

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων"

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ”



Υπεύθυνος Καθηγητής: Κωνσταντίνος Ψωμόπουλος

Φοιτητής: Δημήτρης Τσίμπουρης

Δεκέμβριος 2020

Τριμελής Επιτροπή Εξέτασης

Ψωμόπουλος Κωνσταντίνος (επιβλέπων)

Καθηγητής- Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών- Π.Α.Δ.Α

.....

Ιωαννίδης Γεώργιος

Καθηγητής- Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών- Π.Α.Δ.Α

.....

Μανουσάκης Νικόλαος

Επίκουρος Καθηγητής- Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών- Π.Α.Δ.Α

.....

Copyright © Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

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 της 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 το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στην οικογένεια μου για την υπομονή τους και την στήριξη τους, καθώς και στον καθηγητή μου Κωνσταντίνο Ψωμόπουλο και τον υποψήφιο διδάκτορα υψηλών τάσεων και ενεργειακών συστημάτων Δημήτρη Μπάρκα.

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	vii
Executive Summary.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- Ηλεκτρικά δίκτυα.....	9
1.1 Περιγραφή ηλεκτρικών δικτύων.....	9
1.2 Η Τυποποίηση των κατασκευών και των υλικών, των Δικτύων Διανομής.....	10
1.2.1 Τυποποίηση γραμμών Μέσης Τάσης.....	10
1.2.2 Τυποποίηση γραμμών Χαμηλής Τάσης.....	13
1.3 Τυποποίηση υποσταθμών ΥΤ/ΜΤ.....	15
1.4 Προστασία δικτύων διανομής Μέσης Τάσης και Χαμηλής Τάσης.....	15
1.4.1 Κατηγοριοποίηση των γραμμών.....	15
1.4.2 Προστασία Μ/Σ – δικτύων Χ.Τ. - Μετρητών.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Η μετάβαση σε έξυπνα δίκτυα.....	18
2.1 Ευρωπαϊκή πολιτική.....	18
2.2 Εθνική πολιτική.....	19
2.3 Χαρακτηριστικά του Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου.....	20
2.4 Οφέλη του Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- Μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας.....	24
3.1 Ηλεκτρομηχανικοί- Επαγωγικοί Μετρητές.....	24
3.2 Ψηφιακοί-ηλεκτρονικοί μετρητές.....	28
3.2.1 Ηλεκτρονικοί μετρητές.....	28
3.2.2 Ηλεκτρονικοί-αναλογικοί μετρητές ψηφιακής εξόδου.....	28
3.2.3. Ψηφιακοί- έξυπνοι μετρητές.....	30
3.2.4 Ενδείξεις ηλεκτρονικών μετρητών ΔΕΔΔΗΕ.....	32
3.3. Επίδραση αρμονικών σε μετρητικό εξοπλισμό.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Θεωρία σφαλμάτων.....	35
4.1. Ταξινόμηση σφαλμάτων στις μετρήσεις.....	35
4.2 Σφάλματα μετρητικών διατάξεων.....	36
4.2.1 Επίδραση περιβάλλοντος και εισαγωγή σφάλματος στις μετρήσεις.....	38
4.3 Συστηματικά σφάλματα άμεσων και έμμεσων μετρήσεων.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5-Ποιότητα Ισχύος.....	41
5.1. Ορισμός μεγεθών ποιότητας ισχύος.....	41
5.2 Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) ως έννοια της ποιότητας ισχύος.....	44
5.3 Πρότυπα προδιαγραφών και ορίων της παρεχόμενης ποιότητας ισχύος και κανονισμοί ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC).....	45
5.3.1 Πρότυπα ποιότητας τάσης.....	45
5.3.1.1 Πρότυπο EN 50160.....	46

5.3.2 Πρότυπα ποιότητας ρεύματος.....	49
5.3.2.1 Πρότυπο IEC 61000-03-02.....	51
5.3.2.2 Πρότυπο IEC 61000-03-12.....	51
5.3.3 Πρότυπα μέτρησης αρμονικών.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6-Υπεραρμονικές (supraharmonics).....	54
6.1 Εισαγωγή.....	54
6.2 Μετάδοση πληροφορίας μέσω των γραμμών ηλεκτρικής ισχύος.....	55
6.3 Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές(EMI) στην περιοχή συχνότητας 2kHz - 150kHz.....	56
6.3.1 Παρεμβολές μεταξύ συσκευών με επικοινωνία (A).....	58
6.3.2 Παρεμβολές στις συσκευές χωρίς επικοινωνία από αυτές με επικοινωνία (B).....	58
6.3.3 Παρεμβολές στις συσκευές με επικοινωνία από αυτές χωρίς επικοινωνία (C).....	59
6.2.4 Παρεμβολές μεταξύ συσκευών χωρίς επικοινωνία (D).....	60
6.3 Ανάλυση υπεραρμονικών.....	60
6.4 Επιδράσεις των υπεραρμονικών στον εξοπλισμό χαμηλής τάσης.....	66
6.4.1 Πρόσθετη θέρμανση.....	66
6.4.2 Ακουστικός θόρυβος.....	67
6.4.3 Δυσλειτουργία του εξοπλισμού.....	68
6.4.4 Δυσλειτουργία του PLC (Power Line Communication).....	69
6.5 Ζητήματα μέτρησεων για τις υπεραρμονικές.....	70
6.5.1 Κατάσταση τυποποίησης.....	72
6.5.2 Γενικές προϋποθέσεις μετρήσεων στις υπεραρμονικές.....	74
6.6 Δοκιμές ανοσίας των έξυπνων μετρητών.....	75
6.6.1 Τεστ ανοσίας και παράγοντες ποιότητας ευφών μετρητών.....	75
6.7 Προϋποθέσεις νέων προτύπων μέτρησης.....	79
6.8 Βελτίωση υφισταμένων προτύπων.....	80
6.8.1 IEC 61000-3-2.....	81
6.8.2 IEC 61400-21.....	82
6.9 Ζητήματα μετρήσεων και ανάλυσης δεδομένων.....	84
6.9.1 Συμβατικοί μετασχηματιστές οργάνων- Rogowski πηνία.....	84
6.9.2 Μέθοδοι μέτρησης για υπεραρμονικές.....	85
6.10 Αυτόματη ανάλυση δεδομένων και προκλήσεις.....	87
7.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	88
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	90
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	92
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.....	93
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3.....	94
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	96

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα θέματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC) στο εύρος συχνοτήτων μεταξύ 2 kHz και 150 kHz, γνωστά ως υπεραρμονικές, περιορίζονταν για πολύ καιρό στις βιομηχανικές εφαρμογές. Λόγω του αυξανόμενου όγκου της αγοράς για εξοπλισμό που λειτουργεί με διακοπτικές συχνότητες άνω των 2 kHz, οι περιπτώσεις (μη σκόπιμης) εκπομπής υπεραρμονικών στα δημόσια δίκτυα χαμηλής τάσης αυξήθηκαν σημαντικά την τελευταία δεκαετία.

Τμήματα της περιοχής συχνοτήτων που αναφέρθηκαν χρησιμοποιούνται, επίσης, σε πολλές χώρες ως μέσο επικοινωνίας αξιοποιώντας την γραμμή ισχύος (power line communication (PLC) για τη μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Συνεπώς, παρεμβολές μπορούν να συμβούν, όχι μόνο μεταξύ συσκευών με ακούσια εκπομπή, αλλά και μεταξύ των συσκευών και των εφαρμογών του PLC. Ένας αυξανόμενος αριθμός διαταραχών, που σχετίζονται με την υπεραρμονική περιοχή συχνοτήτων, έχει οδηγήσει στην ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης της δυσλειτουργίας και της συμπεριφοράς των διάφορων εξοπλισμών. Η συγκεκριμένη εργασία εστιάζει στα συστηματικά σφάλματα που παρουσιάζονται στις μετρητικές διατάξεις, και κυρίως, στις συσκευές έξυπνης μέτρησης.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να αναδείξει την σημαντική επίπτωση των υπεραρμονικών που συναντώνται όλο και συχνότερα στα δίκτυα χαμηλής τάσης, και κυρίως, στις μετρικές διατάξεις. Επίσης, σκοπός είναι να αναδειχθεί το κενό που υπάρχει στα υπάρχοντα πρότυπα για το εύρος συχνοτήτων 2-150 kHz. Για να επιτευχθεί αυτό, η εργασία ξεκινάει στο πρώτο κεφάλαιο, με την περιγραφή λειτουργίας ασφαλιστικών διατάξεων και την τυποποίηση των δικτύων χαμηλής τάσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι ευρωπαϊκές και εθνικές πολιτικές για την μετάβαση στα έξυπνα δίκτυα. Επίσης, γίνεται αναφορά στα χαρακτηριστικά και στα πλεονεκτήματα των έξυπνων δικτύων.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η λειτουργία, τα τεχνικά χαρακτηριστικά και η τεχνολογία μέτρησης για τα διάφορα είδη μετρητών, καθώς επίσης, παρουσιάζεται και ο ψηφιακός μετρητής της ΔΕΔΔΗΕ.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η θεωρία των διάφορων σφαλμάτων, με το μαθηματικό τους υπόβαθρο και πώς αυτά βρίσκουν εφαρμογή στις μετρητικές διατάξεις.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται οι όροι ποιότητας ισχύος, η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα και η επιρροή της στις συνθήκες λειτουργίας. Επίσης, γίνεται ανάλυση των προτύπων μετρήσεων αρμονικής παραμόρφωσης για την τάση και το ρεύμα.

Τέλος, τα τελευταία δύο κεφάλαια έχουν αφιερωθεί στις υπεραρμονικές, στην ανάλυση τους, τις επιπτώσεις τους, στις ηλεκτρομαγνητικές τους παρεμβολές, καθώς και το πιο σημαντικό κομμάτι της εργασίας που αναφέρεται στην βελτίωση των υφιστάμενων προτύπων και όλα τα ζητήματα που προκύπτουν για τις μετρήσεις στο φάσμα συχνοτήτων 2-150 kHz .

Λέξεις κλειδιά: Υπεραρμονικές, ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, έξυπνοι μετρητές, ποιότητα ισχύος

EXECUTIVE SUMMARY

Electromagnetic compatibility (EMC) issues in the frequency range within 2 kHz to 150 kHz, also known as supraharmonics, have long been confined to industrial applications. Due to the increasing market volume, for equipment operating at switching frequencies above 2 kHz, cases of (unintentional) supraharmonic transmission on low voltage public grids have significantly increased over the last decade.

Parts of the frequency range which was mentioned above are also used in many countries as a means of communication by utilizing the power line (PLC) for electricity measurement (intentional transmission).

Therefore, interference can occur not only between devices with intentional transmission, but also PLC devices and applications. An increasing number of interferences that are related to the Supraharmonic Frequency Range have led to the need for further investigation into the malfunction of various equipment. This study focuses on the systematic errors that manifest in measurement arrangements, and especially in smart metering devices.

The purpose of this study is to highlight the impact of supraharmonics that appear with increasing frequency in low voltage grids and especially in measurement arrangements. Another purpose is to demonstrate the fault of representation in existing archetypes for the frequency range 2-150 kHz. In order to achieve this, the first chapter of this study focuses on the description of safety arrangements and standardization of low voltage grids.

The second chapter touches upon the European and national politics for the transition to smart grids. The features and advantages of smart grids are also presented.

The third chapter focuses on the operation, the technical features and measurement technology for the various measurement devices, as well as on presenting of the digital meters of Hellenic Electricity Distribution Network Operator.

In the fourth chapter the theory of various errors, including their mathematical background is presented, as is the way that they are applied in measurement arrangements.

The fifth chapter analyzes the terms of power quality, electromagnetic compatibility, and its impact on operating conditions. Moreover, the standard trends of the measurement of harmonic deformations are analyzed.

Last, the final two chapters of this study include an analysis of supraharmonics, their impact and electromagnetic interference. Furthermore, they include the most important part of this research that refers to the optimization of existing archetypes and the issues that arise for the measurements in the frequency range 2-150 kHz.

Keywords: supraharmonics, electromagnetic compatibility, electromagnetic interference, smart metering devices, power quality

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- Ηλεκτρικά δίκτυα

1.1 Περιγραφή ηλεκτρικών δικτύων

Σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο πραγματοποιείται η μεταφορά ,η παραγωγή, και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, από τους σταθμούς παραγωγής στους τελικούς καταναλωτές.

Το ηλεκτρικό δίκτυο, περιλαμβάνει τους ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς, τους υποσταθμούς ανύψωσης τάσης, το δίκτυο μεταφοράς υψηλής και υπερύψηλης τάσης, τους υποσταθμούς υποβιβασμού σε μέση τάση, το δίκτυο διανομής μέσης τάσης, τους υποσταθμούς υποβιβασμού σε χαμηλή τάση και το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης. Στους ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς παράγεται ενέργεια από ανανεώσιμες ή μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μετέπειτα γίνεται η μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας. Η μεταφορά γίνεται μέσω μετασχηματιστών και αγωγών, σε υψηλές τάσεις, ώστε να υπάρχουν όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες λόγω του φαινομένου του Joule και των θερμικών απωλειών [1].

Στις γραμμές υψηλής τάσης, η ενέργεια καταλήγει σε υποσταθμούς μεταφοράς όπου υπάρχει υποβιβασμός της υψηλής τάση σε μέση τάση. Η ενέργεια μεταφέρεται μέσω των γραμμών μεταφοράς προς τους υποσταθμούς διανομής, οι οποίοι υποβιβάζουν τη μέση τάση σε χαμηλή, και τελικά η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται μέσω του δικτύου διανομής χαμηλής τάσης, στους καταναλωτές.

Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από την παραγωγή στο δίκτυο διανομής μέσω των υποσταθμών μεταφοράς είναι μια διαδικασία, τον έλεγχο της οποίας αναλαμβάνει συνήθως ένας Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς. Βασικός του στόχος είναι μεταξύ άλλων, η εξασφάλιση της ομαλής και αποδοτικής λειτουργίας του ηλεκτρικού δικτύου. Για την επίτευξη αυτής της ομαλής λειτουργίας, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη κατάλληλων συστημάτων και εξοπλισμού. Το βασικό σύστημα πίσω από αυτή τη διαδικασία σήμερα, είναι γνωστό σαν Σύστημα απομακρυσμένου ελέγχου και διαχείρισης Ενέργειας (Supervisory Control and Data Acquisition system – SCADA). Ένα τέτοιο σύστημα εκτελεί στην πραγματικότητα 4 βασικές λειτουργίες: *συλλογή, επεξεργασία και παρουσίαση δεδομένων και έλεγχο του συστήματος* [2].

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα SCADA συνεργάζεται πάντα με ένα Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας (Energy Management System -EMS). Το EMS αποτελείται στην πραγματικότητα από ένα σύνολο εφαρμογών οι οποίες έχουν στόχο την βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής και μεταφοράς, ώστε να είναι όσο το δυνατό πιο αποδοτική, ασφαλής και οικονομική [2].

1.2 Η Τυποποίηση των κατασκευών και των υλικών, των Δικτύων Διανομής

Οι κατασκευές στα δίκτυα για λόγους ευκολίας και οικονομίας έχουν τυποποιηθεί. Κατά επέκταση οι κατασκευές δικτύων που έχουν τον ίδιο προορισμό γίνονται όλες ακριβώς ίδιες. Έτσι, δε χρειάζεται να πραγματοποιούνται κάθε φορά ειδικές μελέτες, αλλά η εφαρμογή της κατάλληλης τυποποιημένης κατασκευής. Η τυποποίηση αυτή γίνεται από την ΔΕΗ σε εναρμονισμό με τους εθνικούς νόμους και κανονισμούς, γνωστοί ως κανονισμοί εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και ως ΚΕΣΥΓΗΕ (Κανονισμός για την Εγκατάσταση και Συντήρηση Υπαίθριων Γραμμών Ηλεκτρικής Ενέργειας). Αυτοί οι κανονισμοί περιέχουν τις ρυθμίσεις που πρέπει να ικανοποιούν τα δίκτυα ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια των ανθρώπων και των εγκαταστάσεων. Στον ΚΕΣΥΓΗΕ υπάρχουν τυποποιημένες, οι κλιματολογικές συνθήκες που επηρεάζουν την μηχανική αντοχή των εναέριων γραμμών, και οι κατά ελάχιστον αποστάσεις ασφαλείας από οτιδήποτε [3, 4].

Εξαιτίας της τυποποίησης των κατασκευών η ΔΕΗ έχει δημοσιεύσει το εγχειρίδιο «Τυποποιημένες Κατασκευές Διανομής» (ΕΤΚΔ). Αποκλίσεις από το εγχειρίδιο του ΕΤΚΔ δεν είναι επιτρεπτές εκτός εάν υπάρχουν ειδικές συνθήκες που το κάνουν απαραίτητο, όπως η χρήση βελτιωμένων υλικών ή περιορισμοί σε θέματα ασφαλείας και υγιεινής, οπότε και αναθεωρούνται κάποιες από τις κατασκευές [3].

Από την παραπάνω τυποποίηση των κατασκευών προκύπτει κατά επέκταση και η τυποποίηση των προδιαγραφών των υλικών που τοποθετούνται στα Δίκτυα Διανομής. Όλες οι τεχνικές προδιαγραφές υπάρχουν συγκεντρωμένες στο εγχειρίδιο «Τεχνικές Προδιαγραφές Υλικών Διανομής». Σε όλες τις τεχνικές προδιαγραφές ορίζονται πλήρως τα χαρακτηριστικά των υλικών, τα οποία είναι η λειτουργική απόδοση, οι δοκιμές αντοχής, οι διαστάσεις, οι επισημάνσεις, η συσκευασία, και σύμβολα του υλικού (Παράρτημα 1) [5].

1.2.1 Τυποποίηση γραμμών Μέσης Τάσης

Εναέρια δίκτυα Μέσης Τάσης

Οι ονομαστικές τάσεις λειτουργίας (σύμφωνα με την τυποποίηση που έχουμε περιγράψει) στα Δίκτυα Μ.Τ. είναι 20 kV, 15 kV και 6,6 kV. Τα είδη των αγωγών και των τυποποιημένων διατομών που χρησιμοποιούνται είναι [4]:

Γυμνοί Αγωγοί

- Αγωγοί ACSR 16 mm², 35 mm², 95 mm²
- Αγωγοί Cu 16 mm², 35 mm², 95 mm²

Συνεστραμμένα καλώδια (θωρακισμένου τύπου)

- 3×50 mm² Al + 50 mm² St
- 3×150 mm² Al + 50 mm² S

Η διατομή των αγωγών μιας εναέριας γραμμής, έχουν κάποιους τεχνικούς περιορισμούς σχετικά με [4]:

1. Με τη μέγιστη ένταση ρεύματος (θερμικό όριο).
2. Με τη μέγιστη πτώση τάσης.
3. Με τη μηχανική αντοχή της γραμμής.

Βέλτιστη διατομή θεωρείται αυτή που, το κόστος της γραμμής στην οποία έχει χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη διατομή, στο σύνολο των ετών λειτουργίας της, είναι το ελάχιστο, υπολογίζοντας και την εγκατάσταση της. Η επιλογή του είδους των αγωγών γίνεται με τα παρακάτω κριτήρια [4]:

1. Οικονομικό κόστος.
2. Περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής.
3. Την επιφόρτιση των αγωγών.

Για περιοχές με φυσιολογική διαβρωτικότητα, και για τυποποιημένες επιφορτίσεις χρησιμοποιούνται αγωγοί τύπου ACSR.

Παραθαλάσσιες περιοχές και περιοχές με υψηλή βιομηχανική ρύπανση, χαρακτηρίζονται ως περιοχές με υψηλή διαβρωτικότητα, εκεί χρησιμοποιούνται αγωγοί τύπου Cu. Σε δασικές περιοχές, σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο όπου υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση πάγου επάνω στις γραμμές, σε γραμμές όπου έχουν τοποθετηθεί γυμνοί αγωγοί Cu, σε περιοχές με συχνές υπερπηδήσεις (συνήθως παραθαλάσσιες), καθώς και σε κάποιες περιπτώσεις που σχετίζονται με την τήρηση των προβλεπόμενων αποστάσεων ασφαλείας, και με την προστασία του περιβάλλοντος, χρησιμοποιούνται συνεστραμμένα καλώδια [4].

Υπόγεια δίκτυα Μέσης Τάσης

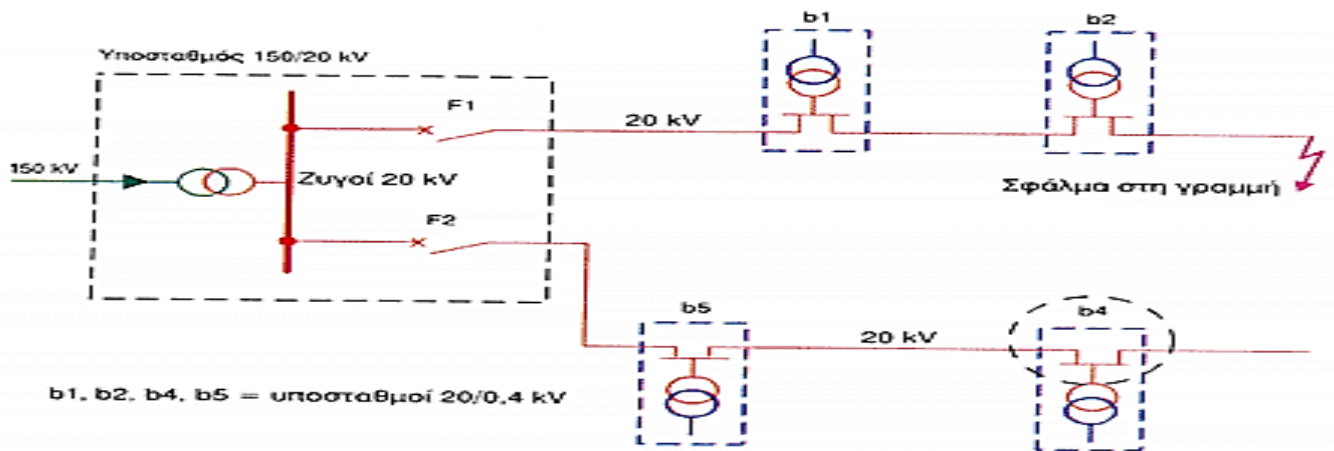
Τα δύο είδη υπόγειων καλωδίων που τοποθετούνται στις γραμμές Μ.Τ. είναι τα εξής παρακάτω[3, 4]:

1. Καλώδιο τριών πόλων με αγωγούς αλουμινίου, με την μόνωση να αποτελείται από εμπλουτισμένο χαρτί, τριών ξεχωριστών μολύβδινων μανδύων με κοινό χαλύβδινο οπλισμό, διατομής $3 \times 240 \text{ mm}^2$.
2. Τρία μονοπολικά καλώδια με αλουμινένιους αγωγούς, με μόνωση XLPE, με θωράκιση Al και εξωτερική προστασία έναν μανδύα PVC, διατομής 240 mm^2 , συνεστραμμένα γύρω από τον αγωγό της γης, ο οποίος έχει και αυτός θωράκιση Al, διατομής 25 mm^2 , που έχει για περίβλημα έναν μολύβδινο μανδύα. Η συνοπτική τους περιγραφή είναι $3 \times 240 \text{ mm}^2 \text{ Al} + 25 \text{ mm}^2 \text{ Al}$. στα δίκτυα Μ.Τ.

Οι πέντε τρόποι ανάπτυξης των συστημάτων διανομής Μ.Τ. είναι οι εξής παρακάτω [5]:

1.Ακτινικό Σύστημα: Σε εναέρια δίκτυα που είναι εγκατεστημένα σε αγροτικές περιοχές, και σε φορτία που δεν έχουν υψηλές απαιτήσεις σε αξιοπιστία, χρησιμοποιείται συνήθως ακτινικό σύστημα. Απαρτίζεται από μια κεντρική γραμμή, και το κύριο σώμα με τις διακλαδώσεις του, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 1. Η κεντρική γραμμή ελέγχεται από ένα διακόπτη ισχύος που πραγματοποιεί αυτόματες επαναφορές. Στις διακλαδώσεις τοποθετούνται ασφαλειοαποζεύκτες και διακόπτες απομόνωσης. Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μπαίνουν στην κεντρική γραμμή

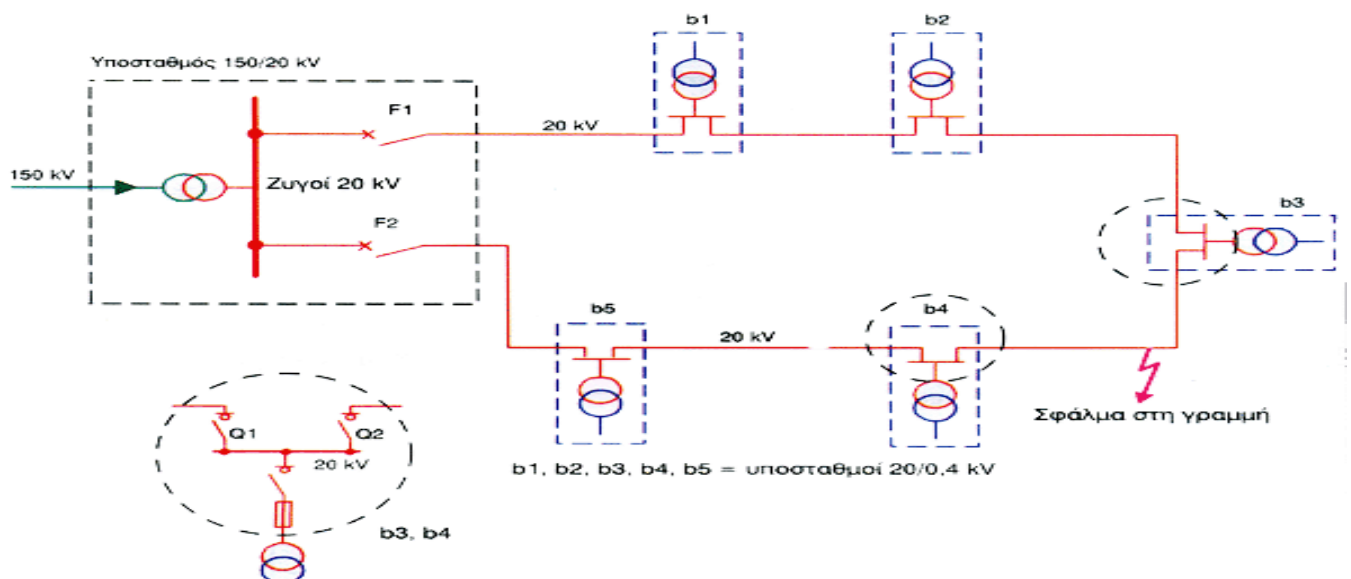
διακόπτες αυτόματης επαναφοράς, με σκοπό να ικανοποιηθούν λειτουργικές ανάγκες του δικτύου ή να γίνει έλεγχος σφάλματων σε δικτύα με μεγάλα μήκη.



Εικόνα 1 Ακτινικά δίκτυα διανομής Μ.Τ. [5]

2.Βροχοειδές Σύστημα:

- Εναέριο Δίκτυο: Η κύρια διαφορά αυτού του δικτύου σε σχέση με το ακτινικό είναι ότι η τροφοδοσία του γίνεται από δυο σημεία του ίδιου ή διαφορετικού υποσταθμού, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 2.
- Υπόγειο Δίκτυο: Το δίκτυο τροφοδοτείται από δυο διακόπτες που ανήκουν στον ίδιο ή σε διαφορετικό υποσταθμό. Ο βρόχος είναι λειτουργικά ανοικτός σε ένα διακόπτη φορτίου του υποσταθμού διανομής. Για να είναι αξιοποιήσιμος ο βρόχος, η αναχώρηση του φορτίζεται μέχρι το 50% της δυνατότητας του.



Εικόνα 2 Βροχοειδή δίκτυα διανομής Μ.Τ. [5]

3.Αραχνοειδές Σύστημα:

- Εναέριο Δίκτυο: Είναι ένα βροχοειδές σύστημα, με την μόνη διαφοροποίηση να είναι ότι οι συνεργαζόμενες γραμμές είναι τρεις, και συνδέονται με πλευρικές συνδέσεις. Κατά την εμφάνιση μιας βλάβης σε μια εκ των γραμμών έχει κανονική λειτουργία στο 66% της ικανότητάς της.
- Υπόγειο Δίκτυο: Η δομή του δικτύου αυτού είναι όμοια με αυτήν του εναέριου δικτύου με τη διαφορά ότι, δεν πραγματοποιούνται ακτινικές διακλαδώσεις για την τροφοδοσία των υποσταθμών, όταν όλοι οι υποσταθμοί υπόκεινται στο βρόχο, και ότι οι χειρισμοί για τη μεταγωγή φορτίων γίνεται με τους διακοπές φορτίου των υποσταθμών.

4.Ατρακτοειδές Σύστημα: Ομαδοποιημένες γραμμές που φεύγουν από τους Υ/Σ 150/20 kV και φτάνουν σε ένα Υ/Σ ζεύξης. Μια από το σύνολο των γραμμών είναι εφεδρική και δεν έχει φορτία ώστε να έχει την ικανότητα να πάρει όλα τα φορτία μιας εκ των άλλων γραμμών. Το σύνολο των γραμμών (μαζί με την εφεδρική) δεν πρέπει να είναι παραπάνω από έξι, καθώς μειώνεται η αξιοπιστία του συστήματος. Το ποσοστό χρήσης κυμαίνεται στο 80~85% της δυνατότητας τους. Το ατρακτοειδές σύστημα έχει συνήθως εφαρμογή στα υπόγεια δίκτυα πόλεων.

5.Σύστημα Μικρών Βρόχων: Το σύστημα αυτό παρέχει πολλές δυνατότητες τμηματικών ανατροφοδοτήσεων, και αυτό οφείλεται στον τρόπο κατασκευής του. Οι κύριες γραμμές διαχωρίζονται σε δυο δευτερεύουσες η κάθε μία, έτσι ή σχηματίζουν βρόχο μεταξύ τους, ή με άλλες δευτερεύουσες. Οι γραμμές των βρόχων έχουν δυνατότητα φόρτισης έως και το 50% των κύριων γραμμών, γεγονός που κάνει εφικτό την τοποθέτηση καλωδίων μικρότερης διατομής [3-5].

Τα κριτήρια επιλογής του συστήματος Μ.Τ. είναι τα εξής [3-5]:

1. Απλότητα του συστήματος
2. Αξιοπιστία του συστήματος
3. Κόστος εγκατάστασης του συστήματος
4. Κόστος λειτουργίας του συστήματος
5. Δυνατότητα μελλοντικής προσαρμογής του συστήματος.

1.2.2 Τυποποίηση γραμμών Χαμηλής Τάσης

Εναέρια δίκτυα Χαμηλής Τάσης

Η τάση λειτουργίας των δικτύων διανομής χαμηλής τάσης είναι στα 400/230 V. Στην περίπτωση αυτή, γίνεται η χρήση των τύπων αγωγών και μεγεθών διατομών που ακολουθεί[3]:

Γυμνοί Αγωγοί

- Αγωγοί Al: 16 mm², 35 mm², 50 mm².
- Αγωγοί Cu: 16 mm², 35 mm², 50 mm²

Συνεστραμμένα καλώδια (θωρακισμένου τύπου)

- $3 \times 35 \text{ mm}^2 \text{ Al} + 54,6 \text{ mm}^2 \text{ AAAC} + 25 \text{ mm}^2 \text{ Al}$
- $3 \times 70 \text{ mm}^2 \text{ Al} + 54,6 \text{ mm}^2 \text{ AAAC} + 25 \text{ mm}^2 \text{ Al}$

Οι διατομές των αγωγών μιας εναέριας γραμμής στη Χ.Τ., επιλέγονται με βάση τη μέγιστη ένταση που είναι επιτρεπτή για κάθε διατομή και είδος αγωγού. Η επιλογή του είδους του αγωγού πραγματοποιείται ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Με την χρήση συνεστραμμένων καλωδίων Χ.Τ., δεν τοποθετούνται αγωγοί τύπου Cu σε νέα δίκτυα Χ.Τ. σε περιοχές με έντονη θαλάσσια ή χημική ρύπανση. Τα συνεστραμμένα καλώδια τοποθετούνται [3, 4]:

1. Σε δασικές περιοχές.
2. Σε αστικές ή ημιαστικές περιοχές με υψηλά επίπεδα δενδροφύτευσης.
3. Σε παραθαλάσσιες περιοχές.
4. Σε περιοχές με υψηλή βιομηχανική ρύπανση.
5. Για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος, και
6. Σε περιπτώσεις τήρησης των αποστάσεων ασφαλείας.

Υπόγεια δίκτυα Χ.Τ.

Τα υπόγεια καλώδια Χ.Τ. έχουν τυποποιηθεί σε καλώδια τεσσάρων πόλων με αγωγούς φάσεων κατασκευασμένους από αλουμίνιο, με μόνωση XLPE, με εξωτερικό ουδέτερο από σύρματα χαλκού, και εξωτερικό μανδύα μόνωσης PVC, διατομής $3 \times 150 \text{ mm}^2 \text{ Al} + 50 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ και $3 \times 95 \text{ mm}^2 \text{ Al} + 35 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ [4].

Με τρεις τρόπους γίνεται η ανάπτυξη των συστημάτων Διανομής Χ.Τ.[3-5]:

1. **Ακτινικό σύστημα:** Είναι το πιο απλό, και εφαρμόζεται σε αγροτικές περιοχές με εναέρια δίκτυα. Αυτό το σύστημα αποτελείται από μια κεντρική γραμμή που φεύγει από τους ζυγούς της Χ.Τ., και διακλαδίζεται σε άλλες γραμμές της ίδιας ή μικρότερης διατομής. Τέλος οι τελικοί καταναλωτές συνδέονται είτε στην κεντρική γραμμή απευθείας είτε στις διάφορες διακλαδώσεις.
2. **Βροχοειδές σύστημα:** Σε αυτό το σύστημα, η κεντρική γραμμή αναχωρεί από τους ζυγούς της Χ.Τ. ενός Υ/Σ. Κατά μήκος της γραμμής γίνεται αφαίρεση των γεφυρών για τα εναέρια δίκτυα ή αφαίρεση αποζευκτών για τα υπόγεια δίκτυα. Στα υπόγεια δίκτυα μπορούν να δημιουργηθούν κιβώτια ζεύξης με σκοπό να βελτιωθεί η αξιοπιστία του δικτύου, επειδή με αυτό τον τρόπο είναι εφικτό η απομόνωση των διάφορων τμημάτων του δικτύου, σε περίπτωση συντήρησης ή βλάβης.
3. **Αραχοειδές σύστημα:** Σε αυτό το σύστημα, οι αναχωρήσεις μπορούν να συνδεθούν με δυο ή τρεις άλλες αναχωρήσεις. Η αποκλειστική χρήση αυτού του συστήματος είναι σε υπόγεια δίκτυα αστικών κέντρων.

1.3 Τυποποίηση υποσταθμών ΥΤ/ΜΤ

Στους υποσταθμούς Υ.Τ./Μ.Τ υποβιβάζεται η Υ.Τ. 150 kV/66 kV σε Μ.Τ. 15 /20 kV, ενώ ανάλογα με την τοποθεσία τους, συνιστούν σημαντικούς κόμβους του συστήματος, ως σημεία ζεύξης των γραμμών Υ.Τ. [6].

Τα μεγέθη των μετασχηματιστών που τοποθετούνται σε υποσταθμούς Υ.Τ./Μ.Τ. είναι τα εξής παρακάτω [6]:

1. 10/12.5 MVA
2. 20/25 MVA
3. 40/50 MVA

Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι στους Υ/Σ κλειστού τύπου (Κέντρα Διανομής) και ημίκλειστου τύπου της Αττικής, τοποθετούνται μετασχηματιστές ισχύος 100 MVA, με το δευτερεύον τύλιγμα να είναι διπλό (100/50+50 MVA). Οι δύο ονομαστικές τιμές ισχύος των μετασχηματιστών σχετίζονται με τον τρόπο ψύξης τους, είτε με φυσική κυκλοφορία αέρα, είτε σε ψύξη με κυκλοφορία αέρα με χρήση ανεμιστήρων [6].

1.4 Προστασία δικτύων διανομής Μέσης Τάσης και Χαμηλής Τάσης

1.4.1 Κατηγοριοποίηση των γραμμών

Η κατάταξη της προστασίας μιας γραμμής Μ.Τ. γίνεται σε μια από τις έξι κατηγορίες που ακολουθούν. Τα κριτήρια είναι, το μήκος, η μορφή, και η κατανομή των φορτίων που εξυπηρετεί αυτή. Οι κατηγορίες γραμμών είναι οι εξής [6]:

1. A1: Υπεραστικές γραμμές Μ.Τ., όπου υπάρχει ικανοποιητικός βαθμός προστασίας από ελαιοδιακόπτες και ασφαλειοαποζεύκτες των διακλαδώσεων. Η προστασία γίνεται χωρίς διακόπτες αυτομάτου επαναφοράς και διακόπτες απομόνωσης.
2. A2: Εάν σε γραμμή τύπου A1, χρειαστεί η εγκατάσταση διακόπτων απομόνωσης, τότε εμπίπτει στην κατηγορία A2.
3. A3: Περιέχει γραμμές μικρού μήκους, περιοχών με μεγάλη πυκνότητα φορτίου, δηλαδή σημαντικά φορτία αστικών ή βιομηχανικών περιοχών. Επισημαίνεται ότι σε αυτού του τύπου τις γραμμές υπάρχουν υψηλές εντάσεις βραχυκύκλωσης.
4. B1: Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν δυο περιπτώσεις γραμμών διαφορετικής φύσης, όπου εφαρμόζεται ο ίδιος τρόπος προστασίας:
 - Γραμμές οι οποίες τροφοδοτούν αστικά και βιομηχανικά φορτία και μετέπειτα αγροτικές περιοχές. Η γραμμή χωρίζεται σε δυο τμήματα, από τα οποία κάθε ένα έχει ένα ομοιόμορφο φορτίο, και αυτό επιτυγχάνεται με τοποθέτηση διακόπτων αυτόματης επαναφοράς.

- Γραμμές χωρισμένες σε περισσότερες από μια διακλαδώσεις. Τα σημαντικότερα φορτία σε αυτή την περίπτωση βρίσκονται στα άκρα αυτών μοιρασμένα, ενώ στην εκκίνηση των γραμμών τα φορτία είναι περιορισμένα και σε αριθμό και σε μέγεθος. Σε κάθε σημαντική διακλάδωση τοποθετούνται διακόπτες αυτόματης επαναφοράς.
5. B2: Εδώ κατατάσσονται οι γραμμές με μεγάλο μήκος και με φορτία κατανομημένα ίσα σε όλο το μήκος. Σε αυτές τις γραμμές τοποθετούνται διακόπτες αυτόματης επαναφοράς σε κάποια σημεία της γραμμής, γιατί ο ελαιοδιακόπτης του υποσταθμού δεν αντιδράει στα σφάλματα στα άκρα της γραμμής.
 6. B3: Εδώ γίνεται αναφορά σε γραμμές όμοιες με την κατηγορία B2, διαφέρει όμως ο τρόπος που επιτυγχάνεται η προστασία των γραμμών.

1.4.2 Προστασία Μ/Σ – δικτύων Χ.Τ. - Μετρητών

Σε αυτή την παράγραφο γίνεται περιγραφή των ασφαλειών μέσης και χαμηλής τάσης που τοποθετούνται σε υποσταθμούς διανομής, επίσης γίνεται περιγραφή και των ασφαλειών και μικροαυτομάτων των μετρητών.

Ο σκοπός των ασφαλειών είναι η προστασία από υπερεντάσεις, καθώς και η προστασία των αγωγών και των παροχών από υπερφορτίσεις. Οι ασφάλειες είναι μια αποτελεσματική και ταυτόχρονα οικονομική διάταξη προστασίας. Στους αγωγούς υπάρχουν αρκετά περιθώρια υπερφόρτισης χωρίς δημιουργία βλάβης στις μονώσεις τους. Έτσι λοιπόν υπάρχει διάκριση σε δύο βασικές κατηγορίες [7]:

1. **Ασφάλειες Μ.Τ. σε Μ/Σ Διανομής:** Τοποθετούνται για την αποφυγή έκθεσης του Μ/Σ σε βραχυκυκλώματα από την μεριά της Χ.Τ. αλλά και για την απομόνωση του Μ/Σ από το δίκτυο Μ.Τ., στην περίπτωση που ο Μ/Σ έχει κάποια βλάβη. Σύμφωνα με την μορφή του Υ/Σ υπάρχουν οι εξής παρακάτω περιπτώσεις τοποθέτησης:
 - ❖ Στους Υ/Σ Διανομής της υπαίθρου μπαίνουν συνήθως ασφάλειες ταχείας τήξης. Όταν στο δίκτυο Μ.Τ. έχουμε υψηλή ισχύ βραχυκύκλωσης, συνίσταται η τοποθέτηση ασφαλειών κόνεως.
 - ❖ Σε Υ/Σ εσωτερικού χώρου, οι ασφάλειες είναι υποχρεωτικά τύπου κόνεως, και ο τρόπος εγκατάστασης τους απεικονίζεται στην εικόνα 3.



Εικόνα 3 Ασφάλειες Μ.Τ. τύπου κόνεως [6]

Οι ασφάλειες προστασίας Μ.Τ. των υπαίθριων Μ/Σ, τοποθετούνται κατά κανόνα σε στύλους όπου υπάρχουν οι Μ/Σ, ή στον προηγούμενο στύλο που τροφοδοτεί τον Υ/Σ, έτσι με αυτό τον τρόπο προστατεύεται και η γραμμή Μ.Τ. Η επιλογή της ασφάλειας Μ.Τ. γίνεται με τα εξής κριτήρια [7]:

1. Οι ασφάλειες προστατεύουν τον Μ/Σ από βραχυκυκλώματα στην πλευρά της Χ.Τ. Αυτό συμβαίνει αν για οποιαδήποτε ένταση βραχυκύκλωσης, η αντίδραση της ασφάλειας με χρόνο διακοπής είναι μικρότερη του χρόνου αντοχής του Μ/Σ.
2. Η ονομαστική ένταση των ασφαλειών είναι υψηλότερη από την ονομαστική ένταση στο πρωτεύον τύλιγμα του Μ/Σ.
3. Επειδή οι ασφάλειες δεν πρέπει να καίγονται κατά την ζεύξη του Μ/Σ, ο χρόνος τήξης τους πρέπει να υπερβαίνει το 0,1 sec,.

Σε περίπτωση ύπαρξης βραχυκυκλώματος στο δίκτυο Χ.Τ., οι ασφάλειες Χ.Τ. προστατεύουν τους Μ/Σ Διανομής από υπερεντάσεις. Υπενθυμίζεται ότι οι ασφάλειες Μ.Τ. προστατεύουν το Μ/Σ από βραχυκυκλώματα πριν τις ασφάλειες της Χ.Τ. Οι ασφάλειες Χ.Τ. δεν προστατεύουν το Μ/Σ από υπερφόρτιση γι' αυτό η παρακολούθηση των φορτίων θεωρείται απαραίτητη. Οι ασφάλειες Χ.Τ. επιλέγονται με τέτοια κριτήρια ώστε να αντιδρούν γρηγορότερα από τις ασφάλειες Μ.Τ. σε κάθε βραχυκύκλωμα που συμβαίνει στο δίκτυο Χ.Τ. [8]

Οι ασφάλειες Χ.Τ. πρέπει να ικανοποιούν τα παρακάτω [8]:

1. Πρέπει να είναι μεγαλύτερες κατά 30% τουλάχιστον από τη μέγιστη ένταση του φορτίου, ώστε να μην καίγονται κατά την κανονική λειτουργία.
2. Πρέπει να συνδέονται με τις ασφάλειες ή τους μικροαυτόματους των μετρητών ή με τις γενικές ασφάλειες, για την προστασία του μετρητή των εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.
3. Η ονομαστική τιμή των ασφαλειών δεν πρέπει να ξεπέρα σημαντικά τη μέγιστη ένταση φόρτισης. Η συνθήκη αυτή είναι αναγκαία και απαραίτητη με στόχο τη πολύ γρήγορη τήξη της ασφάλειας, όταν εμφανιστεί βραχυκύκλωμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Η μετάβαση σε έξυπνα δίκτυα

2.1 Ευρωπαϊκή πολιτική

Η Ευρωπαϊκή ενεργειακή πολιτική έχει θέσει ως κύριος ενεργειακό στόχο, να μειώσει την εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% έως το 2020, σε σχέση με τα αντίστοιχα επίπεδα του 1990. Τα αέρια του θερμοκηπίου το 2012 μειώθηκαν κατά 18% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 ενώ έως το 2018, τα επίπεδα των αερίων θερμοκηπίου κυμάνθηκε στα επίπεδα του 23 %, ποσοστό 3 % παραπάνω από τον στόχο του 20 %. Το 2014, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο θέσπισε νέες πολιτικές της ΕΕ που αφορούσαν το κλίμα και την ενέργεια για την περίοδο 2020-2030. Το νομοθετικό πλαίσιο του 2030, έχει ως σκοπό την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ κατά 40% σε αντιστοιχία με το 1990, η μείωση αυτή περιλαμβάνει τομείς όπως οι μεταφορές, η γεωργία, οι υποδομές και η διαχείριση αποβλήτων (το μέγεθος αυτό ανέρχεται στο 30% έως το 2030 σε σχέση με το 2005). Σε ποσοστό 60%, του συνόλου των εκπομπών της ΕΕ έχει προέλευση από τους παραπάνω τομείς. Οι προαναφερθέντες στόχοι επισφραγίστηκαν στην Συμφωνία του Παρισιού. Ο ενεργειακός και ο κλιματικός στόχος καθώς και οι συγκεκριμένες δράσεις για την υλοποίησή του, περιγράφονται στο Ευρωπαϊκό Σχέδιο Δράσης για την ενέργεια, αποτελώντας τον πυρήνα της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής [9].

Τα μέτρα του Ευρωπαϊκού σχεδιασμού για την ενέργεια είναι τα παρακάτω [9]:

1. Σε περιπτώσεις ενεργειακών κρίσεων διευκόλυνση των κρατών-μελών, ώστε να είναι βέβαιη η τροφοδοσία με πετρέλαιο, φυσικό αέριο και ηλεκτρική ενέργεια, όλων των κρατών-μελών.
2. Ανάπτυξη στρατηγικής για την Ενεργειακή Τεχνολογία.
3. Ενίσχυση του Κοινοτικού Μηχανισμού Εμπορίας Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου ώστε να έχει σημαντικό ρόλο για τη μείωση των εκπομπών και τις οικονομικές επενδύσεις για φιλική προς το περιβάλλον ενέργεια.
4. Ανάπτυξη τεχνολογιών ώστε τα ορυκτά καύσιμα να έχουν χαμηλές εκπομπές CO₂
5. Ανάπτυξη θεσμικού πλαισίου εξοικονόμησης ενέργειας σε Ευρωπαϊκό, εθνικό και διεθνές επίπεδο
6. Ανάπτυξη ζητημάτων ασφάλειας και προστασίας από την χρήση πυρηνικής ενέργειας.
7. Συμφωνία για μια κοινή διεθνή ενεργειακή πολιτική με κοινούς στόχους που θα προσαρμοστούν τα κράτη μέλη.
8. Αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
9. Ανάπτυξη ενημέρωσης σχετικά με τα ενεργειακά θέματα με στόχο την ευαισθητοποίηση των Ευρωπαίων πολιτών-καταναλωτών

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει ένα σύνολο στόχων και μέτρων για το 2020 (Climate and Energy Package-CEP), τα οποία περιλαμβάνουν τον μηχανισμό του εμπορίου των αδειών εκπομπής CO₂ (ETS-Emissions Trading System) από συγκεκριμένες εγκαταστάσεις (σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μεγάλες βιομηχανίες και από αεροπορικές μεταφορές), οι στόχοι ανά κράτος μέλος σχετικά με την μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου στους τομείς εκτός ETS όπως και για την αύξηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν ειδικευθεί ανά κράτος μέλος, ανάλογα τις ιδιαίτερες συνθήκες [9].

Για όλα τα Κράτη-Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέχρι το 2020, υπάρχουν οι παρακάτω προβλέψεις [9]:

- Σύμφωνα με την Οδηγία 2009/29/ΕΚ, προβλέπεται 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με το 1990
- Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας σε ποσοστό .
- Σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ, προβλέπεται 20% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην παραγωγή ενέργειας.

2.2 Εθνική πολιτική

Το Ελληνικό ενεργειακό σύστημα τα επόμενα χρόνια, έχει ως κύριους στόχους την ασφάλεια του εφοδιασμού ενέργειας, τη καλύτερη δυνατή αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας, τη εξασφάλιση της θεμιτής ανταγωνιστικής λειτουργίας της αγοράς ενέργειας, την διείσδυση στην παραγωγή ενέργειας των ΑΠΕ, την άμεση εφαρμογή τεχνολογιών που προσφέρουν στην εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και στη διαχείριση της, καθώς και την μείωση των ρύπων του θερμοκηπίου από την κατανάλωση ενέργειας. Με γνώμονα τα παραπάνω, το Εθνικό Σχέδιο σχετικά με τις ΑΠΕ που έγινε παρουσίαση το 2010, έχει ως σκοπό την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων για την είσοδο των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θεσπίζει τις βάσεις και την πορεία εξέλιξης της ενεργειακής διαχείρισης έως το 2020 [10].

Οι εθνικοί στόχοι σχετικά με την ενέργεια προβλέπουν [10]:

- ❖ 20% λιγότερες εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα.
- ❖ Διείσδυση των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας, σε ποσοστό 18%. Για τον Ελλαδικό χώρο, ο στόχος για τις εκπομπές των ρύπων του θερμοκηπίου είναι μείωση κατά 4% στους τομείς εκτός ETS (σε σύγκριση με το 2005). Σε αυτή την κατεύθυνση λοιπόν, ο νόμος Ν. 3851/2010 προβλέπει την αύξηση συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας με ποσοστό 20%. Πιο συγκεκριμένα έχουμε, 40% συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, 20% στη θέρμανση και στη ψύξη και 10% σε μεταφορές.
- ❖ Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας κατά 20% και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (Οδηγία 2009/28/ΕΚ)

Για να είναι εφικτή η επίτευξη των στόχων που αφορούν την είσοδο των ΑΠΕ στην παραγωγή ΗΕ, είναι απαραίτητος ο συνδυασμός διάφορων μέτρων που περιλαμβάνουν την επέκταση και αναβάθμιση του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου μεταφοράς, την διεσπαρμένη παραγωγή και την εγκατάσταση μεγάλων έργων ΑΠΕ. Όσον αφορά την συμμετοχή ΑΠΕ σε μεταφορές, ψύξη και θέρμανση, είναι αναγκαία η εφαρμογή αλλαγών που έχουν ως στόχο στην εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας, βελτιώνοντας την ενεργειακή αποδοτικότητα και την ορθολογικής χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας, σε όλους τους τομείς. Κατά το ΥΠΕΚΑ (Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας), για την μελέτη ανάπτυξης των τεχνολογιών ΑΠΕ χρησιμοποιήθηκαν μοντέλα ανάλυσης. Οι περιπτώσεις που μελετήθηκαν διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες [11]:

- Σενάρια αναφοράς, σε αυτή την περίπτωση γίνεται η υπόθεση ότι το ενεργειακό σύστημα αναπτύσσεται με βάση τις θεσμοθετημένες πολιτικές και

- Σενάρια όπου θεωρείται επιτυχής η υλοποίηση των στόχων που τέθηκαν από την ευρωπαϊκή πολιτική για την Ελλάδα, και στα οποία έγινε προσδιορισμός και αξιολόγηση των εναλλακτικών μέτρων ενεργειακής πολιτικής ώστε να επιτευχθούν οι Εθνικοί-Ευρωπαϊκοί στόχοι.

Βασικοί παράγοντες που επηρέασαν την μελέτη του ΥΠΕΚΑ για τον ενεργειακό σχεδιασμό είναι, η εξέλιξη της εθνικής οικονομίας, η εξέλιξη των τιμών καυσίμων σε διεθνές επίπεδο, τα εναλλακτικά πεδία χρήσης συμβατικών καυσίμων, οι τιμές των τεχνολογιών ΑΠΕ κατά την είσοδο τους στο σύστημα, η επίπτωση των διάφορων διασυνδέσεων στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και η ανάπτυξη του συστήματος μεταφοράς [11].

Οι στόχοι της Ελλάδας για το 2020, αναμένεται να επιτευχθούν για τη παραγωγή ΗΕ με την παραγωγή περίπου 17,5 GW από ΑΠΕ. Σε αυτή την παραγωγή περιλαμβάνονται το σύνολο των τεχνολογιών ΑΠΕ. Αναλυτικά, στην εγκατεστημένη ισχύ, τα αιολικά πάρκα θα συμβάλλουν με 9,5GW, τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια με 3GW και τα φωτοβολταϊκά πάρκα με 5GW. Σημαντικό ρόλο θα παίξει η σταδιακή εμφάνιση νέων τεχνολογιών ΑΠΕ στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής(γεωθερμία, ηλιοθερμικοί σταθμοί), τεχνολογίες που μακροπρόθεσμα αναμένεται να αυξήσουν το μερίδιο συμμετοχής τους [11].

2.3 Χαρακτηριστικά του Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου

Μια υποτυπώδη δομή ενός Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου (ΕΗΔ) παρουσιάζεται στην εικόνα 4, με τα σημαντικότερα του χαρακτηριστικά να είναι [12] :

- **Η αμφίδρομη ροή πληροφορίας σχετικά με την ηλεκτρική ενέργεια (ΗΕ) και η διαχείριση αυτής της πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο (real time)**

Σε ένα ΕΗΔ δημιουργείται συνεχώς μεγάλος όγκος πληροφοριών, ο οποίος είναι άμεσα αξιοποιήσιμος από τους χειριστές των δικτύων διανομής (ΔΔ), τους διαχειριστές του συστήματος μεταφοράς (ΣΜ), καθώς και από τους παραγωγούς, τους προμηθευτές και τους τελικούς καταναλωτές. Ταυτόχρονα, είναι δυνατή η αμφίδρομη ροή πληροφορίας μεταξύ των επιμέρους φορέων, καταφέροντας υψηλό επίπεδο εποπτείας και ελέγχου των διάφορων

παραγόντων της ΗΕ. Όσον αφορά την κατανάλωση, η σύνδεση των διάφορων συσκευών με το εξατομικευμένο σύστημα διαχείρισης του καταναλωτή, όπως και η σύνδεση του ίδιου συστήματος με τον προμηθευτή ΗΕ, δίνει την δυνατότητα στον καταναλωτή να ελέγχει την κατανάλωσή του, να κάνει παρεμβάσεις σε πραγματικό χρόνο και να έχει πλήρη εικόνα του κόστους της ΗΕ που καταναλώνει, καθώς και για το οικολογικό του αποτύπωμα. Παράλληλα, η αμφίδρομη ροή πληροφορίας δίνει τη ικανότητα στο διαχειριστή του δικτύου διανομής (ΔΔ) να χειρίζεται τη ζήτηση ΗΕ καθώς το δίκτυο είναι ευέλικτο και προσαρμοστικό.

• Το ΕΗΔ έχει σαν χαρακτηριστικό την αυτόματη αποκατάσταση βλαβών και παρέχει τη δυνατότητα αυτοϊασης (self healing).

Με τη χρήση πολλαπλών αισθητήρων (sensors) και ευφυών ηλεκτρικών συσκευών (IED's- Industrial Emissions Directive) ελαχιστοποιείται η ανθρώπινη παρέμβαση σε περιπτώσεις όπως παρατεταμένες διακοπές της ΗΕ. Επιπλέον, το δίκτυο δύναται να κάνει πρόβλεψη, ανιχνεύση σφάλματων και να ανταποκρίθει άμεσα. Έχοντας συνεχόμενη παρακολούθηση του συστήματος μεταφοράς και του ΔΔ, και έχοντας καταφέρει την καλύτερη δυνατή ανατροφοδότηση της ΗΕ, το ΕΗΔ αποκρίνεται βέλτιστα σε περίπτωση διακοπής της ΗΕ με αποτέλεσμα να αυξάνεται η αξιοπιστία του.

• Το ΕΗΔ αξιοποιεί με τον καλύτερο τρόπο τον εξοπλισμό του ΣΗΕ

Οι επεκτάσεις του δικτύου που απαιτούν δημιουργία νέων γραμμών και νέων σταθμών παραγωγής ΗΕ, δεν κρίνονται απαραίτητες αφού το ΕΗΔ βελτιστοποιεί τη ροή ισχύος χρησιμοποιώντας τις υπάρχοντες εγκαταστάσεις. Η είσοδος διεσπαρμένης παραγωγής και η εν δυνάμει μείωση της μέγιστης ζήτησης ΗΕ, που γίνεται πιο εύκολη μέσω της επικοινωνίας και της ευέλικτης προσαρμογής των καταναλωτών, δεν καθιστά αναγκαία την αύξηση της παραγωγής ΗΕ από μονάδες παραγωγής τις ώρες αιχμής.

• Το ΕΗΔ χαρακτηρίζεται από υψηλή διείσδυση ΑΠΕ στο σύνολο της παραγωγής ΗΕ

Το ΕΗΔ καλύπτει τις ανάγκες σε ΗΕ κατά μεγάλο μερίδιο από ΑΠΕ. Η δυνατότητα του δικτύου για αμφίδρομη ροή της ΗΕ από και προς τα ΔΔ χωρίς να παρουσιάζεται κίνδυνος για την αξιοπιστία του δικτύου, δίνει την δυνατότητα διατήρησης της ευστάθειας στα ΕΗΔ, και σε συνδυασμό με τη δυνατότητα αποθήκευσης ΗΕ και του ελέγχου της ζήτησης, αυξάνουν κατά πολύ την διείσδυση των ΑΠΕ.



Εικόνα 4 Μετάβαση σε ευφυή δίκτυα[12]

- **Η είσοδος των έξυπνων μετρητών δίνει την δυνατότητα για ευέλικτη τιμολόγηση**

Οι έξυπνοι μετρητές έχουν την ικανότητα μετάδοσης πληροφοριών κατανάλωσης σε διάφορες πλατφόρμες επικοινωνίας (π.χ. οθόνη συστήματος οικιακής διαχείρισης ενέργειας), επίσης σε ένα διαδραστικό περιβάλλον παρουσιάζουν την κατανάλωση της ΗΕ καθώς και το χρηματικό κόστος. Απαλείφουν την κατά εκτίμηση χρέωση, και κάνουν την χρέωση επί της πραγματικής κατανάλωσης ΗΕ. Τέλος δίνεται η ευελιξία στο καταναλωτή να διαλέγει πακέτα και προμηθευτές, με κριτήριο τις οικονομικές τους προσφορές.

2.4 Οφέλη του Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου

Τα συγκεντρωτικά οφέλη της μετάβασης από τα συμβατικά συστήματα ΗΕ σε ΕΗΔ μπορούν να εντοπιστούν σε διάφορους τομείς. Τα οφέλη της μετάβασης αυτής γίνονται αντιληπτά σε όλα τα επιμέρους τμήματα του συστήματος της ΗΕ (παραγωγή, μεταφορά, διανομή, κατανάλωση, αγορά ΗΕ). Συγκεκριμένα οι τομείς που αναμένονται να έχουν βελτίωση κατά την μετάβαση στα ΕΗΔ είναι [13]:

- **Αξιοπιστία (Reliability)**

- Μειώνεται η πιθανότητα γενικής διακοπής (blackout), βέβαια στη περίπτωση που υπάρξει γενική διακοπή εντοπίζεται και απομονώνεται η διαταραχή διευκολύνοντας την γρήγορη επαναφορά του συστήματος. Επί της ουσίας ενισχύεται η ικανότητα της ασταμάτητης παροχής ΗΕ.
- Περιορισμός διακοπών ΗΕ (outages) και βελτιστοποίηση των δεικτών που αφορούν την αξιοπιστία του ηλεκτρικού δικτύου (**SAIDI**- System Average Interruption Duration

Index- Δείκτης μέσης διάρκειας διακοπής συστήματος, **SAIFI**- System Average Interruption Frequency Index- Δείκτης μέσης συχνότητας διακοπής συστήματος, **MAIDI**- Momentary Average Interruption Duration Index- Δείκτης διάρκειας στιγμιαίας μέσης διακοπής, **MAIFI**- Momentary Average Interruption Frequency Index- Δείκτης συχνότητας στιγμιαίας μέσης διακοπής).

•Αποδοτικότητα (Efficiency)

- Μειώνεται η εγκατεστημένη ισχύς, κάτι που οφείλεται στα νέες τεχνολογίες αποθήκευσης ΗΕ.
- Μειώνονται οι απώλειες ΗΕ και η ζήτηση αιχμής στα ΣΜ και στα ΔΔ, μέσω του αμφίδρομου ελέγχου της ισχύος.
- Βελτιστοποίηση του δικτύου κατά την μεταφορά και τη διανομή ΗΕ. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βέλτιστη αξιοποίηση των συστημάτων του υπάρχοντος δικτύου (increased capability) απαλείφοντας την αναγκαιότητα για επέκτασή του.
- Αποφόρτιση του δικτύου εξαιτίας της ενσωμάτωσης των ηλεκτροκίνητων οχημάτων (plug-in Electric Vehicles), τα οποία έχουν την ικανότητα να χρησιμοποιηθούν ως πηγές.

•Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service)

- Μεγιστοποίηση της ευστάθειας (Stability). Διατηρώντας την συχνότητα και τη τάση εντός συγκεκριμένων ορίων, μειώνοντας έτσι τις διακυμάνσεις που παρουσιάζονται. Το γεγονός αυτό είναι πολύ σημαντικό αφού η αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ στα δίκτυα παράγει διακυμάνσεις τόσο στη συχνότητα όσο και στην τάση.
- Περιορισμός εμφάνισης αρμονικών παραμορφώσεων (harmonic distortion reduction).

•Περιβαλλοντικά οφέλη – αειφορία (environmental benefits – sustainability)

- Μείωση των εκπομπών CO₂ και των λοιπών ρύπων του θερμοκηπίου .
- Προστασία των φυσικών οικοσυστημάτων από παρεμβάσεις που δημιουργούνται από την κατασκευή μεγάλων μονάδων παραγωγής ΗΕ .
- Είσοδος του ηλεκτρισμού ως μορφή ενέργειας στους τομείς θέρμανσης-ψύξης και μεταφορών.

•Οικονομικά οφέλη (Financial Benefits)

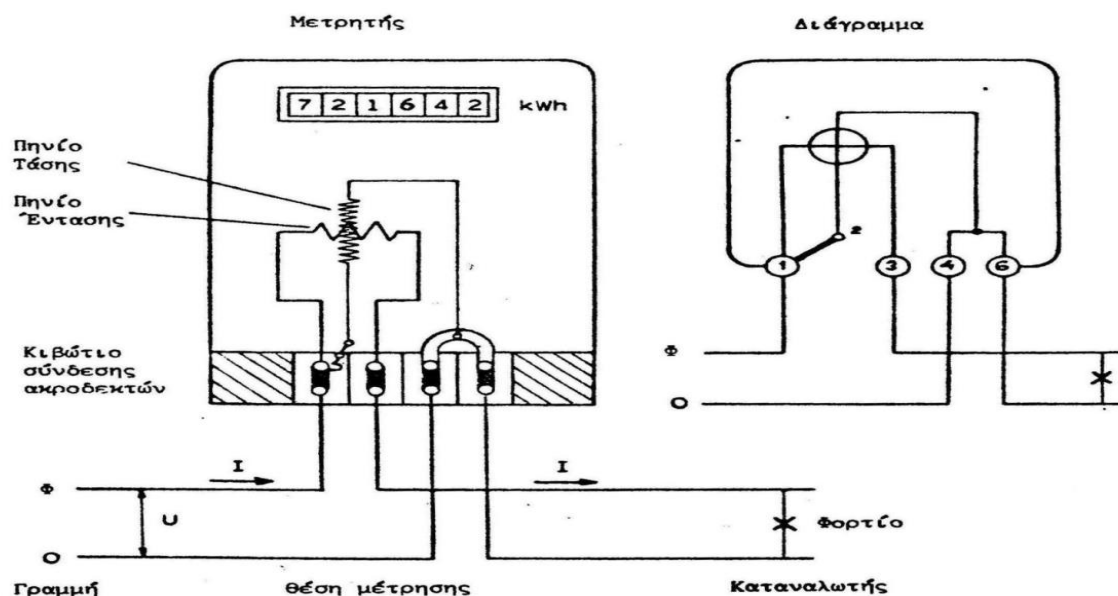
- Βέλτιστη αξιοποίηση των υπάρχοντων πόρων του δικτύου (Improved Asset Utilization), αποφυγή νέων επενδύσεων στην παραγωγή της ΗΕ και καλύτερη αξιοποίηση των υπάρχοντων εγκαταστάσεων.
- Εξοικονόμηση χρημάτων που προορίζονταν για κατασκευή νέων δικτύων μεταφοράς και διανομής (T&D capital savings) όπως και αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς – διανομής και με μείωση του κόστους βλαβών (εξαιτίας μείωσης του αριθμού των βλαβών μειώνεται και το κόστος για την αποκατάστασή τους).
- Μείωση δαπανών για την συντήρηση και την λειτουργία των εγκαταστάσεων μεταφοράς και διανομής (T&D O&M Savings) με την μείωση του οικονομικού κόστους συντήρησης, λειτουργίας και λειτουργίας των μετρητών.
- Περιορισμός της ρευματοκλοπής (Theft Reduction).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- Μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας

3.1 Ηλεκτρομηχανικοί- Επαγωγικοί Μετρητές

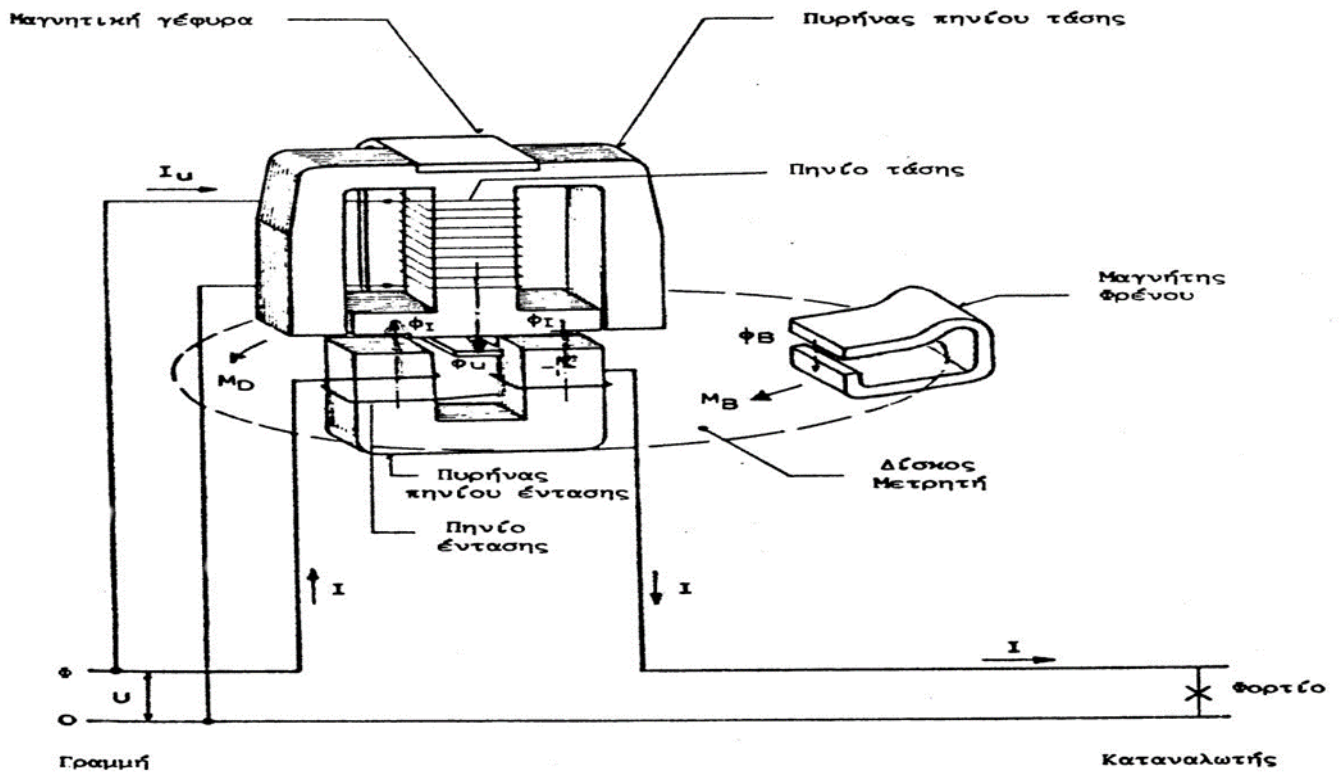
Η πλειοψηφία των κτιρίων είναι εξοπλισμένη με ηλεκτρομηχανικούς μονοφασικούς ή τριφασικούς μετρητές. Με αυτούς τους μετρητές πραγματοποιείται προς το παρόν η τιμολόγηση του κάθε καταναλωτή.

Οι εν λόγω μετρητές είναι είτε μονοφασικοί (εικόνα 5) είτε τριφασικοί και διαθέτουν ένα περιστρεφόμενο δίσκο, ο αριθμός των περιστροφών του οποίου αποτελεί την ένδειξη για την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που έχει καταναλωθεί. Στην εμπρόσθια όψη του μετρητή βρίσκεται οθόνη που λειτουργεί μηχανικά εμφανίζοντας την συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια της εγκατάστασης, μετρούμενη σε kWh [14].



Εικόνα 5- Σύνδεση 1Φ μετρητή [14]

Η αρχή λειτουργίας του, έγκειται στην αλληλεπίδραση των μαγνητικών ροών δυο σταθερών ηλεκτρομαγνητών τάσης και έντασης, που περιστρέφουν ένα δίσκο από αλουμίνιο (εικόνα 6). Η μαγνητική ροή του ηλεκτρομαγνήτη τάσης είναι ανάλογη της τάσης που εφαρμόζεται στον καταναλωτή, ενώ η μαγνητική ροή του ηλεκτρομαγνήτη έντασης ανάλογη προς την ένταση ρεύματος που απορροφά ο καταναλωτής. Οι δυο ηλεκτρομαγνήτες έχοντας σε φασική απόκλιση τις μαγνητικές ροές τους, δημιουργούν συνιστάμενο στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο και ο δίσκος περιστρέφεται. Η ταχύτητα περιστροφής του είναι ανάλογη της ισχύος που καταναλώνεται, ενώ ο αριθμός στροφών είναι ανάλογος της καταναλισκόμενης ενέργειας. Στην πινακίδα του μετρητή βρίσκεται η αναλογία στροφών και καταναλισκόμενων kWh [14].



Εικόνα 6 Αναλυτικό σχέδιο επαγωγικού μετρητή [14]

Συγκεκριμένα μέσω της αλληλεπίδρασης των δύο μαγνητικών ροών δημιουργείται μηχανική ροπή, υπεύθυνη για την περιστροφή του δίσκου. Η μηχανική ροπή δίνεται από την σχέση [14]:

$$T_m = K \cdot V \cdot I \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

- T_m : μηχανική ροπή
- K : σταθερά συστήματος
- V : ενεργός τιμή τάσης
- I : ενεργός τιμή ρεύματος
- α : γωνία μεταξύ μαγνητικών ροών ρεύματος και τάσης

Η γωνιακή ταχύτητα του δίσκου είναι ανάλογη της ισχύος αν ικανοποιούνται δύο προϋποθέσεις [14]:

1. η γωνιακή ταχύτητα του δίσκου να είναι πολύ μικρότερη της συχνότητας $2\pi f$ της τάσεως και του ρεύματος.

2. η διαφορά φάσης της μαγνητικής ροής τάσης- ρεύματος να είναι ίση με $\alpha = \pi - \varphi$, όπου φ η διαφορά φάσης τάσης- ρεύματος.

Η γωνιακή ταχύτητα του δίσκου δίνεται από την σχέση [14]:

$$\Gamma = K \cdot P \quad (2)$$

Γ : γωνιακή ταχύτητα δίσκου

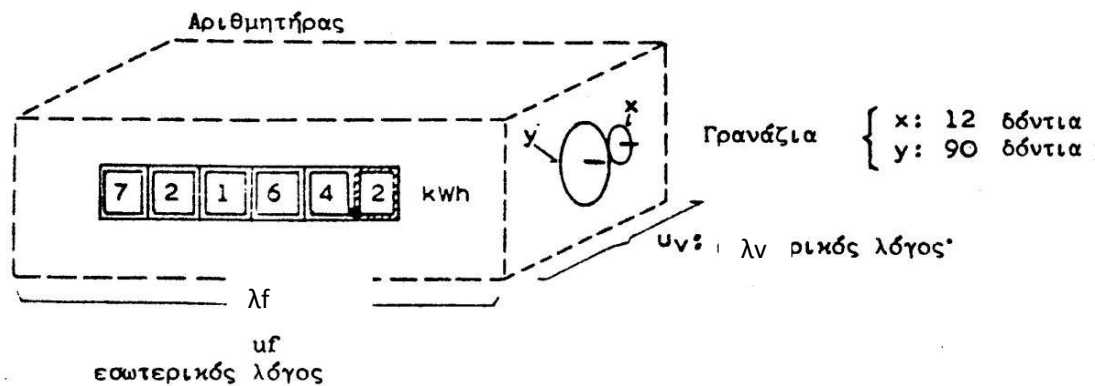
K : σταθερά του οργάνου

P : μέση ισχύς του κυκλώματος

Η σταθερά K του μετρητή καθορίζεται από τη σχέση [15]:

$$V / P_n \quad (3)$$

Ανάλογα με τον τύπο του μετρητή, η ονομαστική ταχύτητα του δίσκου (h) είναι γενικά 10...30r/min. Επειδή η ονομαστική ταχύτητα του δίσκου (h) για έναν ορισμένο τύπο μετρητή μπορεί να επιλεγεί σε μία πολύ περιορισμένη περιοχή, η σταθερά του μετρητή καθορίζεται κυρίως από το ονομαστικό φορτίο (P_n). Για την απλοποίηση των υπολογισμών, χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες (πρότυπες) τιμές. Η κάθε σταθερά του μετρητή καθορίζεται κυρίως από το ονομαστικό φορτίο (P_n). Ο συνολικός λόγος των γραναζιών, μεταξύ του δίσκου (του μετρητή) και του πρώτου τροχίσκου αριθμών (του αριθμητήρα) πρέπει να βρίσκεται μέσα στη περιοχή 1/50 – 1/6000, με έναν σταθερό εσωτερικό λόγο γραναζιών 1/50 - 1/500 και έναν μεταβλητό εξωτερικό λόγο γραναζιών 1/1 - 1/12 [15].



Εικόνα 7 Λόγος γραναζιών και σταθεράς K [15]

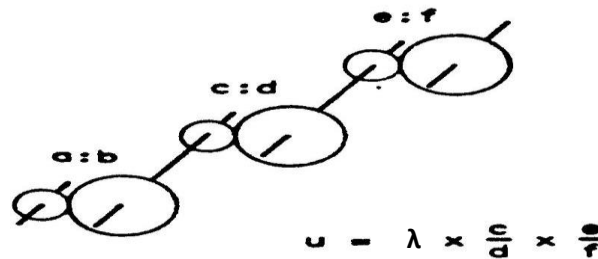
Εξωτερικός λόγος γραναζιών $\lambda_v = x/y = 12/90$ (4)

Εσωτερικός λόγος γραναζιών $\lambda_f = 1/50$ (5)

Συνολικός λόγος γραναζιών $\lambda = \lambda_f \cdot \lambda_v = 1/375$ (6)

Σταθερά μετρητή $K = 375$ (7)

Όταν ο πρώτος τροχίσκος αριθμών στη δεξιά πλευρά συμπληρώνει μία στροφή, η ένδειξη του αριθμητήρα αυξάνεται κατά 1 kWh (εικόνα 7). Επομένως ο δίσκος του μετρητή πρέπει να συμπληρώσει 375 στροφές για κάθε kWh που παρέχεται στον καταναλωτή. Ο συνολικός λόγος γραναζιών προκύπτει πολλαπλασιάζοντας τους λόγους των επί μέρους ζευγών γραναζιών, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 8. (Ο κάθε λόγος εξαρτάται από τον αριθμό των δοντιών των γραναζιών) [15].



Εικόνα 8 Συνολικός λόγος γραναζιών [15]

Η σταθερά του μετρητή ηλεκτρικά καθορίζεται από τη σχέση [15]:

$$\Gamma = \omega \cdot \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{R_1}{Z_1^2} \cdot (M_1 \cdot I) \cdot \left(M_2 \frac{V}{Z_2} \right) \cdot \cos \varphi = K \cdot P \quad (8)$$

ω : η γωνιακή ταχύτητα της τάσης και του ρεύματος ($2\pi f$)

R_1 - Z_1 : ισοδύναμη αντίσταση και σύνθετη αντίσταση αντίστοιχα, του περιστρεφόμενου δίσκου σε σχέση με το επαγόμενο ρεύμα του πεδίου.

$\frac{1}{\kappa}$: σταθερά με τις αντίστοιχες διαστάσεις

$M_1 \cdot I$: ενεργός τιμή κοινής μαγνητικής ροής των κυκλωμάτων ρεύματος και του δίσκου

$M_2 \frac{V}{Z_2}$: ενεργός τιμή κοινής μαγνητικής ροής των κυκλωμάτων τάσης και δίσκου

Z_2 : σύνθετη αντίσταση κυκλωμάτων τάσης

I : ενεργός τιμή ρεύματος

V : ενεργός τιμή τάσης

3.2 Ψηφιακοί-ηλεκτρονικοί μετρητές

3.2.1 Ηλεκτρονικοί μετρητές

Η εξέλιξη των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων ενίσχυσης και πολλαπλασιασμού αναπόφευκτα οδήγησε και στην χρήση τους στις μετρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν αναλογικοί πολλαπλασιαστές, όπου τα σήματα τάσης και ρεύματος επεξεργάζονταν για να δοθεί ένα τελικό σήμα ανάλογο προς της πραγματική ισχύ. Έτσι αν το αποτέλεσμα ολοκληρωθεί ως προς τον χρόνο, προκύπτει η πραγματική ενέργεια με αυξημένη ακρίβεια, με σφάλμα που αγγίζει το 0,2% [16].

Το χαρακτηριστικό λειτουργίας αυτού του οργάνου είναι η εφαρμογή τάσης και στα δύο κανάλια εισόδου (τάσης- ρεύματος), επειδή το όργανο αυτό δέχεται μόνο σήματα τάσης από 5V έως 15V. Η κατανάλωση ισχύος από το σύστημα είναι εξαιρετικά χαμηλή σχεδόν αμελητέα λόγω της υψηλής σύνθετης αντίστασης εισόδου. Επίσης σημαντικό στοιχείο είναι ότι οι ηλεκτρονικοί μετρητές έχουν υψηλό φάσμα συχνοτήτων καθώς και ότι λόγω χαμηλού εύρους τιμών τάσης, είναι απαραίτητη η χρήση Μ/Σ τάσης και ρεύματος ώστε να μην βγαίνουν εκτός ορίων. Για την επεξεργασία εναλλασσόμενων σημάτων από τον ηλεκτρονικό μετρητή, μετά τους Μ/Σ που προαναφέρθηκαν ακολουθεί μια βαθμίδα από τελεστικούς ενισχυτές, ο οποίοι πραγματοποιούν την αναλογική επεξεργασία σημάτων τάσης εισόδου, πράγμα απαραίτητο εάν τα σήματα εισόδου πρόκειται να υποβληθούν σε ψηφιακή επεξεργασία [16].

3.2.2 Ηλεκτρονικοί - αναλογικοί μετρητές ψηφιακής εξόδου

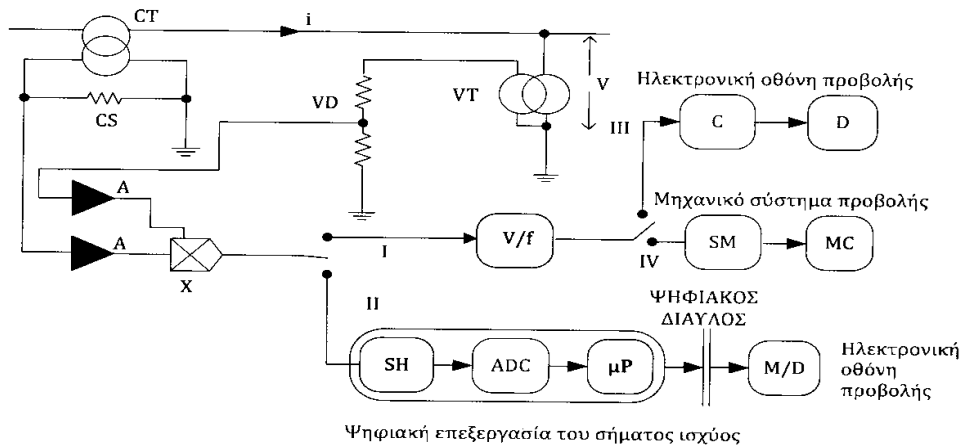
Στους ηλεκτρονικούς αναλογικούς μετρητές ψηφιακής εξόδου (εικόνα 9), η έξοδος είναι μια τάση ανάλογη του γινομένου των δυο τάσεων εισόδου, άρα ανάλογη της ισχύος εισόδου. Κατ' επέκταση είναι ανάλογη της στιγμιαίας ροής ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαδικασία της μέτρησης μπορεί να γίνει είτε με την χρήση απαριθμητή είτε με την χρήση μετατροπέα ADC (αναλογικός-ψηφιακός μετατροπέας) [17].

Για την χρήση του απαριθμητή, το σήμα ισχύος της εξόδου είναι ανάλογο του πολλαπλασιαστή στην είσοδο του μετατροπέα τάσης - συχνότητας, με αποτέλεσμα να δημιουργείται στο πεδίο της τάσης μια σειρά παλμών ανάλογη της συχνότητας. Ο απαριθμητής προσθέτει την παλμοσειρά που προκύπτει, και έτσι υπάρχει η μέτρηση της ενέργειας. Ο απαριθμητής μπορεί να συνδυαστεί με μια ψηφιακή έξοδο με αποτέλεσμα να προκύπτει μια απευθείας απεικόνιση της μετρούμενης ενέργειας. Σε άλλη περίπτωση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας βηματικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος, ο οποίος θα έχει ένα σταθερό γωνιακό βήμα για κάθε παλμό, δείχνοντας την ένδειξη σε έναν μηχανικό καταμετρητή. Ο αριθμός των περιστροφών του μηχανικού καταμετρητή είναι ανάλογος της συνολικής ενέργειας που καταναλώθηκε. Το σαφές πλεονέκτημα του δεύτερου τρόπου, είναι ότι δεν υπάρχουν επιρροές στην ένδειξη σε περίπτωση διακοπής της ηλεκτρικής ενέργειας [17].



Εικόνα 9 Ηλεκτρονικοί μετρητές ψηφιακής- μηχανικής απεικόνισης [17]

Στην περίπτωση της χρήσης μετατροπέα ADC, όπως φαίνεται και στην εικόνα 10, συνδέεται στην έξοδο του πολλαπλασιαστή ένα σύστημα δειγματοληψίας. Η δειγματοληψία πραγματοποιείται από έναν χρονιστή και ένα κύκλωμα δειγματοληψίας και συγκρατήσεως (S/H). Ο ADC δίνει στο σύστημα μια ομοιόμορφη δειγματοληψία για την περίοδο του σήματος, έτσι, ώστε το άθροισμα των δειγμάτων να είναι ανάλογο του ολοκληρώματος της ισχύος στον χρόνο, δηλαδή της ενέργειας. Η επεξεργασία της ολοκλήρωσης γίνεται μέσω ενός μικροεπεξεργαστή, που στέλνει τα αποτελέσματα στην ψηφιακή μνήμη, αποθηκεύονται, και ύστερα προβάλλονται στην ψηφιακή απεικόνιση. Η συλλογή αυτών των δεδομένων μπορεί να τεθεί σε επεξεργασία εκτός μετρητή, σε υπολογιστικά προγράμματα, για συμπεράσματα και τροποποιήσεις εγκαταστάσεων [19].



CT μετασχηματιστής ρεύματος, *VT* μετασχηματιστής τάσης, *CS* Shunt ρεύματος, *A* ενισχυτής, *VD* διαιρέτης τάσης, *X* πολλαπλασιαστής, *V/F* μετατροπέας τάσης / συχνότητας, *SM* βηματικός κινητήρας, *MC* μηχανικός μετρητής, *C* ηλεκτρονικός μετρητής, *D* οθόνη, *SH* δειγματοληψία, *ADC* αναλογικός-ψηφιακός μετατροπέας, *μP* μικροεπεξεργαστής (CPU), *M/D* μνήμη και απεικόνιση.

Εικόνα 10 Μπλοκ διάγραμμα ηλεκτρονικών μετρητών [19]

3.2.3. Ψηφιακοί- έξυπνοι μετρητές

Οι ψηφιακοί μετρητές χρησιμοποιούν τις ίδιες μεθόδους μέτρησης (1. Hall Effect 2. PWM 3. Analogue Multiplying IC 4. TTTC 5. Digital Multiplication) με τους ηλεκτρονικούς, αλλά με έναν πιο σύγχρονο και αξιόπιστο τρόπο, με την κύρια διαφορά να είναι ο τρόπος δειγματοληψίας αλλά και η ενσωμάτωση λογισμικού που επιτρέπει στον μετρητή πολλαπλές και προηγμένες διεργασίες[19].

Οι μέθοδοι μέτρησης που προαναφέρθηκαν είναι οι εξής[18]:

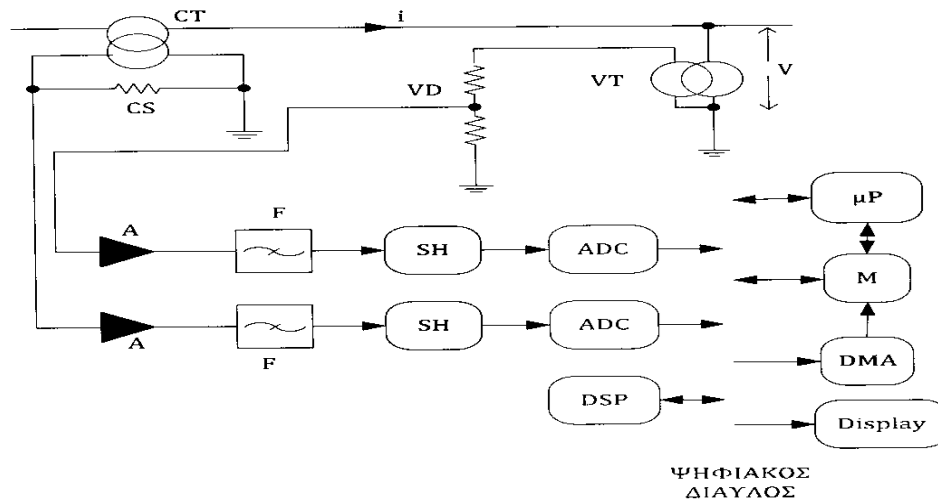
1. Hall Effect: Το φαινόμενο Hall οφείλεται στην απόκλιση που υφίστανται οι αγωγοί του ρεύματος, εξαιτίας της δύναμης που δέχονται από το μαγνητικό πεδίο. Τα αποτελέσματα του φαινομένου Hall σε ένα αγωγίμο πλακίδιο παρέχει πληροφορίες σχετικά με τους αγωγούς του ηλεκτρικού ρεύματος και για την πυκνότητά του ρεύματος που τους διαρρέει. Οι αισθητήρες Hall είναι εξαιρετικοί αισθητήρες μέτρησης ρεύματος. Το εύρος απόκρισής τους κυμαίνεται από σταθερό ρεύμα (dc) μέχρι της τάξης των kHz. Οι αισθητήρες Hall γραμμικής εξόδου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση ρευμάτων εύρους από 250mA μέχρι χιλιάδες Ampere. Η απομονωμένη αναλογική τάση που παράγεται από τον αισθητήρα μπορεί να τροποποιηθεί προσθέτοντας ενισχυτές ή συγκριτές ώστε να επιτύχουμε ψηφιακή έξοδο, αλλαγή επιπέδου, θερμοκρασιακή απόσβεση, ρύθμιση κέρδους ή άλλες επιθυμητές παραμέτρους. Οι γραμμικοί αισθητήρες προσφέρουν υψηλή απόκριση συχνότητας (AC) και μετρήσεις σταθερών ρευμάτων (DC).
2. PWM: Το Pulse Width Modulation (Διαμόρφωση Εύρους Παλμών) είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται από ένα ψηφιακό κύκλωμα για να δημιουργήσει ένα μεταβλητό αναλογικό σήμα. Σε ένα σύστημα P.W.M, ανοίγει και να κλείνει ένα διακόπτης με σταθερά, επαναλαμβανόμενα χρονικά διαστήματα. Η τεχνική διαμόρφωσης του εύρους ή της διάρκειας των παλμών δίνει την δυνατότητα της μεταφοράς πληροφορίας μέσω μιας παλμοσειράς. Πιο συγκεκριμένα, η πληροφορία είναι στο πλάτος αυτών των παλμών και ορίζει την ισχύ που φθάνει σε ένα φορτίο.
3. Analogue Multiplying IC: Είναι η μέθοδος της αναλογικής υλοποίησης σε ολοκληρωμένο κύκλωμα. Με τη χρήση κυκλώματος πολλαπλασιαστή, μπορεί να πραγματοποιηθούν λειτουργίες όπως:
 - Πολλαπλασιασμός σημάτων
 - Διαίρεση σημάτων
 - Τετραγωνισμός σήματος
 - Τετραγωνική ρίζα σήματος
 - Αναγνώριση διαφοράς φάσης δυο σημάτων

- Διαμόρφωση σήματος κατά πλάτος

4. TTTC (Three-Terminal Thermo-Converter): Η τεχνική TTTC μετατρέπει εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή τάση μέσω θερμική αντικατάσταση. Το TTTC βασίζεται σε θερμικά απομονωμένο FET (Field-effect transistor, Transistor επίδρασης πεδίου) το οποίο μετράει τις στιγμιαίες τιμές της τάσης και ρεύματος που αντιστοιχούν στη μετρούμενη ισχύ.
5. Digital Multiplication: Αυτή η τεχνική αξιοποιεί έναν A/D Μετατροπέα με multiplexed εισόδους ή έναν ξεχωριστό A/D Μετατροπέα για κάθε είσοδο στο σύστημα. Η μέτρηση της ισχύος και της ενέργειας υπολογίζεται από την δειγματοληψία και την ψηφιοποίηση των στιγμιαίων τιμών της τάσης και του ρεύματος σε διάφορα χρονικά διαστήματα. Ο πολλαπλασιασμός των τιμών πραγματοποιείται ψηφιακά και προκύπτει ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων. Εξαιτίας της υψηλής υπολογιστικής δύναμης των ψηφιακών επεξεργαστών και των A/D Μετατροπέων με υψηλή ακρίβεια είναι εύκολο να μετρηθεί η άεργος ισχύς, η αλλαγή φάσης, ο συντελεστής ισχύος, και η φαινόμενη ισχύ. Σε αρκετές περιπτώσεις είναι αναγκαίο να μετρηθεί το φάσμα συχνότητας των σημάτων ισχύος του δικτύου. Η ψηφιακή επεξεργασία των αναλογικών σημάτων προσφέρει βραχυπρόθεσμη καθώς και μακροπρόθεσμη σταθερότητα αλλά και υψηλή ακρίβεια μετρήσεων.

Όσον αφορά την διαφορά στον τρόπο δειγματοληψίας, όπως φαίνεται στην εικόνα 11 αυτή έχει να κάνει με κυκλώματα που τοποθετούνται πριν από την δειγματοληψία και εξασφαλίζουν την αξιοπιστία. Τέτοια κυκλώματα συνήθως είναι προγραμματιζόμενοι ενισχυτές, φίλτρα και αλλά ψηφιακά κυκλώματα. Το σύστημα δεδομένων παρουσιάζει κυματομορφές ισχύος-ενέργειας σε ψηφιακή μορφή δίνοντας έτσι την δυνατότητα για επεξεργασία. Αρκετές φορές το σύστημα, εκτός από την κεντρική μονάδα επεξεργασίας, εμπεριέχει και ένα σύστημα ψηφιακής επεξεργασίας του σήματος, το οποίο μας δίνει πρόσβαση σε στοιχεία για τον υπολογισμό σύνθετων παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο [19].

Η ύπαρξη λογισμικού εντός του μετρητή, επιτρέπει την διαχείριση των δεδομένων με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι στέλνοντας απευθείας τα δεδομένα στο σύστημα επεξεργασίας. Ο δεύτερος τρόπος είναι με πρόσβαση στην μνήμη, με διαδικασίες άμεσης προσπέλασης της μνήμης (direct memory access). Κατά τον δεύτερο τρόπο τα δεδομένα για μια χρονική περίοδο πρώτα αποθηκεύονται και ύστερα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό ενεργείας και άλλων παραμέτρων. Δίνεται βεβαίως η δυνατότητα, τα αποτελέσματα των επεξεργασιών να είναι διαθέσιμα για παρουσίαση ή και αποστολή σε άλλα συστήματα. Η δυνατότητα αυτή που μόλις αναφέρθηκε, καταστεί ικανό αυτόν τον τύπο των μετρητών να τοποθετηθούν σε πολύπλοκα δίκτυα, καθώς με την αυτόνομη λογική ικανότητα που έχει, επιτρέπεται ο έλεγχος της ακριβούς ροής της ηλεκτρικής ενέργειας, σε σχέση με μη αναμενόμενα σφάλματα στην συσκευή. Δίνεται έτσι ο χαρακτηρισμός "έξυπνες" σε αυτές τις συσκευές [17].



CT μετασχηματιστής ρεύματος, VT μετασχηματιστής τάσης, CS Shunt ρεύματος, A ενισχυτής, VD διαιρέτης τάσης, F αναλογικό φίλτρο, SH δειγματοληψία, ADC αναλογικός-ψηφιακός μετατροπέας, μP μικροεπεξεργαστής (CPU), M μνήμη, DSP Digital Signal Processing Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος, D οθόνη, DMA μνήμη άμεσης πρόσβασης.

Εικόνα 11 Μπλοκ διάγραμμα ψηφιακού μετρητή ενέργειας [19]

3.2.4 Ενδείξεις ηλεκτρονικών μετρητών ΔΕΔΔΗΕ

Για να γίνει διαχωρισμός στις διάφορες ενδείξεις των νέων μετρητών, ο ΔΕΔΔΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας) ακολουθεί την τυποποίηση του πρωτοκόλλου DLMS (Device Language Message Specification), έτσι για οποιαδήποτε ένδειξη υπάρχει ένας ξεχωριστός κωδικός. Η τυποποίηση αυτή καθίσταται απαραίτητη για την επιτόπια καταγραφή των ενδείξεων, αλλά και την είσοδο των ηλεκτρονικών μετρητών στα κέντρα τηλεμέτρησης. Για την καταγραφή των ενδείξεων από τους καταμετρητές του ΔΕΔΔΗΕ και από τους καταναλωτές, και για να αποφεύγεται η αποσφράγιση/άνοιγμα του καλύμματος του μετρητή, οι ενδείξεις αλλάζουν στην οθόνη ανά 10 δευτερόλεπτα. Οι βασικές ενδείξεις είναι οι εξής[16]:

- 0.9.1 & 0.9.2 Τρέχουσα ώρα & Ημερομηνία, για επαλήθευση της εναλλαγής ημερήσιου και νυχτερινού τιμολογίου
- 1.8.0 Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας
- 1.8.1 Ημερήσια Κατανάλωση Ενέργειας
- 1.8.2 Νυχτερινή Κατανάλωση Ενέργειας
- 2.8.0 Συνολική Παραγωγή Ενέργειας (αφορά αποκλειστικά φωτοβολταϊκά)

Τα παραπάνω έχουν ισχύ για τους συγκεκριμένους μετρητές που προμηθεύεται και εγκαθιστά ο ΔΕΔΔΗΕ, καθώς και για τους μετρητές που προμηθεύονται και εγκαθιστούν καταναλωτες (π.χ. ενδιάμεσες μετρήσεις, NetMetering κ.α.) [16].

Στην εικόνα 12, στο 1 είναι ο κωδικός της ένδειξης, στο 2 η τιμή με 6 ακέραια και 2 δεκαδικά ψηφία, και στο 3 η μονάδα μέτρησης, που είναι πάντα σε κιλοβατώρες.

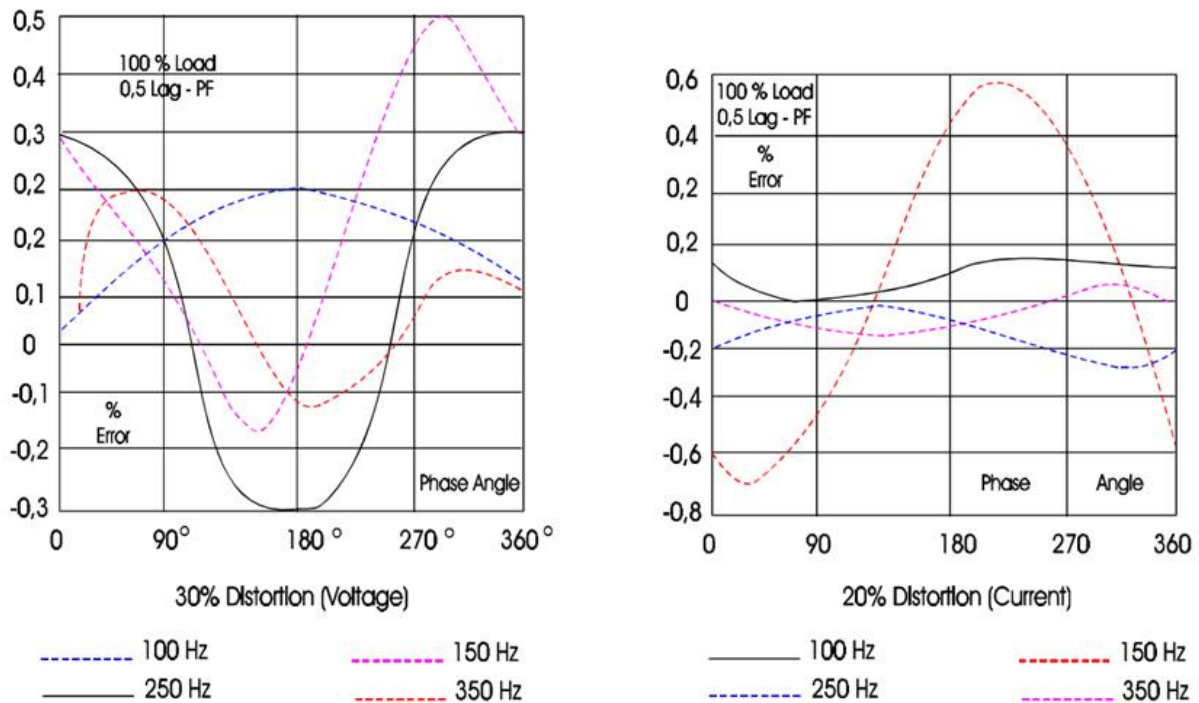


Εικόνα 12 Ενδείξεις ηλεκτρονικών μετρητών ΔΕΔΔΗΕ [16]

3.3. Επίδραση αρμονικών σε μετρητικό εξοπλισμό

Τα όργανα μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών επηρεάζονται φυσικά από την ύπαρξη αρμονικής παραμόρφωσης. Το μέγεθος του σφάλματος ποικίλει, αλλά αυτό που παρατηρείται είναι ότι συνήθως τα υψηλότερα σφάλματα παρουσιάζονται στα επαγωγικά όργανα. Οι μετρητές έχουν σχεδιαστεί ώστε να λειτουργούν σε τυπική συχνότητα και τάση με μικρή ή καθόλου παραμόρφωση. Οι συνθήκες αυτές προσεγγίζονται συνήθως με ακρίβεια και τα λάθη στη μέτρηση ενέργειας είναι αμελητέα. Ωστόσο, η αυξανόμενη χρήση ηλεκτρονικών υψηλής συχνότητας, προκαλεί αρμονική παραμόρφωση στο ρεύμα του φορτίου. Αυτό έχει προκαλέσει ανησυχία σχετικά με την απόδοση των μετρητών ενέργειας[20].

Η παραμόρφωση τάσης και ρεύματος-κυματομορφής μπορεί να οδηγήσει σε ανακριβή λειτουργία των επαγωγικών μετρητών. Δοκιμές έχουν δείξει μεγάλη διαφορά στην απόδοση μετρητών από διαφορετικούς κατασκευαστές, ή ακόμη και μεταξύ μετρητών από τον ίδιο κατασκευαστή. Οι αρμονικές τάσης ή ρεύματος υποβαθμίζουν την ικανότητα ενός μετρητή. Οι αρμονικές του φορτίου που παράγονται συνδυάζονται με αρμονικές της ίδιας συχνότητας, που υπάρχουν λόγω της ατέλειας του μετρητή και παράγουν δευτερεύουσες αρμονικές. Το αποτέλεσμα των αρμονικών, διαφόρων γωνιών φάσης και πλάτους στα πηνία τάσης και ρεύματος παρουσιάζονται παρακάτω στην εικόνα 13[20].



Εικόνα 13 Αποτέλεσμα αρμονικών διαφόρων γωνιών φάσης και πλάτους[20]

Η επίδραση των αρμονικών στην ακρίβεια των μετρητών εκδηλώνεται με τρεις τρόπους[20]:

1. Οι μετρητές είναι ευαίσθητοι στη συχνότητα, με το σφάλμα να αυξάνεται όσο αυξάνεται η συχνότητα(εικόνα 13).
2. Τα μαγνητικά πεδία του πηνίου τάσης ενός μετρητή δεν είναι γραμμικά και εμφανίζουν αρμονική παραμόρφωση, λόγω συσκευών αντιστάθμισης.
3. Οι μετρητές δεν μετρούν την ενέργεια στιγμιαία λόγω της εμφάνισης συνεχούς τάσης.

Επειδή έγινε αναφορά και σε ηλεκτρονικό μετρητικό εξοπλισμό, αξίζει να αναφερθεί ότι, οι ηλεκτρονικές συσκευές είναι αυτές που δουλεύουν εντός αυστηρών συνθηκών λειτουργίας. Έτσι είναι επιρρεπείς σε δυσλειτουργία υπό την ύπαρξη αρμονικής παραμόρφωσης. Τα κυκλώματα ελέγχου, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, συγχρονίζονται με την τάση του δικτύου, με τα σημαντικότερα προβλήματα να δημιουργούνται από την παραμόρφωση της τάσης κυρίως κατά τα σημεία του μηδενισμού (IEEE std 519-2014) [28].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Θεωρία σφαλμάτων

4.1. Ταξινόμηση σφαλμάτων στις μετρήσεις

Η κατηγοριοποίηση των σφαλμάτων μπορεί να γίνει με πολλαπλούς τρόπους. Σε αυτό το κεφάλαιο θα διαχωριστούν τα είδη των σφαλμάτων σε δύο κατηγορίες: α) με βάση την αιτία των σφαλμάτων β) με βάση το είδος τους, αν δηλαδή είναι συστηματικά ή τυχαία [19].

Στην πρώτη κατηγορία το σύνολο του σφάλματος απαρτίζεται από το άθροισμα τριών επιμέρους σφαλμάτων, του μεθοδολογικού, του οργάνου και του ανθρώπινου. Η εξίσωση που το περιγράφει είναι η εξής [19] :

$$\Delta\chi = \Delta\chi_{method} + \Delta\chi_{instr} + \Delta\chi_{human} \quad (9)$$

Τα μεθοδολογικά σφάλματα κυρίως οφείλονται σε έλλειψη θεωρητικού υπόβαθρου, από ανακρίβεια μαθηματικών εξισώσεων, ή από λανθασμένες εκτιμήσεις για το προσδιορισμό του μετρούμενου μεγέθους [19].

Τα σφάλματα οργάνου αναφέρονται στις κατασκευαστικές ατέλειες που υπάρχουν σε όλα τα όργανα και τις διατάξεις. Αυτού του είδους τα σφάλματα είναι γνωστά σε συγκεκριμένες συνθήκες και παραμέτρους. Όταν οι μετρήσεις γίνονται σε διαφορετικές συνθήκες, στις οποίες και είναι γνωστά τα σφάλματα, τότε συνήθως τα σφάλματα αυτά παίρνουν μεγαλύτερες διαστάσεις [19].

Όσον αφορά τα σφάλματα του ανθρώπινου παράγοντα, έχουν να κάνουν με την καταγραφή και το διάβασμα των διάφορων ενδείξεων, κυρίως αναλογικών οργάνων. Αυτά τα σφάλματα θεωρούνται μεμονωμένα και πλέον, με την ολο και μεγαλύτερη χρήση των ψηφιακών οργάνων, γίνονται ολοένα και πιο αμελητέα [19].

Στην δεύτερη κατηγορία, τα τυχαία σφάλματα ορίζονται από απρόβλεπτους παράγοντες με άγνωστη αιτία και τιμή. Η εμφάνισή τους γίνεται αντιληπτή συνήθως όταν παρατηρείται μια μεγάλη απόκλιση μεταξύ διαδοχικών μετρήσεων του ίδιου μεγέθους, η οποία απόκλιση δεν μπορεί να προβλεφθεί ή ακόμα και να εξηγηθεί [20].

Από την άλλη το συστηματικό σφάλμα παραμένει σταθερό ή αλλάζει με έναν τρόπο που ορίζει κάποιος φυσικός νόμος, κατά την εκτέλεση μετρήσεων ενός μεγέθους. Η τιμή του σφάλματος πιθανόν να μην είναι γνωστή αλλά η αιτία είναι πάντα γνωστή. Έτσι, ενώ ένα κομμάτι αυτού του είδους του σφάλματος μπορεί να περιοριστεί με τις καταλληλές διορθώσεις, είναι αδύνατον να μηδενιστεί. Η ύπαρξη τμήματος του σφάλματος που παραμένει αποτελεί τελικά το συστηματικό σφάλμα της μέτρησης [20].

Ο παραπάνω διαχωρισμός είναι αρκετά σημαντικός γιατί τροποποιείται ο τρόπος εκδήλωσης, ο τρόπος υπολογισμού και εκτίμησης του μεγέθους του τυχαίου και του συστηματικού σφάλματος. Τα τυχαία σφάλματα εντοπίζονται με την επανάληψη της μέτρησης του ίδιου μεγέθους στις ίδιες συνθήκες. Τα συστηματικά σφάλματα, συνήθως υπολογίζονται με θεωρητική προσέγγιση των συνθηκών μέτρησης, των οργάνων μέτρησης και τις ιδιότητες του μετρούμενου μεγέθους. Για να

γίνει κατανοητός ο τρόπος που περιορίζονται αυτά τα σφάλματα κρίνεται απαραίτητη η αναφορά σε τρεις όρους, την επαναληψιμότητα, την αναπαραγωγιμότητα και την ακρίβεια [21].

Η επαναληψιμότητα των μετρήσεων δείχνει την εγγύτητα των αποτελεσμάτων του ίδιου μετρούμενου μεγέθους στις ίδιες συνθήκες. Μια καλή επαναληψιμότητα δείχνει την μικρή πιθανότητα ύπαρξης τυχαίου σφάλματος [21].

Η αναπαραγωγιμότητα των μετρήσεων δείχνει την εγγύτητα των αποτελεσμάτων του ίδιου μετρούμενου μεγέθους σε διαφορετικές συνθήκες, διαφορετικά εργαστήρια και διαφορετικό εξοπλισμό. Μια καλή αναπαραγωγιμότητα δείχνει την μικρή πιθανότητα ύπαρξης τυχαίου σφάλματος [21].

Η ακρίβεια των μετρήσεων δείχνει την διασπορά των μετρήσεων του ίδιου μεγέθους. Η ακρίβεια αφορά τα όργανα μέτρησης, την μεθοδολογία των μετρήσεων καθώς και την εκτέλεση των μετρήσεων. Μια πολύ καλή ακρίβεια μας δίνει πολύ χαμηλά τυχαία και συστηματικά σφάλματα. Όργανα με υψηλή ακρίβεια έχουν και καλή επαναληψιμότητα και καλή αναπαραγωγιμότητα [19].

4.2 Σφάλματα μετρητικών διατάξεων

Τα σφάλματα των μετρητικών διατάξεων αφορούν κυρίως τα όργανα μέτρησης αλλά και την επίδραση του περιβάλλοντος στην ακρίβεια της μέτρησης.

Τα όργανα μέτρησης από κατασκευής τους έχουν ατέλειες και λειτουργικά χαρακτηριστικά σε σχέση με το μετρούμενο μέγεθος. Ανάλογα αν το όργανο είναι με μηχανικά μέρη ή ηλεκτρονικό, έχει και την ανάλογη περιγραφή της ακρίβειας του. Η ακρίβεια δίνεται από το μέγιστο σφάλμα προς την μέγιστη μετρούμενη τιμή σε ποσοστό επί τοις εκατό. Ο μαθηματικός τύπος είναι [21] :

$$F_o = \frac{|DX_m|}{X_m} \cdot 100\% \quad (10)$$

F_o: ακρίβεια οργάνου

DX_m: μέγιστο απόλυτο σφάλμα οργάνου

X_m: μέγιστη τιμή κλίμακας οργάνου

Οι κατασκευαστές οργάνων ανέφεραν το σφάλμα πλήρους κλίμακας ως απόκλιση πλήρους κλίμακας. Παρόλο που αυτή η τιμή καθορίζει την ακρίβεια στην πλήρη κλίμακα, δεν αφορά τις χαμηλότερες τιμές όπου το σφάλμα μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερο. Έτσι σε περίπτωση σφάλματος, όσο μικραίνει η χαμηλότερη τιμή από αυτήν της μέγιστης κλίμακας, τόσο αυξάνεται το σφάλμα, και κατά συνέπεια μικραίνει κατά πολύ η ακρίβεια της μετρούμενης τιμής. Ένας άλλος τρόπος έκφρασης της απόκλισης πλήρους κλίμακας είναι το σταθερό σφάλμα ανάγνωσης, ως ποσοστό της τιμής που δίνει το όργανο, και συμβολίζεται ως $\pm A\%rdg$. Στα ψηφιακά όργανα υπάρχει επίσης συχνά το $\pm Adgt$, το οποίο αναφέρεται στην ακρίβεια των αριθμών των ψηφίων, γεγονός που προσθέτει σφάλμα του τελευταίου ψηφίου στην παραπάνω ποσοστιαία τιμή. Πολλά ψηφιακά όργανα και ιδιαίτερα αυτά της υψηλής ακρίβειας, περιγράφονται από τον αριθμό των ψηφίων που έχουν την ικανότητα να απεικονίσουν σε διάφορες κλίμακες

μετρήσεων. Ένας άλλος τρόπος παρουσίασης ακρίβειας στα ψηφιακά όργανα, και ιδιαίτερα σε αυτά υψηλής ακρίβειας, είναι τα μέρη στο εκατομμύριο ή αλλιώς ppm-parts per million [19].

Η κλάση ενός οργάνου K_χ δίνεται από τον λόγο του μέγιστου απόλυτου σφάλματος προς τη μέγιστη τιμή της κλίμακας του οργάνου, πολλαπλασιασμένο επί 100. Ο μαθηματικός τύπος είναι ο παρακάτω [19]:

$$K_\chi = \frac{|DX_m|}{X_m} \cdot 100 \quad (11)$$

Η ευαισθησία (E) του οργάνου ορίζεται ως ο λόγος της μεταβολής της ένδειξης του οργάνου (dX_{inst}) προς την αντίστοιχη μεταβολή του μετρούμενου μεγέθους (dX_{meas}), που προκαλεί την μεταβολή της ένδειξης. Ο μαθηματικός τύπος είναι [19]:

$$E = \frac{|dX_{inst}|}{|dX_{meas}|} \quad (12)$$

Η διακριτική ικανότητα του οργάνου αναφέρεται στην ελάχιστη ποσότητα που μπορεί να μετρήσει ένα όργανο, δηλαδή το ελάχιστο ποσό μεταβολής του μετρούμενου μεγέθους που μπορεί να ευαισθητοποιήσει το όργανο. Στα αναλογικά όργανα η διακριτική ικανότητα είναι η μικρότερη υποδιαίρεση της μικρότερης κλίμακας. Στα ψηφιακά όργανα παρουσιάζονται ιδιαιτερότητες, αλλά η διακριτική ικανότητα συνήθως αναφέρεται σαν ο αριθμός των ψηφίων ή αλλιώς bits [20].

Στους ψηφιοποίητες και στα όργανα που περιλαμβάνουν αναλογικούς ψηφιακούς μετατροπείς, όπως ο ηλεκτρονικός μετρήτης ενέργειας, τα bits δείχνουν την ικανότητα αναλογικών ψηφιακών μετατροπέων (ADC). Ένα εισερχόμενο αναλογικό σήμα μετατρέπεται από έναν ADC σε ψηφιακό με διακριτές τιμές 2^k , με τον εκθέτη k να υποδηλώνει τον αριθμό των bits που γίνονται διακριτά. Για παράδειγμα, ένας 8 bit ADC έχει 256 διακριτές τιμές ($2^8=256$). Με βάση τον αριθμό των ψηφίων προσδιορίζεται η ακρίβεια σε bits, η σχέση που το προσδιορίζει είναι η εξής [19]:

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο των οργάνων μέτρησης είναι ο χρόνος απόκρισης, ο οποίος μας δείχνει τον χρόνο που περνάει από την διέγερση του οργάνου από το μετρούμενο μέγεθος μέχρι να γυρίσει σε κατάσταση ηρεμίας. Ο χρόνος αυτός όσο μικρότερος είναι τόσο το καλύτερο. Επίσης αυτός ο χρόνος σχετίζεται με την δυναμική απόκριση του οργάνου, δηλαδή το πόσο γρήγορα ανταποκρίνεται το όργανο στις μεταβολές του μετρούμενου μεγέθους. Αν η ταχύτητα απόκρισης είναι χαμηλή τότε προστίθεται επιπλέον σφάλμα στην μέτρηση [20].

Τέλος υπάρχει η υστέρηση των οργάνων που καταδεικνύουν τη διαφορά στις τιμές του ίδιου μεγέθους που παρουσιάζεται ανάλογα αν η μέτρηση γίνεται σε ακολουθία, είτε σταδιακά αυξανόμενων, είτε σταδιακά μειούμενων τιμών [19].

$$\Psi\eta\phi\acute{\iota}\alpha\ \delta\iota\alpha\kappa\rho\iota\tau\iota\kappa\eta\varsigma\ \iota\kappa\alpha\nu\acute{o}\tau\eta\tau\alpha\varsigma = \log(\alpha\rho\iota\theta\mu\acute{o}\varsigma\ \delta\iota\alpha\kappa\rho\iota\tau\acute{o}\nu\ \tau\iota\mu\acute{o}\nu) \quad (13)$$

4.2.1 Επίδραση περιβάλλοντος και εισαγωγή σφάλματος στις μετρήσεις

Στις προδιαγραφές των οργάνων δίνεται μεταξύ άλλων και η θερμοκρασία κανονικής λειτουργίας του. Κατά την βαθμόνομηση των οργάνων δίνεται το **συστηματικό σφάλμα**, το οποίο ορίζεται τόσο από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά (π.χ. κράμα μετάλλων) όσο και από την λειτουργία σε περιβάλλον συγκεκριμένης θερμοκρασίας, που συνήθως είναι στους 20°C. Όταν οι συνθήκες λειτουργίας διαφοροποιούνται από αυτές των προδιαγραφών, πολλές φορές επηρεάζουν την έξοδο των οργάνων ιδίως αν αυτά είναι μηχανικά. Είναι γνωστό ότι τα μηχανικά μέρη αλλάζουν χαρακτηριστικά με την αλλαγή της θερμοκρασίας, για παράδειγμα μεταβολή σταθεράς ελατηρίου, αλλαγή αγωγιμότητας και άλλα. Το σφάλμα που προκύπτει ονομάζεται σφάλμα θερμοκρασίας. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα ηλεκτρονικά ψηφιακά όργανα δεν παρουσιάζουν μεταβολές στην ακρίβεια τους με την μεταβολή της θερμοκρασίας, αλλά έχουν σημαντικούς περιορισμούς λόγω των ηλεκτρονικών τους μερών [20].

Ένας άλλος σημαντικός εξωτερικός παράγοντας που επηρεάζει την διαδικασία των μετρήσεων είναι τα εξωτερικά μαγνητικά πεδία. Η επίδραση εξωτερικών μαγνητικών πεδίων αφορά και αυτή κατά κύριο λόγο όργανα με αναλογικά μηχανικά μέρη, συνήθως γίνεται αντιληπτή όταν υπάρξει αλλαγή στην ένδειξη του οργάνου όταν αυτό αλλάζει προσανατολισμό. Όσον αφορά τα ψηφιακά όργανα, αυτά μένουν ανεπηρέαστα από την ύπαρξη μαγνητικών πεδίων, εκτός και αν είναι πεδιόμετρα στα οποία η ύπαρξη εξωτερικών πεδίων είναι πηγή πολύ σημαντικού σφάλματος [22].

Εκτός των μαγνητικών πεδίων, σημαντικός παράγοντας επιρροής είναι και τα ηλεκτρικά πεδία. Τα ηλεκτρικά πεδία επηρεάζουν ηλεκτροστατικά όργανα λόγω της ηλεκτροστατικής έλξης που δημιουργούν, επηρεάζοντας έτσι τις ενδείξεις. Τέτοιου είδους μετρήσεις συναντάμε σε μετρήσεις υψηλών τάσεων [22].

4.3 Συστηματικά σφάλματα άμεσων και έμμεσων μετρήσεων

Τα συστηματικά σφάλματα, όπως ήδη έχει αναφερθεί οφείλονται στα όργανα ή στις μετρητικές διατάξεις, ενώ σε αυτά συμβάλλει και αρκετές φορές η μέθοδος που χρησιμοποιείται. Στην περίπτωση ενός οργάνου όπου, η τιμή του μετρούμενου μεγέθους αντιστοιχεί και στην ένδειξη του, τότε αυτή η σχέση καθορίζει και το συστηματικό σφάλμα. Η μέτρηση αυτή ονομάζεται άμεση μέτρηση και επομένως το σφάλμα ονομάζεται άμεσο συστηματικό σφάλμα [23].

Στην πραγματικότητα όμως τα όργανα μετρούν ένα μέγεθος το οποίο υπακούει σε ένα γνωστό φυσικό νόμο, μια γνωστή συνάρτηση από όπου τελικά προκύπτει η ένδειξη του οργάνου. Η μέτρηση αυτή ονομάζεται έμμεση μέτρηση και το σφάλμα που προκύπτει έμμεσο συστηματικό σφάλμα. Παρακάτω παρουσιάζονται οι μαθηματικές εκφράσεις που προσεγγίζουν τους όρους που έχουν δοθεί μέχρι τώρα [23].

Η ποσότητα y προκύπτει από την μέτρηση των μεγεθών x_1, x_2, \dots, x_n ακολουθώντας την συνάρτηση ενός φυσικού μεγέθους ως εξής [19]:

$$y = f(x_1, x_2 \dots \dots, x_n) \quad (14)$$

Το έμμεσο απόλυτο συστηματικό σφάλμα είναι:

$$\Delta y = Y_{\text{πραγματ.}} - y_1(x_1, x_2 \dots \dots, x_n) \quad (15)$$

το $Y_{\text{πραγματ.}}$ είναι η πραγματική τιμή και $y_1(x_1, x_2 \dots \dots, x_n)$ η τιμή που προκύπτει από τις μετρούμενες τιμές.

Το έμμεσο σχετικό συστηματικό σφάλμα είναι:

$$\delta y = \frac{\Delta y}{Y_{\text{πραγματ.}}} = \frac{Y_{\text{πραγματ.}} - y_1(x_1, x_2 \dots \dots, x_n)}{Y_{\text{πραγματ.}}} \quad (16)$$

χρησιμοποιώντας την συνάρτηση σε σειρά Taylor προσδιορίζονται αλλά χαρακτηριστικά μεγεθών της μέτρησης, όπως το μέγιστο έμμεσο απόλυτο σφάλμα και η τυπική απόκλιση σ . Το μέγιστο τυπικό σφάλμα ορίζεται ως εξής [19]:

$$|\Delta y_m| = \left| \frac{df}{dx_1} \right| \cdot |\Delta x_{1m}| + \dots + \left| \frac{df}{dx_n} \right| \cdot |\Delta x_{nm}| = \sum_{i=1}^n \left| \frac{df}{dx_i} \right| \cdot |\Delta x_{im}| \quad (17)$$

ενώ η τυπική απόκλιση δίνεται από την σχέση:

$$Dy = \sigma^2 y = \left(\frac{df}{dx_1} \right)^2 \sigma_{x1}^2 + \dots + \left(\frac{df}{dx_n} \right)^2 \sigma_{xn}^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{df}{dx_i} \right)^2 \sigma_{xi}^2 \quad (18)$$

Μία ιδιαιτερότητα των σειρών Taylor είναι ότι ισχύουν μόνο στην περίπτωση που οι εξισώσεις είναι γραμμικές, αλλιώς η τιμή που προκύπτει είναι μια προσέγγιση του αποτελέσματος. Παρακάτω παρουσιάζονται μορφές συναρτήσεων που κρίνονται απαραίτητες για την προσέγγιση του θέματος της ενέργειας [24].

Αν η συνάρτηση είναι γραμμική των μετρούμενων ποσοτήτων

$$y = f(x_1, x_2 \dots \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i \quad (19)$$

Επειδή ισχύει $\frac{df}{dx_i} = \alpha_i$, τότε το μέγιστο απόλυτο σφάλμα είναι:

$$|\Delta y_m| = \left| \frac{df}{dx_1} \right| \cdot |\Delta x_{1m}| + \dots + \left| \frac{df}{dx_n} \right| \cdot |\Delta x_{nm}| = \sum_{i=1}^n |\alpha_i| \cdot |\Delta x_{im}| \quad (20)$$

και η διασπορά είναι:

$$Dy = \sigma^2 y = \left(\frac{df}{dx_1} \right)^2 \sigma_{\chi_1}^2 + \dots + \left(\frac{df}{dx_n} \right)^2 \sigma_{\chi_n}^2 = \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 \sigma_{\chi_i}^2 \quad (21)$$

Αν η συνάρτηση είναι της μορφής $y=f(x_1, x_2)$ όπου αντιπροσωπεύει το γινόμενο των δύο μετρούμενων τιμών, όπως στην ηλεκτρική ισχύς, τότε το έμμεσο απόλυτο σφάλμα που προκύπτει είναι:

$$\begin{aligned} |\Delta y_m| &= \left| \frac{df}{dx_1} \right| \cdot |\Delta \chi_{1m}| + \left| \frac{df}{dx_2} \right| \cdot |\Delta \chi_{2m}| \\ &= |x_2| |\Delta \chi_{1m}| + |x_1| |\Delta \chi_{2m}| \end{aligned} \quad (22)$$

Η διασπορά είναι:

$$Dy = \sigma^2 y = \left(\frac{df}{dx_1} \right)^2 \sigma_{\chi_1}^2 + \left(\frac{df}{dx_2} \right)^2 \sigma_{\chi_2}^2 = x_2^2 \sigma_{\chi_1}^2 + x_1^2 \sigma_{\chi_2}^2 \quad (23)$$

και το σχετικό σφάλμα είναι:

$$\delta y = \frac{\Delta y}{y} = \frac{\frac{df}{dx_1} \Delta x_1 + \frac{df}{dx_2} \Delta x_2}{f(x_1, x_2)} = \frac{x_2 \Delta x_1 + x_1 \Delta x_2}{x_1, x_2} = \delta x_1 + \delta x_2 \quad (24)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5-Ποιότητα Ισχύος

5.1. Ορισμός μεγεθών ποιότητας ισχύος

Ο όρος ποιότητα ισχύος αναφέρεται, στις προδιαγραφές της ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνεται από τις ηλεκτρικές συσκευές ώστε αυτές να λειτουργούν με ασφάλεια, κατά το μέγιστο δυνατό χρονικό διάστημα. Τα ηλεκτρικά μεγέθη που εξετάζονται είναι η τάση, η συχνότητα, το ρεύμα και κατά επέκταση, η ηλεκτρική ισχύς και η ηλεκτρική ενέργεια. Οι διαταραχές μπορούν να προκαλέσουν δυσλειτουργία, πρόωρη φθορά ή και καταστροφή ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, γεγονός που μπορεί να θέσει σε κίνδυνό την σωματική ακεραιότητα των καταναλωτών καθώς οδηγεί και σε αυξημένες οικονομικές δαπάνες. Η κατηγοριοποίηση των διαταραχών έχει γίνει από διάφορες τεχνικές επιτροπές (IEEE, IEC, κτλ). Τα συνηθέστερα προβλήματα που αφορούν την ποιότητα ισχύος είναι [25]:

- ❖ Βυθίσεις-Διακοπές
- ❖ Διακύμανση τάσης (μη επαναλαμβανόμενη)
- ❖ Υπέρταση
- ❖ Ταχεία μεταβατικά φαινόμενα
- ❖ Υπόταση
- ❖ Εγχοπές
- ❖ Επαναλαμβανόμενες διακυμάνσεις τάσης
- ❖ Θόρυβος
- ❖ Μεταβολές συχνότητας
- ❖ Αρμονικές
- ❖ Δια-αρμονικές

Η εργασία αυτή εστιάζει στο πρόβλημα των αρμονικών και κυρίως των υπεραρμονικών και πως αυτές επηρεάζουν την σωστή εκτέλεση μετρήσεων σε μετρητές χαμηλής τάσης. Γι αυτό το σκοπό πρέπει να γίνει κατανοητό ποια μεγέθη και πως, επηρεάζουν την ηλεκτρική ισχύ.

Τα τελευταία χρόνια, η αυξανόμενη χρήση μετατροπέων ισχύος, ηλεκτρονικών συσκευών, μικροεπεξεργαστών και άλλων, έχει συντελέσει στην παραμόρφωση των κυματομορφών της τάσης και του ρεύματος. Έτσι στο δίκτυο, εκτός από την ενεργό ισχύ P και την άεργη ισχύ Q , εμφανίζεται και μια επιπλέον συνιστώσα ισχύος, η ισχύς παραμόρφωσης D . Αναγκαία λοιπόν κρίνεται η χρήση μιας μεθόδου με μεγαλύτερη ακρίβεια, για τη μέτρηση των διαφορετικών

συνιστωσών της ισχύος, σε περιβάλλον με αρμονικές. Η ισχύς παραμόρφωσης όπως ονομάζεται, είναι το σύνολο των παραμορφώσεων που προαναφέρθηκαν, και μετριέται σε VA. Η ονομαστική συχνότητα αναφέρεται ως θεμελιώδης συχνότητα. Μία ημιτονοειδής κυματομορφή με συχνότητα n φορές μεγαλύτερη από την θεμελιώδη καλείται αρμονική συνιστώσα (ή διαταραχή). Ο λόγος της συχνότητας, της αρμονικής συχνότητας, και της θεμελιώδους συχνότητας, ονομάζεται τάξη της αρμονικής. Η μαθηματική αποτύπωση των μεγεθών είναι [26]:

Το συνολικό ρεύμα:

$$i(t) = i_r + i_x + i_D \quad (25)$$

Πραγματική θεμελιώδης συνιστώσα:

$$i_r = \sqrt{2} I_{L1} \cdot \cos\theta_{L1} \cdot \sin\omega t \quad (26)$$

Φανταστική θεμελιώδης συνιστώσα:

$$i_x = \sqrt{2} I_{L1} \cdot \sin\theta_{L1} \cdot \sin\omega t \quad (27)$$

Ρεύμα ανώτερων αρμονικών συνιστωσών:

$$i_D = \sqrt{2} \sum_2^n I_{Ln} \cdot \sin(\theta_{L1,n} + n\omega t) \quad (28)$$

I_{Ln} : η RMS τιμή της n -ιόστης συνιστώσας του ρεύματος

$\theta_{L1,n}$: η διαφορά φάσης μεταξύ n -ιόστης συνιστώσας του ρεύματος και θεμελιώδους συνιστώσας

Όσον αφορά την τάση θα είναι της μορφής:

$$u(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin\omega t \quad (29)$$

Στην πολύ σημαντική πιθανότητα ύπαρξης παραμόρφωσης, η τάση παίρνει την μορφή:

$$u(t) = \sqrt{2} \cdot \left(V \cdot \sin(\omega t + \theta_v) + \sum_2^n [V_n \sin(n\omega t)] + \theta_v, n \right) \quad (30)$$

Από τα παραπάνω προκύπτει:

Πραγματική ισχύ φορτιού:

$$P = V \cdot I_{R1} = V_1 \cdot I_{L1} \cdot \cos\varphi_1 + \sum_2^n V_n \cdot I_{Ln} \cdot \cos\varphi_n \quad (31)$$

Άεργη ισχύς φορτιού:

$$Q = V \cdot I_{X1} = V_1 \cdot I_{L1} \cdot \sin\varphi_1 + \sum_2^n V_n \cdot I_{Ln} \cdot \cos\varphi_n \quad (32)$$

Ισχύς παραμόρφωσης:

$$D = \sum_{k \neq n} ((V_k \cdot I_{Ln} \cdot \cos)\nu_k - \theta_{1n}) \quad (33)$$

Φαινόμενη ισχύς:

$$S = V \cdot I_L = \sqrt{\sum_1^n I_{Ln}^2} = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (34)$$

Έτσι ο πραγματικός συντελεστής ισχύος (TPF) ορίζεται :

$$TPF = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad (35)$$

Ο γνωστός ως τώρα συντελεστής ισχύος θα αναφέρεται ως συντελεστής μετατόπισης. Ένας σημαντικός δείκτης, είναι ο δείκτης ολικής αρμονικής παραμόρφωσης (THD = Total Harmonic Distortion). Το THD συνήθως δίνεται σαν ποσοστό. Η αύξησή του σημαίνει ότι η κυματομορφή απομακρύνεται από την ιδανική, και η σχέση που το περιγράφει είναι η εξής [26]:

$$THD_M = \sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} \frac{M_k^2}{M_1^2}} \quad (36)$$

όπου M_n η ενεργός τιμή της συνιστώσας τάξεως n.

Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι αποδεικνύεται ότι η RMS τιμή μιας παραμορφωμένης (με αρμονικές) κυματομορφής δίνεται από τον τύπο [26]:

$$M_{RMS} = \sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} M_k^2} = M_1 \cdot \sqrt{1 + THD_M^2} \quad (37)$$

5.2 Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) ως έννοια της ποιότητας ισχύος

Οι οργανισμοί που ορίζουν τα πρότυπα που αφορούν την ποιότητα ισχύος είναι:

1. IEC (International Electrotechnical Commission)
2. ISO (International Organization for Standardization)
3. CEN (European Committee for Standardization)
4. CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization)
5. IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers)

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι ένα εμπορικό προϊόν που ως εκ τούτου πρέπει να εναρμονίζεται με ορισμένες προϋποθέσεις, ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα στις ηλεκτρικές συσκευές του καταναλωτή. Επίσης, οι ηλεκτρικές συσκευές πρέπει και αυτές να πληρούν κάποιες προϋποθέσεις έτσι ώστε να μην δημιουργούν προβλήματα στο δίκτυο. Έτσι λοιπόν υπάρχουν κανονισμοί που δεσμεύουν τον παραγωγό, διανομέα της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τους κατασκευαστές των ηλεκτρικών συσκευών. Οι κατασκευαστές, οπουδήποτε και αν κατασκευάζουν τις ηλεκτρικές συσκευές, πρέπει αφενός να εξασφαλίζουν την εύρυθμη λειτουργία τους, ακόμα και αν αυτό απαιτεί μετατροπή στις μορφές των μεγεθών τους π.χ τάση, και αφετέρου να μην δημιουργούν το οποιοδήποτε πρόβλημα στο δίκτυο στο οποίο τοποθετούνται. Από την άλλη οι παραγωγοί και οι διανομείς οφείλουν να εναρμονίζονται με τα διεθνή πρότυπα παροχής ενεργείας που αναλύονται παρακάτω [25].

Όσον αφορά την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, αποδεκτή ορίζεται [26]:

- Η ικανότητα μιας συσκευής ή συστήματος να λειτουργεί χωρίς να υπάρχει υποβάθμιση της λειτουργίας του όταν δέχεται ηλεκτρομαγνητική διαταραχή.
- Η ικανότητα μιας συσκευής ή ενός συστήματος να λειτουργεί ικανοποιητικά στο ηλεκτρομαγνητικό του περιβάλλον, χωρίς να προκαλεί ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές.

5.3 Πρότυπα προδιαγραφών και ορίων της παρεχόμενης ποιότητας ισχύος και κανονισμοί ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC)

Δύο είδη προτύπων εφαρμόζονται για την μέτρηση και την πιστοποίηση της ποιότητας ισχύος. Αυτά αφορούν α) τις μεθόδους μέτρησης και β) τα χαρακτηριστικά της παρεχόμενης τάσης και του ρεύματος.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στα σύγχρονα όργανα που μετρούν την ποιότητα ισχύος, οι κυματομορφές του ρεύματος και της τάσης υπόκεινται σε δειγματοληψία. Μετέπειτα οι παράμετροι της ποιότητας ισχύος υπολογίζονται με τρόπους που διαφέρουν ανά περίπτωση. Απαραίτητο είναι λοιπόν τα όργανα μέτρησης να συμμορφώνονται με τις μεθόδους υπολογισμού που προβλέπονται από τα διεθνή πρότυπα, ειδικά όταν γίνεται σύγκριση αποτελεσμάτων από διαφορετικά όργανα σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Τα πρότυπα που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της τάσης και του ρεύματος θέτουν τα επιτρεπτά όρια μέσα στα οποία πρέπει να κυμανθούν οι διάφορες διαταραχές της ποιότητας ισχύος [24].

Παρακάτω, στον πίνακα 1, παρατίθενται τα πρότυπα που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες κατηγορίες διαταραχών.

Πίνακας 1 Πρότυπα διαταραχών

Φαινόμενα	Πρότυπα
Κατηγοριοποίηση ποιότητας ισχύος	IEC 61000-2-5:2017, IEC 61000-2-1:2016 IEEE 1159:2019
Μεταβατικά φαινόμενα	IEC 61000-2-1:2016, IEC 816:1984, IEEE c62.41:2002 IEEE 1159:2019
Βύθιση, διακύμανση τάσης, διακοπή	IEC 61009-2-1:2016, IEEE 1159:2019
Αρμονικές	IEC 61000-2-1:2016, IEC 61000-4-7:2002, IEC 61000-3-2: 2004, IEEE 519:2019, IEC61727: 2004, IEC61000-03-12: 2004
FLICKER	IEC 61000-4-15:2017

5.3.1 Πρότυπα ποιότητας τάσης

Τα πρότυπα που υπαγορεύουν τα χαρακτηριστικά της τάσης που παρέχεται στους καταναλωτές, είναι τα ακόλουθα:

- **EN 50160 [27]** :Το πρότυπο αυτό καθορίζει όλα τα χαρακτηριστικά της τάσης που παρέχεται από το δημόσιο δίκτυο διανομής. Όλα τα στοιχεία του αναφέρονται σε κανονικές συνθήκες

λειτουργίας, εννοώντας τον προβλεπόμενο χειρισμό των μονάδων προστασίας στην περίπτωση σφάλματος στο δίκτυο. Το πρότυπο αυτό δεν εφαρμόζεται σε:

- ακραίες καιρικές συνθήκες
- φυσικές καταστροφές,
- ανάμειξη τρίτων παραγόντων,
- ενέργειες από δημόσιες αρχές,
- έλλειψη ενέργειας λόγω εξωτερικών παραγόντων.

• **IEEE 519- 2014 [28]:** Το πρότυπο αυτό περιλαμβάνει πρακτικές και απαιτήσεις για τον έλεγχο των αρμονικών στα ηλεκτρικά συστήματα. Εστιάζει σε διαταραχές που σχετίζονται με τον έλεγχο αρμονικών και την άεργο αντιστάθμιση των μετατροπέων. Θέτει όρια για διαταραχές στο εναλλασσόμενο δίκτυο διανομής που επιδρούν και σε άλλο εξοπλισμό.

• **IEEE P1564 [29]:** Προτεινόμενες μέθοδοι υπολογισμού διαφόρων χρήσιμων δεικτών για τη βύθιση τάσης.

• **IEEE 1366-2012 [30]:** Πρότυπο που δείχνει δείκτες και παράγοντες αξιοπιστίας που μπορούν να εφαρμοστούν σε δίκτυα διανομής, υποσταθμούς και κυκλώματα.

5.3.1.1 Πρότυπο EN 50160

Το πρότυπο EN50160 καλύπτει τις περιπτώσεις τριφασικών δικτύων μέσης και χαμηλής τάσης. Προβλέπει το μέγιστο επίπεδο απόκλισης για κάθε παράμετρο από την ονομαστική της τιμή γύρω στο 5%, για μία συγκεκριμένη περίοδο μετρήσεων καθώς και το χρονικό διάστημα στο οποίο έγινε η μέτρησή τους [33].

Με σκοπό το μέγιστου επίπεδο απόκλισης το 5%, υπάρχουν στο πρότυπο για κάθε παράμετρο δύο συντελεστές οι N και N_n [33].

- N είναι ο αριθμός που εκφράζει το πόσες φορές έχει ελεγχθεί μία παράμετρος, σχετικά με την ποιότητα ισχύος.
- N_n είναι ο αριθμός των περιπτώσεων κατά τις οποίες μία παράμετρος, σχετικά με την ποιότητα ισχύος δεν ήταν εναρμονισμένη με τα όρια που επιβάλλει το πρότυπο.

Ο λόγος N_n/N ορίζει την εναρμόνιση ή όχι με το πρότυπο. Η απαίτηση του προτύπου ικανοποιείται όταν:

$$\frac{N_n}{N} \leq 5\% \quad (38)$$

Στο πρότυπο EN 50160 ορίζονται διάφορες παράμετροι τάσης. Οι πιο σημαντικές είναι οι εξής [33]:

Τάση τροφοδοσίας - η rms τιμή της τάσης σε μια δεδομένη στιγμή, με μέτρηση για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Ονομαστική τάση του συστήματος (U_n) - η τάση με την οποία ένα σύστημα προσδιορίζεται και στην οποία αναφέρονται ορισμένα λειτουργικά χαρακτηριστικά.

Η δηλωμένη τάση τροφοδοσίας (U_c) - είναι κανονικά η ονομαστική τάση U_n του συστήματος. Εάν, με συμφωνία μεταξύ του προμηθευτή και του χρήστη, εφαρμοστεί μια τάση διαφορετική από την ονομαστική τάση στον ακροδέκτη, τότε αυτή η τάση είναι η δηλωμένη ως τάση παροχής U_c .

Κανονική κατάσταση λειτουργίας - η κατάσταση ικανοποίησης της ζήτησης φορτίου. Η αλλαγή του συστήματος και των σφαλμάτων με την αυτόματη προστασία του συστήματος, ελλείπει εξαιρετικών συνθηκών λόγω εξωτερικών επιδράσεων ή σημαντικών γεγονότων.

Χαμηλή τάση-ο όρος χαμηλή τάση περιλαμβάνει τις τάσεις παροχής των οποίων η ονομαστική τιμή δεν ξεπερνά τα 1000V (RMS τιμή).

Μεταβολή τάσης - είναι μια αύξηση ή μείωση της τάσης, λόγω της μεταβολής του συνολικού φορτίου της διανομής συστήματος ή μέρους της (εικόνα 13).

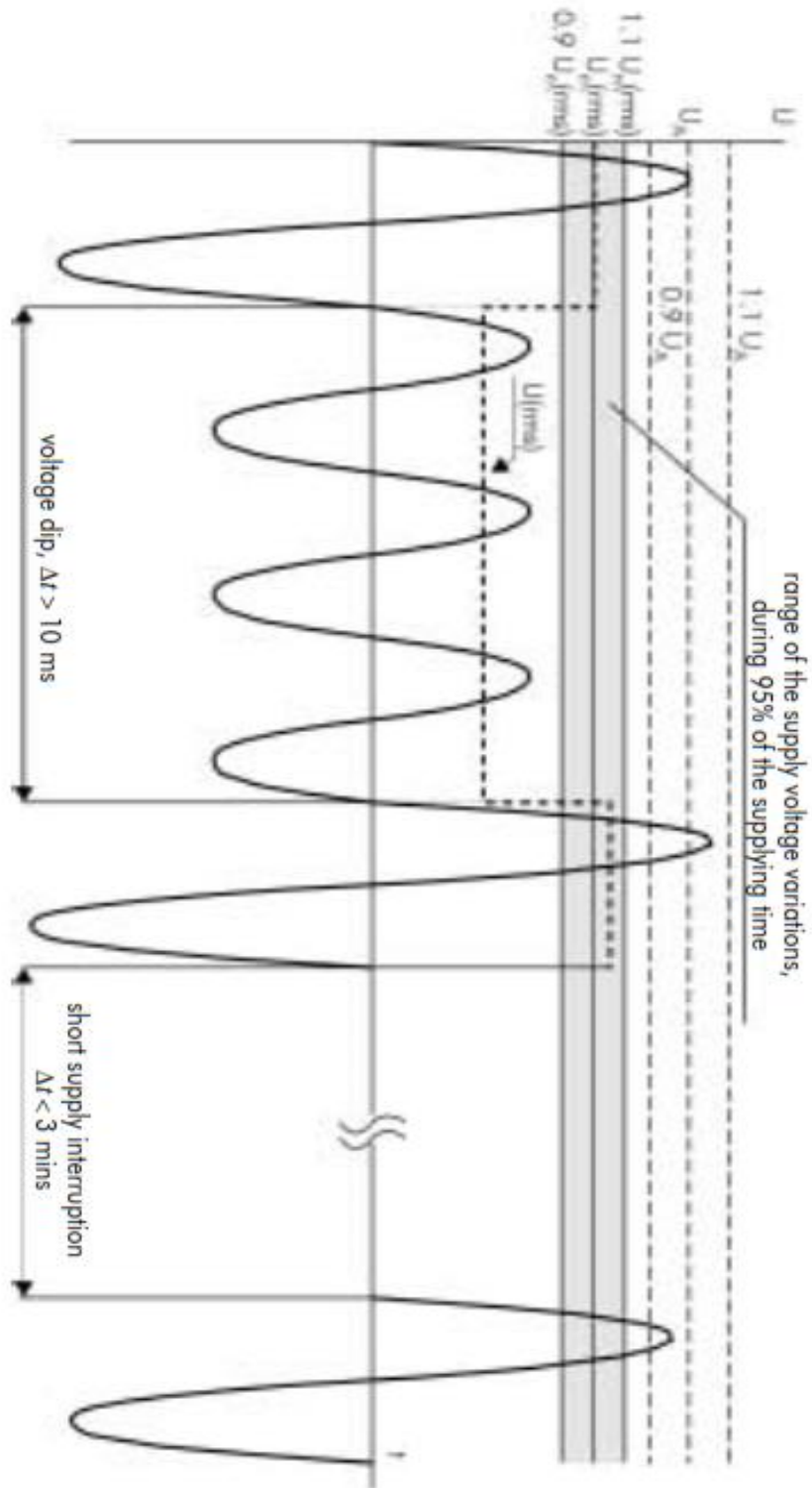
Flicker- Η εντύπωση αστάθειας της οπτικής αίσθησης, που προκαλείται από ελαφρύ ερέθισμα και φωτεινότητα, η φασματική κατανομή των οποίων κυμαίνεται με το χρόνο.

Προσωρινές υπερτάσεις - έχουν σχετικά μεγάλη διάρκεια, συνήθως με μικρή συχνότητα ισχύος και προέρχονται κυρίως από λειτουργίες μεταγωγής ή σφάλματα, π.χ. ξαφνική μείωση φορτίου.

Αρμονικές τάσης -Είναι μια ημιτονοειδής τάση με συχνότητα ένα ακέραιο πολλαπλάσιο της συχνότητας της πρώτης αρμονικής της τάσης τροφοδοσίας. Οι αρμονικές τάσεις μπορούν να εκτιμηθούν με δύο τρόπους:

- **Ξεχωριστά:** Χρησιμοποιώντας τα πλάτη τους (U_h) σε σχέση με το πλάτος της πρώτης αρμονικής U_1 όπου h ο αύξων αριθμός της κάθε αρμονικής.
- **Συγκεντρωτικά:** Χρησιμοποιώντας τον συντελεστή ολικής αρμονικής παραμόρφωσης THD

Το πρότυπο EN 50160, όπως φαίνεται στον πίνακα 2, καθορίζει τα βασικά χαρακτηριστικά της τάσης παροχής στο σημείο της παροχής του καταναλωτή στα δημόσια δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης και κάτω από ομαλές συνθήκες λειτουργίας [33].



Εικόνα 14 Εικονογράφηση της τάσης εμβάπτισης και μιας σύντομης διακοπής παροχής, ταξινομημένη σύμφωνα με το EN50160 [33]

Πίνακας 2 Όρια τάσης σύμφωνα με το EN 50160 [27]

Χαρακτηριστικά της παρεχόμενης τάσης	Όρια		Παράμετροι μετρήσεων		
	Χαμηλή τάση	Μέση τάση	Βασική ποσότητα	Μέσο χρονικό ό	Διάρκεια παρατήρησης
Συχνότητα (σύνδεσης στο δίκτυο)	50Hz ±1% (49.5-50.5 Hz) 50Hz +4%/-6% (47-52 Hz)		μέση τιμή	10 s	1 εβδομάδα (95% / 100%)
Συχνότητα (απομονωμένα συστήματα)	50Hz ±2% (49-51 Hz) 50Hz ±15% (42.5-57.5 Hz)		μέση τιμή	10s	1 εβδομάδα (95% / 100%)
Μεταβολές τάσης	UN	Uc ±10%	RMS	10 min	1 εβδομάδα
Γρήγορες μεταβολές τάσης	<5% UN	<4% UC	RMS		1 ημέρα
Flicker	P _{lit} ≤ 1				1 εβδομάδα
Βυθίσεις (10ms-1min, U _{RMS} < 90% U _N)	Ενδεικτικά: 10-1000 το χρόνο, βάθος<60%		RMS		1 χρόνος
Μικρές διακοπές (<3min, U _{RMS} < 1% U _N)	ενδεικτικά: 10-κάποιες εκατοντάδες το χρόνο, το 70% να διαρκεί <1s		RMS, διάρκεια		1 χρόνος
Μεγάλες διακοπές(>3min, U _{RMS} < 1%U _N)	ενδεικτικά: 10-50 το χρόνο		RMS, διάρκεια		1 χρόνος
Προσωρινές υπερτάσεις	<1.5kV	<1.7 ή <2kV (ανάλογα τη σύνδεση ουδετέρου)	RMS		
Μεταβατικές υπερτάσεις	<6kV, διάρκει		peak		
Ασυμμετρία	Αναλογία αρνητικής/θετικής		RMS ανά 10 min		1 εβδομάδα
Αρμονική παραμόρφωση	THD(έως 40η αρμονική)		RMS	10 min	1 εβδομάδα
Ενδιάμεσες αρμονικές	Δεν υπάρχουν διευκρινίσεις προς το παρόν				

5.3.2 Πρότυπα ποιότητας ρεύματος

Χαρακτηριστικά χαμηλής τάσης για τις Αρμονικές τάσεις

Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, το 95% των μέσων τιμών (δειγματοληψία ανά 10 λεπτά) της ενεργούς τάσης μιας αρμονικής, σε ένα διάστημα μιας εβδομάδας δεν πρέπει να ξεπερνά τις τιμές του παρακάτω πίνακα 3. Γενικά ο ολικός συντελεστής αρμονικής παραμόρφωσης THD, που καλύπτει όλες τις αρμονικές μέχρι την 40η δεν πρέπει να ξεπερνά την τιμή του 8% [33].

Τέλος στον παρακάτω πίνακα 2 συνοψίζονται τα όρια της τάσης που οφείλει να παρέχει το δίκτυο στους καταναλωτές, σύμφωνα με το EN 50160. Επισημαίνεται ότι το πρότυπο EN 50160 ορίζει κάποιες παραμέτρους για την ποιότητα ισχύος. Σύμφωνα με το πρότυπο EN 50160 ο καταναλωτής μπορεί να παραπονεθεί και να κινηθεί προς κάθε νόμιμη διαδικασία εάν η ηλεκτρική ενέργεια που του παρέχεται στο σημείο διανομής δεν συμφωνεί με τα δεδομένα του προτύπου [27].

Πίνακας 3 Τιμές των μεμονωμένων αρμονικών τάσεων (μέχρι την 25^η) [27]

Περιττές αρμονικές				Άρτιες αρμονικές	
Μη πολλαπλάσια του 3		Πολλαπλάσια του 3		Τάξη n	Σχετική τάση (%)
Τάξη n	Σχετική τάση (%)	Τάξη n	Σχετική τάση (%)		
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.5	6...24	0.5
13	3	21	0.5	-	-
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				

Τα κυριότερα πρότυπα που αφορούν τις πηγές παραγωγής αρμονικών συνιστωσών ρεύματος είναι τα εξής :

IEC 61000-3-2[31]: Όρια για τις εκπομπές αρμονικών ρευμάτων, όσον αφορά εξοπλισμό που απορροφά ρεύμα $\leq 16A$ ανά φάση.

IEC 61000-3-12[32]: Όρια για τις εκπομπές αρμονικών ρευμάτων, που παράγονται από εξοπλισμό που συνδέεται στο δίκτυο χαμηλής τάσης και απορροφά ρεύμα $>16A$ και $\leq 75A$ ανά φάση.

CISPR11/EN55011[34]: Αυτό το πρότυπο αφορά τον βιομηχανικό, επιστημονικό και ιατρικό εξοπλισμό, ορίζοντας τα όρια στις ραδιοσυχνότητες και τον τρόπο μετρήσεων τους.

EN 55022[35]: Σε αυτό το πρότυπο αναλύονται τα όρια και οι μεθοδολογίες για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών των διαταραχών από ραδιοσυχνότητες εξοπλισμού τεχνολογίας πληροφοριών.

EN 61000-6-3[36]: Πρότυπο εκπομπών αρμονικών ρευμάτων για οικιακά, εμπορικά και ελαφρά βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Τα όρια της αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος είναι άμεσα συνδεδεμένα με την σύνθετη αντίσταση του δικτύου, Z_n . Η εκτίμηση της Z_n στα δίκτυα της Χ.Τ., λόγω του μεγάλου πλήθους και του μικρού μεγέθους των συσκευών που συνδέονται σε αυτά, καθιστά πολύ δύσκολη τον ορισμό της προκαλούμενης παραμόρφωσης της τάσης. Για αυτό τον λόγο θεσπίζονται όρια αρμονικών εκπομπών με τα οποία οι ηλεκτρικές διατάξεις πρέπει να συμμορφώνονται. Παρακάτω ακολουθούν τα πρότυπα για τα όρια των αρμονικών στα ρεύματα [30].

5.3.2.1 Πρότυπο IEC 61000-03-02

Σε αυτό το πρότυπο ορίζονται τα όρια εκπομπής αρμονικών ρεύματος για συσκευές Χ.Τ. και με ονομαστικό ρεύμα 16Α ανά φάση. Επίσης γίνεται αναφορά του περιβάλλοντος του πειράματος για συγκεκριμένες συσκευές όπως κλιματιστικά, πλυντήρια, λάμπες, και άλλα. Το πρότυπο τοποθετεί τις συσκευές σε 4 Κλάσεις [31]:

- Η Κλάση Α είναι γενικής εφαρμογής και αφορά όλες τις συσκευές, εκτός εκείνων που κατατάσσονται στις άλλες κλάσεις.
- Η Κλάση Β αφορά τα φορητά εργαλεία
- Η Κλάση Γ αφορά τις συσκευές φωτισμού
- Η Κλάση Δ αφορά τις συσκευές των οποίων η ένταση μεταβάλλεται βηματικά, με ορισμένη μορφή που καθορίζεται στο Πρότυπο.

Οποίες συσκευές κατατάσσονται στην Κλάση Α, υπόκεινται σε αυστηρότερα πλαίσια αφού αφορούν κυρίως τις διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος, τα οποία παρεμβάλλονται για την σύνδεση των συσκευών με το δίκτυο. Οι απαιτήσεις αυτές συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα 4, ο οποίος δίνει τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές των αρμονικών του ρεύματος εξόδου [31].

Πίνακας 4 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές των αρμονικών του ρεύματος [31]

Περιττές αρμονικές		Άρτιες αρμονικές	
Τάξη n	Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση (A)	Τάξη n	Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση (A)
3	2.30	2	1.08
5	1.14	4	0.43
7	0.77	6	0.30
9	0.40	$8 \leq n \leq 40$	$0.23 \cdot 8/n$
11	0.33	-	-
13	0.21	-	-
$15 \leq n \leq 3$	$0.15 \cdot 15/n$	-	-

5.3.2.2 Πρότυπο IEC 61000-03-12

Το πρότυπο IEC 61000-3-12:2011 αφορά τον περιορισμό των αρμονικών ρευμάτων που εισάγονται στο δημόσιο δίκτυο παροχής. Τα όρια που προβλέπονται στο παρόν διεθνές πρότυπο είναι εφαρμόσιμα σε ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό με ονομαστικό ρεύμα εισόδου που υπερβαίνει τα 16 Α και μέχρι και 75 Α ανά φάση, που προορίζεται να συνδεθεί με συστήματα διανομής εναλλασσόμενου ρεύματος χαμηλής τάσης [32].

Ο παρακάτω πίνακας 5 συνοψίζει τα όρια των αρμονικών εκπομπών που τίθενται.

Πίνακας 5 Όρια αρμονικών εκπομπών [32]

Τάξη	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	>13	THD
Τιμή(A)	4	21.6	2	10.7	1.3	7.2	1	3.8	0.8	3.1	0.7	2		23%

5.3.3 Πρότυπα μέτρησης αρμονικών

Πίνακας 6 Τυπικά χαρακτηριστικά διάφορων ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων [39]

Categories	Typical spectral content	Typical duration	Typical voltage magnitude
1.0 Transients			
1.1 Impulsive	5 ns rise	< 50 ns	
1.2 Nanosecond	1 ms rise	50 ns-1 ms	
1.3 Millisecond	0.1 ms rise	> 1 ms	
1.2 Oscillatory			
1.2.1 Low frequency	< 5 kHz	0.3-50 ms	0-4 pu
1.2.2 Medium frequency	5-500 kHz	20 ms	0-8 pu
1.2.3 High frequency	0.5-5 MHz	5 ms	0-4 pu
2.0 Short duration variations			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Sag		0.5-30 cycles	0.1-0.9 pu
2.1.2 Swell		30 cycles	1.1-1.8 pu
2.2 Momentary			
2.2.1 Interruption		0.5 cycles-3s	< 0.1 pu
2.2.2 Sag		30 cycles-3 s	0.1-0.9 pu
2.2.3 Swell		30 cycles-3 s	1.1-1.4 pu
2.3 Temporary			
2.3.1 Interruption		3 s-1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag		3 s-1 min	0.1-0.9 pu
2.3.3 Swell		3 s-1 min	1.1-1.2 pu
3.0 Long duration variations			
3.1 Interruption, sustained		> 1 min	0.0 pu
3.2 Undervoltages		> 1 min	0.8-0.9 pu
3.3 Overvoltages		> 1 min	1.1-1.2 pu
4.0 Voltage imbalance		steady state	0.5-2%
5.0 Waveform distortion			
5.1 DC offset		steady state	0-0.1%
5.2 Harmonics	0-100th H	steady state	0-20%
5.3 Interharmonics	0-6 kHz	steady state	0-2%
5.4 Notching		steady state	
5.5 Noise	broad-band	steady state	0-1%
6.0 Voltage fluctuations	< 25 Hz	Intermittent	0.1-7%
7.0 Power frequency variations		< 10 s	

Τα σημαντικότερα πρότυπα που αναφέρονται στις μεθόδους μέτρησης των αρμονικών είναι [37, 38, 39]:

- **EN 61000-4-30, IEC 61000-4-30:** Σε αυτά τα δύο πρότυπα ορίζονται οι τρόποι μέτρησης και ερμηνείας των αποτελεσμάτων για την ποιότητα ισχύος στα συστήματα που λειτουργούν στις συχνότητες 50/60 Hz. Οι παράμετροι που καθορίζει είναι [37]:

- οι μεταβολές συχνότητας,
- flicker,
- βυθίσεις και διακυμάνσεις τάσης,
- διακοπές, ασυμμετρίες ,
- μεταβατικά φαινόμενα,
- αρμονικές τάσης και ρεύματος
- και ενδιάμεσες αρμονικές τάσης και ρεύματος.

Σε αυτό το πρότυπο θα πρέπει να τονιστεί, πως δεν τίθενται όρια πάρα μόνο ορίζονται μέθοδοι μέτρησης για όλα τα παραπάνω. Υπάρχουν λοιπόν δύο διαφορετικές κλάσεις ακρίβειας για τα όργανα, η κλάση A και η κλάση B.

Τα όργανα κλάσης A είναι μεγαλύτερης ακρίβειας και χρησιμοποιούνται για συμβατικές μετρήσεις που πιστοποιούν τη συμμόρφωση ή όχι με τα όρια των προτύπων.

Τα όργανα κλάσης B χρησιμοποιούνται περισσότερο για στατιστικές έρευνες, όπου δεν είναι απαραίτητη πολύ μεγάλη ακρίβεια. Στην κλάση B δεν ορίζονται μέθοδοι υπολογισμού όπως στην κλάση A, αλλά ο κατασκευαστής του κάθε οργάνου πρέπει να αναφέρει λεπτομερώς τη μέθοδο μέτρησης που χρησιμοποιείται.

• **EN 61000-4-7 : 2002 (IEC 61000-4-7 :2002)**: Αυτό το τμήμα του IEC 61000 εφαρμόζεται στα όργανα μέτρησης που προορίζονται για φασματική μέτρηση στην περιοχή συχνοτήτων έως 9 kHz. Τα όργανα αυτά τοποθετούνται επάνω στο θεμελιώδες σύστημα παροχής ενέργειας στα, 50 Hz και 60 Hz. Για πρακτικούς λόγους, αυτό το πρότυπο διακρίνει τις αρμονικές, τις ενδιάμεσες και άλλες συνιστώσες πάνω από την αρμονική [38].

Το πρότυπο αυτό ορίζει τα όργανα μέτρησης που προορίζονται για τη δοκιμή μεμονωμένων αντικειμένων του εξοπλισμού σύμφωνα με τα όρια εκπομπών που αναφέρονται σε ορισμένα πρότυπα (για παράδειγμα, όρια αρμονικών ρευμάτων όπως αυτά ορίζονται στο IEC 61000-3-2), καθώς και για τη μέτρηση στα αρμονικά ρεύματα και τις τάσεις στα πραγματικά συστήματα τροφοδοσίας.

• **IEEE 1159-1995**: Προτεινόμενη πρακτική για την καταγραφή της ποιότητας ισχύος. Παρακάτω στον πίνακα 6, παρουσιάζεται κατηγορίες και τυπικά χαρακτηριστικά διάφορων ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων[39].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6-Υπεραρμονικές (supraharmonics)

6.1 Εισαγωγή

Κατά τις πρώτες εφαρμογές των ηλεκτρονικών ισχύος, οι δίοδοι και τα θυρίστορ ήταν τα κύρια εξαρτήματα που χρησιμοποιούνταν. Αυτού του είδους οι ημιαγωγοί δημιουργούσαν χαμηλής τάξης αρμονικές, εξαιτίας του μηχανισμού λειτουργίας τους καθώς και των συχνοτήτων λειτουργίας τους. Με την είσοδο των τρανζίστορ και άλλων συγχρόνων ημιαγωγών, η δημιουργία των αρμονικών ανέβηκε σε υψηλότερα επίπεδα συχνοτήτων. Τα πρότυπα με στόχο την αποφυγή παρεμβολών που αναφέρθηκαν παραπάνω, έχουν καθυστερήσει σε αυτή την εξέλιξη, με αποτέλεσμα την έλλειψη απαιτήσεων για υψηλότερες συχνότητες. Λόγω αυτών των ελλειπόν προτύπων, τα προϊόντα έχουν σχεδιαστεί για να ικανοποιούν τα όρια εκπομπών σε χαμηλότερες συχνότητες αλλά αντίθετα έχουν αυξημένες εκπομπές σε υψηλότερες συχνότητες [40].

Στην Ευρώπη, οι επερχόμενες έξυπνες μετρήσεις και τα συστήματα έξυπνων δικτύων λειτουργούν σε μεγάλο βαθμό με ένα σύστημα επικοινωνίας μέσω μιας ηλεκτρικής γραμμής ισχύος (Power Line Communication - PLC), για τη διαβίβαση πληροφοριών, χρησιμοποιώντας συχνότητες στην περιοχή από 3 kHz έως 95 kHz. Αυτά τα σήματα PLC είναι εκ προθέσεως εκπομπές εντός γραμμής, με σκοπό [40]:

- την παρακολούθηση ή τον έλεγχο του δικτύου διανομής χαμηλής τάσης, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης ενέργειας των συνδεδεμένων εξοπλισμών και εγκαταστάσεων (ζώνη CENELEC A)
- εφαρμογές εντός οικιών, εμπορικών και βιομηχανικών χώρων ή για έλεγχο και παρακολούθηση εξοπλισμού συνδεδεμένου με το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης όπως ο έλεγχος φωτισμού του δρόμου ή φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων (ζώνες CENELEC B, C, D)

Οι μη εκ προθέσεως εκπομπές προκαλούνται κυρίως από διαφορετικά είδη μη επικοινωνιακού εξοπλισμού που χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά ισχύος, όπως μετατροπείς και τροφοδοτικά με διακοπόμενη λειτουργία, των οποίων τα χαρακτηριστικά είναι [41]:

- συχνότητες μεταγωγής ορισμένων δεκάδων kHz,
- επίπεδα κορυφής μέχρι 100 dBμV και μερικές φορές ακόμη υψηλότερα,
- τις αρμονικές των συχνοτήτων μεταγωγής, από αποκρίσεις μη γραμμικού εξοπλισμού.

Σήμερα, παρόλο που εξετάζονται ο εξοπλισμός και οι εγκαταστάσεις, τα οποία αποδεικνύουν τη συμμόρφωση με τις βασικές απαιτήσεις των σχετικών οδηγιών και κατά συνέπεια έχουν νόμιμα σήμανση CE, δίνεται ένα υψηλό δυναμικό παρεμβολής μεταξύ διαφορετικών ειδών τέτοιου εξοπλισμού.

Μετά από ορισμένες πρώτες περιπτώσεις ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών μεταξύ αυτοματοποιημένων συστημάτων ανάγνωσης μετρήσεων (AMR), που χρησιμοποιούν σήματα PLC και άλλου ηλεκτρικού εξοπλισμού όπως λαμπτήρες αφής και μετατροπείς

ισχύος, έρευνες έχουν ξεκινήσει όσον αφορά την ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση μεταξύ ηλεκτρικού εξοπλισμού και μεταξύ αυτών των συστημάτων επικοινωνίας του δικτύου [41].

6.2 Μετάδοση πληροφορίας μέσω των γραμμών ηλεκτρικής ισχύος

Η τεχνολογία Power Line Communications (PLC) ή Broadband over Power Lines (BPL), χρησιμοποιεί το υπάρχον δίκτυο μεταφοράς και διανομής ΗΕ, για τη μεταφορά δεδομένων με ρυθμό που μπορεί να υπερβεί τα 200 Mbps, ανεξάρτητα από τη μεταφορά της ΗΕ από τους ίδιους αγωγούς. Η τεχνολογία PLC παρέχει την δυνατότητα ευρυζωνικής πρόσβασης στο διαδίκτυο, και αποκρίνεται στις απαιτήσεις μετάδοσης του δικτύου, για τους έξυπνους μετρητές. Η έρευνα και η δημιουργία προτύπων για τα PLC συστήματα βρίσκεται στα τελικά στάδια. Το συνηθέστερο PLC πρωτόκολλο σε επίπεδο HAN (Home Area Network) είναι το [40] :

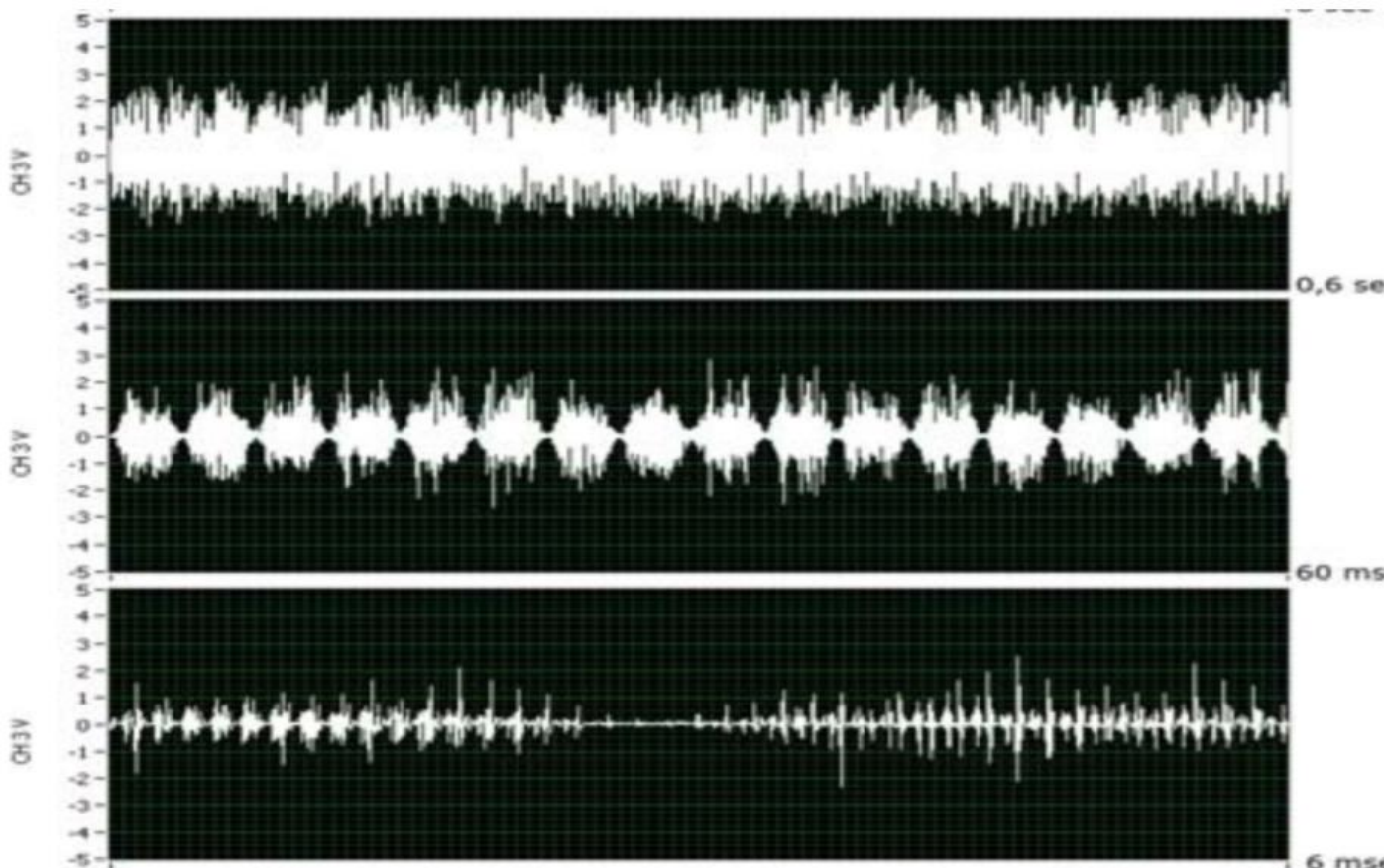
- **To HomePlug (IEEE 1901)** που υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης 4 – 10 Mbps.
- Σε επίπεδο NAN (Neighbor Awareness Networking), τα πρότυπα επικοινωνίας PLC που είναι συνηθέστερα για εφαρμογές τηλεμέτρησης είναι τα ακόλουθα [40]:
- **PRIME (Powerline Intelligent Metering Evolution)**: αντιπροσωπεύει μια ανοικτή τεχνολογία επικοινωνιών, η οποία υποστηρίζει τις λειτουργίες διαχείρισης μετρητικών δεδομένων (AMM- Automated Meter Management). Χρησιμοποιείται με επιτυχία σε 3.2 εκατομμύρια μετρητές παγκοσμίως. Ο σχεδιασμός της αρχιτεκτονικής του PRIME έχει γίνει με γνώμονες το χαμηλό κόστος και την υψηλή απόδοση. Η ταχύτητα ροής δεδομένων φθάνει τα 128 kbps.
- **G3-PLC.** : Σκοπός αυτής της τεχνολογίας είναι η δημιουργία ενός προτύπου για PLC modems, που ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές της ERDF (Electricite Reseau Distribution France). Ο ρυθμός δεδομένων φθάνει τα 32kbps.
- **PLC-OSGP (Open Smart Grid Protocol)**: Είναι ένα πρότυπο που φτιάχτηκε από το Ινστιτούτο ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Η τεχνολογία αυτή έχει εφαρμογή σε διάφορες χώρες της Ευρώπης, όπως Δανία, Ολλανδία, Φινλανδία, Γερμανία και άλλες, με περίπου σε 4 εκατομμύρια πελάτες. Επιτυγχάνεται ταχύτητα μετάδοσης 5kbps.
- **Meters and More**: Είναι ένα πρωτόκολλο PLC που υπάρχει στη βιομηχανία από το 2010, μέσω του «Meters and More Association». Χρησιμοποιείται από 40 εκατομμύρια πελάτες παγκοσμίως, και πρόκειται να χρησιμοποιηθεί και σε 13 εκατομμύρια ακόμα. Η ταχύτητα μετάδοσης φθάνει τα 9.6 kbps.
- **Οπτικές Ίνες – Fiber Optics**
Οι οπτικές ίνες είναι κατασκευασμένες από λεπτά νήματα πλαστικού ή γυαλιού, όπου μεταδίδονται ψηφιακά δεδομένα με την μορφή φωτός. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλό εύρος ζώνης , ενώ το κόστος εγκατάστασης δεν

χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα υψηλό. Ο ρυθμός μετάδοσης αγγίζει την τάξη των Gbps, και η εμβέλειά τους φθάνει τα 10 έως 60km ανάλογα με το πρότυπο που χρησιμοποιείται. Οι οπτικές ίνες καθίστανται κατάλληλες για δίκτυα κορμούς σε επίπεδο WAN λόγω του υψηλού ρυθμού μετάδοσης, της υψηλής αξιοπιστίας και της αντοχής σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές της Μ.Τ. και της Υ.Τ. [16].

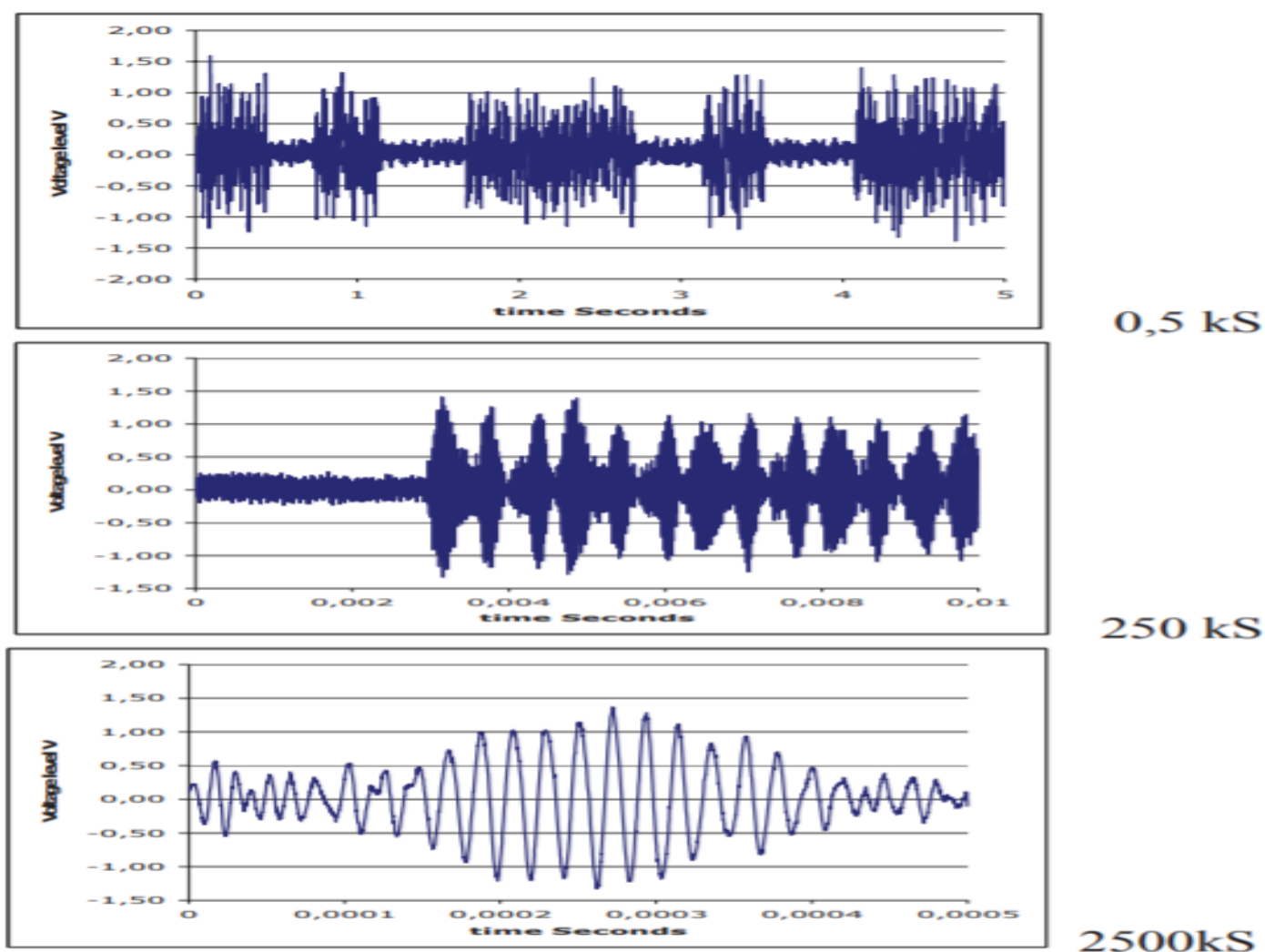
6.3 Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές(EMI) στην περιοχή συχνότητας 2kHz - 150kHz

Ως βασικές προελεύσεις για τα σχετικά EMI (Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές-electromagnetic interferences), αναγνωρίστηκαν τα εξής παρακάτω [42]:

- Μη εκ προθέσεως εκπομπές (εικόνα 14) ή ασυνεχείς συνιστώσες με ξαφνική άνοδο σημάτων (εικόνα 15), και έλλειψη «ανοσίας» του ηλεκτρικού εξοπλισμού σε τέτοια σήματα.
- Η «ανοσία» του ηλεκτρικού εξοπλισμού δεν λαμβάνει υπόψη τις εκπομπές σε αυτό το εύρος συχνοτήτων
- Ανεπαρκής αναλογία σήματος / θορύβου (SNR = Signal to Noise Ratio)
- Ταυτόχρονη, μη συντονισμένη χρήση - περισσότερο ή λιγότερο όμοιων - συχνοτήτων στην εξεταζόμενη περιοχή συχνοτήτων για εκ προθέσεως σήματα.



Εικόνα 15 Παράδειγμα μη εκ προθέσεως εκπομπών [42]



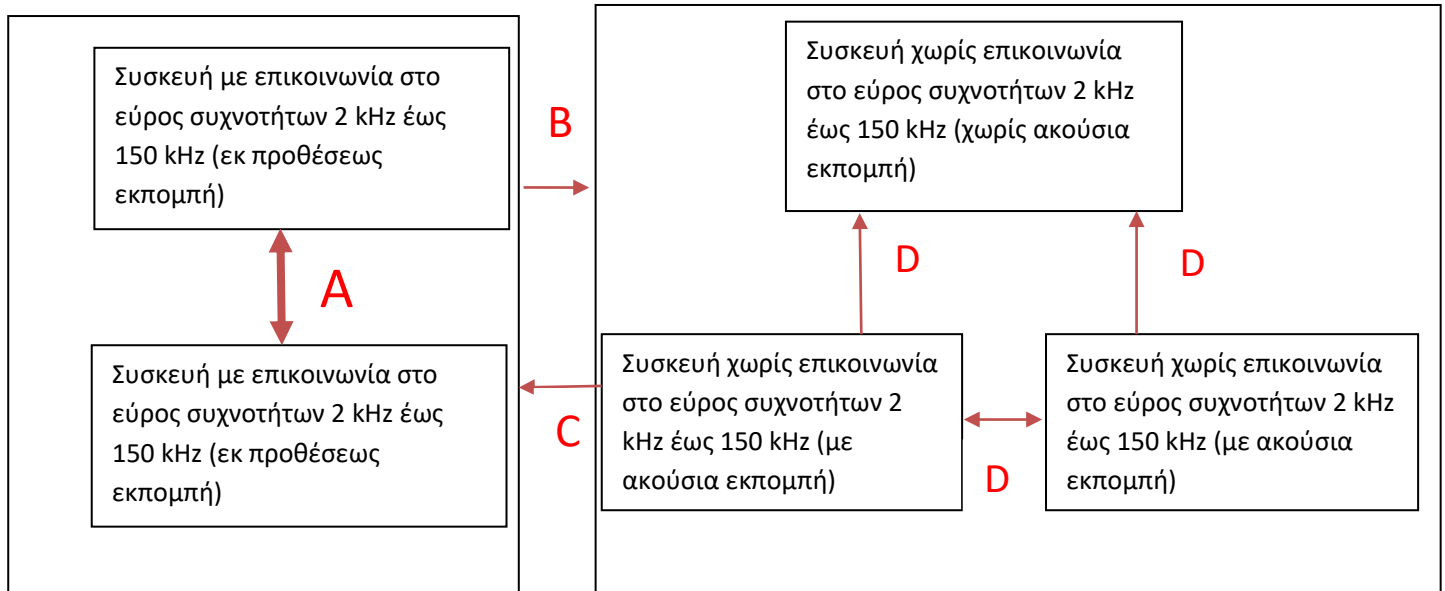
Εικόνα 16 Παράδειγμα για ασυνεχές σήμα ενός συστήματος AMR-PLC [42]

Το φάσμα του ηλεκτρικού εξοπλισμού που εμπλέκεται σε τέτοιες περιπτώσεις EMI πρέπει να εκτιμηθεί ως αρκετά μεγαλύτερο από αυτό που εξετάζεται εκ πρώτης όψεως. Έτσι φαίνεται ότι υπάρχει ένα γενικότερο πρόβλημα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC) και ποιότητας ισχύος (PQ). Τα υφιστάμενα πρότυπα θεωρούν ότι το εύρος συχνοτήτων κάτω από τα 150kHz και τα ειδικά χαρακτηριστικά του EM είναι περιορισμένα, με αποτέλεσμα, μεταξύ άλλων, την έλλειψη τυποποιημένου περιορισμού των μη σκόπιμων εκπομπών από ηλεκτρολογικό υλικό [39].

Ως βασικό παράδειγμα για τις πηγές EMI είναι τα τροφοδοτικά σε λειτουργία, είτε ενσωματωμένα σε κάποια συσκευή είτε εξωτερικά. Έχουν αναγνωριστεί ως πιθανή πηγή EMI ειδικότερα όταν αυτά χρησιμοποιούν ξηρούς πυκνωτές εξομάλυνσης. Επίσης έχουν αναφερθεί περιστατικά όπως, εκπομπές από ένα UPS ενός συστήματος ελέγχου της κυκλοφορίας, το οποίο παρεμβαίνει στο σήμα ελέγχου του συστήματος της κυκλοφορίας. Τέτοια φαινόμενα αξίζει να αναφερθεί πως δεν συμβαίνουν μόνο λόγω έλλειψης τυποποιημένων απαιτήσεων εκπομπών ή ανοσίας του εξοπλισμού, αλλά και λόγω της γήρανσης ορισμένων μεμονωμένων εξαρτημάτων ενός εξοπλισμού, ο οποίος μέχρι ενός σημείου πληρούσε τις σχετικές απαιτήσεις. Η ευαισθησία του ηλεκτρικού εξοπλισμού στις διαταραχές EM φαίνεται να καθορίζεται και από την συχνότητα, αλλά και από ασυνεχή ρεύματα σε σχέση με την

τάση τροφοδοσίας [40].

Όσον αφορά τις παρεμβολές / αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συσκευών με εκούσια και μη εκούσια εκπομπή, όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή και δείχνει η εικόνα 16, διακρίνονται τέσσερις τύποι (A - D). Στις περισσότερες περιπτώσεις οι παρεμβολές είναι τοπικά φαινόμενα που περιορίζονται στην εγγύτητα μιας εκπέμποντος συσκευής [40].



Εικόνα 17 Κύριες παρεμβολές/αλληλεπιδράσεις μεταξύ συσκευών στην περιοχή συχνοτήτων 2 kHz έως 150 kHz

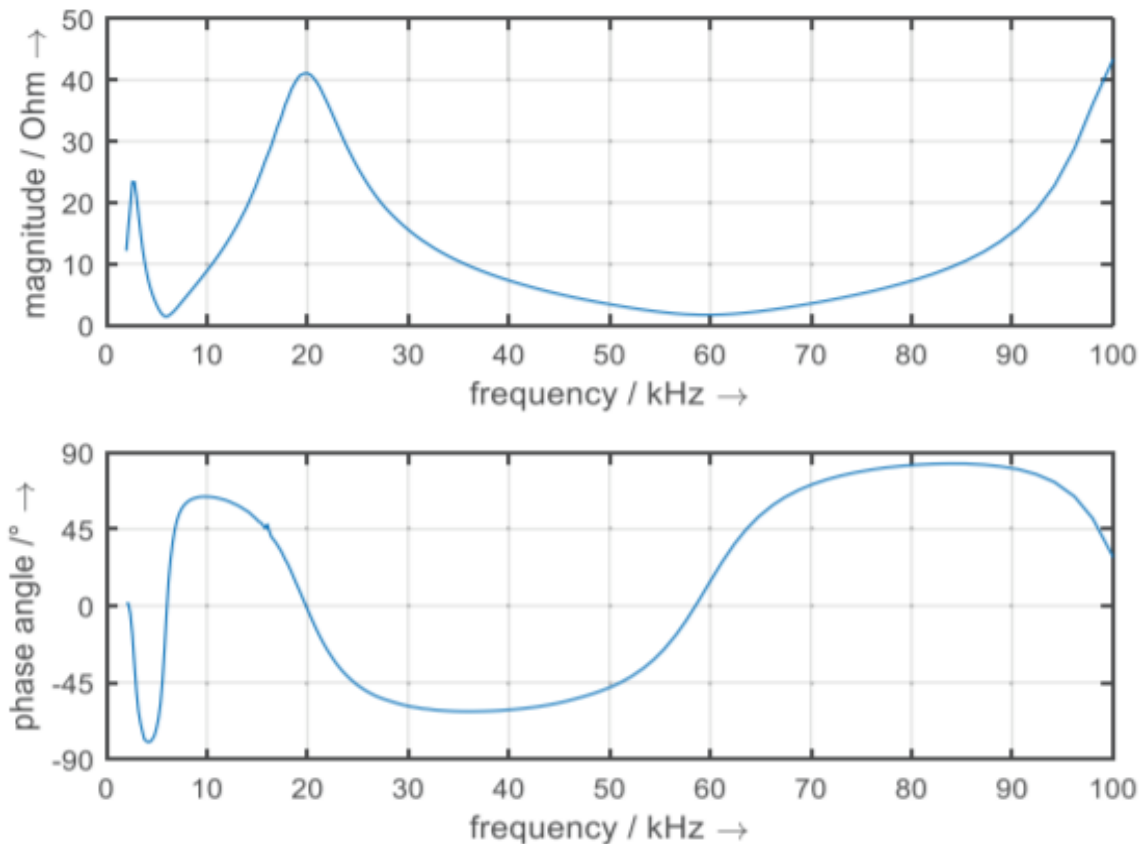
6.3.1 Παρεμβολές μεταξύ συσκευών με επικοινωνία (A)

Συνήθως, μόνο ένας τύπος συστήματος επικοινωνίας δικτύου (MCS- Mains Communication System) χρησιμοποιείται σε ένα δίκτυο X.T. Αποτελείται από ένα σετ αποστολέων και των δεκτών, που εξαρχής αναπτύσσονται για να συνεργαστούν. Η αλληλεπίδρασή τους είναι σκόπιμη, και δεν αναμένεται να διαταράσσουν ο ένας τον άλλον με ανεπιθύμητο τρόπο [44].

6.3.2 Παρεμβολές στις συσκευές χωρίς επικοινωνία από αυτές με επικοινωνία (B)

Η εκπομπή σημάτων του εξοπλισμού επικοινωνίας (σκόπιμη εκπομπή) μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στον εξοπλισμό που δεν επικοινωνεί. Τα σήματα PLC έχουν συνήθως συχνότητες στην περιοχή μεταξύ 30kHz και 95kHz. Ανάλογα με την αντίσταση εισόδου των συνδεδεμένων συσκευών, χωρίς επικοινωνία, μπορεί να ρεύσει σημαντικό ρεύμα προς αυτές (εικόνα 17). Αυτό το ρεύμα, το οποίο δεν προέρχεται από την συσκευή (χωρίς επικοινωνία), αναφέρεται μερικές φορές και ως δευτερεύουσα εκπομπή [45].

Ανάλογα με την ευαισθησία του εξοπλισμού, η δευτερογενής εκπομπή που προκαλείται από το PLC μπορεί να οδηγήσει σε δυσλειτουργία μιας συσκευής ή πρόσθετη θέρμανση στα εσωτερικά εξαρτήματα της [46].



Εικόνα 18 Χαρακτηριστικά σύνθετης αντίστασης εισόδου ενός φωτοβολταϊκού μετατροπέα 4.6 kVA για οικιακές εφαρμογές [45]

6.3.3 Παρεμβολές στις συσκευές με επικοινωνία από αυτές χωρίς επικοινωνία (C)

Όσον αφορά την ανησυχητική επίδραση του μη επικοινωνιακού εξοπλισμού στον εξοπλισμό επικοινωνίας, μπορούν να διακριθούν δύο μηχανισμοί. Και οι δύο έχουν την αιτία τους σε αυξημένη μείωση του λόγου σήματος προς θόρυβο. Ο λόγος αυτός είναι απαραίτητο να διατηρείται μέσα σε κάποια όρια, ώστε να υπάρξει επικοινωνία χωρίς διαταραχές. Οι δύο αυτοί μηχανισμοί είναι [47]:

1. Λόγω χαμηλών αντιστάσεων εισόδου του μη επικοινωνούντος εξοπλισμού, το επίπεδο σηματοδότησης του PLC έχει πολύ υψηλή απόσβεση και κατά συνέπεια οι δέκτες δεν μπορούν να αποκωδικοποιήσουν σωστά το σήμα.
2. Η εκπομπή εξοπλισμού (με ακούσια εκπομπή), μπορεί να επηρεάσει τις συχνότητες σηματοδότησης ενός συστήματος PLC. Στην περίπτωση αυτή, η αυξημένη μείωση του λόγου σήματος-θορύβου είναι αποτέλεσμα ενός πολύ υψηλού επιπέδου μη

σκόπιμης εκπομπής. Ανάλογα με τη θέση της πηγής, της μη ακούσιας εκπομπής, αυτό μπορεί να επηρεάσει μονάδες καθώς και πολλαπλές συσκευές επικοινωνιών στο δίκτυο X.T.

Και τα δύο αποτελέσματα μπορούν να εμφανιστούν μεμονωμένα ή σε συνδυασμό.

6.2.4 Παρεμβολές μεταξύ συσκευών χωρίς επικοινωνία (D)

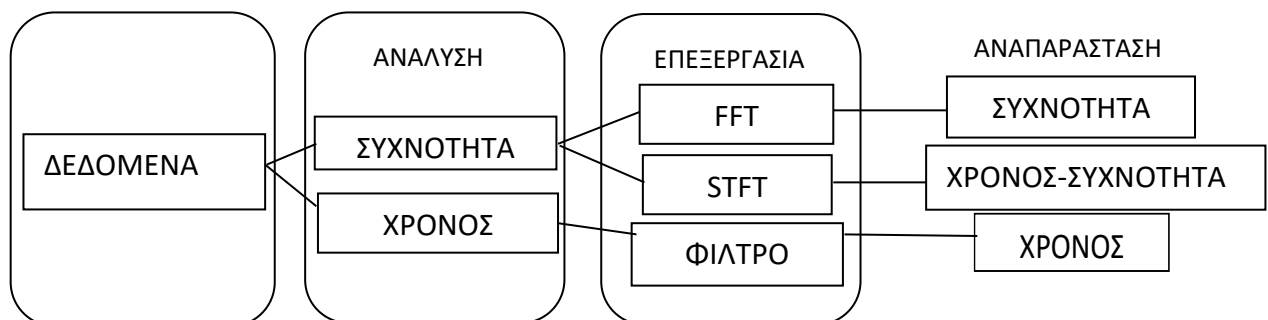
Οι παρεμβολές τύπου D απαιτούν τουλάχιστον μία συσκευή με ακούσια εκπομπή. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των συσκευών καθορίζεται κυρίως από την σύνθετη αντίσταση στην εισόδου τους. Τα υψηλά επίπεδα μη σκόπιμων εκπομπών σε συνδυασμό με τις χαμηλές σύνθετες αντιστάσεις του πλησιέστερου εξοπλισμού, μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την πιθανότητα παρεμβολών. Ωστόσο, αν τελικά εμφανιστεί κάποια διαταραχή, εξαρτάται κυρίως από την ευαισθησία των επηρεαζόμενων συσκευών. Οι κυριότερες συνέπειες των παρεμβολών μεταξύ συσκευών χωρίς επικοινωνία είναι δυσλειτουργίες, οι οποίες είναι συνήθως αναστρέψιμες, όπως η εκπομπή ακουστικού θορύβου και η πρόσθετη θέρμανση των εσωτερικών τους εξαρτημάτων [44].

6.3 Ανάλυση υπεραρμονικών

Γενικά, η ανάλυση υπερμαρμονικής εκπομπής των συσκευών μπορεί να πραγματοποιηθεί σε δύο διαφορετικά πεδία, στο πεδίο συχνότητων και στο πεδίο του χρόνου.

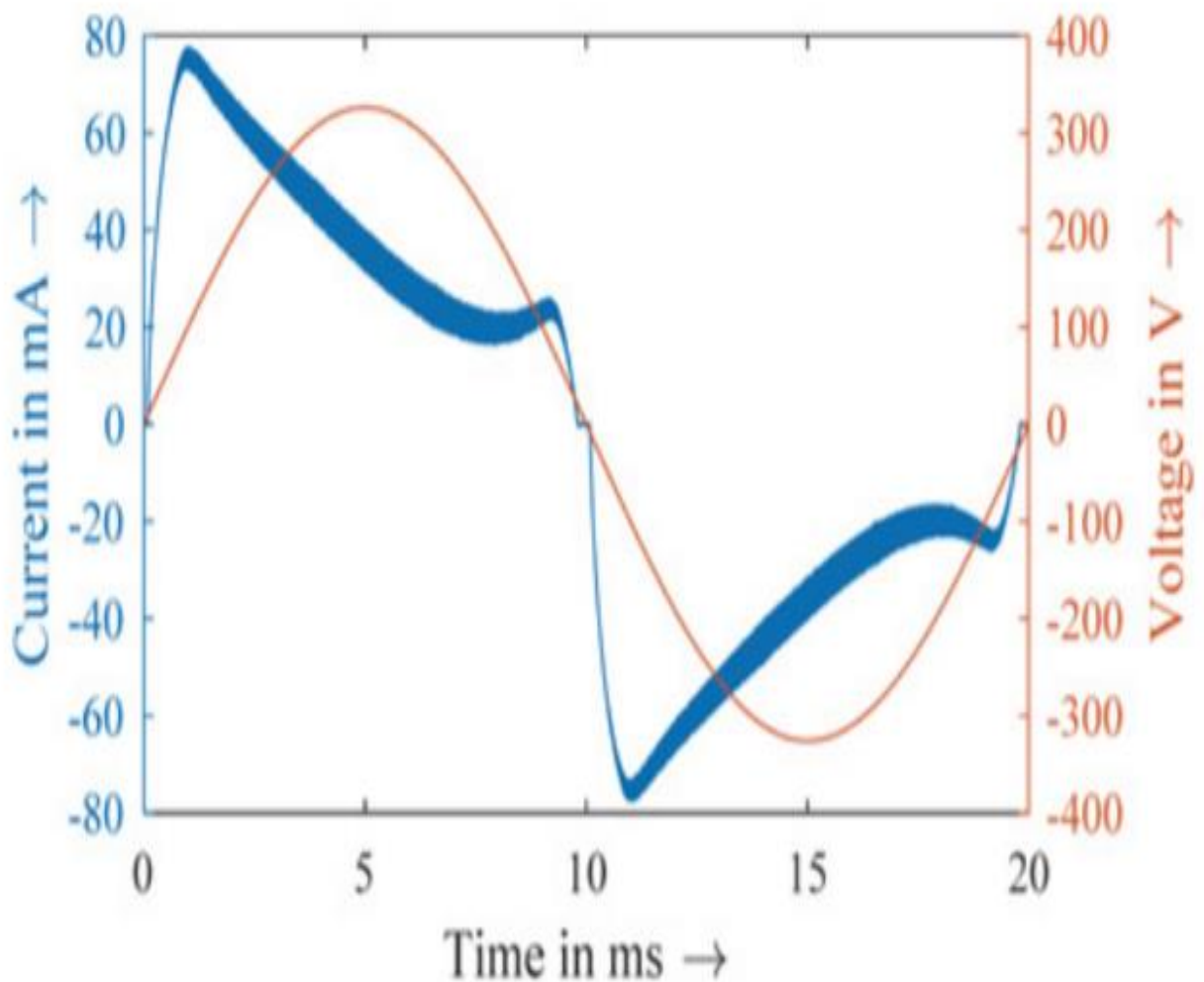
Όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 18, οι κύριες χρησιμοποιούμενες μέθοδοι ανάλυσης είναι [48]:

- αναπαράσταση συχνότητας με τη χρήση μετασχηματισμού Fourier (Frequency Fourier Transformation- FFT)
- βασισμένη στην αναπαράσταση του κύκλου χρόνου-συχνότητας χρησιμοποιώντας μετασχηματισμό Fourier για σύντομο χρονικό διάστημα (Short Time Fourier Transformation- STFT)
- χρονική αναπαράσταση μετά την εξαγωγή του υπεραρμονικού περιεχόμενου χρησιμοποιώντας φίλτρα



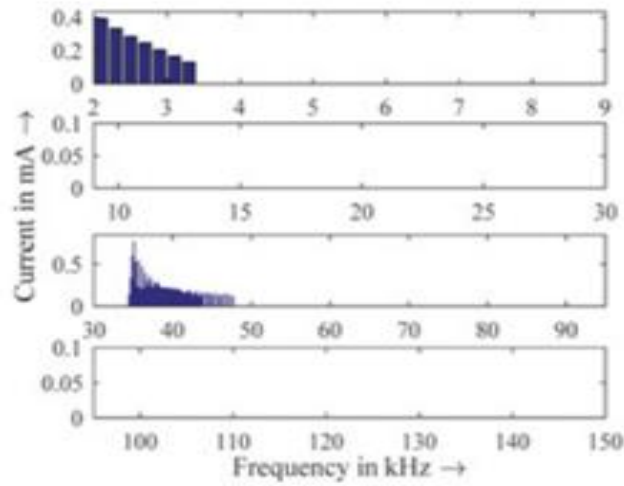
Εικόνα 19 Δυνατότητες ανάλυσης δεδομένων [48]

Αξίζει να αναφερθεί ότι υψηλές μη ημιτονοειδείς κυματομορφές ρεύματος (εικόνα 19) μπορούν να παράγουν σημαντικά φασματικά σήματα έως 9 kHz. Αυτά τα στοιχεία μπορούν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στα αποτελέσματα, αλλά δεν είναι υπεραρμονικά κατά την έννοια αυτής της ανάλυσης. Κατά συνέπεια, σε αυτή την εργασία θα αναλύθουν περιοχές συχνότητας των 9 kHz-150 kHz [ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2].

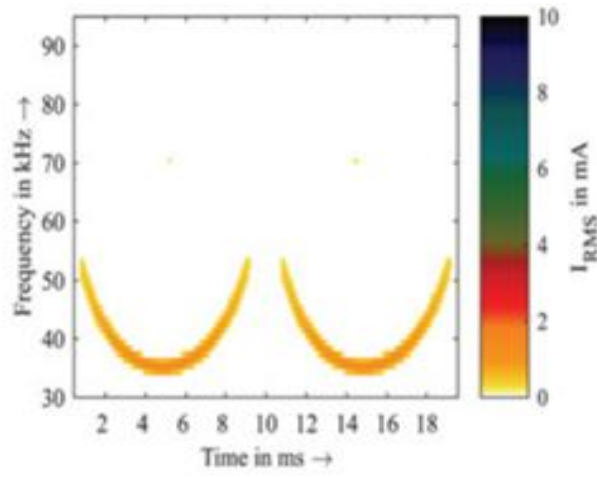


Εικόνα 20 Μη φιλτραρισμένη κυματομορφή (χρονικού πεδίου) μιας συσκευής [48]

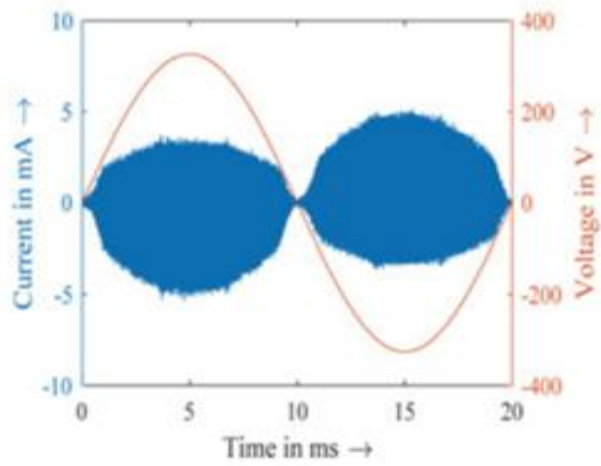
Επίσης έχει παρατηρηθεί εκπομπή συχνοτήτων από συσκευές, η οποία καλύπτει μεγαλύτερες ζώνες συχνοτήτων (ευρυζωνική εκπομπή), εικόνα 20α. Η αναπαράσταση χρόνου-συχνότητας, εικόνα 20β, αποκαλύπτει ότι πρόκειται για πραγματικές εκπομπές που ποικίλλουν στην συχνότητα εντός του κύκλου ισχύος. Η εικόνα 20γ, δείχνει ότι εκτός από την διακύμανση της συχνότητας μπορεί επίσης να παρουσιάσει διακύμανση μεγέθους εντός ενός κύκλου ισχύος [48].



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 21 Αναπαράσταση στο πεδίο της συχνότητας(α), χρόνου-συχνότητας(β), χρόνο(γ) [48]

Προκειμένου να χαρακτηριστεί η υπερμαρμονική εκπομπή του εξοπλισμού, θα πρέπει να καθοριστούν κάποιοι δείκτες σχετιζόμενοι με τους τρεις προαναφερθέντες παράγοντες. Οι τρεις αυτοί παράγοντες παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες 7,8 και 9 [48].

Πίνακας 7 Δείκτες για το πεδίο των συχνοτήτων [48]

Δείκτης	Περιγραφή
I_{max}	μέγιστη τιμή μεγέθους
TSHC	συνολικές εκπομπές σε απόλυτες τιμές
Σταθμισμένη υπερμαρμονική ρεύματος	συνολικές εκπομπές σε απόλυτες τιμές, συμπεριλαμβανομένης της βαρύτητας των μετρήσεων που εξαρτάται από τη συχνότητα
Συνολική υπερμαρμονική παραμόρφωση	το συνολικό επίπεδο παραμόρφωσης που σχετίζεται με μια αναφορά (π.χ. ονομαστικό ή θεμελιώδες ρεύμα)
Διακύμανση ανά κύκλο	διακύμανση των εκπομπών μεταξύ διαδοχικών κύκλους

Πίνακας 8 Δείκτες για το πεδίο των συχνοτήτων-χρόνου [48]

Δείκτης	Περιγραφή
Διασπορά εκπομπών (ES)	Συγκέντρωση των μέγιστων μεγεθών και των εγγενών συχνοτήτων

Πίνακας 9 Δείκτες για το πεδίο του χρόνου [48]

Δείκτης	Περιγραφή
HCS	σύγκριση θετικού και αρνητικού μισού κύκλου
Διάρκεια (TSH)	διάρκεια της εκπομπής (που σχετίζεται με τη διάρκεια του κύκλου)
Τοποθεσία (xSH)	σημείο εκκίνησης της θεμελιώδους εκπομπής
Σημείο στο κύμα	σημείο της μέγιστης τιμής της κυρίαρχης εκπομπής
Συντελεστής κορυφής (CSH)	ένδειξη για την εμφάνιση της εκπομπής

Μερικοί δείκτες που θα αναλυθούν παρακάτω είναι οι εξής, μέγιστη τιμή I_{max} , συνολικό υπεραρμονικό ρεύμα (TSHC), διασπορά εκπομπών (ES) και συμμετρία μισού κύκλου (HCS).

Μέγιστη τιμή I_{max}: Όσον αφορά την αναπαράσταση συχνοτήτων (φάσμα), ένας απλός προσδιορισμός της μέγιστης τιμής I_{max} και της αντίστοιχης συχνότητας f (I_{max}) είναι χρήσιμη. Σύμφωνα με το πρότυπο, οι τιμές προσδιορίζονται με βάση ένα διάστημα μέτρησης 200ms. Οι μέγιστες τιμές μπορούν να οριστούν για ολόκληρο το εύρος της υπεραρμονικής περιοχής (9-150kHz), καθώς και για μεμονωμένες περιοχές συχνοτήτων. Με τον τρόπο αυτό είναι επίσης δυνατό να προσδιοριστεί σε ποιο εύρος συχνοτήτων εντοπίζεται η κυριαρχική εκπομπή [50].

Με βάση το διάστημα μέτρησης των 200 ms, λαμβάνεται ένα φάσμα 5Hz. Προκειμένου να μειωθεί η ποσότητα των δεδομένων, τα στοιχεία συνθέτονται σε ζώνες συχνοτήτων. Οι συνήθεις ζώνες συχνοτήτων είναι 200Hz και 2kHz. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ιδιαίτερα σε περίπτωση ευρύτερων εκπομπών, η μέγιστη τιμή μιας εκπομπής στα 2kHz μπορεί να είναι πολύ υψηλότερη από μια, στην ζώνη των 200Hz [50].

Συνολικό υπεραρμονικό ρεύμα (TSHC): Προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί ολόκληρη η υπεραρμονική εκπομπή, κατ'αναλογία προς το συνολικό αρμονικό ρεύμα το TSHC είναι [50]:

$$TSHC = \sqrt{\sum_{B=1}^{705} Y_B^2} \quad (39)$$

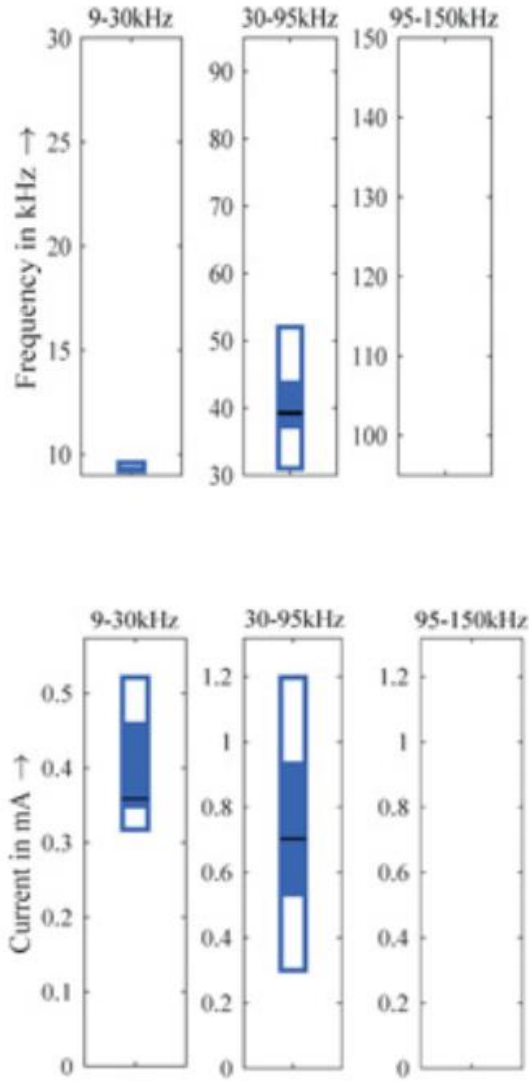
Y: RMS τιμή ρεύματος

B: Δείκτης της RMS τιμής ανά 200Hz (ξεκινώντας από τα 9kHz)

Διασπορά εκπομπών (ES): διαφορετικοί τύποι υπεραρμονικής εκπομπής μπορούν να διακριθούν σε σχέση με έναν κύκλο και είναι οι εξής τρείς [50]:

- σταθερή εκπομπή,
- χρονικά εξαρτώμενες κυμαινόμενες εκπομπές (συχνότητα ή/και μέγεθος)
- τυχαία μεταβαλλόμενες εκπομπές.

Οι διαφορετικοί τύποι εκπομπών μπορούν να αναγνωριστούν στην αναπαράσταση χρόνου-συχνότητας, με τη συχνότητα της μέγιστης εκπομπής I_{max}, πάνω στην τιμή της μέγιστης εκπομπής I_{max}, για όλα τα χρονικά βήματα του STFT. Όπως φαίνεται στην εικόνα 21, ο δείκτης ES αποτελείται από δύο υποδείκτες, οι οποίοι ποσοτικοποιούν τη διακύμανση της συχνότητας (ESf) και το μέγεθος (ESI) [51].



Εικόνα 22 ES παράδειγμα για ένα εξοπλισμό υπό δοκιμή [50]

Συμμετρία μισού κύκλου (HCS): Το HCS χρησιμοποιείται για την απεικόνιση ενός δείκτη χρονικής αναπαράστασης. Υπολογίζεται με την προσθήκη των μεγεθών $i_{SH,i}$ (μεμονωμένα δείγματα) όλων των δειγμάτων F_{SHC} (σύνολο δειγμάτων) σε κάθε μεμονωμένο μισό κύκλο. Το σήμα του αντιστοίχου θετικού μισού κύκλου $E_{HCn(+)}$ ή αρνητικού μισό κύκλο $E_{HCn(-)}$ εντός του πλήρους κύκλου n , είναι ισοδύναμο [50].

$$E_{HCn(\pm)} = \sum_i |i|_{SH,i} \quad (40)$$

όπου i τα σημεία δειγματοληψίας του αντίστοιχου μισού κύκλου.

Το HCS του πλήρους κύκλου n HCS_n υπολογίζεται ως [50]:

$$HCS_n = \frac{E_{HCn(+)} }{E_{HCn(-)}} \quad (41)$$

Τα αποτελέσματα μπορούν να ερμηνευθούν ως εξής [50]:

- $HCS_n = 1$: τέλεια συμμετρική
- $HCS_n < 1$: μικρότερος θετικός μισός κύκλος
- $HCS_n > 1$: μικρότερος αρνητικός μισός κύκλος

Μπορεί να ληφθεί ένας μέσος δείκτης HCS_n ανά 200 ms, υπολογίζοντας μια μέση τιμή όλων των θετικών τιμών μισού κύκλου $E_{HCn (+)}$ και μια μέση τιμή όλων των αρνητικών τιμών μισού κύκλου $E_{HCn (-)}$. Έτσι μπορεί να υπολογιστεί μια μέση συμμετρία μισού κύκλου (HCS). Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα για κάθε πλήρες κύκλο HCS_n με τη μέση τιμή του διαστήματος 200 ms, μπορούν να εντοπιστούν μεταβολές συμμετρίας εντός του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος, από την παραπάνω σχέση 41 [51].

6.4 Επιδράσεις των υπεραρμονικών στον εξοπλισμό χαμηλής τάσης

Τα πιο κοινά αποτελέσματα των υπεραρμονικών στον εξοπλισμό συνοψίζονται παρακάτω στον πίνακα 10 [52]:

Πίνακας 10 Αποτελέσματα των υπεραρμονικών στον εξοπλισμό

Επίδραση	Τύπος παρεμβολής		
	B	C	D
Πρόσθετη θέρμανση	✓		✓
Ακουστικός θόρυβος			✓
Δυσλειτουργία του εξοπλισμού	✓		✓
Δυσλειτουργία του PLC		✓	

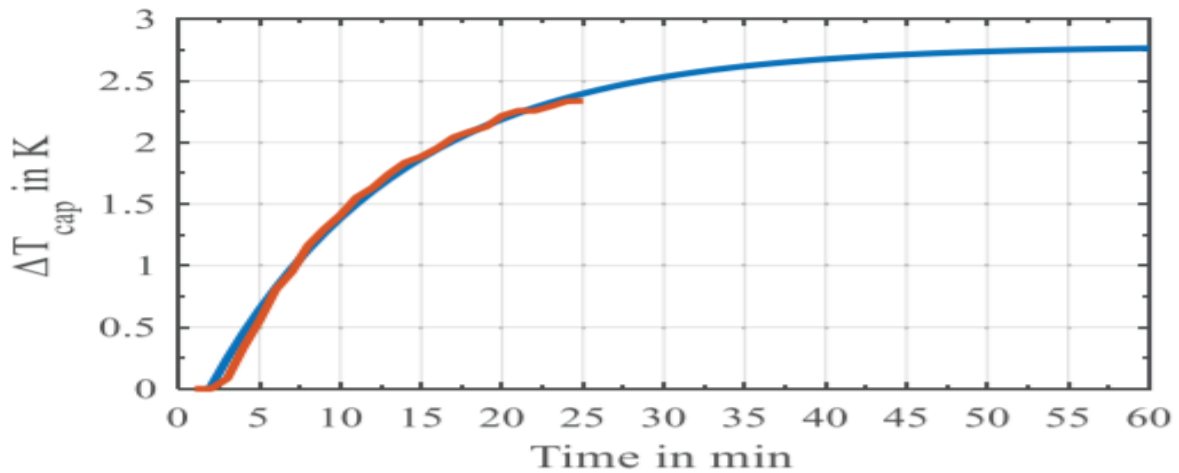
6.4.1 Πρόσθετη θέρμανση

Οι υπεραρμονικές μπορούν να προκαλέσουν πρόσθετες απώλειες, ειδικά στις χωρητικότητες των πυκνωτών, με αποτέλεσμα την πρόσθετη θερμοκρασία (εικόνα 22) και κατά συνέπεια τη μείωση της διάρκειας ζωής τους [52].

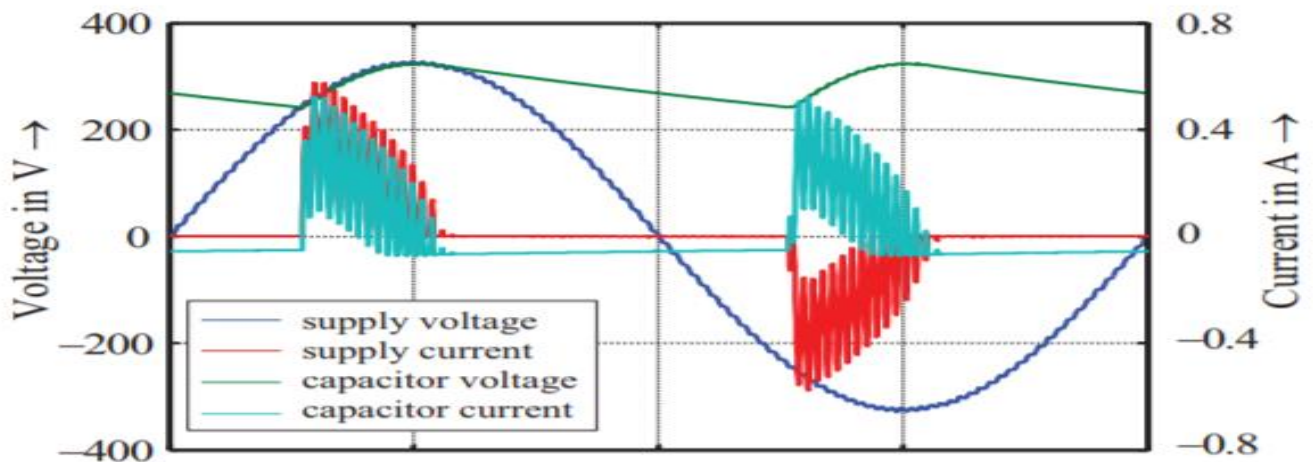
Παρακάτω στην εικόνα 23 φαίνεται αναλυτικά πως επηρεάζεται ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός, και ειδικότερα ο ηλεκτρολυτικός πυκνωτής. Εάν η γέφυρα ανόρθωσης είναι κλειστή ο πυκνωτής αντλεί ρεύμα, αυτό το ρεύμα περιέχει ένα σημαντικό ποσοστό υπεραρμονικής συχνότητας, που υπάρχει στην τάση τροφοδοσίας. Καθώς η σύνθετη αντίσταση του πυκνωτή μειώνεται με την αυξανόμενη συχνότητα, αυτό το υπεραρμονικό στοιχείο μπορεί να πάρει υψηλές τιμές [53].

Σε πολλές περιπτώσεις δεν υπάρχει μόνο μία υπεραρμονική συνιστώσα στην τάση τροφοδοσίας, συνεπώς, η θερμοκρασία αυξάνεται ακόμη περισσότερο. Έτσι λοιπόν, δεν μπορεί να παραμεληθεί η πρόσθετη θέρμανση στοιχείων του κυκλώματος, ιδιαίτερα στα

απλά κυκλώματα ανόρθωσης που χρησιμοποιούνται στους διάφορους εξοπλισμούς. Ο αντίκτυπός στη μείωση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού, είναι κάτι το οποίο δεν γίνεται άμεσα αντιληπτό στον καταναλωτή [42].



Εικόνα 23 Αύξηση θερμοκρασίας στην επιφάνεια ενός πυκνωτή συνεχούς ρεύματος ενός λαμπτήρα LED σε παραμορφωμένη τάση τροφοδοσίας (κόκκινο: μετρημένο, μπλε: υπολογισμένο) [52]



Εικόνα 24 Επιλεγμένες τάσεις και ρεύματα συμπαγούς λαμπτήρα φθορισμού και μια παραμορφωμένη τάση τροφοδοσίας [53]

6.4.2 Ακουστικός θόρυβος

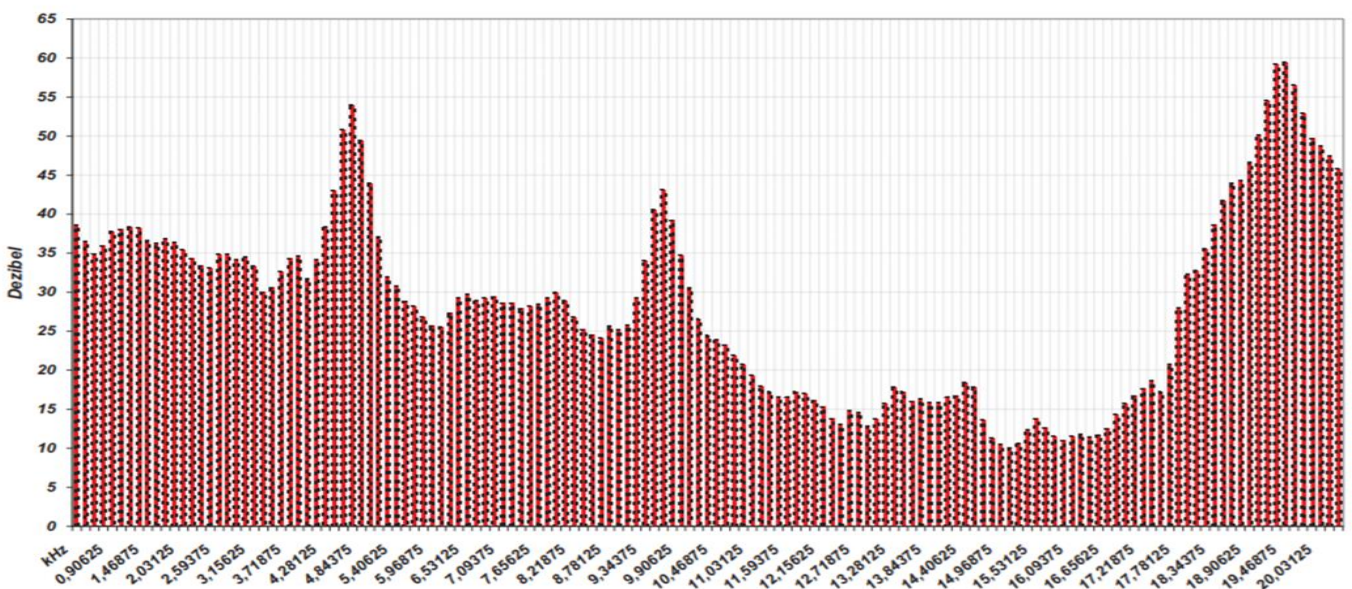
Η δημιουργία ανεπιθύμητου ηχητικού θορύβου συνδέεται με τον τύπο παρεμβολής D. Η πηγή διαταραχής είναι συνήθως μια συσκευή με μη εκούσια εκπομπή στην ακουστική συχνότητα, που είναι κάτω από 15 kHz. Η μη εκ προθέσεως εκπομπή της διαταραγμένης συσκευής ρέει εντός της και διεγείρει μηχανικούς συντονισμούς, οι οποίοι αναγνωρίζονται

ως ενοχλητικός ήχος. Η διάδοση της εκπομπής εξαρτάται σημαντικά από τη δύναμη της πηγής διαταραχής και την κατάσταση της σύνθετης αντίστασης στο ίδιο το δίκτυο Χ.Τ. [47].

Καθώς οι απώλειες μεταγωγής των ημιαγωγικών στοιχείων αυξάνονται με τη συχνότητα μεταγωγής, υπάρχει αντίστροφη σχέση μεταξύ της ονομαστικής ισχύος μιας συσκευής και της συχνότητας μεταγωγής. Η μη εκ προθέσεως εκπομπή κάτω από 15 kHz προκαλείται ως επί το πλείστον από εξοπλισμό με υψηλότερη ονομαστική ισχύ. Ιδιαίτερη προσοχή γι' αυτό το ζήτημα λαμβάνεται συνήθως για εξοπλισμό που πρόκειται να εγκατασταθεί σε οικιακό περιβάλλον. Για παράδειγμα, οι περισσότεροι φωτοβολταϊκοί μετατροπείς για οικιακή χρήση έχουν συχνότητες μεταγωγής άνω των 15 kHz. Οι διαταραγμένες συσκευές είναι συνήθως εξοπλισμός μαζικής αγοράς εγκατεστημένος σε οικιακούς πελάτες κοντά σε εμπορικό πελάτη[47].

Ένα επίπεδο ήχου μεταξύ 10dB και 20dB μπορεί να ενοχλούν υπό συγκεκριμένες συνθήκες(π.χ. κατά τη διάρκεια της νύχτας), ενώ πάνω από 20 dB αναγνωρίζεται εύκολα και μπορεί να γίνει πολύ ενοχλητικός [47].

Ο αριθμός των καταγγελιών λόγω ενοχλητικών ακουστικών θορύβων αυξάνεται. Το φάσμα μιας μέτρησης ήχου κοντά σε μια επαγωγική εστία φαίνεται στην εικόνα 24. Η ενοχλητική πηγή ήταν ένας μετατροπέας μεταβλητής ταχύτητας ενός CNC, σε απόσταση περίπου 250 μέτρων. Η μάλλον μεγάλη διάδοση είναι αποτέλεσμα του χαμηλού αριθμού πελατών που συνδέονται κατά μήκος της γραμμής και συνεπώς μιας λιγότερο αποτελεσματικής απόσβεσης [54].



Εικόνα 25 Φάσμα ήχου δίπλα σε μια επαγωγική εστία [54]

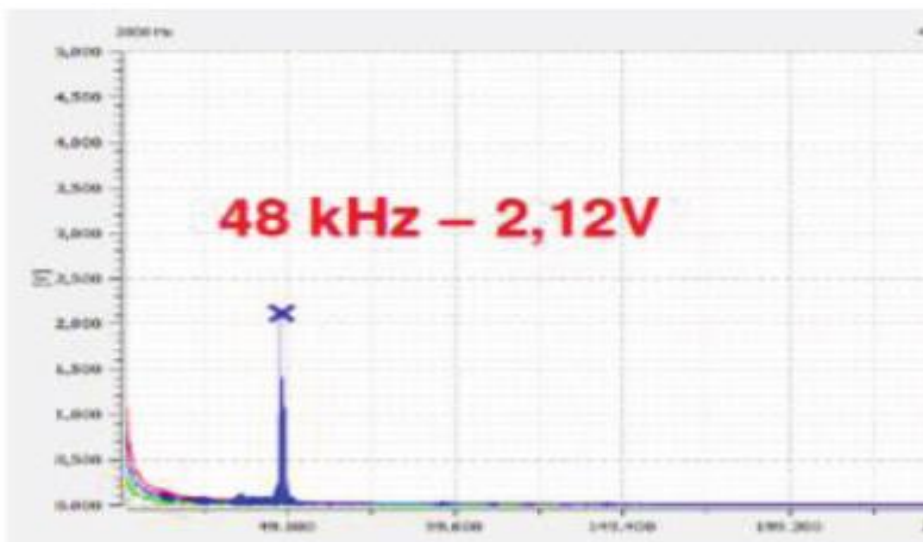
6.4.3 Δυσλειτουργία του εξοπλισμού

Υπάρχουν πολλές αναφορές σχετικά με δυσλειτουργία εξοπλισμού. Τα πιθανά είδη δυσλειτουργίας είναι πολύ διαφορετικά, αλλά συνήθως είναι αναστρέψιμα και προφανώς εξαρτώνται από το ευαισθησία του εξοπλισμού. Κάποια παραδείγματα δυσλειτουργιών είναι [40]:

- Μη σκόπιμη διακοπτική λειτουργία των λαμπτήρων φθορισμού
- Μη διακοπτική λειτουργία ενός φούρνου
- Εσφαλμένη λειτουργία των συστημάτων αυτόματης λειτουργίας WC.
- Υψηλά σφάλματα στην μέτρηση ενέργειας
- Μη σκόπιμη διακοπτική λειτουργία σε επαγγελματικά στεγνωτήρια
- Εσφαλμένη λειτουργία μιας καφετιέρας

Πηγή διαταραχών στις περισσότερες περιπτώσεις είναι συσκευές με υψηλή ονομαστική ισχύ. Ειδικά συσκευές που χρησιμοποιούν χωρητικά στοιχεία επαφής επηρεάζονται συχνά από παρεμβολές στην περιοχή συχνοτήτων 2 kHz - 150 kHz.

Μια χαρακτηριστική αναφορά έγινε σε ένα κλαμπ σκοποβολής, όπου παρατηρήθηκε ακούσια κίνηση στόχων. Ο λόγος ήταν μια μεγάλη υπεραρμονική παραμόρφωση της τάσης τροφοδοσίας (εικόνα 25) με επίπεδα περίπου 2 V στα 48 kHz, που προκλήθηκε από φωτοβολταϊκό μετατροπέα [41].



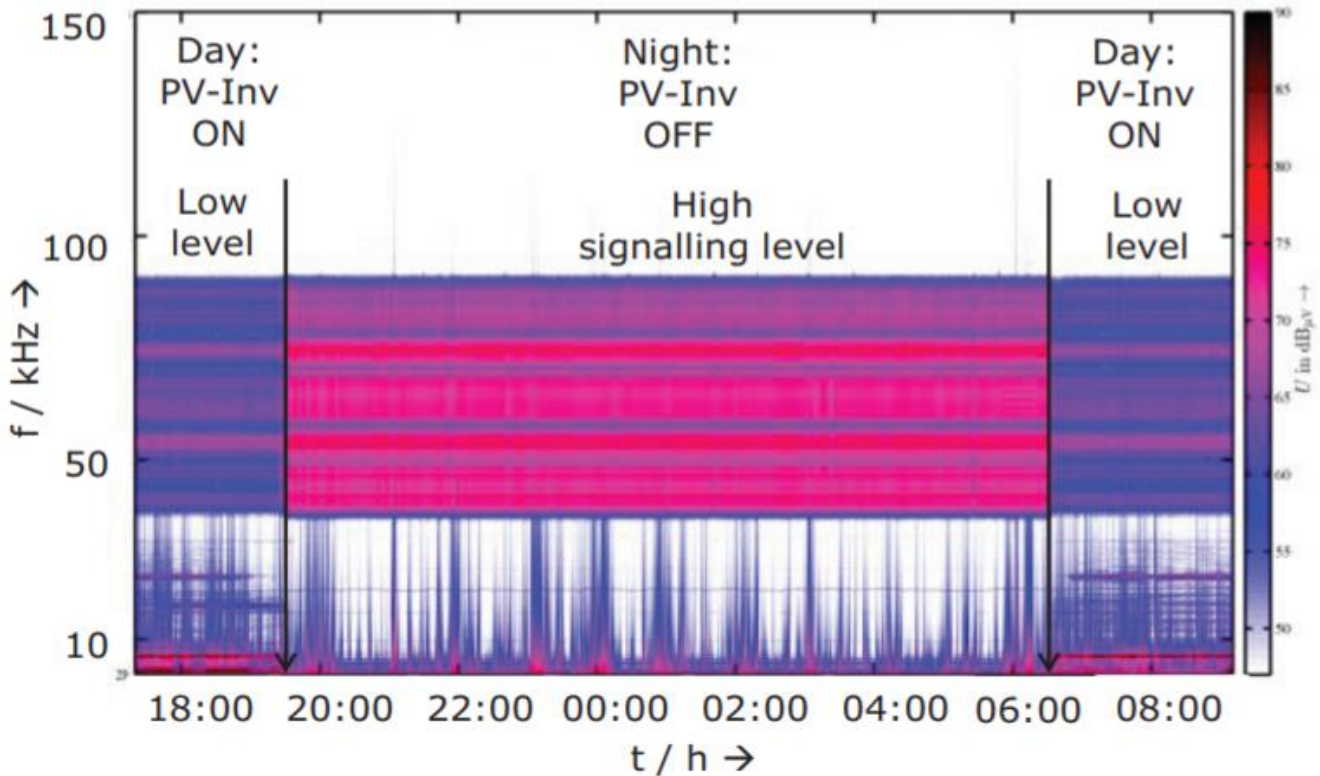
Εικόνα 26 Φάσμα τάσης στο σημείο παροχής ενός διαταραγμένου πελάτη ,στάθμη τάσης περίπου 2.1 V στα 48 kHz, ανάλυση 5 Hz) [41]

6.4.4 Δυσλειτουργία του PLC (Power Line Communication)

Το PLC μπορεί να διαταραχθεί είτε με απόσβεση της σηματοδότησης λόγω υπερβολικά χαμηλής σύνθετης αντίστασης των συνδεδεμένων συσκευών ή από υπερβολικά υψηλά επίπεδα μη εκ προθέσεως εκπομπών που παρεμβαίνουν στο PLC, στις συχνότητες σηματοδότησης. Η μη επιτρεπτή απόσβεση των σημάτων PLC αναφέρθηκαν σε δύο δίκτυα Χ.Τ. με πολύ μεγάλη διείσδυση μονοφασικών και τριφασικών φωτοβολταϊκών μετατροπέων [41].

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, όταν οι μετατροπείς είχαν συνδεθεί με το δίκτυο, η επικοινωνία ήταν αδύνατη σε όλους σχεδόν τους έξυπνους μετρητές στο δίκτυο. Η σωστή

επικοινωνία μπορούσε να πραγματοποιηθεί μόνο κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η απόσβεση του σήματος προκαλείται κυρίως από την χαμηλή αντίσταση εισόδου των φωτοβολταϊκών μετατροπέων (εξαιτίας του σχεδιασμού του φίλτρου του δικτύου). Ως παράδειγμα, η εικόνα 26 δείχνει την αλλαγή του επιπέδου σήματος ενός PLC οκτώ καναλιών μεταξύ της ημέρας και νύχτας σε ένα ηλιακό πάρκο ισχύος 1 MW. Μία μείωση περίπου 10 dB παρατηρήθηκε όταν οι φωτοβολταϊκοί μετατροπείς είναι ενεργοποιημένοι γύρω στις 6.30 π.μ. [41].



Εικόνα 27 Φασματικό σήμα σήματος PLC (35 kHz - 90 kHz)[41]

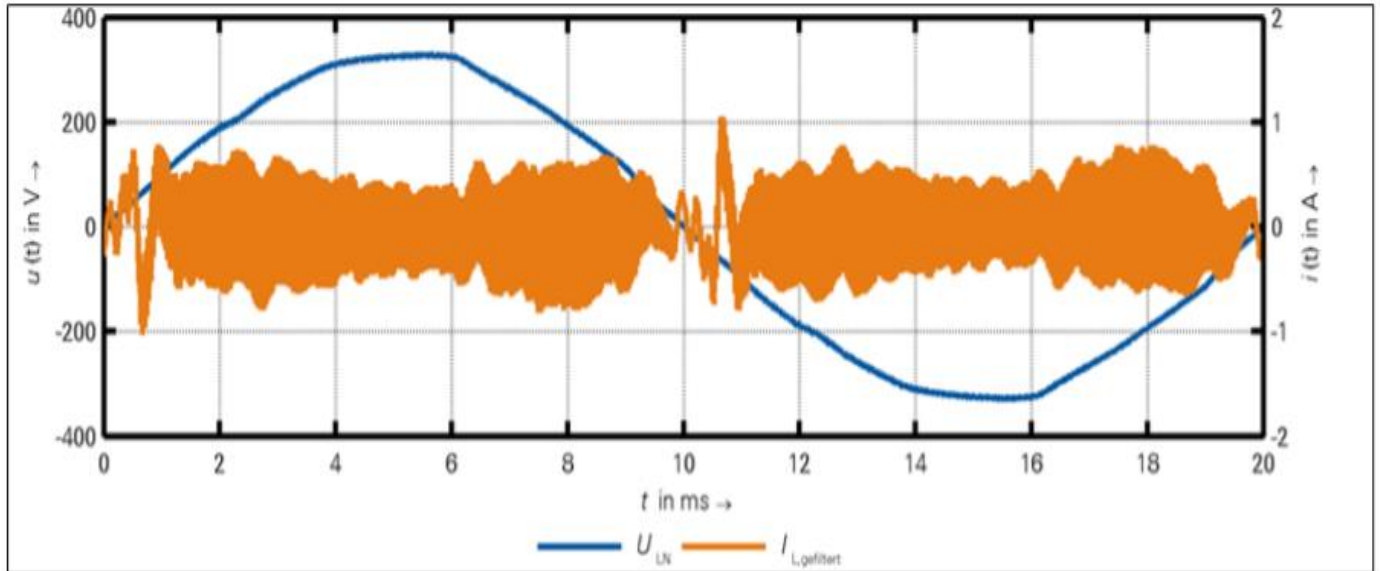
6.5 Ζητήματα μέτρησεων για τις υπεραρμονικές

Όπως έχει αναφερθεί και στις μετρήσεις των αρμονικών, για την επίτευξη αποτελεσμάτων μέτρησης στις εκπομπές συχνοτήτων 2 kHz - 150 kHz, η αξιολόγηση / σύγκριση των μετρούμενων τιμών είναι μία από τις εφαρμοζόμενες μεθόδους μέτρησης. Στην περιοχή συχνοτήτων 2 kHz έως 150 kHz μπορούν να αναλυθούν [40]:

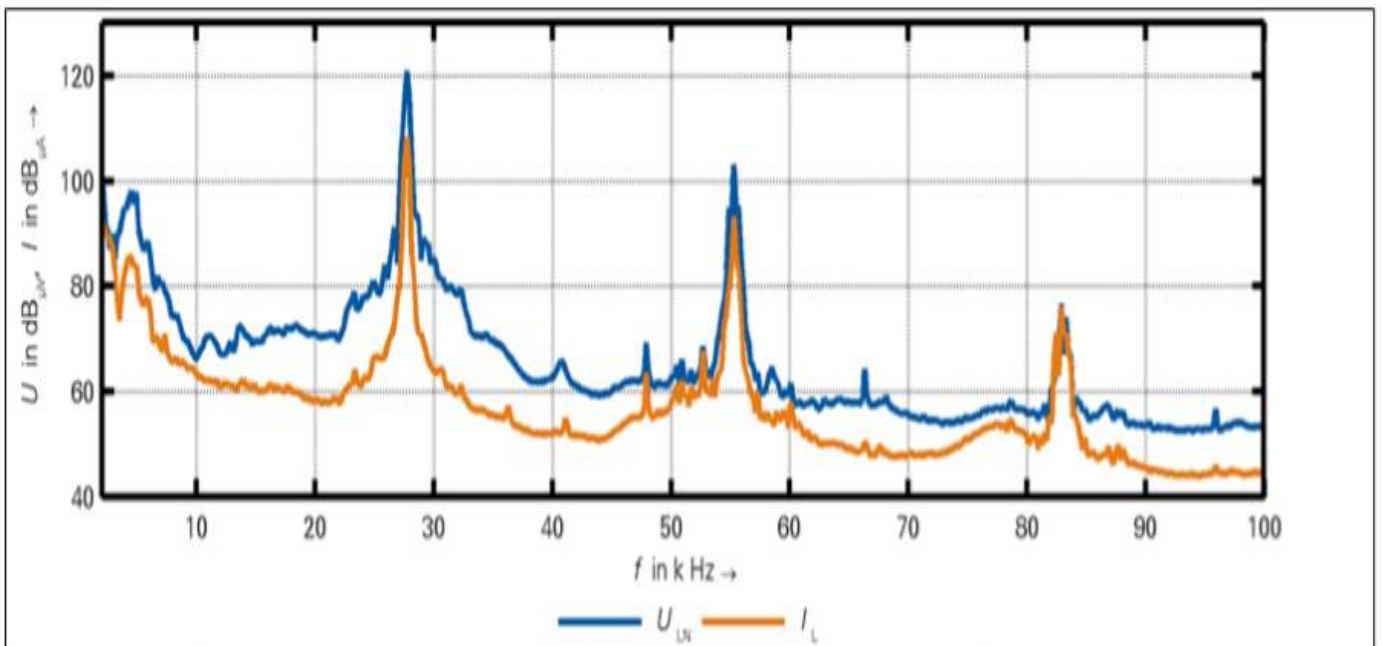
- είτε στο πεδίο του χρόνου (στιγμιαία κυματομορφή φιλτραρισμένη με υψηλή διέλευση)
- ή στο πεδίο συχνοτήτων (φάσμα).

Και οι δύο μέθοδοι έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Η επιλογή μιας από αυτές τις μεθόδους εξαρτάται από το χαρακτηριστικό της υψηλότερης συχνότητας (του αναλυθέντος σήματος). Σε πολλές περιπτώσεις ένας συνδυασμός και των δύο αναλύσεων είναι ευεργετικός. Η γραφική παράσταση στο πεδίο του χρόνου, είναι συνήθως μια γραφική παράσταση της στιγμιαίας κυματομορφής υψηλής συχνότητας του σήματος (εικόνα 27). Για το πεδίο συχνοτήτων, συνθηθέστερα χρησιμοποιείται ένα φάσμα για γραφική παράσταση,

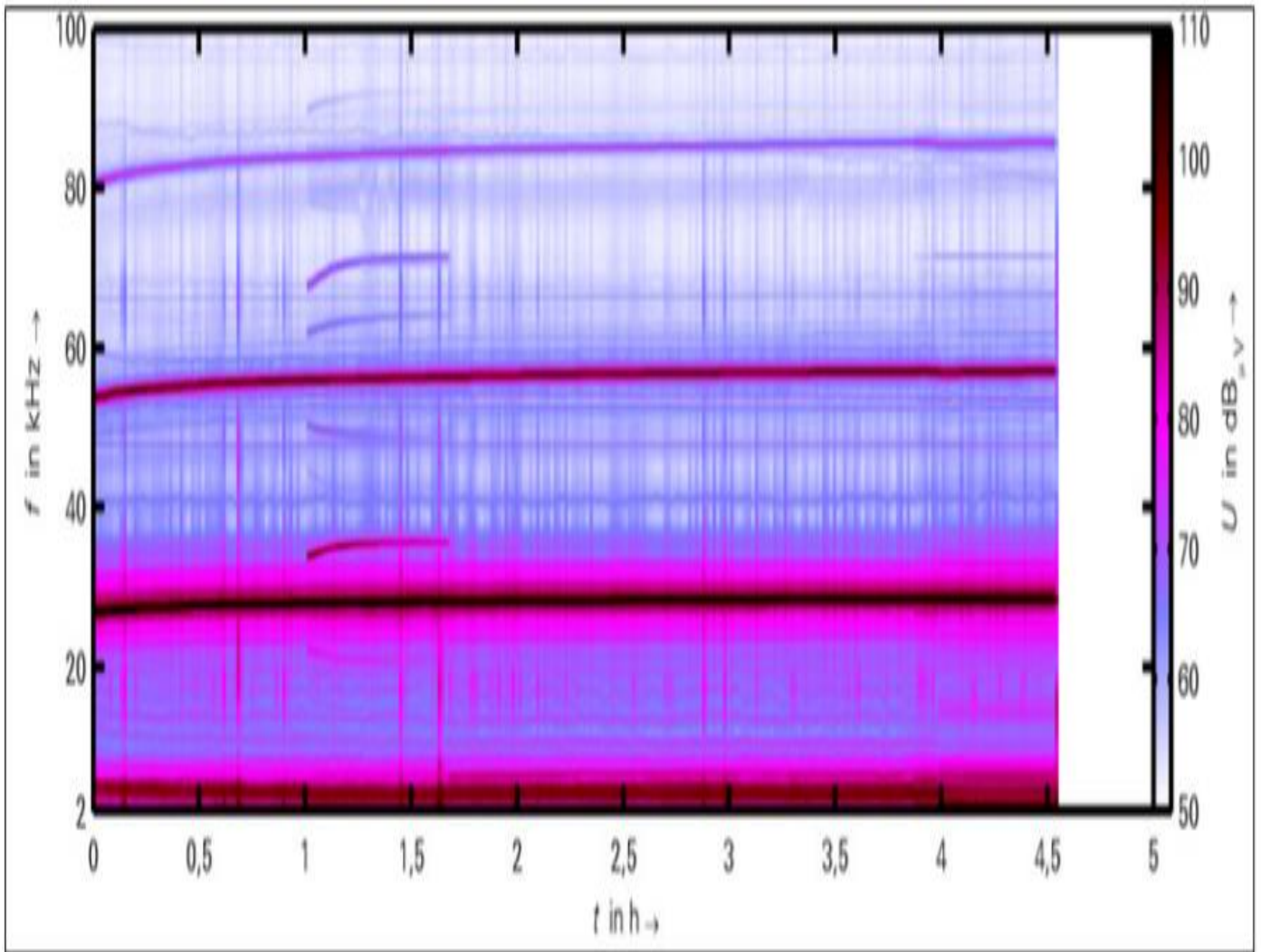
όπου απεικονίζεται μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (εικόνα 28). Εάν εκτός από τη συχνότητα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται και η πάροδος του χρόνου, τότε χρησιμοποιείται ένα φασματογράφημα όπως φαίνεται στην εικόνα 29 [40].



Εικόνα 28 Γράφημα του φιλτραρισμένου ρεύματος [40]



Εικόνα 29 Φάσμα τάσης και ρεύματος [40]



Εικόνα 30 Φάσμα της τάσης [40]

6.5.1 Κατάσταση τυποποίησης

Μέχρι τώρα, οι συζητήσεις σχετικά με τον καθορισμό των επιπέδων συμβατότητας των EMI στο εύρος συχνοτήτων 2 kHz - 150 kHz επικεντρώθηκαν κυρίως στον τομέα συχνοτήτων. Οι τυποποιημένες μέθοδοι μέτρησης (που ισχύουν για - τουλάχιστον ένα μέρος- της εξεταζόμενης περιοχής συχνοτήτων), μπορούν να βρεθούν στα πρότυπα EN 55016-2-1 ,EN 61000-4-7 ,EN 61000 4-30 Ed.3 και EN 50065-1 [57,38,37,58].

Το EN 61000-4-19 καλύπτει επίσης το υψηλότερο εύρος συχνοτήτων. Ωστόσο, καθορίζει μόνο τεχνικές δοκιμές ανοσίας του εξοπλισμού σε ορισμένους τύπους παραμόρφωσης. Δεν απαιτεί από τον χρήστη να πραγματοποιήσει μετρήσεις παράλληλα με τις δοκιμές ανοσίας, και ως εκ τούτου δεν περιέχει ή δεν αναφέρεται σε καμία από τις μεθόδους μέτρησης [49]. Ο παρακάτω πίνακας 11 παρουσιάζει μια λίστα προτύπων που είναι διαθέσιμα όσον αφορά τη μέτρηση στην περιοχή συχνοτήτων από το 2 kHz έως 150 kHz

Πίνακας 2 Πρότυπα για τη μέτρηση στην περιοχή συχνοτήτων από το 2 έως 150 kHz

Πρότυπο	EN 61000-4-7:2002 (Annex B)	EN 61000-4-30:2015 (Annex C)	EN 55016-2-1 E	EN 50065-1
Σκοπός	Επίπεδα εκπομπών από εξοπλισμού, στο δίκτυο	Επίπεδα στο δίκτυο	Επίπεδα στο δίκτυο και εκπομπές από τον εξοπλισμό	Εκπομπές από τον εξοπλισμό
Μέθοδος	(DFT) Διακριτή μετασχηματισμένη μορφή Fourier, Διάστημα 200 ms, συσσωμάτωση σε 200Hz-ζώνες ανά 200 ms	DFT, συσσωμάτωση σε avg και max φάσματα ανά 10/12 του κύκλου	Αναλυτής φάσματος με ρυθμιζόμενο φίλτρο και ανιχνευτή (κορυφή / rms)	Φάσμα αναλυτής με ρυθμιζόμενο φίλτρο και ανιχνευτή
Εύρος συχνοτήτων σε kHz	2-9	9-150	150-30000	3-148,5
Εφαρμογή	Τα επίπεδα εκπομπών στο δίκτυο, Επίπεδα εκπομπών του εξοπλισμού	Επίπεδα εκπομπών στο δίκτυο		
Εύρος ζώνης	200 Hz	2 kHz	200 Hz ± 100 Hz	100 Hz
Χρόνοι σάρωσης	200 ms	10/12 του κύκλου της θεμελιώδης	14,1 s ή 47 min	
Παράμετρος	Τιμές RMS	Τιμές RMS (Μέγιστος και μέσος όρος)		Τιμές κορυφής
Κατάσταση	Πληροφοριακό παράρτημα	Πληροφοριακό παράρτημα	Κανονιστικός	Κανονιστικός

Η επιλογή μιας κατάλληλης μεθόδου μέτρησης εξαρτάται επίσης από το σκοπό της μέτρησης. Σε όρους EMC, διακρίνονται τρεις βασικοί τύποι εφαρμογής [55]:

- 1) Μέτρηση των επιπέδων εκπομπών στο δίκτυο: Ο κύριος σκοπός των μετρήσεων αυτών είναι π.χ. η διερεύνηση περιπτώσεων παρεμβολών.
- 2) Μέτρηση εκπομπής μεμονωμένου εξοπλισμού: Οι μετρήσεις αυτές διενεργούνται για να ελέγχεται η συμμόρφωση των συσκευών με τα υπάρχοντα όρια εκπομπών. Αυτό είναι ήδη υποχρεωτικό, π.χ. για εξοπλισμό φωτισμού.

- 3) Επαλήθευση της ανοσίας του εξοπλισμού: Διεξάγονται δοκιμές ανοχής για να διασφαλιστεί ότι μια συσκευή συμμορφώνεται με τα υπάρχοντα πρότυπα ανοσίας (EN 61000-4-19)

Ανάλογα με τον στόχο, ισχύουν διαφορετικές απαιτήσεις για τις διάφορες μετρήσεις. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων, τουλάχιστον σε κάθε μία από τις προαναφερθείσες ομάδες θα πρέπει να εφαρμόζεται μια συγκρίσιμη μέθοδος μέτρησης [55].

6.5.2 Γενικές προϋποθέσεις μετρήσεων στις υπεραρμονικές

Για καθεμία από τις εφαρμογές παραπάνω, πρέπει να εξεταστούν ορισμένες γενικές απαιτήσεις [55]:

- **Αναπαραγωγιμότητα / Συγκρισιμότητα:** Μία σημαντική απαίτηση είναι η συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων μέτρησης. Η μέτρηση μιας συγκεκριμένης ποσότητας θα πρέπει να παρέχει συγκρίσιμα αποτελέσματα μετρήσεων ή να προσδιορίζεται με σαφήνεια ο τρόπος μετατροπής των μεγεθών, ώστε να καθίσταται δυνατό οι απευθείας συγκρίσεις μεταξύ των διαφόρων μετρήσεων.
- **Ακρίβεια:** Ο όρος "ακρίβεια" είναι πολύ σύνθετος όταν πρόκειται για την αξιολόγηση αυτών των φασμάτων και επηρεάζεται τόσο από τα συστηματικά όσο και τα τυχαία σφάλματα.

Πρώτον, υπάρχει η ακρίβεια της συσκευής μέτρησης, η οποία περιλαμβάνει όλα τα συστηματικά σφάλματα, αυτά είναι τα σταθερά. Όμως υπάρχουν και τα σχετικά σφάλματα ενός αναλογικού-ψηφιακού μετατροπέα, καθώς και το αποτέλεσμα που μπορεί να έχει η συσκευή μέτρησης στο σύστημα στο οποίο είναι συνδεδεμένο, τα όποια επηρεάζουν την ακρίβεια της συσκευής.

Δεύτερον, το σήμα επηρεάζεται από τον θόρυβο, το οποίο περιλαμβάνει όλα τα τυχαία σφάλματα. Καθορίζεται από την ποιότητα του σήματος, το χρησιμοποιούμενο εύρος μετρήσεων, το φάσμα συχνοτήτων που αναλύεται, την ανάλυση του αναλογικού-ψηφιακού μετατροπέα καθώς και από το μήκος της μέτρησης που χρησιμοποιείται για το Διακριτό μετασχηματισμό Fourier (DFT), εάν υπάρχει.

- **Φιλτράρισμα σημάτων:** Δεδομένου ότι όλες οι μετρήσεις είναι περιορισμένες στο εύρος ζώνης, το σήμα θα είναι επίσης περιορισμένο στο εύρος ζώνης. Επομένως, κάθε συσκευή μέτρησης πρέπει να είναι εφοδιασμένη με κατάλληλο χαμηλοπερατό φίλτρο για να εμποδίσει αλλοιώσεις. Αυτό ισχύει για οποιαδήποτε μέθοδο μέτρησης. Ανάλογα με τη μέθοδο, συνιστάται ή απαιτείται η χρήση άλλων φίλτρων σήματος .

6.6 Δοκιμές ανοσίας των έξυπνων μετρητών

Στα δίκτυα ενέργειας υπάρχουν σημαντικά υπεραρμονικά ρεύματα στην περιοχή συχνοτήτων 2-150 kHz, λόγω ανεπαρκών προτύπων ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, και είναι σημαντικό οι έξυπνοι μετρητές να εμφανίζουν σε αυτή την περιοχή συχνοτήτων επαρκή ανοσία.

Είναι γνωστό ότι οι έξυπνοι μετρητές επηρεάζονται από διαταραχές που αλλοιώνουν σοβαρά τις λειτουργικές τους καταστάσεις, ενώ τα σχετικά προβλήματα EMC προκαλούν ιδιαίτερη ανησυχία στην περιοχή συχνοτήτων 2-150 kHz. Προς το παρόν δεν υπάρχει διεθνής και τυποποιημένη διαδικασία δοκιμής που να εγγυάται την κατάλληλη ανοσία των έξυπνων μετρητών σε σχέση με αυτές τις διαταραχές. Είναι προφανές ότι αυτή η κατάσταση δεν ικανοποιεί τους κατασκευαστές και τους χρηστές ευφυών μετρητών, δεδομένου ότι εναπόκειται στη δική τους ευθύνη, να εξασφαλίσουν επαρκή ανοσία EMC [56].

Ενώ το πρότυπο IEC 61000-4-19 παρέχει ήδη οδηγίες σχετικά με τη διεξαγωγή συνολικών δοκιμών ανοσίας στον τομέα των συχνοτήτων, σημειώνονται τα ακόλουθα σημεία [49]:

- 1) Λόγω της πεπερασμένης συχνότητας των παλμών δοκιμής, είναι πιθανό οι ευαισθησίες των έξυπνων μετρητών να χάνονται.
- 2) Η δοκιμή στον τομέα συχνοτήτων θεωρείται χρονοβόρα αφού, ανάλογα με τη συχνότητα οι εκατοντάδες των συχνοτήτων δοκιμές πρέπει να καλύπτουν ολόκληρη την περιοχή συχνοτήτων 2- 150 kHz. Αυτό το ζήτημα αποτελεί σοβαρό πρόβλημα αν δοκιμάζεται μια συσκευή, η οποία απαιτεί πολύ χρόνο από τον εκάστοτε μηχανικό, να αξιολογήσει την κατάσταση λειτουργίας.

6.6.1 Τεστ ανοσίας και παράγοντες ποιότητας ευφυών μετρητών

Από άποψη μοντελοποίησης της EMC, μια έξυπνη συσκευή μέτρησης δεν είναι μια κανονική δομή, όπως μια απλή γραμμή ή κεραία, αλλά ένα πολύπλοκο σύστημα. Συνήθως, η γραμμικότητα και η χρονική μεταβλητότητα και στη συνέχεια η ανοσία ενός πολύπλοκου συστήματος χαρακτηρίζεται από μια συνάρτηση μεταφοράς $H(s)$. Η συνάρτηση μεταφοράς σχετίζεται με μια ποσότητα εξόδου, όπως το $O(s)$ μιας λειτουργικής κατάστασης, σε μια είσοδο όπως ένα διαταραγμένο ρεύμα $I(s)$ [50].

$$H(s) = \frac{O(s)}{I(s)} \cong \sum_{m=1}^M \left(\frac{R_m}{s - s_m} + \frac{R_m^*}{s - s_m^*} \right) \quad (42)$$

M : κυρίαρχοι πόλοι του συστήματος, (Αυτοί οι πόλοι αντιπροσωπεύουν συχνότητες όπου σύστημα που εξετάζεται είναι δυνητικά ευαίσθητο στην ποσότητα εισόδου $I(s)$).

S : μεταβλητή Laplace

R_m : κατάλοιπο που σχετίζεται με κάθε πόλο συντονισμού

$$S_m = \sigma_m + j\omega_m \quad (43)$$

σ_m : απώλειες του συστήματος

ω_m : συχνότητα συντονισμού που σχετίζεται με τον πόλο S_m

Το πραγματικό μέρος για τα παθητικά συστήματα είναι αρνητικό, και αντιπροσωπεύει τις απώλειες του συστήματος. Το φανταστικό μέρος είναι η συχνότητα συντονισμού και σχετίζεται με τον πόλο. Η συνάρτηση μεταφοράς ενός αποσβεσμένου αρμονικού ταλαντωτή (όπως ενός κυκλώματος συντονισμού RLC) μετά από κάποια ανάλυση, δείχνει ότι οι μεταβλητές σ_m και το ω_m μπορούν να εκφραστούν με όρους μιας ιδιοσυχνότητας $\omega_{0,m}$ και ενός συντελεστή ποιότητας Q_m [50].

$$\omega_{0,m} = |s_m| \quad (44)$$

$$Q_m = -\frac{\omega_{0,m}}{2\sigma_m} \quad (45)$$

Αυτές οι έννοιες είναι σημαντικές για την ορθή ερμηνεία των δοκιμών ανοσίας στον τομέα συχνοτήτων.

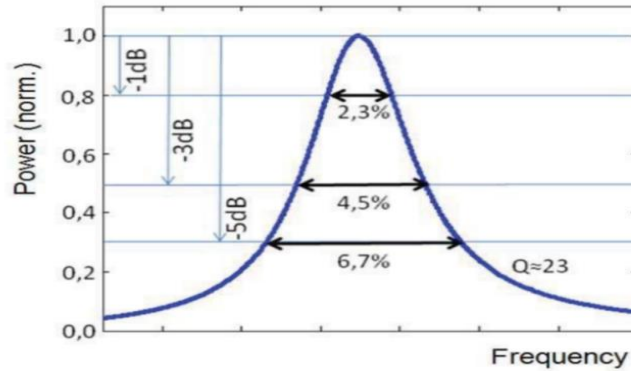
Για παράδειγμα μπορεί να θεωρηθεί ως στοιχειώδες μοντέλο θύματος EMC, μια μικρή διπολική κεραία. Σε συντονισμό, η λαμβανόμενη ισχύς βρίσκεται στο μέγιστο και η ευαισθησία αυτού του συστήματος γίνεται, σε αυτήν την περιοχή συχνοτήτων, μεγαλύτερη. Για αξιόπιστους ελέγχους ανοσίας, είναι αποφασιστικής σημασίας να γίνουν οι δοκιμές στα μέγιστα της ευαισθησίας, και αυτό απαιτεί την επιλογή των ανάλογων συχνοτήτων [59].

Εάν η επιθυμητή δοκιμή είναι στο 1dB, αυτό απαιτεί την επιλογή συχνότητας f_n σύμφωνα με έναν κανόνα του 2,3%, δηλαδή

$$f_{n+1} = f_n \cdot 1.023 \quad (46)$$

Η εικόνα 30 παρακάτω δείχνει την λαμβανόμενη ισχύ μιας μικρής διπολικής κεραίας με συντελεστή ποιότητας $Q = 23$. Να σημειωθεί ότι ο παράγοντας ποιότητας δίνεται από το ποσοστό του εύρους ζώνης 3db σε σχέση με τη συχνότητα συντονισμού, δηλ. $Q = 23 \sim 1 / (0.045)$.

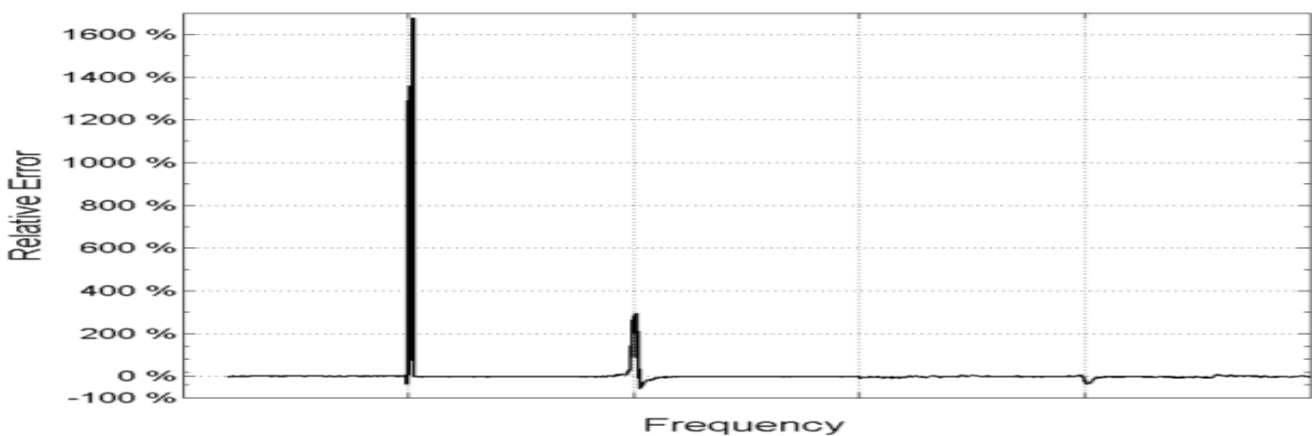
Γι' αυτή τη μέτρηση, το εύρος ζώνης (2,3%) συνδέεται στενά με τον παράγοντα ποιότητας $Q = 23$ του συστήματος [59].



Εικόνα 31 Λαμβανόμενη ισχύ μιας μικρής διπολικής κεραίας με συντελεστή ποιότητας $Q = 23$ [59]

Στο πρότυπο IEC 61000-4-19, τα βήματα συχνότητας υπαγορεύονται από τον κανόνα του 2%. Αυτό επιτρέπει την αξιόπιστη δοκιμή συστημάτων μέχρι ένα συντελεστή ποιότητας $Q=26$. Για υψηλότερους ποιοτικούς παράγοντες είναι δυνατόν να χαθούν κάποιες συχνότητες, όπου η ευαισθησία είναι μέγιστη, και κατά συνέπεια, η ανοσία θα πέσει στο ελάχιστο. Για τις συσκευές έξυπνου μετρητή, δεν είναι εύκολο να καθοριστεί ένας παράγοντας ποιότητας με βάση τα φυσικά μοντέλα. Ο λόγος είναι ότι η έξυπνη μέτρηση, συνεπάγεται μια σημαντική ποσότητα επεξεργασίας ψηφιακού σήματος, η οποία δεν είναι άμεσα προσβάσιμη στην ηλεκτρομαγνητική θεωρία. Δηλαδή μέσα σε μια έξυπνη μέτρηση, τα αναλογικά σήματα της συσκευής μετατρέπονται σε ψηφιακά σήματα και στη συνέχεια επεξεργάζονται. Διαταραχές στη ζώνη συχνοτήτων 2-150 kHz μπορεί να επηρεάσουν αυτή τη διαδικασία, αλλά δεν υπάρχει κανένας γενικός κανόνας γι' αυτό, δεδομένου ότι εξαρτάται έντονα από τον μετατροπέα AD [49].

Προκειμένου να ληφθούν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τους τυπικούς ποιοτικούς παράγοντες των συσκευών έξυπνου μετρητή, ένας πραγματικός έξυπνος μετρητής έχει ερευνηθεί μέσω μιας δοκιμής EMC. Χρησιμοποιήθηκε ένα μικρό πλάτος βήματος συχνότητας 0,37%, αποδίδοντας την καμπύλη της εικόνας 31. Το αποτέλεσμα της δοκιμής, παρουσιάζει ευαισθησίες που οδηγούν σε μη φυσιολογικές λειτουργικές καταστάσεις όπου ξεκάθαρα υπερβαίνουν τα αποδεκτά όρια ακρίβειας [60].



Εικόνα 32 Αποτέλεσμα δοκιμής ανοσίας μιας πραγματικής συσκευής έξυπνου μετρητή. Δύο προφανείς ευαισθησίες που υποδεικνύουν μια ανώμαλη κατάσταση λειτουργίας μπορούν σαφώς να αναγνωριστούν [60]

Οι ορατές κορυφές μπορούν να προσεγγιστούν ως κορυφές συντονισμού, παρόλο που αυτή η αναλογία είναι φυσικά κάπως ασαφής. Δεδομένου ότι μπορεί να θεωρηθεί ότι η παρατηρούμενη αποτυχία του έξυπνου μετρητή οφείλεται σε κακό φιλτράρισμα ή κακή επεξεργασία σήματος διαταραχών υψηλής συχνότητας και όχι σε φυσικό συντονισμό. Οι σχετικοί παράγοντες ποιότητας των κορυφών υπερβαίνουν σαφώς την τιμή των 26, η οποία προσδιορίζεται ως η μέγιστη τιμή που μπορεί να αναλυθεί μέσω ενός τυπικού εύρους βήματος συχνότητας 2%. Επομένως, αποδεικνύεται από το παράδειγμα αυτό, ότι η ευαισθησία για τις έξυπνες συσκευές μέτρησης καθιστά αναγκαία τη χρήση πολύ πιο λεπτότερους βαθμίδας κλιμάκωσης [60].

Η χρήση βημάτων μικρής συχνότητας δεν είναι πάντα η σωστή πρακτική, καθώς μπορεί να συνδεθεί με μια σημαντική αύξηση του χρόνου δοκιμής. Ως εκ τούτου, συνιστάται να χρησιμοποιούνται σήματα δοκιμών ευρείας ζώνης τα οποία μειώνουν τον κίνδυνο για χάσιμο ευαισθησιών. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι οι κυματομορφές του διπλού εκθετικού παλμού [61,62]:

$$I_{exp}(t) = I_{0,exp}(\exp(-at) - \exp(-bt)) \quad (47)$$

και του αποσβεσμένου ημιτονοειδή παλμού

$$I_{sin}(t) = I_{0,sin}(\exp(-dt) \sin(\omega_0 t)) \quad (48)$$

με ορισμένες συγκεκριμένες παραμέτρους, χρησιμοποιούνται ήδη στα πρότυπα IEC 61000-4-4 [50] και IEC 61000-4-12 [63] για τις συσκευές έξυπνου μετρητή. Ωστόσο, δεν χρησιμοποιούνται για να κλείσουν το κενό τυποποίησης στην περιοχή συχνοτήτων 2-150 kHz.

Οι παραπάνω εξισώσεις έχουν το πλεονέκτημα ότι οι μετασχηματισμοί Fourier τους, μπορούν εύκολα να ληφθούν ως:

$$\tilde{I}_{exp}(\omega) = I_{0,exp} \frac{(b - a)}{(a - j\omega)(b - j\omega)} \quad (49)$$

Και

$$\tilde{I}_{sin}(\omega) = I_{0,sin} \frac{\omega_0}{\omega_0^2 + (d^2 + j\omega^2)} \quad (50)$$

Αυτοί οι αναλυτικοί τύποι επιτρέπουν την εκτίμηση της ενέργειας E1 ενός παλμού μέσω του θεωρήματος του Parseval

$$\int_{-\infty}^{+\infty} I^2(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} |\tilde{I}(\omega)|^2 d\omega = E1 \quad (51)$$

Επίσης αποδίδει μια εκτίμηση της ενέργειας E1 σε ένα συγκεκριμένο διάστημα συχνότητας (ω_1, ω_2).

$$\frac{1}{2\pi} \int_{\omega_2}^{\omega_1} |\tilde{I}(\omega)|^2 d\omega = E1(\omega_1, \omega_2) \quad (52)$$

Για διαφορετικούς παλμούς δοκιμής, οι ενέργειες πρέπει να είναι συγκρίσιμες στο εξεταζόμενο διάστημα συχνότητας [63].

Οι σύγχρονες γεννήτριες σημάτων, συνήθως παρέχουν μια σειρά προκαθορισμένων σημάτων δοκιμής, συμπεριλαμβανομένου του διπλού εκθετικού παλμού και του αποσβεσμένου ημιτονοειδούς παλμού, οι οποίοι μπορούν να εφαρμοστούν επανειλημμένα. Ωστόσο, δεν έχει αποδειχθεί ποιο σήμα δοκιμής είναι η βέλτιστη επιλογή όσον αφορά την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία. Οι ευαισθησίες που παρατηρήθηκαν παραπάνω στην εικόνα 31, ήταν στην πραγματικότητα οι πρώτες που χρησιμοποίησαν διαφορετικά σχήματα παλμών και όχι σάρωση συχνότητας. Συνεπώς, η χρήση των ευρυζωνικών παλμών προτείνεται ως ένα πολλά υποσχόμενο μέσο για αποτελεσματική και αξιόπιστη δοκιμή συσκευών έξυπνου μετρητή [64].

6.7 Προϋποθέσεις νέων προτύπων μέτρησης

Επειδή όπως αναφέρθηκε προκύπτουν υψηλά σφάλματα στην μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και δυσλειτουργίες, και επειδή τα υπάρχοντα πρότυπα δεν προβλέπουν κάτι με σαφήνεια γι' αυτό, φαίνεται σκόπιμο να θεσπιστεί ένα νέο συνεκτικό πλαίσιο για τη μέτρηση και την εκτίμηση των τάσεων και των ρευμάτων στην περιοχή συχνοτήτων 2kHz - 150kHz, παρέχοντας έτσι μια ενοποίηση των σχετικών παραμέτρων μέτρησης [63]:

- για την εξασφάλιση συγκρισιμότητας και κατάλληλης ακρίβειας των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων-αξιολογήσεων χωρίς την απαίτηση για εκτεταμένες επεξεργασίες.
- για τον κατάλληλο καθορισμό των ορίων εκπομπών, των επιπέδων συμβατότητας και των απαιτήσεων ανοσίας

Για τη θέσπισή τους, φαίνεται ότι συνιστώνται τα εξής [66]:

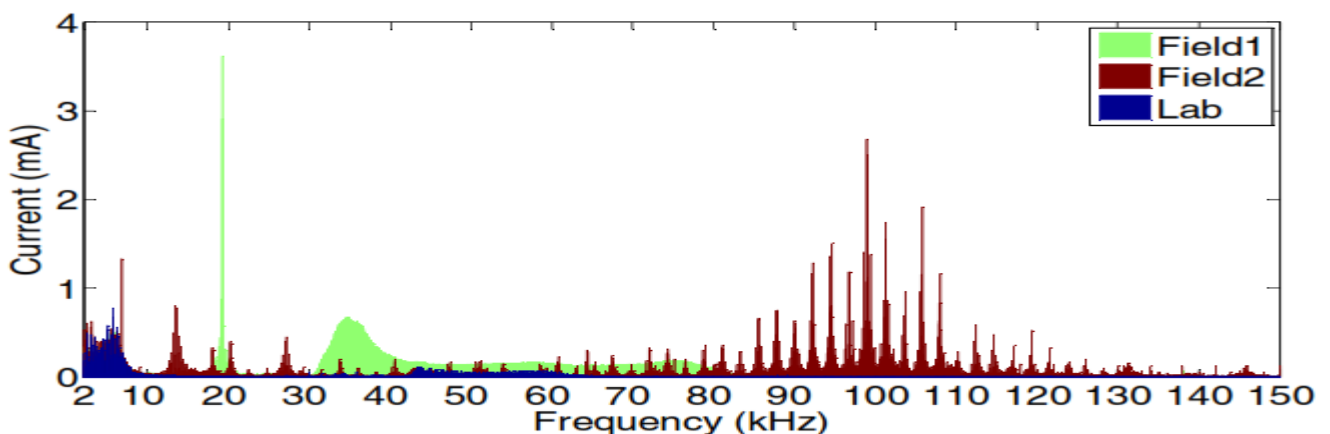
- Να εξετάζονται διαφορετικοί τύποι μετρήσεων όπως :
 - η μέτρηση των επιπέδων εκπομπών στο εργαστήριο καθώς και επί τόπου.
 - η ανάλυση της ηλεκτρομαγνητικής (EM) αλληλεπίδρασης των περιπτώσεων εξοπλισμού / EMI.
 - οι δοκιμές ανοσίας.
- Για τον καθορισμό των τύπων δεδομένων που πρέπει να ληφθούν υπόψη.
 - Να αναλύονται οι επιπτώσεις των παραμέτρων της μέτρησης, με συναφή αποτελέσματα.

- Να είναι υποχρεωτική η εφαρμογή ενός φίλτρου υψηλής διέλευσης, είτε ψηφιακού είτε αναλογικού, για επαρκή καταστολή του θεμελιώδους στοιχείου και αποφυγή διαρροών, εξασφαλίζοντας έτσι επαρκή ακρίβεια σε ολόκληρη την περιοχή συχνοτήτων.
- Για να εξασφαλιστεί η εφαρμογή ενός κοινού εύρους ζώνης, όπου μια τιμή μεγαλύτερη από 200Hz θα μπορούσε να είναι επωφελής
 - Η ανάλυση υψηλότερης συχνότητας παρέχει περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τα μεγέθη
 - Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μέγιστες τιμές, σε περίπτωση εκπομπών που μεταβάλλονται με το χρόνο (PLC)
- Να διασφαλιστεί
 - μέτρηση χωρίς κενά (πρέπει να χρησιμοποιείται, εάν αναμένονται πολύ σύντομες εκπομπές)
 - μέτρηση με κενά που δεν συγχρονίζονται με τη συχνότητα ισχύος, για την επίτευξη αξιόπιστης αναπαράστασης των χαρακτηριστικών του σήματος
 - Η εξέταση πιθανών προβλημάτων με τα φάσματα που έχουν όρια μεταξύ μεμονωμένων ζωνών.
 - Η εφαρμογή τετραγωνικού μέσου όρου (τιμές RMS) για συσσωμάτωση διαφόρων φάσεων, για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

6.8 Βελτίωση υφισταμένων προτύπων

Η παρουσία αρμονικών στην περιοχή συχνοτήτων 2kHz έως 150 kHz ("υπεραρμονική") έχει συζητηθεί εδώ και πολύ καιρό, αλλά η έλλειψη προτύπων οδήγησε επίσης και σε έλλειψη έρευνας. Η έρευνα για το θέμα αυτό ξεκίνησε σοβαρά πριν από μερικά χρόνια. Υπάρχει πλέον γενική αποδοχή της ανάγκης για έρευνα ώστε να γίνει κατανοητή η προέλευση, η εξάπλωση και οι συνέπειες της εκπομπής σε αυτό το εύρος συχνοτήτων.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, στην περιοχή συχνοτήτων άνω των 2 kHz, η εκπομπή διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και είναι συχνά η κυρίαρχη αρμονική. Μία από τις συνέπειες είναι ότι η συνολική εκπομπή αρμονικών είναι έντονα εξαρτώμενη από την τοποθεσία του δικτύου όπως φαίνεται και στην εικόνα 32 [66]. Με αφορμή τα παραπάνω, δύο συγκεκριμένες περιπτώσεις πρότυπων προς βελτίωση παρουσιάζονται παρακάτω.



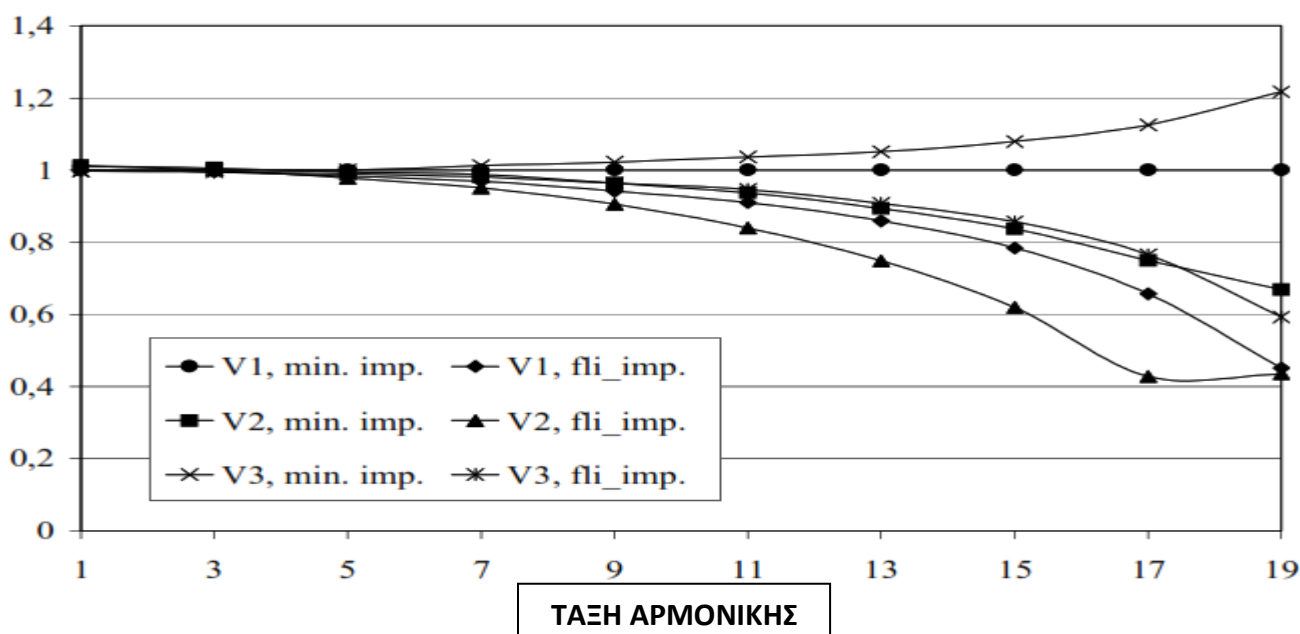
Εικόνα 33 Εκπομπή, 2 έως 150 kHz, μετρούμενη σε εργαστηριακό περιβάλλον (μπλε) και σε δύο θέσεις στο δίκτυο (κόκκινο, πράσινο) [66]

6.8.1 IEC 61000-3-2

Περίπου 20 χρόνια πριν, ένας βασικός οδηγός πίσω από τα όρια εκπομπών του IEC 61000-3-2 ήταν η χρήση των επιδράσεων ακύρωσης μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών, διαφόρων εξοπλισμών. Ως επίδραση ακύρωσης ορίζεται η κατάσταση στην οποία τα θετικά και αρνητικά φορτία ή οι ίδιες συχνότητες θετικής και αρνητικής πολικότητας ακυρώνουν η μία την άλλη. Το φαινόμενο ακύρωσης μπορεί να προκύψει από ακούσια παρεμβολή σε μια γραμμή ή κύκλωμα ή μπορεί να δημιουργηθεί σκόπιμα. Για παράδειγμα, τα συστήματα ακύρωσης θορύβου παράγουν συχνότητες με αντίθετες πολικότητες στα ανεπιθύμητα σήματα προκειμένου να τα εξαλείψουν [31].

Σήμερα, όλο και περισσότεροι εξοπλισμοί, όπως τροφοδοτικά ηλεκτρονικών υπολογιστών, φορτιστές ή φωτοβολταϊκοί μετατροπείς, εφαρμόζουν τεχνολογίες βασιζόμενες σε μεταγωγές υψηλότερων συχνοτήτων. Η αρμονική εκπομπή αυτού του νέου εξοπλισμού υπό συνθήκες ημιτονοειδούς (όπως απαιτείται για δοκιμές σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-3-2) είναι αμελητέα μικρή και συνήθως συμμορφώνεται με τα όρια. Σε περίπτωση όμως, κοινών διαταραχών τάσης, σε δημόσια ή βιομηχανικά δίκτυα (αιχμές τάσης, βυθίσεις, κτλ), η αρμονική εκπομπή μπορεί να αυξηθεί σημαντικά και μπορεί να υπερβεί ακόμη και τα καθορισμένα όρια. Απαιτείται περεταίρω έρευνα για να αναλυθεί ο αντίκτυπος αυτής της τεχνολογικής αλλαγής στην αρμονική κατάσταση των δικτύων χαμηλής τάσης. Βάσει των όσων περιγράφει το IEC 61000-3-2, ίσως χρειαστεί να αλλάξει ή να επεκταθεί [65].

Η σύνθετη αντίσταση πηγής στους ακροδέκτες του εξοπλισμού, μπορεί να επηρεάσει την εκπομπή παραμόρφωσης, όπως φαίνεται για παράδειγμα στην εικόνα 33, για ένα φορτίο με έναν ανορθωτή διόδου και ένα χωρητικό φορτίο. Συγκρίνονται δύο διαφορετικές πηγές σύνθετης αντίστασης και δύο παραμορφωμένες κυματομορφές (V2 και V3) δίπλα σε μια καθαρή κυματομορφή (V1). Η παραμόρφωση της τάσης ήταν μικρή (THD περίπου 1%). Παρατηρούμε ότι η γωνία φάσης της τρίτης αρμονικής είναι αντίθετη για τις τάσεις V2 και V3. Πάνω από την 10η αρμονική ο αντίκτυπος είναι μεγάλος. Επιπλέον η δοκιμή δεν μπορεί να θεωρηθεί επανάληψιμη [66].



Εικόνα 34 Επίδραση της παραμόρφωσης τάσης και της σύνθετης αντίστασης πηγής κατά τη διάρκεια της δοκιμής συμμόρφωσης σε σχέση με τις τυπικές απαιτήσεις για τάσεις τροφοδοσίας και αντίστασης (IEC 61000-3-2) [65]

6.8.2 IEC 61400-21

Το πρότυπο IEC 61400-21 για τις ανεμογεννήτριες, υπάρχει περισσότερο από 10 χρόνια, ενώ αναγνωρίζεται και γίνεται αποδεκτό στη βιομηχανία από, κατασκευαστές ανεμογεννητριών, προγραμματιστές, φορείς πιστοποίησης και άλλους. Ο σκοπός του προτύπου είναι να αναλύσει τις επιπτώσεις των ανεμογεννητριών και των αιολικών σταθμών στο δίκτυο, λαμβάνοντας υπόψιν την ποιότητα ισχύος σε αυτό [67].

Αξίζει να τονιστεί ότι λόγω της σύγχρονης πολυπλοκότητας στους μετατροπείς ισχύος, υπάρχει μεγάλη ανάγκη να γίνει προσεκτική αξιολόγηση της ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των μετρήσεων αρμονικών, της επεξεργασία δεδομένων, της ανάλυση δεδομένων και της αρμονικής μοντελοποίησης των ανεμογεννητριών. Οι μετρήσεις αποτελούν σημαντικό μέρος της διαδικασίας αξιολόγησης των ανεμογεννητριών. Οι κατάλληλες μετρήσεις καθώς και η επεξεργασία δεδομένων είναι καθοριστικής σημασίας για την ανάλυση των ανεμογεννητριών. Η κατάλληλη αρμονική αξιολόγηση μπορεί να χωριστεί στα ακόλουθα στάδια [68]:

- αρμονικές μετρήσεις
- επεξεργασία δεδομένων
- ανάλυση δεδομένων
- πιθανή ανάπτυξη μοντέλου.

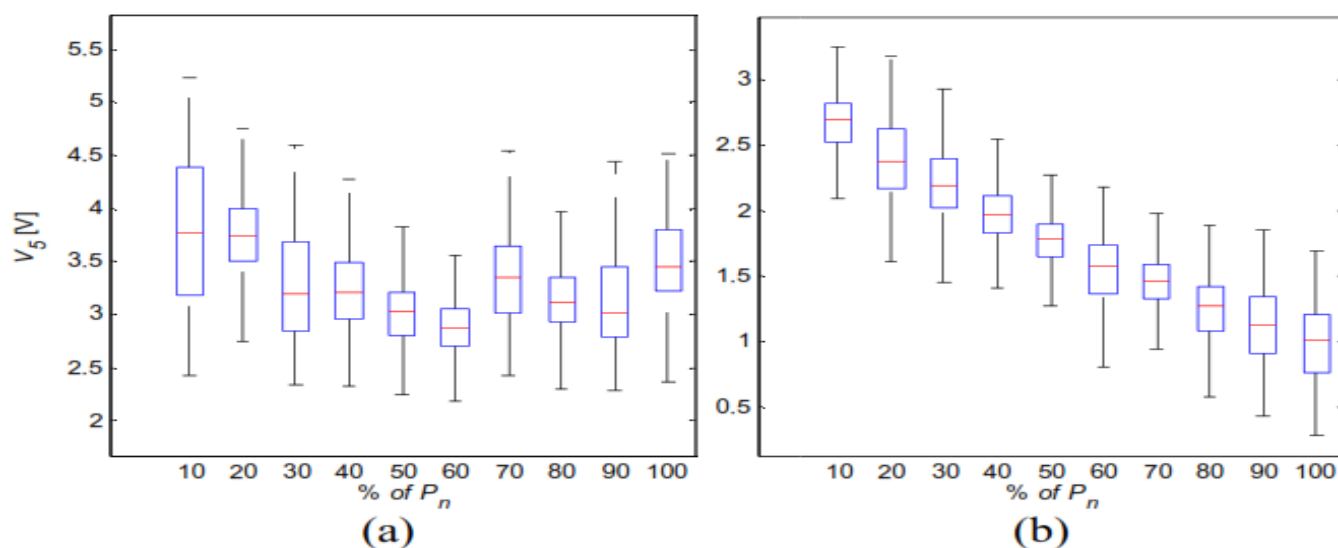
Κάθε ένα από τα στάδια είναι εξίσου σημαντικό στην κατάλληλη και αξιόπιστη αρμονική αξιολόγηση σε ανεμογεννήτριες και αιολικούς σταθμούς. Φυσικά, καθένα από τα στάδια εισάγει αβεβαιότητες οι οποίες θα πρέπει επίσης να αξιολογηθούν προσεκτικά.

Η διαδικασία της μέτρησης και της αξιολόγησης των αρμονικών στη βιομηχανία, έχει αποδειχθεί ότι είναι αρκετά ανακριβής, και προκαλεί δαπανηρή υπερδιαστοιολόγηση των παθητικών φίλτρων. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι το υπάρχων πρότυπο IEC61400-21 υποθέτει ότι οι ανεμογεννήτριες είναι μια ιδανική πηγή αρμονικών ρευμάτων, αγνοώντας την εσωτερική σύνθετη αντίσταση. Αυτή η προσέγγιση παραμελεί επίσης οποιεσδήποτε επιπτώσεις της σύνθετης αντίστασης στο παραγόμενο αρμονικό ρεύμα. Κατά συνέπεια, στη νέα αναθεώρηση θα πρέπει να προσδιορίζονται ακριβέστερες διαδικασίες μέτρησης και αξιολόγησης [69].

Η εκπομπή αρμονικών ρεύματος από μια ανεμογεννήτρια, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εσωτερική σύνθετη της αντίσταση, καθώς και η ίδια η αντίσταση εξαρτάται από τη συχνότητα του εξωτερικού δικτύου. Στην εικόνα 34α φαίνεται πώς αυτό το αρμονικό ρεύμα, μπορεί να επηρεάσει την παραμόρφωση της τάσης στην πλευρά της χαμηλής τάσης του μετασχηματιστή της ανεμογεννήτριας, ενώ στην εικόνα 34β πως μπορεί να αποκλειστεί η επίδραση από την παραμόρφωση του περιβάλλοντος. Η εικόνα δείχνει τη μεταβολή της 5ης αρμονικής συνιστώσας έναντι του ποσοστού φόρτισης της ανεμογεννήτριας [66].

Για να μπορέσει να υπάρξει ακριβέστερη διαδικασία αξιολόγησης, η νέα αναθεώρηση του προτύπου θα πρέπει να καθορίζει, εκτός από τις αρμονικές ρεύματος και τις διαδικασίες μέτρησης των αρμονικών τάσης, τις πληροφορίες γωνίας φάσης και τις τεχνικές συσσωμάτωσης. Επιπλέον, θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν της, την αξιολόγηση των

αβεβαιότητων των μετρήσεων και τη ανάλυση των δεδομένων. Τέλος θα πρέπει να παρέχει κατευθυντήριες γραμμές για τον εντοπισμό των ρευμάτων που επηρεάζονται από τις υπεραρμονικές [66].



Εικόνα 35 Αρμονική παραμόρφωση τάσης (α) που μετριέται στην πλευρά της χαμηλής τάσης του μετασχηματιστή ανεμογεννητριών (β) το αρμονικό μοντέλο. που παρουσιάζεται ως διαγραμμα [66]

Μέχρι σήμερα, οι κατασκευαστές ανεμογεννητριών είναι υπεύθυνοι να αποφασίσουν πώς θα γίνει η ανάπτυξη του μοντέλου των αρμονικών και πώς πρέπει να διεξαχθεί η διαδικασία πιστοποίησης. Συνεπώς, υπάρχει ανάγκη να παρέχεται γενική περιγραφή του αρμονικού μοντέλου λαμβάνοντας υπόψη την αξιολόγηση της αβεβαιότητας, καθώς και κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με τη διαδικασία εφαρμογής και επικύρωσης. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί ο αντίκτυπος των υπεραρμονικών στη διαδικασία μέτρησης [67].

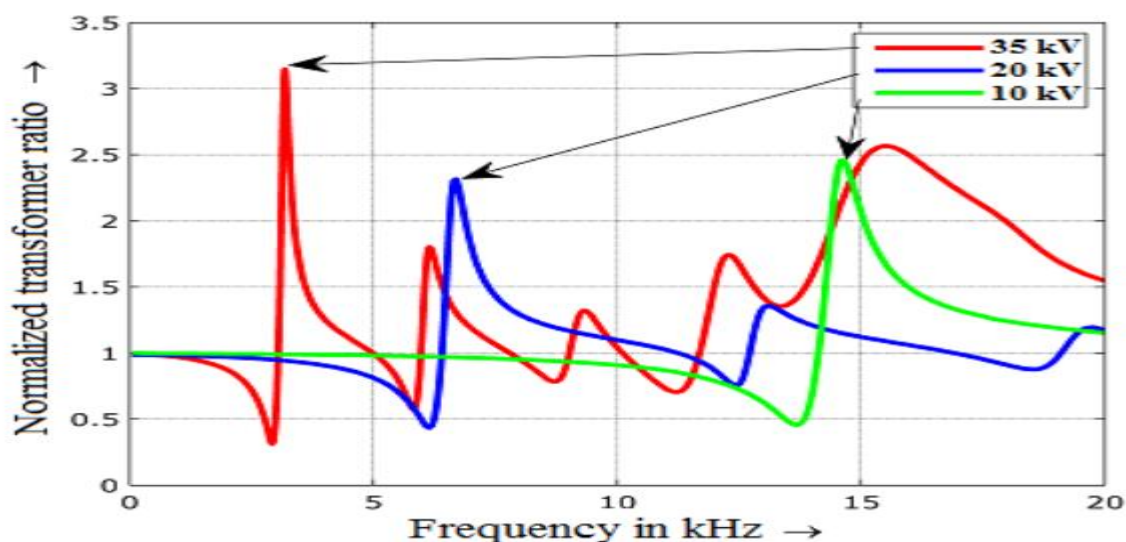
Το μοντέλο αξιολόγησης αρμονικών από τις ανεμογεννήτριες, μπορεί να αναπτυχθεί είτε βάσει των μετρήσεων που συμμορφώνονται με το πρότυπο, ή χρησιμοποιώντας εξελιγμένα εργαλεία προσομοίωσης. Το μοντέλο θα περιγράφει την αρμονική συμπεριφορά μιας ανεμογεννήτριας θεωρητικά, αποκλείοντας την επίδραση του δικτύου. Το αρμονικό μοντέλο θα περιλαμβάνει, τρεις παραμέτρους [66]:

1. Περιγραφή της αρμονικής συμπεριφορά της ανεμογεννήτριας χωρίς την επίδραση του εξωτερικού δικτύου.
2. Αναπαράσταση της αντίδρασης της ανεμογεννήτριας, με τις υπεραρμονικές του δικτύου.
3. Να μπορεί να εφαρμοστεί σε συμβατική εκτίμηση αρμονικών

6.9 Ζητήματα μετρήσεων και ανάλυσης δεδομένων

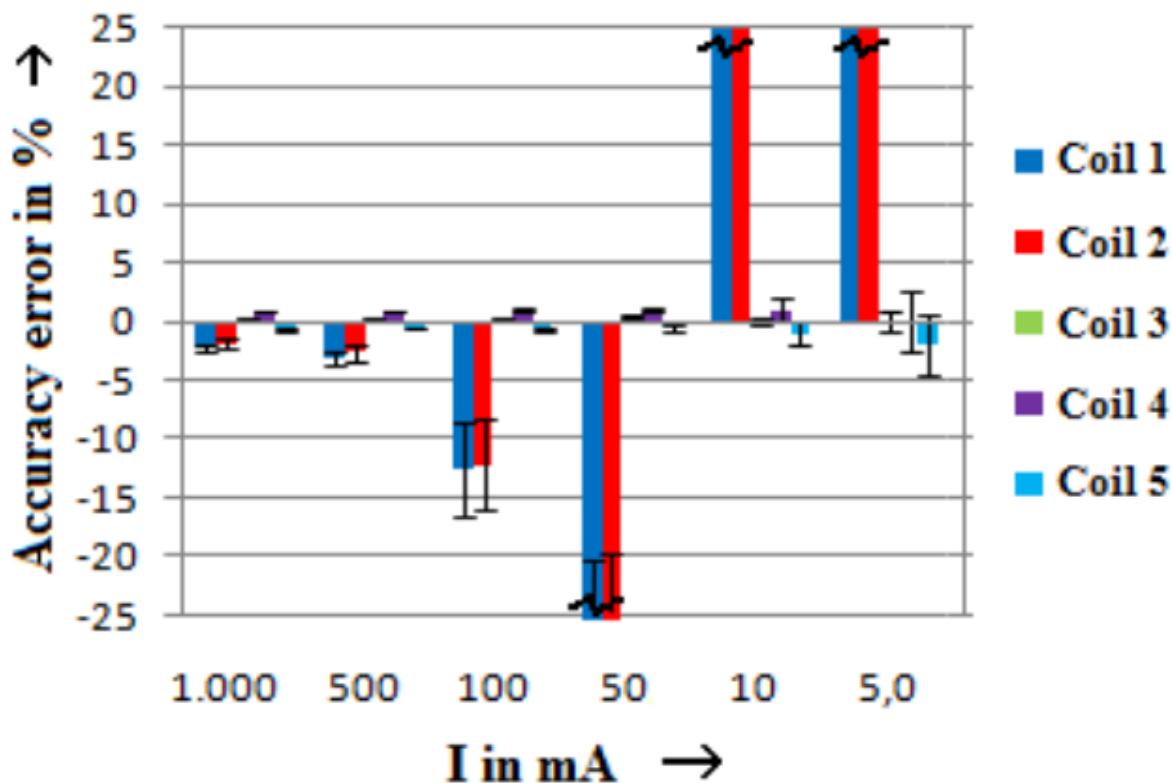
6.9.1 Συμβατικοί μετασχηματιστές οργάνων- Rogowski πηνία

Η μέτρηση των αρμονικών τάσεως και ρεύματος απαιτεί στις περισσότερες περιπτώσεις (εκτός της τάσης σε δίκτυα XT) τη χρήση κατάλληλων μετατροπέων. Η συχνότητα συντονισμού μειώνεται σημαντικά με την αύξηση της ονομαστικής τάσης όπως φαίνεται τυπικά για έναν μετατροπέα φωτοβολταϊκών στην εικόνα 35. Οι παράμετροι συντονισμού δεν εξαρτώνται μόνο από τον σχεδιασμό του μετασχηματιστή τάσης, αλλά επηρεάζονται σημαντικά και από λειτουργικές παραμέτρους όπως είναι το φορτίο και η θερμοκρασία. Επομένως, μια πλήρης βαθμονόμηση βασισμένη στην συχνότητα, που παρέχεται από τον κατασκευαστή δεν συνιστάται. Ως πιο σωστή προσέγγιση προτείνεται η προδιαγραφή ενός εύρους συχνοτήτων, στην οποία ο μετασχηματιστής οργάνου δεν υπερβαίνει μια καθορισμένη ακρίβεια. Βεβαίως χρειάζεται περισσότερη έρευνα, ιδίως για την ακριβή μέτρηση της απόκρισης της συχνότητας με μεταφερόμενα συστήματα μέτρησης [70].



Εικόνα 36 Φάσμα σφάλματος του φωτοβολταϊκού μετατροπέα για διαφορετικές τάσεις σε σύγκριση με τα όρια κατηγορίας A του προτύπου IEC 61000-3-2 [70]

Τα αρμονικά ρεύματα συνήθως μετρούνται είτε με μετασχηματιστές ρεύματος είτε με πηνία Rogowski. Καθώς οι μετασχηματιστές ρεύματος δεν έχουν διακριτικά σημεία συντονισμού, η ακρίβειά τους μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά ακόμη και από πολύ μικρά επαγωγικά μέρη στο φορτίο. Τα πηνία Rogowski παρέχουν μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων, αλλά η ακρίβειά τους μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η απόσταση του αγωγού φάσης από το πηνίο, η απόσταση των άλλων αγωγών φάσης ή την ισχύ του σήματος. Στην εικόνα 36 φαίνεται τυπικά η ακρίβεια πηνίων Rogowski σε σχέση με την ένταση του μετρούμενο σήματος [47].

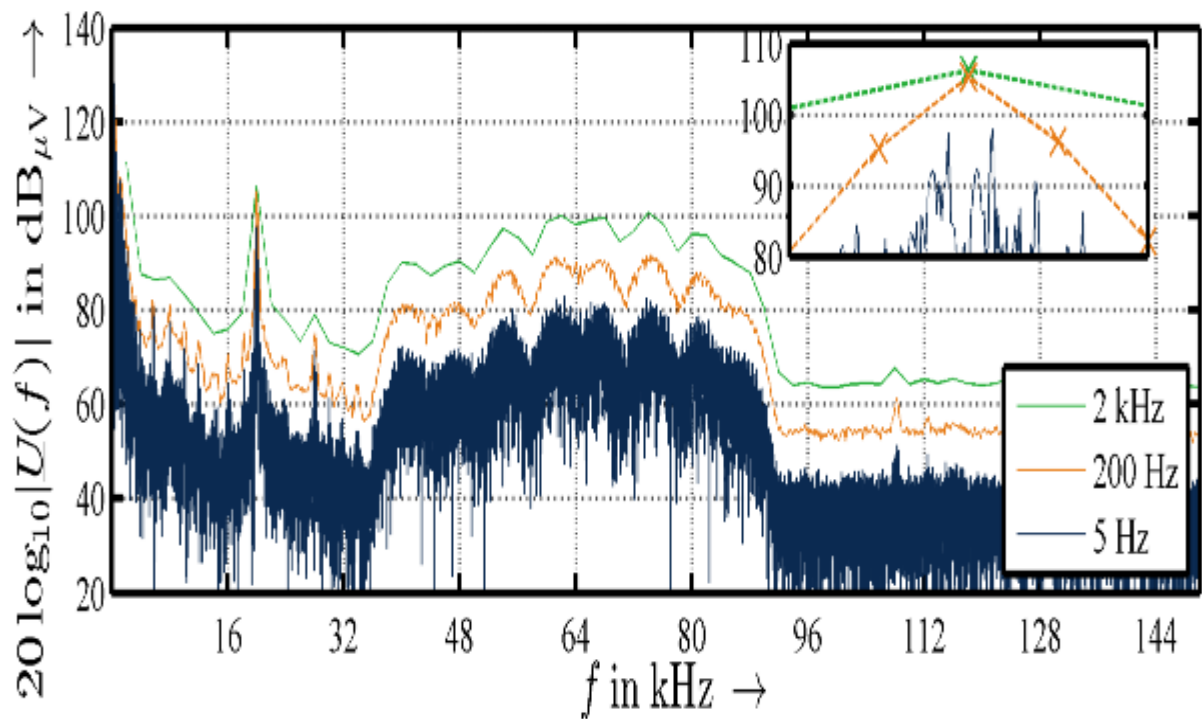


Εικόνα 37 Ακρίβεια ανάλογα με τη δυναμή του σήματος για διαφορετικούς συνδυασμούς συστοιχιών Rogowski / μετρητή (x mA 50η αρμονική προστίθενται στο 10A θεμελιώδες ρεύμα) [47]

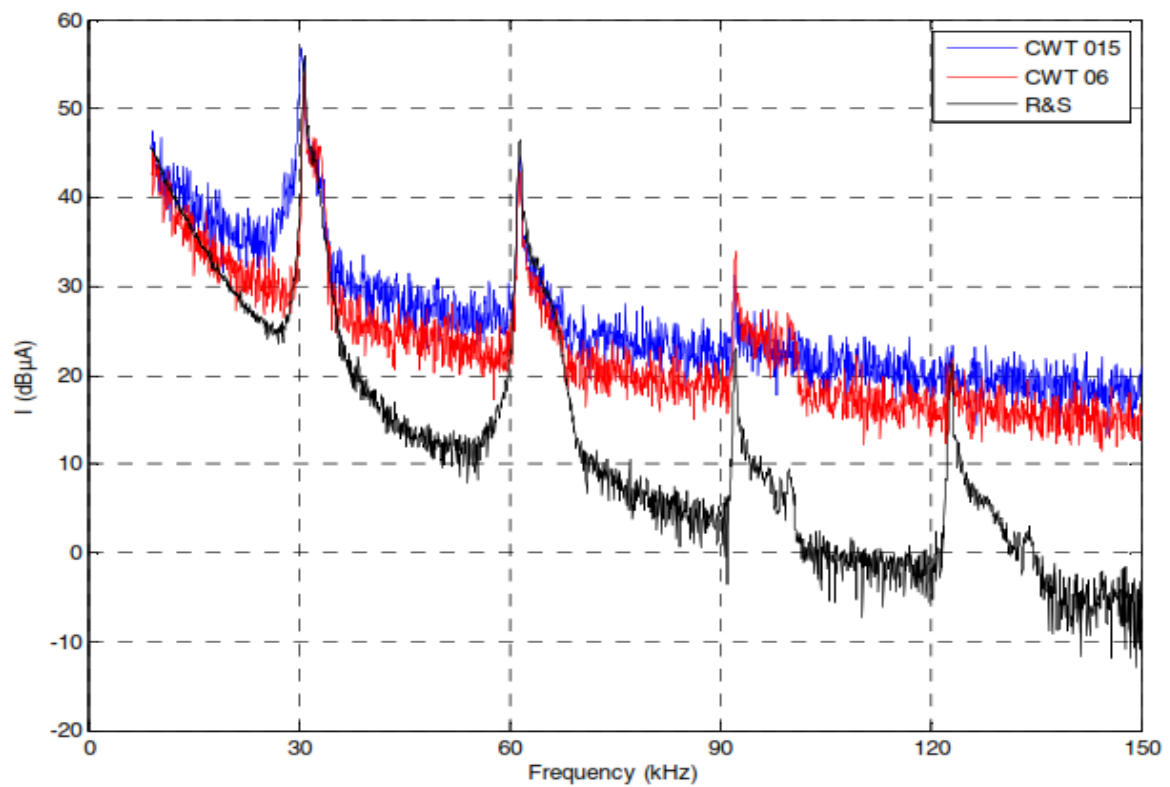
6.9.2 Μέθοδοι μέτρησης για υπεραρμονικές

Όπως αναφέρθηκε, το εύρος συχνοτήτων 2-150kHz γίνεται όλο και πιο σημαντικό. Μια σταθερή μέτρηση (π.χ. σύγκριση διαφορετικών μετρήσεων ή έλεγχος συμμόρφωσης ή έλεγχος της συμμόρφωσης με τα μελλοντικά επίπεδα συμβατότητας ή τα όρια εκπομπών) είναι απαραίτητη και απαιτεί μια ενιαία μέθοδο μέτρησης. Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες προσεγγίσεις που μπορούν να οδηγήσουν σε ασυνήθιστα διαφορετικά αποτελέσματα για το ίδιο σήμα (π.χ IEC 6100-4-7 και IEC 61000-4-30) [66].

Οι κύριες παράμετροι με επιρροή στα αποτελέσματα μέτρησης είναι: ο τρόπος φιλτραρίσματος του σήματος, το μήκος και ο αριθμός των κενών στη μέθοδο μέτρησης, το εύρος συχνοτήτων και ο τρόπος συσσωμάτωσης. Η εικόνα 37 δείχνει παραδειγματικά την επίδραση του εύρους συχνοτήτων (200Hz έναντι των 2kHz) σε μέτρηση ενός ηλιακού πάρκου της τάξεως του 1MW. Ειδικά οι υψηλότερες εκπομπές δείχνουν διαφορές έως και 10dB. Συνεπώς, απαιτείται περισσότερη έρευνα για την ανάπτυξη μιας τυποποιημένης μεθόδου μέτρησης. Θα πρέπει να είναι επαρκώς ακριβής και χωρίς να απαιτείται εκτεταμένη επεξεργασία. Επίσης στις υψηλότερες συχνότητες, το υψηλό επίπεδο θορύβου των πηνίων Rogowski σε σύγκριση με τους σημερινούς ανιχνευτές ρεύματος μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα σημαντική διαφορά στις μετρήσεις. Στην εικόνα 38, που φαίνονται μετρήσεις για δύο διαφορετικά πηνία, ενδέχεται να έχουν χαθεί σημαντικές πληροφορίες λόγω του υψηλού επιπέδου θορύβου [66].



Εικόνα 38 Αποτελέσματα μέτρησης με διαφορετικό εύρος συχνοτήτων [66]



Εικόνα 39 Μετρήσεις με δύο πηνία Rogowski και αισθητήρα ρεύματος R & S EZ-17 [66]

6.10 Αυτόματη ανάλυση δεδομένων και προκλήσεις

Τα δεδομένα για τις αρμονικές τάσεων και ρευμάτων στο δίκτυο επί του παρόντος παρακολουθούνται από εκατοντάδες έως χιλιάδες όργανα. Υπάρχουν τάσεις αύξησης αυτού του αριθμού, σε εκατομμύρια όργανα στο όχι και πολύ μακρινό μέλλον. Χωρίς ισχυρές μεθόδους αυτόματης ανάλυσης, ο τεράστιος όγκος πληροφοριών και γνώσης που μπορεί να ληφθεί από αυτά τα δεδομένα θα εξαφανιστεί. Ορισμένες από τις προκλήσεις είναι οι εξής [71]:

- **Να διασφαλιστεί η μεταφορά και η διαχείριση των δεδομένων:**

Πρέπει να αναπτυχθούν προσεγγίσεις κατανεμημένης επεξεργασίας και αποθήκευσης. Η διαλειτουργικότητα μεταξύ συσκευών, η υποδομή επικοινωνίας και αποθήκευσης, καθώς και το λογισμικό ανάλυσης, είναι ουσιώδη ζητήματα για την ορθή λειτουργία της ανάλυσης των δεδομένων.

- **Να βελτιωθούν η αποδοτικότητα και οι λεπτομέρειες της ανάλυσης:**

Αυτό περιλαμβάνει την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με την προέλευση διαταραχών, τον αυτόματο εντοπισμό αλλαγών συμπεριφοράς, τάσεων κ.λπ., καθώς και εύκολα κατανοητούς και εξαιρετικά κλιμακώσιμους δείκτες καθορισμού. (π.χ. Το μέγεθος και η διάρκεια πρέπει να παρουσιάζονται με το ίδιο ένα δισδιάστατο γράφημα)

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Λαμβάνοντας υπόψιν το περιεχόμενο της Ευρωπαϊκής αλλά και της εθνικής ενεργειακής πολιτικής, προτείνεται η μετατροπή των συμβατικών ηλεκτρικών δικτύων σε έξυπνα δίκτυα ΗΕ. Με στόχο την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, την αύξηση χρήσης των Α.Π.Ε, την εξοικονόμηση ενέργειας και την ανάπτυξη φιλικών ενεργειακά τεχνολογιών.

Τα χαρακτηριστικά ενός τέτοιου έξυπνου δικτύου είναι:

- Η αμφίδρομη ροή πληροφορίας περί της ηλεκτρικής ενέργειας (ΗΕ) καθώς και η διαχείριση της πληροφορίας αυτής σχεδόν σε πραγματικό χρόνο (real time)
- Το ΕΗΔ χαρακτηρίζεται από αυτόματη αποκατάσταση βλαβών και διαθέτει τη δυνατότητα αυτοϊασης (self healing).
- Το ΕΗΔ αξιοποιεί βέλτιστα τον εξοπλισμό του ΣΗΕ
- Το ΕΗΔ χαρακτηρίζεται από υψηλή διείσδυση ΑΠΕ στο μείγμα παραγωγής ΗΕ

Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο υπάρχει διείσδυση πολλών νέων τεχνολογιών, όπως μετατροπείς ισχύος, μικροεπεξεργαστών και άλλων ηλεκτρονικών συσκευών οι οποίες λειτουργούν με υψηλές συχνότητες λειτουργίας. Έτσι στο δίκτυο, εκτός από την ενεργό ισχύ και την άεργη ισχύ, εμφανίζεται και μια επιπλέον συνιστώσα ισχύος, η ισχύς παραμόρφωσης.

Οι πρώτες εφαρμογές ηλεκτρονικών ισχύος δημιουργούσαν χαμηλής τάξης αρμονικές, εξαιτίας του μηχανισμού λειτουργίας τους καθώς και των συχνοτήτων λειτουργίας τους. Με την είσοδο των τρανζίστορ και άλλων συγχρόνων ημιαγωγών, η δημιουργία των αρμονικών ανέβηκε σε υψηλότερα επίπεδα συχνοτήτων μεταξύ 2kHz και 150kHz.

Σε αυτό το εύρος συχνοτήτων, αναγνωρίστηκαν οι εξής ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές σε ηλεκτρικό εξοπλισμό:

- Μη εκ προθέσεως εκπομπές σημάτων ή ασυνεχείς συνιστώσες με ξαφνική άνοδο σημάτων και έλλειψη «ανοσίας» του ηλεκτρικού εξοπλισμού σε τέτοια σήματα.
- Η «ανοσία» του ηλεκτρικού εξοπλισμού δεν λαμβάνει υπόψη τις εκπομπές σε αυτό το εύρος συχνοτήτων.
- Ανεπαρκής αναλογία σήματος / θορύβου (SNR = Signal to Noise Ratio).
- Ταυτόχρονη, μη συντονισμένη χρήση - περισσότερο ή λιγότερο όμοιων - συχνοτήτων στην εξεταζόμενη περιοχή συχνοτήτων για εκ προθέσεως σήματα.

Με άμεσες επιπτώσεις στον ηλεκτρικό εξοπλισμό:

- Πρόσθετη θέρμανση
- Ακουστικό θόρυβο
- Δυσλειτουργία του εξοπλισμού
- Δυσλειτουργία του PLC (Power Line Communication)

Στην αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων που προκύπτουν προτείνεται δημιουργία νέων προτύπων μέτρησης ή αναθεώρηση υφιστάμενων προτύπων μέτρησης, με γνώμονα την

εξασφάλιση της αναπαραγωγισιμότητας/συγκρισιμότητας, της ακρίβειας και το φιλτράρισμα των σημάτων.

Για να επιτευχθούν τα παραπάνω προτείνονται τα έξης παρακάτω:

1. Να εξετάζονται διαφορετικοί τύποι μετρήσεων όπως :
 - η μέτρηση των επιπέδων εκπομπών στο εργαστήριο καθώς και στο εκάστοτε δίκτυο.
 - η ανάλυση της ηλεκτρομαγνητικής (EM) αλληλεπίδρασης
 - οι δοκιμές ανοσίας ηλεκτρικού εξοπλισμού
2. Η μέτρηση χωρίς κενά (εάν αναμένονται πολύ σύντομες εκπομπές)
3. Η μέτρηση με κενά που δεν συγχρονίζονται με τη συχνότητα ισχύος, για την επίτευξη αξιόπιστης αναπαράστασης των χαρακτηριστικών του σήματος
4. Η εξέταση πιθανών προβλημάτων με τα φάσματα που έχουν όρια μεταξύ μεμονωμένων ζωνών συχνότητας.
5. Η εφαρμογή τετραγωνικού μέσου όρου (τιμές RMS) για συσσωμάτωση διαφόρων φάσεων.
6. Να είναι υποχρεωτική η εφαρμογή ενός φίλτρου υψηλής διέλευσης, είτε ψηφιακού είτε αναλογικού, για επαρκή καταστολή του θεμελιώδους στοιχείου και αποφυγή διαρροών, εξασφαλίζοντας έτσι επαρκή ακρίβεια σε ολόκληρη την περιοχή συχνοτήτων.

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Ακτινικά δίκτυα διανομής Μ.Τ. [5]	12
Εικόνα 2 Βροχοειδή δίκτυα διανομής Μ.Τ. [5].....	12
Εικόνα 3 Ασφάλειες Μ.Τ. τύπου κόνεως [6].....	16
Εικόνα 4 Μετάβαση σε ευφυή δίκτυα[12].....	22
Εικόνα 5- Σύνδεση 1Φ μετρητή [14].....	24
Εικόνα 6 Αναλυτικό σχέδιο επαγωγικού μετρητή [14]	25
Εικόνα 7 Λόγος γρاناζιών και σταθεράς Κ [15].....	26
Εικόνα 8 Συνολικός λόγος γρاناζιών [15]	27
Εικόνα 9 Ηλεκτρονικοί μετρητές ψηφιακής- μηχανικής απεικόνισης [17].....	29
Εικόνα 10 Μπλοκ διάγραμμα ηλεκτρονικών μετρητών [19].....	29
Εικόνα 11 Μπλοκ διάγραμμα ψηφιακού μετρητή ενέργειας [19].....	32
Εικόνα 12 Ενδείξεις ηλεκτρονικών μετρητών ΔΕΔΔΗΕ [16]	33
Εικόνα 13 Αποτέλεσμα αρμονικών διαφόρων γωνιών φάσης και πλάτους[20]	34
Εικόνα 14 Εικονογράφηση της τάσης εμβάπτισης και μιας σύντομης διακοπής παροχής, ταξινομημένη σύμφωνα με το EN50160 [33]	48
Εικόνα 15 Παράδειγμα μη εκ προθέσεως εκπομπών [42].....	57
Εικόνα 16 Παράδειγμα για ασυνεχές σήμα ενός συστήματος AMR-PLC [42]	57
Εικόνα 17 Κύριες παρεμβολές/αλληλεπιδράσεις μεταξύ συσκευών στην περιοχή συχνοτήτων 2 kHz έως 150 kHz	58
Εικόνα 18 Χαρακτηριστικά σύνθετης αντίστασης εισόδου ενός φωτοβολταϊκού μετατροπέα 4.6 kVA για οικιακές εφαρμογές [45]	59
Εικόνα 19 Δυνατότητες ανάλυσης δεδομένων [48]	60
Εικόνα 20 Μη φιλτραρισμένη κυματομορφή (χρονικού πεδίου) μιας συσκευής [48].....	61
Εικόνα 21 Αναπαράσταση στο πεδίο της συχνότητας(α), χρόνου-συχνότητας(β), χρόνο(γ) [48]	62
Εικόνα 22 ES παράδειγμα για ένα εξοπλισμό υπό δοκιμή [50]	65
Εικόνα 23 Αύξηση θερμοκρασίας στην επιφάνεια ενός πυκνωτή συνεχούς ρεύματος ενός λαμπτήρα LED σε παραμορφωμένη τάση τροφοδοσίας (κόκκινο: μετρημένο, μπλε: υπολογισμένο) [52].....	67
Εικόνα 24 Επιλεγμένες τάσεις και ρεύματα συμπαγούς λαμπτήρα φθορισμού και μια παραμορφωμένη τάση τροφοδοσίας [53]	67
Εικόνα 25 Φάσμα ήχου δίπλα σε μια επαγωγική εστία [54]	68
Εικόνα 26 Φάσμα τάσης στο σημείο παροχής ενός διαταραγμένου πελάτη ,στάθμη τάσης περίπου 2.1 V στα 48 kHz, ανάλυση 5 Hz) [41].....	69
Εικόνα 27 Φασματικό σήμα σήματος PLC (35 kHz - 90 kHz)[41]	70
Εικόνα 28 Γράφημα του φιλτραρισμένου ρεύματος [40]	71

Εικόνα 29 Φάσμα τάσης και ρεύματος [40]	71
Εικόνα 30 Φάσμα της τάσης [40]	72
Εικόνα 31 Λαμβανόμενη ισχύ μιας μικρής διπολικής κεραίας με συντελεστή ποιότητας $Q = 23$ [59]	77
Εικόνα 32 Αποτέλεσμα δοκιμής ανοσίας μιας πραγματικής συσκευής έξυπνου μετρητή. Δύο προφανείς ευαισθησίες που υποδεικνύουν μια ανώμαλη κατάσταση λειτουργίας μπορούν σαφώς να αναγνωριστούν [60]	77
Εικόνα 33 Εκπομπή, 2 έως 150 kHz, μετρούμενη σε εργαστηριακό περιβάλλον (μπλε) και σε δύο θέσεις στο δίκτυο (κόκκινο, πράσινο) [66]	80
Εικόνα 34 Επίδραση της παραμόρφωσης τάσης και της σύνθετης αντίστασης πηγής κατά τη διάρκεια της δοκιμής συμμόρφωσης σε σχέση με τις τυπικές απαιτήσεις για τάσεις τροφοδοσίας και αντίστασης (IEC 61000-3-2) [65]	81
Εικόνα 35 Αρμονική παραμόρφωση τάσης (α) που μετριέται στην πλευρά της χαμηλής τάσης του μετασχηματιστή ανεμογεννητριών (β) το αρμονικό μοντέλο. που παρουσιάζεται ως διαγράμμά [66]	83
Εικόνα 36 Φάσμα σφάλματος του φωτοβολταϊκού μετατροπέα για διαφορετικές τάσεις σε σύγκριση με τα όρια κατηγορίας A του προτύπου IEC 61000-3-2 [70].....	84
Εικόνα 37 Ακρίβεια ανάλογα με τη δυναμική του σήματος για διαφορετικούς συνδυασμούς συστοιχιών Rogowski / μετρητή (\times mA 50η αρμονική προστίθενται στο 10A θεμελιώδες ρεύμα) [47]	85
Εικόνα 38 Αποτελέσματα μέτρησης με διαφορετικό εύρος συχνοτήτων [66]	86
Εικόνα 39 Μετρήσεις με δύο πηνία Rogowski και αισθητήρα ρεύματος R & S EZ-17 [66]	86

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ Χ.Τ.

ΕΙΔΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ	ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΗ		ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ						
	No ΠΑΡΟΧΗΣ	03	05	1	2	3	4	5	6
ΣΥΜΦ/ΝΗ ΙΣΧΥΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΙ σε ΚVA	8	12	15	25	35	55	85	135	250
ΙΣΧΥΣ ΣΥΜ/ΧΗΣ	--	--	10	21	30	45	70	110	170
ΜΕΤΡΗΤΗΣ	10/40 15/60	10/40 15/60	3x10/40 3x10/60	3x10/60 3x20/60	3x20/100 3x50/100	3x1/6 3x1.5/6 ΜΣ 200/5	3x1/6 3x1.5/6 ΜΣ 400/5		
ΚΑΛΩΔΙΟ ΠΑΡΟΧΗΣ Τ.Χ.	2x6	2x16	4x6	4x16	4x25	4x50	95 * [Cu]	150 ** [Cu]	
ΓΡΑΜΜΗ ΠΙΝΑΚΑ ΜΕΤΡΗΤΗ Τ.Χ.	3x10	3x16	5x6	5x10	5x16	3x25+ 16+16	3x50+ 25+25	3x120 +70+7 0	150
ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΜΕΤΡΗΤΗ [A]	1x40	1x63	3x25	3x40	3x63	3x100	3x160	3x250	3x400 (Avax.)
ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΠΙΝΑΚΑ [A]	1x35	1x50	3x25	3x35	3x50	3x80	3x125	3x200	3x355

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Σύνοψη των ζωνών εκπομπής υπεραρμονικών ρεύματος

	Emission Bands [kHz]	2-26	37-51	52-61	63-64	66-67	74-75	78-80	86-87	90-91	107-111	116-119	162-163	175-177	216-218	234-236	293-294
LCD	Perc. 95 [mA]	15,00	0,61	1,34	0,45	0,49	0,07	0,12	0,13	0,58	0,19	0,32	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03
	Std. Deviation [mA]	3,50	0,15	0,50	0,16	0,16	0,02	0,03	0,04	0,20	0,06	0,14	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00
PC Tower	Perc. 95 [mA]	33,37	1,70	0,79	0,39	0,48	0,58	0,53	0,20	0,23	0,19	0,17	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02
	Std. Deviation [mA]	12,55	0,63	0,27	0,22	0,27	0,35	0,23	0,10	0,04	0,03	0,05	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
CFL	Perc. 95 [mA]	36,55	6,22	16,10	0,30	0,19	0,05	0,50	2,10	0,43	5,17	0,22	0,05	0,31	0,13	0,07	0,06
	Std. Deviation [mA]	11,43	2,15	5,94	0,11	0,06	0,02	0,16	0,77	0,13	1,93	0,08	0,02	0,12	0,04	0,02	0,02
CFL_POT	Perc. 95 [mA]	85,71	10,18	0,44	0,12	0,32	27,47	28,90	0,74	0,43	0,25	1,60	0,50	0,08	0,07	0,18	0,05
	Std. Deviation [mA]	20,38	4,38	0,14	0,01	0,12	15,68	14,84	0,35	0,08	0,07	0,82	0,27	0,02	0,02	0,08	0,02
LED	Perc. 95 [mA]	23,60	2,01	25,42	0,54	0,32	0,11	0,25	0,14	0,44	17,86	12,73	9,90	7,53	6,05	4,6	2,50
	Std. Deviation [mA]	6,20	0,68	10,92	0,11	0,06	0,03	0,04	0,03	0,11	6,70	4,78	3,74	2,80	2,28	1,67	0,93

Σύνοψη των ζωνών εκπομπών υπεραρμονικών τάσεων

	Emission Bands [kHz]	2-17	24-25	37-44	47-51	52-60	74-75	78-80	84-85	106-111	116-119	160-164	175-177	215-218	234-236	270-272	293-295
LCD	Perc. 95 [mV]	258,89	12,59	18,77	11,57	14,62	4,18	5,35	3,54	6,59	4,87	4,52	2,99	3,29	2,59	2,59	2,43
	Std. Deviation [mV]	25,60	2,59	4,21	2,83	3,72	0,94	1,14	0,72	1,23	0,87	0,61	0,38	0,35	0,26	0,23	0,21
PC tower	Perc. 95 [mV]	276,90	13,22	17,47	11,05	13,76	3,96	5,05	3,44	6,31	4,66	4,47	3,00	3,39	2,67	2,66	2,50
	Std. Deviation [mV]	54,95	1,13	8,29	5,69	5,30	1,74	2,09	1,28	2,28	1,55	1,23	0,82	0,77	0,56	0,47	0,41
CFL	Perc. 95 [mV]	282,76	7,23	17,88	28,30	79,93	2,34	3,93	10,92	48,46	3,83	3,75	4,61	3,07	2,11	2,21	2,96
	Std. Deviation [mV]	30,43	1,62	6,01	9,27	28,54	0,57	1,09	3,69	17,54	0,88	0,82	1,39	0,80	0,42	0,54	0,57
CFL_POT	Perc. 95 [mV]	259,21	5,89	20,95	44,32	6,31	26,59	27,26	3,55	3,64	6,33	7,32	2,06	2,72	3,10	2,17	1,99
	Std. Deviation [mV]	31,91	1,23	7,06	23,35	0,71	14,25	12,80	1,01	0,18	2,03	2,52	0,03	0,20	0,68	0,13	0,07
LED	Perc. 95 [mV]	262,75	8,85	11,07	9,95	122,90	2,94	5,92	3,97	166,22	126,64	150,09	105,83	108,59	79,38	70,85	56,34
	Std. Deviation [mV]	12,93	1,28	2,04	2,27	51,91	0,53	1,28	0,90	61,43	46,70	55,63	38,80	40,14	29,19	25,99	20,25

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

Εξοπλισμός που θεωρείται θύμα EMI

AMR-PLC
Solid state meters
Electronic control, e.g. <ul style="list-style-type: none">• touch-controlled equipment like Touch dimmer lamps (TDL),• alarm systems,• traffic control systems,• studio recording control units and mixing desks,• traffic lights,• in heating systems,• for street lighting,• in urinals,• for doors,• in kitchen appliances (e.g. steam irons, coffee machines, ceramic hobs)
Communication systems, e. g. <ul style="list-style-type: none">• PABX,• Ethernet-systems,• ISDN-, ADSL-modems,• IP network branch exchange,• Routers,• LAN,• Home telephones
Telephone systems including inductive train radio systems
Earth leakage circuit breakers (ELB)
Contactless magnetic card readers, credit card terminals
Keyless entry systems
Notebooks (cursor position)
Broadcast standard time-signal systems (e.g. DCF77, Japanese system)
Road vehicle smart keys
TV and radio receivers
Mobile radio
Radio systems (Amateur radio, for railway control)

Επιδράσεις του EMI σε εξοπλισμό στην περιοχή συχνοτήτων 2 kHz - 150 kHz

TDLs	Unintentional switching (between light steps, OFF, also ON)
Street lighting	Unintentional switch-on and –off
Traffic lights	Malfunction
Traffic control system for public transportation buses	Malfunction
Solid state meters	Displaying wrong meter register values
MCS	Temporary or quasi-permanent loss of communication
Heat control with time basis through DCF77 signal	Malfunction
Radio system for railway control	Malfunction
Contactless magnetic card reader	Malfunction of reading function
Home telephone	Malfunction of ringing
Heating systems	Incorrect alarms due to sensor faults
ADSL modem	Loss of link, CRC error
Routers	Loss of synchronisation (40, 50 and 70 kHz) to the network
Notebooks	Disturbed cursor position (37 kHz)
Ceramic hobs	Incorrect relay switching
Coffee cooker	Incorrect control lamp function and malfunction
Professional hair-dryers	Switching ON/OFF spontaneously
Steam irons	Insufficient heat, water loss, incorrect control lamp blinking
Washing machines	Self-restart (some hours) after end of operation phase
Electronic ballasts	Audible noise
Induction cookers	Audible noise
PCs and Lamps	Audible noise
PABX	Audible noise
Telephone (analogue)	Audible noise
TV and radio receiver	Audible noise (up to 20 kHz)
Video telecom circuits	Audible noise
Inductive Train Radio System	Audible noise
Keyless entry systems	Malfunction
DC link capacitors in rectifier circuits	Thermal stress, Ageing, Lifetime reduction through larger HF currents
Increased emissions through dry-out electrolytic capacitors	Ageing, Lifetime reduction of other equipment
Automatic urinal water control	Switching to permanent operation
Broadcast standard time-signal systems	Electronic clocks: being fast (gaining up to 15 mins per day), Malfunction of control circuits fed by the time-signal
Amateur radio	Disturbed reception of distant transmitters

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Γ. Πεζόπουλος, “Ηλεκτρικά δίκτυα”,1939
2. ΑΔΜΗΕ, Πρόγραμμα Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς 2014-2023.
3. ΔΕΔΔΗΕ Ειδικές Τεχνικές Οδηγίες ΔΔ-206, Τεύχος Ε’
4. ΔΕΔΔΗΕ Ειδικές Τεχνικές Οδηγίες ΔΔ-209
5. ΔΕΗ , Τυποποιημένες κατασκευές διανομής (εγχειρίδιο κατασκευών διανομής - ΕΚΤΔ – standards - 1952 μέχρι σήμερα)
6. Κ. Λαμπρόπουλος, ΔΕΗ, Μελέτη ηλεκτρικών δικτύων διανομής, 2002
7. Κ. Λαμπρόπουλος, ΔΕΗ, Ανάπτυξη συστημάτων διανομής ΜΤ και ΧΤ εντός πόλεων, 1972
8. Κ. Λαμπρόπουλος ,ΔΕΗ , Ελαχιστοποίηση των επιβαρύνσεων ισχύος και ενέργειας στα δίκτυα διανομής,1973
9. European Commission, «"Energy Efficiency Plan 2011" COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS,» Brussels,2011.
10. ΥΠΕΚΑ, «Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας,» ΥΠΕΚΑ, Ε.Ε και Ελλάδα,2010.
11. ΥΠΕΚΑ, «Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός - Οδικός Χάρτης για το 2050,» Ε.Ε. και Ελλάδα, 2012
12. ΥΠΕΚΑ, «Πρώτο Εθνικό Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης,» Ε.Ε. και Ελλάδα, 2008.
13. ΥΠΕΚΑ, «Δεύτερο Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης,» Ε.Ε. και Ελλάδα, 2011.
14. ΑΔΜΗΕ, Εγχειρίδιο Μετρητών & Μετρήσεων, Έκδοση 6, 2012
15. ΔΕΗ, Εγχειρίδιο τεχνικού μετρητών,2010
16. ΔΕΔΔΗΕ, «Εγχειρίδιο Τηλεμέτρησης Μετρητών και Μετρήσεων Μ.Τ.,» Αθήνα, 2011.
17. Κων/νος Ανδρεάδης, «Ευφυή Συστήματα Μέτρησης και Διαχείρισης Ηλεκτρικής Ενέργειας,»ΔΕΔΔΗΕ, 2014.
18. Α.Γστεράτος, Σ.Γ. Μουρούτσος, Ι.Ανδρεάδης, Τεχνολογία Μετρήσεων Αισθητήρια, Εκδόσεις Τσότρας, 2013
19. Κωνσταντίνος Ψωμόπουλος, Ηλεκτρικές Μετρήσεις, 2η Έκδοση,2015
20. A.J. Baggot “The Effect of Waveshape Distortion on the Measurement of Energy by Tariff Meters”, in the Proceedings of the International Conference on Sources and Effects of Power Systems Disturbances, April 22-24, 1974 London, England.
21. Σ.Μανωλάς, Ηλεκτρικές Μετρήσεις, Σημειώσεις μαθήματος για το τμήμα ηλεκτρολογίας της Σ.Τ.Εφ. του Α.Τ.Ε.Ι. Πειραιά, 2002
22. A.E. Fridman, The Quality of Measurements: A Metrological Reference, Springer Science+Business Media, New York,2012
23. P.Fornasini, The Uncertainty in Physical Measurements: An Introduction to Data Analysis in the Physics Laboratory ,Springer Science+ Business Media, New York,2008
24. S.G. Rabinovich, Evaluating Measurement Accuracy: A Practical Approach, Springer Science+ Business Media, New York, 2013
25. Παύλος Σ. Γεωργιάκης, Σύγχρονα Συστήματα Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, Έκδοση ΣΕΑΒ,2015
26. Surya Santoso, Mark F. McGranaghan, Roger C. Dugan, H. Wayne Beaty, “Electrical Power Systems Quality”, Third Edition, 2012
27. Henryk Markiewicz, Antoni Klajn Wroclaw University of Technology “Voltage Disturbances Standard EN 50160-Voltage Characteristics in Public Distribution Systems”, July 2004
28. “IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems”, Std 519-2014
29. IEEE Guide for Voltage Sag Indices, P1564/D19,2013
30. IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, IEEE Std 1366-2012
31. IEC 61000-3-2,“Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)”,2018

32. IEC 61000-3-12, “Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-12: Limits - Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current >16 A and ≤ 75 A per phase”,2011
33. EN50160.- Guide for the application of the European Standard,2013
34. EN 55011 CISPR 11, Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment – Electromagnetic disturbance characteristics – Limits and methods of measurement, 2004
35. EN 55022 CISPR 22, Information Technology Equipment - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement, 2004
36. IEC/EN 61000-6-3: Electromagnetic compatibility (EMC). Generic standards. Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments,2007
37. IEC 61000-4-30, Electromagnetic compatibility (EMC), 2015
38. IEC 61000-4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto, 2009.
39. IEEE 1159-1995, Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality,1995
40. CENELEC SC 205A TF EMI: “Study report on Electromagnetic Interference between electrical equipment/systems in the frequency range below 150 kHz”,2009
41. CLC TR 50669: “Investigation Results on Electromagnetic Interference in the Frequency Range below 150 kHz”, CENELEC 2017
42. J. Meyer, S. Hähle, P. Schegner: “Impact of Higher Frequency Emission above 2kHz on Electronic Mass-market Equipment”, 22nd International Conference on Electricity Distribution, CIRED, June 2013, Stockholm, Sweden.2013
43. S. Rönnberg, A. Larsson, M. Bollen and J. Schanen, A Simple Model For Interaction Between Equipment at a Frequency of Some Tens of kHz, Proceedings of CIRED 21st International Conference on Electricity Distribution, Frankfurt, Germany, 2011
44. Jan Meyer, Victor Khokhlov, Matthias Klatt, Juergen Blum, Christian Waniek, Thomas Wohlfahrt, Johanna Myrzik “Overview and Classification of Interferences in the Frequency Range 2-150 kHz (Supraharmonics)” ,2018
45. S. Rönnberg et.al.: “On waveform distortion in the frequency range of 2 kHz–150 kHz— Review and research challenges”, Electric Power Systems Research 150, 2017.
46. M.H.J. Bollen, and S.K. Rönnberg, “Primary and secondary harmonics emission; Harmonic interaction – a set of definitions”, 17th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), Belo Horizonte, 2016.
47. P. M. Körner, R. Stiegler, J. Meyer, C. Waniek, T. Wohlfahrt, J. Myrzik: “Acoustic Noise of Massmarket Equipment caused by Supraharmonics in the Frequency Range 2 to 20 kHz”,2017
48. A. Grevener, J. Meyer, S.K. Rönnberg, M.H.J. Bollen, and J. Myrzik, “Survey of supraharmonic emission of household appliances”, 24th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution(CIRED), Glasgow, 2017
49. IEC 61000-4-19:Testing and measurement techniques – Test for immunity to conducted, differential mode disturbances and signalling in the frequency range 2 kHz to 150 kHz at a.c. power ports, 2013.
50. IEC 61000-4-4, Electromagnetic compatibility(EMC), 2012
51. M. Klatt, J. Meyer, P. Schegner, A. Koch, J. Myrzik, C. Körner, T. Darda, G. Eberl: „Emission Levels above 2kHz - Laboratory Results and Survey Measurements in Public Low Voltage Grids”,2012
52. G.F. Bartak, A. Abart, “EMI in the frequency range 2–150 kHz”, Proc.Int Sympon Electromagnetic Compatibility ,2014
53. C. Waniek, T. Wohlfahrt, J. Myrzik, J. Meyer, M. Klatt, P. Schegner: “Supraharmonics: Root Causes and Interactions between Multiple Devices and the Low Voltage Grid”, 7th IEEE International Conference on Innovative Smart Grid Technologies, ISGT, 2017,.
54. C. Waniek, T. Wohlfahrt, J. Myrzik, J. Meyer, P. Schegner: “Topology Identification of Electronic Mass-Market Equipment for Estimation of Lifetime Reduction by HF Disturbances above 2 kHz”, PowerTec2017, June 2017.

55. IEC 62052-11, Electricity metering equipment(AC) - General requirements, tests and test conditions, 2003
56. IEC 61000-4-2, Electromagnetic compatibility (EMC), 2008
57. EN 55016-2-1, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity - Conducted disturbance measurements,2014
58. EN 50065-1 :2011 Signalling on low-voltage installations in the frequency range 3 kHz to 148,5kHz
59. F. Gronwald, T. Stadler, R. Kebel,“Compensation of Unavailable Test Frequencies during Immunity Measurements”, in Proceedings of ESA Workshop on Aerospace EMC, 2012
60. C.R. Paul, , Introduction to Electromagnetic Compatibility, 2nd ed., (Wiley, New Jersey, USA),,2006
61. A.Grevener, J. Meyer, S.K. Rönnberg, M.H.J. Bollen, and J. Myrzik,“Survey of supraharmonic emission of household appliances”, 24thInternational Conference and Exhibition on Electricity Distribution(CIRED), Glasgow, 2017
62. Radasky and E. Savage, “Intentional Electromagnetic Interference (IEMI) and Its Impact on the U.S. Power Grid”, (Metatech, Meta-R-32), 2010
63. IEC 61000-4-12, Electromagnetic compatibility (EMC) –Part 4-12: Testing and measurement techniques – Ring wave immunity test,2017
64. M. Klatt, A. Koch, J. Meyer, P. Schegner, J. Myrzik, C. Körner, T.Darda, and G. Eberl, ”Emission levels above 2kHz - Laboratory results and survey measurements in public low voltage grids”, 22ndInternational Conference on Electricity Distribution (CIRED),Stockholm, 2013.
65. A.M. Blanco, S. Yanchenko, J. Meyer, P. Schegner. Impact of Supply Voltage Distortion on the Harmonic Emission of Electronic Household Equipment. Symposium about Quality of the Electric Energy SICEL,. Medellin, Colombia, 2013.
66. Jan Meyer, Math Bollen, Hortensia Amaris, Ana Maria Blanco, Aurora Gil de Castro. Future Work on harmonics – Some Expert Opinions Part II – Supraharmonics, Standards and Measurements, 2014
67. IEC 61400-21,Wind energy generation systems - Part 21-1: Measurement and assessment of electrical characteristics - Wind turbines,2015
68. Ł. H. Kocewiak and N. Goldenbaum, Harmonic Analysis of Wind Turbines Including Measurements, Data Analysis and Modelling, 11thInternational Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power into Power Systems as well as Transmission Networks for Offshore Wind Farms, Lisbon, 2012,
69. B. Andresen, P. B. Brogan, and N. M. Goldenbaum, Decomposition and mitigation of a disturbance being present at an electric connection between an electric power generating system and a power grid, Europe Patent EP2630510 A1, Apr. 26, 2012
70. J. Meyer, R. Stiegler, P. Schegner. Frequency Response Characteristic of MV Voltage Transformers and their Accurate Measurement up to 2.5/3 kHz. Instrument Transformer Measurement Forum ITMF.September 26, USA, 2013
71. Council of European Energy Regulators, Guidelines of good practice on voltage quality monitoring for regulatory purposes, December 2012.