



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**ΔΟΚΙΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ  
(EMC) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ  
ΠΗΓΗΣ ΤΑΣΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΝΙΚΟΛΑΟΣ Ζ. ΠΑΠΑΖΑΧΑΡΟΠΟΥΛΟΣ**

**Επιβλέπων :** ΣΤΑΥΡΟΣ ΑΘ. ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ  
Επίκουρος καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

# ΔΟΚΙΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ (EMC) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΠΗΓΗΣ ΤΑΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Ζ. ΠΑΠΑΖΑΧΑΡΟΠΟΥΛΟΣ

Επιβλέπων : ΣΤΑΥΡΟΣ ΑΘ. ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ  
Επίκουρος καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15<sup>η</sup> Ιουλίου 2010.

.....  
Σ. ΜΑΝΙΑΣ  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Α. ΚΛΑΔΑΣ  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Σ. ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ  
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010

.....  
Νικόλαος Ζ. Παπαζαχαρόπουλος

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

Copyright © Νικόλαος Ζ. Παπαζαχαρόπουλος, 2010.

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.





## Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

<b>Περίληψη</b>	<b>xiii</b>
<b>Abstract</b>	<b>xv</b>
<b>Κατάλογος συμβόλων</b>	<b>xvii</b>
<b>1 Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
1.1 Γενική τοποθέτηση του θέματος.....	1
1.2 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας.....	1
<b>2 Διεθνή πρότυπα IEC – Σειρά 61000</b>	<b>3</b>
2.1 Γενικά.....	3
2.2 IEC 61000-3-2 Ed. 3.0 (2005) + Amendment 1 (2008). Όρια εκπομπής για αρμονικές ρεύματος (ρεύμα εισόδου $\leq 16$ A ανά φάση).....	4
2.2.1 Πεδίο εφαρμογής.....	4
2.2.2 Κατηγοριοποίηση του υπό δοκιμή εξοπλισμού .....	4
2.2.3 Διεξαγωγή δοκιμών.....	5
2.2.4 Όρια αρμονικών ρεύματος .....	5
2.2.5 Εφαρμογή των ορίων .....	8
2.2.6 Κατευθύνσεις για περαιτέρω εμβάθυνση.....	8
2.3 IEC 61000-3-3 Ed. 1.2 (2005) + Amendment 1 (2008). Περιορισμοί μεταβολών τάσης, διακυμάνσεων τάσης και flicker σε δημόσια συστήματα παροχής χαμηλής τάσης για συσκευές με ονομαστικό ρεύμα $\leq 16$ A ανά φάση που δεν υπόκεινται σε σύνδεση υπό συνθήκη .....	9
2.3.1 Πεδίο εφαρμογής.....	9
2.3.2 Χρήσιμοι ορισμοί.....	9
2.3.3 Υπολογισμός μιας σχετικής μεταβολής τάσης, “ <i>d</i> ” .....	11
2.3.4 Υπολογισμός του δείκτη flicker βραχείας διάρκειας (short-term), $P_{st}$ .....	12
2.3.5 Υπολογισμός του δείκτη flicker μακράς διάρκειας (long-term), $P_{lt}$ .....	16
2.3.6 Διεξαγωγή δοκιμών.....	16
2.3.7 Όρια εκπομπών flicker.....	17
2.3.8 Κατευθύνσεις για περαιτέρω εμβάθυνση.....	18
2.4 IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμές ατροφίας σε βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης.....	18
2.4.1 Πεδίο εφαρμογής.....	18
2.4.2 Χρήσιμοι ορισμοί.....	18
2.4.3 Κατηγοριοποίηση του υπό δοκιμή εξοπλισμού .....	19
2.4.4 Επίπεδα δοκιμών για βυθίσεις και σύντομες διακοπές τάσης.....	20
2.4.5 Επίπεδα δοκιμών για διακυμάνσεις τάσης.....	22
2.4.6 Διεξαγωγή δοκιμών.....	22
2.4.7 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	23
2.4.8 Κατευθύνσεις για περαιτέρω εμβάθυνση.....	24

2.5	IEC 61000-4-13 Ed. 1.0 (2002). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Αρμονικές και διαρμονικές (interharmonics) συμπεριλαμβανομένης της σηματοδότησης στα δίκτυα εναλλασσομένου ρεύματος, δοκιμές ατρωσίας χαμηλής συχνότητας .....	24
2.5.1	Πεδίο εφαρμογής.....	24
2.5.2	Περιγραφή φαινομένου .....	24
2.5.3	Συνδυαστικές δοκιμές τύπου “flat curve” και “over swing” .....	25
2.5.4	Δοκιμή τύπου “Sweep in frequencies” .....	27
2.5.5	Δοκιμή μεμονωμένων αρμονικών και διαρμονικών συνιστωσών .....	29
2.5.6	Δοκιμή τύπου “Meister Curve” .....	31
2.5.7	Διεξαγωγή δοκιμών.....	32
2.5.8	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	35
2.5.9	Κατευθύνσεις για περαιτέρω εμβάθυνση.....	35
2.6	IEC 61000-4-14 Ed. 1.1 (2002). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμή ατρωσίας σε διακύμανση τάσης .....	35
2.6.1	Πεδίο εφαρμογής.....	35
2.6.2	Περιγραφή φαινομένου .....	36
2.6.3	Επίπεδα δοκιμών .....	36
2.6.4	Διεξαγωγή δοκιμών.....	38
2.6.5	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	38
2.6.6	Κατευθύνσεις για περαιτέρω εμβάθυνση.....	39
2.7	IEC 61000-4-17 Ed. 1.1 (2002). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμή ατρωσίας σε κυμάτωση τάσης στην είσοδο παροχής συνεχούς ρεύματος .....	39
2.7.1	Πεδίο εφαρμογής.....	39
2.7.2	Περιγραφή φαινομένου .....	39
2.7.3	Επίπεδα δοκιμών και κυματομορφή.....	40
2.7.4	Διεξαγωγή δοκιμών.....	41
2.7.5	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	42
2.7.6	Κατευθύνσεις για περαιτέρω εμβάθυνση.....	42
2.8	IEC 61000-4-27 Ed 1.0 (2000). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης – Ασυμμετρία· δοκιμή ατρωσίας για εξοπλισμό με ρεύμα εισόδου που δεν υπερβαίνει τα 16 A ανά φάση .....	43
2.8.1	Πεδίο εφαρμογής.....	43
2.8.2	Περιγραφή φαινομένου .....	43
2.8.3	Επίπεδα δοκιμών .....	45
2.8.4	Διεξαγωγή δοκιμών.....	46
2.8.5	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	47
2.8.6	Κατευθύνσεις για περαιτέρω εμβάθυνση.....	47
2.9	IEC 61000-4-28 Ed. 1.1 (2001). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Διακύμανση της συχνότητας τροφοδοσίας, δοκιμή ατρωσίας .....	48
2.9.1	Πεδίο εφαρμογής.....	48
2.9.2	Περιγραφή φαινομένου .....	48
2.9.3	Επίπεδα δοκιμών .....	49
2.9.4	Διεξαγωγή δοκιμών.....	50
2.9.5	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	50
2.9.6	Κατευθύνσεις για περαιτέρω εμβάθυνση.....	51



2.10	IEC 61000-29 Ed. 1.0 (2000). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμές ατρωσίας σε βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης στην είσοδο παροχής συνεχούς ρεύματος.....	51
2.10.1	Πεδίο εφαρμογής.....	51
2.10.2	Χρήσιμοι ορισμοί.....	51
2.10.3	Περιγραφή φαινομένου.....	52
2.10.4	Επίπεδα δοκιμών.....	52
2.10.5	Διεξαγωγή δοκιμών.....	54
2.10.6	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	54
2.10.7	Κατευθύνσεις για περαιτέρω εμβάθυνση.....	55
<b>3</b>	<b>AC/DC Πηγή - California Instruments MX30-3Pi</b>	<b>57</b>
3.1	Γενικά.....	57
3.2	Βασικές αρχές λειτουργίας.....	57
3.2.1	Συνολική περιγραφή.....	57
3.2.2	Τμήμα Ελέγχου.....	59
3.2.3	Κάρτα Διεπαφών Συστήματος.....	59
3.2.4	Κάρτα Μέτρησης Ρεύματος / Τάσης.....	60
3.2.5	Τροφοδοτικό Χαμηλής Τάσης.....	60
3.2.6	Μονάδα Ισχύος.....	60
3.3	Προδιαγραφές και συνδεσμολογία.....	61
3.3.1	Προδιαγραφές μεγεθών εισόδου.....	61
3.3.2	Προδιαγραφές μεγεθών εξόδου.....	62
3.3.3	Μετρήσεις.....	64
3.3.4	Περιβαλλοντικές προδιαγραφές.....	65
3.3.5	Ειδικά χαρακτηριστικά.....	66
3.3.6	Προδιαγραφές προσθήκης “-HV”.....	66
3.3.7	Συνδεσμολογία εισόδου.....	67
3.3.8	Συνδεσμολογία εξόδου.....	67
3.4	Βασικές λειτουργίες.....	68
3.4.1	Πίνακας ελέγχου.....	68
3.4.2	Μενού Προγραμματισμού (PROGRAM MENU).....	69
3.4.3	Μενού Μετρήσεων (MEASUREMENTS MENU).....	70
3.4.4	Μενού Μεταβατικών Καταστάσεων (TRANSIENTS MENU).....	74
3.4.5	Μενού Κυματομορφών (WAVEFORMS MENU).....	84
<b>4</b>	<b>Σύστημα δοκιμών κατά IEC– California Instruments MX30-3Pi-CTSL</b>	<b>87</b>
4.1	Γενικά.....	87
4.2	Συνδεσμολογία συστήματος.....	87
4.2.1	Μονάδα OMNI-3-37MX.....	87
4.2.2	Μονάδα PACS-3-75.....	89
4.2.3	Σύστημα συλλογής δεδομένων μέσω H/Y.....	90
4.3	Προδιαγραφές συστήματος.....	90
4.3.1	Προδιαγραφές μονάδας PACS-3-75.....	90
4.3.2	Προδιαγραφές μονάδας OMNI-3-37MX.....	92

4.4	Δοκιμές κατά IEC .....	93
4.4.1	Υποστηριζόμενα πρότυπα IEC .....	93
4.4.2	Αβεβαιότητα μετρήσεων και δοκιμών .....	95
4.4.3	Μελλοντική εξέλιξη δοκιμών.....	98
<b>5</b>	<b>Δοκιμές κατά IEC σε μετατροπείς AC/DC/AC για συστήματα ηλεκτρικής κίνησης</b>	<b>99</b>
5.1	Γενικά.....	99
5.1.1	Μετατροπέας AC/DC/AC με μονοφασική είσοδο.....	99
5.1.2	Μετατροπέας AC/DC/AC με τριφασική είσοδο .....	100
5.2	IEC 61000-3-2 Ed. 3.0 (2005).....	101
5.2.1	Εκτέλεση δοκιμής .....	101
5.2.2	Αναφορά δοκιμής (report).....	102
5.2.3	Παρατηρήσεις .....	105
5.3	IEC 61000-3-3 Ed. 1.2 (2005).....	106
5.3.1	Εκτέλεση δοκιμής .....	106
5.3.2	Αναφορά δοκιμής (report).....	107
5.3.3	Παρατηρήσεις .....	109
5.4	IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004).....	109
5.4.1	Εκτέλεση δοκιμής .....	109
5.4.2	Αναφορά δοκιμής (report) για βυθίσεις τάσης (voltage dips).....	111
5.4.3	Αναφορά δοκιμής (report) για σύντομες διακοπές τάσης (short interruptions).....	113
5.4.4	Αναφορά δοκιμής (report) για διακυμάνσεις τάσης (voltage fluctuations) .....	114
5.4.5	Παρατηρήσεις .....	115
5.5	IEC 61000-4-13 Ed. 1.0 (2002).....	118
5.5.1	Εκτέλεση δοκιμής .....	118
5.5.2	Αναφορά δοκιμής (report).....	119
5.5.3	Παρατηρήσεις .....	125
5.6	IEC 61000-4-14 Ed. 1.1 (2002).....	125
5.6.1	Εκτέλεση δοκιμής .....	125
5.6.2	Αναφορά δοκιμής (report).....	127
5.6.3	Παρατηρήσεις .....	128
5.7	IEC 61000-4-28 Ed. 1.1 (2001).....	128
5.7.1	Εκτέλεση δοκιμής .....	128
5.7.2	Αναφορά δοκιμής (report).....	129
5.7.3	Παρατηρήσεις .....	131
5.8	IEC 61000-4-27 Ed 1.0 (2000) (pre-compliance).....	131
5.8.1	Εκτέλεση δοκιμής .....	131
5.8.2	Αναφορά δοκιμής (report).....	136
5.8.3	Παρατηρήσεις .....	139
<b>6</b>	<b>Δοκιμές εξοπλισμού – Ατροφία έναντι βυθίσεων τάσης</b>	<b>145</b>
6.1	Γενικά.....	145
6.1.1	Βασική περιγραφή της βύθισης τάσης.....	145

6.1.2	Εναλλακτική περιγραφή της βύθισης τάσης .....	145
6.1.3	Τύποι βυθίσεων τάσης .....	146
6.1.4	Παράμετροι που επηρεάζουν την ατρωσία εξοπλισμού .....	149
6.1.5	Η ατρωσία από οικονομική σκοπιά.....	150
6.1.6	Περιγραφή του πλαισίου πραγματοποίησης των δοκιμών.....	150
6.2	Δοκιμή λαμπτήρα φθορισμού.....	152
6.2.1	Εκτέλεση δοκιμής .....	152
6.2.2	Αποτελέσματα δοκιμής.....	152
6.3	Δοκιμή Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (H/Y) .....	154
6.3.1	Εκτέλεση δοκιμής .....	154
6.3.2	Αποτελέσματα δοκιμής.....	154
6.4	Δοκιμή οθόνης H/Y .....	155
6.4.1	Εκτέλεση δοκιμής .....	155
6.4.2	Αποτελέσματα δοκιμής.....	155
6.5	Δοκιμή μετατροπέα AC/DC/AC με μονοφασική είσοδο .....	156
6.5.1	Εκτέλεση δοκιμής .....	156
6.5.2	Αποτελέσματα δοκιμής.....	157
6.6	Δοκιμή μετατροπέα AC/DC/AC με τριφασική είσοδο.....	159
6.6.1	Εκτέλεση δοκιμής .....	159
6.6.2	Αποτελέσματα δοκιμής.....	159
6.7	Παρατηρήσεις.....	161
6.7.1	Λαμπτήρας φθορισμού.....	161
6.7.2	Ηλεκτρονικός Υπολογιστής.....	161
6.7.3	Οθόνη H/Y .....	162
6.7.4	Μετατροπέας AC/DC/AC με μονοφασική είσοδο.....	163
6.7.5	Μετατροπέας AC/DC/AC με τριφασική είσοδο .....	164
<b>7</b>	<b>Συμπεράσματα</b> .....	<b>165</b>
	<b>Αναφορές</b> .....	<b>167</b>
	Στην ελληνική γλώσσα .....	167
	Ξενόγλωσσες .....	167



## Περίληψη

---

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη ορισμένων φαινομένων ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC) χαμηλής συχνότητας. Αρχικά, γίνεται αναλυτική παρουσίαση εννέα (9) προτύπων IEC, εκ των οποίων επτά (7) αφορούν AC εξοπλισμό και δύο (2) αφορούν εξοπλισμό DC. Στη συνέχεια, η χρήση της ηλεκτρονικά ελεγχόμενης πηγής AC/DC MX30-3Pi της California Instruments ως μέρος ενός ευρύτερου συστήματος πραγματοποίησης δοκιμών συμβατότητας κατά IEC, δίνει τη δυνατότητα για διεξαγωγή των αντίστοιχων δοκιμών σε μετατροπείς AC/DC/AC για συστήματα ηλεκτρικής κίνησης. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται σε δοκιμές ατρωσίας έναντι βυθίσεων τάσης και έναντι τριφασικών ασυμμετριών της τάσης. Ακόμη, γίνεται μια προσπάθεια δημιουργίας καμπυλών ατρωσίας έναντι βυθίσεων τάσης (ή καμπυλών ανοχής της τάσης) για έναν αριθμό δοκιμών (μεταξύ άλλων και καταναλωτικών συσκευών). Φυσικά, η εν λόγω ελεγχόμενη πηγή προσφέρει πληθώρα δυνατοτήτων, οι οποίες και αναλύονται λεπτομερώς.

Λέξεις κλειδιά: EMC, IEC, δοκιμές, βυθίσεις, ασυμμετρία, ατρωσία.



# Abstract

---

The subject of this thesis is the study of certain, low frequency, electromagnetic compatibility (EMC) phenomena. Initially, there is an analytic presentation of nine (9) IEC standards, seven (7) of which refer to AC equipment and two of which refer to DC equipment. Then, using the computer controlled AC/DC source California Instruments MX30-3Pi as part of a broader IEC compliance test system, we are allowed to carry out such tests in AC/DC/AC converters for electrical driven applications. Particular attention is given to immunity tests for voltage dips and three-phase voltage unbalance. Also, an effort has been made to create voltage dips immunity curves (or voltage tolerance curves) for a number of essays (including consumer devices). Of course, this AC/DC source provides a variety of options which are analyzed in detail.

Keywords: EMC, IEC, tests, dips, unbalance, immunity.





# Κατάλογος συμβόλων

---

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

$U(t)$	Συνάρτηση χρόνου ενεργού τάσης
$\Delta U(t)$	Συνάρτηση χρόνου μεταβολής ενεργού τάσης
$d(t)$	Χαρακτηριστική σχετικής μεταβολής τάσης
$\Delta U_{max}$	Μέγιστη μεταβολή τάσης
$d_{max}$	Μέγιστη σχετική μεταβολή τάσης
$\Delta U_c$	Μεταβολή τάσης σταθερής κατάστασης
$d_c$	Σχετική μεταβολή τάσης σταθερής κατάστασης
$P_{st}$	Δείκτης flicker βραχείας διάρκειας
$P_{lt}$	Δείκτης flicker μακράς διάρκειας
$U_n$	Ονομαστική τάση δικτύου
$U_{nom}$	Ονομαστική τάση δοκιμής
$U_t$	Ονομαστική τάση εξοπλισμού
$U_h$	Τάση αρμονικής τάξης $h$
$V_{LL}$	Πολική τάση
$U_a, U_b, U_c$	Διανύσματα τριφασικής τάσης
$U_{1a}, U_{1b}, U_{1c}$	Διανύσματα τριφασικής τάσης θετικής ακολουθίας
$U_{2a}, U_{2b}, U_{2c}$	Διανύσματα τριφασικής τάσης αρνητικής ακολουθίας
$U_{0a}, U_{0b}, U_{0c}$	Διανύσματα τριφασικής τάσης μηδενικής ακολουθίας
$k_{u2}$	Συντελεστής αρνητικής ασυμμετρίας
$k_{u0}$	Συντελεστής μηδενικής ασυμμετρίας
$L_1, L_2, L_3$	Είσοδοι τριφασικού εξοπλισμού
$f$	συχνότητα
$\Delta f$	Βήμα μεταβολής συχνότητας
$f_l$	Συχνότητα θεμελιώδους συνιστώσας
$f_{res}$	Συχνότητα συντονισμού
$n$	Τάξη αρμονικής
$I_n$	Ενεργός τιμή αρμονικού ρεύματος τάξης $n$
$I_{n,lim}$	Όριο ενεργού τιμής αρμονικού ρεύματος τάξης $n$
$Z_{ref}$	Σύνθετη αντίσταση αναφοράς δικτύου XT
$R$	Ωμική αντίσταση
$R_A$	Φασική ωμική αντίσταση
$R_N$	Ωμική αντίσταση ουδετέρου
$X$	Επαγωγική αντίδραση
$X_A$	Φασική επαγωγική αντίδραση
$X_N$	Επαγωγική αντίδραση ουδετέρου
$T_f$	Χρόνος αποτύπωσης flicker
$T_p$	Διάρκεια περιόδου παρατήρησης
$F$	Παράγοντας μορφής
$t_r$	Χρόνος ανόδου τάσης
$t_f$	Χρόνος καθόδου τάσης
$t_s$	Χρόνος παραμονής τάσης σε μειωμένο επίπεδο

$t_d$   
 $t_i$

Χρόνος μείωσης τάσης  
Χρόνος αύξησης τάσης

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

EMC	Electromagnetic compatibility
IEC	International Electrotechnical Commission
THC	Total Harmonic Current
THD	Total Harmonic Distortion
THD <sub>i</sub>	Total Current Harmonic Distortion
RMS	Root Mean Square (ενεργός τιμή)
EUT	Equipment Under Test
PCC	Point of Common Coupling
IPC	In-plant Point of Common Coupling
UPS	Uninterruptible Power Supply
PSU	Power Supply Unit
(S)PWM	(Sinusoidal) Pulse Width Modulation
LV	Low Voltage
FS	Full Scale
AWG	American Wire Gauge
ΣΑΤΥΦ	Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο
XT	Χαμηλή Τάση

# 1 Εισαγωγή

---

## 1.1 Γενική τοποθέτηση του θέματος

Τα τελευταία χρόνια, δεδομένης της σαφούς αύξησης της κυκλοφορίας ηλεκτρικών και – κυρίως- ηλεκτρονικών συσκευών, η ανάγκη για συμμόρφωση των συσκευών με τους κανόνες ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (Electromagnetic Compatibility ή EMC) είναι περισσότερο έντονη.

Στόχος της EMC αποτελεί η ορθή λειτουργία, στο ίδιο ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον, διαφορετικού εξοπλισμού, η λειτουργία του οποίου σχετίζεται με ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα. Ένα παράδειγμα είναι η αποφυγή τυχόν επιδράσεων από παρεμβολές. Για να επιτευχθεί αυτό, η EMC εξετάζει δύο διαφορετικά θέματα. Αρχικά, εξετάζεται η παραγωγή και εκπομπή (emission) ανεπιθύμητης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας από ορισμένες πηγές (π.χ. αρμονικές ρεύματος, flicker) και τα μέτρα αντιμετώπισης που θα πρέπει να ληφθούν ώστε να μειωθεί το φαινόμενο αυτό. Επιπρόσθετα, εξετάζονται θέματα ατρωσίας (immunity) του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού όταν έρχεται αντιμέτωπος με ανεπιθύμητες ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές (π.χ. βυθίσεις τάσης, αρμονικές τάσης, διακυμάνσεις συχνότητας τροφοδοσίας) ([26]).

Στην εργασία αυτή, όπως φαίνεται καλύτερα στο υποκεφάλαιο 1.2, περιγράφεται και αξιολογείται η συμπεριφορά ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού σε σχέση με ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα χαμηλής συχνότητας (η συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου είναι 50 Hz).

## 1.2 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Η διπλωματική εργασία ξεκινά με το παρόν εισαγωγικό κεφάλαιο (κεφάλαιο 1). Στη συνέχεια, το κεφάλαιο 2 περιλαμβάνει την περιγραφή εννέα (9) συνολικά προτύπων IEC. Πρόκειται για πρότυπα της σειράς 61000 και, ως εκ τούτου, έχουν ως κεντρικό αντικείμενο τις δοκιμές ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας για ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές. Τα επτά (7) πρότυπα αφορούν σε AC εξοπλισμό με ονομαστικό ρεύμα εισόδου  $\leq 16$  A ανά φάση (61000-3-2, 61000-3-3, 61000-4-11, 61000-4-13, 61000-4-14, 61000-4-27 και 61000-4-28), ενώ τα άλλα δύο (2) αφορούν DC εξοπλισμό (61000-4-17 και 61000-4-29). Η περιγραφή των παραπάνω προτύπων είναι φυσικά λιγότερο αναλυτική από την περιγραφή που υπάρχει στα επίσημα κείμενα της IEC· κάτι τέτοιο ξεφεύγει από τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, καθώς το ενδιαφέρον εντοπίζεται στη δυνατότητα του αναγνώστη να κατανοήσει τη φιλοσοφία και τα βασικά στοιχεία των προτύπων αυτών.

Το κεφάλαιο 3 αναφέρεται στην ηλεκτρονικά ελεγχόμενη AC/DC πηγή, MX30-3Pi της California Instruments. Το μηχάνημα αυτό έχει εγκατασταθεί στο χώρο του Εργαστηρίου Ηλεκτρικών Μηχανών και Ηλεκτρονικών Ισχύος της σχολής. Ειδικότερα, παρουσιάζονται οι βασικές αρχές λειτουργίας του, ενώ δίνονται και πληροφορίες σχετικά με τις προδιαγραφές

και τη συνδεσμολογία του. Ακόμη, είναι σημαντικό το γεγονός ότι γίνεται εκτενής αναφορά στον τρόπο χειρισμού της πηγής, στον προγραμματισμό (π.χ. δημιουργία κυματομορφών και μεταβατικών) και στη διεξαγωγή μετρήσεων μέσω αυτής.

Στο κεφάλαιο 4 ακολουθεί η περιγραφή της πηγής σε συνδυασμό με τις μονάδες PACS-3-75 και OMNI-3-37MX της California Instruments. Συνδεόμενες αποτελούν το σύστημα δοκιμών συμβατότητας MX30-3Pi-CTSL. Το σύστημα αυτό είναι υπεύθυνο για τη διεξαγωγή των δοκιμών συμβατότητας του κεφαλαίου 5. Τα υποστηριζόμενα πρότυπα IEC είναι αυτά του κεφαλαίου 2.

Το κεφάλαιο 5 φιλοξενεί το κύριο μέρος των δοκιμών που περιλαμβάνει η παρούσα διπλωματική εργασία. Πιο συγκεκριμένα, το ρόλο των δοκιμών έπαιξαν δύο (2) μετατροπείς AC/DC/AC για εφαρμογές ηλεκτρικής κίνησης. Ο μετατροπέας μονοφασικής εισόδου ελέγχεται για τη συμβατότητα του με έξι (6) πρότυπα IEC (61000-3-2, 61000-3-3, 61000-4-11, 61000-4-13, 61000-4-14 και 61000-4-28), ενώ χρησιμοποιήθηκε και ένας μετατροπέας τριφασικής εισόδου για τη διενέργεια της δοκιμής που ορίζεται στο πρότυπο IEC61000-4-27. Για κάθε δοκιμή παρατίθενται, η αναφορά που παράγει αυτόματα το σύστημα δοκιμών μετά την ολοκλήρωση κάθε δοκιμής, καθώς και παρατηρήσεις σχετικά με τη συμπεριφορά του εκάστοτε δοκιμίου.

Το κεφάλαιο 6 πραγματεύεται το ζήτημα των βυθίσεων τάσης. Έπειτα από την περιγραφή του φαινομένου και των κυριότερων παραμέτρων του, ακολουθεί η διεξαγωγή δοκιμών έναντι βυθίσεων τάσης για έναν αριθμό ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών (καταναλωτικών και μη). Για τις παραπάνω συσκευές κατέστη δυνατή η χάραξη των καμπυλών ατρωσίας έναντι βυθίσεων τάσης (ή καμπυλών ανοχής της τάσης). Και στην περίπτωση αυτή, διατυπώνονται παρατηρήσεις σχετικά με τη συμπεριφορά των δοκιμίων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Τέλος, το κεφάλαιο 7 αποτελεί μια σύνοψη των συμπερασμάτων / αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας.

## 2 Διεθνή πρότυπα IEC – Σειρά 61000

---

### 2.1 Γενικά

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

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

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

- IEC 61000-3-2 Ed. 3.0 (2005) + Amendment 1 (2008). Όρια εκπομπής για αρμονικές ρεύματος (ρεύμα εισόδου  $\leq 16$  A ανά φάση).
- IEC 61000-3-3 Ed. 1.2 (2005) + Amendment 1 (2008). Περιορισμοί μεταβολών τάσης, διακυμάνσεων τάσης και flicker σε δημόσια συστήματα παροχής χαμηλής τάσης για συσκευές με ονομαστικό ρεύμα  $\leq 16$  A ανά φάση που δεν υπόκεινται σε σύνδεση υπό συνθήκη.
- IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμές ατρωσίας σε βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης.
- IEC 61000-4-13 Ed. 1.0 (2002). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Αρμονικές και διαρμονικές (interharmonics) συμπεριλαμβανομένης της σηματοδότησης στα δίκτυα εναλλασσομένου ρεύματος, δοκιμές ατρωσίας χαμηλής συχνότητας.
- IEC 61000-4-14 Ed. 1.1 (2002). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμή ατρωσίας σε διακύμανση τάσης.
- IEC 61000-4-17 Ed. 1.1 (2002). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμή ατρωσίας σε κυμάτωση τάσης στην είσοδο παροχής συνεχούς ρεύματος.
- IEC 61000-4-27 Ed 1.0 (2000). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης – Ασυμμετρία· δοκιμή ατρωσίας για εξοπλισμό με ρεύμα εισόδου που δεν υπερβαίνει τα 16 A ανά φάση.

- IEC 61000-4-28 Ed. 1.1 (2001). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Διακύμανση της συχνότητας τροφοδοσίας, δοκιμή ατρωσίας.
- IEC 61000-29 Ed. 1.0 (2000). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμές ατρωσίας σε βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης στην είσοδο παροχής συνεχούς ρεύματος.

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

## **2.2 IEC 61000-3-2 Ed. 3.0 (2005) + Amendment 1 (2008). Όρια εκπομπής για αρμονικές ρεύματος (ρεύμα εισόδου $\leq 16$ A ανά φάση)**

### **2.2.1 Πεδίο εφαρμογής**

Αυτό το μέρος της οικογένειας προτύπων IEC 61000 ([5]) ασχολείται με τον περιορισμό των αρμονικών που διοχετεύονται στο δημόσιο σύστημα παροχής ηλεκτρισμού. Προσδιορίζει τα όρια των αρμονικών συνιστωσών του ρεύματος που μπορούν να παραχθούν από υλικό που δοκιμάζεται υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Έχει εφαρμογή σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού που έχουν ρεύμα εισόδου μέχρι και 16 A ανά φάση, προοριζόμενα να συνδεθούν σε δημόσια δίκτυα χαμηλής τάσης.

### **2.2.2 Κατηγοριοποίηση του υπό δοκιμή εξοπλισμού**

Για το σκοπό του περιορισμού των αρμονικών ρεύματος, ο εξοπλισμός ταξινομείται σε τέσσερις κλάσεις (Α, Β, Γ και Δ) ως εξής ([5]):

Κλάση Α:

- συμμετρικός τριφασικός εξοπλισμός,
- οικιακές συσκευές, με εξαίρεση τον εξοπλισμό που προσδιορίζεται ως κλάσης Δ,
- εργαλεία, με εξαίρεση τα φορητά εργαλεία,
- ροοστάτες για λαμπτήρες πυρακτώσεως,
- συσκευές ήχου,
- εξοπλισμός που δεν ανήκει σε μία από τις τρεις άλλες κλάσεις πρέπει να θεωρείται ως κλάσης Α.

Κλάση Β:

- φορητά εργαλεία,
- συσκευές συγκόλλησης με τόξο (ηλεκτροσυγκόλλησης) που δεν είναι επαγγελματικού τύπου.

Κλάση Γ:

- εξοπλισμός φωτισμού.

Κλάση Δ: Εξοπλισμός ισχύος μικρότερης ή ίσης με 600W, των ακόλουθων τύπων:

- Ηλεκτρονικοί υπολογιστές (H/Y) και οθόνες H/Y,
- Τηλεοπτικοί δέκτες.

### 2.2.3 Διεξαγωγή δοκιμών

Οι δοκιμές εκπομπών που ορίζονται στο [5] πρέπει να διεξάγονται με τον υπό δοκιμή εξοπλισμό σε λειτουργία χρήστη ή σε αυτόματα προγράμματα που αναμένεται να παράγουν το μέγιστο συνολικό αρμονικό ρεύμα (THC ή Total Harmonic Current) υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Ωστόσο, ορισμένοι τύποι εξοπλισμού, όπως κάποιες συσκευές εικόνας και ήχου, λευκές οικιακές συσκευές και εξοπλισμός φωτισμού, πρέπει να δοκιμάζονται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας.

Οι αρμονικές ρευμάτων και η ενεργός ισχύς εισόδου πρέπει να μετρώνται υπό τις ίδιες συνθήκες δοκιμής, αλλά όχι ταυτόχρονα. Η ισχύς εισόδου του εξοπλισμού πρέπει να καθορίζεται από τον κατασκευαστή και να τεκμηριώνεται στην έκθεση δοκιμής. Για να μην δημιουργούνται αμφιβολίες ως προς το για ποια τιμή ισχύος ισχύουν τα όρια των αρμονικών ρεύματος των συσκευών Κλάσης Δ (βλ. παράγραφο 2.2.4), η κατά τις δοκιμές μετρούμενη ισχύς δεν πρέπει να είναι μικρότερη από το 90% ούτε μεγαλύτερη από το 110% της ισχύος που προδιαγράφεται από τον κατασκευαστή. Σε περίπτωση που η μετρούμενη τιμή είναι εκτός αυτής της ζώνης ανοχής γύρω από την καθορισμένη τιμή του κατασκευαστή, η μετρούμενη ισχύς είναι αυτή που πρέπει να χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των ορίων.

Η διάρκεια εκτέλεσης των δοκιμών πρέπει γενικά είναι επαρκής προκειμένου να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις για την επαναληψιμότητα. Ο όρος επαναληψιμότητα αναφέρεται στην εγγύτητα μεταξύ των αποτελεσμάτων των μετρήσεων των αρμονικών ρεύματος με τον ίδιο εξοπλισμό υπό δοκιμή, πραγματοποιούμενων με το ίδιο σύστημα δοκιμής, στο ίδιο σημείο, υπό τις ίδιες συνθήκες δοκιμής. Ειδικότερα λοιπόν, οι μετρήσεις αρμονικών ρευμάτων της κάθε τάξης δεν πρέπει να απέχουν μεταξύ τους περισσότερο από το 5% του ορίου της αντίστοιχης τάξης.

Η έκθεση αναφοράς της δοκιμής μπορεί να βασίζεται σε πληροφορίες που παρέχονται από τον κατασκευαστή προς το εργαστήριο δοκιμών ή και σε καταγραφή λεπτομερειών από δοκιμές που ίσως έχει πραγματοποιήσει ο ίδιος ο κατασκευαστής. Πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις σχετικές πληροφορίες για τις συνθήκες δοκιμής, την διάρκεια εκτέλεσής της και, όταν εφαρμόζονται για τον καθορισμό των ορίων, την ενεργό ισχύ (Κλάση Δ) ή τη θεμελιώδη συνιστώσα του ρεύματος σε συνδυασμό με το συντελεστής ισχύος (Κλάση Γ).

### 2.2.4 Όρια αρμονικών ρεύματος

Για τις ακόλουθες κατηγορίες εξοπλισμού δεν προσδιορίζονται όρια στο πρότυπο [5] :

- Εξοπλισμός με ονομαστική ισχύ 75W ή λιγότερο, εκτός από τις συσκευές φωτισμού,
- Επαγγελματικός εξοπλισμός με συνολική ονομαστική ισχύ μεγαλύτερη από 1kW,
- συμμετρικά ελεγχόμενα (δηλαδή ελεγχόμενα από συσκευές σχεδιασμένες να λειτουργούν με διαφορετικό τρόπο στην θετική και στην αρνητική ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσης) θερμαντικά στοιχεία με ονομαστική ισχύ μικρότερη ή ίση των 200W,
- ανεξάρτητοι ροοστάτες για λαμπτήρες πυρακτώσεως με ονομαστική ισχύ μικρότερη ή ίση από 1kW.

Για τις υπόλοιπες κατηγορίες εξοπλισμού ισχύουν τα ακόλουθα:

1. Για υλικό Κλάσης Α, οι αρμονικές του ρεύματος εισόδου δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις τιμές που αναγράφονται στον Πίνακα 2.1.
2. Για υλικό Κλάσης Β οι αρμονικές του ρεύματος εισόδου δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις τιμές που αναγράφονται στον Πίνακα 2.1, πολλαπλασιαζόμενες με το συντελεστή 1.5.
3. Για υλικό Κλάσης Γ τα όρια για τις αρμονικές ρεύματος εισόδου ποικίλουν ανάλογα με το είδος της συσκευής και την ενεργό ισχύ εισόδου της. Ειδικότερα ισχύουν τα παρακάτω:
  - α) Ενεργός ισχύς εισόδου  $> 25\text{W}$ .  
 Για τις συσκευές φωτισμού που έχουν ενεργό δύναμη ισχύος μεγαλύτερης των 25W οι αρμονικές δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα όρια που δίνονται στον Πίνακα 2.2.  
 Για τον εξοπλισμό φωτισμού πυρακτώσεως που έχει ενσωματωμένους ροοστάτες ή αποτελείται από ροοστάτες εντός περιβλήματος, ισχύουν τα όρια που αναφέρονται στον Πίνακα 2.1.  
 Για τον εξοπλισμό φωτισμού ηλεκτρικής εκκένωσης που έχει ενσωματωμένους ροοστάτες ή αποτελείται από ανεξάρτητους ροοστάτες ή από ροοστάτες εντός περιβλήματος, ισχύουν οι ακόλουθες συνθήκες:
    - δεν πρέπει να ξεπεραστούν οι τιμές αρμονικών ρεύματος που υπολογίζονται με βάση τον Πίνακα 2.2 (υπό συνθήκες μέγιστου φορτίου),
    - για κάθε δυνατή ρύθμιση του ροοστάτη, το αρμονικό ρεύμα δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή του αρμονικού ρεύματος σε κατάσταση πλήρους φορτίου,
    - ο εξοπλισμός πρέπει να δοκιμάζεται σύμφωνα με τους όρους του Παραρτήματος Γ (Annex C) του Προτύπου IEC 61000-3-2:2005.
  - β) Ενεργός ισχύς εισόδου  $\leq 25\text{W}$ .  
 Ο εξοπλισμός φωτισμού ηλεκτρικής εκκένωσης που έχει ενεργό ισχύ εισόδου μικρότερη από ή ίση με 25W πρέπει να συμμορφώνεται με μία από τις ακόλουθες δύο προϋποθέσεις:
    - τα αρμονικά ρεύματα δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα όρια που υπολογίζονται από τον Πίνακα 2.3 σύμφωνα με την ισχύ εισόδου του υπό δοκιμή εξοπλισμού, ή
    - η τρίτη αρμονική ρεύματος, εκφρασμένη ως ποσοστό της θεμελιώδους συνιστώσας, δεν πρέπει να υπερβαίνει το 86% και η πέμπτη δεν πρέπει να υπερβαίνει το 61%. Επιπρόσθετα, η κυματομορφή του ρεύματος εισόδου πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αρχίσει να ρέει στις 60° ή νωρίτερα, η τελευταία κορυφή του (αν υπάρχουν αρκετές κορυφές ανά ημιπερίοδο) να εμφανίζεται στις 65° ή νωρίτερα και να μην σταματήσει να ρέει πριν από τις 90°. Για τα παραπάνω έχει θεωρηθεί ότι ο μηδενισμός της κυματομορφής της θεμελιώδους συνιστώσας της τάσης εισόδου γίνεται στις 0°.
 Τέλος, αν ο εξοπλισμός φωτισμού ηλεκτρικής εκκένωσης έχει ενσωματωμένο ροοστάτη, οι μετρήσεις γίνονται μόνο σε κατάσταση πλήρους φορτίου.
4. Για τον εξοπλισμό Κλάσης Δ τα ρεύματα εισόδου για τις διάφορες αρμονικές συχνότητες δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις τιμές που υπολογίζονται με βάση τον Πίνακα 2.3.



Τάξη αρμονικής $n$	Μέγιστο επιτρεπόμενο αρμονικό ρεύμα
<b>Αρμονικές περιττής τάξης</b>	
3	2.30
5	1.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
$15 \leq n \leq 39$	$0.15 \cdot \frac{15}{n}$
<b>Αρμονικές άρτιας τάξης</b>	
2	1.08
4	0.43
6	0.30
$8 \leq n \leq 40$	$0.23 \cdot \frac{8}{n}$

Πίνακας 2.1 – Όρια αρμονικών ρεύματος για εξοπλισμό Κλάσης A [5].

Τάξη αρμονικής $n$	Μέγιστο επιτρεπόμενο αρμονικό ρεύμα εισόδου εκφρασμένο ως ποσοστό της θεμελιώδους συνιστώσας ρεύματος εισόδου %
2	2
3	$30 \cdot \lambda^*$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (αρμονικές περιττής τάξης μόνο)	3

\*  $\lambda$  είναι ο συντελεστής ισχύος εισόδου του υπό δοκιμή εξοπλισμού

Πίνακας 2.2 – Όρια αρμονικών ρεύματος για εξοπλισμό Κλάσης Γ [5].

Τάξη αρμονικής $n$	Μέγιστο επιτρεπόμενο αρμονικό ρεύμα / watt mA/W	Μέγιστο επιτρεπόμενο αρμονικό ρεύμα A
3	3.4	2.30
5	1.9	1.14
7	1.0	0.77
9	0.5	0.40
11	0.35	0.33
$13 \leq n \leq 39$ (αρμονικές περιττής τάξης μόνο)	$\frac{3.85}{n}$	Βλέπε Πίνακα 2.1

Πίνακας 2.3 – Όρια αρμονικών ρεύματος για εξοπλισμό Κλάσης Δ [5].

## 2.2.5 Εφαρμογή των ορίων

Με βάση το [5], οι μέσες τιμές για τις επιμέρους αρμονικές ρευμάτων που λαμβάνονται για ολόκληρη την περίοδο δοκιμής, πρέπει να είναι μικρότερες από ή ίσες με τα ισχύοντα όρια. Για κάθε αρμονική τάξη, κάθε μία από τις μετρούμενες τιμές (r.m.s. τιμές με εξομάλυνση 1.5sec) πρέπει να είναι:

- α) μικρότερη από ή ίση με 150% από τα ισχύοντα όρια, ή
- β) μικρότερη από ή ίση με 200% από τα ισχύοντα όρια, υπό τους ακόλουθους όρους, που ισχύουν όλοι μαζί:
  - 1) ο υπό δοκιμή εξοπλισμός ανήκει στην Κλάση Α για τις αρμονικές,
  - 2) η υπέρβαση πέραν του 150% από τα ισχύοντα όρια διαρκεί λιγότερο από το 10% της διάρκειας της δοκιμής ή σε σύνολο 10 λεπτά (εντός της περιόδου δοκιμής), όποιο από τα δύο είναι μικρότερο, και
  - 3) η μέση τιμή της κάθε αρμονικής ρεύματος, καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής, είναι μικρότερη από το 90% του αντίστοιχου ορίου του Πίνακα 2.1.

Αρμονικά ρεύματα μικρότερα από 0,6% της θεμελιώδους συνιστώσας του ρεύμα εισόδου ή μικρότερα από 5mA, ανάλογα με το ποια τιμή είναι μεγαλύτερη, δε λαμβάνονται υπόψη.

Για περιττές αρμονικές 21<sup>ης</sup> τάξης και άνω ( $n \geq 21$ ), η μέση τιμή που λαμβάνεται για κάθε αρμονική καθ' όλη τη διάρκεια μιας δοκιμής μπορεί να υπερβαίνει τα όρια που ισχύουν κατά 50% υπό την προϋπόθεση ότι πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Το μερικό αρμονικό ρεύμα που προκύπτει με τετραγωνική άθροιση από τις αρμονικές συνιστώσες τάξης 21 και άνω δεν υπερβαίνει το αντίστοιχο μερικό αρμονικό ρεύμα που προκύπτει από τα όρια των συνιστωσών αυτών. Ειδικότερα, ισχύει η σχέση

$$\sqrt{\sum_{n=21}^{39} I_n^2} \leq \sqrt{\sum_{n=21}^{39} I_{\lim n}^2} \quad (2.1)$$

- κάθε μία από τις μετρούμενες τιμές αρμονικών ρεύματος (r.m.s. τιμές με εξομάλυνση 1.5sec) πρέπει να είναι μικρότερη από ή ίση με 150% από τα ισχύοντα όρια.

## 2.2.6 Κατευθύνσεις για περαιτέρω εμβάθυνση

Ο αναγνώστης που ενδιαφέρεται να εξοικειωθεί σε μεγαλύτερο βαθμό με το Πρότυπο IEC 61000-3-2 ([5]) προτείνεται να ανατρέξει στο ίδιο το πρότυπο αυτό. Πληροφορίες σχετικά με το κύκλωμα αναφοράς για την πραγματοποίηση των σχετικών δοκιμών, τις προδιαγραφές της πηγής τροφοδοσίας και του μετρητικού εξοπλισμού μπορούν να αναζητηθούν στα αντίστοιχα παραρτήματα του προτύπου. Επίσης, μπορούν να αντληθούν χρήσιμες λεπτομέρειες σχετικά με τις συνθήκες διεξαγωγής δοκιμών σε συγκεκριμένους τύπους δοκιμών, όπως οικιακές συσκευές ήχου και εικόνας, προϊόντα πληροφορικής, λευκές οικιακές συσκευές, φωτιστικό εξοπλισμό και συσκευές ηλεκτροσυγκόλλησης ερασιτεχνικού τύπου.

Τέλος, το παρόν κείμενο σκοπίμως δεν επεκτείνεται στην περιγραφή των παραπάνω δεδομένων, καθώς κρίθηκε πως και χωρίς αυτά, ο αναγνώστης μπορεί να κατανοήσει τα βασικά σημεία του Προτύπου IEC 61000-3-2:2005 αλλά και να είναι ικανός να πραγματοποιήσει δοκιμές –όπως αυτή του υποκεφαλαίου 5.2- για τη μεγαλύτερη πλειοψηφία ηλεκτρικών συσκευών.

## 2.3 IEC 61000-3-3 Ed. 1.2 (2005) + Amendment 1 (2008). Περιορισμοί μεταβολών τάσης, διακυμάνσεων τάσης και flicker σε δημόσια συστήματα παροχής χαμηλής τάσης για συσκευές με ονομαστικό ρεύμα $\leq 16$ A ανά φάση που δεν υπόκεινται σε σύνδεση υπό συνθήκη

### 2.3.1 Πεδίο εφαρμογής

Αυτό το μέρος της οικογένειας προτύπων IEC 61000 ([6]) ασχολείται με τον περιορισμό των διακυμάνσεων τάσης και του flicker στο δημόσιο σύστημα χαμηλής τάσης. Προσδιορίζει τα όρια των μεταβολών της τάσης οι οποίες παράγονται από εξοπλισμό που δοκιμάζεται υπό συγκεκριμένες συνθήκες, ενώ παρέχει και καθοδήγηση σχετικά με τις μεθόδους αξιολόγησης του εξοπλισμού αυτού. Το πρότυπο IEC 61000-3-3 έχει εφαρμογή σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού που έχουν ρεύμα εισόδου μικρότερο ή ίσο των 16A ανά φάση, που προορίζονται για σύνδεση σε δημόσια δίκτυα χαμηλής τάσης (φασική τάση μέτρου μεταξύ 220V και 250V, συχνότητα 50Hz) και δεν υπόκεινται σε σύνδεση υπό συνθήκη.

### 2.3.2 Χρήσιμοι ορισμοί

Στο [6] περιλαμβάνονται, μεταξύ άλλων, οι παρακάτω χρήσιμοι ορισμοί:

- r.m.s. τιμή της τάσης,  $U(t)$ . Η συνάρτηση χρόνου της ενεργού τάσεως. Αξιολογείται ως μία ενιαία τιμή για κάθε διαδοχική ημιπερίοδο μεταξύ μηδενισμών της τάσης της πηγής (βλ. Σχήμα 2.1).
- χαρακτηριστική μεταβολής τάσης,  $\Delta U(t)$ . Η συνάρτηση χρόνου της μεταβολής της ενεργού τάσεως. Αξιολογείται ως μια ενιαία τιμή για κάθε διαδοχική ημιπερίοδο μεταξύ μηδενισμών της τάσης της πηγής, μεταξύ χρονικών διαστημάτων κατά τα οποία η τάση είναι σε σταθερή κατάσταση για τουλάχιστον 1sec (βλ. Σχήμα 2.1).
- χαρακτηριστική σχετικής μεταβολής τάσης  $d(t)$ . Ο λόγος της χαρακτηριστικής μεταβολής τάσης  $\Delta U(t)$  προς την ονομαστική φασική τάση του δικτύου,  $U_{nom}$  (βλ. Σχήμα 2.2). Ισχύει δηλαδή η σχέση

$$d(t) = \frac{\Delta U(t)}{U_{nom}} \quad (2.2)$$

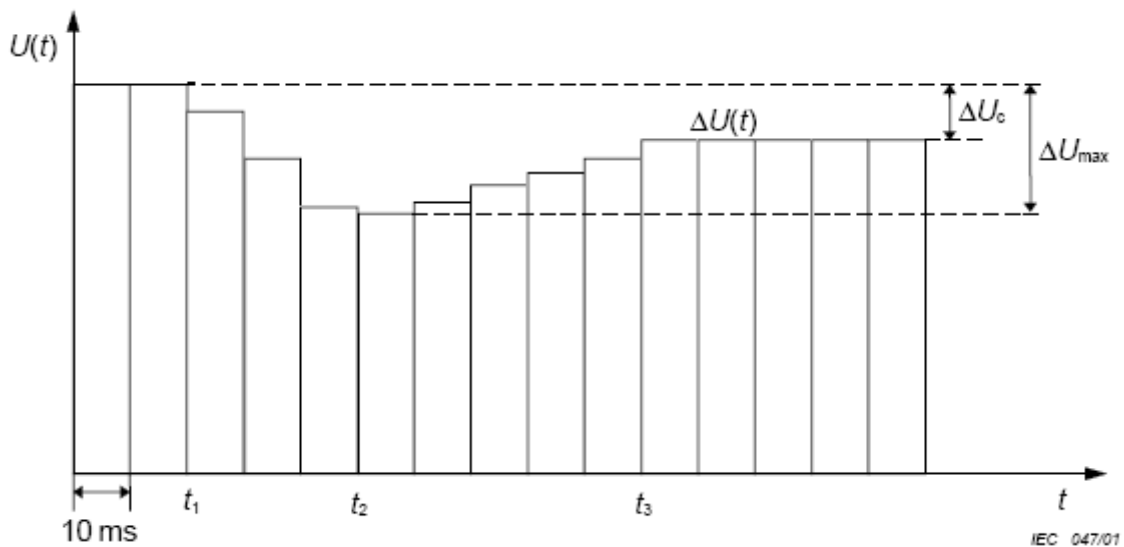
- μέγιστη μεταβολή τάσης,  $\Delta U_{max}$ . Η διαφορά μεταξύ των μέγιστων και ελάχιστων r.m.s. τιμών μίας χαρακτηριστικής μεταβολής τάσης (βλ. Σχήμα 2.1).
- μέγιστη σχετική μεταβολή τάσης,  $d_{max}$ . Ο λόγος της μέγιστης μεταβολής τάσης  $\Delta U_{max}$  προς την ονομαστική φασική τάση του δικτύου,  $U_{nom}$  (βλ. Σχήμα 2.2). Ισχύει δηλαδή η σχέση

$$d_{max} = \frac{\Delta U_{max}}{U_{nom}} \quad (2.3)$$

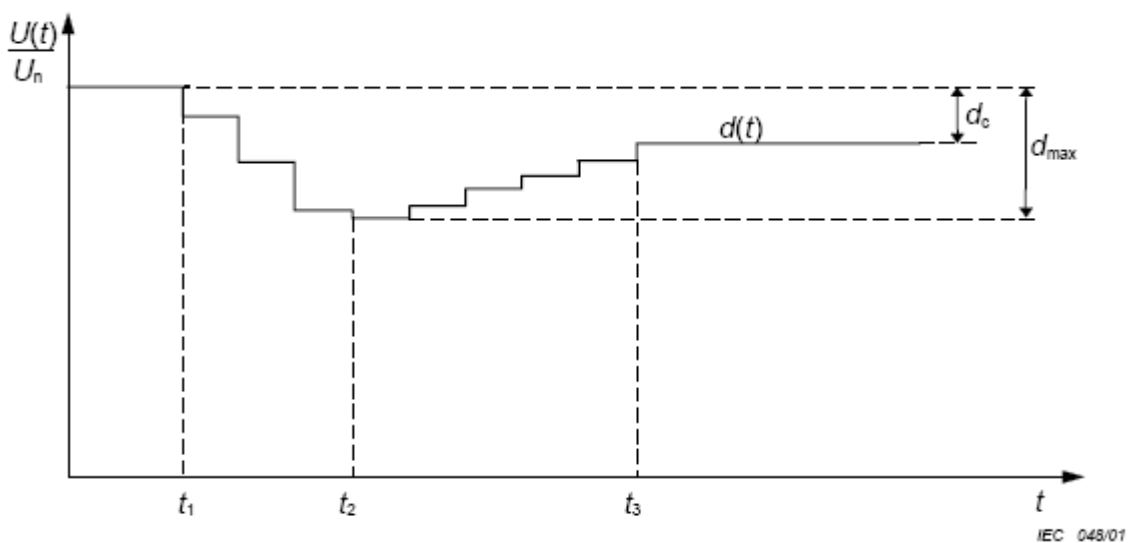
- μεταβολή τάσης σταθερής κατάστασης,  $\Delta U_c$ . Η διαφορά μεταξύ δύο παρακαείμενων τάσεων σταθερής κατάστασης που χωρίζονται από μία τουλάχιστον χαρακτηριστική μεταβολής τάσης (βλ. Σχήμα 2.1).
- σχετική μεταβολή τάσης σταθερής κατάστασης,  $d_c$ . Ο λόγος της μεταβολής τάσης σταθερής κατάστασης  $\Delta U_c$  προς την ονομαστική φασική τάση του δικτύου,  $U_{nom}$  (βλ. Σχήμα 2.2). Ισχύει δηλαδή η σχέση

$$d_c = \frac{\Delta U_c}{U_{nom}} \quad (2.4)$$

- flicker. Εντύπωση αστάθειας της ανθρώπινης οπτικής αίσθησης προκαλούμενη από μια πηγή φωτός της οποίας η φωτεινότητα ή η φασματική κατανομή αυξομειώνεται με το χρόνο.
- δείκτης flicker βραχείας διάρκειας,  $P_{st}$ . Η ένταση του φαινομένου flicker αξιολογούμενη σε σύντομο χρονικό διάστημα (μερικά λεπτά). Από εργαστηριακές μελέτες που έγιναν με τη συμμετοχή μεγάλου αριθμού ατόμων, διαπιστώθηκε ότι περιοδικές βηματικές διαταραχές της τάσης τροφοδότησης λαμπτήρα πυρακτώσεως 230V/60W, με πλάτος και συχνότητα που δίνονται από την καμπύλη του Σχήματος 2.4, προκαλούν οπτική ενόχληση σε μεγάλο ποσοστό των συμμετεχόντων (άνω του 50% του δείγματος).  $P_{st}=1$  είναι το συμβατικό όριο παρενόχλησης που αποδόθηκε σε αυτές τις διαταραχές [1].
- δείκτης flicker μακράς διάρκειας,  $P_{lt}$ . Η ένταση του φαινομένου flicker αξιολογούμενη σε μεγάλο χρονικό διάστημα (μερικές ώρες), κάνοντας χρήση διαδοχικών τιμών  $P_{st}$  [1].
- σύνδεση υπό συνθήκη. Σύνδεση εξοπλισμού που απαιτεί η τροφοδοσία του χρήστη να έχει αντίσταση δικτύου στο σημείο σύνδεσης χαμηλότερη από την αντίσταση αναφοράς  $\bar{Z}_{ref}$ , ώστε οι εκπομπές του εξοπλισμού να συμμορφώνονται με τα όρια του προτύπου.



Σχήμα 2.1 – Ιστογράμμο αποτίμησης της  $U(t)$  [6].



Σχήμα 2.2 - Χαρακτηριστική σχετικής μεταβολής τάσης [6].

### 2.3.3 Υπολογισμός μιας σχετικής μεταβολής τάσης, “d”

Σύμφωνα με το [6], η χαρακτηριστική μεταβολής τάσης στους ακροδέκτες του υπό δοκιμή εξοπλισμού αποτελεί τη βάση για την αξιολόγηση του flicker. Υπολογίζεται η διαφορά  $\Delta U$  δύο διαδοχικών τιμών φασικής τάσης  $U(t_1)$  και  $U(t_2)$ . Ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$\Delta U = U(t_1) - U(t_2) \quad (2.5)$$

Οι r.m.s. τιμές της τάσης  $U(t_1)$  και  $U(t_2)$  μπορούν να μετρηθούν απευθείας (βλ. Σχήμα 2.3) ή να υπολογιστούν.

Η μεταβολή τάσης  $\Delta U$  οφείλεται στη μεταβολή της πτώσης τάσης κατά μήκος της σύνθετης αντίστασης αναφοράς του δικτύου  $\bar{Z}_{ref}$ , που προκαλείται από μεταβολή της θεμελιώδους συνιστώσας του ρεύματος εισόδου  $\bar{I}$  του υπό δοκιμή εξοπλισμού.  $\Delta I_p$  και  $\Delta I_q$  είναι το ενεργό και άεργο, αντίστοιχα, μέρος της μεταβολής  $\bar{I}$ . Συνεπώς, σύμφωνα με τα παραπάνω είναι

$$\Delta \bar{I} = \Delta I_p - j \cdot \Delta I_q = \bar{I}(t_1) - \bar{I}(t_2) \quad (2.6)$$

Συμβατικά, θεωρείται ότι το  $I_q$  είναι θετικό για ρεύματα μεταπορείας (επαγωγική συμπεριφορά φορτίου) και αρνητικό για ρεύματα προπορείας (χωρητική συμπεριφορά φορτίου).

Ειδικότερα, για μονοφασικό ή συμμετρικό τριφασικό εξοπλισμό, δεδομένου ότι  $X > 0$  (επαγωγικό), η μεταβολή της τάσης μπορεί να προσεγγιστεί με βάση την παρακάτω σχέση:

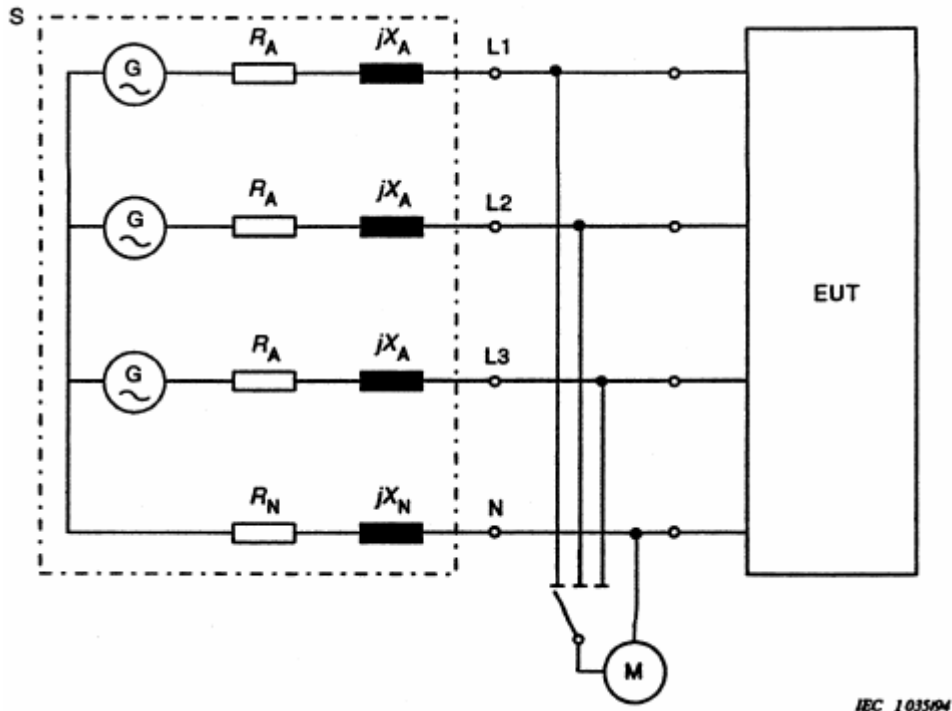
$$\Delta U = |\Delta I_p \cdot R + \Delta I_q \cdot X| \quad (2.7)$$

, όπου

$$R + j \cdot X = \bar{Z}_{ref} \quad (2.8)$$

Τέλος, η σχετική μεταβολή της τάσης δίνεται από την

$$"d" = \Delta U / U_n \quad (2.9)$$



EUT : υπό δοκιμή εξοπλισμός  
M : εξοπλισμός πραγματοποίησης μετρήσεων  
S : πηγή τροφοδοσίας αποτελούμενη από τη γεννήτρια τάσης G και την αντίσταση αναφοράς  $\bar{Z}_{ref}$  με στοιχεία:

$R_A = 0,24 \Omega$ ;  $jX_A = 0,15 \Omega @ 50 \text{ Hz}$ ;  
 $R_N = 0,16 \Omega$ ;  $jX_N = 0,10 \Omega @ 50 \text{ Hz}$ .

Σχήμα 2.3 – Δίκτυο αναφοράς για 1Φ και 3Φ παροχή [6].

### 2.3.4 Υπολογισμός του δείκτη flicker βραχείας διάρκειας (short-term), $P_{st}$

Ο πίνακας 2.4 παρουσιάζει τις εναλλακτικές μεθόδους υπολογισμού του  $P_{st}$ , λόγω διακυμάνσεων τάσης διαφορετικών τύπων. Όλοι οι τύποι των διακυμάνσεων τάσης μπορούν να εκτιμηθούν με απευθείας μέτρηση χρησιμοποιώντας ένα ειδικό όργανο, το φλικερόμετρο (flickermeter). Αυτή είναι και η μέθοδος αναφοράς για την εφαρμογή των ορίων. Στην περίπτωση που η χαρακτηριστική σχετική μεταβολής τάσης  $U(t)$  είναι γνωστή, το  $P_{st}$  μπορεί να αξιολογηθεί χρησιμοποιώντας μια προσομοίωση υπολογιστή.

Τύποι διακυμάνσεων τάσης	Μέθοδοι υπολογισμού $P_{st}$
Όλες οι διακυμάνσεις τάσης	Απευθείας μέτρηση
Όλες οι διακυμάνσεις τάσης όπου η $U(t)$ είναι γνωστή	Εξομοίωση Απευθείας μέτρηση
Χαρακτηριστικές μεταβολής τάσης σύμφωνα με τα Σχήματα 2.5 έως 2.7 με συχνότητα εμφάνισης μικρότερη της 1 μεταβολής / sec	Αναλυτική μέθοδος Εξομοίωση Απευθείας μέτρηση
Χρονικά ισαπέχουσες ορθογώνιες μεταβολές τάσης	Χρήση της καμπύλης του Σχήματος 2.4

Πίνακας 2.4 – Μέθοδος αξιολόγησης [6].

Η αναλυτική μέθοδος που περιγράφεται παρακάτω, αναμένεται να δώσει αποτελέσματα τα οποία θα παρουσιάζουν απόκλιση έως  $\pm 10\%$  σε σχέση με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από απευθείας μέτρηση (μέθοδος αναφοράς). Δεν προτείνεται η εφαρμογή της μεθόδου αυτής σε περιπτώσεις όπου η χρονική διάρκεια μεταξύ του τέλους μιας μεταβολής τάσης και της αρχής της επόμενης είναι μικρότερη του 1 δευτερολέπτου.

Αρχικά ορίζεται ο χρόνος αποτύπωσης flicker,  $T_f$ , σε δευτερόλεπτα:

$$T_f = 2.3 \cdot F \cdot d_{\max}^{3.2} \quad (2.10)$$

, όπου  $d_{\max}$  είναι η μέγιστη σχετική μεταβολή τάσης εκφρασμένη ως ποσοστό της ονομαστικής τάσης και  $F$  είναι ο παράγοντας μορφής που σχετίζεται με τη μορφή της χαρακτηριστικής μεταβολής τάσης.

Το σύνολο των χρόνων αποτύπωσης flicker  $\Sigma T_f$  κατά τη διάρκεια της περιόδου παρατήρησης  $T_p$ , αποτελεί τη βάση για τον υπολογισμό του δείκτη flicker βραχείας διάρκειας, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση

$$P_{st} = \left( \Sigma T_f / T_p \right)^{3.2} \quad (2.11)$$

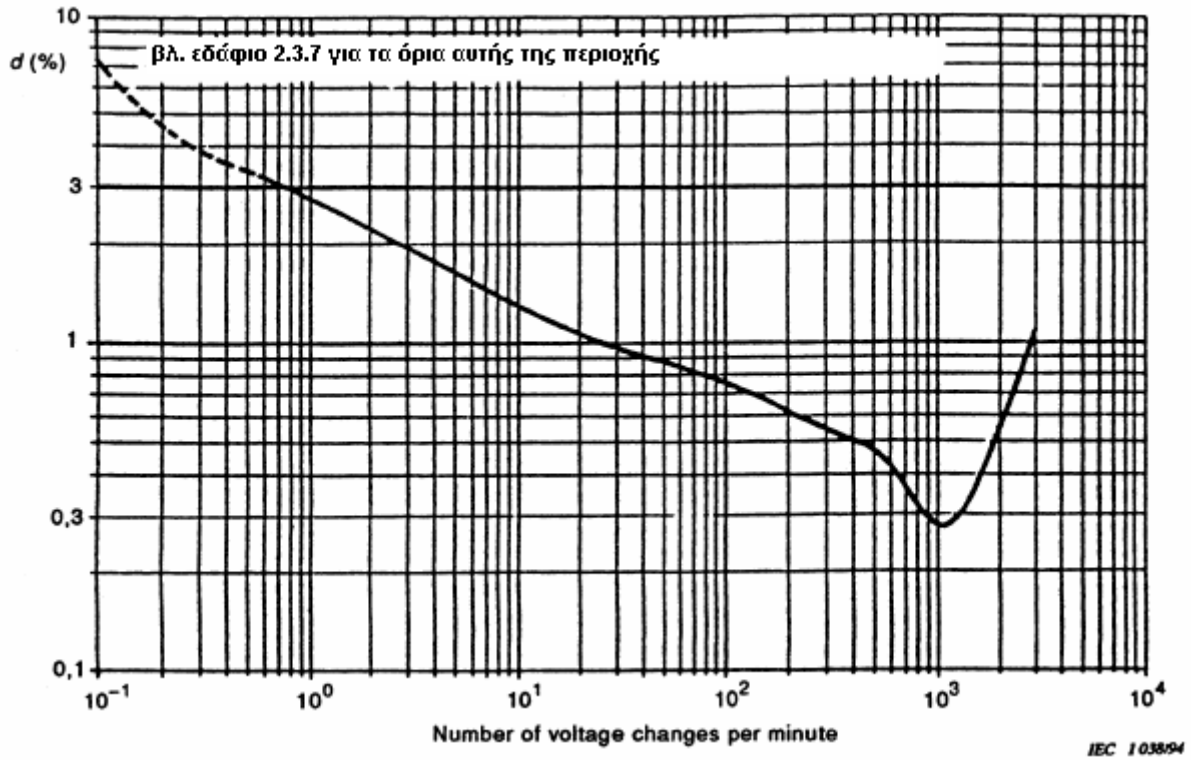
Ο παράγοντας μορφής  $F$ , μετατρέπει μια χαρακτηριστική μεταβολής τάσης  $d(t)$  σε μια ισοδύναμη (από άποψη flicker) βηματική σχετική μεταβολή τάσης  $F \cdot d_{\max}$ . Όπως αναμένεται, είναι  $F=1$  για βηματικές μεταβολές τάσης.

Η χαρακτηριστική μεταβολής τάσης μπορεί είτε να μετρηθεί απευθείας (βλ. Σχήμα 2.3), είτε να υπολογιστεί με χρήση των σχέσεων (2.5) έως (2.7) και (2.9), γνωρίζοντας την ενεργό τιμή του ρεύματος του υπό δοκιμή εξοπλισμού.

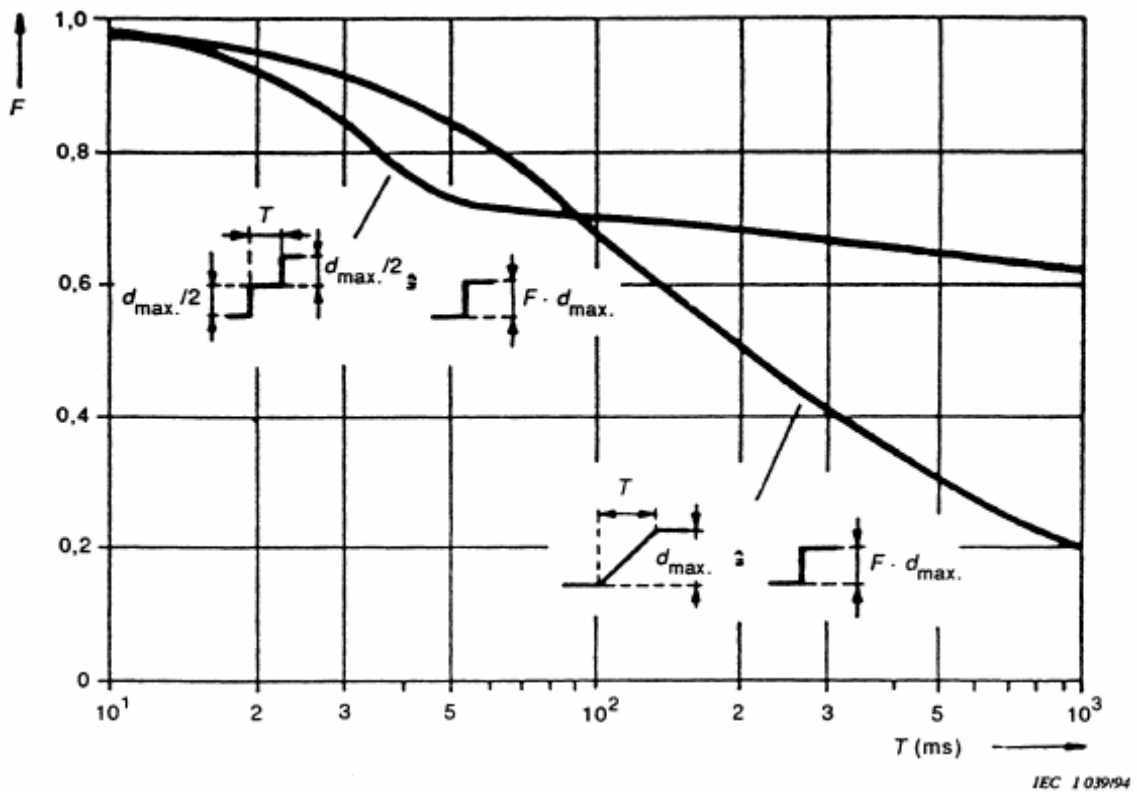
Ο παράγοντας μορφής μπορεί να συναχθεί από τα Σχήματα 2.5 έως 2.7, υπό την προϋπόθεση ότι η σχετική χαρακτηριστική μεταβολή τάσης αντιστοιχεί σε μία από αυτές των σχημάτων. Εάν αυτό συμβαίνει, τότε βρίσκουμε τη μέγιστη σχετική μεταβολή τάσης  $d_{\max}$  (με βάση το Σχήμα 2.2) και τη χρονική της διάρκεια  $T(ms)$  (με βάση τα Σχήματα 2.5 έως 2.7), η οποία μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τελικά τον παράγοντα μορφής  $F$ .

Στην περίπτωση ορθογώνιων αλλαγών τάσης του ίδιου πλάτους " $d$ " που χωρίζονται με ίσα χρονικά διαστήματα, η καμπύλη του Σχήματος 2.4 είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για να συναχθεί το πλάτος αντιστοιχεί στο  $P_{st}=1$  για ένα συγκεκριμένο ρυθμό επανάληψης. Αυτό το πλάτος ονομάζεται  $d_{lim}$ . Η τιμή  $P_{st}$  που αντιστοιχεί στην μεταβολή τάσης " $d$ " δίνεται από τη σχέση

$$P_{st} = d/d_{lim} \quad (2.12)$$

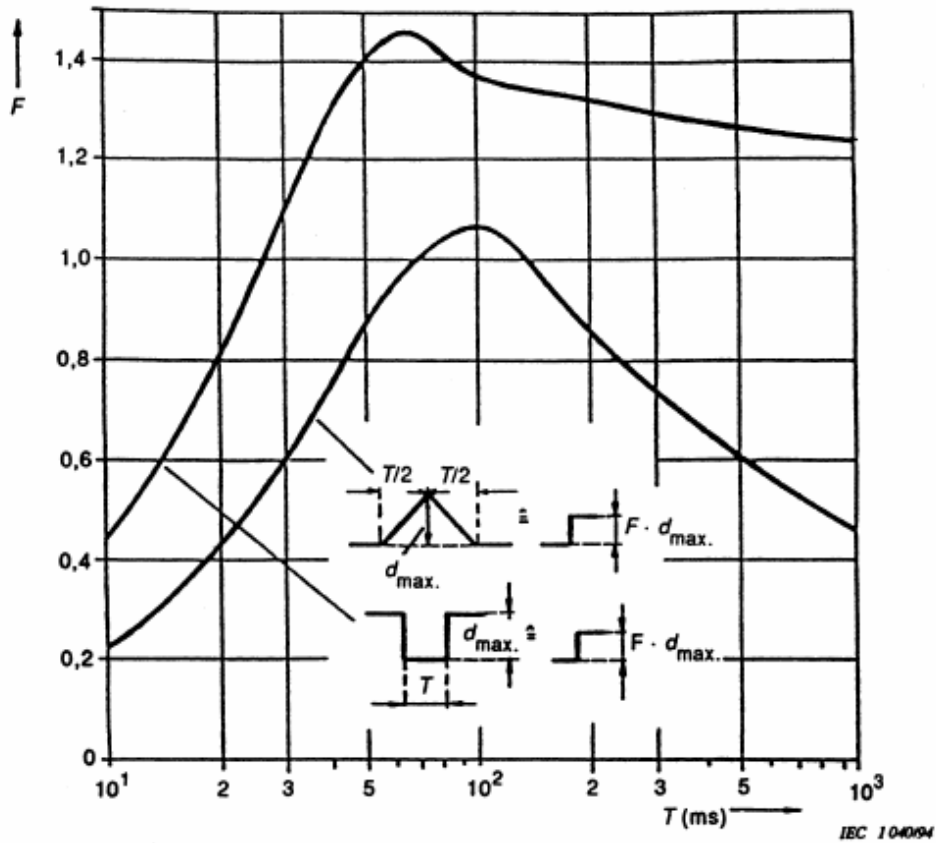


Σχήμα 2.4 – Καμπύλη  $P_{st}=1$  για βηματικές μεταβολές τάσης, χρονικά ισαπέχουσες μεταξύ τους [6].

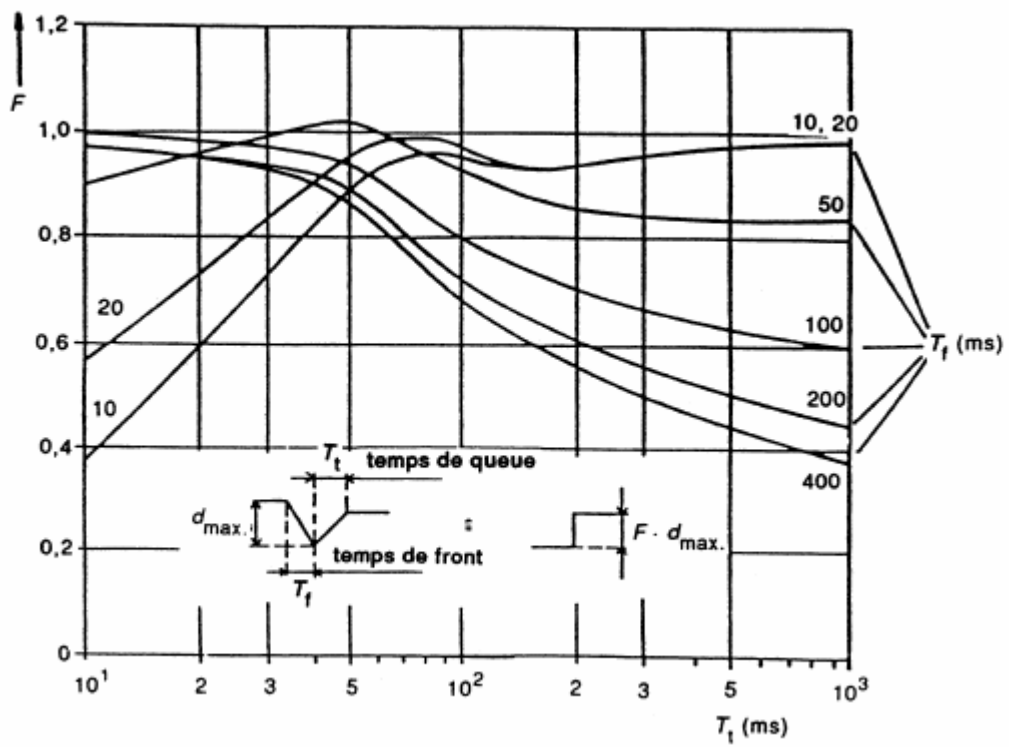


Σχήμα 2.5 – Παράγοντες μορφής  $F$  για χαρακτηριστικές τάσης τύπου διπλού βήματος και τύπου ράμπας [6].





Σχήμα 2.6 – Παράγοντες μορφής  $F$  για ορθογωνικές και τριγωνικές χαρακτηριστικές τάσης [6].



$$T_t = t_3 - t_2 \quad (\text{βλ. Σχήμα 2.3})$$

$$T_f = t_2 - t_1$$

Σχήμα 2.7 – Παράγοντας μορφής  $F$  για χαρακτηριστικές τάσης εκκίνησης κινητήρων με διάφορους χρόνους μετώπου [6].

### 2.3.5 Υπολογισμός του δείκτη flicker μακράς διάρκειας (long-term), $P_{lt}$

Ο υπολογισμός του δείκτη  $P_{lt}$  είναι γενικά απαραίτητος για συσκευές των οποίων η κανονική λειτουργία διαρκεί τουλάχιστον 30 λεπτά τη φορά. Η τιμή του δείκτη αυτού διαμορφώνεται από τις 12 διαδοχικές τιμές  $P_{st}$ , σύμφωνα με τη σχέση ([1])

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} P_{st,i}^3} \quad (2.13)$$

### 2.3.6 Διεξαγωγή δοκιμών

Αρχικά, και πάντα με βάση τα δεδομένα του ([6]), πρέπει να αναφερθεί πως δοκιμές δε χρειάζεται να γίνουν σε εξοπλισμό ο οποίος δεν είναι πιθανό να προκαλέσει σημαντικές διακυμάνσεις τάσης ή flicker, όπως συσκευές των οποίων η λειτουργία δε συνοδεύεται από συχνές ζεξυξεις / αποζεξυξεις ή συσκευές με χαμηλή μεταβλητότητα της ισχύος εισόδου τους.

Ακόμη, όσον αφορά στις μεταβολές τάσης εξαιτίας χειρισμών, εξοπλισμός με μέγιστη τιμή ρεύματος εισόδου που δεν υπερβαίνει τα 20A (συμπεριλαμβανομένου του ρεύματος μεταβατικής κατάστασης) και με τιμή ρεύματος μόνιμης κατάστασης εντός μιας ζώνης μεταβολής 1.5 A, θεωρείται ότι συμμορφώνεται με το παρόν πρότυπο χωρίς την ανάγκη διεξαγωγής δοκιμών.

Αναφορικά με τη σχετική μεταβολή τάσης  $d(t)$ , αυτή μπορεί να μετρηθεί απευθείας σύμφωνα με τις μεθόδους που περιγράφονται στον Πίνακα 2.4 ή να υπολογιστεί με βάση το ρεύμα, όπως περιγράφεται στο εδάφιο 2.3.3.

Οι συνθήκες δοκιμής για τη μέτρηση των διακυμάνσεων τάσης και του flicker δίνονται παρακάτω. Γενικά, η λειτουργία του υπό δοκιμή εξοπλισμού πρέπει να ρυθμιστεί ώστε να παράγει τις πλέον δυσμενείς ακολουθίες μεταβολών τάσης, χρησιμοποιώντας μόνο αυτούς τους συνδυασμούς ελέγχου και προγραμματισμού που αναφέρονται από τον κατασκευαστή στο εγχειρίδιο χρήσης, ή άλλους συνδυασμούς που είναι πιθανό να χρησιμοποιηθούν.

Προκαταρκτική λειτουργία των κινητήρων μπορεί να απαιτηθεί πριν από τις δοκιμές για να εξασφαλιστεί ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτές αντιστοιχούν σε κανονική χρήση.

Τέλος, η περίοδος παρατήρησης  $T_p$  για τη μέτρηση ή τον υπολογισμό των δεικτών flicker είναι:

- για τον  $P_{st}$ ,  $T_p = 10 \text{ min}$ ,
- για τον  $P_{lt}$ ,  $T_p = 2h$ .

Για την αξιολόγηση του  $P_{st}$ , ο κύκλος λειτουργίας πρέπει να επαναλαμβάνεται συνεχώς. Ο ελάχιστος χρόνος για την επανεκκίνηση του εξοπλισμού πρέπει να περιλαμβάνεται στην περίοδο παρατήρησης όταν δοκιμάζεται εξοπλισμός που σταματά αυτόματα στο τέλος ενός κύκλου λειτουργίας, διάρκειας μικρότερης της περιόδου παρατήρησης.

Για την αξιολόγηση του  $P_{lt}$ , ο κύκλος λειτουργίας δεν πρέπει να επαναληφθεί όταν ο υπό δοκιμή εξοπλισμός έχει κύκλο λειτουργίας λιγότερο από 2 ώρες και, υπό κανονικές συνθήκες, δε χρησιμοποιείται συνεχώς. Για παράδειγμα, στην περίπτωση εξοπλισμού με κύκλο λειτουργίας διάρκειας 45 λεπτών, πέντε διαδοχικές τιμές  $P_{st}$  θα πρέπει να μετρηθούν για την περίοδο των 50 λεπτών και οι υπόλοιπες επτά τιμές  $P_{st}$  (συνολική περίοδος παρατήρησης 2 ωρών) θα πρέπει να θεωρηθούν μηδενικές.

### 2.3.7 Όρια εκπομπών flicker

Τα όρια σε αυτό το πρότυπο ([6]) αφορούν τις μεταβολές τάσης που αντιμετωπίζουν οι καταναλωτές που συνδέονται στη διεπαφή μεταξύ του δημόσιου δικτύου χαμηλής τάσης και τον υπό δοκιμή εξοπλισμό. Κατά συνέπεια, αν η πραγματική αντίσταση του δικτύου στο σημείο διεπαφής υπερβαίνει την αντίσταση αναφοράς του δικτύου (βλ. Σχήμα 2.3), είναι πιθανή η εμφάνιση διαταραχών που θα υπερβαίνουν τα όρια.

Τα παρακάτω όρια εφαρμόζονται για τις διακυμάνσεις τάσης και το flicker στους ακροδέκτες του εξοπλισμού υπό δοκιμή.

- η τιμή του  $P_{st}$  δε θα πρέπει να υπερβαίνει τη τιμή 1.0,
- η τιμή του  $P_{lt}$  δε θα πρέπει να υπερβαίνει τη τιμή 0.65,
- η τιμή της  $d(t)$  κατά τη διάρκεια μιας μεταβολής τάσης δε θα πρέπει να υπερβαίνει το 3.3% για περισσότερο από 500ms,
- η σχετική μεταβολή τάσης σταθερής κατάστασης,  $d_c$ , δε θα πρέπει να υπερβαίνει το 3.3%,
- η μέγιστη σχετική μεταβολή τάσης,  $d_{max}$ , δε θα πρέπει να υπερβαίνει το
  1. 4%, ως γενικότερος κανόνας
  2. 6% για συσκευές που: α) τίθενται σε λειτουργία χειροκίνητα, ή β) τίθενται αυτόματα σε λειτουργία συχνότερα από 2 φορές την ημέρα και, έπειτα από μια διακοπή και επαναφορά της τροφοδοσίας τους, είτε επανεκκινούν με καθυστέρηση τουλάχιστον μερικών δεκάδων δευτερολέπτων, είτε επανεκκινούν χειροκίνητα.
  3. 7% για συσκευές που: α) τίθενται σε λειτουργία χειροκίνητα και λειτουργούν υπό ανθρώπινη παρακολούθηση (π.χ. πιστόλακι μαλλιών, ηλεκτρική σκούπα, ηλεκτρικό δράπανο και άλλα), ή β) τίθενται αυτόματα σε λειτουργία σπανιότερα από 2 φορές την ημέρα και, έπειτα από μια διακοπή και επαναφορά της τροφοδοσίας τους, είτε επανεκκινούν με καθυστέρηση τουλάχιστον μερικών δεκάδων δευτερολέπτων, είτε επανεκκινούν χειροκίνητα.

Με βάση τα παραπάνω, αναφορικά με τη μέγιστη σχετική μεταβολή τάσης,  $d_{max}$ , προκύπτει ότι τα όρια 6% και 7% εφαρμόζεται μόνο εφόσον υπάρχει καθυστέρηση ή χειροκίνητη επανεκκίνηση μετά από διακοπή της τροφοδοσίας. Για το σύνολο του εξοπλισμού που τίθεται σε λειτουργία αυτόματα και ενεργοποιείται άμεσα κατά την αποκατάσταση της παροχής μετά από μια διακοπή παροχής ρεύματος, εφαρμόζεται το όριο 4%. Πρέπει επίσης να αναφερθεί πως για το σύνολο του εξοπλισμού που τίθενται σε λειτουργία χειροκίνητα, εφαρμόζονται τα όρια 6% και 7% ανάλογα με τον ημερήσιο ρυθμό εναλλαγής της κατάστασής τους (on↔off).

Επιπρόσθετα, οι δείκτες  $P_{st}$  και  $P_{lt}$  δε θα πρέπει να υπολογίζονται σε περιπτώσεις μεταβολών τάσης εξαιτίας χειρισμών.

Τέλος, το σύνολο των περιορισμών του προτύπου 61000-3-3 (όρια για μεταβολές τάσης, διακυμάνσεις τάσης και flicker) δεν εφαρμόζεται σε περιπτώσεις μεταβολών τάσης λόγω έκτακτων καταστάσεων (π.χ. όταν τίθεται σε λειτουργία κάποιο σύστημα αυτοπροστασίας του υπό δοκιμή εξοπλισμού).

### **2.3.8 Κατευθύνσεις για περαιτέρω εμβάθυνση**

Ο αναγνώστης που ενδιαφέρεται να εξοικειωθεί σε μεγαλύτερο βαθμό με το Πρότυπο IEC 61000-3-3 ([6]) προτείνεται να ανατρέξει στο ίδιο το πρότυπο αυτό. Λεπτομέρειες σχετικά με τις προδιαγραφές της πηγής τροφοδοσίας και του μετρητικού εξοπλισμού για την πραγματοποίηση των δοκιμών μπορούν να αναζητηθούν εκεί. Επίσης, μπορούν να αντληθούν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες διεξαγωγής δοκιμών σε συγκεκριμένους τύπους δοκιμών, όπως οικιακές συσκευές ήχου και εικόνας, εξοπλισμός γραφείου, λευκές οικιακές συσκευές, φωτιστικό εξοπλισμό και συσκευές ηλεκτροσυγκόλλησης ερασιτεχνικού τύπου.

Τέλος, το παρόν κείμενο σκοπίμως δεν επεκτείνεται στην περιγραφή των παραπάνω δεδομένων, καθώς κρίθηκε πως και χωρίς αυτά, ο αναγνώστης μπορεί να κατανοήσει τα βασικά σημεία του Προτύπου IEC 61000-3-3:2005 αλλά και να είναι ικανός να πραγματοποιήσει δοκιμές – όπως αυτή του υποκεφαλαίου 5.3- για τη μεγαλύτερη πλειοψηφία ηλεκτρικών συσκευών.

## **2.4 IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμές ατρωσίας σε βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης**

### **2.4.1 Πεδίο εφαρμογής**

Αυτό το μέρος της οικογένειας προτύπων IEC 61000 ([7]) 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.

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

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

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

### **2.4.2 Χρήσιμοι ορισμοί**

Στο [7] περιλαμβάνονται, μεταξύ άλλων, οι παρακάτω χρήσιμοι ορισμοί:

- Βύθιση τάσης. Μια ξαφνική μείωση της τάσης σε ένα συγκεκριμένο σημείο του συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο βύθισης, ακολουθούμενη από

την αποκατάστασή της μετά από ένα σύντομο χρονικό διάστημα. Συνήθως, μια βύθιση σχετίζεται με την εμφάνιση και τη λήξη ενός βραχυκυκλώματος ή άλλης ακραίας αύξησης του ρεύματος στο σύστημα ή σε εγκαταστάσεις που συνδέονται σε αυτό. Επίσης, είναι μια διαδιάστατη ηλεκτρομαγνητική διαταραχή, το επίπεδο της οποίας καθορίζεται από την τάση και του χρόνο (διάρκεια).

- Σύντομη διακοπή. Μια ξαφνική μείωση της τάσης όλων των φάσεων σε ένα συγκεκριμένο σημείο ενός συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο διακοπής, ακολουθούμενη από την αποκατάστασή της μετά από ένα σύντομο χρονικό διάστημα. Οι σύντομες διακοπές κατά κανόνα συνδέονται με λειτουργίες του εξοπλισμού διανομής που σχετίζονται με την εμφάνιση και τη λήξη βραχυκυκλωμάτων στο σύστημα ή σε εγκαταστάσεις που συνδέονται σε αυτό.

### 2.4.3 Κατηγοριοποίηση του υπό δοκιμή εξοπλισμού

Οι ακόλουθες κλάσεις ηλεκτρομαγνητικής φύσεως συνοψίζονται από το IEC 61000-2-4 ([23]).

- Κλάση 1  
Η κλάση αυτή για έχει επίπεδα συμβατότητας χαμηλότερα από τα επίπεδα του δημοσίου δικτύου. Σχετίζεται με τη χρήση εξοπλισμού πολύ ευαίσθητου σε διαταραχές στην παροχή ρεύματος, για παράδειγμα, όργανα μέτρησης των τεχνολογικών εργαστηρίων, συστήματα αυτοματισμών, συστήματα ασφαλείας, ορισμένους υπολογιστές κ.λπ. Γενικότερα, η κλάση 1 περιλαμβάνει τον εξοπλισμό που, υπό κανονικές συνθήκες, η χρήση του πρέπει να συνδυαστεί με συσκευές προστασίας, όπως UPS, φίλτρα και άλλα.
- Κλάση 2  
Η κλάση αυτή εφαρμόζεται στα σημεία της κοινής ζεύξης (Points of Common Coupling ή PCC's για τα συστήματα καταναλωτών) και στα σημεία της κοινής ζεύξης εντός εγκαταστάσεων στο βιομηχανικό περιβάλλον (In-plant Points of Common coupling ή IPC's). Τα επίπεδα συμβατότητας σε αυτή την κατηγορία είναι πανομοιότυπα με εκείνα των δημοσίων δικτύων. Επομένως, συσκευές που προορίζονται για χρήση σε δημόσια δίκτυα ηλεκτρισμού, μπορούν να ενταχθούν σε αυτή την κατηγορία βιομηχανικού περιβάλλοντος.
- Κλάση 3  
Η κλάση αυτή αφορά μόνο τα IPC's σε βιομηχανικό περιβάλλον. Έχει επίπεδα συμβατότητας υψηλότερα από εκείνα της Κλάσης 2 για ορισμένα φαινόμενα διαταραχής. Για παράδειγμα, η κατηγορία αυτή θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν ισχύει οποιαδήποτε από τις ακόλουθες προϋποθέσεις: α) ένα μεγάλο μέρος του φορτίου τροφοδοτείται μέσω μετατροπέων, β) υπάρχουν συσκευές ηλεκτροσυγκόλλησης, γ) συμβαίνουν συχνές εκκινήσεις μεγάλων κινητήρων και δ) συμβαίνουν γρήγορες μεταβολές φορτίων.

Οι τάσεις σε αυτό το πρότυπο ([7]) χρησιμοποιούν την ονομαστική τάση του εξοπλισμού ( $U_t$ ) ως βάση των προδιαγραφών για τα επίπεδα τάσης των δοκιμών. Όταν όμως η ονομαστική τάση του εξοπλισμού καλύπτει ένα φάσμα, ισχύουν τα εξής:

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

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

Σύμφωνα με τους ορισμούς του [7], η αλλαγή μεταξύ της ονομαστικής τάσης  $Ut$  και της τάσης δοκιμής είναι απότομη. Τα ακόλουθα επίπεδα τάσης δοκιμής (σε %  $Ut$ ) χρησιμοποιούνται: 0%, 40%, 70% και 80%, που αντιστοιχούν σε βυθίσεις με εναπομένονσα τάση 0%, 40%, 70% και 80%.

Για βυθίσεις τάσης, τα προτιμώμενα επίπεδα και διάρκειες δοκιμών παρατίθενται στον Πίνακα 2.5, ενώ παραδείγματα φαίνονται στα Σχήματα 2.8 και 2.9. Τα προτιμώμενα επίπεδα δοκιμών του Πίνακα 2.5 είναι αρκετά αυστηρά και είναι αντιπροσωπευτικά πολλών βυθίσεων τάσης που συμβαίνουν στην πραγματικότητα, αλλά δεν έχουν ως στόχο να εγγυηθούν τη ατρωσία του υπό δοκιμή εξοπλισμού έναντι σε όλες τις δυνατές βυθίσεις τάσης. Οι πιο σύντομες διάρκειες του πίνακα, και ιδίως αυτές του μισού κύκλου, θα πρέπει να ελέγχονται για να βεβαιωθεί ότι ο εξοπλισμός υπό δοκιμή λειτουργεί εντός των ορίων απόδοσης που καθορίζονται για αυτόν.

Για σύντομες διακοπές τάσης, τα προτιμώμενα επίπεδα και διάρκειες δοκιμών παρατίθενται στον Πίνακα 2.6, ενώ ένα παραδείγματα φαίνεται στο Σχήμα 2.10.

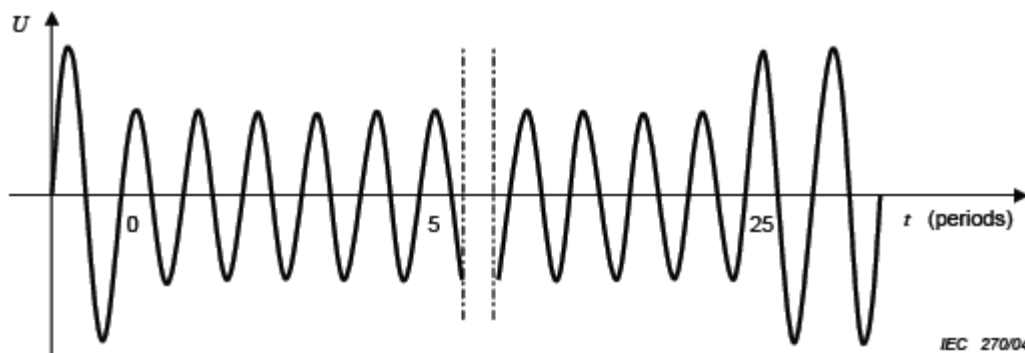
Να αναφερθεί εδώ ότι ένα επίπεδο δοκιμή της τάξης του 0% αντιστοιχεί σε συνολική διακοπή της τάσης τροφοδοσίας. Στην πράξη, ένα επίπεδο τάσης δοκιμής της τάξης από 0% έως 20% της ονομαστικής τάσης μπορεί να θεωρηθεί ως συνολική διακοπή τάσης.

Κλάση	Επίπεδα και διάρκειες δοκιμών για βυθίσεις τάσης ( $t_s$ ) (50Hz)				
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 κύκλους		
Κλάση 3	0% για ½ κύκλο	0% για 1 κύκλο	40% για 12 κύκλους	70% για 25 κύκλους	80% για 250 κύκλους

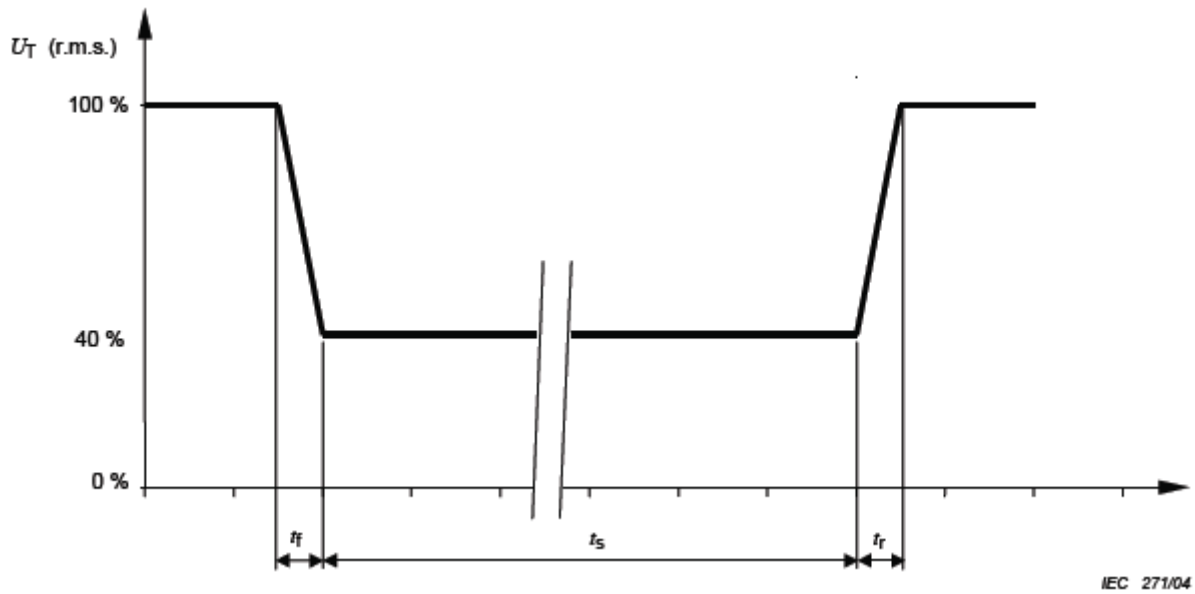
Πίνακας 2.5 – Προτιμώμενα επίπεδα και διάρκειες δοκιμών για βυθίσεις τάσης [7].

Κλάση	Επίπεδα και διάρκειες δοκιμών για σύντομες διακοπές τάσης ( $t_s$ ) (50Hz)
Κλάση 1	Εξέταση της κάθε περίπτωσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εξοπλισμού
Κλάση 2	0% για 250 κύκλους
Κλάση 3	0% για 250 κύκλους

Πίνακας 2.6 - Προτιμώμενα επίπεδα και διάρκειες δοκιμών για σύντομες διακοπές τάσης [7].

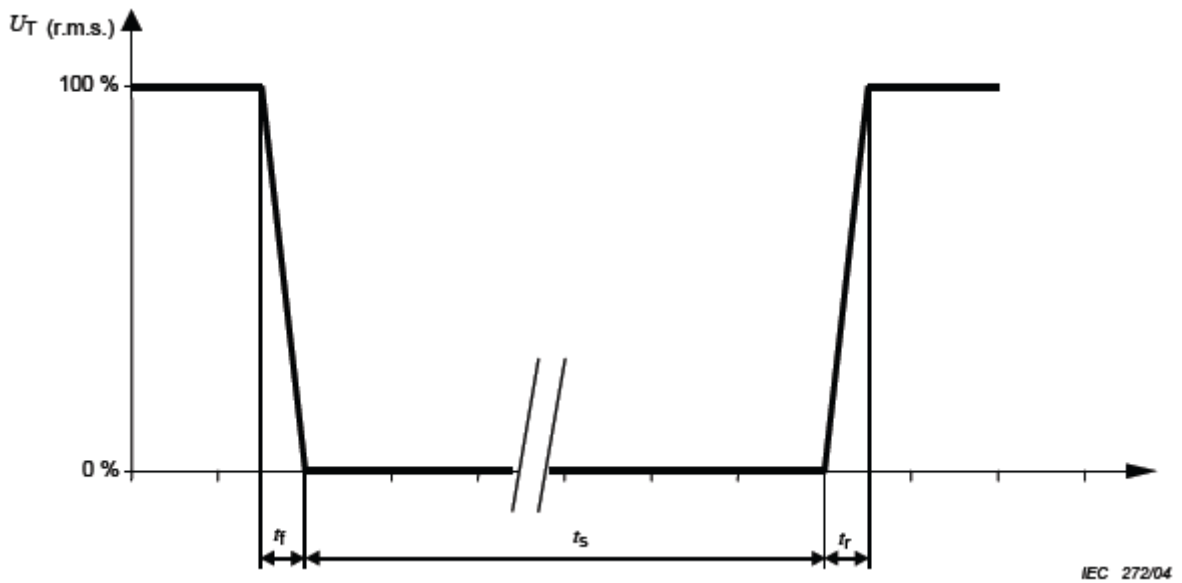


Σχήμα 2.8 – Γράφημα ημιτονοειδούς κύματος για βύθιση τάσης σε επίπεδο 70% για 25 κύκλους [7].



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

Σχήμα 2.9 – Γράφημα r.m.s. τάσης για βύθιση τάσης σε επίπεδο 40%



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

Σχήμα 2.10 – Σύντομη διακοπή τάσης [7].

## 2.4.5 Επίπεδα δοκιμών για διακυμάνσεις τάσης

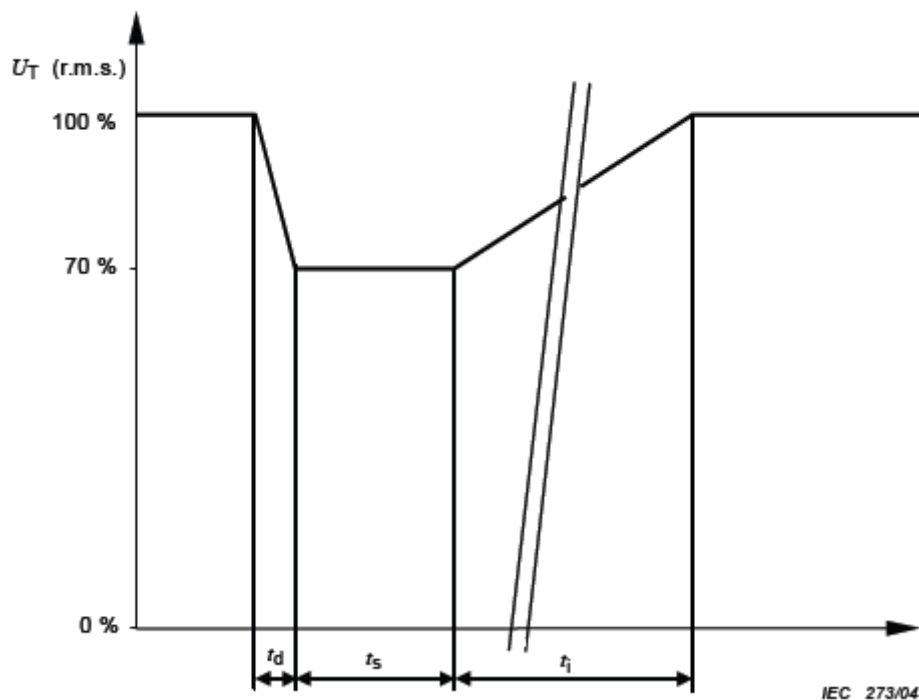
Η δοκιμή αυτή θεωρεί μια καθορισμένη μετάβαση μεταξύ της ονομαστικής τάσης  $U_T$  και της τάσης δοκιμής. Η μεταβολή της τάσης γίνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα και μπορεί να συμβεί λόγω αλλαγής του φορτίου.

Η προτιμώμενη διάρκεια των μεταβολών τάσης και ο χρόνος κατά τον οποίο οι μειωμένες τάσεις θα πρέπει να διατηρηθούν παρατίθενται στον Πίνακα 2.7.

Επίπεδο τάσης δοκιμής	Χρόνος μείωσης της τάσης ( $t_d$ )	Χρόνος παραμονής σε μειωμένη τάση ( $t_s$ )	Χρόνος αύξησης της τάσης ( $t_i$ )
70%	1 $\mu$ s έως 5 $\mu$ s	1 κύκλος	25 κύκλοι

Πίνακας 2.7 - Χρονοδιάγραμμα διακυμάνσεων τάσης βραχείας διάρκειας [7].

Το Σχήμα 2.11 δείχνει την ενεργό τάση ως συνάρτηση του χρόνου. Αυτό το σχήμα είναι το τυπικό σχήμα για την εκκίνηση ενός κινητήρα.



$t_d$  : χρόνος μείωσης της τάσης

$t_i$  : χρόνος αύξησης της τάσης

$t_s$  : χρόνος παραμονής σε μειωμένη τάση

Σχήμα 2.11 – Διακύμανση τάσης [7].

## 2.4.6 Διεξαγωγή δοκιμών

Σύμφωνα με το [7], οι κλιματικές συνθήκες στο εργαστήριο πρέπει να είναι εντός των ορίων που καθορίζονται, για τη λειτουργία του εξοπλισμού υπό δοκιμή και του εξοπλισμού δοκιμών, από τους αντίστοιχους κατασκευαστές τους. Επίσης, οι ηλεκτρομαγνητικές



συνθήκες του εργαστηρίου πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να εξασφαλίζεται η ορθή λειτουργία του εξοπλισμού υπό δοκιμή, έτσι ώστε να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών.

Όσο αφορά τις δοκιμές βυθίσεων / σύντομων διακοπών τάσης, ο υπό δοκιμή εξοπλισμός θα πρέπει να δοκιμάζεται για τον επιλεγμένο συνδυασμό επιπέδου τάσης δοκιμής και χρόνου, με μια αλληλουχία τριών βυθίσεων / διακοπών, με διαστήματα των 10s κατ' ελάχιστο (μεταξύ των βυθίσεων / διακοπών). Κάθε αντιπροσωπευτικός τρόπος λειτουργίας θα πρέπει να ελέγχεται.

Για τη δοκιμή σύντομης διακοπής τάσης σε τριφασικό εξοπλισμό, όλες οι φάσεις θα πρέπει να δοκιμάζονται συγχρόνως, σύμφωνα με το εδάφιο 2.4.4.

Για τη δοκιμή βύθισης τάσης σε μονοφασικό εξοπλισμό, αυτή θα πρέπει να διεξάγεται σύμφωνα με το εδάφιο 2.4.4. Αυτό συνεπάγεται μία σειρά δοκιμών.

Για τη δοκιμή βύθισης τάσης σε τριφασικό εξοπλισμό με ουδέτερο, κάθε τάση (φασική και πολική) θα πρέπει να ελέγχεται μεμονωμένα, δηλαδή μία κάθε φορά, σύμφωνα με το εδάφιο 2.4.4. Αυτό σημαίνει έξι διαφορετικές σειρές δοκιμών.

Για τη δοκιμή βύθισης τάσης σε τριφασικό εξοπλισμό χωρίς ουδέτερο, κάθε πολική τάση θα πρέπει να ελέγχεται μεμονωμένα, δηλαδή μία κάθε φορά, σύμφωνα με το εδάφιο 2.4.4. Αυτό συνεπάγεται τρεις διαφορετικές σειρές δοκιμών.

Όσο αφορά τη δοκιμή διακυμάνσεων τάσης, ο υπό δοκιμή εξοπλισμός θα πρέπει να ελέγχεται σύμφωνα με το εδάφιο 2.4.5, τρεις φορές με διαστήματα των 10s (μεταξύ των διακυμάνσεων), για τις πιο αντιπροσωπευτικές μορφές λειτουργίας του.

Τέλος, για κάθε δοκιμή, κάθε υποβάθμιση των επιδόσεων πρέπει να καταγράφεται, ενώ μετά από κάθε ομάδα δοκιμασιών πρέπει να γίνεται πλήρης λειτουργικός έλεγχος.

#### **2.4.7 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων**

Τα αποτελέσματα της δοκιμής πρέπει να ταξινομούνται σε συνάρτηση με την απώλεια λειτουργίας ή υποβάθμισης της απόδοσης του εξοπλισμού υπό δοκιμή, σε σχέση με το επίπεδο των επιδόσεων που ορίζονται από τον κατασκευαστή ή τον αιτούντα της δοκιμής, ή έχει συμφωνηθεί μεταξύ του κατασκευαστή και του αγοραστή του προϊόντος. Η συνιστώμενη κατάταξη έχει ως εξής ([7]):

1. κανονική εκτέλεση εντός των ορίων που καθορίζονται από τον κατασκευαστή, τον αιτούντα ή τον αγοραστή
2. προσωρινή απώλεια της λειτουργίας ή μείωση της επίδοσης η οποία όμως παύει μετά το τέλος της διαταραχής, ενώ ο υπό δοκιμή εξοπλισμός ανακτά τις κανονικές επιδόσεις του, χωρίς την παρέμβαση του χειριστή
3. προσωρινή απώλεια της λειτουργίας ή υποβάθμιση των επιδόσεων, η διόρθωση των οποίων απαιτεί την παρέμβαση του χειριστή
4. απώλεια της λειτουργίας ή μείωση της επίδοσης που δεν είναι ανακτήσιμη, λόγω ζημιών στο υλικό ή το λογισμικό, ή απώλεια δεδομένων

Πάντως, οι προδιαγραφές του κατασκευαστή μπορεί να καθορίσουν επιπτώσεις στον υπό δοκιμή εξοπλισμό που μπορούν να θεωρηθούν ασήμαντες και συνεπώς αποδεκτές.

#### **2.4.8 Κατευθύνσεις για περαιτέρω εμβάθυνση**

Ο αναγνώστης που ενδιαφέρεται να εξοικειωθεί σε μεγαλύτερο βαθμό με το Πρότυπο IEC 61000-4-11 ([7]) προτείνεται να ανατρέξει στο ίδιο το πρότυπο αυτό. Λεπτομέρειες σχετικά με το κύκλωμα αναφοράς δοκιμών, τις προδιαγραφές της πηγής τροφοδοσίας και των εξειδικευμένων συναρτήσεων τάσης που εφαρμόζονται για την πραγματοποίηση των δοκιμών, μπορούν να αναζητηθούν εκεί. Επίσης, μπορούν να αντληθούν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την κατάρτιση ενός προτεινόμενου πλάνου για την εκτέλεση μιας δοκιμής, αλλά και τη δημιουργία του κειμένου αναφοράς μιας δοκιμής (test report).

Το παρόν κείμενο σκοπίμως δεν επεκτείνεται στην περιγραφή των παραπάνω δεδομένων, καθώς κρίθηκε πως και χωρίς αυτά, ο αναγνώστης μπορεί να κατανοήσει τα βασικά σημεία του Προτύπου IEC 61000-4-11:2004 αλλά και να είναι ικανός να πραγματοποιήσει δοκιμές – όπως αυτή του υποκεφαλαίου 5.4- για μια μεγάλη πλειοψηφία δοκιμών.

### **2.5 IEC 61000-4-13 Ed. 1.0 (2002). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Αρμονικές και διαρμονικές (interharmonics) συμπεριλαμβανομένης της σηματοδότησης στα δίκτυα εναλλασσομένου ρεύματος, δοκιμές ατρωσίας χαμηλής συχνότητας**

#### **2.5.1 Πεδίο εφαρμογής**

Αυτό το μέρος της οικογένειας προτύπων IEC 61000 ([8]) καθορίζει τις μεθόδους δοκιμής ατρωσίας και το φάσμα των συνιστώμενων βασικών επιπέδων δοκιμής για ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό με ονομαστικό ρεύμα μέχρι και 16 A ανά φάση, για συχνότητες διαταραχής έως και 2 kHz (για 50 Hz δίκτυο ηλεκτρισμού) λόγω αρμονικών και διαρμονικών (interharmonics) στα δίκτυα χαμηλής τάσης.

Το αντικείμενο του παρόντος προτύπου είναι να καθορίσει ένα κοινό σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση της ατρωσίας που παρουσιάζει ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός κατά τη λειτουργία του, όταν υποβάλλεται σε αρμονικές, διαρμονικές και συχνότητες σηματοδότησης του ηλεκτρικού δικτύου.

Τα επίπεδα που προτείνονται θα είναι περισσότερο προσαρμοσμένα σε περιβάλλοντα οικιακών και εμπορικών καταναλωτών, αλλά και στην ελαφριά βιομηχανία.

#### **2.5.2 Περιγραφή φαινομένου**

Στο [8] περιλαμβάνονται, μεταξύ άλλων, οι παρακάτω χρήσιμοι ορισμοί:

- Αρμονικές  
Οι αρμονικές είναι ημιτονοειδείς τάσεις και ρεύματα με συχνότητες που είναι ακέραια πολλαπλάσια της συχνότητας με την οποία το σύστημα τροφοδοσίας λειτουργεί. Οι αρμονικές διαταραχές συνήθως προκαλούνται από εξοπλισμό με μη-γραμμική χαρακτηριστική τάσης – ρεύματος. Τέτοιος εξοπλισμός μπορεί να θεωρηθεί ως πηγή αρμονικών ρευμάτων. Οι αρμονικές ρεύματος από τις διάφορες πηγές παράγουν αρμονικές πτώσεις τάσης κατά μήκος της σύνθετης αντίστασης του δικτύου. Ως αποτέλεσμα της χωρητικότητας των καλωδίων, της αυτεπαγωγής των γραμμών και της σύνδεσης πυκνωτών για της διόρθωση του συντελεστή ισχύος, συντονισμοί

μπορεί να εμφανιστούν στο δίκτυο και να προκληθεί έτσι μια ενίσχυση της αρμονικής τάσης, ακόμη και σε ένα σημείο μακριά από το φορτίου που παραμορφώνει.

Οι αρμονικές παράγονται σε μικρότερο βαθμό από την παραγωγή, τη μεταφορά και τον εξοπλισμό διανομής και σε μεγαλύτερο βαθμό από βιομηχανικά και οικιακά φορτία. Ειδικότερα, ελεγχόμενες και μη ελεγχόμενες ανορθωτικές διατάξεις παράγουν σημαντικά αρμονικά ρεύματα, τα οποία μάλιστα, παρ' ότι πιθανόν προέρχονται από διαφορετικές πηγές, είναι σχεδόν συμφασικά. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται σε ανεπαρκή αντιστάθμισή τους στο δίκτυο.

- Διαρμονικές

Μεταξύ των αρμονικών συχνοτήτων τάσης και ρεύματος, επιπρόσθετες συχνότητες μπορούν να παρατηρηθούν, οι οποίες δεν αποτελούν ακέραιο πολλαπλάσιο της θεμελιώδους. Μπορούν να εμφανίζονται ως διακριτές συχνότητες ή ως ένα φάσμα ευρείας ζώνης.

Πηγές διαρμονικών μπορεί να βρεθούν σε δίκτυα χαμηλής τάσης, καθώς επίσης και σε δίκτυα μέσης και υψηλής τάσης. Διαρμονικές που παράγονται στην υψηλή και στη μέση τάση ρέουν και στα δίκτυα χαμηλής τάσης που τροφοδοτούν και αντίστροφα. Κύριες πηγές τους είναι οι κυκλομετατροπείς, οι συσκευές ηλεκτροσυγκόλλησης και οι υψικάμινοι.

- Σηματοδότηση δικτύου

Πρόκειται για σήματα συχνοτήτων από 110 Hz έως 3 kHz που χρησιμοποιούνται σε δίκτυα ή τμήματά τους, προκειμένου να γίνει ανταλλαγή πληροφοριών από ένα σημείο αποστολής σε ένα ή περισσότερα σημεία λήψης. Για το πεδίο εφαρμογής του προτύπου 61000-4-13, το φάσμα συχνοτήτων είναι περιορισμένο στα 2 kHz (για 50 Hz συχνότητα δικτύου).

Τέτοια σήματα χρησιμοποιούνται προκειμένου ο προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας να μπορεί να ελέγχει τον εξοπλισμό του δικτύου παροχής (δημόσιος φωτισμός, τα τιμολόγια για τους μετρητές, κ.λπ.). Οι πομποί συνδέονται στο σύστημα υψηλής, μέσης ή χαμηλής τάσης. Λειτουργούν με διακοπτόμενα σήματα, και, κανονικά, για μικρό χρονικό διάστημα μόνο. Οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται συνήθως βρίσκονται μεταξύ των αρμονικών.

### 2.5.3 Συνδυαστικές δοκιμές τύπου “flat curve” και “over swing”

Ο υπό δοκιμή εξοπλισμός υποβάλλεται ουσιαστικά σε ένα συνδυασμό δοκιμών ([8]), με βάση την καμπύλη τύπου “flat curve” και με βάση την καμπύλη τύπου “over swing”, σύμφωνα με τους Πίνακες 2.8 και 2.9 αντίστοιχα. Κάθε μία δοκιμή διαρκεί 2 λεπτά. Οι καμπύλες για τις δύο δοκιμές φαίνονται στα Σχήματα 2.12 και 2.13 αντίστοιχα.

Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.12 για την καμπύλη “flat curve”, η τάση είναι μια περιοδική συνάρτηση του χρόνου, με την κάθε ημιπερίοδο να αποτελείται από τρία μέρη:

1. Το πρώτο μέρος ξεκινάει από μηδενική τάση ακολουθώντας τη συνάρτηση ημιτόνου μέχρι το 90% της μέγιστης τιμής της όταν πρόκειται για εξοπλισμό κλάσης 2, ή μέχρι το 80% της μέγιστης τιμής της όταν πρόκειται για εξοπλισμό κλάσης 3.
2. Στο δεύτερο μέρος η τάση παραμένει σταθερή.
3. Το τρίτο μέρος είναι αντίστοιχο του πρώτου μέρους.

Επίσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.13 για την καμπύλη “over swing”, αυτή αποτελεί μια συνάρτηση ημιτόνου στη συχνότητα της θεμελιώδους (50 Hz), στην οποία έχουν υπερτεθεί οι συναρτήσεις ημιτόνου  $3^{15}$  και  $5^{15}$  αρμονικής με συγκεκριμένες διαφορές φάσης.

Συνάρτηση (μέρος 1 και μέρος 3)	Τάση (μέρος 1 και μέρος 3)	Συνάρτηση (μέρος 2)	Τάση (μέρος 2)	Κλάση του υπό δοκιμή εξοπλισμού
$0 \leq  \sin(\omega t)  \leq 0.95$	$u = U_1 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t)$	$0.95 \leq  \sin(\omega t)  \leq 1$	$u = \pm 0.95 \cdot U_1 \cdot \sqrt{2}$	1
$0 \leq  \sin(\omega t)  \leq 0.9$	$u = U_1 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t)$	$0.9 \leq  \sin(\omega t)  \leq 1$	$u = \pm 0.9 \cdot U_1 \cdot \sqrt{2}$	2
$0 \leq  \sin(\omega t)  \leq 0.8$	$u = U_1 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t)$	$0.8 \leq  \sin(\omega t)  \leq 1$	$u = \pm 0.8 \cdot U_1 \cdot \sqrt{2}$	3

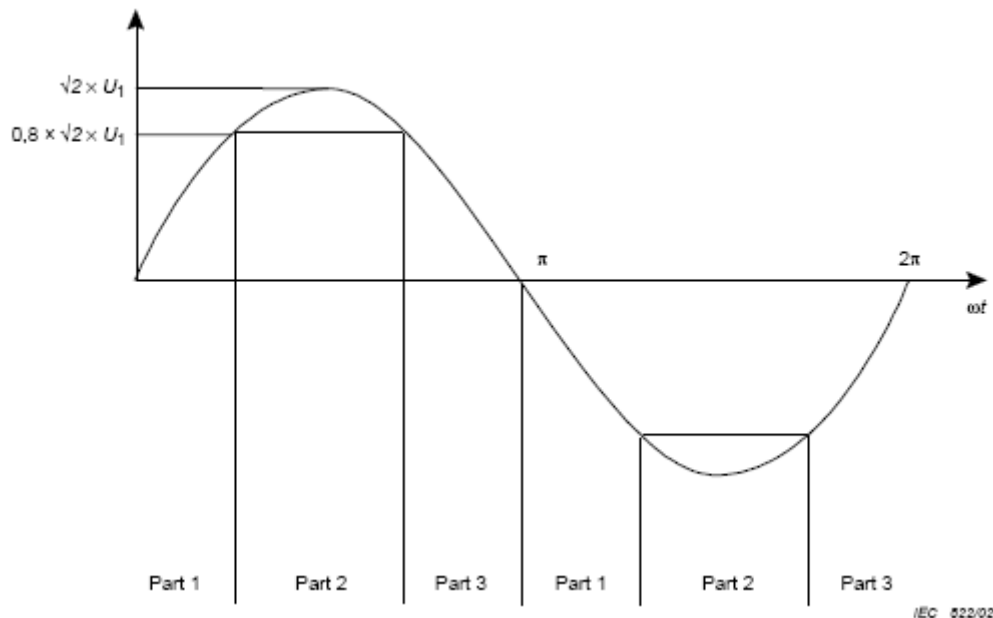
Σημείωση 1: η r.m.s. τιμή της θεμελιώδους,  $U_1$ , είναι τέτοια ώστε η τελική r.m.s. τιμή να προκύπτει πάντα ίση με την ονομαστική που προδιαγράφεται για τον εκάστοτε υπό δοκιμή εξοπλισμό.  
Σημείωση 2: οι κλάσεις 1, 2 και 3 ορίζονται στο εδάφιο 2.4.3.

Πίνακας 2.8 – Συνάρτηση “flat curve” [8].

Τάξη αρμονικής $h$	3	5	Κλάση του υπό δοκιμή εξοπλισμού
% της $U_1$ / φάση	4% / $180^\circ$	3% / $0^\circ$	1
% της $U_1$ / φάση	6% / $180^\circ$	4% / $0^\circ$	2
% της $U_1$ / φάση	8% / $180^\circ$	5% / $0^\circ$	3

Σημείωση 1: η r.m.s. τιμή της θεμελιώδους,  $U_1$ , είναι τέτοια ώστε η τελική r.m.s. τιμή να προκύπτει πάντα ίση με την ονομαστική που προδιαγράφεται για τον εκάστοτε υπό δοκιμή εξοπλισμό.  
Σημείωση 2: οι κλάσεις 1, 2 και 3 ορίζονται στο εδάφιο 2.4.3.

Πίνακας 2.9 – Συνάρτηση “over swing” [8].



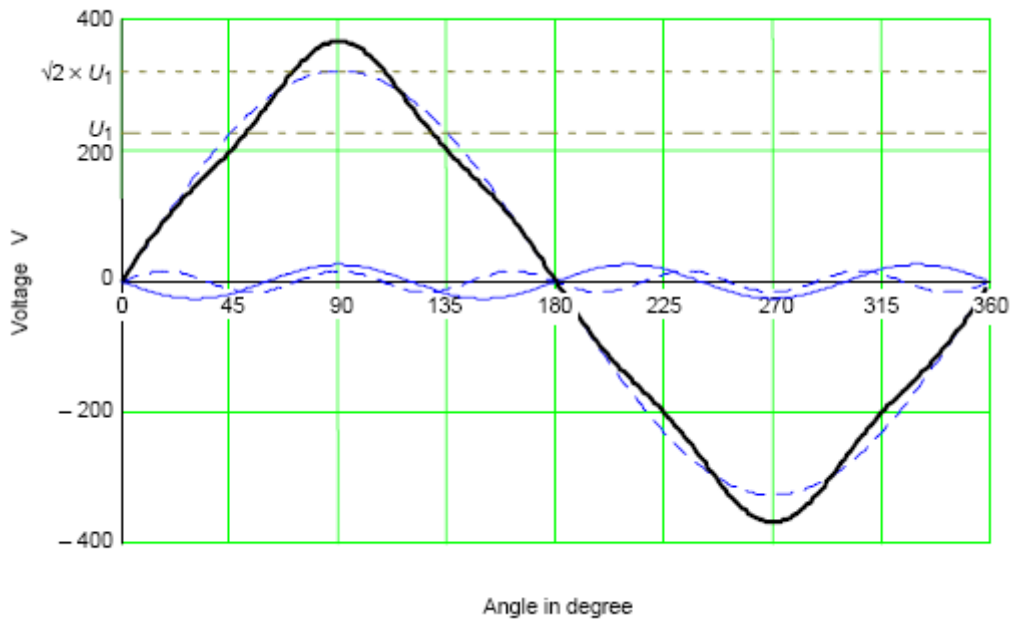
Παράδειγμα για κλάση 3:

$$U_1 = 255.7V \text{ (r.m.s. τιμή θεμελιώδους)}$$

$$\sqrt{2} \cdot U_1 = 361.6V \text{ (τάση κορυφής)}$$

$$0.8 \cdot \sqrt{2} \cdot U_1 = 289.3V \text{ (μέγιστη τάση της “flat curve”) } \quad U_{r.m.s.} = 230V \text{ (r.m.s. τιμή “flat curve”)}$$

Σχήμα 2.12 – Κυματομορφή “flat curve” [8].



IEC 623/02

Παράδειγμα για κλάση 3:  
 $U_{r.m.s.} = 230\text{ V}$  (τελική τάση)  
 $U_1 = 229\text{ V}$  (θεμελιώδης συνιστώσα)  
 $h = 3$ : 8% της  $U_1 / 180^\circ$   
 $h = 5$ : 5% της  $U_1 / 0^\circ$

Σχήμα 2.13 – Κυματομορφή “over swing”

#### 2.5.4 Δοκιμή τύπου “Sweep in frequencies”

Το πλάτος της τάσης για τις συχνότητες σάρωσης εξαρτάται από την περιοχή συχνοτήτων (βλ. Πίνακα 2.10 και Σχήμα 2.14). Η σάρωση (αναλογική μετάβαση μεταξύ συχνοτήτων) ή ο ρυθμός του βήματος (ψηφιακή μετάβαση μεταξύ συχνοτήτων) θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε ο χρόνος που απαιτείται ανά δεκάδα να μην είναι λιγότερο από 5 λεπτά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.14. Η συχνότητα σάρωσης θα παραμείνει σε συχνότητες όπου που διαπιστώθηκαν μη κανονικές επιδόσεις, καθώς και σε όλες τις συχνότητες συντονισμού. Για κάθε σημείο παραμονής, ο χρόνος δοκιμής θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 120 sec.

Για τους σκοπούς του παρόντος προτύπου ([8]), η συχνότητα συντονισμού έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: Εάν η αρμονική ή η διαρμονική ρεύματος, για αρμονική τάση σταθερού πλάτους, έχει φτάσει μια μέγιστη τιμή σε μια συχνότητα  $f$ , και το ρεύμα μειωθεί κατά τουλάχιστον 3 dB στο διάστημα  $f_{res}$  έως  $1.5 \times f_{res}$ , η συχνότητα  $f$  είναι συμβολίζεται ως συχνότητα συντονισμού  $f_{res}$ . Εάν η μέγιστη τιμή του ρεύματος έχει επιτευχθεί σε συνδυασμό με μια αλλαγή του πλάτους της αρμονικής τάσης, τότε η αναζήτηση για την συχνότητα συντονισμού πρέπει να επαναληφθεί σε χαμηλότερο αλλά σταθερό πλάτος τάσης. Ο καθορισμός των συχνοτήτων συντονισμού πρέπει να πραγματοποιείται με την ολοκλήρωση της δοκιμής “sweep in frequencies”.

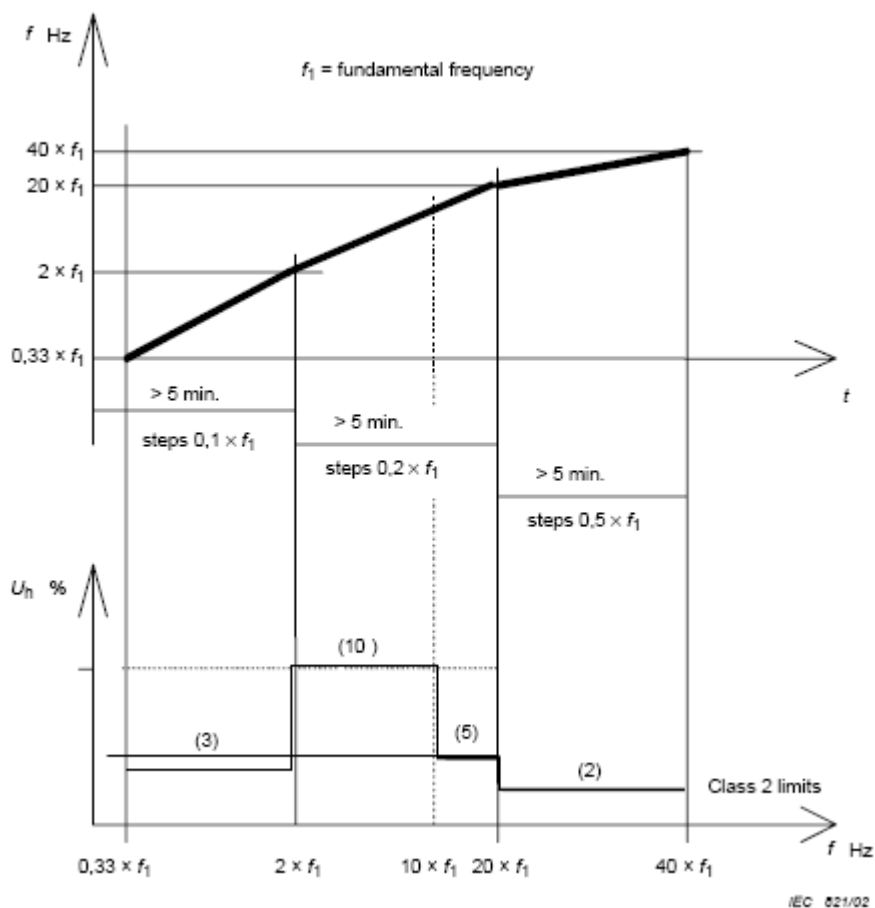
Διάστημα συχνοτήτων	Βήμα συχνότητας	Κλάση 1	Κλάση 2	Κλάση 3
$f$	$\Delta f$	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_I$	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_I$	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_I$
$0.33 \cdot f_1$ έως $2 \cdot f_1$	$0.1 \cdot f_1$	2	3	4.5
$2 \cdot f_1$ έως $10 \cdot f_1$	$0.2 \cdot f_1$	5	9	14
$10 \cdot f_1$ έως $20 \cdot f_1$	$0.2 \cdot f_1$	4	4.5	9
$20 \cdot f_1$ έως $30 \cdot f_1$	$0.5 \cdot f_1$	2	2	6
$30 \cdot f_1$ έως $40 \cdot f_1$	$0.5 \cdot f_1$	2	2	4

Σημείωση 1: η r.m.s. τιμή της θεμελιώδους,  $U_I$ , είναι τέτοια ώστε η τελική r.m.s. τιμή να προκύπτει πάντα ίση με την ονομαστική που προδιαγράφεται για τον εκάστοτε υπό δοκιμή εξοπλισμό.

Σημείωση 2: τα διαστήματα συχνοτήτων έχουν άκρα της μορφής [,) εκτός από το τελευταίο που έχει [,].

Σημείωση 3: οι κλάσεις 1, 2 και 3 ορίζονται στο εδάφιο 2.4.3.

Πίνακας 2.10 – Επίπεδα τάσης για δοκιμή τύπου “sweep in frequency” [8].



$U_h$  = τιμή της υπερτεθειμένης αρμονικής τάσης ως % της θεμελιώδους.

Σχήμα 2.14 – Παράδειγμα δοκιμής τύπου “sweep in frequency” για εξοπλισμό κλάσης 2 [8].

### 2.5.5 Δοκιμή μεμονωμένων αρμονικών και διαρμονικών συνιστωσών

Στο φάσμα συχνοτήτων από  $2 \cdot f_1$  έως  $40 \cdot f_1$ , μεμονωμένες ημιτονοειδής τάσεις με μέγεθος σύμφωνα με τους Πίνακες 2.11 έως 2.13 θα πρέπει να υπερτεθούν στη θεμελιώδη τάση  $U_1$ . Κάθε συχνότητα θα πρέπει να εφαρμόζεται για 5 sec, με χρονικό διάστημα 1 sec η μία από την άλλη (βλέπε Σχήμα 2.15), λαμβάνοντας υπόψη ότι η ενεργός τιμή της τάσης που προκύπτει πρέπει να διατηρείται σταθερή κατά τη διάρκεια ολόκληρης της δοκιμής.

Για τη δοκιμή διαρμονικών (interharmonics), στην περιοχή συχνοτήτων που εμφανίζονται στον Πίνακα 2.14, το βήμα συχνότητας υπαγορεύεται στον Πίνακα 2.15. Κάθε βήμα θα πρέπει να εφαρμόζεται για 5 sec, με χρονικό διάστημα 1 sec το ένα από το άλλο, λαμβάνοντας υπόψη ότι η ενεργός τιμή της κυματομορφής που προκύπτει πρέπει να διατηρείται σταθερή κατά τη διάρκεια ολόκληρης της δοκιμής.

<b>H</b>	<b>Κλάση 1</b>	<b>Κλάση 2</b>	<b>Κλάση 3</b>
	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_1$	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_1$	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_1$
5	4.5	9	12
7	4.5	7.5	10
11	4.5	5	7
13	4	4.5	7
17	3	3	6
19	2	2	6
23	2	2	6
25	2	2	6
29	1.5	1.5	5
31	1.5	1.5	3
35	1.5	1.5	3
37	1.5	1.5	3

Σημείωση 1: η r.m.s. τιμή της θεμελιώδους,  $U_1$ , είναι τέτοια ώστε η τελική r.m.s. τιμή να προκύπτει πάντα ίση με την ονομαστική που προδιαγράφεται για τον εκάστοτε υπό δοκιμή εξοπλισμό.

Σημείωση 2: οι κλάσεις 1, 2 και 3 ορίζονται στο εδάφιο 2.4.3.

Πίνακας 2.11 – Περιττές αρμονικές, όχι πολλαπλάσια του 3 [8].

<i>H</i>	<b>Κλάση 1</b>	<b>Κλάση 2</b>	<b>Κλάση 3</b>
	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_I$	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_I$	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_I$
3	4.5	8	9
9	2	2.5	4
15	όχι δοκιμή	όχι δοκιμή	3
21	όχι δοκιμή	όχι δοκιμή	2
27	όχι δοκιμή	όχι δοκιμή	2
33	όχι δοκιμή	όχι δοκιμή	2
39	όχι δοκιμή	όχι δοκιμή	2

Σημείωση 1: η r.m.s. τιμή της θεμελιώδους,  $U_I$ , είναι τέτοια ώστε η τελική r.m.s. τιμή να προκύπτει πάντα ίση με την ονομαστική που προδιαγράφεται για τον εκάστοτε υπό δοκιμή εξοπλισμό.  
Σημείωση 2: οι κλάσεις 1, 2 και 3 ορίζονται στο εδάφιο 2.4.3.

Πίνακας 2.12 – Περιττές αρμονικές, πολλαπλάσια του 3 [8].

<i>H</i>	<b>Κλάση 1</b>	<b>Κλάση 2</b>	<b>Κλάση 3</b>
	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_I$	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_I$	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_I$
2	3	3	5
4	1.5	1.5	2
6	όχι δοκιμή	όχι δοκιμή	1.5
8	όχι δοκιμή	όχι δοκιμή	1.5
10	όχι δοκιμή	όχι δοκιμή	1.5
12-40	όχι δοκιμή	όχι δοκιμή	1.5

Σημείωση 1: η r.m.s. τιμή της θεμελιώδους,  $U_I$ , είναι τέτοια ώστε η τελική r.m.s. τιμή να προκύπτει πάντα ίση με την ονομαστική που προδιαγράφεται για τον εκάστοτε υπό δοκιμή εξοπλισμό.  
Σημείωση 2: οι κλάσεις 1, 2 και 3 ορίζονται στο εδάφιο 2.4.3.

Πίνακας 2.13 – Άρτιες αρμονικές [8].

<b>Διάστημα συχνοτήτων</b>	<b>Κλάση 1</b>	<b>Κλάση 2</b>	<b>Κλάση 3</b>
<b>Hz</b>	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_I$	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_I$	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_I$
16 – 100	όχι δοκιμή	2.5	4
100 – 500	όχι δοκιμή	5	7.5
500 – 750	όχι δοκιμή	3.5	5
750 – 1000	όχι δοκιμή	2	3
1000 – 2000	όχι δοκιμή	1.5	2

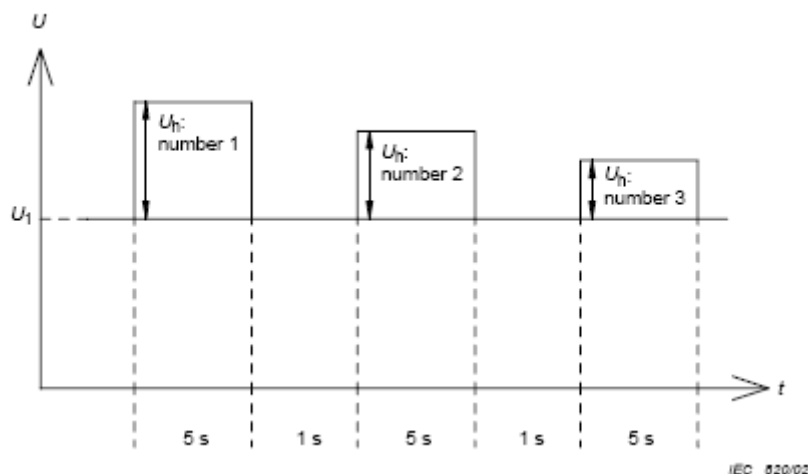
Σημείωση 1: η r.m.s. τιμή της θεμελιώδους,  $U_I$ , είναι τέτοια ώστε η τελική r.m.s. τιμή να προκύπτει πάντα ίση με την ονομαστική που προδιαγράφεται για τον εκάστοτε υπό δοκιμή εξοπλισμό.  
Σημείωση 2: οι κλάσεις 1, 2 και 3 ορίζονται στο εδάφιο 2.4.3.

Πίνακας 2.14 – Συχνότητες μεταξύ αρμονικών συχνοτήτων (για δίκτυα 50 Hz) [8].



Διάστημα συχνοτήτων	Βήμα συχνότητας
$f$	$\Delta f$
$0.33 \cdot f_1$ έως $2 \cdot f_1$	$0.1 \cdot f_1$
$2 \cdot f_1$ έως $10 \cdot f_1$	$0.2 \cdot f_1$
$10 \cdot f_1$ έως $20 \cdot f_1$	$0.2 \cdot f_1$
$20 \cdot f_1$ έως $30 \cdot f_1$	$0.5 \cdot f_1$

Πίνακας 2.15 – Βήματα συχνοτήτων για διαρμονικές και “Meister curve” [8].



Σημείωση: Η r.m.s. τιμή της προκύπτουσας τάσης πρέπει να παραμένει σταθερή καθ’ όλη τη δοκιμή

Σχήμα 2.15 – Η εξέλιξη της δοκιμής για μεμονωμένες αρμονικές [8].

### 2.5.6 Δοκιμή τύπου “Meister Curve”

Αν ο υπό δοκιμή εξοπλισμός χρησιμοποιείται σε χώρες όπου υπάρχει η σηματοδότηση δικτύου, η δοκιμή “Meister curve” πρέπει να εκτελείται. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής αυτής, η σάρωση (αναλογική μετάβαση μεταξύ συχνοτήτων) ή ο ρυθμός του βήματος (ψηφιακή μετάβαση μεταξύ συχνοτήτων) θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε ο χρόνος που απαιτείται ανά δεκάδα να μην είναι λιγότερο από 5 λεπτά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.14. Και στις δύο περιπτώσεις, το εύρος της εφαρμοζόμενης τάσης για δεδομένα επίπεδα ενδιάμεσων αρμονικών πρέπει να ακολουθήσει τις τιμές που δίνονται στον Πίνακα 2.16.

Διάστημα συχνοτήτων	Βήμα συχνότητας	Κλάση 1	Κλάση 2	Κλάση 3
$f$	$\Delta f$	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_I$	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_I$	Επίπεδα τάσης δοκιμής % $U_I$
$0.33 \cdot f_1$ έως $2 \cdot f_1$	$0.1 \cdot f_1$	όχι δοκιμή	3	4
$2 \cdot f_1$ έως $10 \cdot f_1$	$0.2 \cdot f_1$	όχι δοκιμή	9	10
$10 \cdot f_1$ έως $20 \cdot f_1$	$0.2 \cdot f_1$	όχι δοκιμή	$4 \cdot 500/f$	$4 \cdot 500/f$
$20 \cdot f_1$ έως $40 \cdot f_1$	$0.5 \cdot f_1$	όχι δοκιμή	$4 \cdot 500/f$	$4 \cdot 500/f$

Σημείωση 1: η r.m.s. τιμή της θεμελιώδους,  $U_I$ , είναι τέτοια ώστε η τελική r.m.s. τιμή να προκύπτει πάντα ίση με την ονομαστική που προδιαγράφεται για τον εκάστοτε υπό δοκιμή εξοπλισμό.

Σημείωση 2: τα διαστήματα συχνοτήτων έχουν άκρα της μορφής [,), εκτός από το τελευταίο που έχει [,].

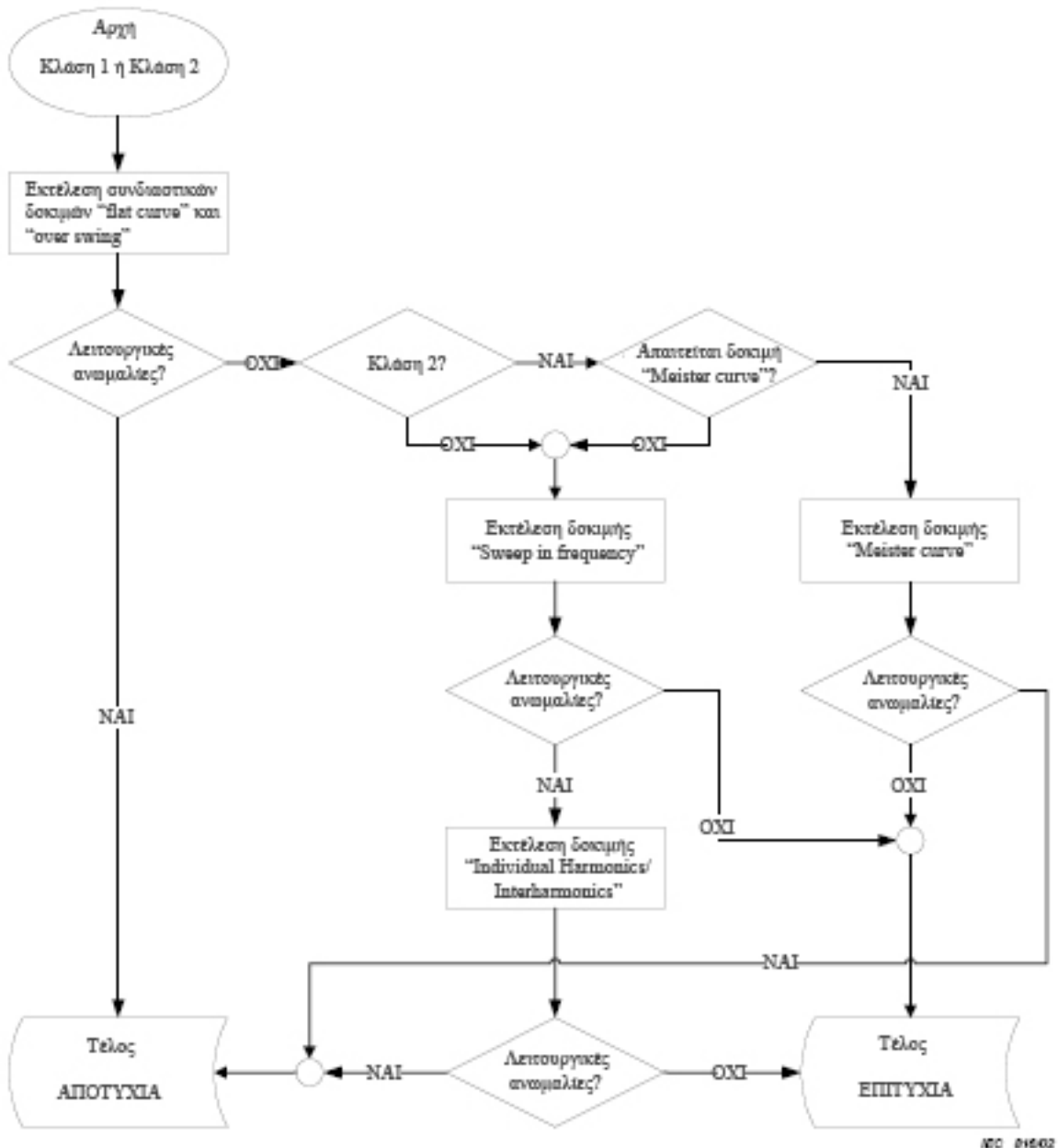
Σημείωση 3: οι κλάσεις 1, 2 και 3 ορίζονται στο εδάφιο 2.4.3.

Πίνακας 2.16 – Επίπεδα δοκιμής τύπου “Meister Curve” [8].

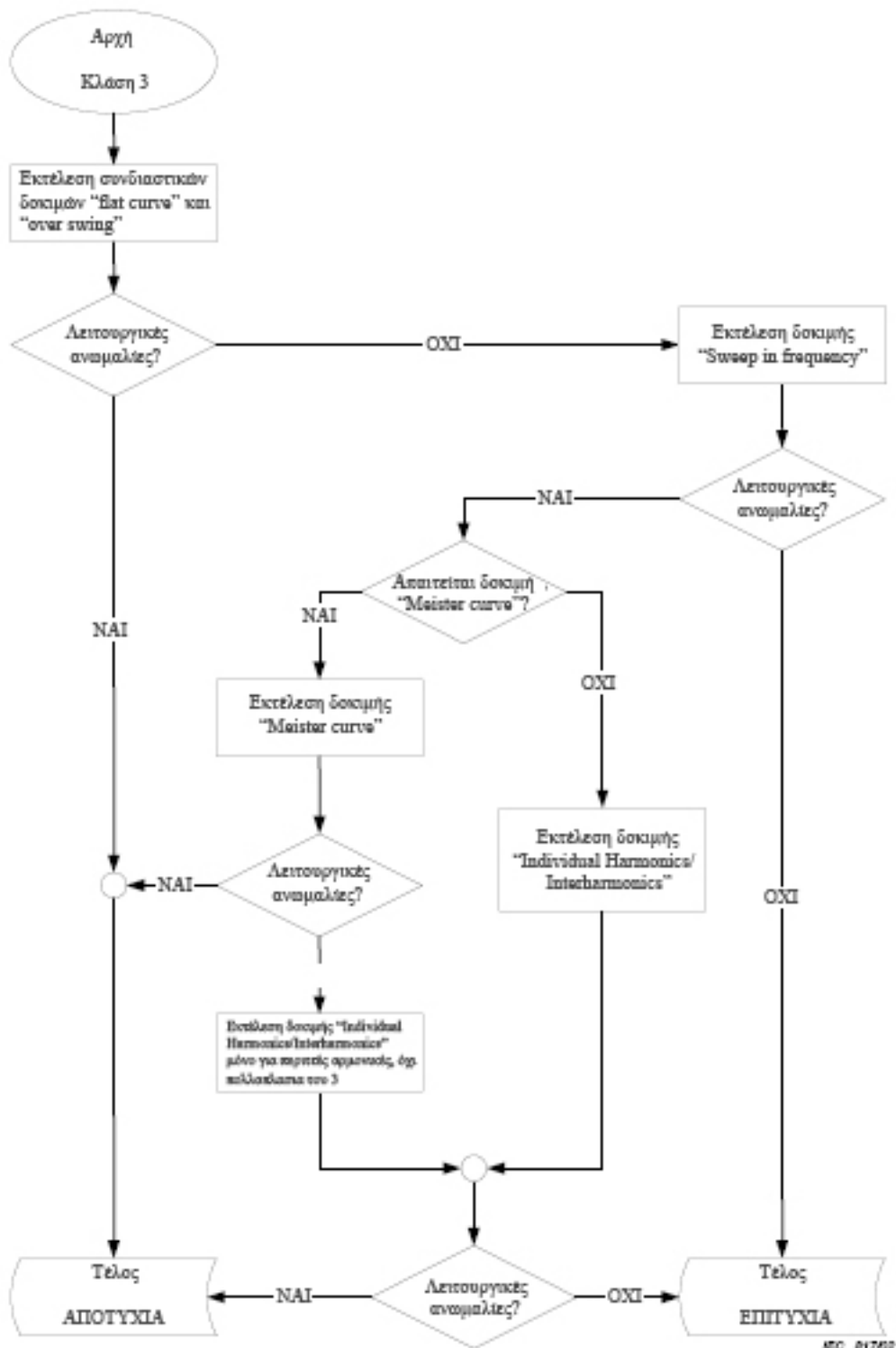
### 2.5.7 Διεξαγωγή δοκιμών

Σύμφωνα με το [8], οι κλιματολογικές συνθήκες στο εργαστήριο πρέπει να είναι εντός των ορίων που καθορίζονται για τη λειτουργία του εξοπλισμού υπό δοκιμή και του υλικού δοκιμών από τους αντίστοιχους τους κατασκευαστές τους. Δοκιμές δεν πρέπει να γίνονται εάν η σχετική υγρασία είναι τόσο υψηλή ώστε να προκαλέσει συμπύκνωση στον υπό δοκιμή εξοπλισμό ή στον εξοπλισμό δοκιμών. Επίσης, οι ηλεκτρομαγνητικές συνθήκες του εργαστηρίου πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να εξασφαλίζεται η ορθή λειτουργία του εξοπλισμού υπό δοκιμή, έτσι ώστε να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών.

Ιδιαίτερη σημασία έχουν τα Σχήματα 2.16 και 2.17, τα οποία έχουν προστεθεί για να δώσουν οδηγίες σχετικά με τη βελτιστοποίηση της διάρκειας της δοκιμής, παράλληλα διατηρώντας υψηλό το επίπεδο εμπιστοσύνης για την εκτέλεσή τους. Τα επίπεδα δοκιμών στις συνδυαστικές δοκιμές τύπου “flat curve” και “over swing” (βλ. εδάφιο 2.5.3) και στη δοκιμή τύπου “Sweep in frequencies” (βλ. εδάφιο 2.5.4), υπερβαίνουν τα επίπεδα δοκιμών για μεμονωμένες αρμονικές (βλ. εδάφιο 2.5.5).



Σχήμα 2.16 – Διάγραμμα ροής δοκιμών για εξοπλισμό Κλάσης 1 ή 2



Σχήμα 2.17 – Διάγραμμα ροής δοκιμών για εξοπλισμό Κλάσης 3

Να σημειωθεί πως για πολυφασικό εξοπλισμό χωρίς σύνδεση ουδετέρου, δεν είναι απαραίτητη η διεξαγωγή δοκιμών για αρμονικές πολλαπλάσια του 3.

## 2.5.8 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της δοκιμής πρέπει να ταξινομούνται σε συνάρτηση με την απώλεια λειτουργίας ή υποβάθμισης της απόδοσης του εξοπλισμού υπό δοκιμή, σε σχέση με το επίπεδο των επιδόσεων που ορίζονται από τον κατασκευαστή ή τον αιτούντα της δοκιμής, ή έχει συμφωνηθεί μεταξύ του κατασκευαστή και του αγοραστή του προϊόντος. Η συνιστώμενη κατάταξη έχει ως εξής ([8]):

1. κανονική εκτέλεση εντός των ορίων που καθορίζονται από τον κατασκευαστή, τον αιτούντα ή τον αγοραστή
2. προσωρινή απώλεια της λειτουργίας ή μείωση της επίδοσης η οποία όμως παύει μετά το τέλος της διαταραχής, ενώ ο υπό δοκιμή εξοπλισμός ανακτά τις κανονικές επιδόσεις του, χωρίς την παρέμβαση του χειριστή
3. προσωρινή απώλεια της λειτουργίας ή υποβάθμιση των επιδόσεων, η διόρθωση των οποίων απαιτεί την παρέμβαση του χειριστή
4. απώλεια της λειτουργίας ή μείωση της επίδοσης που δεν είναι ανακτήσιμη, λόγω ζημιών στο υλικό ή το λογισμικό, ή απώλεια δεδομένων

Πάντως, οι προδιαγραφές του κατασκευαστή μπορεί να καθορίσουν επιπτώσεις στον υπό δοκιμή εξοπλισμό που μπορούν να θεωρηθούν ασήμαντες και συνεπώς αποδεκτές.

## 2.5.9 Κατευθύνσεις για περαιτέρω εμβάθυνση

Ο αναγνώστης που ενδιαφέρεται να εξοικειωθεί σε μεγαλύτερο βαθμό με το Πρότυπο IEC 61000-4-13 ([8]) προτείνεται να ανατρέξει στο ίδιο το πρότυπο αυτό. Λεπτομέρειες σχετικά με το κύκλωμα αναφοράς δοκιμών, τις προδιαγραφές της πηγής τροφοδοσίας και του μετρητικού εξοπλισμού για την πραγματοποίηση των δοκιμών μπορούν να αναζητηθούν εκεί. Επίσης, μπορούν να αντληθούν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την κατάρτιση ενός προτεινόμενου πλάνου για την εκτέλεση μιας δοκιμής, αλλά και τη δημιουργία του κειμένου αναφοράς μιας δοκιμής (test report).

Το παρόν κείμενο σκοπίμως δεν επεκτείνεται στην περιγραφή των παραπάνω δεδομένων, καθώς κρίθηκε πως και χωρίς αυτά, ο αναγνώστης μπορεί να κατανοήσει τα βασικά σημεία του Προτύπου IEC 61000-4-13:2002 αλλά και να είναι ικανός να πραγματοποιήσει δοκιμές – όπως αυτή του υποκεφαλαίου 5.5- για μια μεγάλη πλειοψηφία δοκιμών.

## 2.6 IEC 61000-4-14 Ed. 1.1 (2002). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμή ατρωσίας σε διακύμανση τάσης

### 2.6.1 Πεδίο εφαρμογής

Αυτό το μέρος της οικογένειας προτύπων IEC 61000 ([9]) αποτελεί βασική δημοσίευση σχετικά με την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC). Περιλαμβάνει δοκιμές ατρωσίας ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού συνδεδεμένου στα δημόσια και βιομηχανικά δίκτυα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το πρότυπο αυτό αποσκοπεί στη δημιουργία μίας αναφοράς για την αξιολόγηση της ατρωσίας ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών, όταν υποβάλλονται σε, χαμηλού πλάτους, θετικές και αρνητικές διακυμάνσεις τάσης. Μελετάται δηλαδή η ικανότητα μιας

διάταξης, εξοπλισμού ή συστήματος να λειτουργεί χωρίς υποβάθμιση των επιδόσεών του, παρά την ύπαρξη κάποιας ηλεκτρομαγνητικής διαταραχής.

Οι διακυμάνσεις της τάσης που θεωρούνται από το εν λόγω πρότυπο δεν περιλαμβάνουν το φαινόμενο του flicker (βλ. υποκεφάλαιο 2.3), το οποίο είναι ένα φυσιολογικού τύπου φαινόμενο και οφείλεται σε διακυμάνσεις της φωτεινότητας των πηγών φωτισμού.

Ακόμη, το πρότυπο αυτό ισχύει για ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό που έχει ρεύμα εισόδου ονομαστικής έντασης μέχρι και 16 A ανά φάση.

## 2.6.2 Περιγραφή φαινομένου

Ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός μπορεί να επηρεαστεί από διακυμάνσεις της τάσης. Παραδείγματα μερικών τέτοιων επιδράσεων είναι τα ακόλουθα ([9]):

- υποβάθμιση των επιδόσεων του εξοπλισμού που χρησιμοποιεί συσκευές αποθήκευσης (π.χ. πυκνωτές),
- απώλεια της λειτουργίας των συστημάτων ελέγχου,
- αστάθεια των εσωτερικών τάσεων και ρευμάτων του εξοπλισμού,
- αυξημένο κυματισμό (ripple) τάσης.

Υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός οικιακών συσκευών στο δίκτυο χαμηλής τάσης. Εντούτοις, οι διακυμάνσεις που προκαλούνται από αυτές τις συσκευές δεν είναι κατά κανόνα σημαντικές. Διακυμάνσεις τάσης παράγονται κυρίως από ([9]):

1. συνεχώς και τυχαία μεταβαλλόμενα φορτία μεγάλης ισχύος, όπως:
  - a) συσκευές ηλεκτροσυγκόλλησης,
  - b) μονάδες έλασης,
  - c) μεγάλες μηχανές με μεταβαλλόμενα φορτία,
  - d) υψικάμινοι,
  - e) εργοστάσια χαλυβουργικής δραστηριότητας
2. απότομες on / off μεταγωγές φορτίων (π.χ. κινητήρες),
3. βηματικές μεταβολές τάσης (Σ.Α.Τ.Υ.Φ. των μετασχηματιστών).

Αυτές οι –προερχόμενες από τη βιομηχανία– διακυμάνσεις τάσης μπορούν να επηρεάσουν μεγάλο αριθμό καταναλωτών. Δεδομένου ότι τα δημόσια δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζουν ευρείες διακυμάνσεις της αντίστασής τους, είναι αναμενόμενο ότι η μετάδοση των ανωτέρω διαταραχών της τάσης θα είναι διαφορετική για διαφορετικά δίκτυα.

## 2.6.3 Επίπεδα δοκιμών

Αυτή η δοκιμή ισχύει για όλο τον εξοπλισμό που είναι πιθανόν να είναι ευαίσθητος σε αυτό το είδος διαταραχής και προορίζεται για σύνδεση σε δημόσια δίκτυα, βιομηχανικά δίκτυα και σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι βηματικές μεταβολές τάσης είναι ο πιο επιβλαβής τύπος διακύμανσης τάσης.

Ο υπό δοκιμή εξοπλισμός λειτουργεί αρχικά υπό σταθερή τάση και στη συνέχεια υποβάλλεται σε επαναλαμβανόμενες βηματικές μεταβολές τάσης, σύμφωνα με το Σχήμα 2.18. Η αρχική τάση τίθεται ως

$$U_n, U_n - 10\% U_n, U_n + 10\% U_n$$

, όπου  $U_n$  είναι η ονομαστική τάση του δοκιμίου.

Το μέγεθος των βημάτων τάσης σε συνάρτηση με την κλάση του υπό δοκιμή εξοπλισμό, επιλέγεται ως εξής:

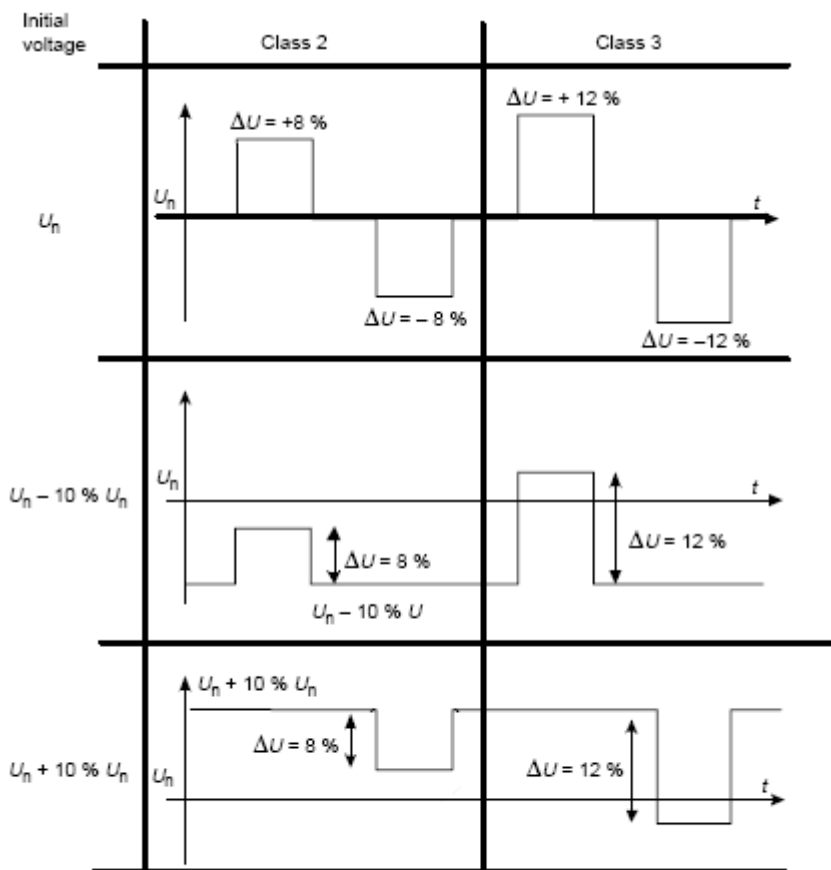
- Κλάση 1: δεν απαιτείται δοκιμή.
- Κλάση 2:  $\Delta U = 8\% U_n$  για εξοπλισμό που προορίζεται για σύνδεση σε δημόσια δίκτυα ή άλλα ελαφρώς διαταραγμένα δίκτυα.
- Κλάση 3:  $\Delta U = 12\% U_n$  για εξοπλισμό που συνδέονται σε έντονα διαταραγμένα δίκτυα (π.χ. βιομηχανικά δίκτυα).

Οι Κλάσεις 1, 2 και 3 ορίζονται αναλυτικά στο εδάφιο 2.4.3.

Παρακάτω, στον πίνακα 2.17 δίνονται τα επίπεδα δοκιμών για διαφορετικές αρχικές τάσεις.

Κλάση	$U_n$	$U_n - 10\% U_n$	$U_n + 10\% U_n$
1	δεν απαιτείται δοκιμή		
2	$\Delta U = \pm 8\% U_n$	$\Delta U = +8\% U_n$	$\Delta U = -8\% U_n$
3	$\Delta U = \pm 12\% U_n$	$\Delta U = +12\% U_n$	$\Delta U = -12\% U_n$

Πίνακας 2.17 – Επίπεδα δοκιμών [9].



MEC 239/99

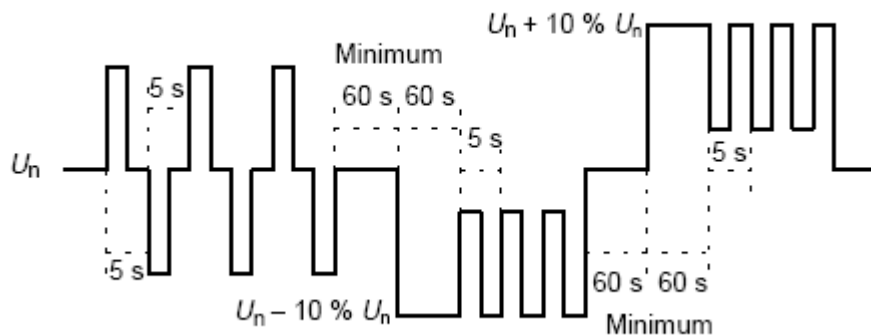
Σχήμα 2.18 – Διάγραμμα δοκιμών [9].

#### 2.6.4 Διεξαγωγή δοκιμών

Σύμφωνα με το [9], οι κλιματολογικές συνθήκες στο εργαστήριο πρέπει να είναι εντός των ορίων που καθορίζονται για τη λειτουργία του εξοπλισμού υπό δοκιμή και του υλικού δοκιμών από τους αντίστοιχους τους κατασκευαστές τους. Δοκιμές δεν πρέπει να γίνονται εάν η σχετική υγρασία είναι τόσο υψηλή ώστε να προκαλέσει συμπύκνωση στον υπό δοκιμή εξοπλισμό ή στον εξοπλισμό δοκιμών. Επίσης, οι ηλεκτρομαγνητικές συνθήκες του εργαστηρίου πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να εξασφαλίζεται η ορθή λειτουργία του εξοπλισμού υπό δοκιμή, έτσι ώστε να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών.

Ο υπό δοκιμή εξοπλισμός θα πρέπει να δοκιμαστεί για κάθε δυνατό συνδυασμό του επιπέδου δοκιμής και της διάρκειας δοκιμής, με μια σειρά τριών ακολουθιών από διακυμάνσεις τάσης, με δύο χρονικά διαστήματα 60 sec κατ' ελάχιστο μεταξύ διαδοχικών διακυμάνσεων τάσης. Ιδιαίτερα κατατοπιστικό είναι το Σχήμα 2.19, ενώ να σημειωθεί ότι κάθε αντιπροσωπευτικός τρόπος λειτουργίας του υπό δοκιμή εξοπλισμού θα πρέπει να δοκιμαστεί.

Στην περίπτωση μιας τριφασικής συσκευής, και οι τρεις φάσεις θα πρέπει να ελέγχονται ταυτόχρονα. Οι μεταβολές, όμως, της τάσης θα πρέπει να γίνονται φάση με φάση και όχι ταυτόχρονα και στις τρεις φάσεις.



Σχήμα 2.19 – Παράδειγμα επιβολής τριών διαδοχικών διακυμάνσεων τάσης [9].

#### 2.6.5 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της δοκιμής πρέπει να ταξινομούνται σε συνάρτηση με την απώλεια λειτουργίας ή υποβάθμισης της απόδοσης του εξοπλισμού υπό δοκιμή, σε σχέση με το επίπεδο των επιδόσεων που ορίζονται από τον κατασκευαστή ή τον αιτούντα της δοκιμής, ή έχει συμφωνηθεί μεταξύ του κατασκευαστή και του αγοραστή του προϊόντος. Η συνιστώμενη κατάταξη έχει ως εξής ([9]):

1. κανονική εκτέλεση εντός των ορίων που καθορίζονται από τον κατασκευαστή, τον αιτούντα ή τον αγοραστή
2. προσωρινή απώλεια της λειτουργίας ή μείωση της επίδοσης η οποία όμως παύει μετά το τέλος της διαταραχής, ενώ ο υπό δοκιμή εξοπλισμό ανακτά τις κανονικές επιδόσεις του, χωρίς την παρέμβαση του χειριστή
3. προσωρινή απώλεια της λειτουργίας ή υποβάθμιση των επιδόσεων, η διόρθωση των οποίων απαιτεί την παρέμβαση του χειριστή
4. απώλεια της λειτουργίας ή μείωση της επίδοσης που δεν είναι ανακτήσιμη, λόγω ζημιών στο υλικό ή το λογισμικό, ή απώλεια δεδομένων



Πάντως, οι προδιαγραφές του κατασκευαστή μπορεί να καθορίσουν επιπτώσεις στον υπό δοκιμή εξοπλισμό που μπορούν να θεωρηθούν ασήμαντες και συνεπώς αποδεκτές.

### **2.6.6 Κατευθύνσεις για περαιτέρω εμβάθυνση**

Ο αναγνώστης που ενδιαφέρεται να εξοικειωθεί σε μεγαλύτερο βαθμό με το Πρότυπο IEC 61000-4-14 ([9]) προτείνεται να ανατρέξει στο ίδιο το πρότυπο αυτό. Λεπτομέρειες σχετικά με το κύκλωμα αναφοράς δοκιμών, τον μετρητικό εξοπλισμό, τις προδιαγραφές της πηγής τροφοδοσίας καθώς και των εξειδικευμένων συναρτήσεων τάσης που εφαρμόζονται για την πραγματοποίηση των δοκιμών μπορούν να αναζητηθούν εκεί. Επίσης, μπορούν να αντληθούν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την κατάρτιση ενός προτεινόμενου πλάνου για την εκτέλεση μιας δοκιμής, αλλά και τη δημιουργία του κειμένου αναφοράς μιας δοκιμής (test report).

Το παρόν κείμενο σκοπίμως δεν επεκτείνεται στην περιγραφή των παραπάνω δεδομένων, καθώς κρίθηκε πως και χωρίς αυτά, ο αναγνώστης μπορεί να κατανοήσει τα βασικά σημεία του Προτύπου IEC 61000-4-14:2002 αλλά και να είναι ικανός να πραγματοποιήσει δοκιμές – όπως αυτή του υποκεφαλαίου 5.6- για μια μεγάλη πλειοψηφία δοκιμών.

## **2.7 IEC 61000-4-17 Ed. 1.1 (2002). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμή ατρωσίας σε κυμάτωση τάσης στην είσοδο παροχής συνεχούς ρεύματος**

### **2.7.1 Πεδίο εφαρμογής**

Το μέρος αυτό της οικογένειας προτύπων IEC 61000 ([10]) καθορίζει τις μεθόδους δοκιμής για τη ατρωσία έναντι κυμάτωσης τάσης στην είσοδο παροχής συνεχούς ρεύματος ηλεκτρικού ή ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Το πρότυπο αυτό ισχύει για εξοπλισμό χαμηλής d.c. τάσης, στον οποίο η ισχύς παρέχεται από εξωτερικά συστήματα ανόρθωσης ή μπαταρίες που φορτίζονται.

Το αντικείμενο της παρούσας προδιαγραφής είναι να θεσπίσει μία κοινή και αναπαραγώγιμη βάση για εργαστηριακές δοκιμές ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, όταν υποβάλλονται σε κυματώσεις τάσης, όπως αυτές παράγονται από συστήματα ανορθωτών ή / και βοηθητικούς φορτιστές μπαταριών.

Οι δοκιμές αυτές δεν ισχύουν για εξοπλισμό που συνδέεται σε συστήματα φόρτισης μπαταριών που ενσωματώνουν μετατροπείς διακοπτικού τύπου.

### **2.7.2 Περιγραφή φαινομένου**

Σύμφωνα με το [10], η τάση κυμάτωσης μπορεί να επηρεάσει την αξιόπιστη λειτουργία του εξοπλισμού και των συστημάτων που τροφοδοτούνται από παροχή d.c. και που έχουν εγκατασταθεί σε βιομηχανικές μονάδες, καθώς και σε εμπορικές και οικιακές εγκαταστάσεις. Η κύρια πηγή αυτής της διαταραχής είναι η συνιστώσα εναλλασσόμενης τάσης - υπερτεθειμένη στη συνεχή τάση- που παράγεται από τις ανορθωτικές διατάξεις εξωτερικών τροφοδοτικών (Power Supply Unit ή P.S.U.) και από φορτιστές μπαταριών κατά τη λειτουργία τους. Η κυμάτωση, ως εκ τούτου, είναι ένα φαινόμενο συνεχώς παρόν σε αυτό το

είδος των d.c. πηγών και μπορεί να εντείνεται στην περίπτωση που μία μπαταρία επαναφορτίζεται μετά την αποκατάσταση της τροφοδοσίας από τη γραμμή a.c..

Οι φορτιστές μπαταριών μπορεί να χρησιμοποιούν διάφορες μεθόδους ανόρθωσης. Οι πιο κοινές λύσεις βασίζονται σε μονοφασική ανόρθωση γέφυρας, τριφασική ημιανόρθωση, τριφασική ανόρθωση γέφυρας ή συνδεσμολογία αστέρα έξι φάσεων.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του υπό εξέταση κυκλώματος ανορθωτή, στο επίπεδο του σχεδιασμού, είναι

- η σχέση μεταξύ της ενεργού τάσης εισόδου και της συνεχούς τάσης εξόδου,
- το d.c. ρεύμα της μονάδας του ανορθωτή,
- το πλάτος και η συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης που υπερτίθεται στην d.c. τάσης (κυμάτωση).

Η διαταραχή λόγω κυμάτωσης στην τάση αντιπροσωπεύεται από την τάση που απομένει, εάν από την συνολική παλλόμενη τάση αφαιρεθεί η συνεχής συνιστώσα. Το πλάτος της κυμάτωσης σχετίζεται με τον αριθμό των στοιχείων του ανορθωτή. Αύξηση του αριθμού των στοιχείων προκαλεί μείωση του πλάτους της τάσης κυμάτωσης και αύξηση της συχνότητάς της. Τυπικές κυματομορφές τάσης κυμάτωσης, στην περίπτωση γραμμικών φορτίων και χωρητικών φίλτρων, φαίνονται στα Σχήματα 2.20 και 2.21.

### 2.7.3 Επίπεδα δοκιμών και κυματομορφή

Η προτιμώμενη κατάταξη των επιπέδων ελέγχου ([10]), που εφαρμόζονται στη θύρα τροφοδοσίας d.c. του εξοπλισμού, παρατίθενται στον πίνακα 2.18

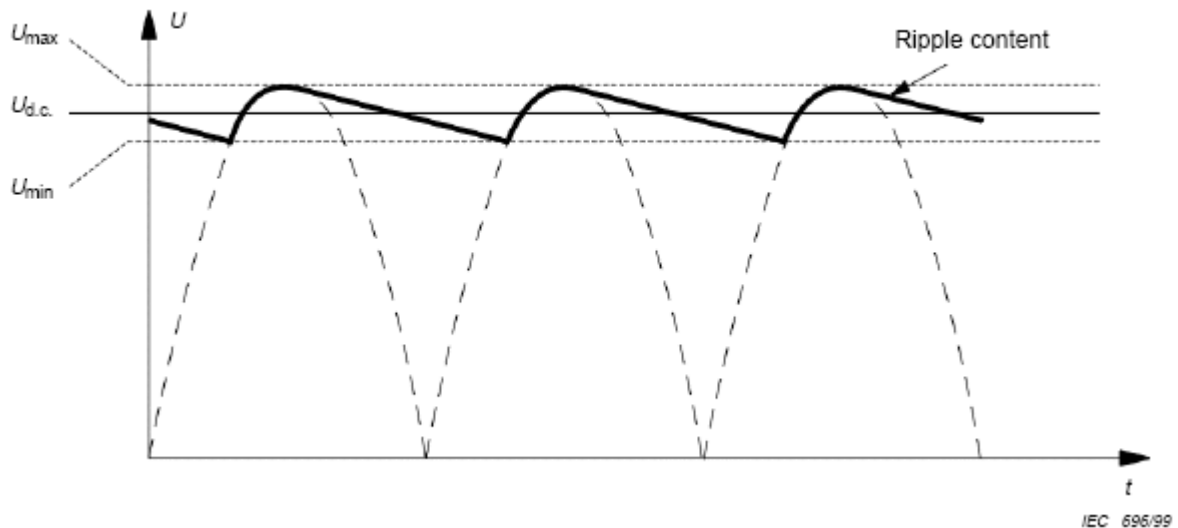
Επίπεδο	Τάση κυμάτωσης ως ποσοστό της ονομαστικής d.c. τάσης
1	2
2	5
3	10
4	15

Πίνακας 2.18 – Επίπεδα δοκιμών [10].

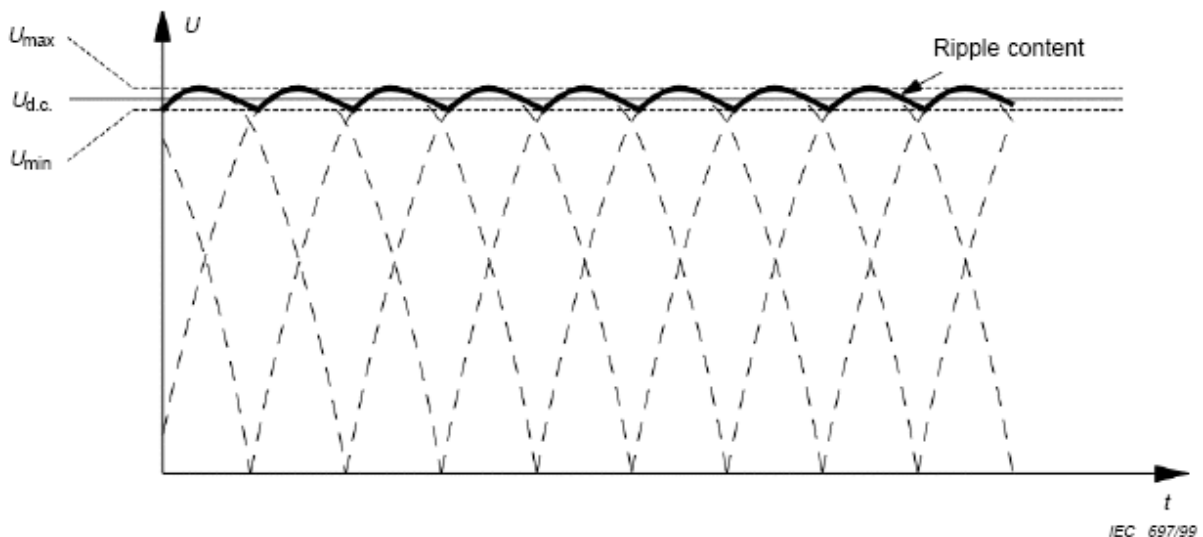
Η επιλογή του επιπέδου δοκιμής θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά του συστήματος ανορθωτή ή / και τις πιθανές συνθήκες λειτουργίας κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της μπαταρίας (π.χ. κανονική περίοδος ζωής, περίοδος φθοράς). Τα επίπεδα δοκιμών που αναφέρονται στον Πίνακα 2.18 είναι ανεξάρτητα της συχνότητας κυμάτωσης, ωστόσο, τα χαμηλότερα επίπεδα είναι γενικά αντιπροσωπευτικά των συστημάτων ανόρθωσης με μεγάλο αριθμό στοιχείων και, κατά συνέπεια, υψηλής συχνότητας κυμάτωση.

Τα επίπεδα ελέγχου αναφέρονται σε peak-to-peak τάση, εκφρασμένη ως ποσοστό της ονομαστικής συνεχούς τάσης  $U_{d.c.}$ . Το πλάτος της τάσης κυμάτωσης αντιπροσωπεύεται, στο Σχήμα 1, από τη διαφορά  $U_{max} - U_{min}$ . Η συχνότητα της κυμάτωσης είναι η συχνότητα του δικτύου a.c. ή πολλαπλάσια του 2, 3 ή 6, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του συστήματος ανόρθωσης (βλ. εδάφιο 2.7.2).

Η κυματομορφή της τάσης κυμάτωσης στην έξοδο της γεννήτριας δοκιμών, έχει έναν ημιτονοειδή - γραμμικό χαρακτήρα. Μια ημιτονοειδής - γραμμική χαρακτηριστική μπορεί να περιγραφεί επιμέρους, ως ένα ημιτονοειδές κύμα και μια γραμμή εφραπτόμενη στη φθίνουσα πλευρά του ανορθωμένου κύματος. Η τελευταία τέμνει την αυξανόμενη ακμή του επόμενου μισού κύματος. Έτσι, η τάση κυμάτωσης είναι η διαφορά τάσης μεταξύ της μέγιστης τιμής του ημιτονοειδούς κύματος και του σημείου τομής με το ακόλουθο μισό κύμα (βλ. Σχήματα 2.20 και 2.21).



Σχήμα 2.20 – Μονοφασικός ανορθωτής [10].



Σχήμα 2.21 – Τριφασικός ανορθωτής [10].

#### 2.7.4 Διεξαγωγή δοκιμών

Σύμφωνα με το [10], οι κλιματολογικές συνθήκες στο εργαστήριο πρέπει να είναι εντός των ορίων που καθορίζονται για τη λειτουργία του εξοπλισμού υπό δοκιμή και του υλικού δοκιμών από τους αντίστοιχους τους κατασκευαστές τους. Δοκιμές δεν πρέπει να γίνονται

εάν η σχετική υγρασία είναι τόσο υψηλή ώστε να προκαλέσει συμπύκνωση στον υπό δοκιμή εξοπλισμό ή στον εξοπλισμό δοκιμών. Επίσης, οι ηλεκτρομαγνητικές συνθήκες του εργαστηρίου πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να εξασφαλίζεται η ορθή λειτουργία του εξοπλισμού υπό δοκιμή, έτσι ώστε να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών.

Ειδικότερα τώρα, η μέση τιμή  $U_{d.c.}$  της κυματομορφής, που προκύπτει από το άθροισμα της συνεχούς τάσης με την τάση κυμάτωσης, πρέπει αριθμητικά να είναι ίση με την ονομαστική τάση του υπό δοκιμή εξοπλισμού (βλ. Σχήματα 2.20 και 2.21).

Η τάση δοκιμής πρέπει να εφαρμόζονται για τουλάχιστον 10 λεπτά ή για όσο χρονικό διάστημα απαιτείται για να καταστεί δυνατή η πλήρης εξακρίβωση της σωστής λειτουργίας του δοκιμίου.

Τέλος, η κυματομορφή της τάσης κυμάτωσης πρέπει να καταγράφεται και να περιλαμβάνεται στην έκθεση αναφοράς της δοκιμής.

### 2.7.5 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της δοκιμής πρέπει να ταξινομούνται σε συνάρτηση με την απώλεια λειτουργίας ή υποβάθμιση της απόδοσης του εξοπλισμού υπό δοκιμή, σε σχέση με το επίπεδο των επιδόσεων που ορίζονται από τον κατασκευαστή ή τον αιτούντα της δοκιμής, ή έχει συμφωνηθεί μεταξύ του κατασκευαστή και του αγοραστή του προϊόντος. Η συνιστώμενη κατάταξη έχει ως εξής ([10]):

1. κανονική εκτέλεση εντός των ορίων που καθορίζονται από τον κατασκευαστή, τον αιτούντα ή τον αγοραστή
2. προσωρινή απώλεια της λειτουργίας ή μείωση της επίδοσης η οποία όμως παύει μετά το τέλος της διαταραχής, ενώ ο υπό δοκιμή εξοπλισμός ανακτά τις κανονικές επιδόσεις του, χωρίς την παρέμβαση του χειριστή
3. προσωρινή απώλεια της λειτουργίας ή υποβάθμιση των επιδόσεων, η διόρθωση των οποίων απαιτεί την παρέμβαση του χειριστή
4. απώλεια της λειτουργίας ή μείωση της επίδοσης που δεν είναι ανακτήσιμη, λόγω ζημιών στο υλικό ή το λογισμικό, ή απώλεια δεδομένων

Πάντως, οι προδιαγραφές του κατασκευαστή μπορεί να καθορίσουν επιπτώσεις στον υπό δοκιμή εξοπλισμό που μπορούν να θεωρηθούν ασήμαντες και συνεπώς αποδεκτές.

### 2.7.6 Κατευθύνσεις για περαιτέρω εμβάθυνση

Ο αναγνώστης που ενδιαφέρεται να εξοικειωθεί σε μεγαλύτερο βαθμό με το Πρότυπο IEC 61000-4-17 ([10]) προτείνεται να ανατρέξει στο ίδιο το πρότυπο αυτό. Λεπτομέρειες σχετικά με το κύκλωμα αναφοράς δοκιμών, τον μετρητικό εξοπλισμό και τις προδιαγραφές της πηγής τροφοδοσίας, μπορούν να αναζητηθούν εκεί. Επίσης, μπορούν να αντληθούν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την κατάρτιση ενός προτεινόμενου πλάνου για την εκτέλεση μιας δοκιμής, αλλά και τη δημιουργία του κειμένου αναφοράς μιας δοκιμής (test report).

Το παρόν κείμενο σκοπίμως δεν επεκτείνεται στην περιγραφή των παραπάνω δεδομένων, καθώς κρίθηκε πως και χωρίς αυτά, ο αναγνώστης μπορεί να κατανοήσει τα βασικά σημεία του Προτύπου IEC 61000-4-17:2002.

## **2.8 IEC 61000-4-27 Ed 1.0 (2000). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης – Ασυμμετρία· δοκιμή ατρωσίας για εξοπλισμό με ρεύμα εισόδου που δεν υπερβαίνει τα 16 A ανά φάση**

### **2.8.1 Πεδίο εφαρμογής**

Αυτό το μέρος της οικογένειας προτύπων IEC 61000 ([11]) αποτελεί βασική δημοσίευση σχετικά με την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC). Περιλαμβάνει δοκιμές ατρωσίας ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού συνδεδεμένου στα δημόσια και βιομηχανικά δίκτυα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το πρότυπο αυτό αποσκοπεί στη δημιουργία μίας αναφοράς για την αξιολόγηση της ατρωσίας ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών, όταν σε αυτές εφαρμόζεται μη συμμετρική τάση. Η ασυμμετρία τάσης σε ένα πολυφασικό σύστημα ορίζεται ως η κατάσταση, στην οποία οι r.m.s. τιμές των φασικών τάσεων ή οι γωνίες φάσης μεταξύ των διανυσμάτων των φασικών τάσεων δεν είναι όλες ίσες μεταξύ τους.

Το πρότυπο αυτό ισχύει για τριφασικό ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό που έχει ρεύμα εισόδου ονομαστικής έντασης μέχρι και 16 A ανά φάση.

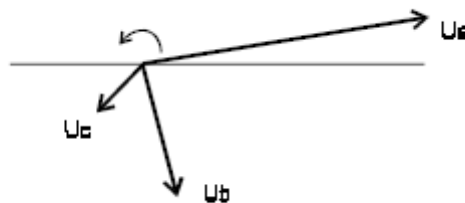
### **2.8.2 Περιγραφή φαινομένου**

Με βάση την περιγραφή του φαινομένου στο [11], κυρίαρχη αιτία της ασυμμετρίας είναι τα μονοφασικά φορτία. Στα δίκτυα χαμηλής τάσης, τα μονοφασικά φορτία συνδέονται –σχεδόν αποκλειστικά– μεταξύ φάσης και ουδετέρου, ενώ κατά κανόνα υπάρχει ισοκατανομή τους μεταξύ των τριών φάσεων. Στα δίκτυα μέσης και υψηλής τάσης, τα μονοφασικά φορτία συνδέονται μεταξύ δύο φάσεων ή μεταξύ φάσης και ουδετέρου. Σημαντικά μονοφασικά φορτία είναι για παράδειγμα, οι a.c. ηλεκτρικές παροχές προς τους σιδηρόδρομους. Επίσης, μερικά τριφασικά ηλεκτρικά φορτία με ασύμμετρη λειτουργία, όπως φούρνοι υψικαμίνων, προκαλούν ασυμμετρία.

Υψηλά επίπεδα ασυμμετρίας για σύντομα χρονικά διαστήματα προκαλούνται τυπικά από σφάλματα στο ηλεκτρικό δίκτυο. Τέτοια σφάλματα συμβαίνουν συνήθως στο δίκτυο χαμηλής τάσης, μπορεί όμως να συμβούν και σε δίκτυα μέσης και υψηλής τάσης. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού προστασίας και τη σύνθετη αντίσταση του δικτύου, τα παραπάνω σφάλματα χαρακτηρίζονται από διαφορετικές συνθήκες σφάλματος, όπως περιγράφεται στον Πίνακα 2.19.

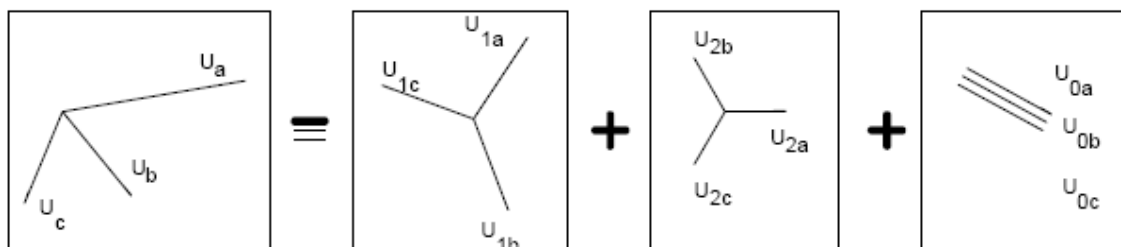
Η ύπαρξη ασύμμετρης τάσης έχει αρνητικές επιδράσεις στα τροφοδοτούμενα φορτία. Έτσι, υπό ασύμμετρη τροφοδοσία, ένας τριφασικός κινητήρας επαγωγής παρουσιάζει χαμηλή αντίσταση (παρόμοια με την αντίσταση κατά τη εκκίνησή του) και επομένως απορροφά ρεύμα ασυμμετρίας μεγαλύτερο του ονομαστικού. Η φάση ή οι φάσεις που διαρρέονται από υψηλότερο ρεύμα θερμαίνονται υπέρμετρα, καθιστώντας πιθανή την αποσύνδεσή τους λόγω αυτοπροστασίας. Κάτι τέτοιο μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή της μηχανής. Ακόμη, πολυφασικοί μετατροπείς ισχύος επηρεάζονται από την ασυμμετρία στην τροφοδοσία τους, προκαλώντας ανεπιθύμητη συνιστώσα κυμάτωσης στην d.c. πλευρά και μη χαρακτηριστικές αρμονικές στην a.c. πλευρά. Τέλος, επηρεάζονται και τα συστήματα ελέγχου, ειδικά αυτά των οποίων η λειτουργία προϋποθέτει την ύπαρξη συμμετρικού δικτύου τροφοδοσίας.

Στο σημείο αυτό, θεωρήθηκε χρήσιμο να παρουσιαστεί συνοπτικά η μέθοδος των συμμετρικών συνιστωσών ([4], [11]). Πρόκειται για τη μέθοδο που υιοθετείται για την απλοποίηση και τον υπολογισμό των ασύμμετρων σφαλμάτων που λαμβάνουν χώρα στα τριφασικά (αλλά και στα πολυφασικά γενικότερα) συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με αυτή, τα τρία ασύμμετρα διανύσματα ( $U_a$ ,  $U_b$  και  $U_c$  στο Σχήμα 2.22) ανάγονται σε τρεις ομάδες συμμετρικών διανυσμάτων ( $U_{1a}$ ,  $U_{1b}$ ,  $U_{1c}$ ;  $U_{2a}$ ,  $U_{2b}$ ,  $U_{2c}$ ;  $U_{0a}$ ,  $U_{0b}$ ,  $U_{0c}$  στο Σχήμα 2.23). Τα διανύσματα κάθε ομάδας είναι ίδιου μέτρου και μεταξύ τους, είτε διαφέρουν φασικά κατά  $120^\circ$  (ομάδες 1 και 2), είτε είναι συφασικά (ομάδα 0). Οι παραπάνω ομάδες συμμετρικών συνιστωσών των αρχικών ασύμμετρων διανυσμάτων ονομάζονται θετικής ακολουθίας (1), αρνητικής ακολουθίας (2) και μηδενικής ακολουθίας (0), αντίστοιχα. Ο προαναφερθείς μετασχηματισμός εφαρμόζεται σε στρεφόμενα διανύσματα τάσης ή ρεύματος, αλλά και σε μη στρεφόμενα, όπως είναι η σύνθετη αντίσταση. Οι τρεις ακολουθίες διανυσμάτων τάσης του Σχήματος 2.23 στρέφονται κατά την ανθορολογιακή φορά, όπως άλλωστε και η αρχική ομάδα ασύμμετρων διανυσμάτων του Σχήματος 2.22. Όμως, η αλληλουχία των φάσεων έχει αντιστραφεί για τα διανύσματα της αρνητικής ακολουθίας.



IEC 1099/2000

Σχήμα 2.22 – Ασύμμετρα διανύσματα τάσης [11].



IEC 1100/2000

$U_{1a}$ ,  $U_{1b}$ ,  $U_{1c}$ : διανύσματα θετικής ακολουθίας, ή ευθύ συμμετρικό σύστημα  
 $U_{2a}$ ,  $U_{2b}$ ,  $U_{2c}$ : διανύσματα αρνητικής ακολουθίας ή αντίστροφο συμμετρικό σύστημα  
 $U_{0a}$ ,  $U_{0b}$ ,  $U_{0c}$ : διανύσματα μηδενικής ακολουθίας ή ομοπολικό σύστημα

Σχήμα 2.23 – Συμμετρικές συνιστώσες διανυσμάτων τάσης [11].

Με βάση τα παραπάνω, ορίζεται ο συντελεστής αρνητικής ασυμμετρίας  $k_{u2}$  ως

$$k_{u2} = \frac{U_2}{U_1} \quad (2.14)$$

και ο συντελεστής μηδενικής ασυμμετρίας  $k_{u0}$  ως

$$k_{u0} = \frac{U_0}{U_1} \quad (2.15)$$

, όπου

$$U_1 = |U_{1a}| = |U_{1b}| = |U_{1c}| \quad (2.16)$$

$$U_2 = |U_{2a}| = |U_{2b}| = |U_{2c}| \quad (2.17)$$

$$U_0 = |U_{0a}| = |U_{0b}| = |U_{0c}| \quad (2.18)$$

Οι τάσεις αρνητικής ακολουθίας εξασθενούν σημαντικά κατά τη μετάβαση από δίκτυα χαμηλότερης σε δίκτυα υψηλότερης τάσης. Κατά την αντίστροφη μετάβαση, η όποια εξασθένηση εξαρτάται από την παρουσία τριφασικών στρεφόμενων μηχανών που δρουν εξισοροπητικά. Τάσεις αρνητικής ακολουθίας δημιουργούνται κυρίως από ρεύματα αρνητικής ακολουθίας ασύμμετρων φορτίων, που ρέουν στο δίκτυο.

Τέλος, οι τάσεις μηδενικής ακολουθίας εξαλείφονται από μετασχηματιστές συνδεσμολογίας Δ. Τάσεις μηδενικής ακολουθίας δημιουργούνται κυρίως από ρεύματα μηδενικής ακολουθίας ασύμμετρων φορτίων, που ρέουν στο δίκτυο. Μπορούν να επηρεάσουν τριφασικές συσκευές συνδεσμολογίας αστέρα, αλλά δεν επηρεάζουν την πλειοψηφία των τριφασικών συσκευών συνδεσμολογίας τριγώνου.

### 2.8.3 Επίπεδα δοκιμών

Τα επίπεδα δοκιμών προσδιορίζονται στον Πίνακα 2.19. Οι τιμές που δίνονται βασίζονται στην εξής φιλοσοφία. Η σοβαρότητα ενός σφάλματος σε ένα τριφασικό ηλεκτρικό σύστημα καθορίζει το επίπεδο ασυμμετρίας της τάσης. Η διάρκεια μιας κατάστασης όπου επικρατεί ασυμμετρία τάσης αντιστοιχεί στο χρόνο αντίδρασης του διακόπτη προστασίας (σε περίπτωση διφασικού βραχυκυκλώματος, το ρεύμα αυξάνει και έτσι ενεργοποιείται ο διακόπτης προστασίας). Ο χρόνος αντίδρασης όμως είναι αντιστρόφως ανάλογος της σοβαρότητας του σφάλματος.

Αριθμός δοκιμής	Κλάση 1	Κλάση 2					Κλάση 3				
		Φάση	Μέτρο % $U_N$	Γωνία °	$k_{u2}$ %	Χρόνος sec	Φάση	Μέτρο % $U_N$	Γωνία °	$k_{u2}$ %	Χρόνος sec
Δοκιμή 1	Δεν απαιτείται δοκιμή	$U_a$	100	0	6	30	$U_a$	100	0	6	60
		$U_b$	95.2	125			$U_b$	93.5	127		
		$U_c$	90	240			$U_c$	87	240		
Δοκιμή 2		$U_a$	100	0	13	15	$U_a$	100	0	17	15
		$U_b$	90	131			$U_b$	87	134		
		$U_c$	80	239			$U_c$	74	238		
Δοκιμή 3		$U_a$	110	0	25	0.1	$U_a$	110	0	25	2
		$U_b$	66	139			$U_b$	66	139		
		$U_c$	71	235			$U_c$	71	235		

Σημείωση 1:  $U_N$  είναι η ονομαστική φασική τάση του εξοπλισμού υπό δοκιμή  
Σημείωση 2: η  $U_b$  καθυστερεί σε σχέση με τη  $U_a$ , η  $U_c$  προπορεύεται της  $U_a$ .  
Σημείωση 3: κλάσεις 1, 2 και 3 ορίζονται στο εδάφιο 2.4.3.

Πίνακας 2.19 – Επίπεδα δοκιμών [11].

#### 2.8.4 Διεξαγωγή δοκιμών

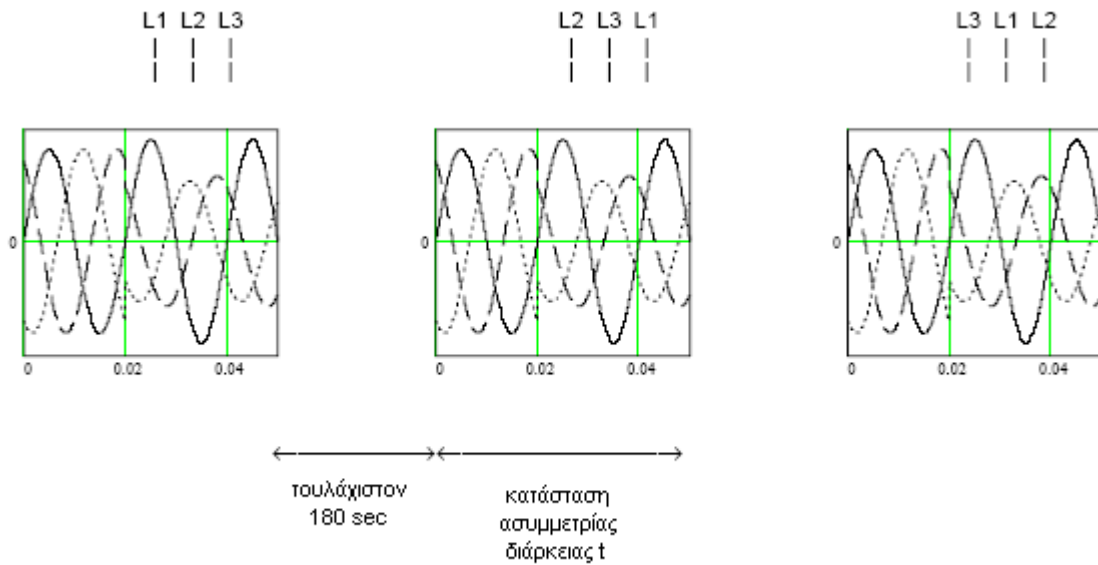
Σύμφωνα με το [11], οι κλιματολογικές συνθήκες στο εργαστήριο πρέπει να είναι εντός των ορίων που καθορίζονται για τη λειτουργία του εξοπλισμού υπό δοκιμή και του υλικού δοκιμών από τους αντίστοιχους τους κατασκευαστές τους. Δοκιμές δεν πρέπει να γίνονται εάν η σχετική υγρασία είναι τόσο υψηλή ώστε να προκαλέσει συμπύκνωση στον υπό δοκιμή εξοπλισμό ή στον εξοπλισμό δοκιμών. Επίσης, οι ηλεκτρομαγνητικές συνθήκες του εργαστηρίου πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να εξασφαλίζεται η ορθή λειτουργία του εξοπλισμού υπό δοκιμή, έτσι ώστε να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών.

Ειδικότερα τώρα, κάθε μία από τις τρεις δοκιμές του Πίνακα 2.19 θα πρέπει να περιλαμβάνει μία αλληλουχία τριών ασύμμετρων καταστάσεων, μεταξύ των οποίων εξασφαλίζονται χρονικά διαστήματα 3 τουλάχιστον λεπτών (Σχήμα 2.24). Τα επίπεδα δοκιμών εφαρμόζονται κυκλικά ως ακολούθως.

4. Πρώτη κατάσταση ασυμμετρίας:  $U_a \rightarrow L_1, U_b \rightarrow L_2, U_c \rightarrow L_3$
5. Δεύτερη κατάσταση ασυμμετρίας:  $U_a \rightarrow L_2, U_b \rightarrow L_3, U_c \rightarrow L_1$
6. Τρίτη κατάσταση ασυμμετρίας  $U_a \rightarrow L_3, U_b \rightarrow L_1, U_c \rightarrow L_2$

, όπου  $U_a, U_b$  και  $U_c$  (βλέπε Πίνακα 2.19) είναι οι τάσεις της γεννήτριας δοκιμών και  $L_1, L_2$  και  $L_3$  είναι οι είσοδοι του τριφασικού υπό δοκιμή εξοπλισμού.





IEC 1097/2000

Σχήμα 2.24 – Ακολουθία τριών καταστάσεων ασυμμετρίας μιας δοκιμής [11].

### 2.8.5 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της δοκιμής πρέπει να ταξινομούνται σε συνάρτηση με την απώλεια λειτουργίας ή υποβάθμισης της απόδοσης του εξοπλισμού υπό δοκιμή, σε σχέση με το επίπεδο των επιδόσεων που ορίζονται από τον κατασκευαστή ή τον αιτούντα της δοκιμής, ή έχει συμφωνηθεί μεταξύ του κατασκευαστή και του αγοραστή του προϊόντος. Η συνιστώμενη κατάταξη έχει ως εξής ([11]):

1. κανονική εκτέλεση εντός των ορίων που καθορίζονται από τον κατασκευαστή, τον αιτούντα ή τον αγοραστή
2. προσωρινή απώλεια της λειτουργίας ή μείωση της επίδοσης η οποία όμως παύει μετά το τέλος της διαταραχής, ενώ ο υπό δοκιμή εξοπλισμός ανακτά τις κανονικές επιδόσεις του, χωρίς την παρέμβαση του χειριστή
3. προσωρινή απώλεια της λειτουργίας ή υποβάθμιση των επιδόσεων, η διόρθωση των οποίων απαιτεί την παρέμβαση του χειριστή
4. απώλεια της λειτουργίας ή μείωση της επίδοσης που δεν είναι ανακτήσιμη, λόγω ζημιών στο υλικό ή το λογισμικό, ή απώλεια δεδομένων

Πάντως, οι προδιαγραφές του κατασκευαστή μπορεί να καθορίσουν επιπτώσεις στον υπό δοκιμή εξοπλισμό που μπορούν να θεωρηθούν ασήμαντες και συνεπώς αποδεκτές.

### 2.8.6 Κατευθύνσεις για περεταίρω εμπάθυση

Ο αναγνώστης που ενδιαφέρεται να εξοικειωθεί σε μεγαλύτερο βαθμό με το Πρότυπο IEC 61000-4-27 ([11]) προτείνεται να ανατρέξει στο ίδιο το πρότυπο αυτό. Λεπτομέρειες σχετικά με το κύκλωμα αναφοράς δοκιμών, τον μετρητικό εξοπλισμό, τις προδιαγραφές της πηγής τροφοδοσίας και τα ειδικά χαρακτηριστικά της τάσης εξόδου της, μπορούν να αναζητηθούν εκεί. Επίσης, μπορούν να αντληθούν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την κατάρτιση ενός προτεινόμενου πλάνου για την εκτέλεση μιας δοκιμής, αλλά και τη δημιουργία του κειμένου αναφοράς μιας δοκιμής (test report).

Το παρόν κείμενο σκοπίμως δεν επεκτείνεται στην περιγραφή των παραπάνω δεδομένων, καθώς κρίθηκε πως και χωρίς αυτά, ο αναγνώστης μπορεί να κατανοήσει τα βασικά σημεία του Προτύπου IEC 61000-4-27:2000 αλλά και να είναι ικανός να πραγματοποιήσει δοκιμές – όπως αυτή του υποκεφαλαίου 5.8- για μια μεγάλη πλειοψηφία δοκιμών.

## **2.9 IEC 61000-4-28 Ed. 1.1 (2001). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Διακυμάνση της συχνότητας τροφοδοσίας, δοκιμή ατρωσίας**

### **2.9.1 Πεδίο εφαρμογής**

Αυτό το μέρος της οικογένειας προτύπων IEC 61000 ([12]) αποτελεί βασική δημοσίευση σχετικά με την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC). Περιλαμβάνει δοκιμές ατρωσίας ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού συνδεδεμένου στα δημόσια και βιομηχανικά δίκτυα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το πρότυπο αυτό αποσκοπεί στη δημιουργία μίας αναφοράς για την αξιολόγηση της ατρωσίας ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών, όταν αυτές υποβάλλονται σε διακυμάνσεις της συχνότητας τροφοδοσίας τους.

Γενικά, ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός δεν επηρεάζεται από μικρές διακυμάνσεις της συχνότητας τροφοδοσίας. Έτσι, οι δοκιμές σύμφωνα με το παρόν πρότυπο θα πρέπει να περιορίζονται σε προϊόντα που αξιολογούνται ως ευαίσθητα έναντι των διακυμάνσεων συχνότητας, είτε λόγω σχεδιαστικών περιορισμών, είτε λόγω πιθανών επιδράσεων του εξωτερικού τους περιβάλλοντος. Τέλος, το πρότυπο αυτό ισχύει για ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό που έχει ρεύμα εισόδου ονομαστικής έντασης μέχρι και 16 A ανά φάση.

### **2.9.2 Περιγραφή φαινομένου**

Σύμφωνα με την περιγραφή του [12], η συχνότητα των δημόσιων a.c. ηλεκτρικών δικτύων σχετίζεται άμεσα με την ταχύτητα περιστροφής των γεννητριών και, κάθε χρονική στιγμή, επηρεάζεται από το βαθμό ισορροπίας που επιτυγχάνεται μεταξύ της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος και της καταναλισκόμενης –από τα φορτία- ισχύος.

Στα δημόσια ηλεκτρικά δίκτυα υπάρχει κανονικά εφεδρεία ισχύος για την κάλυψη των αναγκών των φορτίων σε περίπτωση αύξησης της ζήτησης. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η διατήρηση της συχνότητας του συστήματος εντός των ορίων ορίζει ο πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, υπάρχουν σπάνιες περιπτώσεις σφαλμάτων όπου ένα μεγάλο τμήμα της κατανάλωσης ή της παραγωγής τίθεται εκτός δικτύου, με συνέπεια την μεταβολή της συχνότητας του συστήματος εκτός των προκαθορισμένων ορίων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, μέρος της παραγωγής ή του φορτίου αποσυνδέεται με σκοπό την αποκατάσταση της ισορροπίας ισχύος, στο βαθμό βέβαια που αυτό είναι δυνατό.

Να σημειωθεί ότι σε μη διασυνδεδεμένα συστήματα (όπως μικρά απομονωμένα δίκτυα νησιωτικών περιοχών), οι διακυμάνσεις της συχνότητας τροφοδοσίας είναι πιθανό να είναι μεγαλύτερες και άρα σοβαρότερες.

Η κύρια επίδραση των διακυμάνσεων συχνότητας αφορά στην αλλαγή της ταχύτητας περιστροφής των στρεφόμενων ηλεκτρικών μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος, με τους

κινητήρες που δε διαθέτουν έλεγχο ταχύτητας να λειτουργούν σε, υψηλότερα ή χαμηλότερα των ονομαστικών, επίπεδα ισχύος. Ακόμη, επηρεάζεται ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός που χρησιμοποιεί τη συχνότητα της τάσης τροφοδοσίας του ως χρονική αναφορά, ενώ ορισμένα συστήματα ελέγχου μπορεί να παρουσιάσουν σφάλματα μετρήσεων και απώλεια συγχρονισμού. Τέλος, είναι πιθανή η απορύθμιση εξοπλισμού που περιλαμβάνει παθητική φίλτρα.

### 2.9.3 Επίπεδα δοκιμών

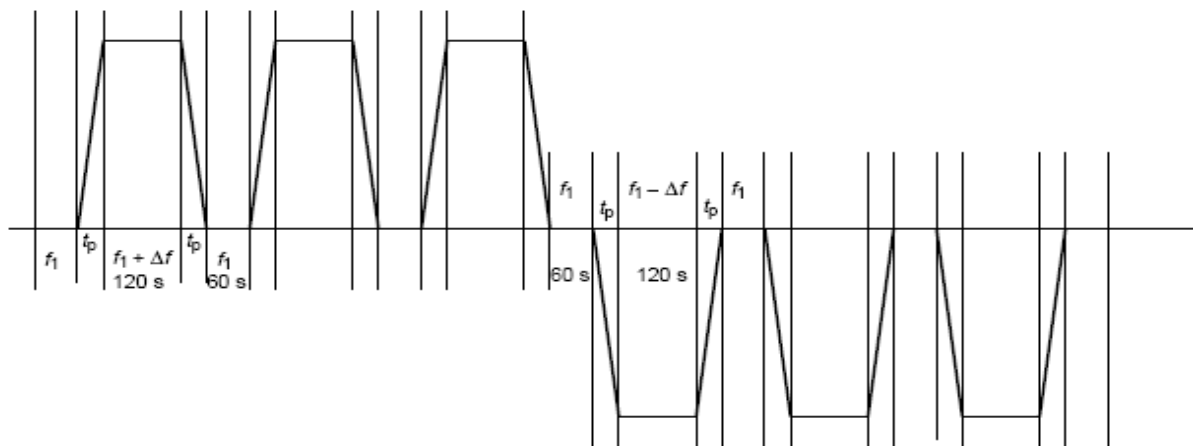
Οι δοκιμές πραγματοποιούνται υπό την ονομαστική τάση του δικτύου. Αρχικά, ο υπό δοκιμή εξοπλισμός λειτουργεί σε συχνότητα  $f_1$  και στη συνέχεια υποβάλλεται σε σειρά από διακυμάνσεις συχνότητας, σύμφωνα με το Σχήμα 2.25. Το μέγεθος  $\Delta f/f_1$  ορίζεται ως ποσοστό της ονομαστικής συχνότητας δικτύου  $f_1$  (π.χ. 50Hz). Τα επίπεδα δοκιμών προσδιορίζονται στον Πίνακα 2.20.

Επίπεδα δοκιμών	Διακύμανση συχνότητας ( $\Delta f/f_1$ )	Χρόνος μετάβασης $t_p$
1	Δεν απαιτείται δοκιμή	Δεν απαιτείται δοκιμή
2	$\pm 3\%$	10 s
3	+4% -6%	10 s
4	$\pm 15\%$	1 s

Πίνακας 2.20 – Επίπεδα δοκιμών για διακυμάνσεις συχνότητας [12].

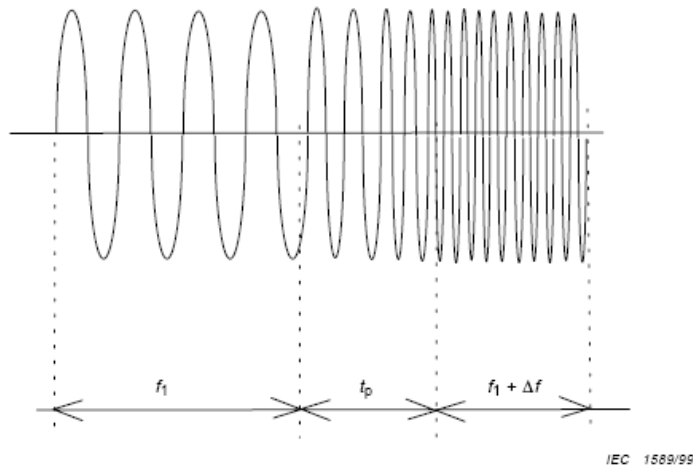
Κατά τη διάρκεια της μεταβατικής περιόδου  $t_p$  (βλ. Σχήμα 2.26), η μέγιστη μεταβολή συχνότητας ανά κύκλο πρέπει να είναι μικρότερη από το 0.5 % της  $f_1$ .

Τα επίπεδα δοκιμών 1 και 2 αφορούν εξοπλισμό χαρακτηρισμένο ως Κλάσης 1 και 2, αντίστοιχα. Τα επίπεδα 3 και 4 αφορούν εξοπλισμό του οποίου η απρόσκοπτη λειτουργία θεωρείται κρίσιμη για την εκτέλεση μιας εφαρμογής. Το επίπεδο 3 αναφέρεται σε εξοπλισμό που προορίζεται για σύνδεση σε διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο, ενώ το επίπεδο 4 καλύπτει την περίπτωση σύνδεσης σε μη διασυνδεδεμένο δίκτυο.



Σχήμα 2.25 – Αλληλουχία διακυμάνσεων συχνότητας [12].

IEC 1558/99



Σχήμα 2.26 – Παράδειγμα μεταβατικής περιόδου  $t_p$  [12].

#### 2.9.4 Διεξαγωγή δοκιμών

Σύμφωνα με το [12], οι κλιματολογικές συνθήκες στο εργαστήριο πρέπει να είναι εντός των ορίων που καθορίζονται για τη λειτουργία του εξοπλισμού υπό δοκιμή και του υλικού δοκιμών από τους αντίστοιχους τους κατασκευαστές τους. Δοκιμές δεν πρέπει να γίνονται εάν η σχετική υγρασία είναι τόσο υψηλή ώστε να προκαλέσει συμπύκνωση στον υπό δοκιμή εξοπλισμό ή στον εξοπλισμό δοκιμών. Επίσης, οι ηλεκτρομαγνητικές συνθήκες του εργαστηρίου πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να εξασφαλίζεται η ορθή λειτουργία του εξοπλισμού υπό δοκιμή, έτσι ώστε να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών.

Ειδικότερα τώρα, ο υπό δοκιμή εξοπλισμός πρέπει να δοκιμάζεται βάση του κατάλληλου επιπέδου δοκιμής (βλ. εδάφιο 2.9.3). Κάθε δοκιμή θα πρέπει να εκτελείται τρεις φορές, σύμφωνα με το Σχήμα 2.25. Κάθε αντιπροσωπευτική λειτουργική κατάσταση του δοκιμίου θα πρέπει να ελεγχθεί. Για τριφασικά συστήματα, όλες οι φάσεις πρέπει να ελέγχονται ταυτόχρονα, εφαρμόζοντας ταυτόχρονα σε αυτές τις διακυμάνσεις συχνότητας.

#### 2.9.5 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της δοκιμής πρέπει να ταξινομούνται σε συνάρτηση με την απώλεια λειτουργίας ή υποβάθμισης της απόδοσης του εξοπλισμού υπό δοκιμή, σε σχέση με το επίπεδο των επιδόσεων που ορίζονται από τον κατασκευαστή ή τον αιτούντα της δοκιμής, ή έχει συμφωνηθεί μεταξύ του κατασκευαστή και του αγοραστή του προϊόντος. Η συνιστώμενη κατάταξη έχει ως εξής ([12]):

1. κανονική εκτέλεση εντός των ορίων που καθορίζονται από τον κατασκευαστή, τον αιτούντα ή τον αγοραστή
2. προσωρινή απώλεια της λειτουργίας ή μείωση της επίδοσης η οποία όμως παύει μετά το τέλος της διαταραχής, ενώ ο υπό δοκιμή εξοπλισμό ανακτά τις κανονικές επιδόσεις του, χωρίς την παρέμβαση του χειριστή
3. προσωρινή απώλεια της λειτουργίας ή υποβάθμιση των επιδόσεων, η διόρθωση των οποίων απαιτεί την παρέμβαση του χειριστή

4. απώλεια της λειτουργίας ή μείωση της επίδοσης που δεν είναι ανακτήσιμη, λόγω ζημιών στο υλικό ή το λογισμικό, ή απώλεια δεδομένων

Πάντως, οι προδιαγραφές του κατασκευαστή μπορεί να καθορίσουν επιπτώσεις στον υπό δοκιμή εξοπλισμό που μπορούν να θεωρηθούν ασήμαντες και συνεπώς αποδεκτές.

### **2.9.6 Κατευθύνσεις για περαιτέρω εμβάθυνση**

Ο αναγνώστης που ενδιαφέρεται να εξοικειωθεί σε μεγαλύτερο βαθμό με το Πρότυπο IEC 61000-4-28 ([12]) προτείνεται να ανατρέξει στο ίδιο το πρότυπο αυτό. Λεπτομέρειες σχετικά με το κύκλωμα αναφοράς δοκιμών, τον μετρητικό εξοπλισμό και τις προδιαγραφές της πηγής τροφοδοσίας, μπορούν να αναζητηθούν εκεί. Επίσης, μπορούν να αντληθούν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την κατάρτιση ενός προτεινόμενου πλάνου για την εκτέλεση μιας δοκιμής, αλλά και τη δημιουργία του κειμένου αναφοράς μιας δοκιμής (test report).

Το παρόν κείμενο σκοπίμως δεν επεκτείνεται στην περιγραφή των παραπάνω δεδομένων, καθώς κρίθηκε πως και χωρίς αυτά, ο αναγνώστης μπορεί να κατανοήσει τα βασικά σημεία του Προτύπου IEC 61000-4-28:2001 αλλά και να είναι ικανός να πραγματοποιήσει δοκιμές – όπως αυτή του υποκεφαλαίου 5.7- για μια μεγάλη πλειοψηφία δοκιμών.

## **2.10 IEC 61000-29 Ed. 1.0 (2000). Δοκιμές και τεχνικές μέτρησης - Δοκιμές ατρωσίας σε βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης στην είσοδο παροχής συνεχούς ρεύματος**

### **2.10.1 Πεδίο εφαρμογής**

Αυτό το μέρος της οικογένειας προτύπων IEC 61000 ([13]) καθορίζει τις μεθόδους δοκιμών ατρωσίας για βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης στην είσοδο παροχής συνεχούς ρεύματος ηλεκτρικού ή ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Το πρότυπο αυτό ισχύει για εξοπλισμό χαμηλής d.c. τάσης, στον οποίο η ισχύς παρέχεται από εξωτερικά δίκτυα d.c..

Το αντικείμενο της παρούσας προδιαγραφής είναι να θεσπίσει μία κοινή και αναπαραγωγίμη βάση για εργαστηριακές δοκιμές ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, όταν υποβάλλονται σε βυθίσεις τάσης, σύντομες διακοπές και διακυμάνσεις τάσης.

### **2.10.2 Χρήσιμοι ορισμοί**

Στο [13] περιλαμβάνονται, μεταξύ άλλων, οι παρακάτω χρήσιμοι ορισμοί:

- Βύθιση τάσης. Μία ξαφνική μείωση της τάσης σε ένα συγκεκριμένο σημείο του d.c. συστήματος διανομής χαμηλής τάσης, ακολουθούμενη από την αποκατάστασή της μετά από ένα σύντομο χρονικό διάστημα. Το σύντομο αυτό χρονικό διάστημα έχει διάρκεια από μερικά msec έως μερικά sec.
- Σύντομη διακοπή. Η εξαφάνιση της τάσης σε ένα συγκεκριμένο σημείο του d.c. συστήματος διανομής χαμηλής τάσης για χρονικό διάστημα που τυπικά δεν ξεπερνάει το 1 λεπτό. Στην πράξη, μια βύθιση τάσης, πλάτους τουλάχιστον 80% της ονομαστικής μπορεί να θεωρηθεί ως διακοπή.

- Διακύμανση τάσης. Μία σταδιακή μεταβολή της τάσης του δικτύου σε υψηλότερη ή χαμηλότερη της ονομαστικής τιμή. Η διάρκεια της μεταβολής μπορεί να είναι μικρή ή μεγάλη.

### 2.10.3 Περιγραφή φαινομένου

Η λειτουργία του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού μπορεί να επηρεαστεί από βυθίσεις, σύντομες διακοπές ή διακυμάνσεις της παρεχόμενης τάσης.

Με βάση τα δεδομένα του [13], βυθίσεις και σύντομες διακοπές τάσης προκαλούνται κυρίως, είτε από σφάλματα στο d.c. δίκτυο διανομής, είτε από απότομες μεγάλες αλλαγές του φορτίου. Επίσης, είναι δυνατό να συμβούν δύο ή περισσότερες συνεχόμενες βυθίσεις ή διακοπές τάσης. Ειδικότερα, οι διακοπές τάσης, κατά κύριο λόγο, προκαλούνται από την μεταγωγή των μηχανικών ρελέ κατά την αλλαγή από τη μία πηγή στην άλλη (π.χ. από γεννήτρια σε μπαταρία). Κατά τη διάρκεια μιας σύντομης διακοπής, το d.c. δίκτυο παροχής μπορεί να παρουσιάζει «υψηλή αντίσταση» ή «χαμηλή αντίσταση». Η πρώτη περίπτωση μπορεί να οφείλεται σε μεταγωγή από μία πηγή σε άλλη. Η δεύτερη περίπτωση μπορεί να οφείλεται στην εκκαθάριση μιας υπερφόρτισης ή σε ένα σφάλμα του δικτύου. Το τελευταίο μπορεί να προκαλέσει τη ροή ανάστροφου ρεύματος (αρνητικό μέγιστο ρεύμα εισροής) προερχόμενο από το φορτίο.

Τέλος, η κυριότερη αιτία των διακυμάνσεων τάσης είναι η εκφόρτιση και η επαναφόρτιση συστημάτων με μπαταρίες. Ωστόσο, διακυμάνσεις δημιουργούνται επίσης όταν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές του επιπέδου φόρτισης ενός d.c. δικτύου.

### 2.10.4 Επίπεδα δοκιμών

Οι τάσεις σε αυτό το πρότυπο ([13]) χρησιμοποιούν την ονομαστική τάση του εξοπλισμού ( $U_t$ ) ως βάση των προδιαγραφών για τα επίπεδα τάσης των δοκιμών. Όταν όμως η ονομαστική τάση του εξοπλισμού καλύπτει ένα φάσμα, ισχύουν τα εξής:

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

Χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα επίπεδα τάσης δοκιμών (σε ποσοστό %  $U_t$ ):

- 0%, που αντιστοιχεί σε διακοπές τάσης,
- 40% και 70%, που αντιστοιχούν σε βυθίσεις στο 60% και 30%,
- 80% και 120%, που αντιστοιχούν σε διακυμάνσεις  $\pm 20\%$ .

Η αλλαγές της τάσης είναι χρονικά απότομες, της τάξης των  $\mu\text{s}$  (από 1 έως 50 $\mu\text{s}$ ).

Τα προτιμώμενα επίπεδα δοκιμής και οι αντίστοιχές διάρκειές τους παρατίθενται στους Πίνακες 2.21, 2.22 και 2.23.

Δοκιμή	Επίπεδο δοκιμής % $U_t$	Διάρκεια s
Βυθίσεις τάσης	40 και 70	0.01
		0.03
		0.1
		0.3
		1

Πίνακας 2.21 – Προτιμώμενα επίπεδα δοκιμών και διάρκειες για βυθίσεις τάσης [13].

Δοκιμή	Περίπτωση	Επίπεδο δοκιμής % $U_t$	Διάρκεια s
Σύντομες διακοπές	«υψηλή αντίσταση» και / ή «χαμηλή αντίσταση»	0	0.001
			0.003
			0.01
			0.03
			0.1
			0.3
1			

Πίνακας 2.22 – Προτιμώμενα επίπεδα δοκιμών και διάρκειες για σύντομες διακοπές τάσης [13].

Δοκιμή	Επίπεδο δοκιμής % $U_t$	Διάρκεια s
Διακυμάνσεις τάσης	85 και 120 ή 80 και 120	0.1
		0.3
		1
		3
		10

Πίνακας 2.23 – Προτιμώμενα επίπεδα δοκιμών και διάρκειες για διακυμάνσεις τάσης [13].

Αν ο υπό δοκιμή εξοπλισμός ελέγχεται για σύντομες διακοπές, είναι περιττό να δοκιμαστεί στη συνέχεια σε άλλα επίπεδα της ίδιας διάρκειας, εκτός και η ατρωσία του εξοπλισμού επηρεάζεται ιδιαίτερος δυσμενώς από βυθίσεις τάσης σε λιγότερο από το 70%  $U_t$ .

Τέλος, για να βεβαιωθεί ότι το δοκίμιο λειτουργεί όπως θα έπρεπε, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οι μικρότερες -κάθε φορά- διάρκειες δοκιμών που περιλαμβάνονται στους Πίνακες 2.21 έως 2.23.

### **2.10.5 Διεξαγωγή δοκιμών**

Με βάση το [13], οι κλιματολογικές συνθήκες στο εργαστήριο πρέπει να είναι εντός των ορίων που καθορίζονται για τη λειτουργία του εξοπλισμού υπό δοκιμή και του υλικού δοκιμών από τους αντίστοιχους τους κατασκευαστές τους. Δοκιμές δεν πρέπει να γίνονται εάν η σχετική υγρασία είναι τόσο υψηλή ώστε να προκαλέσει συμπύκνωση στον υπό δοκιμή εξοπλισμό ή στον εξοπλισμό δοκιμών. Επίσης, οι ηλεκτρομαγνητικές συνθήκες του εργαστηρίου πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να εξασφαλίζεται η ορθή λειτουργία του εξοπλισμού υπό δοκιμή, έτσι ώστε να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών.

Η γεννήτρια δοκιμής, κατά τη δημιουργία σύντομων διακοπών, πρέπει να είναι σε θέση να:

- λειτουργεί σε κατάσταση «χαμηλής αντίστασης», απορροφώντας ρεύμα εισροής από το φορτίο (εφόσον υπάρχει), ή
- σε κατάσταση «υψηλής αντίστασης», εμποδίζοντας το ρεύμα εισροής από το φορτίο (εφόσον υπάρχει).

Η γεννήτρια δοκιμής, κατά την παραγωγή των βυθίσεων και διακυμάνσεων τάσης, πρέπει να λειτουργεί σε κατάσταση «χαμηλής αντίστασης».

Όσο αφορά τις δοκιμές βυθίσεων / σύντομων διακοπών τάσης, ο υπό δοκιμή εξοπλισμός θα πρέπει να δοκιμάζεται για τον επιλεγμένο συνδυασμό επιπέδου τάσης δοκιμής και χρόνου από τους Πίνακες 2.21 και 2.22, με μια αλληλουχία τριών βυθίσεων / διακοπών, με διαστήματα των 10s κατ' ελάχιστο (μεταξύ των βυθίσεων / διακοπών). Κάθε αντιπροσωπευτικός τρόπος λειτουργίας θα πρέπει να ελέγχεται. Ειδικότερα, οι δοκιμές σύντομων διακοπών θα πρέπει να πραγματοποιούνται με τη γεννήτρια δοκιμών ρυθμισμένη σε κατάσταση «υψηλής αντίστασης» (εμποδίζοντας το ρεύμα εισροής από το φορτίο), αλλά και σε κατάσταση «χαμηλής αντίστασης» (απορροφώντας το ρεύμα εισροής από το φορτίο). Επίσης, οι προαναφερθείσες δοκιμές μπορούν να δημιουργήσουν μεταβατικές υπερτάσεις στα άκρα του υπό δοκιμή εξοπλισμού· η εμφάνιση τέτοιων υπερτάσεων θα πρέπει να περιγραφεί στο κείμενο αναφοράς της δοκιμής.

Όσο αφορά τη δοκιμή διακυμάνσεων τάσης, ο υπό δοκιμή εξοπλισμός θα πρέπει να ελέγχεται σύμφωνα με τον Πίνακα 2.23, τρεις φορές με διαστήματα των 10s (μεταξύ των διακυμάνσεων), για τις πιο αντιπροσωπευτικές μορφές λειτουργίας του.

### **2.10.6 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων**

Τα αποτελέσματα της δοκιμής πρέπει να ταξινομούνται σε συνάρτηση με την απώλεια λειτουργίας ή υποβάθμισης της απόδοσης του εξοπλισμού υπό δοκιμή, σε σχέση με το επίπεδο των επιδόσεων που ορίζονται από τον κατασκευαστή ή τον αιτούντα της δοκιμής, ή έχει συμφωνηθεί μεταξύ του κατασκευαστή και του αγοραστή του προϊόντος. Η συνιστώμενη κατάταξη έχει ως εξής ([13]):

1. κανονική εκτέλεση εντός των ορίων που καθορίζονται από τον κατασκευαστή, τον αιτούντα ή τον αγοραστή



2. προσωρινή απώλεια της λειτουργίας ή μείωση της επίδοσης η οποία όμως παύει μετά το τέλος της διαταραχής, ενώ ο υπό δοκιμή εξοπλισμό ανακτά τις κανονικές επιδόσεις του, χωρίς την παρέμβαση του χειριστή
3. προσωρινή απώλεια της λειτουργίας ή υποβάθμιση των επιδόσεων, η διόρθωση των οποίων απαιτεί την παρέμβαση του χειριστή
4. απώλεια της λειτουργίας ή μείωση της επίδοσης που δεν είναι ανακτήσιμη, λόγω ζημιών στο υλικό ή το λογισμικό, ή απώλεια δεδομένων

Πάντως, οι προδιαγραφές του κατασκευαστή μπορεί να καθορίσουν επιπτώσεις στον υπό δοκιμή εξοπλισμό που μπορούν να θεωρηθούν ασήμαντες και συνεπώς αποδεκτές.

### **2.10.7 Κατευθύνσεις για περαιτέρω εμβάθυνση**

Ο αναγνώστης που ενδιαφέρεται να εξοικειωθεί σε μεγαλύτερο βαθμό με το Πρότυπο IEC 61000-4-29 ([13]) προτείνεται να ανατρέξει στο ίδιο το πρότυπο αυτό. Λεπτομέρειες σχετικά με το κύκλωμα αναφοράς δοκιμών, τον μετρητικό εξοπλισμό, τις προδιαγραφές της πηγής τροφοδοσίας και τα ειδικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας της, μπορούν να αναζητηθούν εκεί. Επίσης, μπορούν να αντληθούν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την κατάρτιση ενός προτεινόμενου πλάνου για την εκτέλεση μιας δοκιμής, αλλά και τη δημιουργία του κειμένου αναφοράς μιας δοκιμής (test report).

Το παρόν κείμενο σκοπίμως δεν επεκτείνεται στην περιγραφή των παραπάνω δεδομένων, καθώς κρίθηκε πως και χωρίς αυτά, ο αναγνώστης μπορεί να κατανοήσει τα βασικά σημεία του Προτύπου IEC 61000-4-29:2000.



## 3 AC/DC Πηγή - California Instruments MX30-3Pi

---

### 3.1 Γενικά

Το μοντέλο MX30-3Pi της εταιρίας California Instruments (βλ. Σχήμα 3.1) αποτελεί μία προγραμματιζόμενη πηγή εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος, μεγάλης απόδοσης, που προσφέρει έξοδο υψηλής ακρίβειας και χαμηλής παραμόρφωσης. Τα διαθέσιμα εύρη τάσης είναι 150 V, 300 V και 400 V σε AC λειτουργία, ενώ σε λειτουργία DC είναι 200 V και 400 V. Η λειτουργία της μπορεί να είναι μονοφασική ή τριφασική. Ακόμη, ο ελεγκτής Pi προσφέρει διάφορα πρόσθετα χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένων των διεπαφών τύπου RS232C, USB, IEEE-488 για απομακρυσμένο έλεγχο μέσω H/Y, της δυνατότητας δημιουργίας πολύπλοκων, μη τυποποιημένων κυματομορφών, αλλά και πρόσθετων λειτουργιών για τη διεξαγωγή μετρήσεων. Μια αναλυτικότερη περιγραφή των λειτουργιών και των δυνατοτήτων της συγκεκριμένης πηγής υπάρχει στο υποκεφάλαιο 3.4.

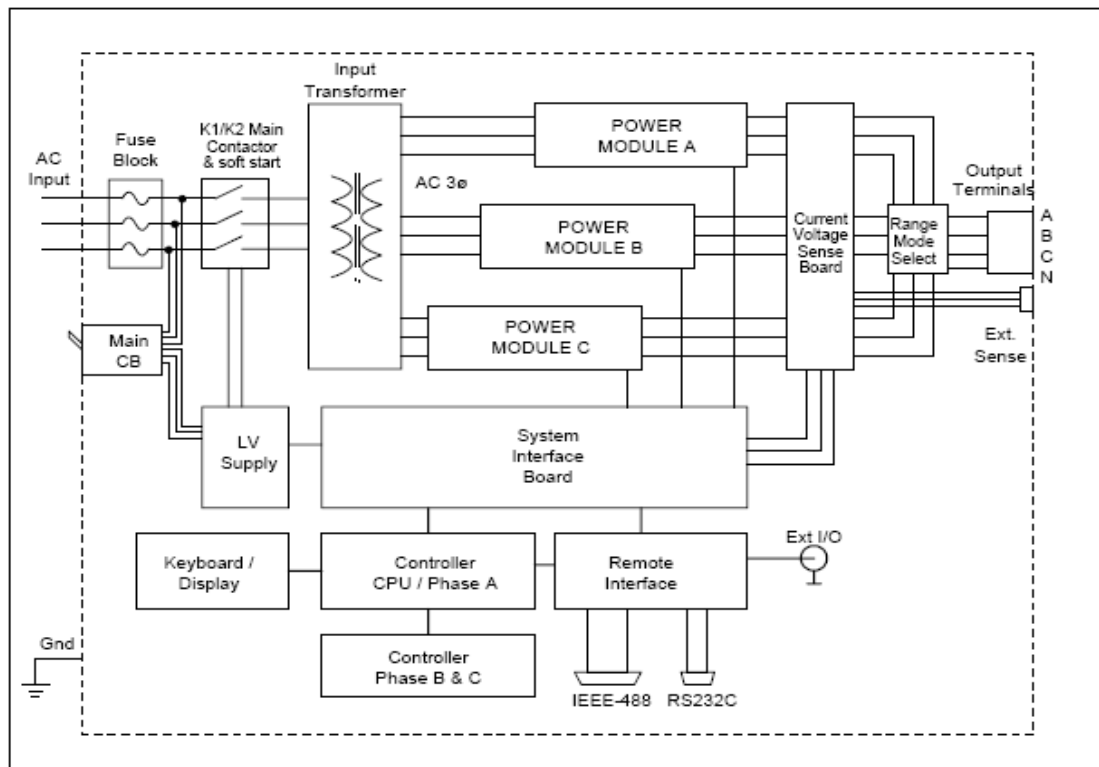


Σχήμα 3.1 – Η πηγή MX30-3Pi [14].

### 3.2 Βασικές αρχές λειτουργίας

#### 3.2.1 Συνολική περιγραφή

Παρακάτω, στο Σχήμα 3.2 φαίνεται το λειτουργικό μπλοκ διάγραμμα του MX30-3Pi.



Σχήμα 3.2 – Λειτουργικό μπλοκ διάγραμμα του μοντέλου MX30-3Pi [14].

Σύμφωνα με τις πληροφορίες που περιέχονται στο [14], η τριφασική ισχύς δρομολογείται από το πίσω μέρος του μηχανήματος στο μπλοκ με τις ασφάλειες, που βρίσκεται στο κάτω μπροστινό μέρος της μονάδας. Από το τμήμα ασφαλειών, η είσοδος AC συνδέεται στο πρωτεύον του τριφασικού μετασχηματιστή εισόδου. Ο μετασχηματιστής εισόδου παρέχει την απαιτούμενη απομόνωση μεταξύ εισόδου και εξόδου του MX και δέχεται διάφορες τάσεις εισόδου, λόγω των διαφόρων taps που διαθέτει. Τρεις ομάδες των τριών φάσεων παρέχονται από το δευτερεύον του μετασχηματιστή για να δημιουργηθούν έτσι τρεις ζυγοί εξόδου, μη ρυθμισμένης (unregulated) τάσης 140 V έκαστος. Κάθε μία από αυτές τις εξόδους τροφοδοτεί μία από τις τρεις μονάδες ισχύος (A, B και Γ). Οι μονάδες ισχύος που βρίσκεται στο μέσο του πλαισίου του MX και μπορούν να αφαιρεθούν από το μπροστινό μέρος της μονάδας, μετά την αφαίρεση του επάνω πίνακα πρόσβασης και έχοντας αποσυνδέσει την ισχύ τροφοδοσίας και την καλωδίωση εξόδου.

Κάθε μονάδα ισχύος περιέχει μία τριφασική μονάδα εισόδου τύπου PFC. Η μονάδα PFC λειτουργεί ως ένας μετατροπέας ανύψωσης, χρησιμοποιώντας ένα μετατροπέα τοπολογίας PWM για να δημιουργήσει ένα ρυθμισμένο (regulated) ζυγό DC στα 450 V. Μια συστοιχία ηλεκτρολυτικών πυκνωτών υψηλής χωρητικότητας για κάθε ζυγό DC εξασφαλίζει την ανταπόκριση του συστήματος σε υψηλές απαιτήσεις ρεύματος.

Ο ζυγός DC παρέχει ισχύ στον ενισχυτή AC. Κάθε ενισχυτής με τη σειρά του αποτελείται από τέσσερις ενότητες (βλ. A10, A11, A12 και A13 στο Σχήμα 3.3). Αυτές οι τέσσερις ενότητες ενισχυτή είναι όμοιες. Η έξοδος του ενισχυτή μπορεί να είναι AC, DC ή συνδυασμός των AC και DC. Για τη λειτουργία αυτή είναι υπεύθυνος ο ελεγκτής της CPU, με βάση την επιλογή του χρήστη. Και οι τέσσερις ενότητες ενισχυτή σε κάθε μονάδα ισχύος ελέγχονται από μία ενιαία κάρτα Διαμορφωτή. Η τελευταία περιέχει ένα διαμορφωτή PWM υψηλής συχνότητας και ένα πρόσθετο κύκλωμα ελέγχου.

Ο ελεγκτής της CPU παράγει την αναφορά κυματομορφών και παρέχει έλεγχο συχνότητας, πλάτους και αντίστασης. Μία κάρτα μέτρησης της τάσης και του ρεύματος βρίσκεται στο αριστερό κάτω μέρος της συσκευής και χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του συνόλου του ρεύματος και της τάσης εξόδου. Η κάρτα μέτρησης ρεύματος, σε συνδυασμό με τον ελεγκτή CPU, υποστηρίζει επίσης την προγραμματιζόμενη λειτουργία για τον περιορισμό της RMS τιμής του ρεύματος.

Η Κάρτα Διεπαφών Συστήματος ελέγχει όλες τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ελεγκτή, μονάδων ισχύος και κάρτας μέτρησης ρεύματος. Η κάρτα διεπαφών συστήματος βρίσκεται στο πάνω τμήμα του MX, μαζί με τον ελεγκτή.

Η χαμηλή τάση στον ελεγκτή, τους ενισχυτές, την κάρτα διεπαφών συστήματος και την κάρτα μέτρησης παρέχεται από ένα ξεχωριστό τροφοδοτικό χαμηλής τάσης (LV Power Supply). Αυτό το τροφοδοτικό δέχεται τριφασική AC είσοδο κατευθείαν από τη γραμμή εισόδου AC, μέσω του διακόπτη CB1 που βρίσκεται στην εμπρόσθια όψη του MX. Αυτός λειτουργεί ως κύριος διακόπτης on/off της μονάδας MX. Η κάρτα LV Supply σκάφους μετατρέπει την είσοδο AC σε έναν αριθμό απομονωμένων, ρυθμισμένων (regulated) τροφοδοτικών χαμηλής DC τάσης που διανέμονται σε όλη το σασί του MX. Παρέχει επίσης την απαιτούμενη ισχύ για τα κυκλώματα ελέγχου όλων των διακοπών, συμπεριλαμβανομένου και του διακόπτη τροφοδοσίας AC (K2). Ένας μικρός ανεμιστήρας βρίσκεται κοντά στο τροφοδοτικό LV για να παρέχει επαρκή ψύξη του τροφοδοτικού και των άλλων μονάδων στο άνω τμήμα του MX.

Στα εδάφια που ακολουθούν περιγράφονται τα επιμέρους υποσυστήματα του μπλοκ διαγράμματος του MX30-3Pi (βλ. Σχήμα 3.2).

### **3.2.2 Τμήμα Ελέγχου**

Το σύνολο των ελεγκτών βρίσκεται στο πάνω μέρος της μονάδας MX και αποτελείται από τρία τυπωμένα κυκλώματα που συνδέονται μεταξύ τους με καλώδιο. Στο τμήμα ελέγχου συναντάται ο κύριος ταλαντωτής, ο οποίος παράγει το ημιτονοειδές σήμα και καθορίζει τα επίπεδα ορίων για τη συχνότητα, την τάση και το ρεύμα. Μετράει επίσης την τάση εξόδου παρέχοντας έλεγχο κλειστού βρόχου για την έξοδο. Ειδικότερα, το τμήμα ελέγχου περιλαμβάνει τον ελεγκτή CPU, την κάρτα ελέγχου ηλεκτρολογίου / οθόνης και την κάρτα ελέγχου των διεπαφών RS232C, USB και IEEE-488.

### **3.2.3 Κάρτα Διεπαφών Συστήματος**

Η Κάρτα Διεπαφών Συστήματος βρίσκεται στο πάνω μέρος της μονάδας MX και λαμβάνει το σήμα του ταλαντωτή από τον ελεγκτή CPU για όλες τις φάσεις και το περνάει μέσα από τους τρεις ενισχυτές των οποίων τα κέρδη ελέγχονται από ένα σήμα που προέρχεται από το κύκλωμα προστασίας έναντι υπερέντασης. Αν το ρεύμα φορτίου υπερβαίνει την προγραμματισμένη οριακή τιμή, το κύκλωμα προστασίας έναντι υπερέντασης μειώνει το πλάτος του σήματος οδήγησης του ταλαντωτή. Η πηγή παρέχει τότε σταθερής τιμής ρεύμα εξόδου, με την τάση εξόδου να μειώνεται καθώς αυξάνεται η φόρτιση.

Η κάρτα διεπαφών συστήματος παρακολουθεί επίσης έναν αριθμό σημάτων κατάστασης προερχόμενα από τους ενισχυτές. Εάν οποιοδήποτε σήμα κατάστασης είναι ψευδές, η κάρτα διεπαφών συστήματος θα κλείσει το MX.

### **3.2.4 Κάρτα Μέτρησης Ρεύματος / Τάσης**

Η κάρτα μέτρησης ρεύματος / τάσης μετρά το ρεύμα εξόδου και την τάση των τριών ενισχυτών και τροφοδοτεί αυτές τις πληροφορίες πίσω στην κάρτα διεπαφών συστήματος. Αυτά τα ίδια σήματα χρησιμοποιούνται επίσης από τον ελεγκτή για όλες τις λειτουργίες μέτρησης. Η μέτρηση τα τάσης επιτυγχάνεται είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά.

### **3.2.5 Τροφοδοτικό Χαμηλής Τάσης**

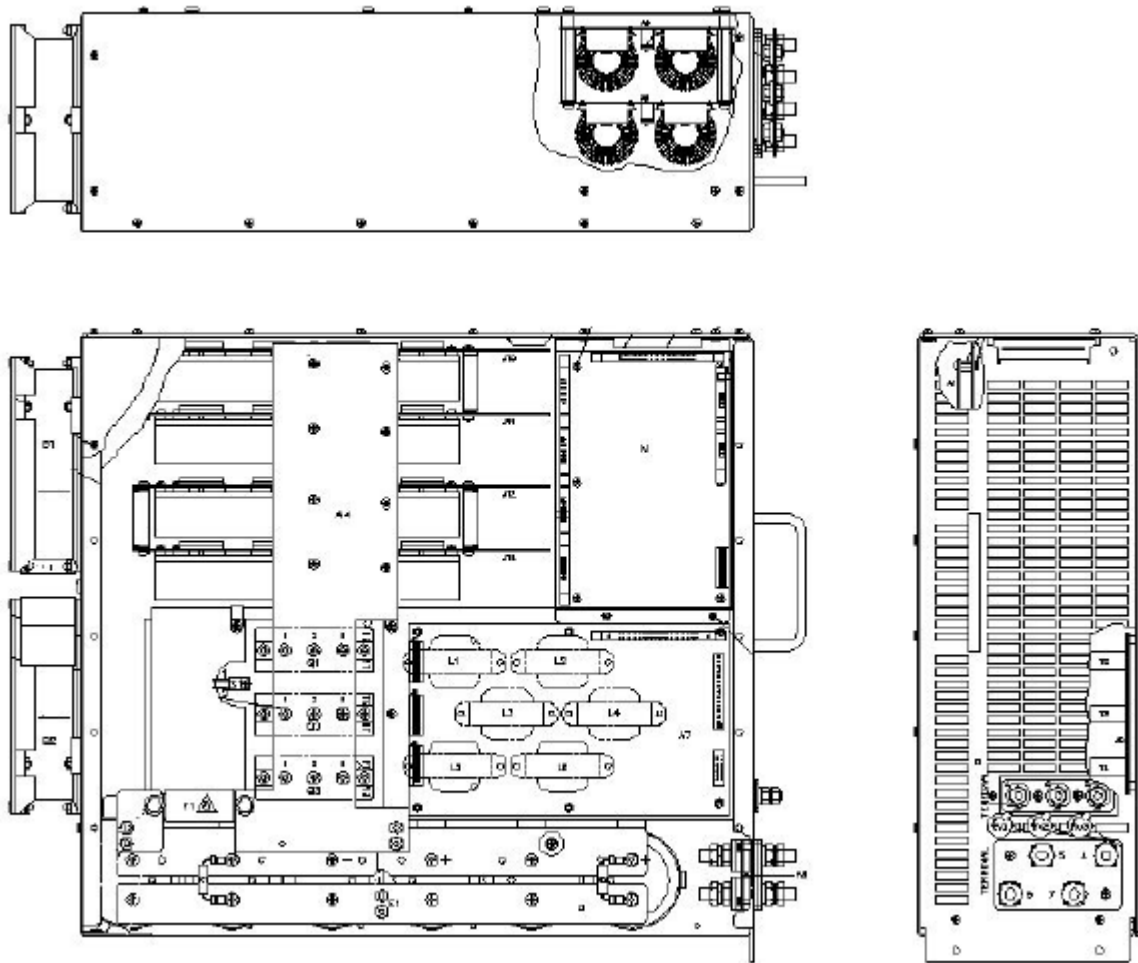
Το τροφοδοτικό Χαμηλής Τάσης (LV Power Supply) τοποθετείται πίσω από την κάρτα διεπαφών συστήματος στο πάνω τμήμα του MX. Αυτό το τμήμα δημιουργεί όλες τις απαιτούμενες εξόδους χαμηλής DC τάσης:

7. +/- 19 V για την κάρτα διεπαφών συστήματος και τις μονάδες ισχύος,
8. + 9 V για τον ταλαντωτή,
9. + 24 V για τα κυκλώματα ελέγχου (πηνία) όλων των διακοπών και για τον ανεμιστήρα ψύξης του τροφοδοτικό Χαμηλής Τάσης,
10. απομονωμένη + 8 V για την IEEE-488 / RS232 κάρτα.

### **3.2.6 Μονάδα Ισχύος**

Η μονάδα MX φιλοξενεί τρεις μονάδες ισχύος. Αυτές οι μονάδες βρίσκονται στο κέντρο της μονάδας πλαισίου και μπορούν να αφαιρεθούν ύστερα από την αφαίρεση του μπροστινού καλύμματος. Κάθε μονάδα ισχύος είναι πλήρως αυτόνομη και αποτελεί ένα πλήρες μετατροπέα AC σε AC ή AC σε DC. Οι τρεις μονάδες ισχύος είναι ταυτόσημες. Η μονάδα ισχύος παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.3.

Ειδικότερα, το τμήμα ισχύος περιλαμβάνει τον Μετατροπέα Ισχύος Εισόδου τύπου PFC, την Κάρτα Διαμορφωτή, τις τέσσερις Κάρτες Ενισχυτών, τις Κάρτες Φίλτρων, την Κάρτα Τροφοδοσίας Ανεμιστήρα και την Κάρτα των Snubber Εξόδου.



Σχήμα 3.3 – Σχεδιάγραμμα Μονάδας Ισχύος [14].

### 3.3 Προδιαγραφές και συνδεσμολογία

Οι προδιαγραφές που παρουσιάζονται είναι έγκυρες εντός ενός εύρους θερμοκρασίας περιβάλλοντος  $25 \pm 5$  °C και ισχύουν μετά από χρόνο προθέρμανσης 30 λεπτών. Εφόσον δεν αναφέρεται αλλιώς, όλες οι προδιαγραφές είναι ανά φάση, για ημιτονοειδές σήμα εξόδου, με ωμικό φορτίο. Για τριφασικό τρόπο λειτουργίας, όλες οι προδιαγραφές είναι φασικές και οι προδιαγραφές για τη γωνία φάσης ισχύουν μόνο υπό συμμετρική φόρτιση.

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι κυριότερες προδιαγραφές του συστήματος California Instruments MX30-3Pi. Για μια πλήρη περιγραφή των χαρακτηριστικών της πηγής μπορεί κάποιος να ανατρέξει στο εγχειρίδιο χρήστη της πηγής ([14]).

#### 3.3.1 Προδιαγραφές μεγεθών εισόδου

Παράμετρος εισόδου	MX30-3Pi
Πολική Τάση (3Φ, 3 αγωγών + γείωση):	400 V <sub>LL</sub> ±10%
Μέγιστη Ισχύς:	37 kVA
Ρεύμα Γραμμής:	60 A <sub>RMS</sub> @ 360 V <sub>LL</sub>
Συχνότητα:	47 - 63 Hz
Απόδοση:	85% (τυπική), εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά εισόδου και φορτίου
Συντελεστής Ισχύος:	0.95 (τυπικός) / 0.99 σε πλήρη ισχύ
Μέγιστο ρεύμα κορυφής:	132 A <sub>peak</sub> @ 400 V <sub>LL</sub>

Πίνακας 3.1 – Προδιαγραφές εισόδου του MX30-3Pi.

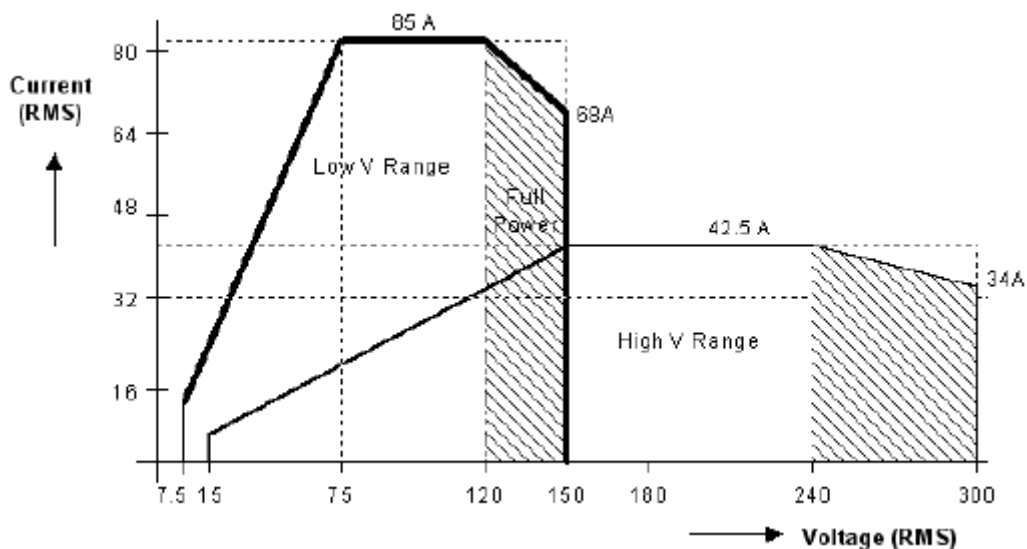
### 3.3.2 Προδιαγραφές μεγεθών εξόδου

Παράμετρος εξόδου	MX30-3Pi
Τρόποι Λειτουργίας:	AC, DC, AC+DC
<b>Τάση</b>	
Λειτουργία AC:	Low: 0 - 150 V / High: 0 - 300 V
Λειτουργία DC:	Low: 0 - 200 V / High: 0 - 400 V
Λειτουργία AC+DC:	AC: Low: 0 - 150 V / High: 0 - 300 V DC Offset: Low Vrange: 0 - 150 V High Vrange: 0 - 220 V
<b>Ανάλυση</b>	
Λειτουργία AC:	0.1 V
Λειτουργία DC:	0.2 V
Λειτουργία AC+DC:	AC: 0.1 V DC Offset : 0.01 V
Ακρίβεια:	±0.3 V σε AC λειτουργία ±1 V σε DC λειτουργία
THD: (υπό πλήρες, ωμικό φορτίο)	< 1% @ 16 - 66 Hz < 2% @ 66 - 500 Hz < 3% @ > 500 Hz
<b>Ισχύς</b>	
Λειτουργία AC:	30 kVA
Λειτουργία DC:	20 kW
Λειτουργία AC+DC:	Η μέγιστη ισχύς και το μέγιστο ρεύμα ισούνται με αυτά της DC λειτουργίας



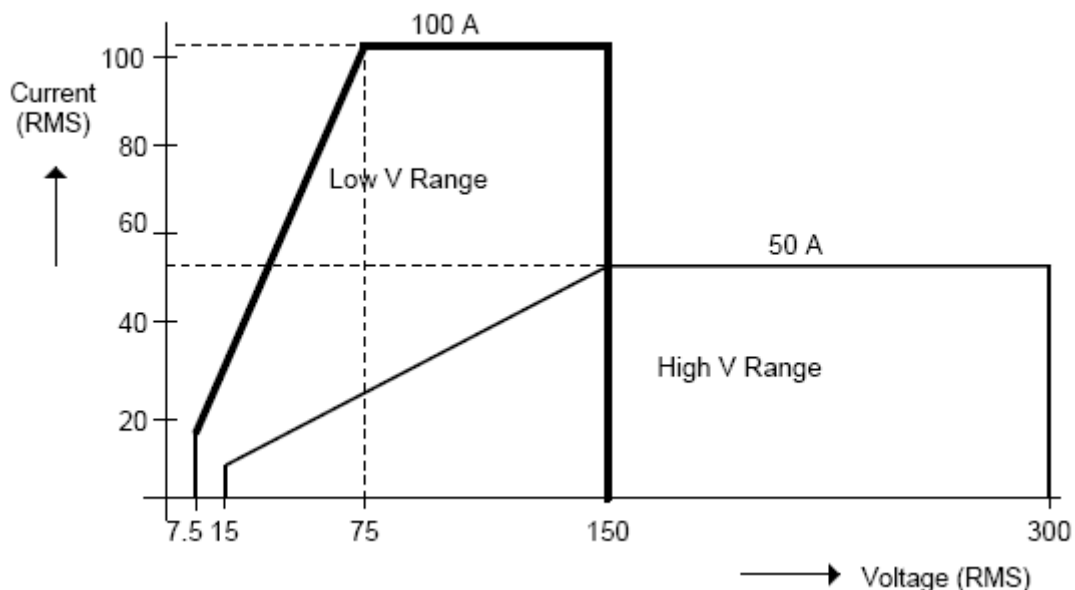
<b>Ρεύμα</b>	
Λειτουργία AC:	MX30-1: V Lo: 200 A, V Hi: 100 A MX30-3, ανά φάση: V Lo: 66.7 A, V Hi: 33.3 A
Λειτουργία DC:	MX30-1: V Lo: 100 A, V Hi: 50 A
Λειτουργία AC+DC:	MX30-3, ανά φάση: V Lo: 33.3 A, V Hi: 16.7 A
<b>Μέγιστο Ρεύμα Κορυφής</b>	
Λειτουργία AC:	MX30-1: V Lo: 900 A, V Hi: 450 A MX30-3, ανά φάση: V Lo: 300 A, V Hi: 150 A
<b>Συχνότητα</b>	
Εύρος:	Στάνταρ: 16Hz – 819.0 Hz Επιλογή –HV: 45Hz – 819.0 Hz
Ανάλυση:	0.01 Hz από 16.00 έως 81.91 Hz 0.1 Hz από 82.0 έως 819.0 Hz
Ακρίβεια:	±0.01%
<b>Φάση (3Φ λειτουργία)</b>	
Εύρος:	Φάση B/C συγκριτικά με τη φάση A 0.0° – 360.0°
Ανάλυση:	0.1°
Ακρίβεια:	16 Hz - 100 Hz: < 1.5° 100 Hz - 500 Hz: < 2° > 500 Hz: < 4°

Πίνακας 3.2 - Προδιαγραφές εξόδου του MX30-3Pi.



Σχήμα 3.1 – Διάγραμμα Τάσης / Ρεύματος για επίπεδα 150/300 V AC [14].

Αξίζει να σημειωθεί πως, στο Σχήμα 3.1, οι γραμμοσκιασμένες περιοχές λειτουργίας δεν θα πρέπει να ξεπερνούν σε διάρκεια λειτουργίας τα 15 λεπτά.



Σχήμα 3.2 – Διάγραμμα Τάσης / Ρεύματος για επίπεδα 200/400 V DC [14].

### 3.3.3 Μετρήσεις

Παράμετρος	Εύρος	Ακρίβεια ( $\pm$ )	Ανάλυση
Συχνότητα:	16.00-820.0 Hz	0.01% + 0.01 Hz	0.01 έως τα 81.91 Hz 0.1 έως τα 500 Hz
RMS Τάση:	0 – 400 V	0.15V + 0.02%, <100 Hz 0.3V + 0.02%, 100-820 Hz	0.01 V
RMS Ρεύμα:	0 – 150 A	0.15A + 0.02%, <100 Hz 0.3A + 0.02%, 100-820 Hz	0.01 A
Ρεύμα κορυφής:	0 – 400 A	0.15A + 0.02%, <100 Hz 0.3A + 0.02%, 100-820 Hz	0.01 A
Φαινόμενη Ισχύς:	0 – 15 kVA	30VA + 0.1%, <100 Hz 60VA + 0.1%, 100-820 Hz	10 VA
Ενεργός Ισχύς:	0 – 15 kW	30W + 0.1%, <100 Hz 60W + 0.1%, 100-820 Hz	10 W
Συντ. Ισχύς:	0.00 – 1.00	0.01, <100 Hz 0.02, 100-820 Hz	0.01

Σημ. 1: Για μετρήσεις ρεύματος και ισχύος, οι προδιαγραφές εφαρμόζονται από το 2% έως το 100% της κλίμακας μέτρησης. Οι προδιαγραφές για το εύρος και την ακρίβεια του ρεύματος και της ισχύος πρέπει να πολλαπλασιαστούν x3 για μονοφασική λειτουργία.

Σημ. 2: Η ακρίβεια του Σ.Ι. αφορά σε Σ.Ι. > 0.5.

Πίνακας 3.3 – Προδιαγραφές μετρήσεων AC.

Παράμετρος	Εύρος	Ακρίβεια (±)	Ανάλυση
Τάση:	0 -400 V	0.5 V	0.1 V
Ρεύμα:	0 – 400 A	1.5 A	0.03 A
Ισχύς:	0 -10 kW	90 W	30 W

Σημ.: Για μετρήσεις ρεύματος και ισχύος, οι προδιαγραφές εφαρμόζονται από το 2% έως το 100% της κλίμακας μέτρησης.

Πίνακας 3.4 – Προδιαγραφές μετρήσεων DC.

Παράμετρος	Εύρος	Ακρίβεια (±)	Ανάλυση
Θεμελιώδης Συχνότητα:	16.00 – 820 Hz	0.03% + 0.03 Hz	0.01 Hz
Αρμονικές συχνότητες			
3Φ λειτουργία:	32 Hz – 16.00 kHz	0.03% + 0.03 Hz	0.01 Hz
1Φ λειτουργία:	32 Hz – 48.00 kHz	0.03% + 0.03 Hz	0.01 Hz
Φάση:	0.0° – 360.0°	2°	0.5°
Τάση:	Θεμελιώδης	0.75 V	0.01 V
	Αρμονικές 2 -50	0.75 V + 0.3% + 0.3%/kHz	0.01 V
Ρεύμα:	Θεμελιώδης	0.5 A	0.1 A
	Αρμονικές 2 -50	0.15 A + 0.3% + 0.3%/kHz	0.1 A

Πίνακας 3.5 – Προδιαγραφές μετρήσεων αρμονικών.

### 3.3.4 Περιβαλλοντικές προδιαγραφές

Παράμετρος	Προδιαγραφή
Θερμοκρασία Λειτουργίας:	0 °C - 35 °C
Υψόμετρο:	< 2000 m.
Σχετική Υγρασία:	0-95% για θερμοκρασίες μέχρι 31 °C, γραμμικά μειούμενη σε 50% στους 40 °C

Πίνακας 3.6 – Περιβαλλοντικές προδιαγραφές.

### 3.3.5 Ειδικά χαρακτηριστικά

Το μοντέλο MX30-3Pι που έχει εγκατασταθεί στο Εργαστήριο Ηλεκτρικών Μηχανών και Ηλεκτρονικών Ισχύος της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, περιλαμβάνει τα εξής ειδικά χαρακτηριστικά ([14]).

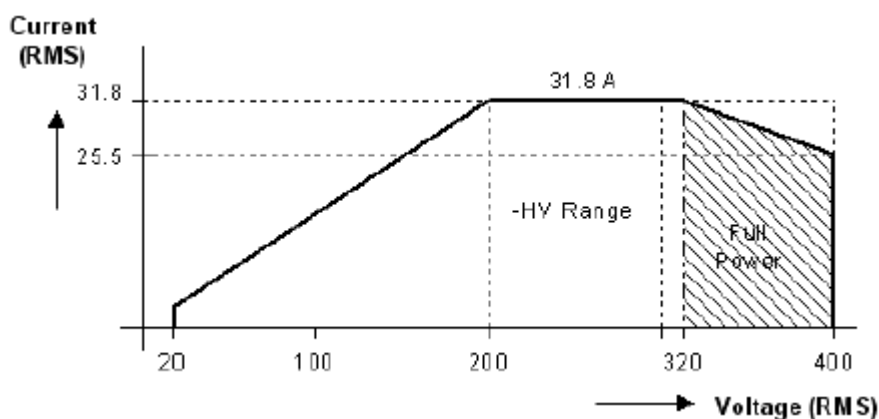
- Λογισμικό “-HV”. Δίνει τη δυνατότητα για τάση εξόδου μέχρι 400 V AC.
- Λογισμικό “-411”. Δίνει τη δυνατότητα διεξαγωγής δοκιμών (Pre-compliance Test) σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-4-11.
- Λογισμικό “-413”. Δίνει τη δυνατότητα διεξαγωγής δοκιμών (Compliance Test) σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-4-13.

### 3.3.6 Προδιαγραφές προσθήκης “-HV”

Η επιλογή-HV παρέχει ένα φάσμα AC τάσης εξόδου από 0 έως 400 V (L-N). Οι προδιαγραφές, μοναδικές για την επιλογή-HV, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Παράμετρος	MX30
<b>Τάση</b>	
Εύρος:	0 -400 V
Ανάλυση:	0.1 V
Ακρίβεια:	$\pm 1$ V
<b>Ρεύμα</b>	
Λειτουργία AC:	MX30-1: 76.5 A, MX30-3: 25.5 A
<b>Ρεύμα Κορυφής</b>	
Λειτουργία AC:	MX30-1: 337.5 A, MX30-3: 112.5 A
<b>Συχνότητα</b>	
Εύρος:	45 Hz – 819 Hz

Πίνακας 3.7 – Προδιαγραφές λειτουργίας “-HV”].



Σχήμα 3.3 - Διάγραμμα Τάσης / Ρεύματος για λειτουργία “-HV” [14].

Αξίζει να σημειωθεί πως, όπως και στο Σχήμα 3.1, οι γραμμοσκιασμένες περιοχές λειτουργίας του Σχήματος 3.3, δεν θα πρέπει να ξεπερνούν σε διάρκεια λειτουργίας τα 15 λεπτά.

### 3.3.7 Συνδεσμολογία εισόδου

Τριφασική AC τάση εισόδου (συνδεσμολογίας αστέρα ή τριγώνου) και επαρκούς έντασης ρεύμα (βλ. Πίνακα 3.1 για το μέγιστο AC ρεύμα ανά φάση) απαιτείται για την τροφοδοσία του MX30 της California Instruments. Οι αγωγοί που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να διαστασιολογηθούν έτσι ώστε να μπορούν να διαρρέονται από το μέγιστο ρεύμα γραμμής στην περίπτωση, χαμηλότερης της ονομαστικής, τάσης τροφοδοσίας. Ειδικότερα, σύμφωνα με τον Πίνακα 1, το MX30-3Pi , για πολική τάση εισόδου 360 V<sub>LL</sub> (400 V<sub>LL</sub> - 10%), απορροφά 60 A ανά φάση. Έτσι, απαιτείται η χρήση αγωγών διατομής 16mm<sup>2</sup>. Η κατάλληλη ασφάλεια είναι μεγέθους 63 A. Επίσης, σύμφωνα με τον κατασκευαστή της πηγής, το μήκος του καλωδίου δεν πρέπει να ξεπερνά τα 25 ft ή 7.62 m.

Η απαιτούμενη ισχύς θα πρέπει να δρομολογείται μέσω ενός σωστά διαστασιολογημένου τριφασικού αυτόματου διακόπτη προστασίας, ή παρόμοιας συσκευής προστασίας με δυνατότητα αποσύνδεσης. Αυτό θα προστατεύσει τις καλωδιώσεις του εργαστηρίου και άλλα κυκλώματα από πιθανή βλάβη ή διακοπή λειτουργίας σε περίπτωση προβλήματος του συστήματος MX. Επίσης, θα διευκολύνει την διακοπή της ισχύος εισόδου στο σύστημα MX σε περίπτωση ανάγκης εκτέλεσης εργασιών επισκευής ή ρυθμίσεων.

### 3.3.8 Συνδεσμολογία εξόδου

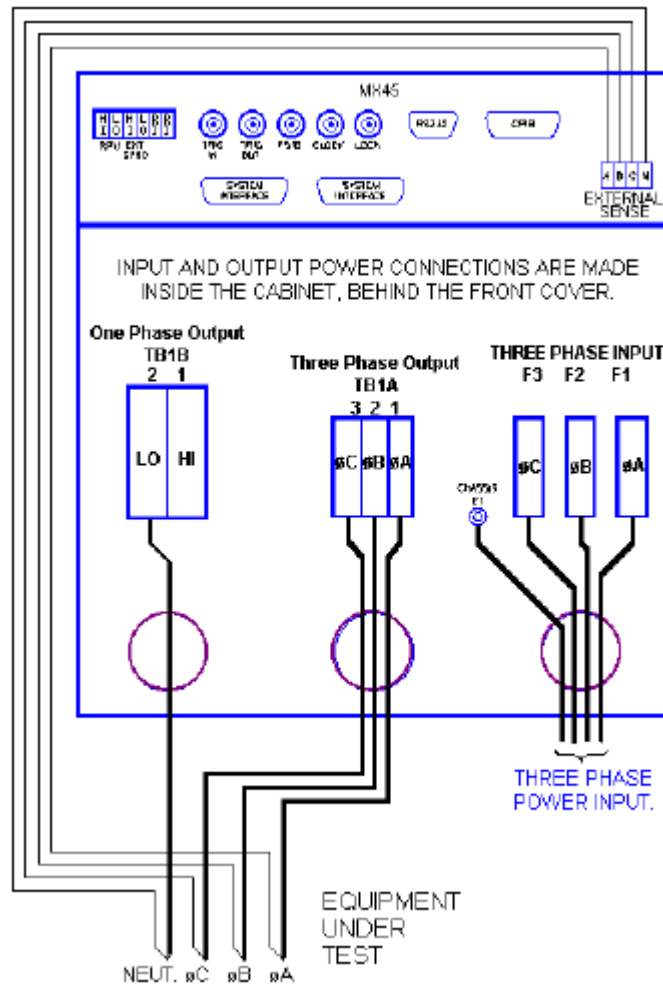
Οι κλέμμες εξόδου, TB1A και TB1B, βρίσκονται στο μπροστινό μέρος της μονάδας, πίσω από το κάτω πάνελ πρόσβασης. Λεπτομέρειες. Φαίνονται στο Σχήμα 3.4. Οι σύνδεση των φάσεων (A, B, C) πραγματοποιείται στους ακροδέκτες TB1A. Η ουδέτερη σύνδεση (αν χρειάζεται), μπορεί να γίνει στο τερματικό μπλοκ TB1B. Για μονοφασική λειτουργία, σύνδεση της φάσης διατίθεται στην TB1B επίσης. Σημειώστε ότι ο ουδέτερος, είτε για 1Φ, είτε 3Φ λειτουργία, βρίσκεται πάντοτε στο TB1B.

Ακόμη, οι επαφές για μέτρηση τάσης στους ακροδέκτες του φορτίου συνδέονται στους ακροδέκτες TB2, σε συνδυασμό με τον προγραμματισμό του λογισμικού της πηγής για τέτοια λειτουργία. Η συνδεσμολογία αυτή φαίνεται στο Σχήμα 3.4. Να σημειωθεί ότι, εφόσον η πηγή έχει ρυθμιστεί για μέτρηση τάσης στους ακροδέκτες αυτής (internal sense) και όχι του φορτίου (external sense), τότε η παραπάνω συνδεσμολογία δεν έχει νόημα.

Τα καλώδια ισχύος εξόδου πρέπει έχουν κατάλληλη διατομή ώστε, η πτώση τάσης μεταξύ των ακροδεκτών εξόδου της πηγής και των ακροδεκτών εισόδου του φορτίου, να μην ξεπερνά το 1 % της ονομαστικής τάσης εξόδου της πηγής. Ο υπολογισμός μπορεί να γίνει με βάση τη σχέση:

$$2 \times (\text{ΜΗΚΟΣ}) \times (\text{ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΟΥ} / \text{ΜΟΝ. ΜΗΚΟΥΣ}) \times (\text{ΡΕΥΜΑ}) = \text{ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ} (3.1)$$

Να σημειωθεί ότι τα καλώδια θα πρέπει να έχουν διαστάσεις ώστε να διαρρέονται από το μέγιστο δυνατόν ρεύμα. Αν το MX έχει περισσότερα του ενός επίπεδα τάσης εξόδου, η διαστασιολόγηση των καλωδίων γίνεται με βάση το χαμηλότερο διαθέσιμο εύρος τάσης, καθώς τα ρεύματα θα είναι υψηλότερα στην εν λόγω περιοχή.



Σχήμα 3.4 – Συνδεσμολογία εξόδου του MX30-3Pi (οπίσθια όψη) [14].

### 3.4 Βασικές λειτουργίες

Στα εδάφια του υποκεφαλαίου 3.4 γίνεται μια περιγραφή των κυριότερων –στα πλαίσια της παρούσας εργασίας- λειτουργιών της προγραμματιζόμενης πηγής MX30-3Pi. Εφόσον απαιτείται μια περιγραφή και επεξήγηση του συνόλου των δυνατοτήτων και ρυθμίσεων της πηγής, ο αναγνώστης προτείνεται να ανατρέξει στα εγχειρίδια χρήσης της συσκευής ([14], [17]).

#### 3.4.1 Πίνακας ελέγχου

Η εμπρόσθια όψη της πηγής ([14]) μπορεί να διαιρεθεί σε έναν αριθμό από επιμέρους τομείς:

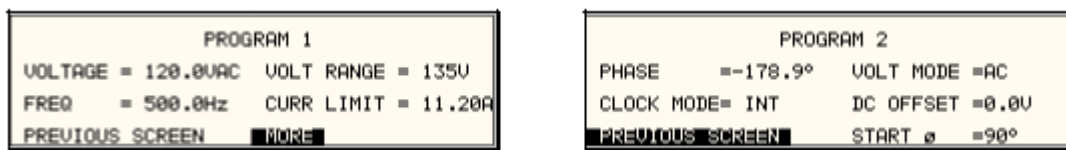
- Διακόπτης “On / Off”
- Φωτεινές ενδείξεις κατάστασης. Υπάρχουν οι ενδείξεις REMOTE, OVERLOAD, OVER TEMPERATURE και HI RANGE.
- Περιστροφικός επιλογέας
- Οθόνη LCD
- Πληκτρολόγιο λειτουργιών
- Αριθμητικό πληκτρολόγιο

Όταν είναι αναμμένη η φωτεινή ένδειξη REMOTE, ο έλεγχος του μηχανήματος ασκείται μέσω του H/Y και με τη βοήθεια του λογισμικού MXGUI. Το αριθμητικό πληκτρολόγιο και το πληκτρολόγιο λειτουργιών είναι ανενεργά σε αυτή την περίπτωση.

Ακόμη, όταν είναι αναμμένη η φωτεινή ένδειξη HI RANGE, έχει ενεργοποιηθεί η λειτουργία υψηλής τάσης (βλ. εδάφιο 3.3.6).

### 3.4.2 Μενού Προγραμματισμού (PROGRAM MENU)

Το Μενού Προγραμματισμού χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση των παραμέτρων εξόδου της πηγής. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες παράμετροι βρίσκονται στο μενού PROGRAM 1, ενώ οι παράμετροι που προσπελάζονται σπανιότερα βρίσκονται στο μενού PROGRAM 2. Μια απεικόνιση των μενού αυτών υπάρχει στο Σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5 – Μενού PROGRAM [14].

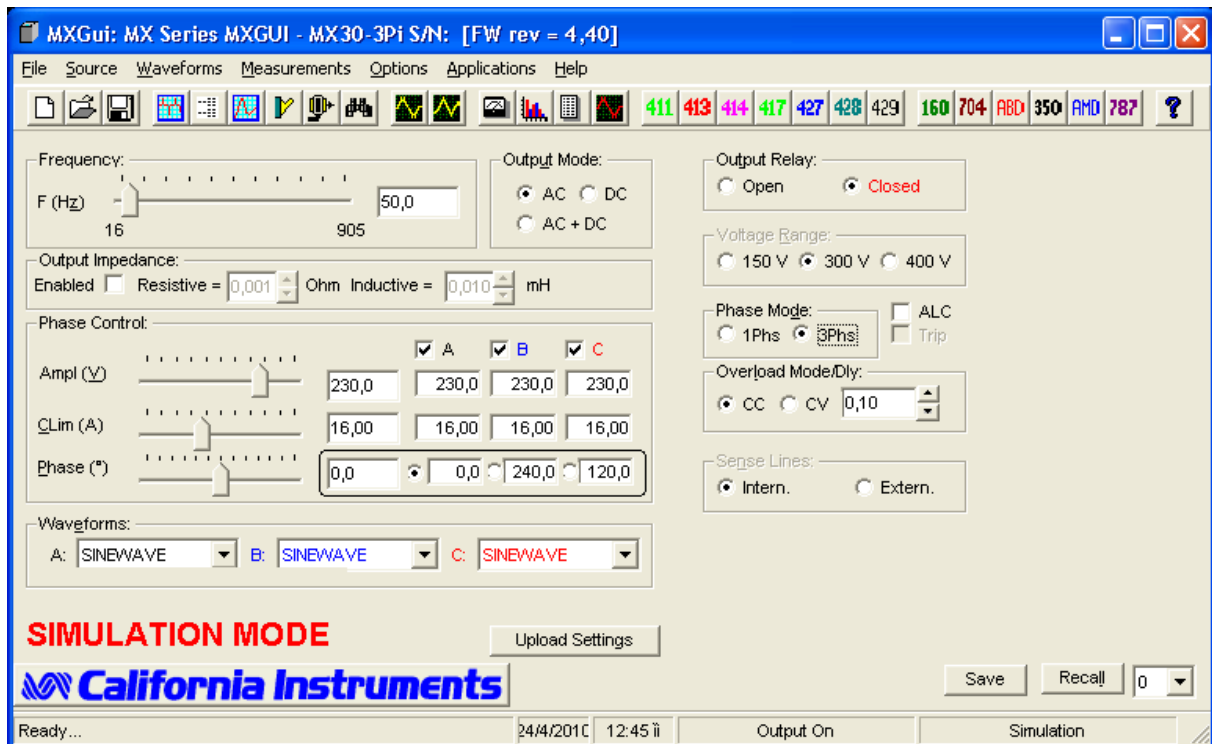
Οι παρακάτω επιλογές είναι διαθέσιμες στο μενού PROGRAM 1:

- VOLTAGE. Προγραμματίζει την τάση εξόδου. Πρόκειται για τιμή r.m.s. σε λειτουργία AC. Στη λειτουργία DC μπορούν να εγγραφούν αρνητικές τιμές.
- FREQ. Προγραμματίζει τη συχνότητα εξόδου σε λειτουργία AC.
- VOLT RANGE. Επιλέγει 150V, 300V ή 400V επίπεδο τάσης εξόδου για λειτουργία AC. Για λειτουργία DC οι επιλογές είναι 200V ή 400V.
- CURR LIMIT. Όταν το ρεύμα φορτίου ξεπεράσει την τιμή της επιλογής αυτής, τότε δημιουργείται μια κατάσταση σφάλματος από την πηγή.

Οι παρακάτω επιλογές είναι διαθέσιμες στο μενού PROGRAM 2:

- PHASE
- CLOCK MODE
- VOLT MODE. Μεταπήδηση μεταξύ των λειτουργιών εξόδου AC, DC, AC+DC.
- DC OFFSET. Όταν είναι επιλεγμένη η λειτουργία εξόδου AC+DC, το πεδίο VOLTAGE στο μενού PROGRAM 1 χρησιμοποιείται για να ορίσει την AC συνιστώσα της τάσης εξόδου. Το πεδίο DC OFFSET του μενού PROGRAM 2 χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της DC συνιστώσας.
- START φ

Για τον απομακρυσμένο έλεγχο της πηγής, χρησιμοποιείται το λογισμικό H/Y “California Instruments Graphical User Interface program” (MXGUI v.2.2.0.6). Έτσι, οι προαναφερθείσες επιλογές του μενού PROGRAM είναι διαθέσιμες και μέσω του κύριου παραθύρου της εφαρμογής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6 – Κύριο παράθυρο της εφαρμογής MXGUI [17].

### 3.4.3 Μενού Μετρήσεων (MEASUREMENTS MENU)

Η πηγή MX30-3Pi χρησιμοποιεί ένα σύστημα συλλογής δεδομένων βασισμένο σε DSP, με σκοπό την παροχή λεπτομερών πληροφοριών σχετικά με την έξοδό της. Το σύστημα αυτό συλλογής δεδομένων, ψηφιοποιεί τις κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος και στη συνέχεια υπολογίζει αρκετές παραμέτρους με βάση τα ψηφιοποιημένα δεδομένα. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών, αλλά και οι ψηφιοποιημένες κυματομορφές παρέχονται από το Μενού Μετρήσεων ([14], [17]). Το μενού αυτό φέρει τέσσερα επιμέρους μενού: MEASUREMENT 1, MEASUREMENT 2, MEASUREMENT 3 και HARMONICS/TRACE ANALYSIS.

Τα πρώτα τρία υπομενού παρέχουν πληροφορίες για τις παραμέτρους εξόδου και παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 3.8. Το τέταρτο υπομενού αφορά σε προχωρημένες μετρήσεις.



Λειτουργία	AC	DC	AC+DC
MEASUREMENTS 1			
VOLTAGE	r.m.s. AC τάση	DC τάση	r.m.s. AC τάση
CURRENT	r.m.s. AC ρεύμα	DC ρεύμα	r.m.s. AC ρεύμα
FREQUENCY	Συχνότητα	M/Δ	Συχνότητα
POWER	Ενεργός Ισχύς	M/Δ	M/Δ
MEASUREMENTS 2			
VA POWER	Φαινόμενη Ισχύς	Ισχύς	Φαινόμενη Ισχύς
PEAK CURR	Μέγιστο AC ρεύμα που έχει μετρηθεί	Μέγιστο DC ρεύμα που έχει μετρηθεί	Μέγιστο AC ρεύμα που έχει μετρηθεί
POWER FACT	Συντελεστής ισχύος	M/Δ	Συντελεστής ισχύος
CREST FACT	Συντελεστής κορυφής (="INST PK CURR" / "CURRENT")	M/Δ	Συντελεστής κορυφής (="INST PK CURR" / "CURRENT")
MEASUREMENTS 3			
VOLT THD	Παραμόρφωση τάσης	M/Δ	Παραμόρφωση τάσης
CURR THD	Παραμόρφωση ρεύματος	M/Δ	Παραμόρφωση ρεύματος
INST PK CURR	Στιγμιαίο ρεύμα κορυφής	Μέγιστο DC ρεύμα που έχει μετρηθεί	Στιγμιαίο ρεύμα κορυφής
PHASE	Γωνία φάσης	M/Δ	Γωνία φάσης

Πίνακας 3.8 – Μενού Μετρήσεων του MX30-3Pi .

Οι μετρήσεις είναι διαθέσιμες ξεχωριστά, για κάθε μία εκ των τριών φάσεων A, B, C. Επίσης, η λειτουργία ABC απεικονίζει τα δεδομένα και για τις τρεις φάσεις ταυτόχρονα. Ένα παράδειγμα του μενού MEASUREMENTS φαίνεται στο Σχήμα 3.7.

MEASUREMENTS 1			
VOLTAGE = 113.5VDC	FREQ = 60.0Hz		
CURRENT = 36.9A	POWER = 4.11KW		
PREVIOUS SCREEN	MORE		

MEASUREMENTS1			φABC
			φA
FREQ = 60.0 Hz	φB	φC	
VOLT AC = 120.51 V	119.92 V	120.31 V	
CURR = 9.342 A	8.453 A	9.129 A	
POWER = 0.782 KW	0.763 KW	0.734 KW	
PREVIOUS SCREEN	MORE		

Σχήμα 3.7 – Μενού MEASUREMENTS 1, απεικόνιση 1Φ και 3Φ [14].

Το τέταρτο υπομενού (HARMONICS/TRACE ANALYSIS) αφορά σε προχωρημένες μετρήσεις, όπου μόνο οι συσκευές τις σειρές MX που ενσωματώνουν ελεγκτή 3Pι μπορούν να διεξάγουν. Μια απεικόνιση του μενού αυτού υπάρχει στο Σχήμα 3.8.



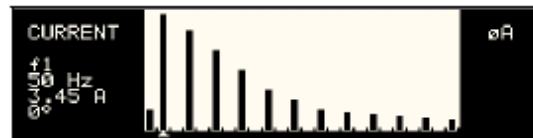
Σχήμα 3.8 – Μενού HARMONICS/TRACE ANALYSIS [14].

Οι παρακάτω επιλογές είναι διαθέσιμες στο μενού HARMONICS/TRACE ANALYSIS:

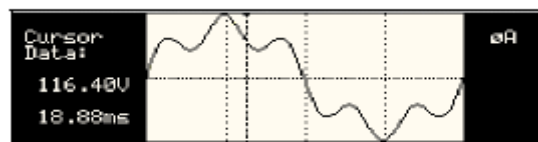
- FUNCTION. Επιλέγει την παράμετρο προς απεικόνιση (τάση, ρεύμα ή και τα δύο).
- VIEW. Η επιλογή TABLE (Σχ. 3.9) απεικονίζει τις πρώτες 50 αρμονικές σε μορφή πίνακα, η επιλογή BAR (Σχ. 3.10) απεικονίζει τις 50 πρώτες αρμονικές σε μορφή ραβδογράμματος και η επιλογή TRACE (Σχ. 3.11) απεικονίζει την επιλεγμένη παράμετρο σε συνάρτηση με το χρόνο.

UOLT HARMONIC MEASUREMENTS					
HR#	AMPL	PHASE	HR#	AMPL	PHASE
1	0.00	0.0	1	151.42	0.0
2	0.33	46.9	3	116.17	351.4
4	0.57	90.1	5	85.24	29.6
6	0.59	131.8	7	64.72	67.0
8	0.45	171.4	9	24.55	100.6

Σχήμα 3.9 – TABLE mode (Fast Fourier Transformation) [14].



Σχήμα 3.10 – BAR mode (Fast Fourier Transformation) [14].

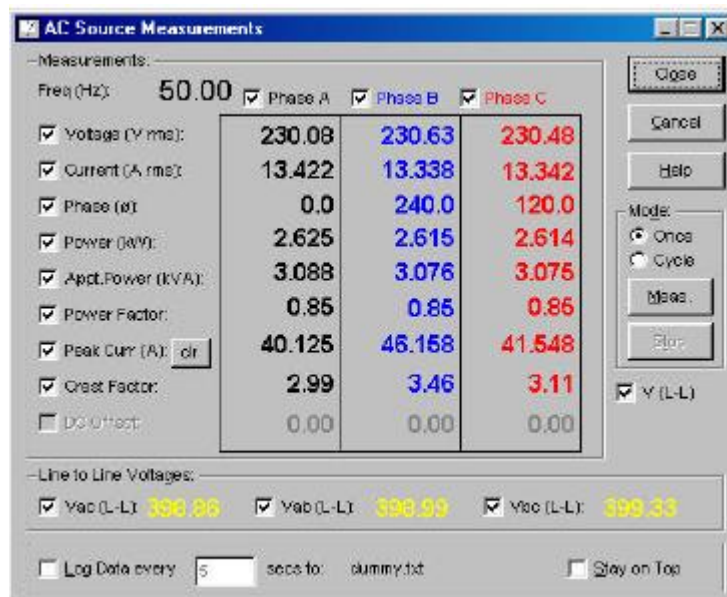


Σχήμα 3.11 – TRACE mode [14].

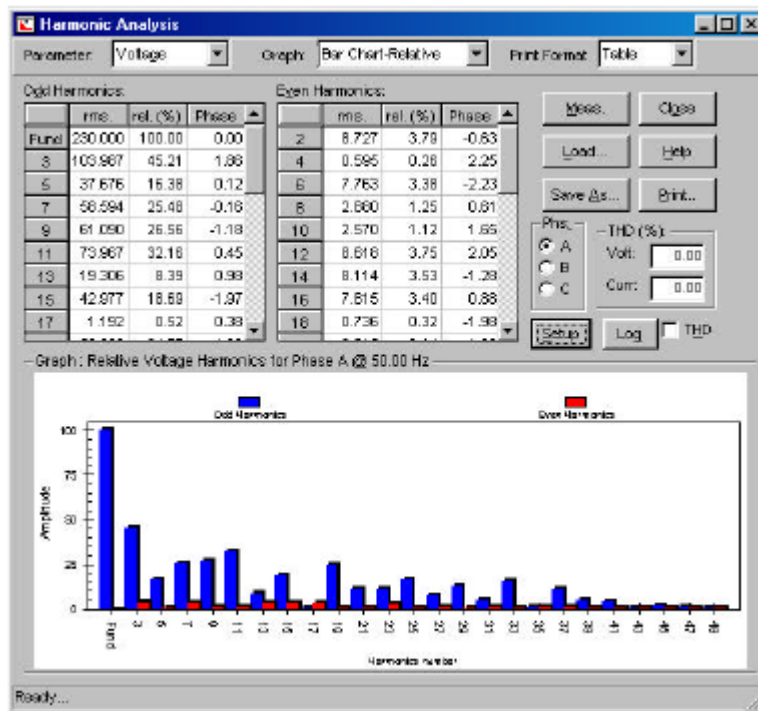
- DATA MODE. Επιλέγει εάν οι τιμές των αρμονικών συνιστωσών εκφράζονται σε απόλυτους αριθμούς ή σε ποσοστά επί της θεμελιώδους συνιστώσας (αφορά TABLE mode και TRACE mode).
- SCALE. Ορίζει την κλίμακα στον οριζόντιο άξονα του χρόνου (αφορά TRACE mode).
- TRIG MODE. Η επιλογή SINGLE έχει ως αποτέλεσμα τη λήψη ενός μόνο δείγματος μέτρησης, ενώ η επιλογή CONT επιτρέπει τη συνεχή λήψη και ενημέρωση των μετρήσεων.
- TRIG SOURCE. Η επιλογή IMM έχει ως αποτέλεσμα η μέτρηση να πραγματοποιηθεί τη στιγμή που ο χρήστης επιλέγει το START, η επιλογή PHASE A έχει ως αποτέλεσμα η μέτρηση να πραγματοποιηθεί τη στιγμή που η γωνία της φάσης A θα γίνει ίση με την τιμή TRIG PHASE και η επιλογή SET VOLT έχει ως αποτέλεσμα η μέτρηση να πραγματοποιηθεί τη στιγμή που η τάση θα γίνει ίση με την επιλεγμένη τιμή.
- TRIG PHASE / SET VOLT
- TRIG DELAY
- START

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως, όπως κάθε σύστημα μέτρησης, έτσι και το MX30-3Pi έχει πεπερασμένες προδιαγραφές ακρίβειας. Όταν χρησιμοποιείται η πηγή αυτή για μετρητικούς σκοπούς, πρέπει πάντα οι προδιαγραφές του εδαφίου 3.3.3 να λαμβάνονται υπ' όψη κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Μια μέτρηση είναι περισσότερο ανακριβής καθώς το σήμα που μετράται πλησιάζει στο κατώτερο άκρο του φάσματος μέτρησης. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη μετρήσεις χαμηλού ρεύματος. Έτσι, όταν τροφοδοτούνται φορτία χαμηλής ισχύος, τα σφάλματα μέτρησης για την r.m.s. τιμή του ρεύματος και την μέγιστη τιμή του ρεύματος, θα επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό τις παράγωγες μετρήσεις της ισχύος, του συντελεστή ισχύος και του συντελεστή κορυφής.

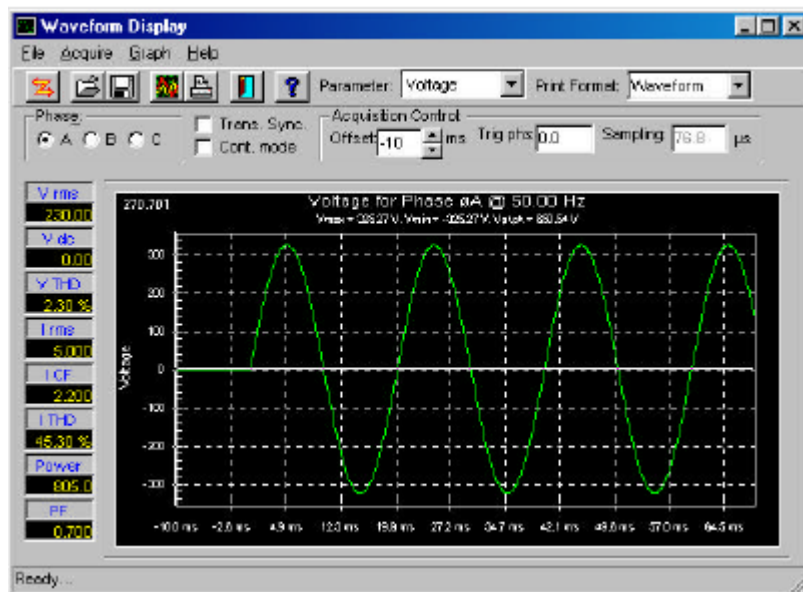
Τέλος, όπως και για τα υπόλοιπα μενού, έτσι και για το Μενού Μετρήσεων, οι προαναφερθείσες επιλογές είναι διαθέσιμες και μέσω της εφαρμογής MXGUI, όπως φαίνεται και στα Σχήματα 3.12 έως 3.14. Η χρήση του λογισμικού αυτού προσφέρει την πολύ σημαντική δυνατότητα αποθήκευσης και ανάκτησης των μετρήσεων που διεξάγονται από το χρήστη



Σχήμα 3.12 – Παράθυρο μετρήσεων [17].



Σχήμα 3.13 – Παράθυρο μετρήσεων αρμονικών συνιστωσών [17].



Σχήμα 3.14 – Παράθυρο απεικόνισης χρονικής συνάρτησης [17].

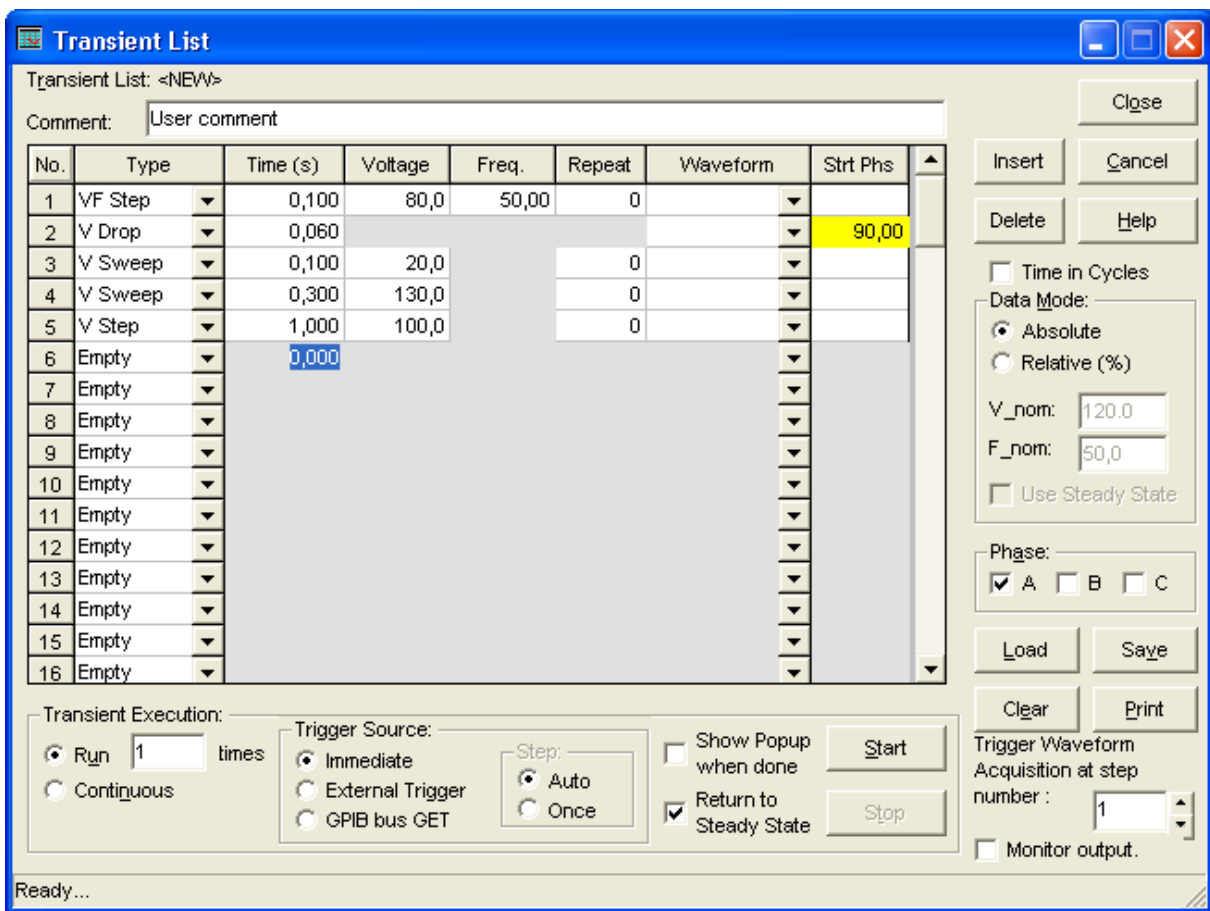
### 3.4.4 Μενού Μεταβατικών Καταστάσεων (TRANSIENTS MENU)

Το παρόν εδάφιο καλύπτει τον προγραμματισμό Μεταβατικών Καταστάσεων (Transients) ([17]). Η δημιουργία τέτοιων καταστάσεων και η εφαρμογή τους στο φορτίο της πηγής, είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για την προσομοίωση κοινών διαταραχών που συναντώνται στα πραγματικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Η πηγή είναι εξοπλισμένη με μνήμη 100

θέσεων για τη δημιουργία και αποθήκευση μιας λίστας μεταβατικών φαινομένων. Η λίστα μπορεί να αφορά σε AC ή DC μεταβατικά φαινόμενα.

Έχει επιλεγεί η περιγραφή του Μενού Μεταβατικών Καταστάσεων κάνοντας χρήση του λογισμικού MXGUI, καθώς με τον τρόπο αυτό η λειτουργία της πηγής κρίθηκε πιο πλήρης και πιο κατανοητή. Το παράθυρο προγραμματισμού μεταβατικών καταστάσεων (βλ. Σχ. 3.15) χρησιμοποιείται για να καθορίσει τους τύπους των μεταβατικών φαινομένων και τις παραμέτρους τους, για κάθε καταχώρηση της λίστας. Αφού οριστεί, η λίστα μεταβατικών καταστάσεων μπορεί να εκτελεσθεί για ένα συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων (έως 100) ή να εκτελείται συνεχώς.

Ακόμη, πρέπει να αναφερθεί πως κάποιος μπορεί να εκτελέσει τις λειτουργίες του παρόντος εδαφίου χωρίς τη βοήθεια του H/Y, μόνο μέσω του εμπρόσθιου πίνακα ελέγχου του MX30-3Pi (βλ. εδάφιο 3.4.1).



Σχήμα 3.15 – Παράθυρο προγραμματισμού μεταβατικών καταστάσεων [17].

Το πρόγραμμα MXGUI υποστηρίζει πολλούς διαφορετικούς τύπους μεταβατικών καταστάσεων. Κάθε μεταβατικός τύπος και οι παράμετροί του περιγράφονται με περισσότερες λεπτομέρειες σε αυτό το εδάφιο. Οι διαθέσιμοι μεταβατικοί τύποι παρουσιάζονται παρακάτω στον Πίνακα 3.9.

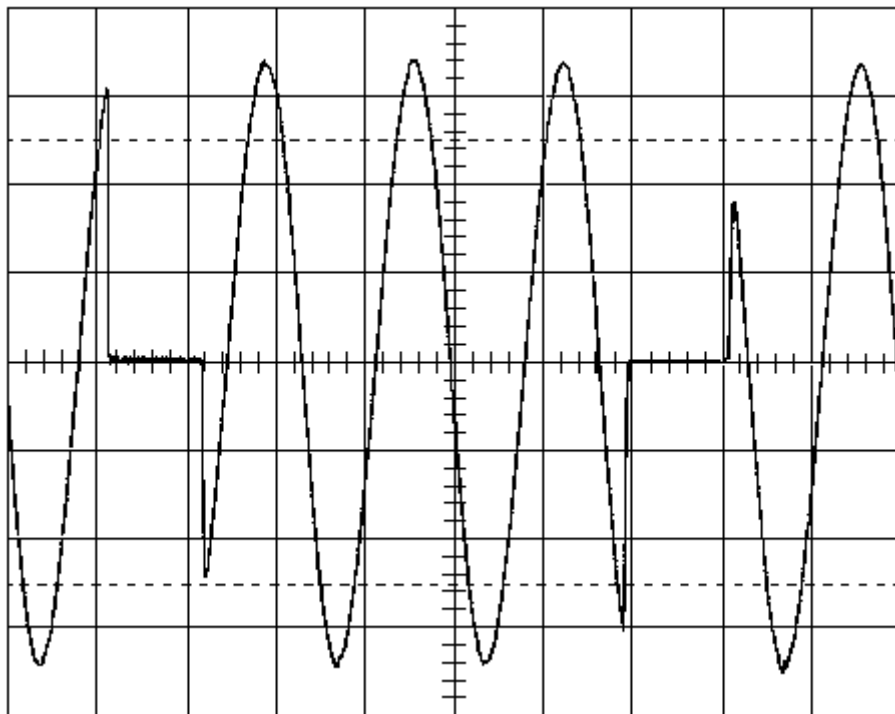
A.A.	Τύπος	Όνομα	Λειτουργία
1.	Διακοπή Τάσης	V Drop	AC, AC+DC, DC
2.	Βηματική Μεταβολή Τάσης	V Step	AC, AC+DC, DC
3.	Διακύμανση Τάσης	V Srg/Sag	AC, AC+DC, DC
4.	Γραμμική Μεταβολή Τάσης	V Sweep	AC, AC+DC, DC
5.	Βηματική Μεταβολή Συχνότητας	F Step	AC, AC+DC
6.	Διακύμανση Συχνότητας	F Srg/Sag	AC, AC+DC
7.	Γραμμική Μεταβολή Συχνότητας	F Sweep	AC, AC+DC
8.	Βηματική Μεταβολή Τάσης και Συχνότητας	VF Step	AC, AC+DC
9.	Γραμμική Μεταβολή Τάσης και Συχνότητας	VF Sweep	AC, AC+DC
10.	Καθυστέρηση	Delay	AC, AC+DC, DC

Πίνακας 3.9 – Διαθέσιμα γεγονότα λίστας μεταβατικών καταστάσεων.

#### 1. Διακοπή Τάσης

Το μεταβατικό αυτό θα προκαλέσει πτώση της τάσης εξόδου στα 0 V, ξεκινώντας από τη γωνία φάσης που καθορίζεται στο πεδίο “Start Phs”, για διάρκεια που καθορίζεται στο πεδίο “Duration”. Η διάρκεια μπορεί να κυμαίνεται από 1 ms έως 90000 s. Στο τέλος, η τάση εξόδου επιστρέφει στη αρχική τιμή της ,πριν από την εκδήλωση του μεταβατικού.

Το Σχήμα 3.16 αντανακλά ένα παράδειγμα μιας τυπικής διακοπής τάσης. Επίσης, παρακάτω φαίνεται και η απαιτούμενη σειρά στην οθόνη εισαγωγής δεδομένων για αυτό το μεταβατικό.



No	Type	Cycles	Voltage	Freq.	Waveform	Strt Phs
1	V Drop	0.500			SINEWAVE	90.0
2	Empty					

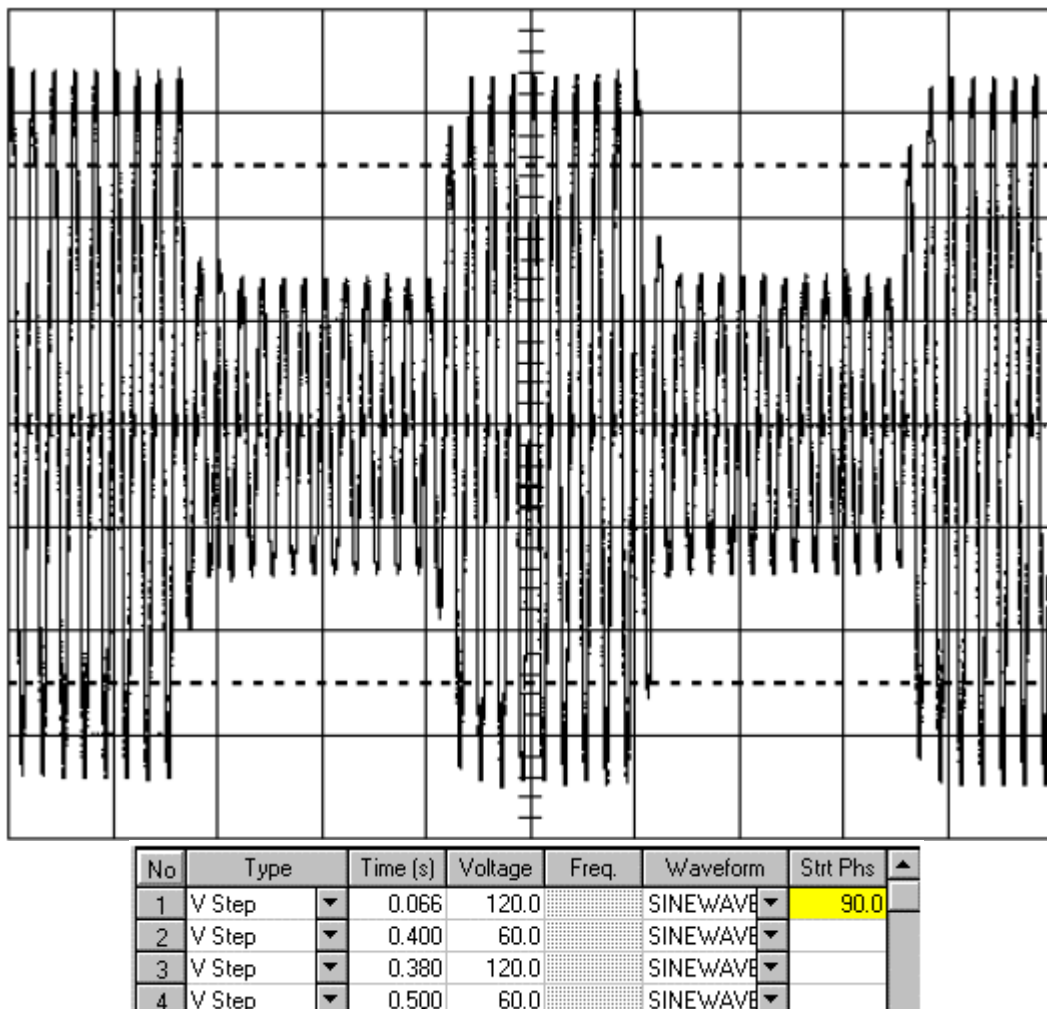
Σχήμα 3.16 – Διακοπή Τάσης [17].

## 2. Βηματική Μεταβολή Τάσης

Το μεταβατικό αυτό θα προκαλέσει μεταβολή της τάσης εξόδου στην τιμή που καθορίζεται στο πεδίο “Voltage”, ξεκινώντας από τη γωνία φάσης που καθορίζεται στο πεδίο “Strt Phs”, για διάρκεια που καθορίζεται στο πεδίο “Duration”. Η διάρκεια μπορεί να κυμαίνεται από 1 ms έως 90000 s. Στο τέλος, η τάση εξόδου παραμένει στην τιμή που ορίζεται στο πεδίο “Voltage”.

Η δυνατότητα καθορισμού της διάρκειας είναι ιδιαίτερα χρήσιμη εάν το παρών μεταβατικό αποτελεί μέρος μιας λίστας μεταβατικών. Στην περίπτωση αυτή, η τιμή της διάρκειας θα καθορίσει πόσο καιρό η τάση θα παραμείνει στην καθορισμένη τιμή (πεδίο “Voltage”) πριν από την εκδήλωση του επόμενου μεταβατικού της λίστας.

Το Σχήμα 3.17 αντανακλά ένα παράδειγμα μιας τυπικής βηματικής μεταβολής τάσης. Επίσης, παρακάτω φαίνεται και η απαιτούμενη σειρά στην οθόνη εισαγωγής δεδομένων για αυτό το μεταβατικό.

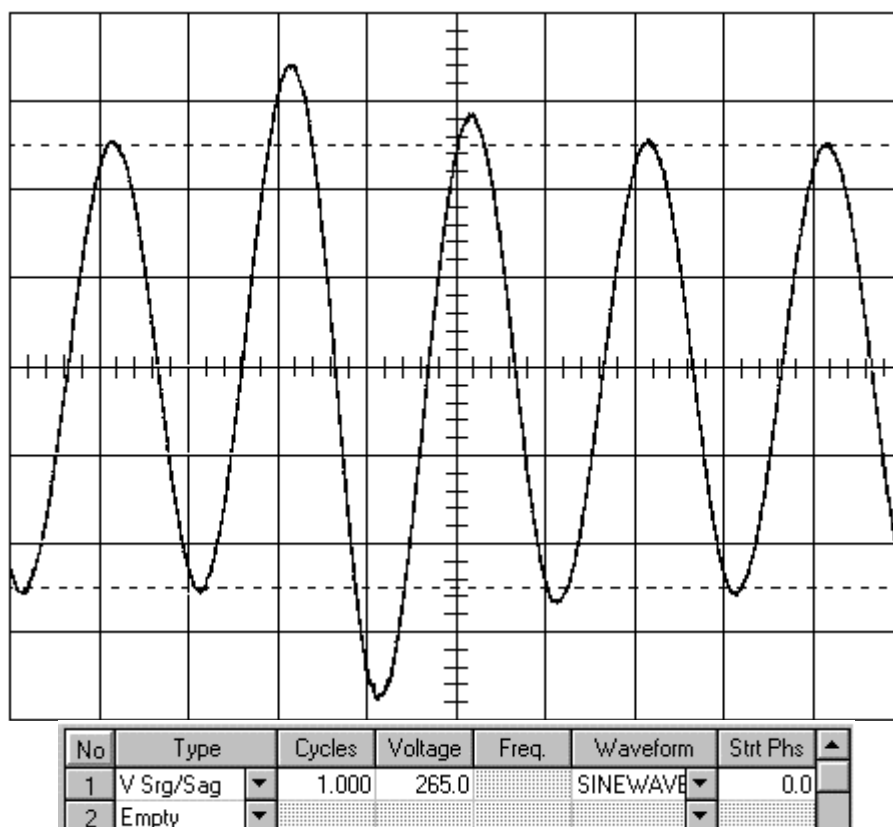


Σχήμα 3.17 - Βηματική Μεταβολή Τάσης [17].

### 3. Διακύμανση Τάσης

Το μεταβατικό αυτό θα προκαλέσει μεταβολή της τάσης εξόδου στην τιμή που καθορίζεται στο πεδίο “Voltage”, ξεκινώντας από τη γωνία φάσης που καθορίζεται στο πεδίο “Strt Phs”, για διάρκεια που καθορίζεται στο πεδίο “Duration”. Η διάρκεια μπορεί να κυμαίνεται από 1 ms έως 90000 s. Στο τέλος, η τάση εξόδου επιστρέφει στη αρχική τιμή της ,πριν από την εκδήλωση του μεταβατικού.

Το Σχήμα 3.18 αντανακλά ένα παράδειγμα μιας τυπικής διακύμανσης τάσης. Επίσης, παρακάτω φαίνεται και η απαιτούμενη σειρά στην οθόνη εισαγωγής δεδομένων για αυτό το μεταβατικό.



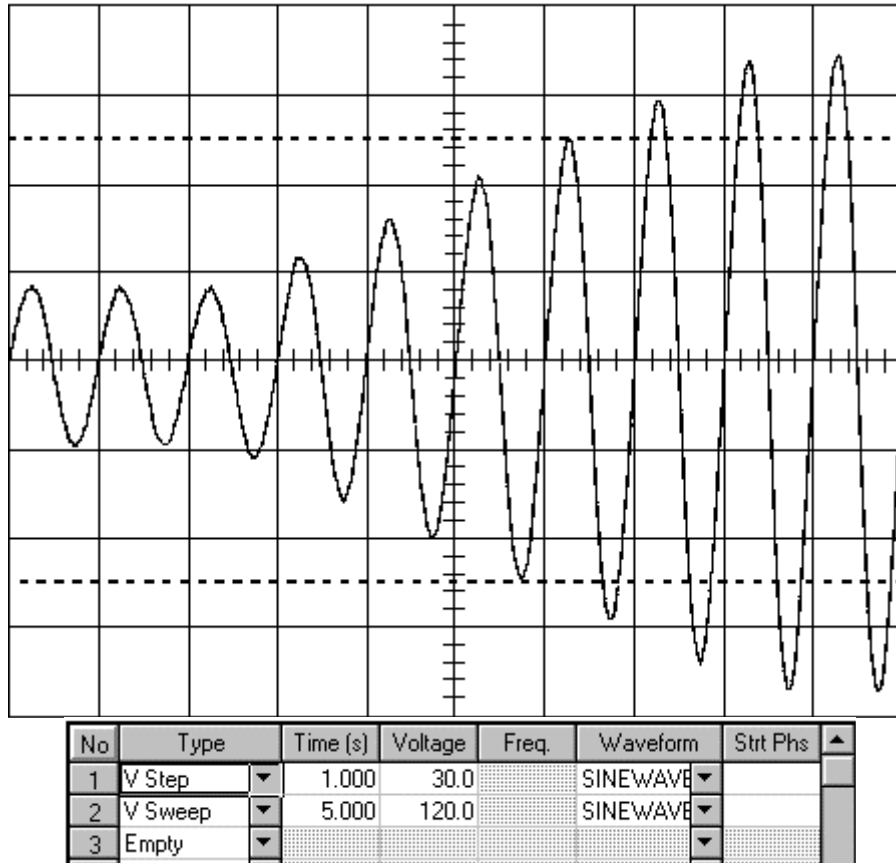
Σχήμα 3.18 - Διακύμανση Τάσης [17].

### 4. Γραμμική Μεταβολή Τάσης

Το μεταβατικό αυτό θα προκαλέσει γραμμική μεταβολή της τάσης εξόδου στην τιμή που καθορίζεται στο πεδίο “Voltage”, για διάρκεια μεταβολής που καθορίζεται στο πεδίο “Duration”. Η διάρκεια μπορεί να κυμαίνεται από 1 ms έως 90000 s. Στο τέλος, η τάση εξόδου παραμένει στην τιμή που ορίζεται στο πεδίο “Voltage”. Στο τέλος, η τάση εξόδου παραμένει στην τιμή που ορίζεται στο πεδίο “Voltage”. Ο ρυθμός μεταβολής υπολογίζεται από το πηλίκο του πεδίου “Voltage” δια του πεδίου “Duration”.

Το Σχήμα 3.19 αντανακλά ένα παράδειγμα μιας τυπικής γραμμικής μεταβολής τάσης. Επίσης, παρακάτω φαίνεται και η απαιτούμενη σειρά στην οθόνη εισαγωγής δεδομένων για αυτό το μεταβατικό.



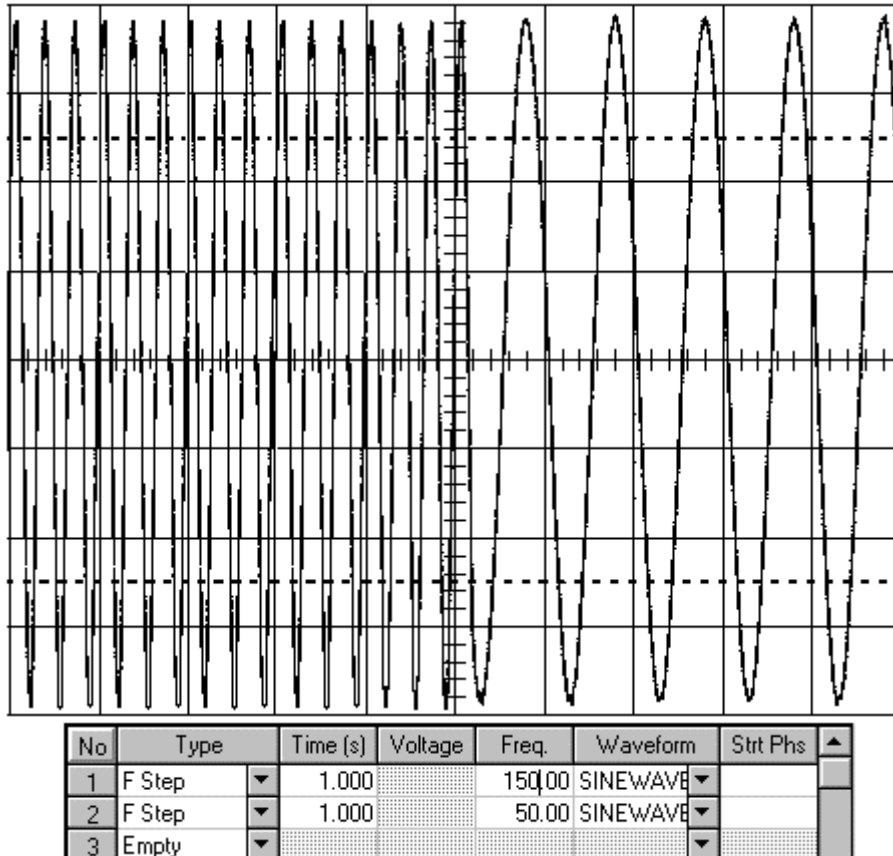


Σχήμα 3.19 - Γραμμική Μεταβολή Τάσης [17].

#### 5. Βηματική Μεταβολή Συχνότητας

Το μεταβατικό αυτό θα προκαλέσει μεταβολή της συχνότητας εξόδου στην τιμή που καθορίζεται στο πεδίο “Freq.”, ξεκινώντας από τη γωνία φάσης που καθορίζεται στο πεδίο “Strt Phs”, για διάρκεια που καθορίζεται στο πεδίο “Duration”. Η διάρκεια μπορεί να κυμαίνεται από 1 ms έως 90000 s. Στο τέλος, η συχνότητα εξόδου παραμένει στην τιμή που ορίζεται στο πεδίο “Freq.”.

Το Σχήμα 3.20 αντανακλά ένα παράδειγμα μιας τυπικής βηματικής μεταβολής συχνότητας. Επίσης, παρακάτω φαίνεται και η απαιτούμενη σειρά στην οθόνη εισαγωγής δεδομένων για αυτό το μεταβατικό.

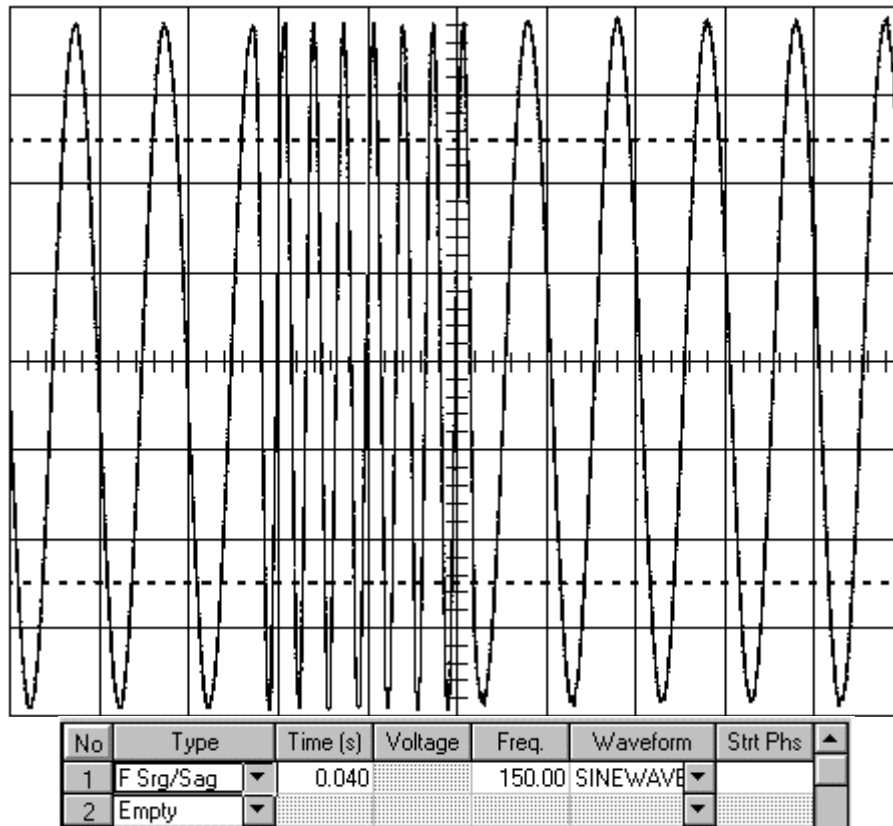


Σχήμα 3.20 – Βηματική Μεταβολή Συχνότητας [17].

#### 6. Διακύμανση Συχνότητας

Το μεταβατικό αυτό θα προκαλέσει μεταβολή της συχνότητας εξόδου στην τιμή που καθορίζεται στο πεδίο “Freq.”, ξεκινώντας από τη γωνία φάσης που καθορίζεται στο πεδίο “Start Phs”, για διάρκεια που καθορίζεται στο πεδίο “Duration”. Η διάρκεια μπορεί να κυμαίνεται από 1 ms έως 90000 s. Στο τέλος, η συχνότητα εξόδου επιστρέφει στη αρχική τιμή της, πριν από την εκδήλωση του μεταβατικού.

Το Σχήμα 3.21 αντανακλά ένα παράδειγμα μιας τυπικής διακύμανσης συχνότητας. Επίσης, παρακάτω φαίνεται και η απαιτούμενη σειρά στην οθόνη εισαγωγής δεδομένων για αυτό το μεταβατικό. Η συχνότητα σταθερής κατάστασης θεωρείται εδώ ότι είναι 50 Hz.

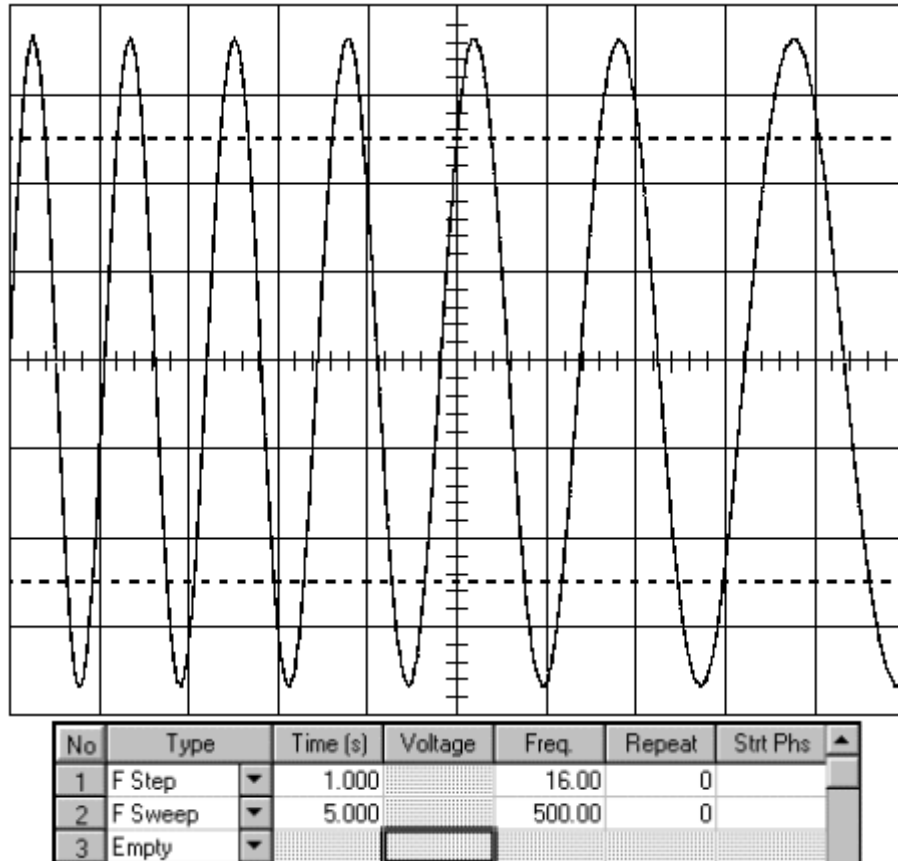


Σχήμα 3.14 – Διακύμανση Συχνότητας [17].

#### 7. Γραμμική Μεταβολή Συχνότητας

Το μεταβατικό αυτό θα προκαλέσει γραμμική μεταβολή της `συχνότητας εξόδου στην τιμή που καθορίζεται στο πεδίο “Freq.”, για διάρκεια μεταβολής που καθορίζεται στο πεδίο “Duration”. Η διάρκεια μπορεί να κυμαίνεται από 1 ms έως 90000 s. Στο τέλος, η συχνότητα εξόδου παραμένει στην τιμή που ορίζεται στο πεδίο “Freq.”. Στο τέλος, η συχνότητα εξόδου παραμένει στην τιμή που ορίζεται στο πεδίο “Freq.”. Ο ρυθμός μεταβολής υπολογίζεται από το πηλίκο του πεδίου “Freq.” δια του πεδίου “Duration”.

Το Σχήμα 3.22 αντανακλά ένα παράδειγμα μιας τυπικής γραμμικής μεταβολής συχνότητας. Επίσης, παρακάτω φαίνεται και η απαιτούμενη σειρά στην οθόνη εισαγωγής δεδομένων για αυτό το μεταβατικό.

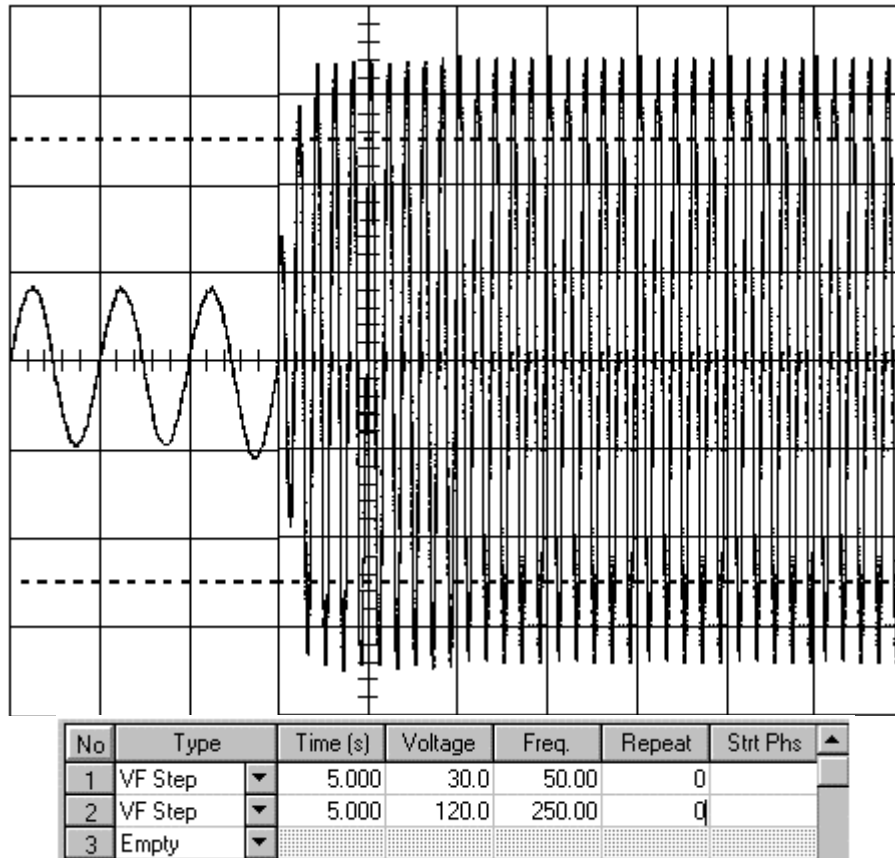


Σχήμα 3.22 – Γραμμική Μεταβολή Συχνότητας [17].

#### 8. Βηματική Μεταβολή Τάσης και Συχνότητας

Το μεταβατικό αυτό είναι σύνθετο και συνδυάζει μια βηματική μεταβολή τάσης και μια βηματική μεταβολή συχνότητας σε ένα ενιαίο γεγονός. Όταν εκτελεστεί, τόσο η τάση όσο και η συχνότητα, μεταβάλλονται ταυτόχρονα. Στις παραγράφους (2.) και (5.) του παρόντος εδαφίου (3.4.4) περιέχονται οι λεπτομέρειες σχετικά με τις επιμέρους βηματικές μεταβολές τάσης και συχνότητας..

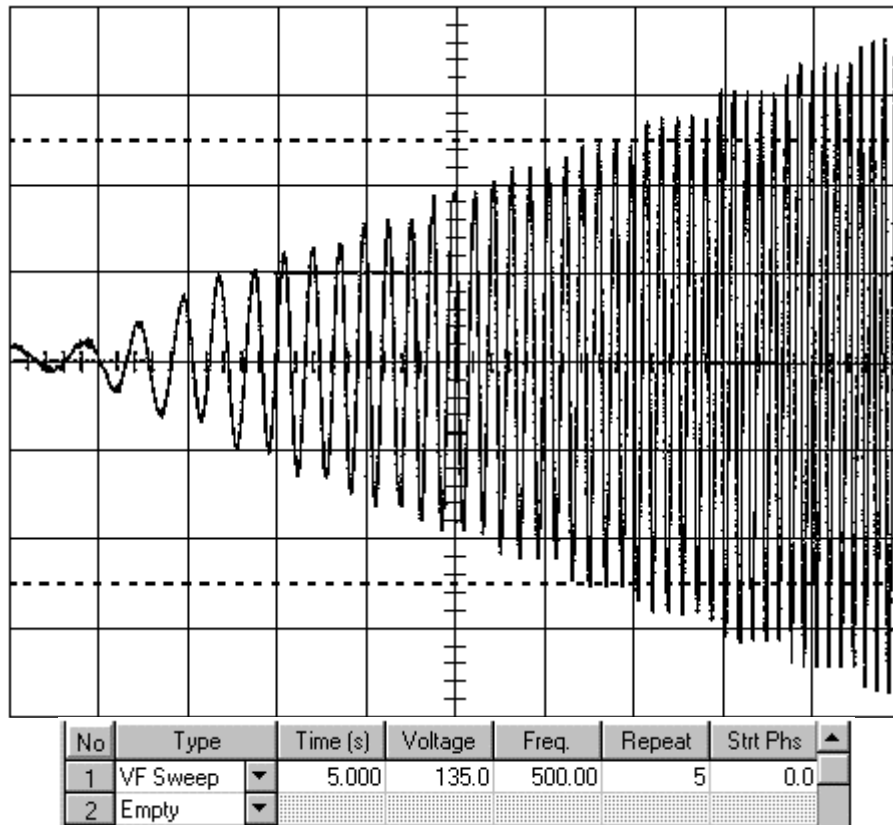
Το Σχήμα 3.23 αντανακλά ένα παράδειγμα μιας τυπικής βηματικής μεταβολής τάσης και συχνότητας. Επίσης, παρακάτω φαίνεται και η απαιτούμενη σειρά στην οθόνη εισαγωγής δεδομένων για αυτό το μεταβατικό.



Σχήμα 3.23 – Βηματική Μεταβολή Τάσης και Συχνότητας [17].

#### 9. Γραμμική Μεταβολή Τάσης και Συχνότητας

Το μεταβατικό αυτό είναι σύνθετο και συνδυάζει μια γραμμική μεταβολή τάσης και μια γραμμική μεταβολή συχνότητας σε ένα ενιαίο γεγονός. Όταν εκτελεστεί, τόσο η τάση όσο και η συχνότητα, μεταβάλλονται ταυτόχρονα. Στις παραγράφους (4.) και (7.) του παρόντος εδαφίου (3.4.4) περιέχονται οι λεπτομέρειες σχετικά με τις επιμέρους γραμμικές μεταβολές τάσης και συχνότητας. Το Σχήμα 3.24 αντανακλά ένα παράδειγμα μιας τυπικής γραμμικής μεταβολής τάσης και συχνότητας. Επίσης, παρακάτω φαίνεται και η απαιτούμενη σειρά στην οθόνη εισαγωγής δεδομένων για αυτό το μεταβατικό.



Σχήμα 3.24 – Γραμμική Μεταβολή Τάσης και Συχνότητας [17].

### 3.4.5 Μενού Κυματομορφών (WAVEFORMS MENU)

Το MX30-3Pi διαθέτει ανεξάρτητες γεννήτριες αυθαίρετων (arbitrary) κυματομορφών για κάθε φάση. Αυτό επιτρέπει τη δημιουργία προσαρμοσμένων κυματομορφών, ενώ δίνεται η δυνατότητα σε κάθε φάση να εφαρμόζεται η ίδια ή διαφορετική κυματομορφή. Οι τρεις τυποποιημένες κυματομορφές είναι οι εξής:

1. Κυματομορφή ημιτόνου (SINE)
2. Κυματομορφή τετραγωνικού παλμού (SQUARE)
3. Κυματομορφή αποκομμένου ημιτόνου (CLIPPED SINE)

Για τις περισσότερες εφαρμογές AC χρησιμοποιείται η ημιτονοειδής κυματομορφή. Αποτελεί μια τυποποιημένη κυματομορφή και είναι πάντα η προεπιλεγμένη κατά την εκκίνηση της πηγής. Ο τετραγωνικός παλμός παρέχει μια κυματομορφή υψηλού συχνοτικού περιεχομένου με σχετικά γρήγορους χρόνους ανόδου και καθόδου. Τέλος, η κυματομορφή αποκομμένου ημιτόνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση επιπέδων παραμόρφωσης τάσης σε ένα δοκίμιο. Το επίπεδο της συνολικής αρμονικής παραμόρφωσης μπορεί να οριστεί (ποσοστιαία) χρησιμοποιώντας το πεδίο CLIP LEVEL του μενού WAVEFORMS ([14]).

Επιπρόσθετα, το λογισμικό MXGUI ([17]) υποστηρίζει δύο διαφορετικές μεθόδους δημιουργίας προσαρμοσμένων από το χρήστη, κυματομορφών:

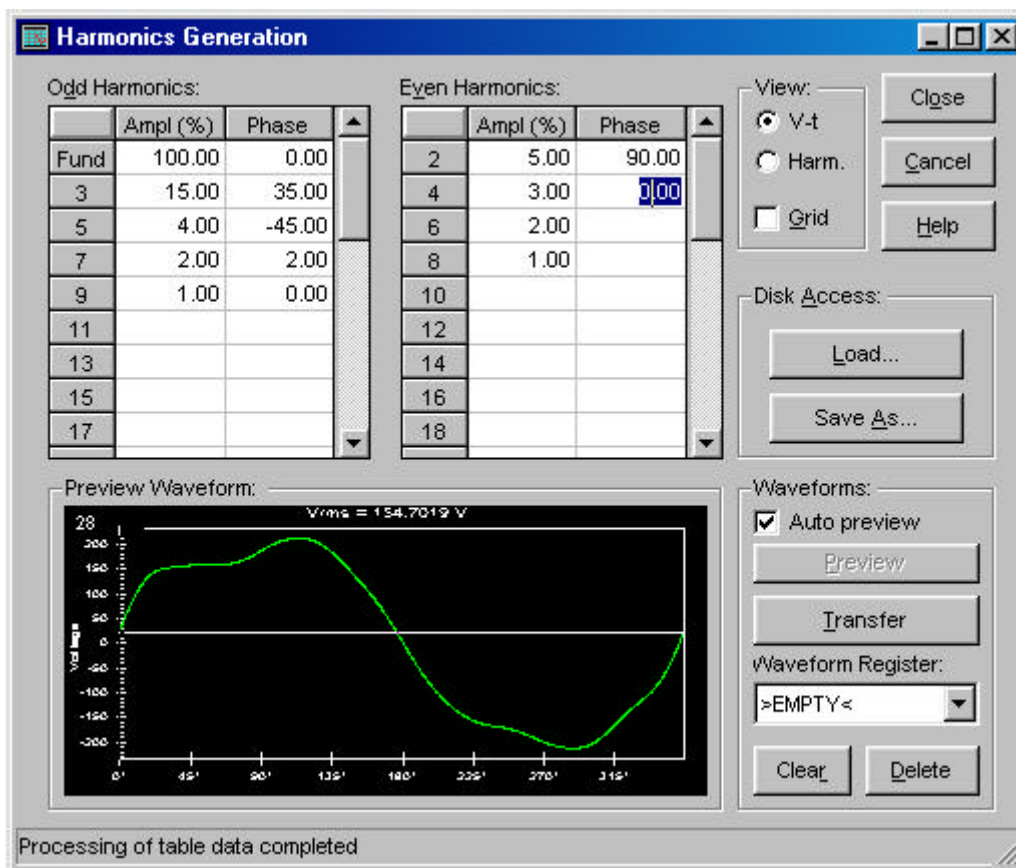
- Αρμονικές κυματομορφές (Harmonic Waveforms)  
Για τη δημιουργία αρμονικών κυματομορφών, ο χρήστης υποχρεούται να παράσχει το σχετικό πλάτος και τη φάση για κάθε μία από τις πρώτες 50 ακέριες αρμονικές συνιστώσες. Δεδομένης

της θεμελιώδους συχνότητας των 50 Hz, η 50<sup>η</sup> αρμονική συνιστώσα είναι συχνότητας 2500 Hz. Τα σχετικά πλάτη καθορίζονται σε ποσοστό από 0 έως 100%. Οι γωνίες φάσης καθορίζονται σε μοίρες από 0° έως 360.00°.

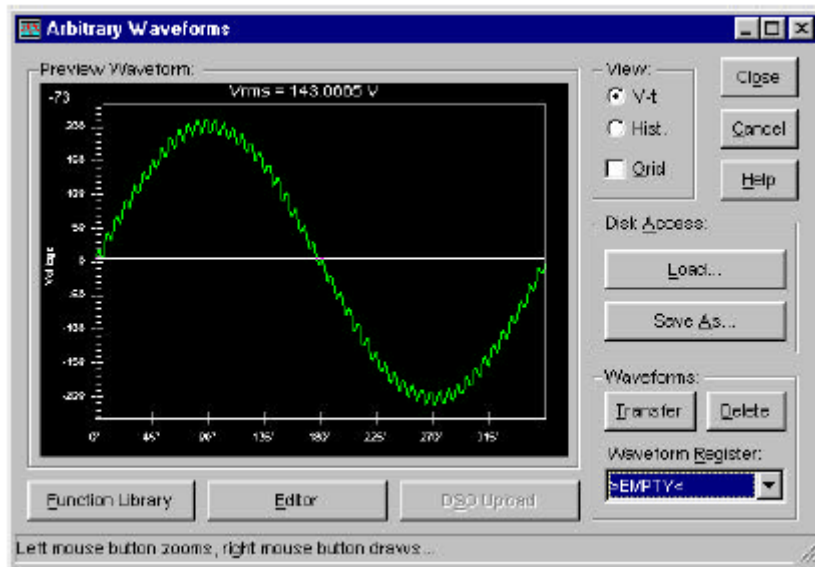
- Αυθαίρετες κυματομορφές (Arbitrary Waveforms)

Αυθαίρετες κυματομορφές μπορούν να δημιουργηθούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Το λογισμικό MXGUI προσφέρει μια βιβλιοθήκη έτοιμων κυματομορφών, αλλά και δέχεται δεδομένα από αρχεία που μπορούν να προκύψουν από δημοφιλής εφαρμογές, όπως τα λογιστικά φύλλα.

Παρακάτω, στα Σχήματα 3.25 και 3.26 αντίστοιχα, δίνονται δύο τυπικά παραδείγματα δημιουργίας αρμονικών και αυθαίρετων κυματομορφών, σύμφωνα με όσα περιγράφηκαν προηγουμένως στο παρόν εδάφιο.



Σχήμα 3.25 – Παράθυρο δημιουργίας αρμονικών κυματομορφών [17].



Σχήμα 3.26 - Παράθυρο δημιουργίας αυθαίρετων κυματομορφών [17].



## 4 Σύστημα δοκιμών κατά IEC– California Instruments MX30-3Pi-CTSL

---

### 4.1 Γενικά

Το σύστημα δοκιμών MX30-3Pi-CTSL της California Instruments αποτελεί ένα πλήρες σύστημα δοκιμών κατά IEC, καλύπτοντας έναν αριθμό προτύπων (βλ. εδάφιο 4.4.1) που αφορούν AC ή / και DC φορτία. Το σύστημα αποτελείται από τις εξής επιμέρους μονάδες, κατάλληλα συνδεδεμένες μεταξύ τους ([15]) :

- Προγραμματιζόμενη AC/DC πηγή MX30-3Pi. Η πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος παρέχει ισχύ καθορισμένης –από το χρήστη- τάσης και συχνότητας. Προσφέρει επίσης προστασία από υπερεντάσεις, έτσι ώστε να αποφεύγονται οι αλλοιώσεις του φορτίου που παρουσιάζει κάποιο σφάλμα.
- Αντίσταση αναφοράς OMNI-3-37MX. Η μονάδα αυτή παρέχει την απαιτούμενη αντίσταση αναφοράς ( $Z_{ref}$ ) για τις δοκιμές flicker σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-3-3, για εξοπλισμό με r.m.s. ρεύμα εισόδου έως 37 A ανά φάση.
- Μονάδα μετρήσεων PACS-3-75. Η μονάδα Ανάλυσης Ισχύος και Διατήρησης Σήματος (Power Analysis and Conditioning System unit) PACS-3-75 δημιουργεί την ηλεκτρική και μηχανική διασύνδεση μεταξύ της AC πηγής, του υπό δοκιμή εξοπλισμού και του συστήματος συλλογής δεδομένων. Παρέχει την απαραίτητη προετοιμασία σήματος και την απομόνωση για το σύστημα συλλογής δεδομένων μέσω H/Y.
- Σύστημα συλλογής δεδομένων μέσω H/Y. Το σύστημα καταγραφής των δεδομένων χρησιμοποιεί μια κάρτα που συνδέεται σε μια διαθέσιμη υποδοχή στον H/Y του χρήστη και είναι σε θέση να εκτελεί πολύ γρήγορες μετατροπές αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Το λογισμικό CTSMXL ελέγχει όλες τις πτυχές της A/D κάρτας και επεξεργάζεται τα δεδομένα για τους σκοπούς των IEC δοκιμών.
- Λογισμικό CTSMXL και MXGUI. Το λογισμικό CTSMXL ενσωματώνει τις δοκιμές για αρμονικές και flicker κατά IEC. Εκτός από το λογισμικό αυτό, το γνωστό μας από το κεφάλαιο 3 λογισμικό ελέγχου της πηγής MXGUI, ενσωματώνει τις υπόλοιπες δοκιμές κατά IEC που υποστηρίζονται από το σύστημα δοκιμών.

### 4.2 Συνδεσμολογία συστήματος

#### 4.2.1 Μονάδα OMNI-3-37MX

Η αντίσταση αναφοράς  $Z_{ref}$  που παρέχει το OMNI-3-37MX συνίσταται σε  $0.24 + 0.15j$  Ohms για κάθε φάση και  $0.16 + 0.10j$  Ohms για τον ουδέτερο. Η  $Z_{ref}$  απαιτείται για την πραγματοποίηση των δοκιμών flicker σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-3-3.

Η μονάδα OMNI-3-37MX στεγάζεται στο ίδιο ρακ με την μονάδα PACS-3-75 (βλ. Σχήμα 4.1) και πρέπει να τοποθετηθούν σε όσο το δυνατό μικρότερη απόσταση από την πηγή

MX30-3Pi. Να σημειωθεί ότι, όταν το OMNI-3-37MX δεν είναι σε λειτουργία, η έξοδος του συστήματος προς το φορτίο αποσυνδέεται. Ακόμη, η μονάδα αυτή υποστηρίζει τις εξής δύο καταστάσεις λειτουργίας:

4. Flicker mode. Αυτή η ρύθμιση είναι κατάλληλη μόνο για τη διεξαγωγή δοκιμών flicker.
5. Bypass mode. Αυτή η ρύθμιση είναι κατάλληλη για τη διεξαγωγή όλων των υπόλοιπων υποστηριζόμενων δοκιμών.

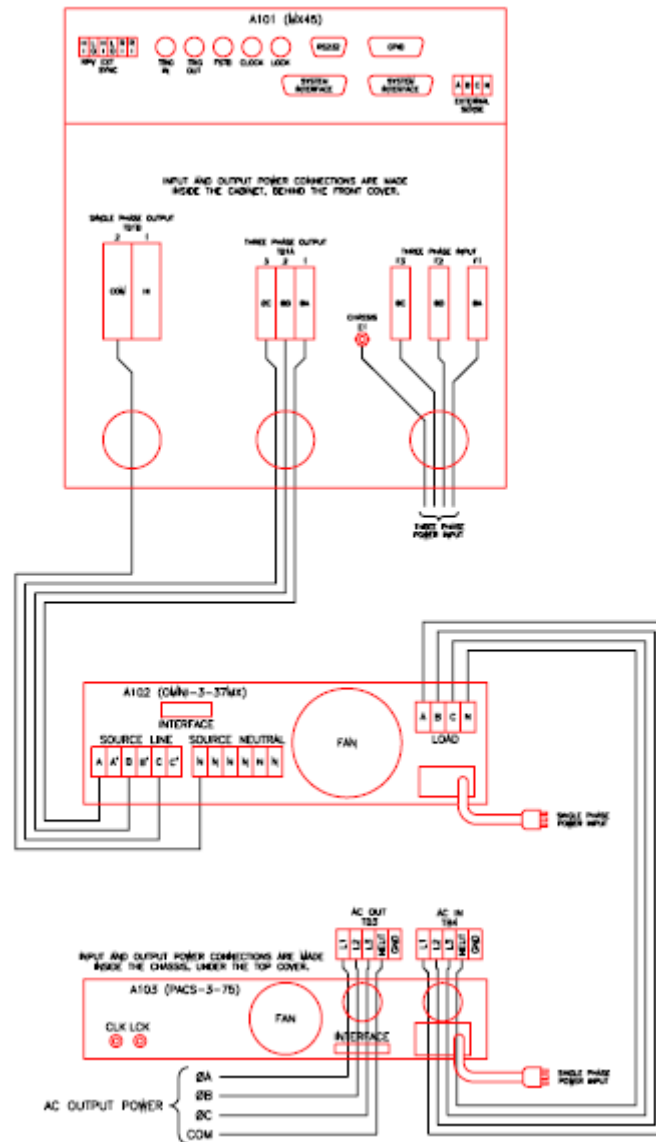
Οι παραπάνω καταστάσεις λειτουργίας μπορούν να επιλεγούν μονάχα χειροκίνητα, μέσω του εμπρόσθιου τμήματος της μονάδας. Η επιλογή μεταξύ “Flicker” και “Bypass” κατάστασης δε μπορεί να γίνει μέσω του λογισμικού CTSMXL.



Σχήμα 4.1 – Εμπρόσθια άποψη του ρακ με τις μονάδες OMNI-3-37MX και PACS-3-75

Η συνδεσμολογία μεταξύ του OMNI-3-37MX και των υπόλοιπων μονάδων του MX30-3Pi-CTSL φαίνεται στο Σχήμα 4.2. Ειδικότερα, η ισχύς μεταφέρεται από τους τριφασικούς ακροδέκτες εξόδου της πηγής στους ακροδέκτες εισόδου του OMNI-3-37MX, κάνοντας χρήση καλωδίων διατομής AWG #4 που παρέχονται με το σύστημα.

Τέλος, να αναφερθεί ότι το OMNI-3-37MX υποστηρίζει ρεύμα φορτίου ενεργού τιμής έως 37 A σε λειτουργία “Flicker” και έως 75 A σε λειτουργία “Bypass”.

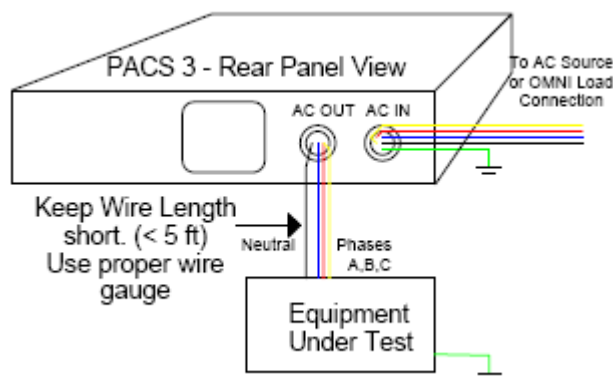


Σχήμα 4.2 – Συνδεσμολογία του συστήματος MX30-3Pi-CTSL [15].

#### 4.2.2 Μονάδα PACS-3-75

Σε συνέχεια της περιγραφής της συνδεσμολογίας του Σχήματος 4.2, η έξοδος του OMNI-3-37MX συνδέεται στους ακροδέκτες εισόδου (TB4) του PACS-3-75, κάνοντας χρήση καλωδίων διατομής AWG #6 που παρέχονται με το σύστημα. Ο υπό δοκιμή εξοπλισμός συνδέεται στους ακροδέκτες εξόδου (TB3) του PACS-3-75. Προτείνεται και εδώ να χρησιμοποιηθούν καλώδια διατομής AWG #6, που είναι και η μέγιστη υποστηριζόμενη διατομή από τους ακροδέκτες του PACS-3-75. Το γεγονός ότι η διατομή αυτή αντιστοιχεί σε  $13.3 \text{ mm}^2$  μας οδηγεί στη χρήση καλωδίων διατομής  $10 \text{ mm}^2$ , τα οποία είναι διαθέσιμα στο ελληνικό εμπόριο.

Ειδικά για τη διεξαγωγή των δοκιμών flicker, το μήκος του καλωδίου που συνδέει το φορτίο με την έξοδο του PACS-3-75 πρέπει να περιοριστεί στα 1.5 m (βλ. Σχήμα 4.3). Αυτό συμβαίνει διότι, η αντίσταση του καλωδίου επηρεάζει ιδιαίτερα το επίπεδο των διακυμάνσεων τάσης που προκαλούνται από τον υπό δοκιμή εξοπλισμό, με αποτέλεσμα μια πιθανή παραποίηση των μετρήσεων και άρα των αποτελεσμάτων μιας δοκιμής flicker.



Σχήμα 4.3 – Μήκος και διατομή καλωδίου σύνδεσης του υπό δοκιμή εξοπλισμού [15].

#### 4.2.3 Σύστημα συλλογής δεδομένων μέσω H/Y

Το σύστημα MX30-3Pi-CTSL απαιτεί την εγκατάσταση της κάρτας National Instruments M Series PCI-6250 A/D card, με ρυθμό δειγματοληψίας  $10^6$  δείγματα / sec, κατάλληλη για δοκιμές τριφασικών φορτίων. Για τη σύνδεση της παραπάνω κάρτας με το PACS-3-75 χρησιμοποιείται ειδικό καλώδιο, μικρού μήκους, που φέρει 68 και 37 pins στις αντίστοιχες πλευρές του. Η κάρτα ελέγχεται από το λογισμικό CTSMXL, το οποίο προσφέρει τις εξής δυνατότητες:

- Προετοιμασία και διεξαγωγή δοκιμών συμμόρφωσης IEC 61000-3-2 και IEC 61000-3-3. Η προετοιμασία διευκολύνεται με τη χρήση ενσωματωμένων προτύπων.
- Συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από τις δοκιμές.
- Προβολή και παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των αποτελεσμάτων των δοκιμών.
- Αποθήκευση των αποτελεσμάτων των δοκιμών για μετέπειτα ανάλυσή τους χρησιμοποιώντας άλλα προγράμματα.
- Εκτύπωση εκθέσεων αναφοράς και γραφικών παραστάσεων σε μορφή MS Word™.

### 4.3 Προδιαγραφές συστήματος

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι κυριότερες προδιαγραφές του συστήματος California Instruments MX30-3Pi. Για μια πλήρη περιγραφή των χαρακτηριστικών της πηγής μπορεί κάποιος να ανατρέξει στο εγχειρίδιο χρήστη της πηγής ([15]).

Οι προδιαγραφές που παρουσιάζονται είναι έγκυρες εντός ενός εύρους θερμοκρασίας περιβάλλοντος  $25 \pm 5$  °C και ισχύουν μετά από χρόνο προθέρμανσης 30 λεπτών.

#### 4.3.1 Προδιαγραφές μονάδας PACS-3-75

Παρακάτω, ο Πίνακας 4.1 παρουσιάζει τις προδιαγραφές που ισχύουν για το σύνολο των μετρήσεων που πραγματοποιούνται μέσω της μονάδας PACS-3-75, όπως και τις περιβαλλοντικές προδιαγραφές που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία της.

<b>Παράμετρος μέτρησης</b>	<b>Προδιαγραφή</b>
<b>Τάση</b>	
Εύρος	0.01 – 312.00 V
Ακρίβεια	$\pm 0.1 \% \pm 0.05 \% \text{ FS} \pm 3 \text{ mV}$
Ανάλυση	10 mV
<b>RMS Ρεύμα</b>	
Εύρη	16, 40, 75 A
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	75.00 A
Ακρίβεια	$\pm 0.1 \% \pm 0.05 \% \text{ FS} \pm 5 \text{ mA}$
Ανάλυση	1 mA
<b>Ενεργός Ισχύς</b>	
Εύρος	0.1 – 45000 W / φάση
Ακρίβεια	$\pm 0.25 \% \pm 0.25 \% \text{ FS} \pm 20 \text{ mW}$
Ανάλυση	0.1 W
<b>Φαινόμενη Ισχύς</b>	
Εύρος	0.1 – 45000 VA / φάση
Ακρίβεια	$\pm 0.15 \% \pm 0.15 \% \text{ FS} \pm 20 \text{ mVA}$
Ανάλυση	0.01 VA
<b>Συντελεστής Ισχύος</b>	
Εύρος	0.00 - $\pm 1.00$
Ακρίβεια	$\pm 0.05$
Ανάλυση	0.01
<b>Συχνότητα</b>	
Εύρος	45 – 65 Hz
Ακρίβεια	0.1 %
Ανάλυση	0.1 Hz
<b>Ανάλυση Αρμονικών</b>	
Εύρος	Θεμελιώδης – 40 <sup>n</sup>
Ακρίβεια θεμελιώδους	$\pm 0.05 \% \text{ FS} \pm 0.05 \% / \text{kHz}$
Ακρίβεια αρμονικών	$\pm 0.1 \% \pm 0.1 \% / \text{kHz}$
Παράθυρο μέτρησης	10 ή 12 περιόδων
Φίλτρο εξομάλυνσης	1.5 sec

<b>Flicker</b>	
Εύρος $P_{st}$	0.1 – 10
Ακρίβεια $P_{st}$	3 %
Ανάλυση $P_{st}$	0.01
Χρόνος ολοκλήρωσης $P_{st}$	10 min
Εύρος $P_{lt}$	0.1 – 10
Εύρος $d_{max}$	0 – 100 %
Εύρος $d_c$	0.1 – 100 %
Εύρος $d_t$	0.1 – 100 %
<b>Περιβάλλον</b>	
Θερμοκρασία Λειτουργίας:	0 °C - 40 °C
Σχετική Υγρασία:	≤90% για θερμοκρασίες μέχρι 40 °C
Σημείωση 1: Τα αρχικά “F.S.” προέρχονται από το “Full Scale” και αναφέρονται στο μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει μια παράμετρος, σύμφωνα πάντα με τις προδιαγραφές της μονάδας.	

Πίνακας 4.1 – Προδιαγραφές της μονάδας PACS-3-75

#### 4.3.2 Προδιαγραφές μονάδας OMNI-3-37MX

Το σύστημα MXCTSL απαιτεί τη χρήση μιας εξωτερικής αντίστασης αναφοράς. Η μονάδα OMNI-3-37MX προσφέρει αυτή την αντίσταση αναφοράς, δεν ελέγχεται όμως άμεσα από το λογισμικό CTSMXL. Για την επιλογή λειτουργίας “Bypass” ή “Flicker” του OMNI-3-37MX, ανάλογα με το ποια δοκιμή εκτελείται, χρησιμοποιείται το κουμπί στον εμπρόσθιο πίνακα ελέγχου της μονάδας.

Παρακάτω, ο Πίνακας 4.2 παρουσιάζει τις βασικότερες προδιαγραφές που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία της μονάδας OMNI-3-37MX.

Παράμετρος	Προδιαγραφή
<b>Σύνθετη Αντίσταση Αναφοράς</b>	
Αριθμός φάσεων	3
Flicker mode:	
Μέγιστο ρεύμα	37.0 A
Bypass mode:	
Μέγιστο ρεύμα	75.0 A
Αντίσταση @50Hz σε "Flicker mode":	
Φάση	0.24 +0.15j Ohms
Ουδέτερος	0.16 + 0.10j Ohms
Ακρίβεια	< 5 %
<b>Είσοδος Γραμμής</b>	
Τάση γραμμής	230 V ± 10%
Ρεύμα Γραμμής	110 mA @ 230 V / 50 Hz
Συχνότητα γραμμής	47 – 63 Hz
<b>Περιβάλλον</b>	
Θερμοκρασία Λειτουργίας:	0 °C - 40 °C
Σχετική Υγρασία:	≤90% για θερμοκρασίες μέχρι 40 °C

Πίνακας 4.2 – Προδιαγραφές μονάδας OMNI-3-37MX

## 4.4 Δοκιμές κατά IEC

### 4.4.1 Υποστηριζόμενα πρότυπα IEC

Το σύστημα MX30-3Pi-CTSL υποστηρίζει την εκτέλεση δοκιμών συμβατότητας με εννέα (9) πρότυπα της IEC. Πρόκειται για τα πρότυπα που αναφέρονται στο υποκεφάλαιο 2.1 της παρούσας εργασίας και παρατίθενται ξανά παρακάτω, με τις περιγραφές τους στην αγγλική γλώσσα αυτή τη φορά, για λόγους πληρότητας. Η αναλυτική παρουσίαση των προτύπων αυτών γίνεται στο κεφάλαιο 2, ενώ η διεξαγωγή των αντίστοιχων δοκιμών με χρήση των προγραμμάτων CTSMXL και MXGUI γίνεται παρακάτω, στα κεφάλαια 5 έως 7. Τα πρότυπα που θα μας απασχολήσουν λοιπόν είναι τα εξής:

1. IEC 61000-3-2 Ed. 3.0 (2005) + Amendment 1 (2008). Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase).
2. IEC 61000-3-3 Ed. 1.2 (2005) + Amendment 1 (2008). Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤16 A per phase and not subject to conditional connection.
3. IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004). Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests. (pre-compliance)

4. IEC 61000-4-13 Ed. 1.0 (2002). Testing and measurement techniques - Harmonics and interharmonics including mains signaling at a.c. power port, low frequency immunity tests.
5. IEC 61000-4-14 Ed. 1.1 (2002). Testing and measurement techniques – Voltage fluctuation immunity test.
6. IEC 61000-4-17 Ed. 1.1 (2002). Testing and measurement techniques – Ripple on d.c. input power port immunity test.
7. IEC 61000-4-27 Ed 1.0 (2000). Testing and measurement techniques – Unbalance, immunity test. (pre-compliance)
8. IEC 61000-4-28 Ed. 1.1 (2001). Testing and measurement techniques – Variation of power frequency, immunity test.
9. IEC 61000-29 Ed. 1.0 (2000). Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations on d.c. input power port immunity tests. (pre-compliance)

Αναφορικά με τα παραπάνω πρότυπα, οι δοκιμές για τα (1.) και (2.) πραγματοποιούνται με χρήση του λογισμικού CTSMXL. Οι δοκιμές για τα υπόλοιπα (από 3. έως και 9.) πραγματοποιούνται μέσω του λογισμικού MXGUI.

Όπως γίνεται άμεσα αντιληπτό, μόνο τα πρότυπα (6.) και (9.) αφορούν DC ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Τα υπόλοιπα πρότυπα αναφέρονται σε 1Φ / 3Φ AC εξοπλισμό, με εξαίρεση το πρότυπο (7.) που αναφέρεται αυστηρά σε 3Φ AC εξοπλισμό.

Στο σημείο αυτό, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να αναφερθεί ότι η επιτυχής διεξαγωγή των δοκιμών τύπου (3.), (7.) και (9.), δεν εξασφαλίζει την πλήρη συμμόρφωση, αλλά μονάχα τη μερική συμμόρφωση (pre-compliance) του δοκιμίου με το αντίστοιχο πρότυπο της IEC. Για τα υπόλοιπα πρότυπα φυσικά, η επιτυχής διεξαγωγή των δοκιμών ισοδυναμεί με πλήρη συμμόρφωση (full compliance) του δοκιμίου. Η ύπαρξη μερικής συμμόρφωσης οφείλεται σε διαφορετικές αιτίες, ανάλογα με το πρότυπο IEC. Στη συνέχεια, εξηγούνται ο λόγοι για τους οποίους στα προαναφερθέντα τρία (3) πρότυπα εξασφαλίζεται μερική και όχι πλήρης συμμόρφωση από το σύστημα δοκιμών MX30-3Pi-CTSL ([17]).

- IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004). Με βάση τις προδιαγραφές για την πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος που χρησιμοποιείται, δεν μπορούν να καλυφθούν όλες οι προϋποθέσεις του IEC 61000-4-11 από την MX30-3Pi. Ειδικότερα, ο χρόνος ανόδου και καθόδου της τάσης δοκιμής πρέπει να είναι από 1 έως 5  $\mu$ s, κάτι που δεν καλύπτεται από την συγκεκριμένη πηγή AC. Ωστόσο, αυτό είναι απίθανο να έχει οποιαδήποτε επιρροή στην έκβαση της δοκιμής, καθώς ένα δοκίμιο που αποτυγχάνει σε δοκιμή πραγματοποιούμενη με χρόνους ανόδου και καθόδου τάσης περί τα 80  $\mu$ s (έτσι ορίζουν οι προδιαγραφές της MX30-3Pi), είναι πολύ πιθανό να αποτύχει σε μία όμοια δοκιμή, πραγματοποιούμενη όμως με χρόνους ανόδου και καθόδου τάσης περί τα 5  $\mu$ s. Επίσης, η παραπάνω πρόταση μπορεί να διατυπωθεί και αντίστροφα. Πιο συγκεκριμένα, ένα δοκίμιο που επιτυγχάνει σε δοκιμή πραγματοποιούμενη με χρόνους ανόδου και καθόδου τάσης περί τα 80  $\mu$ s, είναι πολύ πιθανό να επιτύχει σε μία όμοια δοκιμή, πραγματοποιούμενη με χρόνους ανόδου και καθόδου τάσης περί τα 5  $\mu$ s. Στα Σχήματα 2.9 και 2.10 μπορεί κανείς να παρατηρήσει τους χρόνους ανόδου ( $t_r$ ) και καθόδου ( $t_f$ ).

Επίσης, δεν πληρείται η απαίτηση του προτύπου για παροχή -από την πηγή στο φορτίο- ρεύματος κορυφής της τάξης των 500 A.. Ωστόσο, εάν το ρεύμα κορυφής που θα απαιτηθεί από το δοκίμιο είναι 70% ή λιγότερο της ικανότητας της πηγής AC, τότε η πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έλεγχο πλήρους συμμόρφωσης. Το λογισμικό MXGUI ενσωματώνει μια αυτοματοποιημένη διαδικασία ελέγχου του ρεύματος κορυφής που απαιτεί ο υπό δοκιμή εξοπλισμός, δίνοντας τη δυνατότητα στο χρήστη να γνωρίζει εάν πρόκειται να πραγματοποιηθεί δοκιμή μερικής ή πλήρους συμμόρφωσης με το πρότυπο.



- IEC 61000-4-27 Ed 1.0 (2000). Και στην περίπτωση αυτή, αναφορικά με τις προδιαγραφές της πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος που χρησιμοποιείται, δεν μπορούν να καλυφθούν όλες οι προϋποθέσεις του IEC 61000-4-27 από την MX30-3Pi. Ειδικότερα, ο χρόνος ανόδου και καθόδου της τάσης δοκιμής πρέπει να είναι από 1 έως 5  $\mu\text{s}$ , κάτι που δεν καλύπτεται από την συγκεκριμένη πηγή AC. Ωστόσο, αυτό είναι απίθανο να έχει οποιαδήποτε επιρροή στην έκβαση της δοκιμής. Επίσης, η μέγιστη φασική τάση που μπορεί να προγραμματιστεί είναι 300 V, η οποία είναι 30% πάνω από τα 230 V της  $U_n$ . Έτσι, η απαίτηση του προτύπου που ορίζει ότι η τάση εξόδου της πηγής πρέπει να είναι σε θέση να φθάσει  $\pm 50\%$  της  $U_n$ , δεν είναι δυνατόν να ικανοποιηθεί. Παρ' όλα αυτά, δεδομένου ότι τα επίπεδα δοκιμών στο πρότυπο αυτό δεν υπερβαίνουν το 110% της  $U_n$  (βλ. Πίνακα 2.19), η απαίτηση για χρήση γεννήτριας που να μπορεί να παρέχει 150% δεν φαίνεται να έχει πρακτική επίδραση στη διεξαγωγή των δοκιμών.
- IEC 61000-29 Ed. 1.0 (2000). Οι προδιαγραφές του προτύπου αυτού ορίζουν ότι και στη DC λειτουργία της πηγής, ο χρόνος ανόδου και καθόδου της τάσης δοκιμής πρέπει να είναι από 1 έως 50  $\mu\text{s}$  (βλ. Πίνακες 2.21 έως 2.23). Δεδομένου ότι οι προδιαγραφές της MX30-3Pi ορίζουν ως μέγιστο ρυθμό μεταβολής της τάσης δοκιμών τα 0.3 V /  $\mu\text{s}$ , συμπεραίνει κανείς εύκολα πως οι χρονικές απαιτήσεις για την άνοδο και την πτώση της τάσης δεν μπορούν να επιτευχθούν υπό όλες τις περιστάσεις. Για το λόγο αυτό πρόκειται για μια δοκιμή μερικής συμμόρφωσης. Για εφαρμογές όπου απαιτούνται δοκιμές πλήρους συμμόρφωσης, η γεννήτρια δοκιμών πρέπει προηγουμένως να ελέγχεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου για τις χρησιμοποιούμενες γεννήτρες δοκιμών.

#### 4.4.2 Αβεβαιότητα μετρήσεων και δοκιμών

Η αβεβαιότητα ([16]) σχετίζεται με το αποτέλεσμα μιας μέτρησης και καθορίζει το φάσμα των τιμών που θα μπορούσαν εύλογα να αποδοθούν στη μετρούμενη ποσότητα. Όταν η αβεβαιότητα αξιολογείται και λαμβάνεται υπ' όψη, δείχνει το επίπεδο εμπιστοσύνης για το οποίο η μετρούμενη ποσότητα βρίσκεται πράγματι εντός του εύρους τιμών που καθορίζονται από το διάστημα αβεβαιότητας.

Οποιαδήποτε μέτρηση υπόκειται σε ατέλειες ή αλλιώς σφάλματα. Ορισμένα από τα σφάλματα αυτά οφείλονται σε τυχαίες παραμέτρους, όπως βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της πίεσης αέρα. Επαναλαμβανόμενες μετρήσεις αναμένεται να παρουσιάσουν διακυμάνσεις εξαιτίας αυτών των τυχαίων επιδράσεων. Μετρητικά σφάλματα προκύπτουν επίσης από το ίδιο το σύστημα που πραγματοποιεί τη μέτρηση λόγω πεπερασμένης ακρίβειας των οργάνων και αισθητήρων μέτρησης, ενώ δε μπορεί να αγνοηθεί σε ορισμένες περιπτώσεις η προσωπική μεροληψία κατά την ανάγνωση μίας αναλογικής κλίμακας από τον παρατηρητή.

Συχνά, το αποτέλεσμα συγκρίνεται με μια οριακή τιμή που ορίζεται από σχετικές προδιαγραφές ή κάποιο κανονισμό / νόρμα. Στην περίπτωση αυτή, η γνώση της αβεβαιότητας δείχνει εάν το αποτέλεσμα είναι σαφώς εντός των αποδεκτών ορίων ή μόλις που τα ικανοποιεί. Περιστασιακά, ένα αποτέλεσμα μπορεί είναι τόσο κοντά στο όριο, ώστε, έχοντας λάβει υπ' όψη την αβεβαιότητα των μετρήσεων που προηγήθηκαν, να υπάρχει κίνδυνος το δοκίμιο που μετρήθηκε να μην εμπίπτει τελικά εντός του ορίου.

Ας υποθεθεί ότι ένας πελάτης έχει ζητήσει η ίδια δοκιμή να πραγματοποιηθεί σε περισσότερα από ένα εργαστήρια, κάνοντας χρήση του ίδιου ή πανομοιότυπου δείγματος από το ίδιο προϊόν. Στην περίπτωση αυτή, δεν είναι εύλογο να αναμένονται τα ίδια αποτελέσματα, παρά μόνο εντός των ορίων της αβεβαιότητας. Αλλά όταν τα αποτελέσματα είναι κοντά στο όριο

που προδιαγράφεται, είναι πιθανό ένα εργαστήριο να δηλώσει αποτυχία συμμόρφωσης του υπό δοκιμή εξοπλισμό με το σχετικό πρότυπο / νόρμα, ενώ ένα άλλο να δηλώσει επιτυχία συμμόρφωσης. Από καιρό σε καιρό, φορείς διαπίστευσης πρέπει να διερευνούν καταγγελίες σχετικά με τέτοιες διαφορές. Αυτό μπορεί να συνεπάγεται πολύ χρόνο και προσπάθεια για όλα τα συμβαλλόμενα μέρη, κάτι που σε πολλές περιπτώσεις θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί εάν η αβεβαιότητα για το αποτέλεσμα ήταν γνωστή εκ των προτέρων στον πελάτη.

Όσο αφορά την επίδραση της αβεβαιότητας στις Δηλώσεις Συμμόρφωσης (Compliance Statements), το τι πρέπει να αναφερθεί πρέπει να εξεταστεί στο πλαίσιο των αναγκών του πελάτη. Ειδικότερα, θα πρέπει να δοθεί σημασία στις πιθανές συνέπειες και τους κινδύνους που συνδέονται με ένα αποτέλεσμα που είναι κοντά στο όριο των προδιαγραφών. Η αβεβαιότητα μπορεί να είναι τέτοια ώστε να υπάρχει σημαντική αμφιβολία για την αξιοπιστία της δήλωσης αποτυχίας ή επιτυχίας. Όταν η αβεβαιότητα αυτή δεν λαμβάνεται υπόψη, τότε όσο μεγαλύτερη είναι η αβεβαιότητα, τόσο μεγαλύτερες είναι οι πιθανότητες να υπάρξουν αποτυχίες ή επιτυχίες στη θέση αποτυχιών ή επιτυχιών, αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας καλύτερο εξοπλισμό, έχοντας καλύτερο έλεγχο του περιβάλλοντος και διασφαλίζοντας τη συνεπή διεξαγωγή της δοκιμασίας, συνήθως η αβεβαιότητα λαμβάνει μικρότερες τιμές.

Ειδικότερα, σχετικά με την αβεβαιότητα του συστήματος δοκιμών MX30-3Pi-CTSL, η μέθοδος αποτίμησής της συνδυάζει τα επιμέρους σφάλματα έχοντας ως στόχο τον υπολογισμό μιας ρεαλιστικής συνδυασμένης αβεβαιότητας. Αυτό σημαίνει υπολογισμό της τετραγωνικής ρίζας του αθροίσματος των τετραγώνων των επιμέρους συνιστωσών. Στη συνέχεια, η συνδυασμένη αβεβαιότητα πολλαπλασιάζεται με αυτό που είναι γνωστό ως συντελεστής κάλυψης. Όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο παράγοντας, τόσο μεγαλύτερο είναι το διάστημα αβεβαιότητας και, αντίστοιχα, τόσο υψηλότερο είναι το επίπεδο εμπιστοσύνης ότι η πραγματική τιμή βρίσκεται εντός του εν λόγω διαστήματος

Τέλος, η αβεβαιότητα που καθορίζεται για το σύστημα MXCTS στους Πίνακες 4.3 και 4.4 χρησιμοποιεί συντελεστή κάλυψης 2 και αντιστοιχεί σε επίπεδο εμπιστοσύνης περίπου 95%. Έτσι, προκειμένου να περιέχουν οι αναφορές των δοκιμών –για τα πρότυπα IEC 61000-3-2 και IEC 61000-3-3- πληροφορίες σχετικά με την αβεβαιότητα, μπορούν να προστεθούν οι Πίνακες 4.3 και 4.4 στις τελευταίες σελίδες των αναφορών που συντάσσονται μέσω του λογισμικού CTSMXL.

4 A RMS Range	Frequency	Uncertainty
RMS current		4 mA
Fundamental current	50 / 60 Hz	4 mA
Harmonic current	100 Hz- 1000 Hz	0.2 % Reading + 4 mA
	1050 Hz - 2000 Hz	0.2 % Reading + 6 mA
	2050 Hz - 2400 Hz	0.2 % Reading + 8 mA
16 A RMS Range	Frequency	Uncertainty
RMS current		16 mA
Fundamental current	50 / 60 Hz	16 mA
Harmonic current	100 Hz- 1000 Hz	0.2 % Reading + 4 mA
	1050 Hz - 2000 Hz	0.2 % Reading + 6 mA
	2050 Hz - 2400 Hz	0.2 % Reading + 8 mA
40 A RMS Range	Frequency	Uncertainty
RMS current		32 mA
Fundamental current	50 / 60 Hz	32 mA
Harmonic current	100 Hz- 1000 Hz	0.2 % Reading + 4 mA
	1050 Hz - 2000 Hz	0.2 % Reading + 6 mA
	2050 Hz - 2400 Hz	0.2 % Reading + 8 mA
75 A RMS Range	Frequency	Uncertainty
RMS current		64 mA
Fundamental current	50 / 60 Hz	64 mA
Harmonic current	100 Hz- 1000 Hz	0.2 % Reading + 4 mA
	1050 Hz - 2000 Hz	0.2 % Reading + 6 mA
	2050 Hz - 2400 Hz	0.2 % Reading + 8 mA

Πίνακας 4.3 –Αβεβαιότητα μετρήσεων Αρμονικών του συστήματος MX30-3Pi-CTSL [16].

Flicker		Uncertainty
Pst		5 % Reading
Plt		5 % Reading
dc		5 % Reading
dt		5 % Reading
dmax		5 % Reading

Πίνακας 4.4 –Αβεβαιότητα μετρήσεων Flicker του συστήματος MX30-3Pi-CTSL [16].

#### 4.4.3 Μελλοντική εξέλιξη δοκιμών

Σύμφωνα με την τακτική που ακολουθεί η IEC, κάποιο πρότυπο μπορεί να τροποποιηθεί εάν κριθεί αναγκαίο. Η συνεχής έρευνα και εξέλιξη στα διάφορα επιστημονικά πεδία οδηγεί σε νέα συμπεράσματα και δεδομένα, τα οποία είναι θεμιτό να λαμβάνονται υπ' όψη στην προετοιμασία και τελική έκδοση των προτύπων IEC. Συνήθως, οι πιθανές αυτές τροποποιήσεις λαμβάνουν χώρα ανά χρονικά διαστήματα, της τάξης μερικών ετών.

Το λογισμικό CTSMXL, μέσω του οποίου πραγματοποιούνται οι δοκιμές συμβατότητας για τις εκπομπές αρμονικών και flicker (πρότυπα IEC 61000-3-2 και 61000-3-3 αντίστοιχα) ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, προσφέρει τη δυνατότητα στο χρήστη να επέμβει και να αλλάξει την τιμή μεγάλου αριθμού παραμέτρων που σχετίζονται με τις παραπάνω δοκιμές ([16]). Καθώς οι ισχύουσες τιμές ορισμένων παραμέτρων μπορεί να μην ανταποκρίνονται στο ρόλο τους έπειτα από μια μελλοντική τροποποίηση των προδιαγραφών ενός προτύπου, η δυνατότητα επεξεργασίας τους εξασφαλίζει την μελλοντική εγκυρότητα των δοκιμών που εκτελούνται με το σύστημα MX30-3Pi-CTSL.

Ειδικότερα, σημαντικές τέτοιες παράμετροι είναι τα όρια εκπομπών αρμονικών ρεύματος για τις κλάσεις εξοπλισμού (A, B, Γ και Δ), τα άνω και κάτω όρια ισχύος για την κατηγοριοποίηση του εξοπλισμού ως κλάσης Δ και πολλά άλλα. Επίσης, μπορούν να καθοριστούν τα όρια εκπομπών flicker ( $P_{st}$ ,  $P_{lt}$ ,  $d_c$ ,  $d_{max}$ ,  $d_t$ ) αλλά και τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια αρμονικής παραμόρφωσης της τάσης εξόδου της πηγής που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση των δοκιμών (στην περίπτωσή μας είναι η MX30-3Pi). Οι προαναφερθείσες παράμετροι, όπως και πλήθος άλλων, μπορούν να τροποποιηθούν μέσω της εφαρμογής *Ctsmxml\_config.exe*.

Επιπρόσθετα, αντίστοιχες παράμετροι μπορούν να τροποποιηθούν μέσω του λογισμικού MXGUI για τους υπόλοιπους τύπους δοκιμών που υποστηρίζονται μέσω αυτού. Οι προδιαγραφές που ορίζει το εκάστοτε πρότυπο εισάγονται βήμα βήμα με τη μορφή γραμμών πίνακα στην καρτέλα “*Test Levels*” της αντίστοιχης εφαρμογής.

Τέλος, μελλοντικά η πηγή MX30-3Pi μπορεί να αναβαθμιστεί με την επιλογή -SNK (current sink option) ([14]), επιτρέποντας έτσι στην πηγή να απορροφήσει ρεύμα από το δοκίμιο. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για τη δοκιμή προϊόντων που τροφοδοτούν το ηλεκτρικό δίκτυο με ενέργεια, όπως αντιστροφείς για εφαρμογές ανεμογεννητριών ή / και φωτοβολταϊκών. Η ικανότητα του MX για την προσομοίωση του δικτύου τη δυνατότητα να ελεγχθεί ο υπό δοκιμή εξοπλισμός για τη θωράκισή του έναντι συχνά παρατηρούμενων ανωμαλιών του δικτύου (fault ride-through), όπως διακυμάνσεις τάσης ή / και συχνότητας Σύμφωνα με την επίσημη άποψη του κατασκευαστή της πηγής, δίχως να είναι εγκατεστημένη η επιλογή -SNK, εάν η πηγή απορροφήσει ρεύμα ενδέχεται να υποστεί σημαντική βλάβη.

## 5 Δοκιμές κατά IEC σε μετατροπείς AC/DC/AC για συστήματα ηλεκτρικής κίνησης

### 5.1 Γενικά

#### 5.1.1 Μετατροπέας AC/DC/AC με μονοφασική είσοδο

Το δοκίμιο στο οποίο διενεργήθηκε η συντριπτική πλειοψηφία των δοκιμών του κεφαλαίου αυτού είναι το μοντέλο αντιστροφέα γενικής χρήσης (general-purpose inverter) FR-A024-S2.2K-EC της εταιρείας Mitsubishi ([24]). Πρόκειται για έναν μετατροπέα μονοφασικής εισόδου, τριφασικής εξόδου, που ενσωματώνει την τεχνολογία ελέγχου Ημιτονοειδούς Διαμόρφωσης Εύρους Παλμών (Sinusoidal Pulse Width Modulation ή SPWM) με υψηλή συχνότητα φορέα. Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του δοκιμίου παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1.

	Παράμετρος	Προδιαγραφή
Έξοδος	Ισχύς κινητήρα (hp)	3
	Ισχύς κινητήρα (kW)	2.2
	Ονομαστική ισχύς εξόδου (kVA)	4.4
	Ονομαστική τάση εξόδου	3Φ, 200 – 230 V
	Ονομαστικό ρεύμα εξόδου (A)	11
	Συχνότητα	0.2 – 400 Hz
Είσοδος	Ονομαστική τάση εισόδου	1Φ, 200 – 230 V, 50 / 60 Hz
	Μέγιστη επιτρεπόμενη διακύμανση τάσης	180 – 253 V
	Μέγιστη επιτρεπόμενη διακύμανση συχνότητας	± 5%

Πίνακας 5.1 – Τεχνικές προδιαγραφές αντιστροφέα Mitsubishi FR-A024-S2.2K-EC

Στο σημείο αυτό, είναι κρίσιμο να αναφερθεί ότι, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, όταν ο μετατροπέας λειτουργεί υπό ονομαστική ισχύ εξόδου (4.4 kVA) απαιτεί στην είσοδό του 5.5 kVA. Αυτό μεταφράζεται σε ονομαστικό ρεύμα εισόδου περί τα 24 A (θεωρώντας ονομαστική τάση εισόδου 230 V). Δεδομένου ότι οι δοκιμές του κεφαλαίου αυτού αφορούν εξοπλισμό ονομαστικού ρεύματος εισόδου έως 16 A ανά φάση, για τις ανάγκες των μετρήσεων ο μετατροπέας ρυθμίστηκε να λειτουργεί σε συνθήκες φόρτισης τέτοιες, ώστε το ρεύμα εισόδου του (σταθερής κατάστασης) να μην υπερβαίνει τα 16 A. Γίνεται κατανοητό λοιπόν, ότι τα αποτελέσματα οι δοκιμές που θα ακολουθήσουν έχουν περισσότερο εκπαιδευτικό χαρακτήρα κύριος στόχος της παρούσας εργασίας δεν είναι ο απόλυτος χαρακτηρισμός του δοκιμίου σε συμμορφούμενο ή μη συμμορφούμενο με τα πρότυπα IEC.

Ο μετατροπέας συνδέθηκε με το σύστημα δοκιμών MX30-3Pi-CTSL του εργαστηρίου μέσω δύο καλωδίων (1Φ σύνδεση) διατομής 10 mm<sup>2</sup> και μήκους 1.5 m, σύμφωνα με τις απαιτήσεις που περιγράφονται στο εδάφιο 4.2.2. Στη συνέχεια κλήθηκε να οδηγήσει τον ασύγχρονο τριφασικό κινητήρα τύπου κλωβού TERCO MV1009 σε συνδεσμολογία τριγώνου (Δ). Πρόκειται για έναν τετραπολικό κινητήρα 50 Hz, ονομαστικής ισχύος 1.5 kW, ονομαστικής τάσης 220 / 380 V (σύνδεση Δ / Y), ονομαστικού ρεύματος (γραμμής) 6.75 / 3.9 A (σύνδεση Δ / Y), ονομαστικής ταχύτητας περιστροφής 1410 rpm και Σ.Ι. = 0.8. Στην έξοδο του μετατροπέα μετρήθηκαν η πολική τάση, το ρεύμα γραμμής και ο συντελεστής ισχύος με τη βοήθεια του ψηφιακού πολυμέτρου FLUKE 345 PQ. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, τα σφάλματα μέτρησης ανέρχονται σε ± 0.2 A, ± 0.02 V και ± 3° αντίστοιχα. Τέλος, το φορτίο του παραπάνω κινητήρα αποτελούταν από μια γεννήτρια DC, στην έξοδο της οποίας συνδέθηκαν ωμικές αντιστάσεις. Συνεπώς, ο μετατροπέας ρυθμίστηκε για λειτουργία με φορτίο σταθερής ροπής (constant torque load).

Στα υποκεφάλαια 5.2 έως 5.7 που ακολουθούν, περιγράφονται οι δοκιμές που έγιναν στον μετατροπέα, σύμφωνα με τα πρότυπα IEC 61000-3-2:2005, 61000-3-3:2005, 61000-4-11:2002, 61000-4-13:2002, 61000-4-14:2002 και 61000-4-28:2001. Λόγω της φύσης του δοκιμίου, δεν ήταν δυνατή η πραγματοποίηση των δοκιμών 61000-4-17:2002 (αφορά DC δοκίμια), 61000-4-27:2000 (αφορά 3Φ AC δοκίμια) και 61000-4-28:2000 (αφορά DC δοκίμια).

### 5.1.2 Μετατροπέας AC/DC/AC με τριφασική είσοδο

Το δοκίμιο στο οποίο διενεργήθηκε η δοκιμή σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-4-27:2000 (αφορά 3Φ AC δοκίμια) είναι το μοντέλο ALTIVAR 5 ATV45-U30 της εταιρείας Telemecanique ([25]). Πρόκειται για έναν μετατροπέα τριφασικής εισόδου, τριφασικής εξόδου, που ενσωματώνει την τεχνολογία ελέγχου Ημιτονοειδούς Διαμόρφωσης Εύρους Παλμών (Sinusoidal Pulse Width Modulation ή SPWM). Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του δοκιμίου παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2.

Παράμετρος		Προδιαγραφή
Έξοδος	Ισχύς κινητήρα (hp)	4
	Ισχύς κινητήρα (kW)	3
	Τάση εξόδου (V)	3Φ, όχι μεγαλύτερου μέτρου από αυτό της τάσης εισόδου
	Ονομαστικό ρεύμα εξόδου (A)	8
	Συχνότητα	1 – 67 / 80 Hz
Είσοδος	Ονομαστική τάση εισόδου	3Φ, 380 / 415 V, 50 / 60 Hz
	Μέγιστη επιτρεπόμενη διακύμανση τάσης	+10%, -15%
	Ρεύμα εισόδου γραμμής (A)	12

Πίνακας 5.2 – Τεχνικές προδιαγραφές αντιστροφέα Telemecanique ALTIVAR 5 ATV45-U30

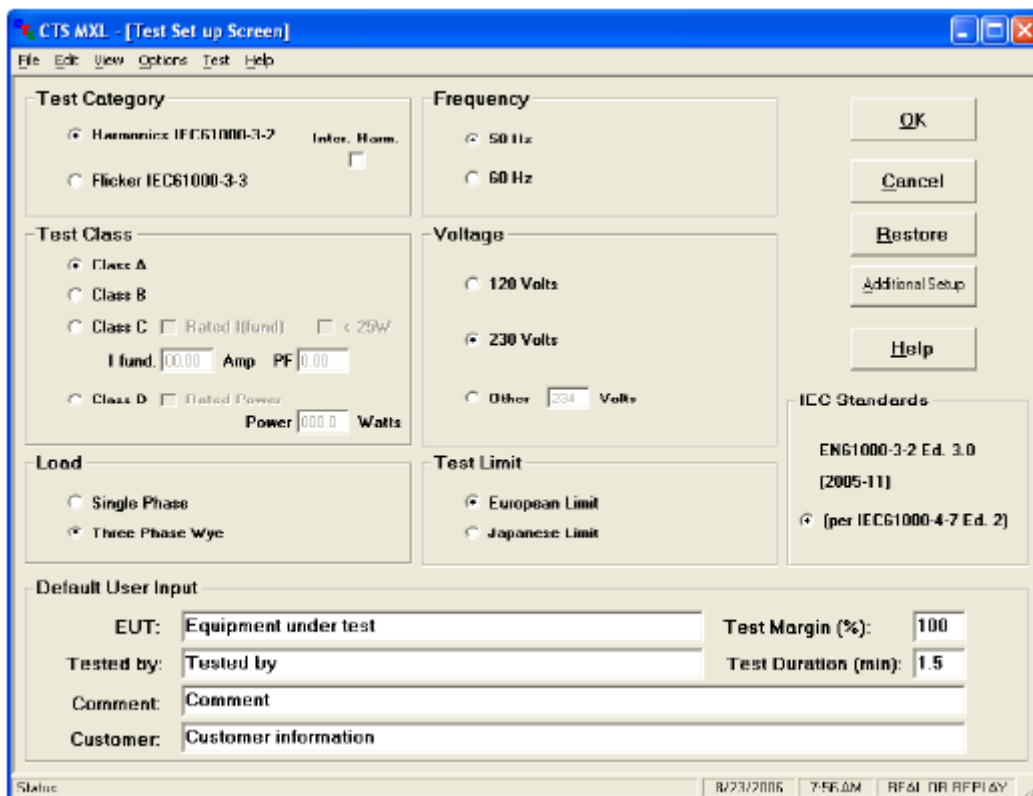
Ο μετατροπέας συνδέθηκε με το σύστημα δοκιμών MX30-3Pi-CTSL του εργαστηρίου και κλήθηκε και αυτός να οδηγήσει τον ασύγχρονο τριφασικό κινητήρα τύπου κλωβού TERCO MV1009 σε συνδεσμολογία αστέρα (Y). Στην έξοδο του μετατροπέα μετρήθηκαν η πολική τάση, το ρεύμα γραμμής και ο συντελεστής ισχύος με τη βοήθεια του ψηφιακού πολυμέτρου FLUKE 345 PQ, ενώ το φορτίο του παραπάνω κινητήρα αποτελούταν από μια γεννήτρια DC, στην έξοδο της οποίας συνδέθηκαν ωμικές αντιστάσεις.

Στο υποκεφάλαιο 5.8 περιγράφεται η δοκιμή που έγινε στον μετατροπέα, σύμφωνα με τα πρότυπο IEC 61000-4-27:2000.

## 5.2 IEC 61000-3-2 Ed. 3.0 (2005)

### 5.2.1 Εκτέλεση δοκιμής

Η δοκιμή αυτή εκτελείται μέσω του λογισμικού CTSMXL που συνοδεύει το σύστημα δοκιμών, έχοντας πάντα επιλεγμένη τη λειτουργία “Bypass” στη μονάδα OMNI-3-37MX. Παρακάτω, στο Σχήμα 5.1 φαίνεται ένα τυπικό παράδειγμα ρυθμίσεων για δοκιμή εξοπλισμού κλάσης A.



Σχήμα 5.1 - Τυπικό παράδειγμα ρυθμίσεων για δοκιμή (Harmonics) εξοπλισμού κλάσης A [15].

Για τις ανάγκες της δοκιμής, επιλέχθηκε η δοκιμή “Harmonics IEC61000-3-2” σε συνδυασμό με την επιλογή για αξιολόγηση και των διαρμονικών (“Inter. Harm.”), σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC 61000-4-7 Ed. 2.0 ([23]). Ακόμη, με βάση το εδάφιο 2.2.2, ο υπό δοκιμή αντιστροφέας Mitsubishi FR-A024-S2.2K-EC κατηγοριοποιήθηκε ως Κλάσης A.

Η διάρκεια της δοκιμής ορίστηκε στα 2.5 min, πληρώντας τις προδιαγραφές που ορίζονται στο εδάφιο 2.2.3 για την έννοια της επαναληψιμότητας.

Ειδικότερα, το διάστημα των 2.5 min της δοκιμής περιλαμβάνει εκκίνηση του κινητήρα με χρόνο επιτάχυνσης 5 sec μέχρι της επίτευξη μόνιμης κατάστασης λειτουργίας, παραμονή στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας για χρόνο 2 min 20 sec και τέλος, επιβράδυνση και σταμάτημα του κινητήρα εντός χρονικής διάρκειας 5 sec. Η συχνότητα φέροντος της τεχνικής SPWM του αντιστροφέα ορίστηκε στα 12 kHz, για λειτουργία του κινητήρα δίχως έντονους κραδασμούς (low-noise operation) ([24]).

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι, για τη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, η τάση εξόδου (πολική) του αντιστροφέα μετρήθηκε 225 V, το ρεύμα εξόδου (γραμμής) μετρήθηκε  $6 A < 6.75 A$  και ο συντελεστής ισχύος βρέθηκε 0.64 επαγωγικός. Τα παραπάνω δεδομένα δείχνουν φαινόμενη 3Φ ισχύ εξόδου του αντιστροφέα στα  $\sqrt{3} \cdot 225V \cdot 6A = 2338VA$  και ενεργό 3Φ ισχύ εξόδου στα  $\sqrt{3} \cdot 225V \cdot 6A \cdot 0.64 = 1497W$ .

### **5.2.2 Αναφορά δοκιμής (report)**

Η δισέλιδη αναφορά δοκιμής παράγεται αυτόματα από το λογισμικό CTSMXL και παρατίθεται αυτούσια στις αμέσως επόμενες σελίδες της εργασίας.

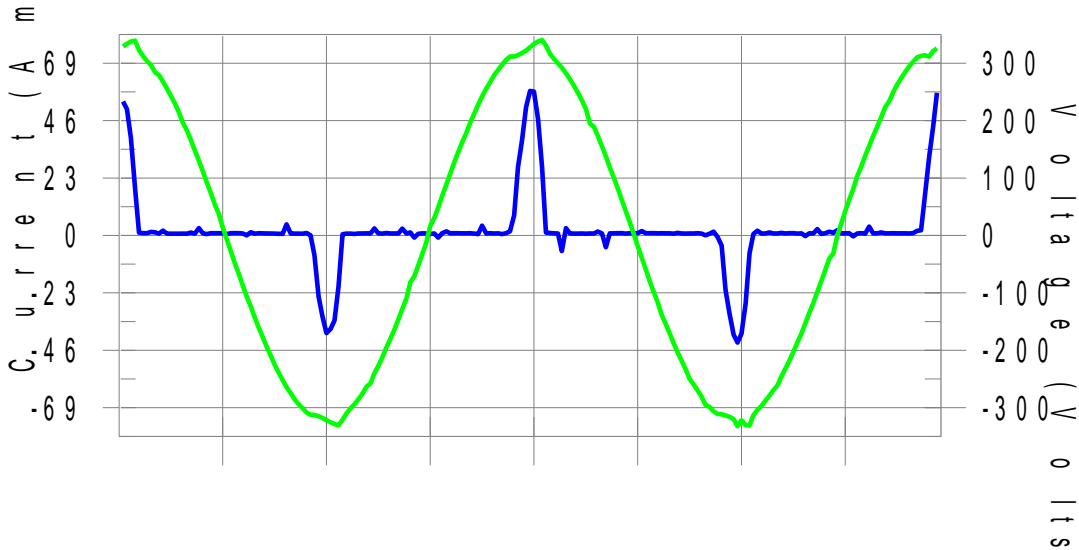


## Harmonics – Class-A per Ed. 3.0 (2005-11)(Run time) incl. inter-harmonics

EUT: Mitsubishi FR-A024-S2.2K-EC Tested by: Papazacharopoulos Nikolaos  
 Test category: Class-A per Ed. 3.0 (2005-11) (European limits) Test Margin (%): 100  
 Test date: 12/5/2010 Start time: 4:23:30  $\mu$  End time: 4:26:22  $\mu$   
 Test duration (min): 2.5 Data file name: CTSMXL\_H-000020.cts\_data  
 Comment: ambient temperature 25°C, ambient humidity 50%  
 Customer: Customer

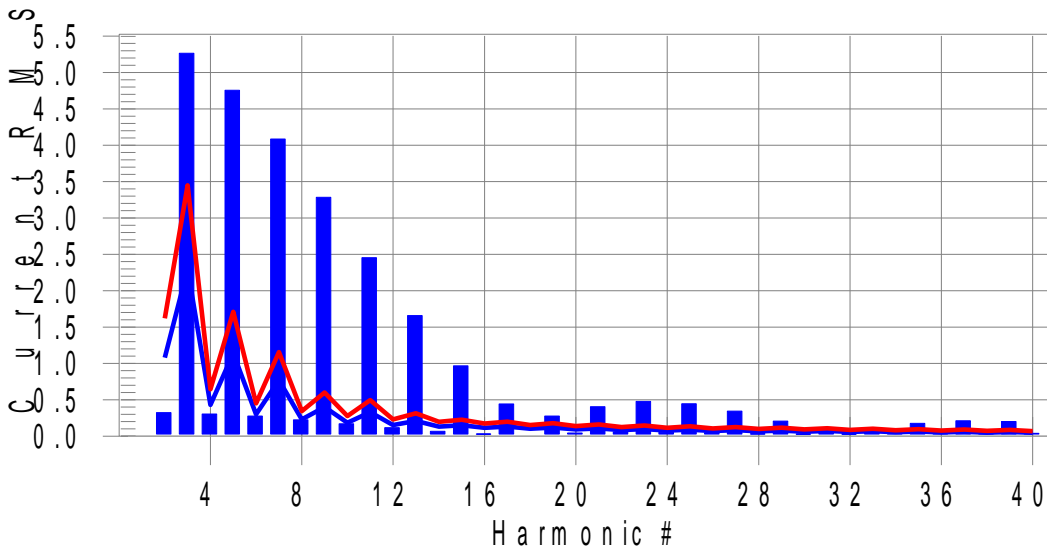
Test Result: Fail (200% max - 90% avg used) Source qualification: Compensated

### Current(blue) & voltage(green) waveforms



### Harmonics and Class A limit line

### European Limits – 100%(blue) & 150%(red)



**Test result: Fail Worst harmonic was #9 with 749.17% of the limit.**

## Current Test Result Summary (Run time)

**EUT:** Mitsubishi FR-A024-S2.2K-EC      **Tested by:** Papazacharopoulos Nikolaos  
**Test category:** Class-A per Ed. 3.0 (2005-11) (European limits)      **Test Margin(%):** 100  
**Test date:** 12/5/2010      **Start time:** 4:23:30  $\mu$ s      **End time:** 4:26:22  $\mu$ s  
**Test duration (min):** 2.5      **Data file name:** CTSMXL\_H-000020.cts\_data  
**Comment:** ambient temperature 25°C, ambient humidity 50%  
**Customer:** Customer

**Test Result:** Fail (200% max - 90% avg used)      **Source qualification:** Compensated  
**THC(A):** 8.561      **I-THD(%):** 171.536      **POHC(A):** 0.122      **POHC Limit(A):** 0.251  
**Highest parameter values during test:**

V_RMS (Volts): 231.59	Frequency(Hz): 50.00
I_Peak (Amps): 58.463	I_RMS (Amps): 14.109
I_Fund (Amps): 5.520	Crest Factor: 5.640
Power (Watts): 1656.8	Power Factor: 0.511

Harm#	Harms(avg)	100%Limit	%of Limit	Harms(max)	150%Limit	%of Limit	Status
2	0.137	1.080	12.6	0.324	1.620	19.99	Pass
3	4.759	2.300	206.9	5.264	3.450	152.57	Fail
4	0.129	0.430	30.0	0.305	0.645	47.26	Pass
5	4.312	1.140	378.2	4.757	1.710	278.17	Fail
6	0.114	0.300	38.1	0.275	0.450	61.01	Pass
7	3.708	0.770	481.6	4.085	1.155	353.67	Fail
8	0.095	0.230	41.1	0.225	0.345	65.19	Pass
9	2.997	0.400	749.2	3.285	0.600	547.55	Fail
10	0.075	0.184	40.6	0.171	0.276	61.83	Pass
11	2.252	0.330	682.6	2.457	0.495	496.28	Fail
12	0.052	0.153	33.8	0.116	0.230	50.57	Pass
13	1.534	0.210	730.3	1.657	0.315	526.04	Fail
14	0.032	0.131	24.6	0.068	0.197	34.57	Pass
15	0.906	0.150	603.9	0.967	0.225	429.91	Fail
16	0.018	0.115	15.8	0.030	0.173	17.29	Pass
17	0.508	0.132	384.9	0.442	0.199	222.32	Fail
18	0.018	0.102	18.1	0.027	0.153	17.62	Pass
19	0.338	0.118	285.5	0.275	0.178	154.65	Fail
20	0.023	0.092	25.5	0.043	0.138	31.45	Pass
21	0.376	0.107	351.4	0.404	0.161	250.94	Fail
22	0.027	0.084	32.3	0.058	0.125	46.27	Pass
23	0.436	0.098	445.8	0.477	0.147	324.58	Fail
24	0.027	0.077	34.8	0.055	0.115	48.01	Pass
25	0.407	0.090	452.2	0.446	0.135	330.51	Fail
26	0.024	0.071	33.2	0.047	0.106	44.27	Pass
27	0.312	0.083	374.9	0.344	0.125	275.27	Fail
28	0.021	0.066	31.3	0.033	0.099	33.58	Pass
29	0.185	0.078	238.9	0.207	0.116	178.66	Fail
30	0.017	0.061	28.3	0.030	0.092	32.47	Pass
31	0.128	0.073	176.6	0.093	0.109	85.58	Fail
32	0.018	0.058	31.3	0.031	0.086	36.44	Pass
33	0.108	0.068	158.6	0.103	0.102	100.51	Fail
34	0.019	0.054	35.2	0.038	0.081	47.11	Pass
35	0.165	0.064	256.0	0.177	0.096	184.13	Fail
36	0.020	0.051	38.7	0.043	0.077	56.14	Pass
37	0.194	0.061	318.6	0.211	0.091	231.83	Fail
38	0.020	0.048	41.8	0.046	0.073	63.42	Pass
39	0.185	0.058	321.4	0.202	0.087	231.99	Fail
40	0.018	0.046	40.0	0.039	0.069	56.95	Pass

### 5.2.3 Παρατηρήσεις

Αρχικά, παρατηρώντας την αναφορά δοκιμής του εδαφίου 5.2.2, διαπιστώνεται πως το μέγιστο ρεύμα που απορρόφησε το δοκίμιο κατά τη διάρκεια της δοκιμής ανήλθε σε 14.1 A. Συμπεραίνεται λοιπόν πως εάν ο κινητήρας είχε λειτουργήσει σε υψηλότερη (π.χ. σε ονομαστική) ισχύ, τότε το ρεύμα εισόδου του μετατροπέα θα ξεπερνούσε τα 16 A. Στην περίπτωση αυτή το πρότυπο 61000-3-2 δε θα ήταν κατάλληλο για τη δοκιμή συσκευής με ρεύμα εισόδου  $\geq 16$  A ανά φάση.

Ακόμη, παρατηρείται υπέρβαση των ορίων σε όλες τις περιττές αρμονικές συνιστώσες, σε μερικές μάλιστα κατά πολύ (π.χ. στην 9<sup>η</sup>), κάτι που στερεί από το δοκίμιο ένα επιτυχές αποτέλεσμα. Επίσης, το γεγονός ότι ο μετατροπέας της δοκιμής χρησιμοποιεί την τεχνική ελέγχου SPWM ευθύνεται για την μη ύπαρξη αρμονικών συνιστωσών άρτιας τάξης ([2]).

Όπως αναφέρεται και στο εδάφιο 5.1.1, το ονομαστικό ρεύμα εισόδου του εν λόγω μετατροπέα υπολογίζεται σε 24 A. Τυπικά λοιπόν, το δοκίμιο αυτό δε θα πρέπει να ελέγχεται με βάση τις προδιαγραφές του προτύπου IEC 61000-3-2 (αφορά συσκευές με ονομαστικό ρεύμα εισόδου έως 16 A ανά φάση), αλλά με βάση τις προδιαγραφές του προτύπου IEC 61000-3-12, που αφορά σε συσκευές με ονομαστικό ρεύμα εισόδου  $\geq 16$  A και  $< 75$  A ανά φάση. Τα όρια αρμονικών ρεύματος εισόδου για εξοπλισμό χαμηλής τάσης με ονομαστικό ρεύμα μεταξύ 16 και 75 A ανά φάση παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3 ([1]).

Τάξη αρμονικής $n$	Μέγιστο επιτρεπόμενο αρμονικό ρεύμα $I_n/I_1$ %
<b>Αρμονικές περιττής τάξης</b>	
3	21.6
5	10.7
7	7.2
9	3.8
11	3.1
13	2
15	0.7
17	1.2
19	1.1
21	0.6
23	0.9
25	0.8
27	0.6
29	0.7
31	0.7
$\geq 33$	0.6
<b>Αρμονικές άρτιας τάξης</b>	
όλες	8/h ή 0.6

Πίνακας 5.3 - Όρια αρμονικών ρεύματος εισόδου για εξοπλισμό χαμηλής τάσης με ονομαστικό ρεύμα μεταξύ 16 και 75 A ανά φάση (πρότυπο IEC 61000-3-12)

Εφαρμόζοντας τα όρια του Πίνακα 5.3 στις μετρήσεις που περιλαμβάνονται στην αναφορά του εδαφίου 5.2.2, παρατηρούνται και πάλι μεγάλες υπερβάσεις των ορίων (π.χ.  $I_9 / I_1 = 54.29$

% αντί για 3.8 %), παρά το γεγονός ότι οι υπολογισμοί έγιναν έχοντας θέσει  $I_1 = 5.52$  A. Χρησιμοποιήθηκε δηλαδή η μέγιστη τιμή της θεμελιώδους συνιστώσας του ρεύματος εισόδου, και όχι η μέση τιμή δοκιμής. Η τελευταία θα προέκυπτε μικρότερη της μέγιστης και θα αυστηροποιούσε τα όρια του Πίνακα 5.3.

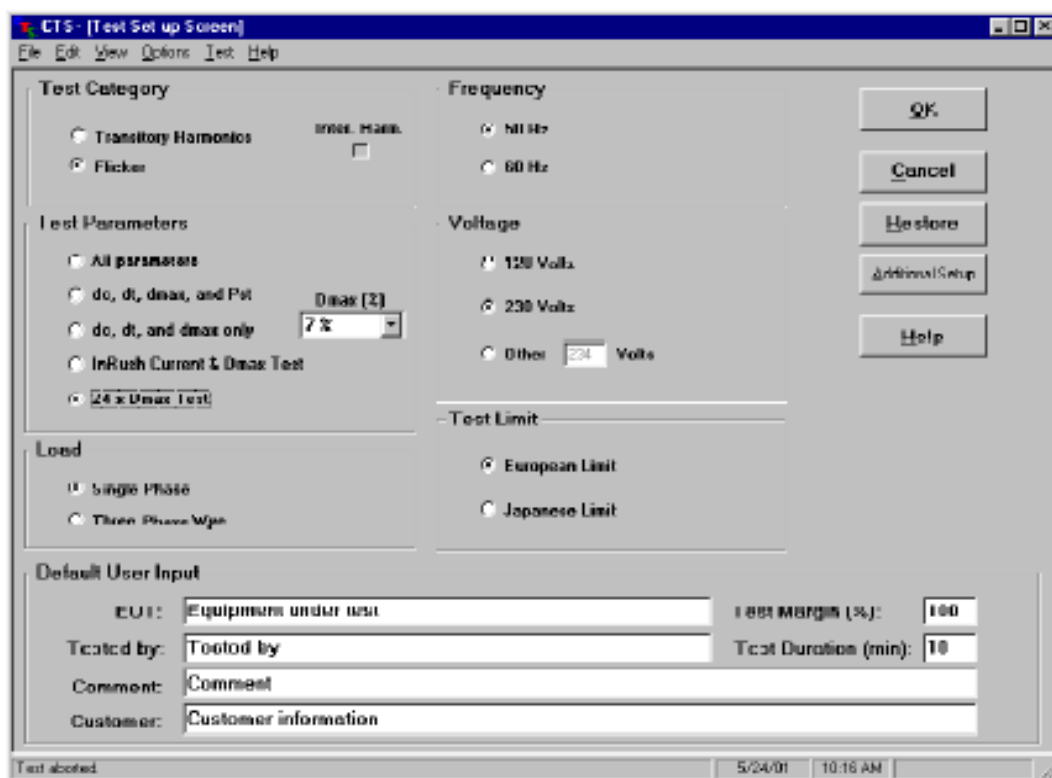
Εδώ πρέπει να αναφερθεί πως ο κατασκευαστής του δοκιμίου δηλώνει ότι αυτό συμμορφώνεται με το πρότυπο DIN VDE0160. Πρόκειται για ένα πρότυπο το οποίο ελέγχει το επίπεδο ατρωσίας που παρουσιάζει ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός έναντι υπερτάσεων που λαμβάνουν χώρα στο ηλεκτρικό δίκτυο. Από τα παραπάνω, δεν δηλώνεται η συμμόρφωση του μετατροπέα της Mitsubishi με κάποιο πρότυπο που αφορά τα επίπεδα εκπομπής αρμονικών ρεύματος στο δίκτυο. Συνεπώς, το γεγονός της αποτυχίας συμμόρφωσης του δοκιμίου με το πρότυπο IEC 61000-3-2 δεν προκαλεί έκπληξη.

Τέλος, να αναφερθεί ότι η παραπάνω δοκιμή επαναλήφθηκε έχοντας επιλέξει συχνότητα φέροντος του αντιστροφέα στο 1 kHz. Και στις δύο περιπτώσεις, τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν ταυτόσημα (δηλαδή εντός του περιθωρίου σφάλματος του Πίνακα 4.3).

## 5.3 IEC 61000-3-3 Ed. 1.2 (2005)

### 5.3.1 Εκτέλεση δοκιμής

Η δοκιμή αυτή εκτελείται μέσω του λογισμικού CTSMXL που συνοδεύει το σύστημα δοκιμών, έχοντας επιλεγμένη τη λειτουργία “Flicker” στη μονάδα OMNI-3-37MX. Παρακάτω, στο Σχήμα 5.2 φαίνεται ένα τυπικό παράδειγμα ρυθμίσεων για δοκιμή εξοπλισμού κλάσης A.



Σχήμα 5.2 - Τυπικό παράδειγμα ρυθμίσεων για δοκιμή (flicker) εξοπλισμού κλάσης A [15].

Για τις ανάγκες της δοκιμής, επιλέχθηκε η δοκιμή “Flicker IEC61000-3-3” ενώ, με βάση το εδάφιο 2.2.2, ο υπό δοκιμή μετατροπέας Mitsubishi FR-A024-S2.2K-EC κατηγοριοποιήθηκε ως Κλάσης A. Η επιλογή των παραμέτρων για τις οποίες θα ελεγχθεί το δοκίμιο επιλέγονται από τον χρήστη με βάση τα δεδομένα των εδαφίων 2.3.5, 2.3.6 και 2.3.7. Ειδικότερα, η επιλογή “All parameters” αφορά δοκιμή για τις παραμέτρους  $d_c$ ,  $d_t$ ,  $d_{max}$ ,  $P_{st}$ ,  $P_{lt}$ , με τον υπολογισμό του δείκτη  $P_{lt}$  να μην είναι γενικά απαραίτητος για συσκευές των οποίων η κανονική λειτουργία διαρκεί λιγότερο από 30 λεπτά τη φορά (βλ. εδάφιο 2.3.5). Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου μόνο των παραμέτρων  $d_c$ ,  $d_t$ ,  $d_{max}$  εφόσον είναι αναγκαίο (π.χ. σε μεταβολές τάσης προερχόμενες από χειρισμούς) με τον χρήστη να αποφασίζει κατάλληλα για την τιμή του ορίου του  $d_{max}$  (βλ. εδάφιο 2.3.7). Για την παρούσα δοκιμή επιλέχθηκε  $d_{max} = 6\%$ . Οι δύο τελευταίες επιλογές αφορούν αποκλειστικά περιπτώσεις μεταβολών τάσης εξ’ αιτίας χειρισμών. Εφόσον η δοκιμή για “InRush Current & Dmax Test” (αναφέρεται στην 2<sup>η</sup> παράγραφο του εδαφίου 2.3.6) αποτύχει, τότε το δοκίμιο θα πρέπει να ελεγχθεί για το “24x Dmax test”. Λεπτομέρειες για το τελευταίο μπορούν να αναζητηθούν στο κείμενο του ίδιου του προτύπου IEC 61000-3-3 Ed. 1.2 ([6]).

Η διάρκεια της δοκιμής ορίστηκε στα 10 min, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εδαφίου 2.3.6. Παρ’ ότι θεωρήθηκε πως ο αντιστροφέας της δοκιμής είναι μια συσκευή η οποία μπορεί να λειτουργεί συνεχώς σε κάποιον επαγγελματικό χώρο (π.χ. μια βιοτεχνία), για λόγους οικονομίας χρόνου, η δοκιμή δεν διήρκεσε 120 min όπως προϋποθέτει ο υπολογισμός του  $P_{lt}$ . Το ζήτημα αυτό θα αναλυθεί στο εδάφιο των παρατηρήσεων (5.3.3).

Πιο συγκεκριμένα, κάθε 1 min από τα συνολικά 10 min περιλαμβάνει εκκίνηση του κινητήρα με χρόνο επιτάχυνσης 2.5 sec μέχρι της επίτευξη μόνιμης κατάστασης λειτουργίας, παραμονή στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας για χρόνο 55 sec και τέλος, επιβράδυνση και σταμάτημα του κινητήρα εντός χρονικής διάρκειας 2.5 sec. Το σενάριο αυτό περιλαμβάνει σχετικά έντονες και συχνές επιταχύνσεις / επιβραδύνσεις και επελέγη στην προσπάθεια εξομοίωσης μιας αρκετά επιβαρυσμένης –από άποψη μεταβολών τάσης- λειτουργίας του υπό δοκιμή εξοπλισμού.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι, για τη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, η τάση εξόδου (πολική) του αντιστροφέα μετρήθηκε 225 V, το ρεύμα εξόδου (γραμμής) μετρήθηκε 6 A < 6.75 A και ο συντελεστής ισχύος βρέθηκε 0.64 επαγωγικός. Τα παραπάνω δεδομένα δείχνουν φαινόμενη 3Φ ισχύ εξόδου του αντιστροφέα στα  $\sqrt{3} \cdot 225V \cdot 6A = 2338VA$  και ενεργό 3Φ ισχύ εξόδου στα  $\sqrt{3} \cdot 225V \cdot 6A \cdot 0.64 = 1497W$ .

### 5.3.2 Αναφορά δοκιμής (report)

Η δισέλιδη αναφορά δοκιμής παράγεται αυτόματα από το λογισμικό CTSMXL και παρατίθεται αυτούσια στις αμέσως επόμενες σελίδες της εργασίας.

## Flicker Test Summary per EN/IEC61000-3-3 (Run time)

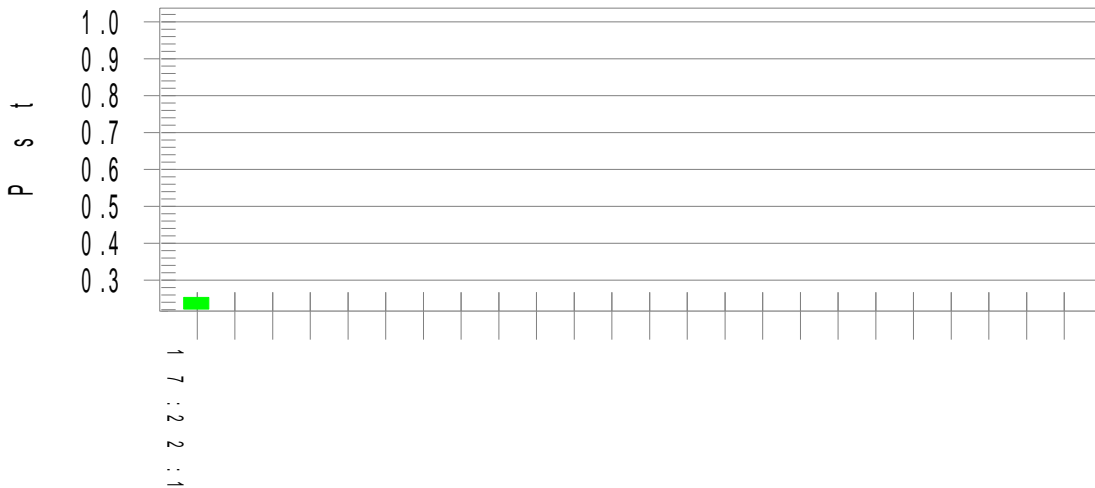
**EUT:** Mitsubishi FR-A024-S2.2K-EC      **Tested by:** Papazacharopoulos Nikolaos  
**Test category:** dt,dmax,dc and Pst (European limits)      **Test Margin:** 100  
**Test date:** 12/5/2010      **Start time:** 5:11:55 μμ      **End time:** 5:22:16 μμ  
**Test duration (min):** 10      **Data file name:** CTSMXL\_F-000025.cts\_data  
**Comment:** ambient temperature 25°C, ambient humidity 50%  
**Customer:** Customer

**Test Result:** Pass

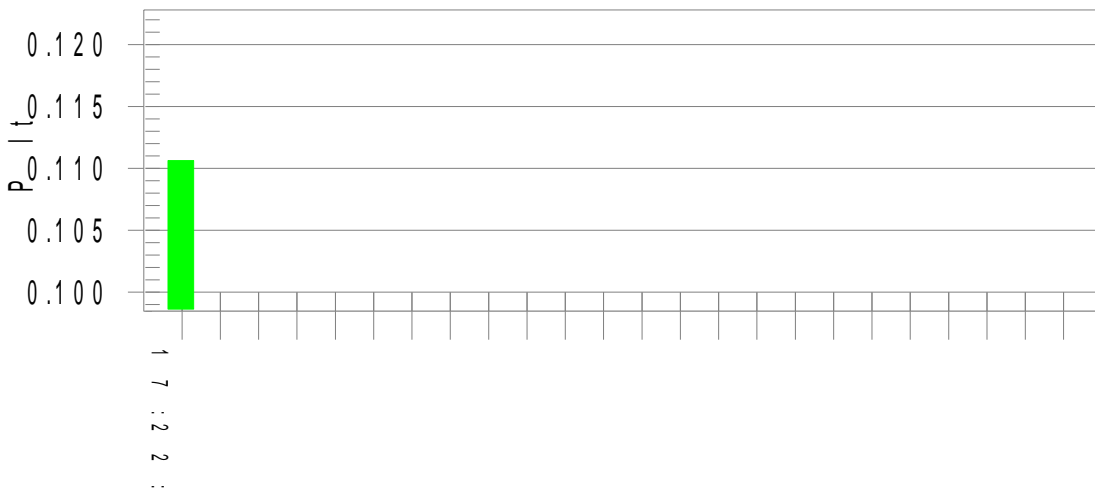
**Status:** Test Completed

### Pst<sub>i</sub> and limit line

### European Limits



### Plt and limit line



### **Parameter values recorded during the test:**

**Vrms at the end of test (Volt):** 231.63

<b>Time(mS) &gt; dt:</b>	0.0	<b>Test limit (mS):</b>	500.0	<b>Pass</b>
<b>Highest dc (%):</b>	-1.43	<b>Test limit (%):</b>	3.30	<b>Pass</b>
<b>Highest dmax (%):</b>	-1.59	<b>Test limit (%):</b>	6.00	<b>Pass</b>
<b>Highest Pst (10 min. period):</b>	0.253	<b>Test limit:</b>	1.000	<b>Pass</b>

### 5.3.3 Παρατηρήσεις

Σύμφωνα με το κείμενο αναφοράς του εδαφίου 5.3.2, οι δοκιμή ολοκληρώθηκε με επιτυχία για το δοκίμιο. Παρατηρούνται αρνητικές τιμές για τις παραμέτρους  $d_c$  και  $d_{max}$ . Αυτό μεταφράζεται σε ανύψωση και όχι πτώση τάσης στο σημείο διεπαφής του δοκιμίου με το δίκτυο Χ.Τ. (στην περίπτωση μας το ρόλο του δικτύου παίζει η μονάδα OMNI-3-37MX). Οι τιμές αυτές προφανώς μετρήθηκαν κατά τη διαδικασία επιβράδυνσης στην οποία υποβλήθηκε ο κινητήρας, ελεγχόμενος από τον υπό δοκιμή μετατροπέα.

Τέλος, στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι εάν η δοκιμή είχε διαρκέσει 120 min και όχι 10 min, η τιμή του δείκτη flicker μακράς διάρκειας ( $P_{lt}$ ) θα ήταν διαφορετική. Πιο συγκεκριμένα, εφόσον η δοκιμή είχε διαρκέσει για 12 διαδοχικά χρονικά διαστήματα των 10 min, θα είχαν συγκεντρωθεί τελικά 12 όμοιες τιμές του δείκτη flicker βραχείας διάρκειας. Θα ίσχυε δηλαδή ότι

$$P_{st,i} = 0.253 \quad , i = 1, 2, \dots, 12 \quad (5.1)$$

Από τις σχέσεις (2.13) και (5.1) προκύπτει η κανονική τιμή του δείκτη flicker μακράς διάρκειας ως εξής ([1]):

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} P_{st,i}^3} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \cdot 12 \cdot (0.253)^3} = 0.253 < 0.65 \quad (5.2)$$

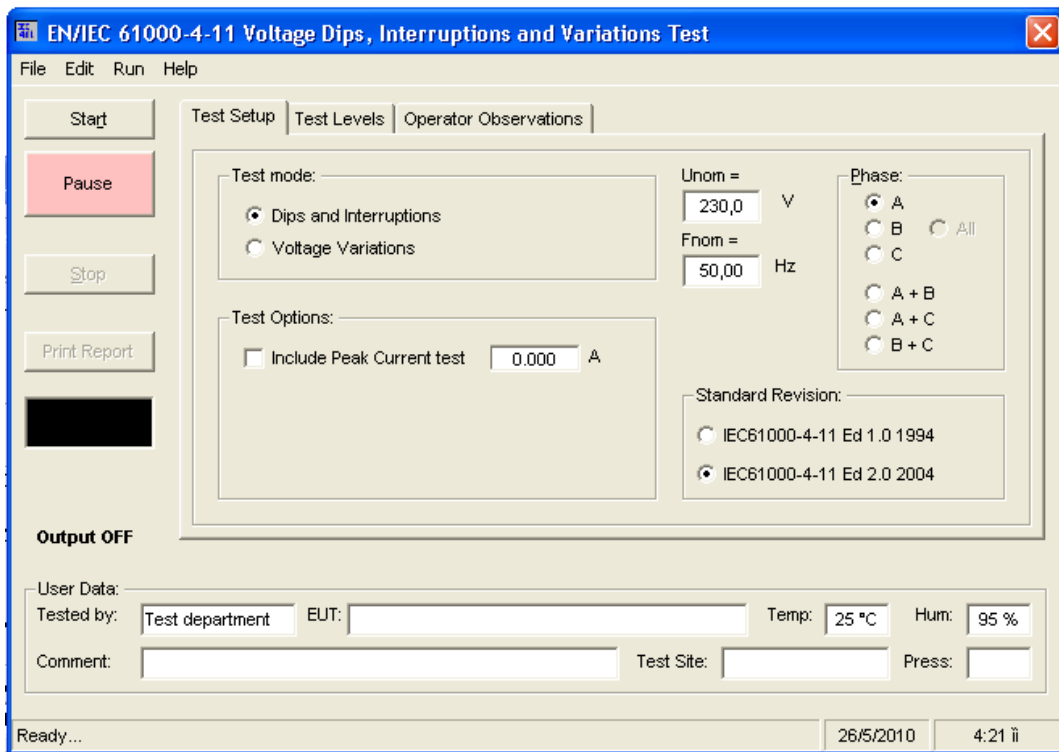
Συνεπώς, το αποτέλεσμα της σχέσης (5.2) είναι εντός αποδεκτών ορίων και άρα η δοκιμή συμβατότητας του εξοπλισμού κρίνεται συνολικά επιτυχημένη.

## 5.4 IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 (2004)

### 5.4.1 Εκτέλεση δοκιμής

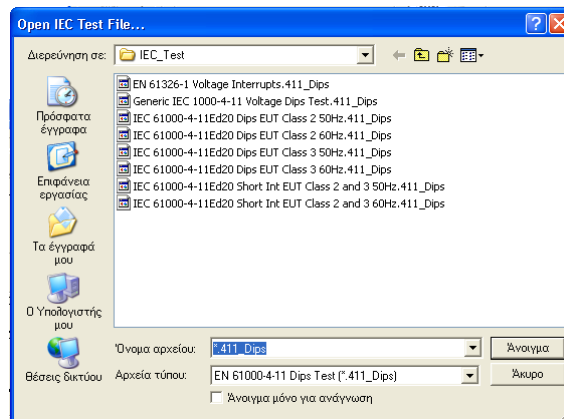
Η δοκιμή αυτή εκτελείται μέσω του λογισμικού MXGUI που συνοδεύει το σύστημα δοκιμών, πάντα επιλεγμένη τη λειτουργία “Bypass” στη μονάδα OMNI-3-37MX. Παρακάτω, στο Σχήμα 5.3 φαίνεται το αρχικό παράθυρο ρυθμίσεων μιας τέτοιας δοκιμής.

Στο παράθυρο αυτό διακρίνεται η επιλογή δοκιμής για “Dips and interruptions” και η επιλογή για “Voltage Variations”. Η δυνατότητα “Include Peak Current test” είναι χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου το δοκίμιο μπορεί να απαιτήσει μεταβατικό ρεύμα εκκίνησης μεγαλύτερο του 70% της δυνατότητας της πηγής δοκιμών (εδώ 500 A), οπότε και, σύμφωνα με το εδάφιο 4.4.1, η δοκιμή θα είναι μερικής συμβατότητας (pre-compliance). Η πραγματοποίηση λοιπόν αυτού του ελέγχου, μας πληροφορεί για ένα τέτοιο ενδεχόμενο. Επίσης, στο αρχικό παράθυρο του Σχήματος 5.3, καθορίζονται η ονομαστική τάση και συχνότητα του δοκιμίου και προσδιορίζονται οι φάσεις στις οποίες θα εφαρμοστούν τα επίπεδα δοκιμών. Τα επίπεδα δοκιμών μπορούν να οριστούν από το χρήστη στην καρτέλα “Test Levels” ή μπορούν να φορτωθούν τα επίσημα επίπεδα δοκιμών, όπως δείχνουν τα Σχήματα 5.4 και 5.5. Τα επίπεδα αυτά βασίζονται στα δεδομένα του εδαφίου 2.4.4.



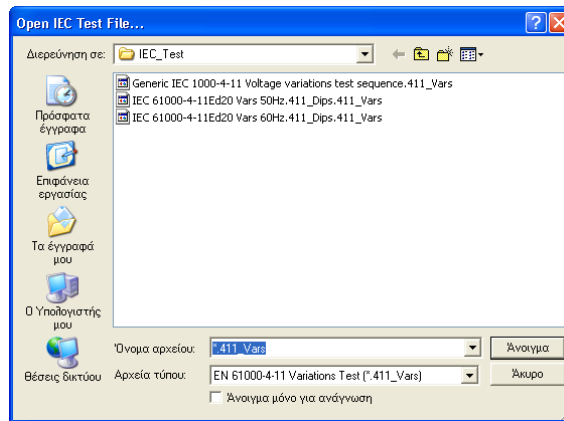
Σχήμα 5.3 – Αρχικό παράθυρο δοκιμών κατά IEC 61000-4-11

Με βάση τα δεδομένα του εδαφίου 2.4.3, για τις δοκιμές του παρόντος υποκεφαλαίου επιλέχθηκαν τα επίπεδα δοκιμών που αφορούν δοκίμιο Κλάσης 2, ονομαστικής συχνότητας 50 Hz. Η έκδοση του προτύπου IEC που επελέγη ήταν η “IEC61000-4-11 Ed. 2.0 2004”.



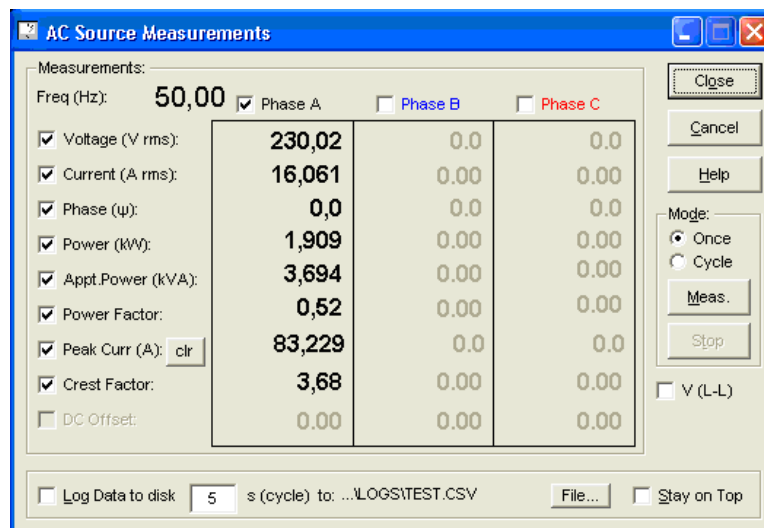
Σχήμα 5.4 – Διαθέσιμα επίσημα επίπεδα δοκιμών για “Dips and interruptions”





Σχήμα 5.5 – Διαθέσιμα επίσημα επίπεδα δοκιμών για “Voltage Variations”

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με το σύστημα μετατροπέα-κινητήρα να βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, η τάση εξόδου (πολική) του αντιστροφέα μετρήθηκε 222 V, το ρεύμα εξόδου (γραμμής) μετρήθηκε 6.3 A < 6.75 A, ο συντελεστής ισχύος βρέθηκε 0.74 επαγωγικός και η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα 1436 rpm. Τα παραπάνω δεδομένα δείχνουν φαινόμενη 3Φ ισχύ εξόδου του αντιστροφέα στα  $\sqrt{3} \cdot 222V \cdot 6.3A = 2422VA$  και ενεργό 3Φ ισχύ εξόδου στα  $\sqrt{3} \cdot 222V \cdot 6.3A \cdot 0.74 = 1793W$ . Να αναφερθεί ότι οι παραπάνω ισχείς σταθερής κατάστασης ήταν οι μέγιστες που μπορούσαν να επιτευχθούν, στην προσπάθεια να διατηρηθεί το ρεύμα εισόδου του αντιστροφέα οριακά μέχρι 16 A και να έχει επομένως νόημα η πραγματοποίηση των δοκιμών. Οι μετρήσεις που αφορούν στην είσοδο του μετατροπέα φαίνονται στο Σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.6 – Μετρήσεις εισόδου του δοκιμίου

#### 5.4.2 Αναφορά δοκιμής (report) για βυθίσεις τάσης (voltage dips)

Η αναφορά δοκιμής για βυθίσεις τάσης παράγεται αυτόματα από το λογισμικό MXGUI και παρατίθεται παρακάτω:

## Test Report

Report Name:	EN 61000-4-11 Test Report
Report print date:	05-19-2010 16:09:37
Program version:	MX Series MXGUI ,version: 2.2.0.6 - Sept 19, 2008

### **IEC Test Result:                      **PASS****

Time test started:                      Τετάρτη, 19 Μάιος 2010 4:07:10 μμ  
Time test completed:                      Τετάρτη, 19 Μάιος 2010 4:09:28 μμ  
Selected test file:                      IEC 61000-4-11Ed20 Dips EUT Class 2 50Hz.411\_Dips  
Selected test type:                      Voltage dips test  
Test operator:                      Papazacharopoulos Nikolaos

### **Test Conditions:**

Test Standard Edition                      IEC61000-4-11 Ed 2.0 2004  
Nominal Voltage (Un):                      230     $V_{RMS}$     Nominal Frequency (Fn):                      50 Hz  
Selected Phase(s):                      A

---

Amb. Temp:                      25 °C                      Humidity: 50 %                      Pressure  
EUT description:                      Mitsubishi FR-A024-S2.2K-EC  
User comments:

### **Test Parameters:**

STEP	Dip to % Unom	Ts (Cycles)	Start Phase	Repeat	Gap (s)	Delay (s)	Select
1	0	0.5	0.00	3	10	1	1
2	0	1.0	0.00	3	10	1	1
3	70	25.0	0.00	3	10	1	1

**Table 1 Test Parameters**

### User observations regarding this EUT:

Observations:

**Evaluation of test results:** b) temporary loss of function or degradation of performance which ceases after the disturbance ceases, and from which the equipment under test recovers its normal performance, without operator intervention

### 5.4.3 Αναφορά δοκιμής (report) για σύντομες διακοπές τάσης (short interruptions)

Η αναφορά δοκιμής για σύντομες διακοπές τάσης παράγεται αυτόματα από το λογισμικό MXGUI και παρατίθεται παρακάτω.

#### Test Report

Report Name:	EN 61000-4-11 Test Report
Report print date:	05-19-2010 16:17:06
Program version:	MX Series MXGUI ,version: 2.2.0.6 - Sept 19, 2008

#### **IEC Test Result: FAIL**

Time test started: Τετάρτη, 19 Μάιος 2010 4:15:37 μμ  
Time test completed: Τετάρτη, 19 Μάιος 2010 4:16:50 μμ  
Selected test file: IEC 61000-4-11Ed20 Short Int EUT Class 2 and 3  
50Hz.411\_Dips  
Selected test type: Voltage dips test  
Test operator: Papazacharopoulos Nikolaos

#### **Test Conditions:**

Test Standard Edition IEC61000-4-11 Ed 2.0 2004  
Nominal Voltage (Un): 230 V<sub>RMS</sub> Nominal Frequency (Fn): 50 Hz  
Selected Phase(s): A

---

Amb. Temp: 25 °C Humidity: 50 % Pressure  
EUT description: Mitsubishi FR-A024-S2.2K-EC  
User comments:

#### **Test Parameters:**

STEP	Dip to % Unom	Ts (Cycles)	Start Phase	Repeat	Gap (s)	Delay (s)	Select
1	0	250.0	0.00	3	10	1	1

Table 2 Test Parameters

User observations regarding this EUT:

Observations: <b>Evaluation of test results:</b> c) temporary loss of function or degradation of performance, the correction of which requires operator intervention
---

#### 5.4.4 Αναφορά δοκιμής (report) για διακυμάνσεις τάσης (voltage fluctuations)

Η αναφορά δοκιμής για διακυμάνσεις τάσης παράγεται αυτόματα από το λογισμικό MXGUI και παρατίθεται παρακάτω.

#### Test Report

Report Name:	EN 61000-4-11 Test Report
Report print date:	05-19-2010 16:19:57
Program version:	MX Series MXGUI ,version: 2.2.0.6 - Sept 19, 2008

#### **IEC Test Result: FAIL**

Time test started: Τετάρτη, 19 Μάιος 2010 4:18:47 μμ  
Time test completed: Τετάρτη, 19 Μάιος 2010 4:19:46 μμ  
Selected test file: IEC 61000-4-11Ed20 Vars 50Hz.411\_Dips.411\_Vars  
Selected test type: Voltage variations test  
Test operator: Papazacharopoulos Nikolaos

#### **Test Conditions:**

Test Standard Edition IEC61000-4-11 Ed 2.0 2004  
Nominal Voltage (Un): 230 V<sub>RMS</sub> Nominal Frequency (Fn): 50 Hz  
Selected Phase(s): A

---

Amb. Temp: 25 °C Humidity: 50 % Pressure  
EUT description: Mitsubishi FR-A024-S2.2K-EC  
User comments:

#### **Test Parameters:**

STEP	Var to % Unom	Td (cycles)	Ts (cycles)	Ti (cycles)	Repeat	Delay (s)	Select
1	0	0.1	1.0	25.0	3	10	1

Table 3 Test Parameters

User observations regarding this EUT:

Observations: <b>Evaluation of test results:</b> c) temporary loss of function or degradation of performance, the correction of which requires operator intervention
---

## 5.4.5 Παρατηρήσεις

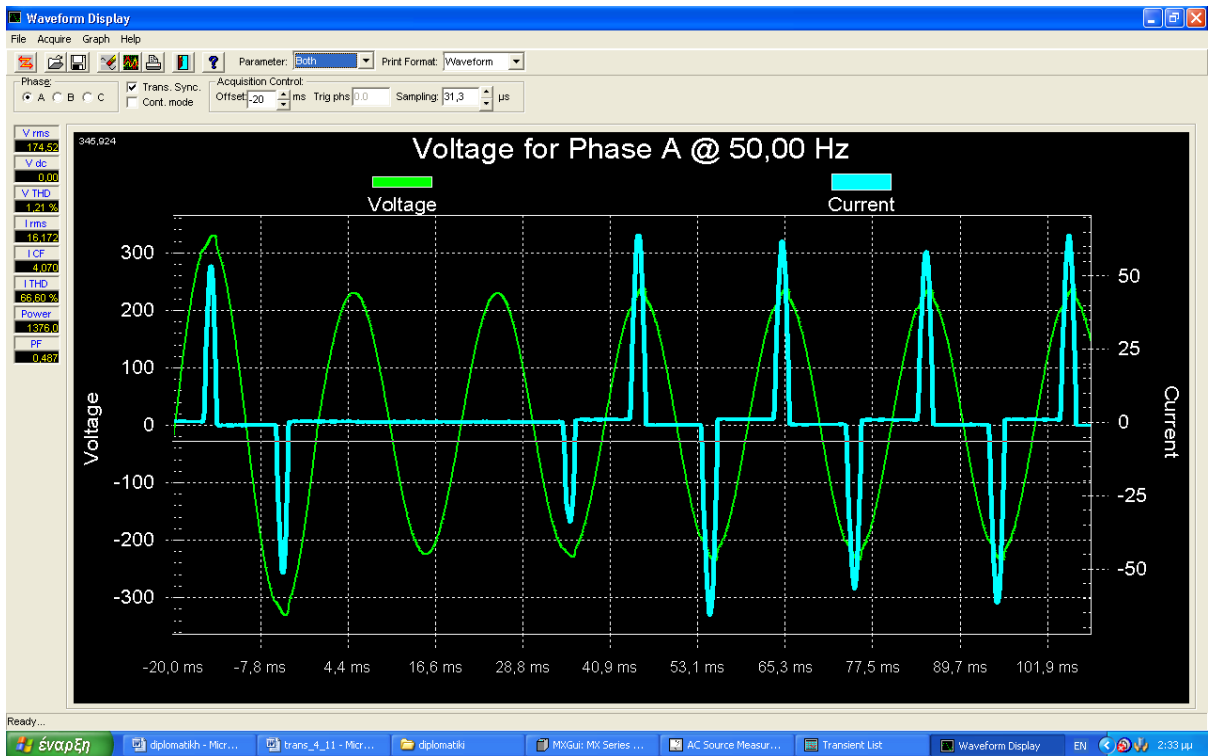
### 1. Δοκιμή για βυθίσεις τάσης (voltage dips)

Τα βήματα 1 και 2 (step 1 & 2) στον πίνακα της αναφοράς του εδαφίου 5.4.3 δεν επηρέασαν καθόλου τη λειτουργία του συστήματος μετατροπέα-κινητήρα. Αντίθετα, το μεταβατικό φαινόμενο της βύθισης της τάσης εισόδου του αντιστροφέα στο 70 % της ονομαστικής τιμής της για 25 κύκλους ή 0.5 sec, έδωσε τις εξής μετρήσεις στην έξοδό του:

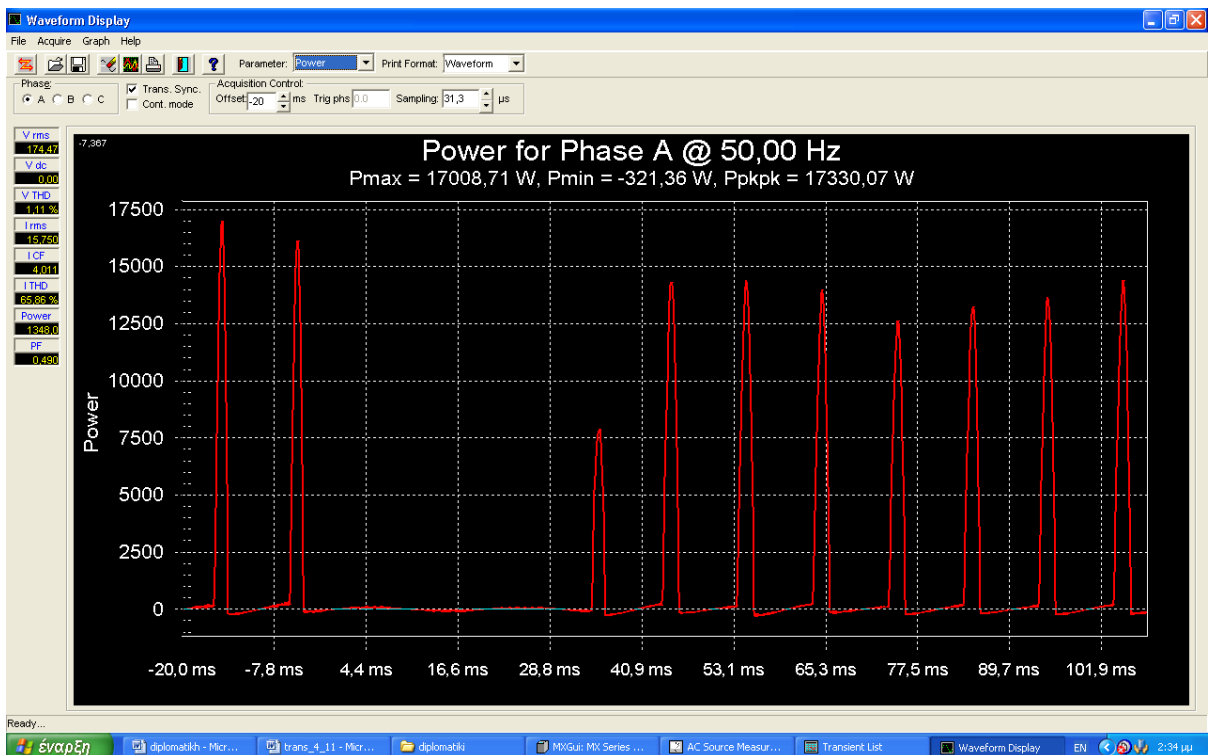
- Η τάση εξόδου μετρήθηκε 175 V, σημειώνοντας μείωση 21 % περίπου σε σχέση με την τιμή μόνιμης κατάστασης των 222 V. Είναι θετικό το ότι το ποσοστό μείωσης της τάσης εξόδου του αντιστροφέα παρέμεινε μικρότερο από το ποσοστό μείωσης της τάσης εισόδου του.
- Το ρεύμα γραμμής μετρήθηκε 8 A, σημειώνοντας αύξηση 27 % σε σχέση με το ρεύμα σταθερής κατάστασης. Τα ποσοστά μεταβολών τάσης και ρεύματος εξόδου του αντιστροφέα παρουσιάζονται ταυτόσημα, κάτι αναμενόμενο λόγω της σταθερής ζήτησης ισχύος από τον ασύγχρονο κινητήρα. Αυτό με τη σειρά του, προκύπτει λόγω της σύνδεσης σε αυτόν φορτίου σταθερής ροπής (ενν. DC γεννήτρια με ωμικές αντιστάσεις στην έξοδό της).
- Ο συντελεστής ισχύος μετρήθηκε 0.9 επαγωγικός. Ειδικότερα, κατά την εξέλιξη του μεταβατικού, η μειωμένη τάση εισόδου του κινητήρα οδηγεί σε μειωμένη απορρόφηση άεργου ισχύος (είναι ανάλογη του τετραγώνου της τάσης). Ταυτόχρονα, όπως θα φανεί παρακάτω, το γεγονός ότι η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα δεν υπέστη σημαντική μείωση οδηγεί στο γεγονός ότι η ενεργός ισχύς εξόδου παρέμεινε σχετικά σταθερή, όπως αναμενόταν άλλωστε. Τα παραπάνω δικαιολογούν το βελτιωμένο Σ.Ι. που μετρήθηκε στο μεταβατικό.
- Τέλος, κατά τη διάρκεια παραμονής της τάσης εισόδου του αντιστροφέα στο 70 % της ονομαστικής, η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα μετρήθηκε 1420 rpm, σημειώνοντας μείωση περίπου 1 % σε σχέση με την ταχύτητα περιστροφής κατά τη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας του συστήματος. Η μείωση αυτή είναι πλήρως αναμενόμενη, καθώς με βάση τη θεωρία των μηχανών επαγωγής, μείωση της τάσης τροφοδοσίας του ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα μεταβάλλει τη χαρακτηριστική ροπής-στροφών έτσι ώστε, για σταθερή ροπή φορτίου, η ταχύτητα περιστροφής να σημειώνει ελαφριά μείωση ([3]).

Όσο αφορά τις μετρήσεις εισόδου του μετατροπέα που ελήφθησαν με τη βοήθεια του λογισμικού MXGUI, στο Σχήμα 5.7 φαίνονται οι κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος εισόδου και στο Σχήμα 5.8 φαίνεται η κυματομορφή της ενεργού ισχύος εισόδου. Η βύθιση τάσης εκτελείται στη χρονική στιγμή 0.0 ms. Ειδικότερα:

- Στο Σχήμα 5.7, παρατηρείται μηδενισμός του ρεύματος εισόδου για 1.5 κύκλο μετά τη βύθιση τάσης (δηλαδή από 0.0 έως 30.0 ms), ενώ στη συνέχεια το ρεύμα που απορροφάται παρουσιάζει υψηλότερες μέγιστες τιμές σε σχέση με αυτές πριν από τη βύθιση. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς λόγω της σταθερής ζήτησης ισχύος από τον μετατροπέα, απαιτείται υψηλότερο ρεύμα εισόδου κατά τη διάρκεια των 25 κύκλων του μεταβατικού, ως αντιστάθμισμα της μειωμένης τάσης εισόδου.
- Επίσης, κατά τη διάρκεια της βύθισης, διαπιστώνεται μεταβλητότητα στις μέγιστες τιμές του ρεύματος εισόδου, κάτι που αποτυπώνεται και στην κυματομορφή της ενεργού ισχύος εισόδου του Σχήματος 5.8 Αυτή η συμπεριφορά βασίζεται στο γεγονός ότι, λόγω της εφαρμογής της απότομης βύθισης τάσης, το σύστημα μετατροπέα-κινητήρα βρίσκεται σε μεταβατική κατάσταση λειτουργίας.

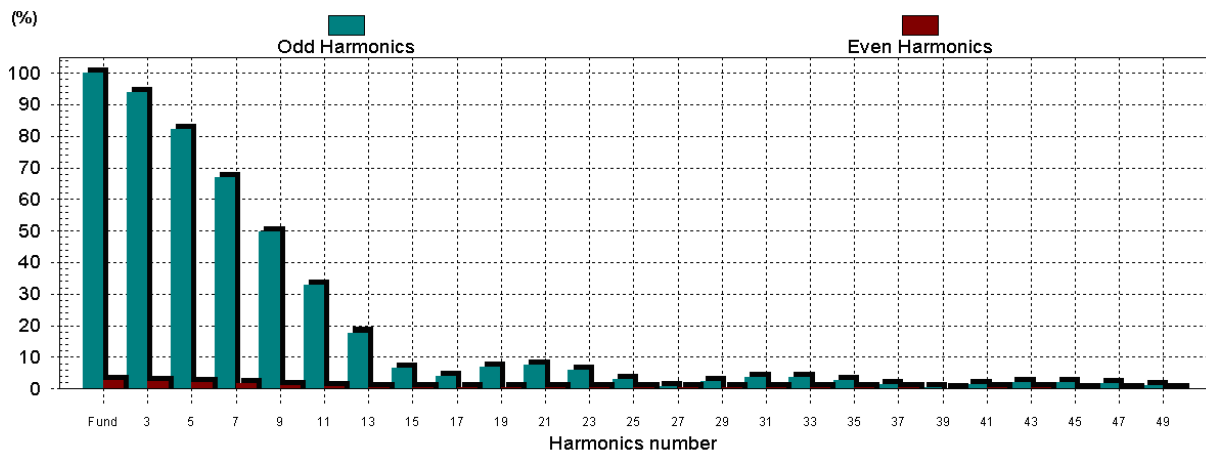


Σχήμα 5.7 – Τάση και ρεύμα εισόδου του μετατροπέα AC/DC/AC, 1Φ εισόδου



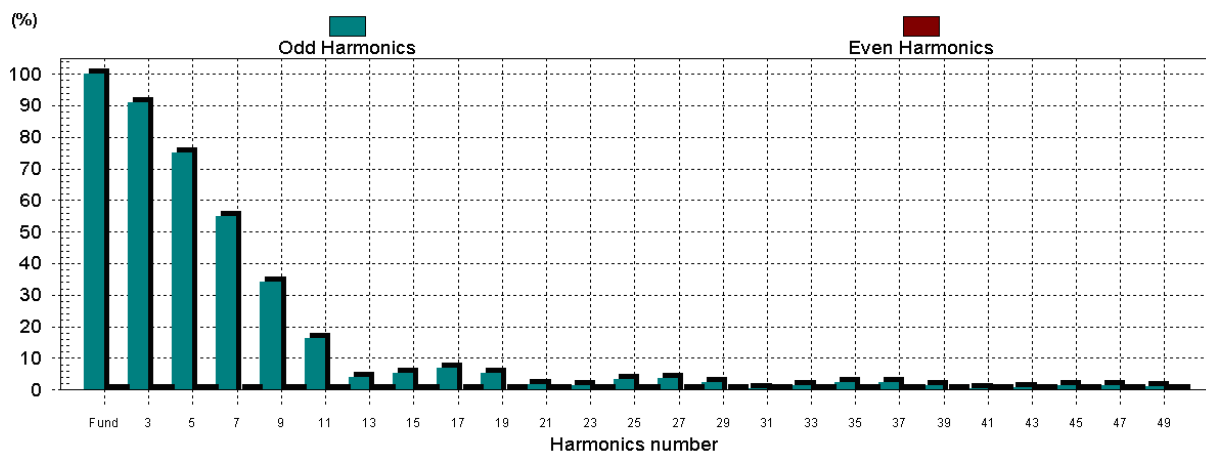
Σχήμα 5.8 – Ενεργός ισχύς εισόδου του μετατροπέα AC/DC/AC, 1Φ εισόδου

Ακόμη, κρίθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθεί αρμονική ανάλυση του ρεύματος εισόδου του μετατροπέα όταν αυτός λειτουργούσε υπό ονομαστική τάση, αλλά και όταν η τάση βρισκόταν στο 70% της ονομαστικής. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα Σχήματα 5.9 και 5.10, αντίστοιχα.



THD<sub>i</sub> % = 155.58 %

Σχήμα 5.9 – Αρμονική ανάλυση ρεύματος εισόδου του μετατροπέα AC/DC/AC, 1Φ εισόδου (ονομαστική τάση)



THD<sub>i</sub> % = 136.14 %

Σχήμα 5.10 – Αρμονική ανάλυση ρεύματος εισόδου του μετατροπέα AC/DC/AC, 1Φ εισόδου (70% της ονομαστικής τάσης)

Αξίζει να σημειωθεί πως, όταν ο μετατροπέας λειτουργούσε υπό μειωμένη τάση, εμφάνισε μικρότερη ολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος εισόδου ( $THD_i = 136.14\%$ ) σε σχέση με τη λειτουργία υπό ονομαστική τάση ( $THD_i = 155.58\%$ ).

Το μέτρο των αρμονικών άρτιας τάξης εμφανίζεται και στις δύο περιπτώσεις ιδιαίτερα μικρό (πολλές φορές μηδενικό), καθώς η κυματομορφή του Σχήματος 5.7 τείνει στο να αποκτήσει συμμετρία ενός τετάρτου κύματος (δηλ.  $f(t) = -f(t+T/2)$ , όπου  $T =$  περίοδος) ([2]).

## 2. Δοκιμή για σύντομες διακοπές τάσης (short interruptions)

Ο μετατροπέας AC/DC/AC της δοκιμής σταμάτησε να λειτουργεί και έτσι διεκόπη η οδήγηση του κινητήρα. Χρειάστηκε επανεκκίνηση του αντιστροφέα από το χρήστη.

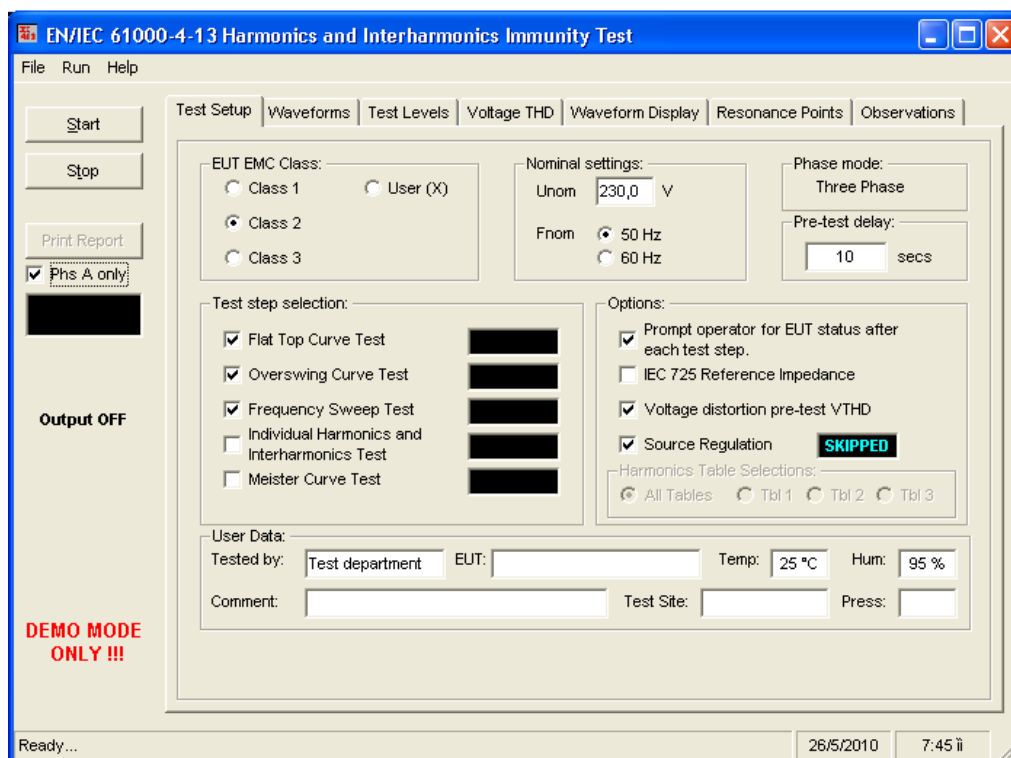
## 3. Δοκιμή για διακυμάνσεις τάσης (voltage fluctuations)

Ο μετατροπέας AC/DC/AC της δοκιμής σταμάτησε να λειτουργεί και έτσι διεκόπη η οδήγηση του κινητήρα. Χρειάστηκε επανεκκίνηση του αντιστροφέα από το χρήστη.

## 5.5 IEC 61000-4-13 Ed. 1.0 (2002)

### 5.5.1 Εκτέλεση δοκιμής

Η δοκιμή αυτή εκτελείται μέσω του λογισμικού MXGUI που συνοδεύει το σύστημα δοκιμών, πάντα επιλεγμένη τη λειτουργία “Bypass” στη μονάδα OMNI-3-37MX. Παρακάτω, στο Σχήμα 5.11 φαίνεται το αρχικό παράθυρο ρυθμίσεων μιας τέτοιας δοκιμής.

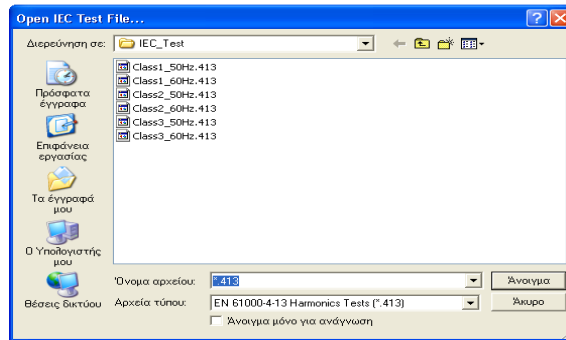


Σχήμα 5.11 - Αρχικό παράθυρο δοκιμών κατά IEC 61000-4-13

Ο χρήστης οφείλει αρχικά να επιλέξει την Κλάση του δοκιμίου, σύμφωνα με τα κριτήρια του εδαφίου 2.4.3. Έπειτα, με βάση τα διαγράμματα ροής των Σχημάτων 2.16 και 2.17, γίνεται η επιλογή των κατάλληλων σταδίων που απαιτηθούν για την ολοκλήρωση της δοκιμής. Συγκεκριμένα, η δοκιμή που περιγράφεται στο παρόν υποκεφάλαιο διεξήχθη με δοκίμιο Κλάσης 2 και άρα απαιτήθηκαν τα στάδια “Flat Top Curve Test”, “Overswing Curve test” και “Meister Curve Test” (αντί του “Frequency Sweep test”), λόγω της ύπαρξης σηματοδότησης στο ηλεκτρικό δίκτυο της Ελλάδας (βλ. εδάφιο 2.5.6). Επίσης, στο αρχικό παράθυρο του Σχήματος 5.6, καθορίζονται η ονομαστική τάση και συχνότητα του δοκιμίου, ενώ η επιλογή “Voltage THD” εκτελεί έλεγχο της αρμονικής παραμόρφωσης της τάσης εξόδου της πηγής πριν αρχίσει η δοκιμή. Ακόμη, η επιλογή “Source Regulation” φροντίζει για την παραμονή της τάσης δοκιμής εντός των προδιαγραφών που ορίζονται από το IEC πρότυπο [8].

Τα επίπεδα δοκιμών μπορούν να οριστούν από το χρήστη στην καρτέλα “Test Levels” ή μπορούν να φορτωθούν τα επίσημα επίπεδα δοκιμών, όπως δείχνει το Σχήμα 5.12. Τα επίπεδα αυτά βασίζονται στα δεδομένα των εδαφίων 2.5.3 έως 2.5.6.





Σχήμα 5.12 - Διαθέσιμα επίσημα επίπεδα δοκιμών για “Harmonics and Interharmonics Immunity Test”

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με το σύστημα μετατροπέα–κινητήρα να βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, η τάση εξόδου (πολική) του αντιστροφέα μετρήθηκε 222 V, το ρεύμα εξόδου (γραμμής) μετρήθηκε 6.3 A < 6.75 A, ο συντελεστής ισχύος βρέθηκε 0.74 επαγωγικός και η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα 1436 rpm. Τα παραπάνω δεδομένα δείχνουν φαινόμενη 3Φ ισχύ εξόδου του αντιστροφέα στα  $\sqrt{3} \cdot 222V \cdot 6.3A = 2422VA$  και ενεργό 3Φ ισχύ εξόδου στα  $\sqrt{3} \cdot 222V \cdot 6.3A \cdot 0.74 = 1793W$ . Να αναφερθεί ότι οι παραπάνω ισχύεις σταθερής κατάστασης ήταν οι μέγιστες που μπορούσαν να επιτευχθούν, στην προσπάθεια να διατηρηθεί το ρεύμα εισόδου του αντιστροφέα οριακά μέχρι 16 A και να έχει επομένως νόημα η πραγματοποίηση των δοκιμών. Οι μετρήσεις που αφορούν στην είσοδο του αντιστροφέα φαίνονται στο Σχήμα 5.6.

### 5.5.2 Αναφορά δοκιμής (report)

Η αναφορά δοκιμής για βυθίσεις τάσης παράγεται αυτόματα από το λογισμικό MXGUI και παρατίθεται παρακάτω:

Report Name:	EN/IEC 61000-4-13 Test Report
Report print date:	05-19-2010 15:33:55
Program version:	MX Series MXGUI ,version: 2.2.0.6 - Sept 19, 2008

**IEC Test Result:                      FAIL**

Time test started:                      Τετάρτη, 19 Μάιος 2010 3:01:08 μμ  
Time test completed:                    Τετάρτη, 19 Μάιος 2010 3:33:27 μμ  
Selected test file:                      Class2\_50Hz.413  
Selected test type:                      Voltage Harmonics & Interharmonics test - Class 2  
Test operator:                          Παπαζαχαροπουλος Nikolaos      Test site: Laboratory of Electric  
Machines and Power Electronics  
Ambient Temp:                          25 °C                                      Humidity: 50 %                          Pressure:  
EUT description:                        Mitsubishi FR-A024-S2.2K-EC

**Test Conditions:**

Nominal Voltage (Un):	230,0 V <sub>RMS</sub>	<u>TEST RESULT</u>
Nominal Frequency (Fn):	50.0 Hz	
Flat Top Curve Test:	Selected	PASS
Overswing Curve Test:	Selected	PASS
Frequency Sweep Test:	Skipped	SKIPPED
Individual Harmonics and Inter Harmonics Test:	Skipped	SKIPPED
Meister Curve Test:	Selected	FAIL

**Test Options:**

Prompt operator for EUT status after each test step: Selected  
IEC 725 Reference Impedance: Not Selected  
Voltage distortion check: Selected  
Regulation check: Selected

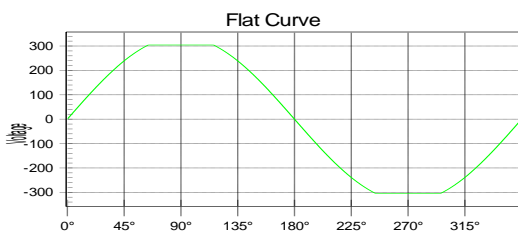
**Flat Top Curve:**

Dwell time:                              120  
Pause time:                                5  
Level:                                        90

**Overswing Curve:**

Dwell time:                              120  
Pause time:                                5  
Harmonic 3:                                6  
Phase 3:                                    180  
Harmonic 5:                                4  
Phase 5:                                    0

**Waveform Data:**



**Voltage distortion data for phase A**

Vthd = 1.48 %

Distortion check result = FAIL

	<b>Absolute</b>	<b>Relative (%)</b>	<b>IEC Limit</b>	<b>% of Limit</b>	<b>Status</b>
1	229,9700	100,0000			
2	0,1200	0,0522	0,2000	26,0904	pass
3	0,3400	0,1478	0,9000	16,4273	pass
4	0,2400	0,1044	0,2000	52,1807	pass
5	1,3200	0,5740	0,4000	143,4970	FAIL
6	0,4100	0,1783	0,2000	89,1421	pass
7	1,4000	0,6088	0,3000	202,9250	FAIL
8	0,4800	0,2087	0,2000	104,3614	FAIL
9	1,6300	0,7088	0,2000	354,3940	FAIL
10	0,5100	0,2218	0,2000	110,8840	FAIL
11	0,9920	0,4314	0,1000	431,3606	FAIL
12	0,4200	0,1826	0,1000	182,6325	FAIL
13	0,8480	0,3687	0,1000	368,7437	FAIL
14	0,3100	0,1348	0,1000	134,8002	FAIL
15	0,5440	0,2366	0,1000	236,5526	FAIL
16	0,1500	0,0652	0,1000	65,2259	pass
17	0,3360	0,1461	0,1000	146,1060	FAIL
18	0,0400	0,0174	0,1000	17,3936	pass
19	0,2560	0,1113	0,1000	111,3189	FAIL
20	0,1100	0,0478	0,1000	47,8323	pass
21	0,2640	0,1148	0,1000	114,7976	FAIL
22	0,1600	0,0696	0,1000	69,5743	pass
23	0,3300	0,1435	0,1000	143,4970	FAIL
24	0,1600	0,0696	0,1000	69,5743	pass
25	0,2800	0,1218	0,1000	121,7550	FAIL
26	0,1200	0,0522	0,1000	52,1807	pass
27	0,2200	0,0957	0,1000	95,6647	pass
28	0,0700	0,0304	0,1000	30,4388	pass
29	0,1800	0,0783	0,1000	78,2711	pass
30	0,0600	0,0261	0,1000	26,0904	pass
31	0,1800	0,0783	0,1000	78,2711	pass
32	0,0900	0,0391	0,1000	39,1355	pass
33	0,1600	0,0696	0,1000	69,5743	pass
34	0,0900	0,0391	0,1000	39,1355	pass
35	0,1400	0,0609	0,1000	60,8775	pass
36	0,1000	0,0435	0,1000	43,4839	pass
37	0,1300	0,0565	0,1000	56,5291	pass
38	0,0800	0,0348	0,1000	34,7871	pass
39	0,1200	0,0522	0,1000	52,1807	pass
40	0,0300	0,0130	0,1000	13,0452	pass

**Table 4 Voltage distortion check result.**

## Applied Test Levels:

### Sweep Frequency Test Levels:

Frequency	Level (%)	Step size (Hz)
16-100	3,00	5
100-500	9,00	10
500-1000	4,50	10
1000-1500	2,00	25
1500-2000	2,00	25
Dwell time per range =		300

### Interharmonics Test Levels:

Frequency	Level (%)	Step size (Hz)
16-100	2,50	5
100-500	5,00	10
500-750	3,50	10
750-1000	2,00	10
1000-2000	1,50	25
Dwell time per range =		5
Pause time between lharm =		1

### Meister Curve:

Frequency	Level (%)	Step size (Hz)
16-100	3,00	5
100-500	9,00	10
500-750	4500,00	10
750-1000	4500,00	10
1000-2000	4500,00	25
Dwell time per step =		10
Pause time between ranges =		0

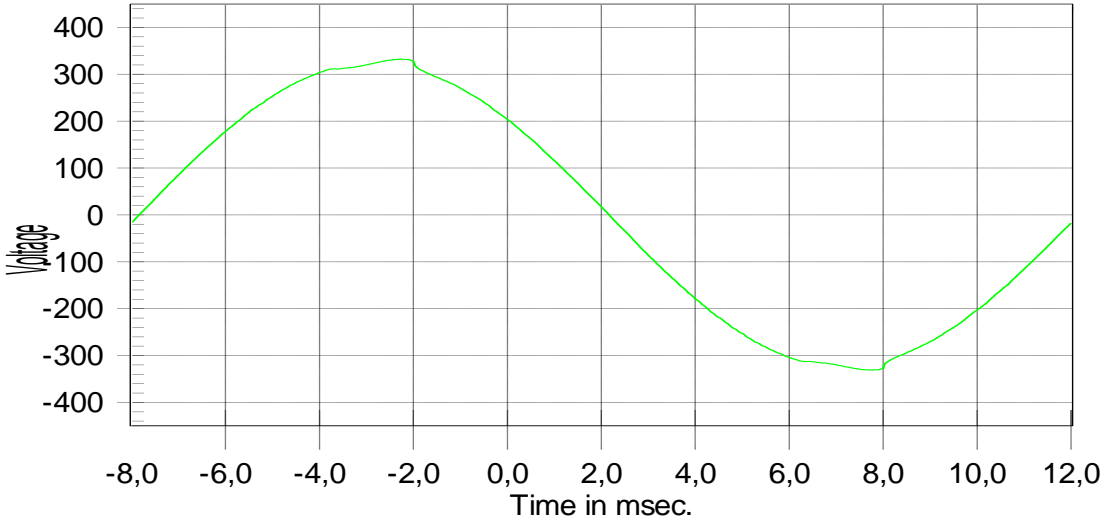
### Individual Harmonics:

#	Level (%)	Phase (°)
2	3,00	0,0, 180,0
3	8,00	0,0, 180,0
4	1,50	no shift
5	9,00	0,0, 180,0
6	0,00	no shift
7	7,50	0,0, 180,0
8	0,00	no shift
9	2,50	no shift
10	0,00	no shift
11	5,00	no shift
12	0,00	no shift
13	4,50	no shift
14	0,00	no shift
15	0,00	no shift
16	0,00	no shift
17	3,00	no shift
18	0,00	no shift
19	2,00	no shift
20	0,00	no shift
21	0,00	no shift
22	0,00	no shift
23	2,00	no shift
24	0,00	no shift
25	2,00	no shift
26	0,00	no shift
27	0,00	no shift
28	0,00	no shift
29	1,50	no shift
30	0,00	no shift
31	1,50	no shift
32	0,00	no shift
33	0,00	no shift
34	0,00	no shift
35	1,50	no shift
36	0,00	no shift
37	1,50	no shift
38	0,00	no shift
39	0,00	no shift
40	0,00	no shift
Dwell time per Harm =		5
Pause time between =		1

Table 5

**AC Source Output Voltage Trace Display:**

**Scope Display**



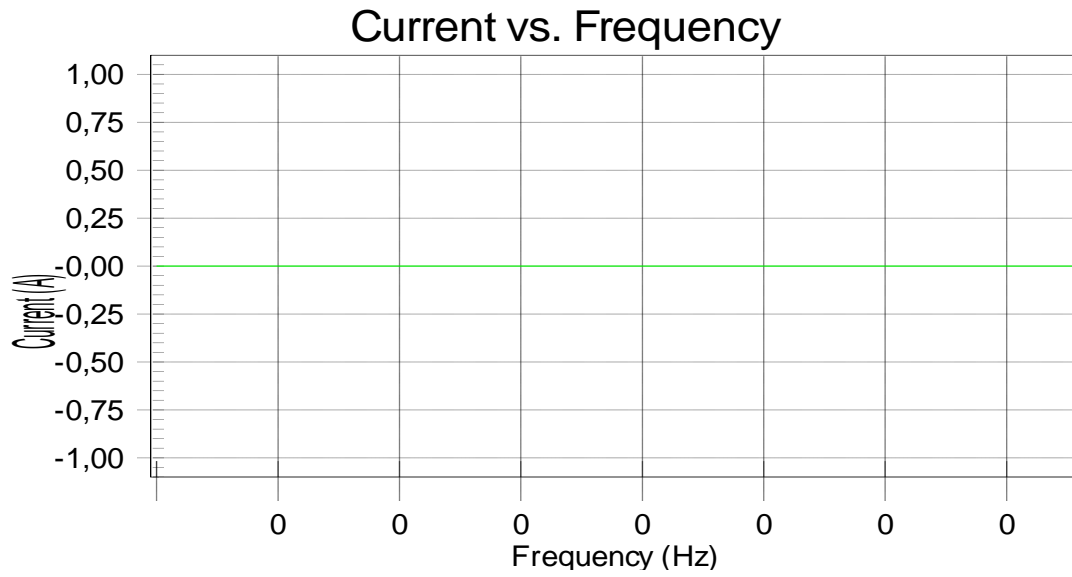
**Table 6**

**Resonance Data Results for phase A:**

First ten resonance points found:

Number	Freq.	Resonance Current
1	0,00	0,000
2	0,00	0,000
3	0,00	0,000
4	0,00	0,000
5	0,00	0,000
6	0,00	0,000
7	0,00	0,000
8	0,00	0,000
9	0,00	0,000
10	0,00	0,000

**Table 7**



**Table 8**

User observations regarding this EUT:

Observations: <b>Evaluation of test results:</b> c) temporary loss of function or degradation of performance, the correction of which requires operator intervention
--

### 5.5.3 Παρατηρήσεις

Αρχικά, να σημειωθεί ότι η αποτυχία της πηγής τάσης στον έλεγχο “Voltage THD” εκτιμάται πως δεν επηρεάζει την έκβαση των δοκιμών, με την έννοια ότι και οι ίδιες οι δοκιμές βασίζονται στην ύπαρξη αρμονικών τάσης. Υπάρχει το ενδεχόμενο οι δοκιμές να είναι σε κάποιο βαθμό πιο αυστηρές απ’ ότι κανονικά (λόγω της περισσότερο επιβαρυσμένης με αρμονικές τάσης δοκιμής), σε καμιά περίπτωση όμως δεν είναι πιο επιεικής. Έτσι δεν υπάρχει πιθανότητα για ένα δοκίμιο να περάσει τη δοκιμή, ενώ κανονικά έπρεπε να αποτύχει.

Ακόμη, όπως φαίνεται στην αναφορά της δοκιμής, δεν εντοπίστηκε καμία συχνότητα συντονισμού (resonance frequency) του υπό δοκιμή εξοπλισμού.

Για τα επιμέρους στάδια της δοκιμής ισχύουν:

4. Flat Top Curve test

Η δοκιμή αυτή διήρκησε 120 sec. Η συμπεριφορά του δοκιμίου ήταν καθ’ όλα φυσιολογική.

5. Over Swing Curve test

Η δοκιμή αυτή διήρκησε 120 sec. Η συμπεριφορά του δοκιμίου ήταν καθ’ όλα φυσιολογική.

6. Meister Curve test

Η δοκιμή αυτή διήρκησε 1470 sec (147 βήματα συχνότητας επί 10 sec ανά βήμα). Στην περιοχή αρμονικών συχνοτήτων 100 -500 Hz το δοκίμιο τίθετο εκτός λειτουργίας και έπρεπε να επανεκκινηθεί από το χρήστη. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι, σύμφωνα και με τον Πίνακα 2.16, το πλάτος των εφαρμοζόμενων αρμονικών συχνοτήτων στην περιοχή αυτή είναι 9%. Αντίθετα, στις υπόλοιπες περιοχές συχνοτήτων τα αντίστοιχα πλάτη είναι μικρότερα (π.χ. 3% ή 4·500/f) και το δοκίμιο είχε φυσιολογική απόδοση.

Συνολικά, η μειωμένη απόδοση του δοκιμίου κατά τη διάρκεια του Meister Curve test οδήγησε στην υποδεέστερη αξιολόγησή του, όπως φαίνεται και από την αναφορά δοκιμών του εδαφίου 5.5.2.

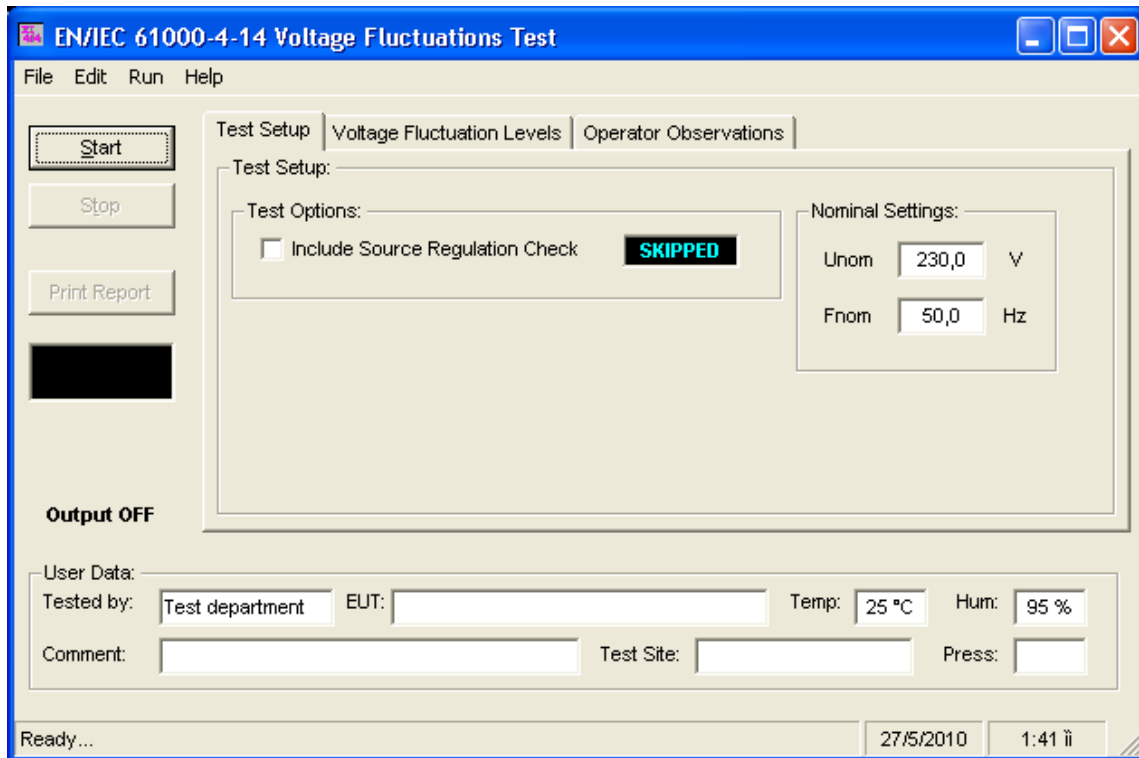
## 5.6 IEC 61000-4-14 Ed. 1.1 (2002)

### 5.6.1 Εκτέλεση δοκιμής

Η δοκιμή αυτή εκτελείται μέσω του λογισμικού MXGUI που συνοδεύει το σύστημα δοκιμών, πάντα επιλεγμένη τη λειτουργία “Bypass” στη μονάδα OMNI-3-37MX. Παρακάτω, στο Σχήμα 5.13 φαίνεται το αρχικό παράθυρο ρυθμίσεων μιας τέτοιας δοκιμής.

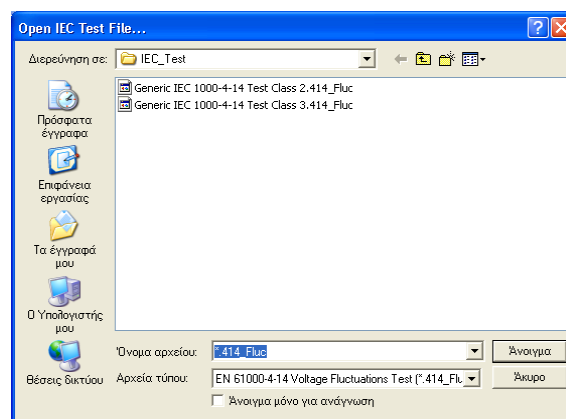
Στο αρχικό παράθυρο του Σχήματος 5.13, καθορίζονται η ονομαστική τάση και συχνότητα του δοκιμίου. Τα επίπεδα δοκιμών μπορούν να οριστούν από το χρήστη στην καρτέλα “Test Levels” ή μπορούν να φορτωθούν τα επίσημα επίπεδα δοκιμών, όπως δείχνει το Σχήμα 5.14.

Με βάση τα δεδομένα του εδαφίου 2.4.3, για τις δοκιμές του παρόντος υποκεφαλαίου επιλέχθηκαν τα επίπεδα δοκιμών που αφορούν δοκίμιο Κλάσης 2, ονομαστικής συχνότητας 50 Hz. Τα επίπεδα αυτά βασίζονται στα δεδομένα του εδαφίου 2.6.3.



Σχήμα 5.13 – Αρχικό παράθυρο δοκιμών κατά IEC 61000-4-14

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με το σύστημα μετατροπέα–κινητήρα να βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, η τάση εξόδου (πολική) του αντιστροφέα μετρήθηκε 222 V, το ρεύμα εξόδου (γραμμής) μετρήθηκε 6.3 A < 6.75 A, ο συντελεστής ισχύος βρέθηκε 0.74 επαγωγικός και η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα 1436 rpm. Τα παραπάνω δεδομένα δείχνουν φαινόμενη 3Φ ισχύ εξόδου του αντιστροφέα στα  $\sqrt{3} \cdot 222V \cdot 6.3A = 2422VA$  και ενεργό 3Φ ισχύ εξόδου στα  $\sqrt{3} \cdot 222V \cdot 6.3A \cdot 0.74 = 1793W$ . Να αναφερθεί ότι οι παραπάνω ισχύεις σταθερής κατάστασης ήταν οι μέγιστες που μπορούσαν να επιτευχθούν, στην προσπάθεια να διατηρηθεί το ρεύμα εισόδου του αντιστροφέα οριακά μέχρι 16 A και να έχει επομένως νόημα η πραγματοποίηση των δοκιμών. Οι μετρήσεις που αφορούν στην είσοδο του αντιστροφέα φαίνονται στο Σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.14 - Διαθέσιμα επίσημα επίπεδα δοκιμών για “Voltage Fluctuations Test”



## 5.6.2 Αναφορά δοκιμής (report)

Η αναφορά δοκιμής για βυθίσεις τάσης παράγεται αυτόματα από το λογισμικό MXGUI και παρατίθεται παρακάτω:

### Test Report

Report Name:	EN/IEC 61000-4-14 Test Report
Report print date:	05-19-2010 16:30:43
Program version:	MX Series MXGUI ,version: 2.2.0.6 - Sept 19, 2008

### **IEC Test Result: PASS**

Time test started: Τετάρτη, 19 Μάιος 2010 4:22:03 μμ  
Time test completed: Τετάρτη, 19 Μάιος 2010 4:30:05 μμ  
Selected test file: Generic IEC 1000-4-14 Test Class 2.414\_Fluc  
Selected test type: Voltage Fluctuations test  
Test operator: Papazacharopoulos Nikolaos Test Site: Laboratory of  
Electric Machines and Power Electronics

### **Test Conditions:**

Nominal Voltage (Un): 230  $V_{RMS}$  Nom F. (Fn):50 Hz  
Regulation check: Source voltage regulation check PASS Amb. Temp: 25 °C  
Test mode setting: Humidity: 50 % Pressure  
EUT description: Mitsubishi FR-A024-S2.2K-EC  
User comments: Generic IEC 1000-4-14 test Level 1

### **Test Parameters:**

STEP	Unom (%)	Test Level (%)	Level Repeats	Delay	Repeat
1	100	8	3	60.0	1
2	90	8	3	60.0	1
3	110	-8	3	60.0	1

Table 9 Test Parameters

User observations regarding this EUT:

Observations: **Evaluation of test results:** a) normal performance within limits specified by the manufacturer, requestor or purchaser

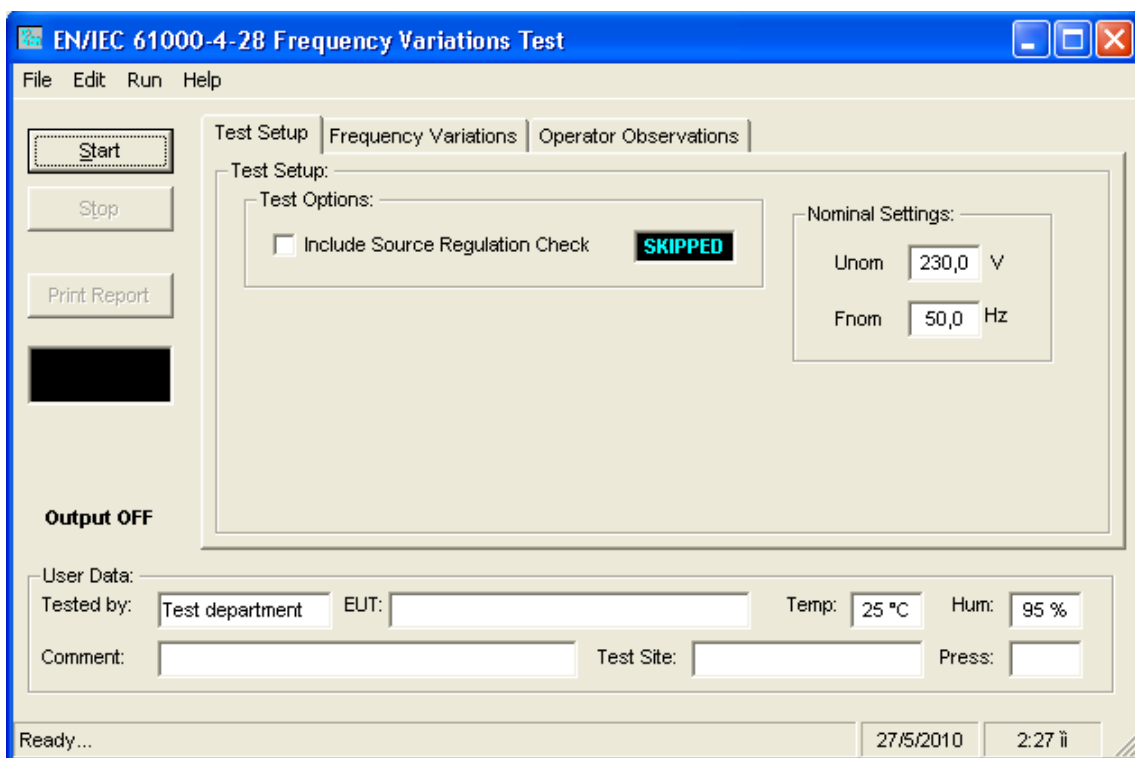
### 5.6.3 Παρατηρήσεις

Η συμπεριφορά του δοκιμίου ήταν καθ' όλα φυσιολογική κατά την εκτέλεση της δοκιμής, με την τάση εξόδου του αντιστροφέα να κυμαίνεται μεταξύ 215 και 230 V (δηλαδή εντός των σχετικών προδιαγραφών του Πίνακα 5.1). Αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς με βάση τον ίδιο πίνακα, διακυμάνσεις της τάσης εισόδου μεγέθους έως  $\pm 10\%$  είναι ανεκτές από το δοκίμιο.

## 5.7 IEC 61000-4-28 Ed. 1.1 (2001)

### 5.7.1 Εκτέλεση δοκιμής

Η δοκιμή αυτή εκτελείται μέσω του λογισμικού MXGUI που συνοδεύει το σύστημα δοκιμών, πάντα επιλεγμένη τη λειτουργία “Bypass” στη μονάδα OMNI-3-37MX. Παρακάτω, στο Σχήμα 5.15 φαίνεται το αρχικό παράθυρο ρυθμίσεων μιας τέτοιας δοκιμής.



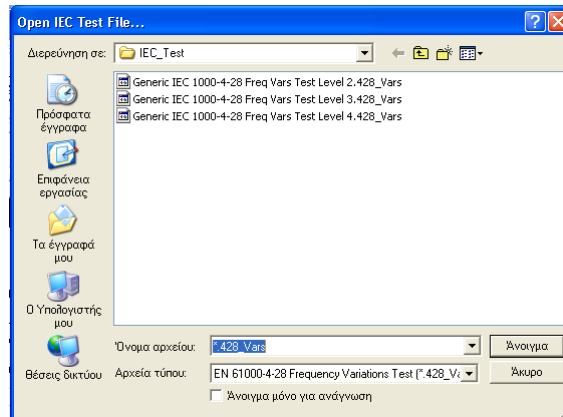
Σχήμα 5.15 – Αρχικό παράθυρο δοκιμών κατά IEC 61000-4-28

Στο αρχικό παράθυρο του Σχήματος 5.15, καθορίζονται η ονομαστική τάση και συχνότητα του δοκιμίου. Τα επίπεδα δοκιμών μπορούν να οριστούν από το χρήστη στην καρτέλα “Test Levels” ή μπορούν να φορτωθούν τα επίσημα επίπεδα δοκιμών, όπως δείχνει το Σχήμα 5.16.

Για τις δοκιμές του παρόντος υποκεφαλαίου επιλέχθηκαν τα επίπεδα δοκιμών που αφορούν δοκίμιο Κλάσης 2 (βλ. εδάφιο 2.4.3), ονομαστικής συχνότητας 50 Hz. Τα επίπεδα αυτά βασίζονται στα δεδομένα του εδαφίου 2.9.3.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με το σύστημα μετατροπέα–κινητήρα να βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Στη μόνιμη

κατάσταση λειτουργίας, η τάση εξόδου (πολική) του αντιστροφέα μετρήθηκε 222 V, το ρεύμα εξόδου (γραμμής) μετρήθηκε 6.3 A < 6.75 A, ο συντελεστής ισχύος βρέθηκε 0.74 επαγωγικός και η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα 1436 rpm. Τα παραπάνω δεδομένα δείχνουν φαινόμενη 3Φ ισχύ εξόδου του αντιστροφέα στα  $\sqrt{3} \cdot 222V \cdot 6.3A = 2422VA$  και ενεργό 3Φ ισχύ εξόδου στα  $\sqrt{3} \cdot 222V \cdot 6.3A \cdot 0.74 = 1793W$ . Να αναφερθεί ότι οι παραπάνω ισχύς σταθερής κατάστασης ήταν οι μέγιστες που μπορούσαν να επιτευχθούν, στην προσπάθεια να διατηρηθεί το ρεύμα εισόδου του αντιστροφέα οριακά μέχρι 16 A και να έχει επομένως νόημα η πραγματοποίηση των δοκιμών. Οι μετρήσεις που αφορούν στην είσοδο του αντιστροφέα φαίνονται στο Σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.16 - Διαθέσιμα επίσημα επίπεδα δοκιμών για “Frequency Variations Test”

### 5.7.2 Αναφορά δοκιμής (report)

Η αναφορά δοκιμής για βυθίσεις τάσης παράγεται αυτόματα από το λογισμικό MXGUI και παρατίθεται παρακάτω:



### 5.7.3 Παρατηρήσεις

Η συμπεριφορά του δοκιμίου ήταν καθ' όλα φυσιολογική κατά την εκτέλεση της δοκιμής. Αυτό ήταν φυσιολογικό, καθώς με βάση τον Πίνακα 5.1, διακυμάνσεις της συχνότητας τροφοδοσίας μεγέθους έως  $\pm 5\%$  είναι ανεκτές από το δοκίμιο.

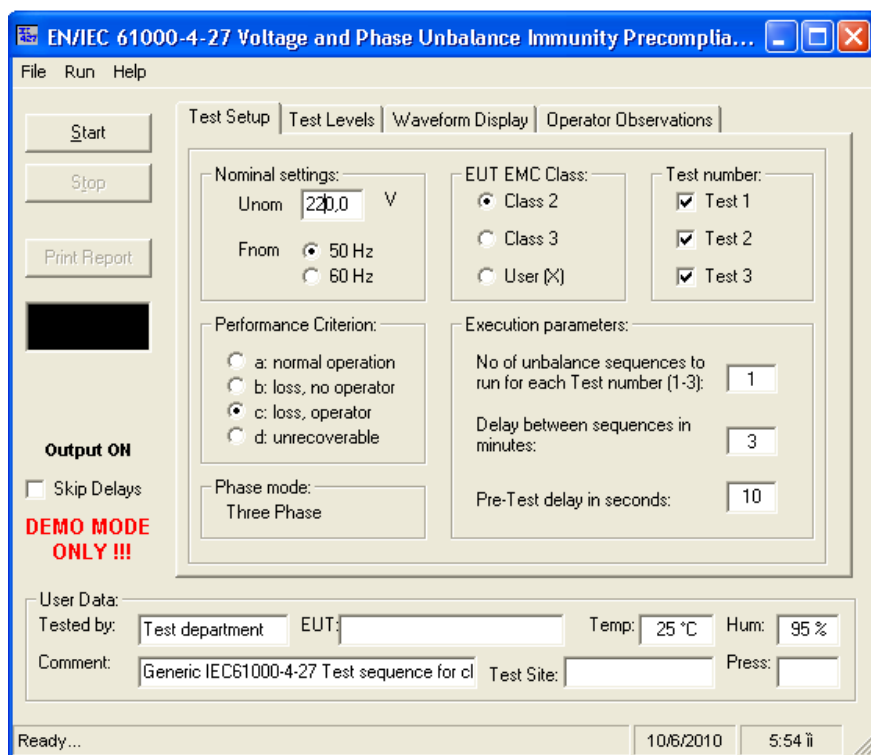
Μετά τη λήξη της παραπάνω δοκιμής, το δοκίμιο ελέγχθηκε επίσης και για τα επίπεδα δοκιμών 3 και 4, όπως αυτά ορίζονται στον Πίνακα 2.20. Και στις δύο περιπτώσεις -παρ' ότι η διακύμανση της συχνότητας έφτασε και το  $\pm 15\%$  στο 4<sup>ο</sup> επίπεδο δοκιμών- το δοκίμιο είχε φυσιολογική απόδοση, με τη συχνότητα εξόδου του αντιστροφέα να παραμένει συνεχώς σταθερή και ίση με 50 Hz.

Γενικότερα, δεδομένης της ύπαρξης ανορθωτικής διάταξης στην είσοδο του μετατροπέα και της ύπαρξης αντιστροφέα με έλεγχο SPWM στην έξοδό του, είναι αναμενόμενο να υπάρχει πλήρης ανεξαρτησία μεταξύ των συχνοτήτων εισόδου και εξόδου του μετατροπέα ([2]).

## 5.8 IEC 61000-4-27 Ed 1.0 (2000) (pre-compliance)

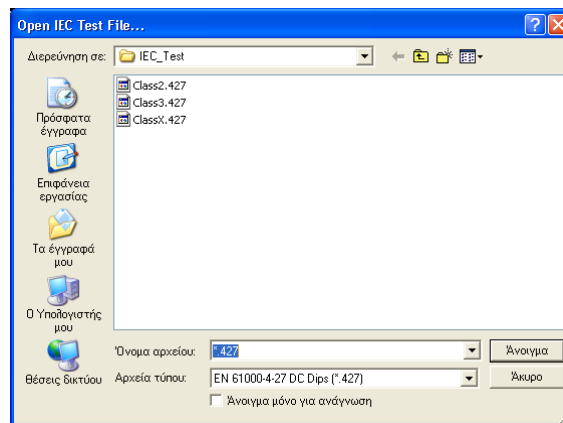
### 5.8.1 Εκτέλεση δοκιμής

Η δοκιμή αυτή εκτελείται μέσω του λογισμικού MXGUI που συνοδεύει το σύστημα δοκιμών, πάντα επιλεγμένη τη λειτουργία "Bypass" στη μονάδα OMNI-3-37MX. Παρακάτω, στο Σχήμα 5.17 φαίνεται το αρχικό παράθυρο ρυθμίσεων μιας τέτοιας δοκιμής.



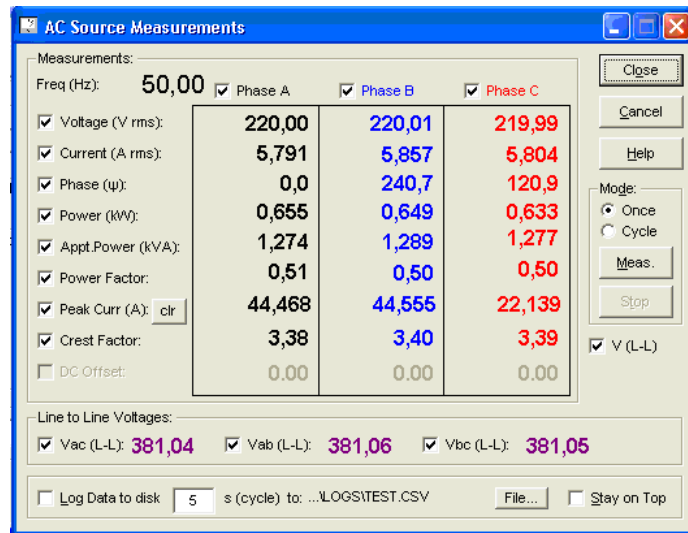
Σχήμα 5.17 – Αρχικό παράθυρο δοκιμών κατά IEC 61000-4-27

Στο αρχικό παράθυρο του Σχήματος 5.17, καθορίζονται η ονομαστική τάση και συχνότητα του δοκιμίου. Τα επίπεδα δοκιμών μπορούν να οριστούν από το χρήστη στην καρτέλα “Test Levels” ή μπορούν να φορτωθούν τα επίσημα επίπεδα δοκιμών, όπως δείχνει το Σχήμα 5.18. Για τις δοκιμές του παρόντος υποκεφαλαίου επιλέχθηκαν τα επίπεδα δοκιμών που αφορούν δοκίμιο Κλάσης 2 (βλ. εδάφιο 2.4.3), ονομαστικής συχνότητας 50 Hz. Ακόμη, ρυθμίστηκαν οι παράμετροι εκτέλεσης της δοκιμής σύμφωνα με το εδάφιο 2.8.3. Τέλος, καθορίστηκε το επίπεδο αξιολόγησης του εξοπλισμού που θεωρείται αποδεκτό, ώστε η δοκιμή να είναι επιτυχημένη. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τις υποδείξεις του εδαφίου 2.4.7, τα επίπεδα αξιολόγησης εξοπλισμού 1, 2, 3 (αντίστοιχα a, b, c στο Σχήμα 5.17) αφορούν σε επιτυχημένη δοκιμή, ενώ το επίπεδο 4 (αντίστοιχα d στο Σχήμα 5.17) αφορά σε αποτυχημένη δοκιμή.



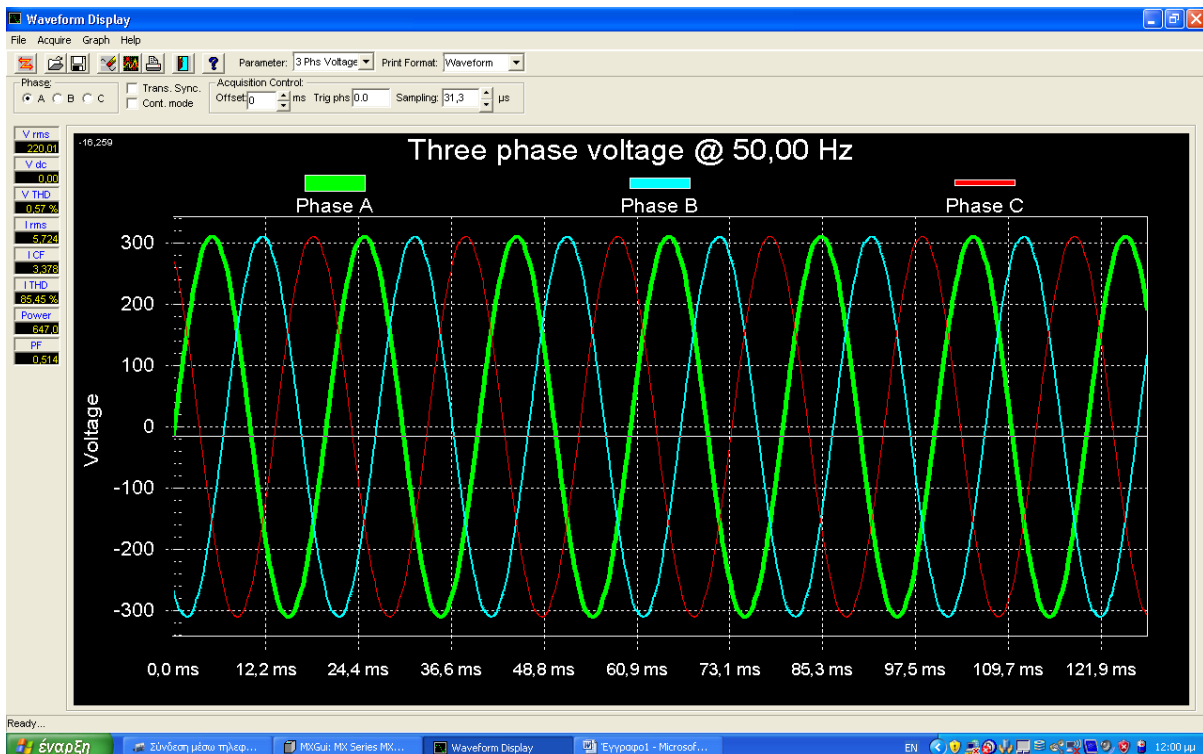
Σχήμα 5.18 - Διαθέσιμα επίσημα επίπεδα δοκιμών για “Voltage Unbalance Pre-compliance Test”

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με το σύστημα μετατροπέα–κινητήρα να βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας και τον κινητήρα να λειτουργεί υπό ονομαστική φόρτιση. Ειδικότερα, η τάση εξόδου (πολική) του μετατροπέα μετρήθηκε 380 V, το ρεύμα εξόδου (γραμμής) μετρήθηκε 3.9 A, ο συντελεστής ισχύος βρέθηκε 0.80 επαγωγικός και η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα 1421 rpm. Τα παραπάνω δεδομένα δείχνουν φαινόμενα 3Φ ισχύ εξόδου του αντιστροφέα στα  $\sqrt{3} \cdot 380V \cdot 3.9A = 2567VA$  και ενεργό 3Φ ισχύ εξόδου στα  $\sqrt{3} \cdot 380V \cdot 3.9A \cdot 0.80 = 2054W$ . Οι μετρήσεις που αφορούν στην είσοδο του μετατροπέα φαίνονται στο Σχήμα 5.19.



Σχήμα 5.19 – Μετρήσεις εισόδου του δοκιμίου

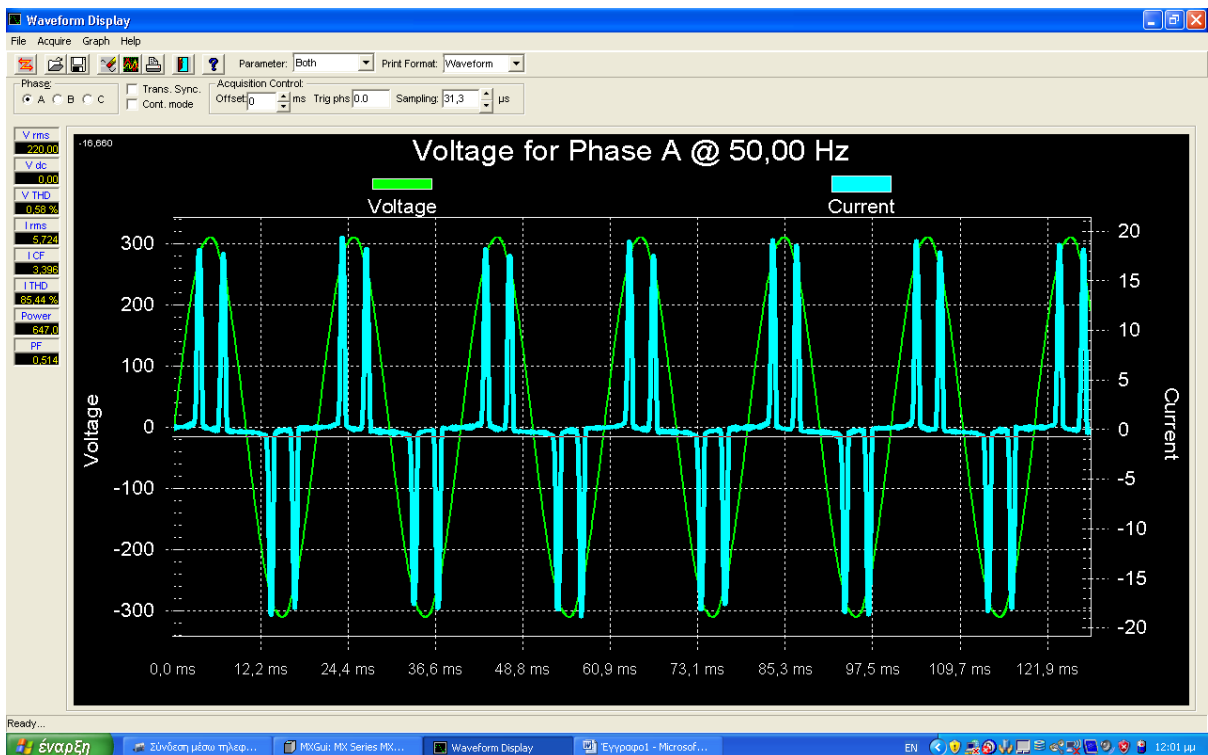
Επιπρόσθετα, η πηγή AC δίνει τη δυνατότητα αποτύπωσης των κυματομορφών της τάσης και του ρεύματος εισόδου του δοκιμίου για όλες τις φάσεις (βλ. Σχήματα 5.20 και 5.21 αντίστοιχα), όπως και για κάθε φάση μεμονωμένα (βλ. Σχήμα 5.22). Ακόμη, υπάρχει η δυνατότητα αποτύπωσης της κυματομορφής της στιγμιαίας φασικής ενεργού ισχύος. (βλ. Σχήμα 5.23).



Σχήμα 5.20 – Τριφασική τάση εισόδου (μόνιμης κατάστασης) του μετατροπέα AC/DC/AC, 3Φ εισόδου

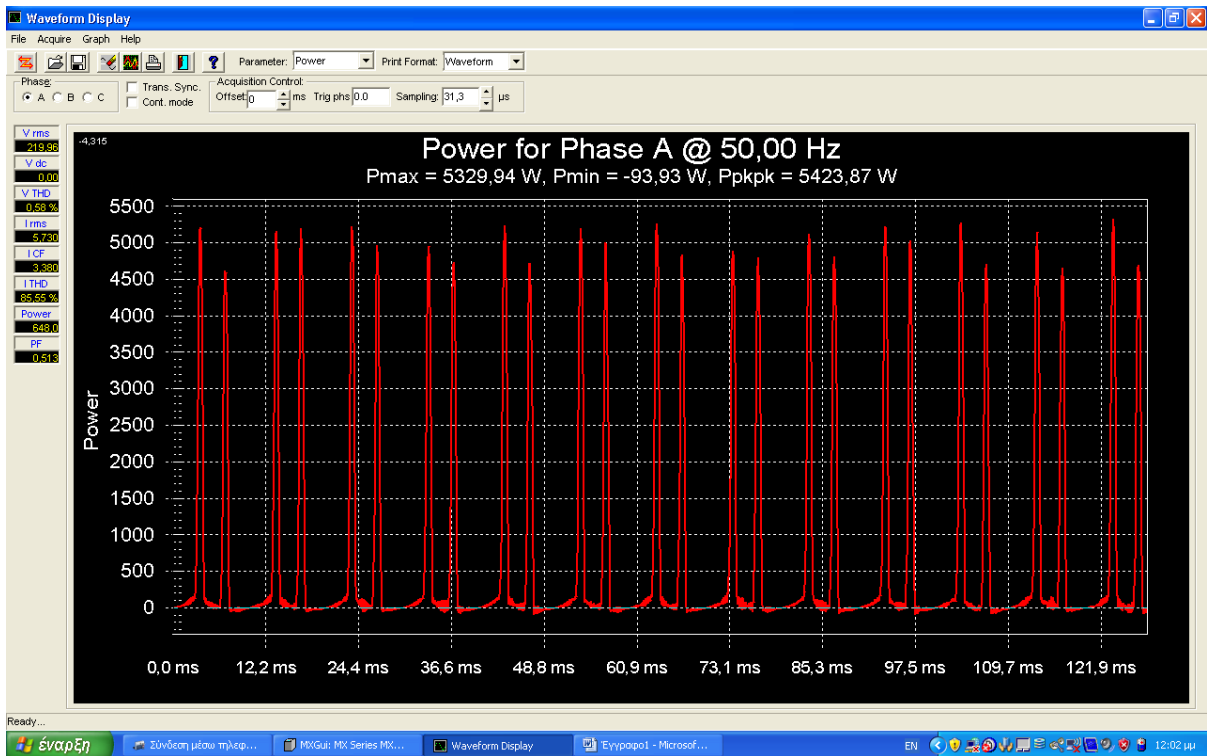


Σχήμα 5.21 – Τριφασικό ρεύμα εισόδου (μόνιμης κατάστασης) του μετατροπέα AC/DC/AC, 3Φ εισόδου



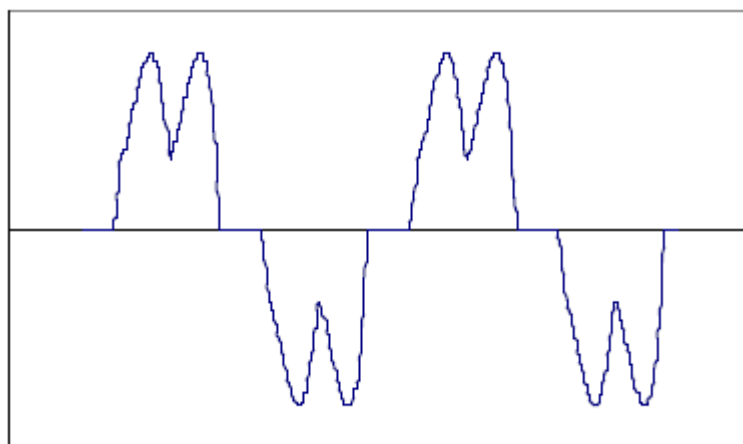
Σχήμα 5.22 – Φασική τάση και ρεύμα εισόδου (μόνιμης κατάστασης) του μετατροπέα AC/DC/AC, 3Φ εισόδου





Σχήμα 5.23 – Φασική στιγμιαία ενεργός ισχύς εισόδου του μετατροπέα AC/DC/AC, 3Φ εισόδου

Είναι γνωστό πως οι μετατροπείς AC/DC/AC για εφαρμογές ηλεκτρικής κίνησης χρησιμοποιούν ευρέως συστήματα ανορθωτών με διόδους. Ειδικότερα, ο μετατροπέας τριφασικής εισόδου της παρούσας δοκιμής κάνει χρήση τριφασικού ανορθωτή με διόδους. Όπως δείχνει σχετική μελέτη ([21]), το ρεύμα εισόδου μιας τέτοιας διάταξης είναι μη ημιτονοειδές. Όταν στην είσοδο της ανορθωτικής διάταξης εφαρμόζεται συμμετρική τριφασική τάση, τότε προκύπτει ρεύμα εισόδου της μορφής «διπλός παλμός ανά ημιπερίοδο», όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.24.

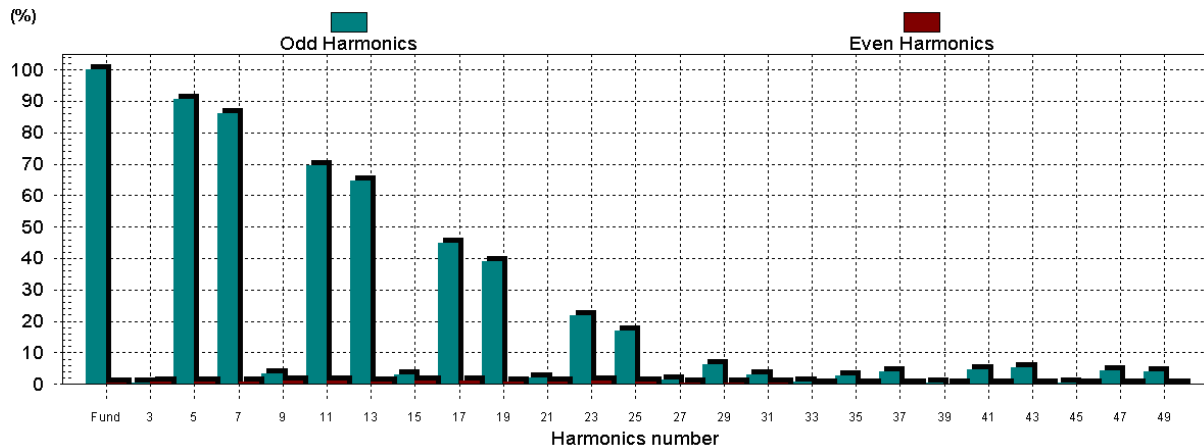


Σχήμα 5.24 – Κυματομορφή ρεύματος εισόδου γραμμής τριφασικού ανορθωτή με διόδους, με είσοδο συμμετρικής τριφασικής τάσης [21].

Η μορφή της καμπύλης του Σχήματος 5.24 επιβεβαιώνεται από τις σχετικές μετρήσεις που έγιναν στο δοκίμιο και φαίνονται στα Σχήματα 5.21 και 5.22. Η αρμονική ανάλυση της παραπάνω κυματομορφής δίνει χαρακτηριστικές αρμονικές, των οποίων η τάξη  $n$  δίνεται από τη σχέση ([21]):

$$n = 6 \cdot k \pm 1, \text{ όπου } k = 1, 2, 3, \dots \quad (5.3)$$

Αυτό μεταφράζεται σε ύπαρξη αρμονικών τάξης  $5^{ης}$ ,  $7^{ης}$ ,  $11^{ης}$ ,  $13^{ης}$ ,  $17^{ης}$ ,  $19^{ης}$  κ.ο.κ. Η άποψη αυτή επιβεβαιώνεται και από την αρμονική ανάλυση του ρεύματος εισόδου του δοκιμίου (βλ. Σχήμα 5.22) που φαίνεται στο Σχήμα 5.25.



Balanced voltage, THD<sub>i</sub> % = 170.75 %

Σχήμα 5.25 – Αρμονική ανάλυση ρεύματος εισόδου του μετατροπέα AC/DC/AC, 3Φ εισόδου

Η γενικότερη μορφή της σχέσης (5.3) επιτρέπει -σε θεωρητικό επίπεδο- τον υπολογισμό της τάξης  $n$  των αρμονικών ρεύματος εισόδου μιας ελεγχόμενης τριφασικής ανορθωτικής διάταξης σε συνάρτηση με το πλήθος των παλμών οδήγησής της και φαίνεται παρακάτω ([22]):

$$n = p \cdot k \pm 1 \text{ όπου } k = 1, 2, 3, \dots \text{ και } p \text{ το πλήθος των παλμών} \quad (5.4)$$

### 5.8.2 Αναφορά δοκιμής (report)

Η αναφορά δοκιμής για ασυμμετρίες παράγεται αυτόματα από το λογισμικό MXGUI και παρατίθεται παρακάτω:

## Test Report EN 61000-4-27

Report Name:	EN/IEC 61000-4-27 Test Report
Report print date:	06-08-2010 12:46:19
Program version:	MX Series MXGUI ,version: 2.2.0.6 - Sept 19, 2008

**IEC Test Result:                      PASS**

Time test started:                      Τρίτη, 8 Ιούνιος 2010 12:14:01 μμ  
 Time test completed:                      Τρίτη, 8 Ιούνιος 2010 12:45:50 μμ  
 Selected test file:                      Class2.427  
 Selected test type:                      Voltage and Phase Unbalance Immunity test  
 Test operator:                      Nikolaos Papazacharopoulos    Test site: Laboratory                      of  
 Electric Machines and Power Electronics  
 Ambient Temp:                      25 °C                      Humidity: 50 %                      Pressure:  
 EUT description:                      TELEMECANIQUE ALTIVAR 5 ATV45-U30  
 User comments:                      Generic IEC61000-4-27 Test sequence for class 2 equipment

**Test Conditions:**

Nominal Voltage ( $V_{AC}$ ):                      220,0     $V_{RMS}$                       Phase Mode:                      3 Phase  
 Nominal Frequency:                      50,0    Hz

**Test Options**

EUT Class:                      Class 2                      Test 1                      Selected  
 Performance Criterion                      c: loss, operator                      Test 2                      Selected  
 No of Sequences:                      1                      Test 3                      Selected  
 Delay between Sequences: 3                      minutes  
 Pre-Test Delay:                      10                      seconds

**Test Levels:**

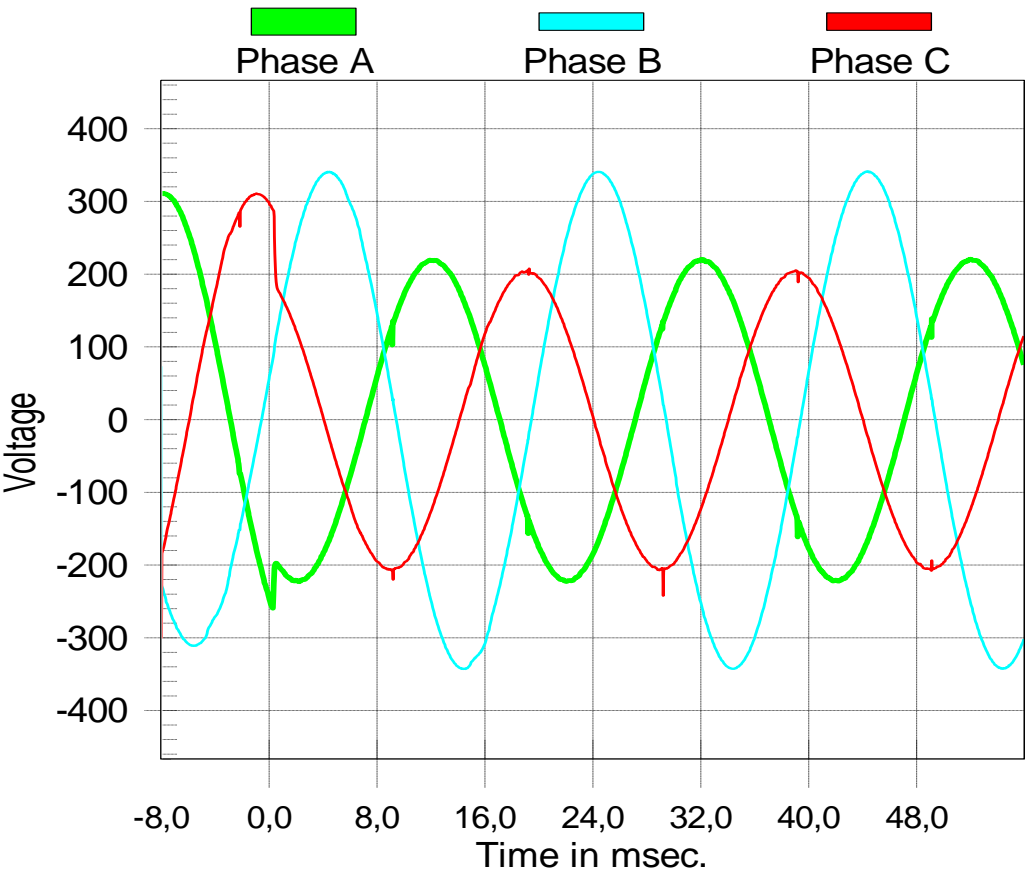
**Table -11 Test Parameters**

STEP	Test #	Output	% of Unom	Angle °	Ku2	Time (s)
1	1	Ua	100.0	0	6	30.000
2	1	Ub	95.2	125	6	30.000
3	1	Uc	90.0	240	6	30.000
4	2	Ua	100.0	0	13	15.000
5	2	Ub	90.0	131	13	15.000
6	2	Uc	80.0	239	13	15.000
7	3	Ua	110.0	0	25	0.100
8	3	Ub	66.0	139	25	0.100
9	3	Uc	71.0	235	25	0.100

User observations regarding this EUT:

Observations:  
**Evaluation of test results:** b) temporary loss of function or degradation of performance which ceases after the disturbance ceases, and from which the equipment under test recovers its normal performance, without operator intervention

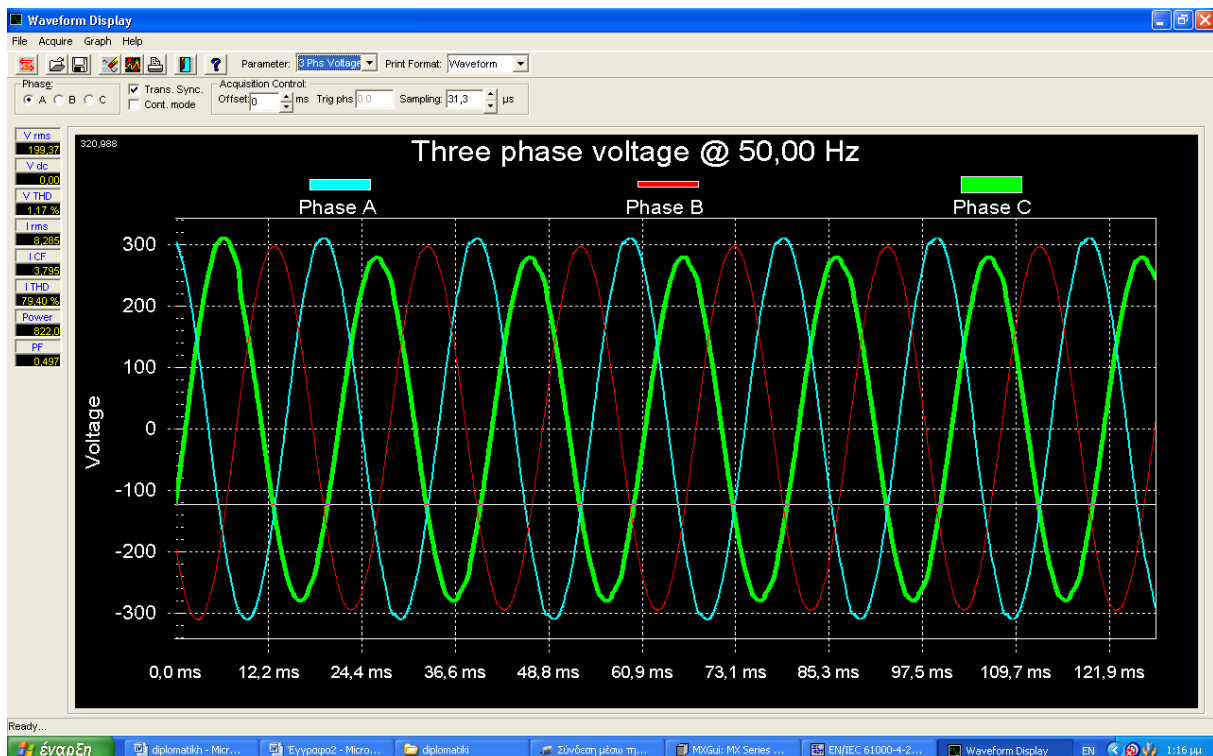
**Waveform Data for Test #3:**



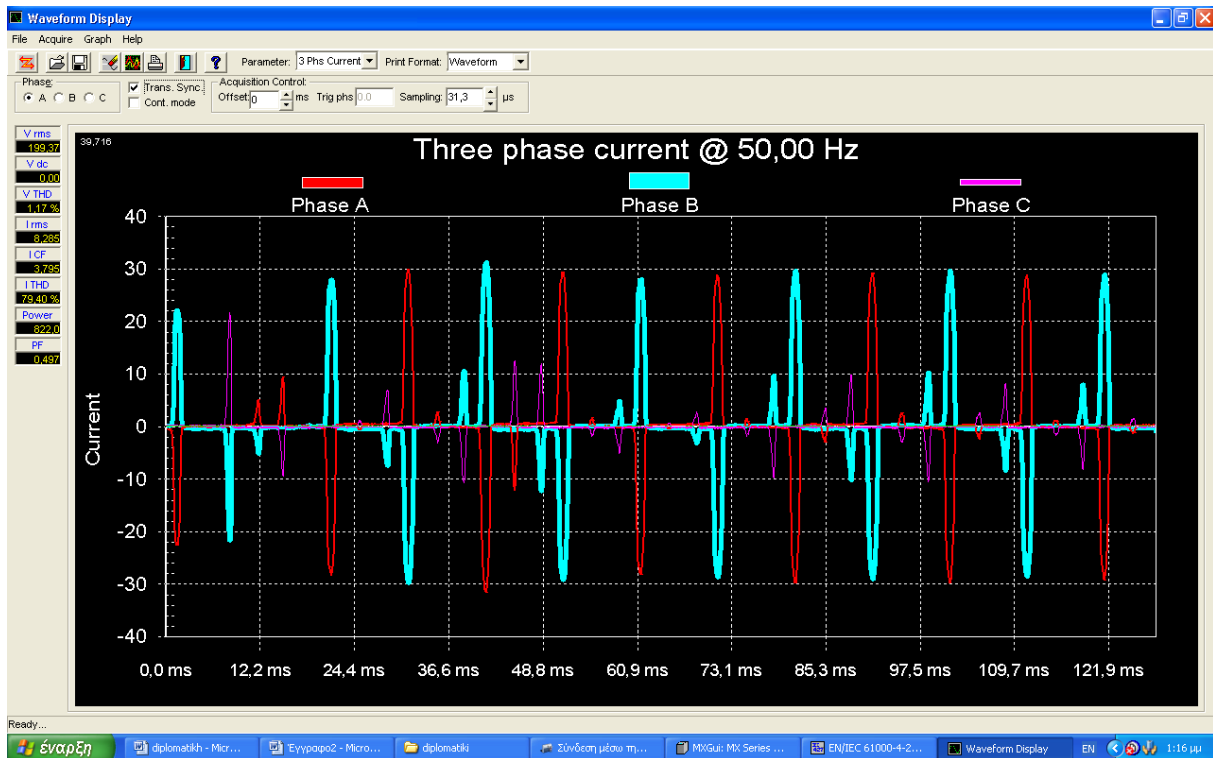
### 5.8.3 Παρατηρήσεις

Κατά την εκτέλεση των 3 επαναλήψεων του “Test 1” και των 3 επαναλήψεων του “Test 2”, παρατηρήθηκε μεγάλη μεταβλητότητα της ισχύος εξόδου του μετατροπέα κατά τα χρονικά διαστήματα εφαρμογής των συνθηκών ασυμμετρίας στο δοκίμιο (διάρκειας 30 sec και 20 sec αντίστοιχα). Ειδικότερα, η ενεργός ισχύς εξόδου του μετατροπέα μεταβαλλόταν από 1800 W έως 2200 W περίπου, σε αντίθεση με την μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, όπου παρέμενε σχετικά σταθερή στα 2054 W. Επίσης, παρατηρήθηκε μικρή μείωση της τάσης εξόδου του μετατροπέα και, κατά συνέπεια, μείωση της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Δεν παρατηρήθηκε καμία διακοπή της λειτουργίας του δοκιμίου.

Ειδικότερα, όσο αφορά το “Test 1”, οι κυματομορφές των τάσεων και των ρευμάτων εισόδου του δοκιμίου παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.26 και 5.27, αντίστοιχα.



Σχήμα 5.26 – Τριφασική τάση εισόδου του μετατροπέα AC/DC/AC, 3Φ εισόδου (επίπεδο ασυμμετρίας 6%, “Test 1”)

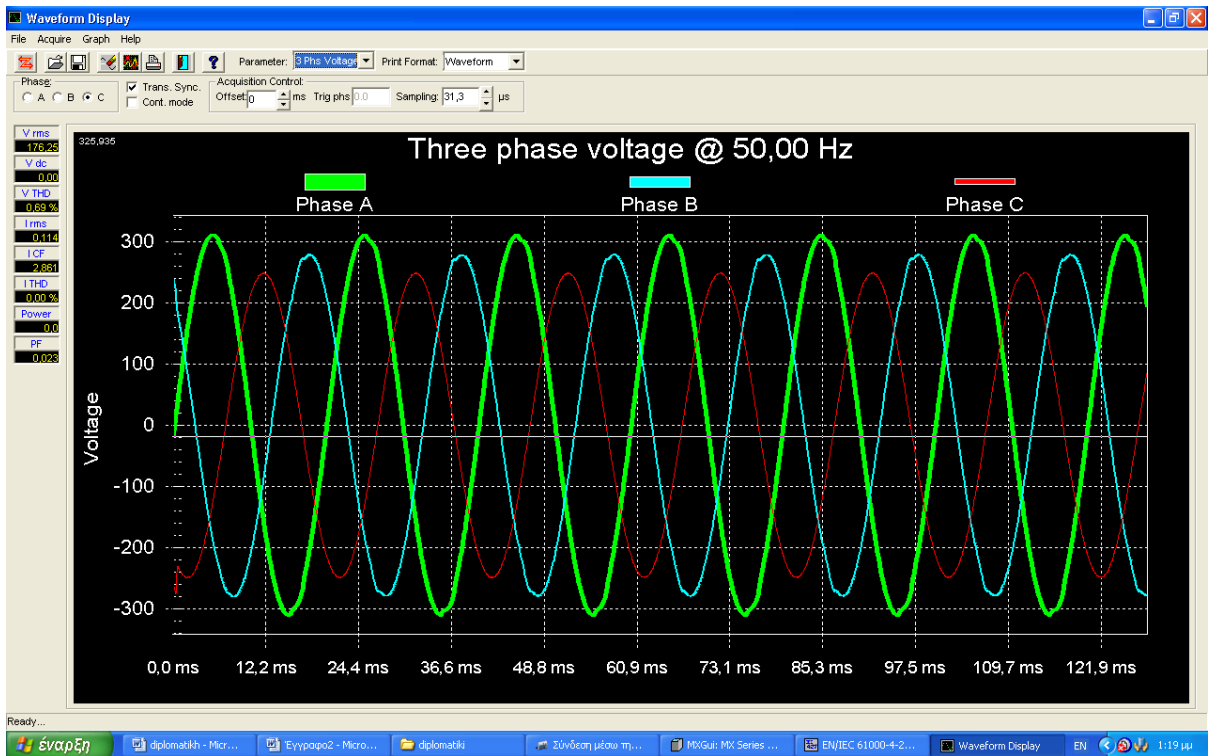


Σχήμα 5.27 – Τριφασικό ρεύμα εισόδου του μετατροπέα AC/DC/AC, 3Φ εισόδου (επίπεδο ασυμμετρίας 6%, “Test 1”)

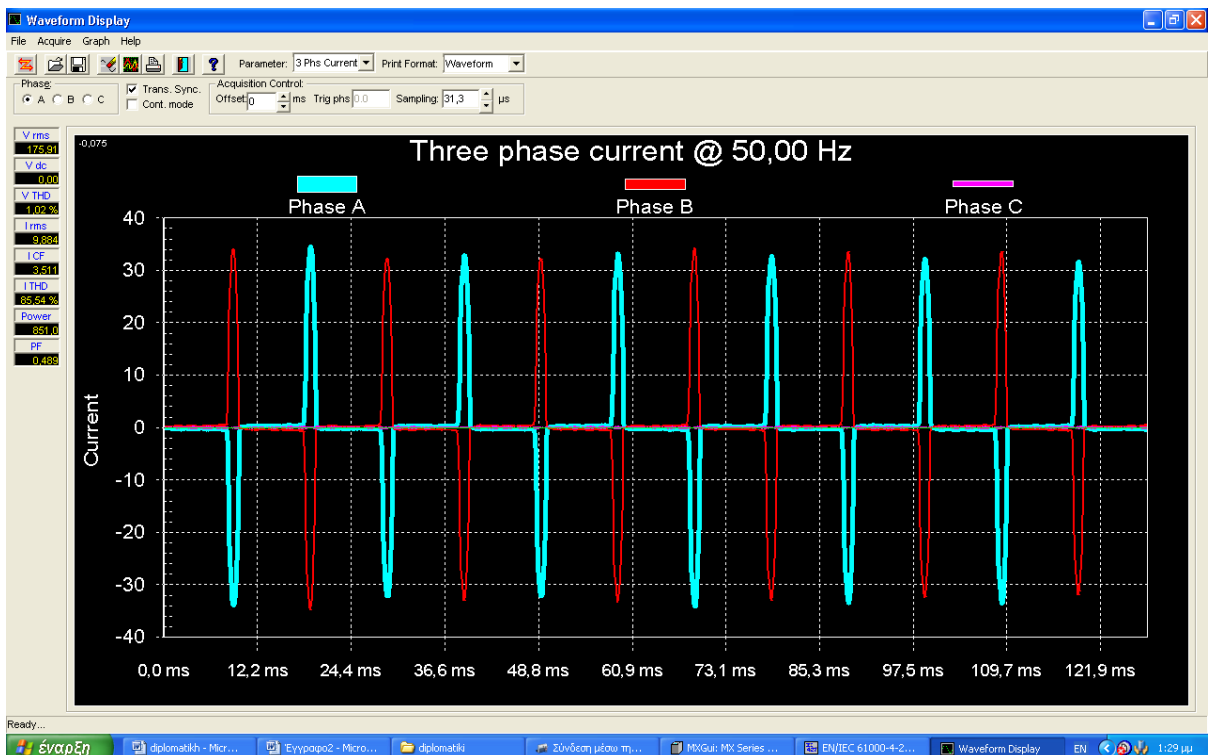
Σύμφωνα με το Σχήμα 5.26, οι συνθήκες ασυμμετρίας της δοκιμής εφαρμόζονται τη χρονική στιγμή του πρώτου μηδενισμού (θετικός ρυθμός μεταβολής) της τάσης της φάσης C. Ύστερα, για ένα διάστημα παρατηρείται μη περιοδική μεταβολή των φασικών ρευμάτων εισόδου (βλ. Σχήμα 5.27) λόγω της εξέλιξης του μεταβατικού φαινομένου.

Η τάση της φάσης A δεν υπέστη καμία μεταβολή όσο αφορά το μέτρο και τη γωνία της (παρέμειναν στο 100% του ονομαστικού και στις 0° αντίστοιχα). Παρατηρείται σταθεροποίηση και περιοδική μεταβολή του ρεύματος εισόδου της φάσης A από τα 48.8 ms και μετά. Αντίθετα, οι τάσεις των φάσεων B και C υπέστησαν μεταβολές σε σχέση με τα ονομαστικά τους στοιχεία. Η τάση της φάσης B είναι μέτρου 95.2 % του ονομαστικού και γωνίας 125°, ενώ για τη φάση C τα αντίστοιχα δεδομένα είναι 90 % και 240°. Έτσι, τα ρεύματα εισόδου των φάσεων αυτών, σύμφωνα με το Σχήμα 5.27, αρχίζουν να σταθεροποιούνται από τα 73.1 ms και μετά.

Όσο αφορά το “Test 2”, οι κυματομορφές των τάσεων και των ρευμάτων εισόδου του δοκιμίου παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.28 και 5.29, αντίστοιχα. Η εφαρμοζόμενη ασυμμετρία (13 %) είναι εντονότερη αυτής του “Test 1” (6 %).



Σχήμα 5.28 – Τριφασική τάση εισόδου του μετατροπέα AC/DC/AC, 3Φ εισόδου (επίπεδο ασυμμετρίας 13%, “Test 2”)

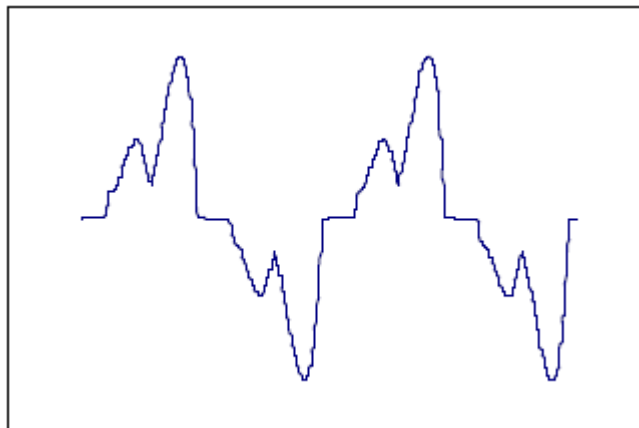


Σχήμα 5.29 – Τριφασικό ρεύμα εισόδου του μετατροπέα AC/DC/AC, 3Φ εισόδου (επίπεδο ασυμμετρίας 13%, “Test 2”)

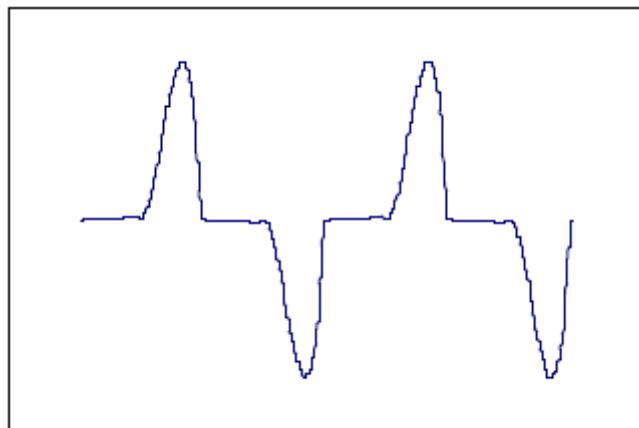
Σύμφωνα με το Σχήμα 5.28, οι συνθήκες ασυμμετρίας της δοκιμής εφαρμόζονται τη χρονική στιγμή 0.0 ms, δηλαδή τη στιγμή του πρώτου μηδενισμού (θετικός ρυθμός μεταβολής) της τάσης της φάσης A.

Η τάση της φάσης A δεν υπέστη καμία μεταβολή όσο αφορά το μέτρο και τη γωνία της (παρέμειναν στο 100% του ονομαστικού και στις 0° αντίστοιχα), ενώ η τάση της φάσης B είναι μέτρου 90 % του ονομαστικού και γωνίας 131°. Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει για την φάση C (τάση μέτρου 80 % του ονομαστικού και γωνίας 239°). Με βάση το Σχήμα 5.28, το ρεύμα εισόδου της φάσης C είναι μηδενικό. Προφανώς, λόγω εμφάνισης ιδιαίτερα χαμηλής τάσης στη φάση αυτή, ενεργοποιήθηκε το σχετικό κύκλωμα αυτοπροστασίας του μετατροπέα και διέκοψε την παροχή ισχύος. Συνεπώς, ο μετατροπέας τροφοδοτείται τώρα από δύο μόνο φάσεις, απορροφώντας ρεύματα μεγαλύτερης ενεργού τιμής (σε σύγκριση με το Σχήμα 5.21), στην προσπάθεια εξυπηρέτησης του ίδιου φορτίου.

Χρήσιμα συμπεράσματα μπορούν να προκύψουν συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των “Test 1” και “Test 2” Όπως δείχνεται στο ([21]), όταν στην είσοδο τριφασικής ανορθωτικής διάταξης με διόδους εφαρμοστεί μη συμμετρική τριφασική τάση, τότε το ρεύμα εισόδου της παύει να έχει τη μορφή «διπλός παλμός ανά ημιπερίοδο» του Σχήματος 5.24. Ειδικότερα, για διάφορα επίπεδα ασυμμετρίας προκύπτουν διαφορετικές μορφές ρεύματος εισόδου, όπως φαίνεται στα Σχήματα 5.30 και 5.31.



Σχήμα 5.30 - Κυματομορφή ρεύματος εισόδου γραμμής τριφασικού ανορθωτή με διόδους, με είσοδο ασύμμετρης τριφασικής τάσης (επίπεδο ασυμμετρίας 5 %) [21].

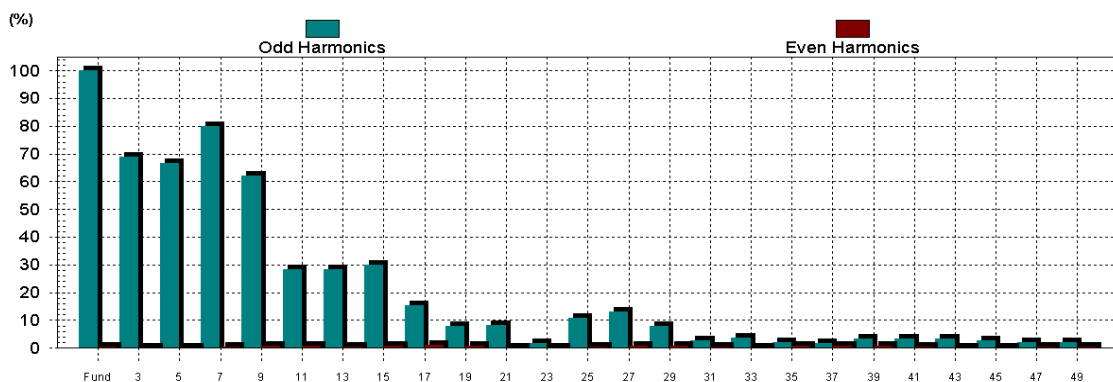




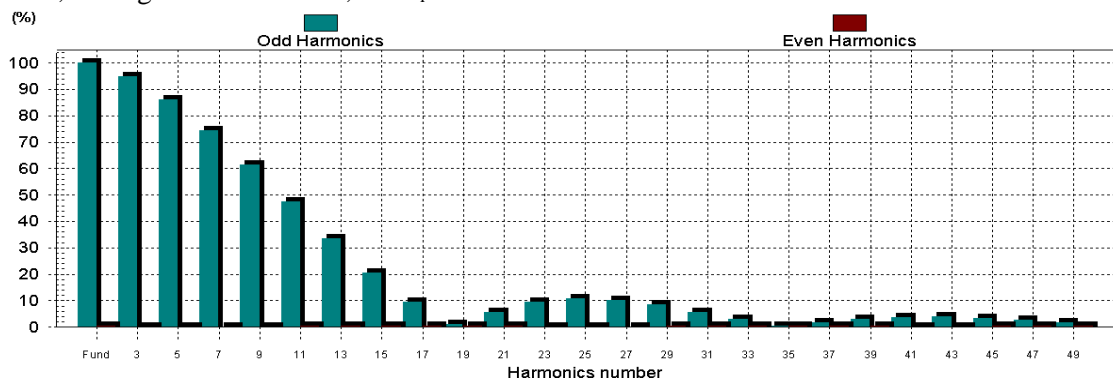
Σχήμα 5.31 - Κυματομορφή ρεύματος εισόδου γραμμής τριφασικού ανορθωτή με διόδους, με είσοδο ασύμμετρης τριφασικής τάσης (επίπεδο ασυμμετρίας 15 %) [21].

Η κυματομορφή του Σχήματος 5.30 επιβεβαιώνεται από τις κυματομορφές των φάσεων Β και C του Σχήματος 5.27. Οι τάσεις των φάσεων Β και C ήταν αυτές που υπέστησαν μεταβολή του μέτρου και της γωνίας τους σε σχέση με τα ονομαστικά στοιχεία τους. Από την άλλη, η τάση της φάσης Α παρέμεινε αμετάβλητη και έδωσε κυματομορφή ρεύματος εισόδου (βλ. Σχήμα 5.27) ανάμοια με αυτή του Σχήματος 5.30. Επίσης, η κυματομορφή του Σχήματος 5.31 επιβεβαιώνεται απολύτως από τις κυματομορφές των φάσεων Α και Β του Σχήματος 5.29.

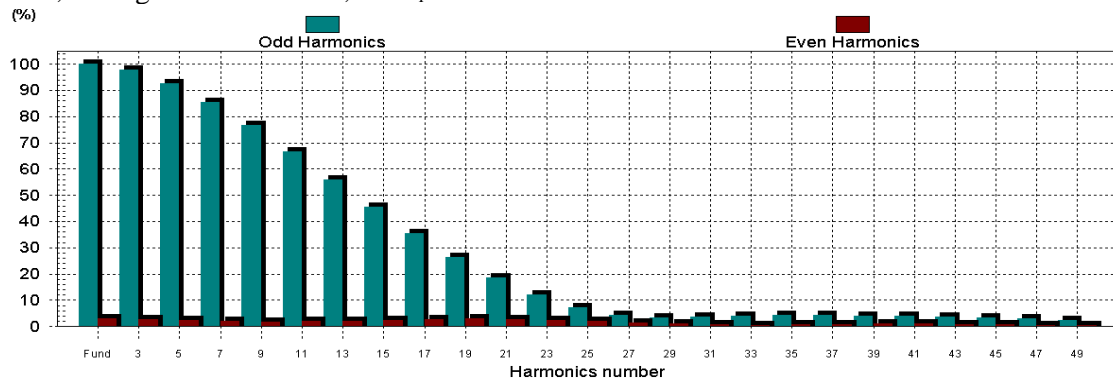
Η αρμονική ανάλυση των ρευμάτων εισόδου του μετατροπέα για τα “Test 1” και “Test 2” (βλ. Σχήματα 5.27 και 5.29) έδωσε τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.32 και 5.33, αντίστοιχα.



Phase A, Voltage unbalance 6 %, THD<sub>i</sub> % = 150.81 %

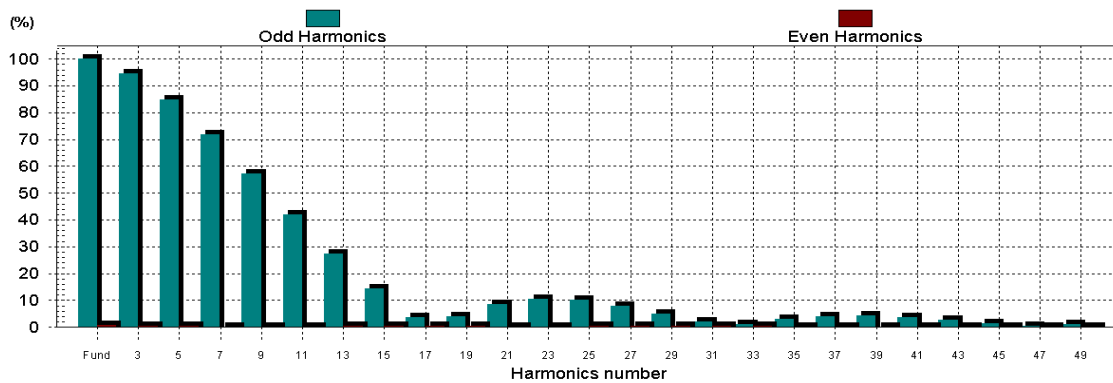


Phase B, Voltage unbalance 6 %, THD<sub>i</sub> % = 173.43 %

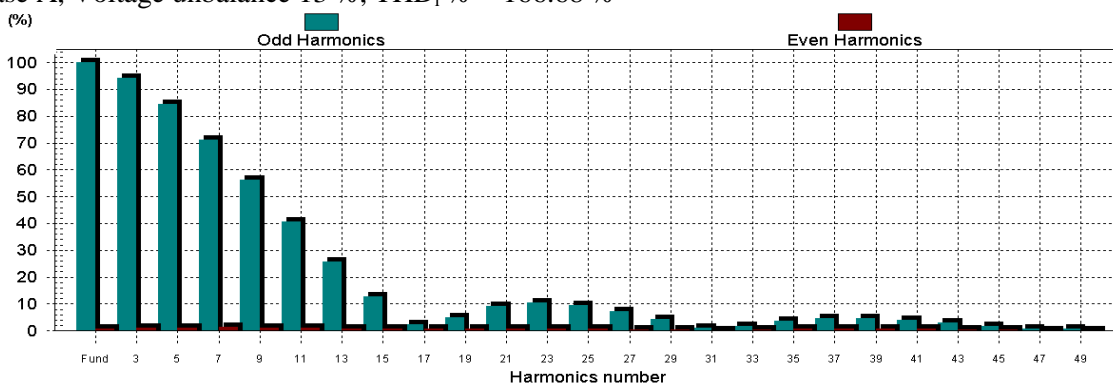


Phase C, Voltage unbalance 6 %, THD<sub>i</sub> % = 209.11 %

Σχήμα 5.32 – Αρμονική ανάλυση ρευμάτων εισόδου του μετατροπέα AC/DC/AC, 3Φ εισόδου (επίπεδο ασυμμετρίας 6 %)



Phase A, Voltage unbalance 13 %, THD<sub>i</sub> % = 166.68 %



Phase B, Voltage unbalance 13 %, THD<sub>i</sub> % = 164.90 %

Σχήμα 5.33 – Αρμονική ανάλυση ρευμάτων εισόδου του μετατροπέα AC/DC/AC, 3Φ εισόδου (επίπεδο ασυμμετρίας 13 %)

Παρατηρώντας τα Σχήματα 5.32 και 5.33, εξάγεται το συμπέρασμα πως, υπό ασύμμετρη φόρτιση, το ρεύμα εισόδου του μετατροπέα AC/DC/AC περιέχει περιττές αρμονικές συνιστώσες τάξης πολλαπλασίας του 3 (όπως 3<sup>η</sup>, 9<sup>η</sup>, 15<sup>η</sup>, 21<sup>η</sup>...). Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζει ο μονοφασικός μετατροπέας AC/DC/AC (βλ. Σχήμα 5.10). Αντιθέτως, όπως δείχνεται στο Σχήμα 5.25, οι παραπάνω αρμονικές δεν παρουσιάζονται υπό συνθήκες ονομαστικής φόρτισης. Η αυξημένη εκπομπή τέτοιων ανεπιθύμητων αρμονικών προκαλεί προβλήματα στο ηλεκτρικό δίκτυο ([21]). Ακόμη, η ολική αρμονική παραμόρφωση των ρευμάτων (THD<sub>i</sub>) κινείται περίπου στα ίδια επίπεδα, είτε ο εξοπλισμός λειτουργεί υπό συμμετρικό τριφασικό σύστημα τάσεων, είτε υπό ασύμμετρο.

Τέλος, κατά την εκτέλεση των 3 επαναλήψεων του “Test 3” (επίπεδο ασυμμετρίας 25 %), ο μετατροπέας σταμάτησε να λειτουργεί κατά τα χρονικά διαστήματα εφαρμογής των συνθηκών ασυμμετρίας στο δοκίμιο (διάρκειας 0.1 sec). Και στις 3 επαναλήψεις, η λειτουργία του υπό δοκιμή εξοπλισμού επανήλθε –δίχως παρέμβαση του χρήστη- μετά το τέλος των διαστημάτων εφαρμογής των συνθηκών ασυμμετρίας.

## 6 Δοκιμές εξοπλισμού – Ατρωσία έναντι βυθίσεων τάσης

---

### 6.1 Γενικά

#### 6.1.1 Βασική περιγραφή της βύθισης τάσης

Σύμφωνα με τον ορισμό της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (IEC), η βύθιση τάσης αναφέρεται σε μια ξαφνική μείωση της τάσης σε ένα συγκεκριμένο σημείο του συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, ακολουθούμενη από την αποκατάστασή της μετά από ένα σύντομο χρονικό διάστημα. Συνήθως, μια βύθιση σχετίζεται με την εμφάνιση και τη λήξη ενός βραχυκυκλώματος ή άλλης ακραίας αύξησης του ρεύματος στο σύστημα ή σε εγκαταστάσεις που συνδέονται σε αυτό. Επίσης, είναι μια δισδιάστατη ηλεκτρομαγνητική διαταραχή, η ένταση της οποίας καθορίζεται από το μέτρο της εναπομένουσας –κατά τη βύθιση- τάσης και τη διάρκεια της βύθισης. Μια πιο λεπτομερής περιγραφή του φαινομένου αυτού περιλαμβάνεται στο υποκεφάλαιο 2.4.

#### 6.1.2 Εναλλακτική περιγραφή της βύθισης τάσης

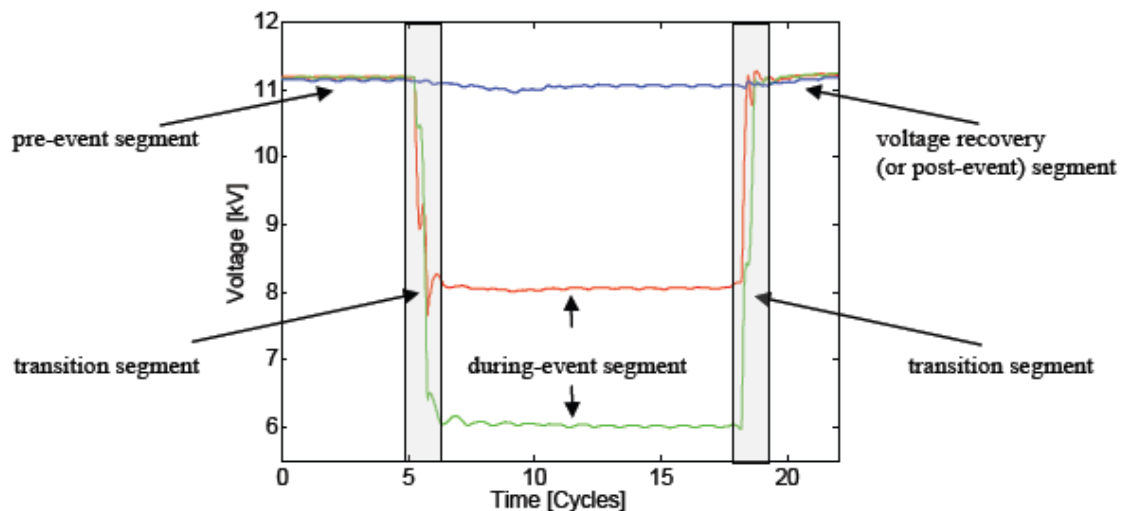
Σε σχετικές με το αντικείμενο μελέτες ([18]) διατυπώνεται η άποψη ότι η τυποποιημένη μέθοδος που περιγράφει βυθίσεις τάσης (με μία τιμή μεγέθους της τάσης και μία τιμή διάρκειας) οδηγεί σε σημαντική απώλεια πληροφοριών. Για παράδειγμα, η φασική μετατόπιση της τάσης προ βύθισης και το σημείο του κύματος (π.χ. στις 0° ή στις 90°) όπου εφαρμόζεται η βύθιση, δεν εξετάζονται στην πρότυπη περιγραφή των βυθίσεων τάσης του εδαφίου 6.1.1. Επιπλέον, μια βύθιση τάσης δεν ακολουθεί πάντα το μοτίβο "πτώση τάσης - σταθερή τάση - αύξηση τάσης" του Σχήματος 2.9, δηλαδή δεν είναι πάντα ορθογώνιου σχήματος.

Για την επίλυση αυτών και ορισμένων άλλων πρακτικών προβλημάτων που ανέκυψαν κατά τη διάρκεια της ανάλυσης βυθίσεων, εισάγεται η «μέθοδος κατάτμησης βυθίσεων» (“dip segmentation method”) ([18]). Έτσι, η καταγραφή της βύθισης διαιρείται σε διακριτά μέρη (ή διαστήματα) που ονομάζονται «τομείς βύθισης» (“dip segments”). Ειδικότερα, η καταγραφή της βύθισης τάσης του Σχήματος 6.1 είναι συνδυασμός πέντε διαφορετικών «τμημάτων» (“segments”):

1. Το «τμήμα πριν από την εκδήλωση» (“pre-event segment”), με συμμετρικές τάσεις της τάξης του ονομαστικού μεγέθους.
2. Το πρώτο «τμήμα μετάβασης» (“transition segment”), κατά το οποίο οι τάσεις –μάλλον απότομα- μεταβάλλονται, από συμμετρικές τριφασικές και περίπου ονομαστικού μεγέθους, σε ασύμμετρες και μεγέθους χαμηλότερο του ονομαστικού. Για βυθίσεις που έχουν προκληθεί λόγω σφαλμάτων, το πρώτο «τμήμα μετάβασης» αντιστοιχεί στην στιγμή εκκίνησης του σφάλματος.
3. Το «τμήμα εκδήλωσης γεγονότος» (“during-event segment”), με -στην πιο γενική περίπτωση- ασύμμετρες τάσεις, μεγέθους χαμηλότερου του ονομαστικού.

4. Το δεύτερο «τμήμα μετάβασης» (“transition segment”), κατά το οποίο οι τάσεις -μάλλον απότομα- μεταβάλλονται, από ασύμμετρες και μεγέθους χαμηλότερο του ονομαστικού, σε περίπου συμμετρικές τριφασικές και περίπου ονομαστικού μεγέθους. Για βυθίσεις που έχουν προκληθεί λόγω σφαλμάτων, το δεύτερο «τμήμα μετάβασης» αντιστοιχεί στην στιγμή εκκαθάρισης του σφάλματος.
5. Το «τμήμα αποκατάστασης τάσης», κατά το οποίο οι τάσεις είναι συμμετρικές και με μέγεθος κοντά στο ονομαστικό, δείχνοντας μια τάση προς μια σταθερή κατάσταση.

Ο αριθμός των πραγματικών τμημάτων, καθώς και τα χαρακτηριστικά τους, ποικίλλουν μεταξύ των διαφόρων τύπων βυθίσεων τάσης. Ορισμένες βυθίσεις έχουν μόνο ένα τμήμα μετάβασης και καθόλου τμήματα εκδήλωσης γεγονότος, ενώ άλλες έχουν πολλαπλά ζεύγη τμημάτων μετάβασης και τμημάτων εκδήλωσης γεγονότος.

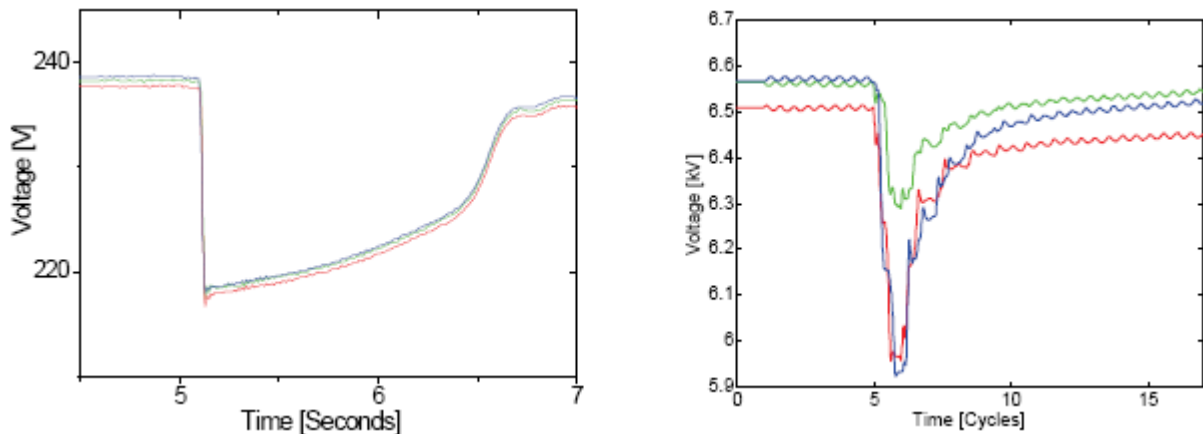


Σχήμα 6.1 – Καταγραφή βύθισης τάσης σύμφωνα με την “dip segmentation method” [18].

### 6.1.3 Τύποι βυθίσεων τάσης

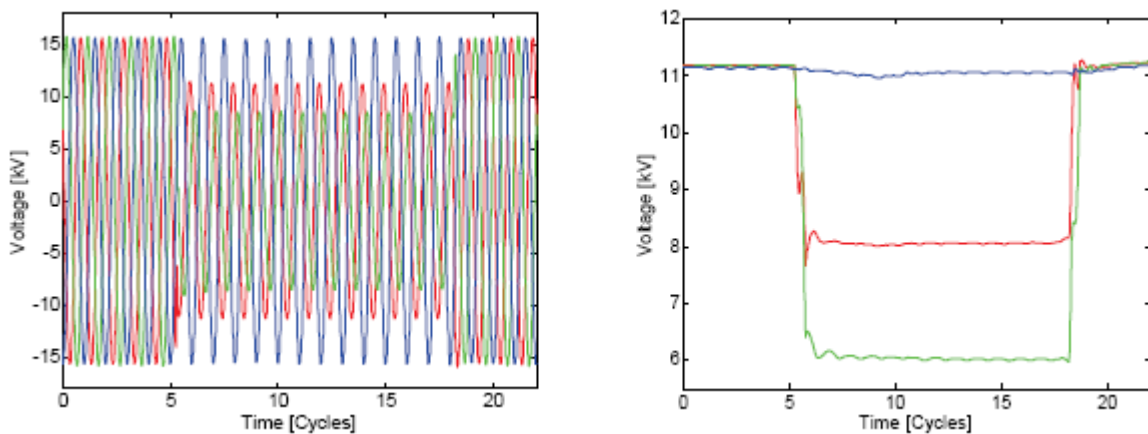
Οι βυθίσεις τάσης είναι φαινόμενα που χαρακτηρίζονται από μικρής διάρκειας μείωση του μεγέθους της τάσης. Οι περισσότερες από αυτές έχουν διάρκεια μικρότερη από 1 δευτερόλεπτο. Μερικοί από τους συνήθεις τύπους βυθίσεων που μπορεί να εμφανιστούν στους ακροδέκτες εξοπλισμού αναφέρονται παρακάτω ([18]):

- Βυθίσεις με ένα τμήμα μετάβασης.  
Οι βυθίσεις λόγω μεταγωγής / σύνδεσης μεγάλων φορτίων στο ηλεκτρικό δίκτυο περιέχουν μόνο ένα τμήμα μετάβασης, το οποίο και αντιστοιχεί στη στιγμή της μεταγωγής. Στην περίπτωση εκκίνησης κινητήρων και ενεργοποίησης μετασχηματιστών, το ρεύμα εισόδου τους παρουσιάζει μια αιφνίδια αύξηση τη στιγμή της μεταγωγής, ακολουθούμενη από αργή μείωση. Κατά συνέπεια, η προκύπτουσα πτώση τάσης θα εμφανίσει μία ξαφνική μείωση του μεγέθους της στο αρχικό τμήμα της βύθισης (αντιστοιχεί στο «τμήμα μετάβασης»), ακολουθούμενη από μια αργή αύξηση της τάσης (αντιστοιχεί στο «τμήμα αποκατάστασης τάσης»). Οι δύο προαναφερθείσες περιπτώσεις φαίνονται στο Σχήμα 6.2.

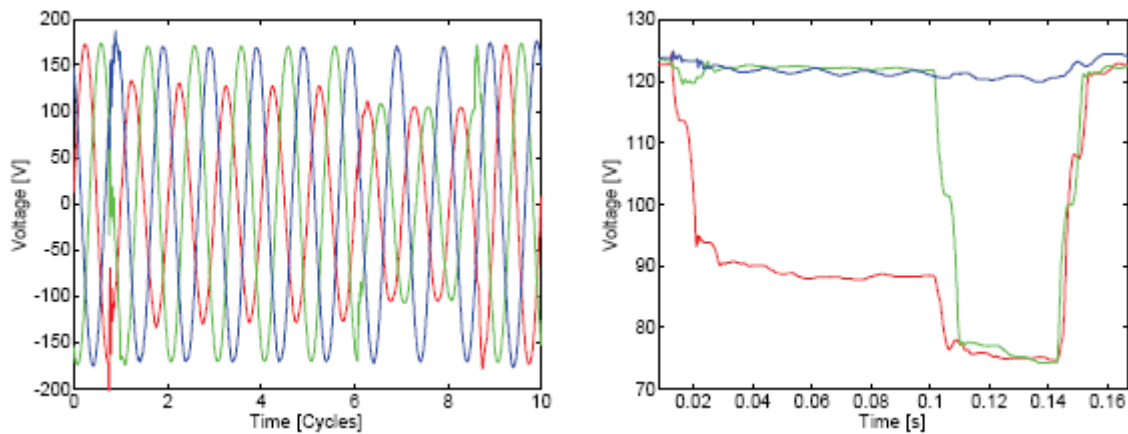


Σχήμα 6.2 – Βυθίσεις τάσης με ένα «τμήμα μετάβασης», λόγω εκκίνησης κινητήρα (αριστερά) και λόγω ενεργοποίησης μετασχηματιστή (δεξιά) [18].

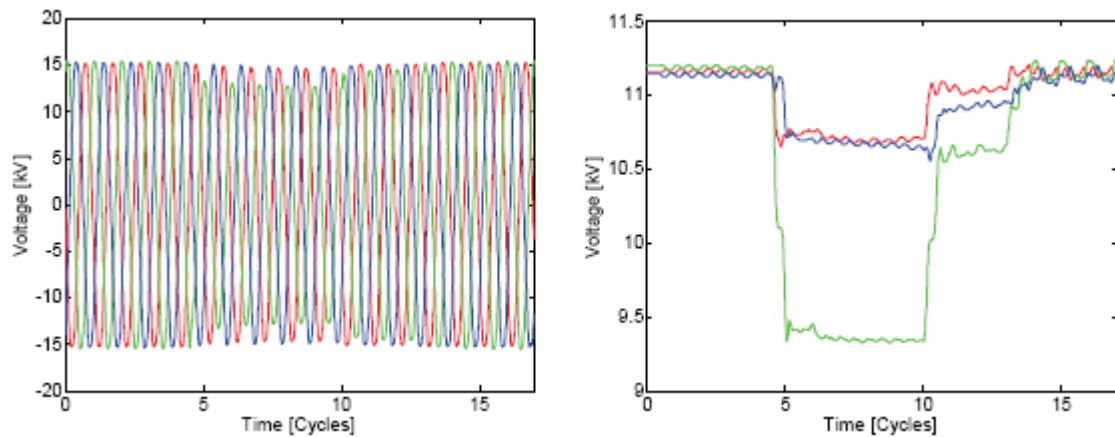
- Βυθίσεις με δύο ή περισσότερα τμήματα μετάβασης  
 Οι βυθίσεις τάσης λόγω βραχυκυκλωμάτων περιλαμβάνουν τουλάχιστον δύο τμήματα μετάβασης και τουλάχιστον ένα-τμήμα εκδήλωσης γεγονότος, τα οποία έχουν άμεση συσχέτιση με την εκκίνηση, την παρουσία και την εκκαθάριση του σφάλματος. Πρόσθετα τμήματα μετάβασης και τμήματα εκδήλωσης γεγονότος μπορούν να υπάρξουν στην περίπτωση των λεγόμενων «εξελισσόμενων σφαλμάτων» (“developing faults”). Για παράδειγμα, όταν ένα μονοφασικό σφάλμα εξελίσσεται σε διφασικό ή τριφασικό, ή όταν το σφάλμα εκκαθαρίζεται από διαφορετικούς διακόπτες σε σημαντικά διαφορετικές χρονικές στιγμές. Τα προαναφερθέντα σφάλματα φαίνονται στα Σχήματα 6.3, 6.4 και 6.5 αντίστοιχα.



Σχήμα 6.3 – Παράδειγμα βύθισης τάσης με δύο τμήματα μετάβασης, καταγεγραμμένης σε δίκτυο 11 kV: στιγμιαία τιμή της τάσης (αριστερά) και ενεργός τιμή της τάσης (δεξιά) [18].



Σχήμα 6.4 – Βύθισης τάσης με τρία τμήματα μετάβασης λόγω εξελισσόμενου σφάλματος: στιγμιαία τιμή της τάσης (αριστερά) και ενεργός τιμή της τάσης (δεξιά) [18].



Σχήμα 6.5 – Βύθισης τάσης με τρία τμήματα μετάβασης λόγω διαφορετικών χρονικών στιγμών εκκαθάρισης σφάλματος: στιγμιαία τιμή της τάσης (αριστερά) και ενεργός τιμή της τάσης (δεξιά) [18].

- Πολλαπλές εκδηλώσεις βυθίσεων  
 Οι βυθίσεις τάσεις δεν κατανέμονται ομοιόμορφα ή τυχαία κατά τη διάρκεια του έτους, αλλά εμφανίζουν μια ομαδοποίηση στο χρόνο. Σε περιόδους δυσμενών καιρικών συνθηκών (π.χ. καταιγίδων με κεραυνούς) οι βυθίσεις είναι περισσότερες από ό, τι σε περιόδους με κανονικό καιρό. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε δύο ή περισσότερες εκδηλώσεις βυθίσεων που συμβαίνουν πολύ κοντά η μία με την άλλη. Πολλαπλές εκδηλώσεις βυθίσεων (ή «ακολουθίες βυθίσεων») μπορούν επίσης να οφείλονται σε αυτόματες ενέργειες επαναφοράς (autoreclosure) διακοπών μετά από ένα σφάλμα. Μια ανεπιτυχής προσπάθεια αυτόματης επαναφοράς (οφείλεται στην παρουσία μόνιμου σφάλματος) οδηγεί σε δύο παρόμοιες βυθίσεις τάσης λόγω του σφάλματος, ενώ η επιτυχής αυτόματη επαναφορά (αποτέλεσμα μιας παροδικής βλάβης) μπορεί να οδηγήσει σε μία βύθιση λόγω σφάλματος, η οποία ακολουθείται ενδεχομένως από άλλη μία βύθιση, προερχόμενη από την ενεργοποίηση των μετασχηματιστών διανομής της γραμμής. Κάθε ανεπιτυχής προσπάθεια αυτόματης επαναφοράς θα προσθέσει μία ακόμη βύθιση στην ακολουθία.

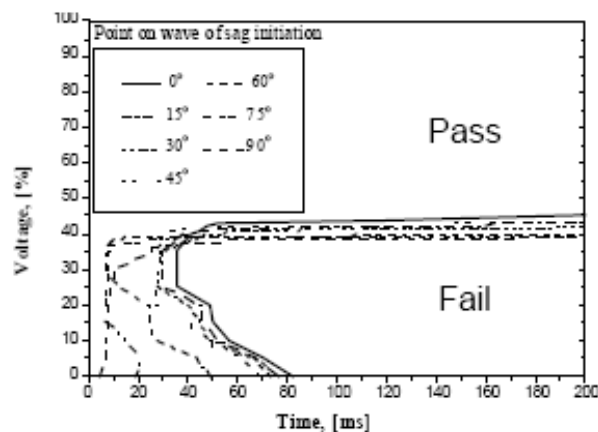
#### 6.1.4 Παράμετροι που επηρεάζουν την ατρωσία εξοπλισμού

Κάθε ένα από τα χρονικά τμήματα μιας βύθισης τάσης (βλ. Σχήμα 6.1) περιλαμβάνει ορισμένες παραμέτρους που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του υπό δοκιμή εξοπλισμού, όταν ο τελευταίος ελέγχεται έναντι βυθίσεων τάσης ([18]).

Τα πιο κοινά χαρακτηριστικά του «τμήματος πριν από την εκδήλωση» της βύθισης τάσης που μπορούν να επηρεάσουν την ανταπόκριση του εξοπλισμού στη βύθιση, σχετίζονται με το μέγεθος της τάσης και τις μεταβολές της συχνότητας, την παρουσία των αρμονικών και άλλων παραμορφωμένων κυματομορφών τάσης (π.χ. “flat-top curve”), καθώς και με ασυμμετρίες του μεγέθους και της γωνίας της τάσης. Όταν διάφορες μεταβολές, όπως οι προηγούμενες, εκδηλώνονται ταυτόχρονα, οι επιπτώσεις τους όσον αφορά την ανταπόκριση του εξοπλισμού στις βυθίσεις τάσης μπορούν να είναι περίπλοκες και σύνθετες.

Σημαντικές παραμέτρους παρουσιάζει και το «τμήμα εκδήλωσης γεγονότος» μιας βύθισης. Ειδικότερα, καίριας σημασίας για την ανταπόκριση του δοκιμίου είναι το επίπεδο της εναπομένουσας τάσης (residual voltage) και η διάρκειά της. Ακόμη, ενδιαφέρει το επίπεδο της τριφασικής ασυμμετρίας της εναπομένουσας τάσης, όπως και η αρμονική παραμόρφωση που αυτή εμφανίζει. Η ύπαρξη αυτών των παραγόντων επιβαρύνει το δοκίμιο, επηρεάζοντας έτσι το επίπεδο ατρωσίας του.

Όσο αφορά το «τμήμα μετάβασης», εκτός από το ρυθμό μεταβολής της τάσης (αύξηση ή μείωση), πρέπει να ληφθεί υπ' όψη το σημείο πάνω στην κυματομορφή της τάσης, στο οποίο λαμβάνει χώρα το μεταβατικό. Για παράδειγμα, βυθίσεις που συμβαίνουν στις κορυφές του ημιτόνου έχουν αποδειχθεί πιο επιβαρυντικές για ορισμένα είδη εξοπλισμού, όπως τα ηλεκτρομηχανικά ρελέ. Ειδικότερα, σε έναν επαφέα, η μονοφασική παροχή τάσης είναι συνδεδεμένη με το πηνίο μαγνήτισης (AC ή DC πηνίο). Η εφαρμογή τάσης στο πηνίο δημιουργεί μαγνητική ροή, η οποία με τη σειρά της δημιουργεί μια δύναμη που κλείνει τις επαφές. Όταν πάψει να εφαρμόζεται η τάση ελέγχου, η ροή εξαφανίζεται και ένα ελατήριο ανοίγει τις επαφές. Όσο πιο ισχυρό είναι το μαγνητικό πεδίο τη στιγμή της έναρξης της βύθισης, τόσο πιο εύκολο είναι για το διακόπτη να ξεπεράσει τη βύθιση. Για βυθίσεις τάσης σύντομης διάρκειας, λόγω του αμιγώς επαγωγικού συντελεστή ισχύος του πηνίου μαγνήτισης, οι επαφές είναι περισσότερο ευαίσθητοι σε βυθίσεις που ξεκινούν στις 90° και λιγότερο ευαίσθητοι σε βυθίσεις που ξεκινούν στις 0° (θετικός ρυθμός μεταβολής της τάσης). Το Σχήμα 6.6 είναι αντιπροσωπευτικό των παραπάνω.



Σχήμα 6.6 – Καμπύλες ανοχής της τάσης για ηλεκτρομηχανικό ρελέ: επίδραση του σημείου της κυματομορφής της τάσης όπου εκκινεί η βύθιση (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°) [18].

Ακόμη υπάρχουν πολλά φαινόμενα που μπορεί να παρουσιάζουν ενδιαφέρον στο «τμήμα αποκατάστασης τάσης». Για παράδειγμα, η εμφάνιση νέας βύθισης έπειτα από κάποιο σφάλμα, η μετατόπιση φάσης της τάσης, η εμφάνιση υψηλών μεταβατικών ρευμάτων, όπως και εκδήλωση πολλαπλών βυθίσεων.

Τέλος, σημαντικό ρόλο παίζει το επίπεδο φόρτισης του υπό δοκιμή εξοπλισμού (π.χ. ενός μετατροπέα AC/DC/AC), ενώ μη ηλεκτρικές παράμετροι, όπως θερμοκρασία, πίεση, υψόμετρο ή παρουσία κραδασμών, μπορούν να επηρεάσουν τη συμπεριφορά του δοκιμίου έναντι των βυθίσεων τάσης.

### **6.1.5 Η ατρωσία από οικονομική σκοπιά**

Από τεχνική άποψη, ο εξοπλισμός μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι εντελώς άτρωτος σε βυθίσεις τάσης. Αυτή η πλήρης ατρωσία, όμως, συνοδεύεται από σημαντικές δαπάνες. Έτσι, ένα μεγάλο μέρος των συσκευών που παράγονται θα μπορούσε να είναι «πολύ άτρωτο» για τυπικές διαταραχές και τα κοινά πεδία εφαρμογής.

Για παράδειγμα, η επένδυση στο σχεδιασμό και στην κατασκευή ενός μετατροπέα AC/DC/AC που παρουσιάζει υψηλό επίπεδο ατρωσίας έναντι βυθίσεων τάσης, πιθανώς δεν δικαιολογείται εάν ο μετατροπέας χρησιμοποιηθεί για να οδηγήσει έναν ανεμιστήρα. Ωστόσο, εάν ο μετατροπέας πρόκειται να χειριστεί ακριβά και ευαίσθητα δισκία πυριτίου σε ένα εργοστάσιο παραγωγής ημιαγωγών, η επένδυση θα μπορούσε κάλλιστα να είναι δικαιολογημένη. Κατά συνέπεια, το πρόσθετο κόστος της ατρωσίας πρέπει να αξιολογείται με βάση τις οικονομικές συνέπειες λόγω ενδεχόμενης έλλειψης ατρωσίας. Ως εκ τούτου, η επιλογή των σωστών επιπέδων ατρωσίας έναντι βυθίσεων είναι κατά κύριο λόγο μια οικονομική απόφαση ([18]).

Επομένως, όταν πρόκειται για ευαίσθητο εξοπλισμό, η απόφαση του τελικού χρήστη πρέπει να ισορροπήσει ανάμεσα στο υψηλότερο τίμημα που πρέπει να καταβληθεί για μεγαλύτερη ατρωσία και τη δυνητική οικονομική ζημία που οφείλεται σε βλάβη ή δυσλειτουργία του λιγότερο ανθεκτικού εξοπλισμού λόγω βύθισης τάσης.

### **6.1.6 Περιγραφή του πλαισίου πραγματοποίησης των δοκιμών**

Οι δοκιμές που περιλαμβάνονται στο κεφάλαιο αυτό έχουν ως σκοπό την αξιολόγηση του επιπέδου ατρωσίας που παρουσιάζει ο υπό δοκιμή εξοπλισμός, όταν σε αυτόν εφαρμόζονται βυθίσεις τάσης. Ακόμη, ύστερα από επεξεργασία των αντίστοιχων αποτελεσμάτων, γίνεται προσπάθεια δημιουργίας των καμπυλών ατρωσίας έναντι βυθίσεων τάσης (ή καμπύλες ανοχής της τάσης) για τις μονάδες που δοκιμάστηκαν. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να αναφερθεί ότι για να θεωρηθεί πως το δοκίμιο δεν παρουσιάζει πια ατρωσία, θα πρέπει να πάψει να λειτουργεί κατά την εφαρμογή της βύθισης τάσης. Συνεπώς, ως κριτήριο χρησιμοποιήθηκε η ικανότητα λειτουργίας του υπό δοκιμή εξοπλισμού και όχι το επίπεδο απόδοσης αυτού. Κατά τη διάρκεια ορισμένων βυθίσεων τάσης, ο υπό δοκιμή εξοπλισμός παρουσίασε μειωμένη απόδοση κάτι τέτοιο θεωρήθηκε αποδεκτό στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Η ηλεκτρονικά ελεγχόμενη πηγή MX30-3Pi της California Instruments και το συνοδευτικό λογισμικό MXGUI χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να εκτελεστούν οι δοκιμές. Ειδικότερα, από το κεντρικό παράθυρο της εφαρμογής MXGUI επιλέχθηκε η λειτουργία “Transient List”.



Από το παράθυρο που προκύπτει (βλ. Σχήμα 6.7) γίνονται όλες οι απαραίτητες ρυθμίσεις προκειμένου να διεξαχθούν οι δοκιμές.

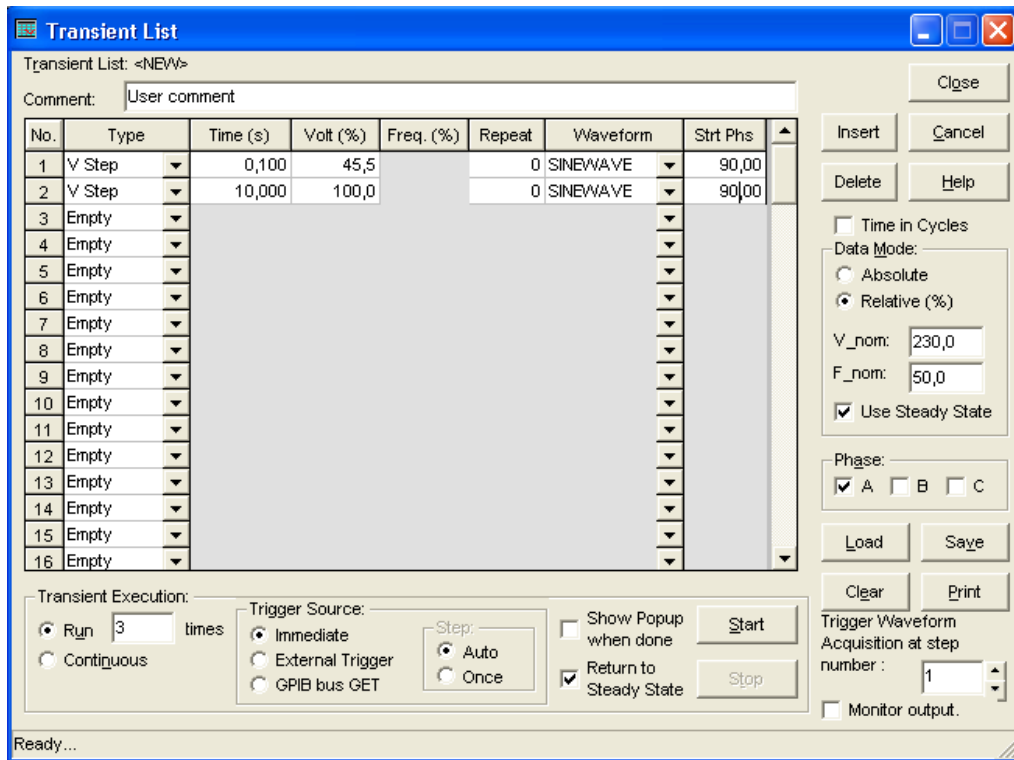
Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν είναι πέντε (5). Ειδικότερα, δοκιμάστηκαν τρεις (3) συσκευές καταναλωτικού τύπου: λαμπτήρας φθορισμού, ηλεκτρονικός υπολογιστής (H/Y) και οθόνη H/Y. Ακόμη, δοκιμάστηκαν ο μονοφασικός μετατροπέας AC/DC/AC και ο τριφασικός μετατροπέας AC/DC/AC του κεφαλαίου 5.

Με βάση τον Πίνακα 2.5, τα επίπεδα δοκιμών για εξοπλισμό Κλάσης 2 περιλαμβάνουν την εφαρμογή βύθισης τάσης διάρκειας μέχρι 25 κύκλους, ή 0.5 sec εφόσον πρόκειται για εξοπλισμό συχνότητας 50 Hz. Σε μια προσπάθεια σύμπλευσης με τις προδιαγραφές του προτύπου IEC 61000-4-11 ([7]) και δεδομένου ότι οι προδιαγραφές αυτές ανταποκρίνονται όσο το δυνατόν καλύτερα στις βυθίσεις που λαμβάνουν χώρα σε πραγματικά ηλεκτρικά δίκτυα, αποφασίστηκε πως οι δοκιμές του υποκεφαλαίου αυτού θα έπρεπε να περιοριστούν σε βυθίσεις τάσης διάρκειας μέχρι 1 sec. Με τον τρόπο αυτό διευρύνθηκε χρονικά η περιοχή εξέτασης του φαινομένου, ταυτόχρονα όμως διατηρήθηκε η φιλοσοφία του σχετικού προτύπου, κάτι που προσμετρείται θετικά όσον αφορά το επίπεδο αξιοπιστίας των δοκιμών και των αποτελεσμάτων αυτών. Επίσης, κάθε εφαρμοζόμενη βύθιση απέχει χρονικά από την προηγούμενη της τουλάχιστον 10 sec (κατ' αντιστοιχία με τις επίσημες δοκιμές που περιγράφονται στο εδάφιο 2.4.6).

Ακόμη, σε συνέχεια των παραπάνω, οι δοκιμές ακολουθούν τον εξής αλγόριθμο εκτέλεσης:

1. Αρχικά, για διάρκεια βύθισης 1 sec και ξεκινώντας από την ονομαστική τιμή τάσης ( $V_n$ ), μειώθηκε το επίπεδο της τάσης (βήμα μείωσης 0.1 %) μέχρι το δοκίμιο να τεθεί εκτός λειτουργίας.
2. Έπειτα μειώνεται η διάρκεια της βύθισης (βήμα μείωσης 10 msec) μέχρις ότου το δοκίμιο να μην τίθεται πια εκτός λειτουργίας. Εάν το δοκίμιο τίθεται εκτός λειτουργίας ακόμα και όταν η διάρκεια βύθισης γίνει ελάχιστη (= 10 msec), τότε ο αλγόριθμος μεταπηδά στο Βήμα 5.
3. Εφαρμόζεται η συγκεκριμένη βύθιση τάσης για άλλες δύο (2) φορές. Εφόσον το δοκίμιο ανταπεξέλθει ξανά, σημειώνεται το επίπεδο βύθισης της τάσης και η χρονική διάρκεια βύθισης που προκάλεσε σβήσιμο του εξοπλισμού για τελευταία φορά. Οι δύο αυτές τιμές αποτελούν ένα ζεύγος τιμών που ανήκει στην καμπύλη ατρωσίας τάσης του υπό δοκιμή εξοπλισμού. Εφόσον το δοκίμιο δεν ανταπεξέλθει συνολικά και τις τρεις (3) φορές, επιστρέφει ο αλγόριθμος στο βήμα 2.
4. Εν συνεχεία μειώνεται το επίπεδο τάσης κατά 0.1 %. Επιστροφή στο Βήμα 2.
5. Τέλος δοκιμής.

Η απαίτηση για παραμονή του δοκιμίου εντός λειτουργίας για τρεις (3) συνεχείς φορές βασίστηκε για άλλη μια φορά στην πρακτική που ακολουθείται στο εδάφιο 2.4.6.



Σχήμα 6.7 – Παράθυρο λειτουργίας “Transient List”

## 6.2 Δοκιμή λαμπτήρα φθορισμού

### 6.2.1 Εκτέλεση δοκιμής

Το δοκίμιο αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη:

- Δύο (2) λαμπτήρες φθορισμού μάρκας “OSRAM”, τύπου “L 36W/765”, χαρακτηρισμού “Cool Daylight”, ονομαστικής ισχύος 36 W, φωτεινότητας 2500 lm και διάρκειας ζωής 13000 h.
- Δύο (2) σταθεροποιητές έντασης (ballasts) μαγνητικού τύπου, μάρκας “SCHWABE”, ονομαστικής τάσης εισόδου 230 V, ονομαστικού ρεύματος εισόδου 0.43 A, συχνότητας 50 Hz, συντελεστή ισχύος εισόδου 0.48 επαγ., για σύνδεση με λαμπτήρα ισχύος 40 W (ο καθένας).
- Δύο (2) εκκινητές (starters) μάρκας “General Electric”.

Η εκτέλεση της δοκιμής βασίστηκε στον αλγόριθμο εκτέλεσης που περιγράφεται στο εδάφιο 6.1.6. Ως κριτήριο μη επίδειξης ατρωσίας του δοκιμίου θεωρήθηκε το σβήσιμο τουλάχιστον ενός εκ των δύο λαμπτήρων φθορισμού.

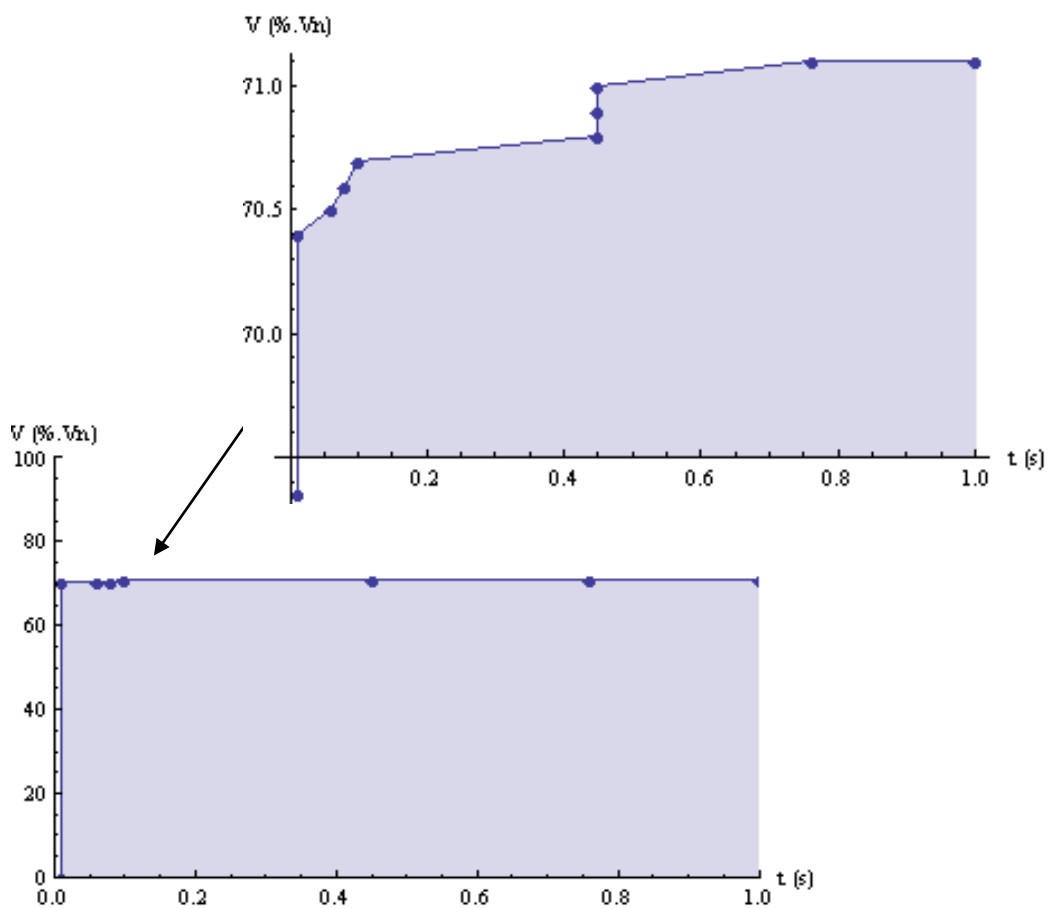
### 6.2.2 Αποτελέσματα δοκιμής

Τα ζεύγη σημείων που προέκυψαν από την εκτέλεση της δοκιμής (βλ. Πίνακα 6.1), ύστερα από επεξεργασία με χρήση του λογισμικού Wolfram Mathematica 7.0.0, οδήγησαν στην καμπύλη ατρωσίας έναντι βυθίσεων τάσης (ή καμπύλη ανοχής της τάσης) του Σχήματος 6.8. Οι βυθίσεις που χαρακτηρίζονται από ζεύγη τιμών (επίπεδο τάσης, διάρκεια) που ανήκουν

στην καμπύλη ή στην σκιασμένη περιοχή ανταποκρίνονται σε μη επίδειξη ατρωσίας του εξοπλισμού έναντι των αντίστοιχων βυθίσεων τάσης.

Υπόλοιπο τάσης κατά τη βύθιση (%· $V_n$ )	Ελάχιστη διάρκεια βύθισης για μη επίδειξη ατρωσίας (sec)
71.2	> 1.00
71.1	0.76
71.0	0.45
70.9	0.45
70.8	0.45
70.7	0.10
70.6	0.08
70.5	0.06
70.4	0.01

Πίνακας 6.1 - Σημεία καμπύλης ατρωσίας για λαμπτήρα φθορισμού



Σχήμα 6.8 – Καμπύλη ατρωσίας για λαμπτήρα φθορισμού ( $V_n = 230$  V)

### 6.3 Δοκιμή Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (H/Y)

#### 6.3.1 Εκτέλεση δοκιμής

Το δοκίμιο είναι ένας H/Y (PC) μάρκας “TOSHIBA”, τύπου “EQUIM E8000”, ονομαστικής τάσης εισόδου 200 - 240 V / 100 – 120 V, ονομαστικού ρεύματος εισόδου 3 A / 5A και συχνότητας 50 Hz / 60 Hz.

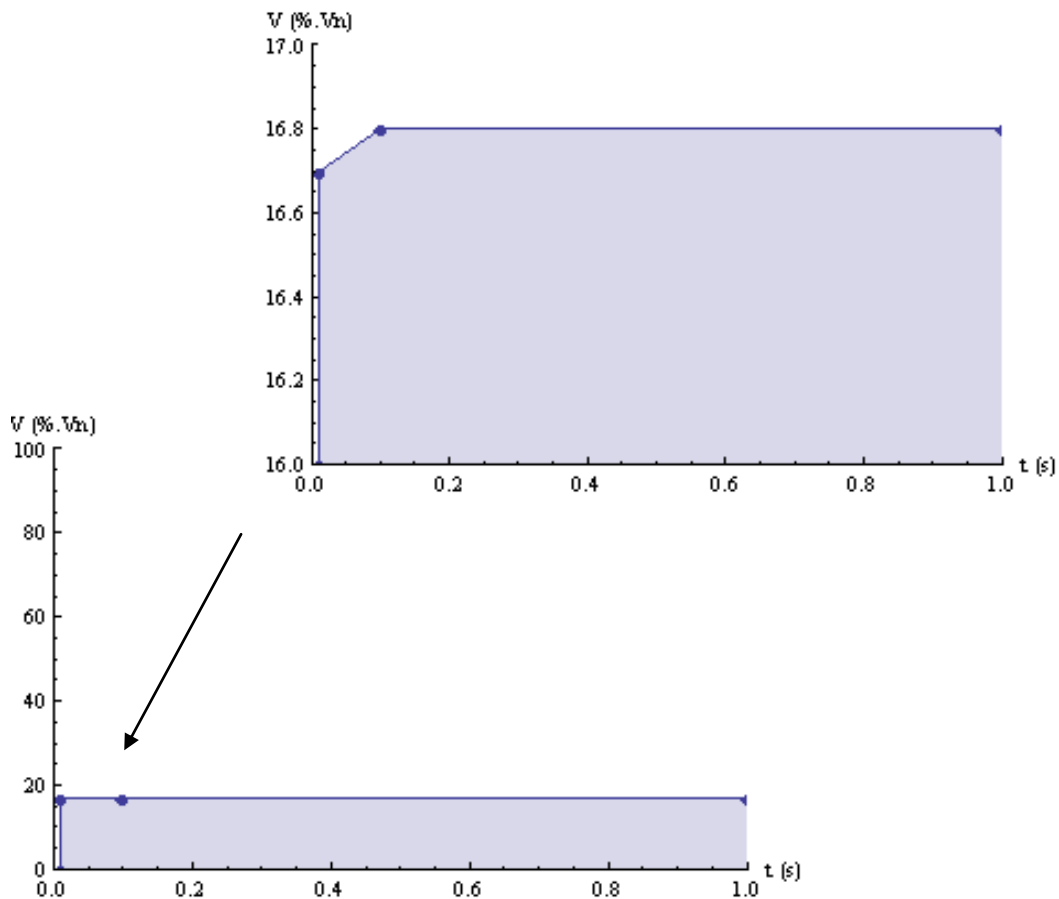
Η εκτέλεση της δοκιμής βασίστηκε στον αλγόριθμο εκτέλεσης που περιγράφεται στο εδάφιο 6.1.6. Η εφαρμογή των βυθίσεων τάσης έγινε ενώ ο υπολογιστής βρισκόταν σε κατάσταση αναμονής του λειτουργικού του συστήματος. Ως κριτήριο μη επίδειξης ατρωσίας του δοκιμίου θεωρήθηκε η επανεκκίνηση ή ο τερματισμός λειτουργίας του H/Y.

#### 6.3.2 Αποτελέσματα δοκιμής

Τα ζεύγη σημείων που προέκυψαν από την εκτέλεση της δοκιμής (βλ. Πίνακα 6.2), ύστερα από επεξεργασία με χρήση του λογισμικού Wolfram Mathematica 7.0.0, οδήγησαν στην καμπύλη ατρωσίας έναντι βυθίσεων τάσης (ή καμπύλη ανοχής της τάσης) του Σχήματος 6.9. Οι βυθίσεις που χαρακτηρίζονται από ζεύγη τιμών (επίπεδο τάσης, διάρκεια) που ανήκουν στην καμπύλη ή στην σκιασμένη περιοχή ανταποκρίνονται σε μη επίδειξη ατρωσίας του εξοπλισμού έναντι των αντίστοιχων βυθίσεων τάσης

Υπόλοιπο τάσης κατά τη βύθιση (%· $V_n$ )	Ελάχιστη διάρκεια βύθισης για μη επίδειξη ατρωσίας (sec)
16.9	> 1.00
16.8	0.10
16.7	0.01

Πίνακας 6.2 – Σημεία καμπύλης ατρωσίας για H/Y



Σχήμα 6.9 – Καμπύλη ατρωσίας για H/Y ( $V_n = 230\text{ V}$ )

## 6.4 Δοκιμή οθόνης H/Y

### 6.4.1 Εκτέλεση δοκιμής

Το δοκίμιο είναι μία οθόνη H/Y (monitor) μάρκας “TURBO-X”, τύπου “72AM”, ονομαστικής τάσης εισόδου 100 - 240 V, ονομαστικού ρεύματος εισόδου 1.1 A και συχνότητας 50 Hz.

Η εκτέλεση της δοκιμής βασίστηκε στον αλγόριθμο εκτέλεσης που περιγράφεται στο εδάφιο 6.1.6. Ως κριτήριο μη επίδειξης ατρωσίας του δοκιμίου θεωρήθηκε η επανεκκίνηση ή ο τερματισμός λειτουργίας της οθόνης ή πιθανή πρόκληση οπτικής όχλησης στο χρήστη (π.χ. λόγω έντονης παρουσίας τεχνουργημάτων ή γραμμών σάρωσης).

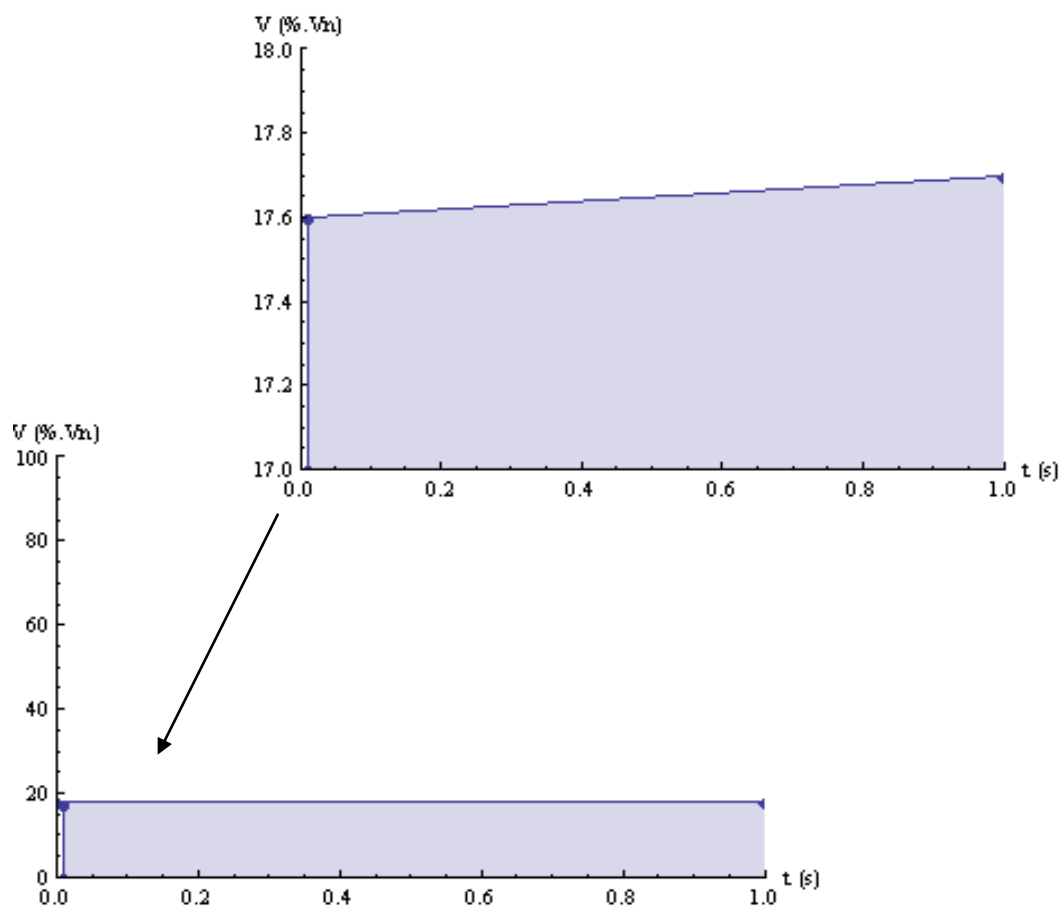
### 6.4.2 Αποτελέσματα δοκιμής

Τα ζεύγη σημείων που προέκυψαν από την εκτέλεση της δοκιμής (βλ. Πίνακα 6.3), ύστερα από επεξεργασία με χρήση του λογισμικού Wolfram Mathematica 7.0.0, οδήγησαν στην καμπύλη ατρωσίας έναντι βυθίσεων τάσης (ή καμπύλη ανοχής της τάσης) του Σχήματος 6.10. Οι βυθίσεις που χαρακτηρίζονται από ζεύγη τιμών (επίπεδο τάσης, διάρκεια) που ανήκουν

στην καμπύλη ή στην σκιασμένη περιοχή ανταποκρίνονται σε μη επίδειξη ατρωσίας του εξοπλισμού έναντι των αντίστοιχων βυθίσεων τάσης.

Υπόλοιπο τάσης κατά τη βύθιση (%· $V_n$ )	Ελάχιστη διάρκεια βύθισης για μη επίδειξη ατρωσίας (sec)
17.8	> 1.00
17.7	0.01

Πίνακας 6.3 – Σημεία καμπύλης ατρωσίας για οθόνη H/Y



Σχήμα 6.10 – Καμπύλη ατρωσίας για οθόνη H/Y ( $V_n = 230\text{ V}$ )

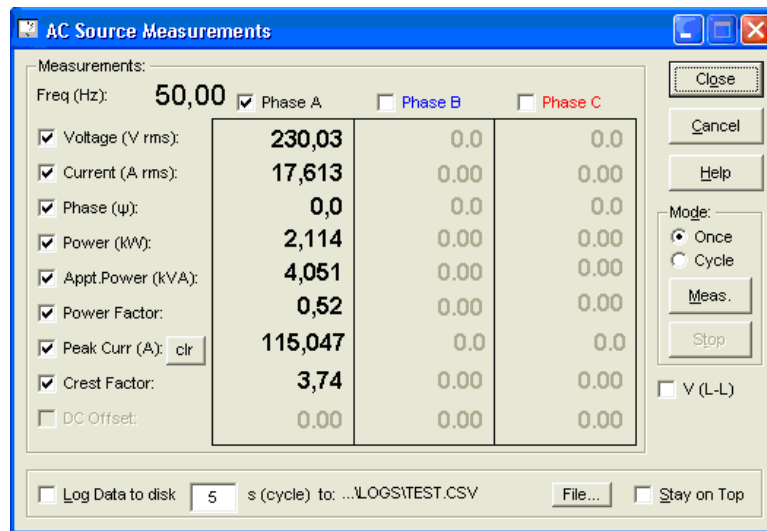
## 6.5 Δοκιμή μετατροπέα AC/DC/AC με μονοφασική είσοδο

### 6.5.1 Εκτέλεση δοκιμής

Το δοκίμιο είναι το μοντέλο αντιστροφέα γενικής χρήσης (general-purpose inverter) FR-A024-S2.2K-EC της εταιρείας Mitsubishi, που παρουσιάζεται στο εδάφιο 5.1.1. Τα χαρακτηριστικά του δοκιμίου δίνονται στον Πίνακα 5.1. Ο μετατροπέας κλήθηκε να οδηγήσει

(σε συνδεσμολογία Δ) τον ασύγχρονο τριφασικό κινητήρα του εδαφίου 5.1.1. Η παρούσα δοκιμή ολοκληρώθηκε σε δύο στάδια:

1. Αρχικά, η οδήγηση του κινητήρα έγινε με τον τελευταίο να βρίσκεται υπό ονομαστική φόρτιση. Η τάση εξόδου (πολική) του μετατροπέα μετρήθηκε 221 V, το ρεύμα εξόδου (γραμμής) μετρήθηκε 6.75 A και ο συντελεστής ισχύος βρέθηκε 0.80 επαγωγικός. Τα παραπάνω δεδομένα δείχνουν ενεργό 3Φ ισχύ εξόδου στα  $\sqrt{3} \cdot 221V \cdot 6.75A \cdot 0.80 = 2067W$ . Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα μετρήθηκε στις 1421 rpm. Οι μετρήσεις που αφορούν στην είσοδο του μετατροπέα φαίνονται στο Σχήμα 6.10.
2. Στη συνέχεια, η φόρτιση του κινητήρα ρυθμίστηκε έτσι ώστε η ισχύς εξόδου του μετατροπέα να είναι η μισή απ' ότι πριν. Η τάση εξόδου (πολική) του μετατροπέα μετρήθηκε 227 V, το ρεύμα εξόδου (γραμμής) μετρήθηκε 5.6 A και ο συντελεστής ισχύος βρέθηκε 0.47 επαγωγικός. Τα παραπάνω δεδομένα δείχνουν ενεργό 3Φ ισχύ εξόδου στα  $\sqrt{3} \cdot 227V \cdot 5.6A \cdot 0.47 = 1034W$ . Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα μετρήθηκε στις 1476 rpm.



Σχήμα 6.10 - Μετρήσεις εισόδου του δοκιμίου

Η εκτέλεση της δοκιμής βασίστηκε στον αλγόριθμο εκτέλεσης που περιγράφεται στο εδάφιο 6.1.6. Ως κριτήριο μη επίδειξης ατρωσίας του δοκιμίου θεωρήθηκε η επανεκκίνηση ή ο τερματισμός λειτουργίας του.

## 6.5.2 Αποτελέσματα δοκιμής

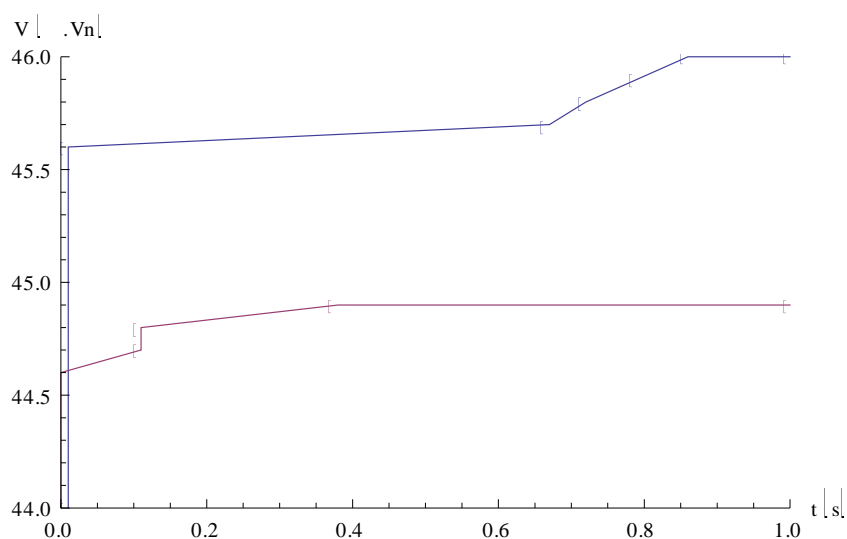
Τα ζεύγη σημείων που προέκυψαν από την εκτέλεση της δοκιμής (βλ. Πίνακες 6.4 και 6.5), ύστερα από επεξεργασία με χρήση του λογισμικού Wolfram Mathematica 7.0.0, οδήγησαν στις καμπύλες ατρωσίας έναντι βυθίσεων τάσης (ή καμπύλες ανοχής της τάσης) του Σχήματος 6.11. Οι βυθίσεις που χαρακτηρίζονται από ζεύγη τιμών (επίπεδο τάσης, διάρκεια) που ανήκουν στην καμπύλη ή κάτω από αυτή ανταποκρίνονται σε μη επίδειξη ατρωσίας του εξοπλισμού έναντι των αντίστοιχων βυθίσεων τάσης.

Υπόλοιπο τάσης κατά τη βύθιση (%· $V_n$ )	Ελάχιστη διάρκεια βύθισης για μη επίδειξη ατρωσίας (sec)
46.1	> 1.00
46.0	0.86
45.9	0.79
45.8	0.72
45.7	0.67
45.6	0.01

Πίνακας 6.4 – Σημεία καμπυλών ατρωσίας για μετατροπέα AC/DC/AC με 1Φ είσοδο ( $P_{out,inv} = 2067$  W)

Υπόλοιπο τάσης κατά τη βύθιση (%· $V_n$ )	Ελάχιστη διάρκεια βύθισης για μη επίδειξη ατρωσίας (sec)
45.0	> 1.00
44.9	0.38
44.8	0.11
44.7	0.11
44.6	0.01

Πίνακας 6.5 – Σημεία καμπυλών ατρωσίας για μετατροπέα AC/DC/AC με 1Φ είσοδο ( $P_{out,inv} = 1034$  W)



Σχήμα 6.11 – Καμπύλες ατρωσίας για μετατροπέα AC/DC/AC με 1Φ είσοδο ( $V_n = 230$  V)



## 6.6 Δοκιμή μετατροπέα AC/DC/AC με τριφασική είσοδο

### 6.6.1 Εκτέλεση δοκιμής

Το δοκίμιο είναι το μοντέλο μετατροπέα AC/DC/AC ALTIVAR 5 ATV45-U30 της εταιρείας Telemecanique, που παρουσιάζεται στο εδάφιο 5.1.2. Τα χαρακτηριστικά του δοκιμίου δίνονται στον Πίνακα 5.2. Ο μετατροπέας κλήθηκε να οδηγήσει (σε συνδεσμολογία Y) τον ασύγχρονο τριφασικό κινητήρα του εδαφίου 5.1.1, με τον τελευταίο να λειτουργεί υπό ονομαστική φόρτιση.

Ειδικότερα, η τάση εξόδου (πολική) του μετατροπέα μετρήθηκε 380 V, το ρεύμα εξόδου (γραμμής) μετρήθηκε 3.9 A, ο συντελεστής ισχύος βρέθηκε 0.80 επαγωγικός και η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα 1421 rpm. Τα παραπάνω δεδομένα δείχνουν ενεργό 3Φ ισχύ εξόδου του μετατροπέα στα  $\sqrt{3} \cdot 380V \cdot 3.9A \cdot 0.80 = 2054W$ . Οι μετρήσεις που αφορούν στην είσοδο του μετατροπέα φαίνονται στο Σχήμα 5.15.

Πρέπει να αναφερθεί πως για την παρούσα δοκιμή ακολουθήθηκαν οι προδιαγραφές της IEC που αφορούν βυθίσεις τάσης. Ειδικότερα, σύμφωνα με το εδάφιο 2.4.6, για τη δοκιμή βύθισης τάσης σε τριφασικό εξοπλισμό χωρίς ουδέτερο, κάθε πολική τάση θα πρέπει να ελέγχεται μεμονωμένα. Αυτό εφαρμόστηκε στην παρούσα δοκιμή, καθώς οι βυθίσεις τάσης εφαρμόστηκαν μόνο στη φάση A, με τις φάσεις B και Γ να μένουν ανεπηρέαστες.

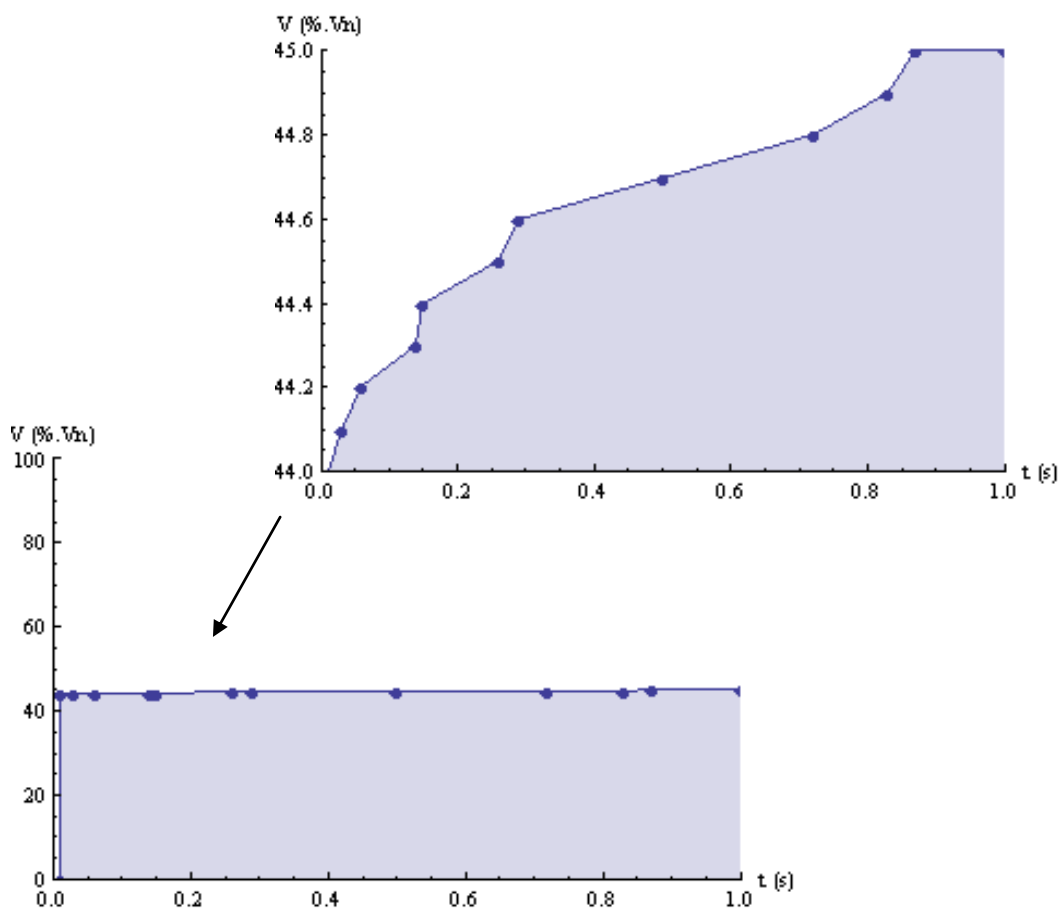
Η εκτέλεση της δοκιμής βασίστηκε στον αλγόριθμο εκτέλεσης που περιγράφεται στο εδάφιο 6.1.6. Ως κριτήριο μη επίδειξης ατρωσίας του δοκιμίου θεωρήθηκε η επανεκκίνηση ή ο τερματισμός λειτουργίας του.

### 6.6.2 Αποτελέσματα δοκιμής

Τα ζεύγη σημείων που προέκυψαν από την εκτέλεση της δοκιμής, ύστερα από επεξεργασία με χρήση του λογισμικού Wolfram Mathematica 7.0.0 (βλ. Πίνακα 6.6), οδήγησαν στην καμπύλη ατρωσίας έναντι βυθίσεων τάσης (ή καμπύλη ανοχής της τάσης) του Σχήματος 6.12. Οι βυθίσεις που χαρακτηρίζονται από ζεύγη τιμών (επίπεδο τάσης, διάρκεια) που ανήκουν στην καμπύλη ή στην σκιασμένη περιοχή ανταποκρίνονται σε μη επίδειξη ατρωσίας του εξοπλισμού έναντι των αντίστοιχων βυθίσεων τάσης.

Υπόλοιπο τάσης κατά τη βύθιση (%· $V_n$ )	Ελάχιστη διάρκεια βύθισης για μη επίδειξη ατρωσίας (sec)
45.1	> 1.00
45.0	0.87
44.9	0.83
44.8	0.72
44.7	0.50
44.6	0.29
44.5	0.26
44.4	0.15
44.3	0.14
44.2	0.06
44.1	0.03
44.0	0.01

Πίνακας 6.6 – Σημεία καμπύλης ατρωσίας για μετατροπέα AC/DC/AC με 3Φ είσοδο



Σχήμα 6.12 – Καμπύλη ατρωσίας για μετατροπέα AC/DC/AC με 3Φ είσοδο

## 6.7 Παρατηρήσεις

Παρακάτω ακολουθούν ορισμένες παρατηρήσεις σχετικά με την εκτέλεση και τα αποτελέσματα των δοκιμών του κεφαλαίου 6.

### 6.7.1 Λαμπτήρας φθορισμού

Αναφορικά με τις μετρήσεις που έγιναν στους λαμπτήρες φθορισμού (βλ. υποκεφάλαιο 6.2), πρέπει να αναφερθεί πως οι βυθίσεις που αντιστοιχούν στα σημεία του Σχήματος 6.8 που βρίσκονται επάνω από την καμπύλη ατρωσίας είχαν ως αποτέλεσμα την μείωση της φωτεινότητας των λαμπτήρων. Φυσικά, τα υπόλοιπα σημεία είχαν ως αποτέλεσμα το σβήσιμο του ενός εκ των δύο λαμπτήρων που μετείχαν στη δοκιμή. Κάτι τέτοιο αποδεικνύει ότι μπορεί να υπάρξουν διαφορές στη συμπεριφορά του εξοπλισμού, ακόμη και εάν πρόκειται για το ίδιο μοντέλο.

### 6.7.2 Ηλεκτρονικός Υπολογιστής

Οι μετρήσεις που αφορούν τον Ηλεκτρονικό Υπολογιστή (βλ. υποκεφάλαιο 6.3) είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ιδιαίτερα απότομης καμπύλης ατρωσίας (βλ. Σχήμα 6.9), κάτι που αποτελεί δείγμα της «ηλεκτρονικής φύσης» του δοκιμίου.

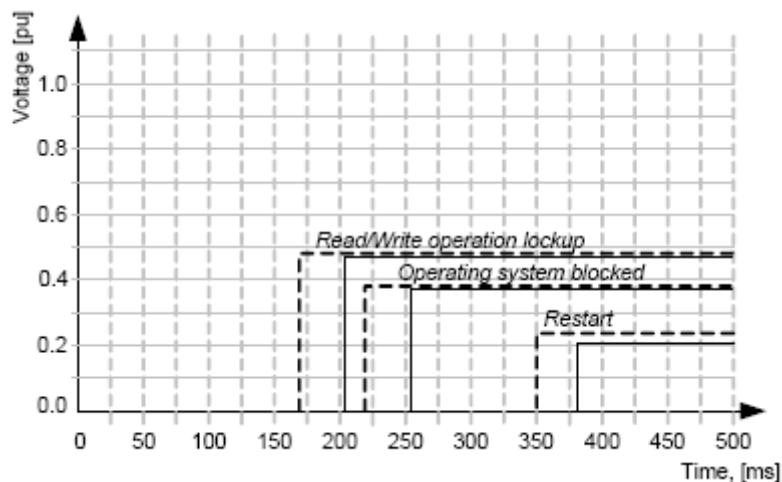
Όπως στις υπόλοιπες δοκιμές του κεφαλαίου αυτού, έτσι και στις δοκιμές αυτές αποφασίστηκε η τιμή της ονομαστικής φασικής τάσης να είναι  $V_n=230\text{ V}$ , με το σκεπτικό ότι αυτή ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα του ηλεκτρικού δικτύου της Ελλάδας. Από την άλλα μεριά, σύμφωνα με την επίσημη άποψη της IEC (βλ. εδάφιο 2.4.3), ως ονομαστική τάση των δοκιμών πρέπει να θεωρηθεί η κατώτατη τάση που δηλώνεται στο φάσμα ονομαστικής τάσης του εξοπλισμού (στην περίπτωσή μας είναι τα 100 V). Σε μια τέτοια περίπτωση, αναμένεται διαφορετική καμπύλη ατρωσίας, σύμφωνα με το εδάφιο 6.1.4.

Παρακάτω ακολουθούν γενικότερες πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του H/Y και τη συμπεριφορά που αυτός επιδεικνύει όταν εφαρμόζονται σε αυτόν βυθίσεις τάσης ([20]).

Τα τροφοδοτικά των H/Y συνήθως ενσωματώνουν AC/DC μετατροπέα. Η εναλλασσόμενη τάση ανορθώνεται με τη βοήθεια ενός ανορθωτή διόδων, ενώ στο DC τμήμα χρησιμοποιείται πυκνωτής εξομάλυνσης για τη μείωση της κυμάτωσης της ανορθωμένης τάσης. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, ο πυκνωτής έχει αποθηκευμένη ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια μιας βύθισης τάσης. Το στάδιο της ανόρθωσης ακολουθείται από μετατροπέα DC/DC διακοπτικού τύπου, παρέχοντας σταθερή DC τάση, μικρού μέτρου. Επίσης, στην είσοδο συναντάται το κύκλωμα διόρθωσης του συντελεστή ισχύος, το οποίο ρυθμίζει το ρεύμα εισόδου ώστε να είναι ημιτονοειδούς μορφής και στη φάση με τάση εισόδου. Οι περισσότεροι υπολογιστές σχεδιάζονται για να λειτουργούν σε ηλεκτρικά δίκτυα 230 V / 50 Hz και / ή 120 V / 60 Hz.

Τυπικά, η ευαισθησία των προσωπικών υπολογιστών απέναντι σε βυθίσεις τάσης εκφράζεται με μια ενιαία καμπύλη ανοχής της τάσης, που αντιστοιχεί στο κριτήριο επανεκκίνησης. Αυτή η καμπύλη δείχνει ότι μια βύθιση τάσης διάρκειας μεγαλύτερης από την καθορισμένη και βαθύτερη από το καθορισμένο εύρος τάσης, θα οδηγήσει σε επανεκκίνηση του υπολογιστή.

Ωστόσο, δοκιμές έχουν δείξει ότι μια βύθιση τάσης μπορεί να προκαλέσει τη διακοπή ορισμένων από τις εργασίες που εκτελούνται από τον υπολογιστή χωρίς επανεκκίνηση του υπολογιστή [29]. Έτσι, δύο επιπλέον κριτήρια δυσλειτουργίας που ενδεχομένως θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στις δοκιμές είναι: α) κριτήριο αποτυχημένης ανάγνωσης / εγγραφής της μνήμης και β) κριτήριο μη ανταπόκρισης του λειτουργικού συστήματος. Εφαρμογή των δύο αυτών πρόσθετων κριτηρίων αναμένεται να οδηγήσουν σε διαφορετικές καμπύλες ανοχής της τάσης, δείχνοντας μεγαλύτερη ευαισθησία σε βυθίσεις τάσης από ότι στην περίπτωση του κριτηρίου επανεκκίνησης. Τέτοιες διαφορετικές καμπύλες ατρωσίας φαίνονται στο Σχήμα 6.13. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί πως, ανάλογα με το φόρτο εργασίας που ανατίθεται σε έναν υπολογιστή, προκύπτουν διαφορετικές καμπύλες ατρωσίας, κατά πάσα πιθανότητα μεταξύ εκείνων του Σχήματος 6.13.



Σχήμα 6.13 – Καμπύλες ανοχής της τάσης για H/Y με τροφοδοτικό διακοπτικού τύπου: τρία διαφορετικά κριτήρια δυσλειτουργίας και δύο διαφορετικές τάσεις τροφοδοσίας (230 V / 50 Hz, συνεχής καμπύλη, 110 V / 60 Hz, διακεκομμένη καμπύλη) [20]

Τέλος, κατά το στάδιο αποκατάστασης της τάσης, ο πυκνωτής της μονάδας του τροφοδοτικού επαναφορτίζεται γρήγορα μέσω του ανορθωτή διόδων. Το υψηλό μεταβατικό ρεύμα εισόδου καταπονεί τις διόδους του ανορθωτή και τα άλλα κυκλώματα, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία υλικού ή ενεργοποίηση των συστημάτων προστασίας της μονάδας του τροφοδοτικού. Αν είναι πολλοί υπολογιστές συνδεδεμένοι στην ίδια γραμμή τροφοδοσίας, η άθροιση των επιμέρους ρευμάτων μπορεί να ενεργοποιήσει την ασφάλεια ή τον αυτόματο διακόπτη της γραμμής.

### 6.7.3 Οθόνη H/Y

Οι μετρήσεις που αφορούν την οθόνη H/Y (βλ. υποκεφάλαιο 6.4) είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ιδιαίτερα απότομης καμπύλης ατρωσίας (βλ. Σχήμα 6.10), κάτι που αποτελεί δείγμα της «ηλεκτρονικής φύσης» του δοκιμίου. Παρόμοια συμπεριφορά εντοπίζεται στο εδάφιο 6.7.2.

Όπως στις υπόλοιπες δοκιμές του κεφαλαίου αυτού, έτσι και στις δοκιμές αυτές αποφασίστηκε η τιμή της ονομαστικής φασικής τάσης να είναι  $V_n=230\text{ V}$ , με το σκεπτικό ότι αυτή ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα του ηλεκτρικού δικτύου της Ελλάδας. Από την

άλλα μεριά, σύμφωνα με την επίσημη άποψη της IEC (βλ. εδάφιο 2.4.3), ως ονομαστική τάση των δοκιμών πρέπει να θεωρηθεί η κατώτατη τάση που δηλώνεται στο φάσμα ονομαστικής τάσης του εξοπλισμού (στην περίπτωσή μας είναι τα 100 V). Σε μια τέτοια περίπτωση, αναμένεται διαφορετική καμπύλη ατρωσίας, σύμφωνα με το εδάφιο 6.1.4.

#### 6.7.4 Μετατροπές AC/DC/AC με μονοφασική είσοδο

Οι μετρήσεις που αφορούν στον μετατροπέα AC/DC/AC με μονοφασική είσοδο (βλ. υποκεφάλαιο 6.5) χωρίζονται σε δύο κύρια τμήματα. Αρχικά, ο μετατροπέας κλήθηκε να οδηγήσει τον κινητήρα υπό πλήρες φορτίο, ενώ στη συνέχεια ο τελευταίος ρυθμίστηκε έτσι ώστε ο μετατροπέας να μειώσει την ενεργό ισχύ εξόδου του στο μισό. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία των δύο καμπυλών ατρωσίας του Σχήματος 6.11. Όπως ήταν αναμενόμενο, ο μετατροπέας επέδειξε μεγαλύτερη αντοχή ενάντια στις βυθίσεις τάσης όταν κλήθηκε να οδηγήσει χαμηλότερο φορτίο. Όπως όμως γίνεται εύκολα αντιληπτό, οι δύο καμπύλες του Σχήματος 6.11 δεν παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ τους.

Ακόμη, να αναφερθεί πως οι βυθίσεις που αντιστοιχούν στα σημεία του Σχήματος 6.11 που βρίσκονται επάνω από τις καμπύλες ατρωσίας είχαν αρνητική επίδραση στη λειτουργία του συστήματος μετατροπέα-κινητήρα, κατ' αντιστοιχία με τις ήδη διατυπωμένες παρατηρήσεις του εδαφίου 5.4.5.

Παρακάτω ακολουθούν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του μετατροπέα AC/DC/AC και τη συμπεριφορά που αυτός επιδεικνύει όταν εφαρμόζονται σε αυτόν βυθίσεις τάσης ([19]).

Μετά την έναρξη της βύθισης τάσης, οι πυκνωτές στο DC κομμάτι του ανορθωτή αποφορτίζονται όσο το πλάτος της τάσης τροφοδοσίας είναι χαμηλότερο από την τάση του ζυγού DC,  $U_{dc}$ . Ο ρυθμός μείωσης της τάσης εξαρτάται από το επίπεδο φόρτισης του μετατροπέα. Αν η  $U_{dc}$  πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο, τότε ενεργοποιείται η προστασία υπότασης της συσκευής. Συνεπώς, αυτό που έχει σημασία για την απόδοση του μετατροπέα απέναντι στις βυθίσεις τάσης δεν είναι η ενεργός τιμή της προ-βύθισης τάσης, αλλά μέγιστη τιμή της (αυτή καθορίζει το επίπεδο φόρτισης των πυκνωτών στο DC κομμάτι).

Επίπτωση στην ατρωσία του μετατροπέα έχει και το επίπεδο αρμονικής παραμόρφωσης της AC τάσης εισόδου. Επίσης, σε γενικές γραμμές, η μείωση του φορτίου θα βελτιώσει το επίπεδο ατρωσίας του μετατροπέα. Κάτι τέτοιο επιβεβαιώνεται και από τη δοκιμή του υποκεφαλαίου 6.5.

Τέλος, για ένα μετατροπέα με γραμμικό έλεγχο  $V / f$  (για τις ανάγκες των δοκιμών της παρούσας εργασίας, ο Mitsubishi FR-A024-S2.2K-EC ρυθμίστηκε για λειτουργία με φορτίου σταθερής ροπής, άρα με γραμμικό έλεγχο  $V / f$ ), η μείωση της  $U_{dc}$  που οφείλεται σε μια βύθιση δεν αντισταθμίζεται και, κατά συνέπεια, η εφαρμοζόμενη στον κινητήρα τάση μειώνεται και ο κινητήρας αναπτύσσει χαμηλότερη ροπή. Αν ο μετατροπέας χρησιμοποιείται σε ανοιχτό βρόχο, η ταχύτητα του κινητήρα δε θα διορθωθεί με αύξηση της συχνότητας εξόδου του μετατροπέα. Μετά το πέρας της βύθισης, η αποκατάσταση της τάσης τροφοδοσίας και η επαναφόρτισης των πυκνωτών του ζυγού DC καταλήγουν σε υψηλό ρεύμα. Αυτό το υψηλό μεταβατικό ρεύμα εισόδου μπορεί να ενεργοποιήσει την προστασία υπέρεντασης της γραμμής ή ακόμα και να βλάψει τα στοιχεία του ανορθωτή. Από την πλευρά του κινητήρα, αυτό προκαλεί ένα υψηλό ρεύμα επιτάχυνσης (reacceleration current), παρόμοια με αυτό ενός

κινητήρα απ' ευθείας συνδεδεμένου στο δίκτυο. Το ρεύμα αυτό μπορεί να ενεργοποιήσει την προστασία του μετατροπέα για υπερένταση κινητήρα.

### **6.7.5 Μετατροπέας AC/DC/AC με τριφασική είσοδο**

Και για τον μετατροπέα AC/DC/AC με τριφασική είσοδο (βλ. υποκεφάλαιο 6.6), οι βυθίσεις που αντιστοιχούν στα σημεία του Σχήματος 6.12 που βρίσκονται επάνω από τις καμπύλες ατρωσίας είχαν αρνητική επίδραση στη λειτουργία του συστήματος μετατροπέα-κινητήρα, κατ' αντιστοιχία με τις ήδη διατυπωμένες παρατηρήσεις του εδαφίου 5.4.5. Τέλος, η καμπύλη ανοχής της τάσης του Σχήματος 6.12 προέκυψε αρκετά ομαλή, συγκριτικά με αυτές των υπόλοιπων δοκιμίων.

Σε συνέχεια των παρατηρήσεων του εδαφίου 6.7.4, οι οποίες βρίσκουν εφαρμογή και 3Φ μετατροπείς Ac/DC/AC, κρίνεται σημαντικό το γεγονός ότι στην περίπτωση ασύμμετρης μείωσης της τάσης των τριών φάσεων (δηλαδή όχι ίδια μείωση και στις τρεις φάσεις), διαφορετικά ρεύματα και ισχείς ρέουν μέσω των έξι διόδων ενός πλήρους ανορθωτή γέφυρας. Υπό αυτές τις συνθήκες, σε μερικούς μετατροπείς ενεργοποιείται η προστασία «απώλειας φάσης» μετά από μερικές εκατοντάδες msec ([19]).

## 7 Συμπεράσματα

---

Δεδομένης της ευρύτητας και της σημασίας που παρουσιάζει το αντικείμενο της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC), η παρούσα διπλωματική εργασία δίνει τη δυνατότητα στον αναγνώστη να γνωρίσει, να κατανοήσει και έπειτα να εφαρμόσει, ορισμένα πρότυπα IEC που αφορούν σε φαινόμενα ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών χαμηλής συχνότητας. Ειδικότερα, το πλαίσιο της εργασίας περιλαμβάνει τα φαινόμενα εκπομπής αρμονικών συνιστωσών ρεύματος (σχετικό πρότυπο IEC 61000-3-2) και εκπομπών flicker (IEC 61000-3-3). Ακόμη, μελετάται η ατρωσία (immunity) του εξοπλισμού απέναντι σε φαινόμενα βυθίσεων και διακοπών τάσης (IEC 61000-4-11), εκπομπής αρμονικών και διαρμονικών (IEC 61000-4-13), διακυμάνσεων τάσης (IEC 61000-4-14), ασυμμετρίας τάσης (61000-4-27) και διακυμάνσεων συχνότητας (IEC 61000-4-28). Τα παραπάνω αφορούν εξοπλισμό AC με ρεύμα εισόδου  $\leq 16$  A ανά φάση. Σχετικά με εξοπλισμό DC, το πρότυπο IEC 61000-4-17 αναφέρεται στο φαινόμενο κυμάτωσης της τάσης εισόδου, ενώ το πρότυπο IEC 61000-4-29 μελετά τα φαινόμενα βυθίσεων, σύντομων διακοπών και διακυμάνσεων τάσης για DC ηλεκτρικά δίκτυα.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η αναλυτική παρουσίαση και περιγραφή της ηλεκτρονικά ελεγχόμενης AC/DC πηγής MX30-3Pi της California Instruments. Η πηγή αυτή βρίσκεται στο χώρο του Εργαστηρίου Ηλεκτρικών Μηχανών και Ηλεκτρονικών ισχύος της Σχολής της σχολής. Έτσι, βασιζόμενος στο αντίστοιχο κεφάλαιο της εργασίας, ο ενδιαφερόμενος αποκτά άμεσα τη δυνατότητα λειτουργίας της πηγής. Ο προγραμματισμός ενός μεγάλου αριθμού παραμέτρων της, όπως και η εύκολη διαδικασία λήψης μετρήσεων, καθιστούν την πηγή ιδιαίτερα χρήσιμη για διάφορες εφαρμογές του εργαστηρίου (π.χ. εφαρμογές με χρήση συστημάτων ηλεκτρικής κίνησης).

Επιπρόσθετα, με την εγκατάσταση ειδικού προαιρετικού εξοπλισμού, η παραπάνω ελεγχόμενη πηγή αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου συστήματος πραγματοποίησης δοκιμών συμβατότητας κατά IEC. Πρόκειται για το σύστημα MX30-3Pi-CTSL. Το σύστημα επιτρέπει στο χρήστη τη διεξαγωγή δοκιμών για τα εννέα (9) πρότυπα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Παράγονται αυτοματοποιημένες εφαρμογές (reports) για κάθε τύπο δοκιμής, παρέχοντας πληροφόρηση σχετικά με τις επιδόσεις, τη συμπεριφορά και την τελική διάκριση του υπό δοκιμή εξοπλισμού. Το γεγονός ότι ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει την τιμή πληθώρας παραμέτρων που σχετίζονται με τις προδιαγραφές και τα όρια των IEC προτύπων, εξασφαλίζει τη μελλοντική ικανότητα του συστήματος δοκιμών να εκτελεί δοκιμές συμβατότητας (είναι γνωστή η τακτική της IEC να τροποποιεί ορισμένα πρότυπα εάν κριθεί αναγκαίο).

Το πειραματικό κομμάτι της εργασίας περιέχει αρχικά την εκτέλεση έξι (6) δοκιμών σε μονοφασικό μετατροπέα AC/DC/AC και μίας (1) δοκιμής σε τριφασικό μετατροπέα AC/DC/AC. Δίνονται σαφείς οδηγίες για την εκτέλεσή τους, ενώ παρατίθεται αυτούσιες οι αναφορές δοκιμών (reports). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον αναγνώστη εκτιμάται ότι παρουσιάζει, μεταξύ άλλων, το σκέλος των δοκιμών που αφορούν στην εφαρμογή βυθίσεων τάσης στο σύστημα 1Φ μετατροπέα–κινητήρα επαγωγής και το σκέλος των δοκιμών που αφορούν στην εφαρμογή 3Φ ασύμμετρης τάσης στο σύστημα 3Φ μετατροπέα–κινητήρα. Η ανάλυση της συμπεριφοράς των δοκιμών συνοδεύεται από μετρήσεις διαφόρων ηλεκτρικών

μεγεθών εισόδου και εξόδου, εκ των οποίων κάποιες ήταν αναμενόμενες και κάποιες όχι (όπως το γεγονός ότι η αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος εισόδου των μετατροπέων βρέθηκε χαμηλότερη κατά την εφαρμογή των ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών, παρά κατά τη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας τους).

Το πειραματικό κομμάτι της εργασίας καταλήγει με μια περισσότερο λεπτομερή μελέτη του φαινομένου της βύθισης τάσης. Για τον ενδιαφερόμενο, χρήσιμη χαρακτηρίζεται η παρουσίαση των κυριότερων τύπων βύθισης τάσης, καθώς και των διαφόρων παραμέτρων που επηρεάζουν το επίπεδο ατρωσίας που εμφανίζει ένα δοκίμιο όταν υπόκειται σε βυθίσεις τάσης. Έγιναν δοκιμές και σε καταναλωτικό εξοπλισμό (π.χ. Η/Υ). Ακόμη, κάποιος μπορεί να έρθει σε μια πρώτη επαφή με τις καμπύλες ατρωσίας έναντι βυθίσεων τάσης (ή καμπύλες ανοχής της τάσης) για έναν αριθμό διαφορετικών συσκευών.

Τέλος, με κατάλληλη αναβάθμιση (προσθήκη προαιρετικής επιλογής –SNK), η πηγή αποκτά τη δυνατότητα απορρόφησης ρεύματος από το δοκίμιο. Επεκτείνεται έτσι το πεδίο χρήσης του συστήματος δοκιμών και κάποιος, βασιζόμενος στα πεπραγμένα της παρούσας εργασίας, μπορεί να ασχοληθεί με τη δοκιμή προϊόντων που τροφοδοτούν το ηλεκτρικό δίκτυο με ενέργεια (προϊόντα για εφαρμογές ΑΠΕ), όπως αντιστροφείς για εφαρμογές ανεμογεννητριών ή / και φωτοβολταϊκών. Επιπρόσθετα, με κατάλληλη διαμόρφωση του εργαστηρίου όπου έχει εγκατασταθεί η πηγή (σε επίπεδο προσωπικού, διοικητικό και χωροταξικό), το Εργαστήριο Ηλεκτρικών Μηχανών και Ηλεκτρονικών Ισχύος μπορεί μελλοντικά να παίξει το ρόλο ενός κέντρου διεξαγωγής δοκιμών πιστοποίησης ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας.



# Αναφορές

---

## Στην ελληνική γλώσσα

- [1] Σ. Παπαθανασίου, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Σημειώσεις Παραδόσεων*, αυτοέκδοση, 2008.
- [2] Σ.Ν. Μανιάς, *Ηλεκτρονικά Ισχύος*, Εκδόσεις Συμεών, 2007.
- [3] Π. Μαλατέστας, Σ. Μανιάς, *Ηλεκτρική Κίνηση*, 2<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2008.
- [4] Β.Κ. Παπαδιάς, *Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας*, Τόμος II: *Ασύμμετρες και Μεταβατικές Καταστάσεις*, αυτοέκδοση, 1993.

## Ξενόγλωσσες

- [5] Electromagnetic compatibility (EMC), Part 3: Limits, Section 2: Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16$  A per phase), IEC Standard 61000-3-2 ed3.0, International Electrotechnical Commission, 2008-03.
- [6] Electromagnetic compatibility (EMC), Part 3: Limits, Section 3: Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current  $\leq 16$  A per phase and not subject to conditional connection, IEC Standard 61000-3-3 ed2.0, International Electrotechnical Commission, 2008-06.
- [7] Electromagnetic compatibility (EMC), Part 4: Testing and measurement techniques, Section 11: Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests, IEC Standard 61000-4-11 ed2.0, International Electrotechnical Commission, 2004-03.
- [8] Electromagnetic compatibility (EMC), Part 4: Testing and measurement techniques, Section 13: Harmonics and interharmonics including mains signaling at a.c. power port, low frequency immunity tests, IEC Standard 61000-4-13 ed1.0, International Electrotechnical Commission, 2002-03.
- [9] Electromagnetic compatibility (EMC), Part 4: Testing and measurement techniques, Section 14: Voltage fluctuation immunity test, IEC Standard 61000-4-14 ed1.1, International Electrotechnical Commission, 2002-07.
- [10] Electromagnetic compatibility (EMC), Part 4: Testing and measurement techniques, Section 17: Ripple on d.c. input power port immunity test, IEC Standard 61000-4-17 ed1.1, International Electrotechnical Commission, 2002-07.
- [11] Electromagnetic compatibility (EMC), Part 4: Testing and measurement techniques, Section 27: Unbalance, immunity test, IEC Standard 61000-4-27 ed1.0, International Electrotechnical Commission, 2000-08.
- [12] Electromagnetic compatibility (EMC), Part 4: Testing and measurement techniques, Section 28: Variation of power frequency, immunity test, IEC Standard 61000-4-28 ed1.1, International Electrotechnical Commission, 2002-07.

- [13] Electromagnetic compatibility (EMC), Part 4: Testing and measurement techniques, Section 29: Voltage dips, short interruptions and voltage variations on d.c. input power port immunity tests, IEC Standard 61000-4-29 ed1.0, International Electrotechnical Commission, 2000-08.
- [14] MX Series AC and DC Power Source User Manual, Revision AM, California Instruments, November 2009.
- [15] MXCTSL Compliance Test System User Manual, Revision H, California Instruments, May 2007.
- [16] MX Compliance Text System System Administrator Manual MXCTSH/MXCTSL, Revision B, California Instruments, August 2006.
- [17] MXGUI MX-Series Software User's Manual, Revision A, California Instruments, March 2002.
- [18] CIGRE, Voltage Dip Immunity of Equipment and Installations, Report 412, Joint CIGRE/CIREU/UIE Working Group C4.110, April 2010.
- [19] S. Z. Djokic, K. Stockman, J. V. Milanovic, J. J. M. Desmet and R. Belmans, Sensitivity of AC Adjustable Speed Drives to Voltage Sags and Short Interruptions, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 20, No. 1, 2005, pp. 494-505.
- [20] S.Z. Djokic, J.J.M. Desmet , G. Vanalme, J.V. Milanovic and K. Stockman, Sensitivity of Personal Computers to Voltage Sags and Short Interruptions, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 1, January 2005, pp. 375-383.
- [21] V. Gosbell, S. Perera, V. Smith, Voltage Unbalance Technical Note No. 6, Integral Energy Power Quality Centre, October 2002.
- [22] K.M. Hink, 18-Pulse Drives and Voltage Unbalance, MTE Corporation.
- [23] Electromagnetic compatibility (EMC), Part 2: Environment, Section 4: Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances, IEC Standard 61000-2-4 ed2.0, International Electrotechnical Commission, 2002-06.
- [24] Mitsubishi FreqRol-A024 Instruction Manual, Mitsubishi Electric Corporation, Revision C, January 1997.
- [25] Telemecanique Altivar 5 user's manual, Power Drive Service Ltd., <http://www.inverter.co.uk>.
- [26] Article: Electromagnetic compatibility, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org>.