



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ**

**ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΔΟΚΙΜΕΣ  
ΑΤΡΩΣΙΑΣ ΣΕ ΒΥΘΙΣΕΙΣ, ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ  
ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΔΕΛΗΜΠΑΛΤΑΔΑΚΗ Β. ΦΑΝΗ**

**Επίκουρος Καθηγητής : Ιωάννης Φ. Γκόνος**

**Επιβλέπων : Παναγιώτης Κ. Παπασταμάτης**

Αθήνα, Φεβρουάριος 2017





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ**

**ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΔΟΚΙΜΕΣ  
ΑΤΡΩΣΙΑΣ ΣΕ ΒΥΘΙΣΕΙΣ, ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ  
ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΔΕΛΗΜΠΑΛΤΑΔΑΚΗ Β. ΦΑΝΗ**

**Επίκουρος Καθηγητής : Ιωάννης Φ. Γκόνος**

**Επιβλέπων : Παναγιώτης Κ. Παπασταμάτης**

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 8 Μαρτίου 2017.

.....	.....	.....
Ιωάννης Φ. Γκόνος	Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος	Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2017

.....  
Φανή Β. Δεληπαλατάδακη

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

Copyright ©Δεληπαλατάδακη Β. Φανή, 2016.

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.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τη μελέτη της διεξαγωγής διακρίβωσης του εξοπλισμού δοκιμών για δοκιμές ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας (electromagnetic immunity, EMC) σε βυθίσεις, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης, σύμφωνα με το διεθνές Πρότυπο IEC 61000-4-11. Η παρούσα διπλωματική εργασία δύναται μελλοντικά να αποτελέσει τη βάση για τη συγγραφή μιας τεχνικής οδηγίας για τη διακρίβωση εξοπλισμού δοκιμών σύμφωνα με το παραπάνω Πρότυπο στα πλαίσια της διαπίστευσης του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων κατά ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025.

Πιο αναλυτικά, παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, της ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας, των ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών, χρήσιμοι ορισμοί σχετικά με αυτές τις έννοιες και ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζονται μέρη του εξοπλισμού από τις ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές. Στη συνέχεια, δίνεται ο ορισμός της διακρίβωσης και οι λόγοι που καθιστούν απαραίτητη τη διεξαγωγή της. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι κατηγορίες των διεθνών Προτύπων δίνοντας έμφαση, μέσω επισκόπησης, στα πρότυπα της σειράς IEC 61000-4, πρότυπα στα οποία καθορίζονται λεπτομερώς οι παράμετροι και ο τρόπος διεξαγωγής των δοκιμών ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας.

Ακολούθως, γίνεται μία αναλυτική παρουσίαση του Προτύπου IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004-03) με σκοπό την πλήρη κατανόησή του. Έπειτα, παρουσιάζονται αναλυτικά οι συνδεσμολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση των δοκιμών, οι ρυθμίσεις για τη γεννήτρια και τον παλμογράφο καθώς και τα βήματα για τη διεξαγωγή αυτών των δοκιμών.

Οι δοκιμές για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας διεξήχθησαν στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Ε.Μ.Π..

**Λέξεις κλειδιά:** Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές, ατρωσία, δοκιμές ατρωσίας, ηλεκτρομαγνητική φόρτιση/εκφόρτιση, διακρίβωση, πρότυπα IEC 61000-04, πρότυπο IEC 61000-04-11, οδηγία διακρίβωσης.



## ABSTRACT

This thesis aims to study the calibration process of electromagnetic immunity tests for voltage dips, short interruptions and voltage variations according to the International Standard IEC 61000-4-11. This thesis may provide, in the future, the basis for the writing of a technical directive for the calibration of test equipment according to the standard IEC 61000-4-11 according to the above standard under the accreditation of High Voltage Laboratory ELOT EN ISO / IEC 17025.

Specifically, it presents the definitions of electromagnetic compatibility, electromagnetic immunity and electromagnetic disturbances as well as the way parts of the equipment are affected by electromagnetic disturbances. Furthermore, it clarifies the definition of the calibration and the reasons of its necessity. Additionally the categories of International Standards are analyzed emphasizing on the standards of the IEC 61000-4 series, where the parameters and the test procedure of electromagnetic immunity tests are presented in detail.

Moreover, this thesis focuses on the Standard IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004-03), presenting the test setup, the settings for the generator and the oscilloscope as well as the calibration process.

All tests, conducted in this thesis, took place in the High Voltage Laboratory of NTUA.

**Keywords:** Electromagnetic compatibility, electromagnetic disturbances, immunity, immunity tests, electromagnetic charge / discharge, calibration, standards IEC 61000-04, IEC 61000-04-11, calibration Directive.





# Περιεχόμενα

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ .....</b>	<b>12</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ .....</b>	<b>16</b>
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....</b>	<b>17</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ.....</b>	<b>19</b>
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	19
1.2 ΧΡΗΣΙΜΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ.....	20
1.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ .....	21
1.3.1 Ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές .....	21
1.3.2 Πτυχές ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας .....	23
1.3.3 Τρόποι σύζευξης ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC) .....	23
1.3.4 Αποφυγή διαταραχών στους δέκτες.....	27
1.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	28
1.5 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ – ΔΟΚΙΜΕΣ EMC.....	29
1.6 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΤΡΩΣΙΑ(ELECTROMAGNETIC IMMUNITY).....	31
1.6.1 Ορισμός ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας.....	31
1.6.2 Δοκιμές ατρωσίας.....	31
1.7 ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ.....	33
1.7.1 Η ανάγκη για τυποποίηση.....	33
1.7.2 Κατηγορίες προτύπων .....	34
1.7.3 Ιστορική αναδρομή προτύπων .....	34
1.7.4 Εγκαταστάσεις δοκιμής .....	35
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΤΡΩΣΙΑΣ.....</b>	<b>37</b>
2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ .....	37
2.1.1 Ορισμός διακρίβωσης .....	37
2.1.2 Χαρακτηριστικά διακρίβωσης .....	39
2.1.3 Εύρος διακρίβωσης .....	40
2.1.4 Ακρίβεια και ανοχή διακρίβωσης .....	40
2.1.5 Λόγος ακριβείας .....	41
2.1.6 Ιχνηλασιμότητα .....	41
2.1.7 Αβεβαιότητα μέτρησης.....	42
2.2 ΟΙ ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΤΩΝ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΕΩΝ .....	42
2.3 ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ IEC .....	43
2.3.1 Διεθνή πρότυπα IEC – Σειρά 61000.....	43
2.3.2 Δοκιμές ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας.....	43
2.4 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ IEC 61000.....	45
2.4.1 Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-2 Ed. 2.0 (2008-12).....	45
2.4.2 Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-3 Ed. 2.0 (2005-06).....	48
2.4.3 Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-4 Ed. 2.0 (2004-07).....	49
2.4.4 Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-5 Ed. 2.0 (2005-11).....	50
2.4.5 Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-8 Ed. 2.0 (2009-09).....	52
2.4.6 Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-9 Ed. 1.1 (2001-03).....	53
2.4.7 Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004-03).....	55
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61000-4-11 ED. 2.0 (2004-03).....</b>	<b>57</b>
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	57

3.1.1	Σκοπός του προτύπου	57
3.1.2	Ορισμοί	57
3.1.3	Γενικά	59
3.2	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΛΟΓΩ ΒΥΘΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΠΩΝ ΤΑΣΗΣ	59
3.3	ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΑΣΕΩΣ ΔΟΚΙΜΩΝ	60
3.3.1	Επίπεδα δοκιμών για βυθίσεις και σύντομες διακοπές τάσης	60
3.3.2	Επίπεδα δοκιμών για διακυμάνσεις τάσης	63
3.4	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΚΛΑΣΕΙΣ	64
3.5	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ	65
3.5.1	Γεννήτρια δοκιμών	65
3.5.1.1	Χαρακτηριστικά και επίδοση γεννήτριας	65
3.5.1.2	Επαλήθευση των χαρακτηριστικών βύθισης τάσης και σύντομων διακοπών της γεννήτριας	66
3.5.2	Πηγή τροφοδοσίας	68
3.6	ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΟΚΙΜΩΝ	68
3.7	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΩΝ	71
3.7.1	Προπαρασκευαστική διαδικασία	71
3.7.2	Εργαστηριακές συνθήκες	71
3.7.2.1	Κλιματολογικές συνθήκες	71
3.7.2.2	Συνθήκες ηλεκτρομαγνητισμού	71
3.8	ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	72
3.8.1	Βυθίσεις και διακοπές τάσης	72
3.8.2	Διακυμάνσεις τάσης	72
3.8.3	Κατηγοριοποίηση Αποτελεσμάτων Δοκιμής	72
3.9	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΔΟΚΙΜΗΣ	73
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61000-4-11</b>		<b>75</b>
4.1	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	75
4.2	ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ	75
4.2.1	Συνδεσμολογία γεννήτριας χωρίς φορτίο	75
4.2.2	Συνδεσμολογία γεννήτριας με αντίσταση 100Ω	76
4.2.3	Σύνδεση της γεννήτριας με την τροφοδοσία	77
4.2.4	Συνδεσμολογία για τη διακρίβωση του συγχρονισμού βύθισης	78
4.2.5	Συνδεσμολογία για τη διακρίβωση του ρεύματος εισροής (inrush current)	78
4.3	ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΤΩΝ	80
4.4	ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	80
4.4.1	Η γεννήτρια	80
4.4.2	Ενεργοποίηση/απενεργοποίηση	81
4.4.3	Ρυθμίσεις βύθιση/διακοπής τάσης	81
4.4.4	Έναρξη και τερματισμός δοκιμής	83
4.5	ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΥ	83
4.5.1	Ο παλμογράφος	83
4.5.2	Σύνδεση καναλιών	85
4.5.3	Ρυθμίσεις καναλιών	85
4.5.3.1	Προσθήκη/αφαίρεση μετρήσεων μεγέθους	85
4.5.3.2	Coupling, Termination και Probe set up (attenuation)	85
4.5.3.3	Ανάλυση κυματομορφών	87
4.5.4	Εμφάνιση και ρύθμιση των κερσόρων	87
4.5.5	Ρυθμίσεις εξωτερικού σκανδακλισμού (external trigger)	87
4.5.6	Αποθήκευση της απεικόνισης του παλμογράφου	88
4.5.7	Αποθήκευση ρυθμίσεων παλμογράφου	89
4.6	ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ/ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	89
4.6.1	Ένεργοποίηση εξοπλισμού	89

4.6.2	Απενεργοποίηση εξοπλισμού .....	89
4.7	ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΕΩΝ .....	90
4.7.1	Γενικές ρυθμίσεις .....	90
4.7.2	Διακρίβωση βύθισης χωρίς φορτίο .....	90
4.7.3	Διακρίβωση βύθισης με φορτίο .....	92
4.7.4	Διακρίβωση χρόνων ανόδου / καθόδου τάσης για δίκτυο 230 V/ 50 Hz .....	93
4.7.5	Διακρίβωση συγχρονισμού βύθισης .....	96
4.7.6	Διακρίβωση Overshoot / Undershoot.....	100
4.7.7	Διακρίβωση βύθισης για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο της μιας περιόδου .....	103
4.7.8	Διακρίβωση ρεύματος εισροής .....	105
4.7.9	Διακρίβωση διακυμάνσεων τάσης .....	107
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ Η ΕΠΟΜΕΝΗ ΜΕΡΑ.....</b>		<b>111</b>
5.1	ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	111
5.2	ΘΕΜΑΤΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61000-4-11	111
5.2.1	Μετρήσεις υπό ονομαστικό φορτίο .....	111
5.2.2	Δοκιμή για τη μέτρηση του μεγίστου ρεύματος εισροής.....	112
5.2.3	Δοκιμή μέτρησης του Overshoot/Undershoot.....	113
5.2.4	Δοκιμές βύθισης σε χρονικό διάστημα μεγαλύτερο της μιας περιόδου .....	115
5.3	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	115
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>		<b>117</b>

## Περιεχόμενα Εικόνων

<b>ΣΧΗΜΑ 1- 1 :</b> ΠΗΓΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ ΧΩΡΙΣΜΕΝΑ ΣΕ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΑ ΑΙΤΙΑ.....	22
<b>ΣΧΗΜΑ 1- 2 :</b> ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ ΕΝΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ EMC ΣΥΖΕΥΞΗΣ. ....	23
<b>ΣΧΗΜΑ 1- 3 :</b> ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ. ....	24
<b>ΣΧΗΜΑ 1- 4 :</b> ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ ΜΕΣΩ ΑΓΩΓΩΝ. ....	24
<b>ΣΧΗΜΑ 1- 5 :</b> ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΚΟΙΝΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΣΥΖΕΥΞΗΣ ΜΕΣΩ ΑΓΩΓΟΥ. ....	25
<b>ΣΧΗΜΑ 1- 6 :</b> ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΣΥΖΕΥΞΗΣ ΜΕΣΩ ΑΓΩΓΟΥ. ....	25
<b>ΣΧΗΜΑ 1- 7 :</b> ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ. ....	26
<b>ΣΧΗΜΑ 1- 8 :</b> ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΕΣ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΜΕΤΑΞΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ. ....	26
<b>ΣΧΗΜΑ 1- 9 :</b> ΠΤΥΧΕΣ EMC: (Α) ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ (ESD), (Β) ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΠΑΛΜΟΣ (EMP), (C) ΚΕΡΑΥΝΟΣ, (D) TEMPEST(ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ) [1]. ....	28
<b>ΣΧΗΜΑ 1- 10 :</b> ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ[11]. ....	30
<b>ΣΧΗΜΑ 1- 11 :</b> ΚΥΚΛΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ EMC [2].....	32
<b>ΣΧΗΜΑ 2- 1 :</b> ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΕΥΡΟΥΣ.....	37
<b>ΣΧΗΜΑ 2- 2 :</b> ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΥ. ....	37
<b>ΣΧΗΜΑ 2- 3 :</b> ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΚΑΙ ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΥ.....	38
<b>ΣΧΗΜΑ 2- 4 :</b> ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗΣ.....	38
<b>ΣΧΗΜΑ 2- 5 :</b> ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΡΥΘΜΟ ΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΙΜΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ / ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΑΥΘΑΙΡΕΤΑ ΟΡΙΑ ΑΝΟΧΗΣ[38]. ....	39
<b>ΣΧΗΜΑ 2- 6 :</b> ΠΥΡΑΜΙΔΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	41
<b>ΣΧΗΜΑ 2- 7 :</b> ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΛΟΓΩ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΩΝ [47]. ....	45
<b>ΣΧΗΜΑ 2- 8 :</b> Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΡΙΑ ΕΙΔΗ ΔΑΠΕΔΟΥ.....	46
<b>ΣΧΗΜΑ 2- 9 :</b> ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΕΠΙΔΑΠΕΔΙΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ [15].....	47
<b>ΣΧΗΜΑ 2- 10 :</b> ΧΩΡΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΟΠΩΣ ΚΑΘΟΡΙΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61000-4-2 [49]. ....	47
<b>ΣΧΗΜΑ 2- 11 :</b> ΟΙ ΤΑΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ ΠΟΥ ΟΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΑΝΤΕΧΟΥΝ ΓΙΑ ΝΑ ΥΠΑΚΟΥΟΥΝ ΣΤΟ IEC 61000-4-2 [49]. ....	48
<b>ΣΧΗΜΑ 2- 12 :</b> ΤΥΠΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΣΕ ΚΛΩΒΟ FARADAY. ΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΚΤΕΛΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΔΥΟ ΣΤΑΔΙΑ. Α) ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΔΟΣΜΕΝΟ ΕΥΡΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ, ΧΩΡΙΣ ΔΟΚΙΜΙΟ. Β) ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΗΣ ΑΤΡΩΣΙΑΣ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ.....	49
<b>ΣΧΗΜΑ 2- 13 :</b> ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ ΑΤΡΩΣΙΑΣ EFT/B [18]. ....	50
<b>ΣΧΗΜΑ 2- 14 :</b> ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΑΣΗΣ, ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ, ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΑΠΟ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ [53]. ....	51
<b>ΣΧΗΜΑ 2- 15 :</b> ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΟΚΙΜΩΝ ΓΙΑ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΟ ΚΑΙ ΕΠΙΔΑΠΕΔΙΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΜΕ ΤΙΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ [55].....	53
<b>ΣΧΗΜΑ 2- 16 :</b> ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΟ ΚΑΙ ΕΠΙΔΑΠΕΔΙΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ [26]. ....	54
<b>ΣΧΗΜΑ 3- 1 :</b> ΒΥΘΙΣΗ ΤΑΣΗΣ 40% ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 20 MS. Η ΒΥΘΙΣΗ ΞΕΚΙΝΗΣΕ ΚΑΙ ΤΕΛΕΙΩΣΕ ΣΕ ΣΗΜΕΙΑ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΜΗΔΕΝ (ΟΠΩΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ IEC 61000-4-11), ΟΜΩΣ ΣΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΙ ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΓΙΝΟΥΝ ΣΕ ΟΠΟΙΕΣΔΗΠΟΤΕ ΓΩΝΙΕΣ ΦΑΣΕΩΣ [29]. ....	58
<b>ΣΧΗΜΑ 3- 2 :</b> ΣΥΝΤΟΜΗ ΔΙΑΚΟΠΗ ΤΑΣΗΣ 60 MS. Η ΔΙΑΚΟΠΗ ΞΕΚΙΝΗΣΕ ΚΑΙ ΤΕΛΕΙΩΣΕ ΣΕ ΣΗΜΕΙΑ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΜΗΔΕΝ (ΟΠΩΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ IEC 61000-	

4-11), ΟΜΩΣ ΣΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΙ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΓΙΝΟΥΝ ΣΕ ΟΠΟΙΕΣΔΗΠΟΤΕ ΓΩΝΙΕΣ ΦΑΣΕΩΣ [29].	58
<b>ΣΧΗΜΑ 3- 3 :</b> ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕ ΤΑΣΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ 3.3 V ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΒΥΘΙΣΕΩΣ ΤΑΣΗΣ [59,60].	60
<b>ΣΧΗΜΑ 3- 4 :</b> ΓΡΑΦΗΜΑ ΗΜΙΤΟΝΟΕΙΔΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ 70% ΓΙΑ 25 ΚΥΚΛΟΥΣ [29].	61
<b>ΣΧΗΜΑ 3- 5 :</b> ΓΡΑΦΗΜΑ R.M.S. ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ 40% [29].	62
<b>ΣΧΗΜΑ 3- 6 :</b> ΣΥΝΤΟΜΗ ΔΙΑΚΟΠΗ ΤΑΣΗΣ [29].	63
<b>ΣΧΗΜΑ 3- 7 :</b> ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΑΣΗΣ [29].	64
<b>ΣΧΗΜΑ 3 - 8 :</b> ΚΥΚΛΩΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ ΓΙΑ ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ[29].	67
<b>ΣΧΗΜΑ 3- 9 :</b> ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΤΑΣΗΣ [59].	69
<b>ΣΧΗΜΑ 3 - 10 :</b> ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ [59].	69
<b>ΣΧΗΜΑ 3 - 11 :</b> ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ, ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ [29].	70
<b>ΣΧΗΜΑ 3- 12 :</b> ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΤΡΙΦΑΣΙΚΕΣ ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ, ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗ [29].	70
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 1 :</b> ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ.	75
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 2 :</b> ΑΜΠΕΡΟΤΣΙΜΠΙΔΑ PEARSON 2MVA.	76
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 3 :</b> ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ 100Ω.	76
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 4 :</b> ΚΑΛΩΔΙΟ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ.	77
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 5 :</b> ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ, ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΤΗ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΧΕΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.	77
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 6 :</b> ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΤΗ ΣΤΟ ΠΙΣΩ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.	78
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 7 :</b> ΔΙΚΤΥΩΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ (VERIFICATION KIT DIPS).	79
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 8 :</b> ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ.	79
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 9 :</b> ΟΙ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΤΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΗΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ.	80
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 10 :</b> ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ TRANSIENT 3000, EMC-PARTNER.	81
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 11 :</b> ΤΟ ΠΙΣΩ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ TRANSIENT 3000, EMC-PARTNER.	81
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 12 :</b> ΑΡΧΙΚΟ ΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΟΘΟΝΗΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.	81
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 13 :</b> ΜΕΝΟΥ ΒΥΘΙΣΕΩΝ ΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.	82
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 14 :</b> ΜΕΝΟΥ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΕΝΑΡΞΗΣ ΚΑΙ ΛΗΞΗΣ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ.	82
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 15 :</b> ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΣ MDO 3054 TEKTRONIX.	83
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 16 :</b> ΠΛΗΚΤΡΟΛΟΓΙΟ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΥ MDO 3054 TEKTRONIX.	84
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 17 :</b> ΜΕΝΟΥ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΤΟΥ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΥ.	86
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 18 :</b> ΜΕΝΟΥ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ.	86
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 19 :</b> ΜΕΝΟΥ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΣΚΑΝΔΑΛΙΣΜΟ (TRIGGER).	88
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 20 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 100% ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ.	91
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 21 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 80% ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ.	91
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 22 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 70% ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ.	91
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 23 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 40% ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ.	91
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 24 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 100% ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ.	93
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 25 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 80% ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ.	93
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 26 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 70% ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ.	93
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 27 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 40% ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ.	93

<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 28 :</b> ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 90°.	94
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 29 :</b> ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 80% ΣΤΙΣ 90°.	94
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 30 :</b> ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 70% ΣΤΙΣ 90°.	95
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 31 :</b> ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 40% ΣΤΙΣ 90°.	95
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 32 :</b> ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 0% ΣΤΙΣ 90°.	95
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 33 :</b> ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 270°.	95
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 34 :</b> ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 80% ΣΤΙΣ 270°.	95
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 35 :</b> ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 70% ΣΤΙΣ 270°.	95
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 36 :</b> ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 40% ΣΤΙΣ 270°.	95
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 37 :</b> ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 0% ΣΤΙΣ 270°.	95
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 38 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 0% ΣΤΙΣ 0°.	99
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 39 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 45°.	99
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 40 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 0% ΣΤΙΣ 45°.	99
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 41 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 90°.	99
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 42 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 0% ΣΤΙΣ 180°.	99
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 43 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 225°.	99
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 44 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 0% ΣΤΙΣ 270°.	99
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 45 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 315°.	99
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 46 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 40% ΣΤΙΣ 90°.	100
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 47 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 40% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 90°.	100
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 48 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 40% ΣΤΙΣ 270°.	100
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 49 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 40% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 270°.	100
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 50 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 90°.	102
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 51 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 270°.	102
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 52 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 0% ΣΤΙΣ 90°.	102
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 53 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 0% ΣΤΙΣ 270°.	102
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 54 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 80% ΣΤΙΣ 270°.	103
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 55 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 80% ΣΤΙΣ 270°.	103
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 56 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 70% ΣΤΙΣ 90°.	103
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 57 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 70% ΣΤΙΣ 270°.	103
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 58 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 40% ΣΤΙΣ 90°.	103
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 59 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 40% ΣΤΙΣ 270°.	103
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 60 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ 25 ΚΥΚΛΟΥΣ.	105
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 61 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ 250 ΚΥΚΛΟΥΣ.	105
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 62 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ ΜΕ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ ΣΤΙΣ 90° ΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100%.	107
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 63 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ ΜΕ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ ΣΤΙΣ 270° ΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100%.	107
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 64 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ ΣΤΙΣ 90° ΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100%.	107

<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 65 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ ΣΤΙΣ 270° ΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100%.....	107
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 66 :</b> ΑΡΧΙΚΟ ΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΟΘΟΝΗΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.....	108
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 67 :</b> ΜΕΝΟΥ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΩΝ ΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.....	108
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 68 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟ 70%.....	109
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4- 69 :</b> ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟ 0%.....	109
<b>ΕΙΚΟΝΑ 5- 1 :</b> ΠΑΡΑΓΡΑΦΟΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61000-4-11 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ ΤΗΣ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ [29].....	111
<b>ΕΙΚΟΝΑ 5- 2 :</b> ΠΑΡΑΓΡΑΦΟΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61000-4-11 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ [29].....	112
<b>ΕΙΚΟΝΑ 5- 3 :</b> ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΜΠΕΡΟΤΣΙΜΠΙΔΑΣ.....	113
<b>ΕΙΚΟΝΑ 5- 4 :</b> ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ.....	113
<b>ΕΙΚΟΝΑ 5- 5 :</b> ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ OVERSHOOT.....	114

## Περιεχόμενα Πινάκων

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3- 1 :</b> ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΚΑΙ ΔΙΑΡΚΕΙΕΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΤΑΣΕΩΣ[29]. .....	61
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3- 2 :</b> ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΚΑΙ ΔΙΑΡΚΕΙΕΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΓΙΑ ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΤΑΣΗΣ [29]. .....	62
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3- 3 :</b> ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΩΝ ΤΑΣΗΣ ΒΡΑΧΕΙΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ [29]. .....	64
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3- 4 :</b> ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ [29]. .....	66
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4- 1 :</b> ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΤΙΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ TRIGGER ΤΟΥ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΥ. ....	94
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4- 2 :</b> ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΕ TRIGGER SLOPE $\setminus$ .....	97
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4- 3 :</b> ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΕ TRIGGER SLOPE $\swarrow$ .....	98
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4- 4 :</b> ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΤΟΥ OVERSHOOT/UNDERSHOOT. ....	102
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 5- 1 :</b> ΔΟΚΙΜΕΣ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΠΟΥ ΔΙΑΡΚΟΥΝ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΤΗΣ ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ. ....	115



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2016-2017 στον τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αντικείμενο της εργασίας είναι η συγγραφή της οδηγίας διεξαγωγής της διακρίβωσης του εξοπλισμού δοκιμών σύμφωνα με το Πρότυπο IEC/ΕΛΟΤ EN-61000-4-11:2004.

Αναλυτικά, η διπλωματική εργασία περιλαμβάνει τα παρακάτω κεφάλαια :

Στο **Κεφάλαιο 1** παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, της ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας και των ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών και χρήσιμοι ορισμοί σχετικά με αυτές τις έννοιες. Περιγράφονται αναλυτικά οι πηγές των συγκεκριμένων διαταραχών, τα μέρη του εξοπλισμού που είναι ευαίσθητα σε αυτές καθώς και οι πιθανές συνέπειες στον τρόπο λειτουργίας του εκάστοτε εξοπλισμού. Τέλος, παρουσιάζεται η ανάγκη για τυποποίηση και πως αυτή δημιουργήθηκε μέσα από μία ιστορική αναδρομή.

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζεται η έννοια της διακρίβωσης, η διαδικασία διεξαγωγής τα μεγέθη που τη χαρακτηρίζουν και ποιοι έχουν την δυνατότητα να την διεξάγουν. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι κατηγορίες των διεθνών Προτύπων δίνοντας έμφαση στα Πρότυπα της σειράς IEC 61000-4, τα οποία πραγματεύονται τις απαιτούμενες δοκιμές ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας. Τέλος, γίνεται μία επισκόπηση των πιο βασικών Προτύπων που ανήκουν σε αυτή τη σειρά.

Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται μία αναλυτική παρουσίαση του Προτύπου IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004-03) με σκοπό την πλήρη κατανόησή του. Έπειτα παρουσιάζεται ο εργαστηριακός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την υλοποίηση της διακρίβωσης του συγκεκριμένου προτύπου και η προτεινόμενη συνδεσμολογία του, έτσι όπως περιγράφεται στο Πρότυπο IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004-03).

Στο **Κεφάλαιο 4** δίνονται αναλυτικά οι απαραίτητες ρυθμίσεις για τη γεννήτρια και τον παλμογράφο. Παρουσιάζονται οι συνδεσμολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της διακρίβωσης σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004-03) που αφορά δοκιμές και τεχνικές μέτρησης σε δοκιμές ατρωσίας σε βυθίσεις, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης, το οποίο περιγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 3. Τέλος, περιλαμβάνονται αναλυτικά τα βήματα για τη διεξαγωγή αυτής της διακρίβωσης και παρουσιάζονται φωτογραφίες τόσο της πειραματικής διάταξης όσο και των αναμενόμενων κυματομορφών.

Στο **Κεφάλαιο 5** γίνεται μία ανακεφαλαίωση της διπλωματικής εργασίας και συνοψίζονται τα συμπεράσματα και τα προβλήματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής των πειραμάτων.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω για τη συμπαράσταση και την ανεκτίμητη βοήθειά τους, όλους όσους με στήριξαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ιδιαίτερα :

Τον κ. Ιωάννη Φ. Γκόνο, διδάκτορα μηχανικό και επίκουρο καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για τη συνεργασία, την καθοδήγηση, τη βοήθεια που πρόθυμα μου παρείχε καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Τον κ. Παναγιώτη Κ. Παπασταμάτη, υποψήφιο διδάκτορα και μηχανικό του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για τη συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξη κατά τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας με ουσιαστική και αμφίδρομη επικοινωνία μέσα από ένα φιλικό κλίμα συνεργασίας που δημιουργήθηκε.

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

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

*Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα* (Electromagnetic Compatibility, EMC) ορίζεται η ικανότητα μιας ηλεκτρικής ή ηλεκτρονικής διάταξης, συσκευής ή ενός συστήματος να λειτουργεί ικανοποιητικά στο ηλεκτρομαγνητικό της περιβάλλον χωρίς να προκαλεί μη αποδεκτές ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές στο γειτονικό εξοπλισμό. Η διαδεδομένη χρήση των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων σχεδόν σε όλους τους τομείς της τεχνολογίας καθιστά αναγκαίο, αρκετά κυκλώματα να λειτουργούν σε συνεργασία με άλλα κυκλώματα, προκαλώντας συχνά αρνητικά και ανεπιθύμητα φαινόμενα. Οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές αποτελούν το σημαντικότερο πρόβλημα κατά τον σχεδιασμό κυκλωμάτων. *Ηλεκτρομαγνητική Παρεμβολή* (Electromagnetic Interference, EMI) είναι κάθε ηλεκτρομαγνητικό φαινόμενο που ενδέχεται να υποβαθμίσει την επίδοση μιας διάταξης, μιας συσκευής ή να επιδράσει δυσμενώς σε ζώσα ή αδρανή ύλη. Μια ηλεκτρομαγνητική διαταραχή μπορεί να είναι ένας ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος, ένα ανεπιθύμητο σήμα ή μια μεταβολή στο ίδιο μέσο διάδοσης.

Με την πάροδο των χρόνων, δημιουργείται η ανάγκη μείωσης του μεγέθους των κυκλωμάτων με αποτέλεσμα την αύξηση της πολυπλοκότητάς τους και του αριθμού των ηλεκτρονικών συσκευών που λειτουργούν ταυτόχρονα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης του φαινομένου των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών. Έτσι, κάθε ηλεκτροτεχνικός εξοπλισμός μπορεί να γίνει είτε δέκτης είτε πηγή ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, με αποτέλεσμα να μην λειτουργεί σωστά ο ίδιος ή ακόμα και να προκαλεί δυσλειτουργίες στο γειτονικό εξοπλισμό. Για όλους αυτούς τους λόγους, η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα είναι πολύ σημαντική, αφού πρακτικά σχετίζεται με όποιον εξοπλισμό τροφοδοτείται ηλεκτρικά. Κάθε σύστημα οφείλει να τηρεί συγκεκριμένα όρια ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, που καθορίζονται από εθνικά και διεθνή πρότυπα, τα οποία νομοθετούν τα όρια εκπομπής και ανοχής των συσκευών και των εξοπλισμών όσον αφορά τις ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές, όπως επίσης και για τη συνύπαρξη αυτών. Η συμμόρφωση με αυτά τα όρια μπορεί να καταδειχθεί κάνοντας ένα αριθμό μετρήσεων κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

Για όλα τα είδη ηλεκτροτεχνικού εξοπλισμού, η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη από το αρχικό στάδιο σχεδίασης μέχρι την τελική κατασκευή και εγκατάσταση. Αυτό σημαίνει ότι όλοι όσοι εμπλέκονται στην κατασκευή ενός τέτοιου εξοπλισμού πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους τα αντίστοιχα πρότυπα της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, βάσει των οποίων επιτυγχάνεται η συνύπαρξη των ευαίσθητων συσκευών στις ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές με τον εξοπλισμό που εκπέμπει τέτοιες διαταραχές. Για την πλήρη μελέτη ενός προβλήματος ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας χρειάζεται να συμπεριληφθούν τρεις συνιστώσες [1,2] :

- Η γεννήτρια - πηγή των διαταραχών
- Το μέσο διάδοσης των διαταραχών

- Η συσκευή - δέκτης που θα επηρεαστεί από αυτές

Για πρακτικούς λόγους θεωρείται ότι οι παραπάνω συνιστώσες είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. 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. Για αυτό το λόγο, οι σύγχρονοι σχεδιαστές οφείλουν να συνυπολογίσουν τις διαφορετικές παραμέτρους πέραν της αναγκαίας λειτουργίας του εξοπλισμού σε ιδανικές συνθήκες εργαστηρίου. Ο εξοπλισμός πρέπει να είναι “σχεδιασμένος” ώστε να λειτουργεί σε πραγματικές συνθήκες, εκεί όπου θα βρίσκεται σε κοντινή απόσταση με άλλες συσκευές και να συμβαδίζει με τους κανονισμούς περί ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Αυτό σημαίνει ότι ο εξοπλισμός πρέπει να είναι ένα ηλεκτρομαγνητικά συμβατό σύστημα.

Ένα σύστημα είναι *ηλεκτρομαγνητικά συμβατό* (Electromagnetically compatible system) με το περιβάλλον του, εάν δεν προκαλεί παρεμβολές σε κάποιο άλλο σύστημα, δεν είναι ευαίσθητο στις εκπομπές άλλων συστημάτων και δεν προκαλεί παρεμβολές με τον εαυτό του [3].

## 1.2 ΧΡΗΣΙΜΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα αποτελεί ένα πεδίο μελέτης του τρόπου εφαρμογής της βασικής φυσικής σε σύνθετα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα, με σκοπό την εξέταση της δυνατότητας αυτών να συνυπάρχουν αρμονικά. Εάν επιτυγχάνεται αυτό, τότε τα συστήματα θεωρείται ότι εκτελούν τις λειτουργίες τους με ικανοποιητικό τρόπο και ονομάζονται *ηλεκτρομαγνητικά συμβατά* με το περιβάλλον τους [1]. Για την καλύτερη κατανόηση της έννοιας της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας παρακάτω δίνονται κάποιοι χρήσιμοι ορισμοί [4,5,6,7].

- *Ηλεκτρομαγνητική διαταραχή (Electromagnetic Interference)* είναι κάθε ηλεκτρομαγνητικό φαινόμενο που μπορεί είτε να προκαλέσει μείωση της απόδοσης μιας διάταξης, συσκευής ή συστήματος, είτε να επιδράσει δυσμενώς σε αδρανή ή ζωτική ύλη. Μια ηλεκτρομαγνητική διαταραχή μπορεί να είναι θόρυβος ηλεκτρομαγνητικής προέλευσης, ένα ανεπιθύμητο σήμα ή μία μεταβολή του ίδιου του μέσου διάδοσης.
- *Ηλεκτρομαγνητική ευαισθησία (Electromagnetic susceptibility)* είναι η αδυναμία μιας διάταξης, συσκευής ή συστήματος να λειτουργεί χωρίς αλλοίωση της ποιότητάς της σε συνθήκες παρουσίας ηλεκτρομαγνητικής διαταραχής, δηλαδή η έλλειψη ατρωσίας.
- *Ατρωσία (Immunity)* είναι η ικανότητα μιας συσκευής να λειτουργεί ικανοποιητικά ως προς τα κριτήρια επίδοσης που προδιαγράφονται για τη συσκευή, παρά την ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικής διαταραχής.
- *Ηλεκτρομαγνητικό Επίπεδο Συμβατότητας (Electromagnetic Compatibility Level)* είναι το διευκρινισμένο μέγιστο επίπεδο διαταραχής στο οποίο ενδέχεται να υποβληθεί μια συσκευή, ένας εξοπλισμός ή ένα σύστημα που λειτουργεί σε συγκεκριμένες συνθήκες. Στην πράξη, το ηλεκτρομαγνητικό επίπεδο

συμβατότητας δεν προσεγγίζει τις μέγιστες δυνατές τιμές, αλλά τείνει να το ξεπεράσει κατά μία μικρή πιθανότητα.

- *Περιθώριο Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας (Electromagnetic Compatibility Margin)* είναι ο λόγος της στάθμης ατρωσίας μιας διάταξης συσκευής ή συστήματος ως προς μία στάθμη διαταραχής αναφοράς.
- *Επίπεδο Ατρωσίας (Immunity level)* είναι το ανώτατο επίπεδο μίας δεδομένης ηλεκτρομαγνητικής διαταραχής που συμβαίνει σε μία συγκεκριμένη διάταξη, συσκευή ή σύστημα για την οποία αυτό παραμένει ικανό να λειτουργήσει στον απαιτούμενο βαθμό απόδοσης.
- *Όριο Ατρωσίας (Immunity Limit)* είναι το καθορισμένο επίπεδο ατρωσίας.
- *Περιθώριο Ατρωσίας (Immunity Margin)* είναι η διαφορά μεταξύ του ορίου ατρωσίας μιας διάταξης συσκευής ή συστήματος και της στάθμης ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας.
- *Επίπεδο διαταραχής (Interference Level)* είναι το επίπεδο ηλεκτρομαγνητικής διαταραχής μιας δοσμένης μορφής, μετρημένο σε συγκεκριμένες συνθήκες.
- *Όριο διαταραχής (Interference Limit)* είναι το μέγιστο επιτρεπτό ηλεκτρομαγνητικό επίπεδο διαταραχής, μετρημένο σε συγκεκριμένες συνθήκες.

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

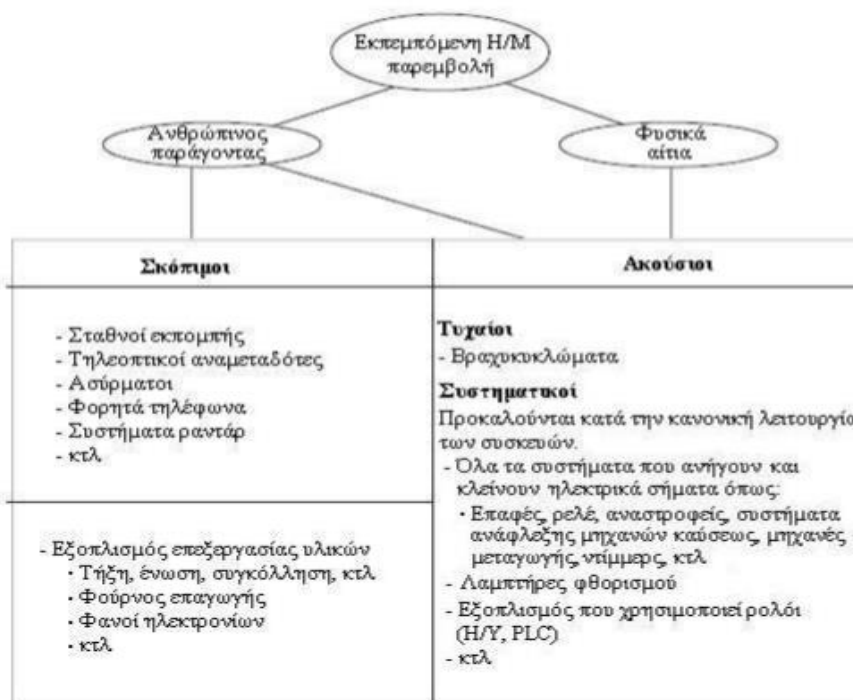
## 1.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ

### 1.3.1 Ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές

Οι ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές οφείλονται κατά κύριο λόγο στη διανομή ηλεκτρικής ισχύος, στα ραδιοκύματα, στην ηλεκτροστατική εκφόρτιση και στους κεραυνούς. Κατά τη 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 κ.λ.π., παράγουν πολύ υψηλές τάσεις (μέχρι αρκετά kV) που περιέχουν υψηλής συχνότητας αρμονικές συνιστώσες (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 [3].

Τα ραδιοκύματα που εκπέμπονται από συστήματα μακρινού ελέγχου, τηλεχειριστήρια, ραδιοεπικοινωνίες, τηλεοπτικές συσκευές, τα walkie-talkies κ.λ.π.,

αποτελούν πηγές διαταραχών της τάξης αρκετών V/m. Όλοι αυτοί οι εκπομποί διαταραχής χρησιμοποιούνται σήμερα όλο και περισσότερο και κατά συνέπεια 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. Οποιαδήποτε συσκευή ή φυσικό - ηλεκτρικό φαινόμενο εκπέμπει μια ηλεκτρομαγνητική διαταραχή, είτε μέσω αγωγού είτε μέσω ακτινοβολίας, καλείται πηγή (source). Στο Σχήμα 1-1 βλέπουμε τις πηγές εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών, που οφείλονται σε ανθρώπινο παράγοντα και σε φυσικά αίτια.



**ΣΧΗΜΑ 1- 1 :** ΠΗΓΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ ΧΩΡΙΣΜΕΝΑ ΣΕ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΑ ΑΙΤΙΑ.

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:

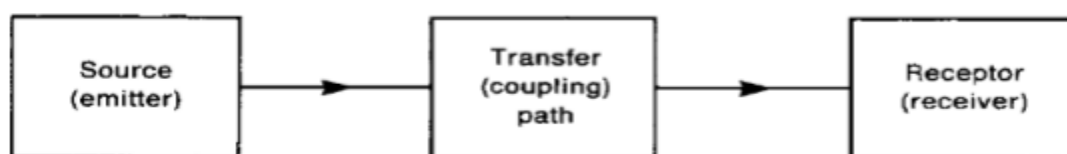
- Οριοθέτηση των διαταραχών που παράγονται (π.χ. σε έναν αγωγό, εγκαθιστώντας μια βαθμίδα RC, που καταστέλλει παρεμβολές, παράλληλα στο AC πηνίο, ή μια δίοδο στο DC πηνίο).
- Αποφυγή ενδοσυζεύξεων (δηλαδή φυσικών διαχωρισμών μεταξύ δύο ασύμβατων στοιχείων).
- Μεγιστοποίηση της ανθεκτικότητας πιθανών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

Οι πηγές των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών έχουν τη χρησιμότητα τους, κάθεμια για το σκοπό που εξυπηρετεί, όπως για παράδειγμα οι ραδιοπομποί. Γενικά

διακρίνονται με βάση τα χαρακτηριστικά των διαταραχών που παράγουν. Αυτά είναι το φάσμα, η κυματομορφή, το πλάτος και η ενέργεια. Το φάσμα ορίζεται ως η περιοχή της συχνότητας που καλύπτει μία διαταραχή. Αυτή μπορεί να κυμαίνεται από μικρό εύρος, όπως στην περίπτωση των κινητών τηλεφώνων, έως πολύ μεγάλο, όπως στα ηλεκτρικά τόξα κλιβάνων [8]. Όσον αφορά την κυματομορφή χαρακτηρίζεται από το χρόνο ανόδου, χρόνο καθόδου και την περιβάλλουσα του φάσματος. Τέλος, το πλάτος λαμβάνει όλο το εύρος τιμών του φάσματος.

### 1.3.2 Πτυχές ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας

Τις βασικές πτυχές της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας αποτελούν η παραγωγή, η μετάδοση και η λήψη ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Αυτές οι τρεις πτυχές του EMC προβλήματος, που παρουσιάζονται στο Σχήμα 1-2, αποτελούν και τη βάση για κάθε σχεδιασμό EMC. Η πηγή δημιουργεί την εκπομπή, η οποία μέσω ενός μονοπατιού σύζευξης ή μετάδοσης μεταφέρεται σε ένα δέκτη, ο οποίος επεξεργάζεται την ενέργεια και την οδηγεί σε επιθυμητή ή μη συμπεριφορά. Παρεμβολές εμφανίζονται εάν η ενέργεια που λαμβάνεται προκαλεί στο δέκτη μη επιθυμητή συμπεριφορά [1].



ΣΧΗΜΑ 1- 2 : ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ ΕΝΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ EMC ΣΥΖΕΥΞΗΣ.

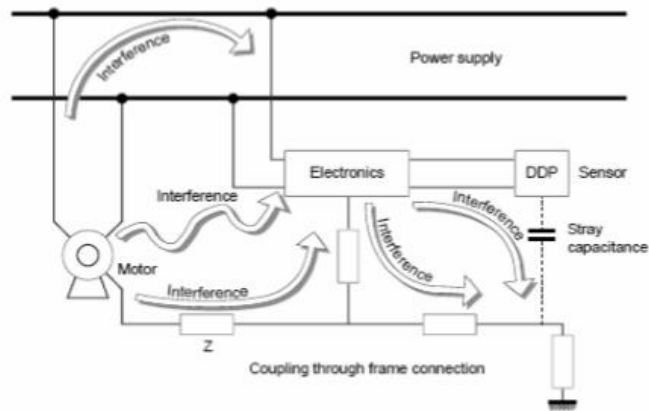
Μία πηγή ή ένας δέκτης μπορεί να λειτουργεί με δύο μοντέλα : το εκούσιο και το ακούσιο. Έχει τη δυνατότητα να συμπεριφέρεται και με τα δύο μοντέλα και εξαρτάται τόσο από το μονοπάτι σύζευξης όσο και από την πηγή ή το δέκτη. Συνήθως η μεταφορά της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας γίνεται μέσω ακούσιων μονοπατιών σύζευξης. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι η ακούσια μεταφορά ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας θα προκαλέσει παρεμβολή. Σημαντικός παράγοντας στην εμφάνιση παρεμβολής είναι η επεξεργασία της ληφθείσας ενέργειας από το δέκτη. Οι παρεμβολές μπορούν να αποφευχθούν με τρεις τρόπους :

- Περιορισμό των εκπομπών στο σημείο της πηγής
- Το μονοπάτι σύζευξης να γίνει όσον το δυνατό μη αποτελεσματικό
- Ο δέκτης να γίνει λιγότερο ευαίσθητος στις εκπομπές

### 1.3.3 Τρόποι σύζευξης ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC)

Ο όρος σύζευξη αναφέρεται στη σύνδεση, τη μεταφορά ή τη μετάδοση των ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών από τον πομπό σε ευαίσθητες γειτονικές συσκευές. Στο Σχήμα 1-3 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.



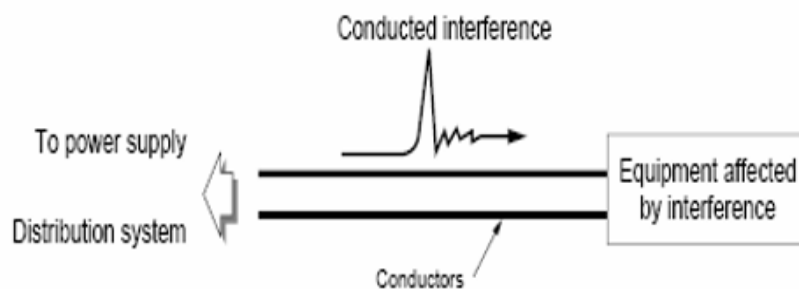
**ΣΧΗΜΑ 1-3 :** ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ.

Η σύζευξη εκφράζεται από τις τιμές του συντελεστή σύζευξης  $K$ , που έχει μονάδες dB. Ο συντελεστής αυτός δείχνει το βαθμό επίδρασης του πιθανού δέκτη από μια διαταραχή που μεταδίδει μια πηγή. Ο συντελεστής  $K$  είναι σημαντικός, όταν η μεταφορά των ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών είναι ανάλογη προς τη συχνότητα.

Γενικά, διακρίνονται τρεις διαφορετικοί τρόποι σύζευξης:

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

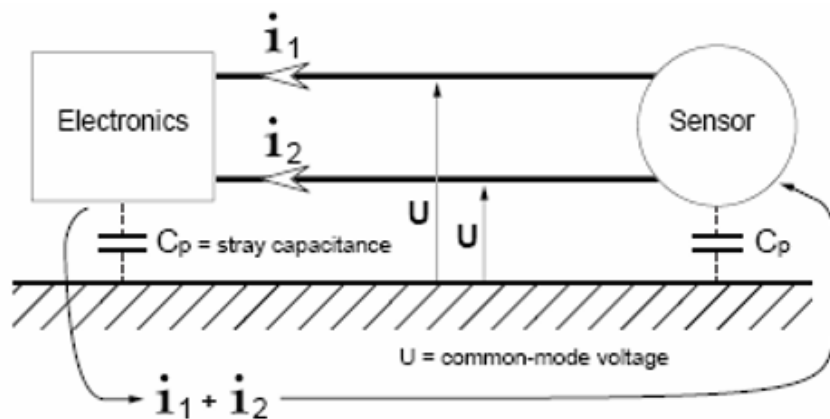
Μια διαταραχή μπορεί να διαδοθεί κατά μήκος ενός κυκλώματος δύο καλωδίων. Αυτός ο τύπος σύζευξης καλείται *αγώγιμη σύζευξη*. Επομένως, η διαταραχή σε αυτού του είδους τις περιπτώσεις, μπορεί να μεταδοθεί μέσω εσωτερικών γραμμών παροχής ισχύος ή συστημάτων διανομής, συρμάτων ελέγχου, γραμμών μεταφοράς δεδομένων, διαύλων, καλωδίων γείωσης, κατανεμημένων χωρητικοτήτων κ.α.. Ένα παράδειγμα σύζευξης σε αγωγό παρουσιάζεται στο Σχήμα 1-4, όπου ένα σύστημα διανομής ισχύος επιδρά αρνητικά σε έναν ευαίσθητο εξοπλισμό. Υπάρχουν δύο τρόποι αγώγιμης σύζευξης. Ο κοινός και ο διαφορικός.



**ΣΧΗΜΑ 1-4 :** ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ ΜΕΣΩ ΑΓΩΓΩΝ.

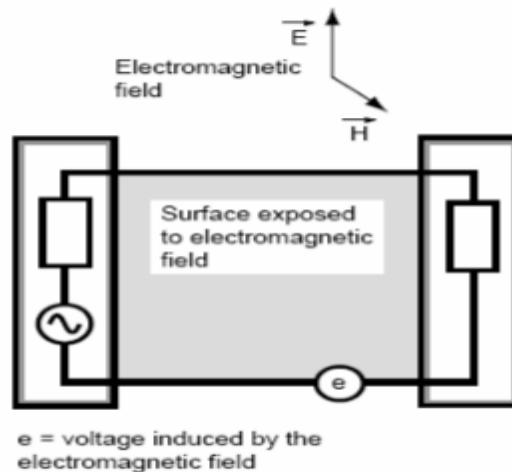


Ο κοινός τρόπος (common mode) σύζευξης μέσω αγωγού παράγει τάση ή ρεύμα διαταραχής κοινού τρόπου. Η τάση διαταραχής κοινού τρόπου, όπως βλέπουμε στο Σχήμα 1-5, είναι η τάση των αγωγών με σημείο αναφοράς την γείωση και έχει επιπτώσεις σε όλους τους ενεργούς αγωγούς. Έτσι, στα ηλεκτρικά συστήματα οι δοκιμές σε διακόπτες κυκλωμάτων χαμηλής τάσης πραγματοποιούνται μεταξύ της γείωσης και όλων των φάσεων. Το ρεύμα common mode είναι το ρεύμα που διαρρέει όλους τους ενεργούς αγωγούς κατά την ίδια κατεύθυνση. Στο Σχήμα 1-5 παρατηρούμε ότι το ρεύμα επιστρέφει μέσω της καταναμημένης χωρητικότητας. Ένα παράδειγμα ρεύματος common mode είναι το ρεύμα που δημιουργείται σε γραμμή χαμηλής τάσης από κεραυνικό ρεύμα. Οι διαταραχές κοινού τρόπου αποτελούν το κύριο πρόβλημα σε θέματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, γιατί η διαδρομή διάδοσης τους είναι δύσκολο να διαπιστωθεί.



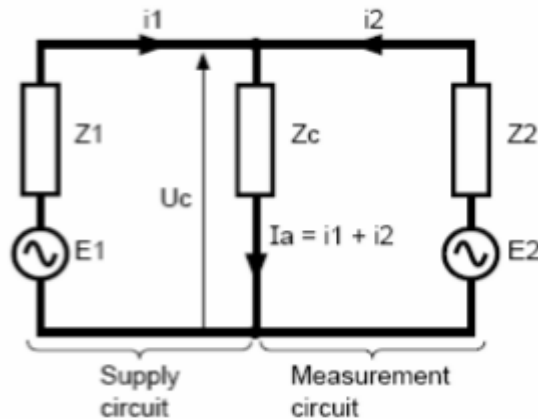
ΣΧΗΜΑ 1- 5 : ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΚΟΙΝΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΣΥΖΕΥΞΗΣ ΜΕΣΩ ΑΓΩΓΟΥ.

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 1-6. Έτσι, σε αυτόν τον τρόπο σύζευξης το ρεύμα και η τάση εντοπίζονται μεταξύ δύο φάσεων στα ηλεκτρικά συστήματα ή μεταξύ δύο καλωδίων που μεταφέρουν ευαίσθητα δεδομένα στα ηλεκτρονικά συστήματα.



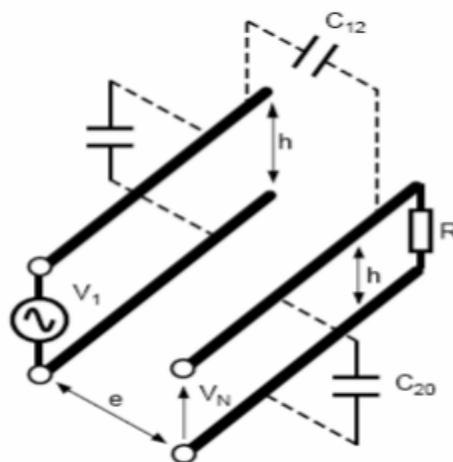
ΣΧΗΜΑ 1- 6 : ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΣΥΖΕΥΞΗΣ ΜΕΣΩ ΑΓΩΓΟΥ.

Ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μπορεί να συζευχθεί με οποιαδήποτε μορφή αγωγού και να παράγει τάσεις κοινού ή/και διαφορικού τρόπου. 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 μιας περιοχής  $A$  μπορεί να επιλυθεί με χρήση ισοδύναμου κυκλώματος, όπως αυτό του Σχήματος 1-7.



ΣΧΗΜΑ 1-7 : ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ.

Στη σύζευξη μέσω ακτινοβολίας οι διαταραχές διαδίδονται μέσω του περιβάλλοντος, όπως για παράδειγμα μέσω του αέρα. Ανάλογα με τη φύση της διαταραχής, εάν δηλαδή προκαλείται από αλλαγή του ρεύματος ή της τάσης, χωρίζεται σε δυο είδη : τη χωρητική και την επαγωγική σύζευξη. Υπάρχει πάντα μία μη μηδενική χωρητικότητα μεταξύ δύο ηλεκτρικών κυκλωμάτων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση, όπως βλέπουμε και στο Σχήμα 1-8.



ΣΧΗΜΑ 1-8 : ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΕΣ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΜΕΤΑΞΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ.

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. 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 ή σε οποιοδήποτε βρόχο που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση, 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. Ακόμα, παρατηρείται ότι το ρεύμα αυξάνει με την αύξηση της τάσης στα άκρα του βρόχου. Χωρητική και επαγωγική σύζευξη έχουμε όταν οι αγωγοί βρίσκονται σε παράλληλη θέση ή όταν συνυπάρχουν σε κοντινή απόσταση. Η ηλεκτρομαγνητική διαταραχή αυξάνεται με την αύξηση του μήκους των παράλληλων αγωγών, με τη μείωση της απόστασης των δυο αγωγών και με την αύξηση της συχνότητας της διαταραχής. Για την εξάλειψη της χωρητικής και της επαγωγικής σύζευξης χρησιμοποιούνται συνεστραμμένα ζεύγη και θωρακισμένα καλώδια.

#### 1.3.4 Αποφυγή διαταραχών στους δέκτες

Όταν ένας εξοπλισμός μπορεί να επηρεαστεί από μια διαταραχή ονομάζεται δέκτης ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών. Ένας τέτοιος εξοπλισμός περιέχει ηλεκτρονικά συστήματα τα οποία σε ένα απροσδόκητο εύρος συχνοτήτων δυσλειτουργούν εξαιτίας των ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών [9]. Οι δυσλειτουργίες του εξοπλισμού μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες :

- α) Στις μόνιμες και μετρήσιμες
- β) Στις τυχαίες και μη επαναλαμβανόμενες, που λαμβάνουν μέρος όταν εμφανίζεται η διαταραχή
- γ) Στις τυχαίες και μη επαναλαμβανόμενες, που παραμένουν μετά την έκλειψη της διαταραχής
- δ) 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 τον τρόπο με τον οποίο ένας εξοπλισμός μπορεί να κατασκευαστεί προκειμένου να παρέχει αποτελεσματική και υψηλή ατρωσία σε ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές.

Ακόμα, προληπτικές δοκιμές πρέπει να γίνονται :

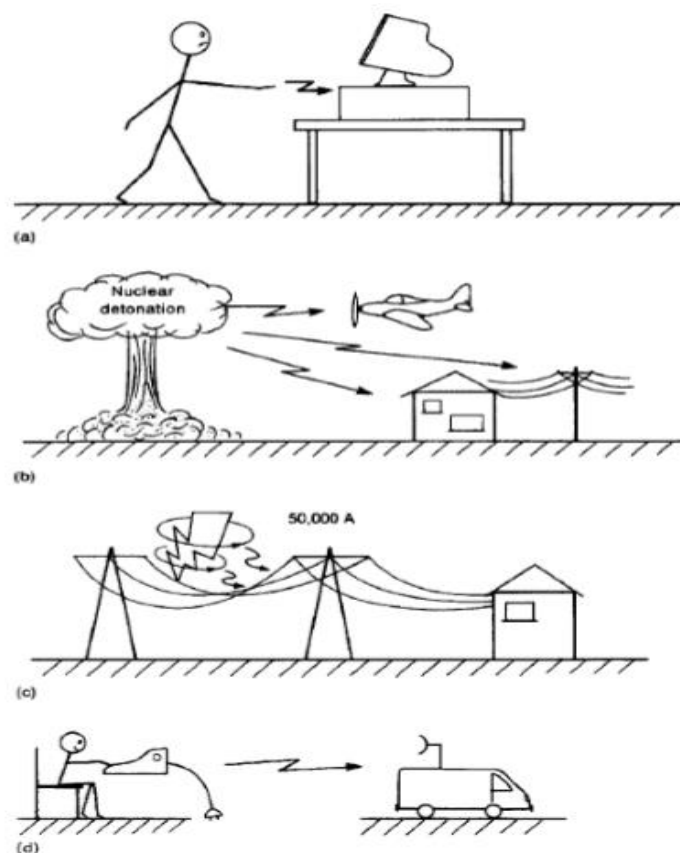
- Στον σχεδιασμό πλακετών τυπωμένου κυκλώματος (λειτουργική διαχώριση, ενδοσυνδέσεις)
- Στην επιλογή των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων
- Στην επιλογή και σχεδίαση προστατευτικού καλύμματος
- Στις ενδοσυνδέσεις της γείωσης
- Στην ενσυρμάτωση

Οι δοκιμές αυτές πρέπει να γίνονται κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού διότι ανάλογα με τις επιλογές προκύπτουν διαφορετικά είδη εξοπλισμού που ενδέχεται να έχουν δυσλειτουργίες και το κόστος αποκατάστασης αυτών να είναι αρκετά υψηλό. 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 προκαλούνται 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.

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.

#### 1.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ο σχεδιασμός των ηλεκτρονικών συστημάτων πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις που θέτονται από διάφορους οργανισμούς. Παρόλα αυτά υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός προβλημάτων που σχετίζονται με την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα και μερικά από αυτά φαίνονται στο Σχήμα 1-9 [1,2].



**ΣΧΗΜΑ 1- 9 :** ΠΤΥΧΕΣ EMC: (Α) ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ (ESD), (Β) ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΠΑΛΜΟΣ (EMP), (C) ΚΕΡΑΥΝΟΣ, (D) TEMPEST(ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ) [1].

Το Σχήμα 1-9(a) παρουσιάζει ένα κοινό πρόβλημα ευαισθησίας που έχουν τα σημερινά ολοκληρωμένα κυκλώματα, την ηλεκτροστατική εκφόρτιση. *Ηλεκτροστατική εκφόρτιση* καλείται η απότομη μεταφορά του ηλεκτροστατικού φορτίου, που δημιουργήθηκε κατά την ηλεκτροστατική φόρτιση, η οποία αναπτύσσεται όταν δύο υλικά βρεθούν σε κοντινή απόσταση ή έρθουν σε επαφή. Η εκφόρτιση μπορεί επίσης να συμβεί είτε μεταξύ δύο αντικειμένων, είτε μεταξύ ενός ατόμου και ενός αντικειμένου [10]. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το περπάτημα πάνω σε νάυλον με παπούτσια από καουτσούκ προκαλώντας συσσώρευση στατικού φορτίου στο σώμα. Η επαφή με μια ηλεκτρονική συσκευή, όπως το πληκτρολόγιο μπορεί να προκαλέσει μεταφορά του στατικού φορτίου στη συσκευή και να δημιουργηθεί ένα τόξο μεταξύ δακτύλων και πληκτρολογίου. Η μεταφορά του φορτίου μπορεί να προκαλέσει μόνιμη καταστροφή των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και δυσλειτουργία του συστήματος.

Στο Σχήμα 1-9(b) παρουσιάζεται η ανακάλυψη ότι οι ημιαγώγιμες συσκευές που υπήρχαν στα ηλεκτρονικά συστήματα παρακολούθησης αποτελεσμάτων εκρήξεων καταστράφηκαν μετά την πρώτη πυρηνική έκρηξη στα μέσα της δεκαετίας του 1940. Το γεγονός αυτό δεν οφειλόταν στις άμεσες φυσικές συνέπειες της έκρηξης, αλλά στο ηλεκτρομαγνητικό κύμα που παρήχθη από το διαχωρισμό φορτίου και κίνησης εντός της έκρηξης. Συνεπώς, στο στρατιωτικό χώρο υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την προστασία δεδομένων και συσκευών λόγω των συνεπειών που προκαλούσε αυτός ο *ηλεκτρομαγνητικός παλμός*.

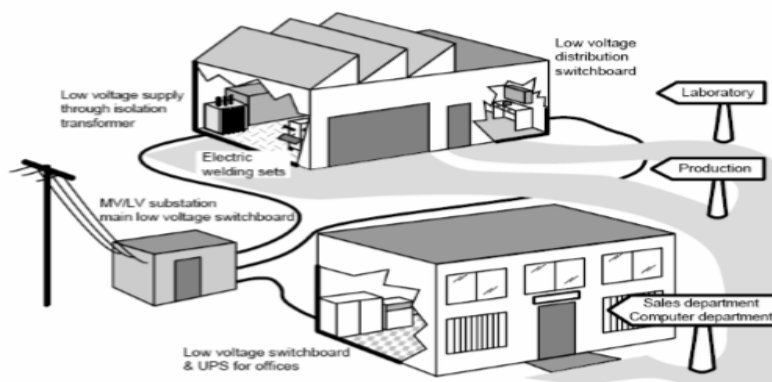
Στο Σχήμα 1-9(c) απεικονίζεται η περίπτωση της καταστροφικής επίδρασης των κεραυνών σε ηλεκτρικές συσκευές από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και τα υψηλής έντασης ρεύματα που αυτοί προκαλούν. Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία λόγω του έντονου ρεύματος (πάνω από 50 kA) μπορούν συζευχθούν με τα ηλεκτρονικά συστήματα είτε από την άμεση ακτινοβολία ή μέσω των καλωδίων του εναλλασσόμενου ρεύματος. Επομένως, είναι σημαντικός ο σχεδιασμός και ο έλεγχος των συσκευών, ώστε να είναι προστατευμένα από τάσεις στα καλώδια εναλλασσόμενου ρεύματος.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το θέμα της προστασίας ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών από μη εξουσιοδοτημένα άτομα. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 1-9(d) φαίνεται ότι είναι δυνατόν να παρακολουθήσουμε όσα πληκτρολογούνται σε μία ηλεκτρονική γραφομηχανή από τη λήψη των ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών της. Το θέμα αυτό αποτελεί πρόβλημα τόσο για το στρατό όσο και για τις εταιρίες, λόγω επιπτώσεων από την παρακολούθηση δεδομένων, και αναφέρεται με το κωδικό όνομα *TEMPEST*.

## 1.5 ΕΓΚΑΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ – ΔΟΚΙΜΕΣ EMC

Η εγκατάσταση μιας κατασκευής είναι εξίσου σημαντική με τη σχεδίαση και τη μελέτη της για την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα. Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό και τη μελέτη της κατασκευής της είναι η επιλογή του εξοπλισμού και η τοποθεσία τους. Στο Σχήμα 1-10 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα μελέτης κατασκευής ηλεκτρικού εξοπλισμού. Η πρώτη αρχή αφορά την επιλογή των κομματιών του εξοπλισμού που μπορούν να παράγουν ή μπορεί να είναι ευαίσθητες σε διαταραχές καθιστώντας απαραίτητη την ανάλυση του καθορισμού 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 (εκπομπός), ενώ η άλλη επηρεάζεται (δέκτης) θα πρέπει να υπάρξει ένα σημείο ισορροπίας μεταξύ των χαρακτηριστικών του εκπομπού και του δέκτη έτσι ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα στην συνύπαρξή τους.



ΣΧΗΜΑ 1- 10 : ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ[11].

Τα έργα των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εγκαταστάσεων θα πρέπει να ακολουθούν τις οδηγίες που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Πρακτικά, η συνύπαρξη διαφορετικών τρόπων σύζευξης πρέπει να μελετηθεί και να μειωθεί ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να εφαρμόζονται διαφορετικές τεχνικές, όπως :

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

Ο σύγχρονος 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 στις οποίες για να αποφευχθεί αυτό, είναι απαραίτητο να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό ισοδυναμικό σύστημα γείωσης (πλέγμα γείωσης). Αυτό είναι το πρώτο βήμα παροχής προστασίας σε ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές. Σε ένα εργοστασιακό δίκτυο διανομής ισχύος όλα τα καλώδια προστασίας πρέπει να είναι μαζί και να συνδέονται στις υπάρχουσες μεταλλικές κατασκευές. Ομοίως, σε έναν εξοπλισμό, όλες οι γειώσεις και τα πλαίσια πρέπει να είναι συνδεδεμένα σε ένα κοινό σύστημα γείωσης χρησιμοποιώντας χαμηλή εμπέδηση σε χαμηλές συχνότητες, καθώς και να χρησιμοποιούνται μικρού μήκους και μεγάλου πλάτους συνδέσεις καλωδίων. Ένα τέτοιο τυπικό παράδειγμα γειώσεων που πρέπει να είναι συνδεδεμένες μαζί, είναι η καλωδίωση μιας ηλεκτρικής καμπίνας.

## 1.6 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΤΡΩΣΙΑ (Electromagnetic immunity)

### 1.6.1 Ορισμός ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας

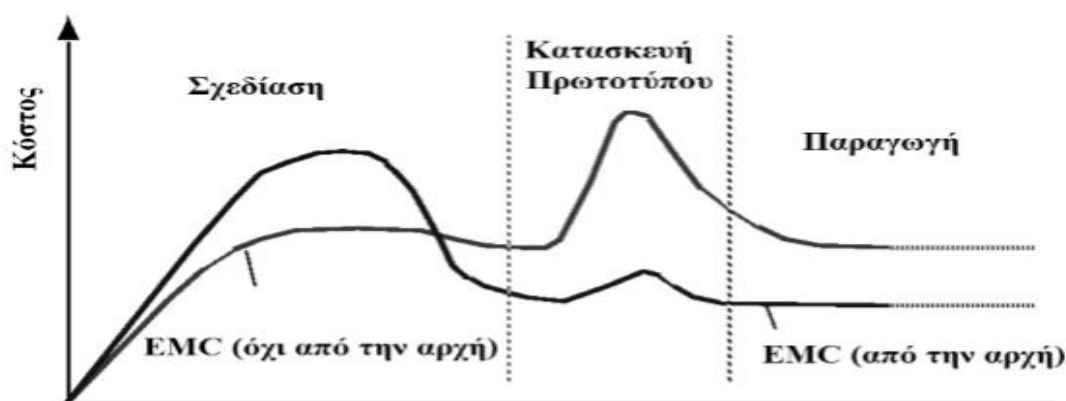
*Ηλεκτρομαγνητική ατρωσία* είναι η φυσική ιδιότητα ενός ηλεκτρικού κυκλώματος ή εξαρτήματος να μένει ανεπηρέαστο σε ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές [12]. Για τη μέτρηση της ατρωσίας χρησιμοποιείται ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC) το οποίο τοποθετείται σε περιβάλλον ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών. Τα όρια της ατρωσίας σε γενικές γραμμές εξαρτώνται από τις λειτουργικές απαιτήσεις του εξοπλισμού και το σκοπό της εφαρμογής τους. Στα πρότυπα που περιγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ατρωσία δίνονται κυρίως οι μέθοδοι μέτρησής της και όχι τα επίπεδα δοκιμής θωράκισης του εξοπλισμού [13]. Η ατρωσία κάθε εξοπλισμού κατατάσσεται σε κατηγορίες με βάση το ποσοστό της επίδρασης του εξοπλισμού από την ηλεκτρομαγνητική διαταραχή. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι παρακάτω :

- Κατηγορία Α : όλες οι λειτουργίες του ολοκληρωμένου κυκλώματος εκτελούνται όπως έχουν σχεδιαστεί κατά τη διάρκεια και μετά την έκθεση σε μια διαταραχή.
- Κατηγορία Β : όλες οι λειτουργίες του ολοκληρωμένου κυκλώματος εκτελούνται όπως έχουν σχεδιαστεί κατά τη διάρκεια της διαταραχής, όμως μια ή περισσότερες από αυτές μπορεί να ξεπεράσουν την καθορισμένη ανοχή. Όλες οι λειτουργίες επιστρέφουν αυτομάτως εντός των φυσιολογικών ορίων μετά την αφαίρεση του εξοπλισμού από την διαταραχή. Λειτουργίες μνήμης παραμένουν στην κατηγορία Α.
- Κατηγορία Γ : μια λειτουργία του ολοκληρωμένου κυκλώματος δεν εκτελείται, όπως έχει σχεδιαστεί κατά τη διάρκεια της έκθεσης, αλλά επιστρέφει αυτόματα στην κανονική λειτουργία μετά την αφαίρεσή του από την έκθεση.
- Κατηγορία Δ : μια λειτουργία του ολοκληρωμένου κυκλώματος δεν εκτελείται, όπως έχει σχεδιαστεί κατά τη διάρκεια της έκθεσης και δεν θα επιστρέψει στην κανονική λειτουργία μέχρι να αφαιρεθεί η έκθεση και το ολοκληρωμένο κύκλωμα να τεθεί εκτός τροφοδοσίας.
- Κατηγορία Ε : μία ή περισσότερες λειτουργίες ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος δεν αποδίδουν όπως σχεδιάστηκε κατά τη διάρκεια και μετά την έκθεση και δεν μπορούν να επιστραφούν στην σωστή λειτουργία.

### 1.6.2 Δοκιμές ατρωσίας

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

Ο σχεδιαστής είναι υποχρεωμένος να εξακριβώσει τη φύση και τη σημαντικότητα των ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών από διαφορετικά μέρη του εξοπλισμού, όπως και τις επιπτώσεις εξωτερικών παρεμβολών στην λειτουργικότητα ολόκληρου του συστήματος. Επιπλέον, ο σχεδιαστής αναζητά, όσο αυτό είναι δυνατό, την ελαχιστοποίηση της δημιουργίας παρεμβολών, την μείωση ή την εξάλειψη σύζευξης με κατάλληλη διαρρύθμιση, θωράκιση, φιλτράρισμα και ειδική μέθοδο γείωσης, το σχεδιασμό υλικού με ιδιότητες ατρωσίας σε περιβάλλον ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής και την προσαρμογή μεθόδων προγραμματισμού για τη δημιουργία λογισμικού που έχει μεγάλο βαθμό ατρωσίας σε τέτοιο περιβάλλον. Οι ανωτέρω τεχνικές έχουν βέβαια κόστος και πολλές ίσως να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις σε λειτουργικά χαρακτηριστικά, όπως είναι το μέγεθος, η εμφάνιση και το βάρος του εξοπλισμού. Η αναζήτηση βέλτιστων λύσεων σε σχεδιαστικά προβλήματα δεν είναι εύκολο ζήτημα καθώς εξαρτάται από πολλές αλληλένδετες παραμέτρους. Ο σκοπός της έρευνας στον τομέα της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας είναι η ανάπτυξη μεθοδολογιών και εργαλείων που να επιτρέπουν τους βέλτιστους σχεδιασμούς της και να ενσωματώνονται στη σχεδιαστική διαδικασία από πολύ νωρίς, έτσι ώστε, ακόμη και στο στάδιο της αντίληψης και του προβληματισμού ενός σχεδίου, τα ζητήματα που αφορούν την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα να λαμβάνονται υπόψη και οι μετέπειτα επιλογές να γίνονται με ελάχιστο κόστος (Σχήμα 1-11) [2].



ΣΧΗΜΑ 1-11 : ΚΥΚΛΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ EMC [2].

Οι δοκιμές ατρωσίας που απαιτούνται από το μεγαλύτερο ποσοστό των διαφόρων προτύπων προϊόντος είναι :

1. Δοκιμή ατρωσίας ηλεκτροστατικής εκφόρτισης (πρότυπο IEC 61000-4-2) [14,15].
2. Δοκιμή ατρωσίας σε ακτινοβολούμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνοτήτων (πρότυπο IEC 61000-4-3)[16].
3. Δοκιμή ατρωσίας για γρήγορα ηλεκτρικά μεταβατικά φαινόμενα και απότομες εκφορτίσεις (πρότυπο IEC 61000-4-4)[17,18,19].
4. Δοκιμή ατρωσίας από υπερτάσεις-υπερεντάσεις (πρότυπο IEC 61000-4-5) [20,21].
5. Ατρωσία σε αγόμενες διαταραχές, επαγόμενες από πεδία ραδιοσυχνότητας (πρότυπο IEC 61000-4-6) [22].



6. Δοκιμή ατρωσίας σε μαγνητικό πεδίο με συχνότητα δικτύου (πρότυπο IEC 61000-4-8) [23,24].
7. Δοκιμή ατρωσίας παλμικού μαγνητικού πεδίου (πρότυπο IEC 61000-4-9) [25,26].
8. Δοκιμή ατρωσίας "μαγνητικό πεδίο εξασθενημένης ταλάντωσης" (πρότυπο IEC 61000-4-10) [27].
9. Βυθίσεις τάσης, βραχείς διακοπές και δοκιμές ατρωσίας μεταβολών τάσης (πρότυπο IEC 61000-4-11) [28,29].
10. Δοκιμή ατρωσίας εξασθενημένου ταλαντούμενου κύματος (πρότυπο IEC 61000-4-18)[30].

Αυτά τα πρότυπα είναι ευρέως αποδεκτά στη διεθνή κοινότητα και ορισμένα από αυτά θα αναπτυχθούν συνοπτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

## 1.7 ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ

### 1.7.1 Η ανάγκη για τυποποίηση

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

Οι διεθνείς οργανισμοί τυποποίησης, σε μια προσπάθεια να θεσπίσουν δοκιμές για να πιστοποιήσουν την καλή και ασφαλή λειτουργία των συσκευών, όρισαν πρότυπα δοκιμών, με τα οποία θα πρέπει να συμμορφώνεται κάθε συσκευή που παράγεται και τελικά θα χρησιμοποιηθεί από κάποιον χρήστη. Ο χρήστης, μπορεί να βρίσκεται είτε σε περιβάλλον ελαφριάς βιομηχανίας, είτε σε περιβάλλον κατοικίας είτε σε εμπορικό περιβάλλον. Ο κατασκευαστής, θα πρέπει να παρέχει πιστοποιητικά συμμόρφωσης με κάποιους κανονισμούς στον αγοραστή ή χρήστη που θα εγγυώνται την ασφαλή και σωστή λειτουργία της, κάτω από ορισμένες συνθήκες. Έχοντας ο χρήστης στα χέρια του το εκάστοτε πιστοποιητικό δοκιμής, θα γνωρίζει ότι η συσκευή που έχει στα χέρια του ανταποκρίνεται σε αυτό για το οποίο έχει πιστοποιηθεί και ότι σε αυτή έχουν γίνει κάποιες δοκιμές (σειράς ή τύπου) με σκοπό τον έλεγχο αυτής [31].

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

### 1.7.2 Κατηγορίες προτύπων

Τα Πρότυπα χωρίζονται κυρίως στις παρακάτω βασικές κατηγορίες [32]:

#### α) Κοινά/Γενικά Πρότυπα

Τα *κοινά ή γενικά πρότυπα* αναφέρονται στο ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον στο οποίο το σύστημα ή η συσκευή πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Τα πρότυπα αυτά αναφέρονται σε ομάδες εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένο περιβάλλον όπως γενικός τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός και εξοπλισμός εργαστηρίων.

#### β) Βασικά Πρότυπα

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

#### γ) Πρότυπα Οικογενειακών Προϊόντων

Τα *πρότυπα οικογενειακών προϊόντων* ισχύουν για συγκεκριμένους τύπους προϊόντων οι οποίοι προσδιορίζονται ανάλογα με το εύρος κάθε προτύπου.

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

### 1.7.3 Ιστορική αναδρομή προτύπων

Από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα έχουν δημιουργηθεί διεθνή πρότυπα τα οποία ρυθμίζουν την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα των συστημάτων. Οι πρώτοι κανονισμοί εκδόθηκαν από το CISPR (International Special Committee on Radio Interference – Διεθνής Ειδική Επιτροπή σε θέματα Ραδιοπαρεμβολών) για να προστατευτεί η ραδιομετάδοση και η λήψη αυτής, με αποτέλεσμα να περιέχουν περιορισμό μόνο για το μέγιστο αποδεκτό επίπεδο ισχύος που μπορεί να εκπέμπεται από τους διαφορετικούς τύπους εξοπλισμών [33]. Αργότερα, δημιουργήθηκε η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (International Electrotechnical Commission, IEC) που είναι ένας παγκόσμιος οργανισμός τυποποίησης και περιλαμβάνει όλες τις Εθνικές Ηλεκτροτεχνικές Επιτροπές (IEC National Committees). Σκοπός της IEC είναι η προώθηση της διεθνούς συνεργασίας και η δημιουργία προτύπων για την κάλυψη όλων των πτυχών της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας τόσο για την εκπομπή όσο και για την ευαισθησία των συστημάτων. Με αυτό τον τρόπο οι επίσημες αποφάσεις της IEC χαρακτηρίζονται από διεθνή ομοφωνία και αποδοχή. Για το λόγο αυτό δημοσιεύτηκαν τα ομώνυμα διεθνή πρότυπα της σειράς 61000, τα οποία έχουν τη μορφή προτάσεων και δεν είναι νομικώς δεσμευτικά.

Με την ενοποίηση της Ευρώπης και την πάροδο του χρόνου η σημασία της EMC αυξήθηκε, προκαλώντας αλλαγή στο τοπίο των πολιτικών προτύπων [34]. Το

Ευρωπαϊκό Συμβούλιο δημοσίευσε μια οδηγία (αναφορά 89/336/ΕΚ) το Μάιο του 1989 η οποία είχε θέμα την ενοποίηση της νομοθεσίας EMC των χωρών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, και το Δεκέμβριο του 2004 προχώρησε στην κατάργησή της και δημοσίευσε τη νέα οδηγία 2004/108/ΕΚ. Κάθε χώρα - μέλος είναι δεσμευμένη να το περιλάβει στην εθνική νομοθεσία της και να καταστήσει τη χρήση και την εφαρμογή της, υποχρεωτικές. Η συγκεκριμένη ευρωπαϊκή οδηγία δεν επιβάλλει μόνο τα όρια στις εκπεμπόμενες ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές, αλλά θέτει την ελάχιστη ατρωσία σε αυτές. Ακόμα, η οδηγία πρέπει να αναφέρεται στα πρότυπα που καθορίζουν τα μέγιστα επίπεδα διαταραχής.

Διάφορες τεχνικές επιτροπές, καθιερωμένες από την CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization – Ευρωπαϊκή Επιτροπή για Ηλεκτροτεχνική Τυποποίηση), συγκέντρωσαν τα υπάρχοντα πρότυπα που αντιστοιχούν στην εφαρμογή της οδηγίας και πρόσθεσαν τα πρότυπα που έλειπαν. Ορισμένα ειδικά πρότυπα EMC έχουν, επίσης, δημοσιευτεί από το ISO (International Organization for Standardization – Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης). Τα Πρότυπα EMC στη Βόρεια Αμερική εκδίδονται από το FCC (Federal Communications Commission – Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών), το ANSI (American National Standards Institute – Εθνικό Αμερικάνικο Ινστιτούτο Προτύπων) και το IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers – Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών). Όσον αφορά τα στρατιωτικά πρότυπα για την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, αυτά έχουν συνταχθεί στη σειρά GAM EG 13 [35,36] στη Γαλλία και στη σειρά MIL-STD [36,37] στις Η.Π.Α..

Στις μέρες μας, έχει υιοθετηθεί η οικογένεια προτύπων EN 61000 (European Norms 61000). Τα πρότυπα αυτά βρίσκονται σε πλήρη αντιστοιχία με τα πρότυπα IEC και είναι νομικώς δεσμευτικά για τις χώρες - μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Πολλές χώρες βρίσκονται ή έχουν ήδη ολοκληρώσει τη διαδικασία υιοθέτησης προτύπων με νομική ισχύ βασισμένων σε αυτά της IEC, όπως για παράδειγμα τα Γερμανικά πρότυπα που σαν αναφορά είχαν τα VDE 0871 και VDE 0875, τώρα έχουν αντικατασταθεί από τα πρότυπα EN 55011 και EN 55022.

#### 1.7.4 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 ατρωσίας.
- Κατευθυνόμενες και ακτινοβολούσες δοκιμές εκπομπής.

Όπως όλες οι μετρήσεις, έτσι και αυτές 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 ότι για τις δοκιμές EMC απαιτούνται μεγάλες εγκαταστάσεις με ιδιαίτερη επένδυση και ποιότητα στην ακρίβεια.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΤΡΩΣΙΑΣ

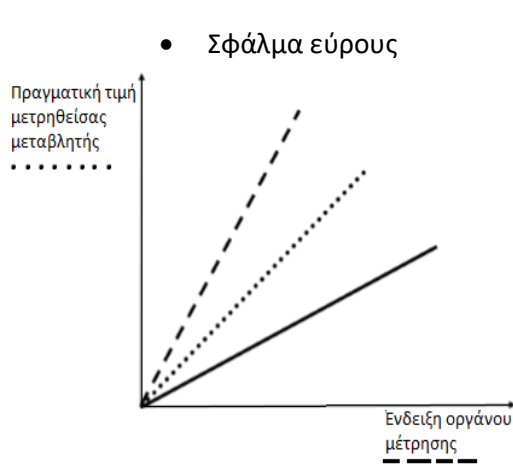
### 2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ

Η ποιότητα των προϊόντων και των υπηρεσιών συνδέεται άμεσα με την αξιοπιστία των μετρήσεων και με την ποιότητα σε μετρήσεις του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στην εκάστοτε παραγωγική διαδικασία. Για το λόγο αυτό σε πρότυπα σειρών προβλέπονται συγκεκριμένες απαιτήσεις που αφορούν τον έλεγχο, τη συντήρηση και τη διακρίβωση του εξοπλισμού μετρήσεων και δοκιμών [38].

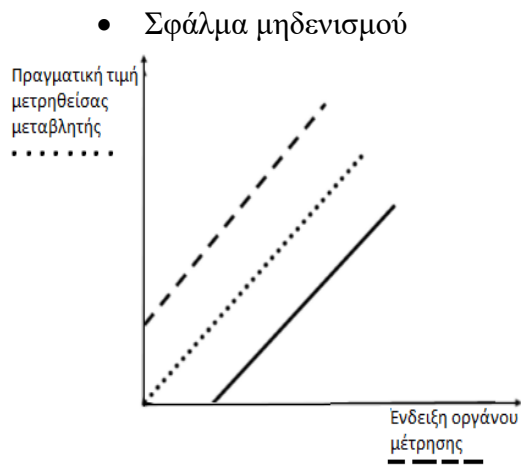
#### 2.1.1 Ορισμός διακρίβωσης

*Διακρίβωση* είναι η σύγκριση των μετρήσεων που δίνουν δύο συσκευές, από τις οποίες η μια είναι γνωστής ακριβείας και καλείται πρότυπη, και η άλλη είναι υπό έλεγχο, με σκοπό να ανιχνευθεί, να διορθωθεί αν χρειαστεί, και να πιστοποιηθεί η ακρίβεια της [36,38,39].

Όλες οι συσκευές μέτρησης απαιτούν διακρίβωση, ακόμη και οι καινούργιες. Ο λόγος είναι η βεβαιότητα ότι η εκάστοτε συσκευή παρέχει ακριβή ένδειξη ή σήμα εξόδου όταν τίθεται σε λειτουργία. Ο χειριστής των συσκευών μέτρησης δεν πρέπει να σταματήσει να ενδιαφέρεται για την ποιότητα των μετρήσεων ακόμα και όταν το όργανο λειτουργεί σωστά και συνεχίζει να παρέχει την αναμενόμενη ένδειξη, διότι υπάρχουν πολλοί παράγοντες που δημιουργούν σφάλματα στα όργανα μέτρησης, όπως για παράδειγμα η σκόνη, το περιβάλλον, η παροχή ρεύματος, οι παρεμβολές σημάτων στην έξοδο ακόμα και η αλλαγή χρήσης του συγκεκριμένου οργάνου. Τα σφάλματα αναγνωρίζονται όταν εκτελείται η διακρίβωση, συγκρίνοντας ή εφαρμόζοντας ένα γνωστό σήμα στο υπό εξέταση όργανο. Σαν *σφάλμα* ορίζεται η αλγεβρική διαφορά μεταξύ μιας ένδειξης και της πραγματικής τιμής της μετρηθείσας μεταβλητής. Τα τυπικά σφάλματα, που συμβαίνουν, περιλαμβάνουν [36,38,40]:

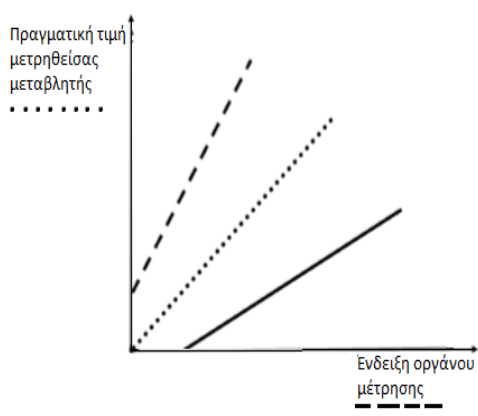


ΣΧΗΜΑ 2- 1 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΕΥΡΟΥΣ.



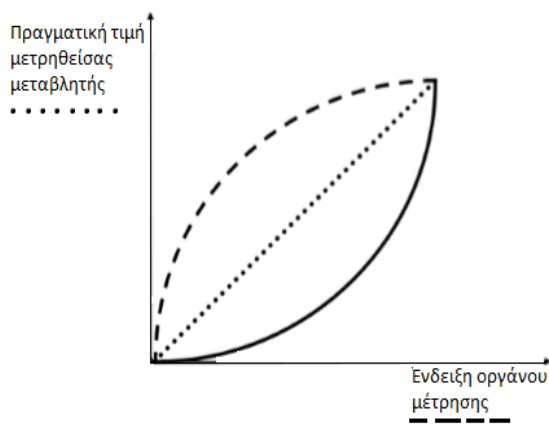
ΣΧΗΜΑ 2- 2 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΥ.

### Σφάλμα συνδυασμού εύρους και μηδενισμού



ΣΧΗΜΑ 2- 3 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΚΑΙ ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΥ.

### • Σφάλμα ευθυγράμμισης



ΣΧΗΜΑ 2- 4 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗΣ.

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

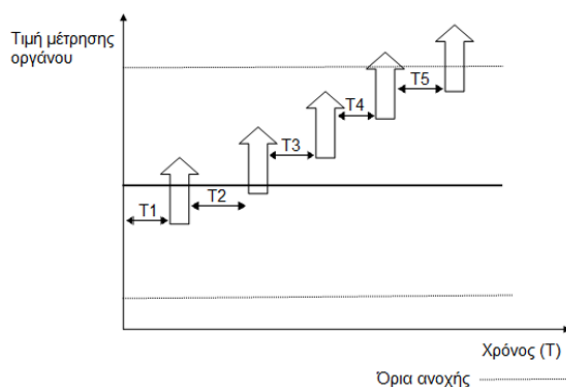
Για να ανιχνευθούν και να διορθωθούν τα σφάλματα εφαρμόζονται περιοδικές διακρίβώσεις. Ακόμη και αν η πραγματοποίηση μιας διακρίβωσης φανερώσει ότι το όργανο λειτουργεί σωστά και δεν απαιτείται καμία ρύθμιση, δεν θα πρέπει να παραληφθεί ο επόμενος προγραμματισμένος έλεγχος. Άλλωστε για να εξασφαλίσουμε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

Η βασική λειτουργία του πλήθους των συσκευών μέτρησης βασίζεται στη μετατροπή κάποιας φυσικής παραμέτρου ( π.χ. τάσης, αντίστασης, θερμοκρασίας) σε έναν αριθμό, ο οποίος αντιστοιχεί στη τιμή μέτρησης της παραμέτρου αυτής. Για να επιτευχθεί αυτό, τα ανεξάρτητα ηλεκτρονικά κυκλώματα, που περιέχουν οι συσκευές, εκτελούν διάφορες συναρτήσεις έτσι ώστε να απεικονίσουν με ακρίβεια τη τιμή μιας παραμέτρου. Σε έναν κόσμο με ιδανικές συνθήκες, τα ηλεκτρονικά αυτά στοιχεία (πυκνωτές, αντιστάσεις, αυτεπαγωγές) θα διατηρούσαν αναλλοίωτη την αρχική τους αξία. Όμως η πραγματικότητα είναι ότι φθείρονται με το χρόνο, τη θερμοκρασία, τη μόλυνση, την υγρασία. Για αυτό άλλωστε και οι κατασκευαστές ορίζουν τα επίπεδα υγρασίας και θερμοκρασίας που θα πρέπει να τηρούνται στο περιβάλλον όπου λειτουργούν οι συσκευές τους.

Με άλλα λόγια η φθορά των στοιχείων προκαλεί λανθασμένες και μη αξιόπιστες μετρήσεις. Η ένδειξη ενός μετρητικού οργάνου για μια ορισμένη τιμή μεγέθους δεν παραμένει η ίδια με το χρόνο, ακόμα και όταν οι συνθήκες μέτρησης δεν

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

Για να γίνει πιο κατανοητό δίνεται το παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 2-5) που απεικονίζεται ο ρυθμός ολίσθησης μιας ορισμένης τιμής μέτρησης ενός οργάνου σχετικά με κάποια αυθαίρετα όρια ανοχής. Το παράδειγμα αυτό παρουσιάζει μια συστηματική ολίσθηση με τάση να αυξηθεί η τιμή του με το χρόνο.



**ΣΧΗΜΑ 2-5 :** ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΡΥΘΜΟ ΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΙΜΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ / ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΑΥΘΑΙΡΕΤΑ ΟΡΙΑ ΑΝΟΧΗΣ[38].

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

### 2.1.2 Χαρακτηριστικά διακρίβωσης

Οι λόγοι οι οποίοι καθιστούν τη διακρίβωση εξοπλισμού αναγκαία προκύπτουν κυρίως από την ανάγκη παροχής απόδειξης αποδεκτής μέτρησης από ένα συγκεκριμένο όργανο μέτρησης και την ανάγκη αναγνώρισης της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων μιας μέτρησης. Αλληλένδετες έννοιες με αυτήν της διακρίβωσης είναι η επαλήθευση,

η ιχνηλασιμότητα και η αβεβαιότητα μέτρησης. Η κατανόηση αυτών των εννοιών βοηθάει στην κατανόηση της έννοιας ποιότητα.

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

### 2.1.3 Εύρος διακρίβωσης

Τυπικά η διακρίβωση ενός οργάνου γίνεται σε πολλά σημεία στο εύρος της διακρίβωσής του. Το εύρος αυτό ορίζεται ως η περιοχή εντός της οποίας μια ποσότητα μπορεί να μετρηθεί. Τα όρια της περιοχής αυτής ορίζονται από τη μηδενική τιμή και το εύρος. Μηδενική είναι η χαμηλότερη τιμή και εύρος είναι η αλγεβρική διαφορά μεταξύ υψηλότερης και χαμηλότερης τιμής. Το εύρος διακρίβωσης μπορεί να διαφέρει από το εύρος που μπορεί να μετρήσει το όργανο. Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε ένα πομπό ηλεκτρικής πίεσης που έχει εύρος οργάνου 0 - 750 psig κι έξοδο 4 - 20 mA, αλλά ο μηχανικός έχει καθορίσει ότι θα διακριβωθεί για 0 - 300 psig = 4 - 20 mA. Τότε η μηδενική είσοδος είναι 0 psig και η μηδενική έξοδος 4 mA. Η απόσταση εισόδου, δηλαδή το εύρος, είναι 300 psig και εξόδου 16 mA.

### 2.1.4 Ακρίβεια και ανοχή διακρίβωσης

*Ακρίβεια* ενός οργάνου είναι ο λόγος του σφάλματος προς τη συνολική έξοδο σε ποσοστό επί τις εκατό (%). *Ανοχή διακρίβωσης* είναι η επιτρεπτή παρέκκλιση από μια συγκεκριμένη τιμή σε μονάδα μέτρησης ή σπανιότερα σε ποσοστό επί τις εκατό. Κάθε διακρίβωση θα πρέπει να πραγματοποιείται με μια ορισμένη ανοχή [36,38].

Με αναφορά στο προηγούμενο παράδειγμα, στον πομπό πίεσης 0 - 16 mA και 0 - 300 psig και θεωρήσουμε ανοχή διακρίβωσης  $\pm 2$  psig, η ανοχή εξόδου θα είναι :  $2psig \times \frac{16mA}{300psig} = 0.1067 mA$ . Άρα, θα πρέπει να δεχτούμε ότι η ανοχή θα είναι  $\pm 0,1$  mA, γιατί αλλιώς το 0,11 mA θα υπερέβαινε την υπολογιζόμενη τιμή. Ενώ, η ακρίβεια για αυτό το όργανο σύμφωνα με τον κατασκευαστή θα μπορούσε να είναι 0,25 %. Επομένως, η ανοχή διακρίβωσης δε θα πρέπει να στηρίζεται μόνο στις προδιαγραφές του κατασκευαστή, αλλά θα πρέπει να καθορίζεται από ένα συνδυασμό παραγόντων, όπως :

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

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



### 2.1.5 Λόγος ακριβείας

Ο *λόγος ακριβείας* χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη σχέση μεταξύ της ακρίβειας του προτύπου με την ακρίβεια της υπό έλεγχο συσκευής. Ο λόγος ακρίβειας που συνήθως προτιμάται κατά τη διακρίβωση, αν και είναι δύσκολο να επιτευχθεί με την σημερινή τεχνολογία, είναι ο 4:1, δηλαδή το πρότυπο που χρησιμοποιείται είναι τέσσερις φορές πιο ακριβές από το όργανο που ελέγχεται. Με αυτόν τον τρόπο καλύπτεται το ενδεχόμενο να βρεθούν σφάλματα στη συσκευή και να μην έχουν ελεγχθεί από αυτό το πρότυπο υψηλής ακρίβειας.

Στο προηγούμενο παράδειγμα έγινε χρήση ενός εξοπλισμού με ανοχή  $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ . Έστω ότι βρέθηκε ο εξοπλισμός να κυμαίνεται εκτός ανοχής  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  κατά τη διάρκεια προγραμματισμένης διακρίβωσης. Έχοντας λάβει υπόψη λόγο ακριβείας 4:1 και ανοχή διακρίβωσης  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , δεν μπορεί να αμφισβητηθεί η διακρίβωση που εκτελέστηκε σε αυτόν τον εξοπλισμό. Στην περίπτωση όμως που αποδεικνυόταν ανοχή διακρίβωσης  $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$  ή είχε χρησιμοποιηθεί εξοπλισμός με ανοχή διακρίβωσης  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , τότε θα υπήρχε αμφισβήτηση για το αποτέλεσμα της μέτρησης και η διακρίβωση θα έπρεπε να επαναληφθεί. Αυτό οδηγεί στην ανάγκη επεξήγησης του όρου ιχνηλασιμότητα.

### 2.1.6 Ιχνηλασιμότητα

*Ιχνηλασιμότητα* είναι ο συσχετισμός των αποτελεσμάτων/μετρήσεων με βάση εθνικά ή διεθνή πρότυπα, μέσω μιας αδιάσπαστης αλυσίδας συσχέτισης, δηλαδή συγκρίσεων. Έτσι δημιουργείται μια πυραμίδα ιχνηλασιμότητας, η οποία περιλαμβάνει ιεραρχικά : τα διεθνή πρότυπα, έπειτα τα εθνικά, τα πρότυπα του εργαστηρίου διακρίβωσης και τέλος τα όργανα εργασίας της βιομηχανίας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-6.

Αυτή η πυραμίδα ιχνηλασιμότητας δείχνει τη μεταφορά ακριβείας. Η ιχνηλασιμότητα, εκφρασμένη σαν ιεραρχία διακρίβωσης, σημαίνει πως η ένδειξη τελικά ενός οργάνου μέτρησης μπορεί να συσχετιστεί με το εθνικό πρότυπο του μετρούμενου μεγέθους σε ένα ή περισσότερα στάδια.



ΣΧΗΜΑ 2- 6 : ΠΥΡΑΜΙΔΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑΣ.

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

### 2.1.7 Αβεβαιότητα μέτρησης

*Αβεβαιότητα* μέτρησης είναι μια παράμετρος του αποτελέσματος μέτρησης που χαρακτηρίζει το διάστημα τιμών, μέσα στο οποίο εκτιμάται ότι βρίσκεται το μετρούμενο μέγεθος. Πρόκειται για μια ποσοτική μέτρηση της ισχύος της αλυσίδας της ιχνηλασιμότητας. Η ανάλυση της αβεβαιότητας πραγματοποιείται για να αξιολογηθούν και να αναγνωριστούν όλοι οι παράγοντες που σχετίζονται με τον εξοπλισμό της διακρίβωσης και με το υπό εξέταση όργανο και επηρεάζουν την ακρίβεια της διακρίβωσης. Οι τεχνικοί διακρίβωσης θα πρέπει να γνωρίζουν τους βασικούς παράγοντες για την ανάλυση της αβεβαιότητας, όπως οι περιβαλλοντικές συνθήκες καθώς επίσης τον τρόπο με τον οποίο να συνδυάζουν πολλαπλές ακρίβειες του επιμέρους εξοπλισμού ώστε να υπολογίζουν μια συνολική ακρίβεια [36].

## 2.2 ΟΙ ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΤΩΝ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΕΩΝ

Μια πολύ σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση ενός εργαστηρίου διακρίβωσης είναι και οι επαγγελματικές δεξιότητες του προσωπικού του. Ακόμη και αν διατίθεται ο καλύτερος εξοπλισμός διακρίβωσης, χωρίς τις απαραίτητες γνώσεις δεν μπορεί να υλοποιηθεί μια διακρίβωση από κάποιον που δεν έχει εξειδικευθεί σε αυτό.

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας, βέβαια, έχει απλοποιήσει τις διαδικασίες διακρίβωσης, με αποτέλεσμα να μπορούν να εκτελεστούν από μεγαλύτερο εύρος επαγγελματικών ομάδων. Αυτό, όμως, δεν σημαίνει ότι η εργασία των τεχνικών της διακρίβωσης μπορεί να αντικατασταθεί από άλλες μη εξειδικευμένες επαγγελματικές ομάδες. Αυτό συμβαίνει διότι στη διακρίβωση ενός ολόκληρου οργάνου, όχι μόνο κάποιου εξαρτήματός του, πρέπει ο τεχνικός να λάβει υπόψη του τη συνάρτηση πολλών παραμέτρων. Ο χειριστής του οργάνου μπορεί εύκολα να διαγνώσει ότι αυτό δεν λειτουργεί σωστά, ο τεχνικός όμως που γνωρίζει τον τρόπο λειτουργίας του οργάνου είναι ικανός να αναγνωρίσει το πρόβλημα βάσει των ενδείξεων [38].

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

Ακόμα, το προσωπικό διακρίβωσης θα πρέπει να προσέχει και την παραμικρή λεπτομέρεια. Κάθε διαφορετικό μοντέλο οργάνου είναι ξεχωριστό και συνδέεται διαφορετικά, έχει άλλες σταθερές, και συνεπώς άλλη συμπεριφορά. Επομένως, ο τεχνικός θα πρέπει και για λόγους ασφαλείας να δίνει σημασία ακόμα και στη παραμικρή λεπτομέρεια. Η ορθή και αναλυτική σύνταξη των πιστοποιητικών διακρίβωσης είναι η βάση για ένα εργαστήριο διακρίβωσης, οποιαδήποτε αλλαγή ή ρύθμιση πραγματοποιηθεί θα πρέπει να σημειώνεται, και αν απαιτείται να ανανεώνονται τα εγχειρίδια και οι βάσεις δεδομένων του εργαστηρίου.

## 2.3 ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ IEC

### 2.3.1 Διεθνή πρότυπα IEC – Σειρά 61000

Όλες οι ηλεκτρικές συσκευές, που διατίθενται προς πώληση στη αγορά στις χώρες - μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, πληρούν συγκεκριμένα πρότυπα της σειράς 61000, όπως ορίζει η Επίσημη Ηλεκτρομαγνητική Οδηγία (EMC directive). Η συμμόρφωση μιας ηλεκτρικής συσκευής στην οδηγία αυτή υποδηλώνεται από τα διακριτικά CE. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως τα διακριτικά CE προϋποθέτουν τη συμμόρφωση της συσκευής με έναν αριθμό προτύπων EN.

Τα πρότυπα αναφοράς για την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα σήμερα είναι η σειρά IEC 61000 (πρώην IEC 1000), η οποία περιέχει διάφορα μέρη, για παράδειγμα :

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

### 2.3.2 Δοκιμές ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας

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 και συχνότητες. Οι μετρήσεις διαταραχών που έγιναν σε διάφορα μέρη του εξοπλισμού έχουν οδηγήσει στην επιλογή πέντε δοκιμών [41].

- Η πρώτη δοκιμή, που καλύπτεται από το πρότυπο IEC 61000-4-4 [17,18,19,42], εξομοιώνει χαρακτηριστικές διαταραχές που παράγονται από τη λειτουργία του εξοπλισμού ελέγχου.

- Η δεύτερη δοκιμή είναι αντιπροσωπευτική για τα δευτερεύοντα αποτελέσματα που δημιουργούνται από φαινόμενα όπως ο κεραυνός. Αυτή εξομοιώνει τις διαταραχές αγωγής που εμφανίζονται στις γραμμές μεταφοράς χαμηλής τάσης μετά από το χτύπημα του κεραυνού (πρότυπο IEC 61000-4-5 [20,21,43]).
- Η τρίτη δοκιμή εκτελείται σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-4-6 [22,44]. 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 [28,29,45] 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 [46], το οποίο καθορίζει δύο τύπους κυματομορφών :
  - Αποσβαινόμενα ημιτονοειδή κύματα που εμφανίζονται σε καλώδια χαμηλής τάσης δημοσίων ή ιδιωτικών δικτύων ακολουθούμενα από λειτουργία μεταγωγής.
  - Αποσβαινόμενα ταλαντούμενα κύματα τα όποια εμφανίζονται με τη μορφή εκρήξεων. Αυτά βρίσκονται κυρίως στους υποσταθμούς, στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, ή ακόμα και στις μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας θα παρουσιαστούν συνοπτικά συγκεκριμένα IEC πρότυπα, τα οποία είναι :

- IEC 61000-4-2 Ed. 2.0 (2008-12). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμές ηλεκτροστατικής εκφόρτισης [14,15].
- IEC 61000-4-3 Ed. 2.0 (2006-05). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης – Δοκιμές ατρωσίας σε ακτινοβολούμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο ραδιοσυχνότητας [16].
- IEC 61000-4-4 Ed. 2.1 (2011-03). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Ηλεκτρικά ταχεία μεταβατικά φαινόμενα και απότομες εκφορτίσεις. Δοκιμή ατρωσίας σε «ριπές» [17,18,19,42].
- IEC 61000-4-5 Ed. 2.0 (2005-11). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμές ατρωσίας σε απότομες υπερτάσεις - υπερεντάσεις [20,21,43].
- IEC 61000-4-8 Ed. 2.0 (2009-09). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμές ατρωσίας, σε βιομηχανικές συχνότητες, μαγνητικού πεδίου [23,24].
- IEC 61000-4-9 Ed. 1.1 (2001-03). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμές ατρωσίας παλμικού μαγνητικού πεδίου [25,26].
- IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004-2003). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμές ατρωσίας σε βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης [28,29,45].

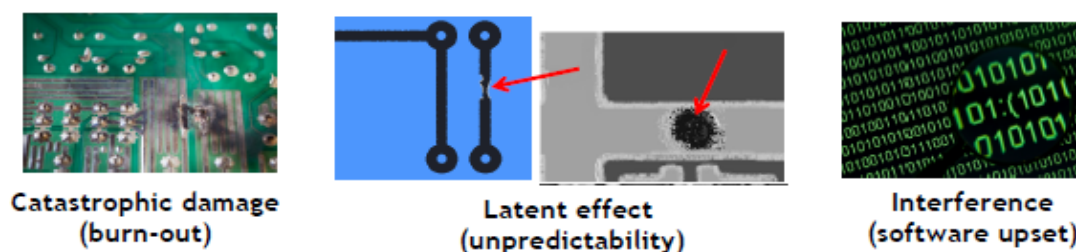
Τα παραπάνω πρότυπα παρουσιάζονται αναλυτικότερα στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού με σκοπό ο αναγνώστης να κατανοήσει τη φιλοσοφία και το πνεύμα τους. Δίδονται περιληπτικά τα κυριότερα σημεία αυτών. Για το λόγο αυτό, μια εις βάθος κατανόηση απαιτεί από τον αναγνώστη να ανατρέξει στα ίδια τα πρότυπα βασισμένος στη βιβλιογραφία της παρούσας εργασίας. Σύμφωνα με την τακτική που ακολουθεί η IEC, κάποιο πρότυπο μπορεί να τροποποιηθεί εάν κριθεί αναγκαίο. Επιπλέον, το πρότυπο IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004-2003) θα παρουσιαστεί αναλυτικά με σκοπό τη διευκόλυνση της συγγραφής της οδηγίας διακρίβωσης.

## 2.4 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ IEC 61000

### 2.4.1 Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-2 Ed. 2.0 (2008-12)

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

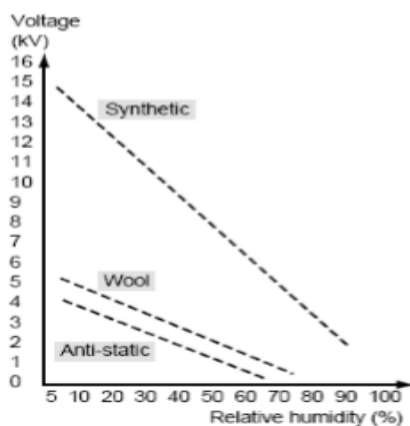
*Ηλεκτροστατική εκφόρτιση* είναι η ξαφνική και στιγμιαία ροή ηλεκτρικού ρεύματος μεταξύ δύο αντικειμένων διαφορετικού ηλεκτρικού δυναμικού που προκαλείται είτε μέσω άμεσης επαφής είτε επάγεται μέσω ηλεκτροστατικών πεδίων [47]. Τα προβλήματα που προκύπτουν λόγω ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων (Σχήμα 2-7) είναι η άμεση καταστροφή εξοπλισμού, η απρόβλεπτη συμπεριφορά συσκευών λόγω ανεκδήλωτων φαινομένων και προβλήματα που σχετίζονται με το λογισμικό του εξοπλισμού [47].



ΣΧΗΜΑ 2-7 : ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΛΟΓΩ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΩΝ [47].

Οι δοκιμές ηλεκτροστατικής εκφόρτισης έχουν ως σκοπό να ελέγξουν την ατρωσία των κυκλωμάτων, του εξοπλισμού και των συστημάτων κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης αυτής. Οι ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις είναι το αποτέλεσμα των φορτίων που συσσωρεύονται από ένα άνθρωπο, παραδείγματος χάριν, όταν περπατάει σε ένα πάτωμα που καλύπτεται με ένα ηλεκτρικά μονωμένο υλικό. Τότε ο άνθρωπος αγγίζει ηλεκτρικά αγώγιμο υλικό που είναι συνδεδεμένο μέσω μιας σύνθετης αντίστασης με το έδαφος και ο άνθρωπος εκφορτίζεται ξαφνικά μέσω της σύνθετης αντίστασης.

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η κυματομορφή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εκπομπού, δηλαδή την πηγή της εκφόρτισης και των εμπλεκόμενων κυκλωμάτων, αλλά και άλλων παραμέτρων όπως η σχετική υγρασία, που φαίνεται στο Σχήμα 2-8, ή η ταχύτητα με την οποία το φορτισμένο σώμα προσεγγίζει.



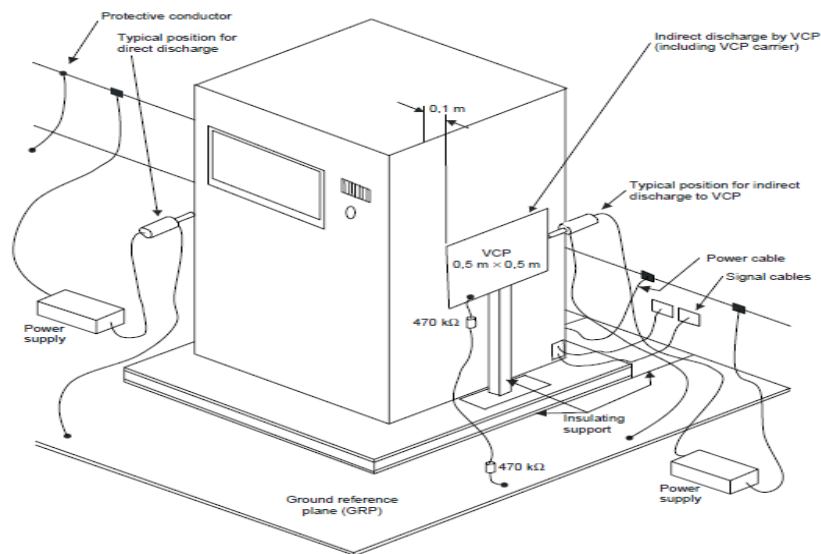
**ΣΧΗΜΑ 2-8 :** Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΡΙΑ ΕΙΔΗ ΔΑΠΕΔΟΥ.

Στο πρότυπο αυτό καθορίζονται [15]:

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

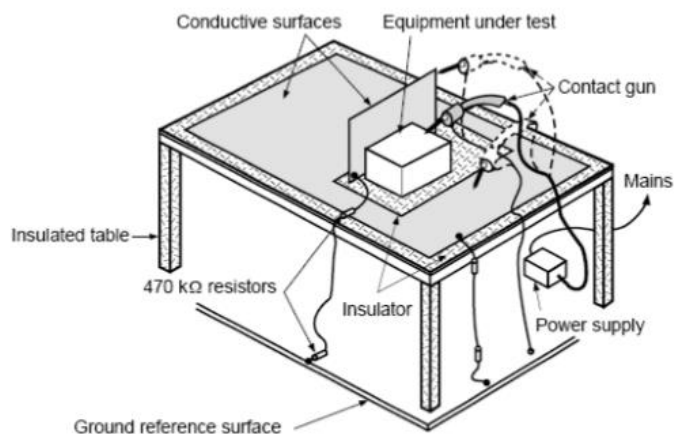
Ο απαιτούμενος εξοπλισμός [48] για την διακρίβωση γεννητριών ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων είναι ο ακόλουθος και στο Σχήμα 2-9 φαίνεται μία τυπική συνδεσμολογία του.

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



**ΣΧΗΜΑ 2- 9 :** ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΕΠΙΔΑΠΕΔΙΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ [15].

Οι μελέτες αυτές οδήγησαν σε τυποποιημένες δοκιμές εκφόρτισης, οι οποίες εκτελούνται με ένα πιστόλι ηλεκτροστατικής εκκένωσης που εξομοιώνει έναν άνθρωπο στις προκαθορισμένες διαμορφώσεις. Μια τυπική διάταξη δοκιμών σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-4-2 [14,15,49] φαίνεται στο Σχήμα 2-10.



**ΣΧΗΜΑ 2- 10 :** ΧΩΡΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΟΠΩΣ ΚΑΘΟΡΙΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61000-4-2 [49].

Οι εκφορτίσεις εφαρμόζονται σε όλα τα προσιτά μέρη του δοκιμίου, στο άμεσο περιβάλλον 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 [49] με τα επίπεδα που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

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

**ΣΧΗΜΑ 2- 11 :** ΟΙ ΤΑΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ ΠΟΥ ΟΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΑΝΤΕΧΟΥΝ ΓΙΑ ΝΑ ΥΠΑΚΟΥΟΥΝ ΣΤΟ IEC 61000-4-2 [49].

Το πρότυπο IEC 1000-4-2 [50] περιγράφει τα σημαντικά χαρακτηριστικά των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων που προκαλούν διαταραχές. Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο, οι διαταραχές είναι παλμοί με πολύ μικρό χρόνο ανόδου περίπου στο 1 ns, διάρκειας 60ns περίπου και με πολύ υψηλή τάση στην αρχή της εκφόρτισης που κυμαίνεται από 2 kV σε 15 kV ή και περισσότερο. Το ρεύμα εκφόρτισης και το αντίστοιχο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο είναι δυνατόν να προκαλέσουν δυσλειτουργικότητα ή ακόμα και καταστροφή των ηλεκτρονικών συστημάτων, 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 [51], το οποίο αναθεωρήθηκε και έφτασε στην τελική του μορφή ως IEC 61000-4-2 [50].

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.

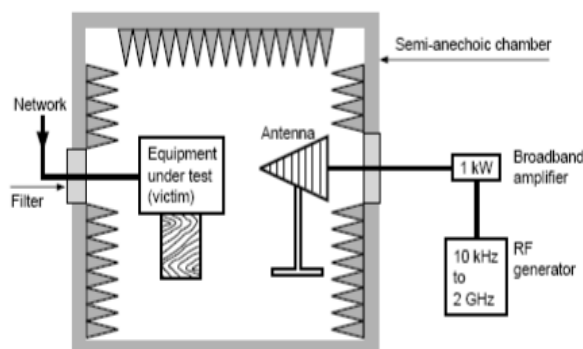
#### 2.4.2 Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-3 Ed. 2.0 (2005-06)

Οι δοκιμές ατρωσίας ενάντια στις ακτινοβολούμενες εκπομπές επινοήθηκαν για να εξασφαλίσουν την ικανοποιητική λειτουργία του εξοπλισμού όταν είναι εκτεθειμένος σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Τα μέσα και τα επίπεδα αποδοτικότητας που απαιτούνται για να παράγουν αξιόπιστες και αναπαραγωγίμες μετρήσεις ατρωσίας πρέπει να είναι πολύ υψηλά, αφού οι δοκιμές αυτές είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στο περιβάλλον. Το περιβάλλον που πραγματοποιούνται οι δοκιμές πρέπει να είναι ελεύθερο από ηλεκτρομαγνητικά πεδία, για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται κλωβός 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 όταν το πάτωμα δεν καλύπτεται. Στους θαλάμους, τα πεδία παράγονται από διαφορετικού τύπου κεραίες



ανάλογα με τον τύπο πεδίου, το φάσμα συχνότητας και την πόλωση. Οι κεραίες οδηγούνται από έναν ενισχυτή ισχύος ευρείας ζώνης ελεγχόμενο από μια γεννήτρια ραδιοσυχνότητας (RF generator).

Τα παραγόμενα πεδία βαθμονομούνται χρησιμοποιώντας ευρυζωνικούς ισοτροπικούς αισθητήρες. Στο Σχήμα 2-12 εμφανίζεται μια χαρακτηριστική εγκατάσταση δοκιμής.



**ΣΧΗΜΑ 2- 12 :** ΤΥΠΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΣΕ ΚΛΩΒΟ FARADAY. ΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΚΤΕΛΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΔΥΟ ΣΤΑΔΙΑ. Α) ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΔΟΣΜΕΝΟ ΕΥΡΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ, ΧΩΡΙΣ ΔΟΚΙΜΙΟ. Β) ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΗΣ ΑΤΡΩΣΙΑΣ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ.

Τα πρότυπα καθορίζουν τα αποδεκτά όρια διαταραχής. Ως εκ τούτου, το πρότυπο IEC 61000-4-3 [16,52] προβλέπει δοκιμές σε συχνότητες 80 MHz - 2000 MHz με τρία επίπεδα δριμύτητας : 1, 3 και 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.

#### 2.4.3 Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-4 Ed. 2.0 (2004-07)

Αυτό το μέρος του προτύπου IEC 61000-4[17,18,19,42] σχετίζεται με δοκιμές ατρωσίας ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού σε γρήγορα ηλεκτρικά μεταβατικά φαινόμενα και απότομες εκφορτίσεις (EFT/B - Electrical Fast Transients/Bursts). Παρουσιάζει τις απαιτήσεις ατρωσίας, τη διαδικασία δοκιμής και επιπλέον ορίζει το εύρος των επιπέδων δοκιμής. Το αντικείμενο αυτού του προτύπου είναι να θεσπίσει μια ενιαία βάση αναφοράς για την αξιολόγηση και απόδοση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών όταν υποβάλλονται σε EFT/B μέσω της θύρας τροφοδοσίας, σήματος, ελέγχου και γείωσης.

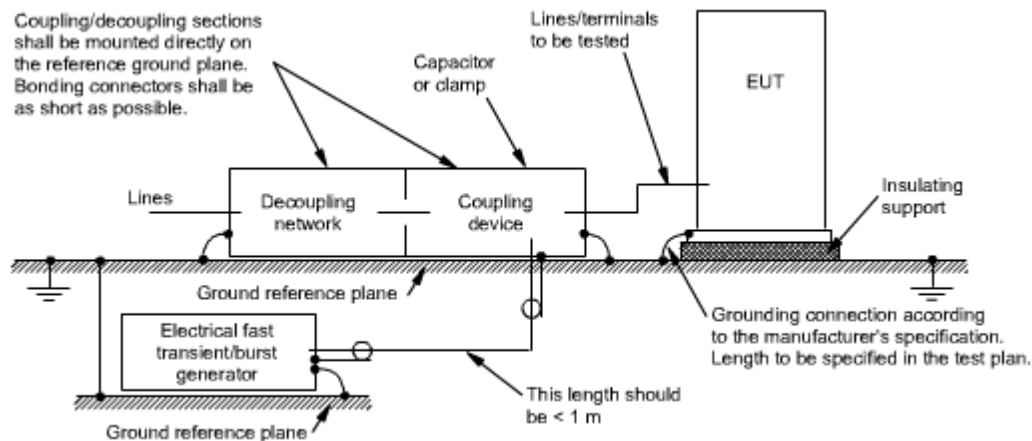
Αποσκοπεί στην επίδειξη της ατρωσίας του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού όταν υποβάλλεται σε τύπους μεταβατικών διαταραχών όπως αυτών που προέρχονται από το άνοιγμα και το κλείσιμο των επαφών. Η δοκιμή γρήγορων επαναλαμβανόμενων μεταβατικών φαινομένων με εκφορτίσεις αποτελείται από γρήγορες μεταβάσεις, συζευγμένες στις θύρες τροφοδοσίας σήματος, ελέγχου και γείωσης των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών. Σημαντικά στοιχεία της δοκιμής αυτής αποτελούν : ο μικρός χρόνος ανόδου, η χαμηλή ενέργεια, το μεγάλο πλάτος και ο μεγάλος ρυθμός επανάληψης των μεταβατικών φαινομένων.

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

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

Η προτεινόμενη μέθοδος είναι αυτή που πραγματοποιείται σε εργαστήρια. Ο απαραίτητος εξοπλισμός (Σχήμα 2-13) [18] για αυτή τη διακρίβωση είναι :

- Εδαφικό επίπεδο αναφοράς (GRP)
- Δίκτυο σύζευξης/ απόζευξης (CDN)
- Γεννήτρια δοκιμών

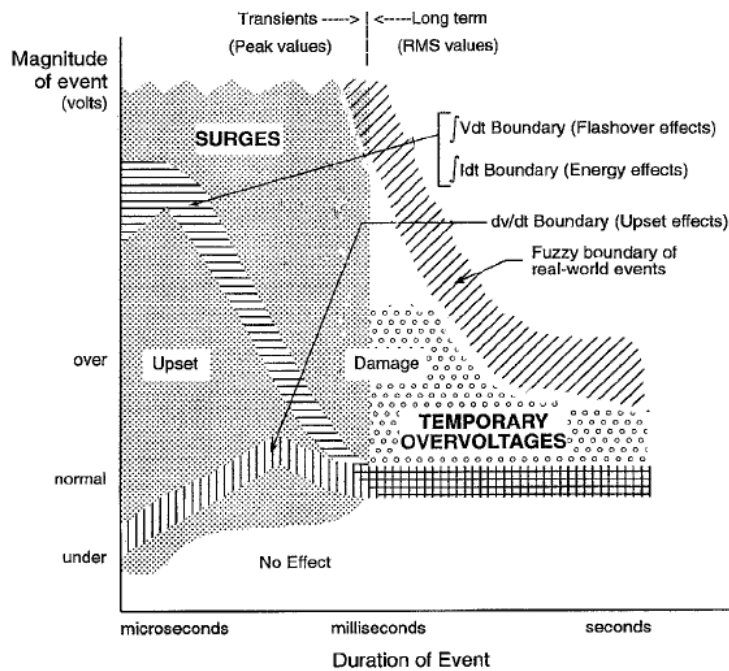


ΣΧΗΜΑ 2- 13 : ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ ΑΤΡΩΣΙΑΣ EFT/B [18].

#### 2.4.4 Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-5 Ed. 2.0 (2005-11)

Το πρότυπο IEC 61000-4-5 υπάρχει για δοκιμές που αφορούν τις υπερτάσεις μεταξύ φάσης και γης αλλά και μεταξύ φάσεων. Περιγράφει τις τεχνικές δοκιμών και μετρήσεων για την δοκιμή της ατρωσίας από υπερτάσεις - υπερεντάσεις [20,21,31,35,43]. Η εφαρμογή της δοκιμής συμβαίνει διότι καθημερινά λαμβάνουν χώρα υπερτάσεις ανά πάσα στιγμή. Αυτές μπορούν να προέλθουν από κεραυνούς, την έναυση ή την σβέση ενός μεγάλου κινητήρα, από την απότομη έναυση ή σβέση μεγάλων φορτίων. Συνεπώς, μια συσκευή που προορίζεται για σύνδεση στο δημόσιο δίκτυο παροχής ισχύος, πρέπει να έχει πιστοποιηθεί ότι για συνήθεις υπερτάσεις που μπορεί να συμβούν δεν θα καταστραφεί.

Το πρότυπο περιγράφει δοκιμές για υπέρταση μεταξύ φάσης και γης αλλά και μεταξύ δύο φάσεων για μονοφασικές αλλά και τριφασικές διατάξεις. Το πρότυπο καθορίζει τις συνθήκες της δοκιμής καθώς και την μέθοδο των μετρήσεων. Το πρότυπο αποδέχεται ότι υπερτάσεις μπορούν να συμβούν είτε λόγω κάποιου κεραυνικού πλήγματος είτε λόγω μεταβατικών φαινομένων από διακόπτες φορτίων. Η διάρκεια, η τιμή της τάσης, ο ρυθμός μεταβολής, οι επιπτώσεις στον εξοπλισμό από τις υπερτάσεις καθώς και οι σχέσεις μεταξύ αυτών παρουσιάζονται στο Σχήμα 2-14.



**ΣΧΗΜΑ 2- 14 :** ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΑΣΗΣ, ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ, ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΑΠΟ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ [53].

Στον ηλεκτρικό εξοπλισμό υπάρχουν πολλές δυσλειτουργίες που μπορούν να οδηγήσουν σε υπερτάσεις. Μερικές από αυτές είναι βραχυκυκλώματα, προβλήματα σε διακόπτες κυκλωμάτων και ενεργειακές μεταβάσεις. Αυτές οι ηλεκτρικές ανωμαλίες, που συνήθως δημιουργούνται από ανθρώπινα λάθη, μπορούν να προκαλέσουν βλάβες όπως ακριβώς και σε περίπτωση κεραυνικού πλήγματος [54].

Λόγω μεταβατικών φαινομένων οι υπερτάσεις που μπορούν να δημιουργηθούν, όπως αναφέρει το πρότυπο [31] είναι :

- Διαταραχή λόγω αποσύνδεσης σημαντικών στοιχείων ενός δικτύου όπως είναι συστοιχίες πυκνωτών.
- Διαταραχή λόγω αποσύνδεσης φορτίων κοντά στην περιοχή του δοκιμίου ή λόγω σημαντικών αλλαγών στα φορτία του δικτύου διανομής ισχύος.
- Διαταραχή λόγω κυκλωμάτων συντονισμού με διακοπτικές συσκευές όπως θυρίστορ.
- Διαταραχές λόγω σφαλμάτων στο δίκτυο, όπως βραχυκυκλώματα και σφάλματα στις γειώσεις.

Ενώ οι κυριότεροι μηχανισμοί με τους οποίους προκαλούνται υπερτάσεις από κεραυνό, σύμφωνα με το πρότυπο είναι :

- Από άμεση πτώση κεραυνού σε ένα εξωτερικό δίκτυο στο οποίο θα εισάγει υψηλά ρεύματα τα οποία θα δημιουργήσουν υπερτάσεις οι οποίες με τη σειρά τους θα ρέουν είτε μέσω της αντίστασης της γης είτε μέσω της εμπέδησης του εξωτερικού δικτύου.
- Η επαγωγική δημιουργία υπέρτασης στους αγωγούς εντός ή εκτός ενός κτιρίου από ηλεκτρομαγνητικό πεδίο το οποίο έχει προκληθεί από κεραυνό μεταξύ νεφών ή γενικότερα από έμμεσο κεραυνικό πλήγμα.

- Ρεύμα εντός της γης που ρέει έπειτα από κεραυνικό πλήγμα και επηρεάζει την γείωση κάποιας εγκατάστασης.

Για τη σωστή διεξαγωγή της διακρίβωσης του προτύπου πρέπει να προσομοιώνονται σωστά τα παραπάνω φαινόμενα. Η γεννήτρια πρέπει να μπορεί να προσομοιώνει μια πηγή μικρότερης αντίστασης στους ακροδέκτες του δοκιμίου, εάν η πηγή της διαταραχής είναι μέσα στο ίδιο το κύκλωμα, όπως για παράδειγμα μέσα στο δίκτυο τροφοδοσίας για άμεση σύζευξη. Ενώ όταν πρόκειται για έμμεση σύζευξη, δηλαδή εάν η πηγή της διαταραχής δεν είναι μέσα στο ίδιο το κύκλωμα, η γεννήτρια πρέπει να μπορεί να προσομοιώνει μια πηγή μεγαλύτερης αντίστασης.

Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-4-5 διακρίνονται δύο είδη συνδυασμών γεννήτριας συχνότητας. Κάθε ένα από αυτά έχει τις δικές του εφαρμογές ανάλογα με το είδος της θύρας που είναι υπό εξέταση. Η γεννήτρια συχνότητας 10/700μs χρησιμοποιείται για δοκιμές σε θύρες, που προορίζονται για σύνδεση με συμμετρικές επικοινωνιακές γραμμές, ενώ η γεννήτρια συχνότητας 1.2/50μs χρησιμοποιείται σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, και συγκεκριμένα, για δοκιμές θυρών γραμμών μεταφοράς ενέργειας και συνδέσεων σημάτων μικρών αποστάσεων [21].

#### 2.4.5 Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-8 Ed. 2.0 (2009-09)

Οι δοκιμές ατρωσίας σε μαγνητικά πεδία με βασικές συχνότητες γίνονται σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-4-8 [23,24]. Τέτοια μαγνητικά πεδία παράγονται από τη κυκλοφορία ρεύματος στα καλώδια, ή, πιο σπάνια, από άλλες συσκευές τοποθετημένες κοντά. Τα μόνιμα πεδία σε επίπεδα δοκιμών έχουν ρεύματα μεταξύ 1 και 100 mA, ενώ αυτά που είναι μικρής διάρκειας - περίπου 1 έως 3s - έχουν ρεύματα 300 ή 1000 mA. 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, όπως για παράδειγμα οθόνες CRT, hall effect αισθητήρες και άλλα.

Το πρότυπο αυτό [23,24] αναφέρεται στις απαιτήσεις ατρωσίας εξοπλισμού, μόνο υπό λειτουργικές συνθήκες, από μαγνητικές διαταραχές σε βιομηχανικές συχνότητες 50 Hz και 60 Hz που σχετίζονται με:

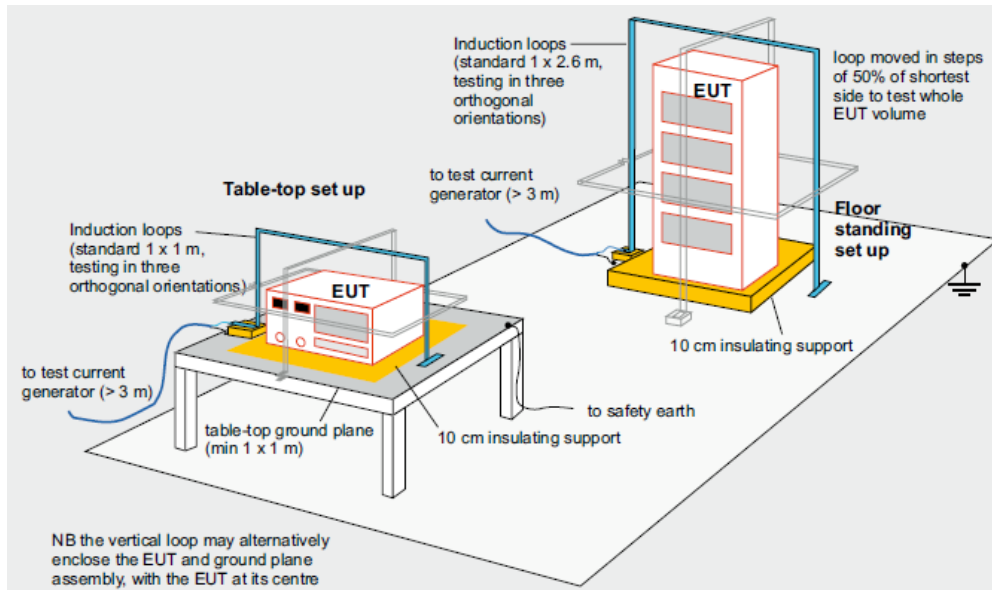
- κατοικήσιμες και εμπορικές θέσεις,
- βιομηχανικές εγκαταστάσεις και εργοστάσια παραγωγής εξοπλισμού,
- υποσταθμούς μέσης και υψηλής τάσης.

Αυτό το πρότυπο δεν θεωρεί διαταραχές λόγω χωρητικής ή επαγωγικής σύζευξης σε καλώδια ή άλλα μέρη της εγκατάστασης του πεδίου. Το αντικείμενο αυτού του προτύπου είναι να δημιουργήσει μια κοινή αναπαραγωγίμη βάση για την αποτίμηση της επίδοσης οικιακών ηλεκτρικών συσκευών, εμπορικών και βιομηχανικών εφαρμογών όταν υποβάλλονται σε μαγνητικά πεδία σε βιομηχανική συχνότητα (συνεχές ή βραχείας διάρκειας πεδίο).

Η διάταξη δοκιμής [24] περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία :

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

Πρέπει να λαμβάνονται προφυλάξεις αν το μαγνητικό πεδίο δοκιμής μπορεί να προκαλεί παρεμβολή στα όργανα δοκιμής και σε άλλες ευαίσθητες συσκευές σε κοντινή απόσταση από τη δοκιμή. Παραδείγματα διατάξεων δοκιμής δίνονται στο Σχήμα 2-15 για επιτραπέζια και επιδαπέδια συσκευή.



**ΣΧΗΜΑ 2- 15 :** ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΟΚΙΜΩΝ ΓΙΑ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΟ ΚΑΙ ΕΠΙΔΑΠΕΔΙΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΜΕ ΤΙΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ [55].

Σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-8 το μαγνητικό πεδίο δοκιμής επιτυγχάνεται από ένα ρεύμα που διαρρέει ένα πηνίο επαγωγής και η εφαρμογή του πεδίου δοκιμής στο δοκίμιο υπό εξέταση γίνεται με τη μέθοδο βύθισης [24]. Η συσκευή δοκιμής περιλαμβάνει την πηγή ρεύματος (γεννήτρια δοκιμής), το πηνίο επαγωγής και τα βοηθητικά όργανα μέτρησης δοκιμής [56].

#### 2.4.6 Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-9 Ed. 1.1 (2001-03)

Το πρότυπο αυτό [25,26] αναφέρεται στις απαιτήσεις ατρωσίας εξοπλισμού, μόνο υπό λειτουργικές συνθήκες, από παλμικές μαγνητικές διαταραχές που σχετίζονται με :

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

Αυτό το πρότυπο δεν θεωρεί διαταραχές που προκαλούνται από χωρητική ή επαγωγική σύζευξη σε καλώδια ή άλλα μέρη της εγκατάστασης του πεδίου. Αυτές οι πτυχές καλύπτονται από άλλα πρότυπα IEC που ασχολούνται με αγόμενες διαταραχές.

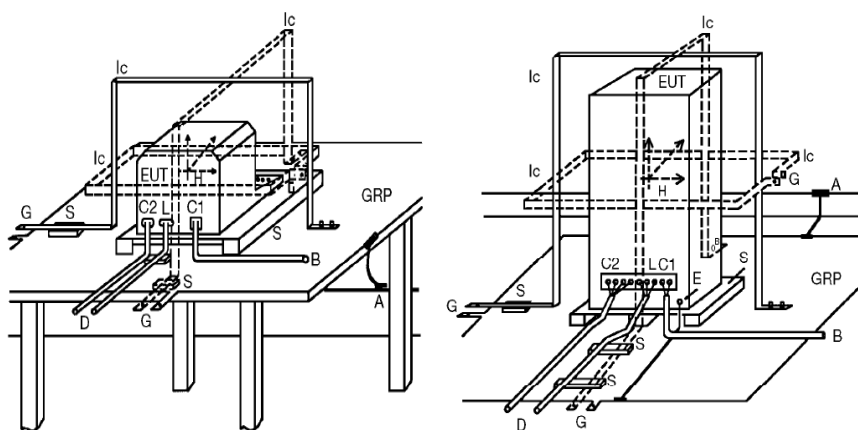
Το αντικείμενο αυτού του προτύπου είναι να δημιουργήσει μια κοινή αναπαραγώγιμη βάση για την αποτίμηση της επίδοσης οικιακών ηλεκτρικών συσκευών, εμπορικών και βιομηχανικών εφαρμογών όταν υποβάλλονται σε παλμικά μαγνητικά πεδία σχετιζόμενα με τη θέση και με την ειδική κατάσταση εγκατάστασης της συσκευής (π.χ. εγγύτητα της συσκευής σε πηγή διαταραχής) [26].

Το παλμικό μαγνητικό πεδίο δημιουργείται σε κτήρια και άλλες μεταλλικές κατασκευές, από εκκενώσεις κεραυνού και σε υποσταθμούς υψηλής τάσης, από το χειρισμό ζυγών και γραμμών τροφοδοσίας από διακόπτες του κυκλώματος. Η δοκιμή είναι κυρίως εφαρμόσιμη σε ηλεκτρονικό εξοπλισμό που εγκαθίσταται σε εργοστάσια ηλεκτρισμού, όπως και σε κέντρα τηλεχειρισμού και δεν σχετίζεται με εξοπλισμό σε δίκτυα διανομής. Η κυματομορφή του πεδίου δοκιμής είναι αυτή του πρότυπου παλμικού ρεύματος 6.4/16 μs.

Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-4-9 το μαγνητικό πεδίο δοκιμής επιτυγχάνεται από ένα ρεύμα που διαρρέει ένα πηνίο επαγωγής και η εφαρμογή του πεδίου δοκιμής στο δοκίμιο υπό εξέταση γίνεται με τη μέθοδο βύθισης. Η συσκευή δοκιμής περιλαμβάνει την πηγή ρεύματος (γεννήτρια δοκιμής), το πηνίο επαγωγής και τα βοηθητικά όργανα μέτρησης δοκιμής [26]. Η διάταξη δοκιμής περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία [26]:

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

Πρέπει να λαμβάνονται προφυλάξεις αν το μαγνητικό πεδίο δοκιμής μπορεί να προκαλεί παρεμβολή στα όργανα δοκιμής και σε άλλες ευαίσθητες συσκευές στην εγγύς περιοχή της διάταξης δοκιμής. Παραδείγματα διατάξεων δοκιμής για επιτραπέζια και επιδαπέδια συσκευή δίνονται στο Σχήμα 2-16.



ΣΧΗΜΑ 2- 16 : ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΟ ΚΑΙ ΕΠΙΔΑΠΕΔΙΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ [26].

#### 2.4.7 Επισκόπηση του προτύπου IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004-03)

Το πρότυπο 61000-4-11 καθορίζει τις μεθόδους δοκιμών ατρωσίας και το φάσμα του προτεινόμενου επιπέδου των δοκιμών για βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης, για είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού που συνδέονται σε ηλεκτρικά δίκτυα χαμηλής τάσης [28,29,45].

Τα είδη αυτά του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού έχουν ονομαστικό ρεύμα εισόδου που δεν υπερβαίνει τα 16 A ανά φάση, για τη σύνδεση με 50 ή 60 Hz σε AC δίκτυα. Το συγκεκριμένο πρότυπο καθορίζει ένα κοινό σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση της ατρωσίας του εξοπλισμού, όταν υποβάλλεται σε βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης.

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

Για το πρότυπο 61000-4-11 θα γίνει αναλυτική παρουσίαση στο επόμενο κεφάλαιο.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004-03)

### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 3.1.1 Σκοπός του προτύπου

Το πρότυπο IEC 61000-4-11 καθορίζει τη μέθοδο δοκιμής ατρωσίας και τα επίπεδά της για ηλεκτρονικό και ηλεκτρικό εξοπλισμό, ο οποίος είναι συνδεδεμένος σε χαμηλής τάσης δίκτυο και υφίσταται βυθίσεις, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης, ώστε να καθιερωθεί μία κοινή αναφορά για την εκτίμηση της ατρωσίας σε αυτούς τους εξοπλισμούς [29].

Αυτό το πρότυπο βρίσκει εφαρμογή σε ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό με ονομαστική τιμή ρεύματος που δεν ξεπερνά τα 16 A ανά φάση για σύνδεση σε AC δίκτυο 50 Hz ή 60 Hz. Τα AC δίκτυα των 400 Hz καλύπτονται από άλλα IEC πρότυπα.

Η μέθοδος δοκιμής αυτού του προτύπου περιγράφει μία συμφωνημένη μέθοδο για την εκτίμηση της ατρωσίας σε συστήματα ή εξοπλισμούς που πληρούν τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Όπως περιγράφεται από την οδηγία IEC 107, οι διάφορες εταιρίες κατασκευής και πώλησης ηλεκτρικού ή ηλεκτρονικού εξοπλισμού είναι υπεύθυνες να καθορίζουν τις περιπτώσεις για τις οποίες αυτό το πρότυπο πρέπει να βρίσκει εφαρμογή και τα κατάλληλα επίπεδα δοκιμών τους. Τέλος, θα πρέπει να συμβουλευονται την τεχνική επιτροπή 77 για την τιμή της ατρωσίας σε δοκιμές που αφορούν τα προϊόντα τους [29].

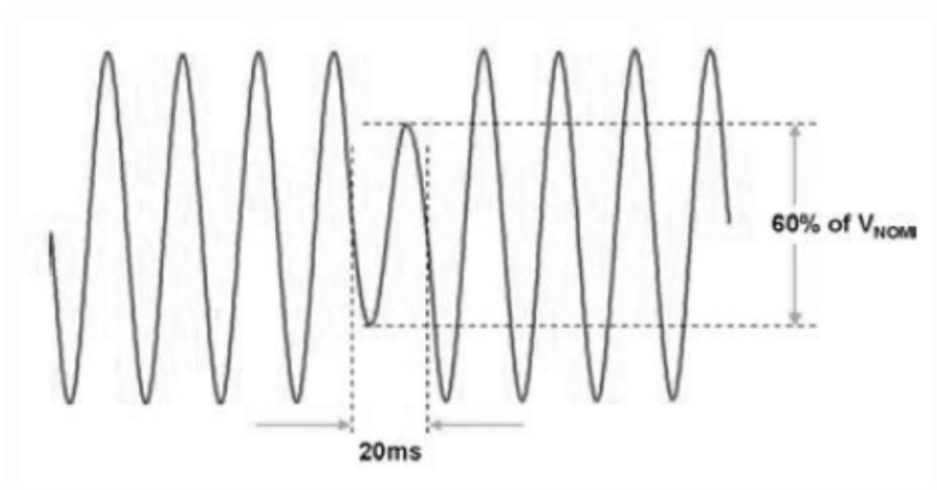
#### 3.1.2 Ορισμοί

Για την πληρέστερη και αναλυτικότερη περιγραφή και κατανόηση του συγκεκριμένου προτύπου αξίζει να δωθούν οι παρακάτω ορισμοί [29,57] :

*Βασικό πρότυπο ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας* είναι το πρότυπο που δίνει γενικές και ουσιαστικές πληροφορίες/κανόνες για την επίτευξη της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας για όλα τα προϊόντα και συστήματα που πρέπει να ακολουθούνται από τις εμπορικές εταιρίες.

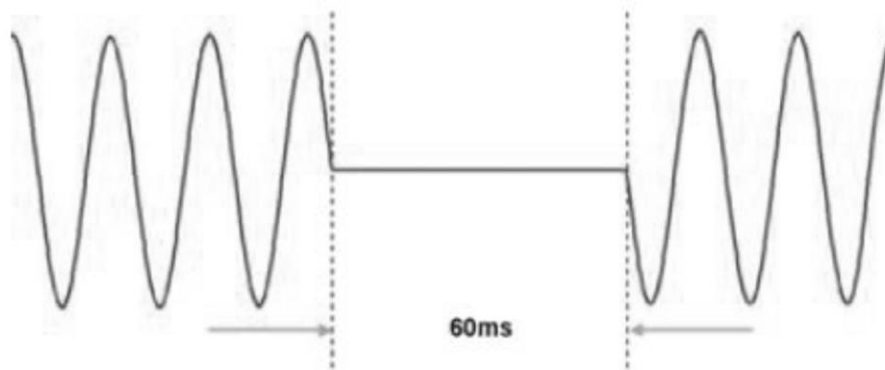
*Ατρωσία σε διαταραχές τάσης* είναι η ικανότητα μιας συσκευής, ενός εξοπλισμού ή ενός συστήματος να λειτουργεί χωρίς να επηρεάζεται από την παρουσία μιας ηλεκτρομαγνητικής διαταραχής.

*Βύθιση τάσης* είναι μία απότομη μείωση του μεγέθους της τάσης ενός ηλεκτρικού δικτύου κάτω από μία καθορισμένη τιμή αναφοράς και η αποκατάστασή της σε φυσιολογικά επίπεδα μετά από ένα σύντομο χρονικό διάστημα (Σχήμα 3-1) [29]. Συνήθως, μία βύθιση συνοδεύεται από την εμφάνιση ενός βραχυκυκλώματος ή άλλης ακραίας αύξησης του ρεύματος στο ίδιο το σύστημα ή σε εξοπλισμούς που συνδέονται με αυτό. Επίσης, είναι μία δισδιάστατη ηλεκτρομαγνητική διαταραχή, το επίπεδο της οποίας καθορίζεται από την τάση και την χρονική διάρκεια [58].



**ΣΧΗΜΑ 3- 1 :** ΒΥΘΙΣΗ ΤΑΣΗΣ 40% ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 20 MS. Η ΒΥΘΙΣΗ ΞΕΚΙΝΗΣΕ ΚΑΙ ΤΕΛΕΙΩΣΕ ΣΕ ΣΗΜΕΙΑ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΜΗΔΕΝ (ΟΠΩΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ IEC 61000-4-11), ΟΜΩΣ ΣΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΙ ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΓΙΝΟΥΝ ΣΕ ΟΠΟΙΕΣΔΗΠΟΤΕ ΓΩΝΙΕΣ ΦΑΣΕΩΣ [29].

*Σύντομη διακοπή τάσης* είναι μία απότομη μείωση της τάσης σε όλες τις φάσεις ενός ηλεκτρικού δικτύου κάτω από μία καθορισμένη τιμή αναφοράς και η αποκατάσταση αυτής σε φυσιολογικά επίπεδα μετά από ένα σύντομο χρονικό διάστημα (Σχήμα 3-2) [29]. Οι σύντομες διακοπές κατά κανόνα συνδέονται με λειτουργίες του εξοπλισμού διανομής που σχετίζονται με την εμφάνιση βραχυκυκλωμάτων στο ίδιο το σύστημα ή σε εξοπλισμούς που συνδέονται με αυτό [58].



**ΣΧΗΜΑ 3- 2 :** ΣΥΝΤΟΜΗ ΔΙΑΚΟΠΗ ΤΑΣΗΣ 60 MS. Η ΔΙΑΚΟΠΗ ΞΕΚΙΝΗΣΕ ΚΑΙ ΤΕΛΕΙΩΣΕ ΣΕ ΣΗΜΕΙΑ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΜΗΔΕΝ (ΟΠΩΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ IEC 61000-4-11), ΟΜΩΣ ΣΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΙ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΓΙΝΟΥΝ ΣΕ ΟΠΟΙΕΣΔΗΠΟΤΕ ΓΩΝΙΕΣ ΦΑΣΕΩΣ [29].

*Κατώφλι τάσης* είναι η μικρότερη τιμή που λαμβάνει η τάση κατά τη διάρκεια μιας βύθισης ή διακοπής της τάσης. Μπορεί να εκφραστεί είτε σε Volt, είτε σε ποσοστό, είτε σε ανά μονάδα τιμή σχετιζόμενη με την τάση αναφοράς.

*Δυσλειτουργία* είναι η καταστροφή συγκεκριμένων λειτουργιών που εκτελούνται από ένα σύστημα ή έναν εξοπλισμό.

*Επαλήθευση (Verification)* είναι η μέθοδος που αποδεικνύει ότι ένας εξοπλισμός λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του.

*Διακρίβωση (Calibration)* είναι ένα σύνολο από διεργασίες που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της δοκιμής ενός εξοπλισμού ( π.χ. μιας γεννητριας και των καλωδίων της) για να διαπιστωθεί ότι το υπό δοκιμή σύστημα λειτουργεί βάση των προδιαγραφών του. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη διακρίβωσή του μπορεί να διαφέρουν από αυτές για την επαλήθευσή του.

### 3.1.3 Γενικά

Ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός μπορεί να επηρεαστεί από τις βυθίσεις, τις σύντομες διακοπές ή τις διακυμάνσεις της τάσης τροφοδοσίας, που οφείλονται κυρίως σε τεχνικά σφάλματα των συστημάτων, ως επί το πλείστον τα βραχυκυκλώματα και οι απότομα μεγάλες αλλαγές στο φορτίο του δικτύου. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορούν να συμβούν δύο ή και περισσότερες συνεχόμενες βυθίσεις ή διακοπές τάσεως. Οι διακυμάνσεις της τάσης οφείλονται κατά κύριο λόγο σε συνεχόμενες προσθήκες φορτίου στο σύστημα [29].

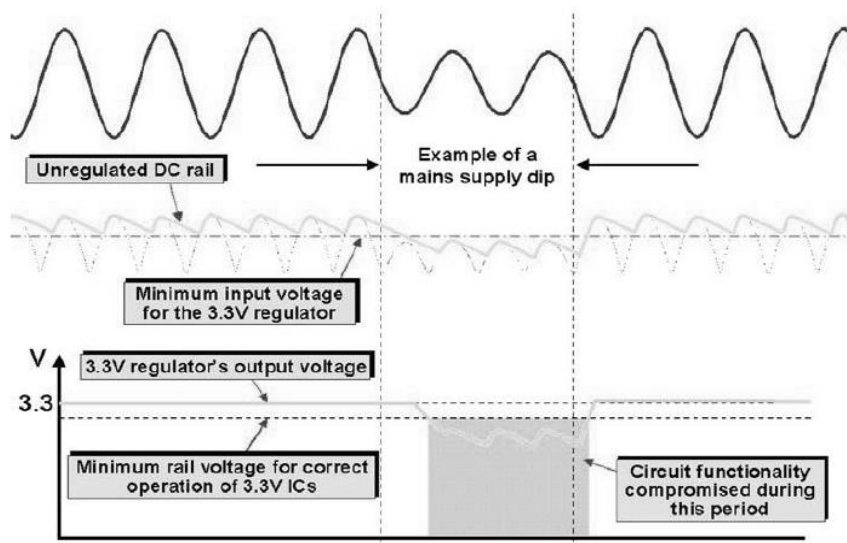
Όλα αυτά τα φαινόμενα είναι εκ φύσεως τυχαία, μπορούν όμως να προσομοιωθούν στο εργαστήριο από γεννήτρια δοκιμών με χαρακτηριστικά τη διάρκεια και την απόκλιση από την ονομαστική τάση. Για το λόγο αυτό στο συγκεκριμένο πρότυπο προσδιορίζονται διάφοροι τύποι δοκιμών για την προσομοίωση των επιπτώσεων των απροσδόκητων αλλαγών της τάσης. Αυτές οι δοκιμές πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο σε συγκεκριμένες και αιτιολογημένες περιπτώσεις, όπως ορίζονται στις προδιαγραφές του προϊόντος ή υπό την ευθύνη των κατασκευαστών των προϊόντων [29].

## 3.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΛΟΓΩ ΒΥΘΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΠΩΝ ΤΑΣΗΣ

Οι ηλεκτρομηχανολογικές συσκευές όπως τα ρελέ και οι επαφές, μπορούν να παρουσιάσουν διακυμάνσεις τάσεως, οι οποίες ποικίλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία, την υγρασία, την καταπόνηση και την ηλικία της συσκευής. Υπάρχουν περιπτώσεις διακυμάνσεων κατά τις οποίες οι συσκευές αδυνατούν να επανέλθουν σε φυσιολογική λειτουργία μετά τη διακοπή της τάσης [59].

Κάποια ηλεκτρονικά κυκλώματα βασίζονται στη μέτρηση των περιόδων της τροφοδοσίας, με αποτέλεσμα να υπάρξει πιθανότητα δυσλειτουργίας του εξοπλισμού λόγω των βυθίσεων και των διακοπών τάσεως. Το μεγαλύτερο πρόβλημα, όμως, δημιουργείται κατά το χρονικό διάστημα (ms) που τα συστήματα συνεχίζουν να λειτουργούν μετά από το πέρας μιας διακοπής ή βύθισης της τάσης (*hold-up time*). Το Σχήμα 3-3 παρουσιάζει ένα παράδειγμα ψηφιακού κυκλώματος τροφοδοτούμενο με τάση 3,3 V. Η βύθιση της τάσης τροφοδοσίας προκαλεί μια εκφόρτιση σε επίπεδο μικρότερο από την ελάχιστη τάση εισόδου των 3,3 V του ρυθμιστή τάσης. Σε αυτή την κατάσταση τα ολοκληρωμένα κυκλώματα δεν μπορούν να επαναφέρουν τις φυσιολογικές τιμές έχοντας σαν αποτέλεσμα να υπάρχουν συνέπειες στη λειτουργία των συστημάτων που ελέγχονται από αυτά. Κατά συνέπεια οι κατασκευαστές συσκευών με ψηφιακά κυκλώματα προσθέτουν λογισμικό που ελέγχει το επίπεδο

τάσης και σε περίπτωση κάποιου σφάλματος επανεκκινεί το σύστημα ή κάνει κάποια άλλη διορθωτική πράξη [59].



ΣΧΗΜΑ 3- 3 : ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕ ΤΑΣΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ 3.3 V ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΒΥΘΙΣΕΩΣ ΤΑΣΗΣ [59,60].

Μια στιγμιαία βύθιση τάσης ή σύντομη διακοπή σε αναλογικά κυκλώματα μπορεί να προκαλέσει λειτουργικά σφάλματα, όμως συνήθως η επαναφορά τους στις φυσιολογικές λειτουργίες τους γίνεται αυτόματα με το πέρας της βύθισης ή της διακοπής.

### 3.3 ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΑΣΕΩΣ ΔΟΚΙΜΩΝ

Για τις δοκιμές διακρίβωσης του προτύπου IEC 61000-4-11 χρησιμοποιούνται τάσεις ίσες με την ονομαστική τάση του εξοπλισμού ( $U_T$ ) και ποσοστιαία επίπεδα αυτής βάσει των προδιαγραφών για τα επίπεδα τάσης των δοκιμών. Όταν όμως η ονομαστική τάση του εξοπλισμού καλύπτει ένα φάσμα, ισχύουν τα εξής [29]:

- Αν η τάση δεν υπερβαίνει το 20% του κάτω ορίου της ονομαστικής τάσης, τότε μπορεί να ορίζεται μία τάση εντός αυτού του φάσματος ως βάση για τον προσδιορισμό του επιπέδου της τάσης δοκιμών ( $U_T$ ).
- Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, η διαδικασία δοκιμής πρέπει να εφαρμόζεται τόσο για την κατώτατη όσο και για την ανώτατη τάση που δηλώνονται στο φάσμα ονομαστικής τάσης του εξοπλισμού.
- Αναλυτικές οδηγίες για την επιλογή των επιπέδων δοκιμής και τις διάρκειες δοκιμών δίνονται στο πρότυπο IEC 61000-2-8.

#### 3.3.1 Επίπεδα δοκιμών για βυθίσεις και σύντομες διακοπές τάσης

Η αλλαγή μεταξύ της ονομαστικής τάσης  $U_T$  και της τάσης δοκιμής είναι απότομη. Τα ακόλουθα επίπεδα τάσης δοκιμής (σε %  $U_T$ ) που χρησιμοποιούνται (0%,

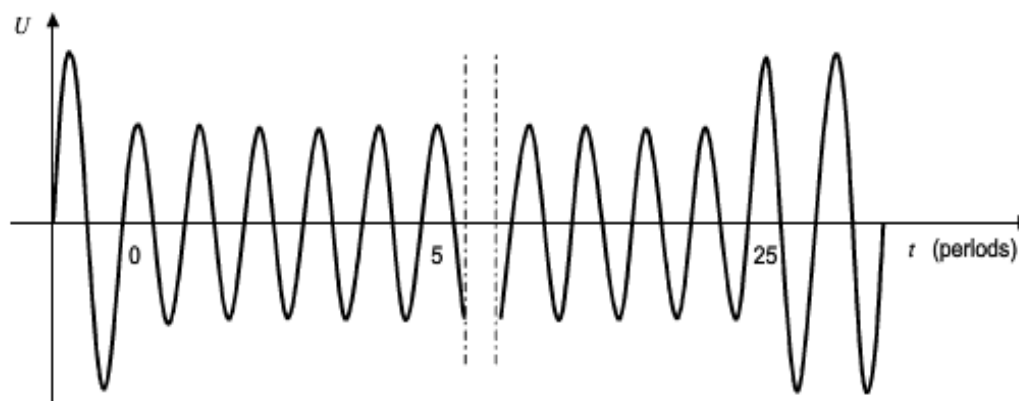
40%, 70% και 80%) αντιστοιχούν σε βυθίσεις με κατώφλι τάση 0%, 40%, 70% και 80%.

Για βυθίσεις τάσης, τα προτεινόμενα επίπεδα και οι διάρκειες δοκιμών παρατίθενται στον Πίνακα 3-1, ενώ παραδείγματα φαίνονται στα Σχήματα 3-4 και 3-5. Τα επίπεδα των δοκιμών του Πίνακα 3-1 είναι αρκετά αυστηρά και αντιπροσωπευτικά πολλών βυθίσεων τάσης που συμβαίνουν στην πραγματικότητα, αλλά δεν έχουν ως στόχο να εγγυηθούν την ατρωσία του υπό δοκιμή εξοπλισμού έναντι σε όλες τις δυνατές βυθίσεις τάσης. Οι πιο σύντομες διάρκειες του πίνακα, και ιδίως αυτές του μισού κύκλου, θα πρέπει να ελέγχονται για να βεβαιωθεί ότι ο εξοπλισμός υπό δοκιμή λειτουργεί εντός των ορίων απόδοσης που καθορίζονται για αυτόν [29].

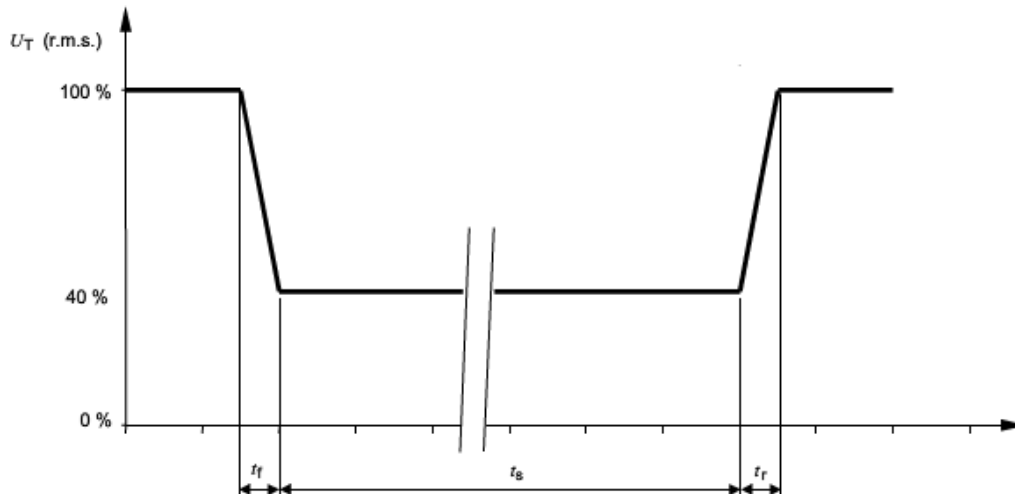
Κλάση <sup>a</sup>	Επίπεδα και διάρκειες δοκιμών για βυθίσεις τάσης ( <i>ts</i> ) (50Hz/60Hz)				
Κλάση 1	Εξέταση της κάθε περίπτωσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εξοπλισμού				
Κλάση 2	0% για ½ κύκλο	0% για 1 κύκλο	70% για 25/30 <sup>c</sup> κύκλους		
Κλάση 3	0% για ½ κύκλο	0% για 1 κύκλο	40% για 10/12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

<sup>a</sup> Οι κλάσεις είναι σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-2-4 (βλ. Ενότητα 3.4).  
<sup>b</sup> Καθορίζεται από την επιτροπή προϊόντος. Για εξοπλισμό άμεσα ή έμμεσα συνδεδεμένο σε δημόσιο δίκτυο, τα επίπεδα πρέπει να είναι λιγότερο αυστηρά από την Κλάση 2.  
<sup>c</sup> «25/30 κύκλους» σημαίνει «25 κύκλους για δοκιμή 50 Hz» και «30 κύκλους για δοκιμή 60 Hz»

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3- 1 :** ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΚΑΙ ΔΙΑΡΚΕΙΕΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΤΑΣΕΩΣ[29].



**ΣΧΗΜΑ 3- 4 :** ΓΡΑΦΗΜΑ ΗΜΙΤΟΝΟΕΙΔΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ 70% ΓΙΑ 25 ΚΥΚΛΟΥΣ [29].



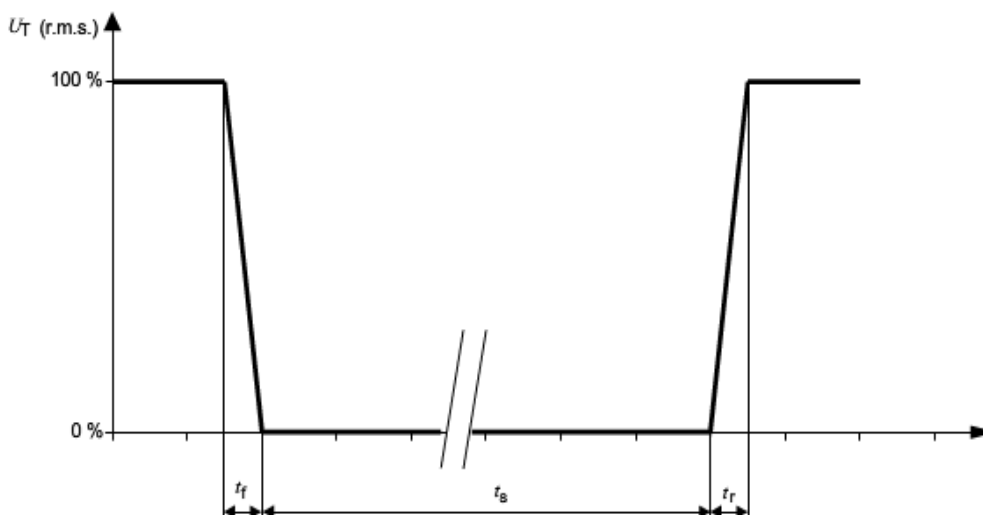
$t_f$  : χρόνος ανόδου της τάσης (κυμαίνεται από 1μs έως 5μs).  
 $t_r$  : χρόνος καθόδου της τάσης (κυμαίνεται από 1μs έως 5μs).  
 $t_s$  : χρόνος παραμονής της τάσης σε μειωμένο επίπεδο.

**ΣΧΗΜΑ 3- 5 :** ΓΡΑΦΗΜΑ R.M.S. ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ 40% [29].

Για σύντομες διακοπές τάσης, τα προτεινόμενα επίπεδα και οι διάρκειες δοκιμών παρατίθενται στον Πίνακα 3-2, ενώ ένα αντιπροσωπευτικό παραδείγμα φαίνεται στο Σχήμα 3-6. Τα δεδομένα των πινάκων 1 και 2 βασίζονται σε πληροφορίες που δίνονται στο πρότυπο IEC 61000-2-8.

Κλάση <sup>a</sup>	Επίπεδα και διάρκειες δοκιμών για σύντομες διακοπές τάσης (ts) (50Hz)
Κλάση 1	Εξέταση της κάθε περίπτωσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εξοπλισμού
Κλάση 2	0% για 250/300 <sup>c</sup> κύκλους
Κλάση 3	0% για 250/300 <sup>c</sup> κύκλους
Κλάση X <sup>b</sup>	X
<sup>a</sup> Οι κλάσεις είναι σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-2-4 (βλ. Ενότητα 3.4). <sup>b</sup> Καθορίζεται από την επιτροπή προϊόντος. Για εξοπλισμό άμεσα ή έμμεσα συνδεδεμένο σε δημόσιο δίκτυο, τα επίπεδα πρέπει να είναι λιγότερα αυστηρά από την Κλάση 2. <sup>c</sup> «25/30 κύκλους» σημαίνει «25 κύκλους για δοκιμή 50 Hz» και «30 κύκλους για δοκιμή 60 Hz»	

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3- 2 :** ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΚΑΙ ΔΙΑΡΚΕΙΕΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΓΙΑ ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΤΑΣΗΣ [29].



- $t_f$ : χρόνος ανόδου της τάσης (κυμαίνεται από 1μs έως 5μs).  
 $t_r$ : χρόνος καθόδου της τάσης (κυμαίνεται από 1μs έως 5μs).  
 $t_s$ : χρόνος παραμονής της τάσης σε μειωμένο επίπεδο.

ΣΧΗΜΑ 3- 6 : ΣΥΝΤΟΜΗ ΔΙΑΚΟΠΗ ΤΑΣΗΣ [29].

Το επίπεδο δοκιμής της τάξης του 0% αντιστοιχεί σε συνολική διακοπή της τάσης τροφοδοσίας. Στην πράξη, όμως το επίπεδο τάσης δοκιμής που κυμαίνεται από 0% έως 20% της ονομαστικής τάσης μπορεί να θεωρηθεί ως συνολική διακοπή τάσης.

Όταν υπάγονται κριτήρια λειτουργίας για διαταραχές μισού κύκλου σε προϊόντα που περιέχουν κυρίως μετασχηματιστές, θα πρέπει οι εμπορικές επιτροπές να δίνουν ιδιαίτερη προσοχή στις επιδράσεις των ρευμάτων εισροής, λόγω της μαγνητικής ροής κορεσμού στον πυρήνα του μετασχηματιστή.

### 3.3.2 Επίπεδα δοκιμών για διακυμάνσεις τάσης

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

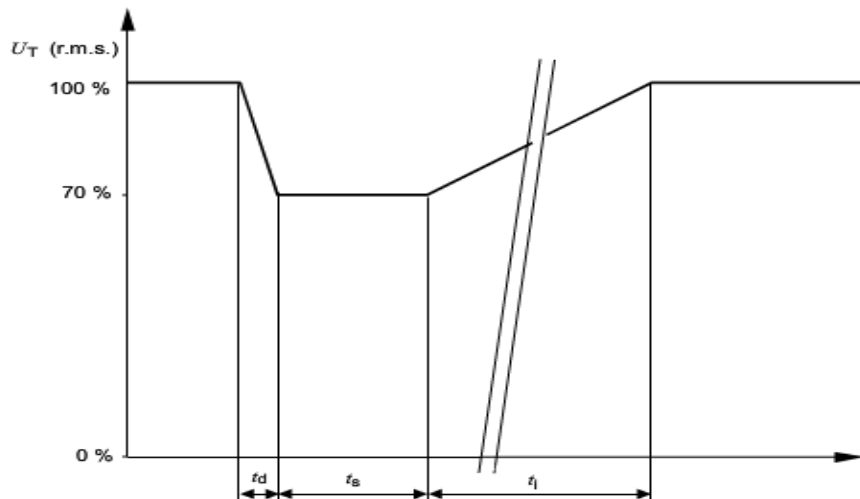
Η προτεινόμενη διάρκεια των μεταβολών τάσης και ο χρόνος κατά τον οποίο οι μειωμένες τάσεις θα πρέπει να διατηρηθούν παρατίθενται στον Πίνακα 3-3. Ο ρυθμός των μεταβολών πρέπει να είναι σταθερός, ωστόσο η τάση μπορεί να ενισχυθεί. Τα βήματα πρέπει να τοποθετούνται στα σημεία διασταύρωσης από το μηδέν, και να μην είναι μεγαλύτερα από το 10% της  $U_T$ . Βήματα κάτω του 1% της  $U_T$  θεωρούνται ως σταθερές μεταβολές της αλλαγής τάσης.

Το Σχήμα 3-7 δείχνει την ενεργό τάση ως συνάρτηση του χρόνου. Αυτό το σχήμα είναι το τυπικό σχήμα για την εκκίνηση ενός κινητήρα.

Επίπεδο τάσης δοκιμής	Χρόνος μείωσης της τάσης (td)	Χρόνος παραμονής σε μειωμένη τάση (ts)	Χρόνος αύξησης της τάσης (ti)
70%	1 μs έως 5 μs	1 κύκλος	25/30 <sup>b</sup> κύκλοι
X <sup>a</sup>	X <sup>a</sup>	X <sup>a</sup>	X <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Καθορίζεται από την επιτροπή προϊόντος.  
<sup>b</sup> «25/30 κύκλους» σημαίνει «25 κύκλους για δοκιμή 50 Hz» και «30 κύκλους για δοκιμή 60 Hz».

ΠΙΝΑΚΑΣ 3- 3 : ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΩΝ ΤΑΣΗΣ ΒΡΑΧΕΙΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ [29].



t<sub>d</sub>: χρόνος μείωσης της τάσης  
t<sub>i</sub>: χρόνος αύξησης της τάσης  
t<sub>s</sub>: χρόνος παραμονής σε μειωμένη τάση

ΣΧΗΜΑ 3- 7 : ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΑΣΗΣ [29].

### 3.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΚΛΑΣΕΙΣ

Οι ακόλουθες κλάσεις ηλεκτρομαγνητικής φύσεως συνοψίζονται από το IEC 61000-2-4 [61].

- *Κλάση 1* : Η κλάση αυτή εφαρμόζεται για την προστασία της τροφοδοσίας και έχει επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας χαμηλότερα από το δημόσιο δίκτυο. Σχετίζεται με εξοπλισμούς που είναι πολύ ευαίσθητοι σε ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές της τάσης τροφοδοσίας, όπως για παράδειγμα, όργανα μέτρησης των τεχνολογικών εργαστηρίων, συστήματα αυτοματισμών και ασφάλειας κ.λ.π.. Γενικότερα, η κλάση 1 περιλαμβάνει τον εξοπλισμό η χρήση του οποίου, υπό κανονικές συνθήκες, απαιτεί προστασία μέσω διαφόρων συσκευών, όπως UPS, φίλτρα και άλλα.
- *Κλάση 2* : Αυτή η κλάση βρίσκει εφαρμογή στα σημεία κοινής ζεύξης (Points of Common Coupling ή PCC's για τα συστήματα καταναλωτών) και στα σημεία κοινής ζεύξης εντός εγκαταστάσεων στο βιομηχανικό περιβάλλον (In-plant Points of Common coupling ή IPC's). Τα επίπεδα συμβατότητας σε αυτή



την κατηγορία είναι πανομοιότυπα με εκείνα των δημοσίων δικτύων. Επομένως, συσκευές που προορίζονται για χρήση σε δημόσια δίκτυα ηλεκτρισμού, μπορούν να ενταχθούν σε αυτή την κατηγορία βιομηχανικού περιβάλλοντος.

- *Κλάση 3* : Η κλάση αυτή αφορά μόνο τα IPC's σε βιομηχανικό περιβάλλον. Έχει επίπεδα συμβατότητας υψηλότερα από εκείνα της Κλάσης 2 για ορισμένα φαινόμενα διαταραχής. Για παράδειγμα, η κατηγορία αυτή θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν ισχύει οποιαδήποτε από τις ακόλουθες προϋποθέσεις :
  - ένα μεγάλο μέρος του φορτίου τροφοδοτείται μέσω μετατροπέων,
  - υπάρχουν συσκευές ηλεκτροσυγκόλλησης,
  - συμβαίνουν συχνές εκκινήσεις μεγάλων κινητήρων και
  - συμβαίνουν γρήγορες μεταβολές φορτίων.

### 3.5 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ

#### 3.5.1 Γεννήτρια δοκιμών

Τα ακόλουθα χαρακτηριστικά της γεννήτριας είναι κοινά για βυθίσεις, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης, εκτός αν αυτά αναφέρονται διαφορετικά. Σε περίπτωση που υπάρχουν διαταραχές στο δίκτυο, οι οποίες επηρεάζουν τα αποτελέσματα της δοκιμής, θα πρέπει η γεννήτρια να έχει τη δυνατότητα να τις αποκόπτει. Το πρότυπο επιτρέπει τη χρήση γεννήτριας που δημιουργεί βύθιση τάσης πιο έντονων χαρακτηριστικών (πλάτους και διάρκειας) από αυτό που προβλέπεται [29].

##### 3.5.1.1 Χαρακτηριστικά και επίδοση γεννήτριας

Τάση εξόδου χωρίς φορτίο	Όπως καθορίζεται στον Πίνακα 3-2, $\pm 5\%$ της τιμής της τάσεως διάρκειας
Μεταβολή τάσης με φορτίο στην έξοδο της γεννήτριας Έξοδος 100%, 0 A έως 16 A Έξοδος 80%, 0 A έως 20 A Έξοδος 70%, 0 A έως 23 A Έξοδος 40%, 0 A έως 40 A	Μικρότερο από 5% του $U_T$ Μικρότερο από 5% του $U_T$ Μικρότερο από 5% του $U_T$ Μικρότερο από 5% του $U_T$
Ικανότητα ρεύματος εξόδου  (Αυτή η απαίτηση είναι δυνατό να μειωθεί σύμφωνα με το ονομαστικό ρεύμα τροφοδοσίας σταθερής κατάστασης)	16 A r.m.s. ανά φάση σε ονομαστική τάση. Η γεννήτρια πρέπει να έχει την ικανότητα να μεταφέρει : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 A σε 80% ονομαστικής τιμής για διάρκεια 5 s</li> <li>• 23 A σε 70% ονομαστικής τιμής για διάρκεια 3 s</li> <li>• 40 A σε 40% ονομαστικής τιμής για διάρκεια 3 s</li> </ul>
Ικανότητα μέγιστου ρεύματος εισροής	Να μην περιορίζεται από τη γεννήτρια. Ωστόσο η μέγιστη ικανότητα κορυφής

(δεν υπάρχει απαίτηση για δοκιμές διακυμάνσεις τάσης)	της γεννήτριας δεν πρέπει να υπερβαίνει: τα 1000 A για τροφοδοσία από 250 V έως 600 V, τα 500 A για τροφοδοσία από 200 V έως 240 V, τα 250 A για τροφοδοσία από 100 V έως 120 V.
Στιγμιαία αύξηση/μείωση του μεγίστου της πραγματικής τάσης με ωμικό φορτίο 100 Ω στην γεννήτρια	Μικρότερο από 5% του $U_T$
Χρόνος ανόδου ( $t_r$ ) και καθόδου της τάσης ( $t_f$ ) σε απότομη μεταβολή με ωμικό φορτίο 100 Ω στην γεννήτρια	Μεταξύ 1 μs και 5 μs
Μετατόπιση φάσεως (εάν απαιτείται)	Μεταξύ 0° και 360°
Σχέση μεταξύ της φάσης των βυθίσεων τάσεων και διακοπών και της συχνότητας τροφοδοσίας	Μικρότερο από $\pm 10^\circ$
Έλεγχος σημείων διασταύρωσης από το σημείο μηδέν των γεννητριών	$\pm 10^\circ$

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3- 4 :** ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ [29].

Η εμπέδηση εξόδου πρέπει να είναι κατά κύριο λόγο ωμική καθώς επίσης και να έχει μικρή τιμή ακόμα και κατά τη διάρκεια των μεταβολών (για παράδειγμα, μικρότερη από  $0.4 + j0.25 \Omega$ ). Το φορτίο των 100 Ω που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή της γεννήτριας δεν πρέπει να έχει επιπρόσθετη επαγωγικότητα. Για δοκιμή εξοπλισμού που αναπαράγει ενέργεια, μπορεί να προστεθεί μια εξωτερική αντίσταση παράλληλα με το φορτίο. Το αποτέλεσμα της δοκιμής δεν πρέπει να επηρεάζεται από το φορτίο αυτό [29].

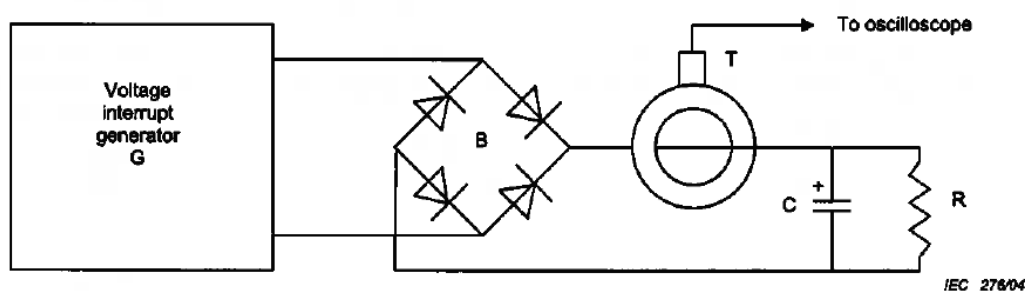
### 3.5.1.2 *Επαλήθευση των χαρακτηριστικών βύθισης τάσης και σύντομων διακοπών της γεννήτριας*

Προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα των δοκιμών που λαμβάνονται από διαφορετικές γεννήτριες δοκιμών, η γεννήτρια θα πρέπει να διαθέτει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που επαληθεύονται σύμφωνα με τα ακόλουθα [29]:

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

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

Εάν είναι αναγκαία η επαλήθευση ικανότητας μέγιστου ρεύματος εισροής, η γεννήτρια πρέπει να ρυθμίζεται σε επίπεδα από 0% έως 100% της πλήρους εξόδου, όταν οδηγείται ένα φορτίο αποτελούμενο από ένα κατάλληλο ανορθωτή με αφόρτιστο πυκνωτή τιμής 1700  $\mu\text{F}$  σε κατάσταση d.c.. Η δοκιμή πρέπει να διεξάγεται σε γωνίες φάσεων και  $90^\circ$  και  $270^\circ$ . Το κύκλωμα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ικανότητας μέγιστου ρεύματος εισροής της γεννήτριας φαίνεται στο Σχήμα 3- 8.



Όπου :

- G : Γεννήτρια δοκιμών ρυθμισμένη σε βύθιση στις  $90^\circ$  και  $270^\circ$
- T : Αμπεροτσιμπίδα με έξοδο για σύνδεση σε παλμογράφο
- B : Γέφυρα ανόρθωσης
- R : Αντίσταση με τιμή ανάμεσα σε  $100\Omega$  και  $10000\Omega$
- C : Ηλεκτροστατικός πυκνωτής τιμής  $1700\mu\text{F} \pm 20\%$

**ΣΧΗΜΑ 3 - 8 :** ΚΥΚΛΩΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ ΓΙΑ ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ[29].

Όταν υπάρχει ενδεχόμενο να χρησιμοποιείται μια γεννήτρια μικρότερης ικανότητας μέγιστου ρεύματος εισροής, σε σχέση με τις προδιαγραφές, δηλαδή το δοκίμιο μπορεί να αντλεί μικρότερο από το καθορισμένο ρεύμα (π.χ. 500 A για τροφοδοσία 220 V – 240 V), τότε θα πρέπει πρώτα να επαληθεύεται το μέγιστο ρεύμα εισροής του δοκιμίου. Όταν υπάρχει τροφοδότηση από τη γεννήτρια, το ρεύμα αυτό πρέπει να είναι μικρότερο του 70% της ικανότητας μέγιστου ρεύματος εισροής της γεννήτριας. Τα χαρακτηριστικά χειρισμού της γεννήτριας πρέπει να μετρώνται με φορτίο 100  $\Omega$  κατάλληλης ονομαστικής ισχύος διάχυσης [29].

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

Για την ακρίβεια της γωνίας φάσεως πρέπει να διεξάγονται δοκιμές για μεταβολές της τάσης από 0% έως 100% και από 100% έως 0%, σε εννέα γωνίες φάσεων από  $0^\circ$  έως  $360^\circ$  με βήμα  $45^\circ$ . Πρέπει επιπλέον να επαληθεύεται για μεταβολές από 100% έως 80% και από 80% έως 100%, από 100% έως 70% και από 70% έως

100%, όπως επίσης από 100% έως 40% και από 40% έως 100%, σε γωνίες 90° και 180°.

Η γεννήτρια τάσεων πρέπει κατά προτίμηση να επαναβαθμονομείται σε καθορισμένες χρονικές περιόδους σύμφωνα με ένα αναγνωρισμένο σύστημα διασφάλισης ποιότητας [29].

### 3.5.2 Πηγή τροφοδοσίας

Η συχνότητα της τάσης δοκιμής πρέπει να είναι μεταξύ 2% της ονομαστικής συχνότητας [29].

## 3.6 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΟΚΙΜΩΝ

Η δοκιμή πρέπει να διεξάγεται με το υπό εξέταση δοκίμιο ενωμένο στη γεννήτρια δοκιμών με το μικρότερο σε μήκος καλώδιο τροφοδοσίας, όπως καθορίζεται από τον κατασκευαστή του δοκιμίου. Εάν το μήκος του καλωδίου δεν καθορίζεται, πρέπει το καλώδιο να έχει το μικρότερο δυνατό μήκος, κατάλληλο για την εφαρμογή του δοκιμίου [29].

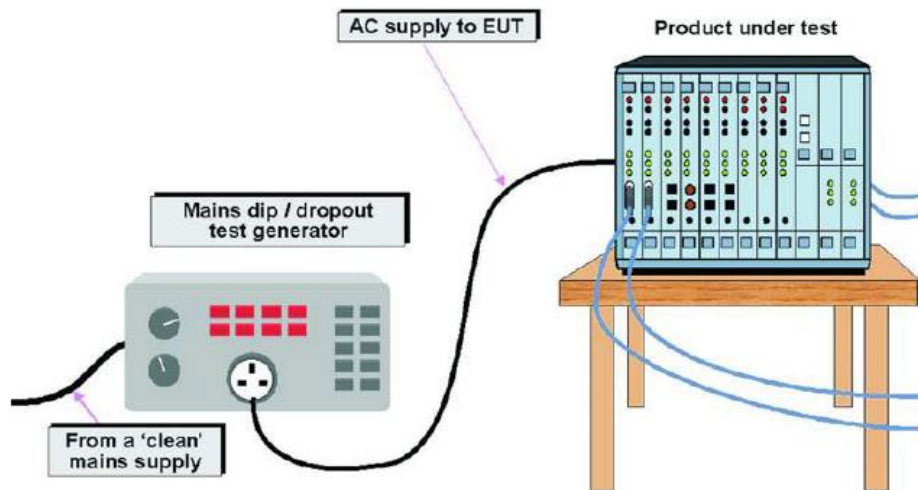
Η διάταξη δοκιμών για τους τρεις τύπους φαινομένων που περιγράφονται στο πρότυπο είναι :

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

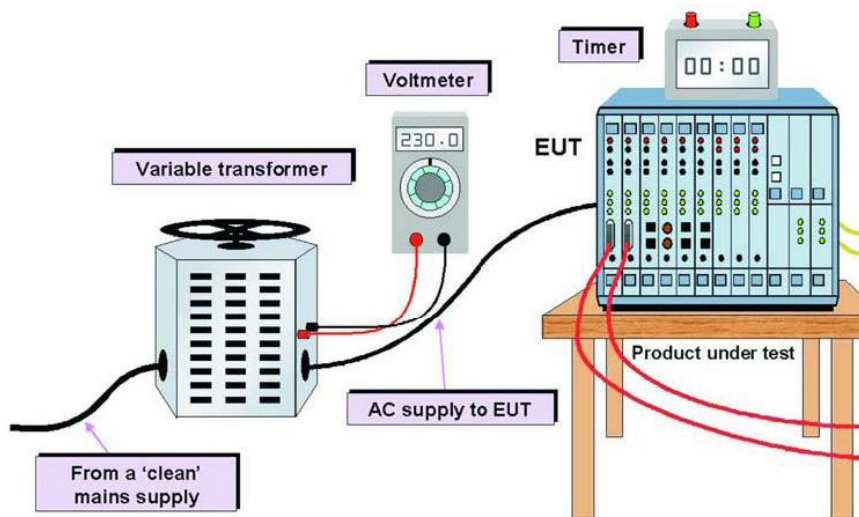
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται παραδείγματα διατάξεων δοκιμών. Πιο συγκεκριμένα στα Σχήματα 3-9 και 3-10 δίνεται η γενική διάταξη δοκιμών για βυθίσεις, σύντομες διακοπές και για διακυμάνσεις τάσεως αντίστοιχα, ενώ στα υπόλοιπα σχήματα δίνονται με περισσότερες λεπτομέρειες τα σχηματικά διαγράμματα των κυκλωμάτων της διάταξης.

Το Σχήμα 3-11(A) δείχνει ένα σχηματικό διάγραμμα για την παραγωγή βυθίσεων τάσης, σύντομων διακοπών και διακυμάνσεων τάσης με βαθμιαία μεταβολή μεταξύ της ονομαστικής τάσης και της τάσης αλλαγής χρησιμοποιώντας γεννήτρια με εσωτερική μεταβολή (χειρισμού), το Σχήμα 3-11(B) χρησιμοποιώντας γεννήτρια και ενισχυτή και το Σχήμα 3-11(Γ) χρησιμοποιώντας μετασχηματιστές με μεταγωγέα τάσης και διακόπτες.

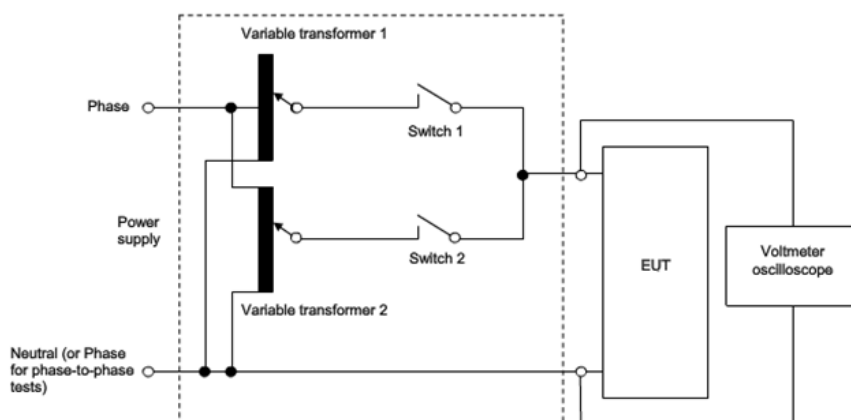
Τέλος, το Σχήμα 3-12 παρουσιάζει ένα σχηματικό διάγραμμα για την παραγωγή βυθίσεων τάσης, σύντομων διακοπών και διακυμάνσεων τάσης χρησιμοποιώντας γεννήτρια και ενισχυτή για τριφασικό εξοπλισμό [29].



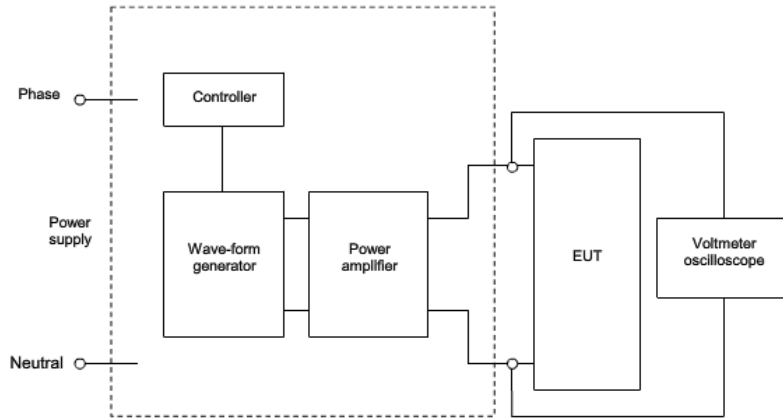
ΣΧΗΜΑ 3- 9 : ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΤΑΣΗΣ [59].



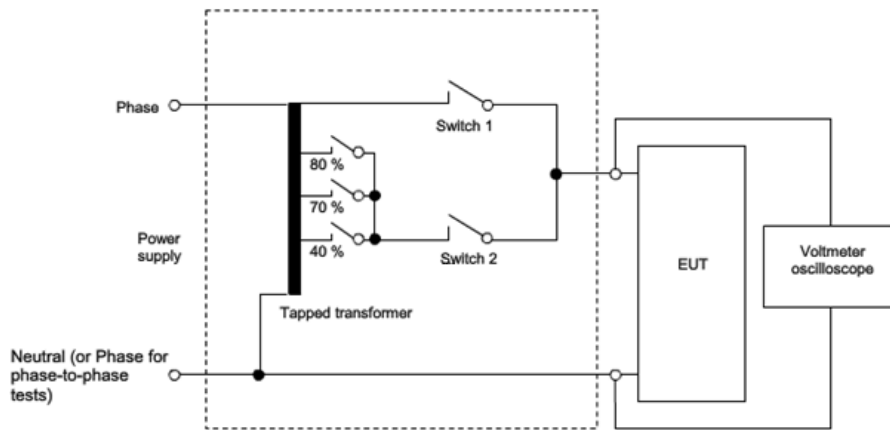
ΣΧΗΜΑ 3 - 10 : ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ [59].



ΣΧΗΜΑ 3 - 11(A) : ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ, ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ.

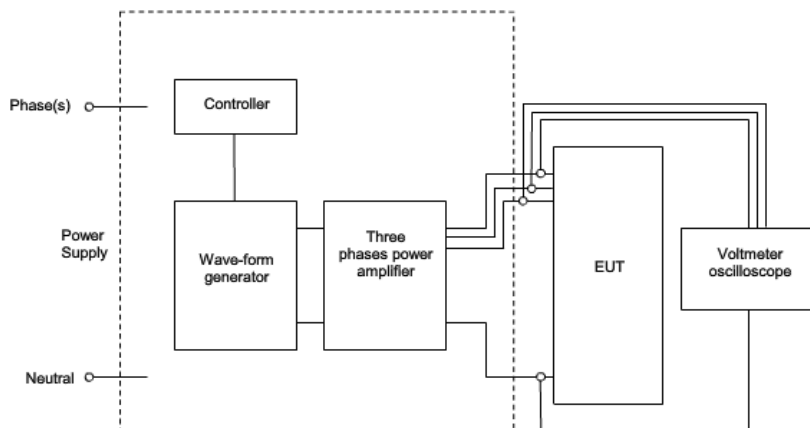


**ΣΧΗΜΑ 3 - 11(β) :** ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ, ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗ.



**ΣΧΗΜΑ 3 - 11(γ) :** ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ, ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΜΕ ΜΕΤΑΩΓΓΕΑ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ.

**ΣΧΗΜΑ 3 - 11 :** ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ, ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ [29].



**ΣΧΗΜΑ 3- 12 :** ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΤΡΙΦΑΣΙΚΕΣ ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ, ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗ [29].

## 3.7 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΩΝ

### 3.7.1 Προπαρασκευαστική διαδικασία

Πριν την έναρξη της δοκιμής σε συγκεκριμένο δοκίμιο, θα πρέπει να έχει ετοιμαστεί ένα πλάνο διεξαγωγής της δοκιμής, το οποίο θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό του τρόπου λειτουργίας του συστήματος που χρησιμοποιείται. Οι συνθήκες της δοκιμής θα πρέπει να ελεγχθούν και να επιβεβαιωθούν στην αναφορά της δοκιμής. Το πλάνο διεξαγωγής της δοκιμής συνιστάται να περιλαμβάνει τα εξής :

- Την ονομασία και πλήρη περιγραφή του υπό εξέταση δοκιμίου.
- Πληροφορίες σχετικά με τις πιθανές διασυνδέσεις (π.χ. βύσματα, τερματικά), με καλώδια και με τερματικά.
- Τον έλεγχο της θύρας εισόδου της τροφοδοσίας του εξοπλισμού.
- Αντιπροσωπευτικούς τρόπους λειτουργίας του δοκιμίου.
- Διευκρίνιση των κριτηρίων συμπεριφοράς σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές.
- Τρόπους λειτουργίας του εξοπλισμού.
- Περιγραφή της διάταξης των δοκιμών.

Σε περίπτωση που δεν παρέχεται λειτουργική πηγή σήματος για το δοκίμιο, μπορεί αυτή να προσομοιωθεί με χρήση προγράμματος.

Για κάθε δοκιμή θα πρέπει να καταγράφεται οποιοσδήποτε υποβιβασμός λειτουργίας. Ακόμα, ο κινητήριος εξοπλισμός θα πρέπει να είναι ικανός να καταγράφει τις μεταβολές στην κατάσταση λειτουργίας του δοκιμίου και κατά τη διάρκεια και μετά το πέρας της δοκιμής. Μετά από κάθε ολοκλήρωση μιας ομάδας δοκιμών προτείνεται ένας λειτουργικός έλεγχος τόσο του εξοπλισμού όσο και του δοκιμίου [29].

### 3.7.2 Εργαστηριακές συνθήκες

#### 3.7.2.1 Κλιματολογικές συνθήκες

Οι κλιματολογικές συνθήκες του εργαστηρίου που διεξάγεται η δοκιμή πρέπει να διατηρούνται εντός των ορίων για τη σωστή λειτουργία τόσο του δοκιμίου όσο και του εξοπλισμού της δοκιμής όπως αυτά διευκρινίζονται στα εγχειρίδια λειτουργίας τους. Οι δοκιμές δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να διεξάγονται σε συνθήκες υψηλής υγρασίας. Σε περίπτωση που θεωρηθεί ότι ο παράγοντας αυτός δεν επηρεάζει ούτε τον εξοπλισμό ούτε το δοκίμιο τότε οι δοκιμές αυτές μπορούν να διεξαχθούν υπό την αιγίδα της υπεύθυνης για αυτό το πρότυπο επιτροπής [29].

#### 3.7.2.2 Συνθήκες ηλεκτρομαγνητισμού

Οι συνθήκες ηλεκτρομαγνητισμού στο εργαστήριο θα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να διασφαλίζεται η σωστή λειτουργία του δοκιμίου και να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα της δοκιμής [29].

## 3.8 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής, οι τιμές της τάσης θα πρέπει να έχουν όρια ακρίβειας 2% [29].

### 3.8.1 Βυθίσεις και διακοπές τάσης

Το δοκίμιο πρέπει να δοκιμαστεί για κάθε επιλεγμένο συνδυασμό των επιπέδων και διάρκειας δοκιμής για τρεις συνεχόμενες βυθίσεις ή διακοπές τάσης με χρόνο αναμονής μεταξύ των δοκιμών τουλάχιστον 10 s.

Για βυθίσεις τάσης, οι αλλαγές στη γωνία της τάσης τροφοδοσίας θα πρέπει να διεξάγονται στο σημείο διασταύρωσης με το μηδέν και σε διάφορες γωνίες όπως αυτές προτείνονται από τις επιτροπές προϊόντων ή τις κατασκευαστικές προδιαγραφές. Προτιμότερες επιλογές για τις γωνίες είναι οι 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, και 315° για κάθε φάση. Για τριφασικά συστήματα με ουδέτερο, θα πρέπει να γίνονται ξεχωριστές δοκιμές μεταξύ φάσης - ουδέτερου και φάσης - φάσης, δηλαδή χρειάζονται έξι διαφορετικές ομάδες από δοκιμές, ενώ για τριφασικά συστήματα χωρίς ουδέτερο χρειάζονται τρεις ομάδες δοκιμών μεταξύ των φάσεων.

Για σύντομες διακοπές τάσης, οι γωνίες δοκιμής καθορίζονται από τις επιτροπές προϊόντων. Εάν δεν υπάρχει σαφής διευκρίνιση τότε συνιστάται η γωνία 0° για μία από τις φάσεις. Για τριφασικό σύστημα πρέπει να γίνεται ταυτόχρονη δοκιμή των τριών φάσεων.

Για δοκίμια με περισσότερα από ένα κανάλια τροφοδοσίας, θα πρέπει να εξετάζεται το κάθε κανάλι διαφορετικά.

### 3.8.2 Διακυμάνσεις τάσης

Το δοκίμιο πρέπει να τεθεί σε έλεγχο για κάθε επιλεγμένο συνδυασμό των επιπέδων και διάρκειας δοκιμής για τρεις συνεχόμενες διακυμάνσεις τάσεως με χρόνο αναμονής μεταξύ των δοκιμών τουλάχιστον 10 s.

### 3.8.3 Κατηγοριοποίηση Αποτελεσμάτων Δοκιμής

Με το πέρας των δοκιμών θα πρέπει τα αποτελέσματα τους να κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με την απώλεια της λειτουργίας, είτε με την υποβάθμιση των επιδόσεων του υπο δοκιμή εξοπλισμού και να σχετίζονται με το επίπεδο απόδοσης που καθορίζει ο κατασκευαστής ή ο αγοραστής του προϊόντος ή ο αιτών της δοκιμής. Η προτεινόμενη κατηγοριοποίηση των αποτελεσμάτων της δοκιμής είναι η ακόλουθη [29].

- α) Φυσιολογικές επιδόσεις εντός των ορίων που καθορίζονται από τον κατασκευαστή ή τον αγοραστή του προϊόντος ή τον αιτούντα της δοκιμής.



- β) Προσωρινή απώλεια λειτουργίας ή υποβάθμιση των επιδόσεων που σταματούν μετά το τέλος της διαταραχής και ο εξοπλισμός υπό δοκιμή επιστρέφει στη φυσιολογική του λειτουργία χωρίς παρέμβαση του χειριστή.
- γ) Προσωρινή απώλεια λειτουργίας ή υποβάθμιση των επιδόσεων που απαιτούν παρέμβαση του χειριστή για τη διόρθωσή τους.
- δ) Απώλεια λειτουργίας ή υποβάθμιση των επιδόσεων με αδυναμία επαναφοράς, με αποτέλεσμα την καταστροφή του λογισμικού ή των στοιχείων του εξοπλισμού ή απώλεια δεδομένων.

Ο κατασκευαστής είναι αυτός που καθορίζει ποιες επιδράσεις στον εξοπλισμό θεωρούνται ασήμαντες ή ακόμα και αποδεκτές.

Η παραπάνω κατηγοριοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν οδηγός ομαδοποίησης των κριτηρίων επίδοσης από τις υπεύθυνες επιτροπές για τα κοινά/γενικά, τα βασικά πρότυπα και τα πρότυπα οικογενειακών προϊόντων ή ως πλαίσιο για τη συμφωνία σχετικά με τα κριτήρια απόδοσης μεταξύ του κατασκευαστή και του αγοραστή εκεί που δεν υπάρχει κατάλληλη κατηγορία προτύπου.

### 3.9 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΔΟΚΙΜΗΣ

Η αναφορά που συντάσσεται για τη δοκιμή πρέπει να περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τη διεξαγωγή της. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να καταγράφονται τα ακόλουθα [29]:

- Προσδιορισμός των στοιχείων που χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή.
- Ταυτοποίηση του δοκιμίου και του υπόλοιπου εξοπλισμού (εμπορική ονομασία, τύπος εξοπλισμού και άλλα).
- Ταυτοποίηση του εξοπλισμού της δοκιμής (εμπορική ονομασία, τύπος εξοπλισμού και άλλα).
- Οι εργαστηριακές συνθήκες κάτω από τις οποίες έγινε η δοκιμή.
- Τα επίπεδα απόδοσης όπως αυτά ορίζονται από τον κατασκευαστή, τον αγοραστή του προϊόντος και τον αιτούντα της δοκιμής.
- Τα κριτήρια επίδοσης που καθορίζονται στα κοινά/γενικά, στα βασικά πρότυπα και στα πρότυπα οικογενειακών προϊόντων.
- Οποιοσδήποτε επιδράσεις στο δοκίμιο παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια ή μετά την εφαρμογή της διαταραχής, καθώς και η διάρκεια αυτών των επιδράσεων.
- Η ετυμηγορία για έγκριση ή απόρριψη του δοκιμίου βασισμένη στα κοινά/γενικά, στα βασικά πρότυπα και στα πρότυπα οικογενειακών προϊόντων ή στη συμφωνία σχετικά με τα κριτήρια απόδοσης μεταξύ του κατασκευαστή και του αγοραστή.
- Ορισμένες συνθήκες χρήσης, όπως για παράδειγμα το μήκος και ο τύπος καλωδίων, η προστασία ή η γείωση ή οι συνθήκες λειτουργίας του δοκιμίου που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της δοκιμής.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61000-4-11

### 4.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Για τη διακρίβωση σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-4-11 ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι ο ακόλουθος :

- Γεννήτρια Transient 3000, EMC-partner
- Καταμεριστής High-Voltage Differential Probe Pintech PT-8020
- Καταμεριστής TESEQ MD200A High Voltage Differential Probe
- Αντίσταση 100Ω Frizlen D-71711MURR
- Παλμογράφος Tektronix MDO 3054 Mixed Domain Oscilloscope
- Αμπεροτσιμπίδα Pearson™ Current Monitor Moder 8260 (20mv/A)
- Διάταξη επαλήθευσης ρεύματος εισροής (inrush): Verification Kit Dips EMC-partner

### 4.2 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ

#### 4.2.1 Συνδεσμολογία γεννήτριας χωρίς φορτίο

Η γεννήτρια δοκιμής συνδέεται με καταμεριστή τάσης. Αυτό επιτυγχάνεται συνδέοντας τις εξόδους L, N της γεννήτριας με τα αντίστοιχα άκρα του καταμεριστή, ο οποίος είναι ρυθμισμένος σε λόγο καταμερισμού 1/1000. Η έξοδος του καταμεριστή συνδέεται στο κανάλι 1 (Ch 1) του παλμογράφου. Το κανάλι 1 του παλμογράφου θα πρέπει να είναι ρυθμισμένο σε coupling : DC, Termination : 1MΩ και Probe Set Up : 1000×.

Η παραπάνω συνδεσμολογία φαίνεται στην Εικόνα 4-1.



ΕΙΚΟΝΑ 4- 1 : ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ.

#### 4.2.2 Συνδεσμολογία γεννήτριας με αντίσταση 100Ω

Η γεννήτρια δοκιμής συνδέεται με ωμική αντίσταση των 100Ω. Αυτό γίνεται συνδέοντας τις εξόδους L, N της γεννήτριας με τα αντίστοιχα άκρα της αντίστασης. Από τα άκρα της αντίστασης και μέσω ενός καταμεριστή, ρυθμισμένο σε λόγο καταμερισμού 1/1000 μετριέται η τάση στα άκρα της αντίστασης, δηλαδή η τάση εξόδου της γεννήτριας στο κανάλι 1 (Ch 1) του παλμογράφου. Το κανάλι 1 του παλμογράφου θα πρέπει να είναι ρυθμισμένο σε coupling : DC, Termination : 1MΩ και Probe Set Up : 1000× .

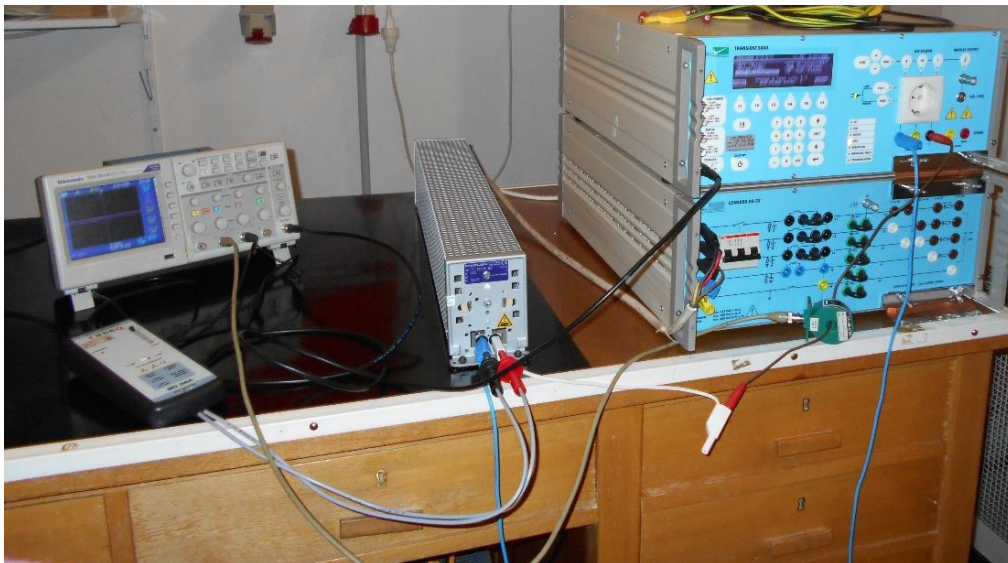
Επιπλέον στο καλώδιο της φασής (L) της τάσης εξόδου της γεννήτριας συνδέεται αμπεροτσιμπήδα με 2 mV/A (Εικόνα 4-2) για την μέτρηση του ρεύματος εξόδου της γεννήτριας στο κανάλι 2 (Ch2) του παλμογράφου.



ΕΙΚΟΝΑ 4- 2 : ΑΜΠΕΡΟΤΣΙΜΠΗΔΑ PEARSON 2mV/A.

Το κανάλι 2 του παλμογράφου θα πρέπει να είναι ρυθμισμένο σε coupling : DC, Termination : 50 Ω και Probe Set up : 1000×. Στο κανάλι 3 (Ch3) του παλμογράφου συνδέεται ο εξωτερικός σκανδαλισμός (External Trigger).

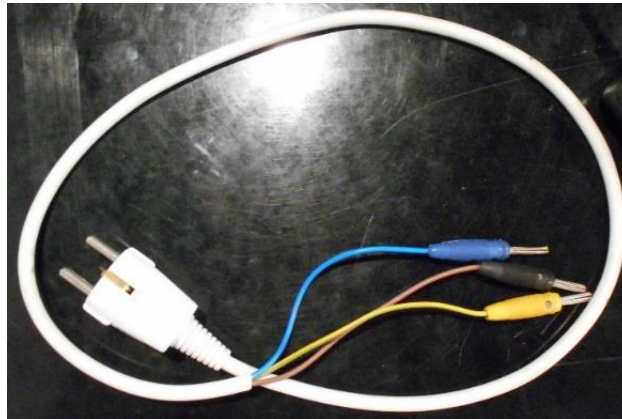
Η παραπάνω συνδεσμολογία φαίνεται στην Εικόνα 4-3.



ΕΙΚΟΝΑ 4- 3 : ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ 100Ω.

### 4.2.3 Σύνδεση της γεννήτριας με την τροφοδοσία

Η γεννήτρια περιλαμβάνει δύο παροχές τάσης. Η πρώτη, χρησιμεύει για τις λειτουργίες της γεννήτριας, ενώ η δεύτερη για την παροχή τάσης στην έξοδό της. Για τη σύνδεση της παροχής που συνδέεται με την έξοδο της γεννήτριας, δεούσης σημασίας και προσοχής χρήζει η συμφωνία ως προς φάση, ουδέτερο και γείωση των θυλικών ακροδεκτών (L, N, PE) της γεννήτριας με τους αντίστοιχους ακροδέκτες του καλωδίου τροφοδοσίας (Εικόνα 4-4), όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-5.



ΕΙΚΟΝΑ 4- 4 : ΚΑΛΩΔΙΟ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ.



ΕΙΚΟΝΑ 4- 5 : ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ, ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΤΗ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΧΕΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.

Επιπλέον, οι ακροδέκτες του άλλου άκρου αυτού του καλωδίου θα πρέπει να είναι σε συμφωνία με την αλληλουχία φάσεων της παροχής του δικτύου. Ο εντοπισμός του ακροδέκτη φάσης του ρευματοδότη (πρίζα) γίνεται με τη χρήση ενός πολύμετρου. Ο ένας ακροδέκτης του, τοποθετείται σταθερά στη γείωση του ρευματοδότη. Ο άλλος διαδοχικά στους υποδοχείς του ρευματοδότη. Ο υποδοχέας ο οποίος στη οθόνη του πολυμέτρου δείχνει 230V (RMS) είναι αυτός της φάσης. Ο εντοπισμός της φάσης στο καλώδιο της τροφοδοσίας γίνεται, επίσης με τη χρήση πολυμέτρου εντοπίζοντας τα άκρα τα οποία βραχυκυκλώνουν. Για ευκολία στο καλώδιο αυτό του εργαστηρίου έχει σημειωθεί με μπλε χρώμα η φάση αυτού του καλωδίου.

Προσοχή! Η σύνδεση του καλωδίου τροφοδοσίας θα πρέπει να πραγματοποιείται αυστηρώς με την ακόλουθη σειρά : Τοποθέτηση στους υποδοχείς της γεννήτριας και έπειτα στο ρευματοδότη.

Σημείωση: Οι ρευματοδότες που δίνουν παροχή στη γεννήτρια τροφοδοτούνται από σταθεροποιητή τάσης, με σκοπό η τροφοδοσία των ακροδεκτών εισόδου της γεννήτριας να είναι όσο το δυνατό πιο σταθερή σε μια τιμή τάση και να μην υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις από την επιθυμητή τιμή τάσης που είναι τα 230V.

#### 4.2.4 Συνδεσμολογία για τη διακρίβωση του συγχρονισμού βύθισης

Για τη διεξαγωγή της διακρίβωσης του συγχρονισμού της βύθισης με το ημίτονο της τάσης τροφοδοσίας θα πρέπει να είναι δυνατή η απεικόνιση της τάσης τροφοδοσίας της γεννήτριας, δηλαδή της τάσης του δικτύου, στην οθόνη του παλμογράφου. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να συνδεθεί ένας καταμεριστής για την αποφυγή καταστροφής του παλμογράφου. Ο καταμεριστής αυτός συνδέεται στους υποδοχείς (L, N) στο πίσω μέρος της γεννήτριας. Για την ταυτόχρονη σύνδεση του καλωδίου τροφοδοσίας και του καταμεριστή χρησιμοποιούνται επιπλέον καλώδια όπως φαίνονται στην Εικόνα 4- 6.



ΕΙΚΟΝΑ 4- 6 : ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΤΗ ΣΤΟ ΠΙΣΩ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.

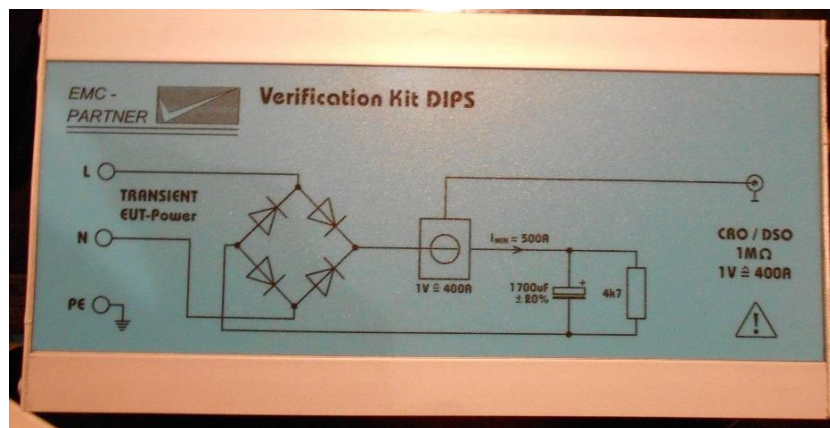
#### 4.2.5 Συνδεσμολογία για τη διακρίβωση του ρεύματος εισροής (inrush current)

Για τη διεξαγωγή της διακρίβωσης του ρεύματος εισροής χρησιμοποιείται το δικτύωμα για τη μέτρηση αυτού του ρεύματος (Verification Kit DIPS), το οποίο απεικονίζεται στην Εικόνα 4- 7. Οι έξοδοι L, N, PE (φάση, ουδέτερος, γείωση) της γεννήτριας συνδέονται στους αντίστοιχους ακροδέκτες του δικτυώματος και μέσω καταμεριστή ρυθμισμένο σε λόγο καταμερισμού 1/1000 απεικονίζεται η τάση εξόδου της γεννήτριας στο κανάλι 1 του παλμογράφου. Η έξοδος του δικτυώματος συνδέεται μέσω ομοαξονικού καλωδίου στο κανάλι 3 του παλμογράφου. Τέλος, στο κανάλι 4 επιθυμητή είναι η απεικόνιση της τάσης εισόδου της γεννήτριας. Η παραπάνω

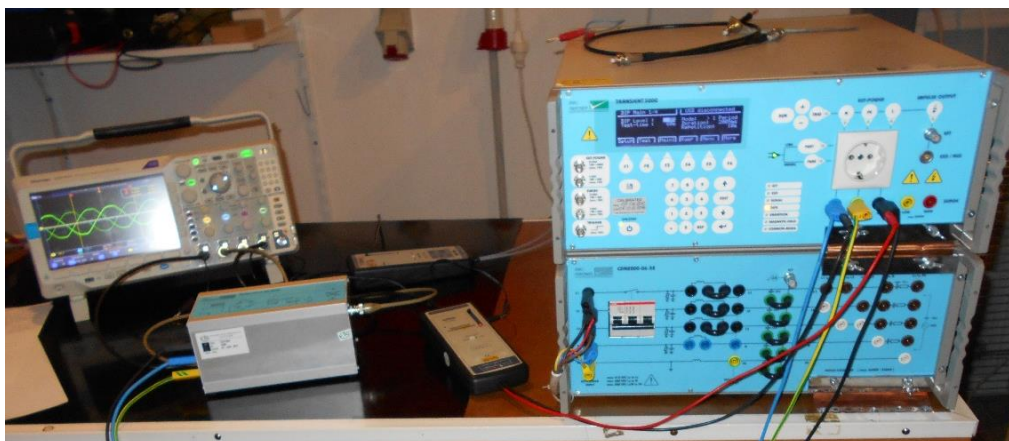
συνδεσμολογία φαίνεται στην Εικόνα 4- 8. Τα κανάλια 1, 3, 4 θα πρέπει να ρυθμιστούν σε Coupling : DC, Termination : 1MΩ και Probe set up : 1000× τα κανάλια 1, 4, ενώ το κανάλι 3 σε 1×. Ακόμα, το κανάλι 3 του παλμογράφου ρυθμίζεται σε λειτουργία trigger από το αντίστοιχο μενού στο πληκτρολόγιο του παλμογράφου.

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στη σύνδεση της γεννήτριας με την τροφοδοσία, διότι εκτός από τη συμφωνία που πρέπει να υπάρχει μεταξύ των φάσεων των ακροδεκτών της γεννήτριας, του καλωδίου τροφοδοσίας και του ρευματοδότη, θα πρέπει επιπλέον ο ρευματοδότης που θα τροφοδοτήσει τη γεννήτρια να μην έχει προστασία από ρελέ. Αυτό είναι απαραίτητο διότι το ρεύμα εισροής είναι ένα ρεύμα που φτάνει τα 500A σε πολύ μικρό χρονικό διαστήμα και είναι ικανό να ενεργοποιήσει το ρελέ. Αυτό καθιστά αδύνατη την διεξαγωγή της δοκιμής.

Ακόμα, η εμπέδηση της γραμμής στην οποία είναι συνδεδεμένη η είσοδος της γεννήτριας επηρεάζει σημαντικά τα χαρακτηριστικά του ρεύματος εισροής. Για αυτό το λόγο η εμπέδηση θα πρέπει να είναι γνωστή και σταθερή. Ενδεικτική είναι η σύνδεση σε ρευματοδότη ο οποίος τροφοδοτείται μέσω σταθεροποιητή, εδώ όμως ο χρήστης θα πρέπει να είναι σίγουρος ότι μία τέτοια σύνδεση δεν θα καταστρέψει το σταθεροποιητή.



ΕΙΚΟΝΑ 4- 7 : ΔΙΚΤΥΩΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ (VERIFICATION KIT DIPS).



ΕΙΚΟΝΑ 4- 8 : ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ.

### 4.3 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΤΩΝ

Ο σκοπός της ύπαρξης δύο καταμεριστών στην συνδεσμολογία για την διεξαγωγή της διακρίβωσης σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-4-11 είναι να υποβαθμίζουν την τάση σε επίπεδα τέτοια ώστε να μην επηρεάζεται η λειτουργικότητα του παλμογράφου. Οι καταμεριστές (Εικόνα 4-9) θα πρέπει να είναι ρυθμισμένοι σε λόγο καταμερισμού 1/1000 έτσι ώστε η τάση που φτάνει τελικά στον παλμογράφο να είναι της τάξης των mV(RMS). Η τάση που δέχονται στην είσοδο και οι δύο καταμεριστές είναι περίπου 230V(RMS), οπότε στους ακροδέκτες των καναλιών του παλμογράφου φτάνουν 230mV(RMS) από τον καταμερισμό της τάσης. Ανώτατο ανεκτό επίπεδο τάσης, προς αποφυγή καταστροφής των ακροδεκτών των καναλιών του παλμογράφου, είναι τα 300V(RMS) για ρύθμιση του termination στο 1MΩ και 5V (RMS) για ρύθμιση του termination στα 50Ω.



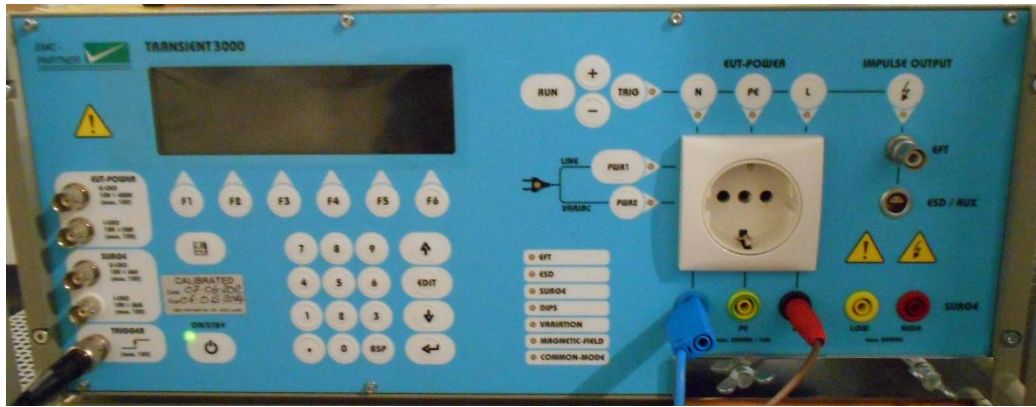
ΕΙΚΟΝΑ 4-9 : ΟΙ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΤΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΗΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ.

### 4.4 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

#### 4.4.1 Η γεννήτρια

Για την διακρίβωση σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-4-11 η γεννήτρια δοκιμών που θα χρησιμοποιηθεί είναι η Transient 3000 της EMC-PARTNER και φαίνεται στην Εικόνα 4-10.





ΕΙΚΟΝΑ 4- 10 : ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ TRANSIENT 3000, EMC-PARTNER.



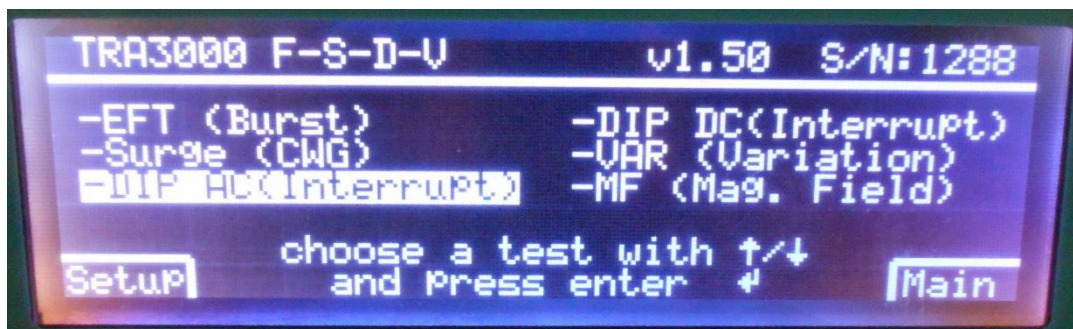
ΕΙΚΟΝΑ 4- 11 : ΤΟ ΠΙΣΩ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ TRANSIENT 3000, EMC-PARTNER.

#### 4.4.2 Ενεργοποίηση/απενεργοποίηση

Για την ενεργοποίηση της γεννήτριας πιέζεται πρώτα το κομβίο ON/OFF στο πίσω μέρος της γεννήτριας και έπειτα το κομβίο ON/STbY της γεννήτριας στο μπροστινό της μέρος. Αντίστοιχα, για την απενεργοποίησή της πιέζεται πρώτα το κομβίο ON/STbY και μόλις σβήσει η οθόνη πιέζεται το κομβίο ON/OFF στο πίσω μέρος της.

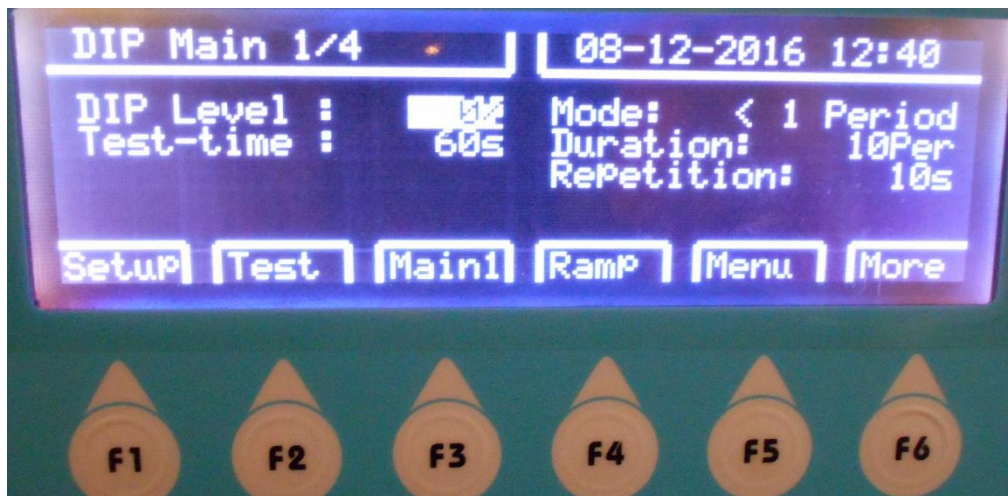
#### 4.4.3 Ρυθμίσεις βύθιση/διακοπής τάσης

Με την ενεργοποίηση της γεννήτριας εμφανίζεται το μενού επιλογών που φαίνεται στην Εικόνα 4-12.



ΕΙΚΟΝΑ 4- 12 : ΑΡΧΙΚΟ ΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΟΘΟΝΗΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.

Με τη χρήση των κομβίων (↑, ↓) διατρέχονται οι επιλογές που δίνονται και με το κομβίο enter επιλέγεται το DIP AC(Interrupt) και ανοίγει το παρακάτω μενού :

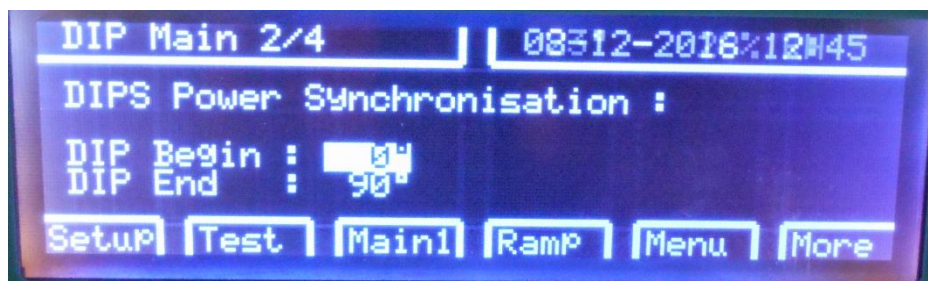


ΕΙΚΟΝΑ 4- 13 : ΜΕΝΟΥ ΒΥΘΙΣΕΩΝ ΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.

Εδώ θα πρέπει να ρυθμιστούν:

- Στο πεδίο DIP Level καταχωρείται το επίπεδο της βύθισης της δοκιμής που επιλέγεται.
- Η διάρκεια της δοκιμής στο πεδίο Test-time.
- Στο πεδίο Mode ορίζεται το ενδεχόμενο διάρκειας βύθισης μεγαλύτερης ή μικρότερης της μιας περιόδου (T). Η περίοδος δίνεται από τον ακόλουθο τύπο :  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50Hz} = 0,02s = 20ms$ .
- Εάν στο πεδίο Mode επιλεγεί διάρκεια μικρότερη της μίας περιόδου (< 1 period), τότε στο πεδίο Duration θα ζητηθεί ο επιθυμητός αριθμός των συνεχόμενων περιόδων που θα γίνεται η βύθιση. Ενώ, εάν στο πεδίο Mode επιλεγεί διάρκεια μεγαλύτερη της μίας περιόδου (> 1 period), τότε στο πεδίο Duration θα ζητηθεί το επιθυμητό χρονικό διάστημα που θα γίνει η βύθιση σε ms.

Για τη ρύθμιση της γωνίας έναρξης και λήξης της βύθισης πιέζεται το πλήκτρο F6(More) δίνοντας το εξής μενού :



ΕΙΚΟΝΑ 4- 14 : ΜΕΝΟΥ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΕΝΑΡΞΗΣ ΚΑΙ ΛΗΞΗΣ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ.

DIP Begin (γωνία έναρξης) επιλέγεται η γωνία στην οποία είναι επιθυμητή η μετάβαση από το 100% της τάσης στο επίπεδο (%) της βύθισης.

DIP End (γωνία λήξης) επιλέγεται η γωνία στην οποία είναι επιθυμητή η μετάβαση από το επίπεδο (%) της βύθισης στο 100% της τάσης.

Οι ρυθμίσεις για τα παραπάνω γίνονται με χρήση των κομβίων ( $\uparrow\downarrow$ ), του κομβίου edit, του αριθμημένου πληκτρολογίου και του κομβίου enter.

Πληκτρολογώντας το κομβίο F3(Main1) επιστρέφει η οθόνη στο προηγούμενο μενού.

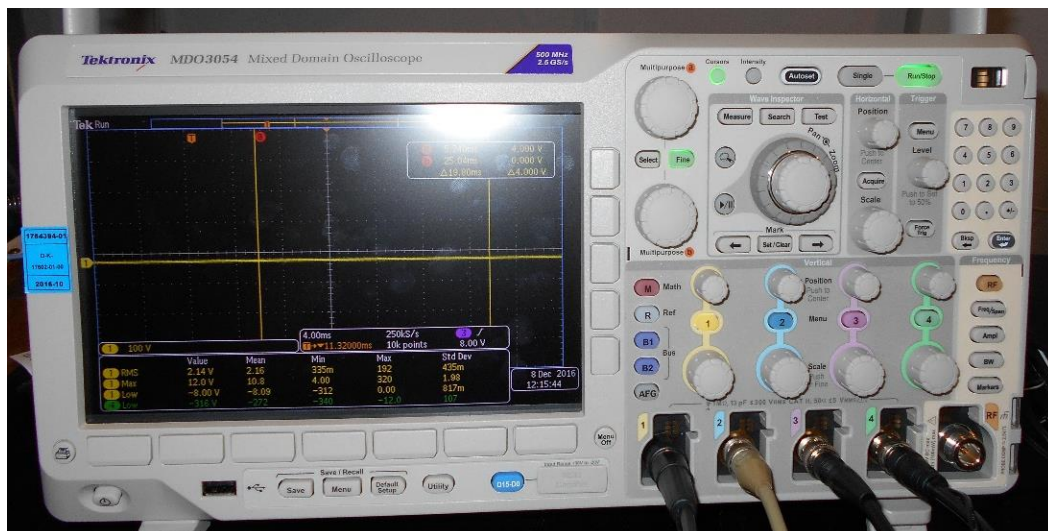
#### 4.4.4 Έναρξη και τερματισμός δοκιμής

Για την έναρξη της δοκιμής πιέζεται το πλήκτρο RUN. Με το πλήκτρο PWR1 δίνεται στην έξοδο της γεννήτριας τάση χωρίς βύθιση. Σε περίπτωση που χρειάζεται τερματισμός της δοκιμής πιέζεται το κομβίο RUN και το PWR1.

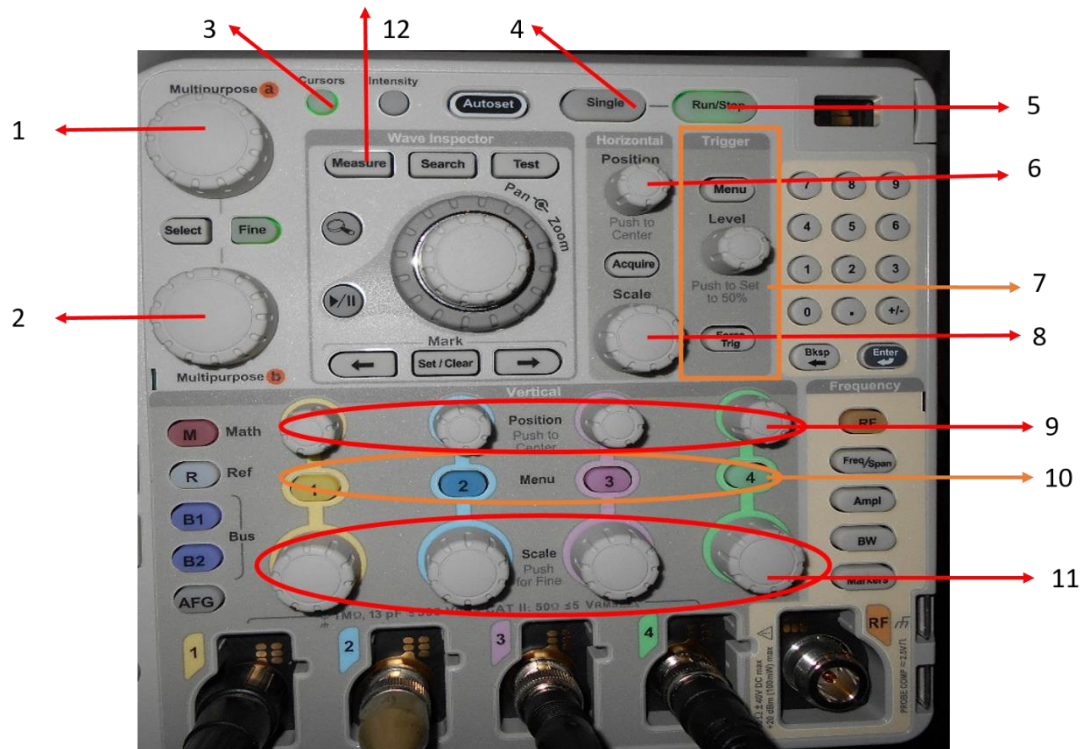
### 4.5 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΥ

#### 4.5.1 Ο παλμογράφος

Για την διακρίβωση σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-11 ο παλμογράφος χρησιμοποιήθηκε είναι ο MDO 3054 (Mixed Domain Oscilloscope) της Tektronix και παρουσιάζεται στην Εικόνα 4-15.



ΕΙΚΟΝΑ 4- 15 : ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΣ MDO 3054 TEKTRONIX



ΕΙΚΟΝΑ 4- 16 : ΠΛΗΚΤΡΟΛΟΓΙΟ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΥ MDO 3054 ΤΕΚΤΡΟΝΙΧ

Η χρήση των αριθμημένων κομβίων στο πληκτρολόγιο του παλμογράφου της παραπάνω εικόνας είναι η ακόλουθη :

- 1 : Κομβίο multipurpose a
- 2 : Κομβίο multipurpose b
- 3 : Κομβίο εμφάνιση κερσόρων
- 4 : Κομβίο single για την απεικόνιση ενός στιγμιότυπου
- 5 : Κομβίο για συνεχόμενη απεικόνιση των εισόδων των καναλιών
- 6 : Κομβίο ρύθμισης της θέσης της απεικόνισης ως προς το χρόνο (μετακίνηση της κυματομορφής αριστερά - δεξιά)
- 7 : Μενού ρύθμισης του εξωτερικού σκανδαλισμού (external trigger)
- 8 : Κομβίο ρύθμισης της κλίμακας του χρόνου (sec/div)
- 9 : Κομβία ρύθμισης της θέσης της απεικόνισης του κάθε καναλιού ως προς το μέγεθος που απεικονίζει (μετακίνηση της κυματομορφής πάνω - κάτω)
- 10 : Κομβία επιλογής και εμφάνισης καναλιού
- 11 : Κομβία ρύθμισης της κλίμακας του απεικονιζόμενου μεγέθους των καναλιών (Volt/div)
- 12 : Κομβίο measure

Η σύνδεση του παλμογράφου με την τροφοδοσία γίνεται απλά με την τοποθέτησή του στον ρευματοδότη.

Η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του παλμογράφου γίνεται μέσω του πλήκτρου ON/OFF. Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ενεργοποίηση των καταμεριστών και τη ρύθμιση του termination στα κανάλια του παλμογράφου πριν την τοποθέτηση της γεννήτριας στην τροφοδοσία (ρευματοδότη). Αυτό είναι σημαντικό

διότι μόλις τοποθετηθεί η γεννήτρια στον ρευματοδότη, το κανάλι που είναι συνδεδεμένη η τάση του δικτύου θα τροφοδοτηθεί ανεξάρτητα από το εάν είναι σε λειτουργία η γεννήτρια με κίνδυνο καταστροφής του παλμογράφου.

#### 4.5.2 Σύνδεση καναλιών

Στο κανάλι που απαιτείται να απεικονίζεται η εκάστοτε κυματομορφή συνδέεται το αντίστοιχο καλώδιο. Στους υποδοχείς των καναλιών του παλμογράφου συνδέονται ομοαξονικά καλώδια.

#### 4.5.3 Ρυθμίσεις καναλιών

##### 4.5.3.1 Προσθήκη/αφαίρεση μετρήσεων μεγέθους

Για να εμφανιστεί στην οθόνη του παλμογράφου μέτρηση για κάποιο επιθυμητό μέγεθος θα πρέπει πρώτα να επιλεγεί το κανάλι που απεικονίζει το μέγεθος αυτό και έπειτα να ακολουθηθούν τα εξής βήματα :

Measure → Add Measure → { source: Το κανάλι εμφάνισης του μεγέθους  
measure type: Το επιθυμητό μέγεθος μέτρησης →  
OK → Menu off → Menu off.

Η επιλογή του χρονικού ορίου του μέρους της κυματομορφής από το οποίο θα λαμβάνει δεδομένα ο παλμογράφος για τη μέτρηση ενός μεγέθους ρυθμίζεται ως εξής:

Measure → More → Gating → επιλογή του μέρους (π.χ. screen για μέτρηση σε όλη την οθόνη)

Για την αφαίρεση κάποιων ή όλων των μετρήσεων από την οθόνη του παλμογράφου πιέζονται διαδοχικά :

Measure → { Remove measurement  
ή Remove all measurements

##### 4.5.3.2 Coupling, Termination και Probe set up (attenuation)

Σε όλα τα κανάλια του παλμογράφου ρυθμίζεται το Coupling σε DC. Αυτή η ρύθμιση γίνεται επιλέγοντας το επιθυμητό κανάλι μέσω των κομβίων 9. Μόλις επιλεγεί ένα κανάλι ανοίγει το μενού ρυθμίσεων που φαίνεται στην Εικόνα 4- 17.



ΕΙΚΟΝΑ 4- 17 : ΜΕΝΟΥ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΤΟΥ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΥ.

Το Coupling ρυθμίζεται πιέζοντας πολλαπλές φορές το πλήκτρο που αντιστοιχεί σε αυτό.

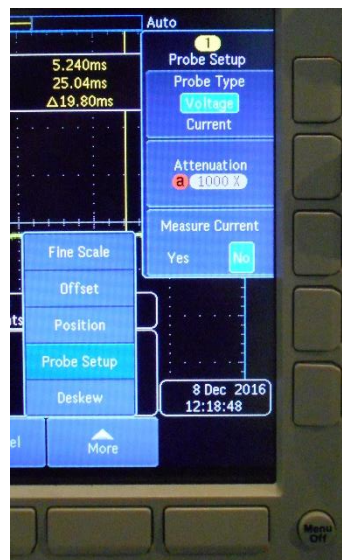
Termination ορίζεται η αντίσταση που παρέχουν τα κανάλια του παλμογράφου στην είσοδό τους με σκοπό την προστασία τους από τυχόν ακραία μεγάλες τιμές που μπορεί να φτάσουν στις εισόδους του και να φέρουν την καταστροφή τους. Για ρύθμιση του Termination σε 1MΩ η είσοδος του παλμογράφου μπορεί να δεχθεί τάση μικρότερη ή το πολύ ίση με 300Volt RMS, ενώ για ρύθμιση σε 50Ω μπορεί να δεχθεί τάση μικρότερη ή το πολύ ίση με 5Volt RMS.

Επιλέγοντας διαδοχικά τα κανάλια του παλμογράφου ρυθμίζεται το Termination πιέζοντας πολλαπλές φορές το πλήκτρο που αντιστοιχεί σε αυτό. Με αυτό τον τρόπο επιλέγονται :

- Για τα κανάλια 1, 3, 4 Termination 1MΩ
- Για το κανάλι 2 Termination 50Ω

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στη ρύθμιση του Termination των καναλιών 1 και 4 που δέχονται την τάση εξόδου και εισόδου της γεννήτριας αντίστοιχα να έχουν ρυθμιστεί σε 1 MΩ ώστε να μην καταστραφεί σε τάση μικρότερη των 300V.

Πιέζοντας το πλήκτρο που αντιστοιχεί στην επιλογή More ανοίγει το ακόλουθο μενού (Εικόνα 4- 18), το οποίο δίνει περισσότερες επιλογές ρύθμισης στο χειριστή.



ΕΙΚΟΝΑ 4- 18 : ΜΕΝΟΥ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ.

Πιέζοντας πολλαπλές φορές το πλήκτρο More επιλέγεται η ρύθμιση Probe set up, στην οποία ρυθμίζεται ο λόγος εξασθένησης (attenuation). Για τα κανάλια 1,2,4 επιλέγεται attenuation 1000×, ενώ για το κανάλι 3 το 1× με τη βοήθεια του κομβίου multipurpose a. Με αυτή τη ρύθμιση του probe επιτυγχάνεται η απεικόνιση των τιμών της τάσης σε Volt και A χωρίς να υπάρχει πρόβλημα καταστροφής του παλμογράφου αφού στην πραγματικότητα σε αυτόν φτάνει τάση και ρεύμα της τάξης των mVolt και mA λόγω της ύπαρξης των καταμεριστών και της αμπεροτσιμπίδας.

Οι ρυθμίσεις αυτές γίνονται μία φορά στην αρχή της διεξαγωγής και δεν αλλάζουν μέχρι την ολοκλήρωση των διακριβώσεων. Σε περίπτωση που χρειαστεί να σταματήσει η διεξαγωγή και να ολοκληρωθεί άλλη στιγμή, ο χειριστής είναι υποχρεωμένος να ελέγξει αυτές τις ρυθμίσεις.

#### 4.5.3.3 Ανάλυση κυματομορφών

Για την επίτευξη της βέλτιστης ανάλυσης των κυματομορφών που εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου εκτελείται η εξής διαδικασία :

Επιλογή του καναλιού → Acquire (που βρίσκεται στο πλαίσιο Horizontal) → Record Length → 1M (για την καλύτερη δυνατή ανάλυση)

#### 4.5.4 Εμφάνιση και ρύθμιση των κέρσων

Οι κέρσορες εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου με την πίεση του πλήκτρου Cursors(3). Η ρύθμιση του κέρσορα a γίνεται με τη χρήση του κομβίου multipurpose a, το οποίο τον κινεί αριστερά – δεξιά, ενώ η ρύθμιση του κέρσορα b γίνεται με το κομβίο multipurpose b. Με την εμφάνιση των κέρσων εμφανίζεται στην οθόνη του παλμογράφου ένα πλαίσιο στο οποίο εμφανίζονται οι τιμές του μετρούμενου μεγέθους στα σημεία που βρίσκονται οι κέρσορες και το χρονικό διάστημα που απέχει ο ένας κέρσορας από τον άλλο.

#### 4.5.5 Ρυθμίσεις εξωτερικού σκανδακλισμού (external trigger)

Με σκοπό οι βυθίσεις να μπορούν να καταγραφούν από τον παλμογράφο και να απεικονίζονται στην οθόνη του χρειάζεται να δίνεται στον παλμογράφο εξωτερικός σκανδαλισμός (trigger). Ο εξωτερικός σκανδαλισμός αποσκοπεί στην αναγνώριση από τον παλμογράφο της χρονικής στιγμής που πραγματοποιείται απότομη αλλαγή της τ, και να μπορεί να απεικονίσει μόνο αυτό το στιγμιότυπο, όταν βρίσκεται σε λειτουργία Single. Για την επίτευξη αυτού θα πρέπει ο ακροδέκτης trigger της γεννήτριας να συνδεθεί σε κάποιο κανάλι του παλμογράφου το οποίο θα ρυθμιστεί σε λειτουργία trigger. Στην παρούσα διάταξη το κανάλι που επιλέχθηκε είναι το κανάλι 3 και συνδέθηκε μέσω ομοαξονικού καλωδίου με τον ακροδέκτη trigger της γεννήτριας.

Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το κανάλι 3 που είναι συνδεδεμένος ο εξωτερικός σκανδαλισμός θα πρέπει να είναι ρυθμισμένο σε coupling : dc, probe attenuation : 1× και υποχρεωτικά σε termination 1ΜΩ.

Πριν την ενεργοποίηση της γεννήτριας εκτελούνται οι εξής ρυθμίσεις :

Στο πλαίσιο του trigger (7) στο πληκτρολόγιο του παλμογράφου πιέζεται το κομβίο Menu και εμφανίζεται στην οθόνη του παλμογράφου το μενού των ρυθμίσεων του σκανδαλισμού (Εικόνα 4-19).



ΕΙΚΟΝΑ 4- 19 : ΜΕΝΟΥ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΣΚΑΝΔΑΛΙΣΜΟ (TRIGGER).

Με τη βοήθεια του κομβίου Multipurpose a και των κομβίων που αντιστοιχούν στην εκάστοτε ρύθμιση επιλέγονται τα ακόλουθα:

- Type : Edge
- Source : 3, δηλαδή το κανάλι 3
- Coupling : DC
- Slope : α) Αν απαιτείται η εμφάνιση της χρονικής στιγμής που η τάση μεταβαίνει από μικρότερο επίπεδο σε μεγαλύτερο επιλέγεται το σύμβολο :  $\searrow$   
β) Αν απαιτείται η εμφάνιση της χρονικής στιγμής που η τάση μεταβαίνει από μεγαλύτερο επίπεδο σε μικρότερο επιλέγεται το σύμβολο :  $\swarrow$
- Level : Μπορεί να επιλεγεί οποιαδήποτε τιμή μεταξύ 5V και 12V, όμως προτιμάται το επίπεδο των 8V. Για τη διακρίβωση του ρεύματος εισροής επιλέγεται το επίπεδο των 250mV.

Το κλείσιμο του μενού αυτού γίνεται με διπλό πάτημα του κομβίου menu off.

#### 4.5.6 Αποθήκευση της απεικόνισης του παλμογράφου

Εάν είναι επιθυμητή η αποθήκευση μιας απεικόνισης του παλμογράφου σε μορφή εικόνας, θα πρέπει να τοποθετηθεί στην ειδική υποδοχή του παλμογράφου μία συσκευή αποθήκευσης και να ακολουθηθεί η διαδικασία στο μενού save/recall που παρουσιάζεται παρακάτω σε μορφή διαγράμματος ροής.

Menu → Save Screen Image → OK save screen image.

Το μενού αυτό δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα επιλογής του τύπου του αρχείου καθώς και την επεξεργασία του ονόματος του αρχείου.



#### 4.5.7 Αποθήκευση ρυθμίσεων παλμογράφου

Εάν είναι επιθυμητή η αποθήκευση των ρυθμίσεων που έχουν γίνει για μια διαδικασία μετρήσεων, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύσει τις ρυθμίσεις αυτές στη μνήμη του παλμογράφου ακολουθώντας τη διαδικασία στο μενού save/recall που παρουσιάζεται παρακάτω σε μορφή διαγράμματος ροής.

Menu → Save Set Up → Επιλογή θέσης αποθήκευσης.

Το μενού αυτό δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα επιλογής του ονόματος του αρχείου.

### 4.6 ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ/ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

#### 4.6.1 Ένεργοποίηση εξοπλισμού

Μετά την ολοκλήρωση της συνδεσμολογίας η ενεργοποίηση των συσκευών που αποτελούν τον εξοπλισμό θα πρέπει να γίνεται με την ακόλουθη χρονική σειρά έτσι ώστε να μην δημιουργηθούν προβλήματα και κίνδυνοι τόσο στον εξοπλισμό όσο και στο χειριστή της δοκιμής :

1. Καταμεριστές
2. Παλμογράφος
3. Έλεγχος ρυθμίσεων termination στα κανάλια του παλμογράφου
4. Σύνδεση γεννήτριας με τροφοδοσία
5. Σταθεροποιητής
6. Γεννήτρια

#### 4.6.2 Απενεργοποίηση εξοπλισμού

Με το τέλος της διακρίβωσης θα πρέπει να ακολουθηθεί συγκεκριμένη σειρά απενεργοποίησης του εξοπλισμού και για την ασφάλεια των μηχανημάτων και του χειριστή.

1. Παλμογράφος
2. Γεννήτρια
3. Σταθεροποιητής
4. Αποσύνδεση γεννήτριας από την τροφοδοσία
5. Καταμεριστές
6. Αποσύνδεση παλμογράφου και καταμεριστών από το ρευματοδότη
7. Κλείσιμο ασφαλειών στον ηλεκτρολογικό πίνακα του εργαστηρίου
8. Αν η διεξαγωγή της διακρίβωσης έχει ολοκληρωθεί και δεν θα ξαναχρησιμοποιηθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα απαραίτητη είναι από τον χειριστή η αποσύνδεση και η φύλαξη του εξοπλισμού

## 4.7 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΕΩΝ

### 4.7.1 Γενικές ρυθμίσεις

Για τη βελτιώση της επαναληψιμότητας της διακρίβωσης, θα πρέπει να εκτελούνται αρκετές μετρήσεις, ο μέσος όρος των οποίων πρέπει να βρίσκεται εντός των ορίων ανοχής που ορίζονται στο πρότυπο.

Για τις δοκιμές με επίπεδο τάσης στα 100% και 80% η διάρκεια της μέτρησης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 5 sec, ενώ για επίπεδα τάσης 70% και 40% τα 3 sec. Το δοκίμιο πρέπει να τεθεί σε έλεγχο για κάθε επιλεγμένο συνδυασμό των επιπέδων και διάρκειας δοκιμής για τρεις συνεχόμενες βυθίσεις ή διακοπές τάσης με χρόνο αναμονής μεταξύ των δοκιμών τουλάχιστον 10 s.

Οι ρυθμίσεις που αφορούν τα Coupling, Termination και Probe set up των καναλιών του παλμογράφου παραμένουν σταθερές καθόλη τη διάρκεια διεξαγωγής της διακρίβωσης. Αυτό είναι ένα πεδίο που ο χειριστής θα πρέπει να ελέγχει πριν από κάθε δοκιμή.

Επιπροσθέτως, με την ολοκλήρωση της εκάστοτε δοκιμής συνίσταται να τίθεται προσωρινά εκτός λειτουργίας η γεννήτρια, με σκοπό την αποφυγή υπερθέρμανσης της αντίστασης. Αυτή η προσωρινή παύση της λειτουργίας της γεννήτριας επιτυγχάνεται πιέζοντας RUN και μετά PWR1.

Πριν όμως ξεκινήσει η διακρίβωση θα πρέπει να ενεργοποιηθεί η παροχή τάσης του εργαστηρίου μέσω των ασφαλειών από τον ηλεκτρολογικό πίνακα και στη συνέχεια να ελεγχθούν οι περιβαλλοντικές συνθήκες του εργαστηρίου. Κάποιες από αυτές τις συνθήκες είναι η θερμοκρασία, τα επίπεδα υγρασίας, τα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικού πεδίου κ.α.

### 4.7.2 Διακρίβωση βύθισης χωρίς φορτίο

Σε αυτό το κομμάτι της διακρίβωσης είναι επιθυμητή η επαλήθευση της τάσης εξόδου της γεννήτριας για επίπεδα βύθισης 100%, 80%, 70%, 40%, δηλαδή για είσοδο 230Vrms οι εξόδοι πρέπει να είναι 230V, 184V, 161V, 92V με απόκλιση  $\pm 5\%$  της τάσης εισόδου.

Εκτελείται η συνδεσμολογία που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.1 και η σύνδεση της γεννήτριας με την τροφοδοσία και με το καταμεριστή στο πίσω μέρος της γεννήτριας (ενότητα 4.2.3 και 4.2.4).

### **Ρυθμίσεις Παλμογράφου**

Επιθυμητή είναι η απεικόνιση μόνο του καναλιού 1 του παλμογράφου με ανάλυση 100V/div για το μετρούμενο μέγεθος και κλίμακα χρόνου 10msec/div. Μετρούμενο μέγεθος που θα πρέπει να φαίνεται και στην οθόνη του παλμογράφου είναι η RMS τιμή που δέχεται το κανάλι 1 και να έχει μετρηθεί σε όλη την οθόνη.

Μόλις εκτελεστούν τα παραπάνω πιέζεται το κομβίο single (4).

## Ρυθμίσεις Γεννήτριας

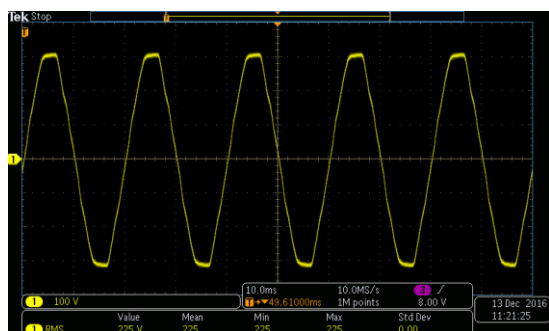
Στο μενού DIP AC(Interrupt) επιλέγονται :

- Στο πεδίο Diplevel : διαδοχικά τα επιθυμητά επίπεδα τάσης, δηλαδή 100%, 80%, 70%, 40%.
- Στο πεδίο Mode : >1period
- Στο πεδίο Duration : 1000msec
- Στο πεδίο Repetition : 10sec
- Στο πεδίο test-time : 60s

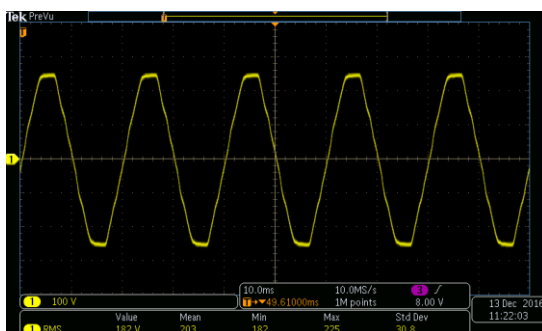
Για γωνία εκκίνησης και τερματισμού της βύθισης επιλέγονται :

- Begin dip : 0°
- End dip : 0°

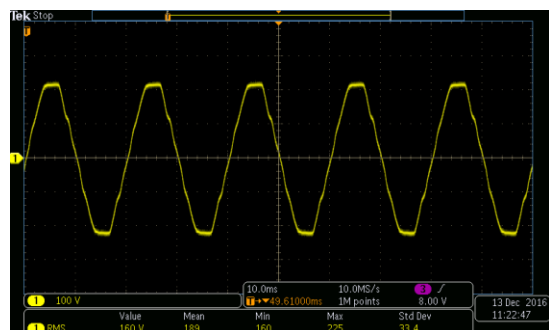
Μόλις εκτελεστούν τα παραπάνω πιέζεται το κομβίο RUN. Μετά από λίγο χρονικό διάστημα στην οθόνη του παλμογράφου εμφανίζεται η κυματομορφή του βυθισμένου ημίτονου τάσης εξόδου της γεννήτριας και η RMS τιμή της τάσης αυτής. Τα στιγμιότυπα των κυματομορφών φαίνονται στις Εικόνες 4-20 έως 4-23.



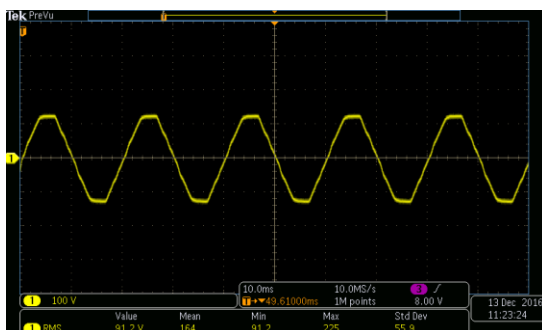
ΕΙΚΟΝΑ 4- 20 : ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 100% ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ.



ΕΙΚΟΝΑ 4- 21 : ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 80% ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ.



ΕΙΚΟΝΑ 4- 22 : ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 70% ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ.



ΕΙΚΟΝΑ 4- 23 : ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 40% ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ.

### 4.7.3 Διακρίβωση βύθισης με φορτίο

Σε αυτή τη διακρίβωση, όπως και στην προηγούμενη, ζητείται η επιβεβαίωση ότι η τάση εξόδου της γεννήτριας για επίπεδα βύθισης 100%, 80%, 70%, 40% είναι κατά μέτρο και κυματομορφή εντός των φυσιολογικών ορίων. Ακόμα, μετριέται το ρεύμα εξόδου της γεννήτριας για να διαπιστωθεί ότι και αυτό βρίσκεται εντός ορίων όπως περιγράφηκε στον Πίνακα 3- 4.

Εκτελείται η συνδεσμολογία που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.2 και η σύνδεση της γεννήτριας με την τροφοδοσία και με το καταμεριστή στο πίσω μέρος της γεννήτριας (ενότητα 4.2.3 και 4.2.4).

#### **Ρυθμίσεις Παλμογράφου**

Επιθυμητή είναι η απεικόνιση μόνο του καναλιού 1 του παλμογράφου με ανάλυση 100V/div για το μετρούμενο μέγεθος και κλίμακα χρόνου 10 msec/div. Μετρούμενα μέγεθρα που θα πρέπει να φαίνονται στην οθόνη του παλμογράφου είναι η RMS τιμή τάσης που δέχεται το κανάλι 1, καθώς και η RMS τιμή του ρεύματος που δέχεται το κανάλι 2, και τα δύο μεγέθη θα πρέπει να έχουν μετρηθεί σε όλη την οθόνη του παλμογράφου.

Μόλις εκτελεστούν τα παραπάνω πιέζεται το κομβίο single (4).

#### **Ρυθμίσεις Γεννήτριας**

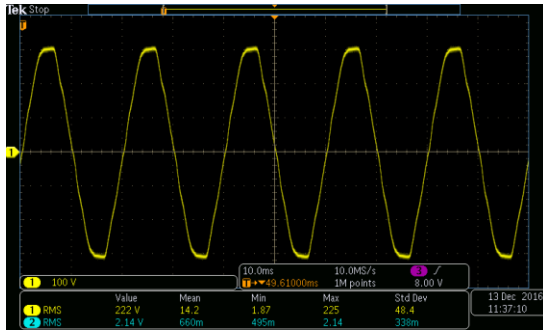
Στο μενού DIP AC(Interrupt) επιλέγονται :

- Στο πεδίο Diplevel : διαδοχικά τα επιθυμητά επίπεδα τάσης, δηλαδή 100%, 80%, 70%, 40%.
- Στο πεδίο Mode : >1period
- Στο πεδίο Duration : 1000msec
- Στο πεδίο Repetition : 10sec
- Στο πεδίο test-time : 60s

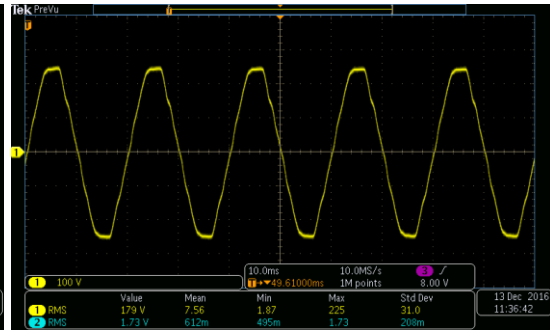
Για γωνία εκκίνησης και τερματισμού της βύθισης επιλέγονται :

- Begin dip : 0°
- End dip : 0°

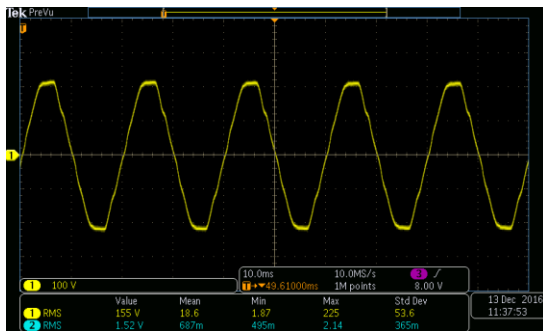
Μόλις εκτελεστούν τα παραπάνω πιέζεται το κομβίο RUN. Μετά από λίγο χρονικό διάστημα στην οθόνη του παλμογράφου εμφανίζεται η κυματομορφή του βυθισμένου ημίτονου τάσης εξόδου της γεννήτριας και η RMS τιμή της τάσης αυτής. Τα αναμενόμενα στιγμιότυπα των κυματομορφών φαίνονται στις Εικόνες 4- 24 έως 4- 27.



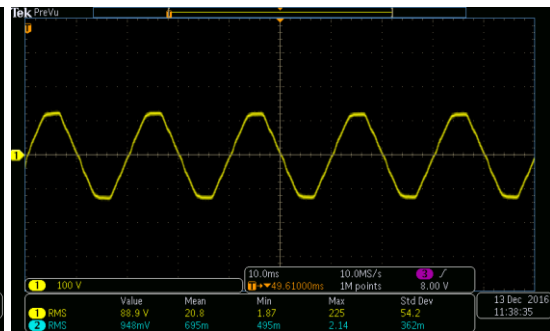
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 24 :** : ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 100% ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 25 :** : ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 80% ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 26 :** : ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 70% ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 27 :** : ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 40% ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ.

#### 4.7.4 Διακρίβωση χρόνων ανόδου / καθόδου τάσης για δίκτυο 230 V/ 50 Hz

Σε αυτή τη διακρίβωση κρίνεται απαραίτητη η επαλήθευση των χρόνων ανόδου και καθόδου της βύθισης της τάσης και της επαναφοράς της σε φυσιολογικό επίπεδο για επίπεδα από 0% σε 100%, από 100% σε 80%, από 100% σε 70%, από 100% σε 40%, από 100% σε 0% σε γωνίες 90° και 270°. Η μέτρηση των χρόνων αυτών γίνεται με τη χρήση κερσόρων. Τα όρια ανοχής για τους χρόνους αυτούς δίνονται στον Πίνακα 3- 4 και είναι τιμές από 1μsec έως 5μsec.

Εκτελείται η συνδεσμολογία που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.2 και η σύνδεση της γεννήτριας με την τροφοδοσία και με το καταμεριστή στο πίσω μέρος της γεννήτριας (ενότητα 4.2.3 και 4.2.4), δηλαδή η συνδεσμολογία είναι ίδια με αυτή της προηγούμενης διακρίβωσης.

#### Ρυθμίσεις Παλμογράφου

Επιθυμητή είναι η απεικόνιση μόνο του καναλιού 1 του παλμογράφου με ανάλυση 100V/div για το μετρούμενο μέγεθος και κλίμακα χρόνου 4μsec/div. Η μέτρηση των επιθυμητών χρόνων γίνεται χρήση των κερσόρων στο απομονωμένο στιγμιότυπο της βύθισης. Η ρύθμιση που πρέπει να επιβληθεί σε κάθε δοκιμή για το slope του trigger φαίνεται στον Πίνακα 4- 1.

Μόλις εκτελεστούν τα παραπάνω πιέζεται το κομβίο single (4).

## Ρυθμίσεις Γεννήτριας

Στο μενού DIP AC(Interrupt) επιλέγονται :

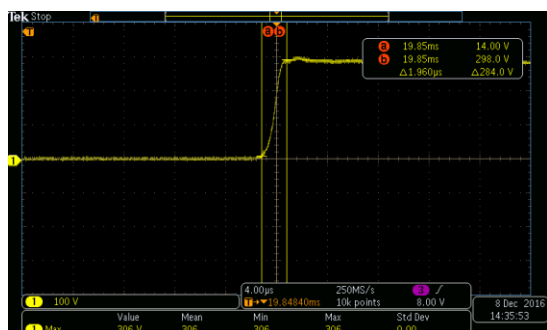
- Στο πεδίο Mode : <1period
- Στο πεδίο Duration : 1per
- Στο πεδίο Repetition : 10sec
- Στο πεδίο test-time : 60s

Το επίπεδο της βύθισης, όπως και οι γωνίες εκκίνησης και τερματισμού της βύθισης (Begin dip, End dip) είναι ανάλογες της δοκιμής που εκτελείται και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4- 1.

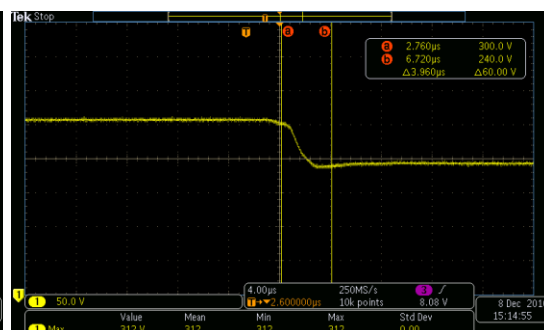
Επιθυμητή Δοκιμή	Πεδίο Diplevel	Πεδίο Begin dip	Πεδίο End dip	Slope trigger
0% σε 100%, 90°	0%	90°	90°	↘
100% σε 80%, 90°	80%	90°	90°	↘
100% σε 70%, 90°	70%	90°	90°	↘
100% σε 40%, 90°	40%	90°	90°	↘
100% σε 0%, 90°	0%	90°	90°	↘
0% σε 100%, 270°	0%	270°	270°	↗
100% σε 80%, 270°	80%	270°	270°	↗
100% σε 70%, 270°	70%	270°	270°	↗
100% σε 40%, 270°	40%	270°	270°	↗
100% σε 0%, 270°	0%	270°	270°	↗

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4- 1 :** ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΤΙΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ TRIGGER ΤΟΥ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΥ.

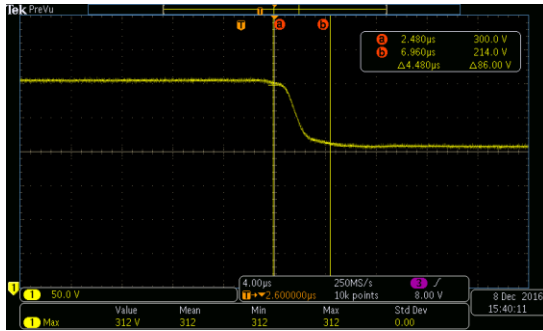
Μόλις εκτελεστούν τα παραπάνω πιέζεται το κομβίο RUN. Μετά από λίγο χρονικό διάστημα στην οθόνη του παλμογράφου εμφανίζεται η κυματομορφή του ημίτονου τάσης εξόδου της γεννήτριας με εμφανή τη βύθιση στις γωνίες επιλογής. Τα αναμενόμενα στιγμιότυπα των κυματομορφών φαίνονται στις Εικόνες 4- 28 έως 4- 37.



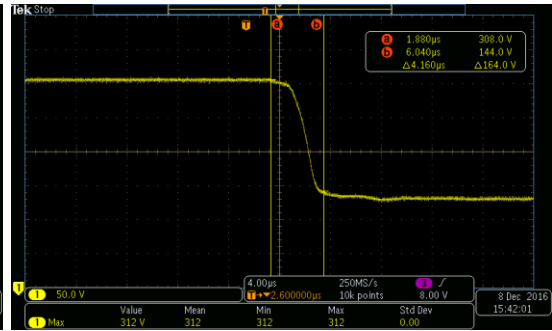
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 28 :** ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 90°.



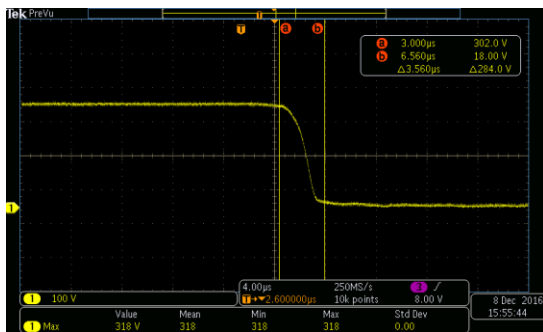
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 29 :** ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 80% ΣΤΙΣ 90°.



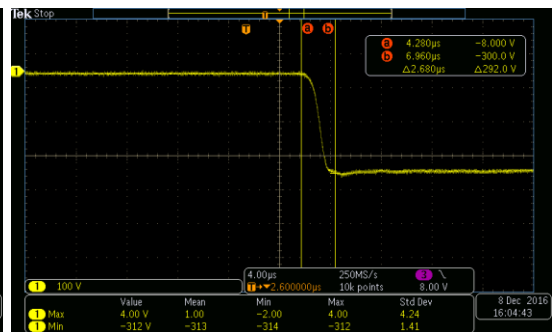
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 30 :** ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 70% ΣΤΙΣ 90°.



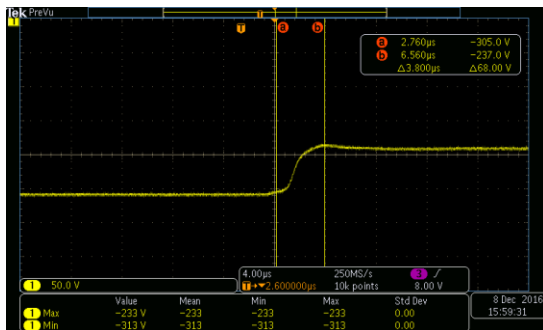
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 31 :** ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 40% ΣΤΙΣ 90°.



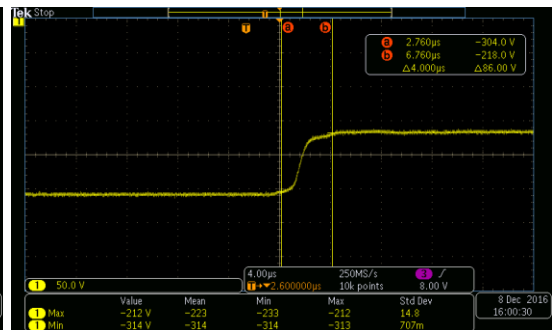
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 32 :** ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 0% ΣΤΙΣ 90°.



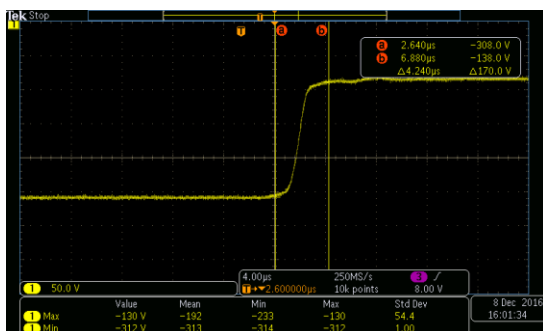
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 33 :** ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 270°.



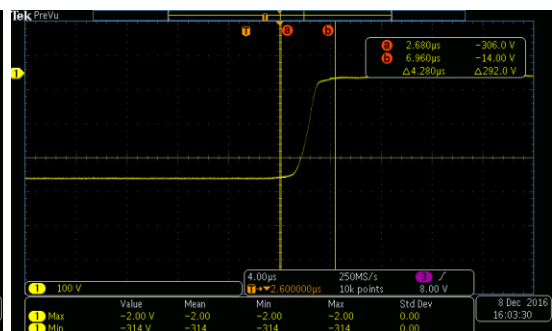
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 34 :** ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 80% ΣΤΙΣ 270°.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 35 :** ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 70% ΣΤΙΣ 270°.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 36 :** ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 40% ΣΤΙΣ 270°.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 37 :** ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 0% ΣΤΙΣ 270°.

#### 4.7.5 Διακρίβωση συγχρονισμού βύθισης

Σε αυτή τη διακρίβωση κρίνεται απαραίτητη η επαλήθευση ότι η βύθιση της τάσης δίνεται από τη γεννήτρια στη γωνία που έχει οριστεί στις ρυθμίσεις της, δηλαδή αν για παράδειγμα έχει συμπληρωθεί στο πεδίο Begin dip γωνία 45°, τότε θα πρέπει στην οθόνη του παλμογράφου η βύθιση να ξεκινάει στις 45°. Το ίδιο θα πρέπει να γίνεται και για τη δοθείσα γωνία τερματισμού της βύθισης (End dip). Για το λόγο ότι δεν μπορεί να μετρηθεί στην οθόνη του παλμογράφου γωνία, ο χειριστής θα πρέπει να μετράει με την βοήθεια των κερσόρων χρονικό διάστημα και να επαληθεύει τη γωνία μέσω της αναλογίας της γωνίας με την περίοδο.

Για να αποφανθεί ο χειριστής εάν το χρονικό διάστημα που μετράει στην οθόνη του παλμογράφου είναι εντός ορίων, θα πρέπει να ανατρέξει στον Πίνακα 3- 4, ο οποίος ορίζει ως ανεκτά φυσιολογικά όρια γωνίας συγχρονισμού τις  $\pm 10^\circ$ , δηλαδή τα περίπου  $\pm 0,556\text{msec}$ .

Για τη διακρίβωση αυτή θα πρέπει να διεξαχθούν δοκιμές για μεταβολές της τάσης από 0% σε 100% και από 100% σε 0%, σε εννέα γωνίες φάσεων από 0° έως 360° με βήμα 45° και επιπλέον για μεταβολές από 100% σε 80% και από 80% σε 100%, από 100% σε 70% και από 70% σε 100%, όπως επίσης από 100% σε 40% και από 40% σε 100%, σε γωνίες 90° και 180°.

Εκτελείται η συνδεσμολογία που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.2 και η σύνδεση της γεννήτριας με την τροφοδοσία και με το καταμεριστή στο πίσω μέρος της γεννήτριας (ενότητα 4.2.3 και 4.2.4), δηλαδή η συνδεσμολογία είναι ίδια με αυτή της προηγούμενης διακρίβωσης.

#### **Ρυθμίσεις Παλμογράφου**

Επιθυμητή είναι η απεικόνιση των καναλιών 1 και 4 του παλμογράφου, δηλαδή της τάσης εισόδου και της τάσης εξόδου της γεννήτριας, με ανάλυση 100V/div για το μετρούμενο μέγεθος και στα δύο κανάλια και κλίμακα χρόνου που δίνεται στους Πίνακες 4- 2 και 4- 3.

Η απεικόνιση της τάσης εισόδου της γεννήτριας χρειάζεται για την ευκολότερη αναγνώριση από το χρήστη τη στιγμή της βύθισης. Ο χρήστης θα πρέπει να προσαρμόσει τις δύο κυματομορφές ούτως ώστε να συμπίπτουν. Αυτό μπορεί να το πετύχει με την χρήση του κομβίου (6) για τη ρύθμιση της θέσης της απεικόνισης ως προς το χρόνο.

Η μέτρηση του χρονικού διαστήματος μέχρι την βύθιση ή την επαναφορά αυτής γίνεται με χρήση των κερσόρων στο απομονωμένο στιγμιότυπο της βύθισης. Η μέτρηση λοιπόν του χρόνου αυτού γίνεται τοποθετώντας τον κέρσορα a στα 0V και 0° του ημιτόνου της τάσης εισόδου της γεννήτριας και με την τοποθέτηση του κέρσορα b, ανάλογα με τη δοκιμή που εκτελείται, στην στιγμή που αρχίζει ή τελειώνει η βύθιση, δηλαδή στην πρώτη ή την τελευταία βυθισμένη τιμή της τάσης εξόδου της γεννήτριας. Η ρύθμιση που πρέπει να επιβληθεί σε κάθε δοκιμή για το slope του trigger φαίνεται στους Πίνακες 4- 2 και 4- 3.



Μόλις εκτελεστούν τα παραπάνω πιέζεται το κομβίο single (4).

### Ρυθμίσεις Γεννήτριας

Στο μενού DIP AC(Interrupt) επιλέγονται :

- Στο πεδίο Mode : <1period
- Στο πεδίο Duration : 1per
- Στο πεδίο Repetition : 10sec
- Στο πεδίο test-time : 60s

Το επίπεδο της βύθισης, όπως και οι γωνίες εκκίνησης και τερματισμού της βύθισης (Begin dip, End dip) είναι ανόλογες της δοκιμής που εκτελείται και παρουσιάζονται στους Πίνακες 4- 2 και 4- 3.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι ρυθμίσεις του επιπέδου βύθισης (Diplevel), της γωνίας τερματισμού της βύθισης (End dip) της γεννήτριας και η ρύθμιση της κλίμακας του χρόνου (sec/div) στην οθόνη του παλμογράφου ανάλογα με τη δοκιμή που θα εκτελεστεί. Στις παρακάτω δοκιμές έχει ρυθμιστεί ο εξωτερικός σκανδαλισμός σε slope  $\searrow$  και η γωνία εκκίνησης είναι αδιάφορη.

Επιθυμητή Δοκιμή	Κλίμακα χρόνου	Πεδίο Diplevel	Πεδίο Dip end
0% σε 100%, 0°	2 msec/div	0%	0°
0% σε 100%, 45°	2 msec/div	0%	45°
0% σε 100%, 90°	2 msec/div	0%	90°
0% σε 100%, 135°	2 msec/div	0%	135°
0% σε 100%, 180°	2 msec/div	0%	180°
0% σε 100%, 225°	2 msec/div	0%	225°
0% σε 100%, 270°	4 msec/div	0%	270°
0% σε 100%, 315°	4 msec/div	0%	315°
80% σε 100%, 90°	2 msec/div	80%	90°
80% σε 100%, 270°	2 msec/div	80%	270°
70% σε 100%, 90°	2 msec/div	70%	90°
70% σε 100%, 270°	2 msec/div	70%	270°
40% σε 100%, 90°	2 msec/div	40%	90°
40% σε 100%, 270°	2 msec/div	40%	270°

ΠΙΝΑΚΑΣ 4- 2 : ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΕ TRIGGER SLOPE  $\searrow$ .

Με τις ρυθμίσεις που περιέχει ο Πίνακας 4- 2 μετρίεται το χρονικό διάστημα που χρειάζεται η γεννήτρια για να επαναφέρει την τάση εξόδου της σε φυσιολογικά επίπεδα, δηλαδή εδώ μετρίεται ο χρόνος που χρειάζεται η τάση για να μεταβεί από το επίπεδο της βύθισης στο 100% της ονομαστικής τάσης για τη γωνία ενδιαφέροντος.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι ρυθμίσεις του επιπέδου βύθισης (Diplevel), της γωνίας εκκίνησης της βύθισης (Begin dip) της γεννήτριας και η ρύθμιση της κλίμακας του χρόνου (sec/div) στην οθόνη του παλμογράφου ανάλογα με τη δοκιμή

που θα εκτελεστεί. Στις παρακάτω δοκιμές έχει ρυθμιστεί ο εξωτερικός σκανδαλισμός σε slope  $\surd$  και η γωνία τερματισμού είναι αδιάφορη.

Επιθυμητή Δοκιμή	Κλίμακα χρόνου	Πεδίο Diplevel	Πεδίο Begin end
100% σε 0%, 0°	2 msec/div	0%	0°
100% σε 0%, 45°	2 msec/div	0%	45°
100% σε 0%, 90°	2 msec/div	0%	90°
100% σε 0%, 135°	2 msec/div	0%	135°
100% σε 0%, 180°	2 msec/div	0%	180°
100% σε 0%, 225°	2 msec/div	0%	225°
100% σε 0%, 270°	4 msec/div	0%	270°
100% σε 0%, 315°	4 msec/div	0%	315°
100% σε 80%, 90°	2 msec/div	80%	90°
100% σε 80%, 270°	2 msec/div	80%	270°
100% σε 70%, 90°	2 msec/div	70%	90°
100% σε 70%, 270°	2 msec/div	70%	270°
100% σε 40%, 90°	2 msec/div	40%	90°
100% σε 40%, 270°	2 msec/div	40%	270°

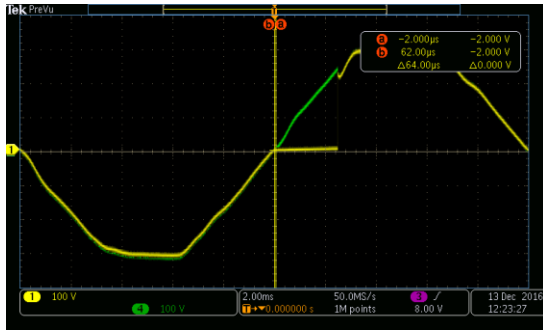
**ΠΙΝΑΚΑΣ 4- 3 :** ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΕ TRIGGER SLOPE  $\surd$ .

Με τις ρυθμίσεις που περιέχει ο Πίνακας 4- 3 μετριέται το χρονικό διάστημα που χρειάζεται η γεννήτρια για να βυθίσει την τάση εξόδου της από τα φυσιολογικά επίπεδα στο επιθυμητό επίπεδο βύθισης, δηλαδή εδώ μετριέται ο χρόνος που χρειάζεται η τάση για να μεταβεί από το 100% της ονομαστικής τάσης στο επίπεδο της βύθισης για τη γωνία ενδιαφέροντος.

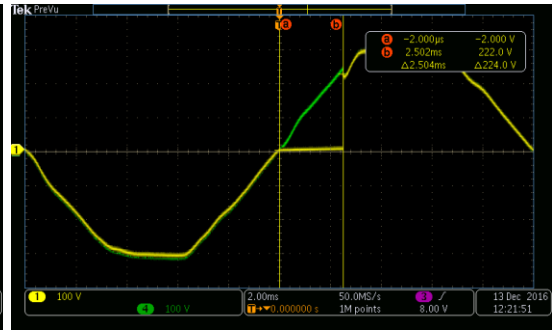
Με την εκτέλεση των εκάστοτε ρυθμίσεων πιέζεται το κομβίο RUN. Μετά από λίγο χρονικό διάστημα στην οθόνη του παλμογράφου εμφανίζονται οι κυματομορφές των τάσεων εισόδου και εξόδου της γεννήτριας με εμφανή τη βύθιση στις γωνίες επιλογής.

Μερικά από τα αναμενόμενα στιγμιότυπα των κυματομορφών φαίνονται στις Εικόνες 4- 38 έως 4- 49. Στις παρακάτω εικόνες διακρίνεται και η θέση που έχουν τοποθετηθεί οι κέρσορες για τη μέτρηση των χρονικών διαστημάτων που επιθυμούνται. Στις Εικόνες 4- 38 έως 4- 45 φαίνονται μερικά στιγμιότυπα, ενώ στις Εικόνες 4- 46 έως 4- 49 φαίνονται τα στιγμιότυπα για μετάβαση στο 40% και επαναφορά από αυτό το επίπεδο στο 100% της ονομαστικής τάσης.

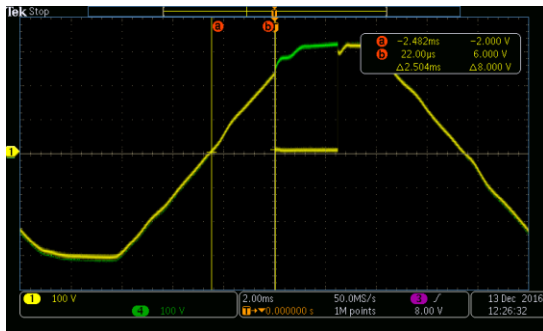
Τα στιγμιότυπα για μετάβαση στο 80% και 70% και επαναφορά από αυτά τα επίπεδα στο 100% αναμένεται να είναι πανομοιότυπα με αυτά του επιπέδου 40% με διαφορετική μετρούμενη RMS τιμή τάσης.



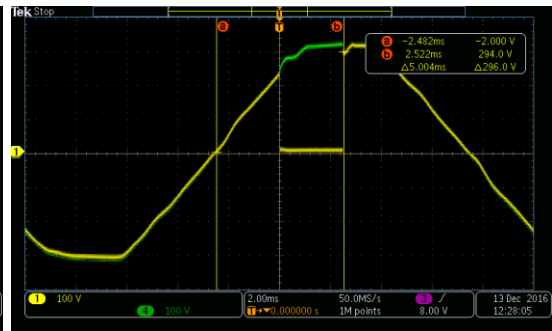
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 38 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 0% ΣΤΙΣ 0°.



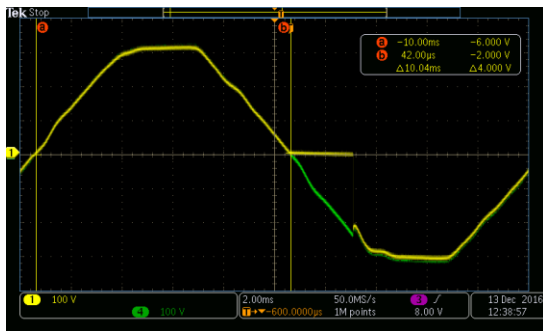
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 39 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 45°.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 40 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 0% ΣΤΙΣ 45°.



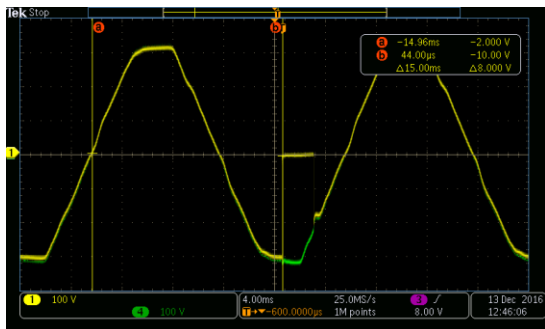
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 41 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 90°.



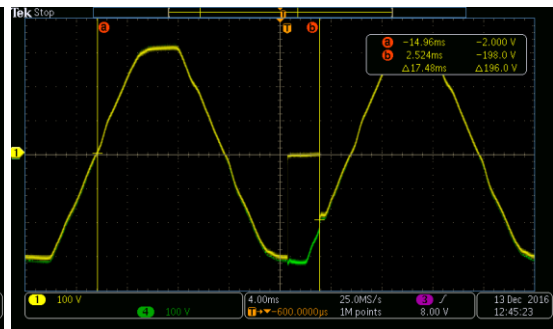
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 42 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 0% ΣΤΙΣ 180°.



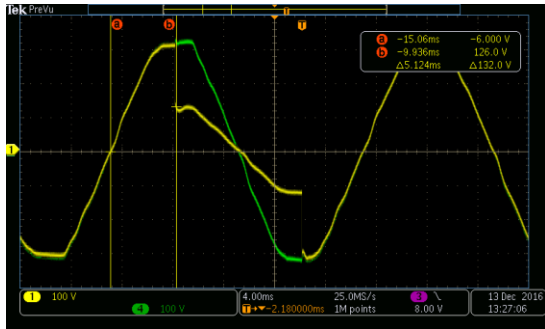
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 43 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 225°.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 44 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 0% ΣΤΙΣ 270°.



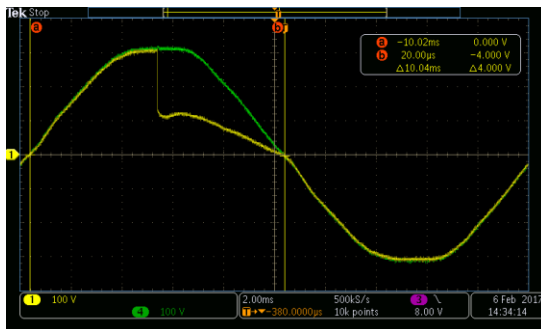
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 45 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 315°.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 46 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 40% ΣΤΙΣ 90°.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 47 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 40% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 90°.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 48 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 40% ΣΤΙΣ 270°.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 49 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 40% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 270°.

#### 4.7.6 Διακρίβωση Overshoot / Undershoot

Σε αυτή τη διακρίβωση ζητείται η μέτρηση των τιμών του Overshoot και του Undershoot. Ο όρος “Overshoot” είναι η εμφάνιση ενός σήματος ή λειτουργίας που υπερβαίνει το στόχο του. Αναφέρεται στις μεταβατικές τιμές της παραμέτρου που μετρώνται και υπερβαίνουν την τελική επιθυμητή τιμή της (σταθερή κατάσταση) όταν ο εξοπλισμός μεταβαίνει από μία τιμή σε μια άλλη. Όταν είναι χαμηλότερη από την τελική τιμή, το φαινόμενο ονομάζεται “Undershoot”.

Για την αυτή τη διακρίβωση θα πρέπει να διεξαχθούν δοκιμές για μεταβολές της τάσης από 0% σε 100%, από 100% σε 80%, από 100% σε 70%, από 100% σε 40% και από 100% σε 0% σε γωνίες 90° και 270°.

Εκτελείται η συνδεσμολογία που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.2 και η σύνδεση της γεννήτριας με την τροφοδοσία και με το καταμεριστή στο πίσω μέρος της γεννήτριας (ενότητα 4.2.3 και 4.2.4), δηλαδή η συνδεσμολογία είναι ίδια με αυτή της προηγούμενης διακρίβωσης.

Για τον υπολογισμό των ορίων ανοχής ο χειριστής θα πρέπει να μετρήσει την RMS τιμή της τάσης εξόδου της γεννήτριας χωρίς βύθιση. Για αυτή τη μέτρηση απαιτείται το πάτημα του πλήκτρου PWR1 και η μέτρηση της RMS τιμής της τάσης στην οθόνη του παλμογράφου. Αφού γίνει αυτή η μέτρηση, υπολογίζεται το 5% αυτής της τιμής. Τα όρια ανοχής κάθε επιπέδου είναι :

$$U_T \times \sqrt{2} \times (\text{το αντίστοιχο επίπεδο της δοκιμής}) \pm 0,05 \times U_T$$

Κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων μετρήθηκε η RMS τιμή αυτή για τη γεννήτρια που χρησιμοποιήθηκε ότι είναι  $U_T = 223\text{Vrms}$  και το 5% αυτής είναι  $0,05 \times 223 = 11,15$ . Οπότε εδώ τα όρια είναι :

- Για επίπεδο 80% :  $(252,3 \pm 11,15)$  V
- Για επίπεδο 70% :  $(220,76 \pm 11,15)$  V
- Για επίπεδο 40% :  $(126,15 \pm 11,15)$  V
- Για επίπεδο 0% :  $(0 \pm 11,15)$  V

### Ρυθμίσεις Παλμογράφου

Επιθυμητή είναι η απεικόνιση μόνο του καναλιού 1 του παλμογράφου με ανάλυση  $200\text{V/div}$  για το μετρούμενο μέγεθος και κλίμακα χρόνου  $4\text{msec/div}$ . Μετρούμενα μέγεθη που θα πρέπει να φαίνονται και στην οθόνη του παλμογράφου είναι η Min και Max τιμή που δέχεται το κανάλι 1 στο χρονικό διάστημα κατά το οποίο γίνεται η μετάβαση από ένα επίπεδο τάσης σε ένα άλλο. Το χρονικό διάστημα αυτό ορίζεται στον παλμογράφο με τη χρήση των κερσόρων και μέτρηση του επιθυμητού μεγέθους ανάμεσα σε αυτούς. Για τον τελικό υπολογισμό εκτελούνται τα εξής :

- Στο πρώτο μισό της περιόδου της τάσης :
  - 1.)  $V = \text{επίπεδο βύθισης} \times \text{Max}$
  - 2.)  $\text{Overshoot} = V - \text{Min}$
- Στο δεύτερο μισό της περιόδου της τάσης :
  - 1.)  $V = \text{επίπεδο βύθισης} \times \text{Min}$
  - 2.)  $\text{Undershoot} = |V - \text{Max}|$

Η ρύθμιση που πρέπει να επιβληθεί σε κάθε δοκιμή για το slope του trigger φαίνεται στον Πίνακα 4- 4.

Μόλις εκτελεστούν τα παραπάνω πιέζεται το κουμπί single (4).

### Ρυθμίσεις Γεννήτριας

Στο μενού DIP AC(Interrupt) επιλέγονται :

- Στο πεδίο Mode :  $<1\text{period}$
- Στο πεδίο Duration :  $1\text{per}$
- Στο πεδίο Repetition :  $10\text{sec}$
- Στο πεδίο test-time :  $60\text{s}$

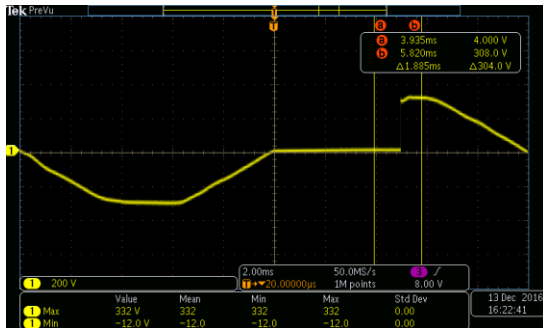
Το επίπεδο της βύθισης, όπως και οι γωνίες εκκίνησης και τερματισμού της βύθισης (Begin dip, End dip) είναι ανόλογες της δοκιμής που εκτελείται και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4- 4.

Επιθυμητή δοκιμή	Πεδίο Diplevel	Πεδίο Begin dip	Πεδίο End dip	Trigger slope
0% σε 100%, 90°	0%	-*	90°	\
100% σε 80%, 90°	80%	90°	-*	/
100% σε 70%, 90°	70%	90°	-*	/
100% σε 40%, 90°	40%	90°	-*	/
100% σε 0%, 90°	0%	90°	-*	/
0% σε 100%, 270°	0%	-*	270°	\
100% σε 80%, 270°	80%	270°	-*	/
100% σε 70%, 270°	70%	270°	-*	/
100% σε 40%, 270°	40%	270°	-*	/
100% σε 0%, 270°	0%	270°	-*	/

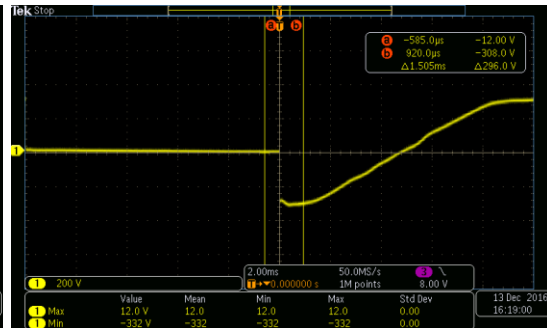
\* Η παύλα (-) σημαίνει ότι ο χειριστής της διακρίβωσης μπορεί να επιλέξει οποιαδήποτε γωνία επιθυμεί χωρίς να επηρεαστεί το αποτέλεσμα της δοκιμής.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4- 4 :** ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΤΟΥ OVERSHOOT/UNDERSHOOT.

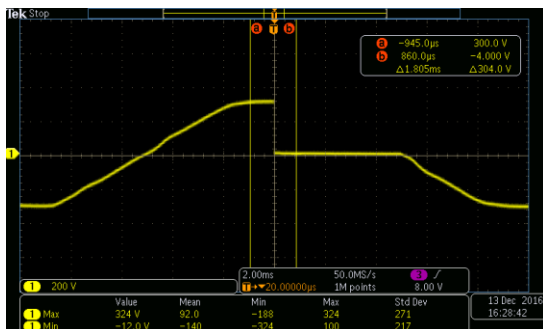
Μόλις εκτελεστούν τα παραπάνω πιέζεται το κομβίο RUN. Μετά από λίγο χρονικό διάστημα στην οθόνη του παλμογράφου εμφανίζεται η κυματομορφή του ημίτονου τάσης εξόδου της γεννήτριας με εμφανή τη βύθιση στις γωνίες επιλογής. Τα αναμενόμενα στιγμιότυπα των κυματομορφών φαίνονται στις Εικόνες 4- 50 έως 4- 59.



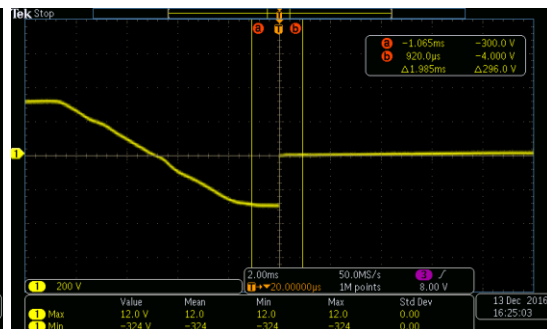
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 50 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 90°.



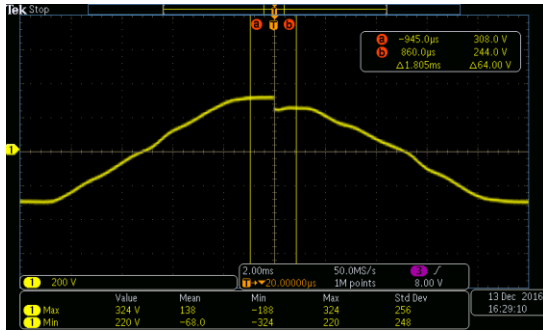
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 51 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100% ΣΤΙΣ 270°.



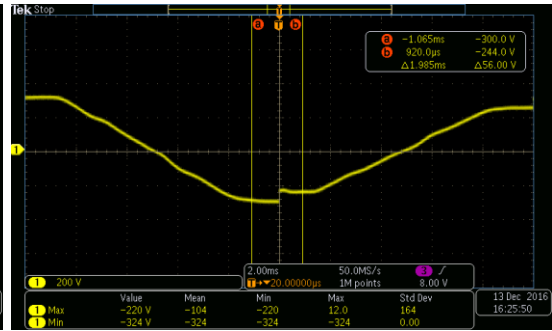
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 52 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 0% ΣΤΙΣ 90°.



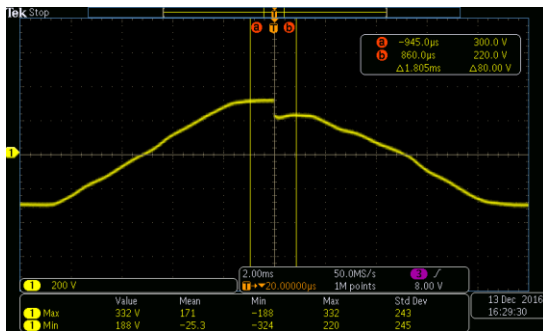
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 53 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 0% ΣΤΙΣ 270°.



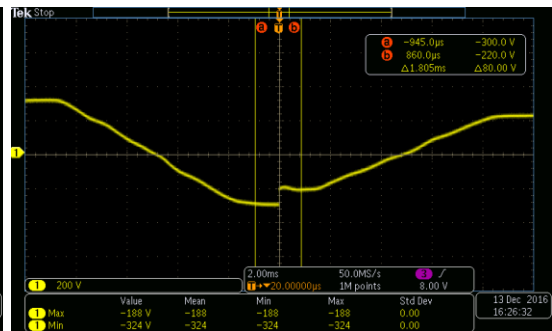
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 54 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 80% ΣΤΙΣ 270°.



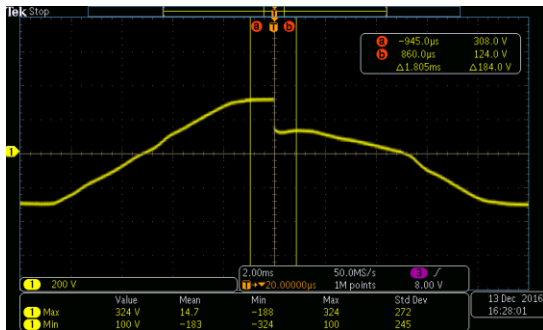
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 55 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 80% ΣΤΙΣ 270°.



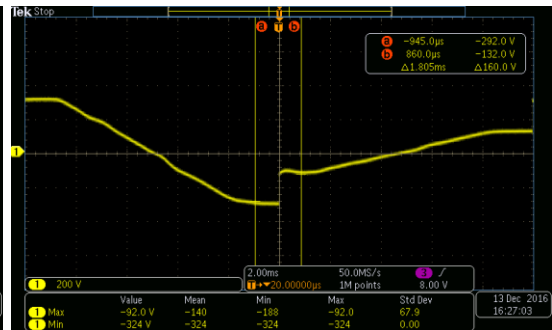
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 56 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 70% ΣΤΙΣ 90°.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 57 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 70% ΣΤΙΣ 270°.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 58 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 40% ΣΤΙΣ 90°.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 59 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟ 100% ΣΕ 40% ΣΤΙΣ 270°.

#### 4.7.7 Διακρίβωση βύθισης για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο της μιας περιόδου

Σε αυτό το στάδιο της διακρίβωσης απαιτείται η εκτέλεση βυθίσεων που διαρκούν για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο της μιας περιόδου. Πιο συγκεκριμένα βυθίσεις που διαρκούν 25 και 250 κύκλους (περιόδους) και υποβιβάζουν την τάση εξόδου της γεννήτριας από το 100% της ονομαστικής τάσης στο 0% αυτής.

Η επαλήθευση αυτή γίνεται για να επιβεβαιωθεί ότι το χρονικό διάστημα που έχει οριστεί στη γεννήτρια, συμπίπτει με το χρονικό διάστημα που απεικονίζεται στον παλμογράφο.

Εκτελείται η συνδεσμολογία που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.2 και η σύνδεση της γεννήτριας με την τροφοδοσία και με το καταμεριστή στο πίσω μέρος της γεννήτριας (ενότητα 4.2.3 και 4.2.4), δηλαδή η συνδεσμολογία είναι ίδια με αυτή της προηγούμενης διακρίβωσης.

### **Ρυθμίσεις Παλμογράφου**

Επιθυμητή είναι η απεικόνιση μόνο του καναλιού 1 του παλμογράφου με ανάλυση 200V/div για το μετρούμενο μέγεθος και κλίμακα χρόνου που εξαρτάται από την δοκιμή, δηλαδή για τη δοκιμή των 25 κύκλων ρυθμίζεται η κλίμακα του χρόνου σε 100 msec/div και για τη δοκιμή των 250 κύκλων σε 1 sec/div.

Για τη μέτρηση αυτού του χρονικού διαστήματος χρησιμοποιούνται οι κέρσορες με τοποθέτηση του κέρσορα a στην πρώτη μηδενική τάση που προκαλείται από τη βύθιση και του κέρσορα b στην τελευταία. Σε αυτές τις δοκιμές δεν πρέπει να πατηθεί το κομβίο single (4), αλλά μόλις εμφανιστεί στην οθονή του παλμογράφου ολόκληρη η βύθιση πιέζεται το κομβίο Run/Stop (5).

### **Ρυθμίσεις Γεννήτριας**

Στο μενού DIP AC(Interrupt) επιλέγονται :

- Στο πεδίο Diplevel : 0%
- Στο πεδίο Mode : >1period
- Στο πεδίο Duration : 500 msec (για 25 κύκλους) και  
5000 msec (για 250 κύκλους)
- Στο πεδίο Repetition : 10sec
- Στο πεδίο test-time : 60s

Για γωνία εκκίνησης και τερματισμού της βύθισης επιλέγονται :

- Begin dip : 0°
- End dip : 0°

Μόλις εκτελεστούν τα παραπάνω πιέζεται το κομβίο RUN. Μετά από λίγο χρονικό διάστημα στην οθονή του παλμογράφου εμφανίζεται η κυματομορφή των βυθισμένων ημιτόνων της τάσης εξόδου της γεννήτριας, όπου πιέζοντας το κομβίο Run/Stop (6) από το πληκτρολόγιο του παλμογράφου απομονώνεται το στιγμιότυπο στο οποίο μπορεί να μετρηθεί το χρονικό διάστημα ενδιαφέροντος. Τα αναμενόμενα στιγμιότυπα των κυματομορφών φαίνονται στις Εικόνες 4- 60 και 4- 61.





εξωτερικό σκανδαλισμό με trigger level 200mV και trigger slope  $\nearrow$ . Τα κανάλια 1, 3, 4 θα πρέπει να ρυθμιστούν σε Coupling : DC και termination : 1MΩ. Ακόμα, το Probe set up των καναλιών 1,4 να είναι 1000× ενώ του καναλιού 3 να ρυθμιστεί στο 1×.

Μετρούμενο μέγεθος που θα πρέπει να απεικονίζεται στην οθόνη του παλμογράφου είναι η Max τιμή που δέχεται το κανάλι 3. Για το υπολογισμό της τιμής του ρεύματος εισροής θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί το μετρούμενος μέγεθος που δίνει ο παλμογράφος με 400A. Θα πρέπει να γίνει αυτός ο υπολογισμός διότι το δικτύωμα για τη μέτρηση του ρεύματος εισροής έχει τη ρύθμιση να δίνει στην έξοδό του τάση, τέτοια ώστε 1 V αυτής να αντιστοιχεί σε 400 A.

Σε αυτές τις δοκιμές πρέπει να πατηθεί το κομβίο single (4) δύο φορές ούτως ώστε να μπορέσει ο παλμογράφος να απεικονίσει το επιθυμητό στιγμιότυπο. Πρώτη φορά πιέζεται μόλις ολοκληρωθούν οι ρυθμίσεις του παλμογράφου και η δεύτερη φορά πραγματοποιείται όταν ξεκινήσει η δοκιμή. Το trigger του παλμογράφου με την εκκίνηση της γεννήτριας εντοπίζει εσφαλμένα ότι έγινε η βύθιση και κρατάει το στιγμιότυπο που όμως δεν περιέχει την επιθυμητή πληροφορία. Για αυτό το λόγο, μόλις γίνει η απεικόνιση του μη επιθυμητού σήματος πιέζεται για δεύτερη φορά το κομβίο single(4).

### Ρυθμίσεις Γεννήτριας

Στο μενού DIP AC(Interrupt) επιλέγονται :

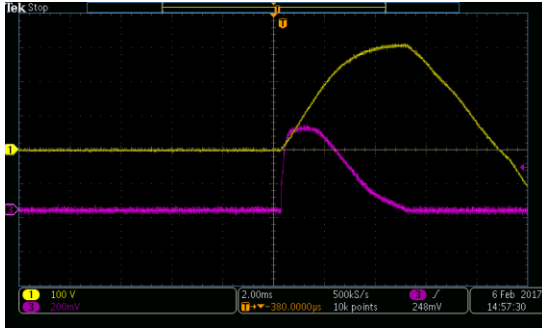
- Στο πεδίο Diplevel : 0%
- Στο πεδίο Mode : <1period
- Στο πεδίο Duration : 1 per
- Στο πεδίο Repetition : 10sec
- Στο πεδίο test-time : 60s

Για γωνία εκκίνησης και τερματισμού της βύθισης επιλέγονται :

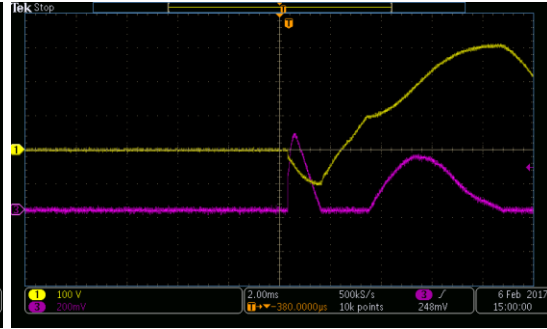
- Begin dip : 0°
- End dip : διαδοχικά 90° και 270°

Μόλις εκτελεστούν τα παραπάνω πιέζεται το κομβίο RUN. Μετά από λίγο χρονικό διάστημα και έχοντας το παλμογράφο σε κατάσταση single (όπως περιγράφηκε προηγουμένως) στην οθόνη του εμφανίζονται οι κυματομορφές του ρεύματος εισροής και της τάσης εξόδου της γεννήτριας.

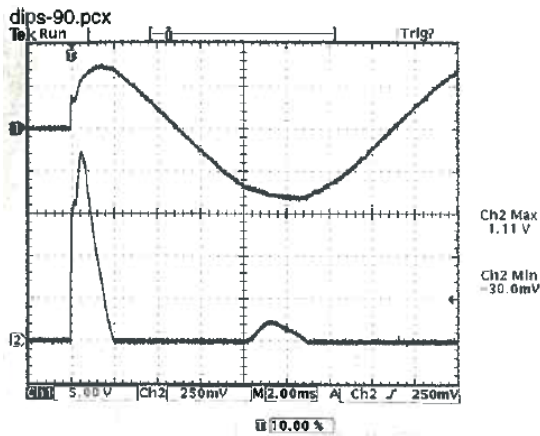
Κατά τη διεξαγωγή των διατάξεων της διακρίβωσης αυτής δεν ήταν δυνατή ούτε η σύνδεση της γεννήτριας σε τροφοδοσία ρευματοδότη γνωστής εμπέδησης ούτε σε τροφοδοσία ρευματοδότη μέσω σταθεροποιητή. Για αυτό το λόγο στις κυματομορφές που φαίνονται στις Εικόνες 4- 62 και 4- 63 υπάρχει εξομάλυνση του ρεύματος εισροής καθιστώντας αδύνατη τη μέτρηση του ρεύματος αυτού. Στις Εικόνες 4- 64 και 4- 65 δίνονται οι επιθυμητές κυματομορφές του ρεύματος αυτού.



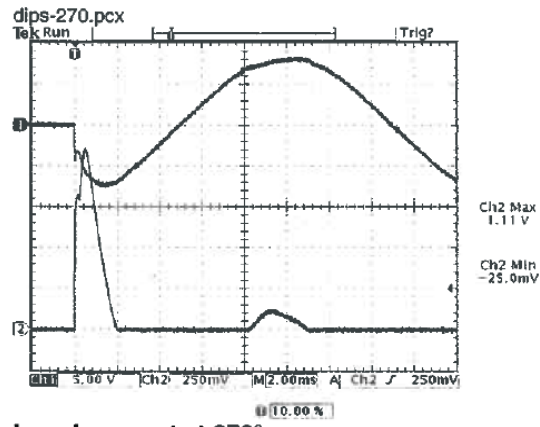
**ΕΙΚΟΝΑ 4- 62 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ ΜΕ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ ΣΤΙΣ 90° ΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100%.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 63 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ ΜΕ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ ΣΤΙΣ 270° ΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100%.



**Inrush current at 90°  
0 to 100% UT  
1V = 400A**



**Inrush current at 270°  
0 to 100% UT  
1V = 400A**

**ΕΙΚΟΝΑ 4- 64 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ ΣΤΙΣ 90° ΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100%.

**ΕΙΚΟΝΑ 4- 65 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ ΣΤΙΣ 270° ΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 100%.

#### 4.7.9 Διακρίβωση διακυμάνσεων τάσης

Αυτό το στάδιο της διακρίβωσης, είναι προαιρετικό σύμφωνα με το πρότυπο, όμως για λόγους συνεκτικότητας αναφέρεται. Η διακρίβωση αυτή απαιτεί την εκτέλεση δοκιμών με διακύμανση τάσης σε επίπεδα 70% και 0%. Ο σκοπός αυτής της δοκιμής είναι η μέτρηση του χρονικού διαστήματος που χρειάζεται η γεννήτρια να επαναφέρει σταδιακά την τάση από το επίπεδο 70% και 0% της ονομαστικής τάσης στο 100% αυτής και η επαλήθευση του καταμετρηθέντος χρονικού διαστήματος στην οθόνη του παλμογράφου να συμπίπτει με το χρονικό διάστημα που έχει οριστεί στις ρυθμίσεις της γεννήτριας.

Εκτελείται η συνδεσμολογία που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.2 και η σύνδεση της γεννήτριας με την τροφοδοσία και με το καταμεριστή στο πίσω μέρος της γεννήτριας (ενότητα 4.2.3 και 4.2.4).

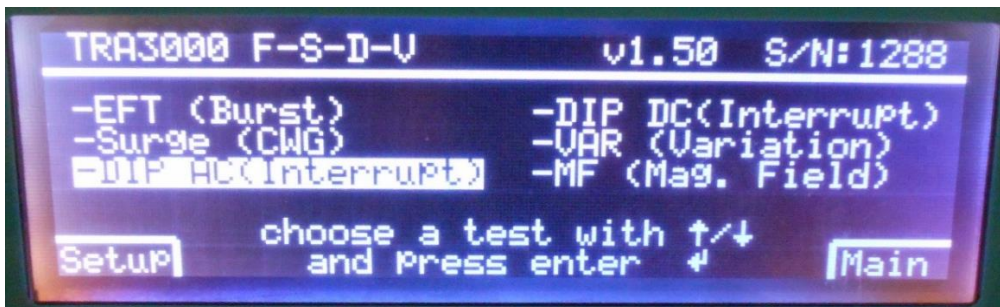
## Ρυθμίσεις Παλμογράφου

Επιθυμητή είναι η απεικόνιση μόνο του καναλιού 1 του παλμογράφου με ανάλυση 100V/div για το μετρούμενο μέγεθος και με κλίμακα χρόνου που εξαρτάται από την δοκιμή, δηλαδή για τη δοκιμή στο επίπεδο 70% ρυθμίζεται η κλίμακα του χρόνου σε 100 msec/div και για τη δοκιμή στο επίπεδο 0% σε 400 msec/div.

Για τη μέτρηση αυτού του χρονικού διαστήματος χρησιμοποιούνται οι κέρσορες με τοποθέτηση του κέρσορα a στην πρώτη τιμή της τάσης που προκαλείται από τη βύθιση και του κέρσορα b στην τελευταία. Σε αυτές τις δοκιμές δεν πρέπει να πατηθεί το κομβίο single (4), αλλά μόλις εμφανιστεί στην οθονή του παλμογράφου ολόκληρη η διακύμανση πιέζεται το κομβίο Run/Stop (5).

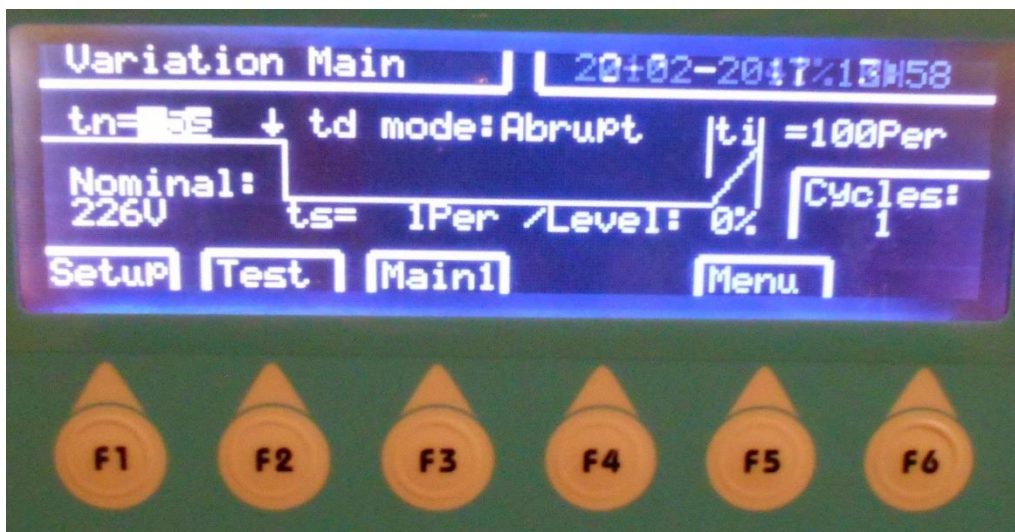
## Ρυθμίσεις Γεννήτριας

Για τις ρυθμίσεις της γεννήτριας σε αυτή τη διακρίβωση, θα πρέπει αρχικά να παρουσιαστεί ο τρόπος διεξαγωγής τους. Με την ενεργοποίηση της γεννήτριας εμφανίζεται το μενού επιλογών που φαίνεται στην Εικόνα 4-66.



ΕΙΚΟΝΑ 4- 66 : ΑΡΧΙΚΟ ΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΟΘΟΝΗΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.

Με τη χρήση των κομβίων (↑, ↓) διατρέχονται οι επιλογές που δίνονται και με το κομβίο enter επιλέγεται το VAR (Variation) και ανοίγει το παρακάτω μενού :



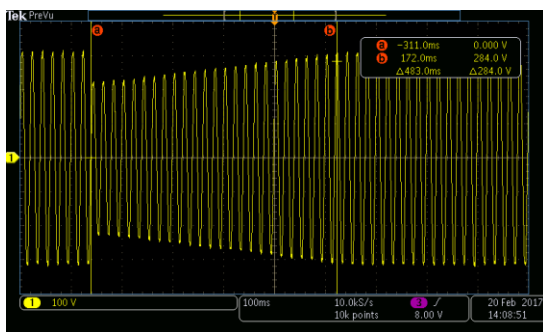
ΕΙΚΟΝΑ 4- 67 : ΜΕΝΟΥ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΩΝ ΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.

Εδώ θα πρέπει να ρυθμιστούν:

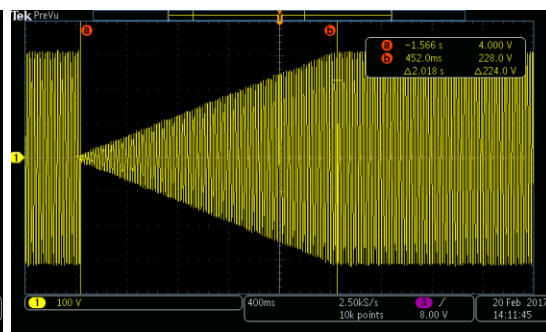
- Στο πεδίο  $t_d$  καταχωρείται το χρονικό διάστημα κατά το οποίο θα μειώνεται η τάση από το επίπεδο 100% μέχρι το επιθυμητό επίπεδο βύθισης. Επιλέγεται η επιλογή Abrupt (απότομα).
- Στο πεδίο  $t_s$  καταχωρείται το χρονικό διάστημα σε περιόδους που είναι επιθυμητό να διαρκέσει η βύθιση, δηλαδή για το σύνολο των περιόδων για τις οποίες η τάση θα παραμένει στο επίπεδο της βύθισης. Επιλέγεται 1 περίοδος.
- Στο πεδίο level επιλέγεται το επιθυμητό επίπεδο της βύθισης. Επιλέγονται διαδοχικά 70% και 0%.
- Στο πεδίο  $|t_i|$  καταχωρείται το επιθυμητό χρονικό διάστημα κατά το οποίο η γεννήτρια θα αυξάνει σταδιακά το επίπεδο της τάσης μέχρι το επίπεδο 100%. Επιλέγονται διαδοχικά 25 per για επίπεδο βύθισης 70% και 100 per για επίπεδο βύθισης 0%. Οι ρυθμίσεις που εισάγονται στο πεδίο αυτό αποτελούν το χρονικό διάστημα που επαληθεύεται.

Οι ρυθμίσεις για τα παραπάνω γίνονται με χρήση των κομβίων ( $\uparrow\downarrow$ ), του κομβίου edit, του αριθμημένου πληκτρολογίου και του κομβίου enter.

Μόλις εκτελεστούν τα παραπάνω πιέζεται το κομβίο RUN. Μετά από λίγο χρονικό διάστημα στην οθόνη του παλμογράφου εμφανίζεται η κυματομορφή της διακύμανσης της τάσης εξόδου της γεννήτριας, όπου πιέζοντας το κομβίο Run/Stop (6) από το πληκτρολόγιο του παλμογράφου απομονώνεται το στιγμιότυπο στο οποίο μπορεί να μετρηθεί το χρονικό διάστημα ενδιαφέροντος. Τα αναμενόμενα στιγμιότυπα των κυματομορφών φαίνονται στις Εικόνες 4- 68 και 4- 69.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 68 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ  
ΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟ 70%.



**ΕΙΚΟΝΑ 4- 69 :** ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ  
ΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟ 0%.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ Η ΕΠΟΜΕΝΗ ΜΕΡΑ

### 5.1 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η διαδικασία διεξαγωγής διακρίβωσης εξοπλισμού δοκιμών για δοκιμές ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας εξοπλισμού σε βυθίσεις, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης με βάση το πρότυπο IEC 61000-4-11[28,29,45]. Οι συγκεκριμένες δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Ε.Μ.Π και αποτελούν τη βάση για μελλοντική σύνταξη αναλυτικής τεχνικής οδηγίας για τη διεξαγωγή τους. Η επιλογή των περιπτώσεων και των διατάξεων που μελετήθηκαν βασίστηκε τόσο στο πρότυπο IEC 61000-4-11 όσο και σε πιστοποιητικά από διαπιστευμένα εργαστήρια διακρίβωσης του εξωτερικού.

Κατά τη μελέτη του Προτύπου για την πραγματοποίηση της διακρίβωσης, προέκυψαν αρκετές παρατηρήσεις σχετικά με τον τρόπο διεξαγωγής των μετρήσεων που απαιτούνται και προέκυψαν θέματα μελλοντικής διερεύνησης. Για τη διεξαγωγή των πειραματικών διατάξεων και των μετρήσεων που επιλέχθηκαν τελικά να πραγματοποιηθούν για την διακρίβωση σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-11 εκτός από το ίδιο το Πρότυπο πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ πιστοποιητικών διακρίβωσης διαπιστευμένων εργαστηρίων διακρίβωσης.

Από τη μελέτη και τη σύγκριση αυτών των πιστοποιητικών προέκυψε η βασικότερη παρατήρηση για τη διεξαγωγή της διακρίβωσης σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-11. Στο συγκεκριμένο Πρότυπο γίνεται αναφορά στην επαλήθευση των χαρακτηριστικών της γεννήτριας και όχι στη διακρίβωση αυτών με αποτέλεσμα να μην καθορίζονται με σαφήνεια οι απαιτούμενες παράμετροι διακρίβωσης, διατάξεις μέτρησης κ.α. Κατά συνέπεια, κάθε εργαστήριο διεξάγει μετρήσεις παραμέτρων, που κρίνει εκείνο απαραίτητες, και αυτές διεξάγονται με τρόπο που δεν περιγράφεται σαφώς στο σχετικό Πρότυπο.

### 5.2 ΘΕΜΑΤΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61000-4-11

#### 5.2.1 Μετρήσεις υπό ονομαστικό φορτίο

**Πρώτο κρίσιμο σημείο** στο Πρότυπο στο οποίο δεν δίνεται σαφής επεξήγηση είναι αυτό που φαίνεται στην Εικόνα 5- 1 και αφορά μετρήσεις υπό ονομαστικό φορτίο.

- **load regulation shall be verified at nominal load current at each of the output voltages and the variation shall not exceed 5 % of the nominal power supply voltage at 100 %, 80 %, 70 % and 40 % of the nominal power supply voltage.**

**ΕΙΚΟΝΑ 5- 1** : ΠΑΡΑΓΡΑΦΟΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61000-4-11 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ ΤΗΣ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ [29].

Μία πρόταση είναι: η μέτρηση να πραγματοποιηθεί σε ονομαστικό ρεύμα φορτίου σε κάθε επίπεδο της τάσης εξόδου με όρια ανοχής  $\pm 5\%$  της ονομαστικής τάσης. Με βάση τον Πίνακα 3- 4 τα ονομαστικά ρεύματα φορτίου για επίπεδα βύθισης σε 100%, 80%, 70%, 40% της ονομαστικής τάσης είναι αντίστοιχα 16 A, 20 A, 23 A, 40 A. Είναι όμως εξαιρετικά δύσκολο ο χειριστής της διακρίβωσης να φτιάξει το φορτίο αυτό. Αν το πρότυπο υπονοεί το παραπάνω συλλογισμό, θα ήταν επιθυμητό η κατασκευάστρια εταιρεία της γεννήτριας δοκιμών να παρέχει με την αγορά του προϊόντος τα απαιτούμενα φορτία, όπως παρέχονται το δικτύωμα για τη μέτρηση του ρεύματος εισροής και η αντίσταση των 100Ω.

Μια εναλλακτική πρόταση είναι αυτή που παρουσιάζεται σε ένα από τα πιστοποιητικά που μελετήθηκαν. Παρατηρείται ότι έχουν χρησιμοποιηθεί φορτία 0 kW, 1 kW και 1,5 kW σε επίπεδα βύθισης 100%, 80%, 70%, 40% της ονομαστικής τάσης και μετρούνται η τιμή της τάσης του δικτύου και η τιμή της τάσης εξόδου της γεννήτριας. Θα πρέπει να τονιστεί ότι στην συγκεκριμένη πρόταση δεν αιτιολογείται σαφώς ο τρόπος επιλογής των συγκεκριμένων φορτίων.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα υπόλοιπα πιστοποιητικά δεν αναφέρουν δοκιμές για τη διακρίβωση αυτής της τάσης.

### 5.2.2 Δοκιμή για τη μέτρηση του μεγίστου ρεύματος εισροής

Μία **δεύτερη παρατήρηση**, η οποία ανέκυψε κατά την μέτρηση του ρεύματος εισροής, για το οποίο το Πρότυπο αναφέρει ότι η επαλήθευσή του πραγματοποιείται αν αυτό κρίνεται απαραίτητο (το σχετικό κείμενο από το πρότυπο φαίνεται στην Εικόνα 5- 2).

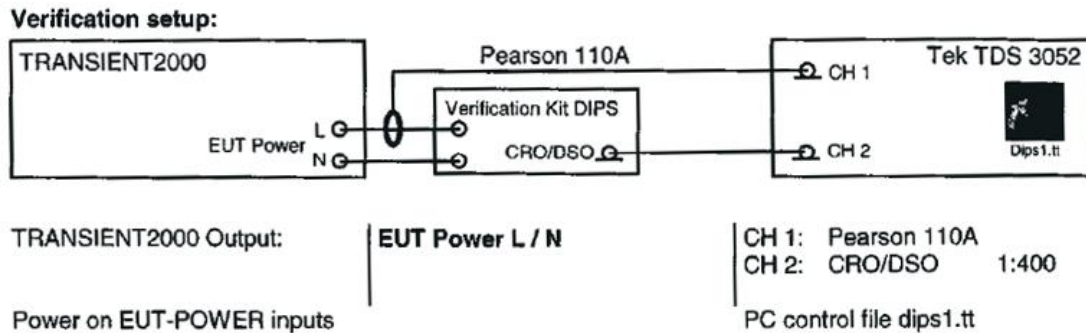
**If it is necessary to verify the peak inrush drive current capability, the generator shall be switched from 0 % to 100 % of full output, when driving a load consisting of a suitable rectifier with an uncharged capacitor whose value is 1 700  $\mu$ F on the d.c. side. The test shall be carried out at phase angles of both 90° and 270°. The circuit required to measure generator inrush current drive capability is given in Figure A.1.**

**When it is believed that a generator with less than the specified standard generator peak inrush current may be used because the EUT may draw less than the specified standard generator peak inrush current (e.g., 500 A for 220 V-240 V mains), this shall first be confirmed by measuring the EUT peak inrush current. When power is applied from the test generator, measured EUT peak inrush current shall be less than 70 % of the peak current drive capability of the generator, as already verified according to Annex A. The actual EUT inrush current shall be measured both from a cold start and after a 5 s turn-off, using the procedure of Clause A.3.**

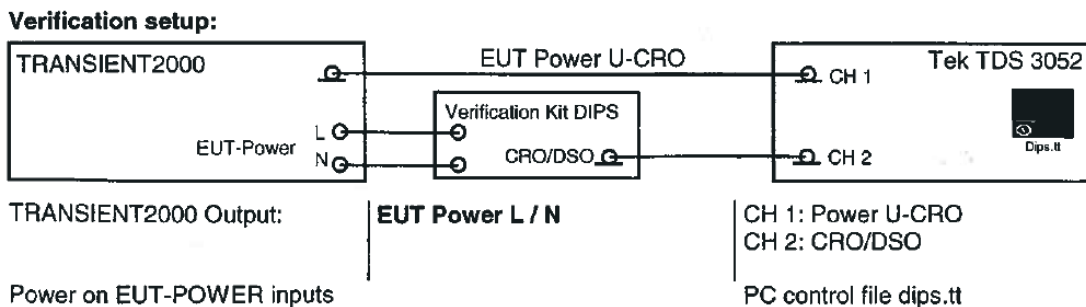
**ΕΙΚΟΝΑ 5- 2 : ΠΑΡΑΓΡΑΦΟΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61000-4-11 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ [29].**

Όπως διαπιστώνεται δεν γίνεται αναφορά των περιπτώσεων κατά τις οποίες μπορεί να κριθεί απαραίτητη η επαλήθευση της συγκεκριμένης παραμέτρου, ενώ από τη μελέτη των διαθέσιμων πιστοποιητικών διακρίβωσης παρατηρήθηκε ότι μόνο ένα εργαστήριο εκτελεί αυτή τη διαδικασία, δίνοντας μάλιστα δύο διαφορετικές συνδεσμολογίες για τη δοκιμή (Εικόνες 5- 3 και 5- 4).





**ΕΙΚΟΝΑ 5- 3 :** ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΜΠΕΡΟΤΣΙΜΠΙΑΔΑΣ.



**ΕΙΚΟΝΑ 5- 4 :** ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΙΣΡΟΗΣ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ.

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα για τη διακρίβωση του ρεύματος εισροής, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη σύνδεση της γεννήτριας με το ρευματοδότη και η επιλογή του ρευματοδότη αυτού. Ο ρευματοδότης που θα τροφοδοτήσει τη γεννήτρια θα πρέπει να μην έχει προστασία από ρελέ και να έχει γνωστή και σταθερή εμπέδηση γραμμής για αποφυγή εξομάλυνσης του ρεύματος συναρτήσει του χρόνου. Για τη διεξαγωγή αυτής της δοκιμής χρησιμοποιήθηκε η συνδεσμολογία της Εικόνας 5- 4. Δυστυχώς, κατά τη διεξαγωγή των διατάξεων της διακρίβωσης αυτής δεν ήταν δυνατή ούτε η σύνδεση της γεννήτριας σε γραμμή γνωστής εμπέδησης. Για αυτό το λόγο στις κυματομορφές που φαίνονται στις Εικόνες 4- 62 και 4- 63 υπάρχει εξομάλυνση του ρεύματος εισροής καθιστώντας αδύνατη τη μέτρηση του ρεύματος αυτού.

Ακόμα, θα πρέπει να αναφερθεί ότι σε ένα άλλο πιστοποιητικό έχουν μετρηθεί και επαληθευτεί τα σταθερά χαρακτηριστικά του δικτύωματος για τη μέτρηση του ρεύματος εισροής, δηλαδή ο πυκνωτής των 1700μF και η αντίσταση των 4,7kΩ, σε συχνότητα 50Hz.

### 5.2.3 Δοκιμή μέτρησης του Overshoot/Undershoot

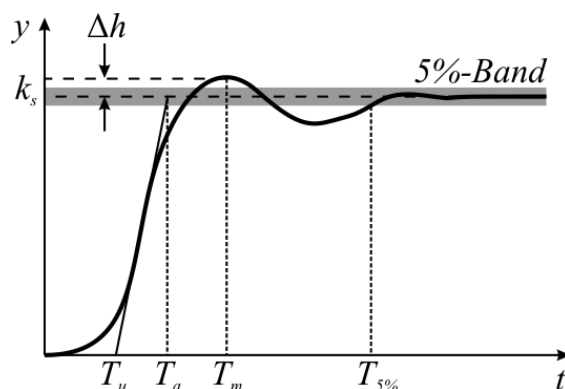
Ένα ακόμα αμφιλεγόμενο σημείο που χρήζει αποσαφήνισης είναι ο τρόπος μέτρησης του Overshoot/Undershoot. Το πρότυπο δεν αναφέρει τον ορισμό αυτών των δύο όρων αφήνοντας στο χρήστη την επιλογή των ορισμών τους. Σε αυτό το σημείο

και τα τρία πιστοποιητικά υπολογίζουν με διαφορετικό τρόπο το Overshoot και το Undershoot.

Οι ορισμοί που δόθηκαν στην παρούσα εργασία για το Overshoot και το Undershoot είναι οι ακόλουθοι :

- *Overshoot* : Η εμφάνιση ενός σήματος ή λειτουργίας που υπερβαίνει το στόχο του. Αναφέρεται στις μεταβατικές τιμές της παραμέτρου που μετρώνται και υπερβαίνουν την τελική επιθυμητή τιμή της (σταθερή κατάσταση) όταν ο εξοπλισμός μεταβαίνει από μία χαμηλή τιμή σε μία μεγαλύτερη. Ο υπολογισμός του “Overshoot” έγινε για το πρώτο μισό της περιόδου του ημιτόνου της τάσης. Έχοντας μετρήσει με τη βοήθεια του παλμογράφου τη Min και τη Max τιμή της τάσης λίγο πριν και λίγο μετά τη βύθιση υπολογίζονται :  $V = \text{επίπεδο βύθισης} \times \text{Max}$  και έπειτα  $\text{Overshoot} = V - \text{Min}$ .

Μια απεικόνιση του Overshoot φαίνεται στην Εικόνα 5- 5 , όπου  $\Delta h$  είναι απόλυτη τιμή του Overshoot.



ΕΙΚΟΝΑ 5- 5 : ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ OVERSHOOT.

- *Undershoot* : Αναφέρεται στις μεταβατικές τιμές της παραμέτρου που μετρώνται και υπερβαίνουν (αρνητικά) την τελική επιθυμητή τιμή της (σταθερή κατάσταση) όταν ο εξοπλισμός μεταβαίνει από μία υψηλή τιμή σε μία χαμηλότερη. Ο υπολογισμός του “Undershoot” έγινε για το δεύτερο μισό της περιόδου του ημιτόνου της τάσης. Έχοντας μετρήσει με τη βοήθεια του παλμογράφου τη Min και τη Max τιμή της τάσης λίγο πριν και λίγο μετά τη βύθιση υπολογίζονται :  $V = \text{επίπεδο βύθισης} \times \text{Min}$  και έπειτα  $\text{Undershoot} = |V - \text{Max}|$ .

Η συγκεκριμένη ασάφεια του Προτύπου εντοπίστηκε κατά τη μελέτη των πιστοποιητικών στα οποία δίνεται κατευθείαν η τιμή των Overshoot/Undershoot και δεν παρουσιάζονται οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για αυτόν τον υπολογισμό. Πιο συγκεκριμένα σε ένα από τα πιστοποιητικά παρατηρήθηκε ότι αντί των τιμών Min και Max μετρήθηκαν οι τιμές Max και Low για τον υπολογισμό του Overshoot και Min και High για τον υπολογισμό του Undershoot.

#### 5.2.4 Δοκιμές βύθισης σε χρονικό διάστημα μεγαλύτερο της μιας περιόδου

Η τελευταία παρατήρηση αφορά στις διακριβώσεις βύθισης για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο της μιας περιόδου. Θεωρείται απαραίτητο να πραγματοποιηθούν για βυθίσεις από το 100% της ονομαστικής τάσης στο 0% αυτής για διάρκεια 25 και 250 κύκλων. Για λόγους αρτιότητας της διαδικασίας συνιστάται η εκτέλεση των επιπρόσθετων μετρήσεων για τα επίπεδα και την διάρκεια που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5- 1.

Επίπεδο Δοκιμής	Διάρκειας Βύθισης
Από 100% σε 0%	1/2 κύκλος
Από 100% σε 0%	1 κύκλος
Από 100% σε 40%	10 κύκλοι
Από 100% σε 70%	25 κύκλοι
Από 100% σε 80%	250 κύκλοι

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5- 1 :** ΔΟΚΙΜΕΣ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΠΟΥ ΔΙΑΡΚΟΥΝ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΤΗΣ ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ.

### 5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία δόθηκαν οι ορισμοί της ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας και της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Μέσω μίας ιστορικής αναδρομής περιγράφηκε η ανάγκη της καθιέρωσης Προτύπων για τον έλεγχο της ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας ηλεκτρολογικού/ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Ακόμα, για καλύτερη κατανόηση των διαδικασιών που περιγράφονται στο Πρότυπο IEC 61000-4-11 δόθηκαν αναλυτικά οι διαδικασίες που απαιτούνται για τη διακρίβωση εξοπλισμού σύμφωνα με το Πρότυπο αυτό.

Κατά την πειραματική διεξαγωγή της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε η διακρίβωση όλων των παραμέτρων που παρουσιάζονται στο Πρότυπο, οι οποίες είναι: διακρίβωση βύθισης χωρίς φορτίο, διακρίβωση βύθισης με φορτίο, διακρίβωση χρόνων ανόδου / καθόδου τάσης για δίκτυο 230 V/ 50 Hz, διακρίβωση συγχρονισμού βύθισης, διακρίβωση Overshoot / Undershoot, διακρίβωση βύθισης για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο της μιας περιόδου, διακρίβωση ρεύματος εισροής και διακρίβωση διακυμάνσεων τάσης. Μέσω αυτών των πειραματικών διατάξεων και μελετώντας διεξοδικά όχι μόνο το Πρότυπο αλλά και πιστοποιητικά διακρίβωσης διαπιστευμένων εργαστηρίων διακριβώσεων εντοπίστηκαν διάφορα σημεία, τα οποία χρήζουν μελλοντικής διερεύνησης και αποσαφήνισης..

Η παρούσα διπλωματική εργασία δύναται να αποτελέσει τη βάση για τη συγγραφή μιας τεχνικής οδηγίας για τη διακρίβωση εξοπλισμού δοκιμών σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 61000-4-11 στα πλαίσια της διαπίστευσης του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων κατά ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025. Επιθυμητή θα ήταν η αναμονή για τη συγγραφή της συγκεκριμένης τεχνικής οδηγίας μέχρι τη δημοσίευση της νέας έκδοσης του Προτύπου ώστε να αποσαφηνιστούν οι απαιτούμενες παράμετροι προς μέτρηση και ο τρόπος με τον οποίο αυτές οι μετρήσεις θα πρέπει να διεξαχθούν ώστε όλα τα

διαπιστευμένα εργαστήρια να διεξάγουν τη συγκεκριμένη διακρίβωση με τη βέλτιστη αναπαραγωγιμότητα και αξιοπιστία.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Clayton R. Paul, "Introduction to Electromagnetic Compatibility", John Wiley & Sons Inc. Publication, Second Edition, 2006.
- [2] Christos Christopoulos, "Principles and Techniques of Electromagnetic Compatibility", Second Edition, 2007, CRC Press.
- [3] Henry W.OTT,"Electromagnetic Compatibility Engineering", John Wiley & Sons Inc. Publication, August 2009.
- [4] Paul A. Chatterton, Michael A. Houlden, "Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα (EMC) - Η εφαρμογή της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας στον πρακτικό σχεδιασμό", Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 1992.
- [5] ANSI C63.14 – 1998, "Dictionary for Technologies of Electromagnetic Compatibility (EMC), Electromagnetic Pulse (EMP), and Electrostatic Discharge (ESD)".
- [6] <http://www.abb-conversations.com/2016/08/power-and-the-question-of-quality/>
- [7] <http://www.yme.gr/index.php?tid=305#f1>
- [8] Ιωάννης Β. Πανταζόπουλος, "Υπολογισμός αβεβαιοτήτων σε εξοπλισμό δοκιμών ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας", Διπλωματική εργασία, Ιούλιος 2008, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, ΣΗΜΜΥ, ΕΜΠ.
- [9] Tim Williams, "Measurement techniques and test methods: developments, costs and options", Elmac Services, ERA conference "EMC 94 - The Clock is Ticking - Countdown to Compliance", 24th February 1994, ERA Report 940092.
- [10] Dangelmayer T., «ESD Program Management- A Realistic Approach to Continuous Measurable Improvement in Static Control», Van Noshand Ranhold, New York, 1990.
- [11] Δημήτριος Κ. Συκαράς, "Υπολογισμός αβεβαιοτήτων σε εξοπλισμό δοκιμών ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας", Διπλωματική εργασία, Ιούλιος 2008, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, ΣΗΜΜΥ, ΕΜΠ.
- [12] <http://www.orcexperts.com/experts.asp?strSearchType=all&strQuery=electromagnetic+immunity>
- [13] Integrated circuits measurement of electromagnetic immunity, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Ing. Edmundo Gatti, το οποίο είναι διαθέσιμο στην ιστοσελίδα : <http://www.feng.pucrs.br/~summerschool/cursos/edmundo.pdf>
- [14] Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) - Μέρος 4-2: Τεχνικές δοκιμών και μετρήσεων - Δοκιμή ατρωσίας ηλεκτροστατικής εκφόρτισης.
- [15] International Electrotechnical Commission (IEC) 61000-4-2 ed.2.0 (2008-12), Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part-4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test.
- [16] Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) - Μέρος 4-3: Τεχνικές δοκιμών και μετρήσεων - Δοκιμή ατρωσίας σε ακτινοβολούμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνότητας.

- [17] Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) - Μέρος 4: Τεχνικές δοκιμών και μετρήσεων - Τμήμα 4: Δοκιμή ατρωσίας για γρήγορα ηλεκτρικά μεταβατικά φαινόμενα και απότομες εκφορτίσεις - Βασικό δημοσίευμα EMC.
- [18] International Electrotechnical Commission (IEC) 61000-4-4 ed.2.0 (2004-07), Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part-4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test.
- [19] International Electrotechnical Commission (IEC) 61000-4-4 ed.2.1 Consol. with am1 (2011-03), Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part-4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test.
- [20] Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) - Μέρος 4: Τεχνικές δοκιμών και μετρήσεων - Τμήμα 5: Δοκιμή ατρωσίας από υπερτάσεις-υπερεντάσεις.
- [21] International Electrotechnical Commission (IEC) 61000-4-5 ed.2.0 (2005-11), Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part-4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test.
- [22] Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) - Μέρος 4-6: Τεχνικές δοκιμών και μετρήσεων - Ατρωσία σε αγόμενες διαταραχές, επαγόμενες από πεδία ραδιοσυχνότητας.
- [23] Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) - Μέρος 4-8: Μέθοδοι δοκιμών και μετρήσεων - Δοκιμή ατρωσίας σε μαγνητικό πεδίο με συχνότητα δικτύου.
- [24] International Electrotechnical Commission (IEC) 61000-4-8 ed.2.0 (2009-09), Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part-4-8: Testing and measurement techniques – Power frequency magnetic field immunity test.
- [25] Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) - Μέρος 4-9: Τεχνικές δοκιμών και μετρήσεων - Δοκιμή ατρωσίας παλμικού μαγνητικού πεδίου.
- [26] International Electrotechnical Commission (IEC) 61000-4-9 ed.1.1 Consol. with am1 (2001-03), Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part-4-9: Testing and measurement techniques – Pulse magnetic field immunity test.
- [27] Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) - Μέρος 4-10: Μέθοδοι δοκιμών και μετρήσεων - Δοκιμή ατρωσίας "μαγνητικό πεδίο εξασθενημένης ταλάντωσης".
- [28] Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) - Μέρος 4: Τεχνικές δοκιμών και μετρήσεων - Τμήμα 11: Βυθίσεις τάσης, βραχείς διακοπές και δοκιμές ατρωσίας μεταβολών τάσης.
- [29] International Electrotechnical Commission (IEC) 61000-4-11 ed.2.0 (2004-03), Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part-4-11: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests.
- [30] Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) - Μέρος 4-18: Τεχνικές δοκιμών και μετρήσεων - Δοκιμή ατρωσίας εξασθενημένου ταλαντούμενου κύματος.
- [31] Ευθύμιος Θ. Τσαρούχης, “ EMC Εξοπλισμού ηλεκτρικής ισχύος – Το πρότυπο EN 61000-04-05”, Διπλωματική εργασία, Φεβρουάριος 2004, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, ΣΗΜΜΥ, ΕΜΠ.

- [32] Dag Björklöf, “EMC Standards and Their Application”, ETL SEMKO (Kista, Sweden), Intertek Testing Services, Compliance Engineering Conference, 1999.
- [33] Κωνσταντίνος Ν. Ζακούλας, “Ανάπτυξη λογισμικού αυτοματοποίησης διαδικασιών διακρίβωσης εξοπλισμού ηλεκτρομαγνητικής ατρωσίας”, Διπλωματική εργασία, Ιούλιος 2010, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, ΣΗΜΜΥ, ΕΜΠ.
- [34] Donald R. Bush, “A Brief History of EMC Measurements”, dB Corp. (Winchester, KY), Compliance Engineering Conference, 1999.
- [35] Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4: Testing and Measurement Techniques - Section 5: Surge Immunity Test.
- [36] Μανώλης Ε. Μαθιουλάκης, “Μέτρηση, ποιότητα μέτρησης και αβεβαιότητα”, Ελληνική Έκδοση Εργαστηρίων.
- [37] A United States Defense Standard, often called a military standard, «MILSTD», or «MIL-SPEC», is used to help achieve standardization objectives by the U.S. Department of Defense.
- [38] Σοφία Κ. Παπάζογλου, “Διακρίβωση Οργάνων και Συγκρότηση ενός Σύγχρονου Εργαστηρίου Διακρίβωσης Οργάνων”, Διπλωματική εργασία, Δεκέμβριος 2011, Τομέας Επικοινωνιών Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, ΣΗΜΜΥ, ΕΜΠ.
- [39] ISO, “International vocabulary of basic and general terms in metrology”, International Organization for Standardization, 2<sup>nd</sup> edition, 1993.
- [40] ISO, “Guide to the expression of uncertainty in measurement”, International Organization for Standardization, 1st edition, 1993.
- [41] Djilali Hamza, “Electromagnetic Interference Mitigation in Switched Mode Power Converters Using Digital Sampling Techniques”, PhD Thesis 2011, Queen’s University, Kingston, Ontario, Canada.
- [42] Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4: Testing and Measurement Techniques - Electrical Fast Transient/Burst Immunity Test - Basic EMC.
- [43] Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4: Testing and Measurement Techniques - Section 5: Surge Immunity Test.
- [44] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurement techniques - Section 6: Immunity to conducted disturbances, induced by radio- frequency fields.
- [45] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-11: Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests.
- [46] Electromagnetic Compatibility (EMC) Part 4-12: Testing and Measurement Techniques - Oscillatory Waves Immunity Test.
- [47] Computer Simulation Technology, “CST workshop series 2011 Leading Technology – Charging Towards Successful ESD Protection Design”, February 2011, <http://www.cst.com/>.
- [48] Γεώργιος Π. Φώτης, “Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα και ατρωσία εξοπλισμού ισχύος από ηλεκτροστατική εκφόρτιση”, Ενδιάμεση Κρίση του Υποψήφιου Διδάκτορα Γεωργίου Π. Φώτη, Ιούλιος 2004.

- [49] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-2: Testing and measurement techniques - Electrostatic discharge immunity test.
- [50] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurement techniques - Section 2: Electrostatic discharge immunity test - Basic EMC Publication.
- [51] Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment - Part 2: Electrostatic discharge requirements.
- [52] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-3: Testing and measurement techniques - Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test.
- [53] IEEE Standards, IEEE Power Engineering Society, “C62.41.2TM IEEE Recommended Practice on Characterization of Surges in Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits”, 11 April 2003.
- [54] Jasmine Lin, “How to Prevent Power Surges: The Leading Cause of Serial Device Server Failures”, Knowledge Center, Moxa White Paper, Moxa Inc., 2009, <http://store.moxa.com/a/home>.
- [55] Teseq, Advanced Test Solutions for EMC, Service and Support, Technical Information, Wallchart 2, “LF and RF Immunity”, <http://www.teseq.com/com/en/index.php>.
- [56] QuieTek, EMC/Safety Test Laboratory, “CE Test Report according to EN55022: 1998+A1: 2000 Class B: Emission standard, EN 61000-3-2:2000 Class A: Limits for harmonic current emission, EN 61000-3-3:1995+A1:2001: Limitation of voltage fluctuation and flicker in low-voltage supply system, EN 55024:1998+A1:2001: Immunity standard for Product ICPCON CPU with Converter”, June 2004.
- [57] IEC 60050(161):1990, International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Chapter 161- Electromagnetic compatibility.
- [58] Ν.Παπαζαχαρόπουλος, “Δοκιμές ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας με χρήση ηλεκτρονικά ελεγχόμενης πηγής τάσης”, Διπλωματική εργασία, Ιούλιος 2010, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, ΣΗΜΜΥ, ΕΜΠ.
- [59] Keith Armstrong, “Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests”, A Practical Guide for EN 61000-4-11, REO UK LTD.
- [60] Kai Esmark, Harald Gossner, Wolfgang Stadler, “Advanced Simulation Methods for ESD Protection Development”, Elsevier, 2003.
- [61] IEC 61000-2-4, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-4: Environment – Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances.
- [62] Υ.Α. 50268/5137/2007 - Προσαρμογή της ελληνικής νομοθεσίας στην οδηγία 2004/108/EK για την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα και κατάργηση της κοινής υπουργικής απόφασης 94649/8682/93.
- [63] User manual της γεννήτριας Transient 3000, EMC-partner.
- [64] User manual του καταμεριστή high-voltage differential probe Pintech PT-8020.
- [65] User manual του καταμεριστή TESEQ MD200A high voltage differential probe.
- [66] User manual της αντίστασης 100Ω Frizlen D-71711MURR.



- [67] User manual του παλμογράφου Tektronix MDO 3054 mixed domain oscilloscope.
- [68] User manual της αμπεροτσιμπίδα Pearson™ Current Monitor Model 8260 (20mV/A).
- [69] User manual του verification kit dips EMC-partner.