



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

Υπολογισμός αβεβαιοτήτων σε εξοπλισμό δοκιμών ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Κ. Συκαράς

Καθηγητής : Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

Επιβλέποντες: Ιωάννης Φ. Γκόνος

Χρήστος Αθ. Χριστοδούλου

Αθήνα, Ιούλιος 2008



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

143

Υπολογισμός αβεβαιότητων σε εξοπλισμό δοκιμών ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Κ. Συκαράς

Καθηγητής : Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

Επιβλέποντες: Ιωάννης Φ. Γκόνοσ

Χριστοδούλου Αθ. Χρήστος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14^η Ιουλίου 2008.

Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος
Καθηγητής

Περικλής Δ. Μπούρκας
Καθηγητής

Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2008

Δημήτριος Κ. Συκαράς

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

Πτυχιούχος Ηλεκτρονικός

Copyright © Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

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.

Στους γονείς μου

«Η γράψε κάτι που αξίζει να διαβαστεί ή κάνε κάτι που αξίζει να γραφτεί.»

-Benjamin Franklin

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τις αβεβαιότητες μετρήσεων στα EMC συστήματα. Σε αυτήν δίνεται ο ορισμός της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, πώς υπεισέρχεται στις ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές και ποια η χρησιμότητά της. Γίνεται αναφορά γενικά στον όρο της αβεβαιότητας, η οποία και περιγράφεται σύμφωνα με το εργαστήριο διακρίβωσης UKAS, πώς υπολογίζεται η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα και τι πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη διαδικασία των μετρήσεων στα EMC συστήματα. Επίσης γίνεται μια ανασκόπηση του προτύπου EN 55014-1 σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ όπου περιγράφεται και υπολογίζεται η αβεβαιότητα κατά την ηλεκτροστατική επαφή εκκένωσης. Τέλος υπολογίζεται η αβεβαιότητα των μετρήσεων του εξοπλισμού του εργαστηρίου των Υψηλών Τάσεων του ΕΜΠ.

Λέξεις κλειδιά

Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές, σύζευξη, ηλεκτροστατική εκφόρτιση, ατρωσία, αβεβαιότητα, αβεβαιότητα τύπου A, αβεβαιότητα τύπου B, πρότυπο EN 55014-1, CISPR, ΕΛΟΤ, γεννήτριες ηλεκτροστατικής εκφόρτισης, δοκιμές αγωγής, ακτινοβολούμενες δοκιμές, διαταραχές ισχύος, ανηχικός θάλαμος

Abstract

The present diploma thesis refers to the uncertainties of measurements in the EMC systems. In this is given the definition of electromagnetic compatibility, how it enters into the electromagnetic disturbances and its great usefulness. It also refers to the term of uncertainty, which is described according to the laboratory of calibration UKAS, how the electromagnetic compatibility is calculated and what should be taken into consideration at the process of measurements in the EMC systems. Also it follows a review of EN 55014-1 according to the ELOT with description and calculations of the uncertainty at the electrostatic discharge contact. Finally is calculated the uncertainty measurements of NTUA High Voltage laboratory equipment.

Keywords

Electromagnetic compatibility, electromagnetic disturbance, coupling, electrostatic discharge, immunity, uncertainty, type A evaluation, type B evaluation, CISPR, standard EN 55014-1, ELOT, electrostatic discharge generators, conducted tests, radiated tests, disturbance power, anechoic chamber

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή στην ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα.....	14
1.1 Εισαγωγή.....	14
1.2 Ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές και πηγές.....	16
1.3 Τρόποι σύζευξης EMC.....	21
1.5 Εγκαταστάσεις - Δοκιμές EMC.....	33
1.6 Ηλεκτροστατική εκφόρτιση (E.S.D.).....	35
1.7 EMC και τηλεπικοινωνίες.....	39
1.8 Πρότυπα, εγκαταστάσεις δοκιμής και δοκιμές.....	42
1.8.1 Πρότυπα.....	42
1.8.2 Εγκαταστάσεις δοκιμής.....	43
1.8.3 Δοκιμές.....	44
1.8.3.1 Ηλεκτροστατική εκφόρτιση.....	44
1.8.3.2 Ατρωσία αγωγής.....	46
1.8.3.3 Ατρωσία ενάντια στις ακτινοβολούμενες εκπομπές.....	48
1.8.3.4 Εκπομπή αγωγής.....	50
1.8.3.5 Εκπομπές ακτινοβολίας.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Μέτρηση, ποιότητα μέτρησης και αβεβαιότητα.....	53
2.1 Ποιοτικός χαρακτηρισμός συστημάτων και μεθόδων μέτρησης.....	53
2.1.1 Εισαγωγικά.....	53
2.1.2 Στατικός χαρακτηρισμός οργάνων μέτρησης.....	54
2.1.3 Χαρακτηρισμός και επικύρωση μεθόδων μέτρησης.....	56
2.2 Βασικές έννοιες πιθανοτήτων και στατιστικής.....	57
2.2.1 Εισαγωγικά.....	57
2.2.2 Ορισμοί στατιστικών εννοιών.....	57
2.2.3 Βασικοί τύποι συναρτήσεων κατανομών πιθανοτήτων.....	59
2.2.3.1 Κανονική κατανομή.....	59
2.2.3.2 Τραπεζοειδής κατανομή.....	61
2.2.3.3 Η κατανομή Student (t-distribution).....	62
2.2.3.4 Η κατανομή χ^2 (Chi-square).....	63
2.3 Αβεβαιότητα μετρήσεων.....	64
2.3.1 Εισαγωγικά.....	64
2.3.2 Από το σφάλμα στην αβεβαιότητα.....	66
2.3.3 Κατηγοριοποίηση αβεβαιοτήτων (Τύπου A & Τύπου B).....	69
2.3.4 Εκτίμηση αβεβαιοτήτων τύπου A.....	71
2.3.5 Εκτίμηση αβεβαιοτήτων τύπου B.....	73
2.3.6 Υπολογισμός ολικής αβεβαιότητας.....	76
2.3.7 Κατανομές πιθανότητας στα EMC συστήματα και καθορισμός της τυπικής αβεβαιότητας (standard uncertainty).....	77
2.3.7.1 Κανονική κατανομή.....	77
2.3.7.2 Ορθογώνια κατανομή.....	77
2.3.7.3 Τριγωνική κατανομή.....	78
2.3.7.4 Κατανομή μορφής U.....	78
2.3.8 Συνδυασμός αβεβαιοτήτων - Νόμος διάδοσης αβεβαιοτήτων.....	78
2.3.8.1 Συντελεστές ευαισθησίας.....	79
2.3.8.2 Συσχετισμένες ποσότητες εισόδου.....	80
2.3.8.3 Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα.....	80

2.3.9 Διευρυμένη αβεβαιότητα	81
2.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων	81
2.5 Συμμόρφωση με την προδιαγραφή	83
2.5.1 Εκπομπές	84
2.5.2 Ατρωσία	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ανασκόπηση του προτύπου EN 55014-1	87
3.1 Εισαγωγικά	87
3.2 Αντικείμενο	87
3.3 Όροι και ορισμοί	88
3.4 Όρια διαταραχής	90
3.4.1 Συνεχής διαταραχή	90
3.4.1.1 Περιοχή συχνοτήτων 148,5 kHz έως 30 MHz (τάσεις ακροδέκτη)...	90
3.4.1.2 Περιοχή συχνοτήτων 30 MHz έως 300 MHz (ισχύς διαταραχής).....	93
3.4.2 Ασυνεχής διαταραχή	95
3.4.2.1 Περιοχή συχνοτήτων 148,5 kHz έως 30 MHz (τάσεις ακροδέκτη)...	95
3.4.2.2 Εξαιρέσεις από τον ορισμό του κροτήματος	98
3.4.2.2.1 Μεμονωμένες ενέργειες μεταγωγής.....	99
3.4.2.2.2 Συνδυασμός κροτημάτων σε χρονοπλαίσιο μικρότερο από 600 ms	100
3.4.2.2.3 Στιγμιαία μεταγωγή.....	100
3.4.2.2.4 Διαχωρισμός κροτημάτων μικρότερος από 200 ms.....	100
3.5 Μέθοδοι μέτρησης των τάσεων διαταραχής ακροδέκτη (148,5 kHz έως 30 MHz)	100
3.5.1 Μετρητικές διατάξεις	101
3.5.1.1 Μετρητικοί δέκτες.....	101
3.5.1.2 Δικτύωμα τεχνητού ηλεκτρικού δικτύου	101
3.5.1.3 Ανιχνευτήρας τάσης.....	101
3.5.1.4 Τεχνητό χέρι.....	102
3.5.2 Μετρητικές διαδικασίες και διευθετήσεις.....	102
3.5.2.1 Αγωγός ηλεκτρικού δικτύου	102
3.5.2.2 Διάταξη των δοκιμίων και σύνδεση τους στο LISN.....	103
3.5.2.2.1 Συσκευές που λειτουργούν κανονικά χωρίς σύνδεση γείωσης και δεν κρατιούνται στο χέρι.....	103
3.5.2.2.2 Χειρόφερτες συσκευές που λειτουργούν κανονικά χωρίς γείωση	104
3.5.2.2.3 Συσκευές που απαιτείται κανονικά να λειτουργούν με γείωση	105
3.5.2.3 Συσκευές με βοηθητικές συσκευές που συνδέονται στο άκρο αγωγού διαφορετικού από τον αγωγό ηλεκτρικού δικτύου	106
3.5.2.3.1 Μετρητική διευθέτηση.....	106
3.5.2.3.2 Μετρητική διαδικασία.....	107
3.5.2.4 Διατάξεις ελέγχου ρύθμισης με ενσωματωμένες διατάξεις ημιαγωγού	107
3.5.3 Μείωση της διαταραχής που δεν παράγεται από το δοκίμιο	108
3.6 Μέθοδοι μέτρησης ισχύος διαταραχής (30 MHz έως 300 MHz)	109
3.6.1 Μετρητικές διατάξεις.....	109
3.6.2 Διαδικασία μέτρησης στον αγωγό ηλεκτρικού δικτύου	109
3.6.3 Ειδικές απαιτήσεις για συσκευές που έχουν βοηθητική διάταξη συνδεδεμένη στο άκρο αγωγού διαφορετικού από τον αγωγό ηλεκτρικού δικτύου	110

3.6.3.1	Μετρητική διευθέτηση.....	110
3.6.3.2	Διαδικασία μέτρησης.....	111
3.6.4	Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μέτρησης.....	111
3.7	Συνθήκες λειτουργίας και ερμηνεία των αποτελεσμάτων.....	111
3.7.1	Γενικά.....	111
3.7.2	Συνθήκες λειτουργίας για ιδιαίτερες συσκευές και ενσωματωμένα μέρη.....	112
3.7.2.1	Συσκευές πολλών λειτουργιών.....	112
3.7.2.2	Συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία.....	113
3.7.2.3	Ενσωματωμένοι διακόπτες εκκίνησης, διατάξεις ελέγχου ταχύτητας.....	113
3.7.2.4	Θερμοστάτες.....	114
3.7.2.5	Θερμοστάτες - Εναλλακτική διαδικασία, θερμοστατικά ελεγχόμενοι τριφασικοί διακόπτες, θερμοστατικά ελεγχόμενες φορητές και αφαιρέσιμες συσκευές θέρμανσης χώρου.....	114
3.7.2.6	Διατάξεις ελέγχου ρύθμισης με ενσωματωμένες διατάξεις ημιαγωγού.....	115
3.7.2.6.1	Ρυθμίσεις για μέγιστη στάθμη διαταραχής.....	115
3.7.2.6.2	Εξοπλισμός με μερικές διατάξεις ελέγχου ρύθμισης.....	115
3.7.3	Τυπικές συνθήκες λειτουργίας και κανονικοί φόρτοι.....	116
3.7.3.1	Συσκευές που λειτουργούν με κινητήρα για οικιακούς και παρόμοιους σκοπούς.....	116
3.7.3.2	Ηλεκτρικά εργαλεία.....	117
3.7.3.3	Ηλεκτροϊατρικές συσκευές που λειτουργούν με ρεύμα.....	118
3.7.3.4	Ηλεκτρικές θερμαντικές συσκευές.....	119
3.7.3.5	Μηχανές αυτόματης πώλησης αγαθών, ψυχαγωγικές μηχανές και παρόμοιες συσκευές.....	120
3.7.3.6	Ηλεκτρικά παιχνίδια που τρέχουν σε τροχιές.....	121
3.7.3.6.1	Γενικά.....	121
3.7.3.6.2	Μέθοδος μέτρησης.....	122
3.7.3.7	Διάφοροι εξοπλισμοί και συσκευές.....	122
3.7.4	Ερμηνεία των αποτελεσμάτων.....	124
3.7.4.1	Συνεχής διαταραχή.....	124
3.7.4.2	Ασυνεχής διαταραχή.....	126
3.8	Ερμηνεία του ορίου ραδιοδιαταραχής CISPR.....	127
3.8.1	Σημασία ενός ορίου CISPR.....	127
3.8.2	Δόκιμες τύπου.....	127
3.8.3	Συμμόρφωση με τα όρια για συσκευές σε παραγωγή ευρείας κλίμακας.....	127
3.8.3.1	Δοκιμές που βασίζονται στη μη κεντρική κατανομή t.....	127
3.8.3.2	Δοκιμές που βασίζονται στη διωνυμική κατανομή.....	128
3.8.4	Η απαγόρευση των πωλήσεων.....	129
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Επαλήθευση της γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων		130
4.1	Ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις.....	130
4.1.1	Γενική πειραματική διάταξη.....	130
4.1.2	Γεννήτριες ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων (ESD generators).....	131
4.1.3	Ομοαξονικός προσαρμοστής μέτρησης.....	135
4.1.4	Βάσεις στήριξης.....	136
4.1.5	Ομοαξονικά καλώδια υψηλής συχνότητας.....	137
4.1.6	Εξασθενητής (attenuator).....	137

4.1.7 Παλμογράφος Tektronix, TDS 7254B.....	138
4.1.8 Θωρακισμένος θάλαμος (transient immunity room)	139
4.2 Υπολογισμός βασικών στοιχείων της κυματομορφής	140
4.2.1 Εύρεση μεγίστου ρεύματος.....	140
4.2.2 Υπολογισμός χρόνου ανόδου.....	141
4.2.3 Εύρεση του ρεύματος στα 30 nsec.....	143
4.2.4 Εύρεση του ρεύματος στα 60 nsec.....	143
4.3 Επεξεργασία μετρήσεων	144
4.3.1 Αβεβαιότητες τύπου A.....	144
4.3.2 Αβεβαιότητες τύπου B	146
4.3.2.1 Υπολογισμός ευαισθησιών και συντελεστών	148
4.3.3 Ολική αβεβαιότητα	151
4.4 Εξέταση των διακριβωμένων τιμών του NSG 433 από την Schaffner σύμφωνα με την προδιαγραφή ISO/IEC 17025	151
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Υπολογισμός αβεβαιότητας	158
5.1 Εισαγωγικά.....	158
5.2 Δέκτης EMI, SMR 4518	158
5.2.1 Βασικά χαρακτηριστικά.....	158
5.2.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά.....	160
5.3 Δικτύωμα τεχνητού ηλεκτρικού δικτύου, NNB 42.....	161
5.3.1 Το NNB 42 σύμφωνα με το VDE 0876 μέρος 1.....	162
5.3.2 Συνδέσεις.....	163
5.3.3 Προφυλάξεις ασφάλειας	164
5.4 Απορροφητική αρπάγη, AMZ 41A.....	165
5.4.1 Εφαρμογές.....	165
5.4.2 Χαρακτηριστικά.....	165
5.4.3 Μετρήσεις	166
5.5 Διλογαριθμική κεραία, CBL 6111C.....	167
5.6 Υπολογισμός αβεβαιότητας EMC	167
5.6.1 Η αβεβαιότητα κατά CISPR	167
5.6.2 Μετρήσεις αγώγιμων διαταραχών	168
5.6.3 Μετρήσεις ακτινοβολούμενων διαταραχών.....	172
5.6.4 Η ισχύς διαταραχής.....	176
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Φωτογραφίες του εξοπλισμού EMC του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του ΕΜΠ	181
Βιβλιογραφία.....	185

Πρόλογος

Το θέμα αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι ο υπολογισμός της αβεβαιότητας σε συστήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC).

Στο **Κεφάλαιο 1** αναφέρεται η έννοια της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και των ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών. Περιγράφεται αναλυτικά από πού προκύπτουν αυτές, ποια μέρη του εξοπλισμού επηρεάζουν και με ποιους τρόπους. Εξετάζονται τα προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας που αντιμετωπίζονται στις τηλεπικοινωνίες και στην ενέργεια. Ακόμα περιγράφονται ποια μέτρα πρέπει να ληφθούν ώστε να εξαλειφθούν τα προβλήματα που προκαλούνται λόγω των ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών.

Στο **Κεφάλαιο 2** περιγράφονται οι μέθοδοι μέτρησης αβεβαιοτήτων και οι κατανομές πιθανοτήτων σύμφωνα με την Βρετανική επιτροπή UKAS. Επίσης αναλύεται η έννοια της αβεβαιότητας και η διάκρισή της από το σφάλμα. Αναφέρεται η κατηγοριοποίηση των αβεβαιοτήτων σε τύπου A και B και περιγράφονται οι σχέσεις από τις οποίες υπολογίζονται καθώς και οι σχέσεις της συνολικής αβεβαιότητας. Τέλος δηλώνεται πώς εξετάζονται τα αποτελέσματα μιας μέτρησης αν συμμορφώνονται ή όχι με τις απαιτήσεις της προδιαγραφής ISO/IEC 17025.

Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται ανασκόπηση του προτύπου EN 55014-1 που εξετάζει αν τηρούνται τα όρια ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Οι συσκευές χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με το είδος τους και τον τρόπο κατασκευής και το χειρισμό τους. Ανάλογα με την κατηγορία που ανήκει η συσκευή γίνεται έλεγχος για το αν τηρούνται ή όχι τα όρια του προτύπου.

Στο **Κεφάλαιο 4** εξετάζεται η ηλεκτροστατική εκκένωση επαφής που πραγματοποιείται από τις ηλεκτροστατικές γεννήτριες NSG-438 και NSG-433 της εταιρίας Schaffner. Γίνεται λεπτομερής περιγραφή των τεχνικών χαρακτηριστικών των γεννητριών αυτών και όλου του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο υψηλών τάσεων του ΕΜΠ. Υπολογίζεται η αβεβαιότητα των μετρήσεων για ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις των 4 kV και εξετάζεται αν αυτές συμμορφώνονται ή όχι με τις απαιτήσεις της προδιαγραφής ISO/IEC 17025.

Στο **Κεφάλαιο 5** περιγράφονται αναλυτικά τα στοιχεία του εξοπλισμού, που υπάρχει στο εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του ΕΜΠ, στα οποία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας. Ακόμα υπολογίζονται οι αβεβαιότητες σε μετρήσεις λόγω αγώγιμων διαταραχών, ακτινοβολούμενων διαταραχών και διαταραχών ισχύος.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά:

Τον κ. Ιωάννη Αθ. Σταθόπουλο, Καθηγητή του Τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος του Ε.Μ.Π., για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τον κ. Ιωάννη Φ. Γκόνο, Διδάκτορα Ηλεκτρολόγο Μηχανικό Ε.Μ.Π., για την πολύτιμη καθοδήγηση του, την ουσιαστική βοήθεια του, το χρόνο που διέθεσε και την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Τον κ. Χριστοδούλου Αθ. Χρήστο, Ηλεκτρολόγο Μηχανικό και Μηχανικό Υπολογιστών Ε.Μ.Π. και Υποψήφιο Διδάκτορα Ε.Μ.Π., για τη βοήθεια και τις συμβουλές που μου προσέφερε.

Τον κ. Πανταζόπουλο Β. Ιωάννη, σπουδαστή Ηλεκτρολόγο Μηχανικό και Μηχανικό Υπολογιστών Ε.Μ.Π., για τη συνεργασία και τη βοήθεια του.

Τη Νίκη, για τη συμπαράσταση και κατανόηση της κατά τη συγγραφή αυτής της διπλωματικής εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή στην ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα

1.1 Εισαγωγή

Ο εξοπλισμός και τα συστήματα είτε υπόκεινται είτε προκαλούν ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές με διάφορους τρόπους. Είτε μέσω της σύνδεσης κατά μήκος των συρμάτων ή των καλωδίων, είτε μέσω της ακτινοβολίας με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Έτσι κάθε ηλεκτροτεχνικός εξοπλισμός μπορεί να είναι δέκτης και γεννήτρια ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών με αποτέλεσμα να μην λειτουργεί σωστά ο ίδιος ή ακόμα και να προκαλεί δυσλειτουργίες σε άλλους εξοπλισμούς.

Λόγω των παραπάνω ανεπιθύμητων φαινομένων έχει εισαχθεί η έννοια της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (Electromagnetic Compatibility, EMC). Σύμφωνα με το διεθνή ηλεκτροτεχνικό λεξιλόγιο IEC 61010-01-07, EMC είναι η ικανότητα μιας συσκευής ή ενός συστήματος να λειτουργεί ικανοποιητικά στο ηλεκτρομαγνητικό του περιβάλλον χωρίς την εισαγωγή μη ανεχτικών ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών σε οτιδήποτε βρίσκεται σε εκείνο το περιβάλλον. Έτσι το EMC θέτει περιορισμούς που στοχεύουν στη βελτίωση και συνύπαρξη των εξοπλισμών και των συστημάτων που μπορούν να εκπέμψουν ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές και να είναι παράλληλα ευαίσθητοι σε αυτές.

Τα τελευταία χρόνια η έννοια της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας είναι πιο σημαντική από ποτέ. Αυτό γιατί οι διαταραχές γίνονται όλο και μεγαλύτερες με την αύξηση των τιμών της τάσης και του ρεύματος, τα ηλεκτρονικά κυκλώματα γίνονται όλο και πιο ευαίσθητα και οι αποστάσεις μεταξύ των ευαίσθητων κυκλωμάτων (συχνά ηλεκτρονικών) και των κυκλωμάτων που προκαλούν διαταραχές (συχνά κυκλώματα ισχύος) γίνονται όλο και μικρότερες. Λόγω της αυξημένης σημασίας των EMC, πολλά κράτη έχουν νομοθετήσει για την εκπομπή και την ανοχή των συσκευών και των εξοπλισμών όσον αφορά τις ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές, όπως επίσης για τη συνύπαρξη αυτών.

Για όλους τους ηλεκτροτεχνικούς εξοπλισμούς, το EMC πρέπει να λαμβάνεται υπόψη από το αρχικό στάδιο σχεδίασης μέχρι την κατασκευή και εγκατάσταση. Αυτό σημαίνει ότι όλοι όσοι εμπλέκονται, από τους μηχανικούς και αρχιτέκτονες που σχεδιάζουν ένα κτήριο μέχρι τους τεχνικούς που καλωδιώνουν ηλεκτρικούς θαλάμους, συμπεριλαμβανομένων τους ειδικούς που σχεδιάζουν τα δίκτυα των κτηρίων και το προσωπικό που τα εγκαθιστά, πρέπει να συμμορφώνονται με το EMC, που στοχεύει στην «ειρηνική» συνύπαρξη των ευαίσθητων συσκευών στις ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές με τον εξοπλισμό που εκπέμπει τέτοιες διαταραχές.

Οποιαδήποτε εξέταση του EMC εμπεριέχει την ανάλυση ενός συστήματος τριών συνιστωσών:

- 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.

Η θεωρητική ανάλυση είναι δύσκολη επειδή έχει να κάνει με τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που περιγράφονται από τις εξισώσεις Maxwell. Κατά γενική ομολογία, δεν μπορούν να λυθούν για να αποδώσουν μια αναλυτική λύση για πραγματικές συσκευές και διαστάσεις. Ακόμη και με ισχυρά υπολογιστικά συστήματα, μια αριθμητική λύση είναι συχνά εξαιρετικά δύσκολη. Επομένως στην πράξη, τα προβλήματα EMC πρέπει να λύνονται μέσω απλουστευμένων υποθέσεων, με τη χρήση προτύπων και σε ειδικά πειράματα παίρνοντας μετρήσεις.

Ακολουθεί η εξήγηση σχετικών εννοιών, σύμφωνα με το διεθνές ηλεκτροτεχνικό λεξιλόγιο.

- (Ηλεκτρομαγνητικό) επίπεδο συμβατότητας: 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.

- (Ηλεκτρομαγνητική) διαταραχή: Οποιοδήποτε ηλεκτρομαγνητικό φαινόμενο που μπορεί να μειώσει την απόδοση μιας συσκευής, ενός εξοπλισμού ή ενός συστήματος, ή να έχει επιπτώσεις στη ζωή ή στην αδράνεια του υλικού. Μια ηλεκτρομαγνητική διαταραχή μπορεί να είναι ένας ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος, ένα ανεπιθύμητο σήμα ή μια αλλαγή στο μέσο διάδοσης.
- (Ηλεκτρομαγνητική) ευαισθησία: Η ανικανότητα μιας συσκευής, ενός εξοπλισμού ή ενός συστήματος να αποδώσει κανονικά με την παρουσία μιας ηλεκτρομαγνητικής διαταραχής.
- Επίπεδο διαταραχής: Το επίπεδο ηλεκτρομαγνητικής διαταραχής μιας δοσμένης μορφής, μετρημένο σε συγκεκριμένες συνθήκες.
- Όριο διαταραχής: Το μέγιστο επιτρεπτό ηλεκτρομαγνητικό επίπεδο διαταραχής, μετρημένο σε συγκεκριμένες συνθήκες.
- Επίπεδο ανοσίας: Το ανώτατο επίπεδο μιας δοσμένης ηλεκτρομαγνητικής διαταραχής σε μια συγκεκριμένη συσκευή, εξοπλισμό ή σύστημα το οποίο συνεχίζει να λειτουργεί με έναν απαιτούμενο βαθμό απόδοσης.
- Decibel: Το decibel είναι μια μονάδα της ηχοπίεσης που χρησιμοποιείται για να εκφράσει το λόγο πλατών σύμφωνα με:

$$X/X_0 \text{ (dB@)} = 20 \log_{10} X/X_0$$

όπου X: μετρημένο πλάτος

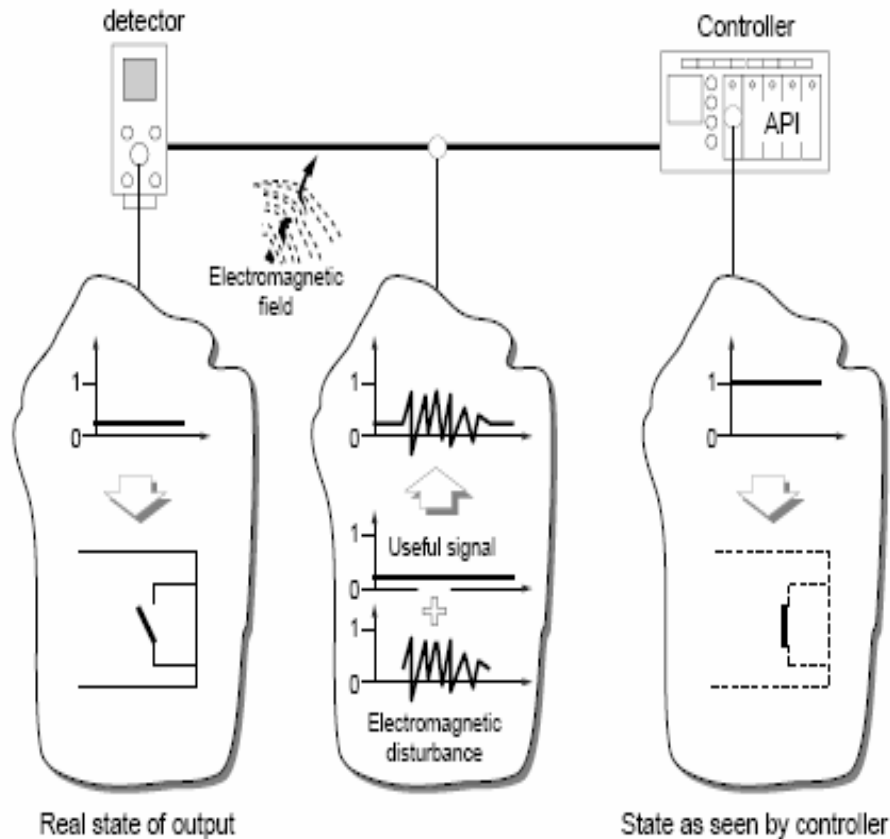
X_0 : πλάτος αναφοράς

@: μονάδα μέτρησης για το X και X_0 .

1.2 Ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές και πηγές

Λέγοντας ηλεκτρομαγνητική διαταραχή (electromagnetic disturbance) εννοούμε κάθε ηλεκτρομαγνητικό φαινόμενο που βλάπτει τη λειτουργία μιας συσκευής, ενός εξοπλισμού ή ενός συστήματος, κλπ. Αυτή μπορεί να είναι ένας ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος, ένα ανεπιθύμητο σήμα ή μια αλλαγή στο μέσο διάδοσης. Στο σχήμα 1-1 βλέπουμε το ρόλο που παίζει η ηλεκτρομαγνητική διαταραχή στον έλεγχο ενός συστήματος. Ενώ η πραγματική κατάσταση της εξόδου σύμφωνα με τον ανιχνευτή

(detector) είναι ανοιχτή, ο ελεγκτής (controller) την αντιλαμβάνεται κλειστή.



Σχήμα 1-1: Παράδειγμα απόκλισης της κατάστασης που βρίσκεται ένας ελεγκτής από έναν ανιχνευτή σε σύστημα ελέγχου, λόγω της ηλεκτρομαγνητικής διαταραχής.

Κύριο αίτιο των ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών είναι η διανομή ηλεκτρικής ισχύος, τα ράδιο κύματα, η ηλεκτροστατική εκφόρτιση και οι κεραυνοί.

Στη διανομή ηλεκτρικής ισχύος, ένας μεγάλος αριθμός διαταραχών δημιουργείται από τις λειτουργίες κυκλωμάτων μεταγωγής. Σε περιοχές χαμηλών τάσεων, το άνοιγμα επαγωγικών κυκλωμάτων, όπως είναι τα πηνία επαφών, οι κινητήρες, οι σωληνοειδείς βαλβίδες, κλπ, παράγουν πολύ υψηλές τάσεις (μέχρι αρκετά kV) που περιέχουν υψηλής συχνότητας αρμονικές (από δέκα ως εκατοντάδες MHz). Σε περιοχές μέσης και υψηλής τάσης, το άνοιγμα και το κλείσιμο των διακοπών παράγουν κύματα με ένα πολύ γρήγορο ρυθμό ανόδου (μερικά nsec). Αυτά τα κύματα είναι ιδιαίτερα επιβλαβή σε μικροεπεξεργαστικά συστήματα.

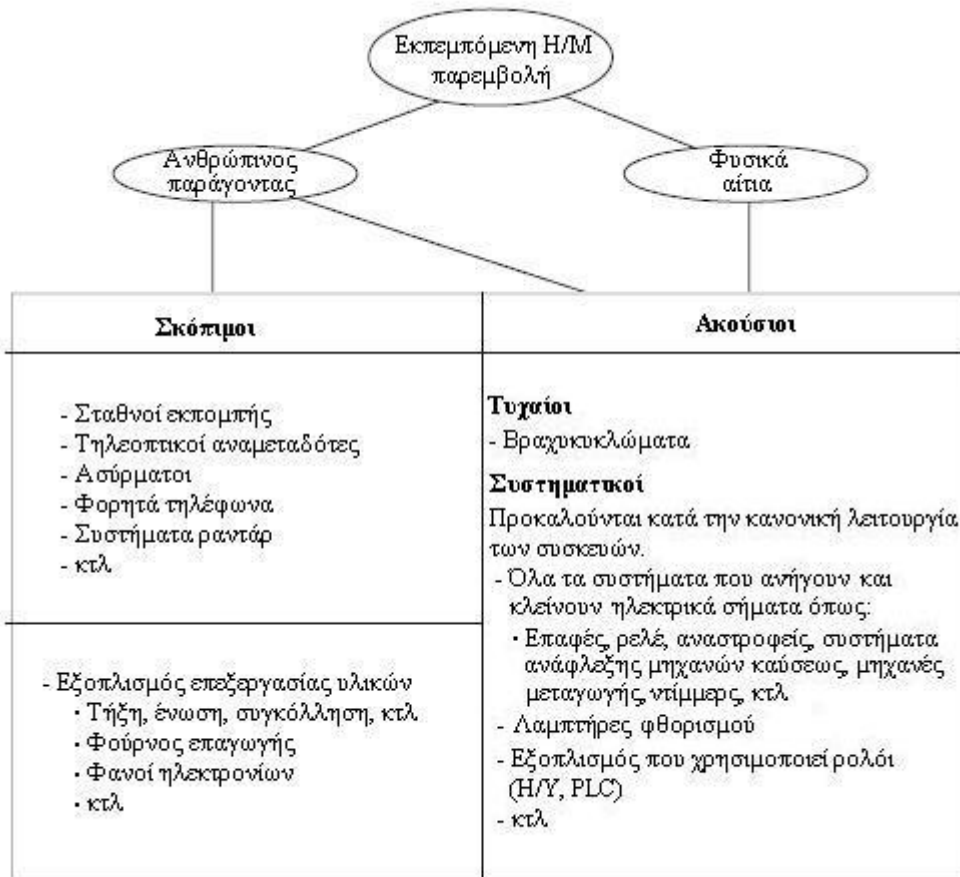
Τα ραδιοκύματα που εκπέμπονται από συστήματα μακρινού ελέγχου, τηλεχειριστήρια, ραδιοεπικοινωνίες, τηλεοπτικές συσκευές, τα walkie-talkies, κλπ, αποτελούν πηγές διαταραχών της τάξης αρκετών V/m. Όλοι αυτοί οι εκπομποί διαταραχής χρησιμοποιούνται σήμερα όλο και περισσότερο και επομένως είναι απαραίτητο να παρέχεται στον ευαίσθητο εξοπλισμό αποτελεσματική προστασία.

Πολλές φορές μεταξύ ενός φορτισμένου σώματος και ενός ηλεκτρονικού εξοπλισμού αναπτύσσεται εκφόρτιση με έναν πολύ γρήγορο χρόνο ανόδου (αρκετά nsec), η οποία εισέρχεται στη συσκευή μέσω επαφής ή ακτινοβολίας, παράγοντας μια σημαντική διαταραχή. Σε επόμενη παράγραφο θα περιγραφεί εκτενέστερα η ηλεκτροστατική εκφόρτιση στα EMC.

Οποιαδήποτε συσκευή ή φυσικό-ηλεκτρικό φαινόμενο εκπέμπει μια ηλεκτρομαγνητική διαταραχή, είτε μέσω αγωγού είτε μέσω ακτινοβολίας, καλείται πηγή (source). Στο σχήμα 1-2 παρουσιάζονται οι πηγές εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών, που οφείλονται σε ανθρώπινο παράγοντα και σε φυσικά αίτια.

Ο προσδιορισμός της πηγής είναι βασικός αφού ο τύπος της θα καθορίσει ποιες από τις λύσεις που ακολουθούν πρέπει να ληφθούν για την αντιμετώπισή της:

- Οριοθέτηση των διαταραχών που παράγονται (π.χ. σε έναν αγωγό, εγκαθιστώντας μια βαθμίδα RC, που καταστέλλει παρεμβολές, παράλληλα στο AC πηνίο, ή μια δίοδο στο DC πηνίο).
- Αποφυγή ενδοσυζεύξεων (δηλαδή φυσικών διαχωρισμών μεταξύ δύο ασυμβάτων στοιχείων).
- Απευαισθητοποίηση πιθανών δεκτών (π.χ. χρησιμοποιώντας θωράκιση).



Σχήμα 1-2: Πηγές ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών χωρισμένα σε ανθρώπινο παράγοντα και φυσικά αίτια.

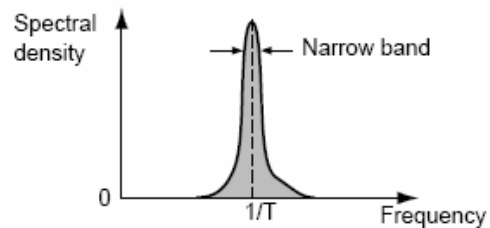
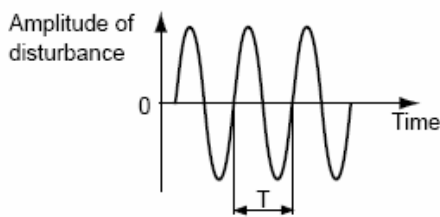
Οι πηγές μπορεί να είναι χρήσιμες, δηλαδή να εξυπηρετούν κάποιο σκοπό όπως οι ραδιοπομποί, ή όχι. Όμως γενικά διακρίνονται με βάση τα χαρακτηριστικά των διαταραχών που παράγουν. Αυτά είναι το φάσμα, η κυματομορφή (χρόνος ανόδου ή περιβάλλουσα του φάσματος), το πλάτος και η ενέργεια.

Το φάσμα, δηλαδή η περιοχή συχνότητας που καλύπτεται από τη διαταραχή μπορεί να είναι πολύ μικρό, όπως στην περίπτωση των κινητών τηλεφώνων, ή πολύ μεγάλο, όπως στα ηλεκτρικά τόξα κλιβάνων. Στο σχήμα 1-3 υπάρχουν δυο τέτοια παραδείγματα. Στο πρώτο φαίνεται το φάσμα διαταραχής από ραδιοκύματα που είναι μικρό, ενώ στο δεύτερο από κεραυνό που είναι μεγάλο. Μάλιστα στην τελευταία περίπτωση, που η διαταραχή έχει μορφή παλμού, καλύπτει ένα ιδιαίτερα μεγάλο φάσμα, μέχρι 100 MHz ή και παραπάνω. Τέτοιου είδους διαταραχές

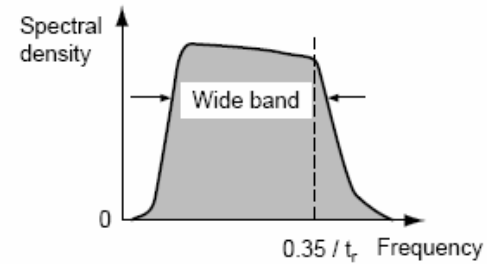
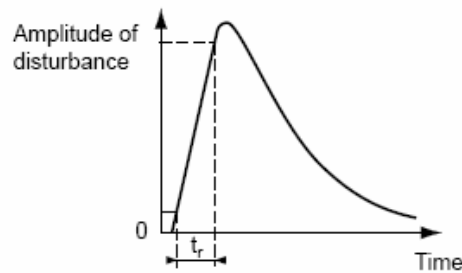
προέρχονται σχεδόν αποκλειστικά από πηγές όπως:

- ηλεκτροστατική εκφόρτιση,
- διακοπτόμενοι ηλεκτρονόμοι, διακόπτες, επαφές, διακόπτες και κυκλώματα διακοπών για περιοχές χαμηλής, μέσης και υψηλής τάσης,
- κεραυνοί,
- πυρηνικοί ηλεκτρομαγνητικοί παλμοί (μια ειδική περιοχή).

Radio wave



Indirect lightning effect



Σχήμα 1-3: Παράδειγμα φάσματος διαταραχής από ραδιοκύματα και κεραυνό.

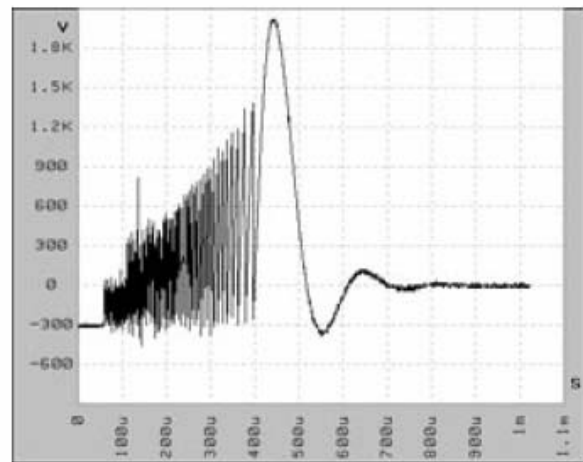
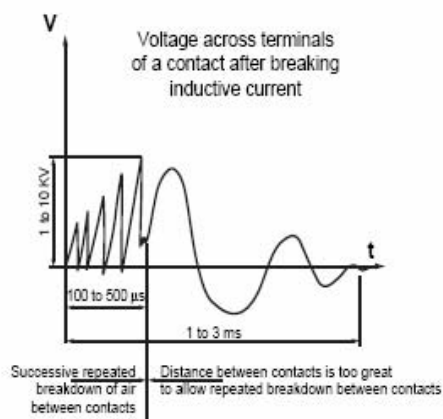
Η κυματομορφή περιγράφει τα χαρακτηριστικά της διαταραχής σε συνάρτηση με τον χρόνο. Αυτή μπορεί, παραδείγματος χάριν, να είναι ένα αποσβαίνων ημιτονικό κύμα ή μια διπλή εκθετική συνάρτηση. Περιγράφεται από τον χρόνο ανόδου t_r και την ισοδύναμη συχνότητα $0,35/t_r$ ή απλά, για τα σήματα περιορισμένης ζώνης, από τη συχνότητα διαταραχής ή από το μήκος κύματος λ που συνδέεται με την συχνότητα από την σχέση $\lambda = c/f$, όπου το c είναι η ταχύτητα του φωτός που ισούται με 3×10^8 m/s.

Το πλάτος είναι η μέγιστη τιμή που φθάνει το σήμα από άποψη τάσης (V), ηλεκτρικού πεδίου (V/m), κλπ.

Η συνολική ενέργεια δίνεται από το ολοκλήρωμα της στιγμιαίας ενέργειας της

διαταραχής κατά τη διάρκεια του χρόνου (Joules). Σε υψηλές συχνότητες η ακτινοβολούμενη ενέργεια είναι γενικά μικρή και έχει ως αποτέλεσμα τη δυσλειτουργία των κοντινών εξοπλισμών, ενώ σε χαμηλές συχνότητες μπορεί να είναι μεγάλη με αποτέλεσμα πέρα τη δυσλειτουργία να υπάρξει και καταστροφή των συνδεδεμένων συσκευών.

Οι διαταραχές, που προκαλούν συσκευές που είναι σχεδιασμένες να πραγματοποιούν διακοπές σε ένα ή περισσότερα ηλεκτρικά κυκλώματα μέσω χωριστών επαφών, εξαρτώνται από τη φύση του φορτίου. Αν το φορτίο είναι ωμικό η διαταραχή είναι από πολύ μικρή μέχρι μηδενική. Στην περίπτωση που είναι επαγωγικό, όπως τα φρένα, η σωληνοειδής λυχνία, κλπ, δεν παράγεται διαταραχή μόνο στην περίπτωση που οι συνθήκες κατάστασης είναι σταθερές. Στην περίπτωση επαγωγικού κυκλώματος (σχήμα 1-4), όταν ανοίγει ο διακόπτης, κατά μήκος του ακροδέκτη επαφής δημιουργείται υπέρταση που προκαλεί μια σειρά διασπάσεων του διηλεκτρικού. Επίσης έχουμε αποσβενόμενη ταλάντωση στην ιδιοσυχνότητα.



Contactor cutoff, 9A[~] without peak limiting

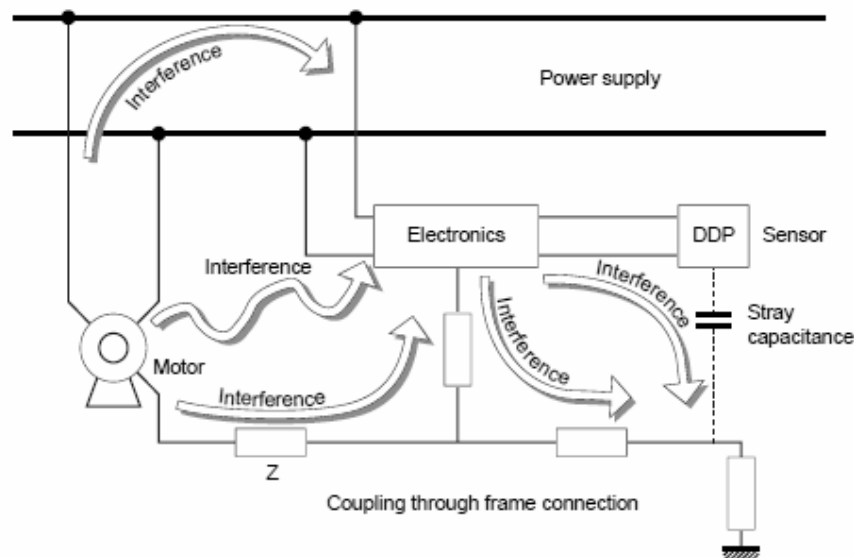
Σχήμα 1-4: Απόκριση της τάσης με τον χρόνο με το άνοιγμα του διακόπτη σε επαγωγικό κύκλωμα.

1.3 Τρόποι σύζευξης EMC

Ο όρος σύζευξη αναφέρεται στη σύνδεση, τη μεταφορά ή τη μετάδοση των ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών από τον πομπό σε ευαίσθητες συσκευές. Στο σχήμα

1-5 παρουσιάζονται διάφοροι τρόποι μετάδοσης ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών, από έναν κινητήρα στην παροχή ισχύος και στα ηλεκτρονικά συστήματα και από τα ηλεκτρονικά συστήματα σε επιμέρους τμήματα του κυκλώματος και στο φορτίο. Η σύζευξη εκφράζεται από τις τιμές του συντελεστή σύζευξης K , που έχει μονάδες dB. Ο συντελεστής αυτός δείχνει πόσο μπορεί να επηρεάσει η διαταραχή, που μεταδίδει μια πηγή, τον πιθανό δέκτη. Δίνεται από την σχέση: $K = 20 \log A(\lambda\mu\beta\alpha\nu\omicron\mu\epsilon\nu\omicron)/A(\mu\epsilon\tau\alpha\delta\iota\delta\omicron\mu\epsilon\nu\omicron)$, όπου A το πλάτος της διαταραχής που παράγει η πηγή. Ο συντελεστής K είναι σημαντικός όταν η μεταφορά των ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών είναι ανάλογη προς τη συχνότητα, πράγμα που συμβαίνει συχνά στην πράξη. Γενικά διακρίνονται τρεις διαφορετικοί τρόποι σύζευξης:

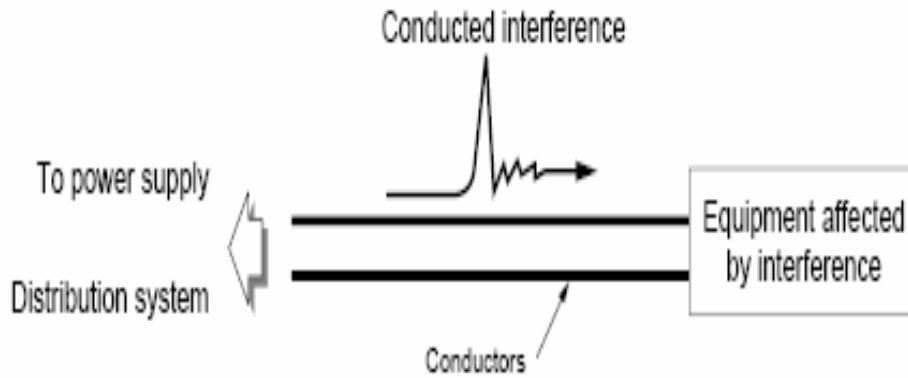
- Κοινός και διαφορικός τρόπος σύζευξης μέσω αγωγού.
- Κοινή σύζευξη εμπέδησης.
- Διαφορικός τρόπος σύζευξης μέσω ακτινοβολίας ή crosstalk.



Σχήμα 1-5: Τρόποι μετάδοσης ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών.

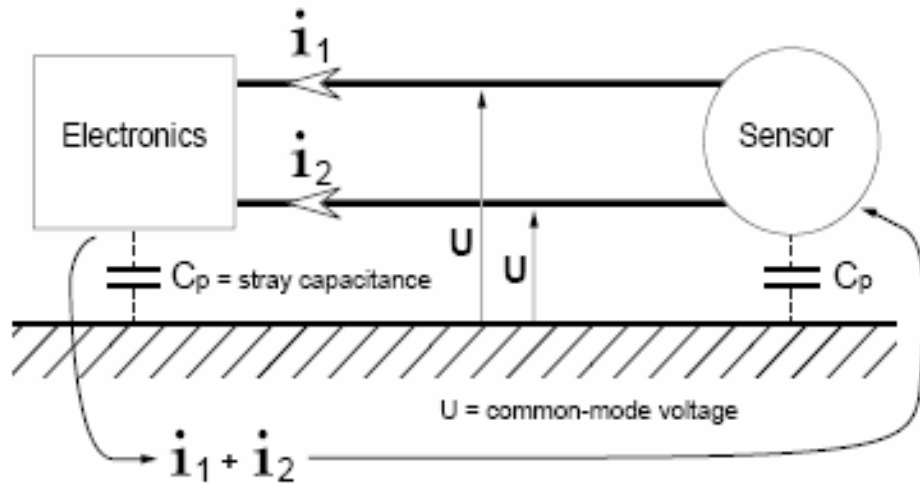
Μια διαταραχή μπορεί να διαδοθεί κατά μήκος ενός κυκλώματος δυο καλωδίων. Αυτός ο τύπος σύζευξης καλείται αγωγήμη σύζευξη. Επομένως η διαταραχή σε αυτού του είδους τις περιπτώσεις μπορεί να μεταδοθεί μέσω εσωτερικών γραμμών παροχής ισχύος ή συστημάτων διανομής, συρμάτων ελέγχου, γραμμών μεταφοράς

δεδομένων, διαύλων, καλωδίων γείωσης, κατανεμημένων χωρητικοτήτων, κλπ. Ένα παράδειγμα σύζευξης σε αγωγό φαίνεται στο σχήμα 1-6, όπου ένα σύστημα διανομής ισχύος επιδρά αρνητικά σε έναν ευαίσθητο εξοπλισμό. Υπάρχουν δύο τρόποι αγωγίμης σύζευξης. Ο κοινός και ο διαφορικός.



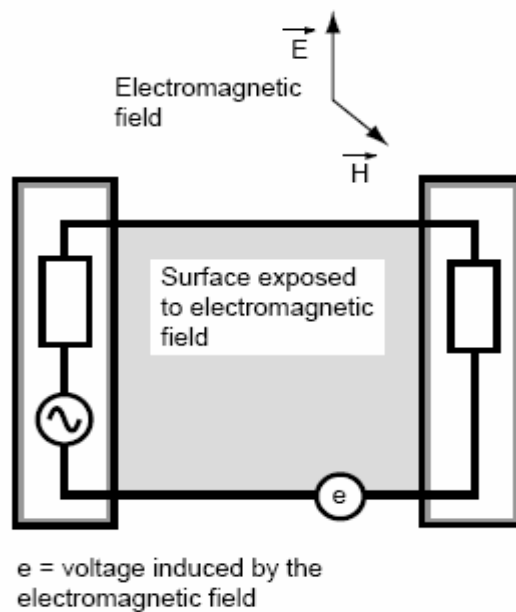
Σχήμα 1-6: Γενικό παράδειγμα διάδοσης ηλεκτρομαγνητικής διαταραχής μέσω αγωγών.

Ο κοινός τρόπος σύζευξης μέσω αγωγού παράγει τάση ή ρεύμα διαταραχής κοινού τρόπου. Η τάση διαταραχής κοινού τρόπου, όπως φαίνεται στο σχήμα 1-7, είναι η τάση των αγωγών με σημείο αναφοράς το σασί ή την γείωση και έχει επιπτώσεις σε όλους τους ενεργούς αγωγούς. Έτσι στα ηλεκτρικά συστήματα οι δοκιμές σε διακόπτες κυκλωμάτων χαμηλής τάσης γίνονται μεταξύ της γείωσης και όλων των φάσεων. Το ρεύμα κοινού τρόπου είναι το ρεύμα που διαρρέει όλους τους ενεργούς αγωγούς κατά την ίδια κατεύθυνση. Στο σχήμα 1-7 παρατηρούμε ότι το ρεύμα επιστρέφει μέσω της κατανεμημένης χωρητικότητας. Παράδειγμα ρεύματος κοινού τρόπου είναι το ρεύμα που δημιουργείται σε γραμμή χαμηλής τάσης από κεραυνικό ρεύμα (lightning impulse). Οι διαταραχές κοινού τρόπου αποτελούν το κύριο πρόβλημα σε θέματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, γιατί η διαδρομή διάδοσης τους είναι δύσκολο να διαπιστωθεί.



Σχήμα 1-7: Παράδειγμα κοινού τρόπου σύζευξης μέσω αγωγού.

Στο διαφορικό τρόπο σύζευξης μέσω αγωγού το ρεύμα διαδίδεται σε έναν από τους αγωγούς περνάει μέσα από τον εξοπλισμό και επιστρέφει μέσω ενός άλλου αγωγού, όπως παρουσιάζεται και στο σχήμα 1-8. Έτσι το ρεύμα και η τάση σε αυτόν τον τρόπο σύζευξης λαμβάνουν μέρος μεταξύ δυο φάσεων σε ηλεκτρικά συστήματα (όπως σε διακόπτες κυκλωμάτων) ή μεταξύ δύο καλωδίων που μεταφέρουν ευαίσθητα δεδομένα σε ηλεκτρονικά συστήματα.

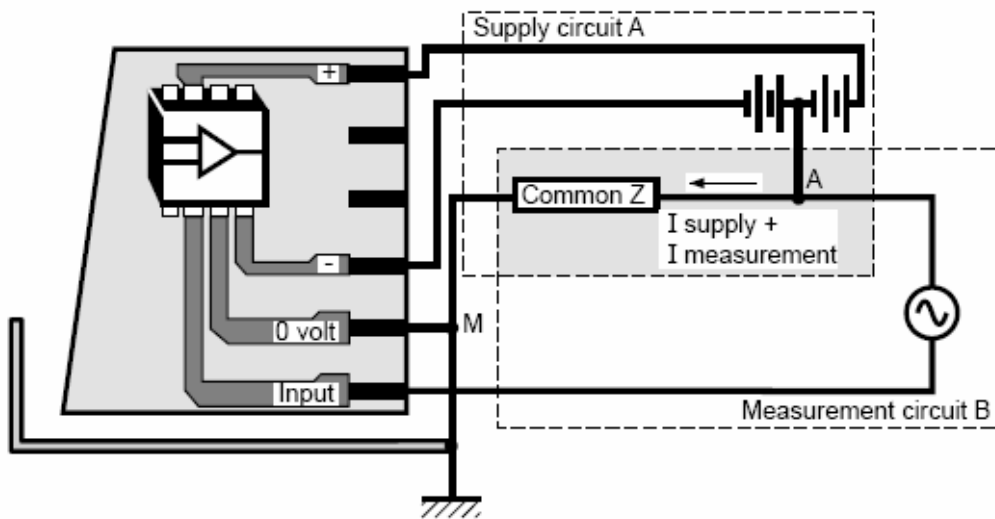


Σχήμα 1-8: Παράδειγμα διαφορικού τρόπου σύζευξης μέσω αγωγού.

Ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μπορεί να συζευχθεί με οποιαδήποτε μορφή αγωγού και να παράγει τάσεις κοινού τρόπου ή διαφορικού τρόπου ή, όπως γενικά παρατηρείται, και τα δύο. Στην περίπτωση του διαφορικού τρόπου οι εξισώσεις που περιγράφουν τη σύζευξη μεταξύ του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και του αγωγού είναι πολύ σύνθετες. Στις περισσότερες περιπτώσεις δεν μπορούν ούτε να λυθούν αναλυτικά ούτε αριθμητικά. Εν τούτοις, ένας από τους πιο συνηθισμένους τύπους σύζευξης μπορεί να εκφραστεί αναλυτικά ως εξής: η σύζευξη μεταξύ του μαγνητικού μέρους του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και του βρόχου της περιοχής A ισοδυναμεί με το κύκλωμα του σχήματος 1-9. Το μαγνητικό μέρος του πεδίου H προκαλεί στον βρόχο A μια τάση V, όπως φαίνεται, ίση με:

$$V = \mu_0 \langle A \rangle dH/dt \quad (1.1)$$

όπου $\mu_0 = 10^{-7}$ H/m είναι η διαπερατότητα στο κενό.



Σχήμα 1-9: Κοινή σύζευξη εμπέδησης.

Η σχέση 1.1 ισχύει μόνο στις περιπτώσεις που το μήκος της μεγαλύτερης πλευράς του βρόχου δεν ξεπερνά το 1/10 του μήκους κύματος της ηλεκτρομαγνητικής διαταραχής.

Κοινή σύζευξη εμπέδησης έχουμε όταν μια εμπέδηση είναι κοινή για δύο ή περισσότερα κυκλώματα. Η κοινή εμπέδηση μπορεί να είναι η σύνδεση της γείωσης, το δίκτυο της γείωσης στη γη, το δίκτυο διανομής ισχύος, ο αγωγός επιστροφής που διέρχονται πολλά σήματα χαμηλής ισχύος κ.α.

Ακολουθεί το παράδειγμα του σχήματος 1-9, όπου δύο κυκλώματα έχουν κοινή εμπέδηση, για να γίνει κατανοητή η επιρροή αυτής της σύζευξης. Ένα ρεύμα διαταραχής στο κύκλωμα Α, λίγων δεκάδων mA, είναι αρκετό για να προκαλέσει τάση διαταραχής (της τάξης των V) στο κύκλωμα Β. Αν το σημείο αναφοράς του κυκλώματος Β (πιθανό σημείο γείωσης) είναι το σημείο Μ, τότε η τάση αναφοράς μπορεί να ποικίλει για αρκετές τιμές των Volt. Αυτό επιδρά σε ηλεκτρονικά κυκλώματα που λειτουργούν με τάσεις ίδιας τάξης μεγέθους.

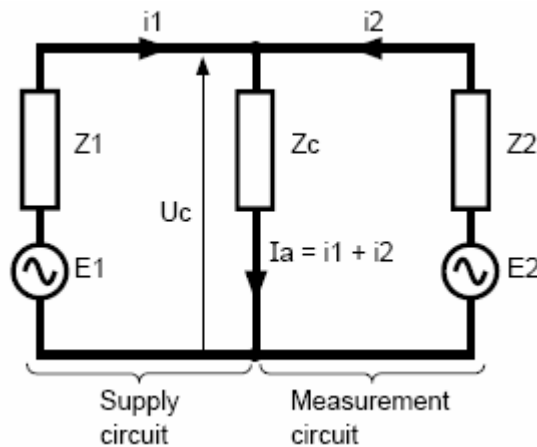
Το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 1-9 δίνεται στο σχήμα 1-10. Η διαταραχή είναι της τάξεως:

$$U_c = I_a \times Z_c \quad (1.2)$$

όπου I_a : το ρεύμα διαταραχής

Z_c : η κοινή εμπέδηση.

Σε χαμηλές συχνότητες η κοινή εμπέδηση είναι πολύ μικρή.

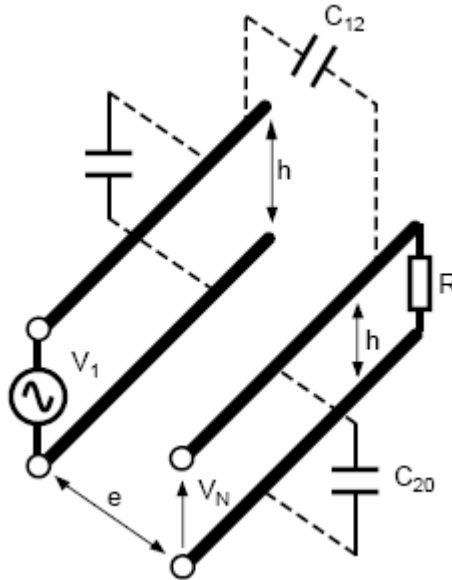


Σχήμα 1-10: Ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 1-9.

Στη σύζευξη μέσω ακτινοβολίας οι διαταραχές διαδίδονται μέσω του περιβάλλοντος (π.χ. τον αέρα κλπ). Ανάλογα τη φύση της διαταραχής, από το αν προκλήθηκε από αλλαγή του ρεύματος ή της τάσης, χωρίζεται σε δυο είδη. Στη χωρητική και επαγωγική σύζευξη.

Υπάρχει πάντα μια μη μηδενική χωρητικότητα μεταξύ ενός ηλεκτρικού κυκλώματος (καλώδιο, εξαρτήματα, κλπ) και ενός άλλου κυκλώματος που βρίσκεται κοντά στο πρώτο, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1-11. Μια απότομη μεταβολή της τάσης στο

ένα κύκλωμα δημιουργεί ένα πεδίο που για κοντινές αποστάσεις μπορεί να θεωρηθεί μόνο ηλεκτρικό. Αυτό το πεδίο επιδρά στο άλλο με αποτέλεσμα τη δημιουργία τάσης.



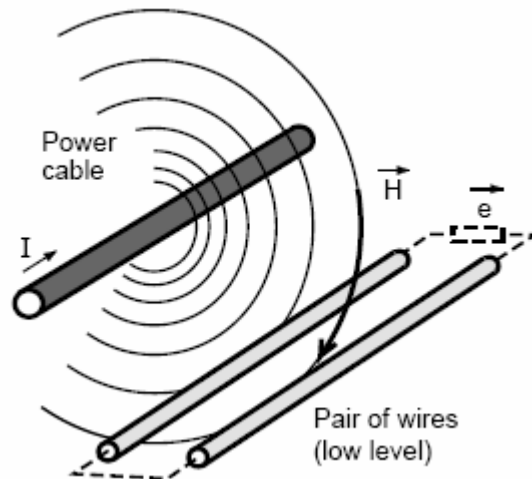
Σχήμα 1-11: Χωρητικότητες που δημιουργούνται μεταξύ κυκλωμάτων.

Αντίστοιχα μια ραγδαία αλλαγή ρεύματος σε έναν αγωγό παράγει ένα πεδίο γύρω από τον αγωγό που μπορεί να θεωρηθεί μόνο μαγνητικό. Αυτό το πεδίο μπορεί να επιδράσει σε οποιοδήποτε ζεύγος αγωγών (σχήμα 1-12) ή σε οποιοδήποτε βρόχο (σχήμα 1-13) που βρίσκεται κοντά, προκαλώντας τάση διαταραχής στα άκρα τους. Αυτή η σύζευξη ονομάζεται επαγωγική. Για τη δημιουργία του φαινομένου το ρεύμα θα πρέπει να είναι μεγάλο, πράγμα που συναντάμε συνήθως σε κυκλώματα ισχύος. Στην περίπτωση του σχήματος 1-13, το ρεύμα δίνεται από τις εξής σχέσεις:

$I = U/Z$, όπου με αντικατάσταση του $Z = 1/C\omega$ προκύπτει:

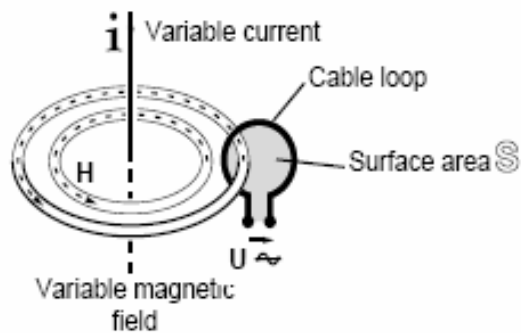
$$I = UC 2\pi f \quad (1.3)$$

Παρατηρούμε ότι το ρεύμα αυξάνει με την αύξηση της τάσης στα άκρα του βρόχου.



Σχήμα 1-12: Η επίδραση του μαγνητικού πεδίου, που δημιουργεί ένας αγωγός, σε ένα ζεύγος αγωγών.

Schematic diagram



Σχήμα 1-13: Η επίδραση του μαγνητικού πεδίου, που δημιουργεί ένας αγωγός, σε ένα βρόχο.

Χωρητική και επαγωγική σύζευξη έχουμε όταν οι αγωγοί βρίσκονται σε παράλληλη θέση ή όταν συνυπάρχουν σε κοντινή απόσταση. Η ηλεκτρομαγνητική διαταραχή αυξάνει με την αύξηση του μήκους των παράλληλων αγωγών, με τη μείωση της απόστασης δυο αγωγών και με την αύξηση της συχνότητας της διαταραχής. Για παράδειγμα στο σχήμα 1-11 η τάση διαταραχής που παράγεται μέσω της σύζευξης δίνεται από την σχέση:

$$\frac{V_N}{V_1} = \frac{j2\pi \cdot f \left[\frac{C_{12}}{C_{12} + C_{20}} \right]}{j2\pi \cdot f + \left[\frac{1}{R \cdot (C_{12} + C_{20})} \right]} \quad (1.4)$$

όπου V_N : η τάση διαταραχής

V_1 : η τάση της πηγής

C_{12} : η χωρητικότητα της σύζευξης μεταξύ δύο καλωδίων, η οποία είναι ανάλογη με το μήκος και την απόσταση των καλωδίων

C_{20} : η χωρητικότητα διαρροής μεταξύ των καλωδίων που διαταράσσονται

R : η εμπέδηση του φορτίου του ζεύγους που διαταράσσεται

Από την σχέση 1.4 προκύπτει κατά προσέγγιση:

$$\left| \frac{V_N}{V_1} \right| \approx 2\pi f \cdot \frac{\frac{C_{12}}{C_{12} + C_{20}}}{\frac{1}{R \cdot (C_{12} + C_{20})}} = 2\pi f R C_{12} = \omega R C_{12} \quad (1.5)$$

Στην πράξη, αυτού του είδους η χωρητική και επαγωγική σύζευξη εξαλείφεται με τη χρήση συνεστραμμένων ζευγών και θωρακισμένων καλωδίων.

1.4 Δέκτες και αποφυγή διαταραχών

Δέκτης ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών ονομάζεται κάθε εξοπλισμός που μπορεί να επηρεαστεί από μια διαταραχή. Πρόκειται για εξοπλισμούς που περιέχουν ηλεκτρονικά συστήματα τα οποία δυσλειτουργούν, εξαιτίας των ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών, σε ένα απροσδόκητο εύρος συχνοτήτων.

Οι δυσλειτουργίες του εξοπλισμού μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- στις μόνιμες και μετρήσιμες,
- στις τυχαίες και μη επαναλαμβανόμενες, που λαμβάνουν μέρος όταν η διαταραχή εμφανίζεται,
- στις τυχαίες και μη επαναλαμβανόμενες, που παραμένουν μετά την έκλειψη της διαταραχής,

- στη μόνιμη βλάβη του εξοπλισμού (όπου τα εξαρτήματα έχουν καταστραφεί).

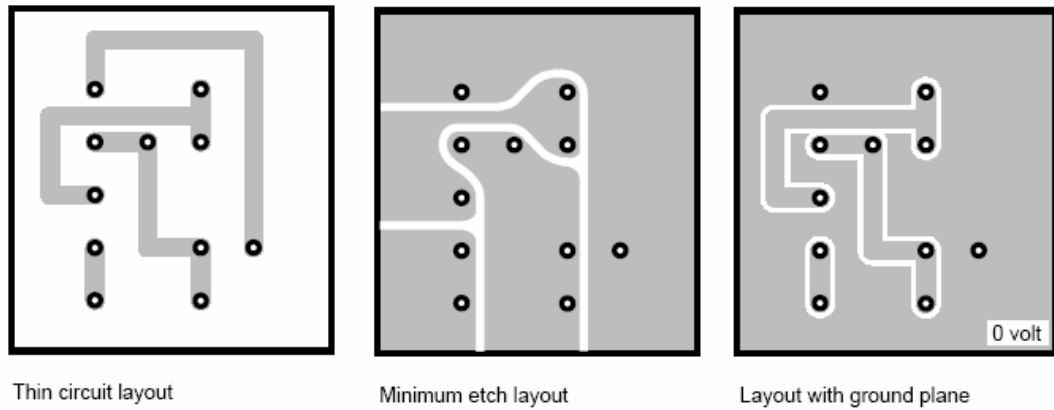
Οι παραπάνω διακρίσεις χαρακτηρίζουν την διάρκεια του σφάλματος και όχι την κρισιμότητά του. Αρκετές δυσλειτουργίες μπορούν να είναι αποδεκτές για έναν περιορισμένο χρόνο, όπως η προσωρινή απώλεια μιας απεικόνισης, και άλλες όχι, όπως οι δυσλειτουργίες εξοπλισμών ασφαλείας.

Υπάρχουν πολλές λύσεις όσον αφορά το πως ένας εξοπλισμός πρέπει να κατασκευαστεί προκειμένου να παρέχει αποτελεσματική και υψηλή ατρωσία σε ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές. Προληπτικές δοκιμές πρέπει να γίνονται:

- στον σχεδιασμό πλακετών τυπωμένου κυκλώματος (λειτουργική διαχώριση, ενδοσυνδέσεις),
- στην επιλογή των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων,
- στην επιλογή και σχεδίαση προστατευτικού καλύμματος,
- στις ενδοσυνδέσεις της γείωσης,
- στην ενσυρμάτωση.

Οι επιλογές συνεπάγονται πολλές διαφορετικές επιπτώσεις στον εξοπλισμό και θα πρέπει να γίνονται κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού για να αποφευχθούν επιπρόσθετα κόστη, που είναι πάντα υψηλά, για τροποποιήσεις αφού ο σχεδιασμός έχει ολοκληρωθεί ή ενώ το προϊόν είναι ήδη στην αγορά.

Ο σχεδιαστής του τυπωμένου κυκλώματος πρέπει να ακολουθεί συγκεκριμένους κανόνες όσον αφορά τους λειτουργικούς διαχωρισμούς και τη διάταξη. Η θέση των εξαρτημάτων μπορεί να μειώσει τις επιδράσεις της σύζευξης που προκαλείται λόγω των κοντινών αποστάσεων. Για παράδειγμα, η ομαδοποίηση εξαρτημάτων που ανήκουν στην ίδια κατηγορία κυκλωμάτων (ψηφιακά, αναλογικά, κυκλώματα ισχύος) όσον αφορά την επιδεκτικότητά τους, μειώνει τις παρεμβολές. Επιπλέον η διάταξη των ιχνών του τυπωμένου κυκλώματος επιδρά δραματικά στην επιδεκτικότητα. Το ίδιο ηλεκτρικό σχέδιο όταν εφαρμόζεται με διαφορετικούς τρόπους μπορεί να δώσει τάξεις μεγεθών με διαφορετικά επίπεδα ανοσίας. Για παράδειγμα μικρότερη χάραξη της κυκλωματικής πλακέτας (όπως στο σχήμα 1-14) μειώνει τις επιδράσεις ακτινοβολιών και ευαισθησίας.



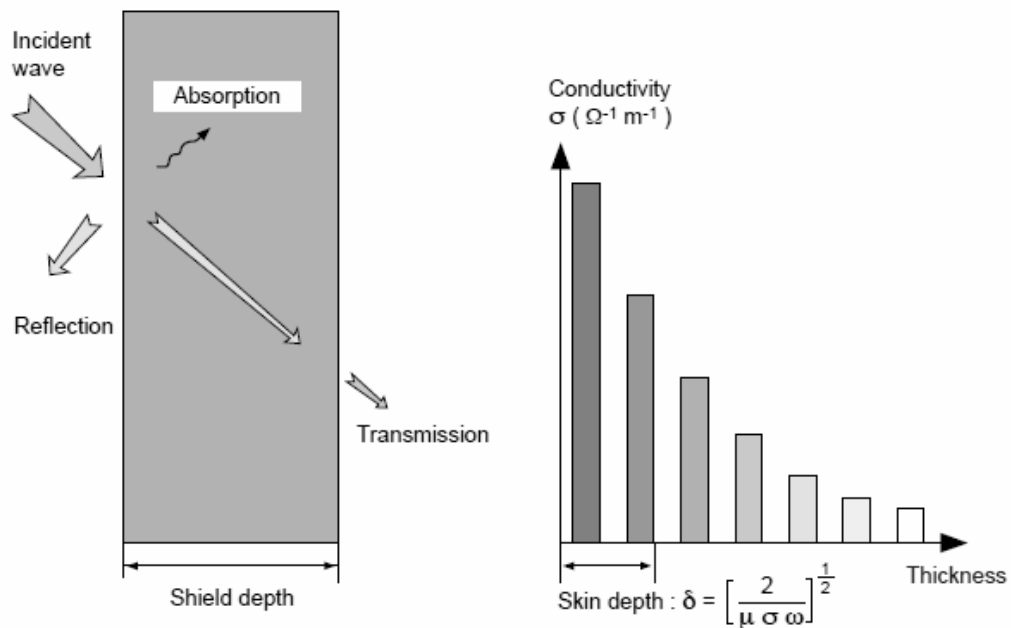
Σχήμα 1-14: Η κυκλωματική πλακέτα μπορεί να μειώσει την ευαισθησία είτε ελαττώνοντας την εμπέδηση (μικρότερη χάραξη της κυκλωματικής πλακέτας) είτε μειώνοντας τη σύζευξη του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου (επίπεδη γείωση).

Υπάρχουν πολλές συνιστώσες που παρέχουν αποτελεσματική προστασία ενάντια στις διαταραχές που μεταφέρονται μέσω αγωγών. Η επιλογή καθορίζεται από το επίπεδο ισχύος του υπό προστασία κυκλώματος (παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, έλεγχος και παρακολούθηση, κλπ) και από το τύπο διαταραχής. Συνεπώς, όταν έχουμε συνήθεις διαταραχές σε ένα κύκλωμα ισχύος, χρησιμοποιείται ένας μετασχηματιστής, αν οι διαταραχές είναι σε χαμηλές (<1 kHz) συχνότητες, ενώ αν είναι υψηλές σε συχνότητες ένα φίλτρο. Στο σχήμα υπάρχει μια γενική λίστα συσκευών προστασίας.

Τύπος	Παράδειγμα συσκευής	Εφαρμογές
Απαγωγός εξάρσεων	σπινθηριστής αλεξικέραυνο περιοριστής	τροφοδοτικό ισχύος, έλεγχος και παρακολούθηση ▪ σε εγκαταστάσεις
	δίοδος βαρίστορ δίοδος zener	▪ ηλεκτρονικά κυκλώματα
Φιλτράρισμα	μετασχηματιστής επαγωγός πυκνωτής φίλτρο	τροφοδοτικό ισχύος, έλεγχος και παρακολούθηση (εγκαταστάσεις και ηλεκτρονικά κυκλώματα)
Θωράκιση	πλέγμα αγωγών θωρακισμένος αγωγός ρεύμα δακτυλίου	μεταφορά δεδομένων (καμπίνα σε περιοχή διαταραχών)

Σχήμα 1-15: Γενική λίστα συσκευών προστασίας.

Κρατώντας τον ευαίσθητο εξοπλισμό μέσα σε προστατευτικό κάλυμμα με αγώγιμη ασπίδα παρέχεται προστασία ενάντια στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Για να υπάρξει αποτελεσματικότητα πρέπει το πάχος της αγώγιμης ασπίδας, όπως φαίνεται στο σχήμα 1-15, να είναι μεγαλύτερο από το βάθος που μπορούν να διαπεράσουν οι συχνότητες της διαταραχής. Σε διαταραχές υψηλής συχνότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί αγώγιμο βερνίκι, ενώ σε μαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας παρέχεται προστασία μόνο με υλικό υψηλής διαπερατότητας.



Σχήμα 1-16: Πάχος προστατευτικού καλύμματος για την προστασία του εξοπλισμού από ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.

Όσο αφορά τις γειώσεις η καλή ηλεκτρική συνοχή μεταξύ διαφορετικών μερών των προστατευτικών καλυμμάτων είναι εξαιρετικά σημαντική. Πρέπει να υπάρχει προσεκτική και σωστή διασύνδεση, για παράδειγμα να προστατεύονται οι περιοχές επαφής από οποιαδήποτε βαφή και επίσης να χρησιμοποιούνται κοντές, φαρδιές πλεξούδες καλωδίων (έτσι μειώνεται η σύνθετη αντίσταση στο ελάχιστο).

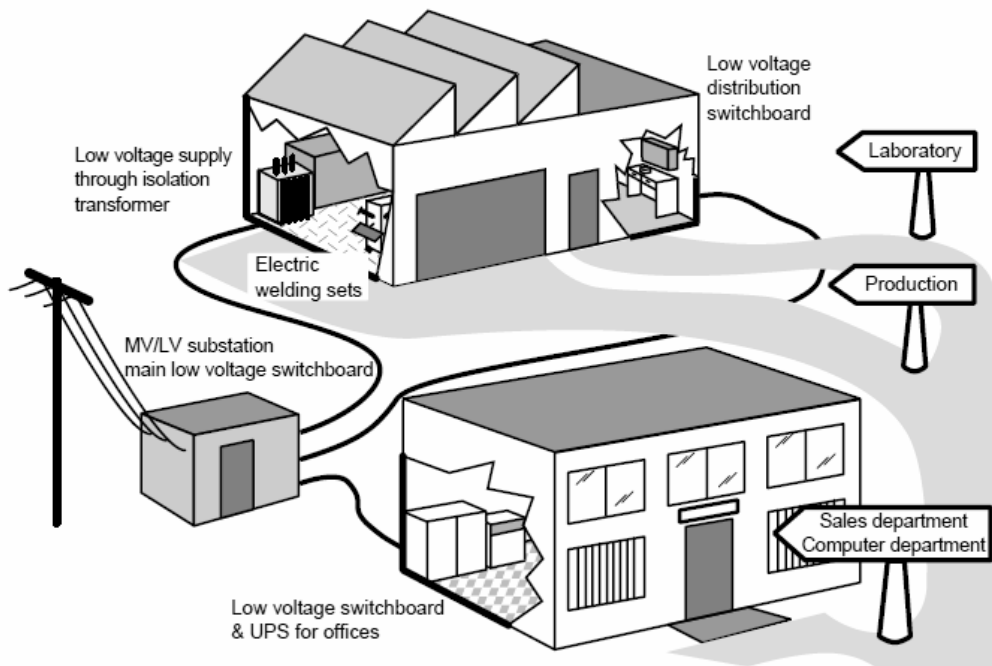
Η προστασία καλωδίων είναι μια προέκταση του αγώγιμου τυλίγματος που τοποθετείται γύρω από τα ευαίσθητα συστήματα. Γι' αυτό πρέπει να είναι όσο το δυνατόν κοντύτερο και αν είναι δυνατό η περίμετρός να προστατεύει από διαταραχές υψηλής συχνότητας.

Όταν όλοι οι σχεδιαστικοί και κατασκευαστικοί κανόνες ακολουθούνται, το σύστημα θα έχει παρουσιάσει ατρωσία στις ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές του περιβάλλοντος για το οποίο κατασκευάστηκε. Όμως αυτή η ατρωσία μπορεί να διαπιστωθεί μόνο από ακριβείς μετρήσεις που εκτιμούν την αποτελεσματικότητα των διαφόρων τεχνικών προστασίας. Στην Schneider Electric, για παράδειγμα, διαφορετικά πρότυπα μοντέλα μονάδων ηλεκτρονικών σφαλμάτων για διακόπτες κυκλωμάτων υπόκεινται σε δοκιμές με μεγάλες διαταραχές, που είναι πιθανόν να εκτεθούν. Αντικειμενικός σκοπός αυτών των δοκιμών είναι να ελεγχθεί ότι η μονάδα σφάλματος δεν λειτουργεί ακούσια και ότι ο διακόπτης κυκλωμάτων ανοίγει σωστά και στον απαιτούμενο χρόνο.

1.5 Εγκαταστάσεις - Δοκιμές EMC

Η εγκατάσταση παίζει σημαντικό ρόλο στο 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 τα EMC. Η επιλογή του εξοπλισμού και η τοποθεσία τους. Στο σχήμα 1-17 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, να είναι συνηθισμένος και να παράγει μετρίου μεγέθους διαταραχές και ο δέκτης χαμηλής ευαισθησίας, ή να βρεθεί κάποιος συνδυασμός συμβιβαστικής λύσης μεταξύ των παραπάνω ακραίων περιπτώσεων.



Σχήμα 1-17: Μελέτη κατασκευής ηλεκτρικού εξοπλισμού.

Τα έργα των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εγκαταστάσεων θα πρέπει να ακολουθούν τις οδηγίες που ήδη αναφέρθηκαν. Πρακτικά η συνύπαρξη διαφορετικών τρόπων σύζευξης πρέπει να μελετηθεί και να μειωθεί ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των 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. Στην κοινή σύζευξη εμπέδησης παρουσιάζονται τέτοιες περιπτώσεις και για αποφευχθεί αυτό, είναι απαραίτητο να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό ισοδυναμικό σύστημα γείωσης (τοποθέτηση πλέγματος γείωσης).

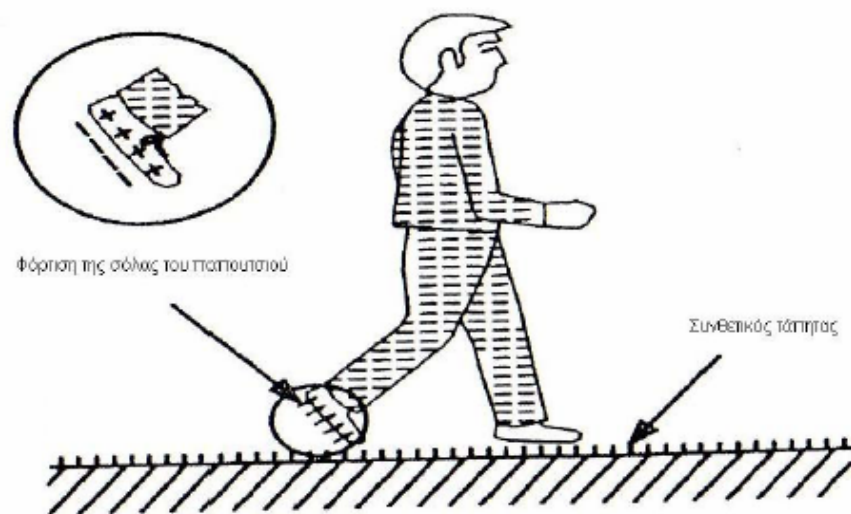
Αυτό είναι το πρώτο βήμα παροχής προστασίας σε ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές. Σε ένα εργοστασιακό δίκτυο διανομής ισχύος όλα τα καλώδια προστασίας πρέπει να

είναι μαζί και να συνδέονται στις υπάρχουσες μεταλλικές κατασκευές όπως καθορίζεται στην NF C 15-100.

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 μιας ηλεκτρικής καμπίνας είναι ένα τυπικό παράδειγμα για το ότι όλες οι γειώσεις πρέπει να είναι συνδεδεμένες μαζί.

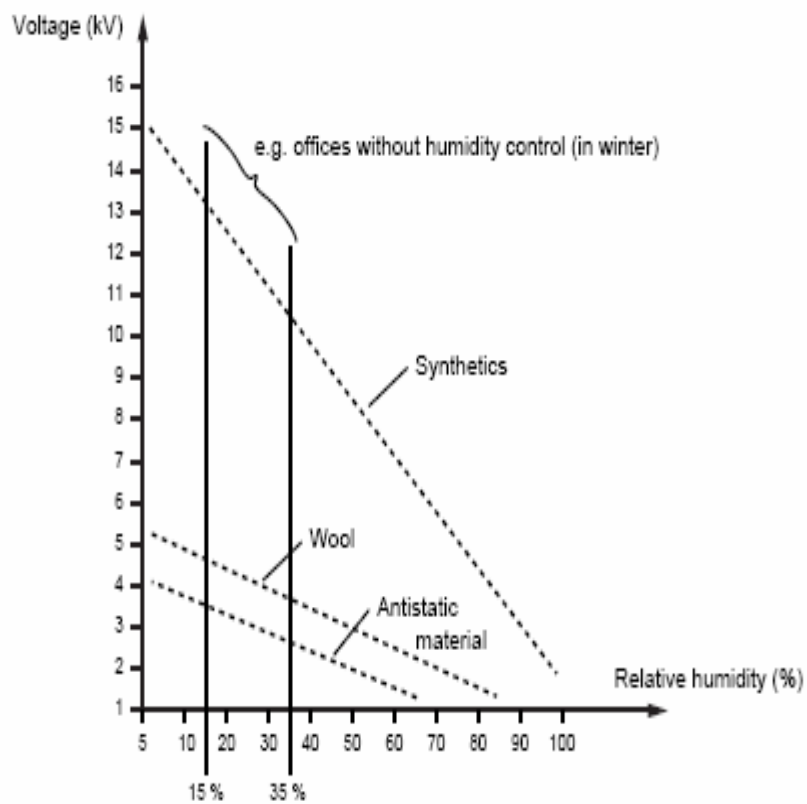
1.6 Ηλεκτροστατική εκφόρτιση (E.S.D.)

Κάτω από ορισμένες ατμοσφαιρικές και περιβαλλοντικές συνθήκες, όταν δυο μονωτικά υλικά με διαφορετικά διηλεκτρικά τρίβονται μεταξύ τους μεταφέρονται ηλεκτρόνια από το ένα υλικό στο άλλο. Έτσι δημιουργούνται στατικά φορτία και αυτό που δίνει ηλεκτρόνια φορτίζεται θετικά ενώ αυτό που δέχεται αρνητικά [1]. Τα στατικά φορτία μπορούν να αναπτυχθούν τόσο σε αντικείμενα όσο και σε ανθρώπους. Για παράδειγμα όταν ένα άτομο περπατά σε ένα χαλί, όπως στο σχήμα 1-18, με καλές μονωτικές ιδιότητες, τότε υπό συνθήκες ιδιαίτερα χαμηλής σχετικής υγρασίας, το άτομο είναι δυνατόν να φορτιστεί με στατικό ηλεκτρισμό μερικών kV. Οι μέγιστες τιμές με τις οποίες ένα άτομο μπορεί να φορτιστεί δίνεται στο σχήμα 1-19.



Σχήμα 1-18: Φόρτιση ανθρώπου εξαιτίας της τριβής του με το δάπεδο.

Ηλεκτροστατική φόρτιση μπορούμε να έχουμε και όταν δυο υλικά βρίσκονται σε απόσταση. Συγκεκριμένα όταν ένα αντικείμενο εκτίθεται σε 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, είτε μακριά από το φορτισμένο σώμα. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα το υλικό να έχει φορτίο αντίθετο από αυτό του φορτισμένου σώματος.

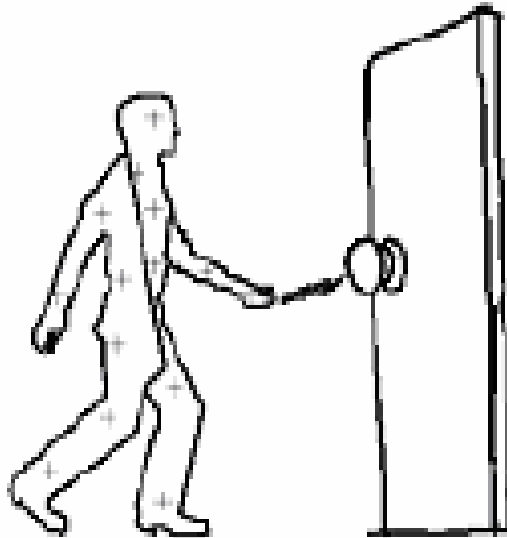


Maximum values of electrostatic voltages that may be accumulated by an operator

Σχήμα 1-19: Οι τιμές του ηλεκτροστατικού πεδίου που αναπτύσσονται σε έναν άνθρωπο εξαιτίας της τριβής του με το δάπεδο.

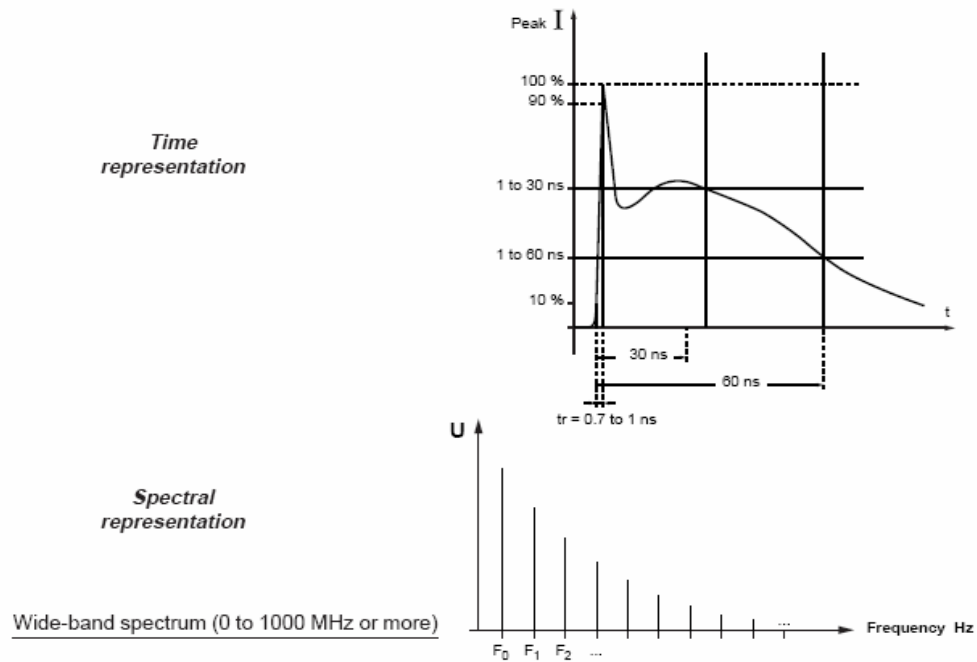
Ηλεκτροστατική εκφόρτιση λέγεται η απότομη μεταφορά του ηλεκτροστατικού φορτίου, που δημιουργήθηκε κατά την ηλεκτροστατική φόρτιση, που αναπτύσσεται όταν δυο υλικά βρεθούν σε κοντινή απόσταση ή έρθουν σε επαφή. Η εκφόρτιση

μπορεί επίσης να συμβεί είτε μεταξύ δυο αντικειμένων, είτε μεταξύ ενός ατόμου και ενός αντικειμένου [2]. Καθώς το άτομο πλησιάζει σε ένα αγωγίμο αντικείμενο, εκφορτίζεται (συνήθως με τόξο). Μια τέτοια περίπτωση φαίνεται στο σχήμα 1-20, όπου ένας άνθρωπος που είναι θετικά φορτισμένος όταν αγγίζει το μεταλλικό πόμολο της πόρτας εκφορτίζεται ηλεκτροστατικά. Οι ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις, όπως και οι φορτίσεις, εξαρτώνται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και ιδιαίτερα από την σχετική υγρασία. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό υγρασίας τόσο πιο μεγάλος είναι ο αριθμός των εκφορτίσεων, αλλά σε ήπια μορφή. Αντίθετα, όταν υπάρχει αυξημένη ξηρασία μικραίνει η συχνότητα των εκφορτίσεων, αλλά οι εκφορτίσεις είναι πιο έντονες.



Σχήμα 1-20: Εποπτική παρουσίαση της φόρτισης εξ' επαγωγής.

Το πρότυπο IEC 1000-4-2 [3] περιγράφει τα σημαντικά χαρακτηριστικά των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων που προκαλούν διαταραχές. Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο, αυτές είναι παλμοί με πολύ μικρό χρόνο ανόδου, που προσδιορίζεται περίπου στο 1 ns, διάρκειας περίπου 60 ns και με πολύ υψηλή τάση στην αρχή της εκφόρτισης που κυμαίνεται από 2 kV σε 15 kV ή και περισσότερο. Για να γίνει πιο κατανοητό ακολουθεί το σχήμα 1-21 όπου παρουσιάζονται τα διαγράμματα της χρονικής και φασματικής αναπαράστασης ενός παραδείγματος ηλεκτροστατικής εκφόρτισης.



Σχήμα 1-21: Περιγραφή των χαρακτηριστικών των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων σύμφωνα με το πρότυπο IEC 1000-4-2.

Το ρεύμα εκφόρτισης και το αντίστοιχο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο είναι δυνατόν να προκαλέσουν δυσλειτουργικότητα ή ακόμα και να καταστρέψει ηλεκτρονικά συστήματα, όπως υπολογιστές ή τερματικά. Έτσι η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή IEC θέσπισε πρότυπα για τη διεξαγωγή δοκιμών. Το αρχικό πρότυπο που δημιουργήθηκε για τις ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις ήταν το IEC 801-2 [4], το οποίο αναθεωρήθηκε και έφτασε στην τελική του μορφή ως IEC 61000-4-2 [5]. Αντικειμενικός σκοπός αυτού του προτύπου είναι να ορίσει ένα κοινό σημείο αναφοράς στην εκτίμηση της λειτουργίας των οργάνων όταν υπόκεινται σε ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις. Περιγράφει τη μέθοδο και τις διαδικασίες που πρέπει να ακολουθηθούν για τη διενέργεια της δοκιμής ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων στα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα με έμφαση στον οικιακό εξοπλισμό, σε εξοπλισμό πληροφορικής, φωτιστικά και σε όργανα μέτρησης. Το πρότυπο ορίζει τις τυπικές κυματομορφές του εκφορτιζόμενου ρεύματος, τα επίπεδα δοκιμών, τον εξοπλισμό δοκιμών και τη διαδικασία με την οποία θα πρέπει να γίνεται κάθε φορά η διακρίβωση των γεννητριών ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων.

1.7 EMC και τηλεπικοινωνίες

Η απαρχή της επανάστασης των τηλεπικοινωνιών, όπως όλοι τη βιώνουμε καθημερινά, συντελέστηκε στις αρχές του προηγούμενου αιώνα και βρήκαν εφαρμογές αναρίθμητες. Αυτή η πληθώρα τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών απαιτούσε ολοένα και μεγαλύτερο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, με αποτέλεσμα στις ημέρες μας οι συχνότητες λειτουργίας τους να εκτείνονται μέχρι αυτές του φωτός.

Σχεδόν όμως παράλληλα με την ανάπτυξη και εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών, οι επιστήμονες παγκοσμίως άρχισαν να παρατηρούν φαινόμενα ηλεκτρομαγνητικής παρενόχλησης μεταξύ των συσκευών και των συστημάτων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης των συσκευών ή των συστημάτων. Αρχικά, τέτοια φαινόμενα παρατηρήθηκαν σε συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης και σε ραδιοφωνικές εκπομπές και λήψεις σημάτων. Στις ημέρες μας, όπου η χρήση ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών είναι εκτεταμένη, η μελέτη των προβλημάτων ηλεκτρομαγνητικής παρενόχλησης είναι κρίσιμη για τη σχεδίαση και την απρόσκοπτη λειτουργία τους σε όλο το ρεπερτόριο των εφαρμογών τους όπως: στα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, στα συστήματα αυτόματου ελέγχου, στα κινητά τηλέφωνα, στις οικιακές συσκευές και στα ιατρικά μηχανήματα.

Μπορεί να ειπωθεί ότι το πρόβλημα των παρεμβολών άρχισε να υφίσταται από τον πρώτο σπινθηρισμό στο πείραμα του Marconi στο τέλος του 19ου αιώνα. Το 1901, ο Marconi δημιούργησε την πρώτη υπερατλαντική ζεύξη χρησιμοποιώντας ένα πλαίσιο από σύρματα χαλκού. Οι μόνοι δέκτες ουσιαστικής σημασίας τότε ήταν οι ραδιοφωνικοί δέκτες. Ήταν λίγοι και ευρέως διασκορπισμένοι, οπότε το πρόβλημα των παρεμβολών ήταν εύκολο να λυθεί. Τα πρώτα τεχνικά έγγραφα σχετικά με τις ραδιοπαρεμβολές εμφανίστηκαν το 1920. Οι κεραίες και οι δέκτες εκείνης της εποχής ήταν ευαίσθητες σε παρεμβολές. Η βελτίωση στη σχεδίαση των συστημάτων πομπών/δεκτών έλυσε το πρόβλημα.

Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκόσμιου Πολέμου, η χρήση ηλεκτρονικών συσκευών, κυρίως ραδιοπομπών, συσκευών πλοήγησης και radar, αυξήθηκε με αποτέλεσμα την

αύξηση των εμφανιζόμενων παρεμβολών. Η χρήση της τεχνικής επανατοποθέτησης συχνότητας σε ένα όχι ευρέως χρησιμοποιούμενο φάσμα συχνοτήτων διόρθωσε σημαντικά τα προβλήματα που προκλήθηκαν. Η μεγάλη αύξηση των προβλημάτων παρεμβολών εμφανίστηκε στη δεκαετία του '50 με την εφεύρεση των υψηλής πυκνότητας ηλεκτρονικών παραγόντων όπως το διπολικό τρανζίστορ και στη δεκαετία του '70 με τα ολοκληρωμένα κυκλώματα και τα chip μικροεπεξεργαστών. Επίσης οι αυξανόμενες ανάγκες για υπηρεσίες φωνής και δεδομένων κατέστησε περισσότερο «συνωστισμένο» το φάσμα συχνοτήτων. Οι προσπάθειες για εξεύρεση λύσης εναπόκεινται στον προσεκτικό σχεδιασμό, που λαμβάνει υπόψη του τη χρησιμοποίηση του φάσματος, και συνεχίζονται μέχρι σήμερα.

Υπάρχουν αρκετά παραδείγματα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, από τα πιο συνηθισμένα ως τα πιο καταστροφικά, που τονίζουν τη σημασία που πρέπει να δίνεται στην ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα των συστημάτων που χρησιμοποιούνται.

Πιθανόν το πιο συνηθισμένο παράδειγμα είναι η εμφάνιση οριζόντιων γραμμών στον τηλεοπτικό δέκτη όταν μια ηλεκτρική σκούπα ή κάποια άλλη συσκευή με dc κινητήρα βρίσκεται σε λειτουργία στο κοντινό περιβάλλον της τηλεόρασης. Η αιτία που το προκαλεί είναι οι σπινθηρισμοί που προκαλούνται στο μοτέρ κατά τη λειτουργία του κινητήρα. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που δημιουργούνται είναι πλούσια σε φασματικό περιεχόμενο και λαμβάνονται από τον δέκτη της τηλεόρασης μέσω του καλωδίου τροφοδοσίας της συσκευής που λειτουργεί σαν μια πολύ ικανή κεραία.

Κάποια τρέιλερ φορτηγών είχαν εγκατεστημένα ηλεκτρικά φρένα. Χρησιμοποιώντας ένα CB πομπό σε ένα αυτοκινητόδρομο, κάποιος προκαλούσε το κλείδωμα των ηλεκτρικών φρένων. Το πρόβλημα λύθηκε καλύπτοντας με μεταλλικό περίβλημα το κύκλωμα των φρένων.

Το 1982, το Ηνωμένο Βασίλειο έχασε ένα καταδρομικό, το HMS Sheffield, από ένα πύραυλο Exocet σε μια αναμέτρηση με τις δυνάμεις της Αργεντινής στον πόλεμο των Falklands. Το σύστημα επικοινωνιών του πλοίου δε λειτουργούσε σωστά όταν ήταν ενεργοποιημένο το σύστημα έγκαιρης ειδοποίησης πυραύλων. Προκειμένου να επικοινωνήσουν με τους επιτελείς του στόλου, το πλήρωμα του καταδρομικού έκλεισε το εν λόγω σύστημα και δέχτηκε τον αντίπαλο πύραυλο.

Το ελικόπτερο του Αμερικάνικου Στρατού UH-60 Black Hawk ήταν ευαίσθητο εκ σχεδιασμού σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές από radar sites ή ακόμη και από CB πομπούς. 22 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους σε ατυχήματα σχετιζόμενα με παρεμβολές.

Τέλος, το 1967 το Αμερικανικό αεροπλανοφόρο Forrestal είχε αναπτυχθεί στη θάλασσα του Βόρειου Βιετνάμ. Η παραγωγή σημάτων RF (Radio Frequency, 3 Hz - 300 GHz) συχνοτήτων στις ενώσεις του radar υψηλής ισχύος του πλοίου προκάλεσε την ενεργοποίηση των βομβών των βομβαρδιστικών που ήταν πάνω στο πλοίο οδηγώντας στο θάνατο 134 ναύτες.

Έχουν ακουστεί πολλά παραδείγματα βενζινάδικων που ανατινάχθηκαν εξαιτίας των παρεμβολών που δημιούργησαν κινητά τηλέφωνα στην αντλία καυσίμων, που σε συνδυασμό με τα παραπάνω παραδείγματα υπογραμμίζουν τη σπουδαιότητα που παρουσιάζει η μελέτη της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας σε όλα τα συστήματα που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος.

Τέσσερις είναι οι θεμελιώδεις τεχνολογικές-σχεδιαστικές τάσεις, στις οποίες οφείλεται, εν πολλοίς, η ραγδαία αύξηση των περιστατικών παρατήρησης του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής παρενόχλησης στις τηλεπικοινωνίες στις ημέρες μας. Πρώτον η σύγχρονη ψηφιακή επεξεργασία των σημάτων που είναι, κατά κύριο λόγο, βασισμένη σε σχετικά χαμηλές τιμές κατωφλίου τάσεως, συγκρινόμενη με τις παλαιότερες τεχνολογίες (όπως αυτή των λυχνιών που απαιτούσαν τάσεις της τάξεως εκατοντάδων Volts). Με άλλα λόγια, η ατρωσία των συσκευών, που χρησιμοποιούν αυτή τη σύγχρονη τεχνολογία είναι σαφώς μειωμένη. Δεύτερον, στην ατέρμονη διαδικασία αναζήτησης υψηλότερων ταχυτήτων επεξεργασίας, οι παλμοί εμφανίζονται διαρκώς στενότεροι, με αποτέλεσμα να συνεισφέρουν σημαντικές ποσότητες ενέργειας σε υψηλότερες φασματικές συνιστώσες, οι οποίες είναι ικανές να διαδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις του χώρου από μηχανισμούς ακτινοβολήσης. Τρίτον, ακολουθώντας τις προσταγές της αγοράς, η σχεδιαστική λογική είναι βασισμένη σε παραγωγή διατάξεων μικρότερων διαστάσεων, που επιφέρουν προβλήματα σύζευξης μεταξύ των εσωτερικών στοιχείων του ίδιου του κυκλώματος. Τέταρτον, η εκτεταμένη χρησιμοποίηση του φθηνού και ελαφριού πλαστικού έναντι του μετάλλου ως προστατευτικού περιβλήματος των συσκευών μειώνει αισθητά τη θωράκιση των τελευταίων.

1.8 Πρότυπα, εγκαταστάσεις δοκιμής και δοκιμές

1.8.1 Πρότυπα

Διεθνή πρότυπα που ρυθμίζουν την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα των συστημάτων υπάρχουν εδώ και πολύ καιρό. Οι πρώτοι κανονισμοί εκδόθηκαν από το CISPR 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.

Εθνικές επιτροπές και η International Electrotechnical Commission (IEC) έχουν πρότυπα που καλύπτουν όλες τις πτυχές της εκπομπής και της ευαισθησίας του EMC που συναντιούνται.

Τα στρατιωτικά πρότυπα στο EMC έχουν συνταχθεί στη σειρά GAM EG 13 [8] στη Γαλλία και στη σειρά MIL-STD [6] στις Η.Π.Α. Η αυξανόμενη σημασία του EMC και η ενοποίηση της Ευρώπης προκαλούν αλλαγή του τοπίου των πολιτικών προτύπων.

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο δημοσίευσε μια οδηγία (αναφορά 89/336/EK) το Μάιο του 1989 γι' αυτό το θέμα. Αφορά 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 υποχρεωτικές.

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία όχι μόνο επιβάλλει τα όρια στις εκπεμπόμενες διαταραχές αλλά και θέτει την ελάχιστη ατρωσία στις ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές. Η οδηγία αναφέρεται στα πρότυπα που καθορίζουν τα μέγιστα επίπεδα διαταραχής.

Τεχνικές Επιτροπές ήταν καθιερωμένες από την CENELEC, European Committee for Electrotechnical Standardization. Συγκέντρωσαν τα υπάρχοντα πρότυπα που αντιστοιχούν στην εφαρμογή της Οδηγίας, και πρόσθεσαν τα πρότυπα που έλειπαν. Η Τεχνική Επιτροπή TC 210 βάσισε την εργασία της στην πραγματική βιομηχανική πρακτική.

Για δοκιμές εκπομπών, τα Γερμανικά πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν για κάποιο χρόνο ως αναφορά ήταν τα VDE 0871 και VDE 0875. Αυτά αντικαθίστανται τώρα από τα πρόσφατα Ευρωπαϊκά πρότυπα EN 55011 και EN 55022. Τα πρότυπα

αναφοράς για το EMC είναι τώρα η σειρά IEC 61000 (πρώην IEC 1000), η οποία περιέχει διάφορα μέρη, για παράδειγμα:

- 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

Οι δοκιμές ατρωσίας περιλαμβάνουν:

1. Επισκόπηση των δοκιμών ανοσίας
2. Ηλεκτροστατική εκφόρτιση
3. Ακτινοβλούμενα, ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνότητας
4. Ραγδαία ηλεκτρικά ξεσπάσματα
5. Κύματα
6. Διαταραχές αγωγής > 9 kHz
7. Αρμονικές
8. Συχνότητα ισχύος μαγνητικού πεδίου
9. Παλμός μαγνητικών πεδίων
10. Μετριάσμένες ταλαντώσεις μαγνητικών πεδίων
11. Βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και μεταβολή
12. Κύματα ταλάντωσης
13. Αρμονικές και ενδοαρμονικές
14. κλπ.

Αυτά τα πρότυπα είναι ευρέως αποδεκτά στη διεθνή κοινότητα.

1.8.2 Εγκαταστάσεις δοκιμής

Για να υπάρχει συμφωνία με τους κανονισμούς, πρέπει να γίνουν τυποποιημένες

μετρήσεις και δοκιμές οι οποίες καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα των εφαρμογών EMC.

- Ηλεκτροστατικές δοκιμές εκφόρτισης.
- Κατευθυνόμενες και ακτινοβολούσες δοκιμές ανοσίας.
- Κατευθυνόμενες και ακτινοβολούσες δοκιμές εκπομπής.

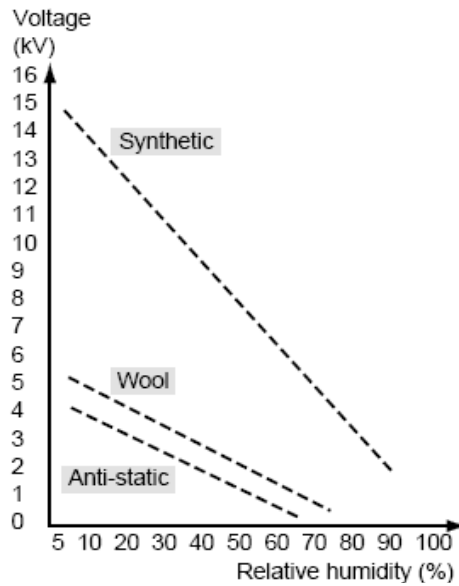
Όπως όλες οι μετρήσεις, έτσι και της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας πρέπει να αναπαράγονται σε χρόνο και διάστημα, το οποίο σημαίνει ότι δύο μετρήσεις διενεργηθείσες σε δύο διαφορετικά εργαστήρια πρέπει να δίνουν τα ίδια αποτελέσματα. Αυτό προϋποθέτει για τις δοκιμές EMC μεγάλες εγκαταστάσεις που απαιτούν ιδιαίτερη επένδυση και ποιότητα στην ακρίβεια.

1.8.3 Δοκιμές

1.8.3.1 Ηλεκτροστατική εκφόρτιση

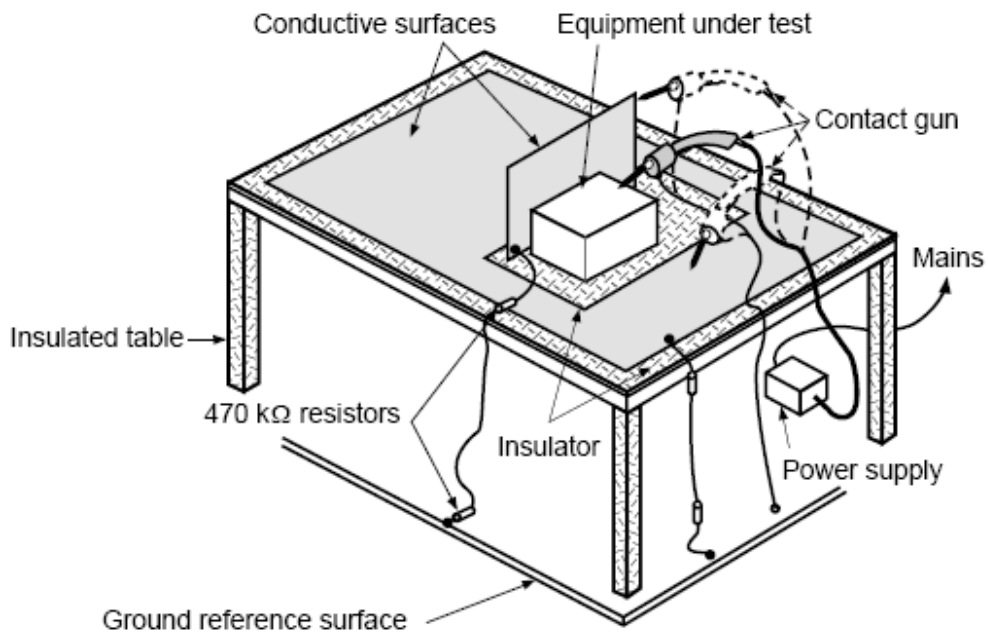
Αυτές οι δοκιμές έχουν ως σκοπό να ελέγξουν την ατρωσία των κυκλωμάτων, του εξοπλισμού και των συστημάτων στην ηλεκτροστατική εκφόρτιση.

Οι ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις είναι το αποτέλεσμα των φορτίων που συσσωρεύονται από ένα άνθρωπο, παραδείγματος χάριν, που περπατάει σε ένα πάτωμα που καλύπτεται με ένα ηλεκτρικά μονωμένο υλικό. Όταν ο άνθρωπος αγγίζει ηλεκτρικά αγωγικό υλικό που είναι συνδεδεμένο μέσω μιας σύνθετης αντίστασης με το έδαφος, αυτός εκφορτίζεται ξαφνικά μέσω της σύνθετης αντίστασης. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η κυματομορφή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εκπομπού (την πηγή της εκφόρτισης) και των εμπλεκόμενων κυκλωμάτων, αλλά και άλλων παραμέτρων όπως η σχετική υγρασία όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1-22 ή η ταχύτητα με την οποία το φορτισμένο σώμα προσεγγίζει (στο παράδειγμα αυτό, το χέρι του ανθρώπου, κλπ).



Σχήμα 1-22: Η επίδραση της σχετικής υγρασίας στην ηλεκτροστατική εκφόρτιση τάσης για τρία είδη δαπέδου.

Αυτή η έρευνα έχει οδηγήσει σε τυποποιημένες δοκιμές εκφόρτισης. Εκτελούνται με ένα πιστόλι ηλεκτροστατικής εκκένωσης που εξομοιώνει έναν άνθρωπο στις προκαθορισμένες διαμορφώσεις. Μια τυπική διάταξη δοκιμών φαίνεται σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-4-2 [5] φαίνεται στο σχήμα 1-23.



Σχήμα 1-23: Χώρος ηλεκτροστατικής εκκένωσης όπως καθορίζεται από το πρότυπο IEC 61000-4-2.

Οι εκφορτίσεις εφαρμόζονται σε όλα τα προσιτά μέρη του δοκιμίου, στο άμεσο περιβάλλον της και επαναλαμβάνονται για ικανοποιητικό αριθμό ώστε να είναι βέβαιο ότι η συσκευή αντιστέκεται στην ηλεκτροστατική εκφόρτιση.

Αυτές οι μετρήσεις απαιτούν κατάλληλο πεδίο δοκιμών. Όλες οι δοκιμές καθορίζονται πλήρως από το πρότυπο IEC 61000-4-2 [5] με τα επίπεδα που παρουσιάζονται στον πίνακα.

Severity level	Tests voltage (kV), $\pm 10\%$	
	Air discharge	Contact discharge
1	2	2
2	4	4
3	8	6
4	15	8

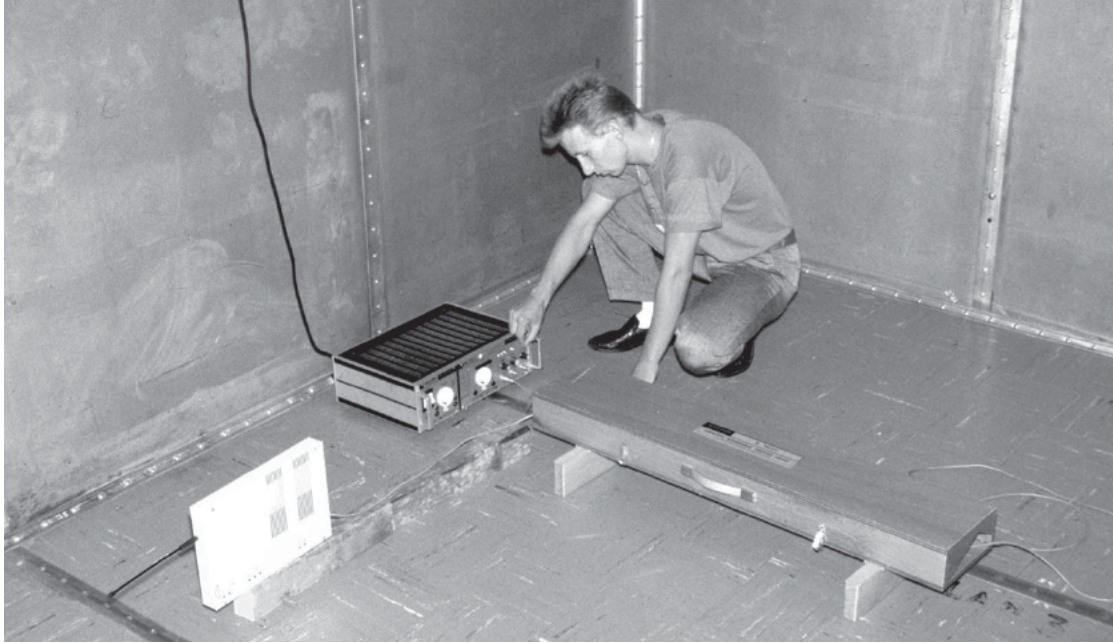
Σχήμα 1-24: Οι τάσεις ηλεκτροστατικής εκφόρτισης που οι συσκευές πρέπει να αντέχουν για να υπακούουν στο IEC 61000-4-2.

1.8.3.2 Ατρωσία αγωγής

Οι δοκιμές ατρωσίας χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν την αντίσταση του εξοπλισμού σε διαταραχές που φτάνουν σε αυτόν μέσω των εξωτερικών καλωδίων (είσοδοι, έξοδοι και τροφοδοσία ρεύματος). Αυτές οι διαταραχές διαφέρουν ανάλογα με το είδος και τα χαρακτηριστικά εγκατάστασης του καλωδίου. Τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα ή οι παλμοί που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις δοκιμές έχουν χαρακτηριστικά πλάτη, κυματομορφές, συχνότητες, κλπ.

Μετρήσεις των διαταραχών που έγιναν σε διάφορα μέρη έχουν οδηγήσει στην επιλογή πέντε δοκιμών.

- Η πρώτη δοκιμή, που καλύπτεται από το IEC 61000-4-4 [7], εξομοιώνει χαρακτηριστικές διαταραχές που παράγονται από τη λειτουργία του εξοπλισμού ελέγχου.



Σχήμα 1-24: Η ευαισθησία σε ταχεία μεταβατικά φαινόμενα (*fast transients*), μετριέται με μια κύρια μονάδα ελέγχου Isis (δοκιμή 61000-4-4) σε ένα κλωβό Faraday. Στη φωτογραφία φαίνεται γεννήτρια διαταραχής που ρυθμίζεται από έναν χειριστή, η ξύλινη θήκη περιέχει την αρπάγη σύζευξης και τη κύρια μονάδα ελέγχου συνδεδεμένη με το δίκτυο Batibus.

- Η δεύτερη δοκιμή είναι αντιπροσωπευτική των δευτερευόντων αποτελεσμάτων που δημιουργούνται από φαινόμενα όπως ο κεραυνός. Αυτή εξομοιώνει τις διαταραχές αγωγής που εμφανίζονται στις γραμμές μεταφοράς χαμηλής τάσης μετά από χτύπημα κεραυνού (πρότυπο IEC 61000-4-5 [8]).
- Η τρίτη δοκιμή εκτελείται σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-4-6 [9]. Εξετάζει τις απαιτήσεις όσον αφορά την ατρωσία του εξοπλισμού σε διαταραχές υψηλών συχνοτήτων στα καλώδια, με πεδίο από 150 kHz έως 80 MHz (ακόμα και 230 MHz).
- Η τέταρτη δοκιμή αποτελείται από τη δημιουργία σύντομων διακοπών και βυθίσεων τάσης στα καλώδια παροχής ηλεκτρικού ρεύματος του δοκιμίου. Το πρότυπο IEC 61000-4-11 [10] είναι η βασική αναφορά. Αυτές οι διαταραχές προκαλούνται από σφάλματα στην κεντρική παροχή, την εγκατάσταση ή από ξαφνική σημαντική αλλαγή του φορτίου.

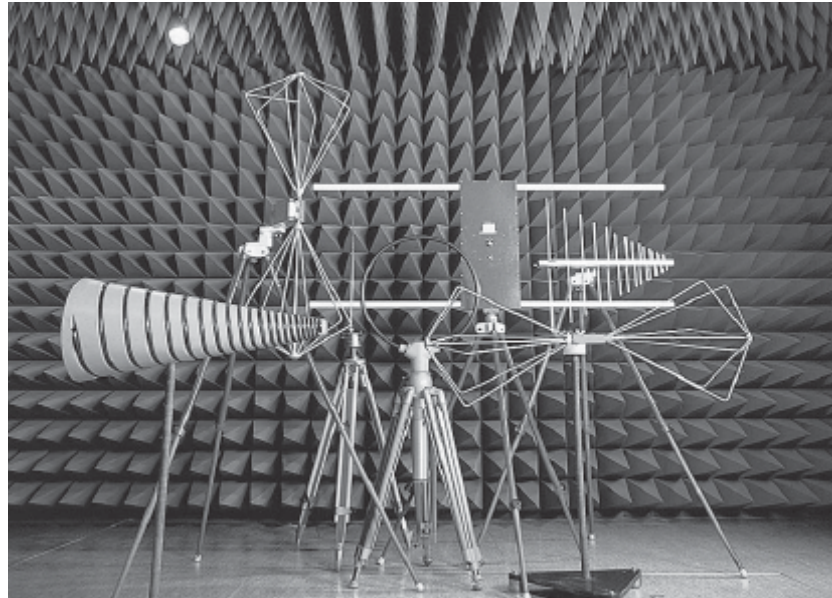
- Η πέμπτη δοκιμή βασίζεται στο πρότυπο IEC 61000-4-12 [11], το οποίο καθορίζει δύο τύπους κυματομορφών:
 - Αποσβαινόμενα ημιτονικά κύματα που εμφανίζονται σε καλώδια χαμηλής τάσης δημοσίων ή ιδιωτικών δικτύων ακολουθούμενα από λειτουργία μεταγωγής.
 - Αποσβαινόμενα ταλαντούμενα κύματα τα οποία εμφανίζονται με τη μορφή εκρήξεων. Αυτά βρίσκονται κυρίως στους υποσταθμούς, στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, ή ακόμα και στις μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

1.8.3.3 Ατρωσία ενάντια στις ακτινοβολούμενες εκπομπές

Οι δοκιμές ατρωσίας ενάντια στις ακτινοβολούμενες εκπομπές επινοήθηκαν για να εξασφαλίσουν την ικανοποιητική λειτουργία του εξοπλισμού όταν είναι εκτεθειμένος σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

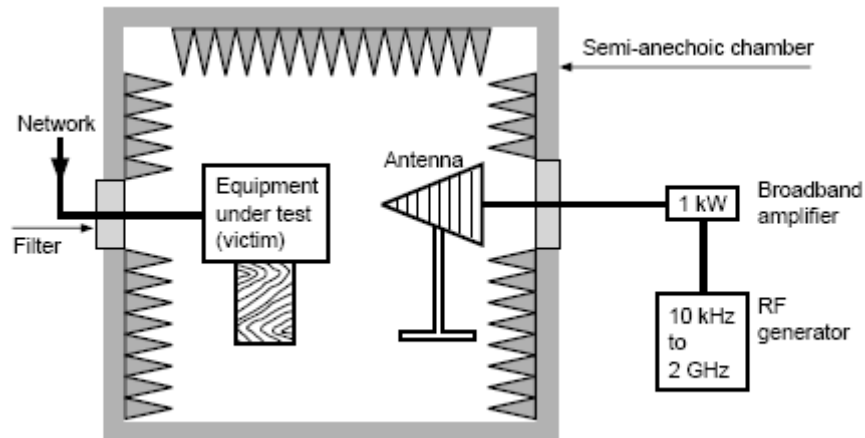
Δεδομένου ότι αυτές οι δοκιμές είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στο περιβάλλον, τα μέσα και τα επίπεδα αποδοτικότητας που απαιτούνται για να παράγουν αξιόπιστες και αναπαραγώγιμες μετρήσεις ατρωσίας, πρέπει να είναι πολύ υψηλά.

Το περιβάλλον πρέπει να είναι ελεύθερο από κύματα που λογικά υπάρχουν, αφού ηλεκτρομαγνητικά πεδία με ένταση μερικών V/m συναντώνται συχνά (όπως για παράδειγμα στο διπλής κατεύθυνσης φορητό ραδιόφωνο) και παλλόμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία με ακόμα πιο υψηλά επίπεδα είναι συνηθισμένα σε βιομηχανικό περιβάλλον. Αυτές οι δοκιμές πρέπει επομένως να γίνονται σε κλωβούς Faraday με τοίχους καλυμμένους από υλικά για την απορρόφηση της υψηλής συχνότητας. Αυτοί οι κλωβοί καλούνται ανηχωικοί θάλαμοι όταν καλύπτονται όλοι οι τοίχοι συμπεριλαμβανομένου του πατώματος και ημι-ανηχωικοί, όπως στην περίπτωση του σχήματος 1-25, όταν το πάτωμα δεν καλύπτεται. Στους θαλάμους, τα πεδία παράγονται από διαφορετικού τύπου κεραίες ανάλογα με τον τύπο πεδίου, το φάσμα συχνότητας και τη πόλωση όπως για παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 1-25. Οι κεραίες οδηγούνται από έναν ενισχυτή ισχύος ευρείας ζώνης ελεγχόμενο από μια γεννήτρια ραδιοσυχνοτήτων (RF generator).



Σχήμα 1-25: Κλωβός Faraday (Faraday Cage), ημι-ανηχικός θάλαμος μέσα στον οποίο υπάρχουν κεραιές σε ένα EMC εργαστήριο της Schneider Electric.

Τα παραγόμενα πεδία βαθμονομούνται χρησιμοποιώντας ευρυζωνικούς ισοτροπικούς αισθητήρες. Το σχήμα 1-26 παρουσιάζει μια χαρακτηριστική εγκατάσταση δοκιμής.



Σχήμα 1-26: Τυπική εγκατάσταση δοκιμής σε κλωβό Faraday. Οι μετρήσεις εκτελούνται σε δυο στάδια.

α) Βαθμονόμηση του πεδίου για δοσμένο εύρος συχνοτήτων, χωρίς δοκίμιο.

β) Επαλήθευση της ατρωσίας του δοκίμιου.

Τα πρότυπα καθορίζουν τα αποδεκτά όρια διαταραχής. Ως εκ τούτου, το πρότυπο IEC 61000-4-3 [12] προβλέπει δοκιμές σε συχνότητες 80 MHz - 2000 MHz με τρία επίπεδα δριμύτητας (1, 3, 10 V/m), και σε συχνότητες 800 MHz - 960 MHz και 1,4 GHz - 2 GHz με τέσσερα επίπεδα δριμύτητας: 1, 3, 10 και 30 V/m.

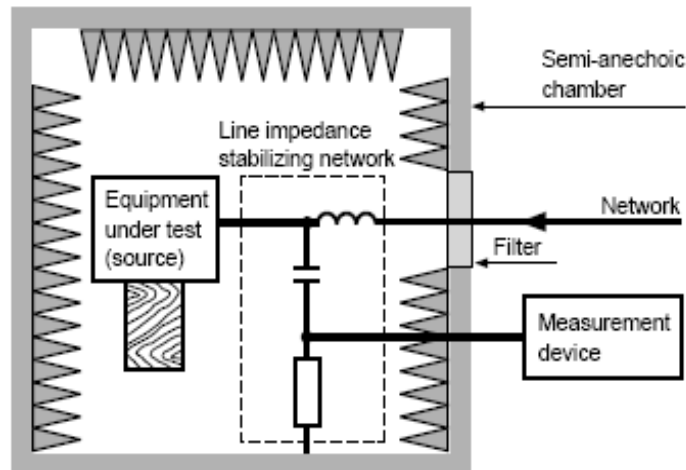
Οι δοκιμές ατρωσίας στα μαγνητικά πεδία σε βασικές συχνότητες γίνονται επίσης σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-4-8 [13]. Τέτοια μαγνητικά πεδία παράγονται από τη κυκλοφορία ρεύματος στα καλώδια, ή, πιο σπάνια, από άλλες συσκευές τοποθετημένες κοντά, όπως διασπορά ροής από μετασχηματιστές.

Τα μόνιμα πεδία σε επίπεδα δοκιμών έχουν ρεύματα μεταξύ 1 και 100 A/m, ενώ αυτά που είναι μικρής διάρκειας - περίπου 1 έως 3 s - έχουν ρεύματα 300 ή 1000 A/m. Το μαγνητικό πεδίο λαμβάνεται από την κυκλοφορία ρεύματος σε μια σπείρα επαγωγής. Εφαρμόζεται στο δοκίμιο σύμφωνα με τη μέθοδο βύθισης (immersion method), δηλαδή τοποθετείται στο κέντρο της σπείρας. Αυτή η δοκιμή θα πρέπει να διεξάγεται μόνο σε εξοπλισμό με εξαρτήματα που είναι ευαίσθητα σε μαγνητικά πεδία (οθόνες CRT, αισθητήρες για επιδράσεις αίθουσας (hall effect sensors), κλπ).

1.8.3.4 Εκπομπή αγωγής

Οι μετρήσεις για την εκπομπή αγωγής προσδιορίζουν την ποσότητα διαταραχής που το δοκίμιο επανεισάγει σε όλα τα καλώδια που συνδέονται με αυτόν. Η διαταραχή κυρίως εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά υψηλής συχνότητας του φορτίου που συνδέεται με το δοκίμιο.

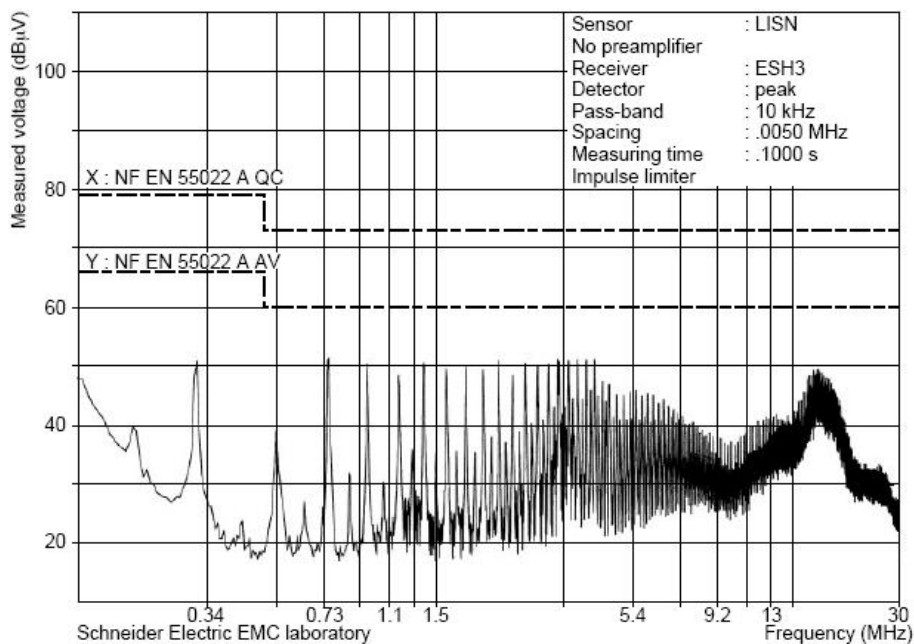
Για να ληφθούν αναπαραγώγιμα αποτελέσματα μέτρησης και ειδικά για να αποφευχθούν προβλήματα με τη χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση του δικτύου, οι μετρήσεις εκπομπής αγωγής εκτελούνται με τη βοήθεια δικτύωματος τεχνητού ηλεκτρικού δικτύου (Line Impedance Stabilizing Network, LISN). Ένας δέκτης υψηλής συχνότητας συνδέεται με το δίκτυο για την μέτρηση των επιπέδων εκπομπής για κάθε συχνότητα. Αυτά που περιγράφονται παραπάνω απεικονίζονται στο σχήμα 1-27.



Σχήμα 1-27: Μορφή μετρήσεων. Το δοκίμιο είναι η γεννήτρια και το LISN το φορτίο.

Το επίπεδο των διαταραχών που επανεισάγονται δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα όρια που καθορίζονται από τα πρότυπα.

Αυτά τα όρια εξαρτώνται από τον τύπο του καλωδίου και το περιβάλλον. Το γράφημα στο σχήμα 1-28 παρουσιάζει τα αποτελέσματα μιας μέτρησης που έγινε σε μια κονσόλα χαμηλής τάσης (main LV switchboard) και τα επίπεδα που ορίζονται στο πρότυπο EN 55022 για σύγκριση.



Σχήμα 1-28: Μετρήσεις εκπομπών ραδιοσυχνότητας από μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας δεδομένων της κυρίας κονσόλας (main switchboard).

1.8.3.5 Εκπομπές ακτινοβολίας

Οι μετρήσεις εκπομπών ακτινοβολίας προσδιορίζουν το επίπεδο διαταραχής που εκπέμπεται από μια συσκευή με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Οι δοκιμές εκπομπών ακτινοβολίας πρέπει να γίνονται με την απουσία κυμάτων που κανονικά υπάρχουν, όπως τα CB, ραδιοκύματα, κλπ και δεν πρέπει να επηρεάζονται από τις ανακλάσεις στα περιβάλλοντα αντικείμενα. Αυτοί δύο όροι είναι αντιφατικοί και αυτός είναι ο λόγος για την ύπαρξη δύο μεθόδων δοκιμής.

Η πρώτη μέθοδος συνιστά την τοποθέτηση του δοκιμίου σε έναν χώρο χωρίς εμπόδια μέσα σε μια δεδομένη περίμετρο. Το περιβάλλον δεν ελέγχεται.

Η δεύτερη μέθοδος εφαρμόζεται σε ένα κλωβό Faraday. Οι ανακλάσεις από τους τοίχους είναι μειώνονται σκόπιμα από υλικά που απορροφούν τις υψηλές συχνότητες, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1-25. Το περιβάλλον μπορεί να ελεγχθεί τέλεια. Αυτή η μέθοδος προσφέρει δυο βασικά πλεονεκτήματα. Οι μετρήσεις μπορούν να είναι αυτοματοποιημένες και ο χειρισμός του εξοπλισμού ελαχιστοποιείται, δεδομένου ότι οι μετρήσεις του επιπέδου εκπομπής και ατρωσίας μπορούν να γίνουν στο ίδιο χώρο με λίγες αλλαγές στην εγκατάσταση.

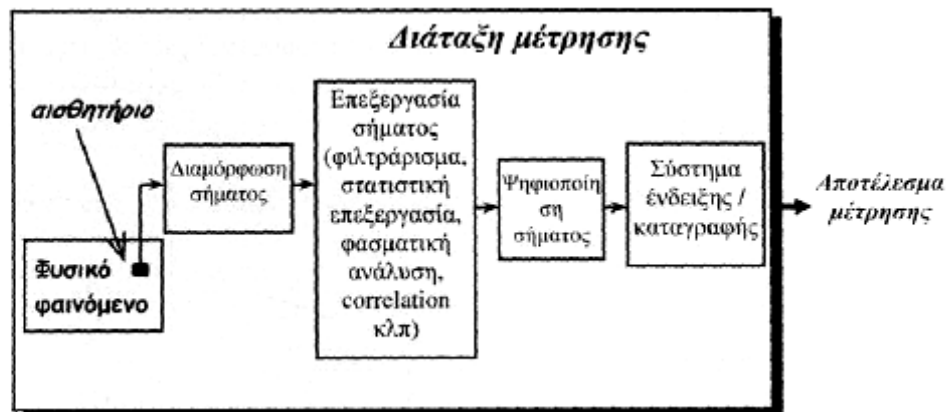
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Μέτρηση, ποιότητα μέτρησης και αβεβαιότητα

2.1 Ποιοτικός χαρακτηρισμός συστημάτων και μεθόδων μέτρησης

2.1.1 Εισαγωγικά

Τα σφάλματα και η ποιότητα μέτρησης σχετίζονται με τη συμπεριφορά συγκεκριμένων μετρητικών διατάξεων και διαδικασιών, σε συγκεκριμένες συνθήκες χρήσης.



Σχήμα 2-1: Σχηματική δομή μετρητικών διατάξεων.

Ένα όργανο μέτρησης αποτελεί στην πράξη λειτουργικό σύνολο από ένα ή περισσότερα διακριτά στοιχεία, με σκοπό την παραγωγή μιας ένδειξης, η οποία είναι συνάρτηση του μετρούμενου φυσικού μεγέθους. Βασικό στοιχείο του συστήματος είναι ο αισθητήρας που δέχεται την επίδραση του μετρούμενου μεγέθους και μεταφράζει την επίδραση αυτή σε άμεσα ή έμμεσα αναγνώσιμη πληροφορία. Άλλα συνήθη στοιχεία είναι ο μετατροπέας ή διαμορφωτής σήματος, ο οποίος μετατρέπει την πληροφορία στην έξοδο του αισθητήρα σε μια άλλη πληροφορία πιο εύκολα εκμεταλλεύσιμη, ένα στοιχείο αναλογικής ή ψηφιακής επεξεργασίας σήματος και ένα στοιχείο απεικόνισης της μέτρησης.

Τα όργανα μέτρησης διακρίνονται σε αναλογικά ή ψηφιακά, παθητικά ή ενεργητικά (ανάλογα με το εάν η παρεχόμενη ένδειξη παράγεται κατευθείαν από το μετρούμενο

μέγεθος ή εάν το μετρούμενο μέγεθος διαμορφώνει κατάλληλα ένα άλλο μέγεθος) και μηδενισμού ή απόκλισης (ανάλογα με το εάν το όργανο χρησιμεύει στο να εξισορροπήσει την επίδραση του άγνωστου μετρούμενου μεγέθους με ένα άλλο ομοειδές και γνωστό ή απεικονίζει μια μεταβαλλόμενη ένδειξη).

Στην προσπάθεια για εναρμόνιση σε διεθνές επίπεδο των εννοιών στον τομέα των μετρήσεων χρησιμοποιείται μια τυποποιημένη ορολογία και κωδικοποίηση του χαρακτηρισμού οργάνων, συστημάτων και υλικών μέτρησης. Οι κυριότεροι όροι είναι: όργανο μέτρησης, σύστημα μέτρησης (σύνολο οργάνων συνδεδεμένων μεταξύ τους σε ένα ενιαίο σύνολο), υλικά μέτρησης και υλικά αναφοράς (υλικά για τα οποία οι τιμές μιας ή περισσότερων ιδιοτήτων είναι ομογενείς και καλά γνωστές, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διακρίβωση μιας συσκευής, για την αξιολόγηση μιας μεθόδου μέτρησης ή για να αποδοθούν τιμές σε άλλα υλικά), πιστοποιημένο υλικό αναφοράς (υλικό αναφοράς συνοδευόμενο από ένα πιστοποιητικό, μία ή περισσότερες ιδιότητες του οποίου είναι κατάλληλα πιστοποιημένες), πρωτεύον πρότυπο, διεθνές πρότυπο, εθνικό πρότυπο, πρότυπα αναφοράς, πρότυπο μεταφοράς (χρησιμοποιείται ως ενδιάμεσο για συγκρίσεις μεταξύ προτύπων), μετακινούμενο πρότυπο (προορίζεται για μεταφορά από μια τοποθεσία σε μια άλλη), πρότυπο εργασίας [14].

2.1.2 Στατικός χαρακτηρισμός οργάνων μέτρησης

Τα στατικά χαρακτηριστικά αναφέρονται στην τεκμηρίωση που συνοδεύει το όργανο και λαμβάνονται υπόψη όταν πρόκειται να κριθεί η καταλληλότητα του για μια συγκεκριμένη χρήση. Ο στατικός χαρακτηρισμός ισχύει μόνο όταν η συσκευή χρησιμοποιείται ικανοποιώντας τις προδιαγραφόμενες τυπικές απαιτήσεις διακρίβωσης. Τα βασικά στατικά χαρακτηριστικά είναι [14]:

- **Ορθότητα:** Αποτελεί μέτρο του «πόσο ορθά μετράει» το όργανο και ορίζεται ως το μισό του διαστήματος που περιέχει την ένδειξη του οργάνου και μέσα στο οποίο αναμένεται να περιέχεται η ορθή τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Η ορθότητα χαρακτηρίζει τη μετρολογική ποιότητα του οργάνου και όχι την ποιότητα μιας συγκεκριμένης μέτρησης.
- **Ανοχή:** Ορίζει το μέγιστο αναμενόμενο σφάλμα στην τιμή μιας μέτρησης ή ακόμα τη μέγιστη επιτρεπτή απόκλιση ενός μεγέθους από μια προδιαγεγραμμένη

τιμή.

- **Πιστότητα:** Αποτελεί χαρακτηριστικό ενός οργάνου ή μιας μεθόδου μέτρησης και όχι του αποτελέσματος της μέτρησης. Η πιστότητα περιγράφει ποιοτικά και όχι ποσοτικά τη διασπορά των ενδείξεων ενός οργάνου ή των αποτελεσμάτων μιας διαδικασίας μέτρησης για το ίδιο μετρούμενο μέγεθος κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Η σχέση πιστότητας και ορθότητας απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2-2: Πιστότητα και ορθότητα.

- **Επαναληψιμότητα (ή πιστότητα επαναληψιμότητας):** Περιγράφει την εγγύτητα των αποτελεσμάτων επαναλαμβανόμενων μετρήσεων, όταν εφαρμόζεται για μια σύντομη χρονική περίοδο ή ίδια τιμή στην είσοδο του οργάνου, διατηρώντας ταυτόχρονα σταθερές τις συνθήκες μέτρησης.
- **Αναπαραγωγιμότητα (ή πιστότητα αναπαραγωγιμότητας):** Περιγράφει την εγγύτητα των ενδείξεων για το ίδιο μετρούμενο μέγεθος, αλλά με διαφορετικά όργανα ή με μεταβολές στις συνθήκες μέτρησης.
- **Διακριτότητα:** Ορίζεται ως η μικρότερη μεταβολή του μετρούμενου μεγέθους η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μια ανιχνεύσιμη μεταβολή της ένδειξης ενός οργάνου.
- **Εύρος:** Αντιπροσωπεύει την ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή του μετρούμενου μεγέθους.
- **Μετατόπιση (ή συστηματικό σφάλμα):** Αντιστοιχεί σε ένα σφάλμα το οποίο υφίσταται σε όλο το εύρος μέτρησης ενός οργάνου.
- **Ολίσθηση:** Περιγράφει την επίδραση της μεταβολής των περιβαλλοντικών συνθηκών τόσο σε μια συγκεκριμένη ένδειξη όσο και στην ευαισθησία ενός

οργάνου.

- **Γραμμικότητα:** Αναφέρεται στη γραμμική μεταβολή της εξόδου ενός οργάνου ως συνάρτηση του μετρούμενου μεγέθους.
- **Ευαισθησία:** Ορίζεται ως ο λόγος της μεταβολής των ενδείξεων λόγω μεταβολής του μετρούμενου μεγέθους προς τη μεταβολή αυτή του μετρούμενου μεγέθους.
- **Υστέρηση:** Χαρακτηρίζει τη συμπεριφορά των οργάνων, η ένδειξη των οποίων για την ίδια τιμή του μετρούμενου μεγέθους είναι διαφορετική, ανάλογα με το αν η μέτρηση εντάσσεται σε μια αλληλουχία σταδιακά αυξανόμενων ή σταδιακά μειούμενων τιμών.

2.1.3 Χαρακτηρισμός και επικύρωση μεθόδων μέτρησης

Σε αντίθεση με το όργανο μέτρησης, όπου η διαδικασία μέτρησης είναι προκαθορισμένη, η μέθοδος μέτρησης υπόκειται σε περισσότερο και λιγότερο ελεγμένες παραμέτρους επιρροής που επιδρούν στο αποτέλεσμα. Για το λόγο αυτό, σημαντική πηγή πληροφορίας για την εκτίμηση της ποιότητας των αποτελεσμάτων αποτελεί η επικύρωση των χρησιμοποιούμενων μεθόδων. Ο όρος επικύρωση μεθόδου αναφέρεται στη διαδικασία αξιολόγησης της καταλληλότητας μιας μεθόδου μέτρησης για το σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιείται, και στην ποσοτική εκτίμηση των επιδόσεων της, ως συνάρτηση των παραγόντων που επιδρούν στην αβεβαιότητα του τελικού αποτελέσματος. Η επικύρωση αποσκοπεί στον προσδιορισμό ορισμένων παραμέτρων, οι οποίες θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον υπολογισμό αβεβαιοτήτων στο αποτέλεσμα. Οι κυριότερες από τις παραμέτρους αυτές είναι:

- Η επαναληψιμότητα της μεθόδου, εκφραζόμενη ως τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων, με χρήση του ίδιου εξοπλισμού.
- Η αναπαραγωγιμότητα της μεθόδου, εκφραζόμενη ως τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων, με χρήση του ίδιου υλικού.
- Η ενδιάμεση πιστότητα, εκφραζόμενη ως τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων, όταν μεταβάλλονται μία ή περισσότερες παράμετροι επιρροής.
- Η γραμμικότητα και το συστηματικό σφάλμα.
- Το όριο ανίχνευσης, το οποίο προσδιορίζει τα όρια αποτελεσματικότητας της μεθόδου, πέρα από τα οποία η μέθοδος θεωρείται αναποτελεσματική.

- Η ευστάθεια, η οποία εκφράζει τις μεταβολές στην απόκριση μιας μεθόδου όταν μεταβάλλονται μία ή περισσότερες παράμετροι επιρροής [14].

2.2 Βασικές έννοιες πιθανοτήτων και στατιστικής

2.2.1 Εισαγωγικά

Το αποτέλεσμα μιας μέτρησης δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένο, αλλά εξαρτάται από πολλές μη ελεγχόμενες επιδράσεις (ικανότητα του μετρολόγου, επίδραση περιβαλλοντικών συνθηκών, ασταθής συμπεριφορά του οργάνου ή του μετρούμενου μεγέθους, κλπ). Επομένως, το επιζητούμενο αποτέλεσμα της μέτρησης μπορεί να θεωρηθεί στοχαστική μεταβλητή και το αποτέλεσμα της ως προερχόμενο από ένα πιθανό σύνολο τυχαία διαμορφούμενο από τις μη ελεγχόμενες επιδράσεις. Η στοχαστική προσέγγιση της μέτρησης θεωρεί ότι, μη μπορώντας να ελέγξουμε τις επιρροές που διαμορφώνουν το εκάστοτε αποτέλεσμα, τα διάφορα αποτελέσματα αποτελούν δυναμικά συμβάντα μιας τυχαίας πειραματικής διαδικασίας [15]. Έτσι, είναι απαραίτητη η χρήση εννοιών στατιστικής και πιθανοτήτων, που θα δώσουν απάντηση στο ερώτημα: ποια είναι η πιθανότητα η αποσπασματική πληροφορία που διαθέτουμε (δηλαδή η μέτρηση-παρατήρηση) για μια πιο σύνθετη πραγματικότητα (δηλαδή την αληθή τιμή) να μην αποτελεί σύμπτωση, αλλά να δίνει πληροφορίες για την πραγματικότητα του εξεταζόμενου φαινομένου, ή αλλιώς, με βάση το αποτέλεσμα της μέτρησης και την κατανομή την οποία ακολουθεί το αποτέλεσμα αυτό, ποια η πιθανότητα η αληθής τιμή να βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο διάστημα. Το πραγματικό ζητούμενο μιας μέτρησης δεν είναι επομένως μια απλή τιμή, αλλά η διαμόρφωση μιας ρεαλιστικής άποψης για τη στοχαστική συμπεριφορά του ίδιου αποτελέσματος, δηλαδή για τη συνάρτηση κατανομής που περιγράφει τη διαδικασία [14].

2.2.2 Ορισμοί στατιστικών εννοιών

- Τυχαία μεταβλητή: Ο όρος τυχαία μεταβλητή χρησιμοποιείται για να δηλώσει έναν κανόνα σύμφωνα με τον οποίο ένας πραγματικός αριθμός αντιστοιχεί σε κάθε δυνατό γεγονός ενός πειράματος. Αν ταυτοποιήσουμε τα πιθανά γεγονότα ενός πειράματος με τα σύμβολα λ_i και θεμελιώσουμε αυθαίρετα κάποιο τρόπο

σύμφωνα με τον οποίο θα αντιστοιχούμε πραγματικούς αριθμούς $X(\lambda_i)$ σε κάθε δυνατό γεγονός, ο κανόνας ή η συναρτησιακή σχέση που παριστάνεται με το σύμβολο $X(\cdot)$ καλείται τυχαία μεταβλητή.

- Συνάρτηση κατανομής πιθανότητας: Ονομάζουμε συνάρτηση κατανομής πιθανότητας (σ.κ.π) της τυχαίας μεταβλητής X την $F(x) = P(X \leq x)$, $x \in \mathfrak{R}$. Ισχύουν: $0 \leq F(x) \leq 1$, $F(-\infty) = 0$, $F(\infty) = 1$, $F(x_1) \leq F(x_2)$ όταν $x_1 \leq x_2$.
- Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας: Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π) ορίζεται ως: $f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$

Ισχύουν:

$$\circ f(x) \geq 0, \forall x \quad (\alpha) \tag{2.1}$$

$$\circ \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1 \quad (\beta)$$

$$\circ F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \quad (\gamma)$$

$$\circ P(x_1 \leq X \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx \quad (\delta)$$

- Αναμενόμενη τιμή (expectation): $E(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x) dx$ (2.2)

- Μεταβλητότητα: Μια τυχαία μεταβλητή X έχει μεταβλητότητα (variance):

$$V(x) = E(X - E(x))^2 = E(X)^2 - E^2(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - E(x))^2 f(x) dx \tag{2.3}$$

- Τυπική απόκλιση (standard deviation): Παράμετρος που χαρακτηρίζει τη διασπορά των τιμών και ορίζεται ως η τετραγωνική ρίζα της μεταβλητότητας:

$$\sigma = \sqrt{V(x)} \tag{2.4}$$

- Συνδιασμένη συνάρτηση κατανομής πιθανοτήτων: Στην περίπτωση δυο μεταβλητών η πληροφορία σχετικά με τις τιμές τους διατυπώνεται με την παρακάτω σχέση: $f(x,y) = f(x/y)f(x)$, όπου $f(x/y)$ αντιπροσωπεύει την υποθετική κατανομή πιθανοτήτων του Y με δεδομένη την τιμή του X .

- Συμμεταβλητότητα (covariance): Αντίστοιχα με τη μεταβλητότητα, ορίζεται η συμμεταβλητότητα μεταξύ δύο μεγεθών X και Y :

$$\text{Cov}(X, Y) = E([X - E(X)][Y - E(Y)]) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} [x - E(X)][y - E(Y)]f(x, y)dx dy \quad (2.5)$$

- Συσχετιζόμενα και ανεξάρτητα μεγέθη: Τα μεγέθη X , Y καλούνται συσχετιζόμενα εάν η συμμεταβλητότητά τους είναι διάφορη του μηδενός, ενώ αντίθετα θεωρούνται ανεξάρτητα εάν η συνδυασμένη συνάρτηση κατανομής πιθανοτήτων τους ισούται με το γινόμενο των αντίστοιχων κατανομών τους: $f(x, y) = f(x)f(y)$ [16].

2.2.3 Βασικοί τύποι συναρτήσεων κατανομών πιθανοτήτων

2.2.3.1 Κανονική κατανομή

Το εύρος των εφαρμογών της κανονικής κατανομής εξηγείται από το ότι αντιστοιχεί στο ιδεατό θεωρητικό μοντέλο συμπεριφοράς μιας πραγματικά τυχαίας μεταβλητής. Μία τυχαία μεταβλητή ακολουθεί κανονική κατανομή με παραμέτρους μ , σ ($-\infty < \mu < +\infty$, $\sigma > 0$) όταν έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας:

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (2.6)$$

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ειδική περίπτωση όπου $\mu = 0$ και $\sigma = 1$.

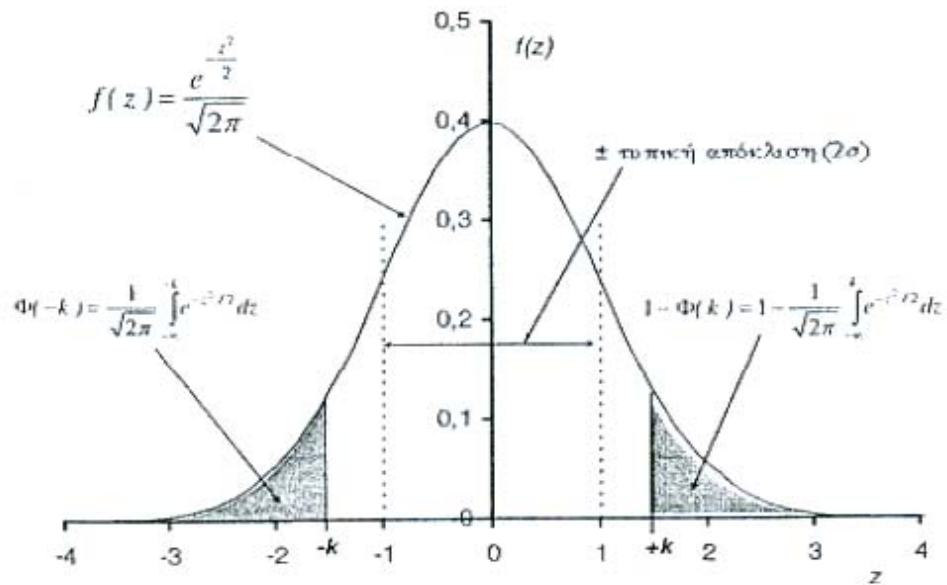
Με σκοπό την τυποποίηση και τη διευκόλυνση των υπολογισμών, εφαρμόζεται ο μετασχηματισμός $z = (x - \mu)/\sigma$ και η κατανομή πιθανοτήτων γράφεται:

$$f(z) = \frac{e^{-\frac{z^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}, \text{ με μέση τιμή και τυπική απόκλιση του } z \text{ ίσες με } 0 \text{ και } 1 \text{ αντίστοιχα.}$$

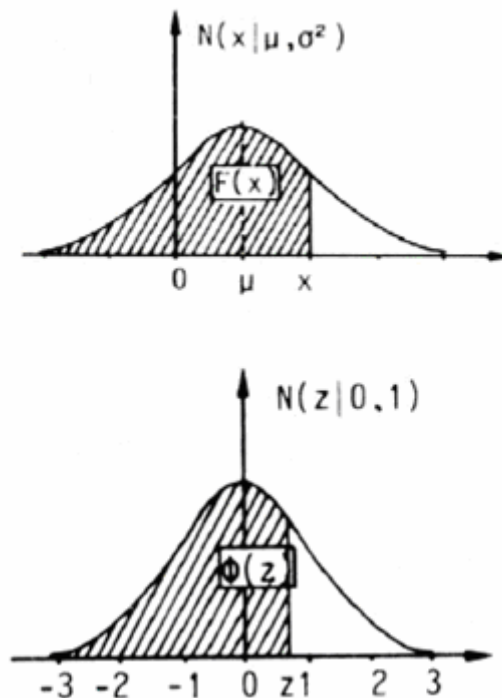
Έτσι $dx = \sigma dz$, και επομένως έχουμε:

$$F(x_0) = \int_{-\infty}^{x_0} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(x - \mu)^2\right) dx = \int_{-\infty}^{\frac{x_0 - \mu}{\sigma}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz = \Phi\left(\frac{x_0 - \mu}{\sigma}\right)$$

όπου Φ η συνάρτηση κατανομής πιθανότητας της τυποποιημένης κανονικής κατανομής $N(0,1)$.



Σχήμα 2-3: Τυπική κατανομή $f(z)$ με $\mu = 0$ και $\sigma = 1$.



Σχήμα 2-4: Μετασχηματισμός κανονικής κατανομής με μέση τιμή μ και διακύμανση σ^2 σε κανονική κατανομή με $\mu = 0$ και $\sigma = 1$.

Η πιθανότητα μια τιμή να περιέχεται σε ένα δεδομένο διάστημα $\Delta X = (x_a, x_b)$ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$p = \int_{x_a}^{x_b} F(x)dx = \int_{z_a}^{z_b} f(z)dz = \Phi(z_b) - \Phi(z_a) \quad (2.7)$$

με $z_a = (x_a - \mu)/\sigma$ και με $z_b = (x_b - \mu)/\sigma$ [16] [17].

2.2.3.2 Τραπεζοειδής κατανομή

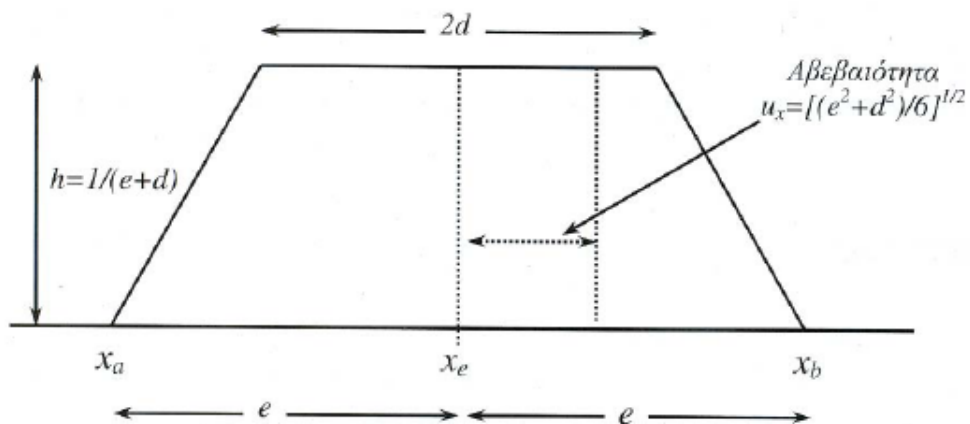
Η τραπεζοειδής κατανομή έχει ως υποπεριπτώσεις την ορθογώνια και την τριγωνική κατανομή. Οι κατανομές αυτές περιγράφουν μεγέθη για τα οποία γνωρίζουμε ότι η καλύτερη αναμενόμενη τιμή x_e περιέχεται σε ένα διάστημα της μορφής (x_a, x_b) ή $x_e \pm e$ με γραμμικά αυξανόμενη πιθανότητα, όσο απομακρυνόμαστε από τα άκρα του διαστήματος αυτού.

Δεδομένης της συμμετρίας, η αναμενόμενη τιμή είναι στο μέσο και προκύπτει από τη σχέση:

$$E(X) = x_e = (x_a + x_b)/2.$$

Η τυπική απόκλιση δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma = \sqrt{[V(X)]} = \sqrt{E(X)^2} = \sqrt{\frac{e^2 + d^2}{6}} \quad (2.8)$$



Σχήμα 2-5: Τραπεζοειδής, ορθογώνια και τριγωνική κατανομή.

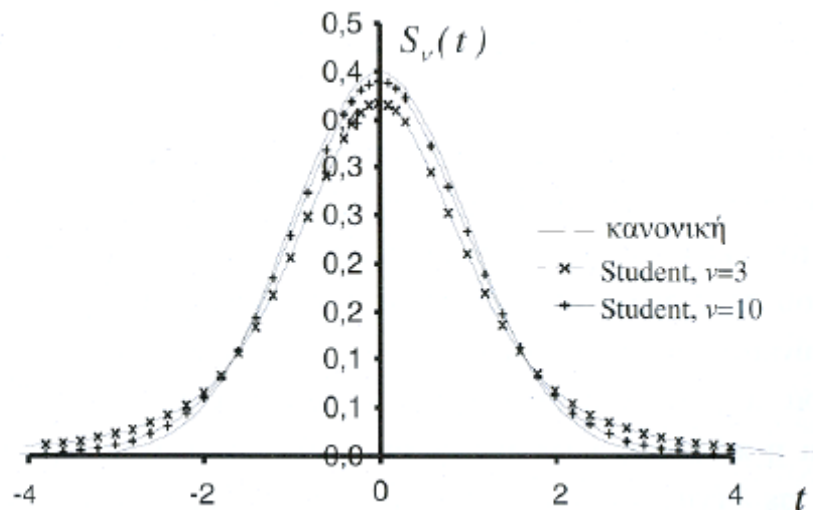
Η ορθογώνια κατανομή ($d = e$) περιγράφει τη στατιστική συμπεριφορά των τιμών ενός μεγέθους, για τις οποίες η μόνη διαθέσιμη πληροφορία συνίσταται στο ότι η αληθής τιμή περιέχεται σε ένα συγκεκριμένο διάστημα. Η τριγωνική κατανομή ($d = 0$) έχει εφαρμογή, μεταξύ άλλων, σε μεγέθη εκφραζόμενα ως συνδυασμός άλλων, οι κατανομές των οποίων είναι ορθογώνιες [14].

2.2.3.3 Η κατανομή Student (t-distribution)

Η πρακτική σημασία της κατανομής Student έγκειται στο γεγονός ότι επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων, σχετικών με τη στοχαστική συμπεριφορά ενός μεγέθους, όταν είναι διαθέσιμες περιορισμένες μόνο πληροφορίες για το μέγεθος αυτό. Η συνάρτηση κατανομής πιθανοτήτων γράφεται:

$$S_v(t) = \frac{\Gamma((v+1)/2)}{\Gamma(v/2)\sqrt{\pi v}} \left(1 + \frac{t^2}{v}\right)^{-(v+1)/2} \quad (2.9)$$

όπου Γ είναι η συνάρτηση gamma και v ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας, ο οποίος αποτελεί μέτρο της πληρότητας της διαθέσιμης γνώσης σχετικά με την κατανομή.



Σχήμα 2-6: Κανονική κατανομή Student για διάφορους βαθμούς ελευθερία.

Όταν εξετάζεται ένα δείγμα παρατηρήσεων x_i , $i = 1 \dots N$ ενός μεγέθους X , η κατανομή του οποίου θεωρείται κανονική με αναμενόμενη τιμή μ και μεταβλητότητα σ^2 , υπολογίζεται ο μέσος όρος \bar{x} του δείγματος και η τυπική

απόκλιση s και αποδεικνύεται ότι η μεταβλητή: $t = \frac{(\bar{x} - \mu)}{s/\sqrt{N}} = \frac{(\bar{x} - \mu)}{\sigma}$ ακολουθεί

κατανομή Student με $v = N-1$ βαθμούς ελευθερίας. Η κατανομή Student της μεταβλητής αυτής επιτρέπει την εκτίμηση της πιθανότητας η διαφορά $\bar{x} - \mu$ να βρίσκεται σε συγκεκριμένα όρια, σχετιζόμενα με την τυπική απόκλιση σ της μέσης τιμής του δείγματος. Η εξάρτηση της κατανομής Student από τους βαθμούς ελευθερίας v μπορεί να ερμηνευθεί ως εξάρτηση της ποιότητας της εκτίμησης του \bar{x} από το μέγεθος του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση αυτή.

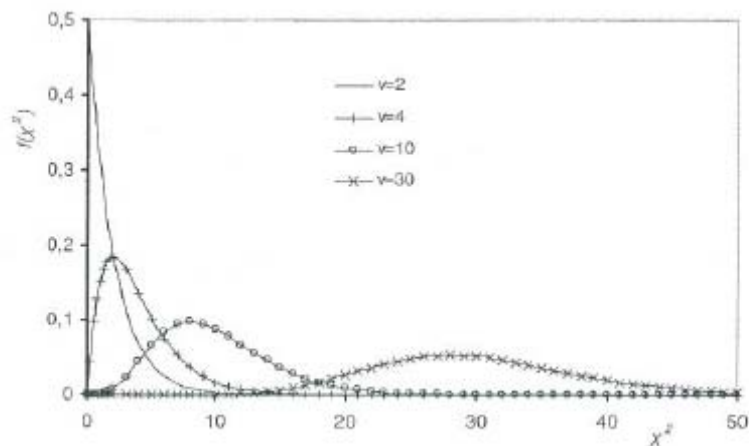
Όπως και στην περίπτωση της κανονικής κατανομής, οι τιμές $k_{p,v}$ (που ορίζουν ένα διάστημα $(-k_{p,v}, +k_{p,v})$ στο οποίο η πιθανότητα να περιέχεται το t είναι $p_{v,kt}$) για κάθε πιθανότητα $p_{v,kt}$ και για δεδομένο αριθμό βαθμών ελευθερίας v δίνονται σε τυποποιημένους πίνακες της συνάρτησης Student. Η πιθανότητα να περιέχεται η μέση τιμή \bar{x} ενός δείγματος τιμών στο διάστημα από $\mu - k_{p,v}s/\sqrt{N}$ έως $\mu + k_{p,v}s/\sqrt{N}$ είναι ίση με την πιθανότητα $p_{v,kt}$ να περιέχεται το t στο διάστημα $(-k_{p,v}, +k_{p,v})$ [14].

2.2.3.4 Η κατανομή χ^2 (Chi-square)

Σε αντίθεση με την κανονική κατανομή και την κατανομή Student που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της μέσης ή της πιθανότερης τιμής ενός μεγέθους, η κατανομή χ^2 χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της τυπικής απόκλισης του μεγέθους αυτού. Πρόκειται για μια μη συμμετρική κατανομή που δίνεται από τη σχέση:

$$f(x) = \frac{x^{v/2-1} e^{-x/2}}{2^{v/2} \Gamma(v/2)}, x > 0 \quad (2.10)$$

όπου v είναι οι βαθμοί ελευθερίας της στοχαστικής μεταβλητής.



Σχήμα 2-7: Κατανομές Chi-square για τέσσερις βαθμούς ελευθερίας.

Η κατανομή περιγράφει τη συμπεριφορά του αθροίσματος χ^2 των τετραγώνων n τυπικών κανονικών κατανομών, όπου n εκφράζει τους βαθμούς ελευθερίας του

αθροίσματος αυτού: $\chi^2 = \sum_1^n \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma}\right)^2$. Η πιθανότερη τιμή της κατανομής είναι ίση

με n και η μεταβλητότητα της ίση με $2n$. Εάν έχουμε ένα δείγμα μεγέθους N και τυπικής απόκλισης s μιας μεταβλητής, η οποία ακολουθεί κανονική κατανομή

τυπικής απόκλισης σ , η στοχαστική μεταβλητή $\chi^2 = \frac{(N-1)s^2}{\sigma^2}$ ακολουθεί με τη σειρά

της κατανομή Chi-square $v = N-1$ βαθμών ελευθερίας. Έτσι η πιθανότητα να

περιέχεται η μεταβλητή $\chi^2 = \frac{(N-1)s^2}{\sigma^2}$ σε ένα συγκεκριμένο διάστημα (l_1, l_2) είναι

$p(l_1 < \chi^2 < l_2) = p_{l_1, v} - p_{l_2, v}$ και είναι ίση με την πιθανότητα $p(vs^2/l_2 < \sigma^2 < vs^2/l_1)$ να

περιέχεται η μεταβλητότητα σ^2 στο διάστημα $(vs^2/l_2, vs^2/l_1)$: $\frac{vs^2}{l_2} < \sigma^2 < \frac{vs^2}{l_1}$ [14].

2.3 Αβεβαιότητα μετρήσεων

2.3.1 Εισαγωγικά

Η αξιοπιστία, η εγκυρότητα και η ποιότητα μιας μέτρησης αποτελούσε στο παρελθόν περισσότερο μια αφηρημένη επιδίωξη και λιγότερο μια οργανωμένη

προσπάθεια αναζήτησης τρόπων διασφάλισης και συγκεκριμενοποίησης της ποιότητας αυτής. Τις τελευταίες όμως δεκαετίες έγινε επιτακτική η ανάγκη για έναν κοινά αποδεκτό και έγκυρο τρόπο «μέτρησης» της ποιότητας μέτρησης, αφού έχει μεγάλη σημασία τα όργανα όχι μόνο να μετράνε σωστά, αλλά και να είναι γνωστό το πόσο σωστά μετράνε. Το ζητούμενο λοιπόν είναι η αποδοχή ενός ενιαίου μηχανισμού αποτίμησης της ποιότητας μέτρησης, δηλαδή της αβεβαιότητας (uncertainty) [14].

Κάθε μέτρηση, ανεξάρτητα από το πόσο καλά έχει σχεδιαστεί και εκτελεστεί, υπόκειται σε σφάλματα και επομένως το αποτέλεσμα μιας μέτρησης εμπεριέχει κάποιο ποσοστό αβεβαιότητας. Με τον όρο αβεβαιότητα προσδιορίζεται το εύρος τιμών εκατέρωθεν της μετρούμενης τιμής από το όργανο (\pm) μέσα στο οποίο βρίσκεται η «αληθινή» ή «πραγματική» τιμή του μετρούμενου μεγέθους, με μια συγκεκριμένη πιθανότητα (επίπεδο εμπιστοσύνης). Είναι φανερό ότι βασικό πρόβλημα της μετρολογίας είναι η εύρεση της «αληθινής» τιμής του μετρούμενου μεγέθους. Παλαιότερα, η χρήση του όρου ακρίβεια προσδιόριζε τη μέγιστη απόκλιση της μετρούμενης τιμής από την «αληθινή», ως εάν η «αληθινή» τιμή να ήταν απολύτως γνωστή. Εάν αυτό ήταν αληθές, τα προβλήματα της μετρολογίας θα είχαν επιλυθεί. Αντί για αυτό προσπαθούμε να προσεγγίσουμε το «σύννεφο» που περιβάλλει την «αληθινή» τιμή με όρους στατιστικής [18].

Επομένως, σήμερα είναι κοινά αποδεκτό μια ποσοτική δήλωση σχετική με οποιοδήποτε μέγεθος δεν μπορεί να είναι πλήρης εάν δεν περιλαμβάνει, εκτός από το αποτέλεσμα της μέτρησης, μια αναφορά στην αβεβαιότητα που συνοδεύει το αποτέλεσμα αυτό. Το να συμπεριληφθεί η αβεβαιότητα στις πληροφορίες ποσοτικού προσδιορισμού ενός μεγέθους υπακούει σε μια διπλή αναγκαιότητα: αφενός επισημαίνεται στο χρήστη της μέτρησης η πιθανότητα ύπαρξης σφαλμάτων, επιστώντας την προσοχή του στον πεπερασμένο χαρακτήρα της γνώσης μας για μια συγκεκριμένη ποσότητα, αφετέρου δίνεται μια ποσοτική εκτίμηση του διαστήματος μέσα στο οποίο περιέχεται η αληθής τιμή του μετρούμενου μεγέθους, καθώς και της πιθανότητας να βρίσκεται η αληθής αυτή τιμή σε μια συγκεκριμένη περιοχή του διαστήματος αυτού [14] [20].

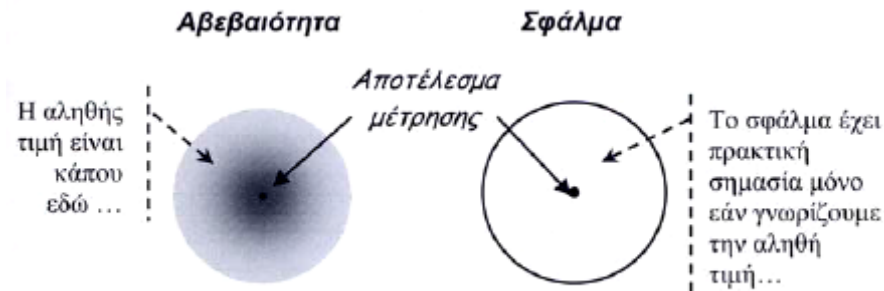
2.3.2 Από το σφάλμα στην αβεβαιότητα

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 προσδιορισμένη αφηρημένη έννοια, που αντιπροσωπεύει τη διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη και την αληθή αλλά άγνωστη τιμή ενός μεγέθους [14].

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 ευαίσθητης 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 [21] [22].

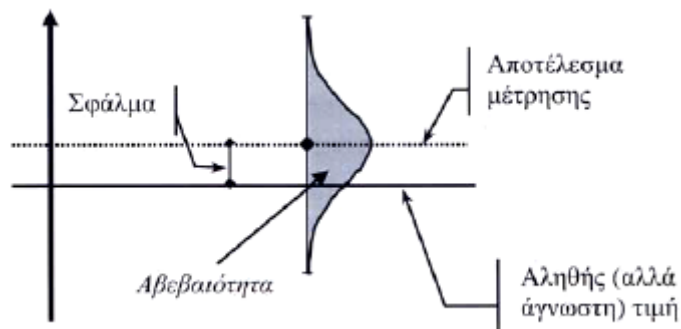
Με τον όρο σφάλμα, λοιπόν, δεν εννοούμε την απόκλιση της μέτρησης από τη θεωρητικά αποδεκτή τιμή. Η έννοια του σφάλματος αναφέρεται στην αβεβαιότητα των μετρήσεων την οποία δεν μπορούμε να διορθώσουμε. Ακόμα και αν επαναλάβουμε τις μετρήσεις δεν μπορεί να εξαλειφθεί, μπορεί όμως να οδηγήσει σε μια κατανομή 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 [14] [18].

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) [19] - 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 2-8: 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.

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 [14].



Σχήμα 2-9: Σφάλμα και αβεβαιότητα.

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 $x_e \pm U_x$ [14] [22].

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 [23].

Για την μέτρηση αβεβαιοτήτων σε EMC με την πιστοποίηση του United Kingdom Accreditation Service (UKAS), σύμφωνα με την προδιαγραφή ISO/IEC 17025 [24], απαιτείται να χρησιμοποιηθούν αποδεκτές μέθοδοι ανάλυσης, μέσω της εφαρμογής συγκεκριμένης διαδικασίας για τη μέτρηση.

Σύμφωνα με τη προδιαγραφή ISO/IEC 17025 [24], 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 αβεβαιότητα θεωρείται ικανοποιητικός ακολουθώντας τη μέθοδο δοκιμής και τις οδηγίες που αναφέρονται [23].

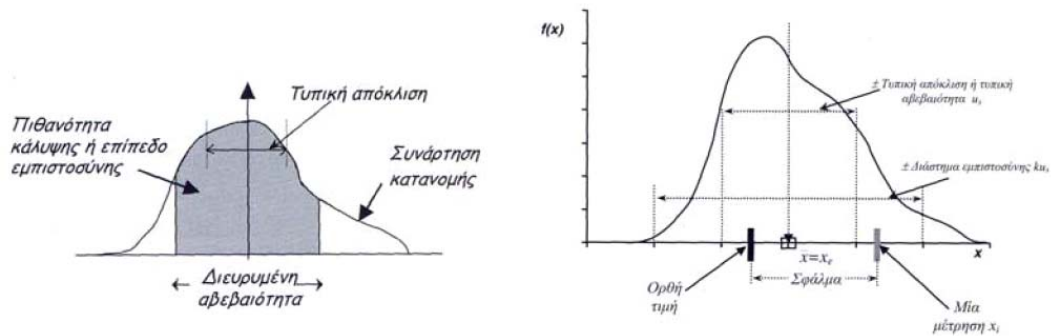
Μια μέτρηση έχει σαν στόχο να καθορίσει τη μετρούμενη τιμή, δηλαδή τη συγκεκριμένη ποσότητα που υπόκειται στη μέτρηση. Όταν εφαρμόζεται σε δοκιμή EMC, ο γενικός όρος του μετρούμενου μπορεί να καλύψει πολλές διαφορετικές ποσότητες, π.χ. τις εκπομπές από δοκιμές εκπομπών ακτινοβολίας, ή το επίπεδο δοκιμής σε μια δοκιμή απαλλαγής ακτινοβολίας. Μια μέτρηση αρχίζει με ένα κατάλληλο καθορισμό του μετρούμενου, τη γενική μέθοδο μέτρησης και τη συγκεκριμένη λεπτομερή διαδικασία μέτρησης [23].

2.3.3 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).

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.



Σχήματα 2-10, 2-11: Κατανομή πιθανοτήτων των πιθανών τιμών μιας μεταβλητής.

Στα EMC ο υπολογισμός αβεβαιότητας είναι ένας κατάλογος των πιθανών πηγών λάθους 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 [18].

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. Η κατηγοριοποίηση αυτή δεν αντιστοιχεί στη διάκριση μεταξύ «τυχαίων» και «συστηματικών» αβεβαιοτήτων [14] [18] [20].

Οι συνιστώσες τύπου A 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, 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.

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

2.3.4 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) [20] χρησιμοποιείται όταν το αποτέλεσμα χ 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 [20]:

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

Σε αυτήν την περίπτωση η αβεβαιότητα δίνεται από τη σχέση:

$$U_r = \frac{ts_r}{\sqrt{n}} \quad (2.11)$$

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

$$s_r = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2} \quad (2.12)$$

όπου n: ο αριθμός των μετρήσεων

X_i : οι μετρηθείσες τιμές

x_m : η μέση τιμή των μετρήσεων

Πίνακας 2-1: Τιμές του συντελεστή Student t για διάφορα επίπεδα εμπιστοσύνης συναρτήσει του αριθμού 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

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:

$$U_r = \frac{ks_r}{\sqrt{n}} \quad (2.13)$$

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:

$$U_r = \frac{ks_r}{\sqrt{n_2}} \quad (2.14)$$

Πρακτικά πολλές φορές ο αριθμός επαναλαμβανόμενων μετρήσεων είναι πολύ μικρός και συχνά περιορίζεται μόνο σε μια απλή μέτρηση. Ειδικά για τις αβεβαιότητες EMC, ένας τέτοιος προκαθορισμός δεν θα περιλάβει τις συνεισφορές του συγκεκριμένου δοκιμίου. Αυτό οφείλεται στη δυσκολία του καθορισμού του τι είναι ένα αντιπροσωπευτικό δοκίμιο και σε πρακτικά ζητήματα στην εκτέλεση των μετρήσεων. Η τιμή του n που χρησιμοποιείται κάτω από αυτές τις περιστάσεις στον τύπο για το U_r για μικρό αριθμό μετρήσεων, είναι ο αριθμός των μετρήσεων που γίνονται στο στάδιο της δοκιμής και όχι ο αριθμός μετρήσεων που γίνονται στον προκαθορισμό. Οι επαναλαμβανόμενες μετρήσεις πρέπει να ληφθούν όταν το αποτέλεσμα που μετράται είναι κοντά στο όριο των προδιαγραφών [23].

Κατά το σχεδιασμό και τη διαδικασία μιας δοκιμής εκτίμησης και αξιολόγησης αβεβαιότητας τύπου A, η τιμή των τυχαίων συνεισφορών του συστήματος μέτρησης είναι ουσιαστικό κομμάτι της. Παραδείγματος χάριν, στην περίπτωση ανοικτής περιοχής μετρήσεων, η αξιολόγηση τύπου A θα μπορούσε να περιλαμβάνει την επανασύνδεση της κεραίας και του δέκτη και ρυθμίζοντας το ύψος της κεραίας να μεγιστοποιείται η ανάγνωση του δέκτη [23].

Η τυπική αβεβαιότητα, $u(x_i)$, μιας εκτίμησης x_i από μια ποσότητα εισόδου q με βάση τον τύπο αξιολόγησης A είναι επομένως:

$$u(x_i) = U_r \quad (2.15)$$

2.3.5 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 [14].

Η βασική εξίσωση για τον υπολογισμό αβεβαιοτήτων τύπου B είναι:

$$U_s = k \cdot s_s = k \cdot \sqrt{s_{sa}^2 + s_{sg}^2} \quad (2.16)$$

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: $s_{sa} = \frac{a}{\sqrt{3}}$. Στην περίπτωση που έχουμε n ανεξάρτητες κατανομές η τυπική απόκλιση δίνεται από τη σχέση:

$$s_{sa} = \sqrt{\frac{a_1^2}{3} + \frac{a_2^2}{3} + \frac{a_3^2}{3} + \dots + \frac{a_n^2}{3}} \quad (2.17)$$

Όταν η αβεβαιότητα δίνεται μαζί με ένα επίπεδο εμπιστοσύνης, τότε πρέπει να υποτεθεί 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:

$$s_{sg} = \frac{U_{95}}{2}. \text{ Έτσι η εξίσωση 2.17 γίνεται:}$$

$$U_s = k \sqrt{\frac{a_1^2}{3} + \frac{a_2^2}{3} + \frac{a_3^2}{3} + \dots + \frac{a_n^2}{3} + \left(\frac{U_{95}}{2}\right)^2} \quad (2.18)$$

Η γενική μορφή της εξίσωσης 2.17 γίνεται:

$$U_s = k \sqrt{\frac{a_1^2}{3} + \frac{a_2^2}{3} + \frac{a_3^2}{3} + \dots + \frac{a_n^2}{3} + \left(\frac{U_1}{k_1}\right)^2 + \left(\frac{U_2}{k_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{U_m}{k_m}\right)^2} \quad (2.19)$$

όπου U_1 έως U_m είναι οι αβεβαιότητες (calibration contribution) με δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης k_1 έως k_m οι αντίστοιχοι συντελεστές κάλυψης [20]

Ειδικότερα για τις μετρήσεις αβεβαιοτήτων σε EMC αν υπάρχει οποιαδήποτε αμφιβολία για το εάν μια συμβολή αβεβαιότητας είναι σημαντική, ή όχι, αυτή θα πρέπει να συμπεριληφθεί στον υπολογισμό της αβεβαιότητας έτσι ώστε να καταδειχθεί ότι έχει ληφθεί υπόψη.

Κανονικά, πρέπει να εφαρμοστούν στο αποτέλεσμα της μέτρησης όσες διορθώσεις μπορούν να γίνουν. Εντούτοις, σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να είναι περιττό ή να μην είναι πρακτικό να γίνουν προσπάθειες διόρθωσης όλων των λαθών που εντοπίζονται. Παραδείγματος χάριν, το πιστοποιητικό βαθμολόγησης ενός δέκτη EMC μπορεί να δώσει πραγματικά μετρημένα αποτελέσματα εισαγωγής σε συγκεκριμένες αναγνώσεις, με συνδυασμένη αβεβαιότητα (combined uncertainty). Επόμενες αναγνώσεις μπορούν να διορθωθούν με τη χρήση αυτής της βαθμολόγησης, ώστε να επιτευχθεί μια μειωμένη αβεβαιότητα. Όμως, είναι πιο πρακτικό να χρησιμοποιηθούν οι ενδεδειγμένες τιμές χωρίς διορθώσεις, οπότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι προδιαγραφές του κατασκευαστή, υπό τον όρο ότι έχουν επιβεβαιωθεί από αναγνωρισμένη βαθμολόγηση ή, όπου αυτό δεν είναι επιτευκτό, από διαδικασία αποδεκτή από το UKAS [23].

Οι ατομικές συνεισφορές αβεβαιότητας πρέπει να είναι στα όρια της μεταβολής της μετρούμενης ποσότητας και όλες στις ίδιες μονάδες. Οι περισσότερες EMC μετρήσεις προκύπτουν από αναγνώσεις που χρησιμοποιούν λογαριθμικές κλίμακες (π.χ. μV), οι διορθώσεις για το κέρδος ή την απώλεια των στοιχείων των συστημάτων είναι σε dB, τα όρια προδιαγραφών δίνονται γενικά σε dB και τα όρια προδιαγραφών των οργάνων είναι κανονικά σε dB. Σε αυτές τις περιπτώσεις συνιστάται οι υπολογισμοί των αβεβαιοτήτων να γίνονται σε dB. Σε μερικές περιπτώσεις, για παράδειγμα, όπου η προσθήκη των σημάτων είναι η κυρίαρχη συμβολή στην αβεβαιότητα ίσως είναι σωστότερο να υπολογιστεί η αβεβαιότητα στα όρια των απόλυτων τιμών, σε γραμμικές μονάδες (π.χ. V/m).

Είναι σχετικά απλό να οριστεί μια τιμή στη συνεισφορά αβεβαιότητας όταν υπάρχει ήδη μια ενδεικτική βάση, όπως ένα πιστοποιητικό βαθμολόγησης ή η προδιαγραφή ενός κατασκευαστή. Σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να μην υπάρχουν καθόλου ή να

υπάρχουν ελάχιστα δεδομένα διαθέσιμα και η εκτίμηση τότε βασίζεται στην εμπειρία ή σε σχετικό δημοσιευμένο υλικό.

Οι περισσότερες συνεισφορές στην αβεβαιότητα αντιπροσωπεύονται επαρκώς από μια συμμετρική κατανομή για το ονομαστικό ή το μετρούμενο αποτέλεσμα, για παράδειγμα η αβεβαιότητα που αποδίδεται σε ένα δέκτη. Όμως, μερικές συνεισφορές δεν είναι συμμετρικές και αυτές αντιμετωπίζονται απλούστερα αν υπολογιστούν χωριστά οι θετικές και οι αρνητικές τιμές της συνολικής αβεβαιότητας. Η απόφαση για το εάν αυτό είναι κατάλληλο θα εξαρτηθεί από τη διαφορά μεταξύ των δύο τιμών και την ανάγκη για αυστηρότητα στην εκτίμηση της αβεβαιότητας. Παράδειγμα ασύμμετρης αβεβαιότητας είναι η εκτίμηση της ασυσχέτιστης αβεβαιότητας (mismatch uncertainty) σε λογαριθμικές μονάδες. Η λύση σε αυτήν την περίπτωση είναι ο υπολογισμός σε απλές γραμμικές μονάδες και η επιλογή της αρνητικής τιμής για τη μετατροπή πίσω σε λογαριθμικές μονάδες ώστε να συμπεριληφθεί η χειρότερη περίπτωση.

Με συνετή επιλογή εξοπλισμού δοκιμής αλλά και μέθοδο μέτρησης, μπορεί να εξασφαλιστεί ότι ο συσχετισμός μεταξύ των ατομικών συνεισφορών αποφεύγεται ή έστω ελαχιστοποιείται. Εάν υπάρχει δυσμενής συσχετισμός μεταξύ οποιωνδήποτε συνεισφορών που είναι γνωστός ή πιθανός, τότε η απλούστερη προσέγγιση είναι η ομαδοποίηση των συνεισφορών. Αθροίζονται οι πρότυπες αβεβαιότητες αριθμητικά και έπειτα να συμπεριλαμβάνεται η τιμή αυτή στον υπολογισμό σαν μια συνεισφορά. Σε μερικές περιπτώσεις είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν τα ίδια στοιχεία του εξοπλισμού δοκιμής σε διαφορετικά βήματα στη διαδικασία μέτρησης. Παραδείγματος χάριν, στην προ-βαθμολόγηση για τις μετρήσεις ανοσίας στην ακτινοβολία είναι ουσιαστικό ότι η ίδια κεραία διαβιβάζει στη βαθμολόγηση και στη δοκιμή [23].

2.3.6 Υπολογισμός ολικής αβεβαιότητας

Η ολική αβεβαιότητα δίνεται από τη σχέση:

$$u_{\text{total}} = \sqrt{U_r^2 + U_s^2} \quad (2.20)$$

2.3.7 Κατανομές πιθανότητας στα EMC συστήματα και καθορισμός της τυπικής αβεβαιότητας (standard uncertainty)

Στη μέτρηση EMC οι τέσσερις κύριες κατανομές είναι η κανονική, η ορθογώνια, η τριγωνική, και η μορφής U.

2.3.7.1 Κανονική κατανομή

Η κατανομή αυτή ορίζεται όταν υπάρχουν πολλαπλές συνεισφορές αβεβαιοτήτων. Παραδείγματος χάριν, όταν ένα εργαστήριο βαθμολόγησης, σύμφωνα με το UKAS, παρέχει μια διευρυμένη αβεβαιότητα για ένα όργανο, αυτό έχει υπολογιστεί σε κατώτατο επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι κανονικό. Η τυπική αβεβαιότητα μιας συνεισφοράς με υποτιθέμενη κανονική κατανομή βρίσκεται διαιρώντας τη διευρυμένη αβεβαιότητα με τον συντελεστή κάλυψης, k , κατάλληλο για το δηλωμένο επίπεδο εμπιστοσύνης. Για τις κανονικές κατανομές:

$$u(x_i) = \frac{\text{διευρυμένη αβεβαιότητα}}{k} \quad (2.21)$$

όπου $k = 2$ αν το επίπεδο αναφοράς της εμπιστοσύνης είναι 95%. (Στην πραγματικότητα για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, $k = 1,96$, ωστόσο, αυτή η διαφορά που προκαλείται στο συνδυασμό αβεβαιοτήτων είναι αμελητέα) [23].

2.3.7.2 Ορθογώνια κατανομή

Στην κατανομή αυτή σημαίνει υπάρχει ίση πιθανότητα της αληθινής τιμής που βρίσκεται οπουδήποτε μεταξύ δύο ορισμένων ορίων. Έτσι θα πρέπει να ορίζεται, όπου τα όρια προδιαγραφών του κατασκευαστή χρησιμοποιούνται σαν αβεβαιότητα, εκτός και αν υπάρχει μια δήλωση εμπιστοσύνης που συνδέεται με την προδιαγραφή. Σ' αυτή την περίπτωση μπορεί να θεωρηθεί μια κανονική κατανομή. Για τις ορθογώνιες κατανομές:

$$u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{3}} \quad (2.22)$$

όπου a_i είναι το μισό μήκος του διαστήματος που δίνεται από τα ορισμένα όρια της μεμονωμένης συμβολής αβεβαιότητας [23].

2.3.7.3 Τριγωνική κατανομή

Αυτή η κατανομή σημαίνει την πιθανότητα της αληθινής τιμής που βρίσκεται σε ένα σημείο μεταξύ δύο ορισμένων ορίων αυξανόμενων ομοιόμορφα από το μηδέν (στα άκρα), έως το μέγιστο (στο κέντρο). Μια τριγωνική κατανομή πρέπει να ορίζεται όπου η συμβολή έχει μια κατανομή με καθορισμένα όρια και όπου η πλειοψηφία των τιμών μεταξύ των ορίων βρίσκονται γύρω από το κεντρικό σημείο. Για τις τριγωνικές κατανομές:

$$u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{6}} \quad (2.24)$$

όπου a_i είναι το μισό μήκος του διαστήματος που δίνεται από τα ορισμένα όρια της μεμονωμένης συμβολής αβεβαιότητας [23].

2.3.7.4 Κατανομή μορφής U

Αυτή η κατανομή είναι εφαρμόσιμη στην ασυσχέτιστη αβεβαιότητα. Η τιμή του ορίου για την ασυσχέτιστη αβεβαιότητα, M , που συνδέεται με τη μεταφορά ισχύος σε μια σύνδεση λαμβάνεται από τη σχέση $20\log_{10}(1 \pm |\Gamma_G||\Gamma_L|)$ dB ή $100((1 \pm |\Gamma_G||\Gamma_L|)^2 - 1)\%$ όπου Γ_G και Γ_L είναι οι συντελεστές αντανάκλασης για την πηγή και το φορτίο. Η ασυσχέτιστη αβεβαιότητα είναι ασύμμετρη για το μετρούμενο αποτέλεσμα, (όταν εξετάζεται σε λογαριθμικές μονάδες), όμως η επιρροή στη συνολική αβεβαιότητα είναι συχνά ασήμαντη και έτσι χρησιμοποιείται ο μεγαλύτερος των δύο όρων, δηλαδή το αρνητικό άθροισμα $20\log_{10}(1 - |\Gamma_G||\Gamma_L|)$ [23].

Για κατανομές μορφής U:

$$u(x_i) = \frac{M}{\sqrt{2}} \quad (2.23)$$

2.3.8 Συνδυασμός αβεβαιοτήτων - Νόμος διάδοσης αβεβαιοτήτων

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους Y πραγματοποιείται έμμεσα, δηλαδή στη βάση απευθείας μετρήσεων μιας σειράς πρωτογενών μεγεθών x_i , $i = 1, 2, \dots, N$. Η μετρούμενη κάθε φορά τιμή y_i του Y προκύπτει από το συνδυασμό των τιμών x_1, x_2, \dots, x_N των πρωτογενών μεγεθών

μέσω μιας συνάρτησης $Y = M(X_1, X_2, \dots, X_N)$ η οποία αντιπροσωπεύει το φυσικό μοντέλο συσχέτισης των μετρούμενων στην πράξη με το προς μέτρηση μέγεθος.

Ο νόμος διάδοσης των αβεβαιοτήτων (law of error propagation) προκύπτει από την ανάπτυξη σε 1ης τάξης σειρά Taylor της συνάρτησης $M(Y)$ γύρω από το σημείο της μέτρησης $y_e = M(x_{1e}, x_{2e}, \dots, x_{Ne})$. Η τυπική συνδυασμένη αβεβαιότητα (standard combined uncertainty) γύρω από την τιμή μέτρησης δίνεται από την παρακάτω σχέση, γνωστή και ως νόμος διάδοσης των αβεβαιοτήτων [14]:

$$u_y^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial M}{\partial x_i}\right)^2 u_{x_i}^2 + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial M}{\partial x_i} \frac{\partial M}{\partial x_j} u(x_i, x_j) \quad (2.25)$$

όπου u_{x_i} είναι η τυπική αβεβαιότητα του μεγέθους X_i και $u(x_i, x_j)$ είναι η συμμεταβλητότητα μεταξύ X_i και X_j .

Συνήθως στις δοκιμές τα μεγέθη X_1, X_2, \dots, X_N θεωρούνται ανεξάρτητα μεταξύ τους και η παραπάνω σχέση γράφεται [14]:

$$u_y^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial M}{\partial x_i}\right)^2 u_{x_i}^2 \quad (2.26)$$

2.3.8.1 Συντελεστές ευαισθησίας

Σε μερικές περιπτώσεις κατά τις μετρήσεις αβεβαιοτήτων σε EMC μια ποσότητα εισόδου μπορεί να μην είναι σε ίδιες μονάδες με την αντίστοιχη ποσότητα εξόδου. Παραδείγματος χάριν, η αβεβαιότητα στη μέτρηση απόστασης σε μια ανοικτή περιοχή πρέπει να μετατραπεί σε αβεβαιότητα στη λαμβανόμενη δύναμη σήματος. Σε αυτήν την περίπτωση η ποσότητα εισόδου είναι μήκος, αλλά η ποσότητα εξόδου είναι ηλεκτρικό μέγεθος. Άρα είναι απαραίτητο να εισαχθεί ένας συντελεστής ευαισθησίας έτσι ώστε η ποσότητα εξόδου y , να μπορεί να συσχετιστεί με την ποσότητα εισόδου x_i . Αυτός ο συντελεστής ευαισθησίας αναφέρεται ως c_i και είναι ένας παράγοντας για μετατροπή από μια μονάδα σε άλλη.

Η σχέση μεταξύ της ποσότητας εισόδου και της ποσότητας εξόδου μπορεί να μην είναι γραμμική. Η μερική παράγωγος $\partial f/\partial x_i$ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη του συντελεστή ευαισθησίας και γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται η μαθηματική διαμόρφωση για τη περιγραφή των συστημάτων μέτρησης. Επειδή όμως στην πράξη η παραγωγή των μερικών παραγώγων μπορεί να είναι δύσκολη

και τα αποτελέσματα δε δικαιολογούν πάντα την προσπάθεια που καταβάλλεται, μπορεί αρκετά ικανοποιητικά να χρησιμοποιηθεί μια γραμμική προσέγγιση, όπως το πηλίκο $\Delta f/\Delta x_i$, όπου το Δf είναι η αλλαγή του f σαν αποτέλεσμα μιας αλλαγής Δx_i μέσα στο x_i . Η επιλογή του Δx_i είναι σημαντική και ο οδηγός (GUM) [19] δίνει τις κατευθύνσεις, συστήνοντας το κατάλληλο $\Delta x_i = u(x_i)$ [23].

2.3.8.2 Συσχετισμένες ποσότητες εισόδου

Η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα (combined standard uncertainty) στην εκτίμηση της εξόδου ισχύει μόνο όταν δεν υπάρχει κανένας συσχετισμός μεταξύ οποιωνδήποτε από τις εκτιμήσεις εισόδου, δηλαδή όταν οι ποσότητες εισόδου είναι ανεξάρτητες η μια από την άλλη. Μπορεί μερικές ποσότητες εισόδου να επηρεάζονται από την ίδια ποσότητα επιρροής, π.χ. θερμοκρασία, ή από τα λάθη σε ένα συγκεκριμένο όργανο που χρησιμοποιείται για χωριστές μετρήσεις στην ίδια διαδικασία. Τότε οι ποσότητες εισόδου δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους και η εξίσωση για τη λήψη της τυπικής αβεβαιότητας της εκτίμησης εξόδου πρέπει να τροποποιηθεί. Εντούτοις, εάν ο συσχετισμός μεταξύ οποιωνδήποτε συνεισφορών είναι γνωστός, τότε η απλούστερη προσέγγιση είναι να αθροιστεί η τυπική αβεβαιότητα αυτών των συνεισφορών αριθμητικά [23].

2.3.8.3 Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα

Η συνδυασμένη αβεβαιότητα, $u_c(y)$, είναι η τετραγωνική ρίζα του συνόλου των τετραγώνων των μεμονωμένων τυπικών αβεβαιοτήτων. Εάν οποιαδήποτε από τις τυπικές αβεβαιότητες δεν είναι ήδη σε συμφωνία με τη μετρούμενη ποσότητα, τότε μετατρέπονται χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο συντελεστή ευαισθησίας, c_i :

$$u_i(y) = c_i u(x_i) \quad (2.27)$$

Οποιοσδήποτε συνεισφορές με γνωστό ή πιθανό δυσμενή συσχετισμό πρέπει να προστεθούν μαζί, οπότε για τις N συνεισφορές είναι [23]:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2(y)} \quad (2.28)$$

2.3.9 Διευρυμένη αβεβαιότητα

Στα EMC συστήματα η διευρυμένη αβεβαιότητα, U , καθορίζει ένα διάστημα για το μετρούμενο αποτέλεσμα που καλύπτει την πραγματική αξία με ένα διευκρινισμένο επίπεδο εμπιστοσύνης, $p\%$. Η διευρυμένη αβεβαιότητα λαμβάνεται με τον πολλαπλασιασμό της συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας με έναν παράγοντα κάλυψης, k , κατά συνέπεια:

$$u = k u_c(y) \quad (2.29)$$

Το επίπεδο εμπιστοσύνης που συστήνεται από το UKAS για τη δοκιμή EMC είναι 95% που μπορεί στις περισσότερες περιπτώσεις να ληφθεί με $k = 2$.

Υπάρχουν όμως εξαιρέσεις όπου ένας παράγοντας κάλυψης $k = 2$ δεν παρέχει ένα επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Αυτές οι καταστάσεις χαρακτηρίζονται από ένα ή περισσότερα από τα εξής:

- Μια τυχαία συμβολή στην αβεβαιότητα (τύπος A), που είναι σχετικά μεγάλη έναντι άλλων συνεισφορών και ύστερα από ένα μικρό αριθμό επανάληψης αναγνώσεων. Σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να μην είναι κανονική η κατανομή πιθανότητας και η τιμή $k = 2$ να δώσει ένα επίπεδο εμπιστοσύνης λιγότερο από 95%. Έτσι απαιτείται μια αναθεωρημένη τιμή του k , η k_p , για να παροχή εμπιστοσύνης 95%.
- Την απουσία σημαντικού αριθμού τμημάτων αβεβαιότητας που έχουν κατανομές πιθανότητας καλώς συμπεριφερόμενες, όπως η κανονική και η ορθογώνια.
- Την κυριαρχία της συνδυασμένης τιμής ενός συστατικού. Δεν υπάρχει ευδιάκριτος καθορισμός ενός κυρίαρχου συστατικού αλλά σαν πρακτικός οδηγός μπορεί να ληφθεί ότι όπου ένα συστατικό είναι πάνω από πέντε φορές μεγαλύτερο από οποιοδήποτε άλλο, αυτό κυριαρχεί [23].

2.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Οι πληροφορίες που δίνονται στην παρουσίαση του αποτελέσματος μιας δοκιμής αλλά και της αβεβαιότητάς της, πρέπει να αφορούν τις απαιτήσεις του πελάτη, της προδιαγραφής και της προοριζόμενης χρήσης του αποτελέσματος. Οι μέθοδοι που

χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του αποτελέσματος και της αβεβαιότητάς της μέτρησης πρέπει να είναι διαθέσιμες είτε στην αναφορά είτε στα αρχεία της δοκιμής.

Ακόμα η παρουσίαση του αποτελέσματος θα πρέπει να περιέχει τα παρακάτω:

- Ικανοποιητική τεκμηρίωση των βημάτων και των υπολογισμών στην ανάλυση των δεδομένων που να επιτρέπει την επανάληψη του υπολογισμού εάν είναι απαραίτητο.
- Όλες τις διορθώσεις και τις σταθερές που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση, και οι πηγές τους.
- Ικανοποιητική τεκμηρίωση για την επίδειξη του πώς υπολογίζεται η αβεβαιότητα.

Κατά την παρουσίαση του αποτελέσματος και της αβεβαιότητάς, πρέπει να αποφεύγεται η χρήση μεγάλου αριθμού ψηφίων. Στις περισσότερες περιπτώσεις η αβεβαιότητα αρκεί να εκφραστεί με δύο σημαντικούς αριθμούς. Τουλάχιστον ακόμα ένας αριθμός θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια των σταδίων της εκτίμησης και του συνδυασμού τμημάτων αβεβαιότητας προκειμένου να γίνουν αμελητέες οι επιδράσεις στρογγυλοποίησης των λαθών. (Αυτό φαίνεται ιδιαίτερα κατά τον υπολογισμό του k_p από τους βαθμούς ελευθερίας, όπου φαίνονται μεγάλες διαφορές στις υψηλότερες τιμές του v_{eff} , εντούτοις αυτό δεν έχει καμία επίδραση στην τελική αξία του k_p που επιλέγεται.)

Σύμφωνα με τις συστάσεις UKAS και EA (European co-operation for Accreditation) οι αβεβαιότητες πρέπει να στρογγυλοποιηθούν για να εκφραστούν με λιγότερο από δύο σημαντικούς αριθμούς, η μετρούμενη αξία πρέπει επίσης να στρογγυλοποιηθεί έτσι ώστε το τελευταίο ψηφίο της να αντιστοιχεί στο τελευταίο ψηφίο της αβεβαιότητας μέτρησης. Γενικά, η αβεβαιότητα όποτε είναι δυνατόν πρέπει να εκφράζεται στις μετρούμενες μονάδες.

Εναλλακτικά, για τα αποτελέσματα που σχεδιάζονται ή ταξινομούνται σε πίνακες, μπορεί να δοθεί μια γενική αβεβαιότητα που να ισχύει για όλα τα αποτελέσματα [23].

2.5 Συμμόρφωση με την προδιαγραφή

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της προδιαγραφής ISO/IEC 17025 [24] πρέπει, όπου είναι σχετικό, (π.χ. όταν εξετάζεται ένα προϊόν σύμφωνα με μια δηλωμένη προδιαγραφή), στην αναφορά να περιέχεται μια δήλωση η οποία θα δείχνει αν τα αποτελέσματα παρουσιάζουν συμμόρφωση ή όχι με την προδιαγραφή αυτή.

Ιδανικά η προδιαγραφή θα δήλωνε ότι το μετρούμενο αποτέλεσμα, επεκταμένο από την αβεβαιότητα σε ένα δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης, δεν θα ξεπεράσει ένα καθορισμένο όριο ή όρια, πράγμα όμως που είναι σπάνιο να συμβεί.

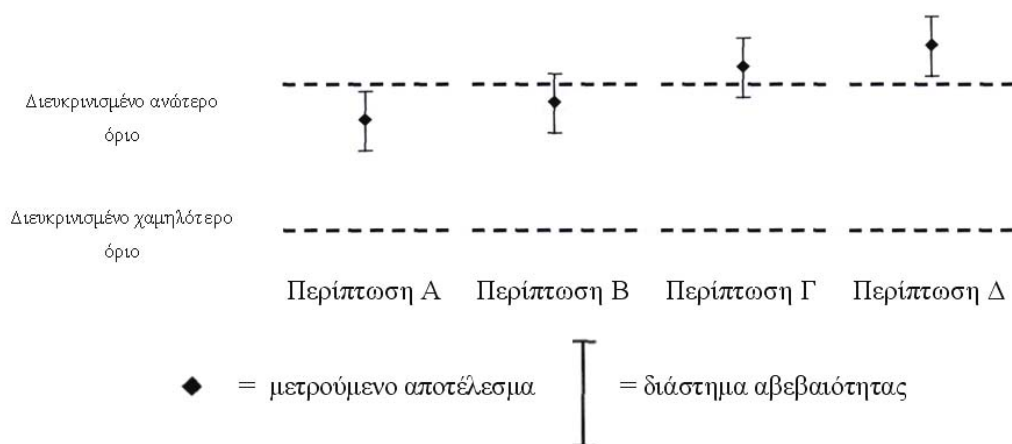
Συχνότερα, η προδιαγραφή απαιτεί δήλωση συμμόρφωσης με το πιστοποιητικό ή την παρουσίαση αλλά δε γίνεται καμία αναφορά ώστε να ληφθεί υπόψη η επίδραση της αβεβαιότητας στην αξιολόγηση της συμμόρφωσης. Σε τέτοιες περιπτώσεις θα πρέπει ο χρήστης να κρίνει τη συμμόρφωση, βασιζόμενος στο εάν το αποτέλεσμα είναι μέσα στα διευκρινισμένα όρια χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η αβεβαιότητα. Αυτό αναφέρεται συχνά ως «κοινός κίνδυνος» (shared risk), δεδομένου ότι ο τελικός χρήστης διατρέχει μερικό από τον κίνδυνο ότι το προϊόν μπορεί να μην ανταποκρίνεται στην προδιαγραφή. Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει η υπόθεση ότι το μέγεθος της αβεβαιότητας είναι αποδεκτό και είναι σημαντικό να είναι το εργαστήριο σε θέση ώστε να καθορίσει και να αναφέρει την αβεβαιότητα. Το σενάριο κοινού κινδύνου ισχύει μόνο όταν ο εργαστηριακός πελάτης και ο τελικός χρήστης του εξοπλισμού συμμετέχουν στην απόφαση.

Όταν η προδιαγραφή καθορίζει το μέγεθος της αβεβαιότητας που λαμβάνεται υπόψη κατά την καθιέρωση των ορίων της δοκιμής, το εργαστήριο πρέπει να καταδειξεί ότι ο υπολογισμός της αβεβαιότητάς τους είναι εντός των επιτρεπτών αριθμών. Εάν αυτό δεν ισχύει, τότε το εργαστήριο πρέπει να δείξει πώς έχει προσαρμοστεί η διαφορά μέσα στη μεθοδολογία της έρευνας.

Η δοκιμή EMC πραγματοποιείται σε ένα πολύ ευρύ φάσμα προϊόντων που προορίζονται για ποικίλες εφαρμογές. Δεν είναι επομένως δυνατό, ή σωστό, για όλες τις περιπτώσεις το ότι το UKAS συστήνει τυποποιημένους κανόνες για τη συμμόρφωση, εντούτοις εν τη απουσία οποιαδήποτε διευκρινισμένων κριτηρίων, η ακόλουθη προσέγγιση επιτρέπει μια μέθοδο για την επίδειξη του ότι επιτυγχάνονται τα σχετικά μέρη της προδιαγραφής ISO/IEC 17025 [24] [23].

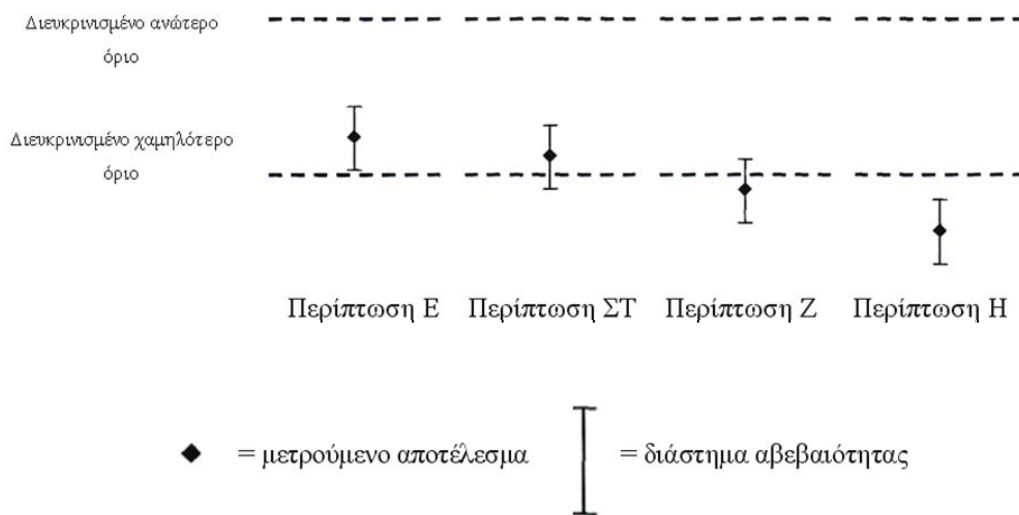
2.5.1 Εκπομπές

- Αν το μετρούμενο αποτέλεσμα, επεκταμένο από το διάστημα διευρυμένης αβεβαιότητας με επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, δεν παραβιάζει τα όρια τότε μπορεί να δηλωθεί η συμμόρφωση με την προδιαγραφή (περίπτωση Α, σχήμα 2-12 και περίπτωση Ε, σχήμα 2-13).
- Όπου το αποτέλεσμα ακόμα και μειωμένο κατά το μισό από το διάστημα διευρυμένης αβεβαιότητας υπερβαίνει ένα ανώτερο όριο προδιαγραφών, μπορεί να δηλωθεί η μη συμμόρφωση με την προδιαγραφή (περίπτωση Δ, σχήμα 2-12).
- Εάν το μετρούμενο αποτέλεσμα επεκταμένο προς τα πάνω κατά το μισό από το διάστημα διευρυμένης αβεβαιότητας παραβιάζει ένα χαμηλότερο όριο προδιαγραφών, τότε μπορεί να δηλωθεί η μη συμμόρφωση με τη προδιαγραφή (περίπτωση Η, σχήμα 2-13).
- Εάν η μετρούμενη τιμή μειώνεται αρκετά κοντά σε ένα όριο έτσι ώστε το μισό από το διάστημα διευρυμένης αβεβαιότητας να το επικαλύπτει, δεν είναι δυνατό να επιβεβαιωθεί η συμμόρφωση ή η μη συμμόρφωση στο δηλωμένο επίπεδο εμπιστοσύνης. Το αποτέλεσμα της δοκιμής και το διάστημα διευρυμένης αβεβαιότητας πρέπει να αναφερθούν μαζί με μια δήλωση δείχνοντας ότι η συμμόρφωση δεν είναι καταδειγμένη (περιπτώσεις Β και Γ, σχήμα 2-12 και περιπτώσεις ΣΤ και Ζ, σχήμα 2-13) [23].



Σχήμα 2-12: (Α) Το μετρούμενο αποτέλεσμα είναι μέσα στα όρια, ακόμα και όταν επεκτείνεται από το διάστημα αβεβαιότητας. Το προϊόν επομένως συμμορφώνεται με την προδιαγραφή. (Β) Το μετρούμενο αποτέλεσμα είναι κάτω από το ανώτερο όριο,

αλλά με περιθώριο λιγότερο από το μισό διάστημα αβεβαιότητας. Δεν είναι επομένως δυνατό να δηλωθεί η συμμόρφωση βασισμένη στο επίπεδο 95% εμπιστοσύνης. Εντούτοις, το αποτέλεσμα δείχνει ότι η συμμόρφωση είναι πιθανότερη από τη μη συμμόρφωση. (Γ) Το μετρούμενο αποτέλεσμα είναι επάνω από το ανώτερο όριο, αλλά με περιθώριο λιγότερο από το μισό διάστημα αβεβαιότητας. Δεν είναι επομένως δυνατό να δηλωθεί η μη συμμόρφωση βασισμένη στο επίπεδο 95% εμπιστοσύνης. Εντούτοις, το αποτέλεσμα δείχνει ότι η μη συμμόρφωση είναι περισσότερο από πιθανή από ότι η συμμόρφωση. (Δ) Το μετρούμενο αποτέλεσμα είναι πέρα από το ανώτερο όριο, ακόμα και όταν επεκτείνεται προς τα κάτω από το μισό διάστημα αβεβαιότητας. Το προϊόν επομένως δεν συμμορφώνεται με την προδιαγραφή.

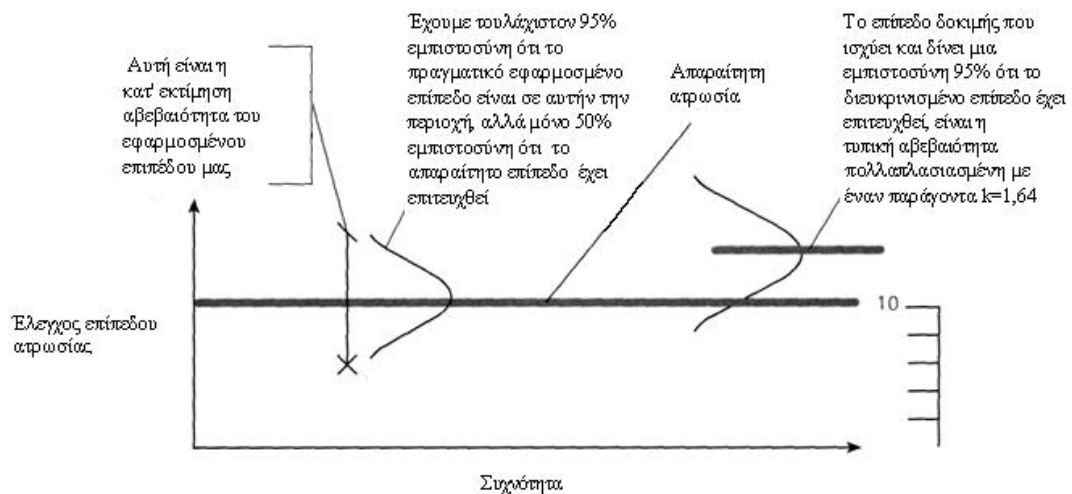


Σχήμα 2-13: (Ε) Το μετρούμενο αποτέλεσμα είναι μέσα στα όρια, ακόμα και όταν επεκτείνεται από το διάστημα αβεβαιότητας. Το προϊόν επομένως συμμορφώνεται με την προδιαγραφή. (ΣΤ) Το μετρούμενο αποτέλεσμα είναι επάνω από το χαμηλότερο όριο, αλλά με περιθώριο λιγότερο από το μισό διάστημα αβεβαιότητας. Δεν είναι επομένως δυνατό να δηλωθεί η συμμόρφωση βασισμένη στο επίπεδο 95% εμπιστοσύνης. Εντούτοις, το αποτέλεσμα δείχνει ότι η συμμόρφωση είναι πιθανότερη από τη μη συμμόρφωση. (Ζ) Το μετρούμενο αποτέλεσμα είναι κάτω από το χαμηλότερο όριο, αλλά με περιθώριο λιγότερο από το μισό διάστημα αβεβαιότητας. Δεν είναι επομένως δυνατό να δηλωθεί η μη συμμόρφωση βασισμένη στο επίπεδο 95% εμπιστοσύνης. Εντούτοις, το αποτέλεσμα δείχνει ότι η μη συμμόρφωση είναι

πιθανότερη από τη συμμόρφωση. (H) Το μετρούμενο αποτέλεσμα είναι πέρα από το χαμηλότερο όριο, ακόμα και όταν επεκτείνεται προς τα πάνω από το μισό διάστημα αβεβαιότητας. Το προϊόν επομένως δεν συμμορφώνεται με την προδιαγραφή.

2.5.2 Ατρωσία

Στην περίπτωση της δοκιμών ατρωσίας σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο παρεμβολής συνιστάται, ελλείψει άλλης οδηγίας, να πραγματοποιούνται στο συγκεκριμένο επίπεδο ατρωσίας αυξημένο κατά μια τυπική αβεβαιότητα, πολλαπλασιασμένη με ένα παράγοντα $k = 1,64$, που κάτω από κανονικές συνθήκες θα έδινε εμπιστοσύνη 90%. Με την αύξηση αυτή πετυχαίνουμε εμπιστοσύνη μόνο 5% κάτω από το απαραίτητο επίπεδο 95% των προδιαγραφών. Σε περίπτωση που δε γίνουν οι παραπάνω ενέργειες οι δοκιμές στο συγκεκριμένο επίπεδο ατρωσίας δίνουν μόνο 50% εμπιστοσύνη ότι το απαραίτητο επίπεδο, που απαιτούν οι προδιαγραφές, έχει επιτευχθεί [23].



Σχήμα 2-14: Δοκιμή ατρωσίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ανασκόπηση του προτύπου EN 55014-1

3.1 Εισαγωγικά

Το κείμενο του εγγράφου CISPR/F/300/FDIS, μελλοντικής έκδοσης 4 του CISPR 14-1, εκπονήθηκε από την Υποεπιτροπή CISPR SC F της IEC «Interference relating to household appliances, tools, lighting equipment and similar, apparatus», υποβλήθηκε στην παράλληλη ψήφιση IEC-CENELEC και έγινε αποδεκτό από τη CENELEC ως EN 55014-1 στις 01-08-2000, αντικαθιστά το EN 55014-1:1993 [25] και τις τροποποιήσεις του A1:1997 και A2:1999.

Το κείμενο του Διεθνούς Προτύπου CISPR 14-1:2000 [26] εγκρίθηκε ως Ευρωπαϊκό Πρότυπο από τη CENELEC χωρίς καμία τροποποίηση.

Ο σκοπός του προτύπου είναι να καθιερώσει ομοιόμορφες απαιτήσεις για τη στάθμη ραδιοδιαταραχών του εξοπλισμού που εμπίπτει στο πεδίο εφαρμογής του, να καθορίσει όρια διαταραχής, να περιγράψει μεθόδους μέτρησης και να τυποποιήσει τις συνθήκες λειτουργίας και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

3.2 Αντικείμενο

Το πρότυπο CISPR 14-1 εφαρμόζεται στην αγωγή και στην ακτινοβολία των ραδιοδιαταραχών (RF) από συσκευές των οποίων οι κύριες λειτουργίες επιτελούνται με κινητήρες και διατάξεις μεταγωγής ή ρύθμισης, εκτός εάν η ενέργεια RF παράγεται σκοπίμως ή προορίζεται για φωτισμό.

Ο εξοπλισμός που περιλαμβάνεται είναι: οικιακές ηλεκτρικές συσκευές, ηλεκτρικά εργαλεία, διατάξεις ελέγχου ρύθμισης που χρησιμοποιούν διατάξεις ημιαγωγού, ηλεκτροϊατρικές συσκευές με κινητήρα, ηλεκτρικά παιχνίδια, αυτόματες μηχανές διανομής καθώς επίσης και κινηματογραφικοί προβολείς ή προβολείς διαφανειών. Ακόμα περιλαμβάνονται, χωριστά μέρη του παραπάνω εξοπλισμού όπως κινητήρες, διατάξεις μεταγωγής π.χ. ηλεκτρονόμοι (ισχύος ή προστασίας), όμως δεν εφαρμόζονται απαιτήσεις εκπομπής εκτός εάν διατυπώνονται σε αυτό το πρότυπο.

Η περιοχή συχνοτήτων που καλύπτεται είναι 9 kHz έως 400 GHz. Τα όρια στο παρόν πρότυπο έχουν καθοριστεί σε πιθανοτική βάση με σκοπό να διατηρούν την καταστολή των διαταραχών οικονομικά εφικτή και να επιτυγχάνεται επαρκής ραδιοπροστασία. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις μπορεί να συμβαίνει παρεμβολή ραδιοσυχνοτήτων, παρά τη συμμόρφωση με τα όρια. Σε τέτοια περίπτωση, μπορεί να απαιτούνται πρόσθετες διατάξεις.

Από το αντικείμενο αυτού του προτύπου εξαιρούνται:

- Συσκευές για τις οποίες όλες οι απαιτήσεις εκπομπής στην περιοχή ραδιοσυχνοτήτων διατυπώνονται ρητώς σε άλλα πρότυπα IEC ή CISPR, όπως είναι τα φωτιστικά σώματα (CISPR 15), ο ακουστικός εξοπλισμός, βιντεοεξοπλισμός και ηλεκτρονικά μουσικά όργανα (CISPR 13 και 20), διατάξεις επικοινωνίας μέσω ηλεκτρικού δικτύου (IEC 61000-3-8), εξοπλισμός για την παραγωγή και χρήση της ενέργειας ραδιοσυχνοτήτων για θέρμανση και θεραπευτικούς σκοπούς (CISPR 11), φούρνοι μικροκυμάτων (CISPR 11), εξοπλισμός τεχνολογίας πληροφοριών (CISPR 22), ηλεκτρικός εξοπλισμός που πρόκειται να χρησιμοποιείται σε μηχανοκίνητα οχήματα (CISPR 12).
- Διατάξεις ελέγχου ρύθμισης και εξοπλισμός με διατάξεις ελέγχου ρύθμισης που έχουν ενσωματωμένες διατάξεις ημιαγωγού με ονομαστικό ρεύμα εισόδου μεγαλύτερο από 25 A ανά φάση.
- Αυτόνομα τροφοδοτικά.

3.3 Όροι και ορισμοί

Για τους σκοπούς του παρόντος προτύπου, εφαρμόζονται οι ορισμοί που περιέχονται στο IEC 60050(161):1990, International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Chapter 161: Electromagnetic compatibility [27], διευρυμένοι με τους ορισμούς στο πεδίο της ασυνεχούς διαταραχής που δίνονται παρακάτω.

Κρότημα (Quasi-Peak): Είναι διαταραχή, της οποίας το πλάτος υπερβαίνει το όριο οιονεί κορυφοτιμής της συνεχούς διαταραχής, η διάρκεια της δεν είναι μεγαλύτερη από 200 ms και η οποία χωρίζεται από μια επακόλουθη διαταραχή τουλάχιστον κατά

200 ms. Οι διάρκειες προσδιορίζονται από το σήμα το οποίο υπερβαίνει τη στάθμη αναφοράς IF του μετρητικού δέκτη.

Ένα κρότημα μπορεί να περιέχει έναν αριθμό παλμών, οπότε ο σχετικός χρόνος είναι εκείνος από την αρχή του πρώτου έως το τέλος του τελευταίου παλμού.

- Στάθμη αναφοράς ενδιάμεσης συχνότητας (IF, Intermediate Frequency, 10 MHz - 100 MHz): Είναι η αντίστοιχη τιμή στην έξοδο ενδιάμεσης συχνότητας του μετρητικού δέκτη ενός αδιαμόρφωτου ημιτονοειδούς σήματος το οποίο παράγει ένδειξη οιονεί κορυφοτιμής ίση με το όριο για συνεχή διαταραχή.
- Ενέργεια μεταγωγής: Είναι ένα άνοιγμα ή ένα κλείσιμο διακόπτη ή επαφής και είναι ανεξάρτητο του εάν παρατηρούνται ή όχι κροτήματα.
- Ελάχιστος χρόνος παρατήρησης T: Είναι ο ελάχιστος αναγκαίος χρόνος όταν απαριθμούνται κροτήματα (ή όπου γίνεται σχετική απαρίθμηση ενεργειών μεταγωγής) για να παρέχονται επαρκώς βάσιμες αποδείξεις για τη στατιστική ερμηνεία του αριθμού των κροτημάτων (ή ενεργειών μεταγωγής) ανά μονάδα χρόνου.
- Ρυθμός κροτημάτων N: Είναι γενικά ο αριθμός των κροτημάτων ή των ενεργειών μεταγωγής μέσα σε ένα λεπτό και αυτός ο αριθμός χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του ορίου κροτημάτων.
- Όριο κροτημάτων L_q : Το σχετικό όριο L για συνεχή διαταραχή, προσδιορίζεται από το ρυθμό κροτημάτων N και εφαρμόζεται στην διαταραχή που αξιολογείται, σύμφωνα με τη μέθοδο του άνω τεταρτημόριου.
- Μέθοδος του άνω τεταρτημόριου: Το ένα τέταρτο του αριθμού των κροτημάτων που καταχωρούνται κατά τη διάρκεια του χρόνου παρατήρησης T επιτρέπεται να υπερβαίνει το όριο κροτημάτων L_q .

Στην περίπτωση των ενεργειών μεταγωγής το ένα τέταρτο του αριθμού των ενεργειών μεταγωγής που καταχωρούνται κατά τη διάρκεια του χρόνου παρατήρησης επιτρέπεται να παράγει κροτήματα τα οποία υπερβαίνουν το όριο κροτημάτων L_q [28].

3.4 Όρια διαταραχής

Δεν χρειάζεται η διεξαγωγή μετρήσεων ραδιοδιαταραχής κάτω από 148,5 kHz και πάνω από 300 MHz, εκτός εάν προδιαγράφεται αλλιώς στο παρόν πρότυπο για ειδικές συσκευές.

3.4.1 Συνεχής διαταραχή

Οι κινητήρες με επιλογικό μεταγωγέα, καθώς επίσης και άλλες διατάξεις ενσωματωμένες σε οικιακές συσκευές, ηλεκτρικά εργαλεία και παρόμοιες ηλεκτρικές συσκευές μπορούν να προκαλούν συνεχή διαταραχή. Η συνεχής διαταραχή μπορεί να είναι είτε ευρυζωνική, που προκαλείται από διατάξεις μεταγωγής όπως είναι μηχανικοί διακόπτες, μεταγωγείς επιλογής και ρυθμιστές ημιαγωγού, είτε μπορεί να είναι στενοζωνική, που προκαλείται από ηλεκτρονικές διατάξεις ελέγχου όπως οι μικροεπεξεργαστές [28].

3.4.1.1 Περιοχή συχνοτήτων 148,5 kHz έως 30 MHz (τάσεις ακροδέκτη)

Η Παγκόσμια Διοικητική Διάσκεψη Ραδιοεπικοινωνιών (WARC) από το 1979 έχει μειώσει το κάτω όριο συχνότητας στην Περιφέρεια 1 στα 148,5 kHz. Για εφαρμογές που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής του παρόντος προτύπου, οι δοκιμές στα 150 kHz θεωρούνται επαρκείς, αφού τα 148,5 kHz πέφτουν μέσα στο ζωνικό εύρος του δέκτη.

Πίνακας 3-1: Όρια τάσης ακροδέκτη για την περιοχή συχνοτήτων 148,5 kHz έως 30 MHz για οικιακές συσκευές και εξοπλισμό που προκαλεί παρόμοιες διαταραχές και διατάξεις ρύθμισης με ενσωματωμένες διατάξεις ημιαγωγού.

Περιοχή συχνοτήτων	Στους ακροδέκτες ηλεκτρικού δικτύου		Στους ακροδέκτες ηλεκτρικού δικτύου και στους πρόσθετους ακροδέκτες	
	1	2	3	5
(MHz)	dB(μV) Οιονεί κορυφοτιμή	dB(μV) Μέση τιμή	dB(μV) Οιονεί κορυφοτιμή	dB(μV) Μέση τιμή
0,15 έως 0,50	Γραμμική ελάττωση με το λογάριθμο της συχνότητας από: 66 έως 56		80	70
0,50 to 5	56	46	74	64
5 to 30	60	50	74	64

Πίνακας 3-2: Όρια τάσης ακροδέκτη για την περιοχή συχνοτήτων 148,5 kHz έως 30 MHz για ακροδέκτες ηλεκτρικού δικτύου εργαλείων.

Περιοχή συχνοτήτων	Ονομαστική ισχύς κινητήρα μη υπερβαίνουσα τα 700 W		Ονομαστική ισχύς κινητήρα άνω των 700 W και μη υπερβαίνουσα τα 1000 W		Ονομαστική ισχύς κινητήρα άνω των 1000 W	
	6	7	8	9	10	11
(MHz)	dB(μV) Οιονεί κορυφοτιμή	dB(μV) Μέση τιμή	dB(μV) Οιονεί κορυφοτιμή	dB(μV) Μέση τιμή	dB(μV) Οιονεί κορυφοτιμή	dB(μV) Μέση τιμή
0,15 έως 0,35	Γραμμική ελάττωση με το λογάριθμο της συχνότητας από:					
	66 έως 59	59 έως 49	70 έως 63	63 έως 53	76 έως 69	69 έως 59
0,35 έως 5	59	49	63	53	69	59
5 έως 30	64	54	68	58	74	64

Τα όρια των τάσεων διαταραχής ακροδέκτη δίνονται στους παρακάτω πίνακες. Οι τάσεις ακροδέκτη μετρούνται σε κάθε ακροδέκτη σε σχέση με τη γη. Οι ακροδέκτες ορίζονται ως αγωγά μέρη, κατάλληλα για επαναχρησιμοποιήσιμη ηλεκτρική σύνδεση με εξωτερικά κυκλώματα.

Τα όρια, στις στήλες 2 και 3 του πίνακα 3-1, πρέπει να ικανοποιούνται στη φάση ή στις φάσεις και στον ουδέτερο των ακροδεκτών ηλεκτρικού δικτύου όλων των συσκευών εκτός από εκείνες των ηλεκτρικών εργαλείων.

Τα χαλαρωμένα όρια που δίνονται για «πρόσθετους ακροδέκτες» στις στήλες 4 και 5, του πίνακα 3-1, εφαρμόζονται στους πρόσθετους ακροδέκτες των συσκευών καθώς επίσης σε ακροδέκτες φόρτου αλλά και πρόσθετους ακροδέκτες των διατάξεων ελέγχου ρύθμισης με ενσωματωμένες διατάξεις ημιαγωγού.

Οι ακροδέκτες οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιούνται είτε ως ακροδέκτες ηλεκτρικού δικτύου είτε ως ακροδέκτες φόρτου ή πρόσθετοι ακροδέκτες υπόκεινται στα όρια για τους ακροδέκτες ηλεκτρικού δικτύου.

Για μη ανασυρματούμενους αγωγούς κοντότερους από 2 m, που συνδέουν χωριστές διατάξεις ημιαγωγού για έλεγχο ταχύτητας με συσκευές όπως ραπτομηχανές, οδοντιατρικά τρυπάνια, κλπ, δεν εφαρμόζονται όρια τάσης ακροδέκτη. Η διάταξη ημιαγωγού μπορεί είτε να ενσωματώνεται στη χωριστή μονάδα ελέγχου είτε στη συσκευή.

Για τους ακροδέκτες ηλεκτρικού δικτύου των ηλεκτρικών εργαλείων εφαρμόζονται τα συγκεκριμένα όρια που δίνονται στις στήλες 6 έως 11 σύμφωνα με την

ονομαστική ισχύ του κινητήρα. Η ισχύς οποιασδήποτε θερμαντικής διάταξης πρέπει να εξαιρείται. Για τους ακροδέκτες φόρτου και τους πρόσθετους ακροδέκτες των ηλεκτρικών εργαλείων, εφαρμόζονται οι στήλες 4 και 5 χωρίς περαιτέρω χαλάρωση.

Για τους ενεργειακούς τροφοδότες ηλεκτρικού φράκτη ανάλογα με το είδος τους εφαρμόζονται τα αντίστοιχα όρια. Για ακροδέκτες φράκτη σε όλους τους ενεργειακούς τροφοδότες, στήλες 4 και 5, για ακροδέκτες ηλεκτρικού δικτύου σε ενεργειακούς, τροφοδότες σχεδιασμένους για σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο, στήλες 2 και 3, και για ακροδέκτες μπαταρίας σε ενεργειακούς τροφοδότες σχεδιασμένους για λειτουργία από μπαταρία, στήλες 4 και 5.

Όμως, δεν εφαρμόζονται όρια στους ακροδέκτες μπαταρίας των ενεργειακών τροφοδοτών με ενσωματωμένες μπαταρίες που δεν μπορούν να συνδεθούν στο ηλεκτρικό δίκτυο, ή σε ενεργειακούς τροφοδότες με εξωτερικές μπαταρίες αν ο αγωγός σύνδεσης μεταξύ του ενεργειακού τροφοδότη και της μπαταρίας είναι κοντότερος από 2 m και δεν μπορεί να εφαρμοστεί εύκολη επέκταση του από τον χρήστη χωρίς ειδικά εργαλεία.

Στην πράξη, το σύρμα φράκτη μπορεί να δρα επίσης ως ενεργός πηγή διαταραχών, λόγω εκκενώσεων υψηλής τάσης, ιδιαίτερα στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Οι κατασκευαστές των ενεργειακών τροφοδοτών ηλεκτρικού φράκτη θα πρέπει να πληροφορούν τους χρήστες που να εξαλείφουν τα σημεία εκκένωσης, όπως είναι η επαφή με βλάστηση ή ένα σπασμένο σύρμα του φράκτη.

Για συσκευές μπαταρίας (είτε με ενσωματωμένες είτε με εξωτερικές μπαταρίες) που μπορούν να συνδεθούν με το ηλεκτρικό δίκτυο εφαρμόζονται τα όρια των στηλών 2 και 3 στους ακροδέκτες ηλεκτρικού δικτύου.

Δεν εφαρμόζονται όρια διαταραχής στις συσκευές με ενσωματωμένες μπαταρίες, που δεν μπορούν να συνδεθούν στο ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά ούτε στις συσκευές με εξωτερικές μπαταρίες, εάν ο αγωγός σύνδεσης μεταξύ της συσκευής και της μπαταρίας είναι κοντότερος από 2 m. Αν ο αγωγός σύνδεσης είναι μακρύτερος από 2 m ή εύκολα επεκτάσιμος από το χρήστη χωρίς ειδικά εργαλεία, τότε εφαρμόζονται τα όρια των στηλών 4 και 5 στους αγωγούς αυτούς [28].

3.4.1.2 Περιοχή συχνοτήτων 30 MHz έως 300 MHz (ισχύς διαταραχής)

Η ισχύς διαταραχής μετρείται σε όλους τους ακροδέκτες και τα όρια της παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

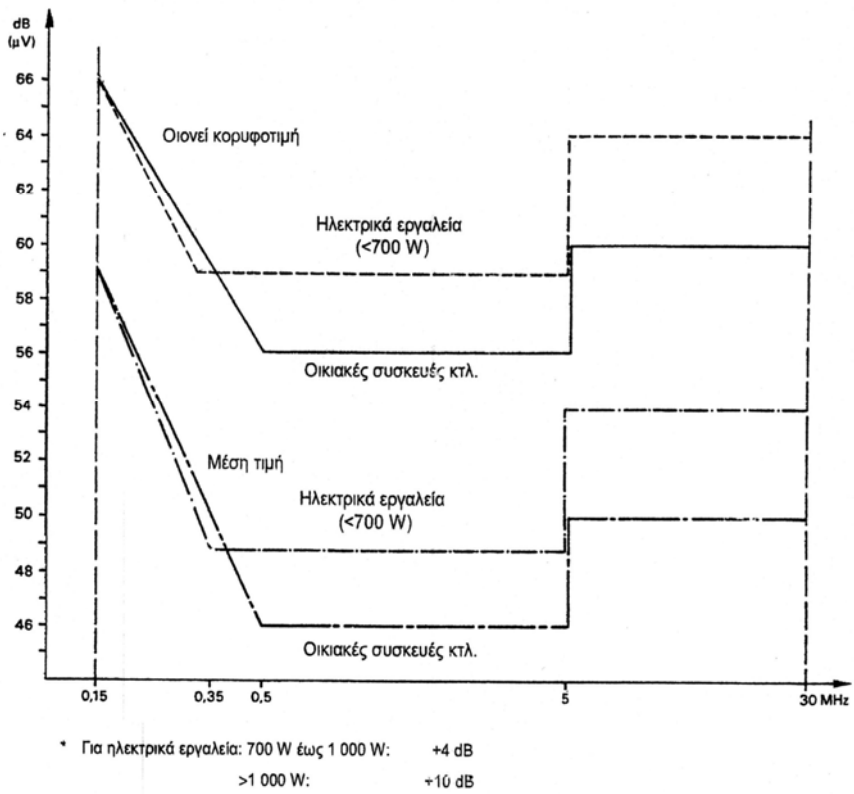
Πίνακας 3-3: Όρια ισχύος διαταραχής για την περιοχή συχνοτήτων 30 MHz έως 300 MHz για οικιακές συσκευές και εξοπλισμό που προκαλεί παρόμοιες διαταραχές και διατάξεις ρύθμισης με ενσωματωμένες διατάξεις ημιαγωγού.

1	Οικιακές και παρόμοιες συσκευές		Εργαλεία					
	2	3	4	5	6	7	8	9
Περιοχή συχνοτήτων			Ονομαστική ισχύς κινητήρα μη υπερβαίνουσα τα 700 W		Ονομαστική ισχύς κινητήρα άνω των 700 W και μη υπερβαίνουσα τα 1000 W		Ονομαστική ισχύς κινητήρα άνω των 1000 W	
(MHz)	dB(pW) Οιονεί κορυφοτιμή	dB(pW) Μέση τιμή	dB(pW) Οιονεί κορυφοτιμή	dB(pW) Μέση τιμή	dB(pW) Οιονεί κορυφοτιμή	dB(pW) Μέση τιμή	dB(pW) Οιονεί κορυφοτιμή	dB (pW) Μέση τιμή
30 έως 300	Γραμμική ελάττωση με το λογάριθμο της συχνότητας από:							
	45 έως 55	35 έως 45	45 έως 55	35 έως 45	49 έως 59	39 έως 49	55 έως 65	45 έως 55

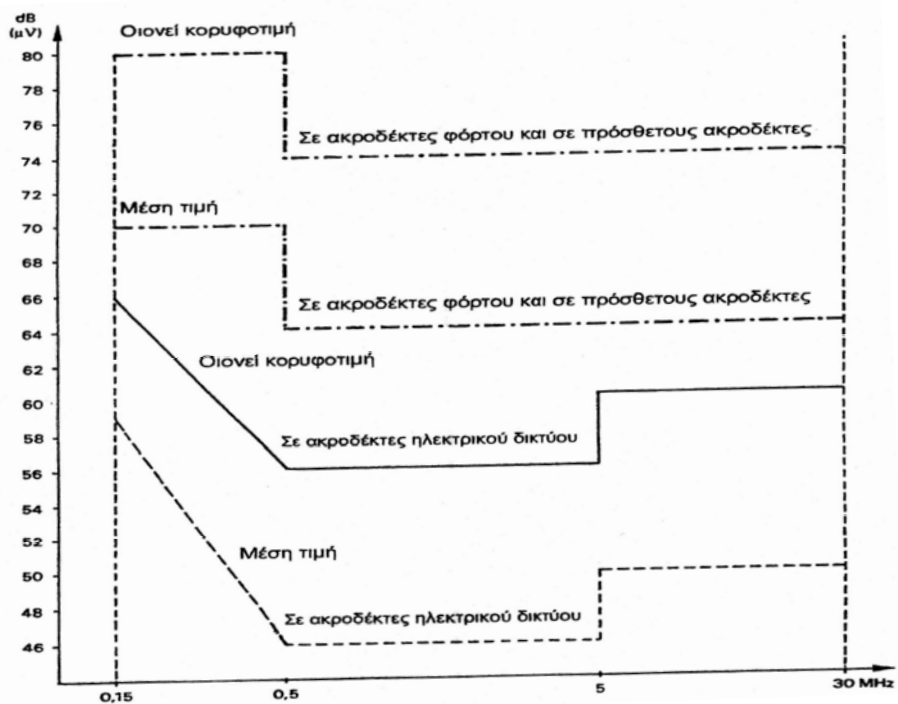
Όλες οι συσκευές πρέπει να ικανοποιούν τα όρια των στηλών 2 και 3 του πίνακα 3-3.

Στις συσκευές μπαταρίας (με ενσωματωμένες μπαταρίες) που δεν μπορούν να συνδεθούν στο ηλεκτρικό δίκτυο δεν εφαρμόζονται όρια ισχύος διαταραχής.

Στα ηλεκτρικά εργαλεία εφαρμόζονται τα συγκεκριμένα όρια που δίνονται στις στήλες 4 έως 9, του πίνακα 3-3, ανάλογα με την ονομαστική ισχύ του κινητήρα και πρέπει να εξαιρείται η ισχύς οποιασδήποτε θερμαντικής διάταξης.



Σχήμα 3-1: Γραφική παράσταση των ορίων για οικιακές συσκευές και ηλεκτρικά εργαλεία.



Σχήμα 3-2: Γραφική παράσταση των ορίων για τη διάταξη ελέγχου ρύθμισης.

Οι διατάξεις ελέγχου ρύθμισης με ενσωματωμένες διατάξεις ημιαγωγού, οι ενεργειακοί τροφοδότες ηλεκτρικού φράκτη, οι ανορθωτές, οι φορτιστές μπαταριών και οι μετατροπείς που δεν περιέχουν οποιαδήποτε εσωτερική γεννήτρια συχνοτήτων ή κλειδώματος που λειτουργεί σε συχνότητες υψηλότερες από 9 kHz δεν υπόκεινται στις απαιτήσεις ισχύος διαταραχής στην περιοχή συχνοτήτων 30 MHz έως 300 MHz [28].

3.4.2 Ασυνεχής διαταραχή

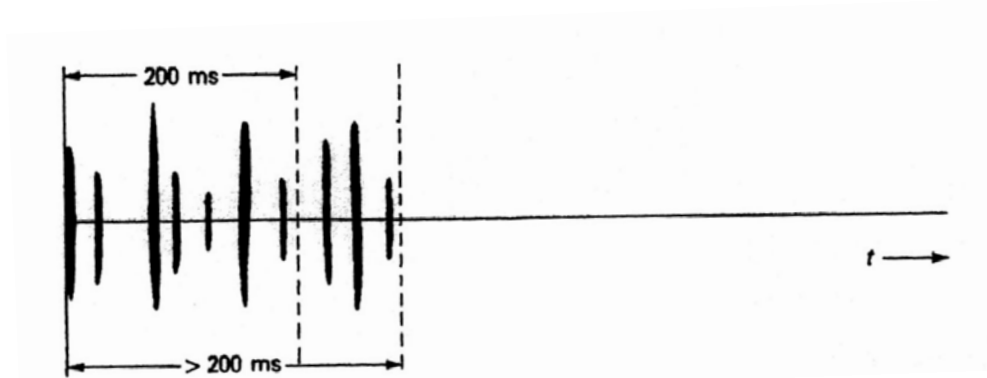
Ασυνεχείς διαταραχές παράγουν όλες οι λειτουργούσες συσκευές. Ακόμα παράγονται και από ενέργειες μεταγωγής σε θερμοστατικά ελεγχόμενες συσκευές, σε μηχανές που ελέγχονται με αυτόματο πρόγραμμα αλλά και από άλλες ηλεκτρικά ελεγχόμενες συσκευές. Το υποκειμενικό αποτέλεσμα της ασυνεχούς διαταραχής ποικίλλει ανάλογα με το ρυθμό επανάληψης και το πλάτος σε ακουστική και σε βίντεο εμφάνιση. Επομένως, γίνεται διάκριση μεταξύ των διάφορων ειδών ασυνεχούς διαταραχής.

Η ασυνεχής διαταραχή μετρείται μόνο με ένα μετρητικό δέκτη που περιλαμβάνει ανιχνευτή οιονεί κορυφοτιμής [29].

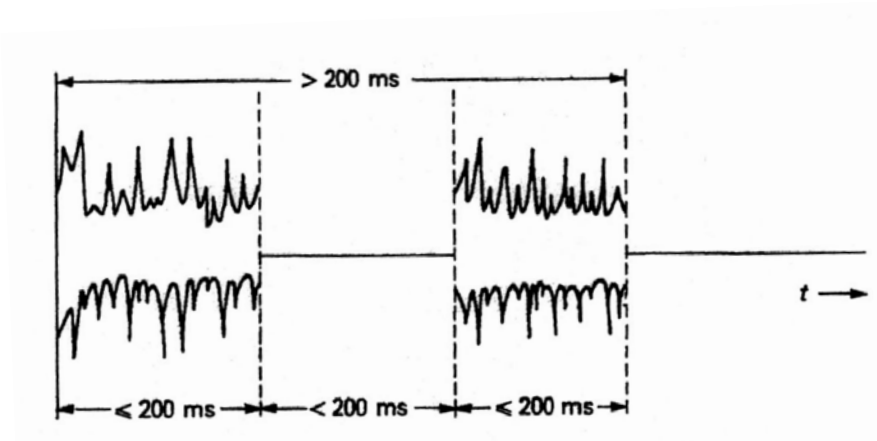
Τα όρια για ασυνεχή διαταραχή εξαρτώνται κυρίως από το χαρακτήρα της διαταραχής και από το ρυθμό κροτημάτων N. Δεν εφαρμόζονται όρια ασυνεχούς διαταραχής στην περιοχή συχνοτήτων 30 MHz έως 300 MHz. Η στάθμη των διαταραχών κάτω των 30 MHz ερμηνεύεται ως ένδειξη για τη στάθμη άνω των 30 MHz [28].

3.4.2.1 Περιοχή συχνοτήτων 148,5 kHz έως 30 MHz (τάσεις ακροδέκτη)

Στις ασυνεχείς, όπως και στις συνεχείς, διαταραχές εφαρμόζονται τα όρια των Πινάκων 3-1 και 3-2, από όλους τους εξοπλισμούς οι οποίοι παράγουν διαταραχές που δεν είναι κροτήματα ή κροτήματα με ρυθμό κροτημάτων N ίσο ή μεγαλύτερο από 30. Παραδείγματα ασυνεχών διαταραχών για τις οποίες εφαρμόζονται τα όρια για συνεχή διαταραχή φαίνονται στα σχήματα 3-3 και 3-4.



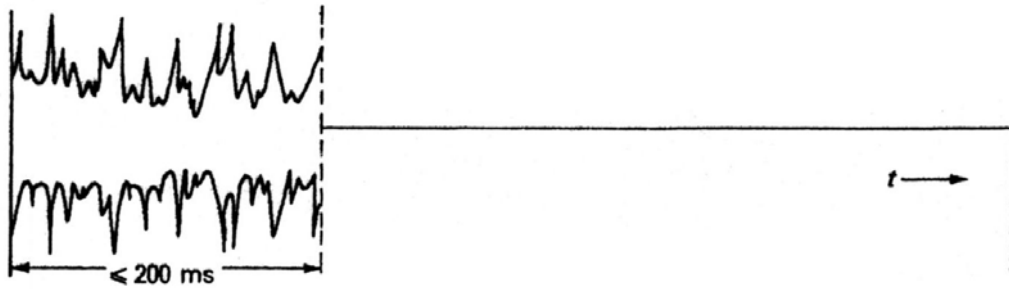
Σχήμα 3-3: Μεμονωμένες παλμωθήσεις με διάρκεια μικρότερη από 200 ms, διαπόσταση μικρότερη από 200 ms που συνεχίζουν για περισσότερο από 200ms και παρατηρούνται στην έξοδο ενδιάμεσης συχνότητας του μετρικού δέκτη.



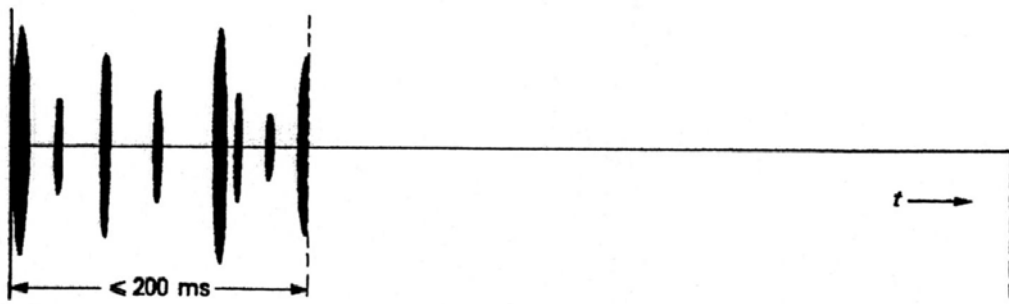
Σχήμα 3-4: Δύο διαταραχές που απέχουν μεταξύ τους λιγότερο από 200 ms, έχουν συνολική διάρκεια μεγαλύτερη από 200 ms και παρατηρούνται στην έξοδο ενδιάμεσης συχνότητας του μετρικού δέκτη.

Για ασυνεχή διαταραχή, το όριο κροτημάτων L_q επιτυγχάνεται με αύξηση του σχετικού ορίου L με 44 dB, για $N < 0,2$, ή $20 \log(30/N)$ dB, για $0,2 < N < 30$. Παραδείγματα ασυνεχών διαταραχών που ταξινομούνται ως κροτήματα φαίνονται στα σχήματα 3-5, 3-6 και 3-7.

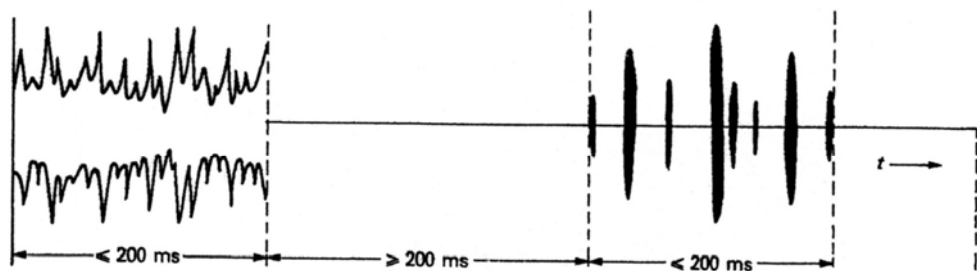
Το όριο κροτημάτων L_q εφαρμόζεται για ρυθμούς κροτημάτων N προσδιορισμένους υπό συνθήκες λειτουργίας και για ερμηνεία αποτελεσμάτων.



Σχήμα 3-5: Διαταραχή με διάρκεια μικρότερη από 200 ms, που αποτελείται από συνεχή σειρά παλμωθήσεων και παρατηρείται στην έξοδο ενδιάμεσης συχνότητας του μετρητικού δέκτη.



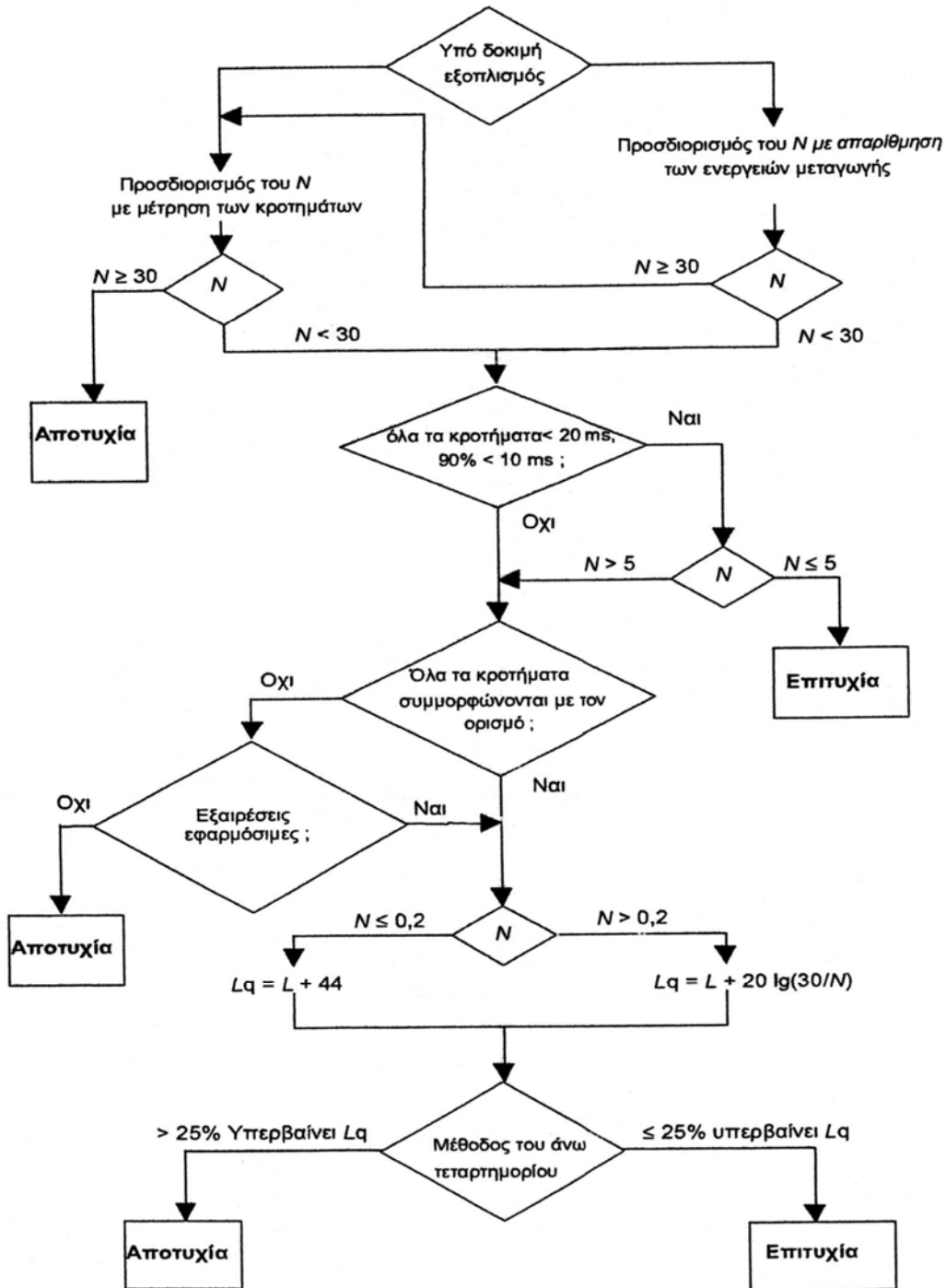
Σχήμα 3-6: Ένα κρότημα. Μεμονωμένες παλμωθήσεις με διάρκεια μικρότερη από 200 ms, που δεν συνεχίζουν για περισσότερο από 200 ms και παρατηρούνται στην έξοδο ενδιάμεσης συχνότητας του μετρητικού δέκτη.



Σχήμα 3-7: Δύο κροτήματα. Δύο διαταραχές, από τις οποίες καμιά δεν υπερβαίνει τα 200 ms, που απέχουν μεταξύ τους τουλάχιστον 200 ms και παρατηρούνται στην έξοδο ενδιάμεσης συχνότητας του μετρητικού δέκτη.

3.4.2.2 Εξαιρέσεις από τον ορισμό του κροτήματος

Υπό ορισμένες συνθήκες κάποια είδη ασυνεχών διαταραχών εξαιρούνται από τον ορισμό του κροτήματος και στο σχήμα 3-8 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ροής, το οποίο δείχνει πώς λαμβάνονται υπόψη αυτές οι συνθήκες στη διαδικασία επαλήθευσης.



Σχήμα 3-8: Διάγραμμα ροής για μετρήσεις ασυνεχούς διαταραχής.

3.4.2.2.1 Μεμονωμένες ενέργειες μεταγωγής

Η διαταραχή που οφείλεται σε μεμονωμένες ενέργειες μεταγωγής, που προκαλούνται άμεσα ή έμμεσα, χειροκίνητα ή από παρόμοιες δραστηριότητες σε διακόπτη ή σε διάταξη ελέγχου ρύθμισης που περιλαμβάνεται σε μια συσκευή, αλλά και από συσκευές που χρησιμοποιούνται:

- με το σκοπό μόνο τη σύνδεση ή την αποσύνδεσης ηλεκτρικού δικτύου,
- με σκοπό μόνο την επιλογή προγράμματος,
- τον έλεγχο της ενέργειας ή της ταχύτητας με μεταγωγή μεταξύ περιορισμένου αριθμού σταθερών θέσεων,
- την αλλαγή της χειροκίνητης ρύθμισης μίας συνεχώς ρυθμίσιμης διάταξης ελέγχου, όπως μιας διάταξης μεταβλητής ταχύτητας για στύψιμο ή ηλεκτρονικών θερμοστατών,

θα πρέπει να παραβλέπεται για το σκοπό των δοκιμών της συσκευής για συμμόρφωση με τα όρια της ραδιοδιαταραχής που τίθενται στο παρόν πρότυπο.

Εδώ περιλαμβάνονται οι διακόπτες, για συσκευές, αποκατάστασης/διακοπής (συμπεριλαμβανομένου των ενεργοποιούμενων με το πόδι). Για παράδειγμα ο διακόπτης μιας ηλεκτρικής γραφομηχανής, οι χειροκίνητοι διακόπτες για τον έλεγχο ροής θερμότητας και αέρα σε συσκευές θέρμανσης με ανεμιστήρα και σε στεγνωτήρες μαλλιών, καθώς επίσης και ο έμμεσα ενεργοποιούμενος διακόπτης ενός ερμαρίου, μιας ιματιοθήκης ή ενός ψυγείου και οι διακόπτες που ενεργοποιούνται με αισθητήρα, κλπ.

Οι διακόπτες που συνήθως ενεργοποιούνται επανειλημμένα δεν περιλαμβάνονται σε αυτήν την παράγραφο, όπως π.χ. οι διακόπτες για ραπτομηχανές, αριθμομηχανές, εξοπλισμό κασσιτεροσυγκόλλησης, κλπ. Επίσης, για το σκοπό των δοκιμών της συσκευής για συμμόρφωση με τα όρια της ραδιοδιαταραχής, πρέπει να παραβλέπεται η διαταραχή που προκαλείται από τη λειτουργία οποιασδήποτε διάταξης μεταγωγής ή διάταξης ελέγχου που περιλαμβάνεται σε μια συσκευή για το σκοπό της αποσύνδεσης ηλεκτρικού δικτύου μόνο για ασφάλεια [28].

3.4.2.2.2 Συνδυασμός κροτημάτων σε χρονοπλαίσιο μικρότερο από 600 ms

Σε συσκευές ελεγχόμενες από πρόγραμμα επιτρέπεται συνδυασμός κροτημάτων σε χρονοπλαίσιο μικρότερο από 600 ms μια φορά ανά επιλεγόμενο κύκλο προγράμματος. Για άλλες συσκευές τέτοιος συνδυασμός κροτημάτων επιτρέπεται μια φορά κατά τη διάρκεια του ελάχιστου χρόνου παρατήρησης. Αυτό ισχύει επίσης για θερμοστατικά ελεγχόμενους τριφασικούς διακόπτες, που προκαλούν τρεις διαταραχές ακολουθιακά σε καθεμιά από τις τρεις φάσεις και τον ουδέτερο. Ο συνδυασμός κροτημάτων θεωρείται ως ένα κρότημα [28].

3.4.2.2.3 Στιγμαία μεταγωγή

Για να συμμορφώνονται οι συσκευές με τα όρια, ανεξαρτήτως του πλάτους των κροτημάτων, θα πρέπει να ικανοποιούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

- ο ρυθμός των κροτημάτων να είναι μικρότερος από 5,
- τα προκαλούμενα κροτήματα να έχουν διάρκεια μεγαλύτερη από 20 ms,
- το 90% των προκαλούμενων κροτημάτων να έχει διάρκεια μικρότερη από 10 ms.

3.4.2.2.4 Διαχωρισμός κροτημάτων μικρότερος από 200 ms

Οι συσκευές που έχουν ρυθμό κροτημάτων μικρότερο από 5, για οποιοσδήποτε δύο διαταραχές καθεμιά από τις οποίες έχει μέγιστη διάρκεια 200 ms, πρέπει να υπολογίζονται ως δύο κροτήματα ακόμη και όταν ο διαχωρισμός μεταξύ των διαταραχών είναι μικρότερος από 200 ms. Η περίπτωση αυτή, που π.χ. παρατηρήθηκε σε ψυγεία, και είναι το παράδειγμα που φαίνεται στο σχήμα 3-4, θα αποτιμάται ως δύο κροτήματα και όχι ως συνεχής διαταραχή [28].

3.5 Μέθοδοι μέτρησης των τάσεων διαταραχής ακροδέκτη (148,5 kHz έως 30 MHz)

Παρακάτω περιγράφονται οι γενικές απαιτήσεις για τη μέτρηση της τάσης διαταραχής που παράγεται στους ακροδέκτες της συσκευής.

3.5.1 Μετρητικές διατάξεις

3.5.1.1 Μετρητικοί δέκτες

Οι δέκτες με ανιχνευτές οιονεί κορυφοτιμής και οι δέκτες με ανιχνευτές μέσης τιμής πρέπει να είναι σύμφωνα με το CISPR 16-1 [29]. Και οι δύο ανιχνευτές μπορεί να είναι ενσωματωμένοι σε ένα μόνο δέκτη και οι μετρήσεις να διεξάγονται με τη χρησιμοποίηση είτε του ανιχνευτή οιονεί κορυφοτιμής είτε του ανιχνευτή μέσης τιμής [29].

3.5.1.2 Δικτύωμα τεχνητού ηλεκτρικού δικτύου

Το δικτύωμα τεχνητού ηλεκτρικού δικτύου (LISN) απαιτείται για να παρέχει καθορισμένη εμπέδηση σε υψηλές συχνότητες μεταξύ των ακροδεκτών του υπό δοκιμή εξοπλισμού και της γης αναφοράς και επίσης να απομονώνει το κύκλωμα δοκιμής από ανεπιθύμητα σήματα ραδιοσυχνότητας στο ηλεκτρικό δίκτυο τροφοδοσίας. Πρέπει να χρησιμοποιείται LISN 50 Ω/50 μH (ή 50 Ω/50 μH + 5 Ω) [29].

Για να εξασφαλίζεται ότι, στη συχνότητα της μέτρησης, η εμπέδηση του ηλεκτρικού δικτύου δεν επηρεάζει ουσιωδώς την εμπέδηση του LISN, πρέπει να παρεμβάλλεται κατάλληλη εμπέδηση ραδιοσυχνότητας μεταξύ του LISN και του ηλεκτρικού δικτύου τροφοδοσίας. Αυτή η εμπέδηση θα μειώνει επίσης την επίπτωση ανεπιθύμητων σημάτων που εμφανίζονται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η σύνδεση μεταξύ του LISN και του μετρητικού δέκτη πρέπει να γίνεται μέσω ενός ομοαξονικού καλωδίου με χαρακτηριστική εμπέδηση 50 Ω.

3.5.1.3 Ανιχνευτήρας τάσης

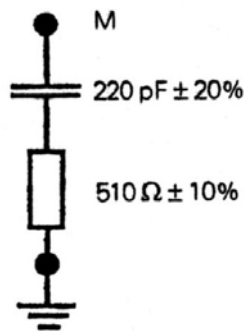
Ο ανιχνευτήρας τάσης πρέπει να χρησιμοποιείται για μετρήσεις σε ακροδέκτες που δεν είναι ακροδέκτες ηλεκτρικού δικτύου π.χ. ακροδέκτες φόρτου και ελέγχου. Ο ανιχνευτήρας τάσης πρέπει επίσης να χρησιμοποιείται σε ακροδέκτες ηλεκτρικού δικτύου όταν δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί LISN χωρίς να επηρεάζει αδικαιολόγητα το δοκίμιο ή τον εξοπλισμό δοκιμής, π.χ. κατά τη μέτρηση κινητήρων και θερμαντικών διατάξεων που λειτουργούν με ρεύμα μεγαλύτερο από 25 A ανά φάση. Περιέχει έναν αντιστάτη που έχει τιμή αντίστασης τουλάχιστον 1500 Ω σε σειρά με

έναν πυκνωτή με τιμή αντίδρασης αμελητέα ως προς την αντίσταση (στην περιοχή 150 kHz έως 30 MHz) [29].

Τα μετρητικά αποτελέσματα πρέπει να διαρθρώνονται σύμφωνα με τη διαίρεση τάσης μεταξύ του ανιχνευτήρα και της μετρητικής συσκευής. Για αυτήν τη διόρθωση μόνο τα αντιστασικά μέρη των εμπεδήσεων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Αν η λειτουργία του δοκιμίου επηρεάζεται από την πολύ χαμηλή εμπέδηση του ανιχνευτήρα, τότε αυτή (στα 50/60 Hz και στις ραδιοσυχνότητες) πρέπει να αυξάνεται όπως χρειάζεται (για παράδειγμα 15 kΩ σε σειρά με 500 pF).

3.5.1.4 Τεχνητό χέρι

Το τεχνητό χέρι (artificial hand) απαιτείται για εξομοίωση της επίδρασης του χεριού του χρήστη, για χειρόφερτο εξοπλισμό κατά τη διάρκεια της μέτρησης τάσης διαταραχής. Αυτό αποτελείται από μεταλλικό φύλλο το οποίο συνδέεται με έναν ακροδέκτη (ακροδέκτης M) ενός στοιχείου RC που συνίσταται από έναν πυκνωτή των $220 \text{ pF} \pm 20\%$ σε σειρά με έναν αντιστάτη των $510 \text{ } \Omega \pm 10\%$. Ο άλλος ακροδέκτης του στοιχείου RC πρέπει να συνδέεται με τη γη αναφοράς του μετρητικού συστήματος. Το στοιχείο RC του τεχνητού χεριού μπορεί να ενσωματώνεται στο περίβλημα του τεχνητού ηλεκτρικού δικτύου τροφοδοσίας [29].



Σχήμα 3-9: Στοιχείο RC.

3.5.2 Μετρητικές διαδικασίες και διευθετήσεις

3.5.2.1 Αγωγός ηλεκτρικού δικτύου

Κατά τη διάρκεια όλων των μετρήσεων των τάσεων διαταραχής ακροδέκτη (στους ακροδέκτες ηλεκτρικού δικτύου ή σε άλλους ακροδέκτες) το LISN συνδέεται με

τους ακροδέκτες ηλεκτρικού δικτύου για να παρέχει καθορισμένο τερματισμό και τοποθετείται σε απόσταση 0,8 m από τη συσκευή. Οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται στο άκρο βύσματος του αγωγού. Εάν ο αγωγός ηλεκτρικού δικτύου του δοκιμίου είναι μακρύτερος από το αναγκαίο, για να συνδέεται με το LISN, το παραπάνω μήκος πρέπει να αναδιπλώνεται προς τα πίσω και εμπρός παράλληλα προς τον αγωγό σχηματίζοντας μια οριζόντια δέσμη μήκους μεταξύ 0,3 m και 0,4 m. Αν ο αγωγός είναι κοντότερος από την απαιτούμενη απόσταση τότε πρέπει να επεκτείνεται στο αναγκαίο μήκος. Αν περιλαμβάνει τον αγωγό γείωσης, τότε το άκρο βύσματος του αγωγού γείωσης πρέπει να συνδέεται με τη γη αναφοράς του μετρητικού εξοπλισμού.

Όπου απαιτείται αγωγός γείωσης, αλλά δεν περιλαμβάνεται στον αγωγό, η σύνδεση του ακροδέκτη γης της συσκευής με τη γη αναφοράς του μετρητικού εξοπλισμού πρέπει να γίνεται από ένα αγωγό όχι μακρύτερο από το αναγκαίο για να συνδέεται με το LISN που διατρέχει παράλληλα τον αγωγό ηλεκτρικού δικτύου σε απόσταση μικρότερη από 0,1 m από αυτόν. Αν η συσκευή δεν παρέχεται με αγωγό πρέπει να συνδέεται με το LISN μέσω ενός αγωγού μικρότερου του 1 m.

3.5.2.2 Διάταξη των δοκιμίων και σύνδεση τους στο LISN

3.5.2.2.1 Συσκευές που λειτουργούν κανονικά χωρίς σύνδεση γείωσης και δεν κρατιούνται στο χέρι

Η συσκευή πρέπει να τοποθετείται 0,4 m πάνω από μια γειωμένη αγωγίμη επιφάνεια μεγέθους τουλάχιστο $2 \times 2 \text{ m}^2$ και σε απόσταση 0,8 m από το LISN και πρέπει να κρατιέται τουλάχιστον 0,8 m από οποιαδήποτε άλλη γειωμένη αγωγό επιφάνεια. Εάν οι μετρήσεις γίνονται σε θωρακισμένο περίβλημα, η απόσταση των 0,4 m μπορεί να αναφέρεται σε έναν από τους τοίχους του περιβλήματος.

Για τον επιδαπέδιο εξοπλισμό ισχύουν τα ίδια. Όμως θα πρέπει να τοποθετείται σε ένα οριζόντιο μεταλλικό εδαφικό επίπεδο, αλλά απομονωμένος από αυτό μέσω ενός μη μεταλλικού υποστηρίγματος ύψους $0,1 \text{ m} \pm 25\%$. Ακόμα ο αγωγός πρέπει να οδηγείται προς τα κάτω, κατά μήκος του δοκιμίου, στη στάθμη του μη μεταλλικού υποστηρίγματος και να οδηγείται οριζόντια προς το LISN, το οποίο πρέπει να συνδέεται με το επίπεδο αναφοράς γης [30]. Αυτό πρέπει να επεκτείνεται

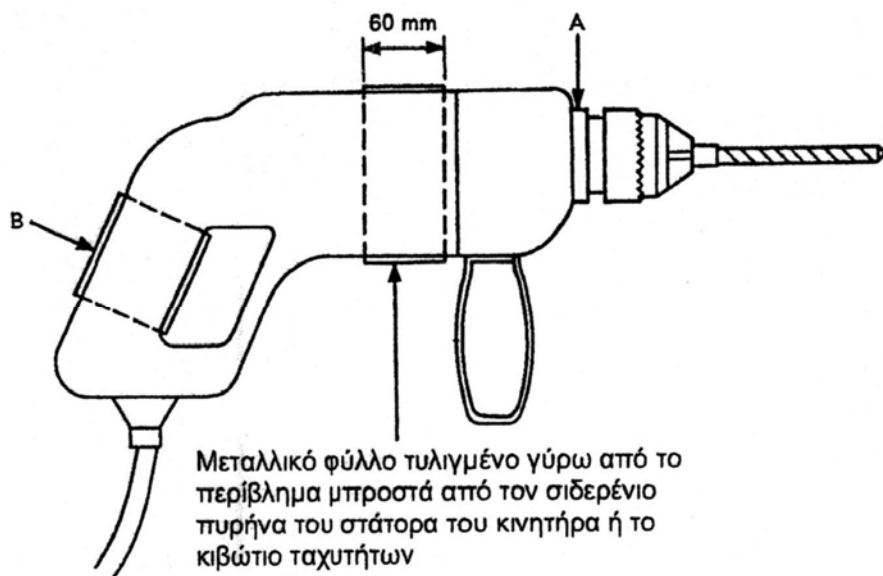
τουλάχιστον 0,5 m πέραν των ορίων του δοκιμίου και να έχει ελάχιστες διαστάσεις 2 x 2 m² [28].

3.5.2.2.2 Χειρόφερτες συσκευές που λειτουργούν κανονικά χωρίς γείωση

Οι μετρήσεις πρέπει πρώτα να γίνονται σύμφωνα με τα προηγούμενα και στη συνέχεια πρέπει να γίνονται πρόσθετες μετρήσεις με τη χρησιμοποίηση του τεχνητού χεριού, όπως ήδη περιγράφηκε.

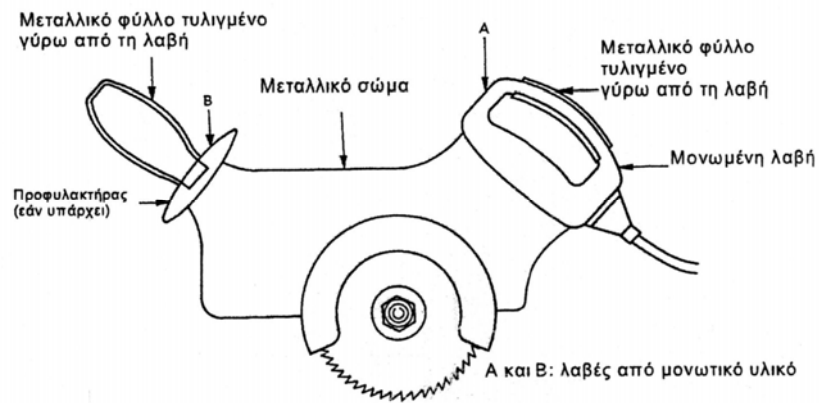
Κατά την εφαρμογή του τεχνητού χεριού, το μεταλλικό φύλλο πρέπει να τυλίγεται γύρω από όλες τις λαβές, τόσο τις σταθερές όσο και τις αφαιρούμενες, που παρέχονται με τη συσκευή και ο ακροδέκτης M πρέπει επιπρόσθετα να συνδέεται με όλα τα εκτεθειμένα μη περιστρεφόμενα μεταλλικά μέρη. Μεταλλικό μέρος που καλύπτεται με χρώμα ή βερνίκι θεωρείται ως εκτεθειμένο μεταλλικό μέρος και πρέπει να συνδέεται άμεσα με τον ακροδέκτη M του στοιχείου RC [28].

Ο τρόπος που εφαρμόζεται το τεχνητό χέρι παρουσιάζεται στα επόμενα σχήματα.



A και B: λαβές από μονωτικό υλικό

Σχήμα 3-10: Σε συσκευή με περίβλημα από μονωτικό υλικό, το μεταλλικό φύλλο τυλίγεται γύρω από τις λαβές. Π.χ. Φορητό ηλεκτρικό δρέπανο.



Σχήμα 3-11: Σε συσκευή τάξης II με δύο λαβές από μονωτικό υλικό και θήκη από μέταλλο, το μεταλλικό φύλλο τυλίγεται γύρω από τις δυο λαβές. Π.χ. ηλεκτρικό πριόνι.

3.5.2.2.3 Συσκευές που απαιτείται κανονικά να λειτουργούν με γείωση

Η συσκευή πρέπει να τοποθετείται σε αποστάτη 0,8 m από το LISN. Οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται με τον ακροδέκτη γης της συσκευής συνδεδεμένο στη γη αναφοράς του μετρητικού εξοπλισμού. Αν η συσκευή δεν παρέχεται με αγωγό, η σύνδεση του ακροδέκτη γης της συσκευής με τη γη αναφοράς του μετρητικού εξοπλισμού, πρέπει να γίνεται μέσω ενός αγωγού που διατρέχει παράλληλα τον αγωγό ηλεκτρικού δικτύου, έχει το ίδιο μήκος και είναι σε μια απόσταση μικρότερη από 0,1 m.

Για επιδαπέδια συσκευή χρησιμοποιείται η παραπάνω διάταξη. Όμως θα πρέπει να τοποθετείται σε ένα οριζόντιο μεταλλικό εδαφικό επίπεδο, αλλά απομονωμένη από αυτό μέσω ενός μη μεταλλικού υποστηρίγματος ύψους $0,1 \text{ m} \pm 25\%$ και αν οι μετρήσεις γίνονται σε θωρακισμένο περίβλημα, τότε η απόσταση αυτή πρέπει να αναφέρεται στη μεταλλική γη του θωρακισμένου περιβλήματος. Τα όρια της συσκευής πρέπει να έχουν απόσταση τουλάχιστον 0,4 m από μια γειωμένη κατακόρυφη αγωγό επιφάνεια έκτασης τουλάχιστον $2 \times 2 \text{ m}^2$ και αν οι μετρήσεις γίνονται σε θωρακισμένο περίβλημα, η απόσταση των 0,4 m πρέπει να αναφέρεται στο πλησιέστερο τοίχωμα του περιβλήματος. Το επίπεδο αναφοράς γης πρέπει να εκτείνεται τουλάχιστον 0,5 m πέραν των ορίων του δοκιμίου. Το LISN πρέπει να συνδέεται με μεταλλικές ταινίες με το επίπεδο αναφοράς γης [30], το οποίο πρέπει

να συνδέεται με την κατακόρυφη επιφάνεια μέσω μιας σύνδεσης χαμηλής εμπέδησης [28].

3.5.2.3 Συσκευές με βοηθητικές συσκευές που συνδέονται στο άκρο αγωγού διαφορετικού από τον αγωγό ηλεκτρικού δικτύου

Δεν χρειάζεται να γίνονται μετρήσεις εάν ο αγωγός σύνδεσης μεταξύ της συσκευής και της βοηθητικής συσκευής είναι μόνιμα στερεωμένος και στα δύο άκρα και είναι κοντότερος από 2 m, ή εάν έχει θωράκιση που τα άκρα της συνδέονται με το μεταλλικό περίβλημα της συσκευής και εκείνο της βοηθητικής συσκευής.

Εξαιρούνται οι διατάξεις ελέγχου ρύθμισης με ενσωματωμένες διατάξεις ημιαγωγού και όταν οι αγωγοί σύνδεσης υπερβαίνουν το 1 m μήκος. Ακόμα υπάρχει εξαίρεση όταν η βοηθητική συσκευή δεν είναι ουσιώδης για τη λειτουργία της συσκευής και έχει χωριστή διαδικασία δοκιμής, π.χ. ακροφύσιο ρεύματος μιας ηλεκτρικής σκούπας, οπότε και η κύρια συσκευή δοκιμάζεται ως μεμονωμένη [28].

3.5.2.3.1 Μετρητική διευθέτηση

Θα πρέπει για το δοκίμιο η βοηθητική συσκευή να τοποθετείται στο ίδιο ύψος και στην ίδια απόσταση από τη γειωμένη αγωγό επιφάνεια, όπως η κύρια συσκευή, και εάν ο βοηθητικός αγωγός είναι αρκετά μακρύς, σε μια απόσταση τουλάχιστον 0,8 m από την κύρια συσκευή. Αν είναι μακρύτερος, το παραπάνω μήκος πρέπει να αναδιπλώνεται παράλληλα προς τον εαυτό του έτσι ώστε να σχηματίζει μια οριζόντια δέσμη με μήκος μεταξύ 0,3 m και 0,4 m. Ο βοηθητικός αγωγός τεντώνεται προς την αντίθετη κατεύθυνση από τον αγωγό ηλεκτρικού δικτύου. Αν ο βοηθητικός αγωγός είναι κοντότερος από 0,8 m, η βοηθητική συσκευή πρέπει να τοποθετείται στη μεγαλύτερη δυνατή απόσταση από την κύρια συσκευή. Όταν η βοηθητική συσκευή περιέχει διατάξεις ελέγχου, οι διευθετήσεις για τη λειτουργία της δεν πρέπει να επηρεάζουν υπερβολικά τη στάθμη της διαταραχής.

Εάν μια συσκευή με μια βοηθητική συσκευή γειώνεται, δεν πρέπει να συνδέεται τεχνητό χέρι. Εάν η συσκευή αυτή καθαυτή είναι κατασκευασμένη για να κρατιέται στο χέρι, τότε το τεχνητό χέρι πρέπει να συνδέεται με τη συσκευή και όχι με οποιαδήποτε βοηθητική συσκευή. Αν η συσκευή δεν είναι κατασκευασμένη για να κρατιέται στο χέρι, στο τεχνητό χέρι πρέπει να συνδέεται με τη βοηθητική συσκευή που δεν είναι γειωμένη και είναι κατασκευασμένη για να κρατιέται στο χέρι. Αν ούτε

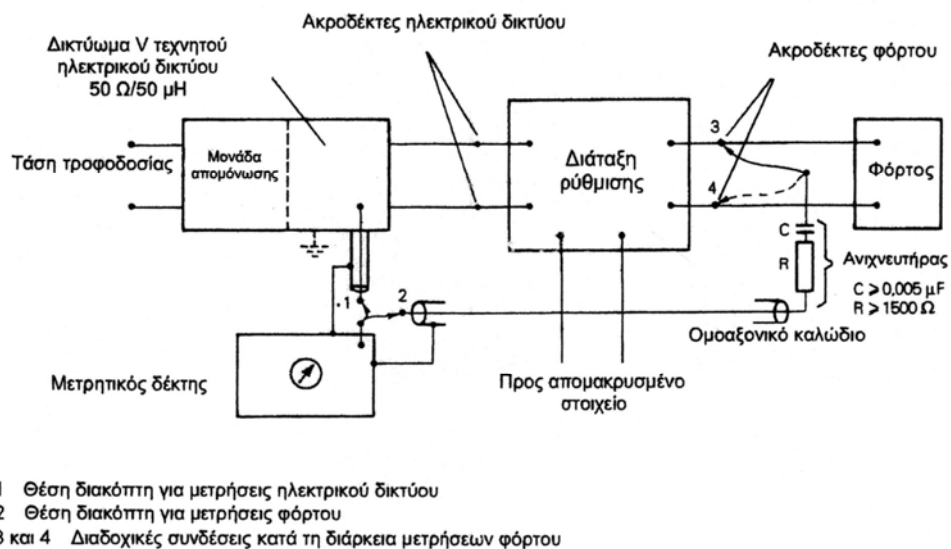
η βοηθητική συσκευή δεν είναι κατασκευασμένη για να κρατιέται στο χέρι τότε πρέπει να τοποθετείται πάνω από μια γειωμένη αγωγό επιφάνεια [28].

3.5.2.3.2 Μετρητική διαδικασία

Επιπλέον της μέτρησης στους ακροδέκτες για τη σύνδεση ηλεκτρικού δικτύου, διεξάγονται μετρήσεις σε όλους τους ακροδέκτες για εισερχόμενους και εξερχόμενους αγωγούς (π.χ. γραμμές ελέγχου και φόρτου) με τη χρησιμοποίηση ανιχνευτήρα σε σειρά με την είσοδο του μετρητικού δέκτη. Η βοηθητική συσκευή, η διάταξη ελέγχου ή ο φόρτος συνδέεται για να επιτρέψει να γίνονται οι μετρήσεις υπό όλες τις προβλεπόμενες συνθήκες λειτουργίας και κατά τη διάρκεια διαδράσεων μεταξύ της συσκευής και της βοηθητικής συσκευής. Μετρήσεις εκτελούνται τόσο στους ακροδέκτες της συσκευής όσο και σε εκείνους της βοηθητικής συσκευής.

3.5.2.4 Διατάξεις ελέγχου ρύθμισης με ενσωματωμένες διατάξεις ημιαγωγού

Οι διατάξεις ελέγχου ρύθμισης πρέπει διευθετούνται όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.

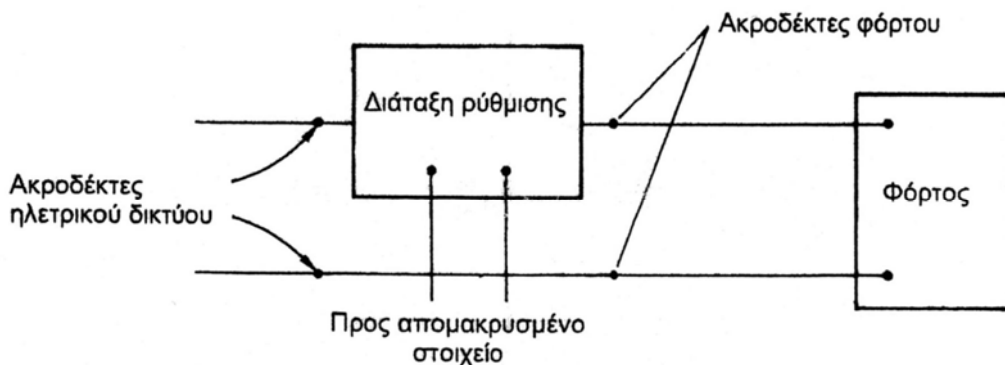


Σχήμα 3-12: Διευθέτηση μέτρησης για διατάξεις ελέγχου ρύθμισης.

Το μήκος του ομοαξονικού καλωδίου του ανιχνευτήρα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2 m. Όταν ο διακόπτης είναι στη θέση 2, η έξοδος του LISN στον ακροδέκτη 1 πρέπει να τερματίζεται μέσω μιας εμπέδησης ισοδύναμης προς εκείνη του μετρητικού δέκτη CISPR.

Όταν μια διάταξη ελέγχου ρύθμισης δυο ακροδεκτών παρεμβάλλεται σε ένα μόνο αγωγό της τροφοδοσίας, οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται με σύνδεση του δεύτερου αγωγού τροφοδοσίας όπως φαίνεται στο σχήμα 3-13.

Για διατάξεις ελέγχου ρύθμισης με πρόσθετους ακροδέκτες για σύνδεση με απομακρυσμένο αισθητήρα ή μονάδα ελέγχου, τότε οι πρόσθετοι ακροδέκτες πρέπει να συνδέονται με τον απομακρυσμένο αισθητήρα ή τη μονάδα ελέγχου μέσω αγωγών μήκους 0,5 m έως 1 m. Εάν παρέχεται ειδικός αγωγός, το παραπάνω από τα 0,8 m μήκος αναδιπλώνεται προς τα πίσω και μπροστά παράλληλα προς τον αγωγό έτσι ώστε να σχηματίζει μια οριζόντια δέσμη με μήκος μεταξύ 0,3 m και 0,4 m.



Σχήμα 3-13: Διευθέτηση μέτρησης για να διατάξεις ελέγχου ρύθμισης δύο ακροδεκτών.

3.5.3 Μείωση της διαταραχής που δεν παράγεται από το δοκίμιο

Οποιαδήποτε μετρήσιμη τάση διαταραχής που δεν προκαλείται από το δοκίμιο (προέρχεται από την τροφοδοσία ηλεκτρικού δικτύου ή παράγεται από εξωτερικά πεδία), πρέπει να δίνει ένδειξη στη μετρητική διάταξη τουλάχιστον 20 dB κάτω από την κατώτερη τάση στην οποία είναι επιθυμητό να γίνεται μέτρηση. Αν ο θόρυβος βάθους δεν είναι τουλάχιστον 20 dB κάτω από τη στάθμη μέτρησης, θα πρέπει να αναγράφεται στα αποτελέσματα της μέτρησης. Οι τάσεις διαταραχής που δεν προκαλούνται από το δοκίμιο μετρούνται όταν είναι συνδεδεμένος αλλά δεν λειτουργεί.

Η πραγματοποίηση αυτής της συνθήκης μπορεί να απαιτεί την προσθήκη συμπληρωματικού φίλτρου στην τροφοδοσία ηλεκτρικού δικτύου και οι μετρήσεις μπορεί να πρέπει να γίνονται σε θωρακισμένο περίβλημα [28].

3.6 Μέθοδοι μέτρησης ισχύος διαταραχής (30 MHz έως 300 MHz)

Θεωρείται ότι για συχνότητες άνω των 30 MHz η διαταράσσουσα ενέργεια διαδίδεται με ακτινοβολία στη διαταρασόμενη συσκευή. Η εμπειρία έχει δείξει ότι η διαταράσσουσα ενέργεια ακτινοβολείται κυρίως από το μέρος των αγωγών ηλεκτρικού δικτύου και άλλων αγωγών κοντά στη συσκευή. Έτσι ορίζεται η διαταρακτική ικανότητα μιας συσκευής ως η ισχύς που θα μπορούσε να παράσχει στους αγωγούς της και είναι σχεδόν ίση με εκείνη που παρέχεται από τη συσκευή σε κατάλληλη απορροφητική διάταξη τοποθετημένη γύρω από αυτούς τους αγωγούς, στη θέση όπου η απορροφούμενη ισχύς είναι στο μέγιστο της [29].

3.6.1 Μετρητικές διατάξεις

Η απορροφητική αρπάγη, οι δέκτες με ανιχνευτές οιονεί κορυφοτιμής και οι δέκτες με ανιχνευτές μέσης τιμής πρέπει να είναι σύμφωνα με το CISPR 16-1 [29]. Και οι δύο ανιχνευτές μπορεί να είναι ενσωματωμένοι σε ένα μόνο δέκτη και οι μετρήσεις να διεξάγονται με τη χρησιμοποίηση είτε του ανιχνευτή οιονεί κορυφοτιμής είτε του ανιχνευτή μέσης τιμής [29].

3.6.2 Διαδικασία μέτρησης στον αγωγό ηλεκτρικού δικτύου

Η συσκευή που πρόκειται να δοκιμαστεί τοποθετείται σε μη μεταλλικό τραπέζι σε απόσταση τουλάχιστον 0,4 m από άλλα μεταλλικά αντικείμενα και ο αγωγός που πρόκειται να μετρηθεί τεντώνεται σε ευθεία γραμμή σε απόσταση επαρκή τόσο για να εξυπηρετεί την απορροφητική αρπάγη όσο και να επιτρέπει την αναγκαία μετρητική ρύθμιση της θέσης για συντονισμό. Η αρπάγη τοποθετείται γύρω από τον αγωγό έτσι ώστε να μετρά ένα μέγεθος ανάλογο προς την ισχύ διαταραχής στον αγωγό.

Η απορροφητική αρπάγη τοποθετείται για μέγιστη ένδειξη σε κάθε συχνότητα δοκιμής και πρέπει να μετακινείται κατά μήκος του αγωγού ώσπου να βρεθεί η μέγιστη τιμή μεταξύ μιας θέσης παρακείμενης προς τη συσκευή και μιας σε απόσταση περίπου μισού μήκους κύματος από αυτήν.

Το ευθύ τμήμα του αγωγού που πρόκειται να μετρηθεί θα πρέπει, επομένως, να είναι μήκους περίπου 6 m, δηλαδή ίσο προς $\lambda_{\max}/2 + 0,6$ m για να επιτρέπει οποιαδήποτε χρονική στιγμή την τοποθέτηση της απορροφητικής αρπάγης και, ενδεχομένως, μιας

δεύτερης για πρόσθετη απομόνωση. Όπου λ_{\max} είναι το μήκος κύματος που αντιστοιχεί στη χαμηλότερη συχνότητα στην οποία πρέπει να γίνονται οι μετρήσεις, π.χ. 10 m στα 30 MHz.

Σε περίπτωση που ο αγωγός της συσκευής είναι κοντότερος από το αναγκαίο μήκος θα πρέπει να επεκτείνεται ή να αντικαθίσταται από παρόμοιο αγωγό. Οποιοδήποτε βύσμα ή υποδοχή δεν περνά μέσα από την απορροφητική αρπάγη λόγω του μεγέθους του πρέπει να αφαιρείται ή μπορεί να αντικαθίσταται από έναν αγωγό παρόμοιας ποιότητας με το αναγκαίο μήκος.

Για βελτίωση της σταθερότητας της εμπέδησης φόρτου και μείωση του εξωτερικού θορύβου που έρχεται από το δίκτυο τροφοδοσίας, σε περίπτωση που η απομόνωση RF μεταξύ δικτύου τροφοδοσίας και της εισόδου της απορροφητικής αρπάγης προς την πλευρά της συσκευής φαίνεται να είναι ανεπαρκής, θα πρέπει να τοποθετείται ένας σταθερός απορροφητής φερρίτη κατά μήκος του αγωγού σε απόσταση από τη συσκευή περίπου 6 m [29].

3.6.3 Ειδικές απαιτήσεις για συσκευές που έχουν βοηθητική διάταξη συνδεδεμένη στο άκρο αγωγού διαφορετικού από τον αγωγό ηλεκτρικού δικτύου

3.6.3.1 Μετρητική διευθέτηση

Οι βοηθητικοί αγωγοί που είναι κανονικά επεκτάσιμοι από το χρήστη, π.χ. με χαλαρό άκρο, ή οι αγωγοί εφοδιασμένοι με βύσμα ή υποδοχή στο ένα ή και στα δύο άκρα πρέπει να επεκτείνονται σε μήκος περίπου 6 m. Οποιοδήποτε βύσμα ή υποδοχή δεν περνά μέσα από την απορροφητική αρπάγη λόγω του μεγέθους του πρέπει να αφαιρείται.

Αν ο βοηθητικός αγωγός είναι μόνιμα στερεωμένος στη συσκευή και στη βοηθητική συσκευή και είναι κοντότερος από 0,25 m, δεν πρέπει να γίνονται μετρήσεις σε αυτούς τους αγωγούς. Αν είναι μακρύτερος από 0,25 m αλλά κοντότερος από το διπλάσιο του μήκους της απορροφητικής αρπάγης, πρέπει να επεκτείνεται στο διπλάσιο του μήκους της. Αν είναι μακρύτερος από το διπλάσιο του μήκους της απορροφητικής αρπάγης, οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται χρησιμοποιώντας τον αρχικό αγωγό.

Όταν η βοηθητική συσκευή δεν είναι αναγκαία για τη λειτουργία της κύριας συσκευής, π.χ. ένα ακροφύσιο ρεύματος σε ηλεκτρική σκούπα, πρέπει να συνδέεται μόνο ο αγωγός, αλλά όχι η βοηθητική συσκευή [28].

3.6.3.2 Διαδικασία μέτρησης

Πρώτα γίνεται μέτρηση της ισχύος διαταραχής στον αγωγό ηλεκτρικού δικτύου της κύριας συσκευής με τη χρησιμοποίηση της απορροφητικής αρπάγης. Κάθε αγωγός που συνδέει την κύρια συσκευή με βοηθητική, αποσυνδέεται εάν αυτό δεν επηρεάζει τη λειτουργία της συσκευής, ή απομονώνεται μέσω δακτυλίων φερρίτη (ή μιας απορροφητικής αρπάγης) κοντά στη συσκευή. Ύστερα, γίνεται παρόμοια μέτρηση σε κάθε αγωγό που συνδέεται σε βοηθητική συσκευή, είτε είναι αναγκαία είτε όχι για τη λειτουργία της, ενώ ο μετασχηματιστής ρεύματος της αρπάγης κατευθύνεται προς την κύρια συσκευή. Για κοντούς, μόνιμα συνδεδεμένους αγωγούς η μετακίνηση της αρπάγης περιορίζεται από το μήκος του αγωγού.

Η μέτρηση γίνεται με το μετασχηματιστή ρεύματος της αρπάγης κατευθυνόμενο προς κάθε βοηθητική συσκευή, εκτός αν αυτή δεν χρειάζεται για τη λειτουργία της κύριας συσκευής [28].

3.6.4 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μέτρησης

Η μετρούμενη ισχύς προκύπτει από τη μέγιστη ενδεικνυόμενη τιμή που βρέθηκε σε κάθε συχνότητα μέτρησης και από την καμπύλη βαθμονόμησης της απορροφητικής αρπάγης [29].

3.7 Συνθήκες λειτουργίας και ερμηνεία των αποτελεσμάτων

3.7.1 Γενικά

Οι κανονικές συνθήκες φόρτου πρέπει να είναι όπως καθορίζονται από τον κατασκευαστή όταν οι οδηγίες χρήσεις του προτύπου έρχονται σε σύγκρουση με αυτές του κατασκευαστή.

Η διάρκεια λειτουργίας δεν περιορίζεται εκτός εάν υπάρχει ανάλογη σήμανση στη συσκευή και τότε πρέπει να υπάρχει συμμόρφωση προς τους περιορισμούς. Δεν προδιαγράφεται χρόνος στρωσίματος της συσκευής αλλά, πριν να δοκιμαστεί, θα

πρέπει να λειτουργεί για επαρκή χρονική περίοδο για να εξασφαλίζεται ότι οι συνθήκες λειτουργίας θα είναι αντιπροσωπευτικές της κανονικής ζωής του εξοπλισμού. Το στρώσιμο των κινητήρων πρέπει να διεξάγεται από τον κατασκευαστή.

Οι συσκευές πρέπει να λειτουργούν τροφοδοτούμενες από τροφοδοσία που παρέχει την ονομαστική συχνότητα της συσκευής. Πρέπει να γίνεται μια δοκιμή γύρω στα 160 kHz και γύρω στο 50 MHz σε περιοχή 0,9 έως 1,1 φορές την ονομαστική τάση για να ελεγχθεί εάν η στάθμη της διαταραχής μεταβάλλεται σημαντικά με την τάση τροφοδοσίας, οπότε οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται στην τάση που προκαλεί τη μέγιστη διαταραχή και όσες συσκευές έχουν περισσότερες της μιας ονομαστικές τάσεις πρέπει να δοκιμάζονται στην ονομαστική τάση που προκαλεί τη μέγιστη διαταραχή.

Οι διατάξεις ελέγχου ταχύτητας με περιορισμένο αριθμό σταθερών θέσεων πρέπει να ρυθμίζονται κατά προσέγγιση στη μέση και στη μέγιστη ταχύτητα και να καταχωρείται η υψηλότερη ένδειξη εάν δεν υπάρχει καμία οδηγία για το αντίθετο. Συσκευές με ενσωματωμένες ηλεκτρονικές διατάξεις ελέγχου ρύθμισης πρέπει να έχουν τις διατάξεις ελέγχου ρύθμισης ρυθμισμένες για μέγιστη διαταραχή και στις δύο περιοχές συχνότητας 148,5 kHz έως 30 MHz και 30 MHz έως 300 MHz. Αν η θέση ρύθμισης των συνεχώς ρυθμιζιμων διατάξεων ελέγχου, τα οποία δεν σχεδιάζονται για συχνή ρύθμιση σε κανονική χρήση, έχει προρυθμιστεί, δεν πρέπει να ρυθμίζεται κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος πρέπει να είναι από 15 °C έως 35 °C [28].

3.7.2 Συνθήκες λειτουργίας για ιδιαίτερες συσκευές και ενσωματωμένα μέρη

3.7.2.1 Συσκευές πολλών λειτουργιών

Οι συσκευές πολλών λειτουργιών που υπόκεινται ταυτόχρονα σε διαφορετικά κεφάλαια του παρόντος προτύπου και/ή σε άλλα πρότυπα πρέπει να δοκιμάζονται με κάθε λειτουργία σε ενέργεια απομονωμένα, χωρίς να τροποποιηθεί εσωτερικά η συσκευή. Για συσκευή η οποία δεν είναι πρακτικό να δοκιμαστεί με κάθε λειτουργία σε ενέργεια απομονωμένα, ή όπου η απομόνωση μιας συγκεκριμένης λειτουργίας έχει ως αποτέλεσμα η συσκευή να είναι ανίκανη να εκπληρώσει την κύρια

λειτουργία της, τότε πρέπει να θεωρείται ότι έχει συμμορφωθεί μόνο αν πληροί τις διατάξεις κάθε κεφαλαίου/προτύπου με τις αναγκαίες λειτουργίες σε ενέργεια [28].

3.7.2.2 Συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία

Εάν η συσκευή μπορεί να συνδέεται στο ηλεκτρικό δίκτυο πρέπει να δοκιμαστεί λειτουργώντας σε κάθε επιτρεπόμενο τρόπο όντας συνδεδεμένη στο ηλεκτρικό δίκτυο. Στην περιοχή συχνοτήτων 148,5 kHz έως 30 MHz οι μετρήσεις σε συσκευές με εξωτερικές μπαταρίες γίνονται στους ακροδέκτες του αγωγού σύνδεσης με τη χρησιμοποίηση ανιχνευτήρα σε σειρά με την είσοδο του μετρητικού δέκτη. Η συσκευή που είναι κατασκευασμένη για να κρατιέται στο χέρι πρέπει να συνδέεται στο τεχνητό χέρι. Στην περιοχή συχνοτήτων 30 MHz έως 300 MHz οι μετρήσεις σε συσκευές με εξωτερικές μπαταρίες γίνονται με το μετασχηματιστή ρεύματος της απορροφητικής αρπάγης κατευθυνόμενο προς τη συσκευή [28].

3.7.2.3. Ενσωματωμένοι διακόπτες εκκίνησης, διατάξεις ελέγχου ταχύτητας

Σε εκκινητές και διατάξεις ρύθμισης ταχύτητας ραπτομηχανών και οδοντιατρικών τρυπανιών για τον προσδιορισμό της διαταραχής που παράγεται κατά τη διάρκεια της εκκίνησης και της παύσης, η ταχύτητα του κινητήρα πρέπει να αυξάνεται σε μέγιστη ταχύτητα σε χρόνο 5 s. Για παύση, το κομβίο ελέγχου πρέπει να επαναφέρεται γρήγορα στην εκτός λειτουργίας θέση του. Για προσδιορισμό του ρυθμού κροτημάτων N, η χρονική περίοδος μεταξύ δύο εκκινήσεων πρέπει να είναι 15 s.

Οι διακόπτες εκκίνησης σε αθροιστικές μηχανές, αριθμομηχανές και ταμειακές μηχανές πρέπει να λειτουργούν διακοπτόμενα με τουλάχιστον 30 εκκινήσεις ανά λεπτό. Εάν δεν μπορούν να επιτευχθούν 30 εκκινήσεις ανά λεπτό, τότε χρησιμοποιείται διακοπτόμενη λειτουργία με όσο το δυνατόν περισσότερες εκκινήσεις ανά λεπτό.

Για προσδιορισμό του ρυθμού κροτημάτων N σε διατάξεις αλλαγής εικόνων των προβολέων διαφανειών, πρέπει να λειτουργούν με αναμμένη τη λάμπα και με τέσσερις αλλαγές εικόνας ανά λεπτό χωρίς διαφάνειες [28].

3.7.2.4 Θερμοστάτες

Για θερμοστάτες σε μόνιμα εγκατεστημένο εξοπλισμό θέρμανσης χώρου για μόνιμη χρήση πρέπει να αποδίδεται ρυθμός κροτημάτων N ίσος με το πενταπλάσιο του ρυθμού κροτημάτων που προσδιορίζεται για ένα φορητό θερμαντήρα χώρου. Ο ρυθμός κροτημάτων N προσδιορίζεται για το μέγιστο ρυθμό λειτουργίας που δηλώνεται από τον κατασκευαστή ή για κύκλο δράσης $(50 \pm 10)\%$ του θερμαντήρα ή καυστήρα με τον οποίο πωλείται ο θερμοστάτης.

Το πλάτος και η διάρκεια της διαταραχής μετρούνται για το χαμηλότερο ονομαστικό ρεύμα. Για θερμοστάτες με ενσωματωμένο αντιστάτη επιτάχυνσης επαναλαμβάνονται οι μετρήσεις χωρίς συνδεδεμένο οποιονδήποτε χωριστό θερμαντήρα.

Όταν ο θερμοστάτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαζί με επαγωγικά φορτία (π.χ. ηλεκτρονόμο, επαφέα) οι μετρήσεις εκτελούνται με χρησιμοποίηση τέτοιας συσκευής, με την υψηλότερη επαγωγή πηνίου που χρησιμοποιείται στην πράξη. Για τη λήψη ικανοποιητικής μέτρησης, οι επαφές πρέπει να λειτουργούν για επαρκή αριθμό φορών με κατάλληλο φόρτο ώστε να εξασφαλίζεται ότι οι στάθμες της διαταραχής είναι αντιπροσωπευτικές εκείνων της κανονικής λειτουργίας [28].

3.7.2.5 Θερμοστάτες - Εναλλακτική διαδικασία, θερμοστατικά ελεγχόμενοι τριφασικοί διακόπτες, θερμοστατικά ελεγχόμενες φορητές και αφαιρέσιμες συσκευές θέρμανσης χώρου

Σε θερμοστάτες που ακολουθούν αυτήν την εναλλακτική διαδικασία, όπως και σε θερμοστατικά ελεγχόμενους τριφασικούς διακόπτες, δεν εφαρμόζεται το διάγραμμα ροής για μετρήσεις ασυνεχούς διαταραχής.

Για θερμοστάτες, χωριστούς ή ενσωματωμένους σε κυτίο ελέγχου, ο κατασκευαστής πρέπει να προδιαγράψει το μέγιστο ρυθμό μεταγωγών λειτουργίας. Ο ρυθμός κροτημάτων N πρέπει να παράγεται από αυτήν την προδιαγραφή. Ελλείψει αυτού, πρέπει να χρησιμοποιείται ρυθμός κροτημάτων $N = 10$ και πρέπει να προσδιορίζεται το L_q .

Ο θερμοστάτης πρέπει να λειτουργήσει για 40 ενέργειες επαφής (20 ανοίγματα και 20 κλεισίματα), είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα. Το πλάτος και η διάρκεια της διαταραχής πρέπει να μετρούνται για το χαμηλότερο ονομαστικό ρεύμα του

θερμοστάτη. Απουσία σήμανσης ή δήλωσης ονομαστικού ρεύματος, χρησιμοποιείται ρεύμα ίσο με το 10% του μέγιστου ονομαστικού. Το πλάτος λιγότερων από το 25% των διαταραχών δεν πρέπει να υπερβαίνει τη στάθμη L_q . Για θερμοστάτες με ενσωματωμένο αντιστάτη επιτάχυνσης, πρέπει να επιτελούνται οι ίδιες μετρήσεις επιπρόσθετα χωρίς κανένα φόρτο συνδεδεμένο.

Όταν ο θερμοστάτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαζί με επαγωγικά φορτία (π.χ. ηλεκτρονόμο, επαφέα) οι μετρήσεις εκτελούνται με χρησιμοποίηση τέτοιας συσκευής, με την υψηλότερη επαγωγή πηνίου επιτρέπεται από τον κατασκευαστή.

Πριν τη δοκιμή, οι επαφές πρέπει να λειτουργήσουν εκατό φορές με ονομαστικό φόρτο, ώστε να εξασφαλιστεί ότι οι στάθμες διαταραχής είναι αντιπροσωπευτικές της κανονικής λειτουργίας.

Όμοια ισχύουν και για θερμοστατικά ελεγχόμενες φορητές και αφαιρέσιμες συσκευές θέρμανσης χώρου με τη διαφορά ότι μπορεί επίσης να προσδιορίζεται ο ρυθμός κροτημάτων N για κύκλο δράσης $(50 \pm 10)\%$ της διάταξης ελέγχου, που επιτυγχάνεται υπό επαρκή μεταφορά θερμότητας και τότε πρέπει να ακολουθείται το διάγραμμα ροής για μετρήσεις ασυνεχούς διαταραχής. Αν υπάρχει διακόπτης περιοχής ισχύος, πρέπει να είναι στη χαμηλότερη θέση [28].

3.7.2.6 Διατάξεις ελέγχου ρύθμισης με ενσωματωμένες διατάξεις ημιαγωγού

3.7.2.6.1 Ρυθμίσεις για μέγιστη στάθμη διαταραχής

Η διάταξη ελέγχου ρύθμισης πρέπει να ρυθμίζεται για να δίνει μέγιστη ένδειξη στο μετρητή σε κάθε συχνότητα μέτρησης. Αφού καταχωρείται η τιμή της διαταραχής σε κάθε προτιμώμενη συχνότητα σαρώνεται η ζώνη συχνοτήτων χωρίς αλλαγή ρύθμισης στη διάταξη ελέγχου και σημειώνονται οι υψηλότερες τιμές διαταραχής.

3.7.2.6.2 Εξοπλισμός με μερικές διατάξεις ελέγχου ρύθμισης

Σε συσκευές που περιέχουν μερικές μεμονωμένες ρυθμίσιμες διατάξεις ελέγχου ρύθμισης που η καθεμιά έχει μέγιστο ονομαστικό ρεύμα φόρτου μικρότερο από 25 A, σε συσκευές όπου περισσότερες από μία διατάξεις ελέγχου ρύθμισης συνδέονται στην ίδια φάση του ηλεκτρικού δικτύου όσο και σε συσκευές όπου οι διατάξεις ελέγχου ρύθμισης συνδέονται σε χωριστές φάσεις του ηλεκτρικού δικτύου, εφαρμόζεται η ακόλουθη διαδικασία μέτρησης.

Κάθε διάταξη ελέγχου ρύθμισης δοκιμάζεται χωριστά και γίνονται μετρήσεις σε όλους τους ακροδέκτες της συσκευής. Αν παρέχονται χωριστοί διακόπτες για μεμονωμένες διατάξεις ελέγχου ρύθμισης, οι μονάδες που δεν χρησιμοποιούνται τίθενται εκτός λειτουργίας κατά τη διάρκεια των δοκιμών. Όσο το δυνατόν περισσότερες μεμονωμένες διατάξεις ελέγχου ρύθμισης συνδέονται στους φόρτους τους χωρίς το μέγιστο ρεύμα ανά φάση στη συσκευή να υπερβαίνει τα 25 A, όταν καθεμιά από τις διατάξεις ελέγχου ρύθμισης φέρει το μέγιστο ονομαστικό της ρεύμα. Όταν δεν μπορούν να συνδέονται όλες οι μεμονωμένες διατάξεις ελέγχου στο μέγιστο φόρτο τους, δίνεται προτεραιότητα σε εκείνες τις διατάξεις ελέγχου που έδωσαν τις υψηλότερες τιμές.

Η ρύθμιση των μεμονωμένων διατάξεων ελέγχου πρέπει να είναι η ίδια με εκείνες που δίνουν τη μέγιστη διαταραχή κατά τη διάρκεια της. Επί πρόσθετα πρέπει να γίνεται ένας απλός έλεγχος ότι καμία άλλη ρύθμιση δεν θα δίνει μεγαλύτερη διαταραχή. Γίνονται μετρήσεις στους ακροδέκτες ηλεκτρικού δικτύου, σε όλες τις φάσεις και τον ουδέτερο, στους ακροδέκτες προς τους φόρτους και στους πρόσθετους ακροδέκτες της συσκευής.

Αυτή η δοκιμή δεν γίνεται όταν κάθε μεμονωμένη διάταξη ελέγχου ρύθμισης που αποτελείται από αυτόνομο κύκλωμα ρύθμισης, και περιλαμβάνει όλα τα εξαρτήματα καταστολής, λειτουργεί ανεξάρτητα από τις άλλες διατάξεις, και δεν ελέγχει οποιονδήποτε φόρτο που ελέγχεται από άλλο μεμονωμένο ρυθμιστή [28].

3.7.3 Τυπικές συνθήκες λειτουργίας και κανονικοί φόρτοι

3.7.3.1 Συσκευές που λειτουργούν με κινητήρα για οικιακούς και παρόμοιους σκοπούς

Στον πίνακα 3-4 παρουσιάζονται ομαδοποιημένες οι συσκευές που χρησιμοποιούνται σε οικιακή και παρόμοια χρήση μαζί με τις συνθήκες που πρέπει να εξασφαλίζονται κατά την μέτρηση τους [28].

Πίνακας 3-4: Οι συσκευές με κινητήρα για οικιακούς και παρόμοιους σκοπούς και οι αντίστοιχες συνθήκες που πρέπει να επικρατούν κατά την μέτρηση τους.

	Συσκευές	Τρόπος μέτρησης
Ηλεκτρικές σκούπες	Χωρίς βοηθητική συσκευή	Συνεχής λειτουργία χωρίς παρελκόμενα
	Με αγωγό ηλεκτρικού δικτύου που μαζεύεται από αυτόματο καρούλι	Με πλήρως αποσπασμένο τον αγωγό
	Με αγωγό για τον έλεγχο ισχύος της ηλεκτρικής σκούπας ενσωματωμένο στον εύκαμπτο σωλήνα αναρρόφησης	Συνεχής λειτουργία χωρίς παρελκόμενα, με πλήρως αποσπασμένο τον αγωγό
	Με αγωγούς ελέγχου και αγωγούς τροφοδοσίας ισχύος για ακροφύσιο ρεύματος ενσωματωμένο στον εύκαμπτο σωλήνα αναρρόφησης	Συνεχής λειτουργία χωρίς παρελκόμενα, με πλήρως αποσπασμένο τον αγωγό, χωρίς σύνδεση του ακροφύσιου ρεύματος
	Βοηθητικά ακροφύσια ρεύματος, μηχανές στίλβωσης δαπέδου	Συνεχής λειτουργία χωρίς μηχανικό φόρτο
	Μύλοι αλέσεως καφέ, αναμεικτήρες τροφίμων, συσκευές μάλαξης	Συνεχής λειτουργία χωρίς μηχανικό φόρτο
	Ρολόγια	Συνεχής λειτουργία
	Ανεμιστήρες, αποροφητήρες κουζίνας, στεγνωτήρες μαλλιών	Συνεχής λειτουργία με μέγιστη ροή αέρα, με και χωρίς θέρμανση
	Ψυγεία, καταψύκτες	Συνεχής λειτουργία με κλειστή πόρτα, θερμοστάτη στη μέση περιοχής ρύθμισης, θάλαμο κενό, μη θερμαινόμενο, αφού αποκατασταθεί σταθερή κατάσταση (Ρυθμός κροτημάτων N προσδιορίζεται από το μισό των ενεργειών μεταγωγής)
Πλυντήρια	Ρούχων / πιάτων	Με νερό, χωρίς υφάσματα/πιάτα, θερμοκρασία εισερχόμενου νερού, σύμφωνα με οδηγίες κατασκευαστή, θερμοστάτης στο μέγιστο της ρύθμισης (Για προσδιορισμό ρυθμού κροτημάτων N λαμβάνεται το δυσμενέστερο πρόγραμμα ελέγχου της συσκευής)
	Στεγνωτήρια με τύμπανο	Λειτουργία με υφασμάτινο υλικό (Οι διατάξεις ελέγχου ώστε να λαμβάνεται ο υψηλότερος ρυθμός κροτημάτων N)
	Χωριστά στεγνωτήρια με τύμπανο, στεγνωτήρες με τύμπανο που συνδυάζονται με πλυντήρια	Μισό μέγιστου βάρους βαμβακερών υφασμάτων της οδηγίας του κατασκευαστή
	Φυγοκεντρικά στεγνωτήρια	Συνεχής λειτουργία χωρίς φόρτο
	Ξυριστικές μηχανές, μηχανές κουρέματος	Συνεχής λειτουργία χωρίς φόρτο
	Ηλεκτρικές γραφομηχανές	Συνεχής λειτουργία
	Κόφτες χαρτιού	Τροφοδοσία συνεχώς με χαρτί, όσο γρηγορότερα γίνεται, με ένα μόνο φύλλο τη φορά
Προβολείς	Κινηματογραφικοί	Συνεχής λειτουργία με ταινία, με τη λάμπα αναμμένη
	Διαφανειών	Συνεχής λειτουργία χωρίς διαφάνειες
	Μηχανές αρμέγματος	Συνεχής λειτουργία χωρίς κενό
	Μηχανές κουρέματος γκαζόν	Συνεχής λειτουργία χωρίς φόρτο
	Εξοπλισμός κλιματισμού	Με έλεγχο θερμοκρασίας αέρα με αλλαγή χρόνου λειτουργίας
	Μεταβλητής χωρητικότητας με κύκλωμα αναστροφεία	Ρυθμιστής θερμοκρασίας στην χαμηλότερη θέση στη ψύξη, υψηλότερη για θέρμανση

3.7.3.2 Ηλεκτρικά εργαλεία

Στον πίνακα 3-5 παρουσιάζονται ομαδοποιημένα τα ηλεκτρικά εργαλεία μαζί με τις συνθήκες που πρέπει να εξασφαλίζονται κατά την μέτρηση τους [28].

Πίνακας 3-5: Ηλεκτρικά εργαλεία και οι αντίστοιχες συνθήκες που πρέπει να επικρατούν κατά την μέτρηση τους.

	Συσκευές	Τρόπος μέτρησης
Γενικά	Εργαλεία με κινητήρα δύο κατευθύνσεων περιστροφής	Μετρήσεις με λειτουργία 15 λεπτών για κάθε κατεύθυνση, η υψηλότερη στάθμη διαταραχής πρέπει να συμμορφώνεται με το όριο
	Εργαλεία ηλεκτρικής ενέργειας με ενσωματωμένες δονούμενες ή αιωρούμενες μάζες	Χωρίς τις μάζες
	Εργαλεία που λειτουργούν μέσω μετασχηματιστή που συνδέεται στο δίκτυο τροφοδοσίας	<p>Τάση ακροδέκτη: 148,5 kHz - 30 MHz</p> <p>-Αν το εργαλείο πωλείται μαζί με μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης η διαταραχή πρέπει να αξιολογείται με μετρήσεις που γίνονται στην πλευρά του τροφοδοτικού ισχύος του μετασχηματιστή</p> <p>-Αν το εργαλείο προβλέπεται να χρησιμοποιείται με μετασχηματιστή, η διαταραχή αξιολογείται από μετρήσεις που γίνονται στην πλευρά του τροφοδοτικού ισχύος του μετασχηματιστή, που συνιστάται από τον κατασκευαστή</p> <p>-Αν το εργαλείο δεν παρέχεται με «δείγμα» μετασχηματιστή, πρέπει να λειτουργεί στην ονομαστική τάση και η διαταραχή αξιολογείται από μετρήσεις στις συνδέσεις εισόδου ισχύος του εργαλείου</p> <hr/> <p>Ισχύς διαταραχής: 30 MHz - 300 MHz</p> <p>Η διαταραχή αξιολογείται με μετρήσεις στη σύνδεση εισόδου ισχύος του εργαλείου ενώ τροφοδοτείται σε ονομαστική τάση. Το εργαλείο, κατά τη διάρκεια της μέτρησης, είναι εξοπλισμένο με αγωγό τροφοδοσίας ισχύος μήκους κατάλληλο για μετρήσεις με την απορροφητική αρπάγη</p>
	Χειρόφερα, μεταφερότα εργαλεία με κινητήρα	Συνεχής λειτουργία χωρίς φόρτο
Εξοπλισμός κασιτεροκόλλησης, πιστόλια μαλακής συγκόλλησης, συγκολλητήρες	Χωρίς θερμοστατικά ή ηλεκτρονικά ελεγχόμενο διακόπτη, χωρίς κινητήρα, χωρίς διάταξη ελέγχου ρύθμισης	Δεν χρειάζονται μετρήσεις
	Με θερμοστατικά ή ηλεκτρονικά ελεγχόμενο διακόπτη	Λειτουργία στον υψηλότερο δυνατό κύκλο δράσης (Αν υπάρχει διάταξη ελέγχου θερμοκρασίας ο ρυθμός κροτημάτων N προσδιορίζεται για κύκλο δράσης (50 ± 10)% της διάταξης ελέγχου)
	Εξοπλισμός που λειτουργεί επαναλαμβανόμενα με πιεστικό διακόπτη	Λαμβάνονται υπόψη οι οδηγίες χρήσης του κατασκευαστή
	Πιστόλια κόλλας	Συνεχής λειτουργία με ράβδο κόλλας σε θέση εργασίας (Ο ρυθμός κροτημάτων N αξιολογείται σε σταθερή κατάσταση, χωρίς επαρκή μεταφορά θερμότητας)
	Πιστόλια θερμότητας	Συνεχής λειτουργία με μέγιστη ροή αέρα, με και χωρίς θέρμανση
	Ηλεκτρικά συρραπτικά	Μέτρηση, σε μαλακό ξύλο, με τα μακρύτερα καρφιά ή σύρραπτρα, συμφώνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή (Ο ρυθμός κροτημάτων N προσδιορίζεται σε λειτουργία 6 κτυπήματα ανά λεπτό)
	Πιστόλια ψεκασμού	Συνεχής λειτουργία με κενό δοχείο, χωρίς παρελκόμενα

3.7.3.3 Ηλεκτροϊατρικές συσκευές που λειτουργούν με ρεύμα

Τα οδοντιατρικά τρυπάνια για δοκιμές συνεχούς διαταραχής του κινητήρα, λειτουργούν συνεχώς στη μέγιστη ταχύτητα με τη συσκευή διάτρησης, αλλά χωρίς να τρυπούν υλικό. Τα πριόνια και τα μαχαίρια λειτουργούν συνεχώς χωρίς φόρτο.

Τα ηλεκτροκαρδιογραφήματα και οι παρόμοιοι καταγραφείς πρέπει να λειτουργούν συνεχώς με μια ταινία ή χαρτί. Οι αντλίες λειτουργούν συνεχώς με ένα υγρό [28].

3.7.3.4 Ηλεκτρικές θερμαντικές συσκευές

Οι συσκευές πρέπει να φθάνουν στις συνθήκες σταθερής κατάστασης πριν γίνουν μετρήσεις. Ο ρυθμός κροτημάτων N προσδιορίζεται για κύκλο δράσης $(50 \pm 10)\%$ της διάταξης ελέγχου, εκτός εάν προδιαγράφεται διαφορετικά. Αν ο κύκλος δράσης $(50 \pm 10)\%$ δεν μπορεί να επιτευχθεί, τότε εφαρμόζεται ο υψηλότερος κύκλος δράσης [28].

Πίνακας 3-6: Ηλεκτρικές θερμαντικές συσκευές και οι αντίστοιχες συνθήκες που πρέπει να επικρατούν κατά την μέτρηση τους.

Συσκευές	Τρόπος μέτρησης
Ηλεκτρικές κουζίνες	Λειτουργία σε συνθήκες επαρκούς απόδοσης θερμότητας (Ο ρυθμός κροτημάτων N είναι το μισό του αριθμού των ενεργειών μεταγωγής ανά λεπτό για έναν κύκλο δράσης $(50 \pm 10)\%$ της διάταξης ελέγχου)
Μαγειρικά τηγάνια, επιτραπέζιες ψηστιέρες, φριτέζες	Λειτουργία σε συνθήκες επαρκούς απόδοσης θερμότητας
Βραστήρες τροφής / νερού / γάλακτος / πλυσίματος, χύτρες, συσκευές παρασκευής καφέ, θερμαντήρες θηλάστρον / κόλλας	Λειτουργία σε συνθήκες επαρκούς απόδοσης θερμότητας (Ο ρυθμός κροτημάτων N πρέπει να προσδιορίζεται με μέση ρύθμιση $(60 \text{ }^\circ\text{C})$ ή με σταθερή ρύθμιση μιας σταθερής διάταξης ελέγχου)
Στιγμιαίοι θερμαντήρες νερού	Λειτουργία σε συνθήκη θέσης χρήσης με το μισό του μέγιστου ρυθμού ροής νερού (Ο ρυθμός κροτημάτων N προσδιορίζεται με οποιαδήποτε διάταξη ελέγχου στην υψηλότερη ρύθμιση της)
Θερμοσίφωνες θερμοσυσσώρευσης και μη θερμοσυσσώρευσης	Λειτουργία σε συνθήκη θέσης χρήσης, γεμισμένοι με τυπική ποσότητα νερού (Ο ρυθμός κροτημάτων N προσδιορίζεται με οποιαδήποτε διάταξη ελέγχου στην υψηλότερη ρύθμιση της)
Γεννήτριες ατμού έμμεσης θέρμανσης συσκευών	Λειτουργία υπό επαρκή μεταφορά θερμότητας με τυπική ποσότητα νερού
Θερμαντικές πλάκες, πλάκες βρασμού, συρτάρια θέρμανσης, θάλαμοι θέρμανσης, φούρνοι μαγειρέματος, σχάρες, ψηστιέρες / σχάρες για τηγανίτες	Λειτουργία χωρίς επαρκή μεταφορά θερμότητας
Απλές ηλεκτρικές φρυγανιέρες:	<p>Αν ικανοποιούνται οι συνθήκες στιγμιαίας μεταγωγής, δεν εφαρμόζεται όριο κροτημάτων</p> <p>Προσδιορισμός ρυθμού κροτημάτων N: Χρησιμοποίηση κανονικού φόρτου και ρύθμιση της χειροκίνητης διάταξης ελέγχου. Ο χρόνος πλήρους κύκλου φρυγανίσματος είναι $(t_1 + 30)$ s, έτσι ο ρυθμός κροτημάτων N είναι: $N = 120 / (t_1 + 30)$ s (t_1: μέσος χρόνος ανάματος)</p> <p>Αξιολόγηση στάθμης διαταραχής: Ο ρυθμός κροτημάτων N χρησιμοποιείται για υπολογισμό του ορίου κροτημάτων L_q</p>
Άλλες φρυγανιέρες	Λειτουργία σε συνθήκες επαρκούς απόδοσης θερμότητας με κανονικό φόρτο
Σιδερωτήρια	Ο ρυθμός κροτημάτων N_1 (διάταξης ελέγχου) προσδιορίζεται χωρίς επαρκή μεταφορά θερμότητας, ο ρυθμός κροτημάτων N_2 (διακόπτη κινητήρα) προσδιορίζεται σε συνθήκες επαρκούς απόδοσης θερμότητας, το όριο κροτημάτων L_q είναι το άθροισμα των ρυθμών κροτημάτων $N = N_1 + N_2$
Σίδερα	Λειτουργία σε συνθήκες επαρκούς απόδοσης θερμότητας, με χρήση ψύξης αέρα, νερού ή ελαίου. (Ο ρυθμός κροτημάτων N είναι το γινόμενο του παράγοντα 0,66 και του αριθμού των ενεργειών μεταγωγής ανά λεπτό για ένα κύκλο λειτουργίας $(50 \pm 10)\%$)
Συσκευαστήρας κενού	Λειτουργία με κενές σακούλες μια φορά το λεπτό ή σύμφωνα με οδηγίες του κατασκευαστή
Θερμαντήρες χώρου	Λειτουργία σε συνθήκες επαρκούς απόδοσης θερμότητας

3.7.3.5 Μηχανές αυτόματης πώλησης αγαθών, ψυχαγωγικές μηχανές και παρόμοιες συσκευές

Στο βαθμό που εμφανίζεται συνεχής διαταραχή δεν χρειάζεται να τηρούνται ειδικές συνθήκες λειτουργίας και η συσκευή λειτουργεί σύμφωνα με τις οδηγίες χρήσης του κατασκευαστή [28].

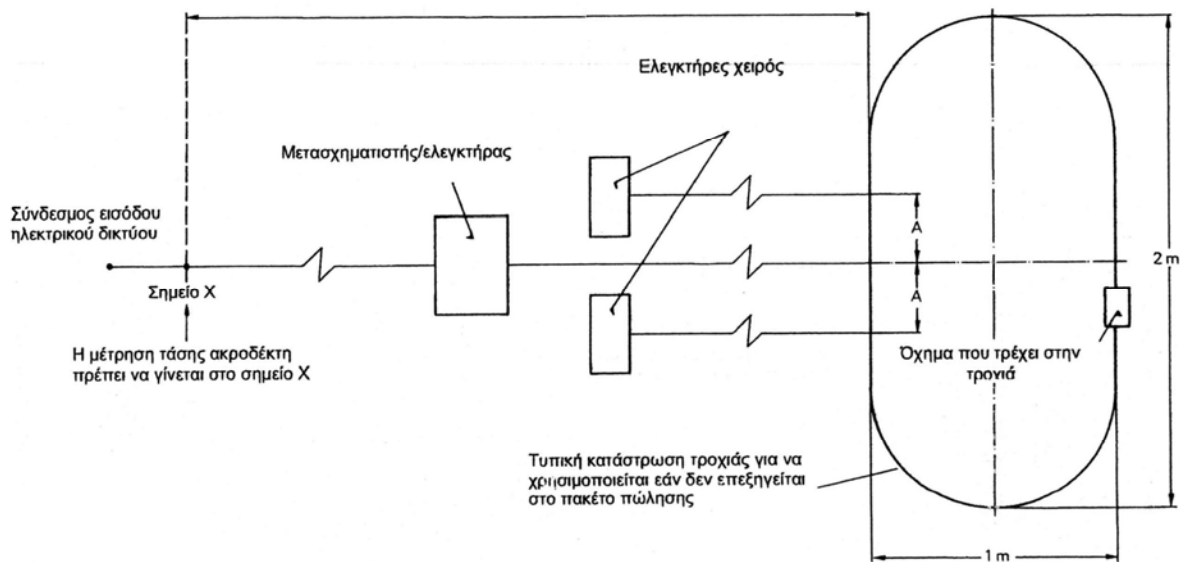
Πίνακας 3-7: Μηχανές αυτόματης πώλησης αγαθών και ψυχαγωγικές μηχανές με τις αντίστοιχες συνθήκες που πρέπει να επικρατούν κατά την μέτρηση τους.

Συσκευές		Τρόπος μέτρησης
Αυτόματοι πωλητές		<p>Διεξάγονται τρεις ενέργειες διάθεσης.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Αν ο αριθμός των κροτημάτων που παράγονται από κάθε ενέργεια διάθεσης είναι ο ίδιος, τότε ο ρυθμός κροτημάτων N είναι ίσος με το 1/6 του αριθμού των κροτημάτων που παράγονται σε μια μόνο ενέργεια διάθεσης. - Αν ο αριθμός των κροτημάτων μεταβάλλεται από ενέργεια σε ενέργεια, διεξάγονται επιπλέον επτά ενέργειες διάθεσης και προσδιορίζεται ο ρυθμός κροτημάτων N από τουλάχιστον 40 κροτήματα, με την παραδοχή ότι η περίοδος ηρεμίας μεταξύ κάθε ενέργειας διάθεσης ήταν τέτοια που οι 10 ενέργειες κατανεμήθηκαν ομοιόμορφα σε χρονική περίοδο μιας ώρας.
Τζουκ μποξ		Ένας κύκλος λειτουργίας διεξάγεται με την εισαγωγή του μεγαλύτερου αριθμού νομισμάτων με την ελάχιστη τιμή για να ξεκινήσει η μηχανή και στη συνέχεια με την επιλογή και το παίξιμο του αντίστοιχου αριθμού μουσικών κομματιών. Αυτός ο κύκλος λειτουργίας πρέπει να επαναλαμβάνεται όσο συχνά χρειάζεται για να παραχθούν τουλάχιστον 40 κροτήματα. Ο ρυθμός κροτημάτων N προσδιορίζεται ως το μισό του αριθμού κροτημάτων ανά λεπτό.
Αυτόματες ψυχαγωγικές μηχανές με ενσωματωμένο μηχανισμό πληρωμής κερδών		Ηλεκτρομηχανικές διατάξεις ενσωματωμένες στη μηχανή για αποθήκευση και πληρωμή κερδών αποσυνδέονται από το λειτουργικό σύστημα για να επιτρέπεται στην ψυχαγωγική λειτουργία να λειτουργεί ανεξάρτητα. Ο ψυχαγωγικός κύκλος πρέπει να επαναλαμβάνεται όσο συχνά χρειάζεται για να παραχθούν τουλάχιστον 40 κροτήματα. Ο ρυθμός κροτημάτων N_1 προσδιορίζεται ως το μισό των κροτημάτων ανά λεπτό. Ο ρυθμός κροτημάτων N_2 των διατάξεων αποθήκευσης και πληρωμής κερδών αξιολογούνται με προσομοίωση μιας νίκης με τη μέση τιμή κέρδους. Η προσομοίωση αυτής της νίκης επαναλαμβάνεται όσο συχνά χρειάζεται για να παραχθούν τουλάχιστον 40 κροτήματα. Έτσι προσδιορίζεται ο ρυθμός κροτημάτων του μηχανισμού πληρωμής κερδών, N_2 . Για να λαμβάνεται υπόψη η συχνότητα πληρωμής, ο αριθμός των ψυχαγωγικών κύκλων που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του N_1 πολλαπλασιάζεται επί τη μέση συχνότητα πληρωμής. Αυτός ο αριθμός των πληρωμών ανά ψυχαγωγικό κύκλο πολλαπλασιάζεται επί N_2 για να δώσει έναν ενεργό ρυθμό κροτημάτων του μηχανισμού πληρωμής κερδών N_3 . Ο ρυθμός κροτημάτων είναι το άθροισμα των δύο ρυθμών κροτημάτων, δηλαδή $N_1 + N_2$.
Αυτόματες ψυχαγωγικές μηχανές χωρίς μηχανισμό πληρωμής κερδών	Φλιπεράκια	Η μηχανή πρέπει να λειτουργεί με ένα λογικό παίκτη. Χρησιμοποιείται ο μεγαλύτερος αριθμός νομισμάτων με την ελάχιστη τιμή για να ξεκινήσει η μηχανή. Ο λειτουργικός κύκλος πρέπει να επαναλαμβάνεται όσο συχνά χρειάζεται ώστε να παραχθούν τουλάχιστον 40 κροτήματα.
	Μηχανές βίντεο και όλες οι άλλες παρόμοιες συσκευές	Λειτουργία σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Ο λειτουργικός κύκλος είναι το πρόγραμμα μετά την εισαγωγή του μεγαλύτερου αριθμού νομισμάτων με την ελάχιστη τιμή για να ξεκινήσει η μηχανή. Για μηχανές με αρκετά προγράμματα, επιλέγεται εκείνο με το μεγαλύτερο ρυθμό κροτημάτων. Για πρόγραμμα διάρκειας μικρότερης από ένα λεπτό, το επόμενο πρόγραμμα δεν πρέπει να ξεκινά εντός ενός λεπτού από την εκκίνηση του προηγούμενου προγράμματος. Η περίοδος ηρεμίας περιλαμβάνεται στον ελάχιστο χρόνο παρατήρησης. Το πρόγραμμα επαναλαμβάνεται όσο συχνά χρειάζεται για παραγωγή τουλάχιστον 40 κροτημάτων.

3.7.3.6 Ηλεκτρικά παιχνίδια που τρέχουν σε τροχιές

3.7.3.6.1 Γενικά

Ένα σύστημα ηλεκτρικών παιχνιδιών περιλαμβάνει το κινούμενο στοιχείο, τη διάταξη ελέγχου και την τροχιά, που πωλούνται ως ένα πακέτο. Πρέπει να συναρμολογείται σύμφωνα με τις οδηγίες που δίνονται στο πακέτο πώλησης. Η κατάσταση της τροχιάς είναι τέτοια ώστε να μεγιστοποιείται το εμβαδό. Τα υπόλοιπα στοιχεία διευθετούνται όπως φαίνεται στο σχήμα 3-14.



- Για μετρήσεις τάσης ακροδέκτη (0,15 MHz έως 30 MHz), το πλησιέστερο μέρος της τροχιάς δεν θα πρέπει να είναι μακρύτερα του 1 m από το σημείο X.
- Για μετρήσεις ισχύος (30 MHz έως 300 MHz) η απόσταση από το μετασχηματιστή/ελεγκτήρα έως το πλησιέστερο μέρος της τροχιάς πρέπει να επεκτείνεται 6 m για να εξυπηρετεί τη χρήση της απορροφητικής αρπάγης.
- Η απόσταση A πρέπει να ρυθμίζεται στο 0,1 m όπου είναι δυνατόν.

Σχήμα 3-14: Μετρητική διεύθετη για τα παιχνίδια που τρέχουν σε τροχιές.

Κάθε κινούμενο στοιχείο δοκιμάζεται χωριστά ενώ τρέχει στην τροχιά. όλα τα στοιχεία του πακέτο πώλησης, πρέπει να δοκιμάζονται και ακόμα το σύστημα πρέπει να δοκιμάζεται με όλα τα κινούμενα στοιχεία να λειτουργούν ταυτόχρονα.

Μεμονωμένα στοιχεία ενός συστήματος παιχνιδιού που έχουν εγκριθεί ως μέρος ενός συστήματος, ακόμη και όταν πωλούνται χωριστά, δεν απαιτούν περαιτέρω δοκιμές. Όσα μεμονωμένα κινούμενα στοιχεία, δεν είναι ήδη εγκεκριμένα ως μέρος ενός συστήματος, δοκιμάζονται σε ελλειπτική τροχιά διατάσεων 2 x 1 m². Η

αναγκαία τροχιά, οι αγωγοί και η διάταξη ελέγχου πρέπει να παρέχονται από τον κατασκευαστή του μεμονωμένου κινούμενου στοιχείου [28].

3.7.3.6.2 Μέθοδος μέτρησης

3.7.3.6.2.1 Τάσεις ακροδέκτη 148,5 kHz έως 30 MHz: γειωμένος και μη γειωμένος εξοπλισμός

Το σύστημα ηλεκτρικού παιχνιδιού πρέπει να δοκιμάζεται σε ύψος 0,4 m πάνω από μεταλλική πλάκα γείωσης ή πάνω από το μεταλλικό δάπεδο ενός θωρακισμένου δωματίου. Η μεταλλική πλάκα θα εκτείνεται τουλάχιστον 0,4 m πέραν της άκρης του συστήματος ηλεκτρικού παιχνιδιού. Ο αγωγός τροφοδοσίας ισχύος από το μετασχηματιστή έως την τροχιά πρέπει να είναι μήκους 0,4 m. Στην πλευρά τροφοδότησης ισχύος της διάταξης μετασχηματιστή/ελεγκτήρα, πρέπει να γίνονται μετρήσεις με χρησιμοποίηση του LISN. Ακόμα μετρήσεις πρέπει να γίνονται και στους ακροδέκτες για τα τροφοδοτικά χαμηλής τάσης και στους αγωγούς ελέγχου στην πλευρά προς την τροχιά του μετασχηματιστή/ελεγκτήρα, με τη χρησιμοποίηση ανιχνευτήρα σε σειρά με την είσοδο του μετρητικού δέκτη [28].

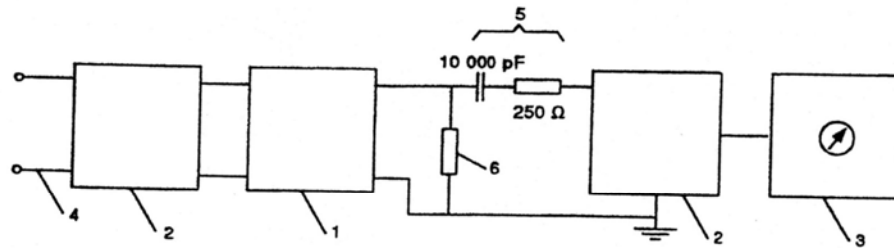
3.7.3.6.2.2 Ισχύς διαταραχής 30 MHz έως 300 MHz

Το σύστημα ηλεκτρικού παιχνιδιού πρέπει να διευθετείται όπως στο σχήμα 3-14 και η μεγιστοποιημένη περιοχή τροχιάς δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2 x 1 m². Οι μετρήσεις ισχύος διαταραχής πρέπει να γίνονται μόνο στην πλευρά προς την τροχιά του μετασχηματιστή/ελεγκτήρα με τη χρήση της απορροφητικής αρπάγης, με τον αγωγό τροφοδοτικού χαμηλής τάσης επεκτεταμένο όσο χρειάζεται. Όλα τα αυτοπροωθούμενα οχήματα που περιέχονται στο σύστημα ηλεκτρικού παιχνιδιού πρέπει να κινούνται ταυτόχρονα, αλλά όλα τα άλλα δεν πρέπει να είναι στην τροχιά.

3.7.3.7 Διάφοροι εξοπλισμοί και συσκευές

Στους παρακάτω εξοπλισμούς και συσκευές τα όρια ισχύος διαταραχής στην περιοχή συχνοτήτων 30 MHz έως 300 MHz δεν είναι εφαρμόσιμα.

Στο σχήμα 3-15 φαίνεται η διάταξη για τη μέτρηση σε ηλεκτρικό φράκτη.



- 1 Μονάδα τροφοδοσίας ηλεκτρικού φράκτη
- 2 Δικτύωμα V τεχνητού ηλεκτρικού δικτύου
- 3 Δέκτης CISPR που συμμορφώνεται με το CISPR 16
- 4 Αγωγός ηλεκτρικού δικτύου, ή αγωγός μπαταρίας
- 5 Στοιχεία του ισοδύναμου κυκλώματος για να αντικαταστήσει το φράκτη (η προδιαγραμμένη αντίσταση φόρτου 300 Ω παρέχεται από τον αντιστάτη των 250 Ω σε σειρά με την εμπέδηση των 50 Ω του δικτυώματος V τεχνητού ηλεκτρικού δικτύου)
- 6 Αντιστάτης των 500 Ω για να προσομοιώνει τη διαρροή (για να προστίθεται στο ισοδύναμο κύκλωμα του στοιχείου 5)

Το αριστερό δικτύωμα V δεν είναι αναγκαίο όταν ο EUT λειτουργεί με μπαταρία. Το δεξιό δικτύωμα V μπορεί να προστατεύει το μετρητή έναντι παλμών στους εικονικούς φράκτες.

Σχήμα 3-15: Διευθέτηση για μέτρηση της τάσης διαταραχής που παράγεται στον ακροδέκτη φράκτη των ενεργειακών τροφοδοτών ηλεκτρικού φράκτη.

Στον πίνακα 3-8 παρουσιάζονται ομαδοποιημένοι οι διάφοροι εξοπλισμοί και συσκευές μαζί με τις συνθήκες που πρέπει να εξασφαλίζονται κατά την μέτρηση τους [28].

Πίνακας 3-8: Διάφοροι εξοπλισμοί και συσκευές με τις αντίστοιχες συνθήκες που πρέπει να επικρατούν κατά την μέτρηση τους.

Συσκευές		Τρόπος μέτρησης
Χρονοδιακόπτες που δεν είναι ενσωματωμένοι σε εξοπλισμό ή συσκευές		Ο χρονοδιακόπτης ρυθμίζεται για μεγιστοποίηση της τιμής του n_2 (αριθμός των ενεργειών μεταγωγής). Το ρεύμα φόρτου πρέπει να είναι 0,1 της μέγιστης ονομαστικής τιμής και ο φόρτος πρέπει να αποτελείται από λαμπτήρες πυράκτωσης. Εάν ικανοποιούνται οι συνθήκες της στιγμιαίας μεταγωγής, δεν υπάρχει όριο στα πλάτη των παραγόμενων κροτημάτων. Για διακόπτες χειροκίνητου ανάμματος και αυτόματου σβήσιματος, ο μέσος χρόνος ανάμματος (t_1 δευτερόλεπτα) προσδιορίζεται από τρεις διαδοχικές ενέργειες ενώ ο διακόπτης ρυθμίζεται για μεγιστοποίηση της τιμής του n_2 . Πρέπει να επιτρέπεται περίοδος ηρεμίας 30 s. Ο χρόνος για ένα πλήρη κύκλο είναι $(t_1 + 30)$ s, έτσι ο ρυθμός κροτημάτων είναι $N = 120 / (t_1 + 30)$.
Μονάδες τροφοδοσίας ισχύος ηλεκτρικού φράκτι		Κατά τη μέτρηση τάσης διαταραχής στους ακροδέκτες φράκτη του ενεργειακού τροφοδότη, το σύρμα του φράκτη προσομοιώνεται με ένα κύκλωμα RC σε σειρά (πυκνωτής 10 nF και αντιστάτης 250 Ω). Η αντίσταση διαρροής τους σύρματος του φράκτη αντιπροσωπεύεται από έναν αντιστάτη των 500 Ω τοποθετημένο παράλληλα με το κύκλωμα σειράς. Οι ηλεκτρικοί φράκτες που σχεδιάζονται για να λειτουργούν με A.C. ή D.C. πρέπει να δοκιμάζονται και στα δύο είδη τροφοδοσίας.
Ηλεκτρονικοί αναφλεκτήρες αερίου	Αναφλεκτήρες αερίου ενός σπινθήρα κατ' αίτηση για μαγειρικό εξοπλισμό	Παράγονται 10 μεμονωμένοι σπινθήρες με διάστημα όχι λιγότερο από 2 s. Όταν ικανοποιούνται οι συνθήκες της στιγμιαίας μεταγωγής, θεωρείται ότι ο ρυθμός κροτημάτων δεν είναι μεγαλύτερος από πέντε και δεν υπάρχει όριο για το πλάτος του παραγόμενου κροτήματος, αλλιώς το όριο κροτημάτων L_q πρέπει να αντιπαραβάλλεται με τη χρήση ενός εμπειρικού ρυθμού κροτημάτων $N = 2$, που δίνει ένα όριο κροτημάτων $L_q = 24$ dB πάνω από το όριο συνεχούς διαταραχής L .
	Επαναληπτικοί αναφλεκτήρες για μαγειρικό εξοπλισμό	Τίθεται σε λειτουργία ο αναφλεκτήρας για να παράγει 10 σπινθήρες. -Αν οποιαδήποτε διαταραχή υπερβαίνει τα 200 ms ή δεν χωρίζεται από μια επακόλουθη διαταραχή ή κρότημα από τουλάχιστον 200 ms, εφαρμόζεται το όριο συνεχούς διαταραχής. -Αν όλα τα κροτήματα διαρκούν λιγότερο από 10 ms, θεωρείται ότι ο ρυθμός κροτημάτων N δεν είναι μεγαλύτερος από πέντε και δεν υπάρχει όριο στο πλάτος του παραγόμενου κροτήματος. -Αν δεν μπορεί να εφαρμοστεί η εξαίρεση της στιγμιαίας μεταγωγής, το όριο κροτημάτων L_q υπολογίζεται με τη χρησιμοποίηση ενός εμπειρικού ρυθμού $N = 2$. Αυτός ο ρυθμός κροτημάτων είναι μια υποτιθέμενη πρακτική τιμή η οποία δίνει όριο κροτημάτων $L_q = 24$ dB άνω του ορίου συνεχούς διαταραχής L .
Ηλεκτροστατικές συσκευές καθαρισμού αέρα		Λειτουργία υπό κανονικές συνθήκες εργασίας, περιβαλλόμενες από επαρκή όγκο αέρα.
Φορτιστές μπαταριών		Οι φορτιστές μπαταριών που δεν είναι ενσωματωμένοι σε άλλη συσκευή μετρούνται με τους ακροδέκτες τροφοδοσίας ηλεκτρικού δικτύου συνδεδεμένους σε ένα LISN. Οι ακροδέκτες φόρτου πρέπει να συνδέονται με ένα μεταβλητό αντιστατικό φόρτο σχεδιασμένο να εξασφαλίζει ότι μπορεί να λαμβάνεται το μέγιστο προδιαγραφόμενο ρεύμα και τάση του δοκιμίου. Όταν απαιτείται μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία για ορθή λειτουργία της διάταξης, η μπαταρία πρέπει να συνδέεται παράλληλα με το μεταβλητό φόρτο, αυτός πρέπει να μεταβάλλεται έως ότου η τάση ή το ρεύμα που πρόκειται να ελεγχθούν φθάσουν στη μέγιστη και ελάχιστη τιμή. Πρέπει να καταχωρούνται η μέγιστη στάθμη της διαταραχής στην είσοδο και στους ακροδέκτες φόρτου.
Ανορθωτές		Οι μη ενσωματωμένοι σε άλλη συσκευή ή εξοπλισμό μετρούνται με τους ακροδέκτες τροφοδοσίας ηλεκτρικού δικτύου συνδεδεμένους σε ένα LISN και τους ακροδέκτες φόρτου σε ένα μεταβλητό αντιστατικό φόρτο σχεδιασμένο να εξασφαλίζει ότι μπορεί να επιτυγχάνεται το μέγιστο προδιαγραφόμενο ρεύμα και τάση του δοκιμίου. Ο φόρτος μεταβάλλεται έως ότου η τάση ή το ρεύμα φθάσουν στη μέγιστη και ελάχιστη τιμή.
Ανυψωτικές διατάξεις		Λειτουργία με διαλείπουσα δράση χωρίς φορτίο. Ο ρυθμός κροτημάτων N πρέπει να προσδιορίζεται με 18 κύκλους εργασίας ανά ώρα. Η ανύψωση και ο ελκυσμός μετρούνται και να αποτιμώνται χωριστά.
Μετατροπείς		Οι μη ενσωματωμένοι σε συσκευές ή εξοπλισμό, που μπορούν να συνδέονται στο ηλεκτρικό δίκτυο, μετρούνται με τους ακροδέκτες ηλεκτρικού δικτύου συνδεδεμένους σε ένα LISN και τους ακροδέκτες φόρτου σε ένα μεταβλητό φόρτο. Εφαρμόζεται αντιστατικός φόρτος εκτός αν προδιαγράφεται διαφορετικά από τον κατασκευαστή. Ο φόρτος μεταβάλλεται έως ότου η τάση ή το ρεύμα φθάσουν στη μέγιστη και ελάχιστη τιμή.

3.7.4 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

3.7.4.1 Συνεχής διαταραχή

Η ένδειξη στο μετρητικό δέκτη παρατηρείται για περίπου 15 s για κάθε μέτρηση και καταγράφονται οι υψηλότερες ενδείξεις με εξαίρεση οποιασδήποτε μεμονωμένη

αιχμή. Αν δεν είναι σταθερή η γενική στάθμη της διαταραχής, αλλά δείχνει μια συνεχιζόμενη άνοδο ή πτώση μεγαλύτερη από 2 dB μέσα στα 15 s, τότε η μέτρηση εκτελείται σύμφωνα με τις συνθήκες της κανονικής χρήσης.

Τα όρια τάσης διαταραχής εφαρμόζονται σε ολόκληρη την περιοχή συχνοτήτων 148,5 kHz έως 30 MHz και έτσι τα χαρακτηριστικά διαταραχής πρέπει να αξιολογούνται σε ολόκληρη την περιοχή συχνοτήτων. Γίνεται μια αρχική επισκόπηση ή σάρωση της πλήρους περιοχής. Σε περίπτωση μέτρησης με ανιχνευτή οιονεί κορυφοτιμής, δίνονται οι καταχωρημένες τιμές τουλάχιστον στις ακόλουθες συχνότητες και σε όλες τις συχνότητες στις οποίες υπάρχει μέγιστο:

160 kHz, 240 kHz, 550 kHz, 1 MHz, 1,4 MHz, 2 MHz, 3,5 MHz, 6 MHz, 10 MHz, 22 MHz, 30 MHz, με ανοχή $\pm 10\%$ για αυτές τις συχνότητες.

Τα όρια τάσης διαταραχής εφαρμόζονται σε ολόκληρη την περιοχή συχνοτήτων 30 MHz έως 300 MHz και έτσι τα χαρακτηριστικά διαταραχής πρέπει να αξιολογούνται σε ολόκληρη την περιοχή συχνοτήτων. Γίνεται μια αρχική επισκόπηση ή σάρωση της πλήρους περιοχής. Σε περίπτωση μέτρησης με ανιχνευτή οιονεί κορυφοτιμής, δίνονται οι καταχωρημένες τιμές τουλάχιστον στις ακόλουθες συχνότητες και σε όλες τις συχνότητες στις οποίες υπάρχει μέγιστο:

30 MHz, 45 MHz, 65 MHz, 90 MHz, 150 MHz, 180 MHz, 220 MHz, 300 MHz, με ανοχή ± 5 MHz για αυτές τις συχνότητες.

Αν στην περιοχή συχνοτήτων 30 MHz έως 300 MHz γίνονται μετρήσεις σε μία μόνο συσκευή, αυτές επαναλαμβάνονται τουλάχιστον σε μία συχνότητα στη γειτονία κάθε μιας από τις ακόλουθες συχνότητες:

45 MHz, 90 MHz, 220 MHz.

Αν οι παρατηρούμενες διαφορές μεταξύ των σταθμών για τις αντίστοιχες είναι μεγαλύτερες από 2 dB, πρέπει να επαναλαμβάνονται οι μετρήσεις όλου του φάσματος και να λαμβάνεται η υψηλότερη στάθμη όλων των μετρήσεων σε κάθε συχνότητα.

Για μέτρηση με ανιχνευτή μέσης τιμής σε διαταραχές προκαλούμενες από ηλεκτρονικές διατάξεις (π.χ. μικροεπεξεργαστές) μπορούν να εμφανιστούν απομονωμένες φασματικές γραμμές, που αποτελούνται από τη θεμελιώδη συχνότητα και τις υψηλότερες αρμονικές της πηγής διαταραχών. Μέτρηση με ανιχνευτή μέσης

τιμής δεν χρειάζεται όταν μια συσκευή περιέχει μόνο έναν κινητήρα με μεταγωγέα επιλογής ως πηγή της διαταραχής [28].

3.7.4.2 Ασυνεχής διαταραχή

Όταν δεν προδιαγράφονται οι συνθήκες λειτουργίας, ο ρυθμός κροτημάτων N προσδιορίζεται υπό τις πιο δυσμενείς συνθήκες τυπικής χρήσης (μέγιστος ρυθμός κροτημάτων), στα 150 kHz για την περιοχή συχνοτήτων 148,5 kHz έως 500 kHz και στα 500 kHz για την περιοχή 500 kHz έως 30 MHz. Ο εξασθενητής του δέκτη ρυθμίζεται ώστε ένα σήμα εισόδου ίσο σε πλάτος με το σχετικό όριο L για συνεχή διαταραχή να παράγει απόκλιση μισής κλίμακας στο μετρητή [30].

Ο αριθμός των κροτημάτων ανά λεπτό N προσδιορίζεται από τον τύπο $N = n_1/T$, n_1 ο αριθμός των κροτημάτων κατά τη διάρκεια του χρόνου παρατήρησης T σε λεπτά. Σε ορισμένες συσκευές ο ρυθμός κροτημάτων N προσδιορίζεται από τον τύπο $N = n_2(f/T)$, n_2 ο αριθμός των ενεργειών μεταγωγής στη διάρκεια του χρόνου παρατήρησης T και f είναι ένας παράγοντας διαφορετικός για κάθε συσκευή. Το όριο κροτημάτων L_q ασυνεχούς διαταραχής δίνεται από τον τύπο $20 \log(30/N)$.

Η μέτρηση της διαταραχής που παράγεται από ενέργειες μεταγωγής εκτελείται με το ίδιο πρόγραμμα για τον προσδιορισμό του ρυθμού κροτημάτων N με τον ακόλουθο περιορισμένο αριθμό συχνοτήτων:

150 kHz, 500 kHz, 1,4 MHz και 30 MHz.

Η συσκευή αξιολογείται για συμμόρφωση με το υψηλότερο όριο L_q σύμφωνα με τη μέθοδο του άνω τεταρτημόριου και δοκιμάζεται για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του ελάχιστου χρόνου παρατήρησης T . Αν ο ρυθμός κροτημάτων N προσδιορίζεται από τον αριθμό των κροτημάτων, το δοκίμιο θεωρείται ότι συμμορφώνεται αν δεν υπερβαίνεται το όριο κροτημάτων L_q από περισσότερα από 1/4 του αριθμού των κροτημάτων, κατά τη διάρκεια του χρόνου παρατήρησης T . Αν ο ρυθμός κροτημάτων N προσδιορίζεται από τον αριθμό ενεργειών μεταγωγής, το δοκίμιο θεωρείται ότι συμμορφώνεται αν δεν παράγονται κροτήματα που υπερβαίνουν το όριο κροτημάτων L_q περισσότερο από 1/4 του αριθμού των ενεργειών μεταγωγής, κατά τη διάρκεια του χρόνου παρατήρησης T [28].

3.8 Ερμηνεία του ορίου ραδιοδιαταραχής CISPR

3.8.1 Σημασία ενός ορίου CISPR

Ένα όριο CISPR συνιστάται σε εθνικές αρχές για ενσωμάτωση σε εθνικά πρότυπα, συναφείς νομικούς κανονισμούς και επίσημες προδιαγραφές, όπως και σε διεθνείς οργανισμούς. Η σημαντικότητα των ορίων είναι ότι σε στατιστική βάση τουλάχιστον το 80% των μαζικά παραγόμενων συσκευών συμμορφώνονται με τα όρια με εμπιστοσύνη τουλάχιστον κατά 80%.

3.8.2 Δόκιμες τύπου

Για συσκευές που παράγουν συνεχή διαταραχή, οι δοκιμές τύπου πρέπει να γίνονται είτε σε δείγμα συσκευών του τύπου, με τη χρησιμοποίηση της στατιστικής μεθόδου της αποτίμησης, είτε, χάριν απλότητας, σε μία μόνο συσκευή. Σε συσκευές που λαμβάνονται τυχαία από την παραγωγή είναι αναγκαίες, κατά καιρούς, μεταγενέστερες δοκιμές.

Για συσκευές που παράγουν ασυνεχή διαταραχή οι δοκιμές γίνονται μόνο σε ένα τεμάχιο και είναι αναγκαίες μεταγενέστερες δοκιμές, κατά καιρούς, όταν λαμβάνονται τυχαία από την παραγωγή. Σε περίπτωση αμφισβήτησης σχετικά με μια δοκιμή έγκρισης τύπου, αν η πρώτη συσκευή μετρείται και αποτυγχάνει, πρέπει να μετρούνται τρεις πρόσθετες συσκευές στην ίδια συχνότητα που η πρώτη απέτυχε και κρίνονται σύμφωνα με τις ίδιες απαιτήσεις που εφαρμόστηκαν στην πρώτη. Εάν και οι τρεις πρόσθετες συσκευές συμμορφώνονται ο τύπος εγκρίνεται, ενώ αν μια ή περισσότερες πρόσθετες συσκευές δεν συμμορφώνονται, ο τύπος απορρίπτεται [28].

3.8.3 Συμμόρφωση με τα όρια για συσκευές σε παραγωγή ευρείας κλίμακας

Αν η δοκιμή στο δείγμα καταλήγει σε μη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις τότε μπορεί να δοκιμαστεί ένα δεύτερο δείγμα και τα αποτελέσματα να συνδυαστούν με του πρώτου ώστε να εξελεγχθεί η συμμόρφωση για το μεγαλύτερο δείγμα [29].

3.8.3.1 Δοκιμές που βασίζονται στη μη κεντρική κατανομή t

Αυτή η δοκιμή εκτελείται σε δείγμα μεγαλύτερο των πέντε τεμαχίων του τύπου, αλλά εάν, σε εξαιρετικές περιπτώσεις, δεν είναι διαθέσιμα πέντε τεμάχια, τότε

πρέπει να χρησιμοποιείται δείγμα τεσσάρων ή τριών. Η συμμόρφωση κρίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\bar{x} + ks_n \leq L \quad (3.1)$$

όπου \bar{x} : αριθμητικός μέσος της μετρούμενης τιμής των n τεμαχίων στο δείγμα

s_n : τυπική απόκλιση του δείγματος που δίνεται από την σχέση

$$s_n^2 = \sum (x_n - \bar{x})^2 / (n - 1) \quad (3.2)$$

όπου x_n : η τιμή του μεμονωμένου τεμαχίου

L: το κατάλληλο όριο

k: παράγοντας που παράγεται από πίνακες της μη κεντρικής κατανομής t και εξασφαλίζει με 80% εμπιστοσύνη ότι το 80% του τύπου είναι κάτω του ορίου. Εξαρτάται από το μέγεθος του δείγματος n και δηλώνεται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 3-9: Οι τιμές που λαμβάνει το k συναρτήσει του n.

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	2,04	1,69	1,52	1,42	1,35	1,30	1,27	1,24	1,21	1,20

Οι ποσότητες x_n , \bar{x} , s_n^2 και L εκφράζονται λογαριθμικά (dB(μV), dB(μV/m) ή dB(pW))

3.8.3.2 Δοκιμές που βασίζονται στη διωνυμική κατανομή

Αυτή η δοκιμή εκτελείται σε δείγμα μεγαλύτερο των επτά τεμαχίων. Η συμμόρφωση κρίνεται από τη συνθήκη ότι ο αριθμός των συσκευών με μια στάθμη παρεμβολής άνω του κατάλληλου ορίου δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει τον αριθμό c σε δείγμα μεγέθους n.

Πίνακας 3-10: Οι τιμές που λαμβάνει το c συναρτήσει του n.

n	7	14	20	26	32
c	0	1	2	3	4

3.8.4 Η απαγόρευση των πωλήσεων

Η απαγόρευση των πωλήσεων ή η ανάκληση μιας έγκρισης τύπου, ως αποτέλεσμα, μιας διένεξης πρέπει να εξετάζεται μόνο αφού έχουν διεξαχθεί δοκιμές με τη χρησιμοποίηση της στατιστικής μεθόδου αποτίμησης. Η στατιστική αξιολόγηση της συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις πρέπει να γίνεται για ασυνεχή και συνεχή διαταραχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Επαλήθευση της γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων

4.1 Ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις

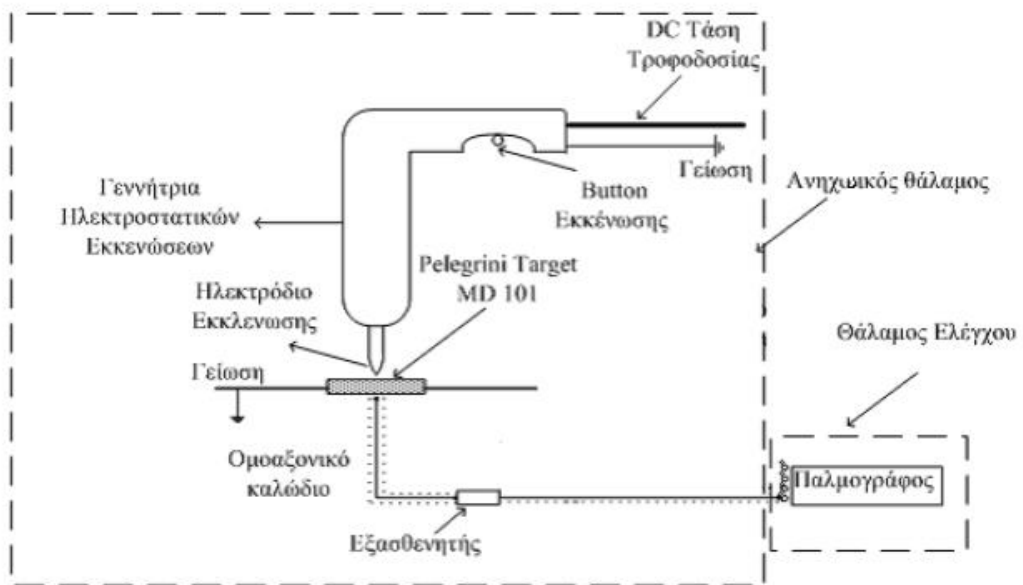
4.1.1 Γενική πειραματική διάταξη

Για την διεξαγωγή των δοκιμών που ορίζει το πρότυπο IEC 61000-4-2 [3] ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι συνοπτικά ο ακόλουθος:

- Γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκκενώσεων (ESD generator).
- Ομοαξονικός προσαρμοστής μέτρησης.
- Βάσεις στήριξης του ομοαξονικού προσαρμοστή.
- Ομοαξονικά καλώδια υψηλής συχνότητας.
- Εξασθενητές (attenuators).
- Παλμογράφος TDS 7254B.
- Ανηχωικός θάλαμος.

Στο σχήμα 4-1 παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη. Ο παλμογράφος που χρησιμοποιήθηκε είναι ο TDS 7254B, ο οποίος περιλαμβάνει 4 κανάλια και το εύρος ζώνης του κυμαίνεται από DC έως 2,5 GHz. Οι ηλεκτροστατικές εκκενώσεις πραγματοποιήθηκαν με τις γεννήτριες NSG-438 και NSG-433 της εταιρίας Schaffner. Προκειμένου να μετρήσουμε το ρεύμα της ηλεκτροστατικής εκκένωσης και να πάρουμε τις κυματομορφές του, χρησιμοποιούμε ομοαξονικά καλώδια, τα οποία μέσω του γειωμένου πίνακα βυσμάτων που διαθέτει ο ανηχωικός θάλαμος μεταφέρουν στο εξωτερικό του θαλάμου, με τη βοήθεια νέων ομοαξονικών, το σήμα. Επειδή το ρεύμα που δημιουργείται έχει μεγάλες τιμές (περίπου 3,5 A/kV) πρέπει να εξασθενήσουμε τα αντίστοιχα σήμα πριν αυτό εισέλθει στον παλμογράφο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούμε τον εξασθενητή της Tektronix (011-0059-03). Ο ομοαξονικός προσαρμοστής μέτρησης, που λέγεται και Pellegrini target, δεν είναι

τίποτα άλλο παρά ένας μετατροπέας ρεύματος (current transducer) με τη βοήθεια του οποίου μπορούμε να μετρήσουμε το εκχυόμενο ρεύμα κατά την ηλεκτροστατική εκφόρτιση. Στη διάταξη χρησιμοποιείται ο MD 101 της Schaffner. Τέλος προκειμένου η πειραματική διάταξη να μείνει ανεπηρέαστη από τυχαία σήματα, το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε ανηχικό θάλαμο ο οποίος αποκόπτει συχνότητες ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων έως 1 GHz.

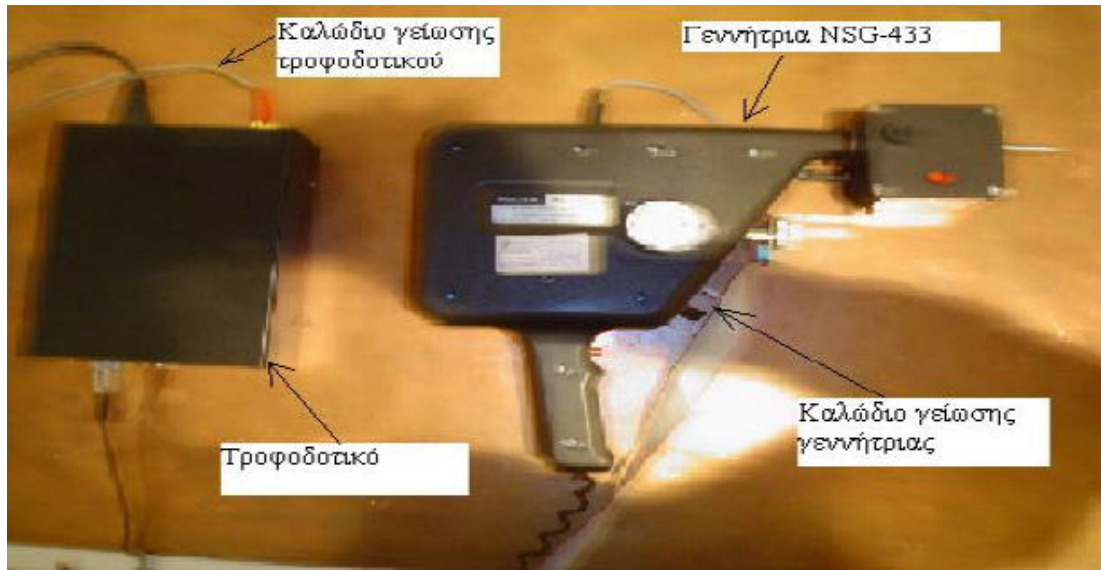


Σχήμα 4-1: Πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις.

4.1.2 Γεννήτριες ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων (ESD generators)

Οι ηλεκτροστατικές εκκενώσεις πραγματοποιήθηκαν με δυο γεννήτριες της εταιρείας Schaffner τη NSG-433 [31] και τη NSG-438 [32].

Η γεννήτρια NSG-433 η οποία φαίνεται στο σχήμα 4-2 παράγει ηλεκτροστατικές εκκενώσεις έως ± 18 kV με χρόνο ανόδου μικρότερο από 1 ns. Ο διακόπτης αλλαγής πολικότητας βρίσκεται ενσωματωμένος πάνω στο πιστόλι μαζί με ψηφιακό βολτόμετρο το οποίο δείχνει την τάση εκκένωσης. Η γεννήτρια NSG-433 περιλαμβάνει επίσης τροφοδοτικό με ενσωματωμένο μετρητή ο οποίος παρουσιάζει τον αριθμό των εκκενώσεων που πραγματοποιούνται.



Σχήμα 4-2: Γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων NSG-433.

Η γεννήτρια NSG-438, που την βλέπουμε στο σχήμα 4-3, είναι και αυτή της εταιρίας Schaffner. Παράγει ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις μέχρι 30 kV και στον χειρισμό της χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για αποφυγή ατυχήματος. Ο χειρισμός της γεννήτριας γίνεται μέσω της οθόνης αφής (touch screen), η οποία βρίσκεται στο πίσω μέρος του πιστολιού εκφόρτισης.



Σχήμα 4-3: Γεννήτρια ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων NSG-438.

Η γεννήτρια αποτελείται από τα τρία βασικά τμήματα:

- Τη βασική μονάδα η οποία φαίνεται στο σχήμα 4-4 και περιλαμβάνει την μπαταρία τροφοδοσίας, την γεννήτρια και τον ρυθμιστή υψηλής τάσης, καθώς και ορισμένες διατάξεις ασφαλείας. Περιλαμβάνει επίσης 3 μπουτόν (Power On, Interlock reset, Emergency Power Off) και 4 λυχνίες (Power, Battery, High Voltage, Interlock).
- Το «πιστόλι» στο οποίο βρίσκονται η ακίδα εκφόρτισης (αέρος ή επαφής), ηλεκτρονικά στοιχεία μέτρησης και η οθόνη αφής / εισαγωγής δεδομένων και το καλώδιο γείωσης. Στην λαβή του πιστολιού βρίσκεται το μπουτόν το οποίο παράγει τις ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις.
- Το DC τροφοδοτικό (CPW1027) το οποίο έχει σαν είσοδο του 100 - 250 VAC, 50 - 60 Hz, 1 A και δίνει στην βασική μονάδα 24 VDC, 2,3 A.



Σχήμα 4-4: Βασική μονάδα της NSG-438.

Όταν η γεννήτρια είναι έτοιμη για λειτουργία στην οθόνη αφής εμφανίζεται το μενού που φαίνεται στο σχήμα 4-5. Από την οθόνη αφής μπορούμε να επιλέξουμε διάφορα στοιχεία, όπως την τιμή της τάσης εκφόρτισης που θέλουμε να κάνουμε, την λειτουργία της γεννήτριας σε θετική ή αρνητική πολικότητα (+ ή -), καθώς και την πραγματοποίηση διαδοχικών εκφορτίσεων ή μιας μοναδικής (η επιλογή αυτή ισχύει για εκφορτίσεις επαφής). Επίσης στην οθόνη παρουσιάζονται ενδείξεις για την τάση, την πολικότητα, το είδος της εκφόρτισης αλλά και τον αύξων αριθμό της, μετρητής ο

οποίος μπορεί να μηδενιστεί μέσω του Menu. Κατά την πραγματοποίηση εκφορτίσεων το πιστόλι πλησιάζει κατακόρυφα τον στόχο εκφόρτισης. Στην περίπτωση των εκφορτίσεων επαφής το μπουτόν εκφόρτισης πιέζεται εφόσον η ακίδα έχει έλθει σε επαφή με το στόχο. Εν συνεχεία το μπουτόν απελευθερώνεται και πραγματοποιείται η εκφόρτιση. Στην περίπτωση των εκφορτίσεων αέρος, κρατώντας πατημένο το μπουτόν, το πιστόλι πλησιάζει το στόχο μέχρι να ακουμπήσουν.



Σχήμα 4-5: Οθόνη αφής της NSG-438.

Πίνακας 4-1: Τεχνικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας ηλεκτροστατικής εκφόρτισης NSG-438.

Πυκνωτής εκκένωσης C_s	150 P _f
Αντίσταση εκκένωσης R_d	330 Ω
Αντίσταση φόρτισης R_c	50 MΩ
Τάση εξόδου V_0	200V-30
Πολικότητα τάσης εξόδου	Θετική/αρνητική
Χρόνος κρατήματος απλής φόρτισης (90% V_0)	>5 sec
Χρόνος ανόδου ρεύματος εκφόρτισης (t_r)	< 1 ns για εκφορτίσεις στον αέρα και για τάσεις ≤ 8 kV 0,7 - 1 ns για εξ' επαφής εκφορτίσεις
Τάση τροφοδοσίας	100/120/220/240 VAC, 50 - 60 Hz
Κατανάλωση	25 VA
Θερμοκρασία λειτουργίας	5 - 40 °C
Υγρασία λειτουργίας	20% - 80%

4.1.3 Ομοαξονικός προσαρμοστής μέτρησης

Ο ομοαξονικός προσαρμοστής μέτρησης είναι μετατροπέας ρεύματος (current transducer) με τη βοήθεια του οποίου μπορούμε να μετρήσουμε το εκχυόμενο ρεύμα από την ηλεκτροστατική εκφόρτιση. Στη διάταξη χρησιμοποιήθηκε ο MD 101 της Schaffner που παρουσιάζεται στα σχήματα 4-6 και 4-7.

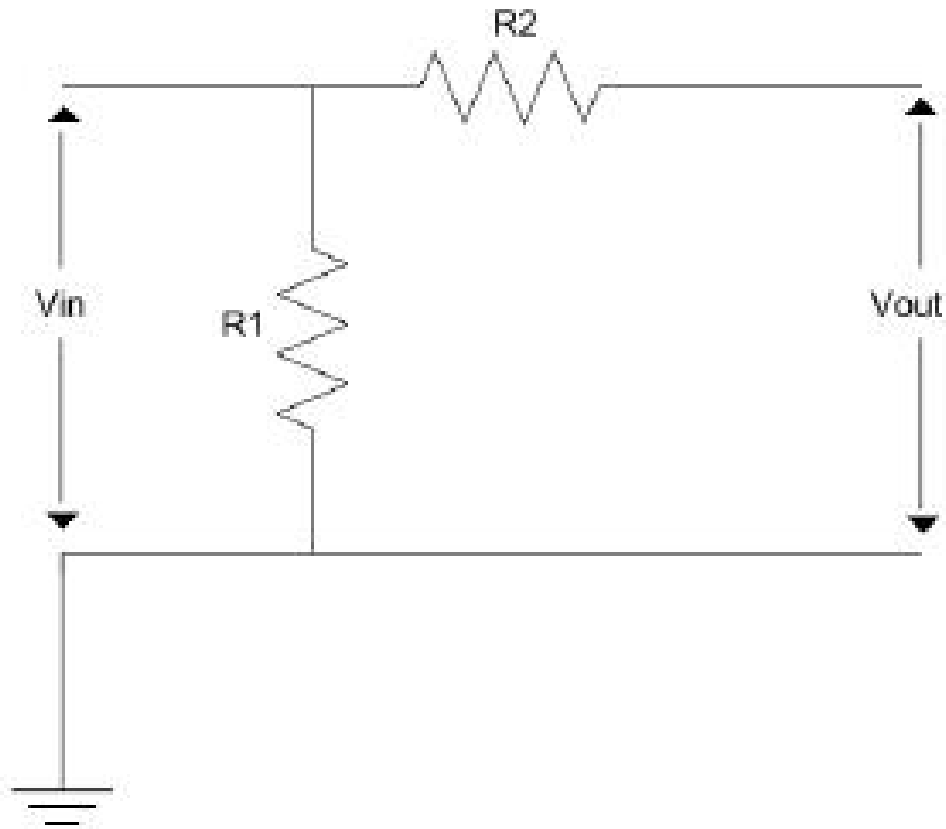


Σχήμα 4-6: Η εμπρόσθια όψη του MD 101.



Σχήμα 4-7: Η οπίσθια όψη του MD 101.

Στο σχήμα 4-8 φαίνεται το ηλεκτρικό ισοδύναμο του ομοαξονικού προσαρμοστή. Οι αντιστάσεις R_1 , R_2 έχουν τιμές $R_1 = 2,005 \Omega$ και $R_2 = 48,246 \Omega$.



Σχήμα 4-8: Το ηλεκτρικό ισοδύναμο του MD 101.

4.1.4 Βάσεις στήριξης

Οι βάσεις στήριξης του στόχου εκφόρτισης-ομοαξονικού προσαρμοστή παίζουν σημαντικό ρόλο στην διαδικασία της μέτρησης καθώς επηρεάζουν τις παραμέτρους της κυματομορφής του ρεύματος. Η βάση στήριξης που χρησιμοποιήσαμε ήταν ένα αλουμινένιο τετράγωνο πλαίσιο διαστάσεων 1,5 m x 1,5 m, όπως βλέπουμε στο σχήμα 4-9.



Σχήμα 4-9: Μεταλλική βάση στήριξης 1,5 m x 1,5 m.

4.1.5 Ομοαξονικά καλώδια υψηλής συχνότητας

Το φαινόμενο της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης διαρκεί μερικά ns. Συνεπώς το εύρος των συχνοτήτων που καλύπτει είναι της τάξης των GHz. Γι' αυτό το λόγο απαιτείται τα ομοαξονικά καλώδια που θα χρησιμοποιηθούν να είναι κατάλληλα για μεταφορά σήματος υψηλής συχνότητας (RF). Από τα δύο ομοαξονικά καλώδια που χρησιμοποιήθηκαν το ένα καλώδιο συνδέει τον ομοαξονικό προσαρμοστή μέτρησης με το βύσμα στην εσωτερική μεριά του μεταλλικού τοίχου του ανηχικού θαλάμου και το άλλο το βύσμα στην εξωτερική μεριά του μεταλλικού τοίχου με κάποιο κανάλι του παλμογράφου.

4.1.6 Εξασθενητής (attenuator)

Προκειμένου να μετρήσουμε το ρεύμα της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης και να πάρουμε την κυματομορφή του το σήμα πρέπει να εξασθενήσει, ώστε να μην κινδυνεύει να καταστραφεί το κανάλι του παλμογράφου από μεγάλη ένταση ρεύματος. Γι' αυτόν το λόγο χρησιμοποιείται ο εξασθενητής 011-0059-03 της Tektronix με εύρος ζώνης από DC έως 2 GHz, με εξασθένηση 20 dB και αντίσταση

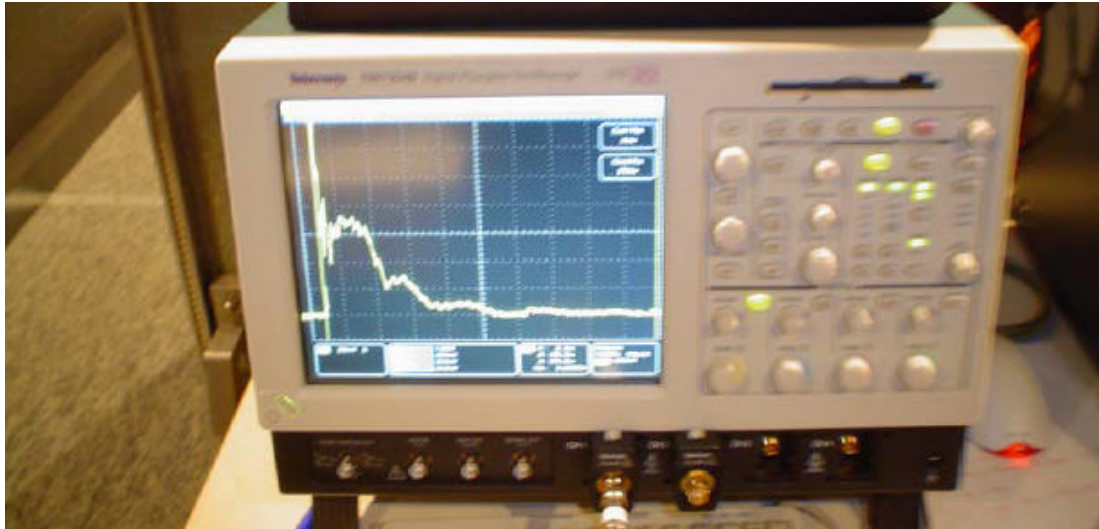
50 Ω. Ο εξασθενητής τοποθετείται μεταξύ του ομοαξονικού καλωδίου και του καναλιού του παλμογράφου. Εξασθένιση 20 dB σημαίνει υποβίβαση του σήματος 10 φορές. Έτσι ισχύει $20 \text{ dB} = 20 \log \frac{U_2}{U_1}$. Ο εξασθενητής φαίνεται στο σχήμα 4-10 που ακολουθεί:



Σχήμα 4-10: Εξασθενητής 011-0059-03 της Tektronix.

4.1.7 Παλμογράφος Tektronix, TDS 7254B

Ο παλμογράφος αυτός, που είναι ένα από τα σύγχρονα μοντέλα της Tektronix, λειτουργεί στα 2,5 GHz καλύπτοντας τις απαιτήσεις του ταχέως μεταβατικού φαινομένου της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης, όπως άλλωστε ορίζει και το Πρότυπο EN 61000-4-2 [5] για παλμογράφο τουλάχιστον 1 GHz. Διαθέτει 4 κανάλια, ενσωματωμένο επεξεργαστή Pentium IV, λειτουργικό σύστημα Windows 2000, οθόνη με ανάλυση 1024 x 768, 3,5 floppy για δισκέτα και CD Recorder για την αποθήκευση των μετρήσεων. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι το κάθε κανάλι του παλμογράφου αντέχει μέγιστη τιμή ρεύματος μέχρι 5 V (RMS τιμή). Ο TDS 7254B παρουσιάζεται στο σχήμα 4-11.



Σχήμα 4-11: Παλμογράφος Tektronix TDS 7254B.

Πίνακας 4-2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του παλμογράφου Tektronix TDS 7254B.

Κανάλια Εισόδου	4
Εύρος ζώνης	2,5 GHz
Χρόνος ανόδου από το 10% στο 90%	130 ps
Χρόνος ανόδου από το 20% στο 80%	83 ps
Ακρίβεια DC κέρδους	$\pm 2\% + (2\% \times \text{offset})$
Σύζευξη εισόδου	DC, GND
Αντίσταση εισόδου	$50\Omega \pm 2,5\%$
Ευαισθησία εισόδου στα 50 Ω	2 mV/div έως 1 V/div
Κάθετη ανάλυση	8 bit
Μέγιστη τάση εισόδου, 50 Ω	$<1 V_{\text{RMS}}$ για $r < 100 \text{ mV/div}$, $<5 V_{\text{RMS}}$ για $r \geq 100 \text{ mV/div}$
Μέγιστη ταχύτητα δειγματοληψίας Ch1	20 Gs/sec
Μέγιστη ταχύτητα δειγματοληψίας Ch2	10 Gs/sec
Μέγιστη ταχύτητα δειγματοληψίας Ch3	5 Gs/sec
Μέγιστη ταχύτητα δειγματοληψίας Ch4	1 Gs/sec

4.1.8 Θωρακισμένος θάλαμος (transient immunity room)

Προκειμένου να εξαλείψουμε τις παρεμβολές που προκαλεί η ηλεκτροστατική εκφόρτιση στον εξοπλισμό καταγραφής (παλμογράφος), χρησιμοποιείται θωρακισμένος θάλαμος μεταβατικών διαταραχών. Ο παλμογράφος βρίσκεται στο θάλαμο ελέγχου (control room) διαστάσεων 3,2 x 2,5 x 3,3 m³. Ο θωρακισμένος θάλαμος του εργαστηρίου που θα χρησιμοποιηθεί στην πειραματική διάταξη είναι ο Lingren-Rayproof Series 81. Ο θάλαμος αυτός έχει διαστάσεις 3,5 x 6,5 x 3,3 m³, τα τοιχώματά του οποίου είναι κατασκευασμένα από φερρίτη (μαλακός σίδηρος), υλικό

το οποίο έχει την ιδιότητα να απορροφά σε εξαιρετικά μεγάλο βαθμό τις παραγόμενες ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές (EMI - Electromagnetic Interferences). Ο θάλαμος αυτός αποκόπτει συχνότητες ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων έως και 1 GHz.

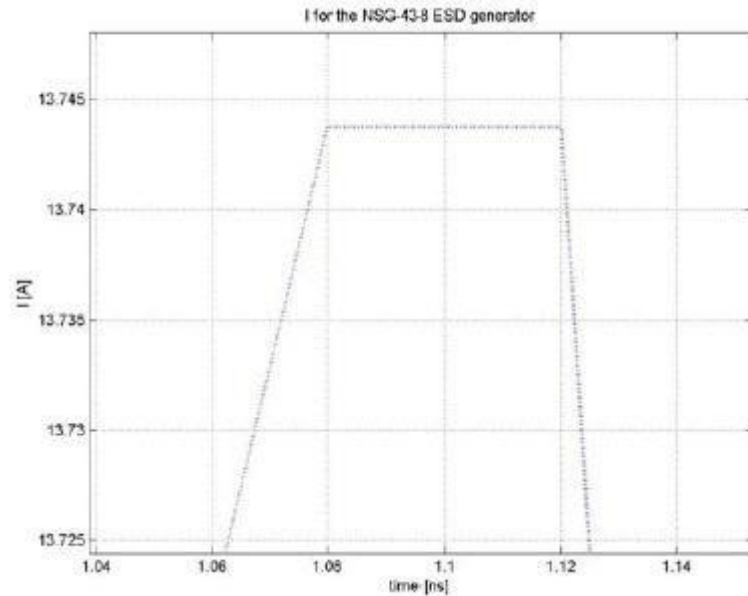
4.2 Υπολογισμός βασικών στοιχείων της κυματομορφής

Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-4-2 [5] τα στοιχεία που πρέπει να γνωρίζουμε για μια κυματομορφή, προκειμένου να υπολογίσουμε στη συνέχεια την αβεβαιότητα είναι:

- Το μέγιστο ρεύμα (I_{\max}).
- Ο χρόνος ανόδου (t_r).
- Το ρεύμα στα 30 nsec (I_{30}).
- Το ρεύμα στα 60 nsec (I_{60}).

4.2.1 Εύρεση μεγίστου ρεύματος

Το μέγιστο ρεύμα βρίσκεται εύκολα από την κυματομορφή. Είναι το σημείο όπου η αυτή παίρνει τη μέγιστη τιμή. Μερικές φορές ίσως χρειαστεί να εστιάσουμε στο σημείο αυτό της καμπύλης για να έχουμε πιο ακριβή αποτελέσματα. Στο σχήμα 4-12 που ακολουθεί φαίνεται ένα τέτοιο παράδειγμα. Το μέγιστο ρεύμα έχει τιμή $I_{\max} = 13,74 \text{ A}$.



Σχήμα 4-14: Κυματομορφή για την εύρεση I_{max} .

4.2.2 Υπολογισμός χρόνου ανόδου

Για τον εύρεση του χρόνου ανόδου χρειάζεται να υπολογίσουμε δύο επιπλέον στοιχεία της κυματομορφής, τον χρόνο όπου η τιμή του ρεύματος θα φτάσει το 90% του I_{max} ($t_{90\%}$) και τον χρόνο όπου η τιμή του ρεύματος θα φτάσει το 10% του I_{max} ($t_{10\%}$). Για το 90% του I_{max} ($I_{90\%}$) έχουμε:

$$I_{90\%} = 0,9 \cdot I_{max} \quad (4.1)$$

Με δεδομένο από πριν ότι $I_{max} = 13,74$ A, βρίσκουμε ότι $I_{90\%} = 12,366$ A.

Ομοίως για να βρούμε το 10% του I_{max} ($I_{10\%}$) αρκεί:

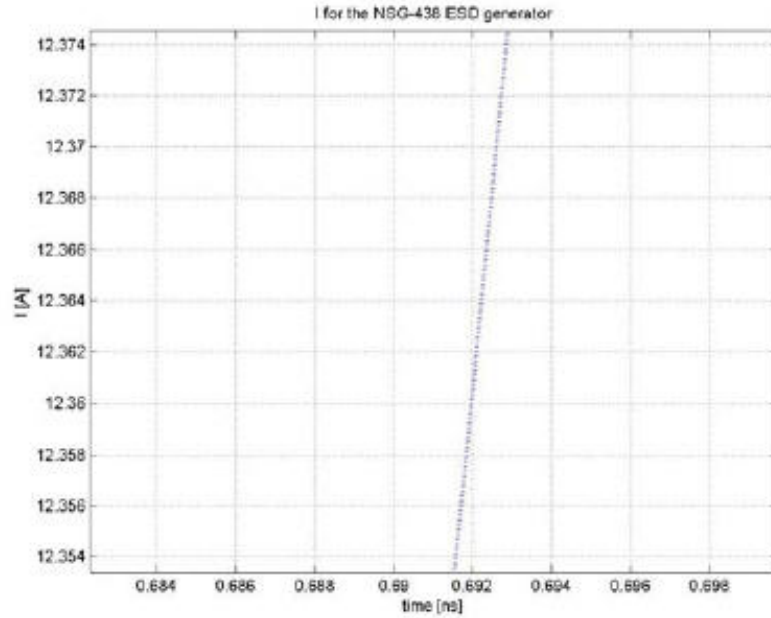
$$I_{10\%} = 0,1 \cdot I_{max} \quad (4.2)$$

Επομένως $I_{10\%} = 1,374$ A.

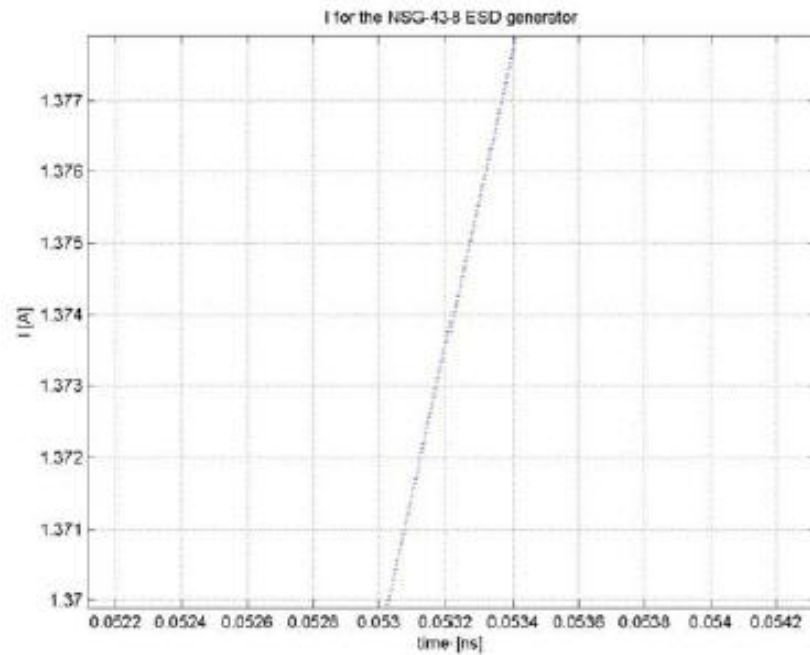
Έπειτα βρίσκουμε από την κυματομορφή τους χρόνους $t_{90\%}$ και $t_{10\%}$. Ο χρόνος ανόδου βρίσκεται αφαιρώντας τους δύο παραπάνω χρόνους:

$$t_r = t_{90\%} - t_{10\%} \quad (4.3)$$

Ακολουθούν τα σχήματα 4-13 και 4-14 για τον υπολογισμό των $t_{90\%}$ και $t_{10\%}$. Όπως βλέπουμε $t_{90\%} = 0,692$ nsec και $t_{10\%} = 0,053$ nsec. Άρα $t_r = 0,692 - 0,053 = 0,639$ nsec.



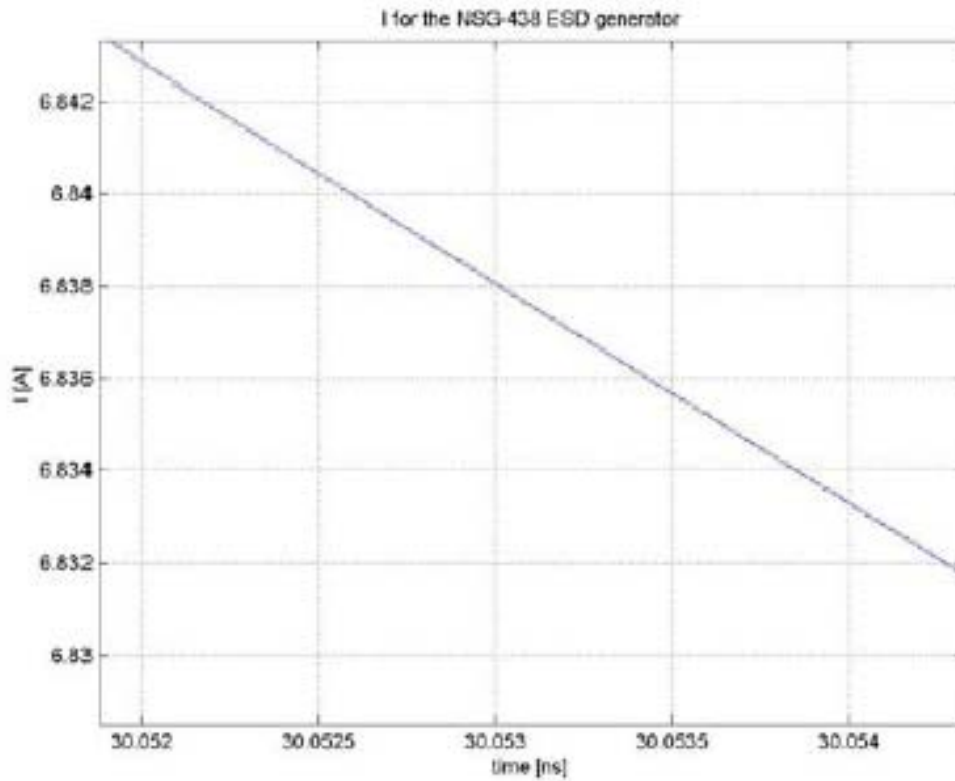
Σχήμα 4-13: Κυματομορφή για τον υπολογισμό του $I_{90\%}$.



Σχήμα 4-14: Κυματομορφή για τον υπολογισμό του $I_{10\%}$.

4.2.3 Εύρεση του ρεύματος στα 30 nsec

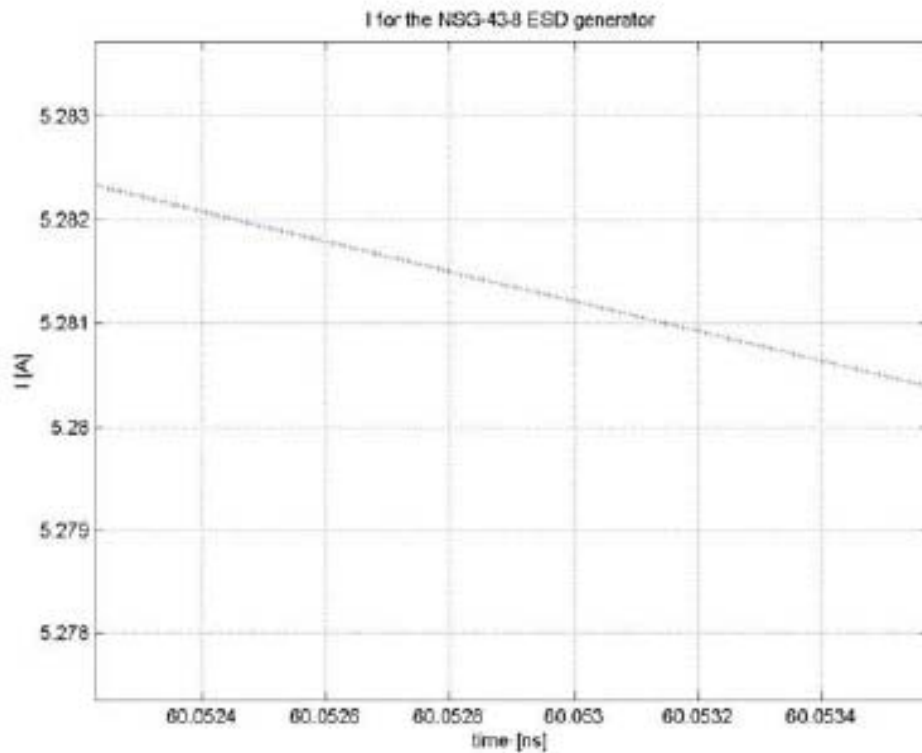
Γνωρίζοντας από πριν τον χρόνο $t_{10\%}$ προσθέτουμε τα 30 nsec και προκύπτει ο συνολικός χρόνος. Από την κυματομορφή βρίσκουμε την τιμή του ρεύματος που αντιστοιχεί σε αυτόν τον χρόνο, η οποία είναι η I_{30} . Δηλαδή σύμφωνα με το σχήμα 4-15, $I_{30} = I_{(30+0,053)} = I_{(30,053)} = 6,838$ A.



Σχήμα 4-15: Κυματομορφή για τον υπολογισμό του I_{30} .

4.2.4 Εύρεση του ρεύματος στα 60 nsec

Ομοίως με πριν προσθέτουμε στον χρόνο $t_{10\%}$ τα 60 nsec και προκύπτει ο συνολικός χρόνος. Από την κυματομορφή βρίσκουμε την τιμή του ρεύματος που αντιστοιχεί σε αυτόν τον χρόνο, η οποία είναι η I_{60} . Δηλαδή σύμφωνα με το σχήμα 4-16, $I_{60} = I_{(60+0,053)} = I_{(60,053)} = 5,281$ A.



Σχήμα 4-16: Κυματομορφή για τον υπολογισμό του I_{60} .

4.3 Επεξεργασία μετρήσεων

Προκειμένου να βρούμε τη συνολική αβεβαιότητα των μετρήσεων των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων, πρέπει να υπολογίσουμε τις αβεβαιότητες τύπου A, τις αβεβαιότητες τύπου B και τις αβεβαιότητες λόγω της μεταλλικής πλάκας.

4.3.1 Αβεβαιότητες τύπου A

Παίρνοντας τις τιμές που μετρήθηκαν στο εργαστήριο της Schaffner [33] και παρουσιάζονται στον πίνακα 4-3, υπολογίζουμε αρχικά τις αβεβαιότητες τύπου A. Συνολικά έγιναν δέκα δοκιμές. Στην πρώτη στήλη φαίνεται ότι οι μετρήσεις έγιναν για ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις της τάξης των +4 kV και στην δεύτερη στήλη τη μετρούμενη τιμή της τάσης για κάθε δοκιμή. Ακολουθούν στις επόμενες στήλες οι τιμές του μετρούμενου ρεύματος, του χρόνου ανόδου, του ρεύματος στα 30 ns και στα 60 ns.

Πίνακας 4-3: Μετρούμενες τιμές από το εργαστήριο της Schaffner.

IEC level	Measured voltage	Measured current	Measured risetime	Measured current 30 ns	Measured current 60 ns
pos. 2	4,143	16,11	0,84	9,35	5,09
pos. 2	4,143	15,95	0,84	9,41	5,06
pos. 2	4,143	16,25	0,83	9,26	5,05
pos. 2	4,143	16,11	0,85	9,44	4,99
pos. 2	4,143	16,25	0,84	9,59	5
pos. 2	4,142	16,26	0,84	9,62	5,07
pos. 2	4,143	15,96	0,84	9,46	5,08
pos. 2	4,142	16,1	0,84	9,71	5,09
pos. 2	4,142	16,03	0,83	9,55	4,98
pos. 2	4,142	16,1	0,84	9,62	5,04

Ακολουθεί ο πίνακας 4-4, όπου αναγράφεται ο μέσος όρος των μετρούμενων τιμών του πίνακα 4-2 που υπολογίστηκε από την γενική σχέση:

$$X_{\text{mean value}} = \sum_{i=1}^n X_i \quad (4.4)$$

όπου n ο αριθμός των δοκιμών, δηλαδή n = 10.

Πίνακας 4-4: Μέσος όρος μετρούμενων τιμών.

U mean value	I mean value	T _r mean value	I ₃₀ mean value	I ₆₀ mean value
4,1426	16,112	0,839	9,501	5,045

Τέλος μπορούμε από τους πίνακες 4-3 και 4-4 να υπολογίσουμε τις αβεβαιότητες των τιμών της μετρούμενης τάσης, ρεύματος, χρόνου ανόδου, ρεύματος στα 30 ns και ρεύματος στα 60 ns χωριστά, εφαρμόζοντας τις σχέσεις 2.11 και 2.12 για συντελεστή student t = 1. Τα αποτελέσματα τα παρουσιάζονται στον πίνακα 4-5.

Πίνακας 4-5: Αβεβαιότητες μετρούμενων τιμών

U _{r,U}	U _{r,I}	U _{r,T_r}	U _{r,I30}	U _{r,I60}
0,000163	0,03596	0,001795	0,044333333	0,0131

Στον πίνακα 4-6 έχουν υπολογιστεί οι αβεβαιότητες σε ποσοστό επί τοις % και σε dB. Το ποσοστό επί τοις % δίνεται από το πηλίκο της υπολογισμένης αβεβαιότητας προς τη μέση τιμή, αυτών που έχουν προκύψει από τις μετρήσεις, πολλαπλασιασμένο με το 100. Δηλαδή:

$$U(\%) = \frac{U_r}{X_{\text{mean value}}} \cdot 100 \quad (4.5)$$

Η μετατροπή σε μονάδες dB προκύπτει από την σχέση:

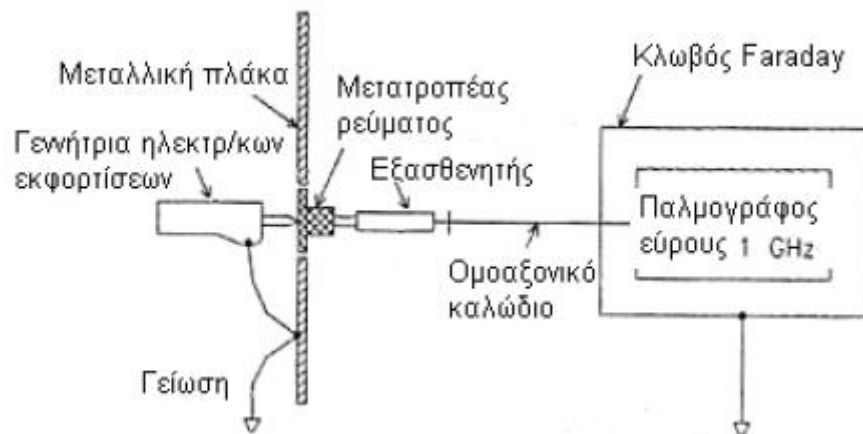
$$U_A(\text{dB}) = 10 \frac{U_r(\%)}{20} \quad (4.6)$$

Πίνακας 4-6: Αβεβαιότητες τύπου A μετρούμενων τιμών σε % και dB.

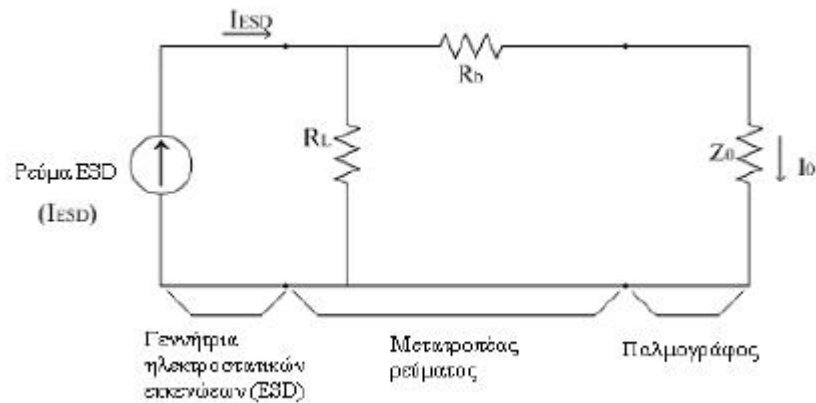
$U_{r,U}$ (%)	$U_{r,U}$ (dB)	$U_{r,I}$ (%)	$U_{r,I}$ (dB)	$U_{r,Tr}$ (%)	$U_{r,Tr}$ (dB)	$U_{r,130}$ (%)	$U_{r,130}$ (dB)	$U_{r,160}$ (%)	$U_{r,160}$ (dB)
0,00394	1,00045	0,22317	1,02603	0,21395	1,02494	0,46662	1,05519	0,25971	1,03035

4.3.2 Αβεβαιότητες τύπου B

Στα σχήματα 4-17 και 4-18 που ακολουθούν, δίνονται η αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης και το ηλεκτρικό ισοδύναμο της DC συνιστώσας.



Σχήμα 4-17: Πειραματική διάταξη για τον υπολογισμό του ρεύματος της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης.



Σχήμα 4-18: Ηλεκτρικό ισοδύναμο της DC συνιστώσας της πειραματικής διάταξης.

Το σχήμα 4-18 αποτελείται από τις R_L , R_b αντιστάσεις του μετατροπέα ρεύματος (current transducer) και την Z_0 που είναι η αντίσταση εξόδου του μετρητικού συστήματος. Τα ρεύματα I_{ESD} και I_0 αποτελούν το ρεύμα εισόδου, δηλαδή αυτό που παράγεται κατά την ηλεκτροστατική εκφόρτιση και εξόδου του συστήματος. Το πλάτος του ρεύματος εισόδου υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$\blacksquare \quad I_{ESD} = \frac{C \cdot V_R}{Z_0} \quad (4.7)$$

$$\blacksquare \quad C = C_{CT} \cdot C_A \quad (4.8)$$

$$\blacksquare \quad C_{CT} = \frac{I_{ESD}}{I_0} = \frac{R_L + R_b + Z_0}{R_L} \quad (4.9)$$

όπου I και V_R είναι το πλάτος του ρεύματος εκφόρτισης και η τάση που μετράει ο παλμογράφος μέσω του ρεύματος εξόδου I_0 , αντίστοιχα. Η αντίσταση Z_0 έχει ονομαστική τιμή 50Ω . Η σταθερά C καλείται παράγοντας μετασχηματισμού ρεύματος και μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση 4.8 [34].

Υποθέτοντας ότι η φυσικές ποσότητες είναι ασυσχέτιστες η συνδυασμένη αβεβαιότητα τύπου B, u_s για το πλάτος του ρεύματος βάση του τύπου 2.26 είναι [34]:

$$u_s = \sqrt{S_{V_R}^2 \cdot u_{V_R}^2 + S_{C_{CT}}^2 \cdot u_{C_{CT}}^2 + S_{C_A}^2 \cdot u_{C_A}^2 + u_{display}^2 + u_{mis}^2} \quad (4.10)$$

όπου S οι συντελεστές ευαισθησίας και υπολογίζονται με τη βοήθεια των σχέσεων 4.7 και 4.8 ως εξής:

$$\bullet \quad S_{V_R} = \frac{\partial I}{\partial V_R} = \frac{C_{CT} \cdot C_A}{Z_0} \quad (4.11)$$

$$\bullet \quad S_{C_{CT}} = \frac{\partial I}{\partial C_{CT}} = \frac{C_A \cdot V_R}{Z_0} \quad (4.12)$$

$$\bullet \quad S_{C_A} = \frac{\partial I}{\partial C_A} = \frac{C_{CT} \cdot V_R}{Z_0} \quad (4.13)$$

Οι υπόλοιποι συντελεστές της ισότητας είναι:

- u_{V_R} : Η αβεβαιότητα στην ένδειξη της τάσης στον παλμογράφο.
- $u_{C_{CT}}$: Η αβεβαιότητα στον προσδιορισμό του παράγοντα μετασχηματισμού του μετατροπέα ρεύματος.
- u_{C_A} : Η αβεβαιότητα στον προσδιορισμό του παράγοντα μετασχηματισμού του εξασθενητή.
- $u_{display}$: Η αβεβαιότητα που οφείλεται στην διαφορά μεταξύ της τιμής τάσης που εμφανίζεται στην οθόνη της γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων και της πραγματικής τιμής.
- u_{mis} : Η αβεβαιότητα που προκύπτει λόγω του σφάλματος που προκαλείται από την «κακή προσαρμογή» μεταξύ του καναλιού εισόδου του παλμογράφου και του μετατροπέα ρεύματος.

4.3.2.1 Υπολογισμός ευαισθησιών και συντελεστών

Για τους συντελεστές έχουμε:

- u_{V_R} : Ο κατασκευαστής του παλμογράφου ορίζει την ακρίβεια στη μέτρηση τάσης στο 1,5%. Εφόσον οι παράμετροι I , I_{30} , I_{60} μετρώνται από την ίδια κάθε φορά κυματομορφή η αβεβαιότητα θα είναι ίδια και για τις τρεις. Κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων θεωρούμε ότι χρησιμοποιήθηκαν οριζόντιες

αναλύσεις από 200 mV/div έως 1 V/div. Η μεγαλύτερη αβεβαιότητα προκύπτει για 1 V/div και άρα θα χρησιμοποιηθεί αυτή η τιμή. Θεωρούμε επίσης ότι έχουμε ορθογώνια κατανομή κατά την μέτρηση ενδείξεων τάσης από τον παλμογράφο. Τέλος ο παλμογράφος που χρησιμοποιήθηκε έχει οθόνη που χωρίζεται σε οκτώ υποδιαιρέσεις (divisions). Έτσι προκύπτει ότι η αβεβαιότητα είναι :

$$u_{VR} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left(1 \frac{V}{div} \cdot 8div \cdot 0,015\right) = 6,92 \cdot 10^{-2} \quad (4.14)$$

- u_{CCT} : Για τον μετατροπέα ρεύματος έχουμε $R_L = 2,018 \Omega$ και $R_b = 48,964 \Omega$ άρα λαμβάνοντας υπόψη την σχέση 4.9:

$$C_{CT} = 50,0004 \approx 50 \quad (4.15)$$

Στη βιβλιογραφία [34] αναφέρεται ότι η αβεβαιότητα για τον ίδιο στόχο η αβεβαιότητα του μετατροπέα ρεύματος είναι:

$$u_{CCT} = 3,1 \cdot 10^{-4} \quad (4.16)$$

- u_{CA} : Για τους εξασθενητές δεν έχουμε στοιχεία της κατασκευάστριας εταιρίας. Ωστόσο από παρόμοιους εξασθενητές των 20dB βρέθηκε αβεβαιότητα:

$$u_{CA} = 1,51 \cdot 10^{-3} \quad (4.17)$$

$$\text{Επίσης } 20 \text{ dB} = 20 \log \frac{\text{output}}{\text{input}} \Leftrightarrow 1 = \log \frac{\text{output}}{\text{input}} \Rightarrow C_A = 10 \quad (4.18)$$

- $u_{display}$: Η ψηφιακή οθόνη της γεννήτριας δείχνει την εκάστοτε τάση εκφόρτισης της. Από τα φυλλάδια του κατασκευαστή βρίσκουμε ότι ορίζεται η σχετική αβεβαιότητα για την ένδειξη της γεννήτριας που είναι $u_{display}^{re} = 5,5 \cdot 10^{-4}$ [35].

Οπότε η αβεβαιότητα δίνεται από την σχέση:

$$u_{display} = u_{display}^{re} \cdot I = 5,5 \cdot 10^{-4} \cdot I \quad (4.19)$$

Αφού ενδιαφερόμαστε για το σύνολο των μετρήσεων, η τιμή του I αντιστοιχεί στο μέσο όρο των τιμών του ρεύματος που πάρθηκαν κατά τις 10 δοκιμές.

- u_{mis} : Από την βιβλιογραφία [34] βρίσκουμε ότι η σχετική αβεβαιότητα είναι $u_{mis}^{re} = 8,54 \cdot 10^{-3}$. Η αβεβαιότητα δίνεται όπως και παραπάνω από την σχέση:

$$u_{mis} = u_{mis}^{re} \cdot I = 8,54 \cdot 10^{-3} \cdot I \quad (4.20)$$

Οι ευαισθησίες υπολογίζονται από τις σχέσεις 4.11, 4.12, 4.13 και είναι:

$$\square S_{V_R} \stackrel{(4.18)}{\approx} \frac{50 \cdot 10}{50} = 10 \quad (4.21)$$

$$\square S_{C_{CT}} = \frac{C_A \cdot I \cdot Z_0}{Z_0 \cdot C} \stackrel{(4.8)}{=} \frac{C_A \cdot I}{C_{CT} \cdot C_A} = \frac{I}{50} \quad (4.22)$$

$$\square S_{C_A} = \frac{C_{CT} \cdot I \cdot Z_0}{Z_0 \cdot C} \stackrel{(4.8)}{=} \frac{C_{CT} \cdot I}{C_{CT} \cdot C_A} \stackrel{(4.18)}{=} \frac{I}{10} \quad (4.23)$$

Στον πίνακα 4-7 φαίνονται οι τιμές των ευαισθησιών και συντελεστών που προέκυψαν με τη βοήθεια των σχέσεων 4.14, 4.16, 4.17, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 και 4.23 για τα βασικά στοιχεία της κυματομορφής I_{max} , I_{30} και I_{60} . Όλοι οι υπολογισμοί που ακολουθούν έγιναν με τη βοήθεια του Excel.

Πίνακας 4-7: Τιμές ευαισθησιών και συντελεστών για τον υπολογισμό αβεβαιοτήτων τύπου B.

	u_{V_R} (%)	S_{V_R}	$u_{C_{CT}}$ (%)	$S_{C_{CT}}$	u_{C_A} (%)	S_{C_A}	$u_{display}$ (%)	u_{mis} (%)
I	0,0692	10	0,00031	0,32224	0,00151	1,6112	0,008862	0,1375965
I₃₀	0,0692	10	0,00031	0,19002	0,00151	0,9501	0,005226	0,0811385
I₆₀	0,0692	10	0,00031	0,1009	0,00151	0,5045	0,002775	0,0430843

Στη συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας 4-8 με τις αβεβαιότητες τύπου B των I_{max} , I_{30} και I_{60} , που προκύπτουν εφαρμόζοντας τις τιμές του πίνακα 4-7 στην σχέση 4.10. Οι αβεβαιότητες σε dB προκύπτουν από την σχέση 4.6.

Πίνακας 4-8: Αβεβαιότητες τύπου B.

I	$U_{s,I}$ (%)	$U_{s,I}$ (dB)
	0,70560701	1,08462685
I₃₀	$U_{s,I30}$ (%)	$U_{s,I30}$ (dB)
	0,69676167	1,08352287
I₆₀	$U_{s,I60}$ (%)	$U_{s,I60}$ (dB)
	0,6933459	1,08309686

4.3.3 Ολική αβεβαιότητα

Η συνολική αβεβαιότητα για κάθε βασικό στοιχείο της κυματομορφής προκύπτει από τη γενική σχέση 2.20 χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του πίνακα 4-6 και 4-8. Για την τάση και τον χρόνο ανόδου δεν έχουν βρεθεί αβεβαιότητες τύπου Β. Οι ολικές αβεβαιότητες φαίνονται στον πίνακα 4-9 που ακολουθεί.

Πίνακας 4-9: Τιμές ολικής αβεβαιότητας.

	U_U	U_I	U_{I30}	U_{I60}	U_{Tr}
dB	1,000454	1,4930321	1,51243143	1,4948988	1,02493798
%	0,003942	3,4813828	3,59351388	3,4922359	0,21395172

Όλα τα παραπάνω ισχύουν για περιπτώσεις που έχουμε ηλεκτροστατικές εκκενώσεις επαφής. Η αβεβαιότητα για τις εκφορτίσεις αέρος δεν μπορεί να υπολογιστεί εξαιτίας του ηλεκτρικού τόξου το οποίο αναπτύσσεται σε διαφορετική κάθε φορά θέση και απόσταση. Δεν είναι δυνατό να ισχυριστούμε ότι εκτελέσαμε με τον ίδιο τρόπο δύο ηλεκτροστατικές εκκενώσεις αέρος και επομένως δεν μπορεί να βρεθεί η αβεβαιότητα τύπου Α.

4.4 Εξέταση των διακριβωμένων τιμών του NSG 433 από την Schaffner σύμφωνα με την προδιαγραφή ISO/IEC 17025

Σε αυτή την παράγραφο εξετάζονται οι διακριβωμένες τιμές του NSG 433 και του NSG 438, που λήφθηκαν στο εργαστήριο της Schaffner και αναφέρονται στο [33], σύμφωνα με την προδιαγραφή ISO/IEC 17025 [24]. Λεπτομερέστερη περιγραφή της μεθόδου αναφέρεται στην παράγραφο 2.5 και ειδικά στα σχήματα 2-12 και 2-13.

Η μέθοδος της διακρίβωσης καθορίζεται από τις οδηγίες της διακρίβωσης ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC 61000-4-2 [5]. Η επεκταμένη αβεβαιότητα των μετρήσεων που αναφέρεται, είναι η πρότυπη αβεβαιότητα των μετρήσεων πολλαπλασιασμένη με συντελεστή κάλυψης $k = 2$, ο οποίος για κανονική κατανομή αντιστοιχεί σε πιθανότητα κάλυψης περίπου 95%. Η θερμοκρασία του χώρου που έγινε η διακρίβωση ήταν 22,4 °C με απόκλιση $\pm 0,5$ °C και η σχετική υγρασία 43% με απόκλιση $\pm 5\%$.

Στο [33] αναφέρονται οι πρότυπες ονομαστικές τιμές και οι αποκλίσεις τους, για κάθε βασικό στοιχείο της κυματομορφής της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης που αναφέρεται στην παράγραφο 4.2. Επομένως από τις σχέσεις 4.24 και 4.25 μπορούμε να υπολογίσουμε το ανώτατο και κατώτατο όριο κάθε στοιχείου για θετικές τάσεις ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων. Ομοίως από τις σχέσεις 4.26 και 4.27 το ανώτατο και κατώτερο όριο για αρνητικές τάσεις ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων. Σε αυτές τις σχέσεις αντικαθιστούμε όπου T την τιμή της ανοχής της πρότυπης ονομαστικής τιμής σε % και όπου X_{nom} την πρότυπη τιμή.

$$\blacksquare \quad X_{min} = \frac{100 - T}{100 \cdot X_{nom}} \quad (4.24)$$

$$\blacksquare \quad X_{max} = \frac{100 + T}{100 \cdot X_{nom}} \quad (4.25)$$

$$\blacksquare \quad X_{min} = \frac{100 + T}{100 \cdot X_{nom}} \quad (4.26)$$

$$\blacksquare \quad X_{max} = \frac{100 - T}{100 \cdot X_{nom}} \quad (4.27)$$

Επιπλέον στο [33] δίνονται οι μετρούμενες τιμές και οι αβεβαιότητες τους, για κάθε βασικό στοιχείο της κυματομορφής της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης που αναφέρεται στην παράγραφο 4.2. Από τις σχέσεις 4.28 και 4.29 που ακολουθούν μπορούμε να υπολογίσουμε την ελάχιστη και μέγιστη μετρούμενη τιμή κάθε στοιχείου για θετικές τιμές ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων, ενώ από τις σχέσεις 4.30 και 4.31 την ελάχιστη και την μέγιστη για αρνητικές τιμές ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων. Στις σχέσεις αυτές αντικαθιστούμε όπου M την μετρούμενη τιμή και όπου U την τιμή της αβεβαιότητας σε %.

$$\blacksquare \quad M_{min} = \frac{100 - U}{100 \cdot M} \quad (4.28)$$

$$\blacksquare \quad M_{max} = \frac{100 + U}{100 \cdot M} \quad (4.29)$$

$$\blacksquare \quad M_{min} = \frac{100 + U}{100 \cdot M} \quad (4.30)$$

$$\blacksquare \quad M_{max} = \frac{100 - U}{100 \cdot M} \quad (4.31)$$

Σύμφωνα με τα στοιχεία που δίνονται στο [33], από τις σχέσεις 4.24, 4.25, 4.28 και 4.29 και με βάση αυτών που αναφέρονται στην παράγραφο 2.5 και στα σχήματα 2-12 και 2-13 συμπληρώνονται οι πίνακες 4-10, 4-11, 4-14 και 4-15.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που δίνονται στο [33], από τις σχέσεις 4.26, 4.27, 4.30 και 4.31 και με βάση αυτών που αναφέρονται στην παράγραφο 2.5 και στα σχήματα 2-12 και 2-13 συμπληρώνονται οι πίνακες 4-12, 4-13, 4-16 και 4-17.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Επαλήθευση της γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων

Πίνακας 4-10: Εξέταση των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων του NSG 433 για 2 kV και 4 kV σύμφωνα με το ISO/IEC 17025.

Επίπεδο 1: 2 kV	U _{DC}			I _{peak}			T _r			I ₃₀			I ₆₀		
	Πρότυπο	Διακρίβωση	Περίπτωση	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.
Ονομαστική	2	2,084	A	7,5	7,42	E	0,85	0,86	A	4	4,35	A	2	2,41	A
Ελάχιστη	1,9	2,071496		6,75	7,049		0,7	0,817		2,8	4,19775		1,4	2,30155	
Μέγιστη	2,1	2,096504		8,25	7,791		1	0,903		5,2	4,50225		2,6	2,51845	
Ανοχή (%)	5			10			10			30			30		
Αβεβαιότητα (%)		0,6			5			5			3,5			4,5	
Επίπεδο 2: 4 kV															
Ονομαστική	4	4,101	A	15	15,28	A	0,85	0,8	E	8	9,11	A	4	4,99	
Ελάχιστη	3,8	4,076394		13,5	14,516		0,7	0,76		5,6	8,79115		2,8	4,7405	B
Μέγιστη	4,2	4,125606		16,5	16,044		1	0,84		10,4	9,42885		5,2	5,2395	
Ανοχή (%)	5			10			10			30			30		
Αβεβαιότητα (%)		0,6			5			5			3,5			5	

Πίνακας 4-11: Εξέταση των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων του NSG 433 για 6 kV και 8 kV σύμφωνα με το ISO/IEC 17025.

Επίπεδο 3: 6 kV	U _{DC}			I _{peak}			T _r			I ₃₀			I ₆₀		
	Πρότυπο	Διακρίβωση	Περίπτωση	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.
Ονομαστική	8	8,034	A	22,5	22,56	A	0,85	0,75	E	12	13,86	A	6	7,52	
Ελάχιστη	7,6	7,985796		20,25	21,432		0,7	0,7125		8,4	13,3749		4,2	7,1816	B
Μέγιστη	8,4	8,082204		24,75	23,688		1	0,7875		15,6	14,3451		7,8	7,8584	
Ανοχή (%)	5			10			10			30			30		
Αβεβαιότητα (%)		0,6			5			5			3,5			4,5	
Επίπεδο 4: 8kV															
Ονομαστική	8	14,766		30	29,62	E	0,85	0,75	E	16	18,11	A	8	9,89	
Ελάχιστη	7,6	14,6774		27	27,8428		0,7	0,7125		11,2	17,2045		5,6	9,2966	B
Μέγιστη	8,4	14,8546		33	31,3972		1	0,7875		20,8	19,0155		10,4	10,4834	
Ανοχή (%)	5		Δ	10			10			30			30		
Αβεβαιότητα (%)		0,6			6			5			5			6	

Πίνακας 4-12: Εξέταση των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων του NSG 433 για -2 kV και -4 kV σύμφωνα με το ISO/IEC 17025.

Επίπεδο 1: -2 kV	U _{DC}			I _{peak}			T _r			I ₃₀			I ₆₀		
	Πρότυπο	Διακρίβωση	Περίπτωση	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.
Ονομαστική	-2	-2,066	E	-7,5	-7,6	E	0,85	0,86	A	-4	-4,44	E	-2	-2,4	E
Ελάχιστη	-2,1	-2,078396		-8,25	-7,98		0,765	0,817		-5,2	-4,5954		-2,6	-2,508	
Μέγιστη	-1,9	-2,053604		-6,75	-7,22		0,935	0,903		-2,8	-4,2846		-1,4	-2,292	
Ανοχή (%)	5			10			10			30			30		
Αβεβαιότητα (%)		0,6			5			5			3,5			4,5	
Επίπεδο 2: -4 kV															
Ονομαστική	-4	-4,045	E	-15	-15,32	E	0,85	0,81	E	-8	-8,85	E	-4	-4,94	E
Ελάχιστη	-4,2	-4,06927		-16,5	-16,086		0,7	0,7695		-10,4	-9,15975		-5,2	-5,1623	
Μέγιστη	-3,8	-4,02073		-13,5	-14,554		1	0,8505		-5,6	-8,54025		-2,8	-4,7177	
Ανοχή (%)	5			10			10			30			30		
Αβεβαιότητα (%)		0,6			5			5			3,5			4,5	

Πίνακας 4-13: Εξέταση των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων του NSG 433 για -6 kV και -8 kV σύμφωνα με το ISO/IEC 17025.

Επίπεδο 3: -6 kV	U _{DC}			I _{peak}			T _r			I ₃₀			I ₆₀		
	Πρότυπο	Διακρίβωση	Περίπτωση	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.
Ονομαστική	-8	-7,978	E	-22,5	-22,21	E	0,85	0,74	E	-12	-13,69	E	-6	-7,48	
Ελάχιστη	-8,4	-8,025868		-24,75	-23,3205		0,7	0,703		-15,6	-14,1692		-7,8	-7,8166	ΣΤ
Μέγιστη	-7,6	-7,930132		-20,25	-21,0995		1	0,777		-8,4	-13,2109		-4,2	-7,1434	
Ανοχή (%)	5			10			10			30			30		
Αβεβαιότητα (%)		0,6			5			5			3,5			4,5	
Επίπεδο 4: -8 kV															
Ονομαστική	-15	-14,552	E	-30	-29,12	E	0,85	0,74	E	-16	-17,6	E	-8	-9,83	E
Ελάχιστη	-15,75	-14,63931		-33	-30,576		0,7	0,703		-20,8	-18,216		-10,4	-10,2724	
Μέγιστη	-14,25	-14,46469		-27	-27,664		1	0,777		-11,2	-16,984		-5,6	-9,38765	
Ανοχή (%)	5			10			10			30			30		
Αβεβαιότητα (%)		0,6			5			5			3,5			4,5	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Επαλήθευση της γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων

Πίνακας 4-14: Εξέταση των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων του NSG 438 για 2 kV και 4 kV σύμφωνα με το ISO/IEC 17025.

Επίπεδο 1: 2 kV	U _{DC}			I _{peak}			T _r			I ₃₀			I ₆₀		
	Πρότυπο	Διακρίβωση	Περίπτωση	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.
Ονομαστική	2	1,976	E	7,5	7,376	E	0,85	0,722		4	4,152	A	2	1,962	A
Ελάχιστη	1,9	1,974538		6,75	6,790714		0,7	0,635	ΣΤ	2,8	3,79306		1,4	1,791679	
Μέγιστη	2,1	1,977462		8,25	7,961286		1	0,809		5,2	4,51094		2,6	2,132321	
Ανοχή (%)	5			10			10			30			30		
Αβεβαιότητα (%)		0,074			7,935			0,087			8,645			8,681	
Επίπεδο 2: 4 kV															
Ονομαστική	4	4,001	A	15	14,835	E	0,85	0,728		8	8,378	A	4	4,103	A
Ελάχιστη	3,8	3,998399		13,5	13,65606		0,7	0,641	ΣΤ	5,6	7,653806		2,8	3,747885	
Μέγιστη	4,2	4,003601		16,5	16,01394		1	0,815		10,4	9,102194		5,2	4,458115	
Ανοχή (%)	5			10			10			30			30		
Αβεβαιότητα (%)		0,065			7,947			0,087			8,644			8,655	

Πίνακας 4-15: Εξέταση των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων του NSG 438 για 6 kV και 8 kV σύμφωνα με το ISO/IEC 17025.

Επίπεδο 3: 6 kV	U _{DC}			I _{peak}			T _r			I ₃₀			I ₆₀		
	Πρότυπο	Διακρίβωση	Περίπτωση	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.
Ονομαστική	8	8,015	A	22,5	22,674	A	0,85	0,735		12	12,812	A	6	6,381	A
Ελάχιστη	7,6	8,012676		20,25	20,87641		0,7	0,648	ΣΤ	8,4	11,70376		4,2	5,829299	
Μέγιστη	8,4	8,017324		24,75	24,47159		1	0,822		15,6	13,92024		7,8	6,932701	
Ανοχή (%)	5			10			10			30			30		
Αβεβαιότητα (%)		0,029			7,928			0,087			8,65			8,646	
Επίπεδο 4: 8 kV															
Ονομαστική	15	15,143	A	30	30,975		0,85	0,755		16	17,311	A	8	8,702	A
Ελάχιστη	14,25	15,13573		27	28,51497	B	0,7	0,668	ΣΤ	11,2	15,81014		5,6	7,94919	
Μέγιστη	15,75	15,15027		33	33,43503		1	0,842		20,8	18,81186		10,4	9,45481	
Ανοχή (%)	5			10			10			30			30		
Αβεβαιότητα (%)		0,048			7,942			0,087			8,67			8,651	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Επαλήθευση της γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων

Πίνακας 4-16: Εξέταση των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων του NSG 438 για -2 kV και -4 kV σύμφωνα με το ISO/IEC 17025.

Επίπεδο 1: -2 kV	U _{DC}			I _{peak}			T _r			I ₃₀			I ₆₀		
	Πρότυπο	Διακρίβωση	Περίπτωση	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.
Ονομαστική	-2	-2,038	E	-7,5	-7,93		0,85	0,739		-4	-4,322	E	-2	-2,024	E
Ελάχιστη	-2,1	-2,03894		-8,25	-8,55909	ΣΤ	0,7	0,652	ΣΤ	-5,2	-4,69745		-2,6	-2,1993	
Μέγιστη	-1,9	-2,03706		-6,75	-7,30091		1	0,826		-2,8	-3,94655		-1,4	-1,8487	
Ανοχή (%)	5			10			10			30			30		
Αβεβαιότητα (%)		0,046			7,933			0,087			8,687			8,661	
Επίπεδο 2: -4 kV															
Ονομαστική	-4	-4,045	E	-15	-15,241	E	0,85	0,745		-8	-8,402	E	-4	-4,029	E
Ελάχιστη	-4,2	-4,04629		-16,5	-16,4522		0,7	0,658	ΣΤ	-10,4	-9,12894		-5,2	-4,37815	
Μέγιστη	-3,8	-4,04371		-13,5	-14,0298		1	0,832		-5,6	-7,67506		-2,8	-3,67985	
Ανοχή (%)	5			10			10			30			30		
Αβεβαιότητα (%)		0,032			7,947			0,087			8,652			8,666	

Πίνακας 4-17: Εξέταση των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων του NSG 438 για -6 kV και -8 kV σύμφωνα με το ISO/IEC 17025.

Επίπεδο 3: -6 kV	U _{DC}			I _{peak}			T _r			I ₃₀			I ₆₀		
	Πρότυπο	Διακρίβωση	Περίπτωση	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.	Πρότ.	Διακρ.	Περίπτ.
Ονομαστική	-8	-8,073	E	-22,5	-22,915	E	0,85	0,761		-12	-12,506	E	-6	-6,101	E
Ελάχιστη	-8,4	-8,07583		-24,75	-24,731		0,7	0,674	ΣΤ	-15,6	-13,5879		-7,8	-6,62916	
Μέγιστη	-7,6	-8,07017		-20,25	-21,099		1	0,848		-8,4	-11,4241		-4,2	-5,57284	
Ανοχή (%)	5			10			10			30			30		
Αβεβαιότητα (%)		0,035			7,925			0,087			8,651			8,657	
Επίπεδο 4: -8 kV															
Ονομαστική	-15	-14,955	A	-30	-31,058		0,85	0,778		-16	-16,766	E	-8	-8,297	E
Ελάχιστη	-15,75	-14,9619		-33	-33,5228	ΣΤ	0,7	0,691	ΣΤ	-20,8	-18,2178		-10,4	-9,01618	
Μέγιστη	-14,25	-14,9481		-27	-28,5932		1	0,865		-11,2	-15,3142		-5,6	-7,57782	
Ανοχή (%)	5			10			10			30			30		
Αβεβαιότητα (%)		0,046			7,936			0,087			8,659			8,668	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Υπολογισμός αβεβαιότητας

5.1 Εισαγωγικά

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί αβεβαιότητας για μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικών (EMC) εκπομπών (αγωγής, ακτινοβολίας και διαταραχής) σύμφωνα με τις οδηγίες του LAB 34 του UKAS [23] αλλά και του CISPR 16-4 [36], στα παρακάτω όργανα του εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του Ε.Μ.Π..

5.2 Δέκτης EMI, SMR 4518

Ο δέκτης SMR 4518 έχει πολύ ευρύ φάσμα πιθανών εφαρμογών και καλύπτει ολόκληρο το φάσμα συχνοτήτων από 9 kHz έως 18 GHz. Στις εφαρμογές EMC, η συσκευή συμμορφώνεται με τις μετρήσεις παραμέτρων παρεμβολής στο φάσμα συχνότητας από 9 kHz μέχρι 18 GHz δηλαδή για αγόμενες και ακτινοβολούμενες διαταραχές σε ανηχικό θάλαμο, σε δοκιμές ανοικτού χώρου, σε εργαστήρια δοκιμών-ανάπτυξης. Τα χαρακτηριστικά τόσο του υλικού όσο και του λογισμικού του δέκτη επιτρέπουν αποδοτικές μετρήσεις εκπομπής στα πλαίσια της συμμόρφωσης για EMC [37].

5.2.1 Βασικά χαρακτηριστικά

Το όργανο λειτουργεί στο φάσμα των συχνοτήτων από 9 kHz έως 30 MHz με διπλή ετεροδύνωση (heterodyning), στο φάσμα 30 MHz έως 2750 MHz με τριπλή ετεροδύνωση και στο φάσμα 2750 MHz έως 18 GHz με τετραπλή ετεροδύνωση. Όλες οι συχνότητες ετεροδύνωσης παράγονται σε έναν σταθερό συνθέτη (synthesizer) από χαλαζία.

Η λήψη και η ψηφιακή επεξεργασία των μετρήσεων γίνονται στο όργανο μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, ενός πρόσθετου επεξεργαστή σημάτων και ενός

ολοκληρωμένου κυκλώματος FPGA (Field Programmable Gate Array) για την επεξεργασία σήματος.

Ο δέκτης συμμορφώνεται με τις μετρήσεις σημάτων παρεμβολής σε ολόκληρο το φάσμα συχνοτήτων για εμπορικές ραδιοπαρεμβολές σύμφωνα με το CISPR 16 [38] και το VDE 0876 [39].

Το όργανο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δέκτης μέτρησης χειροκίνητα με εύκολη λειτουργία καθώς επίσης και ως ανεξάρτητος αυτόματος δέκτης μέτρησης με την καταγραφή τιμών μέτρησης. Οι ψηφιακές διεπαφές (interfaces) επιτρέπουν την ενσωμάτωση του οργάνου σε σύνθετα συστήματα μέτρησης.

Ο χειρισμός του δέκτη επιτυγχάνεται από τους διακόπτες, τα πλήκτρα με διάφορες υποεπιλογές και το περιστροφικό χειριστήριο. Επιπλέον, μπορούν να συνδεθούν, ένα εξωτερικό πληκτρολόγιο και ένα ποντίκι.

Τα αποτελέσματα μέτρησης εμφανίζονται σε μια έγχρωμη οθόνη TFT, ενώ επιπλέον μπορεί να συνδεθεί εξωτερικά μία ακόμα έγχρωμη οθόνη VGA.

Ο ενσωματωμένος οδηγός δισκετών καθώς επίσης και διάφορες άλλες ψηφιακές δυνατότητες, όπως η δυνατότητα σύνδεσης σε τοπικό δίκτυο (LAN), επιτρέπουν μια γρήγορη ανταλλαγή δεδομένων και λογισμικού, όπως παραδείγματος χάριν μεταφορά των τιμών μέτρησης σε συστήματα επεξεργασίας κειμένου ή η αναβάθμιση του λογισμικού (firmware) της εσωτερικής μνήμης EPROM. Ακόμα υπάρχει μία παράλληλη θύρα για τη σύνδεση ενός εκτυπωτή για την εκτύπωση των αποτελεσμάτων.

Η συσκευή μπορεί να είναι τηλεχειριζόμενη μέσω του διαύλου IEC (IEEE 488 interface) καθώς επίσης και μέσω σειριακής σύνδεσης.

Ακόμα η συσκευή τροφοδοτεί εξωτερικά εξαρτήματα μέτρησης, όπως προενισχυτές ή το δικτύωμα τεχνητού ηλεκτρικού δικτύου (Line Impedance Stabilisation Network, LISN), μέσω υποδοχέων σύνδεσης που βρίσκονται στο πίσω μέρος του οργάνου.

Με τη βοήθεια ενός εσωτερικού ή εξωτερικού μεγάφωνου είναι εφικτό να ακουστούν AM και FM σήματα [37].

5.2.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

Οι πολυάριθμες ικανότητες μέτρησης του δέκτη βασίζονται στα ακόλουθα χαρακτηριστικά και λειτουργίες:

- Η διακριτότητα της συχνότητας σε ολόκληρο το φάσμα είναι 100 Hz. Το μέγεθος του βήματος συνδέεται με το εύρος ζώνης με τη βοήθεια δύο διακοπών σύμφωνα με την επιλογή του χρήστη. Οποιοδήποτε επιθυμητό αυθαίρετο μέγεθος βήματος μπορεί να ενεργοποιηθεί με τη βοήθεια δύο επιπλέον διακοπών.
- Τα εύρη ζώνης συχνοτήτων IF των 200 Hz, 9 kHz, 120 kHz και 1 MHz μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες περιοχές συχνοτήτων σύμφωνα με τις οδηγίες CISPR για την IF ζώνη. Παραδείγματος χάριν το εύρος ζώνης 9 kHz μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη σειρά των 50 kHz έως 18 GHz και το εύρος ζώνης 200 Hz μπορεί να χρησιμοποιηθεί από 9 kHz έως 30 MHz.
- Οι απεικονίσεις του μέσου (Average), του μέγιστου (Peak) και του κροτήματος (Quasi-Peak) που συμμορφώνονται επίσης με το CISPR, καλύπτουν ένα εύρος απόκλισης μέχρι 60 dB.
- Η μέτρηση τάσης έχει μεγάλο εύρος, από -20 dBpV έως 137 dBpV, και μπορεί να γίνει είτε χειροκίνητα με τους διακόπτες ή αυτόματα με τη βοήθεια της λειτουργίας αυτορύθμισης.
- Ο δέκτης διακριβώνεται αυτόματα με τη χρησιμοποίηση εσωτερικής αρμονικής γεννήτριας.
- Κάθε τρόπος απεικόνισης (AV, P, QP) σύμφωνα με το εύρος συχνοτήτων κατά CISPR 200 Hz, 9 kHz και 120 kHz πραγματοποιείται με γρήγορη μετατροπή από αναλογικό σε ψηφιακό και υπολογισμό από τον εσωτερικό επεξεργαστή. Έτσι οποιαδήποτε επίδραση στην ανοχή των ηλεκτρικών εξαρτημάτων και επιρροή της θερμοκρασίας μπορούν να αποφευχθούν εντελώς.
- Επιπλέον χρήσιμες πληροφορίες μπορούν να ληφθούν από την ανάλυση στο πεδίο του χρόνου. Από την αξιολόγηση του σήματος κατά τη διάρκεια του χρόνου, ο αναγκαίος χρόνος μέτρησης μπορεί να καθορίσει τη χρονικά βελτιστοποιημένη καταγραφή των σημάτων παρεμβολής σύμφωνα με τα πρότυπα και το φάσμα όλης της συχνότητας.

- Οι υπάρχουσες ή οι επιθυμητές πρόσθετες οριακές τιμές, οι καμπύλες αποδοχής και οι διορθωτικοί παράγοντες για βοηθητικές μετρήσεις, μπορούν να ληφθούν υπόψη σε όλες τις μετρήσεις.
- Ο ενσωματωμένος σκληρός δίσκος επιτρέπει πολλαπλάσιες λειτουργίες αποθήκευσης με μεγάλη ικανότητα αποθήκευσης, π.χ. αποθήκευση όλων των ρυθμίσεων των συσκευών, τιμών μέτρησης, κλπ [37].

5.3 Δικτύωμα τεχνητού ηλεκτρικού δικτύου, NNB 42

Το LISN χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των σημάτων διαταραχής στους αγωγούς οργάνων ή συσκευών εναλλασσόμενου ρεύματος σύμφωνα με τους κανονισμούς CISPR 16-1 [29].

Αυτά τα σήματα προέρχονται συνήθως από το εσωτερικό κύκλωμα του δοκιμίου και μπορεί να δημιουργούν προβλήματα σε άλλο ηλεκτρικό εξοπλισμό εάν συνδέεται στους ίδιους αγωγούς ή χρησιμοποιείται κοντά τους. Προκειμένου να μετρηθούν τα σήματα διαταραχής στους αγωγούς, σύμφωνα με τα καθορισμένα πρότυπα, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα LISN ως συσκευή σύζευξης μεταξύ του δοκιμίου και του οργάνου μέτρησης όπως ένας δέκτης ή ένας αναλυτής φάσματος.

Τα σήματα διαταραχής που μετρούνται οδηγούνται στην ομοαξονική έξοδο του NNB 42. Ο δέκτης συνδέεται με αυτήν την ομοαξονική έξοδο που έχει εμπέδηση 50 Ω. Οποιοσδήποτε δέκτης με 50 Ω εμπέδηση εισόδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτελέσει τη μέτρηση, υπό τον όρο ότι το εύρος συχνότητας και η ευαισθησία είναι συμβατές. Για την προστασία του κυκλώματος εισόδου του δέκτη από παλμούς υψηλού πλάτους, το LISN έχει ενσωματωμένο περιοριστή τάσης. Ο περιοριστής αυτός κόβει το πλάτος εξόδου του LISN σε περίπου 130 dBμV και είναι αρκετό για τη προστασία της εισόδου του δέκτη.

Το LISN χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των σημάτων διαταραχής στους αγωγούς ενός ηλεκτρικού οργάνου ή ενός δοκιμίου. Τα σήματα διαταραχής παράγονται συνήθως ή εισάγονται στο δοκίμιο και οι αγωγοί λειτουργούν ως κεραία. Οι ευρωπαϊκοί και διεθνείς κανονισμοί EMC καθορίζουν τα μέγιστα επιτρεπτά επίπεδα σήματος και τις ζώνες συχνότητων για τα σήματα διαταραχών. Οι μετρήσεις

χρησιμοποιούνται για να επιβεβαιώσουν το ότι οι εκπομπές που προέρχονται από το δοκίμιο συμμορφώνονται με τους κανονισμούς. Η ισχύς των σημάτων διαταραχής μπορεί να συγκριθεί με τη μέτρηση του πλάτους αυτών των σημάτων κατά μήκος μιας γνωστής εμπέδησης. Αφού η εμπέδηση εισόδου του δέκτη είναι 50 Ω, η εμπέδηση της πηγής (έξοδος του LISN) πρέπει επίσης να είναι 50 Ω. Το LISN χρησιμοποιείται ώστε να παρέχονται τα απαιτούμενα 50 Ω RF εμπέδησης για τους υπό δοκιμή αγωγούς και αντιπροσωπεύει ένα δίκτυο σύζευξης για την απομάκρυνση των σημάτων διαταραχής. Το προς μέτρηση σήμα διαταραχής είναι διαθέσιμο σε μια ομοαξονική υποδοχή BNC που βρίσκεται στο εμπρός μέρος του LISN. Για την πραγματική μέτρηση των σημάτων διαταραχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας δέκτης ή ένας αναλυτής φάσματος [40].

5.3.1 Το NNB 42 σύμφωνα με το VDE 0876 μέρος 1

Το LISN πρέπει να είναι σε θέση να χειριστεί σχετικά υψηλές τάσεις και ρεύμα για μεγάλη χρονική περίοδο. Η απαιτούμενη απόκριση συχνότητας του κυκλώματος κάνει απαραίτητη τη χρήση υψηλής ποιότητας σπείρων αέρα, χαμηλής απώλειας πυκνωτών και αντιστάσεων κατάλληλων για κυκλώματα RF. Λόγω αυτών των απαιτήσεων το όργανο πρέπει να είναι όσο το δυνατόν συμπαγέστερο. Το LISN είναι βασισμένο σε κυκλώματα που προτείνονται από το CISPR 16 [38] [29].

Το δίκτυο απόζευξης που βρίσκεται μεταξύ των αγωγών εισόδου και την εμπέδηση προσομοίωσης. Έχει δύο λειτουργίες:

- Να εξασθενίσει τα σήματα διαταραχής που προέρχονται από τους αγωγούς.
- Να αποσυνδέσει οι αντιστάσεις προσομοίωσης εμπέδησης από την εμπέδηση των αγωγών.

Το NNB 42 μιμείται την ηλεκτρική συμπεριφορά των αγωγών με τυποποιημένη εμπέδηση 50 Ω/(50 μH + 5 Ω).

Οι διαδικασίες των δοκιμών και των μετρήσεων χρησιμοποιώντας το LISN είναι σύμφωνα με τις συστάσεις του εγγράφου EN 55014 [41] [40].

5.3.2 Συνδέσεις

- Το NNB 42 έχει δύο χωριστά βύσματα εισόδου για τους αγωγούς τροφοδοσίας και βρίσκονται στο οπίσθιο τμήμα του οργάνου.
 - Τριφασική πρίζα 4 x 32 μορφής CEE (Consortium for Energy Efficiency): Αυτή η υποδοχή εναλλασσόμενου ρεύματος χρησιμοποιείται για τη τροφοδοσία του δοκιμίου που πρόκειται να μετρηθεί. Η διάρκεια μόνιμης χρήσης με πλήρη 4 x 32 Amperes περιορίζεται σε 6 ώρες.
 - Σούκο πρίζα στο σασί αγωγών IEC, για 230/110 VAC, 50/60 Hz: Χρησιμοποιείται για την παροχή της απαραίτητης ενέργειας για το κύκλωμα ελέγχου του LISN. Επίσης τροφοδοτεί με εναλλασσόμενο ρεύμα τον ενσωματωμένο ανεμιστήρα.
- Το μπουλόνι σύνδεσης και η προεξέχουσα βίδα για την γείωση προστασίας βρίσκονται στο οπίσθιο τμήμα του LISN. Αυτό το τερματικό χρησιμοποιείται για την γείωση του οργάνου προτού ανοιχτούν οι αγωγοί.
- Το LISN έχει ενσωματωμένο κύκλωμα τηλεχειρισμού που μπορεί να ελεγχθεί μέσω ειδικού βύσματος που βρίσκεται στο οπίσθιο τμήμα του οργάνου. Για την ενεργοποίηση του τηλεχειρισμού είναι δυνατή η χρήση της εξόδου ελέγχου TTL του δέκτη.
- Δύο βύσματα για τους αγωγούς του δοκιμίου βρίσκονται στο εμπρός μέρος του LISN.
- Τα όργανα μέτρησης όπως ο δέκτης ή ο αναλυτής φάσματος συνδέονται μέσω ομοαξονικής υποδοχής BNC, που βρίσκεται στο εμπρός μέρος. Η ομοαξονική σύνδεση μεταξύ της ομοαξονικής εξόδου και της εισόδου του δέκτη πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντή ειδάλλως είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη η εξαρτώμενη εξασθένηση της συχνότητας του ομοαξονικού καλωδίου.
- Το τεχνητό χέρι με $510 \Omega + 220 \text{ pF}$ αντιστοιχεί στις απαιτήσεις του CISPR 16-1 [29]. Το μπλε τερματικό των 4 mm στο εμπρός μέρος πίνακα του LISN χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του συνιστώμενου φύλλου αλουμινίου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για εξομοίωση του ανθρώπινου χεριού, υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Το φύλλο αλουμινίου τυλίγεται γύρω από τη λαβή της συσκευής ή των συσκευών που εξετάζονται.

- Το βοηθητικό τερματικό γης στο εμπρός μέρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί αν είναι απαραίτητο ως βοηθητική γη για μετρήσεις που εκτελούνται στο δοκίμιο και δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως γείωση προστασίας για το LISN [40].

5.3.3 Προφυλάξεις ασφάλειας

Το LISN χρησιμοποιεί το σασί ως αναφορά για RF γείωση. Εσωτερικοί πυκνωτές απόζευξης που συνδέονται μεταξύ των αγωγών εναλλασσόμενου ρεύματος και της εσωτερικής γης, μπορεί να έχουν διαρροή ρεύματος, της τάξεως αρκετών mA, στους χωρίς ασφάλεια αγωγούς γείωσης προστασίας. Έτσι δεν είναι δυνατό να συνδεθεί το LISN με αγωγούς που έχουν προστατεύονται με ρελέ διαφυγής.

- Το LISN σχεδιάστηκε για χρήση σε σταθερό σημείο για εργαστηριακές δοκιμές με την κατάλληλη γείωση προστασίας, σύμφωνα με τους κανονισμούς για την ασφάλεια VDE 0100 [42]. Χωρίς σύνδεση της γείωσης δεν επιτρέπεται η ενεργοποίηση της μονάδας με τη σύνδεση του οργάνου απευθείας σε γραμμή εναλλασσόμενου ρεύματος. Το NNB 42 δε μπορεί να τροφοδοτείται από γραμμές εναλλασσόμενου ρεύματος με ρελέ διαρροής διαφυγής.
- Ο αγωγός γείωσης προστασίας χωρίς ασφάλεια της γραμμής εναλλασσόμενου ρεύματος συνδέεται στο NNB 42 σε ένα RF choke σύμφωνα με το πρότυπο VDE 0550 [43], το οποίο συνδέεται με το περίβλημα.

Το RF choke χρησιμοποιείται για την αποτροπή της εισόδου των εξωτερικών σημάτων διαταραχής στη μέτρηση επειδή προκαλούν λάθη.

Σύμφωνα με τους κανονισμούς ασφαλείας VDE 0877 μέρος 1 [44], είναι υποχρεωτικό να χρησιμοποιείται η εξωτερική γείωση οποτεδήποτε το όργανο συνδέεται με τους αγωγούς. Προς το δοκίμιο είναι δυνατό να προστεθεί μια τεχνητή γη 50 Ω/50 μΗ. Η χρήση της τεχνητής γης απαιτείται σύμφωνα με το VDE 0877 μέρος 1 [44], μεταξύ του αγωγού της γης του NNB 42 και του δοκιμίου, αν είναι μακριά ή εάν οι φυσικές διαστάσεις του δοκιμίου είναι κοντά στο 1/4 του μήκους μιας πιθανής συχνότητας [40].

5.4 Απορροφητική αρπάγη, AMZ 41A

Η απορροφητική αρπάγη είναι σχεδιασμένη για μέτρηση ραδιοπαρεμβολών που εκπέμπονται από τα ηλεκτρικά όργανα μέσω των καλωδίων τους. Η μέθοδος μέτρησης με απορροφητική αρπάγη περιγράφεται από το CISPR 16-2-2 [30], ενώ η απορροφητική αρπάγη περιγράφεται στο CISPR 16 μέρος 1-3 [45] [46].

5.4.1 Εφαρμογές

Η έξοδος τάσης υψηλής συχνότητας της απορροφητικής αρπάγης είναι ένα μέτρο της εκπεμπόμενης παρεμβολής από το δοκίμιο και μετριέται με τη βοήθεια ενός ραδιοδέκτη παρεμβολής σύμφωνα με τα πρότυπα.

Πρόσθετες εφαρμογές:

- Μέτρηση της εξασθένησης προστασίας των ομοαξονικών καλωδίων.
- Δοκιμή των εξαρτημάτων προστασίας, π.χ. για τα συστήματα ανάφλεξης κινητήρων.
- Μέτρηση των επιφανειακών ρευμάτων στα εναέρια καλώδια.

Οφέλη αυτής της μεθόδου μέτρησης:

- Απλουστευμένη διαδικασία μέτρησης σε σύγκριση με τη μέτρηση του πεδίου διαταραχής, έτσι ώστε να μην απαιτείται χώρος προστασίας.
- Υψηλή αναπαραγωγικότητα των αποτελεσμάτων της δοκιμής [46].

5.4.2 Χαρακτηριστικά

Η απορροφητική αρπάγη αποτελείται από πτυσσόμενο περίβλημα δύο μερών, με το καθένα να περιέχει τοροειδή φερρίτη, εσωκλείοντας στην πραγματικότητα το καλώδιο μιας πηγής θορύβου που εισάγεται για τη μέτρηση. Τα μισά του πυρήνα σφραγίζουν στο πάνω μέρος ώστε να αποκλειστεί ένα ανεπιθύμητο κενό αέρα όταν ο μετρητής είναι κλειστός. Παρέχονται δύο κλειδαριές για το απαραίτητο κλειδώμα. Η αδρανής θέση χρησιμοποιείται για την ανακούφιση του ελαστικού υλικού όταν δε χρησιμοποιείται η συσκευή.

Οι πρώτοι δύο τοροειδείς πυρήνες, ακριβώς δίπλα στο τέλος της ανοιχτής τοροειδούς στήλης, ενεργούν με ένα πηνίο σύζευξης σαν μετασχηματιστής. Οι άλλοι

τοροειδείς πυρήνες φερρίτη λειτουργούν απορροφητικά και ενεργούν ως RF αντίσταση τερματισμού στο κύκλωμα παρεμβολής υψηλής συχνότητας απόζευξης δικτύου και πηγής ραδιοπαρεμβολής.

Το πηνίο σύζευξης συνδέεται με την έξοδο RF μέσω ομοαξονικού καλωδίου, το οποίο στη συνέχεια συνδέεται με το δέκτη μέσω πηνίου και καλωδίου. Το ομοαξονικό καλώδιο επιπλέον εσωκλείεται σε σωλήνες φερρίτη ώστε να ελαττωθούν τα ρεύματα παρεμβολής πάνω στο εξωτερικό.

Η απορροφητική αρπάγη έχει στη βάση της ροδάκια για να μπορεί να κινείται ομαλά σε ολόκληρο το μήκος του καλωδίου, από τον μετρητή ως τη πηγή θορύβου.

Η ανάπτυξη και η κατασκευή της απορροφητικής αρπάγης συμμορφώνονται με το ISO 9001 [46].

5.4.3 Μετρήσεις

Στην υπό δοκιμή γραμμή, μεταξύ της πηγής παρεμβολής και της απορροφητικής αρπάγης, υπάρχουν στάσιμα κύματα δεδομένου δεν έχει γίνει αμοιβαία προσαρμογή μεταξύ της πηγής θορύβου, της γραμμής και του απορροφητή. Η μέγιστη ραδιοπαρεμβολή καθορίζεται για όλες τις μετρούμενες συχνότητες με τη μετακίνηση της απορροφητικής αρπάγης, η οποία πρέπει να κινείται από την πηγή παρεμβολών προς το πρώτο μέγιστο τάσης και πρέπει να αγγίζεται μόνο στην πιο απομακρυσμένη, από την πηγή παρεμβολής, πλευρά.

Αν ο προσδιορισμός του μέγιστου αποτρέπεται από τη σύζευξη του καλωδίου απαιτούνται δύο μετρήσεις. Αυτές οι δύο μετρήσεις πρέπει να γίνονται αριστερά και δεξιά από τη σύζευξη και πρέπει να προστεθούν 2 dB στο υψηλότερο αποτέλεσμα της μέτρησης.

Η έξοδος παρεμβολής ορίζεται από τον τύπο:

$$P = V + CF \quad (5.1)$$

όπου P: η ισχύς διαταραχής σε dBpW

V: η μετρούμενη τάση σε dBμV

CF: ο συντελεστής αρπάγης σε dB(pW/μV) [46]

5.5 Διλογαριθμική κεραία, CBL 611C

Η CBL 611C είναι μια διλογαριθμική (bilog) κεραία ευρείας ζώνης υψηλής απόδοσης για εκπομπή και δοκιμές ατρωσίας EMC. Είναι η αρχική «κλασσική» διλογαριθμική κεραία που συνδυάζει δύο κεραίες σε μία. Η συμπεριφορά της είναι γενικά ίδια αλλά σε μερικές συχνότητες είναι και καλύτερη από τον συνδυασμό τυπικών κεραιών. Έτσι με τη χρήση της CBL 611C υπάρχει κέρδος τουλάχιστον 20% με 30% στο χρόνο δοκιμής και μείωση στα λάθη μέτρησης που οφείλονται στα καλώδια και την σύνδεση.

Η CBL 611C είναι παγκοσμίως αποδεκτή για τις μετρήσεις εκπομπής. Παρά το ότι χρησιμοποιείται κυρίως σαν κεραία μέτρησης εκπομπής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ισχύ CW μέχρι 300 W και έτσι καθίσταται κατάλληλη για τις περισσότερες μετρήσεις ατρωσίας που απαιτούν πεδία ακόμα και μεγαλύτερα από 10 V/m. Η CBL 611C είναι πολώνεται γραμμικά και έχει άριστη ισοροπία (μικρότερη από 1 dB) αλλά και διαγώνια(μεγαλύτερη από 20 dB) [47].

5.6 Υπολογισμός αβεβαιότητας EMC

5.6.1 Η αβεβαιότητα κατά CISPR

Το θέμα της μέτρησης αβεβαιότητας και το πώς πρόκειται να εφαρμοστεί για τα βασισμένα σε CISPR πρότυπα εκπομπών ήταν υπό συζήτηση σε CISPR/A [48] για αρκετά χρόνια και η εργασία αυτή έχει οδηγήσει στη δημοσίευση ενός νέου τμήματος CISPR 16 [38], το CISPR 16-4 [36]. Η επίδραση αυτού του εγγράφου είναι για να διευκρινίσει,

- ότι η αβεβαιότητα μέτρησης U_{lab} πρέπει να υπολογίζεται και να αναφέρεται στην έκθεση της δοκιμής,
- ποιες παράμετροι πρέπει να περιληφθούν για τους υπολογισμούς κάθε μίας από τις διαταραχές στους κεντρικούς αγωγούς, το μέγεθος της διαταραχής, και τις μετρήσεις της έντασης του εκπεμπόμενου ηλεκτρικού πεδίου,
- ένα πίνακα τιμών αβεβαιότητας που κρίνονται ως αντιπροσωπευτικές για κάθε μια

από αυτές τις δοκιμές (φαίνεται παρακάτω),

- πώς να χρησιμοποιούνται αυτές οι τιμές αβεβαιότητας.

Αν η αβεβαιότητα U_{lab} που υπολογίζεται είναι λιγότερη από τη δοσμένη για U_{CISPR} στον πίνακα, τότε:

- υπάρχει συμμόρφωση αν καμία μετρούμενη διαταραχή δεν υπερβαίνει το όριο διαταραχής.
- δεν υπάρχει συμμόρφωση αν οποιαδήποτε μετρούμενη διαταραχή υπερβαίνει το όριο διαταραχής.

Αν η υπολογιζόμενη αβεβαιότητα είναι μεγαλύτερη από U_{CISPR} , τότε:

- υπάρχει συμμόρφωση αν καμία μετρούμενη διαταραχή, αυξημένη κατά τη διαφορά ($U_{lab} - U_{CISPR}$), δεν υπερβαίνει το όριο διαταραχής.
- δεν υπάρχει συμμόρφωση αν οποιαδήποτε μετρούμενη διαταραχή, αυξημένη κατά τη διαφορά ($U_{lab} - U_{CISPR}$), υπερβαίνει το όριο διαταραχής [49] [36].

Πίνακας 5-1: Πρότυπες τιμές U_{CISPR} για κάθε μία μέθοδο δοκιμής.

Μέθοδος δοκιμής		U_{CISPR}
Εκπομπές αγωγής	9 kHz – 150 kHz	4,0 dB
	150 kHz – 3 MHz	3,6 dB
Ισχύς διαταραχής	30 MHz – 300 MHz	4,5 dB
Εκπεμπόμενο ηλεκτρικό πεδίο	30 MHz – 1 GHz	5,2 dB

5.6.2 Μετρήσεις αγωγίμων διαταραχών

Ο πίνακας 5-2 ακολουθεί την πρακτική που προτείνεται από το LAB 34 και από το πρότυπο CISPR 16-4 [36], προσδιορίζοντας διάφορους πιθανούς παράγοντες που συμβάλλουν κατά τη χρησιμοποίηση του LISN κάτω από ορισμένες καταστάσεις [50].

Πίνακας 5-2: Δοκιμές αγωγής για τον υπολογισμό αβεβαιοτήτων.

		Τιμή		Κατανομή Πιθανότητας	Διαιρέτης	$u_i(y)$	$u_i(y)^2$
1	Ένδειξη δέκτη	0,1	dB	Ορθογώνια	1,732	0,058	0,003
2	Εξασθένηση δέκτη LISN	0,5	dB	Κανονική	2	0,250	0,063
3	Παράγοντας διαίρεσης τάσης LISN	0,93	dB	Κανονική	2	0,465	0,216
4	Διόρθωση της ημιτονικής τάσης του δέκτη	0,8	dB	Κανονική	2	0,400	0,160
5	Απόκριση πλάτους παλμού δέκτη	0,92	dB	Ορθογώνια	1,732	0,531	0,282
6	Απόκριση ρυθμού επανάληψης παλμού δέκτη	1,5	dB	Ορθογώνια	1,732	0,866	0,750
7	Επίπεδο θορύβου	0	dB	Ορθογώνια	1,732	0,000	0,000
8	Λάθος βήμα συχνότητας	0,25	dB	Ορθογώνια	1,732	0,144	0,021
9	Εμπέδηση LISN	1,43	dB	Τριγωνική	2,449	0,583	0,340
10	Αποπροσαρμογή	-0,734	dB	Μορφής U	1,414	-0,519	0,269
	Δέκτη VRC	0,022					
	LISN VRC	0,9					
11	Επαναληψιμότητα συστήματος	0,5	dB	Κανονική	1	0,500	0,250
						$u_c(y)$	$\sum u_c(y)^2$
12	Πρότυπη συνδυασμένη αβεβαιότητα		dB	Κανονική		1,53	2,355
	Επεκταμένη αβεβαιότητα		dB	Κανονική, k=2	2	3,07	

Για την ασυνεχή παρεμβολή σύμφωνα με το CISPR 15-1 [51] δεν υπάρχει κανένας πρακτικός τρόπος συνδυασμού των λαθών στις μετρήσεις διάρκειας παλμού με τα κοινά λάθη που ήδη παρουσιάστηκαν στις συνεχείς εκπομπές. Μπορεί να υποτεθεί ότι ο αναλυτής ασυνεχούς παρεμβολής, ύστερα από διακρίβωση, καλύπτει τις ζητούμενες απαιτήσεις. Μια παρόμοια προσέγγιση υιοθετείται αργότερα και κατά την εξέταση των δοκιμών παροδικής ατρωσίας. Ο υπολογισμός αβεβαιότητας επομένως θα είναι ο ίδιος όπως στις κατευθυνόμενες εκπομπές.

1. Ένδειξη δέκτη: η ένδειξη δείκτη ποικίλει για διάφορους λόγους όπως η αστάθεια μέτρησης του συστήματος, ο θόρυβος στο δέκτη και τα λάθη που

παρεμβάλλονται στην κλίμακα μέτρησης.

Η εκτίμηση της ένδειξης δέκτη είναι ο μέσος όρος πολλών αναγνώσεων, με πρότυπη αβεβαιότητα δοσμένη από την πειραματικά πρότυπη απόκλιση του μέσου όρου ($k = 1$).

Η τιμή στον πίνακα 5-2 προέρχεται από το εγχειρίδιο χρήσης του δέκτη [37].

2. Εξασθένιση δέκτη LISN: είναι η αβεβαιότητα στο καλώδιο, στο σύνδεση (connector) και στον περιοριστή απωλειών. Μπορεί να περιλαμβάνει συνεισφορά λόγω παρεμβολής, από έναν πίνακα συχνοτήτων. Η τιμή στον πίνακα 5-2 πάρθηκε από το πιστοποιητικό διακρίβωσης CA3891 του περιοριστή παλμών (transient limiter) [52].
3. Παράγοντας διαίρεσης τάσης LISN: λαμβάνεται από το πιστοποιητικό διακρίβωσης. Μπορεί να περιλαμβάνει συνεισφορά λόγω παρεμβολής, από έναν πίνακα συχνοτήτων. Η τιμή στον πίνακα 5-2 προέκυψε από το πιστοποιητικό διακρίβωσης CA3884 (LISN) [53].
4. Διόρθωση της ημιτονικής τάσης του δέκτη: μια διορθωτική εκτίμηση της ακρίβειας της ημιτονικής τάσης του δέκτη είναι πάντα διαθέσιμη στην αναφορά διακρίβωσης, μαζί με μια διευρυμένη αβεβαιότητα και έναν παράγοντα κάλυψης.

Αν μια αναφορά διακρίβωσης δηλώσει ότι η ημιτονική τάση του δέκτη είναι μέσα στα όρια ανοχής του CISPR 16-1 (± 2 dB) [29], τότε η εκτίμηση του λάθους θα πρέπει να ληφθεί ως μηδενική με μια ορθογώνια κατανομή πιθανότητας που έχει μισό εύρος των 2 dB.

Η τιμή που παρουσιάζεται στον πίνακα 5-2 λήφθηκε από το πιστοποιητικό διακρίβωσης CA3881 (δέκτης) [54].

5. Απόκριση πλάτους παλμού: σε γενικές γραμμές δεν είναι πρακτικό να διορθώσεις τα ατελή χαρακτηριστικά των παλμών απόκρισης του δέκτη. Μια αναφορά εξακρίβωσης δηλώνει ότι η απόκριση πλάτους παλμών του δέκτη συμμορφώνεται με την ανοχή των $\pm 1,5$ dB για την κορυφή του CISPR 16-1 [29]. Η διόρθωση εκτιμάται ως μηδενική με ορθογώνια κατανομή πιθανότητας που έχει μισό εύρος των 1,5 dB. Ομοίως με πριν για την τιμή στον πίνακα 5-2 χρησιμοποιήθηκε το πιστοποιητικό διακρίβωσης CA3881 (δέκτης) [54].

6. Απόκριση ρυθμού επανάληψης παλμού: Η ανοχή του CISPR 16-1 [29] για την απόκριση του ρυθμού επανάληψης του παλμού εξαρτάται από το ρυθμό επανάληψης και τον τύπο του φωρατή. Μια αναφορά εξακρίβωσης δηλώνει ότι οι αποκρίσεις του ρυθμού επανάληψης των παλμών του δέκτη συμμορφώνονται με τις ανοχές του CISPR 16-1 [29] που είναι δεδομένες. Η διόρθωση εκτιμάται ως μηδενική με ορθογώνια κατανομή πιθανότητας που έχει μισό εύρος των 1,5 dB. Η τιμή αυτή θεωρείται αντιπροσωπευτική των διάφορων ανοχών του CISPR 16-1 [29].

Αν η απόκριση του πλάτους του παλμού ή η απόκριση του ρυθμού του παλμού επανάληψης επιβεβαιώνεται ότι είναι ανάμεσα στις τιμές $\pm\alpha$ dB από τις προδιαγραφές του CISPR ($\alpha \leq 1,5$), η διόρθωση μπορεί να εκτιμηθεί ως μηδενική με ορθογώνια κατανομή πιθανότητας που έχει μισό εύρος των α dB.

Σύμφωνα με το πρότυπο CISPR 16-4-2 of IEC: 2003 [55] προκύπτει η τιμή που παρουσιάζεται στον πίνακα 5-2.

7. Επίπεδο θορύβου: το επίπεδο θορύβου σε έναν CISPR δέκτη είναι συνήθως αρκετά πιο κάτω από το όριο της τάση διαταραχής ή το όριο της διαταραχής της ισχύος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η επίδραση στα αποτελέσματα της μέτρησης να είναι αμελητέα κοντά σε αυτές τις τιμές. Η τιμή του πίνακα 5-2 προέρχεται από το εγχειρίδιο χρήσης του δέκτη [37].
8. Λάθος βήμα συχνότητας: αν ένας αυτοματοποιημένος δέκτης αυξάνει με βήμα μισού εύρους ζώνης, η συνεισφορά αυτή εξαρτάται από τη μορφή του φίλτρου εύρους ζώνης του δέκτη. Η τιμή προέκυψε από το φυλλάδιο της Schaffner [49].
9. Εμπέδηση LISN: η ανοχή της εμπέδησης απαιτεί η εμπέδηση τόσο στο μέγεθος όσο και στη φάση να είναι μέσα στο 20% του πλάτους και της φάσης της ονομαστικής της τιμής όταν η θύρα λήψης τερματίζεται στα 50 Ω. Θεωρούμε τη χειρότερη περίπτωση δοκιμίου εμπέδησης πηγής και χρησιμοποιούμε τριγωνική κατανομή για να είναι χαμηλή η πιθανότητα όλων των χειρότερων περιπτώσεων που μπορεί να συμβούν μαζί. Η τιμή στον πίνακα 5-2 ελήφθη από το πιστοποιητικό διακρίβωσης CA3884 (LISN) [53].
10. Αποπροσαρμογή: ο δέκτης VRC θεωρείται ότι είναι ένας δέκτης συμβατός με το CISPR16 [38] και ένας εξασθενητής εισόδου 10 dB. Το LISN VRC είναι μια

συνάρτηση της εμπέδησης του δοκιμίου που είναι γενικά άγνωστη. Στη χειρότερη περίπτωση η τιμή 0,9 είναι αποτέλεσμα κρίσης. Το καλώδιο σύνδεσης υποθέτουμε ότι είναι συνδεδεμένο καλά. Στον πίνακα 5-2 οι τιμές για την αποπροσαρμογή και το LISN VRC προέκυψαν από το φυλλάδιο της Schaffner ενώ ο δέκτης VRC από το πιστοποιητικό διακρίβωσης CA3881 (δέκτης) [54].

11. VRC (Voltage Reflection Coefficient) είναι ο Συντελεστής Αντανάκλασης Τάσης και συσχετίζεται με το VSWR (Voltage Standing Wave Ratio), την Αναλογία Τάσης Στάσιμων Κυμάτων, και δίνεται από τον τύπο:

$$VRC = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1}$$

Η τιμή αναγράφεται στον πίνακα 5-2 σύμφωνα με το φυλλάδιο της Schaffner [54].

12. Επαναληψιμότητα συστήματος: αυτή η συνεισφορά τύπου A προέρχεται από πολλαπλές μετρήσεις χρησιμοποιώντας αντιπροσωπευτικό σχεδιασμό και δοκίμιο [49].

5.6.3 Μετρήσεις ακτινοβολούμενων διαταραχών

Για λόγους απλούστευσης και ευκολίας χρησιμοποιείται ο πίνακας 5-3 του φυλλαδίου της Schaffner [49] όπου λαμβάνεται μια πολύ ευρεία εικόνα του υπολογισμού αβεβαιότητας. Πολλές συνεισφορές υπερεκτιμώνται επειδή ισχύουν μόνο για ένα ιδιαίτερο μέρος του φάσματος συχνότητας. Εάν, όπως είναι συνηθέστερο, οι χωριστοί υπολογισμοί υπολογιστούν για τις διλογαριθμικές και τις λογαριθμικές περιοδικές κεραιές, τόσο για την οριζόντια όσο και για τη κάθετη πόλωση, αναμένεται ένα σημαντικά χαμηλότερο αποτέλεσμα.

Πίνακας 5-3: Δοκιμές ακτινοβολίας για τον υπολογισμό αβεβαιοτήτων.

		Τιμή		Κατανομή Πιθανότητας	Διαίρετης	$u_i(y)$	$u_i(y)^2$
1	Ένδειξη δέκτη	0,1	dB	Ορθογώνια	1,732	0,058	0,003
2	Απώλεια καλωδίου	0,1	dB	Κανονική	2	0,050	0,003
3	Διόρθωση της ημιτονικής τάσης του δέκτη	0,8	dB	Κανονική	2	0,400	0,160
4	Απόκριση πλάτους παλμού	0,4	dB	Ορθογώνια	1,732	0,231	0,053
5	Ρυθμός απόκρισης επανάληψης παλμού	1,5	dB	Ορθογώνια	1,732	0,866	0,750
6	Επιπέδου θορύβου	0,5	dB	Κανονική	2	0,250	0,063
7	Διακρίβωση κεραίας	2	dB	Κανονική	2	1,000	1,000
8	Κατευθυντικότητα κεραίας	0,5	dB	Ορθογώνια	1,732	0,289	0,083
9	Παράγοντας κεραίας εξάρτησης ύψους	2	dB	Ορθογώνια	1,732	1,155	1,333
10	Μεταβολή κεντρικής φάσης κεραίας	0,3	dB	Ορθογώνια	1,732	0,173	0,030
11	Συντελεστής παρεμβολής συχνότητας κεραίας	0,25	dB	Ορθογώνια	1,732	0,144	0,021
12	Διαγώνια πόλωση και ισοροπία	0,9	dB	Ορθογώνια	1,732	0,520	0,270
13	Απόσταση μέτρησης	0,2	dB	Ορθογώνια	1,732	0,115	0,013
14	Ατέλειες περιοχής	4	dB	Τριγωνική	2,449	1,633	2,668
15	Λάθος βήμα συχνότητας	0	dB	Ορθογώνια	1,732	0,000	0,000
16	Αποπροσαρμογή	-2,734	dB	Μορφής U	1,414	-1,934	3,739
	Δέκτης VRC	0,33					
	Κεραία VRC	0,82					
17	Επαναληψιμότητα συστήματος	1	dB	Κανονική	1	1,000	1,000
						$u_c(y)$	$\sum u_c(y)^2$
18	Πρότυπη συνδυασμένη αβεβαιότητα		dB	Κανονική		3,345	11,189
	Επεκταμένη αβεβαιότητα		dB	Κανονική, k=2	2	6,69	

1. Ένδειξη δέκτη: η ένδειξη δείκτη ποικίλει για διάφορους λόγους όπως η αστάθεια μέτρησης του συστήματος, ο θόρυβος στο δέκτη και τα λάθη που παρεμβάλλονται στην κλίμακα μέτρησης.

Η εκτίμηση της ένδειξης δέκτη είναι ο μέσος όρος πολλών αναγνώσεων, με πρότυπη αβεβαιότητα δοσμένη από την πειραματικά πρότυπη απόκλιση του μέσου όρου ($k = 1$).

Η αντίστοιχη τιμή στον πίνακα 5-3 προκύπτει από το εγχειρίδιο χρήσης του δέκτη [37].

2. Απώλεια καλωδίου: είναι η αβεβαιότητα στην εξασθένηση από την κεραία στο δέκτη. Η τιμή στον πίνακα 5-3 αναγράφεται στο φυλλάδιο της Schaffner [49].
3. Διόρθωση της ημιτονικής τάσης του δέκτη: μια διορθωτική εκτίμηση της ακρίβειας της ημιτονικής τάσης του δέκτη είναι πάντα διαθέσιμη στην αναφορά διακρίβωσης, μαζί με μια διευρυμένη αβεβαιότητα και έναν παράγοντα κάλυψης. Αν μια αναφορά διακρίβωσης δηλώσει ότι η ημιτονική τάση του δέκτη είναι μέσα στα όρια ανοχής του CISPR 16-1 (± 2 dB) [29], τότε η εκτίμηση του λάθους θα πρέπει να ληφθεί ως μηδενική με μια ορθογώνια κατανομή πιθανότητας που έχει μισό εύρος των 2 dB.

Η τιμή στον πίνακα 5-3 προέκυψε από το πιστοποιητικό διακρίβωσης CA3881 (δέκτης) [54].

4. Απόκριση πλάτους παλμού: όπως παραπάνω. Μπορεί να αγνοηθεί εάν το δοκίμιο είναι γνωστό ότι δεν εκπέμπει παλμικές διαταραχές. Η τιμή του στον πίνακα 5-3 βρέθηκε στο πιστοποιητικό διακρίβωσης CA3881 (δέκτης) [54].
5. Ρυθμός απόκρισης επανάληψης παλμού: σε γενικές γραμμές δεν είναι πρακτικό να διορθώσεις τα ατελή χαρακτηριστικά των παλμών απόκρισης του δέκτη. Μια αναφορά εξακρίβωσης δηλώνει ότι η απόκριση πλάτους παλμών του δέκτη συμμορφώνεται με την ανοχή των $\pm 1,5$ dB για την κορυφή του CISPR 16-1 [29]. Η διόρθωση εκτιμάται ως μηδενική με ορθογώνια κατανομή πιθανότητας που έχει μισό εύρος των 1,5 dB. Η τιμή στον πίνακα 5-3 προέρχεται από το φυλλάδιο της Schaffner [49].
6. Επίπεδο θορύβου: το επίπεδο θορύβου σε έναν CISPR δέκτη είναι συνήθως αρκετά πιο κάτω από το όριο της τάση διαταραχής ή το όριο της διαταραχής της ισχύος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η επίδραση στα αποτελέσματα της μέτρησης να είναι αμελητέα κοντά σε αυτές τις τιμές. Ομοίως με πριν η τιμή στον πίνακα 5-3 προκύπτει από το φυλλάδιο της Schaffner [49].
7. Διακρίβωση κεραίας: λαμβάνεται από το πιστοποιητικό διακρίβωσης. Η τιμή στον πίνακα 5-3 πάρθηκε από το φυλλάδιο της Schaffner [49].

8. Κατευθυντικότητα κεραίας: η κεραία μπορεί να ευθυγραμμιστεί οριζόντια, αλλά όχι κάθετα σε όλο το εύρος ύψους. Δεν είναι σημαντικό για την πολωμένη οριζόντια διλογαριθμική κεραία, αλλά μια λογαριθμική περιοδική κεραία θα επηρεαστεί άμεσα, ειδικά σε κοντινή απόσταση και μεγάλο ύψος. Όπως πριν για την παράμετρο αυτή στον πίνακα 5-3 χρησιμοποιήθηκε το φυλλάδιο της Schaffner [49].
9. Παράγοντας κεραίας εξάρτησης ύψους: προέρχεται από πρακτική εμπειρία. Η χειρότερη περίπτωση είναι η διλογαριθμική κεραία σε οριζόντια πόλωση. Η τιμή στον πίνακα 5-3 προκύπτει από το φυλλάδιο της Schaffner [49].
10. Μεταβολή του κεντρικής φάσης κεραίας: είναι σχετικό μόνο με λογαριθμική περιοδική κεραία, για την οποία η αλλαγή της θέσης κέντρου φάσης με συχνότητα, δημιουργεί μια απόκλιση από τον απαιτούμενο διαχωρισμό, κάτι που δεν επιτρέπεται για τη διακρίβωση. Η τιμή στον πίνακα 5-3 προκύπτει από το φυλλάδιο της Schaffner [49].
11. Συντελεστής παρεμβολής συχνότητας κεραίας: λαμβάνεται από έναν πίνακα συχνοτήτων. Για τον πίνακα 5-3 χρησιμοποιήθηκε η τιμή του φυλλαδίου της Schaffner [49].
12. Διαγώνια πόλωση και ισορροπία: προκύπτει από πρακτική εμπειρία. Η χειρότερη περίπτωση είναι η διλογαριθμική κεραία σε κάθετη πόλωση (ισορροπία) και η λογαριθμική περιοδική κεραία σε διαγώνια πόλωση. Για τον πίνακα 5-3 χρησιμοποιήθηκε το φυλλάδιο της Schaffner [49].
13. Απόσταση μέτρησης: είναι λάθη στον καθορισμό της περιμέτρου του δοκιμίου, της μέτρησης της απόστασης, και της κλίσης του ιστού της κεραίας. Υποτίθεται ότι η ένταση του πεδίου είναι αντιστρόφως ανάλογη με την απόσταση (Υποτίθεται $1/d$ ανάλογη της δύναμης του πεδίου, όπου d η απόσταση). Η τιμή για τον πίνακα 5-3 λήφθηκε από το φυλλάδιο της Schaffner [49].
14. Ατέλειες περιοχής: είναι η διαφορά μεταξύ της θεωρητικής και της ομαλοποιημένης πραγματικής εξασθένησης περιοχής για μια συγκεκριμένη περιοχή. Η προδιαγραφή CISPR επιτρέπει ένα μέγιστο ± 4 dB, ώστε οι πραγματικές περιοχές να μπορούν να είναι καλύτερες από αυτή τη τιμή, και λόγω της υψηλής αβεβαιότητας της μεθόδου NSA, μια περιοχή που ικανοποιεί

αυτό το κριτήριο είναι απίθανο να προκαλέσει λάθη μέτρησης που πλησιάζουν τα 4 dB. Έτσι υποτίθεται μια τριγωνική κατανομή. Η τιμή για τον πίνακα 5-3 λήφθηκε από το φυλλάδιο της Schaffner [49].

15. Λάθος βήμα συχνότητας: υποτίθεται ότι χρησιμοποιείται για την τελική ανάγνωση με χειροκίνητο συντονισμό. Η συνεισφορά αυτή είναι μηδέν. Στον πίνακα 5-3 φαίνεται η αντίστοιχη τιμή σύμφωνα με το φυλλάδιο της Schaffner [49].
16. Αποπροσαρμογή: υποτίθεται ένας δέκτης CISPR με VSWR 2:1 (εξασθένηση 0 dB) και μια διλογαριθμική κεραία (χειρότερη περίπτωση) με VSWR 10:1 - όχι αυστηρά συμβατή με CISPR, αλλά τυπική. Οι τιμές στον πίνακα 5-3 είναι αυτές που αναγράφονται στο φυλλάδιο της Schaffner [49].
17. Επαναληψιμότητα συστήματος: αυτή η συνεισφορά τύπου A προέρχεται από πολλαπλές μετρήσεις χρησιμοποιώντας αντιπροσωπευτικό σχεδιασμό και δοκίμιο. Η τιμή του πίνακα 5-3 προκύπτει από το φυλλάδιο της Schaffner [49].

5.6.4 Η ισχύς διαταραχής

Ο πίνακας 5-4 ακολουθεί την πρακτική που προτείνεται από το LAB 34 [23] και από τη πρότυπο CISPR 16-4 [36], προσδιορίζοντας διάφορους άλλους πιθανούς παράγοντες που συμβάλλουν κατά τη χρησιμοποίηση της αρπάγης σε προστατευμένο ή μη περιβάλλον [50].

Πίνακας 5-4: Δοκιμές για την ισχύ διαταραχής για τον υπολογισμό αβεβαιοτήτων.

		Τιμή		Κατανομή Πιθανότητας	Διαιρέτης	$u_i(y)$	$u_i(y)^2$
1	Ένδειξη δέκτη	0,1	dB	Ορθογώνια	1,732	0,058	0,003
2	Απώλεια καλωδίου	0,1	dB	Κανονική	2	0,050	0,003
3	Ακρίβεια ημιτονικού κύματος δέκτη	0,8	dB	Κανονική	2	0,400	0,160
4	Απόκριση πλάτους παλμού δέκτη	0,4	dB	Ορθογώνια	1,732	0,231	0,053
5	Απόκριση ρυθμού επανάληψης παλμού δέκτη	1,5	dB	Ορθογώνια	1,732	0,866	0,750
6	Επίπεδο θορύβου	0	dB	Κανονική	2	0,000	0,000
7	Διακρίβωση απορροφητικής αρπάγης	3,8	dB	Κανονική	2	1,900	3,610
8	Διακρίβωση παρεμβολής συχνότητας	0,2	dB	Ορθογώνια	1,732	0,115	0,013
9	Επίδραση κυρίων διαταραχών	0,2	dB	Ορθογώνια	1,732	0,115	0,013
10	Επίδραση περιβάλλοντος	0,8	dB	Ορθογώνια	1,732	0,462	0,213
11	Λάθος βήμα συχνότητας	0,25	dB	Ορθογώνια	1,732	0,144	0,021
12	Αποπροσαρμογή	-2,319	dB	Μορφής U	1,414	-1,640	2,690
	Δέκτης VRC	0,33					
	Κεραία VRC	0,71					
13	Επαναληψιμότητα συστήματος	0,5	dB	Κανονική	1	0,500	0,250
						$u_c(y)$	$\sum u_c(y)^2$
14	Πρότυπη συνδυασμένη αβεβαιότητα		dB	Κανονική		2,789	7,780
	Επεκταμένη αβεβαιότητα		dB	Κανονική, k=2	2	5,58	

1. Ένδειξη δέκτη: η ένδειξη δείκτη ποικίλει για διάφορους λόγους όπως η αστάθεια μέτρησης του συστήματος, ο θόρυβος στο δέκτη και τα λάθη που παρεμβάλλονται στην κλίμακα μέτρησης.

Η εκτίμηση της ένδειξης δέκτη είναι ο μέσος όρος πολλών αναγνώσεων, με πρότυπη αβεβαιότητα δοσμένη από την πειραματικά πρότυπη απόκλιση του μέσου όρου ($k = 1$).

Για τον πίνακα 5-4 χρησιμοποιήθηκε η τιμή που βρέθηκε στο εγχειρίδιο χρήσης του δέκτη [37].

2. Απώλεια καλωδίου: είναι η αβεβαιότητα στην εξασθένιση από την αρπάγη στο

δέκτη. Στον πίνακα 5-4 βάλαμε την τιμή από το φυλλάδιο Schaffner [49].

3. Ακρίβεια ημιτονικού κύματος δέκτη: λαμβάνεται από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή ή το πιστοποιητικό διακρίβωσης. Η τιμή στον πίνακα 5-4 πάρθηκε από το πιστοποιητικό διακρίβωσης CA3881 (δέκτης) [54].
4. Απόκριση πλάτους παλμού δέκτη: σε γενικές γραμμές δεν είναι πρακτικό να διορθώσεις τα ατελή χαρακτηριστικά των παλμών απόκρισης του δέκτη. Μια αναφορά εξακρίβωσης δηλώνει ότι η απόκριση πλάτους παλμών του δέκτη συμμορφώνεται με την ανοχή των $\pm 1,5$ dB για την κορυφή του CISPR 16-1 [29]. Η διόρθωση εκτιμάται ως μηδενική με ορθογώνια κατανομή πιθανότητας που έχει μισό εύρος των 1,5 dB. Στον πίνακα 5-4 η τιμή προέκυψε από το πιστοποιητικό διακρίβωσης CA3881 (δέκτης) [54].
5. Απόκριση ρυθμού επανάληψης παλμού δέκτη: η ανοχή του CISPR 16-1 [29] για την απόκριση του ρυθμού επανάληψης του παλμού εξαρτάται από το ρυθμό επανάληψης και τον τύπο του φωρατή. Μια αναφορά εξακρίβωσης δηλώνει ότι οι αποκρίσεις του ρυθμού επανάληψης των παλμών του δέκτη συμμορφώνονται με τις ανοχές του CISPR 16-1 [29] που είναι δεδομένες. Η διόρθωση εκτιμάται ως μηδενική με ορθογώνια κατανομή πιθανότητας που έχει μισό εύρος των 1,5 dB. Η τιμή αυτή θεωρείται αντιπροσωπευτική των διάφορων ανοχών του CISPR 16-1 [29].

Αν η απόκριση του πλάτους του παλμού ή η απόκριση του ρυθμού του παλμού επανάληψης επιβεβαιώνεται ότι είναι ανάμεσα στις τιμές $\pm a$ dB από τις προδιαγραφές του CISPR ($a \leq 1,5$), η διόρθωση μπορεί να εκτιμηθεί ως μηδενική με ορθογώνια κατανομή πιθανότητας που έχει μισό εύρος των a dB.

Για την τιμή του πίνακα 5-4 έγινε χρήση του CISPR 16-4-2 of IEC: 2003 [55].

6. Επίπεδο θορύβου: το επίπεδο θορύβου σε έναν CISPR δέκτη είναι συνήθως αρκετά πιο κάτω από το όριο της τάση διαταραχής ή το όριο της διαταραχής της ισχύος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η επίδραση στα αποτελέσματα της μέτρησης να είναι αμελητέα κοντά σε αυτές τις τιμές. Ομοίως με πριν για να βρεθεί η τιμή του επιπέδου του θορύβου, που φαίνεται στον πίνακα 5-4, χρησιμοποιήθηκε το CISPR 16-4-2 of IEC: 2003 [55].
7. Διακρίβωση απορροφητικής αρπάγης: λαμβάνεται από το πιστοποιητικό

διακρίβωσης. Η τιμή της που φαίνεται στον πίνακα 5-4 προέκυψε από το πιστοποιητικό διακρίβωσης CA3950 (απορροφητικής αρπάγης) [56].

8. Διακρίβωση παρεμβολής συχνότητας: λαμβάνεται από έναν πίνακα συχνοτήτων. Σύμφωνα με το φυλλάδιο της Schaffner [49] προκύπτει η τιμή του πίνακα 5-4.
9. Επίδραση κυρίων διαταραχών: οι κύριες διαταραχές που είναι ανεπαρκώς απομονωμένες από την απορροφητική αρπάγη του μετατροπέα ρεύματος μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην ένδειξη του δέκτη. Ίσως είναι απαραίτητο να μειωθεί η επίδραση από τις κύριες διαταραχές αν υπάρχει απορροφητήρας από φερρίτη κατά μήκος των κυρίων καλωδιώσεων κοντά στις βασικές παροχές, ή αν χρησιμοποιείται LISN για να παρέχει φιλτραρισμένη παροχή. Στο CISPR 16-4-2 [55] αναγράφεται η τιμή του τέθηκε στον πίνακα 5-4.
10. Επίδραση του περιβάλλοντος: οι μετρήσεις των διαταραχών ισχύος που χρησιμοποιούν απορροφητικές αρπάγες είναι ευαίσθητες στον περιβάλλοντα χώρο, συμπεριλαμβανομένου το είδος και την απόσταση των επιφανειών του δωματίου. Είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η διόρθωση που χρειάζεται να υπολογιστεί λόγω της διαφοράς του περιβάλλοντος στο οποίο η απορροφητική αρπάγη διακρίβώνεται από αυτό το περιβάλλον μέσα στο οποίο χρησιμοποιείται. Η εκτίμηση της διόρθωσης ήταν μηδέν με πρότυπη απόκλιση που προέρχεται από τις τιμές που προκύπτουν όταν μια συνηθισμένη συσκευή μετρήθηκε σε διαφορετικά περιβάλλοντα.
Αν η απορροφητική αρπάγη είναι διακριβωμένη και έχει χρησιμοποιηθεί στο ίδιο περιβάλλον, δεν χρειάζεται να γίνει κάποια διόρθωση.
Όμοια με πριν στον πίνακα 5-4 χρησιμοποιήθηκε η τιμή από το CISPR 16-4-2 [55].
11. Λάθος βήμα συχνότητας: αν ένας αυτοματοποιημένος δέκτης αυξάνει με βήμα μισού εύρους ζώνης, η συνεισφορά στην αβεβαιότητα εξαρτάται από τη μορφή του φίλτρου εύρους ζώνης του δέκτη. Η τιμή του πίνακα 5-4 προήλθε από το φυλλάδιο της Schaffner [49].
12. Αποπροσαρμογή: έστω ένας δέκτης CISPR με VSWR 2:1 (εξασθένηση 0 dB) και μια απορροφητική αρπάγη με VSWR 6:1 – η διάταξη μπορεί να βελτιωθεί και η σχετική αβεβαιότητα να μειωθεί με την εφαρμογή ενός εξασθενητή 6 dB

στην έξοδο της αρπάγης [50].

Το καλώδιο μεταξύ της αρπάγης και του δέκτη υποτίθεται ότι είναι καλώς συνδεδεμένο.

Όπως είδαμε στο φυλλάδιο της Schaffner [49] οι τιμές λόγω της κακής σύνδεσης είναι αυτές που αναγράφονται στον πίνακα 5-4.

13. Επαναληψιμότητα συστήματος: αυτή η συνεισφορά τύπου A προέρχεται από πολλαπλές μετρήσεις με τη χρήση αντιπροσωπευτικού σχεδιασμού και δοκιμίου. Η τιμή του πίνακα 5-4 λήφθηκε από το φυλλάδιο της Schaffner [49].

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Φωτογραφίες του εξοπλισμού EMC του εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του ΕΜΠ



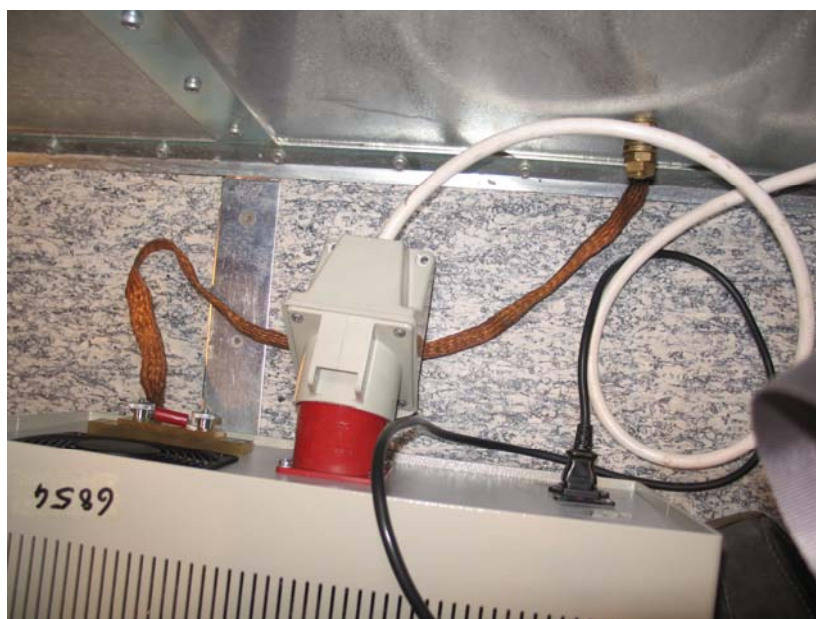
Φωτογραφία 1: Αναλυτής διαταραχών.



Φωτογραφία 2: Μετρητικός δέκτης (receiver).



Φωτογραφία 3: Απορροφητική αρπάγη.



Φωτογραφία 4: Σύνδεση δικτύματος τεχνητού ηλεκτρικού δικτύου με τριφασική παροχή και γείωση.



Φωτογραφία 5: Σύνδεση δικτύματος τεχνητού ηλεκτρικού δικτύου με μονοφασική παροχή.



Φωτογραφία 5: Σύνδεση ομοαξονικού καλωδίου με το δίκτυωμα τεχνητού ηλεκτρικού δικτύου.



Φωτογραφία 6: Σύνδεση ομοαξονικού καλωδίου με τον αναλυτή διαταραχών.

Βιβλιογραφία

- [1] ANSI C63.14-1998, 1998, «Dictionary for Technologies of Electromagnetic Compatibility (EMC), Electromagnetic Pulse (EMP), and Electrostatic Discharge (ESD)»
- [2] Dangelmayer T., «ESD Program Management- A Realistic Approach to Continuous Measurable Improvement in Static Control», Van Noshand Ranhold, New York, 1990.
- [3] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurement techniques - Section 2: Electrostatic discharge immunity test - Basic EMC Publication
- [4] Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment - Part 2: Electrostatic discharge requirements
- [5] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-2: Testing and measurement techniques - Electrostatic discharge immunity test
- [6] A United States Defense Standard, often called a military standard, «MIL-STD», or «MIL-SPEC», is used to help achieve standardization objectives by the U.S. Department of Defense
- [7] Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4: Testing and Measurement Techniques - Electrical Fast Transient/Burst Immunity Test - Basic EMC
- [8] Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4: Testing and Measurement Techniques - Section 5: Surge Immunity Test
- [9] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurement techniques - Section 6: Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields
- [10] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-11: Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests
- [11] Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-12: Testing and Measurement Techniques - Oscillatory Waves Immunity Test
- [12] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-3: Testing and measurement techniques - Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test

- [13] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-8: Testing and measurement techniques - Power frequency magnetic field immunity test
- [14] Μανώλης Ε. Μαθιουλάκης, «Μέτρηση, ποιότητα μέτρησης και αβεβαιότητα», Ελληνική Έκδοση Εργαστηρίων
- [15] Άρθρο του Mike Peschel: Very Low Frequency AC technology: VLF Cable Testing and Answers to Frequently Asked Questions
- [16] Taub/Shilling, «Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
- [17] Γ. Κοκολάκης, Ι. Σπηλιώτης, «Εισαγωγή στη θεωρία πιθανοτήτων και στατιστική», Εκδόσεις Συμεών
- [18] Άρθρο του Δρ. Α. Λευκόπουλου, Διευθυντή τομέα διακρίβωσης & διευθυντή εργαστηρίου θερμοκρασίας της C3T, «Αβεβαιότητα μετρήσεων»
- [19] Guide to the expression of uncertainty in measurement, 1993, International Committee for Weights and Measures, ISO Γενεύη
- [20] IEC 60-2, 1994, Amendment I High Voltage Test Techniques, Part 2: Measuring Systems, Annex H Procedure for estimating uncertainty in high voltage measurements
- [21] Νικόλαος Ι. Θεοδώρου, «Ηλεκτρικές Μετρήσεις, Τεύχος Ι: Κλασσικές μετρήσεις», Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2000
- [22] <http://pliyslab.phvs.uoa.gr> Ιστοσελίδα του εργαστηρίου φυσικής του Τμήματος Φυσικής του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών
- [23] LAB 34, «The Expression of Uncertainty in EMC Testing», Edition 1, United Kingdom Accreditation Service, Αύγουστος 2002
- [24] ISO/IEC 17025, 1999, 2005, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories
- [25] EN 55014-1, 1993, Electromagnetic compatibility Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus, Part 1: Emission
- [26] CISPR 14-1, 2000, Electromagnetic Compatibility-Requirements for Household Appliance, Electric Tools, and Similar Apparatus, Part 1: Emissions
- [27] IEC 60050(161), 1990, International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 161: Electromagnetic compatibility
- [28] ΕΛΟΤ EN 55014-1, Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, Απαιτήσεις για οικιακές συσκευές, ηλεκτρικά εργαλεία και παρόμοιες συσκευές, Μέρος 1: Εκπομπή

- [29] CISPR 16-1, 1993, Specification for radio disturbance and immunity measurement apparatus and methods, Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus
- [30] CISPR 16-2, 1996, Specification for radio disturbance and immunity measurement apparatus and methods, Part 2: Methods of measurement of disturbances and immunity
- [31] Εγχειρίδιο χρήσης της γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων NSG-433, Instruments Schaffner, Publ. 1303E
- [32] Εγχειρίδιο χρήσης της γεννήτριας ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων NSG-438, Instruments Schaffner, Publ. 601-242A
- [33] Calibration laboratory for electrical measurands of Schaffner: Calibration label: 1524/DKD-K-15401/06-01
- [34] Tae-Weon Kang, Yeon-Choon Chung, Sung Ho Won, Hyo-Tae Kim, “On the Uncertainty in the Current Waveform Measurement of an ESD Generator”, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol 42, no. 4, November 2000
- [35] Schaffner: safety for electronic systems Certificate No C040211A
- [36] CISPR 16-4, 2002, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods, Part 4: Uncertainty in EMC measurements
- [37] Εγχειρίδιο χρήσης του δέκτη EMI, Schaffner SMR 4518
- [38] CISPR 16, 1993, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods
- [39] VDE 0876, 2000, Electromagnetic compatibility - Basic emission standard
- [40] Εγχειρίδιο χρήσης του LISN, Schaffner NNB 42
- [41] EN 55014, 2006, Electromagnetic compatibility. Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus
- [42] VDE 0100, Erections of power installations with rated voltages below 1000
- [43] VDE 0550, Regulations for transformers
- [44] 44.VDE 0877 DIN 877, 1986, Inclination measuring instruments (levels)
- [45] CISPR 16-1-3, 1993, Specification for radio disturbance and immunity measurement apparatus and methods, Part 1-3: Ancillary equipment - disturbance power
- [46] Εγχειρίδιο χρήσης της απορροφητικής αρπάγης, Schaffner AMZ 41A

- [47] Εγχειρίδιο χρήσης της διλογαριθμικής κεραίας, Schaffner CBL 6111C
- [48] CISPR/ Subcommittee A, Radio-interference measurements and statistical methods
- [49] The Handy Guide to EMC Measurement Uncertainty, Schaffner
- [50] T. Williams, G. Orford, «Calibration and Use of Artificial Mains Networks and Absorbing Clamps», DTI-NMSPU project FF2.6 Final Report, Schaffner EMC Ltd, 1999
- [51] CISPR 14-1, 1993, Electromagnetic Compatibility - Requirements for Household Appliance, Electric Tools, and Similar Apparatus, Part 1: Emissions
- [52] Πιστοποιητικό διακρίβωσης CA3891 (περιοριστής παλμών)
- [53] Πιστοποιητικό διακρίβωσης CA3884 (LISN)
- [54] Πιστοποιητικό διακρίβωσης CA3881 (δέκτης)
- [55] CISPR 16-4-2, 2003, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods, Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modelling - Uncertainty in EMC measurements
- [56] Πιστοποιητικό διακρίβωσης CA3950 (απορροφητικής αρπάγης)