιλογή γίνεται με τον περιστροφικό διακόπτη και επικυρώνεται με το ENTER/RETURN. Με την παράμετρο repetition καθορίζουμε το χρονικό διάστημα (σε sec) μεταξύ διαδοχικών παλμών. Οι δυνατές επιλογές είναι 10...10.000sec με βήματα 10sec.

POLarity

Η πολικότητα εμφανίζεται στην οθόνη επιλεγμένη όταν πατήσουμε το μπουτόν F5. Η επιλογή γίνεται με τον περιστροφικό διακόπτη και επικυρώνεται πατώντας ENTER/RETURN. Οι δυνατές επιλογές είναι θετική (POSitive); αρνητική (NEGative); εναλλασσόμενη (ALTernate). Η πολικότητα ελέγχει εάν ο παλμός που θα εφαρμοστεί είναι θετικός ή αρνητικός. Εάν επιλεγεί εναλλασσόμενη πολικότητα, τότε η δοκιμή θα διεξαχθεί χρησιμοποιώντας και τις δυο πολικότητες εναλλάξ, πρώτα τη θετική πολικότητα. Εάν ο αριθμός των παλμών είναι περιττός, τότε οι παλμοί θετικής πολικότητας θα είναι κατά έναν περισσότεροι το πλήθος από τους παλμούς αρνητικής πολικότητας.

Αποθήκευση ρυθμίσεων

Όλες οι παράμετροι, εκτός από το είδος της σύζευξης και τη σύνδεση του δοκιμίου με το δίκτυο, θα αποθηκευτούν αυτόματα μόλις πιάσουμε το ENTER/RETURN ενώ είμαστε στην κατάσταση λειτουργίας USER. Για λόγους ασφαλείας το δοκίμιο είναι πάντα εκτός λειτουργίας όταν η κύρια παροχή τεθεί εκτός.

Παράδειγμα ρύθμισης για τον USER1

Πατάμε το μπουτόν F3 για να ρυθμίσουμε επίπεδο του μαγνητικού πεδίου (FIELD) και στρέφουμε τον περιστροφικό διακόπτη (16) μέχρι να εμφανιστεί στην οθόνη η τιμή 0.1kA/m. Πατάμε ENTER. Πατάμε το μπουτόν F5 (OPTIONS) για να μεταβούμε στο υπο-μενού OPTION. Πατάμε το μπουτόν F2 για να ρυθμίσουμε το πλήθος των παλμών (NUMBER) και στρέφουμε τον περιστροφικό διακόπτη (16) μέχρι να εμφανιστεί στην οθόνη η τιμή 10. Πατάμε ENTER. Πατάμε το μπουτόν F3 για να ρυθμίσουμε την φάση των παλμών (PHASE) και στρέφουμε τον περιστροφικό διακόπτη (16) μέχρι να εμφανιστεί στην οθόνη η τιμή ASYN. Πατάμε ENTER. Πατάμε το μπουτόν F4 για να ρυθμίσουμε το χρονικό διάστημα μεταξύ των παλμών (REP) και στρέφουμε τον περιστροφικό διακόπτη (16) μέχρι να εμφανιστεί στην οθόνη η τιμή 60s. Πατάμε ENTER. Πατάμε το μπουτόν F5 για να ρυθμίσουμε την πολικότητα των παλμών (POL) και στρέφουμε τον περιστροφικό διακόπτη (16) μέχρι να εμφανιστεί στην οθόνη η τιμή ALT. Πατάμε ENTER. Πατάμε ξανά ENTER, και οι ρυθμίσεις που κάναμε αποθηκεύονται στη μνήμη USER1.

Παράρτημα Ε

Φωτογραφίες του εξοπλισμού ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας του εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του ΕΜΠ

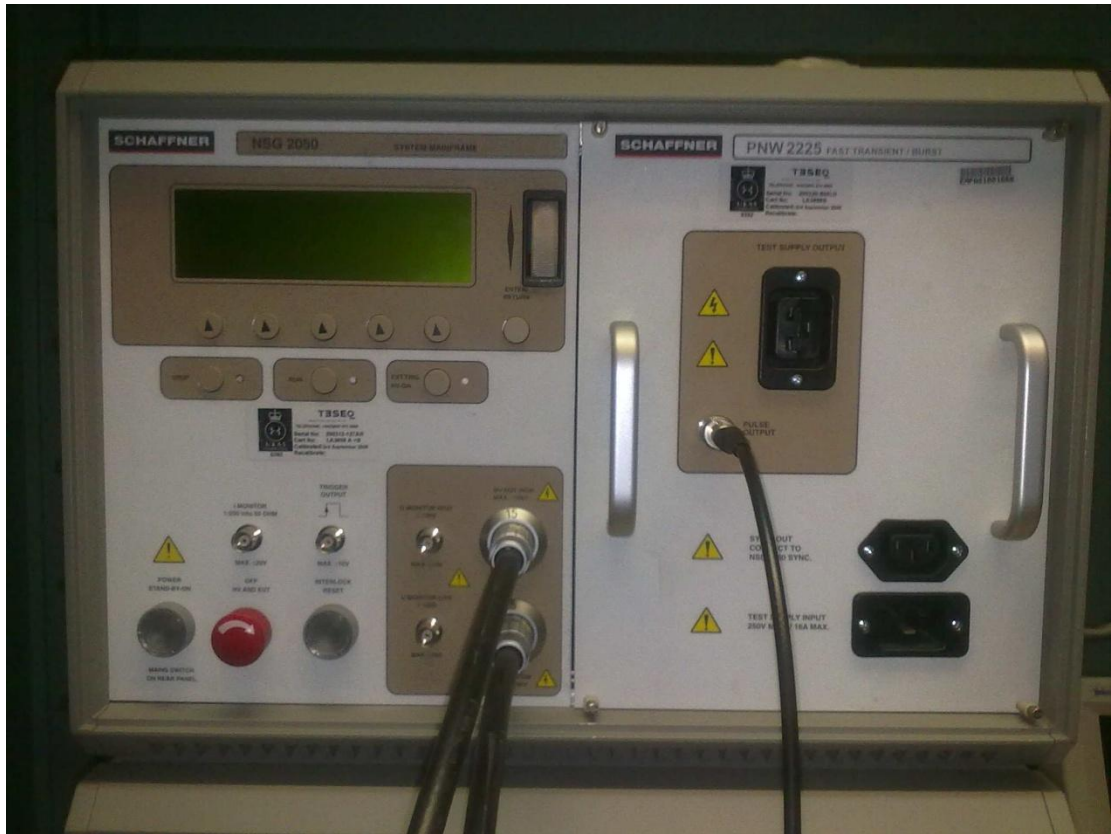
Στο συγκεκριμένο Παράρτημα παρουσιάζονται τα όργανα που περιλαμβάνει ο εξοπλισμός ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας του εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του ΕΜΠ. Τα συγκεκριμένα όργανα αναφέρονται στις τεχνικές οδηγίες που σχηματίστηκαν και είναι απαραίτητα για τη διεξαγωγή των δοκιμών που μελετάμε στην παρούσα διπλωματική εργασία.



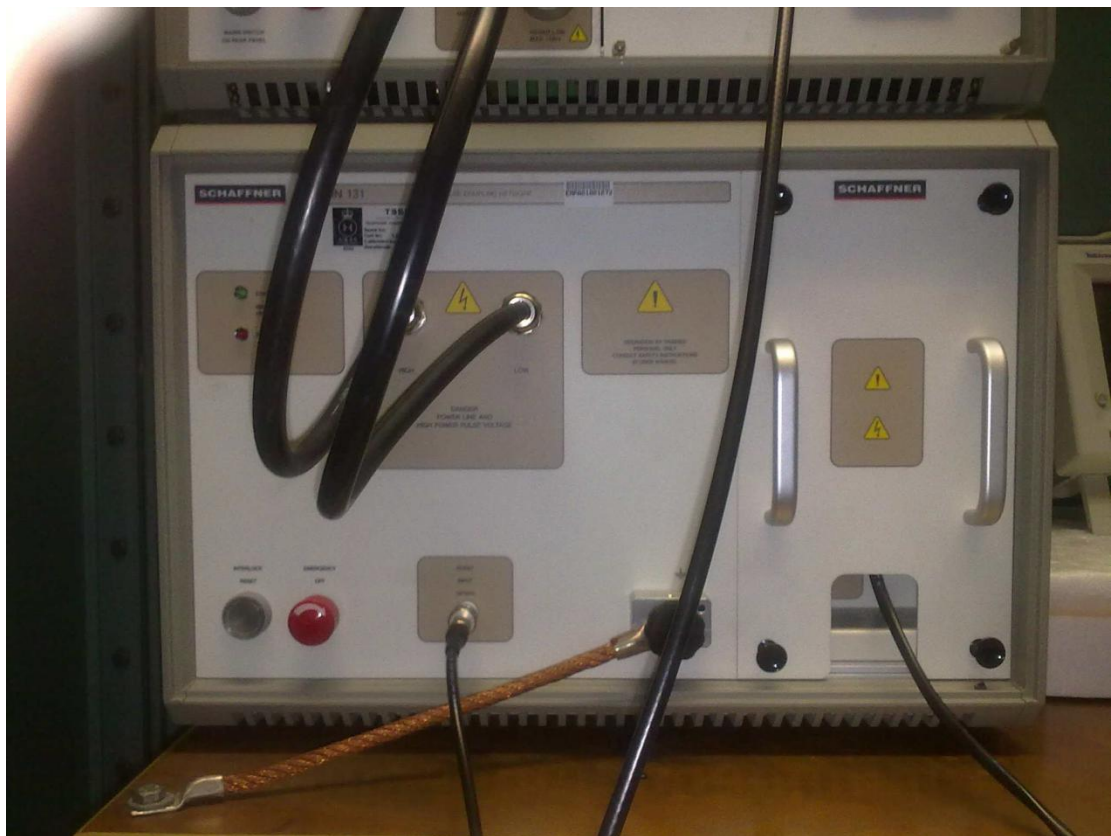
Σχήμα E.1: Γεννήτρια TRA3000 της EMC Partner .



Σχήμα E.2: «Πιστόλι» EXT-TRA3000 E.



Σχήμα Ε.3: Βασική μονάδα NSG 2050 της SCHAFFNER και Γεννήτρια PNW 2225 της SCHAFFNER.



Σχήμα Ε.4: Δικτύωμα CDN 131/151 της SCHAFFNER.



Σχήμα E.5: Γεννήτρια PNW 2250 της SCHAFFNER.



Σχήμα E.6: Παλμογράφος TDS 3052 της TEKTRONIX.



Σχήμα Ε.7: Σετ βαθμονόμησης CAS 3025 (INA 265A και INA266) της SCHAFFNER.



Σχήμα Ε.8: Διαφορικός καταμεριστής MD 200 της SCHAFFNER.



Σχήμα Ε.9: Current monitor (Αμπεροσιμπίδα) Pearson/8260.



Σχήμα Ε.10: Πηνίο επαγωγής INA 702



Σχήμα E.11: Προσαρμογέας INA 702



Σχήμα E.12: Ομοαξονικός προσαρμοστής TESEQ MD 103.



Σχήμα Ε.13: Αμπεροτσιμπίδα Wavetek EPM Series AC/DC, CPM2100.



Σχήμα Ε.14: Πεδιόμετρο PMM 8053A.



Σχήμα E.15: Αισθητήρας (probe) PMM EHP 50B.



Σχήμα E.16: Σύνδεση πεδιομέτρου με την οπτική ίνα.

Βιβλιογραφία

- [1] Christos Christopoulos, “Principles and Techniques of Electromagnetic Compatibility”, Second Edition, 2007, CRC Press.
- [2] Clayton R. Paul, “Introduction to Electromagnetic Compatibility”, John Wiley & Sons Inc. Publication, Second Edition, 2009.
- [3] Paul A. Chatterton, Michael A. Houlden, “Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα (EMC) - Η εφαρμογή της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας στον πρακτικό σχεδιασμό”, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 1992.
- [4] ANSI C63.14 – 1998, “Dictionary for Technologies of Electromagnetic Compatibility (EMC), Electromagnetic Pulse (EMP), and Electrostatic Discharge (ESD)”.
- [5] Δημήτριος Κ. Συκαράς, “Υπολογισμός αβεβαιοτήτων σε εξοπλισμό δοκιμών ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας”, Διπλωματική εργασία, Ιούλιος 2008, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, ΣΗΜΜΥ, ΕΜΠ.
- [6] Tim Williams, “Measurement techniques and test methods: developments, costs and options”, Elmac Services, ERA conference "EMC 94 - The Clock is Ticking - Countdown to Compliance", 24th February 1994, ERA Report 94-0092.
- [7] Djilali Hamza, “Electromagnetic Interference Mitigation in Switched Mode Power Converters Using Digital Sampling Techniques”, PhD Thesis 2011, Queen’s University, Kingston, Ontario, Canada.
- [8] Κωνσταντίνος Ν. Ζακούλας, “Ανάπτυξη λογισμικού αυτοματοποίησης διαδικασιών διακρίβωσης εξοπλισμού ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας”, Διπλωματική εργασία, Ιούλιος 2010, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, ΣΗΜΜΥ, ΕΜΠ.
- [9] Μανώλης Ε. Μαθιουλάκης, “Μέτρηση, ποιότητα μέτρησης και αβεβαιότητα”, Ελληνική Έκδοση Εργαστηρίων.
- [10] Dag Björklöf, “EMC Standards and Their Application”, ETL SEMKO (Kista, Sweden), Intertek Testing Services, Compliance Engineering Conference, 1999.
- [11] Donald R. Bush, “A Brief History of EMC Measurements”, dBi Corp. (Winchester, KY), Compliance Engineering Conference, 1999.
- [12] Ι. Φ. Γκόνος, “ Ηλεκτρομαγνητική ατρωσία εξοπλισμού πληροφορικής”, Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π., Παρουσίαση 14 Οκτωβρίου 2009.
- [13] Σοφία Κ. Παπάζογλου, “Διακρίβωση Οργάνων και Συγκρότηση ενός Σύγχρονου Εργαστηρίου Διακρίβωσης Οργάνων”, Διπλωματική εργασία, Δεκέμβριος 2011, Τομέας Επικοινωνιών Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, ΣΗΜΜΥ, ΕΜΠ.
- [14] ISO, “International vocabulary of basic and general terms in metrology”, International Organization for Standardization, 2nd edition, 1993.
- [15] ISO, “Guide to the expression of uncertainty in measurement”, International Organization for Standardization, 1st edition, 1993.
- [16] Άρθρο του Δρ. Α. Λευκόπουλου, Διευθυντή τομέα διακρίβωσης & διευθυντή εργαστηρίου θερμοκρασίας της C3T, “Αβεβαιότητα μετρήσεων”.

- [17] Guide to the expression of uncertainty in measurement, 1993, International Committee for Weights and Measures, ISO Γενεύη.
- [18] IEC 60-2, 1994, Amendment I High Voltage Test Techniques, Part 2: Measuring Systems, Annex H Procedure for estimating uncertainty in high voltage measurements.
- [19] Νικόλαος Ι. Θεοδώρου, “Ηλεκτρικές Μετρήσεις, Τεύχος Ι: Κλασσικές μετρήσεις”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2000.
- [20] <http://p1iyslab.phvs.uoa.gr> Ιστοσελίδα του εργαστηρίου φυσικής του Τμήματος Φυσικής του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.
- [21] LAB 34, “The Expression of Uncertainty in EMC Testing”, Edition 1, United Kingdom Accreditation Service, Αύγουστος 2002.
- [22] ISO/IEC 17025, 1999, 2005, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
- [23] Συμπληρωματικές σημειώσεις Υψηλών Τάσεων, Ε.Μ.Π., Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, Αθήνα, Οκτώβριος 2010.
- [24] IEC 60-2, High Voltage Test Techniques, Part 2: Measuring Systems, 1994.
- [25] Schaffner, “EMC Measurement Uncertainty: a handy guide”, 2002, <http://www.schaffner.com/>.
- [26] UKAS Publication LAB34, “The expression of uncertainty in EMC testing”, Edition 1, 2002.
- [27] Theodore Dangelmayer, “ESD Program Management- A Realistic Approach to Continuous Measurable Improvement in Static Control”, Van Noshand Ranhold, New York, 1990
- [28] European Standard EN 61000-4-2: “Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 4: Testing and measurement techniques, Section 2: Electrostatic discharge immunity test – Basic Emc Publication”, 2001.
- [29] ΕΛΟΤ EN 61000.06.01: “Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα (EMC): Μέρος 6.1: Γένια Πρότυπα – Ατρωσία για κατοικήσιμα, εμπορικά και ελαφριάς βιομηχανίας περιβάλλοντα”, 2001.
- [30] Paul Cartwright, “Electrostatic Hazards in the aerosol industry”, διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://www.chilworth.co.uk/publications/publications.asp>.
- [31] Kai Esmark, Harald Gossner, Wolfgang Stadler, “Advanced Simulation Methods for ESD Protection Development”, Elsevier, 2003.
- [32] Stephen L. Fowler, William G. Klein, Alrry Fromm, “Procedure for the Design Analysis and Auditing of Static Control Flooring/Footwear Systems διαθέσιμο στη διεύθυνση: <http://www.esdjournal.com/techpaper/sfowler/esd97/esd97.htm>.
- [33] Kai Esmark, Harald Gossner, Wolfgang Stadler, “Advanced Simulation Methods for ESD Protection Development”, Elsevier, 2003.
- [34] Ariadna Kaplan, Bob McReynolds, “Dielectric characteristics of materials- Electrostatic Discharge”, November 2002, διαθέσιμο στη διεύθυνση: <http://www2.sjsu.edu/faculty/selvaduray/page/papers/mate210/electrostatic.pdf>.
- [35] Martin Lutz, “The determination of the immunity to electrostatic discharge ‘ESD’ with transient 1000 generator”, EMC Partner, Seminar 1999.

- [36] Dangelmayer T., “ESD Program Management- A Realistic Approach to Continuous Measurable Improvement in Static Control”, Van Noshand Ranhold, New York, 1990.
- [37] International Electrotechnical Commission (IEC) 61000-4-2 ed.2.0 (2008-12), Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part-4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test.
- [38] International Electrotechnical Commission (IEC) 61000-4-4 ed.2.0 (2004-07), Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part-4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test.
- [39] International Electrotechnical Commission (IEC) 61000-4-4 ed.2.1 Consol. with am1 (2011-03), Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part-4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test.
- [40] International Electrotechnical Commission (IEC) 61000-4-5 ed.2.0 (2005-11), Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part-4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test.
- [41] International Electrotechnical Commission (IEC) 61000-4-11 ed.2.0 (2004-03), Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part-4-11: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests.
- [42] International Electrotechnical Commission (IEC) 61000-4-8 ed.2.0 (2009-09), Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part-4-8: Testing and measurement techniques – Power frequency magnetic field immunity test.
- [43] International Electrotechnical Commission (IEC) 61000-4-9 ed.1.1 Consol. with am1 (2001-03), Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part-4-9: Testing and measurement techniques – Pulse magnetic field immunity test.
- [44] Computer Simulation Technology, “CST workshop series 2011 Leading Technology – Charging Towards Successful ESD Protection Design”, February 2011, <http://www.cst.com/>.
- [45] Schaffner, “Transient Immunity Testing: a handy guide”, 2002, <http://www.schaffner.com/>.
- [46] Γεώργιος Π. Φώτης, “Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα και ατρωσία εξοπλισμού ισχύος από ηλεκτροστατική εκφόρτιση”, Ενδιάμεση Κρίση του Υποψήφιου Διδάκτορα Γεωργίου Π. Φώτη, Ιούλιος 2004.
- [47] Teseq, Advanced Test Solutions for EMC, Service and Support, Technical Information, Application Note, “No worries for Teseq equipment”, <http://www.teseq.com/com/en/index.php>.
- [48] Uwe Flor, Frank Niechcial , “Update on EFT/Burst Testing - The revision of IEC 61000-4-4”, 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODERN POWER SYSTEMS MPS 2008, 12-14 NOVEMBER 2008, CLUJ-NAPOCA, ROMANIA.
- [49] Eur Ing Keith Armstrong, Tim Williams, “EMC Testing Part 3 – Fast Transient Burst, Surge, Electrostatic Discharge”, Cherry Clough Consultants, Elmac Services, Both Associates of EMC-UK.

- [50] Ευθύμιος Θ. Τσαρούχης, “ EMC Εξοπλισμού ηλεκτρικής ισχύος – Το πρότυπο EN 61000-04-05”, Διπλωματική εργασία, Φεβρουάριος 2004, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, ΣΗΜΜΥ, ΕΜΠ.
- [51] IEEE Standards, IEEE Power Engineering Society, “C62.41.2TM IEEE Recommended Practice on Characterization of Surges in Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits”, 11 April 2003.
- [52] Jasmine Lin, “How to Prevent Power Surges: The Leading Cause of Serial Device Server Failures”, Knowledge Center, Moxa White Paper, Moxa Inc., 2009, <http://store.moxa.com/a/home>.
- [53] Jonathan Woodworth, “The Switching Surge and Arresters”, ArresterWorks September 12, 2008, <http://www.arresterworks.com/>.
- [54] Tim Williams, “Immunity requirements related to design choices”, Elmac Services, Second day of the EMCUK training sessions at Newbury, 14th October 2009.
- [55] Keith Armstrong, “Testing and measurement techniques – Surge immunity test”, Handbook on EN 61000-4-5, REO UK LTD.
- [56] Ν.Παπαζαχαρόπουλος, “Δοκιμές ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας με χρήση ηλεκτρονικά ελεγχόμενης πηγής τάσης”, Διπλωματική εργασία, Ιούλιος 2010, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, ΣΗΜΜΥ, ΕΜΠ.
- [57] Keith Armstrong, “Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests”, A Practical Guide for EN 61000-4-11, REO UK LTD.
- [58] QuieTek, EMC/Safety Test Laboratory, “CE Test Report according to EN55022: 1998+A1: 2000 Class B: Emission standard, EN 61000-3-2:2000 Class A: Limits for harmonic current emission, EN 61000-3-3:1995+A1:2001: Limitation of voltage fluctuation and flicker in low-voltage supply system, EN 55024:1998+A1:2001: Immunity standard for Product ICPCON CPU with Converter”, June 2004.
- [59] Eur Ing Keith Armstrong, Tim Williams, “EMC Testing Part 6 – Low frequency magnetic fields (emissions and immunity); mains dips, dropouts, interruptions, sags, brownouts and swells”, Cherry Clough Consultants, Elmac Services, Both Associates of EMC-UK.
- [60] Agilent Technologies, “Agilent AN 1319, Compliance Testing to IEC/EN 61000-4-8, Application Note”, 2000, <http://www.home.agilent.com/>.
- [61] Teseq, Advanced Test Solutions for EMC, Service and Support, Technical Information, Wallchart 2, “LF and RF Immunity”, <http://www.teseq.com/com/en/index.php>.
- [62] KeyTek – A ThermoVoltek Company, “EMC Pro – Advanced EMC Immunity Test System”, <http://www.teknetelectronics.com/>.
- [63] Rodger Gensel, “EMC TESTING: Immunity Testing for the CE Mark”, Conformity, 2007 Engineers’ Reference Guide.
- [64] Εγχειρίδιο λειτουργίας γεννήτριας TRA3000 της EMC Partner.
- [65] Εγχειρίδια λειτουργίας του παλμογράφου TDS 7254B της TEKTRONIX.

- [66] Εγχειρίδιο λειτουργίας του ομοαξονικού προσαρμοστή μέτρησης (Pellegrini Target) MD 103 της TESEQ.
- [67] Εγχειρίδιο λειτουργίας του βολτομέτρου υψηλής τάσης 149-04 της BRANDENBURG.
- [68] Εγχειρίδιο λειτουργίας του σετ βαθμονόμησης CAS 3025 “Calibration Set CAS3025”, της SCHAFFNER.
- [69] Εγχειρίδιο λειτουργίας του διαφορικού καταμεριστή MD 200 “High voltage differential probe MD 200 User manual” version 1.01 April 2003, της SCHAFFNER.
- [70] Εγχειρίδιο λειτουργίας της αμπεροτσιμπίδας Pearson/8260 (2mV/A).
- [71] Εγχειρίδιο λειτουργίας Profline 2100 System.
- [72] Εγχειρίδιο λειτουργίας λογισμικού WIN 2120.
- [73] Εγχειρίδιο λειτουργίας συσκευής Schaffner NSG 2050.
- [74] Εγχειρίδιο λειτουργίας συσκευής Schaffner PNW 2050.
- [75] Οδηγία εργασίας ΟΔ 072-42 EN 61000-4-2 v.1.0.
- [76] Οδηγία εργασίας ΟΔ 061-42 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΠΙΣΤΟΛΙΩΝ.
- [77] Οδηγία εργασίας ΟΔ 72-102 ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΠΙΣΤΟΛΙΩΝ.
- [78] Οδηγία εργασίας ΟΔ 072-44 EN 61000-4-4 v. 1.0.
- [79] Οδηγία εργασίας ΟΔ 072-104 EN 61000-4-4 v. 1.0.
- [80] Οδηγία εργασίας ΟΔ 072-45 EN 61000-4-5 v. 1.0.
- [81] Οδηγία εργασίας ΟΔ 072-105 EN 61000-4-5 v. 2.0.
- [82] Οδηγία εργασίας ΟΔ 072-41 61000-4-11 v. 2.0.
- [83] G.P. Fotis, I.F. Gonos, I.A. Stathopoulos, “SIMULATION AND EXPERIMENT FOR SURGE IMMUNITY ACCORDING TO EN 61000-4-5”, School of Electrical and Computer Engineering, Electric Power Department, High Voltage Laboratory, National Technical University of Athens, Greece.
- [84] Π.Σ. Κατσιβέλης, Χ.Α. Χριστοδούλου, Ι.Φ. Γκόνος, Ι.Α. Σταθόπουλος, “Υπολογισμός αβεβαιότητας στις διακριβώσεις γεννητριών ηλεκτροστατικής εκφόρτισης”, Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π., Μετρολογία 2010.
- [85] Γ. Π. Φώτης, Ι. Φ. Γκόνος, Ν. Χ. Ηλία, Ι. Α. Σταθόπουλος, “Μέτρηση ρεύματος και ηλεκτρομαγνητικού πεδίου κατά την επαλήθευση γεννητριών ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων”, Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π., Μετρολογία 2005.
- [86] Γεώργιος Π. Φώτης, “Γεννήτρια Ηλεκτροστατικών Εκφορτίσεων: Το παραγόμενο ρεύμα και πεδίο”, Διδακτορική διατριβή, Οκτώβριος 2006.
- [87] Ασημακοπούλου Η. Φανή, “Βελτιστοποίηση των παραμέτρων της εξίσωσης του ρεύματος ηλεκτροστατικής εκφόρτισης με χρήση Γενετικών Αλγορίθμων”, Διπλωματική εργασία, Μάρτιος 2006, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, ΣΗΜΜΥ, ΕΜΠ.
- [88] Tim Williams, Stan Baker, “Uncertainties of immunity measurements”, DTI-NMSPU project R2.2b1, Main report, Schaffner EMC Systems Ltd and Elmac Services, 2002.
- [89] Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης Α.Ε. (ΕΣΥΔ), “Συστήματα μέτρησης και διακριβωσης: Κατευθυντήρια οδηγία για την εφαρμογή των κριτηρίων διαπίστευσης εργαστηρίων”, ΚΟ1-ΚΡΙΤΕ/01/06/20-06-2007.

- [90] Teseq, Advanced Test Solutions for EMC, Service and Support, Technical Information, Wallchart 4, “Transient Immunity testing”, <http://www.teseq.com/com/en/index.php>.
- [91] Schaffner, “Basics in EMC and Power Quality”, 2009, <http://www.schaffner.com/>.
- [92] Μ.Ν. Μοσχάκης, Ν.Δ. Χατζηαργυρίου, Σ.Ν. Μανιάς, “Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα: πρότυπα εκπομπής αρμονικών, πρότυπα εκπομπής σημάτων υψηλής συχνότητας και πρότυπα ατρωσίας”, ΕΜΠ.
- [93] F.Arteche, “Are EMC norms good enough to guarantee compatibility in LHC?”, Imperial College – University of London / CERN, LHC machine EMC Workshop CERN, 25 November 2004.
- [94] Keith Armstrong, “Personnel Electrostatic Discharge (ESD)”, Handbook on EN 61000-4-2, REO UK LTD.
- [95] T. Ficker, “Electrification of human body by walking”, June 2005, Διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://www.sciencedirect.com/>.
- [96] Βασίλειος Γ. Παντζάλης, “Το νέο Πρότυπο 61000-4-2:2009 - Επαλήθευση γεννητριών ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων”, Διπλωματική εργασία, Ιούλιος 2009, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, ΣΗΜΜΥ, ΕΜΠ.
- [97] Dag Björklöf, “Immunity Testing: Examining Requirements and Test Methods”, ETL SEMKO (Kista, Sweden), Intertek Testing Services, Compliance Engineering Conference, 1999.