



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

---

# **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΜΕΛΕΤΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ»**

**Ηλίας Κωνσταντίνος**

Επιβλέπων Καθηγητής:

Βάβαλης Εμμανουήλ

## “Μελέτη Ποιότητας Ισχύος”

ΠΡΟ. ΦΟΙΤΗΤΗΣ: Ηλίας Κωνσταντίνος  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Βάβαλης Εμμανουήλ

Στο εξώφυλλο: Δίκτυο Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ( Μέση Τάση)

ΒΟΛΟΣ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2015

...Αφιερωμένη στην  
οικογένεια μου για  
την υποστήριξη και  
την υπομονή της όλα  
αυτά τα χρόνια....

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

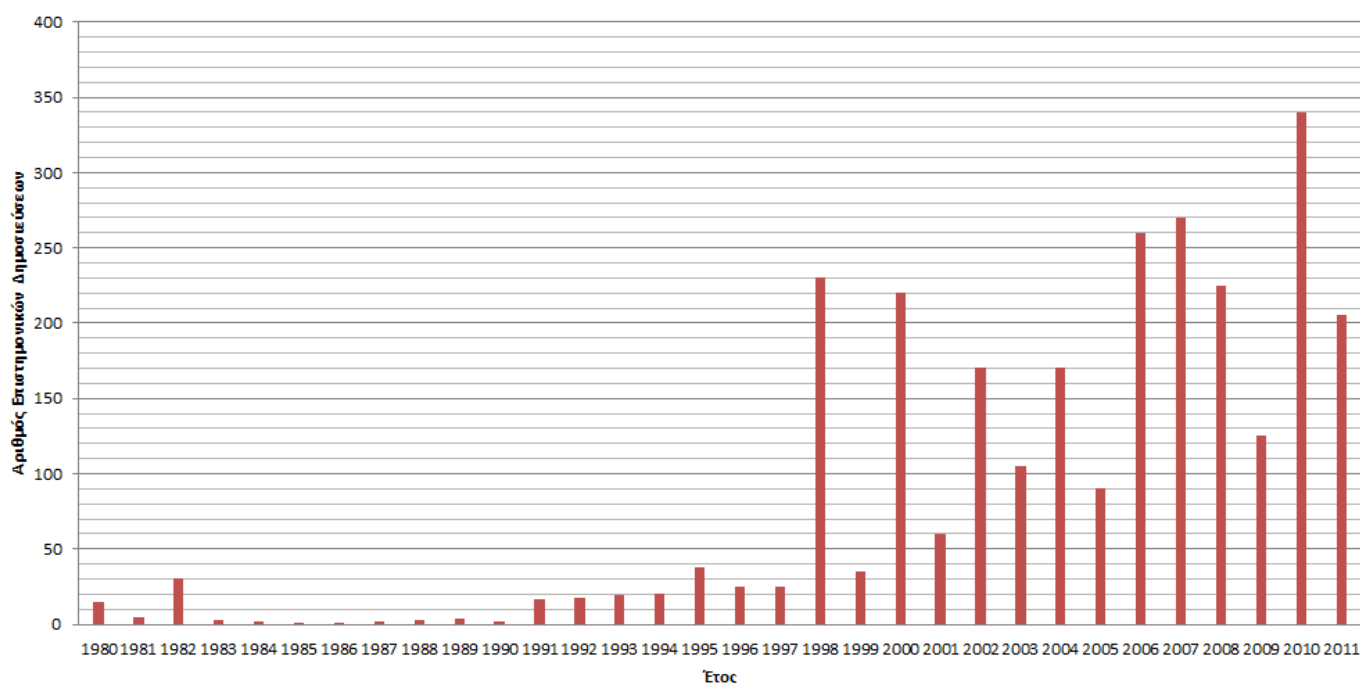
Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι να παρουσιάσει το πρόβλημα της Ποιότητας Ισχύος γενικότερα και να επικεντρωθούμε στα παρακάτω δύο θέματα ειδικότερα.

Συγκεκριμένα:

Αναλύουμε όλες τις σημαντικές παραμέτρους, όπως αυτές εμφανίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία και επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας.

Παρουσιάζουμε την πειραματική θεώρηση των κριτηρίων που χαρακτηρίζουν την Ποιότητα Ισχύος ενός δικτύου.

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για την Ποιότητα Ισχύος ήταν το έναυσμα για τη συγγραφή αυτής της Εργασίας. Η Εικόνα 1 απεικονίζει με χαρακτηριστικό τρόπο το ενδιαφέρον αυτό με τον αριθμό των επιστημονικών άρθρων που περιλαμβάνουν στον τίτλο τους, στην περίληψή τους ή στις λέξεις-κλειδιά τους τον όρο Ποιότητα Ισχύος, από το 1980 μέχρι το 2011.



Εικόνα 1: Χρησιμοποίηση του όρου Ποιότητα Ισχύος σε επιστημονικά άρθρα

Η επικέντρωση στο συγκεκριμένο επιστημονικό πεδίο πηγάζει από τις κοσμοϊστορικές αλλαγές που συμβαίνουν τα τελευταία χρόνια στον τομέα της Ενέργειας. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) κερδίζουν ολοένα και περισσότερο έδαφος στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η εκτεταμένη χρήση τους όμως δημιουργεί προβλήματα στα ηλεκτρικά δίκτυα. Τα ηλεκτρονικά ισχύος γνωρίζουν ραγδαία εξέλιξη, τα μη γραμμικά φορτία που χρησιμοποιούν όμως επιβαρύνουν τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) με διάφορες διαταραχές. Πέρα από τις τεχνολογικές εξελίξεις όμως, το ευρύτερο οικονομικό περιβάλλον της εποχής, η οικονομική κρίση και η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας, καθιστούν την αξιοπιστία των ΣΗΕ μέγιστης

Η παρούσα Εργασία είναι οργανωμένη στα παρακάτω κεφάλαια:

Το **Πρώτο Κεφάλαιο** αποτελεί μία εισαγωγή που εξηγεί τους λόγους του συνεχώς αυξανόμενου ενδιαφέροντος στο συγκεκριμένο επιστημονικό πεδίο και την κατάσταση που επικρατεί αυτή τη στιγμή παγκοσμίως.

Στο **Δεύτερο Κεφάλαιο** θα οριστούν κάποιες βασικές έννοιες και κριτήρια που θα μας βοηθήσουν να εξετάσουμε και να κατανοήσουμε σε βάθος το πρόβλημα της Ποιότητας Ισχύος και της αξιοπιστίας των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Το **Τρίτο Κεφάλαιο** θα ορίσει το πρόβλημα των αρμονικών τόσο σε πρακτικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο μαθηματικής διατύπωσης και ανάλυσης μαθηματικά και θα αναλύσει την επίδραση τους στους ηλεκτρολογικούς εξοπλισμούς.

Το **Τέταρτο Κεφάλαιο** θα αναλύσει συγκεκριμένα όλες τις διαταραχές που σχετίζονται με την Ποιότητα Ισχύος και επηρεάζουν την απόδοση των ηλεκτρονικών και ηλεκτρολογικών εξοπλισμών.

Στο **Πέμπτο Κεφάλαιο** θα παρουσιάσουμε το πρότυπο EN50160 το οποίο θέτει τα όρια της πειραματική μελέτης της εργασίας.

Τέλος, στο **Έκτο Κεφάλαιο** θα παρουσιάσουμε την πειραματική μελέτη της εργασίας και θα αναλύσουμε τα δεδομένα.

**Λέξεις-κλειδιά :** ποιότητα ισχύος, αρμονικές, αρμονική παραμόρφωση, συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, διαταραχές τάσης, αξιοπιστία συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.

# SUMMARY

The objective of this thesis is to present the problem of Power Quality in general and to focus on the following two issues in particular.

Specifically:

We analyze all important parameters, as they appear in scientific references and directly affect the quality of electrical energy.

We present experimental measurements of the criteria that characterize the Power Quality of a network.

The growing interest of the scientific community for Power Quality was the motive for writing this thesis. Figure 1 illustrates that interest through the number of scientific articles that include in their title, summary or key words the term Power Quality, from 1980 to 2011.

The focus on this scientific field, stems from the momentous changes taking place during recent years in the field of Energy. Renewable Energy Sources (RES) participate even more in power generation, but their extensive use creates problems in electrical networks. Power electronics have experienced rapid development, although their non linear loads charge the power systems. Apart from technological developments, the economic environment nowadays, financial crisis and the liberalization of the energy market, makes the reliability of the power systems of the utmost importance because of the stifling competition.

This thesis is organized in the following chapters:

The **First Chapter** is an introduction that explains the reasons of the increasing interest on this field and the existing situation worldwide.

The **Second Chapter** will define some basic concept and criteria that will help us to examine and understand in depth the problem of Power Quality and reliability of the power system.

The **Third Chapter** will define the problem of harmonics both in practical and mathematical terms. Also it will analyze their impact on electrical equipment.

The **Fourth Chapter** will analyze all disorders related to Power Quality and affect the performance of electronic and electrical equipment.

The **Fifth Chapter** will present the standard EN50160 which sets the limits of our experimental measurements.

Finally, the **Sixth Chapter** describes the experimental study of this thesis and analyzes the data collected.

**Key-words** : power quality, harmonics, harmonic distortion, electrical energy systems, voltage disturbances, electrical energy systems reliability.

# Ευχαριστίες

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία ξεκίνησε υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ.ΕμμανουήλΒάβαλη με τη βοήθεια του κ.ΔημήτρηΖημέρη και ολοκληρώθηκε στο διάστημα 01/2014-07/2015. Θα ήθελα να τους ευχαριστήσω ιδιαίτερα για την ευκαιρία που μου έδωσαν να συγγράψω μία διπλωματική για τον τομέα της Ενέργειας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ.ΗλίαΧούστη που διέθεσε τον απαραίτητο εξοπλισμό και μου έδωσε την άδεια για να πραγματοποιήσω μετρήσεις στο κτίριο του ΚΕΤΕΑΘ.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Κατάλογος Εικόνων .....</b>	<b>9</b>
<b>Κεφάλαιο 1ο : Εισαγωγή .....</b>	<b>12</b>
1.1 Ιστορική Αναδρομή .....	12
1.2 Σύγχρονο οικονομικό και τεχνολογικό Περιβάλλον .....	13
1.3 Αναγκαιότητα προσδιορισμού Αξιοπιστίας ΣΗΕ .....	14
1.4 Βασικές Αρχές Αξιοπιστίας ΣΗΕ.....	14
1.5 Κριτήρια Αξιοπιστίας ΣΗΕ .....	16
<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Βασικές Έννοιες Ποιότητας Ισχύος .....</b>	<b>18</b>
2.1 Σπουδαιότητα Ποιότητας Ισχύος .....	18
2.2 Ορισμός Ποιότητας Ισχύος .....	20
2.3 Δείκτες και Κριτήρια Ευαισθησίας Ποιότητας Ισχύος.....	21
2.3.1 Αίτιο και αποτέλεσμα .....	22
2.3.2 Κριτήρια Επίλυσης προβλημάτων .....	23
2.3.3 Ο αδύναμος κρίκος της Ποιότητας Ισχύος.....	24
2.3.4 Αλληλεξάρτηση.....	24
2.3.5 Κριτήρια Τάσεων-Παραμορφώσεων .....	25
2.3.6 Σχέση Ποιότητας Ισχύος και αντοχής εξοπλισμού .....	25
2.4 Ευθύνες παρόχων και καταναλωτών της Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	25
2.5 Πρότυπα Ποιότητας Ισχύος .....	26
<b>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Αρμονικές .....</b>	<b>29</b>
3.1 Ορισμός Αρμονικών.....	29
3.2 Τάξη Αρμονικής [1].....	32
3.3 Αιτίες ύπαρξης Αρμονικών .....	33
3.4 Individual and Total Harmonic Distortion (THD) [1] .....	35
3.5 Τρόποι Αντιμετώπισης και Μείωσης του Προβλήματος Αρμονικών [1].....	36
3.5.1 Σχεδίαση Εξοπλισμού .....	38
3.5.2 Ακύρωση Αρμονικών Ρευμάτων.....	39
3.5.3 Φίλτρα Αρμονικών.....	39
<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Διαταραχές Ποιότητας Ισχύος.....</b>	<b>42</b>
4.1 Μεταβατικές Υπερτάσεις (Transients).....	42
4.2 Παραμόρφωση Κυματομορφής (WaveformDistortion) [19].....	43



4.2.1 Παρουσία Συνεχούς Τάσης (DCoffset) .....	43
4.2.2 Εγκοπές (Notching) .....	44
4.2.3 Θόρυβος (Noise).....	44
4.3 Διακυμάνσεις τάσης (VoltageFluctuations )και Flicker [5] .....	45
4.4 Διαταραχές τάσης μικρής διάρκειας .....	46
4.4.1 Διακοπές Τάσης (Interruptions) .....	46
4.4.2 Βυθίσεις Τάσης (Sags) .....	46
4.4.3 Υπερτάσεις μικρής διάρκειας (Swells) .....	47
4.5 Διαταραχές τάσης μεγάλης διάρκειας .....	48
4.5.1 Υπερτάσεις μεγάλης διάρκειας ( Overvoltage) .....	48
4.5.2 Υποτάσεις μεγάλης διάρκειας ( Undervoltage).....	48
4.5.3 Παρατεταμένες διαταραχές τάσης (SustainedInterruptions).....	49
4.6 Ασυμμετρία Τάσης ( VoltageImbalance) [5] .....	49
<b>Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Το πρότυπο EN50160.....</b>	<b>51</b>
5.1 Παρουσίαση του προτύπου EN50160 .....	51
5.2 Ορισμοί του EN50160.....	51
5.3 Χαρακτηριστικά Ποιότητας Ισχύος σύμφωνα με το EN50160.....	56
5.4 Συμπεράσματα .....	61
<b>Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: Πειραματική Μέτρηση.....</b>	<b>64</b>
6.1 Προσδιορισμός των στόχων της μέτρησης.....	64
6.2 Παρουσίαση του οργάνου μέτρησης .....	66
6.3 Περιγραφή της διαδικασίας μέτρησης.....	73
6.4 Παρουσίαση και ανάλυση των δεδομένων από την μέτρηση .....	75
6.5 Καμπύλη CBEMA .....	104
6.6 Σύνοψη-Συμπεράσματα.....	105

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 : Χρησιμοποίηση του όρου Ποιότητα Ισχύος σε επιστημονικά άρθρα.....	4
Εικόνα 2: Ετήσιο κόστος διακοπών ισχύος στις ΗΠΑ ανά κατηγορία καταναλωτή .....	18
Εικόνα 3 : Ετήσιο κόστος διακοπών ισχύος στις ΗΠΑ ανά κατηγορία διακοπής.....	19
Εικόνα 4 : Παράδειγμα κατά το οποίο αναμένουμε να παρουσιαστούν προβλήματα .....	22
Εικόνα 5 : Επιθυμητή Κατάσταση.....	23
Εικόνα 6 : Διάφορα πρότυπα που αφορούν την Ποιότητα Ισχύος .....	27
Εικόνα 7 : Μη τριγωνομετρική κυματομορφή τάσης ( σύνθετο σήμα)[1] .....	30
Εικόνα 8 : Τριγωνομετρικές κυματομορφές τάσης και ρεύματος (απλά σήματα) [1] .....	30
Εικόνα 9 : Αναπαράσταση της 1ης, 2ης, και 3ης αρμονικής ενός σήματος [1] .....	31
Εικόνα 10 : Άθροισμα δύο ημιτονοειδών κυματομορφών με αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας μη τριγωνομετρικής κυματομορφής [1] .....	31

Εικόνα 11 : Διάφορα μη γραμμικά φορτία με την αντίστοιχη κυματομορφή τους και τη Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση που προκαλούν.....	35
Εικόνα 12 : Σημεία PCC πάνω σε ένα ενεργειακό δίκτυο [17] .....	37
Εικόνα 13 : Όρια αρμονικών όπως ορίζονται από το πρότυπο IEEE 519 .....	37
Εικόνα 14 : Χρήση μετασχηματιστή zigzag με σκοπό την παγίδευση των τριπλών αρμονικών μακριά από τη πηγή [1] .....	39
Εικόνα 15 : Παθητικό φίλτρο αντιμετώπισης αρμονικών [1] .....	40
Εικόνα 16 : Τυπική μορφή κρουστικής υπέρτασης[5].....	42
Εικόνα 17 : Τυπική μορφή υπέρτασης με αποσβεννύμενη ταλάντωσης [5].....	43
Εικόνα 18 : Παράδειγμα Εγκοπών [19] .....	44
Εικόνα 19 : Θόρυβος [5].....	45
Εικόνα 20 : Διακύμανση τάσης που οφείλεται σε ηλεκτρικό κλίβανο [19].....	45
Εικόνα 21 : Διακοπή Τάσης διάρκειας 2ms [5].....	46
Εικόνα 22 : (α) Κυματομορφή ενεργούς τιμής (RMS) τάσης κατά το συμβάν βύθισης τάσης (b) Κυματομορφή βύθισης τάσης [19] .....	47
Εικόνα 23 : Κυματομορφή τάσης κατά το συμβάν της υπέρτασης μικρής διάρκειας .....	48
Εικόνα 24 : Παράδειγμα λίστας γεγονότων από μέτρηση που πραγματοποιήθηκε .....	67
Εικόνα 25 : Γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής "3147 Communicator" .....	70
Εικόνα 26 : Γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής "3147 DataViewer".....	71
Εικόνα 27 : Το ΗΙΟΚΙ 3147.....	72
Εικόνα 28 : Το ΗΙΟΚΙ 3147 εγκατεστημένο .....	73
Εικόνα 29 : CBEMACurve .....	74
Εικόνα 30 : EventList για μετρήσεις από 11/7 - 13/7 .....	104
Εικόνα 31 : Η καμπύλη CBEMA για τις διαταραχές που κατεγράφησαν στην περίοδο μετρήσεων 11/7 - 13/7 .....	105

# **Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>**

## **Εισαγωγή**

## Κεφάλαιο 1ο : Εισαγωγή

### 1.1 Ιστορική Αναδρομή

Από την ανακάλυψη του ηλεκτρικού ρεύματος 400 χρόνια πριν έως σήμερα, η παραγωγή, η διανομή και η χρήση του ρεύματος εξελίσσεται ραγδαία. Νέες καινοτόμοι μέθοδοι παραγωγής και χρήσης εμφανίζονται κάθε τόσο στην βιομηχανία καθώς οι επιστήμονες και μηχανικοί συνεχώς συμβάλλουν στην εξέλιξη των ΣΗΕ.

Στις απαρχές των ΣΗΕ, οι ηλεκτρικές μηχανές είχαν αρκετά υψηλό επίπεδο αντοχής δεν ήταν όμως σχεδόν καθόλου ωφελμιστικές, δηλαδή ο συντελεστής ισχύος τους ήταν πολύ χαμηλός. Παρόλο που λειτουργούσαν σωστά, κατανάλωναν τεράστια ποσά ενέργειας. Ούτως ή άλλως σχεδιάζονταν συντηρητικά με πρωταρχικό στόχο την απόδοση και δευτερεύοντα στόχο το κόστος. Λειτουργούσαν σε ένα περιβάλλον που υπόκεινταν σε οποιαδήποτε διαταραχή Ποιότητας Ισχύος αν και αυτό δε τις επηρέαζε ιδιαίτερα λόγω της υψηλής αντοχής τους. Άλλωστε δεν υπήρχαν τρόποι αποτελεσματικής μέτρησης της Ποιότητας Ισχύος[1].

Επίσης, τότε η ζήτηση τόσο από οικιακούς όσο και από βιομηχανικούς καταναλωτές ήταν σταθερή και αρκετά μικρότερη. Όλα αυτά άλλαξαν όμως τα τελευταία 50 χρόνια.

Οι κοινωνικές, οικονομικές και πολιτικές συνθήκες αλλάζουν συνεχώς με την πάροδο των ετών με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η λειτουργία των εταιριών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά τις τελευταίες δεκαετίες. Κατά το παρελθόν, μέχρι και το τέλος της δεκαετίας του 1950, ο σχεδιασμός της επιθυμητής στάθμης παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος, ήταν κάτι εύκολα υλοποιήσιμο λόγω του μικρού κόστους και της γρήγορης και εύκολης κατασκευής των ηλεκτρικών υποσταθμών. Στα μέσα της δεκαετίας του 1970 η κατάσταση αυτή άλλαξε λόγω των νέων απαιτήσεων και συνθηκών της κοινωνίας. Η αύξηση της τιμής πώλησης του πετρελαίου σε συνδυασμό με τον πληθωρισμό οδήγησαν σε αύξηση της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ μεταβλήθηκε ο ρυθμός αύξησης της ζήτησης του φορτίου από τους καταναλωτές. Όλα αυτά είχαν ως αποτέλεσμα να καταστεί δύσκολη η πρόβλεψη της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας [2]. Έτσι, ενώ παλαιότερα η ζήτηση ήταν σταθερή και προβλέψιμη, τα τελευταία χρόνια ειδικότερα μετά την είσοδο των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά κτλ.) δε μπορούμε με σιγουριά να προβλέψουμε τη ζήτηση. Θα αναλύσουμε αργότερα συγκεκριμένα τους λόγους που τα ΑΠΕ παράγουν ασταθή και απρόβλεπτη ενέργεια με αποτέλεσμα να επηρεάζεται άμεσα και η ζήτηση.

## 1.2 Σύγχρονο οικονομικό και τεχνολογικό Περιβάλλον

Τα τελευταία 50 χρόνια, η βιομηχανική εποχή και οι αυξημένες απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια οδήγησαν σε νέες μεθόδους χρήσης της ενέργειας με σκοπό να καλυφθούν επαρκώς οι ενεργειακές ανάγκες με κόστος οικονομικά διαχειρήσιμο και ανταγωνιστικό.

Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη της τεχνολογίας σε όλους τους ενεργειακούς τομείς. Η αύξηση του μεγέθους και των δυνατοτήτων των ΣΗΕ αύξησε την πολυπλοκότητα τους κάτι που οδήγησε στη μείωση της αξιοπιστίας τους. Παράλληλα, τα εξελιγμένα ηλεκτρονικά ισχύος, σύγχρονες ηλεκτρονικές συσκευές και εφαρμογές, απαιτούν αδιάλειπτη και οριοθετημένη (δίχως συχνές και μεγάλες μεταβολές τάσεις-ρεύματος) τροφοδοσία [4].

Επιπρόσθετα, οι υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις για ηλεκτρισμό δημιούργησαν εκτενή παραγωγή ενέργειας και σύνθετα δίκτυα διανομής. Σήμερα οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις δεν αποτελούν πια ανεξάρτητες λειτουργικές οντότητες. Αποτελούν μέρος ενός μεγάλου δικτύου εγκαταστάσεων που λειτουργούν μαζί σε ένα πολύπλοκο ηλεκτρικό δίκτυο [1].

Παράλληλα, και πέρα από το καθαρά τεχνικό ενδιαφέρον, πολύ σημαντική είναι και η πλευρά των οικονομικών συνθηκών που επικρατούν μέσα στο πλαίσιο της απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας. Η αγορά ενέργειας συγκεκριμένα στη χώρα μας από μονοπωλιακή εξελίσσεται σταδιακά από την 1η Φεβρουαρίου του 2001 σε απελευθερωμένη σύμφωνα με το Νόμο 2773/99 και την Κοινοτική Οδηγία 92/96. Ο λόγος της απελευθέρωσης της αγοράς προέκυψε από τη θέση ότι ο υγιής ανταγωνισμός σε αντίθεση με το μονοπώλιο, οδηγεί σε πιο συμφέρουσες τιμές και καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών για το χρήστη της ενέργειας [3].

Σε όλο τον κόσμο, πολλές κυβερνήσεις έχουν αναθεωρήσει τους νόμους που ρυθμίζουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ονομαστικό στόχο την επίτευξη πιο ανταγωνιστικών από άποψη κόστους πηγών ηλεκτρικής ενέργειας. Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας περιέπλεξε το πρόβλημα της Ποιότητας Ισχύος. Σε πολλές γεωγραφικές περιοχές δεν υπάρχει πλέον καλά συντονισμένος έλεγχος από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι τον τελικό χρήστη/φορτίο. Ενώ οι ρυθμιστικοί οργανισμοί μπορούν να αλλάζουν τους νόμους ανάλογα με τη ροή των χρημάτων, οι φυσικοί νόμοι της ροής του ρεύματος δεν μπορούν να αλλοιωθούν. Προκειμένου να αποφευχθεί η υποβάθμιση της παρεχόμενης ποιότητας ενέργειας στους πελάτες, οι ρυθμιστικές αρχές θα πρέπει να επεκτείνουν τις σκέψεις τους πέρα από την παραδοσιακή αξιοπιστία των δεικτών και να αντιμετωπίσουν την ανάγκη για ποιότητα στην παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας [5]. Τέλος, μέσα σε αυτό το περιβάλλον οικονομικού ενεργειακού ανταγωνισμού και υψηλών ενεργειακών και ποιοτικών απαιτήσεων, είναι πολύ σημαντικό να καταγραφεί εάν οι ίδιοι οι καταναλωτές ( χαμηλής τάσης ή

βιομηχανικοί και εταιρείες κοινής ωφέλειας) είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν περισσότερο για ενέργεια υψηλής ποιότητας.

### 1.3 Αναγκαιότητα προσδιορισμού Αξιοπιστίας ΣΗΕ

Αφού κάναμε μία ιστορική αναδρομή και αναλύσαμε το σύγχρονο τεχνολογικό και οικονομικό περιβάλλον των ΣΗΕ, μπορούμε να απαριθμήσουμε συγκεκριμένα τους βασικούς λόγους που γέννησαν την ανάγκη προσδιορισμού της Αξιοπιστίας των ΣΗΕ [6]:

- Τα εξελιγμένα φορτία των καταναλωτών που αποτελούνται από μικροεπεξεργαστές και ηλεκτρονικά ισχύος, είναι πιο ευαίσθητα στις διακυμάνσεις της Ποιότητας Ισχύος από τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό του παρελθόντος.
- Η μεγάλη έμφαση στο συντελεστή απόδοσης των ηλεκτρικών μηχανών οδήγησε στην εκτεταμένη χρήση συσκευών όπως κινητήρες ρυθμιζόμενης ταχύτητας και συστοιχίες πυκνωτών που διορθώνουν το συντελεστή ισχύος και μειώνουν τις απώλειες. Αυτές οι συσκευές όμως κάνουν χρήση τεχνικών γρήγορων διακοπών (switching techniques) με αποτέλεσμα να λειτουργούν ως μη γραμμικά φορτία ή αλλιώς ως «γεννήτριες διαταραχών» οι οποίες υποβιβάζουν την Ποιότητα της Παρεχόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- Οι τελικοί χρήστες της ηλεκτρικής ενέργειας έχουν πλέον συνειδητοποιήσει τα οφέλη από την κατανάλωση υψηλής ποιότητας ρεύματος (αποφυγή βλαβών στον εξοπλισμό τους, αποφυγή κόστους από τις διακοπές τροφοδοσίας στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις κτλ.) και πιέζουν τις εταιρείες κοινής ωφέλειας ώστε να παράγουν και να διανέμουν ποιοτικότερη ηλεκτρική ενέργεια.
- Το εκτεταμένο ηλεκτρικό δίκτυο αποτελείται πλέον από πολλά υποσυστήματα τα οποία δε λειτουργούν ανεξάρτητα. Όταν ένα από αυτά υπολειτουργήσει τότε αυτό έχει άμεσο αντίκτυπο και στα υπόλοιπα.

### 1.4 Βασικές Αρχές Αξιοπιστίας ΣΗΕ

Λέγοντας αξιοπιστία εννοούμε την πιθανότητα μιας συσκευής ή ενός συστήματος να εκτελούν επαρκώς τη λειτουργία τους για τη σχεδιαζόμενη χρονική περίοδο και τις επικρατούσες λειτουργικές συνθήκες. Οι όροι που αναφέρθηκαν (πιθανότητα, επαρκής λειτουργία, σχεδιαζόμενη χρονική περίοδος, λειτουργικές συνθήκες) αποτελούν τους δείκτες αξιοπιστίας του συστήματος και είναι αυτοί οι οποίοι καθορίζουν την αξιοπιστία του. Ο υπολογισμός των δεικτών αυτών επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας

υπολογιστικές αναλυτικές αριθμητικές μεθόδους, οι οποίες βασίζονται στη θεωρία των πιθανοτήτων [2].

Δεν έχουν όλοι οι καταναλωτές τις ίδιες απαιτήσεις σε θέματα αξιοπιστίας. Οι βιομηχανικοί καταναλωτές απαιτούν υψηλότερη στάθμη αξιοπιστίας σε σχέση με τους καταναλωτές χαμηλής τάσης καθώς εκεί έγκεινται προβλήματα ανεπανόρθωτων βλαβών και ασφάλειας από πιθανές διακοπές τροφοδότησης ή Ποιότητας Ισχύος που καταναλώνουν τα μηχανήματα. Για αυτό και πολλές φορές σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις υπάρχει ιδιόκτητο σύστημα παραγωγής και διανομής ενέργειας (γεννήτριες).

Παλαιότερα ο υπολογισμός του επιπέδου αξιοπιστίας γινόταν ως επι το πλείστον εμπειρικά. Πλέον λόγω της εκτεταμένης πολυπλοκότητας των συστημάτων απαιτείται λεπτομερής και μεθοδική ανάλυση για τον καθορισμό της απαραίτητης στάθμης αξιοπιστίας. Ακόμα, όπως είναι φυσικό, σε ένα μεγάλο μεγέθους σύστημα, η στάθμη αξιοπιστίας διαφέρει από περιοχή σε περιοχή καθώς και στα επιμέρους τμήματα του δικτύου διανομής. Για αυτό το λόγο η αυστηρή μελέτη και ανάλυση σε κάθε επιμέρους τμήμα αναμένεται να καθορίσει το ανώτερο δυνατό επίπεδο αξιοπιστίας του συνολικού συστήματος. Το επιθυμητό επίπεδο αξιοπιστίας μίας εγκατάστασης σε μία βιομηχανική περιοχή μπορεί να διαφέρει αρκετά από το επιθυμητό επίπεδο αξιοπιστίας μίας άλλης ηλεκτρολογικής εγκατάστασης χαμηλής τάσης που όμως τροφοδοτείται από το ίδιο δίκτυο διανομής. Σε αυτή την περίπτωση οι μηχανικοί οφείλουν να βρουν την καλύτερη δυνατή λύση, κάτι που δεν είναι καθόλου εύκολο διότι αν το δίκτυο σχεδιάζόταν με βάση την απαιτούμενη στάθμη αξιοπιστίας της βιομηχανικής εγκατάστασης σίγουρα θα κάλυπτε και τις ανάγκες αξιοπιστίας της εγκατάστασης χαμηλής τάσης όμως το κόστος θα αυξανόταν σημαντικά και πολύ πιθανό ο καταναλωτής χαμηλής τάσης να μην ήθελε να επωμιστεί παραπάνω κόστος για επίπεδο αξιοπιστίας που στην πραγματικότητα δε χρειάζεται.

Ομοναδικός τρόπος που μπορούμε να εξετάσουμε όλα τα κριτήρια ποιότητας και αξιοπιστίας ενός συστήματος σε ενιαία βάση είναι ο ποσοτικός. Εφαρμόζοντας αυστηρές ποσοτικές μεθόδους καταφέρνουμε όχι μόνο να καθορίσουμε την οικονομική και τεχνική πλευρά του σχεδιασμού, της λειτουργίας, της συντήρησης και της περαιτέρω ανάπτυξης του συστήματος αλλά και να μελετήσουμε την γενικότερη τρέχουσα και μελλοντική συμπεριφορά του.

Η αξιοπιστία ενός συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας περιγράφεται από τους όρους ικανότητα τροφοδότησης και ασφάλεια ή διαφορετικά ως στατική και δυναμική αξιοπιστία. Η ικανότητα τροφοδότησης έγκειται στη δυνατότητα τροφοδότησης των καταναλωτών του συστήματος σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές σε καταστάσεις που δεν υπακούουν στην κανονική λειτουργία του συστήματος. Λέγοντας ασφάλεια αναφερόμαστε στην ικανότητα του συστήματος να μην υπόκειται σε ανεπανόρθωτες βλάβες κατά τη διάρκεια διαταραχών, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν στην κατάρρευσή του. Ένα παράδειγμα τέτοιων διαταραχών είναι τα βραχυκυκλώματα που μπορούν να οδηγήσουν σε βλάβες επιμέρους στοιχείων του συστήματος, χωρίς ωστόσο να επέλθει κατάρρευση

όλου του συστήματος. Επιπλέον, ο όρος ασφάλεια αναφέρεται στην ικανότητα των διασυνδεδεμένων συστημάτων να διατηρούν τη δομή τους σε περίπτωση ισχυρών διαταραχών [2].

## 1.5 Κριτήρια Αξιοπιστίας ΣΗΕ

Τα κριτήρια αξιοπιστίας αποτελούν την ικανή και αναγκαία συνθήκη ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή στάθμη αξιοπιστίας στα ΣΗΕ. Αυτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες [7]:

- Δείκτες αξιοπιστίας τους οποίους αναφέραμε προηγουμένως και είναι αριθμητικές παράμετροι κατάλληλων πιθανοτικών μεθοδολογιών.
- Κριτήρια ποιότητας λειτουργίαςτα οποία αφορούν ένα σύνολο συνθηκών, οι οποίες ορίζονται σαν το σύνολο βλαβών και διαταραχών που δεν δημιουργούν προβλήματα στη λειτουργία του συστήματος. Τα ενδεχόμενα αυτά προσδιορίζονται μέσα από μια αιτιοκρατική μεθοδολογία ανάλυσης μελετώντας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του συστήματος πριν και μετά την εμφάνισή τους.
- Σκοπός για τους μηχανικούς προγραμματισμού, λειτουργίας και σχεδιασμού των ΣΗΕ είναι να μελετήσουν τα παραπάνω και να επιτύχουν τα επιθυμητά όρια αξιοπιστίας με το ελάχιστο δυνατό κόστος.



## **Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>**

# **Βασικές Έννοιες Ποιότητας Ισχύος**

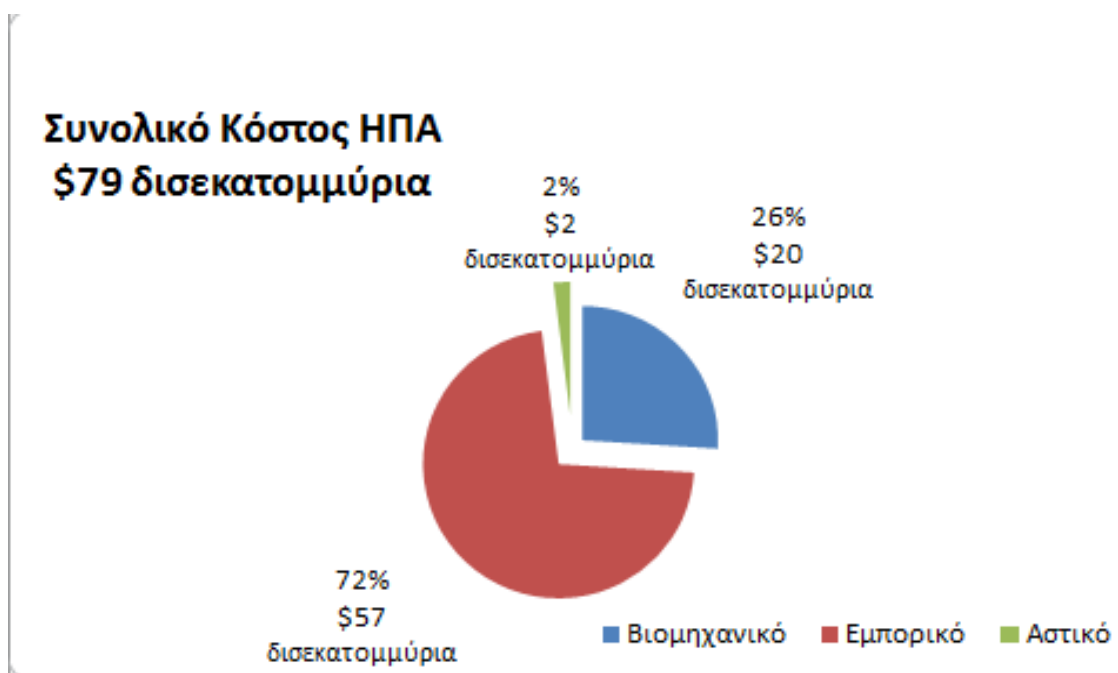
## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Βασικές Έννοιες Ποιότητας Ισχύος

### 2.1 Σπουδαιότητα Ποιότητας Ισχύος

Υπάρχουν διάφορα ενδεχόμενα βλαβών τα οποία οδηγούν σε απώλεια αξιοπιστίας ενός συστήματος. Το σημαντικότερο είναι η μειωμένη Ποιότητα Ισχύος κατά την τροφοδότηση των καταναλωτών, το οποίο μεταφράζεται στην ύπαρξη μίας μη αποδεκτής τιμής τάσης ή συχνότητας τροφοδοσίας, με αποτέλεσμα την εμφάνιση ενός σημαντικού αριθμού επιπρόσθετων αρμονικών και την ανομοιομορφία του τριφασικού συστήματος τροφοδοσίας. Τα παραπάνω προβλήματα συντελούν στην μη αξιόπιστη λειτουργία του ηλεκτρολογικού και μηχανολογικού εξοπλισμού των καταναλωτών, ενώ οι διακοπές λειτουργίας συμβάλλουν στην χαμηλή ποιότητα των προϊόντων παραγωγής των βιομηχανικών καταναλωτών [2]. Η υπόλοιπη Εργασία θα ασχοληθεί ακριβώς με αυτό το πρόβλημα αξιοπιστίας των ΣΗΕ που είναι η Ποιότητα Ισχύος. Θα εξετάσουμε όλες τις διαταραχές που την προκαλούν και επίσης θα εποπτεύσουμε ποσοτικά τις διαταραχές αυτές μέσω πειραματικών δεδομένων.

Στις 14 μέχρι 15 Αυγούστου του 2003 σημειώθηκε μία μαζική και μεγάλης έκτασης διακοπή ρεύματος στις βορειοανατολικές ΗΠΑ και στον Καναδά. Η διακοπή έφερε στην επιφάνεια της δημοσιότητας το ενδιαφέρον για την αξιοπιστία του ηλεκτρικού δικτύου. Το ηλεκτρικό σύστημα των ΗΠΑ κατηγορήθηκε ότι αποτελεί «αντίκα» και συγκρίθηκε με τα συστήματα χωρών του τρίτου κόσμου. Υπολογίστηκε ότι χρειαζόνταν επενδύσεις της τάξης των \$50 έως \$100 δισεκατομμυρίων για να εκσυγχρονιστεί το δίκτυο και να αντιμετωπιστούν οι διαταραχές Ποιότητας Ισχύος [8].

Οι εικόνες 2 και 3 παρουσιάζουν κάποια σημαντικά οικονομικά στοιχεία που προέκυψαν από την μελέτη που πραγματοποίησε το Lawrence Berkeley National Laboratory για λογαριασμό του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ και δείχνουν το τεράστιο κόστος που δημιουργεί η χαμηλή Ποιότητα Ισχύος.



Εικόνα 2: Ετήσιο κόστος διακοπών ισχύος στις ΗΠΑ ανά κατηγορία καταναλωτή



Εικόνα 3: Ετήσιο κόστος διακοπών ισχύος στις ΗΠΑ ανά κατηγορία διακοπής

Η μελέτη αυτή μας δείχνει ότι [8]:

- Η πλειοψηφία του κόστους διακοπών αφορά τον εμπορικό και βιομηχανικό τομέα
- Αν και υπάρχουν σημαντικές διαφορές στη σύνθεση των καταναλωτών σε κάθε περιοχή, το συνολικό κόστος των διαταραχών αξιοπιστίας δείχνουν να συσχετίζονται με τον αριθμό των εμπορικών και βιομηχανικών καταναλωτών σε κάθε περιοχή
- Το κόστος εξαρτάται περισσότερο από τη συχνότητα παρά από την διάρκεια των διαταραχών

Πέραν όμως των οικονομικών επιπτώσεων, η Ποιότητα Ισχύος έχει αποκτήσει μείζονα σημασία ειδικά τα τελευταία χρόνια με την είσοδο των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας.

Όλοι γνωρίζουμε ότι τα τελευταία χρόνια υπάρχει μία ραγδαία αύξηση στη ζήτηση «καθαρής» ενέργειας, ώστε να μειωθεί κατά το δυνατόν η επιβάρυνση στο περιβάλλον. Η στροφή προς τις ήπιες μορφές ενέργειας έδωσε ώθηση στην εξέλιξη των τεχνολογιών των συστημάτων μετατροπής της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική και στην εμπορευματοποίηση των ανεμογεννητριών. Δημιουργήθηκε λοιπόν η ανάγκη εκπόνησης εκτεταμένων ερευνών για βελτιστοποίηση των συστημάτων αυτών. Η μελέτη τους οδήγησε σε σημαντική αύξηση της αξιοπιστίας τους, παράλληλα με την αύξηση του μεγέθους και της ενεργειακής τους απόδοσης. Η ονομαστική ισχύς των ανεμογεννητριών έχει ξεπεράσει ήδη τα 2 MW φτάνοντας μέχρι και τα 3 MW, ενώ σήμερα οι πιο εμπορικές μηχανές έχουν ισχύ της τάξεως των 500 με 1000 kW. Τα προβλήματα που εμφανίζονται γενικά σ' αυτά τα συστήματα σχετίζονται κυρίως με τη στοχαστική φύση της ενεργειακής πηγής τους που είναι ο άνεμος. Όπως είναι γνωστό ο άνεμος είναι μεταβαλλόμενος και φυσικά μη προβλέψιμος. Αυτό έχει σαν

αποτέλεσμα συνεχείς μεταβολές της παραγόμενης ισχύος των συστημάτων αυτών και συνεπώς συνεχείς διαταραχές στα ηλεκτρικά δίκτυα που συνδέονται, λόγω της συνεχούς διακύμανσης της τάσης και της συχνότητας, της απορρόφησης έργου ισχύος και γενικότερα της ποιότητας της παραγόμενης ισχύος. Εξαιτίας αυτών στόχος όλων των ερευνητικών δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται τις τελευταίες δεκαετίες, είναι εκτός της βέλτιστης εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού, η παραγωγή ηλεκτρικής με τα καλύτερα κατά το δυνατόν χαρακτηριστικά για τα ηλεκτρικά δίκτυα. Η μέχρι σήμερα ερευνητική δραστηριότητα έδειξε ότι μόνο τα συστήματα μεταβλητών στροφών σταθερής συχνότητας οδηγούν σε βέλτιστη αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν άλλα προβλήματα τα οποία σχετίζονται με το κόστος κατασκευής τους αλλά και με το φαινόμενο της έγχυσης αρμονικών στο δίκτυο λόγω της διακοπτικής λειτουργίας τους, αφού η εφαρμογή τους στηρίζεται στη χρήση ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος [9].

Το γεγονός της έντονης διακύμανσης του ρεύματος που παρέχουν οι ανεμογεννήτριες, δημιουργεί μεγάλα προβλήματα στη σταθερότητα του συστήματος. Επειδή το φορτίο που παράγουν οι ανεμογεννήτριες μπορεί να χαθεί ξαφνικά λόγω των μεταβαλλόμενων καιρικών συνθηκών, αυξάνεται ο κίνδυνος των γενικών μπλακ-αουτ ιδιαίτερα στην περίπτωση μεγάλης διείσδυσης των ΑΠΕ στο σύστημα. Στο Τέξας το 1998 η παραγόμενη αιολική ισχύς 1700 MW έπεσε ξαφνικά στα 300 MW. Η Ισπανία το 2005 δοκίμασε παρόμοιο κίνδυνο μπλακ-αουτ όταν το παραγόμενο ρεύμα 11.000 ανεμογεννητριών έπεσε στα 700 MW, ενώ εκείνη τη στιγμή οι εφεδρικοί συμβατικοί σταθμοί ήταν εκτός λειτουργίας. Η E.ON Netz (2005) αναφέρει ότι ακόμη και μια μικρή πτώση της τάσης στο δίκτυο μεταφοράς μπορεί να προκαλέσει την αποσύνδεση των ΑΠΕ από το κεντρικό σύστημα [10]. Η τελευταία πρόταση ειδικά μας φανερώνει ότι η σχέση των ΑΠΕ με την Ποιότητα Ισχύος αποτελεί μία σχέση ισοδυναμίας αφού τις ΑΠΕ επιβαρύνουν τα ΣΗΕ με διαταραχές Ποιότητας Ισχύος, οι ίδιες διαταραχές όμως είναι αυτές που πολλές φορές υποχρεώνουν τις ΑΠΕ να υπολειτουργούν δεδομένου ότι είναι πολύ ευαίσθητες.

## 2.2 Ορισμός Ποιότητας Ισχύος

Δεν υπάρχει κοινά αποδεκτός ορισμός του όρου Ποιότητα Ισχύος. Ο Heydt[12] ορίζει την Ποιότητα Ισχύος ως το μέγεθος που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του «πόσο καλά μπορεί να χρησιμοποιηθούν από τους καταναλωτές οι παροχές ενός δικτύου ηλεκτρικής ισχύος». Το πρότυπο IEEE 1100 του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) ορίζει [11] την Ποιότητα Ισχύος ως εξής «concept for powering and grounding sensitive electronic equipment in a manner suitable for the equipment». Μπορεί αυτός ο ορισμός να φαίνεται επαρκής παρόλα αυτά ο περιορισμός του ορισμού για «ευαίσθητο ηλεκτρονικό εξοπλισμό» αποτελεί αμφιλεγόμενο σημείο. Οποιοσδήποτε ηλεκτρολογικός εξοπλισμός θα αστοχήσει και θα δυσλειτουργήσει αν εκτεθεί σε διαταραχές Ποιότητας Ισχύος [1].

Ένας πιο απλοϊκός και εύστοχος ορισμός θα μπορούσε να είναι ο εξής « Ποιότητα Ισχύος είναι ένα σύνολο ηλεκτρολογικών ορίων που επιτρέπουν σε ένα κομμάτι εξοπλισμού να λειτουργήσει εντός των προδιαγραφών του δίχως σημαντικές απώλειες απόδοσης και χρόνου ζωής ». Ο ορισμός αυτός δίνει έμφαση στα δύο σημαντικότερα χαρακτηριστικά μίας ηλεκτρολογικής συσκευής : απόδοση και χρόνος ζωής. Οποιαδήποτε διαταραχή υπονομεύει κάποιο από αυτά τα δύο χαρακτηριστικά αποτελεί υπόθεση του επιστημονικού πεδίου της Ποιότητας Ισχύος [1].

## 2.3 Δείκτες και Κριτήρια Ευαισθησίας Ποιότητας Ισχύος

Υπάρχουν ορισμένοι δείκτες οι οποίοι έχουν οριστεί από την IEEE[13] και προσπαθούν να απεικονίσουν το πρόβλημα της Ποιότητας Ισχύος σε ένα δίκτυο διανομής:

- Δείκτης μέσης συχνότητας διακοπών συστήματος

$$(SAIFI) = \frac{\text{συνολικός αριθμός διακοπών πελατών}}{\text{συνολικός αριθμός εξυπηρετούμενων πελατών}}$$

Ο δείκτης αυτός υπολογίζει πόσες περίπου διακοπές θα συμβούν σε ένα μέσο καταναλωτή κατά τη διάρκεια ενός έτους. Ο μόνος τρόπος να βελτιωθεί είναι να μειωθεί ο αριθμός των διακοπών.

- Δείκτης μέσης διάρκειας διακοπών συστήματος

$$(SAIDI) = \frac{\text{άθροισμα διάρκειας διακοπών συστήματος}}{\text{συνολικός αριθμός εξυπηρετούμενων πελατών}}$$

Υπολογίζει τη διάρκεια των διακοπών ενός μέσου καταναλωτή κατά τη διάρκεια ενός έτους. Δύναται να βελτιωθεί είτε μέσω μείωσης της διάρκειας των διακοπών είτε με τη μείωση του αριθμού διακοπών.

- Δείκτης μέσης συχνότητας διακοπών πελατών

$$(CAIFI) = \frac{\text{συνολικός αριθμός διακοπών συστήματος}}{\text{συνολικός αριθμός διακοπόμενων πελατών}}$$

Εκτιμάει τον αριθμό των διακοπών που παρατηρούνται στους καταναλωτές που έχουν αναφέρει κάποια βλάβη.

- Δείκτης μέσης διάρκειας διακοπών πελατών

$$(CAIDI) = \frac{\text{άθροισμα διάρκειας διακοπών συστήματος}}{\text{συνολικός αριθμός διακοπών πελατών}}$$

Δείχνει τη μέση διάρκεια των διακοπών του συστήματος. Βελτιώνεται είτε μειώνοντας την διάρκεια διακοπών του συστήματος είτε αυξάνοντας τον αριθμό διακοπών μικρής διάρκειας. Η βελτίωση του δείκτη αυτού δεν έχει άμεσο αντίκτυπο στην αξιοπιστία του συστήματος όμως είναι χρήσιμος γιατί μας δείχνει πώς θα αντιδράσει το σύστημα στις διακοπές.

- Δείκτης μέσης διαθέσιμης παροχής ισχύος

$$(ASAI) = \frac{\text{διάρκεια διαθέσιμης παροχής ισχύος πελατών}}{\text{διάρκεια ζήτησης παροχής ισχύος πελατών}}$$

Ο δείκτης αυτός παρουσιάζει τη διαθεσιμότητα του συστήματος ως προς τη παροχή ισχύος.

Ας εξετάσουμε τώρα τα κριτήρια ευαισθησίας [1]:

### 2.3.1 Αίτιο και αποτέλεσμα

Το αντικείμενο της Ποιότητας Ισχύος μπορεί να περιγραφεί και ως μια σχέση αίτιου-αποτελέσματος. Η Ποιότητα Ισχύος είναι το αίτιο και η δυνατότητα ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός να λειτουργήσει στο συγκεκριμένο περιβάλλον Ποιότητας Ισχύος είναι το αποτέλεσμα. Αν το σύνολο της αντοχής του εξοπλισμού όπως δείχνει το Εικόνα 4 είναι υποσύνολο του συνόλου της Ποιότητας Ισχύος τότε είναι αναμενόμενο να παρουσιαστούν προβλήματα. Αντικειμενικός σκοπός της μελέτης Ποιότητας Ισχύος είναι το σύνολο της αντοχής να είναι υπερσύνολο του συνόλου της Ποιότητας Ισχύος όπως δείχνει το Εικόνα 5. Αυτό φυσικά επιτυγχάνεται είτε μεγαλώνοντας το σύνολο της αντοχής εξοπλισμού είτε μικραίνοντας τα όρια του συνόλου της Ποιότητας Ισχύος.



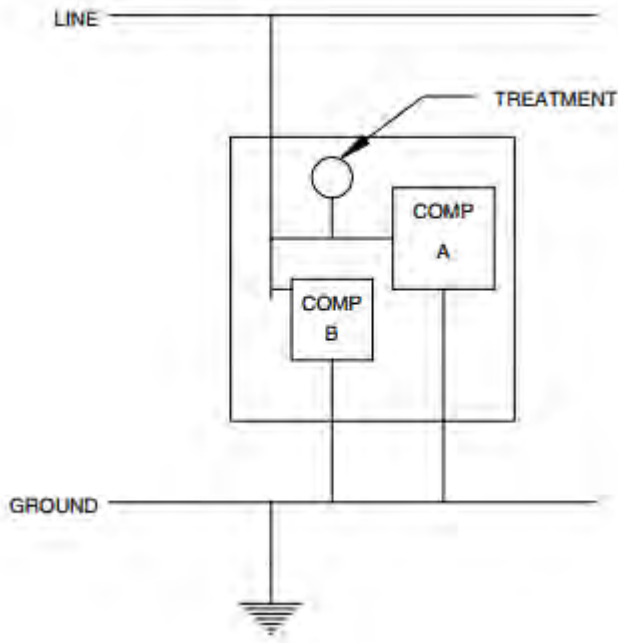
Εικόνα 4 : Παράδειγμα κατά το οποίο αναμένουμε να παρουσιαστούν προβλήματα



Εικόνα 5: Επιθυμητή Κατάσταση

### 2.3.2 Κριτήρια Επίλυσης προβλημάτων

Για να λύσουμε προβλήματα Ποιότητας Ισχύος είναι απαραίτητο να έχουμε καλή γνώση των εξαρτημάτων του εξοπλισμού. Αν για παράδειγμα μία ηλεκτρική μηχανή αντιδρά σε κάποια διαταραχή Ποιότητας Ισχύος, μερικές φορές είναι προτιμότερο να επιλύσουμε το ζήτημα στο συγκεκριμένο εξάρτημα της μηχανής που παρουσιάζεται το πρόβλημα παρά να επηρεάσουμε τη συνολική ευαισθησία εξοπλισμού της μηχανής. Το Σχήμα 2.5 παρουσιάζει μία μηχανή στην οποία το εξάρτημα Α είναι ευαίσθητο σε voltagenotch (διαταραχή της κυματομορφής τάσης η οποία διαρκεί λιγότερο από μισό κύκλο και έχει αντίθετη πολικότητα από την κυματομορφή, θα αναλύσουμε περισσότερο τον όρο στο 4ο Κεφάλαιο) άνω των 30V. Σε αυτή την περίπτωση είναι προτιμότερο να επιλύσουμε το πρόβλημα στο συγκεκριμένο εξάρτημα παρά σε όλη τη μηχανή αυξάνοντας την αντοχή της. Αν όμως το πρόβλημα είχε να κάνει με τη γείωση του συστήματος τότε θα επικεντρώναμε την προσπάθεια επίλυσης του σε ολόκληρο το σύστημα.



Σχήμα 2.5 : Περιορισμένη προσπάθεια επίλυσης προβλήματος Ποιότητας Ισχύος [1]

### 2.3.3 Ο αδύναμος κρίκος της Ποιότητας Ισχύος

Η αξιοπιστία μίας ηλεκτρικής μηχανής εξαρτάται αποκλειστικά από την ευαισθησία του εξαρτήματος που παρουσιάζει τη μικρότερη αντοχή σε διαταραχές. Ακόμα κι αν η υπόλοιπη μηχανή είναι αρκετά ανεκτική στις διαταραχές Ποιότητας Ισχύος, αρκεί ένα μικρό εξάρτημά της με μικρή αντοχή για να χαρακτηρίσει ολόκληρη τη μηχανή ως ευαίσθητη.

### 2.3.4 Αλληλεξάρτηση

Αλληλεξάρτηση στην Ποιότητα Ισχύος εμφανίζεται όταν δύο ή περισσότερες μηχανές που θα μπορούσαν να λειτουργούν ικανοποιητικά ανεξάρτητα η καθεμία, όταν λειτουργούν μαζί σε ένα σύστημα, υπολειτουργούν. Σε τέτοιες περιπτώσεις σημαντικό ρόλο παίζει η σχετική θέση των μηχανών. Γενικές οδηγίες επίλυσης τέτοιων προβλημάτων προτείνουν την απομόνωση εξοπλισμού που δημιουργεί τέτοιες διαταραχές από τον ευαίσθητο εξοπλισμό, όπως επίσης και η τοποθέτηση του εξοπλισμού που παράγει διαταραχές όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πηγή ενέργειας.



### 2.3.5 Κριτήρια Τάσεων-Παραμορφώσεων

Στη κατασκευαστική μηχανική, χρησιμοποιείται ο όρος της καμπύλης τάσης-παραμόρφωσης που παρουσιάζει την αντοχή διάφορων υλικών στις παραμορφώσεις που υπόκεινται από τα φορτία. Ο Sankaranισχυρίζεται [1] ότι τα ΣΗΕ λειτουργούν σαν μία δομική δοκό. Μπορούμε να επιβαρύνουμε ένα ΣΗΕ με φορτία που γεννούν διαταραχές μέχρι ένα συγκεκριμένο σημείο. Το πλήθος των φορτίων αυτών που θα ανεχθεί το ΣΗΕ εξαρτάται από την αντοχή του συστήματος. Όσο πιο ανθεκτικό το σύστημα στις διαταραχές τόσο περισσότερα φορτία μπορούμε να συνδέσουμε σε αυτό. Αν ξεπεράσουμε όμως το σημείο αντοχής του τότε το σύστημα θα υπολειουργήσει.

### 2.3.6 Σχέση Ποιότητας Ισχύος και αντοχής εξοπλισμού

Όλα τα συστήματα είναι ευαίσθητα σε διαταραχές Ποιότητας Ισχύος. Κανένα δεν είναι 100% ανεχτικό. Σκοπός είναι να δημιουργηθεί μια ισορροπία μεταξύ Ποιότητας Ισχύος και της αντοχής του εξοπλισμού, τα οποία είναι δύο σύνολα αντιστρόφως. Με προσεχτική μελέτη μιας εγκατάστασης πολλά προβλήματα Ποιότητας Ισχύος μπορούν να αποφευχθούν μέσω της εξισορρόπησης των χαρακτηριστικών του εξοπλισμού και του περιβάλλοντος Ποιότητας Ισχύος.

## 2.4 Ευθύνες παρόχων και καταναλωτών της Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η παραδοχή της εξέχουσας σημασίας της Ποιότητας Ισχύος είναι ευθύνη των παρόχων αλλά και των καταναλωτών Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Καταρχάς, οι πάροχοι πρέπει να γνωρίζουν ότι δεν είναι οι ανάγκες όλων των καταναλωτών ίδιες. Το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρολογικών εξοπλισμών ανέχεται διαταραχές τάσης έως 5% της ονομαστικής. Γιαυτό το λόγο οι πάροχοι σχεδιάζουν συστήματα που παρέχουν ενέργεια μέσα σε αυτά τα όρια. Παρατηρείται όμως το φαινόμενο ότι σε περιοχές αποξενωμένες και μακριά από υποσταθμούς που τροφοδοτούνται από μικρούς ενεργειακούς σταθμούς, έχουμε τιμές τάσεων πολλές φορές μεγαλύτερων από 5% της ονομαστικής. Κάτι τέτοιο μπορεί να έχει αρνητικό αποτέλεσμα κυρίως σε κινητήρες και φώτα φθορισμού. Όσον αφορά τις ευθύνες των καταναλωτών, εκείνοι πρέπει να κατανοήσουν κυρίως πόσο σημαντική είναι η βελτιστοποιημένη χρήση (optimized use) της ηλεκτρικής ενέργειας. Μερικές παράμετροι που την επηρεάζουν και άπτονται άμεσα στην χρήση των καταναλωτών είναι η εξοικονόμηση ενέργειας, η έκχυση ανώτερων αρμονικών στο σύστημα και ο συντελεστής απόδοσης. Την ώρα που οι εταιρείες παραγωγής ενέργειας δυσκολεύονται να καλύψουν τις ενεργειακές απαιτήσεις, η εξοικονόμηση ενέργειας από πλευράς καταναλωτών θα μπορούσε να δώσει τη λύση. Ακόμα, με την πρόοδο των ηλεκτρονικών συστημάτων, κάθε τόσο όλο και περισσότερα ρεύματα πλούσια σε αρμονικές παράγονται στο δίκτυο. Αυτό επιβαρύνει περισσότερο την παραγωγή ενέργειας και το δίκτυο διανομής. Το

πρόβλημα των Αρμονικών θα το συζητήσουμε λεπτομερώς στο επόμενο Κεφάλαιο. Τέλος, οι καταναλωτές πρέπει να μεριμνούν και για τον συντελεστή απόδοσης που είναι ο λόγος της πραγματικής ισχύς προς τη φαινόμενη. Πέρα του προστίμου που γλιτώνουν οι βιομηχανικοί καταναλωτές για συντελεστή απόδοσης κάτω από 95%, η υπευθυνότητα βοηθάει τόσο στην βελτίωση της Ποιότητας Ισχύος αλλά και του κόστους παραγωγής.

## 2.5 Πρότυπα Ποιότητας Ισχύος

Στην εποχή μας, οι ηλεκτρονικές συσκευές μικραίνουν ολοένα και περισσότερο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η Ποιότητα Ισχύος να έχει αποκτήσει ακόμα μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Το πρόβλημα όμως είναι ότι οι σχεδιαστές μικροϋπολογιστών έχουν μικρή γνώση του αντικειμένου της Ποιότητας Ισχύος ενώ από την άλλη οι σχεδιαστές ενεργειακών συστημάτων αγνοούν τη λειτουργία και την ευαισθησία των μικροηλεκτρονικών. Για αυτό το λόγο διάφορες οργανώσεις μηχανικών έχουν εκδώσει ένα πλήθος Προτύπων Ποιότητας Ισχύος. Ο Πίνακας 2.6 παρουσιάζει διάφορα πρότυπα που έχει εκδώσει το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) καθώς και η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC).

Στο πειραματικό στάδιο της Εργασίας αυτής, θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με τα επιτρεπτά όρια διαταραχών που ορίζει το πρότυπο EN50160 το οποίο ακολουθεί ο διαχειριστής του δικτύου στην Ελλάδα. Το πρότυπο αυτό μεταξύ άλλων ορίζει τη μεταβλητότητα της συχνότητας και της τάσης. Όπως αναφέρει χαρακτηριστικά ο Πέτρος Ντοκόπουλος [3], αν εξαιρεθεί το επιτρεπόμενο περιεχόμενο σε αρμονικές, το πρότυπο EN50160 δε δίνει ικανοποιητικά όρια για τον καταναλωτή τόσο για την ανοχή σε μεταβλητότητα τάσης όσο για αναμενόμενες διακοπές. Θα έπρεπε ίσως τα επιτρεπόμενα όρια να είναι μικρότερα καθώς στα υπάρχοντα υπάρχει σοβαρός κίνδυνος καταστροφής του εξοπλισμού.

*Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE); Piscataway, NJ;  
<http://www.ieee.org>*

<b>IEEE 644</b>	<b>Standard Procedure for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines</b>
<b>IEEE C63.12</b>	<b>Recommended Practice for Electromagnetic Compatibility Limits</b>
<b>IEEE 518</b>	<b>Guide for the Installation of Electrical Equipment to Minimize Electrical Noise Inputs to Controllers from External Sources</b>

IEEE 519	Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems
IEEE 1100	Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment
IEEE 1159	Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality
IEEE 141	Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants
IEEE 142	Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems
IEEE 241	Recommended Practice for Electric Power Systems in Commercial Buildings
IEEE 602	Recommended Practice for Electric Systems in Health Care Facilities
IEEE 902	Guide for Maintenance, Operation and Safety of Industrial and Commercial Power Systems
IEEE C57.110	Recommended Practice for Establishing Transformer Capability when Supplying Nonsinusoidal Load
IEEE P1433	Power Quality Definitions
IEEE P1453	Voltage Flicker
IEEE P1564	Voltage Sag Indices

*International Electrotechnical Commission (IEC); Geneva, Switzerland;*  
<http://www.iec.ch>

IEC/TR3 61000-2-1	Electromagnetic Compatibility — Environment
IEC/TR3 61000-3-6	Electromagnetic Compatibility — Limits
IEC 61000-4-7	Electromagnetic Compatibility — Testing and Measurement Techniques — General Guides on Harmonics and Interharmonics Measurements and Instrumentation
IEC 61642	Industrial a.c. Networks Affected by Harmonics — Application of Filters and Shunt Capacitors
IEC SC77A	Low Frequency EMC Phenomena
IEC TC77/WG1	Terminology
IEC SC77A/WG1	Harmonics and Other Low Frequency Disturbances
IEC SC77A/WG6	Low Frequency Immunity Tests
IEC SC77A/WG2	Voltage Fluctuations and Other Low Frequency Disturbances
IEC SC77A/WG8	Electromagnetic Interference Related to the Network Frequency
IEC SC77A/WG9	Power Quality Measurement Methods

Εικόνα 6: Διάφορα πρότυπα που αφορούν την Ποιότητα Ισχύος

# **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>**

## **Αρμονικές**

## Κεφάλαιο 3ο: Αρμονικές

### 3.1 Ορισμός Αρμονικών

Πριν παρουσιάσουμε αναλυτικά όλες τις διαταραχές Ποιότητας Ισχύος, αξίζει να αναλύσουμε το πρόβλημα των Αρμονικών που απασχολεί τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο τους μηχανικούς.

Το 1800 ο Γάλλος φυσικός-μαθηματικός JeanBaptisteFourierγέννησε τη θεωρία της ανάλυσης ενός σήματος σε σήματα απλών συχνοτήτων. Υιοθέτησε για πρώτη φορά την ανάλυση μιας σύνθετης συνάρτησης σε άθροισμα συναρτήσεων απλών συχνοτήτων για να μελετήσει φαινόμενα διάδοσης συχνότητας και έπειτα διατύπωσε πως μία περιοδική μη τριγωνομετρική συνάρτηση με συγκεκριμένη συχνότητα  $f$  μπορεί να εκφραστεί ως άθροισμα τριγωνομετρικών συναρτήσεων με συχνότητες πολλαπλάσιες της συχνότητας της  $f$  [14]. Στην Εργασία αυτή θα ασχοληθούμε με περιοδικές συναρτήσεις τάσης και ρεύματος και θα δούμε πώς η ανάλυση Fourierβοηθά τους μηχανικούς στην επίλυση προβλημάτων Ποιότητας Ισχύος.

Έστω λοιπόν :

Συνάρτηση τάσης,  $v(t)=V\sin(\omega t)$

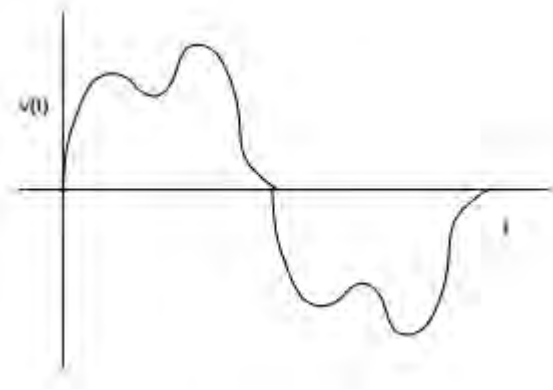
Συνάρτηση ρεύματος,  $i(t)=I\sin(\omega t \pm \theta)$

Όπου γωνιακή συχνότητα είναι  $\omega=2\pi f$  και  $\theta$  είναι η διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος. Η  $\theta$  έχει θετικό πρόσημο αν το ρεύμα προηγείται της τάσης και αρνητικό αν το ρεύμα ακολουθεί την τάση.

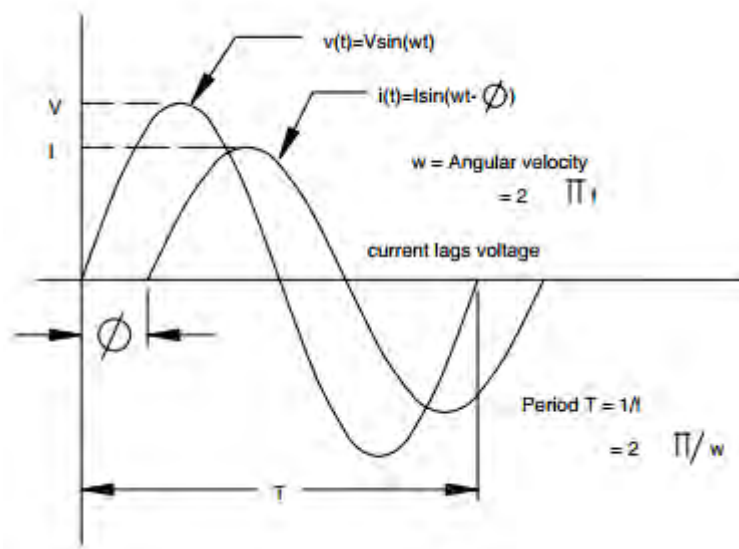
Για την παραπάνω συνάρτηση τάσης  $v(t)$ , η έκφραση Fourierείναι :

$$v(t)= V_0 + V_1\sin(\omega t) + V_2(\sin 2\omega t) + V_3(\sin 3\omega t) + \dots + V_n\sin(n\omega t) + V_{n+1}\sin((n+1)\omega t) + \dots$$

Στην εξίσωση αυτή, το  $V_0$  αναπαριστά την DC συνιστώσα της κυματομορφής. Οι υπόλοιποι όροι του αθροίσματος αποτελούν τις αρμονικές της περιοδικής κυματομορφής τάσης. Η 1η αρμονική έχει συχνότητα  $f$ , η 2η  $2f$ , η 3η  $3f$  και η  $n$ -οστή  $nf$ . Η 1η αρμονική ονομάζεται και θεμελιώδης. Στην Ελλάδα η 1η αρμονική έχει συχνότητα  $50\text{Hz}$ , η 2η  $100\text{Hz}$  και η 3η  $150\text{Hz}$ . Η Εικόνα 7 παρουσιάζει μία κυματομορφή τάσης μη τριγωνομετρική ως προς χρόνο ενώ η Εικόνα 8 τριγωνομετρικές κυματομορφές τάσης και ρεύματος.

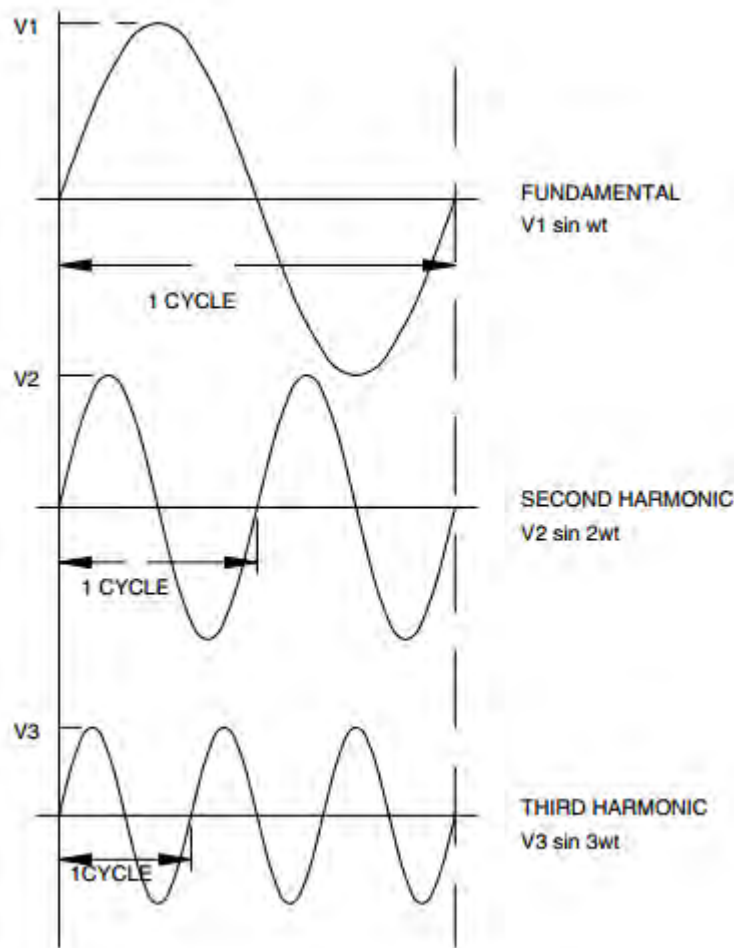


Εικόνα 7: Μη τριγωνομετρική κυματομορφή τάσης ( σύνθετο σήμα)[1]



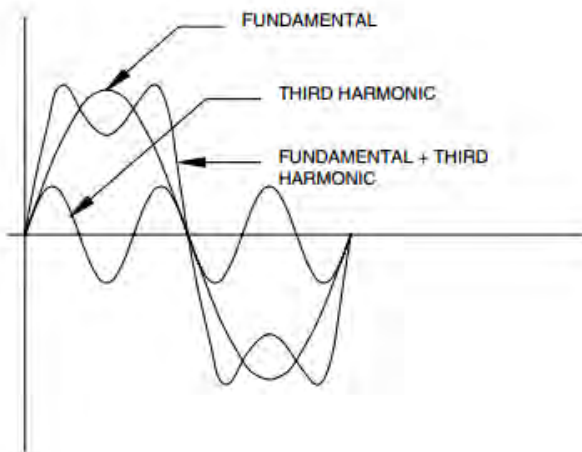
Εικόνα 8: Τριγωνομετρικές κυματομορφές τάσης και ρεύματος (απλά σήματα) [1]

Η εικόνα 9 δείχνει τη μεγάλη σημασία που έχουν οι συχνότητες των αρμονικών. Όπως φαίνεται η 2η αρμονική πραγματοποιεί 2 κύκλους σε 1 κύκλο της 1ης αρμονικής ενώ η 3η αρμονική 3 κύκλους.



Εικόνα 9: Αναπαράσταση της 1ης, 2ης, και 3ης αρμονικής ενός σήματος [1]

Η έκφραση μίας μη τριγωνομετρικής συνάρτησης σε τριγωνομετρική μας βοηθάει να λύσουμε προβλήματα ενέργειας στα συστήματα. Για να βρούμε την επίδραση μίας μη τριγωνομετρικής συνάρτησης τάσης ή ρεύματος σε ένα ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, αρκεί να βρούμε την επίδραση κάθε αρμονικής ξεχωριστά και μετά να προσθέσουμε διανυσματικά τα αποτελέσματα για να αντλήσουμε τη συνολική επίδραση. Η εικόνα 10 δείχνει το άθροισμα της 1ης και 3ης αρμονικής που είναι ημιτονοειδείς με αποτέλεσμα μία μη τριγωνομετρική



Εικόνα 10 : Άθροισμα δύο ημιτονοειδών κυματομορφών με αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας μη τριγωνομετρικής κυματομορφής [1]

### 3.2 Τάξη Αρμονικής [1]

Η Τάξη Αρμονικής ( $h$ ) αναφέρεται στις ανεξάρτητες συχνότητες που συνθέτουν μία σύνθετη κυματομορφή. Για παράδειγμα  $h=4$  αναφέρεται στην 4η αρμονική και η συχνότητά της είναι ίση με την τετραπλάσια συχνότητα της βασικής δηλαδή της 1ης αρμονικής,  $f_h=h*f_1$ . Εστιάζουμε περισσότερο στην τάξη της αρμονικής παρά στη συχνότητά της για τον απλούστατο λόγο ότι οι συχνότητες τάσης και ρεύματος διαφέρουν από χώρα σε χώρα ( το δίκτυο των ΗΠΑ παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα συχνότητας 60 Ηζενώ στην ευρωπαϊκές χώρες και στις περισσότερες της Ασίας τα δίκτυα έχουν συχνότητες 50 Hz). Επίσης, κάθε ηλεκτρική μηχανή έχει διαφορετική ονομαστική συχνότητα λειτουργίας. Οπότε η τάξη αρμονικής απλουστεύει τον τρόπο που αναφερόμαστε στις αρμονικές κάθε εφαρμογής. Ένας δεύτερος λόγος που χρησιμοποιούμε την τάξη αρμονικής είναι ότι απλοποιεί αρκετά τις μαθηματικές σχέσεις όπου εμπλέκονται αρμονικές.

Οι Αρμονικές χωρίζονται σε 2 κατηγορίες. Τις περιττές και τις άρτιες. Περιττές είναι οι αρμονικές 3,5,7,9,11 κλπ ενώ άρτιες είναι οι 2,4,6,8,10 κλπ. Η αρμονική τάξη αναφέρεται στην 1η αρμονική και στη βασική συνιστώσα της συχνότητας της κυματομορφής. Στα τριφασικά συστήματα οι άρτιες αρμονικές ακυρώνονται, οπότε μας ενδιαφέρουν μόνο οι περιττές. Η αρμονική τάξη 0 αναφέρεται στην DC συνιστώσα της κυματομορφής η οποία είναι η διαφορά του θετικού μισού ενός κύκλου με το αρνητικό μισό. Δηλαδή αν μία κυματομορφή έχει μεγαλύτερο αρνητικό μισό σε ένα κύκλο σε σχέση με το θετικό μισό τότε θα παρουσιάσει μία αρνητική DC συνιστώσα. Οι DC συνιστώσες έχουν ανεπιθύμητες επιπτώσεις σε ένα σύστημα και δημιουργούν προβλήματα κυρίως στους μετασχηματιστές λόγω του φαινομένου του κορεσμού πυρήνα. Κορεσμός στον πυρήνα δημιουργείται όταν ο πυρήνας λειτουργεί σε ένταση μαγνητικού πεδίου μεγαλύτερης της κορυφής της μαγνητικής καμπύλης. Η λειτουργία στην περιοχή κορεσμού απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Ακόμα, η θερμοκρασία του μετασχηματιστή αυξάνεται ραγδαία λόγω των αυξημένων απωλειών του πυρήνα και παρατηρούνται περισσότερες δονήσεις στο πυρήνα.

Οι Υποαρμονικές είναι αρμονικές με συχνότητες μικρότερες της θεμελιώδους συχνότητας, δηλαδή της συχνότητας της 1ης αρμονικής, και είναι σπάνιες στα συστήματα ενέργειας. Υποαρμονικές μπορεί να δημιουργηθούν όταν ένα σύστημα είναι αρκετά επαγωγικό (όπως κατά την εκκίνηση ενός ηλεκτρικού κλίβανου) ή όταν το σύστημα έχει μεγάλες συστοιχίες πυκνωτών για βελτιστοποίηση του συντελεστή ισχύος ή φιλτράρισμα. Αυτές οι συνθήκες δημιουργούν αργές ταλαντώσεις που είναι σχετικά αποσβενοόμενες και καταλήγουν σε διαταραχές Ποιότητας Ισχύος όπως βυθίσεις τάσεις (voltage sags) και light flicker που θα εξετάσουμε στο επόμενο Κεφάλαιο.

Μία άλλη κατηγορία αρμονικών είναι οι Διαρμονικές (Interharmonics) οι οποίες αποτελούν κυματομορφές τάσεις ή ρεύματος που δεν έχουν συχνότητες ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας. Αιτίες της δημιουργίας τους είναι κυρίως η ασύμμετρη φόρτιση τριφασικών αντιστροφών,



ακανόνιστες εναύσεις-σβέσεις διακοπών (με μικροβραχυκυκλώματα) και πτώσεις τάσεως σε ουδέτερους αγωγούς και επιστροφές [15].

### 3.3 Αιτίες ύπαρξης Αρμονικών

Γνωρίζουμε ότι γραμμικά λέγονται τα φορτία στα οποία η κυματομορφή τάσης (ημιτονοειδής) διέρχεται από μία σταθερή αντίσταση και αυτό έχει ως αποτέλεσμα κυματομορφή ρεύματος (ημιτονοειδή πάλι). Αντίθετα, μη γραμμικά ονομάζουμε τα φορτία των οποίων η αντίσταση δεν είναι σταθερή και αλλάζει σε κάθε ημιτονοειδές κύμα της κυματομορφής τάσης δημιουργώντας μια σειρά θετικών και αρνητικών παλμών ρεύματος. Τα μη γραμμικά φορτία είναι εκείνα που ευθύνονται κυρίως για τη δημιουργία αρμονικών ρευμάτων. Τέτοια είναι :

- φωτιστικά φθορισμού
- ανορθωτές
- ηλεκτρονικοί υπολογιστές και φορτία επεξεργασίας πληροφοριών
- Βιομηχανικός εξοπλισμός για ηλεκτροσυγκολλήσεις και ηλεκτρικοί κλίβανοι
- Ρυθμιστές ταχύτητας μηχανημάτων
- Τροφοδοτικά αδιάλειπτης παροχής (UPS)
- Μετασχηματιστές
- Χρήση Κατανεμημένης παραγωγής μέσω φωτοβολταϊκών, αιολικών και άλλων συστημάτων

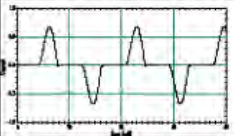
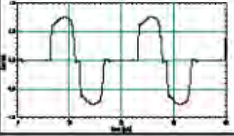
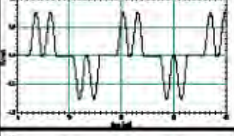
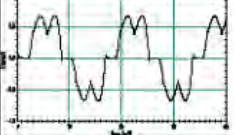
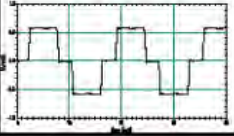
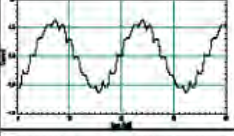
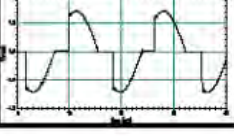
Πέρα όμως από την εκτεταμένη χρήση ηλεκτρονικών ισχύος και τη χρήση μη γραμμικών φορτίων τόσο από καταναλωτές χαμηλής τάσης όσο και από βιομηχανικούς, πολύ σημαντικός παράγοντας δημιουργίας αρμονικών τη σύγχρονη εποχή είναι και οι ΑΠΕ. Μία ανεμογεννήτρια μεταβλητής ταχύτητας μπορεί να προκαλεί σημαντικές ποσότητες αρμονικής και ενδοαρμονικής παραμόρφωσης κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της. Η παραμόρφωση μετριάζεται μέσα στα επιτρεπτά όρια που έχουν οριστεί από τις αρχές με την εγκατάσταση ειδικών φίλτρων [7].

Μία καθαρή κυματομορφή δίχως αρμονική παραμόρφωση αποτελεί υποθετική έννοια. Η κυματομορφή τάσης ακόμα και την ώρα που παράγεται περιέχει ένα μικρό ποσοστό παραμόρφωσης. Εκείνη τη στιγμή η παραμόρφωση είναι της τάξης του 1%. Βέβαια η παραγόμενη κυματομορφή τάσης ταξιδεύει χιλιάδες χιλιόμετρα, μετασχηματίζεται σε πολλά επίπεδα και καταλήγει στο χρήστη. Ακόμα και ο χρήστης με τον ηλεκτρονικό και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό του, παράγει ρεύματα που είναι πλούσια σε αρμονικές συνιστώσες, ειδικά σε βιομηχανικές και μεγάλες εμπορικές εγκαταστάσεις. Αυτά τα αρμονικά ρεύματα φτάνουν στην πηγή ενέργειας και επιβαρύνουν την παραμόρφωση τάσης ακόμα περισσότερο αφού δημιουργούν τάσεις στις αντιστάσεις του εξοπλισμού διανομής, των διάφορων μετασχηματιστών, καλωδίων κτλπ [1]. Η ικανότητα μεταφοράς ρεύματος ενός καλωδίου μειώνεται όταν το ρεύμα που μεταφέρεται περιέχει ανώτερες αρμονικές. Αυτή η μείωση οφείλεται στις αυξημένες θερμικές απώλειες που εμφανίζουν τα καλώδια όταν διαρρέονται από ρεύματα υψηλότερων συχνοτήτων, καθώς σε αυτές τις συχνότητες οι ωμικές αντιστάσεις των καλωδίων είναι

μεγαλύτερες λόγω του επιδερμικού φαινομένου και του φαινομένου γειτνίασης που εξαρτώνται από τη συχνότητα. Ο υπολογισμός της ικανότητας μεταφοράς γίνεται μέσω του υπολογισμού ενός συντελεστή απομείωσης (derating factor), ο οποίος εκφράζει τη μείωση της ικανότητας μεταφοράς λόγω της ύπαρξης των αρμονικών και εξαρτάται εκτός από τη συνολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος και από την αρμονική υπογραφή. Οι τριπλές αρμονικές (3η, 9η, 15η, κ.α.) στα ρεύματα των τριών φάσεων είναι συμφασικές, με αποτέλεσμα να αθροίζονται αλγεβρικά και να προκαλούν υψηλά ρεύματα ουδετέρου. Τα υψηλά ρεύματα ουδετέρου προκαλούν μεγάλη αύξηση της αντίστασης των καλωδίων και σημαντικές απώλειες λόγω δινορευμάτων στις μεταλλικές σχάρες [16].

Η γραμμή τροφοδοσίας που χρησιμοποιεί ένας πελάτης που εκχύνει αρμονικές στο δίκτυο χρησιμοποιείται και από άλλους πελάτες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η χρήση του ενός πελάτη να επηρεάζει την Ποιότητα Ισχύος των υπόλοιπων πελατών. Για αυτό το λόγο πολλά από τα Πρότυπα Ποιότητας Ισχύος θέτουν όρια στον αριθμό των αρμονικών ρευμάτων που μπορούν να εκχύνουν στο σύστημα [1].

Ο πίνακας 3.5 παρουσιάζει μερικά τέτοια μη-γραμμικά φορτία και την αντίστοιχη τυπική κυματομορφή τους καθώς και το THD (Total Harmonic Distortion), ένα μέγεθος που θα ορίσουμε στην επόμενη υποενότητα και μας βοηθάει να ποσοτικοποιούμε την παραμόρφωση των κυματομορφών τάσης-ρεύματος.

Τύπος φορτίου	Τυπική κυματομορφή	Παραμόρφωση ρεύματος, THD <sub>v</sub>
Μονοφασικό τροφοδοτικό		80% (υψηλή 3 <sup>η</sup> αρμονική)
Ημιανορθωτής		Υψηλή 2 <sup>η</sup> , 3 <sup>η</sup> , 4 <sup>η</sup> σε μερικό φορτίο
Ανορθωτής 6 παλμών, με χωρητική εξομάλυνση, χωρίς πηνίο σειράς		80%
Ανορθωτής 6 παλμών, με χωρητική εξομάλυνση, με πηνίο σειράς > 3%, ή τροφοδοσία dc κινητήρα		40%
Ανορθωτής 6 παλμών, με μεγάλο πηνίο για εξομάλυνση ρεύματος		28%
Ανορθωτής 12 παλμών		15%
Ρυθμιστής ac τάσης		Ανάλογα με την γωνία έναυσης
Λαμπτήρες φθορισμού		17%

Εικόνα 11: Διάφορα μη γραμμικά φορτία με την αντίστοιχη κυματομορφή τους και τη Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση που προκαλούν

### 3.4 Individual and Total Harmonic Distortion (THD) [1]

Όπως αναφέραμε, η ύπαρξη αρμονικών αποτελεί πηγή προβλημάτων για ένα σύστημα. Για αυτό το λόγο πρέπει να ορίσουμε μεγέθη με τα οποία θα μπορούμε να έχουμε ποσοτική θεώρηση της ύπαρξης αρμονικών στο σύστημα και να προβλέψουμε πόσο αυτές θα το επηρεάσουν. Τα δύο αυτά μεγέθη είναι το IHD (Individual Harmonic Distortion) και THD (Total Harmonic Distortion).

IHD ορίζεται ο λόγος της RMS τιμής της αρμονικής προς την RMS τιμή της θεμελιώδους (1ης αρμονικής) :

$$IHD_n = I_n / I_1$$

### Παράδειγμα:

Έστω ότι η RMSτιμή της τρίτης αρμονικής ρεύματος ενός μη γραμμικού φορτίου είναι 20 A , η RMSτιμή της πέμπτης αρμονικής είναι 15 A και η RMSτιμή της θεμελιώδους είναι 60A. Τότε η IHD3είναι:

$$IHD3= 20/60 = 0.333 \text{ ή } 33.3\%,$$

$$\text{η } IHD5\text{είναι : } IHD5= 15/60 = 0.25 \text{ ή } 25\%$$

THDείναι το μέγεθος που χρησιμοποιούμε για να περιγράψουμε πόσο αποκλίνει μία κυματομορφή από τα ιδανικά τριγωνομετρικά χαρακτηριστικά και ορίζεται ως ο λόγος της RMSτιμής των αρμονικών προς την RMSτιμή της θεμελιώδους (1ης αρμονικής) :

$$I_H = \sqrt{(I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + I_6^2 + I_7^2 + \dots)}$$

$$THD= (I_H/I_1) * 100\%$$

Παράδειγμα :

$$1\eta \text{ αρμονική} = V1 = 114V$$

$$3\eta \text{ αρμονική} = V3= 4V$$

$$5\eta \text{ αρμονική} = V5= 2V$$

$$7\eta \text{ αρμονική} = V7= 1.5V$$

$$9\eta \text{ αρμονική} = V9= 1V$$

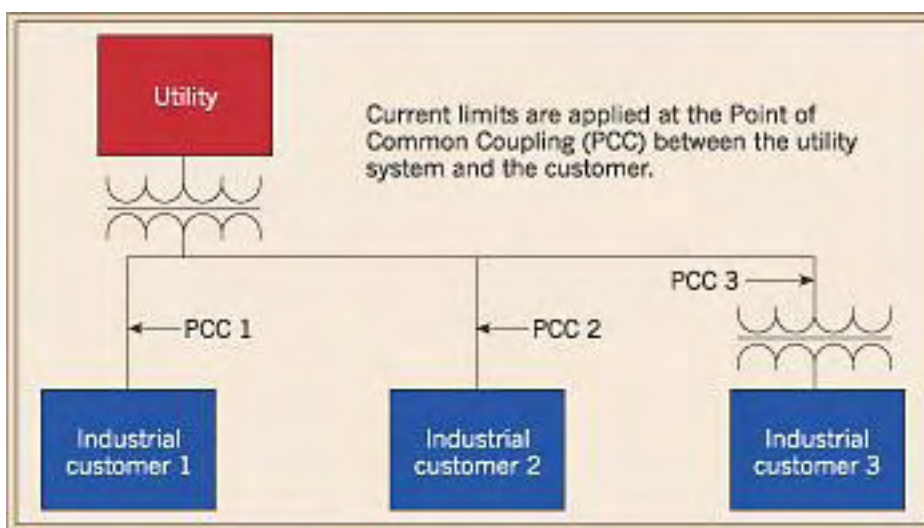
$$RMS\text{τιμή των αρμονικών} = V_H = \sqrt{(4^2 + 2^2 + 1.5^2 + 1^2)} = 4.82\%$$

Και τα δύο μεγέθη είναι σημαντικές παράμετροι. Η IHD μας δείχνει τη συνεισφορά κάθε αρμονικής συχνότητας στη παραμόρφωση της κυματομορφής και τη χρησιμοποιούμε για να λύσουμε το πρόβλημα των αρμονικών επεμβαίνοντας συγκεκριμένα. Η THDπαρόλο που δε μας δίνει συγκεκριμένες πληροφορίες για κάθε αρμονική, βοηθά να υπολογίσουμε το βαθμό ρύπανσης ενός ενεργειακού συστήματος από αρμονικές.

### 3.5 Τρόποι Αντιμετώπισης και Μείωσης του Προβλήματος Αρμονικών [1]

Δύο είναι οι κύριοι λόγοι που θέλουμε να μετριάσουμε το Πρόβλημα των Αρμονικών. Ο πρώτος είναι ότι ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός θα αποδώσει καλύτερα σε ένα περιβάλλον με λίγα αρμονικά ρεύματα. Ο δεύτερος είναι η παροχή υψηλότερης Ποιότητας Ισχύος στους καταναλωτές ενός δικτύου καθώς η χρήση του ενός δε θα έχει αρνητικό αντίκτυπο στη χρήση των υπόλοιπων καταναλωτών της ίδια γραμμής.

Το πρότυπο IEEE 519 [18] παρέχει όρια για τα αρμονικά ρεύματα στο PCC (PointofCommonCoupling, Εικόνα 12) δηλαδή στο σημείο σύζευξης των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας με τη παραγωγής ενέργειας. Η αρχή της χρήσης του PCC ως σημείο αναφοράς είναι απλή. Η έκχυση αρμονικών ρευμάτων στο PCC καθορίζει πόσο μία εγκατάσταση επηρεάζει τους υπόλοιπους καταναλωτές και την τροφοδοσία. Ο Πίνακας 13 παρουσιάζει τα όρια του προτύπου IEEE 519 και δείχνει ότι όσο περισσότερο αυξάνεται η αναλογία του μέγιστου ρεύματος βραχυκυκλώματος στο PCC προς το μέγιστο ζητούμενο ρεύμα φορτίου, τόσο αυξάνονται και τα όρια των ποσοστών των αρμονικών ρευμάτων. Αυτό σημαίνει ότι οι καταναλωτές μεγάλων ποσών ενέργειας μπορούν να εκχύσουν στο σύστημα μόνο ένα μικρό ποσοστό αρμονικών ρευμάτων (ως ποσοστό του θεμελιώδους ρεύματος). Αυτό μετριάξει τα ποσά αρμονικών ρευμάτων που εκχύνονται στο PCC από βιομηχανικές εγκαταστάσεις και καταναλωτές μέσης τάσης.



Εικόνα 12 : Σημεία PCC πάνω σε ένα ενεργειακό δίκτυο [17]

$I_{sc}/I_L$	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	THD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Εικόνα 13: Όρια αρμονικών όπως ορίζονται από το πρότυπο IEEE 519

Note:  $I_{sc}$  είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης στο PCC;  $I_L$  είναι η θεμελιώδης συχνότητα του μέγιστου ρεύματος φορτίου στο PCC ( μέση τιμή ρεύματος μέγιστης ζήτησης των τελευταίων 12 μηνών) ;  $h$  είναι ο αριθμός αρμονικής; THD είναι η συνολική αρμονική παραμόρφωση βασισμένη στο μέγιστο ρεύμα φορτίου. Ο πίνακας αναφέρεται στις περιττές αρμονικές. Οι άρτιες αρμονικές περιορίζονται στο 25% των ορίων των περιττών αρμονικών που δείχνει ο παραπάνω πίνακας.

### 3.5.1 Σχεδίαση Εξοπλισμού

Η χρήση ηλεκτρονικών συσκευών αυξάνεται σταθερά. Έχει υπολογιστεί ότι το 2010 το 70% του ενεργειακού φόρτου μίας εγκατάστασης θα οφείλεται σε μη-γραμμικά φορτία. Η αύξηση αυτή ασκεί όλο και μεγαλύτερη πίεση στους κατασκευαστές ηλεκτρονικών συσκευών να καταφέρουν να μειώσουν τις παραμορφώσεις που προκαλούν τα ηλεκτρονικά προϊόντα τους μέσω έκχυσης αρμονικών στο σύστημα. Σημαντικές τεχνολογικές βελτιώσεις έχουν γίνει στα λάμπες φθορισμού, στους ρυθμιστές ταχύτητας μηχανημάτων, στους φορτιστές μπαταριών και στα UPS. Παρόλα αυτά, στο τομέα των πληροφορικών συστημάτων και τους υπολογιστές, οι τιμές είναι αρκετά ανταγωνιστικές και καμία εταιρεία δε σκέφτεται να προχωρήσει σε αλλαγές με σκοπό τροφοδοτικά με χαμηλή παραγωγή αρμονικών ρευμάτων καθώς η σχεδίαση τέτοιων τροφοδοτικών προσθέτει κόστος.

Οι σημαντικές συχνότητες αρμονικών ρευμάτων που παράγονται σε συσκευές μετατροπής ισχύος (UPS, ASD, Inverters κλπ) μπορούν να περιγραφούν από τον τύπο :

$$n = kq \pm 1$$

όπου πείναι μία σημαντική αρμονική συχνότητα, κείναι ένα θετικός ακέραιος (1,2,3 κλπ.) και είναι ο παλμικό αριθμό ενός εξοπλισμού μετατροπής ισχύος ο οποίος υπολογίζεται από τον αριθμό των παλμών σε μία ακολουθία ενεργειακής μετατροπής. Δηλαδή, ένας τριφασικός ανορθωτής έχει 6 παλμούς οπότε παλμικό αριθμό 6. Αυτή η συσκευή μετατροπής ενέργειας παράγει τις παρακάτω αρμονικές :

**Για  $k=1$ ,  $n=(1 * 6) \pm 1 = 5η$  και  $3η$  αρμονική**

**Για  $k=2$ ,  $n=(2 * 6) \pm 1 = 11η$  και  $13η$  αρμονική**

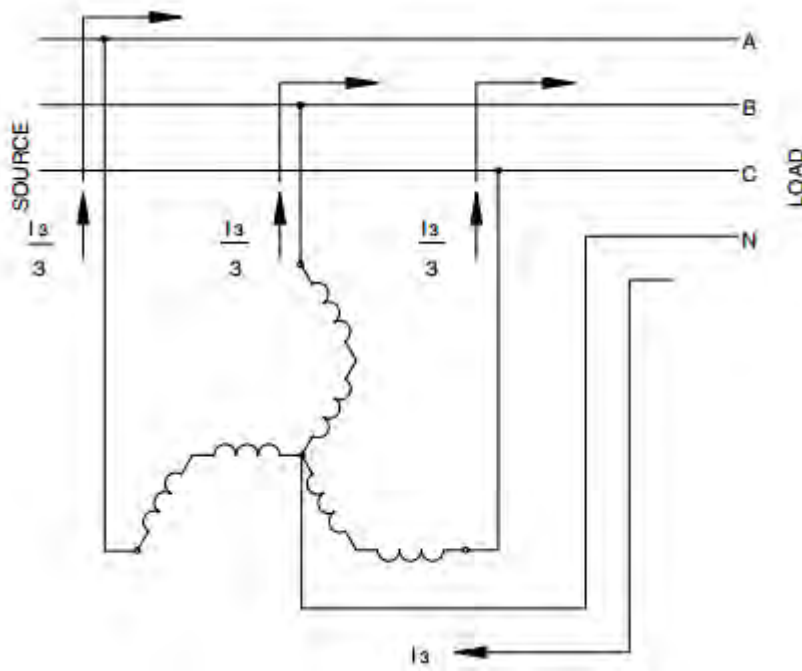
Για τη συσκευή αυτή οι αρμονικές κάτω από την 5η είναι ασήμαντες. Επίσης, όσο αυξάνεται ο αρμονικός αριθμός τόσο ελαττώνεται η IHD λόγω της αύξησης της αντίστασης που συναντάται σε συνιστώσες υψηλής συχνότητας. Έτσι για μία συσκευή 6 παλμών η 5η αρμονική θα είναι η μεγαλύτερη :

$$I_{13} < I_{11} < I_7 < I_5$$

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι σε μία συσκευή 12 παλμών οι αρμονικές κάτω από την 11η θα είναι ασήμαντες ενώ η συνολική αρμονική παραμόρφωση θα είναι μικρή. Όμως το κόστος μίας συσκευής 12 παλμών είναι μεγαλύτερο από αυτό μίας 6 παλμών.

### 3.5.2 Ακύρωση Αρμονικών Ρευμάτων

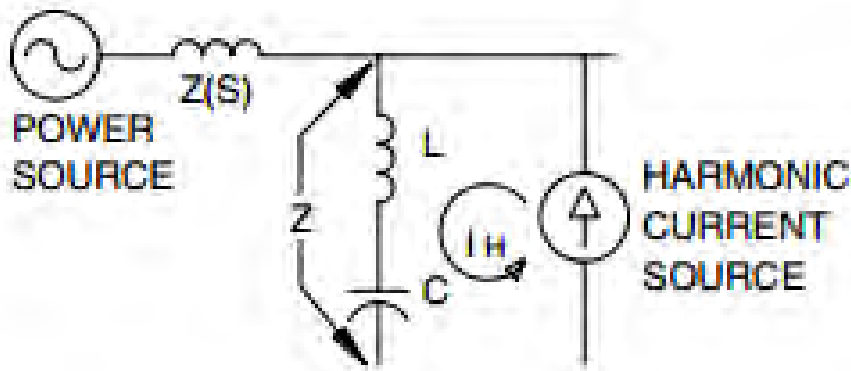
Τα αρμονικά ρεύματα πολλαπλάσια του 3 (triplen harmonics currents, 3η, 9η, 15η κτλ.) είναι ρεύματα τα οποία μπορούν να παγιδευτούν αποτελεσματικά με μία τροποποίηση στην συνδεσμολογία ενός μετασχηματιστή που ονομάζεται zigzag connection. Στα συστήματα ενέργειας, τα triplen harmonics currents μπαίνουν στον ουδέτερο όμως με τη συνδεσμολογία zigzag μένουν μακριά από τη πηγή όπως δείχνει και η Εικόνα 14.



Εικόνα 14: Χρήση μετασχηματιστή zigzag με σκοπό την παγίδευση των τριπλών αρμονικών μακριά από τη πηγή [1]

### 3.5.3 Φίλτρα Αρμονικών

Ο μόνος τρόπος που μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι οι αρμονικές που παράγονται από μη-γραμμικά φορτία δε θα επηρεάσουν το υπόλοιπο σύστημα, είναι χρησιμοποιώντας φίλτρα. Τα φίλτρα αρμονικών χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Τα παθητικά φίλτρα και τα ενεργά. Τα παθητικά φίλτρα χρησιμοποιούν αντιστάσεις, πυκνωτές και πηνία. Ο συνδυασμός αυτών στοχεύει στο φιλτράρισμα των επιθυμητών συχνοτήτων όπως φαίνεται στην Εικόνα 15. Έχουμε επιλέξει έναν πυκνωτή και ένα πηνίο ώστε να σχηματίσουν μικρή αντίσταση κατάλληλη για να αποκόψει την επιθυμητή συχνότητα. Λόγω της χαμηλότερης αντίστασης τους σε σχέση με την αντίσταση της πηγής, η αρμονικό ρεύμα αυτής της συχνότητας θα κυκλοφορεί μεταξύ φορτίου και φίλτρου και δε θα επηρεάσει τη πηγή.



Εικόνα 15: Παθητικό φίλτρο αντιμετώπισης αρμονικών [1]

Η τοποθέτηση των φίλτρων πρέπει να είναι προσεχτική. Απαιτείται πρώτα προσομοίωση του συστήματος σε υπολογιστή διότι πολλές φορές το αποτέλεσμα μπορεί να είναι χειρότερο από τη κατάσταση που προσπαθούμε να διορθώσουμε. Αυτό συμβαίνει επειδή τα φίλτρα δημιουργούν ένα παράλληλο κύκλωμα συντονισμού με την αντίσταση της πηγής.

Τα ενεργά φίλτρα, αναλύουν το παραμορφωμένο σήμα και συνδυάζοντάς το με αρμονικά ρεύματα κατάλληλης συχνότητας που τραβούν από τη πηγή, λόγω μετατόπισης φάσης, ακυρώνουν τις αρμονικές στο φορτίο. Το πλεονέκτημα των ενεργών φίλτρων σε σχέση με τα παθητικά είναι ότι μπορούν να προσαρμοστούν στις συνθήκες που συνεχώς αλλάζουν λόγω αύξησης έκχυσης αρμονικών στο σύστημα, ενώ τα παθητικά φίλτρα σχεδιάζονται εξ αρχής μόνο για μία συγκεκριμένη κατάσταση. Ακόμα, η τοποθέτηση των ενεργών φίλτρων δεν προϋποθέτει κάποια ειδική μελέτη αφού δεν επηρεάζουν με τη λειτουργία τους το σύστημα. Όμως, το κόστος τους είναι υψηλό γι' αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεγάλες εγκαταστάσεις.



# **Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>**

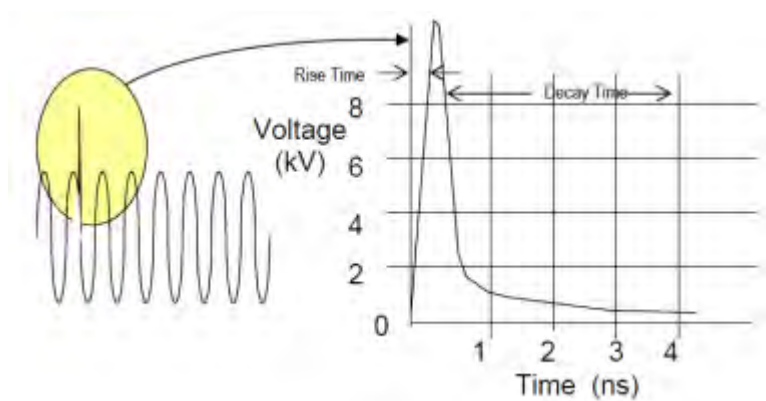
## **Διαταραχές Ποιότητας Ισχύος**

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Διαταραχές Ποιότητας Ισχύος

### 4.1 Μεταβατικές Υπερτάσεις (Transients)

Ο όρος μεταβατική υπέρταση –στην αγγλική ορολογία transient- χρησιμοποιείται στην ανάλυση Ποιότητας Ισχύος για να περιγράψει μία ανεπιθύμητη, γρήγορης και βραχείας διάρκειας διαταραχή στην τάση ή στο ρεύμα[19]. Τα χαρακτηριστικά και οι κυματομορφές των μεταβατικών υπερτάσεων εξαρτώνται από το σύστημα παραγωγής ενέργειας και τις παραμέτρους του ηλεκτρικού δικτύου (π.χ., αντίσταση, επαγωγή και χωρητικότητα) στο σημείο ενδιαφέροντος. Οι μεταβατικές υπερτάσεις μπορούν να ταξινομηθούν με βάση διάφορα χαρακτηριστικά τους όπως πλάτος, διάρκεια, χρόνος ανόδου, πλάτος φασματικής πυκνότητας ή συχνότητα εμφάνισης[5]. Οι μεταβατικές υπερτάσεις συνήθως χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στις κρουστικές υπερτάσεις (impulsive transients) και στις υπερτάσεις με αποσβεννύμενη ταλάντωση (oscillatory transients).

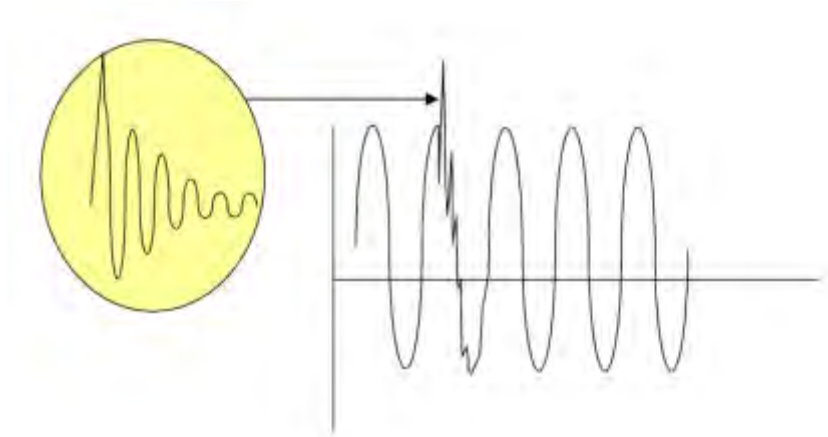
Οι κρουστικές υπερτάσεις (impulsive transients) είναι απότομες μεταβολές στη μόνιμη κατάσταση της τάσης, του ρεύματος ή και των δύο, οι οποίες δεν προκαλούν αλλαγή στην συχνότητα του συστήματος και είναι μίας κατεύθυνσης στην πολικότητα (είτε θετική είτε αρνητική, κυρίως θετική). Η πιο κοινή αιτία των κρουστικών υπερτάσεων είναι οι κεραυνοί. Οι κρουστικές υπερτάσεις είναι πολύ γρήγορες, μικρότερες από 50ns. Οι κρουστικές υπερτάσεις μπορούν να διεγείρουν τα κυκλώματα συντονισμού ισχύος του συστήματος και να παράγουν το άλλο είδος μεταβατικών υπερτάσεων - υπερτάσεις με αποσβεννύμενη ταλάντωση[19]. Η Εικόνα 16 παρουσιάζει μια τυπική μορφή κρουστικής υπέρτασης.



Εικόνα 16: Τυπική μορφή κρουστικής υπέρτασης[5]

Οι υπερτάσεις με αποσβεννύμενη ταλάντωση (oscillatory transients) αποτελούν ξαφνική αλλαγή της σταθερής κατάστασης της τάσης, του ρεύματος ή και των δύο, χωρίς να μεταβάλλεται η συχνότητα του συστήματος, τόσο προς τη θετική όσο και προς την αρνητική κατεύθυνση στην πολικότητα. Μια υπέρταση με αποσβεννύμενη ταλάντωση συνίσταται σε τάση ή ρευμάτων οποίων η στιγμιαία τιμή

αλλάζει πολικότητα ραγδαία. Το φαινόμενο αυτό περιγράφεται από το φασματικό περιεχόμενο, τη συχνότητα και το πλάτος. Οι υπερτάσεις με αποσβεννύμενη ταλάντωση κατηγοριοποιούνται με βάση το φασματικό τους περιεχόμενο σε χαμηλής, μεσαίας και υψηλής συχνότητας. Ταλαντώσεις με αυτή η κατηγορία διαταραχών συναντάται συχνά σε συστήματα διανομής κυρίως λόγω ζεύξης και απόζευξης συσκευών, συστοιχιών πυκνωτών κ.ά.[19]. Η Εικόνα 17 παρουσιάζει μία τυπική μορφή υπέρτασης με αποσβεννύμενη ταλάντωση.



Εικόνα 17: Τυπική μορφή υπέρτασης με αποσβεννύμενη ταλάντωσης [5]

## 4.2 Παραμόρφωση Κυματομορφής (Waveform Distortion) [19]

Με τον όρο παραμόρφωση κυματομορφής εννοούμε την παρέκκλιση από μία ιδανική μορφή κύματος ημιτόνου της συχνότητας ισχύος. Υπάρχουν πέντε τύποι παραμορφώσεων:

- Παρουσία συνεχούς τάσης DC offset
- Αρμονική Παραμόρφωση (Harmonics)
- Ενδιάμεσες Αρμονικές (Interharmonics)
- Εγκοπές (Notching)
- Θόρυβος (Noise)

Τις παραμορφώσεις που οφείλονται στην ύπαρξη αρμονικών και ενδιάμεσων αρμονικών τις αναλύσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

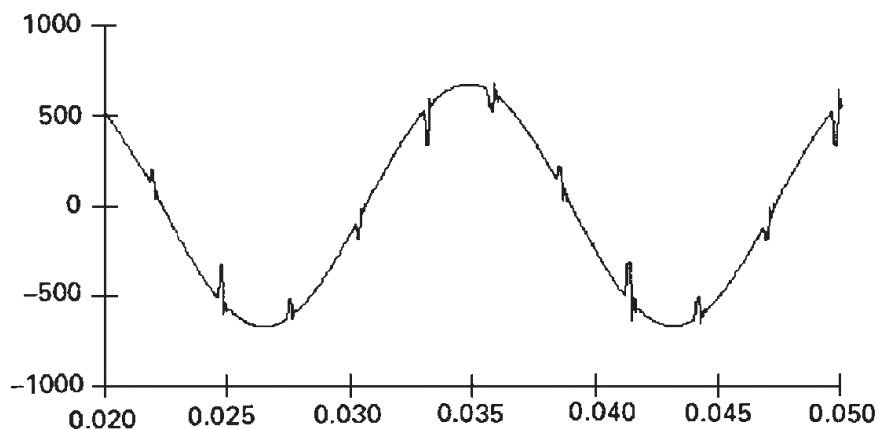
### 4.2.1 Παρουσία Συνεχούς Τάσης (DC offset)

Η παρουσία μίας συνεχούς τάσης ή ρεύματος σε ένα σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος ονομάζεται DC offset. Αυτό μπορεί να συμβεί ως αποτέλεσμα μιας γεωμαγνητικής διαταραχής ή ασυμμετρίας των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος. Παρουσία συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο

δίκτυο μπορεί να έχει δυσμενή επίδραση λόγω της πτώσης των πυρήνων των μετασχηματιστών, έτσι ώστε να κορεστούν σε κανονική λειτουργία. Αυτό προκαλεί επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας και μειώνει το χρόνο ζωής του μετασχηματιστή. Το συνεχές ρεύμα μπορεί επίσης να προκαλέσει την ηλεκτρολυτική διάβρωση των ηλεκτροδίων γείωσης και άλλων συνδέσεων.

#### 4.2.2 Εγκοπές (Notching)

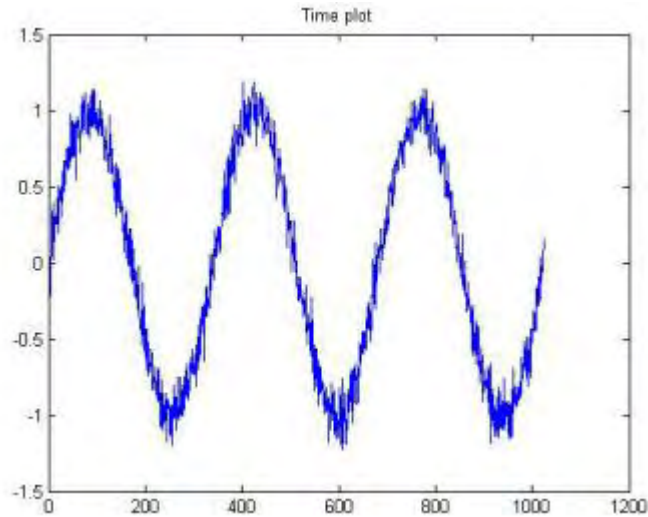
Οι Εγκοπές είναι μια περιοδική διαταραχή της τάσης που προκαλούνται από την κανονική λειτουργία των ηλεκτρονικών συσκευών ισχύος όταν το ρεύμα μεταλλάσσεται από τη μία φάση στην άλλη. Η εικόνα 18 δείχνει ένα παράδειγμα εγκοπών τάσης από έναν μετατροπέα τριών φάσεων που παράγει συνεχές ρεύμα DC. Οι εγκοπές συμβαίνουν όταν το ρεύμα μεταλλάσσεται από τη μία φάση στην άλλη. Κατά την περίοδο αυτή, δημιουργείται στιγμιαίο βραχυκύκλωμα μεταξύ δύο φάσεων, τραβώντας την τάση όσο πιο κοντά στο μηδέν επιτρέπει σύνθετη αντίσταση του συστήματος.



Εικόνα 18: Παράδειγμα Εγκοπών [19]

#### 4.2.3 Θόρυβος (Noise)

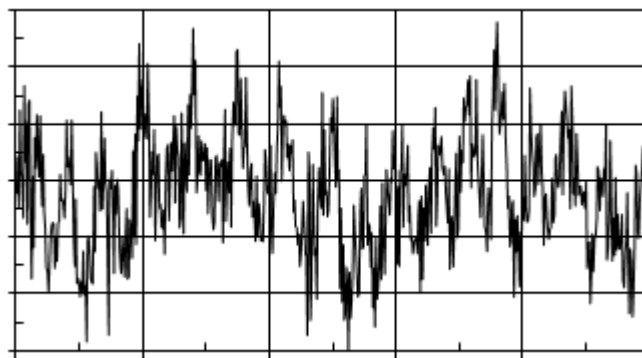
Ως θόρυβος ορίζονται ανεπιθύμητα ηλεκτρικά σήματα με ευρυζωνικό φασματικό περιεχόμενο μικρότερο από 200 kHz τα οποία υπερτίθενται στην τάση ή το ρεύμα του συστήματος. Θόρυβος στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να προκληθεί από ηλεκτρονικά ισχύος, κυκλώματα ελέγχου, εξοπλισμό ηλεκτρικού τόξου κ.ά. Τα σχετικά με το θόρυβο προβλήματα επιδεινώνονται αν η γείωση είναι ακατάλληλη, καθώς αποτυγχάνει η απομόνωση του θορύβου από το ηλεκτρικό σύστημα. Ο θόρυβος επηρεάζει κυρίως μικροϋπολογιστές και προγραμματιζόμενους ελεγκτές. Το πρόβλημα του θορύβου μπορεί να μετριαστεί χρησιμοποιώντας φίλτρα, μετασχηματιστές απομόνωσης και συντηρητές γραμμής.



Εικόνα 19: Θόρυβος [5]

### 4.3 Διακυμάνσεις τάσης (Voltage Fluctuations) και Flicker [5]

Αν ποικίλλει το μέγεθος της τάσης, τότε κανονικά θα ποικίλλει και η ροή ισχύος στον εξοπλισμό. Η απόδοση του εξοπλισμού μπορεί να επηρεαστεί, αν οι διακυμάνσεις είναι αρκετά μεγάλες ή σε μια ορισμένη κρίσιμη περιοχή συχνοτήτων. Περιπτώσεις στις οποίες οι διακυμάνσεις τάσης επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορτίου είναι σπάνιες, με εξαίρεση το φορτίο φωτισμού. Αν η φωτεινότητα ενός λαμπτήρα διαφέρει στις συχνότητες μεταξύ περίπου 120Hz και 10 Hz, τα μάτια μας είναι πολύ ευαίσθητα σε αυτό το φαινόμενο και πάνω από ένα ορισμένο μέγεθος της τάσης το "τρεμόπαιγμα" του φωτός γίνεται ενοχλητικό. Είναι αυτή η ευαισθησία του ανθρώπινου ματιού, η οποία εξηγεί το ενδιαφέρον για αυτό το φαινόμενο. Η γρήγορη μεταβολή του μεγέθους της τάσης ονομάζεται "διακύμανση τάσης-voltage fluctuation", ενώ το οπτικό ερέθισμα όπως αυτό γίνεται αντιληπτό από τον εγκέφαλό μας ονομάζεται "τρεμόπαιγμα" του φωτός-light flicker. [5]



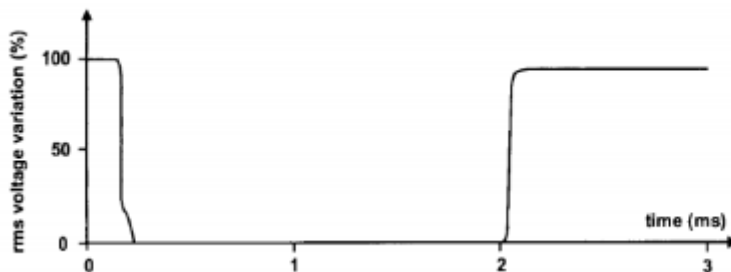
Εικόνα 20 : Διακύμανση τάσης που οφείλεται σε ηλεκτρικό κλίβανο [19]

## 4.4 Διαταραχές τάσης μικρής διάρκειας

Οι μικρής διάρκειας διαταραχές της τάσης προκαλούνται από σφάλματα, την ενεργοποίηση μεγάλων φορτίων που απαιτούν υψηλά ρεύματα εκκίνησης ή από διακοπόμενες χαλαρές συνδέσεις των καλωδίων. Ανάλογα με το σημείο του σφάλματος και τις συνθήκες του συστήματος, το σφάλμα μπορεί να προκαλέσει είτε βυθίσεις τάσης (sags), είτε υπερτάσεις (swells), είτε διακοπές τάσης (interruptions).

### 4.4.1 Διακοπές Τάσης (Interruptions)

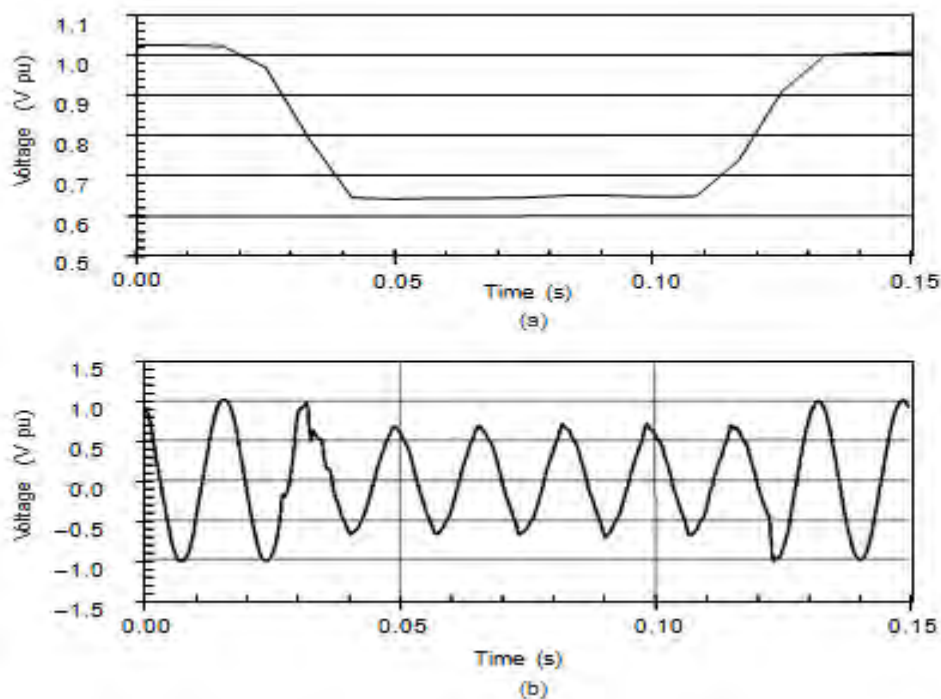
Διακοπή συμβαίνει όταν η τάση τροφοδοσίας ή το ρεύμα φορτίου γίνεται μικρότερο από 0.1 pu μέσα σε χρονικό διάστημα που δεν ξεπερνά το ένα λεπτό. Οι διακοπές τάσης μπορεί να οφείλονται σε σφάλματα του συστήματος ισχύος, σε βλάβες του εξοπλισμού ή σε δυσλειτουργία των συστημάτων ελέγχου. Η διάρκεια μιας διακοπής λόγω σφάλματος του συστήματος καθορίζεται από το χρόνο λειτουργίας των συσκευών προστασίας του συστήματος. Στιγμαία επαναφορά του συστήματος μετά από ένα σφάλμα γενικά θα περιορίσει το χρόνο της διακοπής σε λιγότερο από 30 κύκλους. Καθυστερημένη επαναφορά του συστήματος προστασίας μπορεί να προκαλέσει μια στιγμιαία ή προσωρινή διακοπή. Η διάρκεια μιας διακοπής τάσης εξαιτίας δυσλειτουργιών του εξοπλισμού ή χαλαρών συνδέσεων μεταξύ των καλωδίων μπορεί να είναι ακανόνιστη.



Εικόνα 21: Διακοπή Τάσης διάρκειας 2ms [5]

### 4.4.2 Βυθίσεις Τάσης (Sags)

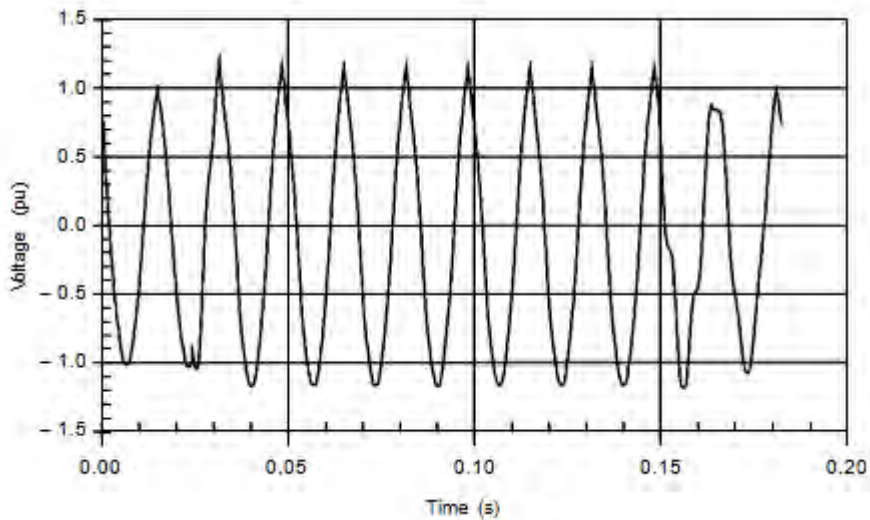
Η βύθιση τάσης είναι η μείωση της ενεργού τιμής της τάσης μεταξύ 0.1 και 0.9 pu. Οι βυθίσεις τάσης διαρκούν από μισό κύκλο μέχρι ένα λεπτό. Προκαλούνται συνήθως από ενεργοποίηση μεγάλων φορτίων, εκκίνηση μεγάλων επαγωγικών μηχανών, βραχυκυκλώματα μίας φάσης με τη γη, μεταφορά φορτίου από μια πηγή ισχύος σε άλλη και ηλεκτρίση μετασχηματιστών. Οι βυθίσεις τάσης είναι ο κυριότερος λόγος δυσλειτουργιών των ηλεκτρικών συσκευών χαμηλής τάσης. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται επιπτώσεις στις διατάξεις των ηλεκτρονικών ισχύος, στη λειτουργία των κινητήρων και συστημάτων ελέγχου (PLC). Οι επιπτώσεις αυτής της διαταραχής αντιμετωπίζονται με χρήση συσκευών αποθήκευσης ενέργειας (UPS) ή υποστήριξης της τάσης (DVR).



Εικόνα 22: (α) Κυματομορφή ενεργούς τιμής (RMS) τάσης κατά το συμβάν βύθισης τάσης (β)Κυματομορφή βύθισης τάσης [19]

#### 4.4.3 Υπερτάσεις μικρής διάρκειας (Swells)

Μια υπέρταση μικρής διάρκειας ή στιγμιαία υπέρταση ορίζεται ως μία αύξηση μεταξύ 1,1 και 1,8 pu στην rms τιμή της τάσης ή του ρεύματος στη συχνότητα ισχύος για διάρκειες από 0,5 κύκλους μέχρι 1 λεπτό. Όπως και με τις βυθίσεις τάσης, οι υπερτάσεις μικρής διάρκειας συνήθως συνδέονται με συνθήκες σφάλματος του συστήματος, αλλά δεν είναι τόσο κοινή διαταραχή όσο η βύθιση τάσης. Μια αιτία υπέρτασης είναι η προσωρινή αύξηση τάσης στις υγιείς φάσεις κατά τη διάρκεια ενός μονοφασικού με τη γη βραχυκυκλώματος. Υπέρταση μπορεί επίσης να προκληθεί από την απενεργοποίηση ενός μεγάλου φορτίου ή την ενεργοποίηση μιας μεγάλης συστοιχίας πυκνωτών. Οι υπερτάσεις χαρακτηρίζονται από το μέγεθός τους (ενεργός τιμή) και τη διάρκειά τους. Η σοβαρότητα της διαταραχής της υπέρτασης κατά τη διάρκεια σφάλματος είναι μία συνάρτηση της θέσης του σφάλματος, της αντίστασης του συστήματος και της γείωσης. Οι υπερτάσεις μικρής διάρκειας αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο που αντιμετωπίζονται και οι βυθίσεις τάσης, δηλ. με UPS και διατηρητές ισχύος.



Εικόνα 23: Κυματομορφή τάσης κατά το συμβάν της υπέρτασης μικρής διάρκειας

## 4.5 Διαταραχές τάσης μεγάλης διάρκειας

Η απόκλιση της ενεργού τιμής της τάσης από την ονομαστική της τιμή για περισσότερο από ένα λεπτό ονομάζεται διαταραχή τάσης μεγάλης διάρκειας. Οι κυριότερες αιτίες των διαταραχών τάσης μεγάλης διάρκειας είναι οι μεταβολές των φορτίων και οι διακοπτικές λειτουργίες του συστήματος. Το πρότυπο IEEE-1159 [20] χωρίζει τις διαταραχές μεγάλης διάρκειας σε τρεις κατηγορίες: διακοπές τάσης μεγάλης διάρκειας (sustained interruption), βυθίσεις τάσης μεγάλης διάρκειας (undervoltage) και υπερτάσεις μεγάλης διάρκειας (overvoltage).

### 4.5.1 Υπερτάσεις μεγάλης διάρκειας ( Overvoltage)

Η υπέρταση (μεγάλης διάρκειας) είναι μια αύξηση της RMS τιμής της τάσης μεγαλύτερη από 110% στη συχνότητα της ισχύος για διάρκεια περισσότερο από 1 λεπτό. Συνήθως οι υπερτάσεις είναι το αποτέλεσμα των μεταβολών φορτίου και συμβαίνουν είτε επειδή το σύστημα είναι πολύ αδύναμο για την επιθυμητή ρύθμιση της τάσης είτε επειδή οι έλεγχοι της τάσης είναι ανεπαρκείς. Σε υπερτάσεις μπορεί να οδηγήσουν επίσης λανθασμένες ρυθμίσεις στους μετασχηματιστές λήψης.

### 4.5.2 Υποτάσεις μεγάλης διάρκειας ( Undervoltage)

Η υπόταση (μεγάλης διάρκειας) είναι η μείωση της RMS τιμής της τάσης μικρότερη από 90% στο συχνότητα της ισχύος για διάρκεια περισσότερο από 1 λεπτό. Οι υποτάσεις είναι το αποτέλεσμα διακοπικών φαινομένων και είναι αντίθετα των γεγονότων που προκαλούν υπερτάσεις. Η εκκίνηση



ενός φορτίου ή η απενεργοποίηση μίας συστοιχίας πυκνωτών μπορεί να προκαλέσει υπόταση μέχρι ο εξοπλισμός ρύθμισης της τάσης του συστήματος επαναφέρει την τάση εντός των ορίων ανοχής του συστήματος. Επίσης κυκλώματα με υπέρταση μπορούν να καταλήξουν σε υποτάσεις.

#### 4.5.3 Παρατεταμένες διαταραχές τάσης (Sustained Interruptions)

Όταν η τάση τροφοδοσίας είναι μηδενική για ένα χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του ενός λεπτού, αυτή η μακράς διάρκειας μεταβολή της τάσης θεωρείται μια παρατεταμένη διακοπή. Οι διακοπές της τάσης που διαρκούν περισσότερο από 1 λεπτό είναι συχνά μόνιμες και απαιτούν ανθρώπινη παρέμβαση για την αποκατάσταση του συστήματος. Οι παρατεταμένες διακοπές τάσης είναι το σοβαρότερο και παλαιότερο πρόβλημα ποιότητας ισχύος. Ο αριθμός και η διάρκεια αυτής της διαταραχής είναι πολύ σημαντικές παράμετροι για τη μέτρηση της ικανότητας ενός συστήματος να εξυπηρετήσει τους καταναλωτές.

#### 4.6 Ασυμμετρία Τάσης ( Voltage Imbalance) [5]

Σε ένα συμμετρικό τριφασικό σύστημα οι φασικές τάσεις των τριών γραμμών είναι ίσες σε μέτρο και έχουν διαφορά φάσης μεταξύ τους κατά  $120^\circ$  (το ίδιο συμβαίνει και για τις πολικές με διαφορετικά μέτρα και γωνίες από τις φασικές αλλά ίσα μεταξύ τους και γωνίες μεγαλύτερες κατά  $30^\circ$  από τις αντίστοιχες φασικές). Ασυμμετρία τάσης εμφανίζεται είτε όταν υπάρχει διαφορά στην ενεργό τιμή της τάσης μεταξύ των φάσεων είτε όταν η γωνία μεταξύ των φάσεων αποκλίνει από τις  $120^\circ$ . Σύμφωνα με την IEEE η ασυμμετρία τάσης ορίζεται ως ο λόγος της συνιστώσας αρνητικής ή μηδενικής ακολουθίας προς τη συνιστώσα θετικής ακολουθίας της τάσης. Στην πραγματικότητα, οι τάσεις είναι σπάνια ακριβώς ισορροπημένες μεταξύ των φάσεων. Ωστόσο όταν η ασυμμετρία ξεπεράσει κάποια όρια μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα κυρίως στους τριφασικούς κινητήρες λόγω υπερθέρμανσης. Η ασυμμετρία τάσης μπορεί να δημιουργήσει ανισορροπία στο ρεύμα με τιμή 6 έως 10 φορές την τιμή της ασύμμετρης τάσης. Με τη σειρά της η ασυμμετρία στο ρεύμα παράγει θερμότητα στα τυλίγματα του κινητήρα, η οποία αποδομεί τη μόνωση του κινητήρα προκαλώντας έτσι σωρευτική και μόνιμη βλάβη. Αυτή η περίπτωση βλάβης μπορεί να οδηγήσει σε εξαιρετικά δαπανηρές διακοπές της λειτουργίας εγκαταστάσεων. Για να διορθωθεί η ασυμμετρία της τάσης χρειάζεται αναπροσαρμογή των φορτίων ή προσαρμογή της εγκατάστασης στις εισερχόμενες τάσεις.

# **Κεφάλαιο 5ο**

**Το πρότυπο**

**EN50160**

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>: Το πρότυπο EN50160

### 5.1 Παρουσίαση του προτύπου EN50160 [21]

Όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 2.5, ο διαχειριστής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα χρησιμοποιεί το πρότυπο EN50160 για τον καθορισμό των αποδεκτών ορίων Ποιότητας Ισχύος [3]. Αποτελεί ευρωπαϊκό πρότυπο και εκδόθηκε το Νοέμβριο του 1994 από τη CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) για να καθορίσει τα χαρακτηριστικά της χαμηλής και μέσης τάσης που πρέπει να παρέχεται από τα δημόσια συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Είναι σημαντικό όμως να σημειώσουμε ότι το πρότυπο EN50160 επικεντρώνεται στην ενέργεια που παρέχεται κι όχι στο σύστημα που την τροφοδοτεί. Για αυτό το λόγο σκόπιμα δεν περιλαμβάνει συγκεκριμένα όρια για ηλεκτρομαγνητικά επίπεδα συμβατότητας ούτε για τις εκπομπές ρύπων από την παραγωγή ενέργειας.

Επίσης εξαιρεί περιπτώσεις που ξεφεύγουν από τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας (δίδουμε τον ορισμό τους στην επόμενη παράγραφο) όπως:

- Ακραία καιρικά φαινόμενα και άλλες φυσικές καταστροφές
- Εμπλοκή τρίτων προσώπων
- Βιομηχανικές ενέργειες ( στο πλαίσιο νόμιμων διαδικασιών)
- Έλλειψη ενέργειας λόγω εξωγενών παραγόντων
- Ενέργειες των δημοσίων αρχών

### 5.2 Ορισμοί του EN50160 [21]

- **Συχνότητα της τάσης παροχής (Frequency of the supply voltage)**

Είναι η επαναλαμβανόμενη τιμή της θεμελιώδους αρμονικής της τάσης παροχής που μετριέται σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

- **Σημεία παροχής ( Supply points)**

Είναι τα σημεία στα οποία ο πελάτης συνδέεται στη δημόσια γραμμή.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ :** Το σημείο αυτό μπορεί να διαφέρει, για παράδειγμα μπορεί να θεωρηθεί ως το σημείο του μετρητή ή ως το σημείο σύνδεσης στην δημόσια γραμμή.

- **Χαμηλή Τάση (LV)**

Σύμφωνα με το πρότυπο ο όρος χαμηλή τάση περιλαμβάνει τις τάσεις παροχής των οποίων η ονομαστική τιμή δεν ξεπερνά τα 1000V (RMS τιμή).

- **Μέση Τάση (MV)**

Σύμφωνα με το πρότυπο ο όρος μέση τάση περιλαμβάνει τις τάσεις παροχής των οποίων η ονομαστική τιμή βρίσκεται μεταξύ 1KV και 35KV (RMS τιμή).

- **Ονομαστική τάση γραμμής (Nominal voltage of a line  $U_n$ )**

Είναι η τάση που προσδιορίζει μια γραμμή και με την οποία σχετίζονται βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά.

- **Συμφωνημένη τάση παροχής ( Agreed supply voltage  $U_c$ )**

Κανονικά η συμφωνημένη τάση παροχής είναι ίση με την ονομαστική τάση, όμως αν ο προμηθευτής της ενέργειας και ο πελάτης διαπραγματεύονται ένα σημείο παροχής του οποίου η τάση διαφέρει από την ονομαστική, τότε η τάση αυτή λέγεται συμφωνημένη τάση παροχής  $U_c$ .

- **Κανονικές συνθήκες λειτουργίας ( Normal operating conditions)**

Η κατάσταση λειτουργίας ενός δικτύου διανομής που παρέχει ικανοποίηση της απαίτησης σε ενέργεια, εκτελεί εξάλειψη των διαταραχών με αυτόματα συστήματα προστασίας χωρίς την ύπαρξη ειδικών καταστάσεων οφειλόμενων σε εξωγενείς επιδράσεις .

- **Απόκλιση τάσης ( Voltage Variations)**

Η αύξηση ή μείωση της RMS τιμής της τάσης που οφείλεται σε αλλαγές του συνολικού φορτίου μέσα σε ένα δίκτυο διανομής ή σε ένα τμήμα αυτού.

- **Γρήγορη απόκλιση τάσης ( Rapid voltage variation)**

Η αλλαγή της RMS ή της μέγιστης τιμής της τάσης μεταξύ δύο επιπέδων τάσης (με μια συγκεκριμένη αλλά απροσδιόριστη διάρκεια που οφείλεται σε αλλαγές ενός συγκεκριμένου φορτίου).

- **Διακύμανση Τάσης ( Voltage Fluctuation)**

Μια σειρά από αποκλίσεις της τάσης ή μια περιοδική αλλαγή του περιγράμματος της καμπύλης της τάσης.

- **Τρεμοσβήσιμο του φωτός ( Flicker)**

Η εντύπωση της ανακολουθίας των οπτικών αισθήσεων που προκαλείται από την διέγερση του φωτός με χρονικές διακυμάνσεις της φωτεινότητας ή της κατανομής του φάσματος.

- **Ένταση τρεμοσβήσιματος ( Flickerintensity)**

Η ένταση του flicker ορίζεται από την UIE-IEC-FLICKERMEASURINGMETHOD και εκτιμάται χρησιμοποιώντας τις εξής ποσότητες:

- βραχυπρόθεσμη ένταση (short-termflickerintensityPst) που καθορίζεται για δέκα συνεχόμενα λεπτά για κάθε μέρα της περιόδου παρατήρησης.
- μακροπρόθεσμη ένταση (long-termflickerintensityPlt) που καθορίζεται για δύο ώρες για κάθε μέρα της περιόδου παρατήρησης. Υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση η οποία εφαρμόζεται για 12 συνεχόμενες Pst τιμές με κάθε μία από αυτές να ανήκει σε ένα διάστημα 2ωρών.

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

- **Βύθιση τάσης ( Voltagedip)**

Μια απότομη πτώση της τάσης παροχής σε μια τιμή μεταξύ 90% και 1% της σύμφωνης τάσης  $U_c$ , που ακολουθείται εντός ολίγου από την αποκατάσταση της τάσης στο κανονικό επίπεδο. Κατόπιν συμφωνίας η διάρκεια της βύθισης τάσης είναι μεταξύ 10ms και 1min. Η ένταση της βύθισης τάσης ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της ενεργού τιμής της τάσης κατά την διάρκεια της βύθισης και της σύμφωνης τάσης  $U_c$ . Τέλος, αποκλίσεις της τάσης που δεν μειώνουν την τάση σε τιμές κάτω του 90% της σύμφωνης τάσης δεν νοούνται σαν βυθίσεις.

- **Διακοπήτηςπαροχής ( Interruptionofsupply)**

Είναι η κατάσταση κατά την οποία η τάση είναι μικρότερη του 1% της σύμφωνης τάσης  $U_c$  στο σημείο παροχής. Υπάρχουν δυο κατηγορίες διακοπών παροχής :

προγραμματισμένες διακοπές της παροχής, όπου ο πελάτης ενημερώνεται εκ των προτέρων και έτσι η προγραμματισμένη εργασία στο δίκτυο μπορεί να εκτελεστεί.

τυχαίες διακοπές της παροχής, που οφείλονται σε συνεχείς ή προσωρινές διαταραχές.

Η παρουσία τους συχνά σχετίζεται με εξωτερικές επιδράσεις, βλάβες του συστήματος ή άλλου τύπου διαταραχές.

Οι τυχαίες διακοπές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- μακροπρόθεσμες διακοπές(πάνω από τρία λεπτά) εξ' αιτίας μόνιμων σφαλμάτων.
- βραχυπρόθεσμες διακοπές(μέχρι τρία λεπτά) εξ' αιτίας περιοδικών σφαλμάτων.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Ο πελάτης μπορεί να ελαττώσει τις επιπτώσεις μίας προγραμματισμένης διακοπής της παροχής στο ελάχιστο λαμβάνοντας τα κατάλληλα μέτρα. Οι τυχαίες διακοπές της παροχής είναι ωστόσο απρόβλεπτα κυρίως στοχαστικά γεγονότα .

- **Παροδική υπέρταση (Temporary overvoltage)**

Είναι μια περιοδική υπέρταση σε μια συγκεκριμένη θέση με μια σχετικά μακρά διάρκεια και με ανύπαρκτη ή ελάχιστη απόσβεση.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ :** Μπορεί να προκληθεί από χειρισμό ή διαταραχές όπως ξαφνική πτώση φορτίου, μονοπολικό σφάλμα, μη γραμμικότητα κτλ.

- **Αιφνίδια υπέρταση (Transient overvoltage)**

Είναι μια βραχυπρόθεσμη περιοδική ή μη υπέρταση συνήθως έντονα αποσβεννύμενη που διαρκεί μερικά ms ή λιγότερο.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ :** Μπορεί να προκληθεί από κεραυνούς, διακόπτες ή καμένες ασφάλειες. Η διάρκεια μετώπου αυτών των τάσεων ποικίλλει μεταξύ μερικών millisecond ή και λιγότερο του ενός microsecond.

- **Αρμονική τάση (Harmonic voltage)**

Οι αρμονικές τάσεις μπορούν να εκτιμηθούν με δύο τρόπους:

**Ξεχωριστά:** Χρησιμοποιώντας τα πλάτη τους (uh) σε σχέση με το πλάτος της πρώτης αρμονικής  $U_1$  όπου h ο αύξων αριθμός της κάθε αρμονικής.

**Μαζί:** Χρησιμοποιώντας τον συντελεστή ολικής αρμονικής παραμόρφωσης T.H.D. τον οποίο παρουσιάσαμε στο Κεφάλαιο 3.4.

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} u_h^2}$$

- **Ενδιάμεση αρμονική τάση ( Interharmonic Voltage)**

Είναι μια ημιτονοειδής τάση με συχνότητα που βρίσκεται μεταξύ των συχνοτήτων των αρμονικών, δηλαδή η συχνότητα της τάσης δεν είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της συχνότητας της πρώτης αρμονικής.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Οι ενδιάμεσες αρμονικές παρακείμενων συχνοτήτων μπορούνε να εμφανιστούν ταυτόχρονα, σχηματίζοντας έτσι μία ευρεία ζώνη.

- **Ανισοροπία τάσης ( Voltage imbalance)**

Είναι μία κατάσταση εντός ενός τριφασικού δικτύου, όπου οι ενεργές τιμές των φασικών τάσεων και οι γωνίες μεταξύ διαδοχικών φάσεων δεν είναι ίσες.

- **Υπερθετημένα σήματα τάσεων ( Superimposed signaling voltages)**

Πρόκειται για σήματα τα οποία υπερθέτουμε την τάση παροχής η οποία χρησιμοποιείται για μετάδοση πληροφοριών, κατά μήκος του δημόσιου δικτύου παροχής, προς τον καταναλωτή.

Υπάρχουνε τρεις τύποι σημάτων τάσης εντός των δημοσίων δικτύων διανομής :

- **Audiofrequency ripple control signals (κυματικά διαδιδόμενα ηχητικά σήματα ελέγχου):**

Πρόκειται για ημιτονοειδή σήματα τάσης τα οποία υπερθέτουν την τάση παροχής σε ένα εύρος συχνοτήτων από 110Hz έως 3000Hz.

- **Carrier frequency signals (Φέροντα σήματα συχνότητας ) :**

Πρόκειται για ημιτονοειδή σήματα τάσης τα οποία υπερθέτουν την τάση παροχής σε ένα εύρος συχνοτήτων από 3kHz έως 148.5kHz.

Signal marks on the supply voltage (ίχνη σημάτων στην τάση παροχής ) :

Πρόκειται για μικρής διάρκειας μεταβολές (transients) τα οποία υπερθέτουμε την τάση παροχής σε επιλεγμένα σημεία της καμπύλης της τάσης .

- **Οδεύουσες διαταραχές γραμμών ( Line travelling disturbances)**

Πρόκειται για ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα που διαδίδονται στα δίκτυα μέσω των γραμμών τους. Μερικές φορές τα φαινόμενα αυτά οδεύουν μέσω μετασχηματιστών και προσβάλλουν

δίκτυα με διαφορετικό επίπεδο τάσης. Αυτές οι διαταραχές μπορεί να μειώσουν την λειτουργικότητα συσκευών, μονάδων και συστημάτων και να προκαλέσουν σε αυτά ζημιά.

### 5.3 Χαρακτηριστικά Ποιότητας Ισχύος σύμφωνα με το EN50160 [21]

Το EN50160 χωρίζει τα χαρακτηριστικά Ποιότητας Ισχύος σε δύο κατηγορίες :

- Χαρακτηριστικά τα οποία αποτελούν μετρήσιμα μεγέθη
  - Συχνότητα παροχής (Frequency of the supply voltage)
  - Αποκλίσεις τάσεις
  - Γρήγορες αποκλίσεις τάσης
  - Διακυμάνσεις τάσεις (Flicker)
  - Ανισοροπία των τριών φάσεων
  - Αρμονική παραμόρφωση της κυματομορφής τάσης (THD)
  - Ενδιάμεση αρμονική τάση ( Interharmonic voltage)
  
- Χαρακτηριστικά που μπορούν να οριστούν μόνο με ενδεικτικές, περιγραφικές τιμές
  - Βυθίσεις τάσεις (VOLTAGE DIPS)
  - Σύντομες διακοπές παροχής (SHORT INTERRUPTIONS)
  - Παρατεταμένες διακοπές παροχής (LONG INTERRUPTIONS)
  - Παροδικές και αιφνίδιες υπερτάσεις (TEMPORARY AND TRANSIENT OVERVOLTAGES)

Το πρότυπο ορίζει ένα μέγιστο επίπεδο απόκλισης γύρω στο **5%** για κάθε προσδιορισμένη παράμετρο από την ονομαστική της τιμή. Επίσης οι περισσότερες παράμετροι χαρακτηρίζονται από :

- Μία συγκεκριμένη περίοδο μετρήσεως τους ( συνήθως διάστημα μίας εβδομάδας).
- Το χρονικό διάστημα στο οποίο έγινε η μέτρησή τους
- Ένα ατομικό κατώφλι της τιμής τους

Αποσκοπώντας στον έλεγχο του μέγιστου επιπέδου απόκλισης του 5% το πρότυπο ορίζει για κάθε παράμετρο τουλάχιστον δύο τελεστές N και Nn.

N είναι ο αριθμός που εκφράζει το πόσες φορές έχει ελεγχθεί μία παράμετρος σχετική με την ποιότητα ισχύος (με δεδομένο ότι η ονομαστική τάση υπερβρίσκεται εντός του ορίου του +15%).



Νπείναι ο αριθμός των περιπτώσεων κατά τις οποίες μία παράμετρος σχετική με την ποιότητα ισχύος δεν ήταν εναρμονισμένη με τα όρια που επιβάλλει το πρότυπο (με δεδομένο ότι η ονομαστική τάση  $U_n$  βρίσκεται πάντα εντός του  $\pm 15\%$ ).

Αυτός ο λόγος  $N_n/N$  ορίζει το αν είμαστε εναρμονισμένοι ή όχι με το πρότυπο. Στις περισσότερες των περιπτώσεων η απαίτηση του προτύπου ικανοποιείται όταν:

$$N_n/N \leq 5\%$$

**(εξαιρέση αποτελεί η συχνότητα και τα σήματα τάσεων όπως θα δούμε παρακάτω)**

Ας παρουσιάσουμε σε αυτό το σημείο, τι ορίζει το πρότυπο για καθένα από αυτά τα χαρακτηριστικά:

#### ■ **ΤΙΜΗΤΗΣΤΑΣΗΣΠΑΡΟΧΗΣ (INTENSITYOFSUPPLYVOLTAGE)**

Ηκαθορισμένη ονομαστική τάση  $U_n$  για το δημόσιο δίκτυο χαμηλής τάσης είναι:

➤ Για τριφασικά δίκτυα με τρεις γραμμές:

$$U_n = 230V \text{ μεταξύ των φάσεων}$$

➤ Για τριφασικά δίκτυα με τέσσερις γραμμές:

$$U_n = 230V \text{ μεταξύ κάθε φάσης και ουδέτερο}$$

#### ■ **ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΓΡΑΜΜΗΣ (LINEFREQUENCY)**

Για την Ελλάδα, η συχνότητα γραμμής της τάσης παροχής είναι 50 Hz. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, η μέση τιμή της ανά 10 sec πρέπει να είναι :

➤ **Με σύνδεση σε διασυνδεδεμένο δίκτυο**

50Hz $\pm$ 1% (49.5-50.5Hz) κατά τη διάρκεια του 95% μιας εβδομάδας

50Hz $\pm$ 4/-6% (47-52Hz) κατά τη διάρκεια του 100% μιας εβδομάδας

➤ **Χωρίς σύνδεση σε διασυνδεδεμένο δίκτυο**

50Hz $\pm$ 2% (49-51Hz) κατά τη διάρκεια του 95% μιας εβδομάδας

50Hz $\pm$ 15% (42.5-57.5Hz) κατά τη διάρκεια του 100% μιας εβδομάδας

#### ▪ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ (VOLTAGE VARIATIONS)

Υπο κανονικές συνθήκες, στο διάστημα μίας εβδομάδας, το 95% των μέσων όρων της ενεργού τιμής (RMS) της τάσης παροχής που υπολογίζονται κάθε 10 min, πρέπει να είναι:  $U_n \pm 10\%$

#### ▪ ΓΡΗΓΟΡΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ (RAPID VOLTAGE VARIATIONS)

Οι γρήγορες αποκλίσεις τάσεις οφείλονται κυρίως σε διακοπτικές ενέργειες ή αλλαγή φορτίου του καταναλωτή. Δεν πρέπει να ξεπερνάνε το 5%(4%) της ονομαστικής τάσης  $U_n$  (συμφωνημένης τάσης  $U_c$ ). Σε ειδικές περιπτώσεις μπορούν να συμβούν μερικές φορές τη μέρα γρήγορες αποκλίσεις 10%(6%) της  $U_n(U_c)$

#### ▪ ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ (VOLTAGE DIPS)

Οφείλονται κυρίως σε σφάλματα του καταναλωτή ή του δημόσιου δικτύου διανομής συνεπώς δε μπορούν να προβλεφθούν και είναι τυχαίες. Ο ετήσιος προβλεπόμενος αριθμός τους εξαρτάται από το είδος του δικτύου καθώς και από το σημείο του δικτύου που ελέγχεται.

Υπό κανονικές συνθήκες, ο αναμενόμενος αριθμός τους κυμαίνεται από 10 έως 1000. Η πλειοψηφία διαρκεί λιγότερο από 1 sec και έχει βάθος λιγότερο από 60%. Σε πυκνοκατοικημένες περιοχές η συχνότητά τους είναι πολύ υψηλή με βάθος 10-15%  $U_n$  λόγω των επιβαρυσμένων κυκλωματικών φορτίων των καταναλωτών.

#### ▪ ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΠΑΡΟΧΗΣ

Υπό κανονικές συνθήκες, οι σύντομες διακοπές παροχής συμβαίνουν μερικές δεκάδες έως μερικές εκατοντάδες φορές το χρόνο. Το 70% αυτών διαρκούν λιγότερο από 1 sec.

#### ▪ ΠΑΡΑΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΠΑΡΟΧΗΣ

Μακροπρόθεσμες διακοπές της τάσης παροχής οφείλονται κυρίως σε τυχαία γεγονότα καθώς επίσης και σε παρεμβάσεις τρίτων που είναι δύσκολο για τον εκάστοτε διανομέα ενέργειας να προβλέψει. Όποτε είναι αδύνατο να δοθεί ένας τυπικός αριθμός εμφάνισης παρατεταμένων διακοπών. Παρόλα αυτά, είναι αναμενόμενο να συμβούν 10 έως 50 μακροπρόθεσμες διακοπές διάρκειας μεγαλύτερης των 3 min, σε διάστημα ενός χρόνου.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Στις διακοπές αυτές δεν συμπεριλαμβάνονται οι διακοπές που ανακοινώνονται εκ των προτέρων.

## ▪ ΠΑΡΟΔΙΚΕΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ

### ➤ Χαμηλή τάση

Παροδικές υπερτάσεις μπορούν να εμφανιστούν στο δίκτυο χαμηλής τάσης λόγω αστοχιών του καταναλωτή ή του δημόσιου δικτύου. Μόλις αυτά τα σφάλματα αποκατασταθούν τότε οι υπερτάσεις αυτές αναμένεται να εξαφανιστούν. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα βραχυκύκλωμα στην πλευρά της υψηλής τάσης ενός μετασχηματιστή προκαλεί βραχυκύκλωμα στην πλευρά της χαμηλής τάσης όπως ρέει το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Οι υπερτάσεις αυτές δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 1.5KV.

### ➤ Μέση τάση

Παροδικές υπερτάσεις στο δίκτυο μεταφοράς (μέσης τάσης) μπορούν να συμβούν όταν ο καταναλωτής ή το δημόσιο δίκτυο παρουσιάσουν σφάλμα γης. Οι υπερτάσεις αυτές θα εξαφανιστούν όταν αντιμετωπιστεί η διαταραχή. Η αναμενόμενη τιμή τέτοιων υπερτάσεων εξαρτάται από τον τύπο γείωσης του δικτύου. Σε δίκτυα με άκαμπτο ή ημιάκαμπτο γειωμένο ουδέτερο σημείο, η υπέρταση δεν πρέπει κανονικά να υπερβαίνει την τιμή των 2.0 U<sub>c</sub>.

## ▪ ΑΙΦΝΙΔΙΕΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ

### ➤ Χαμηλή τάση

Σε δίκτυα χαμηλής τάσης, οι αιφνίδιες υπερτάσεις δεν πρέπει να ξεπερνάνε τα 6KV. Πολλές φορές όμως εμφανίζονται και υψηλότερες τιμές. Η διάρκειά τους δε πρέπει να ξεπερνά τα ms έως μερικά μs.

### ➤ Μέση τάση

Οι αιφνίδιες υπερτάσεις στα δίκτυα μέσης τάσης οφείλονται σε χειρισμούς όπως και σε άμεσες ή επαγόμενες πτώσεις κεραυνών. Οι υπερτάσεις από χειρισμούς συνήθως έχουν μικρότερο πλάτος από αυτές που οφείλονται σε κεραυνούς, μπορεί να έχουν όμως μεγαλύτερη διάρκεια. Το πρότυπο δεν ορίζει συγκεκριμένα όρια πλάτους ή διάρκειας υπερτάσεων για τα δίκτυα μέσης τάσης.

## ▪ ΑΝΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΤΑΣΗΣ

Υπό κανονικές συνθήκες, οι ενεργές τιμές (RMS) της αρνητικής συνιστώσας του συστήματος που υπολογίζονται κάθε 10min, δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 2% της αντίστοιχης θετικής ακολουθίας συνιστώσας, στο 95% των μετρούμενων τιμών για διάστημα μίας εβδομάδας.

#### ■ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΤΑΣΗ

Υπό κανονικές συνθήκες, το 95% των ανά 10 min μετρούμενων RMSτιμών της τάσης μίας αρμονικής σε διάστημα μίας εβδομάδας, δεν πρέπει να ξεπερνά τις τιμές που δίνονται στον παρακάτω πίνακα. Γενικά ο ολικός συντελεστή αρμονικής παραμόρφωσης (THD) που έχουμε παρουσιάσει σε προηγούμενο κεφάλαιο, δεν πρέπει να ξεπερνά το 8%.

Περιττές Αρμονικές				Άρτιες Αρμονικές	
Μη πολλαπλάσιες του 3		Πολλαπλάσιες του 3		Τάξη h	Σχετική τάση(% U <sub>n</sub> )
Τάξη h	Σχετική τάση(% U <sub>n</sub> )	Τάξη h	Σχετική τάση(% U <sub>n</sub> )		
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				

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Το EN50160 δε δίνει τιμές για αρμονικές μεγαλύτερης τάξης της 25ης λόγω του ότι είναι πολύ μικρές. Παρόλα αυτά μπορούν να αυξηθούν απρόβλεπτα εξαιτίας μαγνητικών συντονισμών.

#### ■ ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ

Δεν υπάρχει ακόμα κάποια συγκεκριμένη τυποποίηση ( οι τιμές βρίσκονται ακόμα υπό διαπραγμάτευση). Πάντως ακόμα και σε χαμηλές τιμές, οι ενδιάμεσες αρμονικές μπορούν να

προκαλέσουν τρεμοσβήσιμο του φωτός (flicker). Το όριο του 0.2% είναι ευρέως αποδεκτό λόγω της έλλειψης καλύτερης πρότασης. Εφαρμόζεται λαμβάνοντας υπόψη την ευαισθησία του φορτίου σε συστήματα σημάτων όμως η εφαρμογή του σε άλλες περιπτώσεις έχει ως αποτέλεσμα υπερφορολογημένες λύσεις λόγω της χρησιμοποίησης ακριβών παθητικών φίλτρων.

#### Σύνοψη του EN50160:

Παράμετρος	Προβλεπόμενα χαρακτηριστικά παροχής σύμφωνα με το EN50160
Συχνότητα Γραμμής	LV,MV: Ηεπαναλαμβανόμενη τιμή της θεμελιώδους αρμονικής μετρημένη για 10s +- 1% (49,5 – 50,5 Hz) για το 99,5 % μιας εβδομάδας ή -6%/+4% (47-52 Hz) για το 100% μιας εβδομάδας
Αποκλίσεις τάσης	LV,MV : +- 10% της RMSτιμής για το 95% της εβδομάδας
Γρήγορες αποκλίσεις τάσης	LV: 5% κανονικά 10% σπάνια $P_{it} \leq 1$ για το 95% της εβδομάδας  MV: 4% κανονικά 6% σπάνια $P_{it} \leq 1$ για το 95% της εβδομάδας
Βυθίσεις τάσεις	Πλειονότητα: διάρκεια <1s, βάθος < 60% Τοπικά περιορισμένες βυθίσεις εξαιτίας εκκίνησης κινητήρων: LV: 10-50%, MV: 10-15%
Σύντομες διακοπές παροχής	LV,MV: ( έως και 3 λεπτά) μερικές δεκάδες-μερικές εκατοντάδες / χρόνο Διάρκεια το 70% από αυτές <1s
Παρατεταμένες διακοπές παροχής	LV,MV: (μεγαλύτερες από 3 λεπτά) < 10-50/χρόνο
Παροδικές υπερτάσεις	LV: γενικά <1.5kVrms MV: 1.7 $U_c$ γειωμένο 2.0 $U_c$ χωρίς γείωση
Αιφνίδιες υπερτάσεις	LV: γενικά <6kV, περιστασιακά μεγαλύτερες; χρόνος υπερύψωσης: ms–μs MV: δεν ορίζεται
Ανισορροπία τάσης	LV,MV: μέχρι 2% για το 95% της εβδομάδας
Ενδιάμεση αρμονική παραμόρφωση	LV,MV : αποτελεί ακόμα αντικείμενο μελέτης

#### 5.4 Συμπεράσματα

Ο ρόλος του EN50160 είναι κυρίως συμβουλευτικός και δεν αναγνωρίζει καμία ευθύνη αν τα όρια που προτείνει υπερβαίνονται. Δίνει μόνο κάποια γενικές κατευθύνσεις που είναι τεχνικά και οικονομικά εφαρμόσιμες για τον πάροχο να τις διατηρήσει στα δημόσια συστήματα διανομής ενέργειας.

Από την άλλη πλευρά όμως, η οπτική των καταναλωτών διαφέρει εντελώς. Θεωρούνται προτεινόμενα αυτά όρια ως αναγκαία που πρέπει να ικανοποιούνται από τον πάροχο. Όμως, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η τήρηση των ορίων του συγκεκριμένου προτύπου, σε καμία περίπτωση δεν εξασφαλίζει ένα ικανοποιητικό επίπεδο Ποιότητας Ισχύος. Ας πάρουμε για παράδειγμα τις παρατεταμένες διακοπές τάσεις, διακοπές που διαρκούν δηλαδή περισσότερο από 3 λεπτά. Το όριο αναγνωρίζει ως επιτρεπόμενο αριθμό διακοπών έως και 50 το χρόνο και για χαμηλή αλλά και για μέση τάση! Φυσικά για μία βιομηχανία μέσης τάσης, 50 διακοπές ρεύματος μεγάλης διάρκειας θα είχαν σοβαρό οικονομικό αντίκτυπο, πέρα από τις πιθανές ζημιές στον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Για έναν καταναλωτή χαμηλής τάσης όμως, 50 διακοπές το χρόνο αν και εξαιρετικά επικίνδυνες για τις ευαίσθητες οικιακές ηλεκτρικές συσκευές, δε θα είχαν τόσο σοβαρό οικονομικό αντίκτυπο. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το επίπεδο της Ποιότητας Ισχύος πρέπει να προσδιορίζεται ξεχωριστά ανάμεσα σε καταναλωτή και πάροχο.

Κατανοούμε λοιπόν, ότι το συγκεκριμένο πρότυπο δίνει στους καταναλωτές κάποια βασικά δικαιώματα :

- Να παραπονεθούν για το επίπεδο Ποιότητας Ισχύος έχοντας απτά επιτρεπτά όρια.
- Αν συνεχίσουν να μην μένουν ικανοποιημένοι, να αλλάξουν πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας ( σε όποιες χώρες αυτό είναι εφικτό).

Από τα παραπάνω προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η σχέση μεταξύ διανομέα ηλεκτρικής ενέργειας και πελάτη , παύει να είναι πλέον μια απλή εμπορική συμφωνία και μετεξελίσσεται ολοένα και περισσότερο σε σχέση συνεργασίας.
- Η Ποιότητα της παραγόμενης Ισχύος που παρέχεται σε μεγάλους πελάτες (βιομηχανίες κτλ.) θα ελέγχεται διαρκώς και θα διέπεται από συγκεκριμένους κανόνες.
- Ο έλεγχος της Ποιότητας ισχύος απαιτεί τη χρήση εξειδικευμένων οργάνων και εγκαταστάσεων. Μία τέτοια συσκευή είναι και το HIOKI 3197 PowerQualityAnalyzer που χρησιμοποιήσαμε για τις ανάγκες της εργασίας.

# **Κεφάλαιο 6ο**

## **Πειραματική Μέτρηση**

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: Πειραματική Μέτρηση

### 6.1 Προσδιορισμός των στόχων της μέτρησης

Σε όλο και περισσότερες χώρες, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται όχι μόνο από την καταναλισκόμενη ισχύ (KWh) και την περίοδο κατανάλωσης (μέρα ή νύχτα) αλλά και από την ποιότητά της.

Για έναν καταναλωτή, μία εμπειρισταωμένη αναφορά της ποιότητας της παρεχόμενης ισχύος είναι αρκετά επαρκής. Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στο κτίριο του Κ.Ε.ΤΕ.Α.Θ. (Κέντρο Έρευνας Τεχνολογίας και Ανάπτυξης Θεσσαλίας). Το κτίριο αυτό αποτελείται ως επί των πλείστων από γραφεία που διαθέτουν αντίστοιχες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, συνεπώς το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο δεν είναι τόσο μεγάλο. Παρόλα αυτά η Ποιότητα Ισχύος σε ένα κτίριο με γραφεία έχει ιδιαίτερη σημασία διότι η παροχή ρεύματος χαμηλής ποιότητας δημιουργεί προβλήματα στους εργαζόμενους. Για παράδειγμα, οι συχνές διακοπές τροφοδοσίας μπορεί να οδηγήσουν σε απώλεια δεδομένων εν ώρα εργασίας των υπαλλήλων στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές ενώ αν είναι και παρατεταμένες δυσκολεύουν την τήρηση του χρονοδιαγράμματος και του προγραμματισμού. Οπαρακάτω Πίνακας 6.1 παρουσιάζει τα οικονομικά κυρίως προβλήματα που μπορεί να παρουσιαστούν σε μια εταιρεία που στεγάζεται σε ένα παρόμοιο κτίριο με γραφεία, από διακοπές τάσης παροχής:

Διάρκεια	ΖΗΜΙΑ	
	ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ
<15 λεπτά	Αν οι υπολογιστές και γενικότερα οι περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές συνδέονται σε συσκευή UPS(UninterruptiblePowerSupply), τότε δε διατρέχουν ιδιαίτερο κίνδυνο	Καμία
<45 λεπτά	Πιθανά προβλήματα στα τροφοδοτικά και μητρικές κάρτες των ηλεκτρονικών υπολογιστών αν δεν έχουν απενεργοποιηθεί ασφαλώς με τη χρήση του UPS.	Οι εργαζόμενοι των οποίων η εργασία βασίζεται στη χρήση ηλεκτρικών μηχανημάτων αναγκάζονται να συνεχίσουν χειρωνακτικά ενώ όσοι χρησιμοποιούν ηλεκτρονικούς υπολογιστές χάνουν ένα σημαντικό κομμάτι χρόνου από το καθημερινό ωράριο εργασίας.
<2 ώρες	Καμία	<ul style="list-style-type: none"><li>Αξιοπιστία</li></ul>



		<p>πελατών ( μεγάλη καθυστέρηση παράδοσης παραγγελιών)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Τυχόν εφήμερες υποχρεώσεις και δουλειές καθυστερούν και οι υποψήφιοι καινούριοι πελάτες δυσανασχετούν</li> <li>• Οι υπάλληλοι σταματούν ουσιαστικά να παράγουν έργο.</li> </ul>
>2 ώρες	Καμία	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Οριστική διακοπή παραγωγής και εργασίας για τη συγκεκριμένη μέρα</li> <li>• Διπλάσιος φόρτος εργασίας για την επόμενη μέρα</li> <li>• Αξιοπιστία πελατών( Μεγάλη καθυστέρηση παράδοσης και υποχρεώσεων, πιθανότητα να κριθεί η εταιρεία ασυνεπής).</li> </ul>

Πίνακας 6.1

Πέραν όμως της ωφέλειας των καταναλωτών από τη διενέργεια τέτοιων μετρήσεων, οι εταιρείες παραγωγής ενέργειας ωφελούνται επίσης καθώς χρειάζεται να γνωρίζουν το επίπεδο ρύπανσης ενός δικτύου. Χαρακτηριστικά ερωτήματά τους όπως το ύψος THD μίας περιοχής, συσχέτιση του υψηλού επιπέδου αρμονικών με ενδεχόμενη ενεργοποίηση ενός μεγάλου φορτίου από έναν καταναλωτή ή ακόμα και αν το φαινόμενο flickerμιά συγκεκριμένη στιγμή είναι αναμενόμενο ή έκτακτο γεγονός.

## 6.2 Παρουσίαση του οργάνου μέτρησης

Για τις ανάγκες τις παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε το ΗΙΟΚΙ “Model 3197 PowerQualityAnalyzer” . Όπως προσδίδει και το όνομά της, η συσκευή αυτή προορίζεται για χρήση τόσο από εταιρείες παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό τον έλεγχο της ποιότητας της ενέργειας που παράγονται πωλούν, όσο και από βιομηχανίες ώστε να ελέγχουν όχι μόνο την ποιότητα ενέργειας που αγοράζουν αλλά και την αλληλεπίδραση του βιομηχανικού εξοπλισμού τους και τον εντοπισμό τυχόν αστοχιών. Παράλληλα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από ιδιώτες καταναλωτές με σκοπό τον διαρκή έλεγχο της Ποιότητας Ισχύος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν.

Το όργανο αυτό μπορεί να εκτελέσει τις παρακάτω λειτουργίες:

- Ενημερώνει και καταγράφει ως γεγονότα (Events) τις περιπτώσεις απόκλισης από την ομαλή λειτουργία του δικτύου. Ταυτόχρονα αναγνωρίζει τι είδους διαταραχή συγκεκριμένα συνέβη. Η Εικόνα 24 δείχνει τη λίστα γεγονότων από μία μέτρηση που πραγματοποιήθηκε με το συγκεκριμένο όργανο, μέσω του λογισμικού που το συνοδεύει και θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια.

Event list	
01:	07/11 14:04:00.046 START
02:	07/11 14:47:11.347 TRANSIENT IN
03:	07/11 14:47:11.498 TRANSIENT OUT
04:	07/11 15:12:02.367 TRANSIENT IN
05:	07/11 15:12:02.443 TRANSIENT OUT
06:	07/11 15:48:36.787 TRANSIENT IN
07:	07/11 15:48:36.856 TRANSIENT OUT
08:	07/11 18:16:05.986 TRANSIENT IN
09:	07/11 18:16:06.119 TRANSIENT OUT
10:	07/11 19:24:38.605 TRANSIENT IN
11:	07/11 19:24:38.720 TRANSIENT OUT
12:	07/12 07:29:10.401 TRANSIENT IN
13:	07/12 07:29:10.451 TRANSIENT OUT
14:	07/12 07:30:39.515 TRANSIENT IN
15:	07/12 07:30:39.660 TRANSIENT OUT
16:	*U 07/12 16:29:58.678 DIP CH3 IN
17:	07/12 16:29:58.728 DIP CH3 OUT
18:	*U 07/12 16:30:19.827 DIP CH3 IN
19:	*U 07/12 16:30:40.127 DIP CH3 IN
20:	*U 07/12 16:30:54.087 DIP CH3 IN
21:	07/12 16:30:54.157 DIP CH3 OUT
22:	*U 07/12 16:31:05.648 DIP CH3 IN
23:	*U 07/12 16:31:32.910 DIP CH1 IN
24:	07/12 16:31:32.951 DIP CH3 IN
25:	*U 07/12 16:31:35.950 DIP CH1 IN
26:	*U 07/12 16:31:54.351 DIP CH3 IN

Εικόνα 24: Παράδειγμα λίστας γεγονότων από μέτρηση που πραγματοποιήθηκε

- Εκτελεί μετρήσεις επί μονίμου βάσεως, συλλέγει και αποθηκεύει τα δεδομένα στην πεπερασμένη μνήμη που έχει. Δυστυχώς η μνήμη που διαθέτει είναι περιορισμένη (4MB) οπότε καταγράφουμε τα δεδομένα ανά χρονικά διαστήματα (timeintervals). Ο Πίνακας 6.2 παρουσιάζει τις ρυθμίσεις χρονικών διαστημάτων καταγραφής για το HIOKI 3197 (Intervalsettings).

Διάστημα καταγραφής (Recording Interval)	Μέγιστος χρόνος καταγραφής (Longest recording time)
1sec	50min
2sec	1 hour 40 min
10sec	8 hours 20 min
30sec	1 day 1 hour
1min	2 days 2 hours
5min	10 days 10 hours

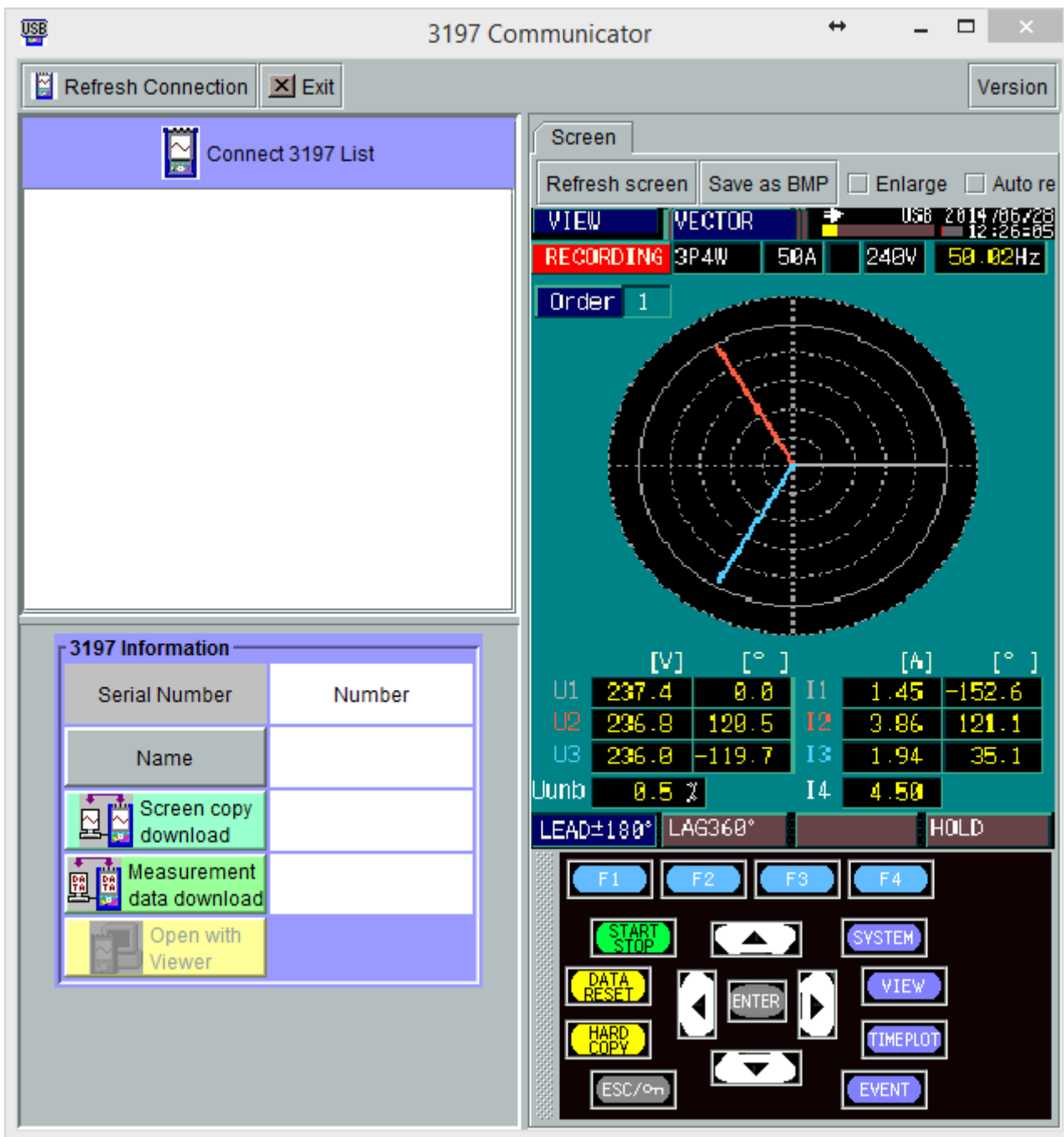
Πίνακας 6.2: Time intervals

Για να εφαρμόσουμε το πρότυπο EN50160 χρειαζόμαστε μετρήσεις τουλάχιστον για το διάστημα μίας εβδομάδας. Αν επιλέξουμε interval 5min ο μέγιστος χρόνος καταγραφής είναι 10 μέρες και 10 ώρες και υπερκαλύπτει το χρόνο μέτρησης για μία εβδομάδα. Όμως τα δεδομένα που θα έχουμε συλλέξει δε θα είναι αρκετά ακριβή καθώς θα καταγράφονται ανά 5mins και μπορεί να χάσουμε αρκετές πληροφορίες. Για αυτό το λόγο προτιμήσαμε να επιλέξουμε interval 30sec με μέγιστο χρόνο καταγραφής 1 ημέρα και 1 ώρα. Όταν η μνήμη γέμιζε αφού κατέγραφε μία ολόκληρη ημέρα, μεταφέραμε τα δεδομένα μέσω USB που διατίθεται μαζί με το όργανο, στο σκληρό δίσκο φορητού υπολογιστή (Laptop) , αδειάζαμε την πεπερασμένη μνήμη του οργάνου, και ξεκινούσαμε την καταγραφή για την επόμενη ημέρα. Συνεπώς στο τέλος της εβδομάδας είχαμε συνολικά 7 αρχεία καταγραφών για τις μετρήσεις ολόκληρης της εβδομάδος.

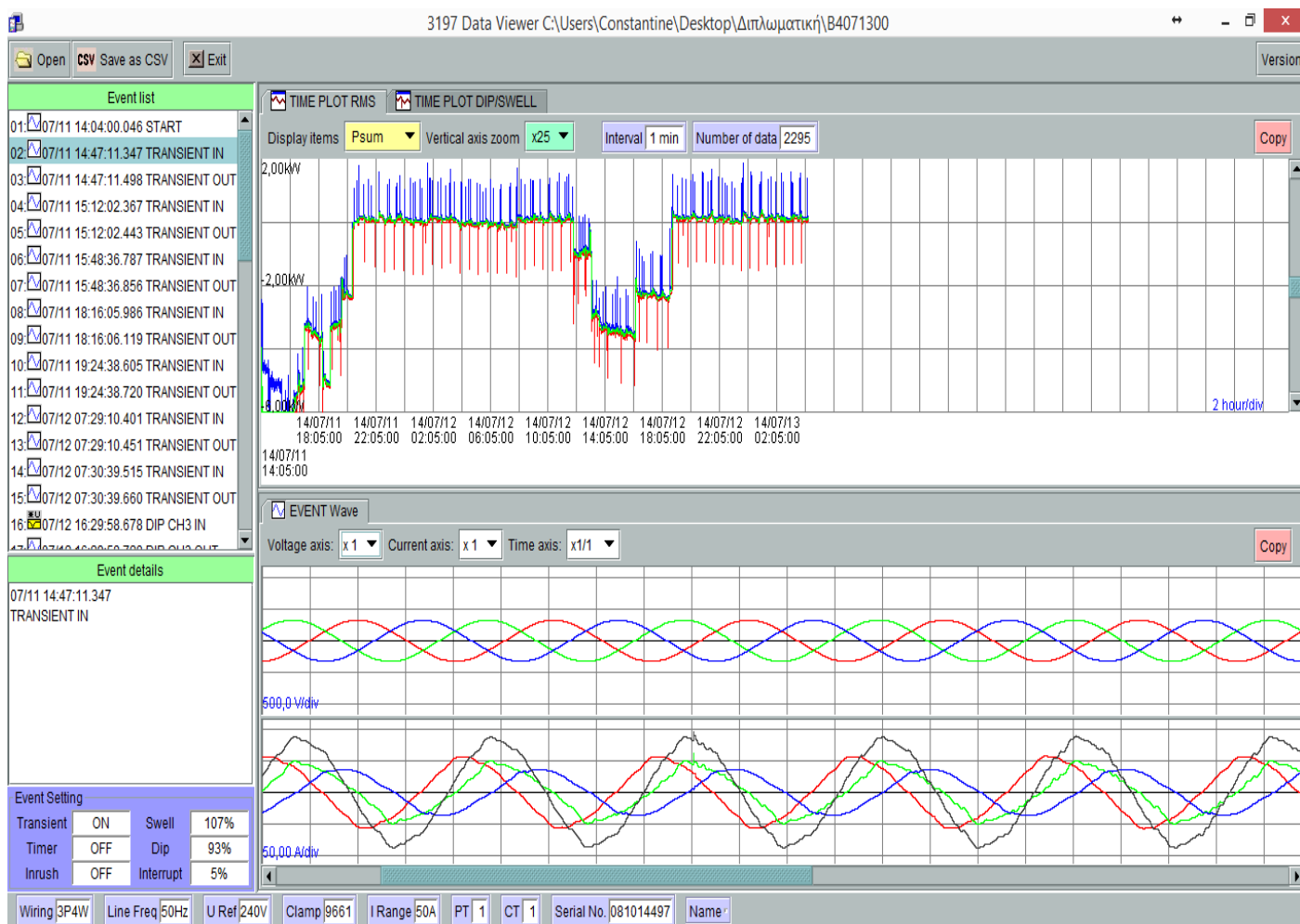
- Ελέγχει αρκετές παραμέτρους Ποιότητας Ισχύος που έχουμε ήδη αναφέρει και αναλύσει. Συγκεκριμένα ελέγχει για υπερτάσεις μικρής διάρκειας (Voltage swells), βυθίσεις τάσης (Voltage dips), διακοπές τάσης (Interruptions), αιφνίδιες υπερτάσεις (Transient overvoltages) και ρεύματα εισροής (Inrush currents). Επίσης υπολογίζει τη συνολική αρμονική παραμόρφωση (THD) καθώς και το συντελεστή ανισοροπίας τάσης (Voltage unbalance factor). Φυσικά, η συσκευή μπορεί να μετρήσει ακόμα τις τιμές της ενεργούς ισχύος (P), άεργους ισχύος (Q) και φαινόμενης ισχύος (S) και να υπολογίσει το συντελεστή ισχύος (Power factor).
- Για να αναγνωρίσει η συσκευή ένα «event» πρέπει κάποια από τις παραμέτρους που αναφέραμε παραπάνω να ξεπεράσει κάποια συγκεκριμένη τιμή-όριο. Τα όρια αυτά τα θέτουμε εμείς στη συσκευή και μπορούμε να τα αλλάξουμε ανά πάσα στιγμή. Δυστυχώς όμως η συσκευή δεν είναι εναρμονισμένη με το EN50160 οπότε πρέπει εμείς να θέσουμε τα

όρια της συσκευής σύμφωνα με όσα ορίζει το πρότυπο πριν ξεκινήσουμε τη μέτρηση. Στην αγορά κυκλοφορούν άλλες παρόμοιες συσκευές οι οποίες είναι εναρμονισμένες με το πρότυπο EN50160 και δίνουν αναλυτικές αναφορές με βάση αυτό.

- Παρέχονται δύο εφαρμογές που συνοδεύουν τη συσκευή. Η «**3197 DataViewer**» με την οποία αναλύουμε τις κυματομορφές των καταγεγραμμένων μετρήσεων, και η «**3197 Communicator**» που μας βοηθά να χειριστούμε τη συσκευή εξολοκλήρου μέσω ενός υπολογιστή όπου είναι εγκατεστημένη η εφαρμογή καθώς επίσης και να μεταφέρουμε στον σκληρό δίσκο αυτού τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί στην πεπερασμένη μνήμη της συσκευής. Η σύνδεση επιτυγχάνεται μέσω **USB**. Για να υπάρχει καλύτερη εποπτεία της όλης διαδικασίας εγκαταστήσαμε το πρόγραμμα Teamviewer στον φορητό υπολογιστή που ήταν συνδεδεμένος με τη συσκευή, καθώς επίσης και στο smartphone και στον προσωπικό υπολογιστή ( Desktop) στο σπίτι. Οπότε με τη χρήση του **Teamviewer**, χειριζόμασταν τον φορητό υπολογιστή που ήταν εγκατεστημένο το «3197 Communicator» άρα κατ'επέκταση τη συσκευή από το σπίτι μέσω του Desktop ή από οποιαδήποτε άλλο μέρος μέσω του smartphone. Οι εικόνες 25 και 26 παρουσιάζουν το γραφικό περιβάλλον των δύο εφαρμογών.



Εικόνα 25: Γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής "3147 Communicator"



Εικόνα 26 : Γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής "3147 DataViewer"

## Περιγραφή του ΗΙΟΚΙ3147 Power Quality Analyzer :

### ΕΙΣΟΔΟΙ

Το συγκεκριμένο όργανο διαθέτει 7 εισόδους, μία για κάθε φάση (U1,U2,U3 και N) και μία για τη μέτρηση του ρεύματος κάθε γραμμής. Το ρεύμα του ουδέτερου υπολογίζεται από τη συσκευή.

### ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Η συχνότητα δειγματοληψίας είναι 10.24kHz για κάθε κανάλι (204.8 points ανά κύκλο στα 50 Hz, 170.67 points ανά κύκλο στα 60Hz). Πρέπει να επισημάνουμε ότι ο ρυθμός δειγματοληψίας δεν έχει σχέση με την ταχύτητα επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέγει και καταγράφει η συσκευή ούτε με την φασματική ανάλυση των μετρούμενων ρευμάτων και τάσεων. Η συχνότητα δειγματοληψίας του οργάνου καθορίζει τον αριθμό των points, δηλαδή τον αριθμό των μετρούμενων τιμών σε κάθε στιγμιότυπο μίας τάσης ή ρεύματος.

## ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το ΗΙΟΚΙ 3197 διαθέτει πολύ μικρή πεπερασμένη εσωτερική μνήμη 4ΜΒ. Επίσης διαθέτει και μία μπαταρία λιθίου για την αποθήκευση των δεδομένων έως 10 χρόνια σε περίπτωση διακοπής παροχής ισχύος στη συσκευή.

## ΔΙΕΠΑΦΗ

Η πρόσβαση στο όργανο μπορεί να πραγματοποιηθεί και μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή με τον οποίο είναι συνδεδεμένο μέσω USB 2.0.

## ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Η συσκευή είναι εναρμονισμένη στο πρότυπο EN61010 που διέπει τους «κανονισμούς ασφάλειας για ηλεκτρικές διατάξεις μέτρησης κι ελέγχου» .

## ΕΥΡΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Από 0 έως 40 οC και υγρασία έως 80%RH.

## ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΒΑΡΟΣ

Η x W x D : 246 X 128 X 63 mm

Βάρος: 1.2kg



Εικόνα27 : ΤοΗΙΟΚΙ 3147



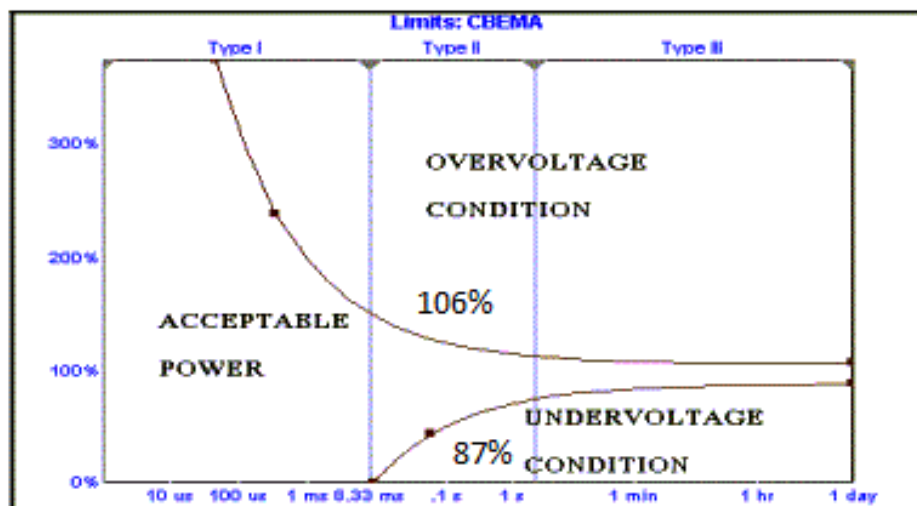


Εικόνα 27 : Το HIOKI 3147 εγκατεστημένο

### 6.3 Περιγραφή της διαδικασίας μέτρησης

Αφού εγκαταστήσαμε τα αισθητήρια ρεύματος ( αμπεροτσιμπήδες) και τα αισθητήρια τάσης σε κάθε φάση και στον ουδέτερο, πάνω στον ηλεκτρολογικό πίνακα του ΚΕΤΕΑΘ, έπρεπε να προβούμε στην απαραίτητη πρώτα από όλα «initialize» διαδικασία. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε τη καμπύλη CBEMA( ComputerBusinessEquipmentManufacturer’sAssociation)[22]. Η καμπύλη αυτή ορίζεται ως η επι τοις εκατό της ονομαστικής τιμής της τάσης Υπέρταση ή Βύθιση Τάσης, συναρτήσει της διάρκειας διαταραχής. Το διάγραμμα της καμπύλης δείχνει τα όρια ανοχής εντός των οποίων κυρίως οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, τα PLCs και ο ευαίσθητος ηλεκτρονικός εξοπλισμός μπορούν να

λειτουργήσουν δίχως απώλειες δεδομένων



Εικόνα 28: CBEMACurve

Το πρότυπο EN50160 ορίζει γενικές κατευθύνσεις για τις περιπτώσεις των transient φαινομένων (Βυθίσεις τάσης, Υπερτάσεις), κυρίως το αναμενόμενο πλήθος διαταραχών σε ένα χρονικό διάστημα. Γι' αυτό θα τοποθετήσουμε πάνω στο διάγραμμα της καμπύλης κάθε διαταραχή που θα καταγραφεί ώστε να εντοπίσουμε σε ποια περιοχή βρίσκεται κι αν βρίσκεται στα επιτρεπτά όρια για τις ανοχές του ευαίσθητου ηλεκτρονικού κι ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, δηλαδή ανάμεσα στις καμπύλες που παρουσιάζονται στο διάγραμμα της Εικόνας 6.6. Η καμπύλη CBEMA έχει υιοθετηθεί από το πρότυπο IEEE 446 (Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications) (Orange Book).

- Θέτουμε το μέγιστο επιτρεπτό όριο για Υπερτάσεις (Swells) στο 110% της ονομαστικής τάσης της τάσης παροχής ( 253V) και για Βυθίσεις τάσης ( Dips) στο 90% (207V ). Αν η τάση παροχής ξεπεράσει αυτά τα όρια, τότε η συσκευή θα καταγράψει ένα γεγονός (**event**) καθώς και το είδος και τη διάρκεια της διαταραχής που προκάλεσε το συγκεκριμένο event.
- Θέτουμε όριο στην διαταραχή διακοπής τάσης στο 5% του χρόνου λειτουργίας.
- Επιλέγουμε η συσκευή να μην καταγράφει τα ρεύματα εκκίνησης κινητήρων καθώς κατά τις δοκιμαστικές μετρήσεις παρατηρήθηκε ότι τα events αυτά ήταν τόσο πολλά που γέμιζε η εσωτερική μνήμη καταγράφοντάς τα. Αυτό συμβαίνει διότι η χρονική διάρκεια μετρήσεων είναι αρκετά μεγάλη και κατά τις εργάσιμες μέρες, σε ένα κτίριο με γραφεία συμβαίνουν πολλά διακοπτικά φαινόμενα ( λάμπες φθορισμού, κλιματιστικά κλπ).  
**Σημείωση:** Το HIOKI 3197 μπορεί να καταγράφει μέχρι 50 events στην εσωτερική του μνήμη.

- Όπως αναφέραμε και πιο πάνω , επιλέγουμε χρονικό διάστημα καταγραφής ( recordingtimeinterval ) 30s για να μπορέσουμε να καταγράψουμε με ακρίβεια τα δεδομένα μίας ημέρας στη συσκευή.
- Για το TotalHarmonicDistortionLevel (THD) , την ανισοροπία φάσεων και τη συχνότητα, η συσκευή δεν εφαρμόζει όρια (triggerlevels) που καταγράφουν events, καταγράφει όμως τις κυματομορφές τους και μέσα από την εφαρμογή 3197 DataViewer μπορούμε να τις αναλύσουμε και να υπολογίσουμε εμείς αν οι τιμές του βρίσκονται εντός ή εκτός των ορίων του προτύπου EN50160, και για πόσο χρονικό διάστημα.

#### 6.4 Παρουσίαση και ανάλυση των δεδομένων από την μέτρηση

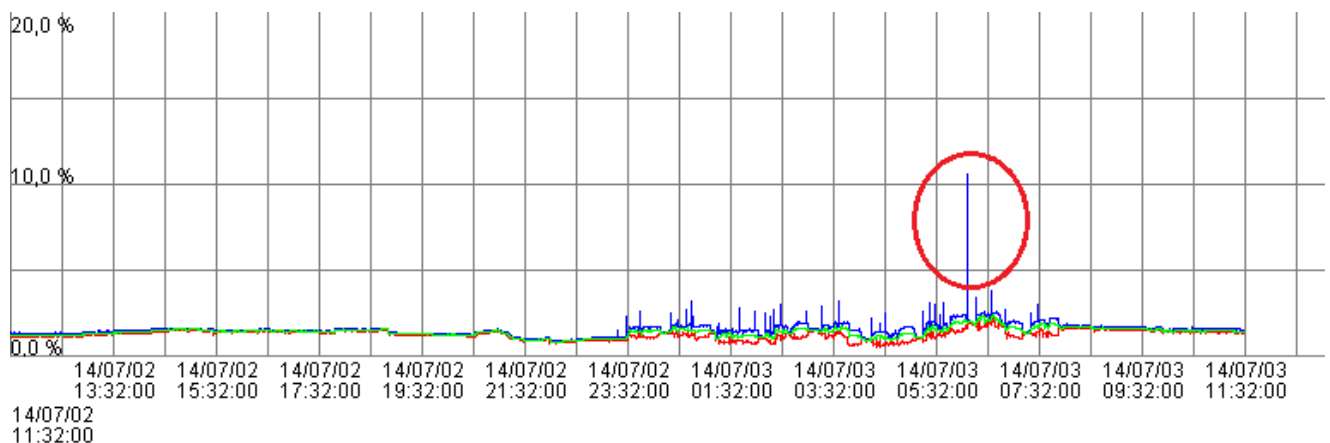
Ασπαρουσιάσουμε σε αυτό το σημείο τα δεδομένα που προέκυψαν από μία εβδομάδα μετρήσεων στο κτίριο του ΚΕΤΕΑΘ:

Οι μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί από τις 11.30 πμ μέχρι τις 11.30 το πρωί της επόμενης ημέρας.

Στα διαγράμματα που θα παραθέσουμε στη συνέχεια, η φάση 1 απεικονίζεται με μπλε χρώμα, η φάση 2 με πράσινο και η φάση 3 με κόκκινο. Με μαύρο απεικονίζεται η κυματομορφή του ρεύματος που διαρρέει τον ουδέτερο.

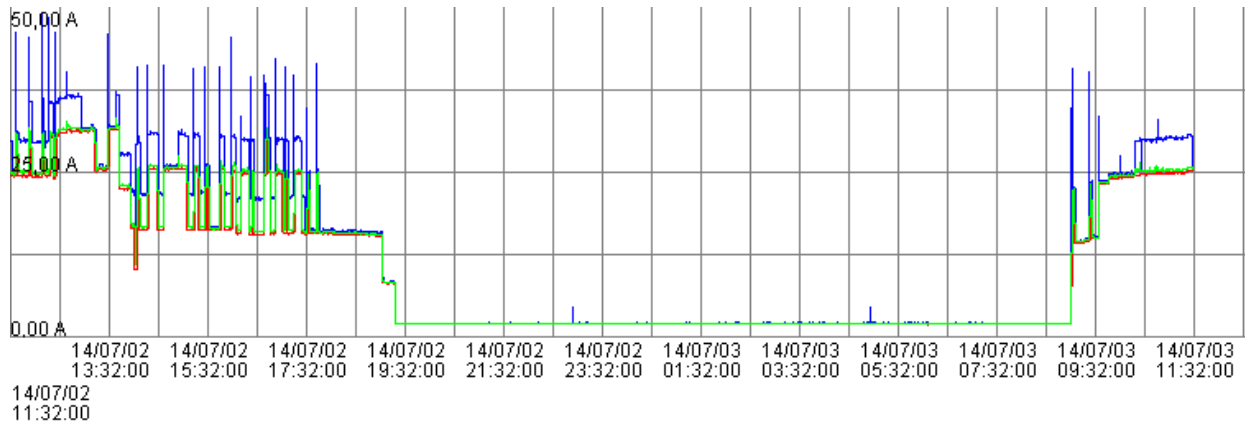
### 1<sup>η</sup> ημέρα, 3/7/2014

#### ➤ Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD):



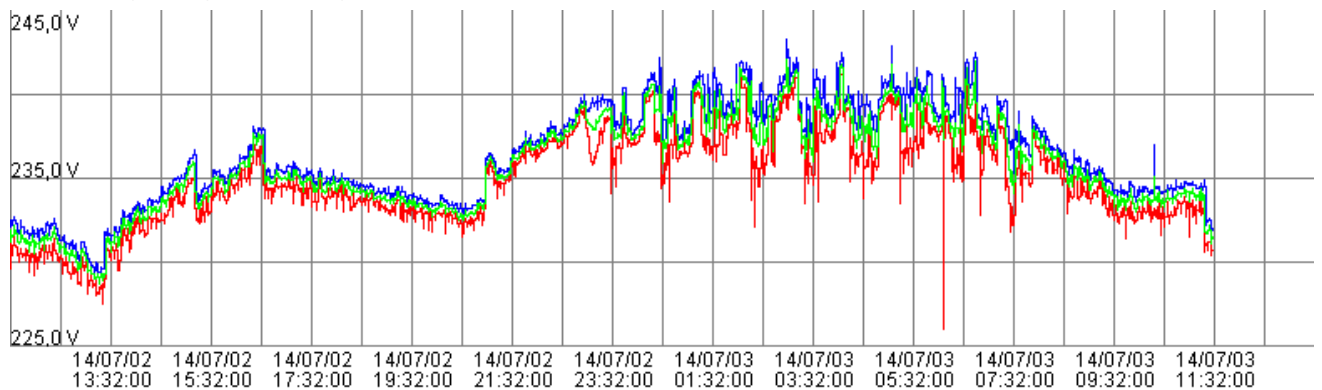
Σχόλιο : Μόνο σε μία περίπτωση, λίγο μετά τις 06:00 π.μ, ο συντελεστής THD, στιγμιαία αυξήθηκε πάνω από το όριο του 8% που ορίζει το πρότυπο EN50160. Γενικά κατά τη διάρκεια της ημέρας, δεν ξεπερνούσε το 2-3%.

➤ **RMS τιμές των ρευμάτων των τριών φάσεων και του ουδέτερου:**



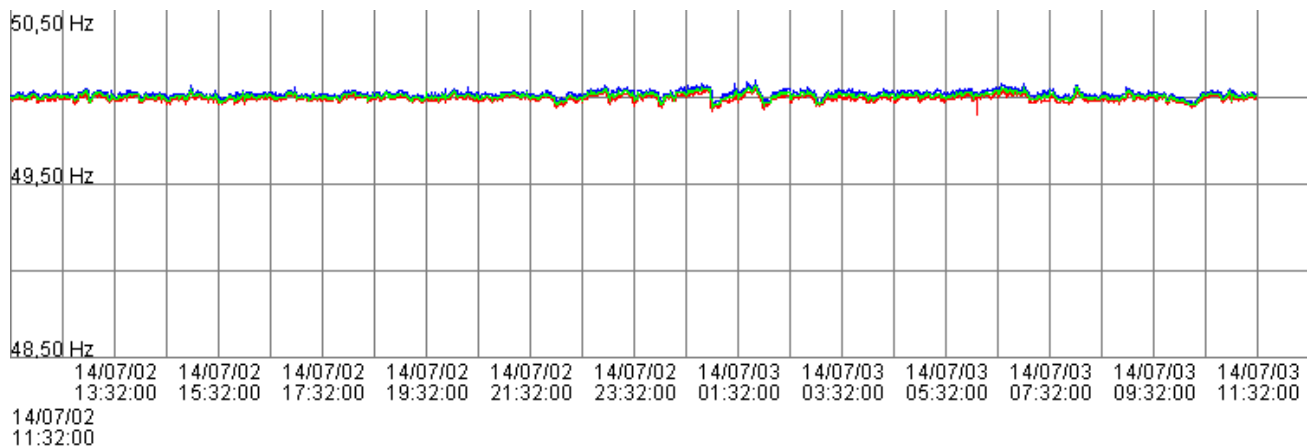
Σχόλιο : Παρατηρείται η αύξηση των ρευμάτων κατά τις εργάσιμες ώρες από τις 09.00 π.μ μέχρι τις 19.00 μ.μ .

➤ **RMS τιμές για τις τρεις φασικές τάσεις :**



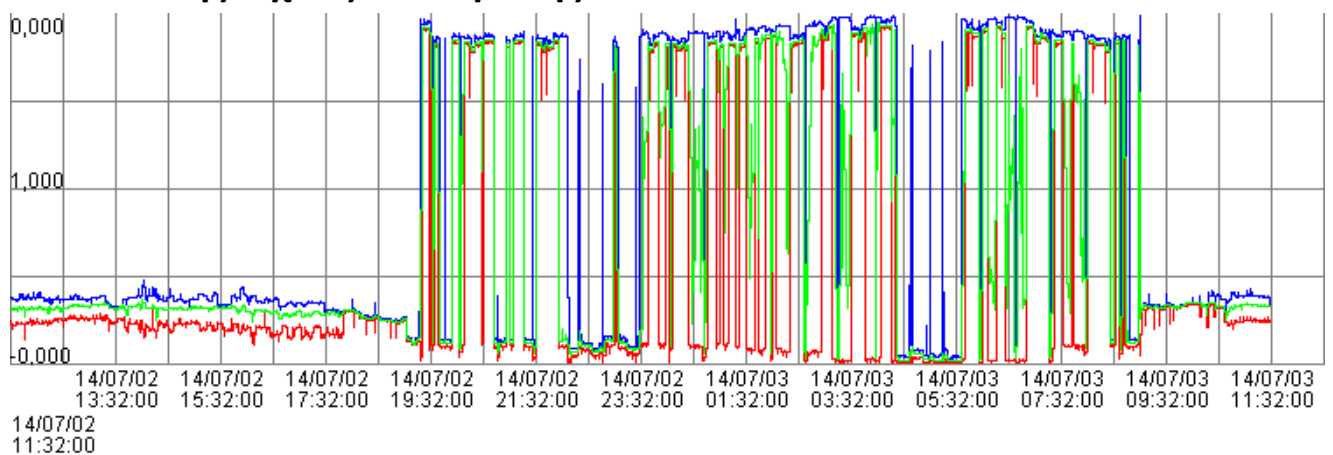
Σχόλιο: Καμία από τις τρεις φάσεις δεν ξεπερνά τα όρια που έχουμε θέσει (253V και 207V για υπέρταση και βύθιση αντίστοιχα).

### ➤ Διακύμανση της συχνότητας :



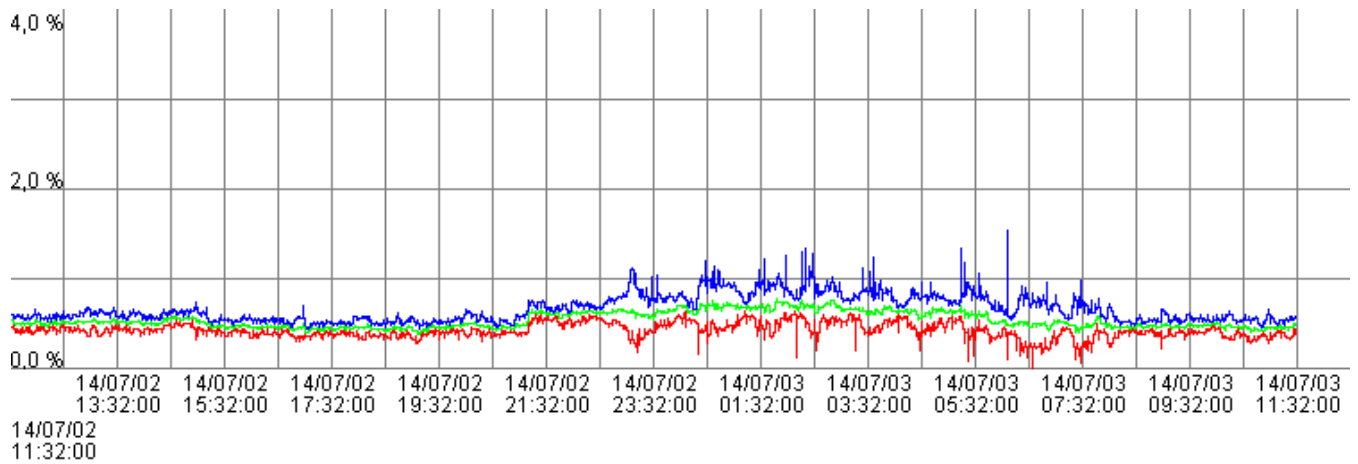
Σχόλιο : Οι διακυμάνσεις της συχνότητας είναι αμελητέες. Η μετρούμενη τιμή της κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας είναι σχεδόν η ονομαστική της (50Hz) και πάντα εντός ορίων.

### ➤ Συντελεστής Ισχύος κάθε φάσης



Σχόλιο : Ο συντελεστής ισχύος είναι αρκετά χαμηλός (μικρότερος από -0.85 τις εργάσιμες ώρες) οπότε αν το κτίριο ΚΕΤΕΑΘ ήταν πελάτης μέσης τάσης της ΔΕΗ Α.Ε τότε θα του επιβαλλόταν πρόστιμο. Παρατηρούμε επίσης ότι ο συντελεστής είναι αρνητικός κι αυτό οφείλεται στο ότι η άεργος ισχύς που καταναλώνει το κτίριο είναι χωρητική (κυρίως λόγω των κλιματιστικών και των φωτιστικών φθορισμού).

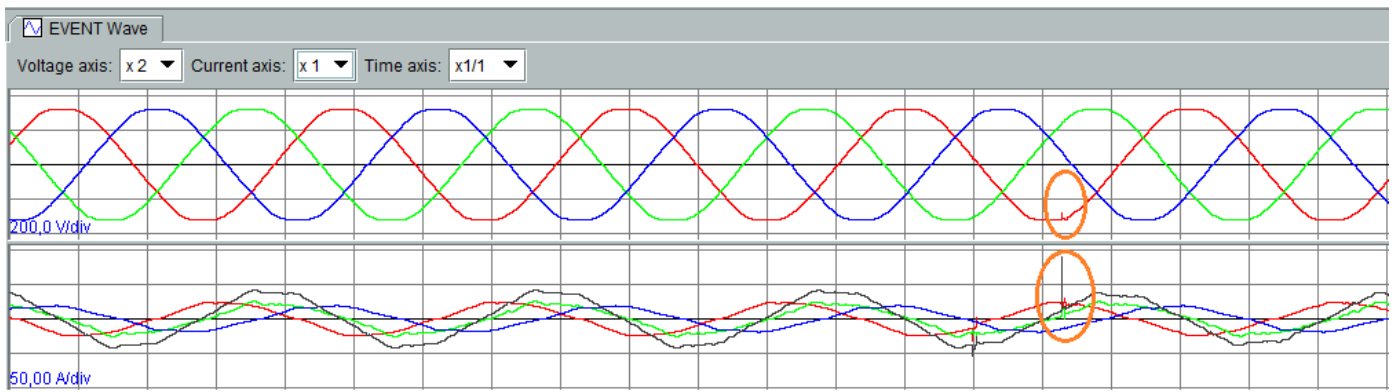
## ➤ Ανισορροπία τάσης



Σχόλιο : Σε καμία περίπτωση κατά τη διάρκεια της ημέρας η ανισορροπία τάσης δε ξεπερνά το όριο του 2%

## ➤ Λίστα με γεγονότα διαταραχών ( EventList)

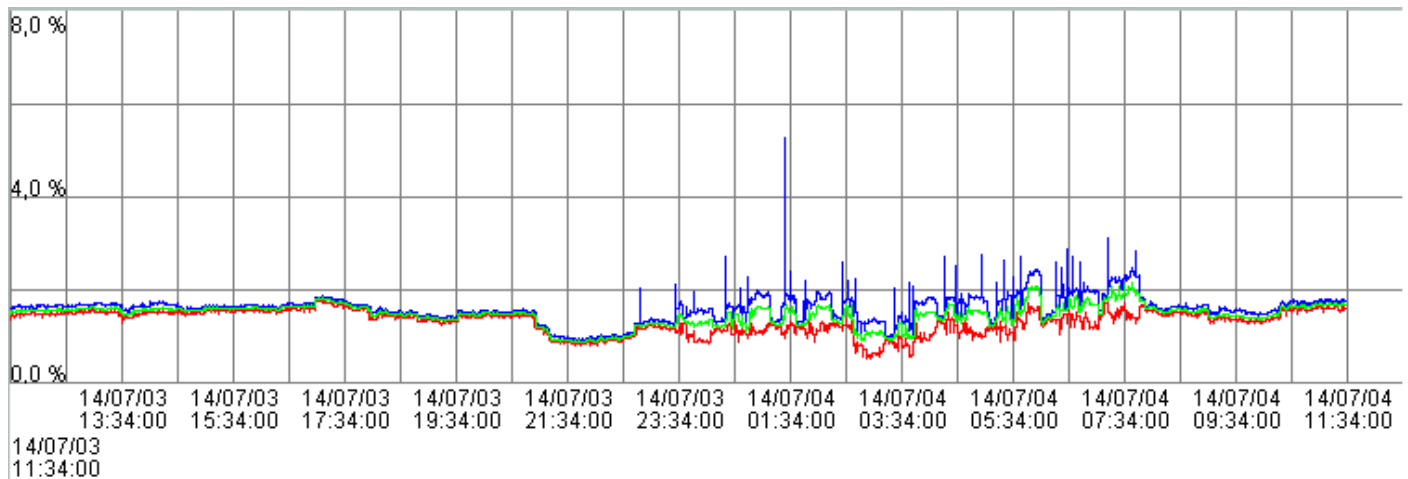
Event list	
01:	07/02 11:31:00.050 START
02:	07/02 17:13:12.733 TRANSIENT IN
03:	07/02 17:13:12.847 TRANSIENT OUT
04:	07/03 06:59:06.125 TRANSIENT IN
05:	07/03 06:59:06.161 TRANSIENT OUT
06:	07/03 07:21:33.824 TRANSIENT IN
07:	07/03 07:21:33.889 TRANSIENT OUT
08:	07/03 08:23:16.218 TRANSIENT IN
09:	07/03 08:23:16.238 TRANSIENT OUT
10:	07/03 09:02:32.114 TRANSIENT IN
11:	07/03 09:02:32.261 TRANSIENT OUT
12:	07/03 09:02:44.339 TRANSIENT IN
13:	07/03 09:02:44.462 TRANSIENT OUT
14:	07/03 11:31:03.710 STOP



Σχόλιο : Τα μόνα γεγονότα που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της πρώτης μέρας, είναι κάποια transients(μεταβατικές υπερτάσεις). Για παράδειγμα παρουσιάζουμε την παραπάνω εικόνα η οποία δείχνει την κυματομορφή τάσης και ρεύματος του Event 10 και φαίνεται ξεκάθαρα η διαταραχή λόγω της εγκοπής στην κυματομορφή ρεύματος. Από την κυματομορφή μπορούμε επίσης να συμπεράνουμε σύμφωνα και με όσα έχουμε ήδη αναφέρει στην παράγραφο 4.1, ότι το συγκεκριμένο γεγονός αποτελεί μία κρουστική υπέρταση.

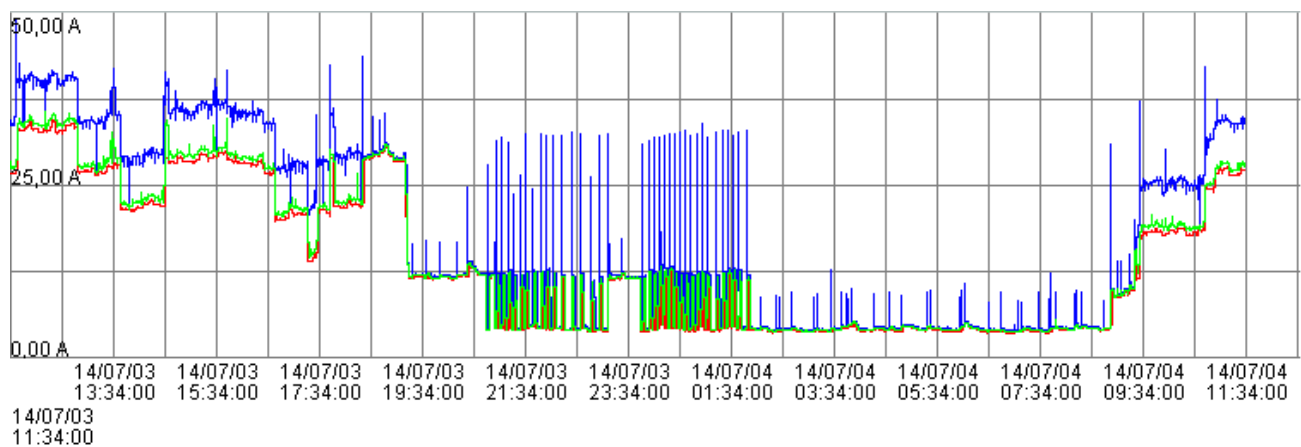
## 2<sup>η</sup> ημέρα, 4/7/2014

### ➤ Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD):



Σχόλιο : Καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας ο συντελεστής THD βρίσκεται εντός του ορίου 8% του προτύπου.

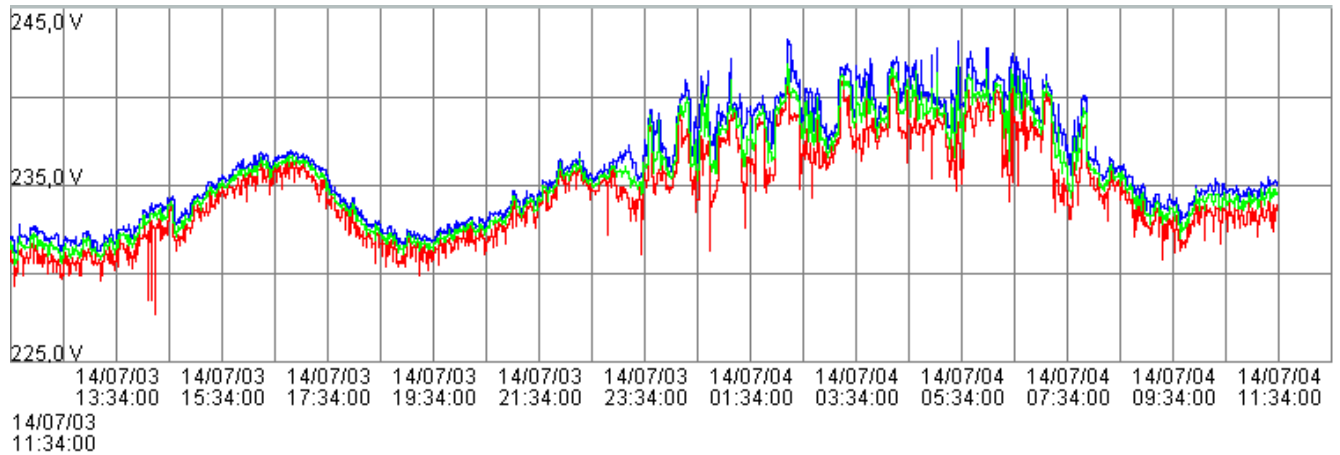
### ➤ RMS τιμές των ρευμάτων των τριών φάσεων και του ουδέτερου:



Σχόλιο : Παρατηρείται η αύξηση των ρευμάτων κατά τις εργάσιμες ώρες.

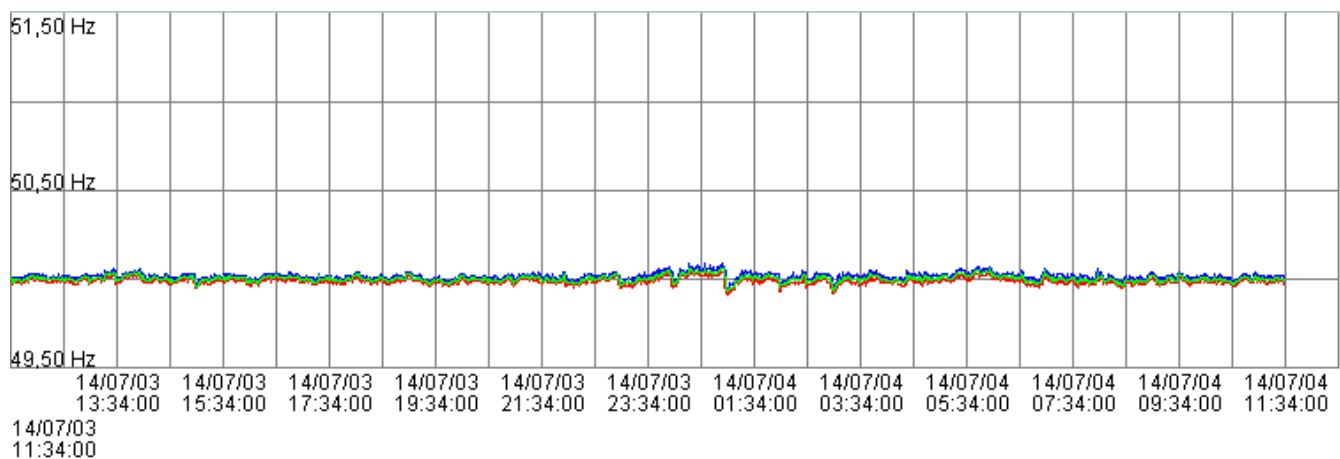


➤ **RMS τιμές για τις τρεις φασικές τάσεις :**



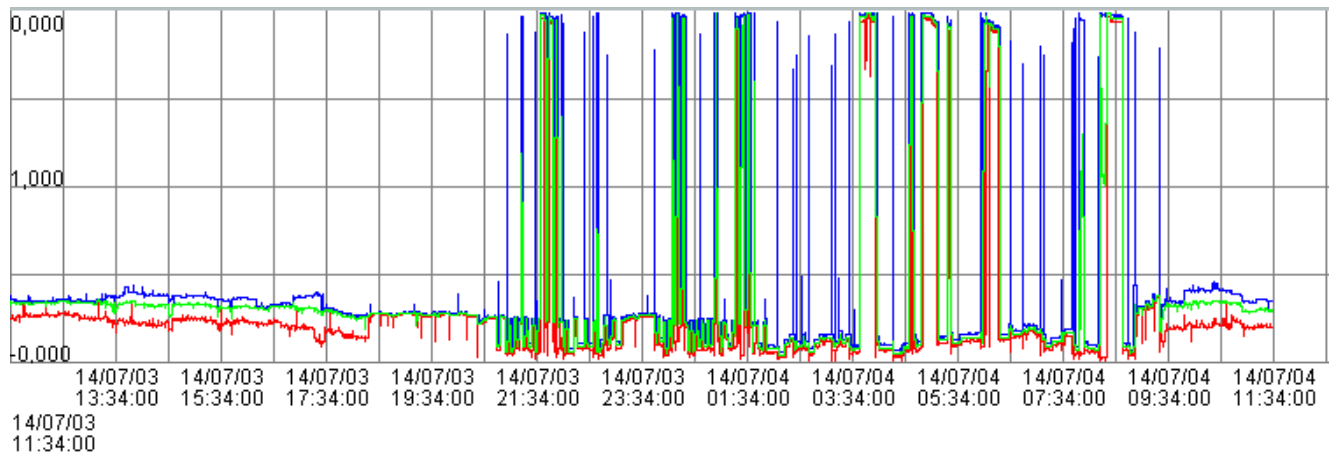
Σχόλιο: Καμία από τις τρεις φάσεις δεν ξεπερνά τα όρια που έχουμε θέσει (253V και 207V για υπέρταση και βύθιση αντίστοιχα).

➤ **Διακύμανση της συχνότητας :**



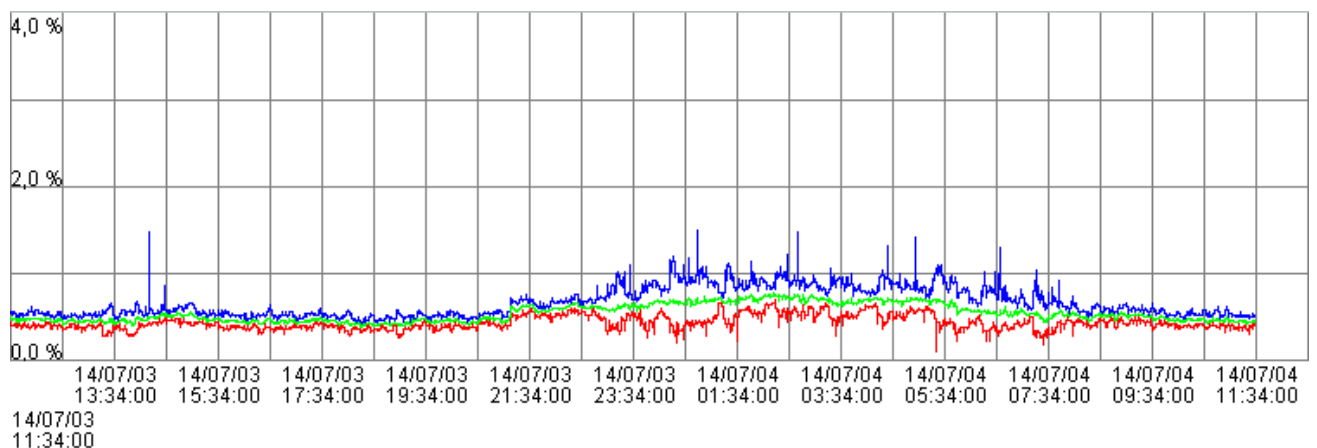
Σχόλιο : Οι διακυμάνσεις της συχνότητας είναι αμελητέες. Η μετρούμενη τιμή της κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας είναι σχεδόν η ονομαστική της (50Hz) και πάντα εντός ορίων.

## ➤ Συντελεστής Ισχύος κάθε φάσης



Σχόλιο : Ο συντελεστής ισχύος είναι αρκετά χαμηλός (μικρότερος από -0.85 τις εργάσιμες ώρες) οπότε αν το κτίριο ΚΕΤΕΑΘ ήταν πελάτης μέσης τάσης της ΔΕΗ Α.Ε τότε θα του επιβαλλόταν πρόστιμο. Παρατηρούμε επίσης ότι ο συντελεστής είναι αρνητικός κι αυτό οφείλεται στο ότι η άεργος ισχύς που καταναλώνει το κτίριο είναι χωρητική (κυρίως λόγω των κλιματιστικών και των φωτιστικών φθορισμού).

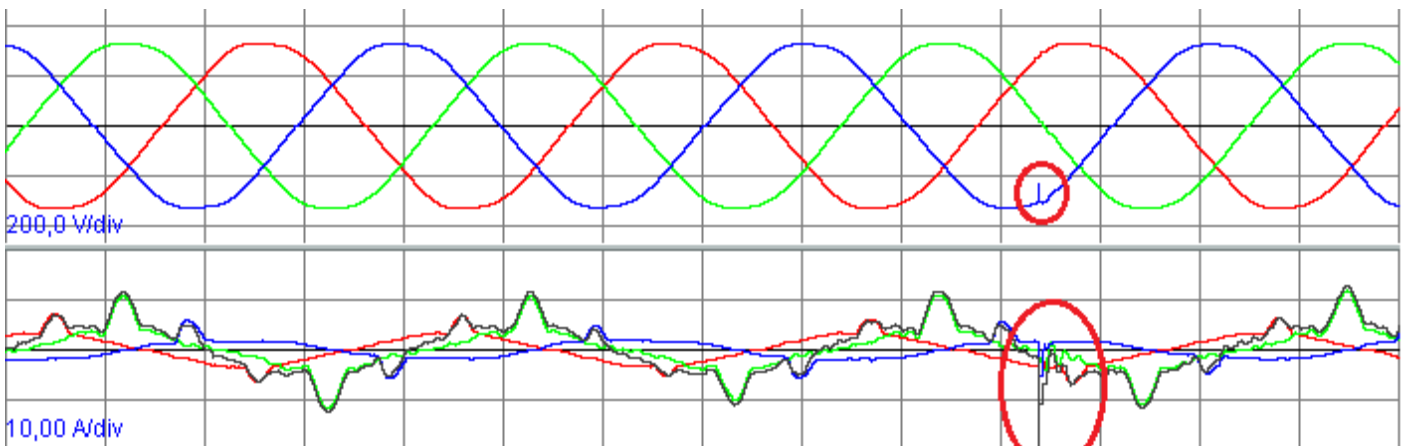
## ➤ Ανισορροπία τάσης



Σχόλιο : Σε καμία περίπτωση κατά τη διάρκεια της ημέρας η ανισορροπία τάσης δε ξεπερνά το όριο του 2%

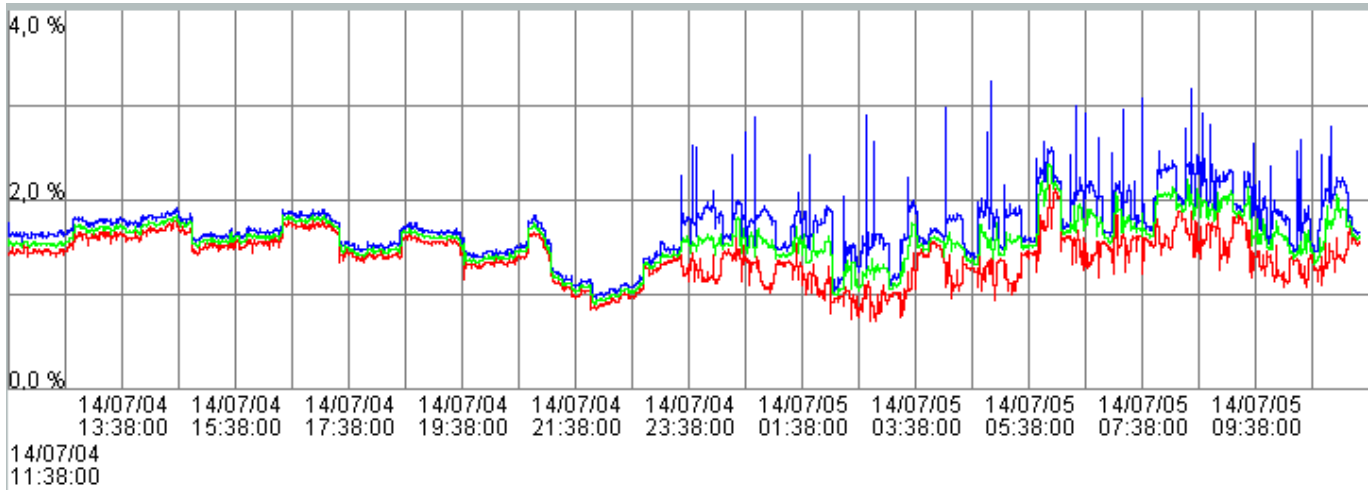
## ➤ Λίστα με γεγονότα διαταραχών ( EventList)

Event list	
01: [ ] 07/03 11:33:00.121 START	
02: [ ] 07/03 13:28:05.014 TRANSIENT IN	
03: [ ] 07/03 13:28:05.014 TRANSIENT OUT	
04: [ ] 07/03 15:42:47.513 TRANSIENT IN	
05: [ ] 07/03 15:42:47.578 TRANSIENT OUT	
06: [ ] 07/03 16:43:57.354 TRANSIENT IN	
07: [ ] 07/03 16:43:57.354 TRANSIENT OUT	
08: [ ] 07/04 07:01:10.110 TRANSIENT IN	
09: [ ] 07/04 07:01:10.303 TRANSIENT OUT	
10: [ ] 07/04 07:01:30.300 TRANSIENT IN	
11: [ ] 07/04 07:01:30.305 TRANSIENT OUT	
12: [ ] 07/04 07:04:33.848 TRANSIENT IN	
13: [ ] 07/04 07:04:33.923 TRANSIENT OUT	
14: [ ] 07/04 07:18:08.139 TRANSIENT IN	
15: [ ] 07/04 07:18:08.200 TRANSIENT OUT	
16: [ ] 07/04 07:26:31.318 TRANSIENT IN	
17: [ ] 07/04 07:26:31.448 TRANSIENT OUT	
18: [ ] 07/04 07:31:33.588 TRANSIENT IN	
19: [ ] 07/04 07:31:33.677 TRANSIENT OUT	
20: [ ] 07/04 07:41:51.833 TRANSIENT IN	
21: [ ] 07/04 07:41:51.937 TRANSIENT OUT	
22: [ ] 07/04 08:56:01.503 TRANSIENT IN	
23: [ ] 07/04 08:56:01.560 TRANSIENT OUT	
24: [ ] 07/04 10:05:54.908 TRANSIENT IN	
25: [ ] 07/04 10:05:54.961 TRANSIENT OUT	
26: [ ] 07/04 11:33:20.064 STOP	



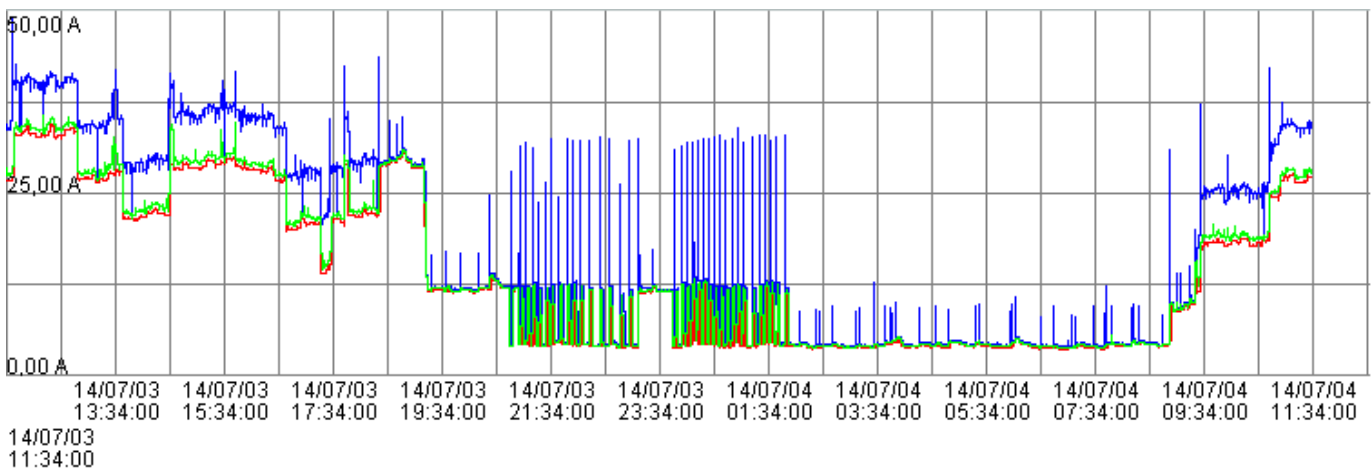
Σχόλιο : Τα μόνα γεγονότα που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της δεύτερης μέρας, είναι αρκετά transients (μεταβατικές υπερτάσεις). Για παράδειγμα παρουσιάζουμε την παραπάνω εικόνα η οποία δείχνει την κυματομορφή τάσης και ρεύματος του Event14 και φαίνεται ξεκάθαρα η διαταραχή λόγω των εγκοπών στην κυματομορφή ρεύματος και τάσης. Από την κυματομορφή μπορούμε επίσης να συμπεράνουμε σύμφωνα και με όσα είπαμε στην παράγραφο 4.1, ότι το συγκεκριμένο γεγονός αποτελεί μία κρουστική υπέρταση.

➤ **Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD):**



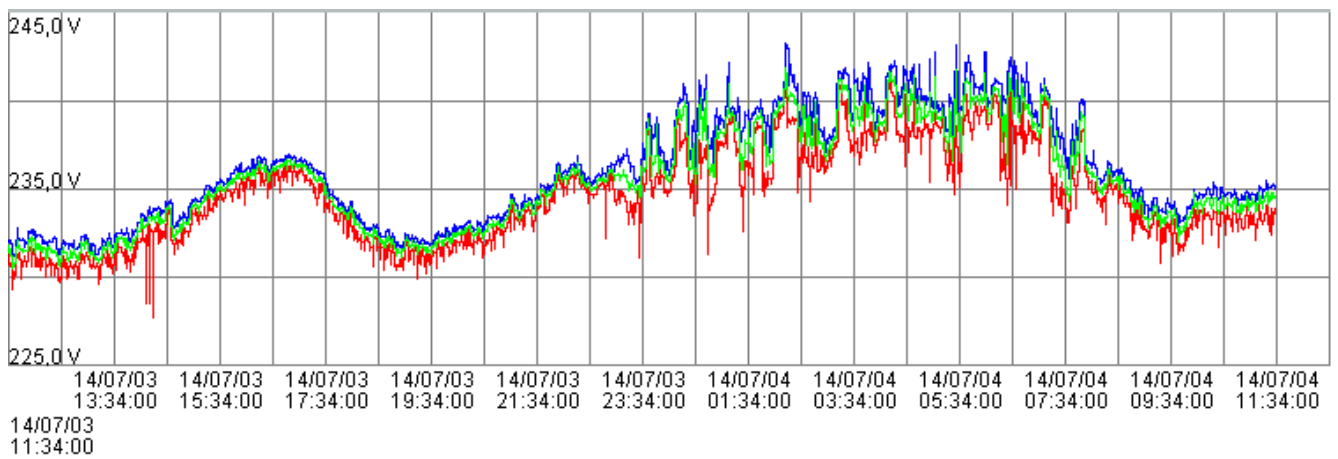
Σχόλιο : Καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας ο συντελεστής THD βρίσκεται εντός του ορίου 8% του προτύπου.

➤ **RMS τιμές των ρευμάτων των τριών φάσεων και του ουδέτερου:**



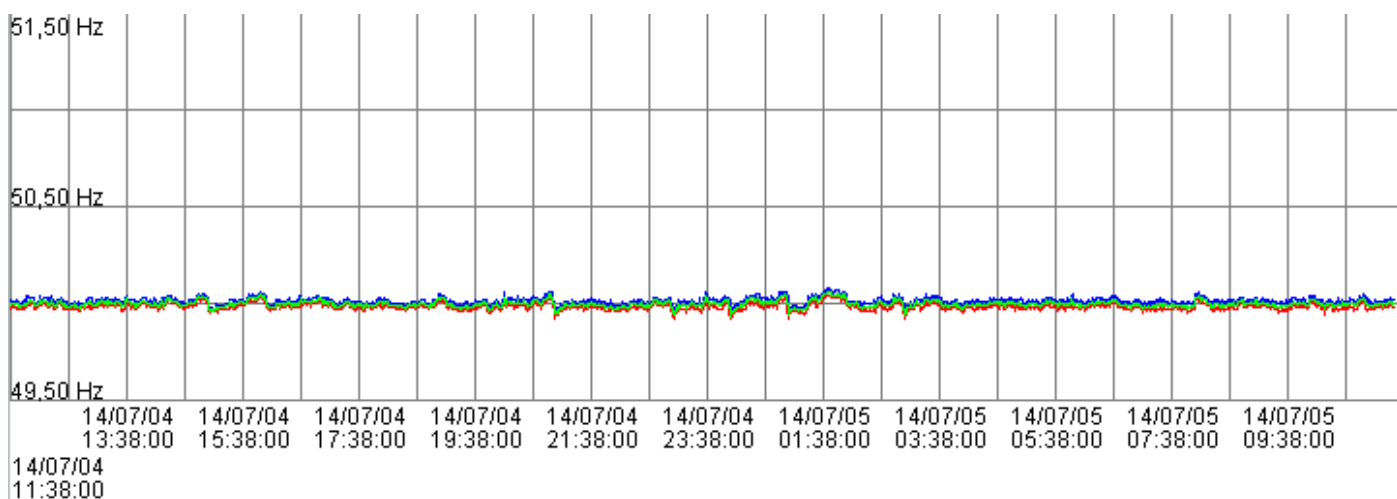
Σχόλιο : Παρατηρείται η αύξηση των ρευμάτων κατά τις εργάσιμες ώρες.

➤ **RMS τιμές για τις τρεις φασικές τάσεις :**



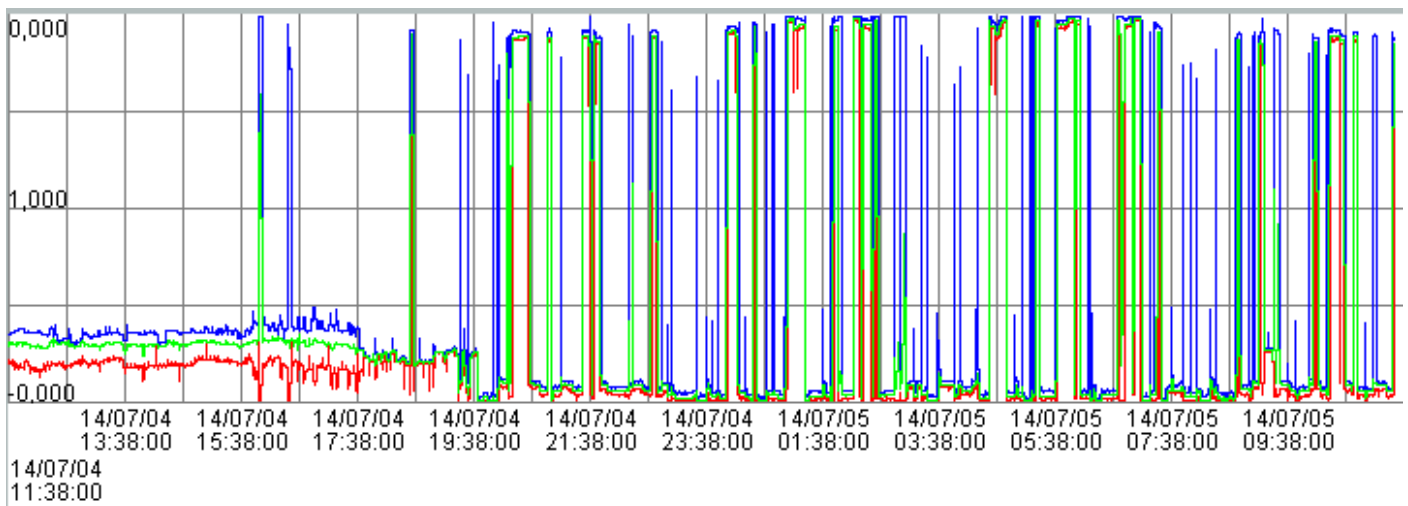
Σχόλιο: Καμία από τις τρεις φάσεις δεν ξεπερνά τα όρια που έχουμε θέσει (253V και 207V για υπέρταση και βύθιση αντίστοιχα).

➤ **Διακύμανση της συχνότητας :**



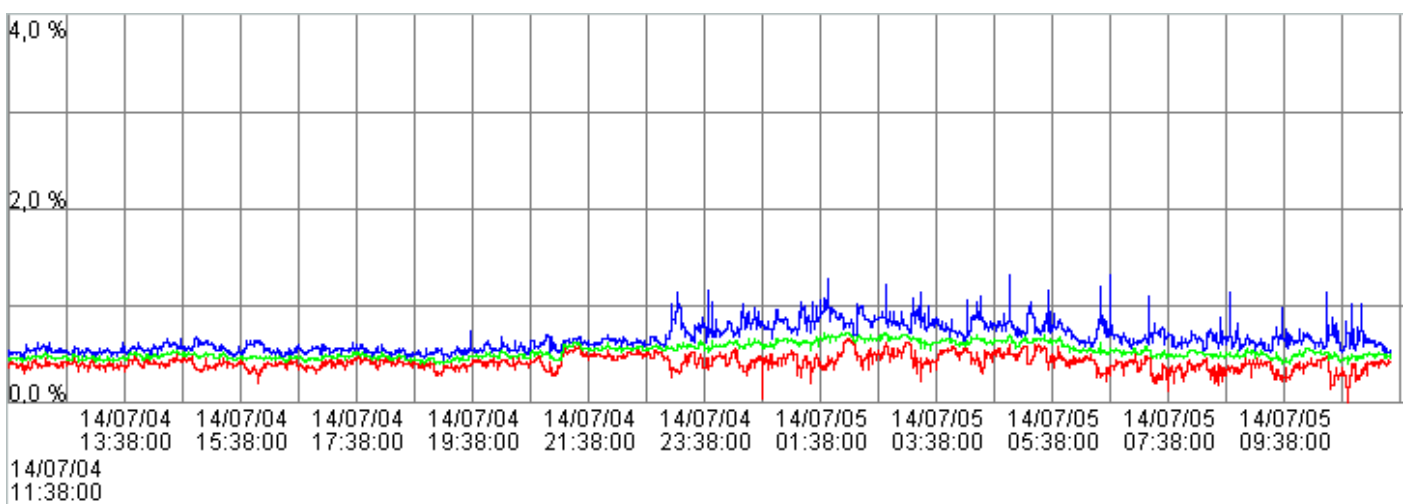
Σχόλιο : Οι διακυμάνσεις της συχνότητας είναι αμελητέες. Η μετρούμενη τιμή της κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας είναι σχεδόν η ονομαστική της (50Hz) και πάντα εντός ορίων.

## ➤ Συντελεστής Ισχύος κάθε φάσης



Σχόλιο : Ο συντελεστής ισχύος είναι αρκετά χαμηλός (μικρότερος από  $-0.85$  τις εργάσιμες ώρες) οπότε αν το κτίριο ΚΕΤΕΑΘ ήταν πελάτης μέσης τάσης της ΔΕΗ Α.Ε τότε θα του επιβαλλόταν πρόστιμο. Παρατηρούμε επίσης ότι ο συντελεστής είναι αρνητικός κι αυτό οφείλεται στο ότι η άεργος ισχύς που καταναλώνει το κτίριο είναι χωρητική (κυρίως λόγω των κλιματιστικών και των φωτιστικών φθορισμού).

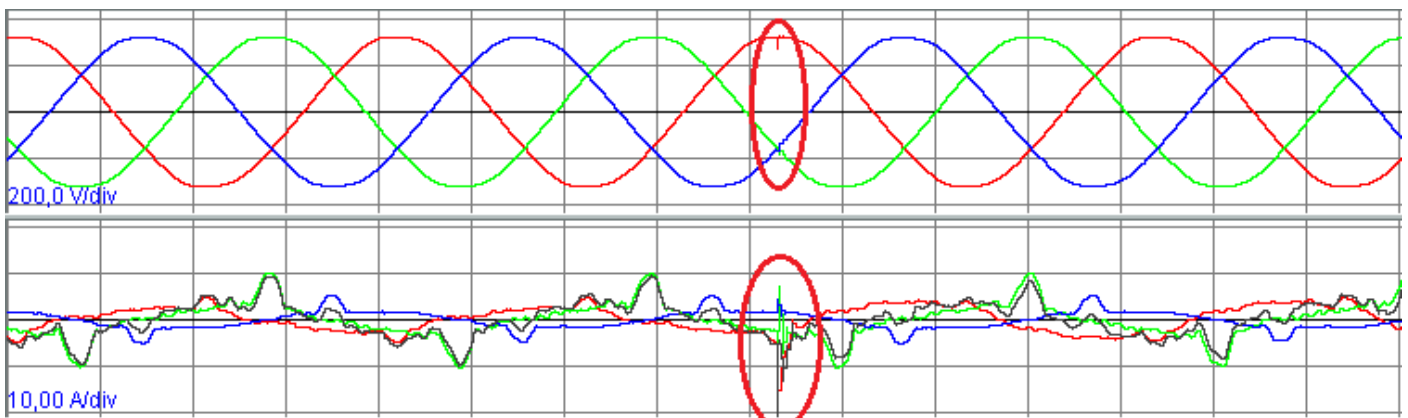
## ➤ Ανισορροπία τάσης



Σχόλιο : Σε καμία περίπτωση κατά τη διάρκεια της ημέρας η ανισορροπία τάσης δε ξεπερνά το όριο του 2%

## ➤ Λίστα με γεγονότα διαταραχών ( EventList)

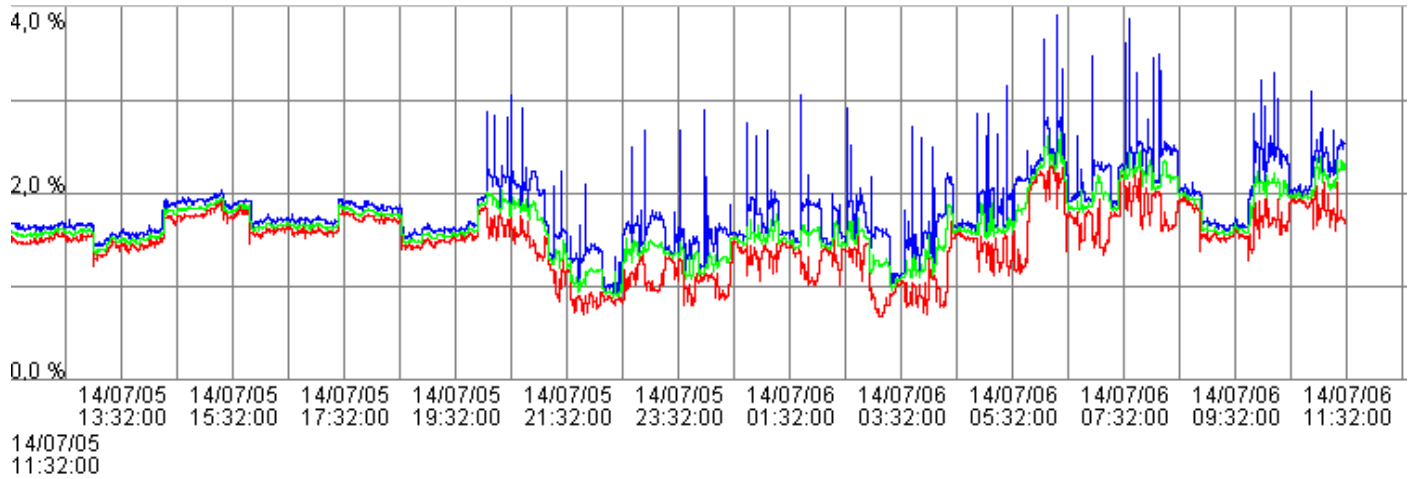
Event list	
01:	07/04 11:37:00.085 START
02:	07/04 17:06:40.960 TRANSIENT IN
03:	07/04 17:06:41.004 TRANSIENT OUT
04:	07/04 17:44:53.584 TRANSIENT IN
05:	07/04 17:44:53.628 TRANSIENT OUT
06:	07/04 18:56:31.729 TRANSIENT IN
07:	07/04 18:56:31.847 TRANSIENT OUT
08:	07/04 19:58:15.922 TRANSIENT IN
09:	07/04 19:58:16.007 TRANSIENT OUT
10:	07/04 19:58:16.362 TRANSIENT IN
11:	07/04 19:58:16.406 TRANSIENT OUT
12:	07/04 20:46:04.756 TRANSIENT IN
13:	07/04 20:46:04.883 TRANSIENT OUT
14:	07/05 09:12:45.780 TRANSIENT IN
15:	07/05 09:12:45.947 TRANSIENT OUT
16:	07/05 09:12:56.145 TRANSIENT IN
17:	07/05 09:12:56.147 TRANSIENT OUT
18:	07/05 09:17:55.096 TRANSIENT IN
19:	07/05 09:17:55.176 TRANSIENT OUT
20:	07/05 11:29:49.725 STOP



Σχόλιο : Τα μόνα γεγονότα που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της δεύτερης μέρας, είναι αρκετά transients (μεταβατικές υπερτάσεις). Για παράδειγμα παρουσιάζουμε την παραπάνω εικόνα η οποία δείχνει την κυματομορφή τάσης και ρεύματος του Event10 και φαίνεται ξεκάθαρα η διαταραχή λόγω των εγκοπών στην κυματομορφή ρεύματος και τάσης. Από την κυματομορφή μπορούμε επίσης να συμπεράνουμε σύμφωνα και με όσα είπαμε στην παράγραφο 4.1, ότι το συγκεκριμένο γεγονός αποτελεί μία κρουστική υπόταση.

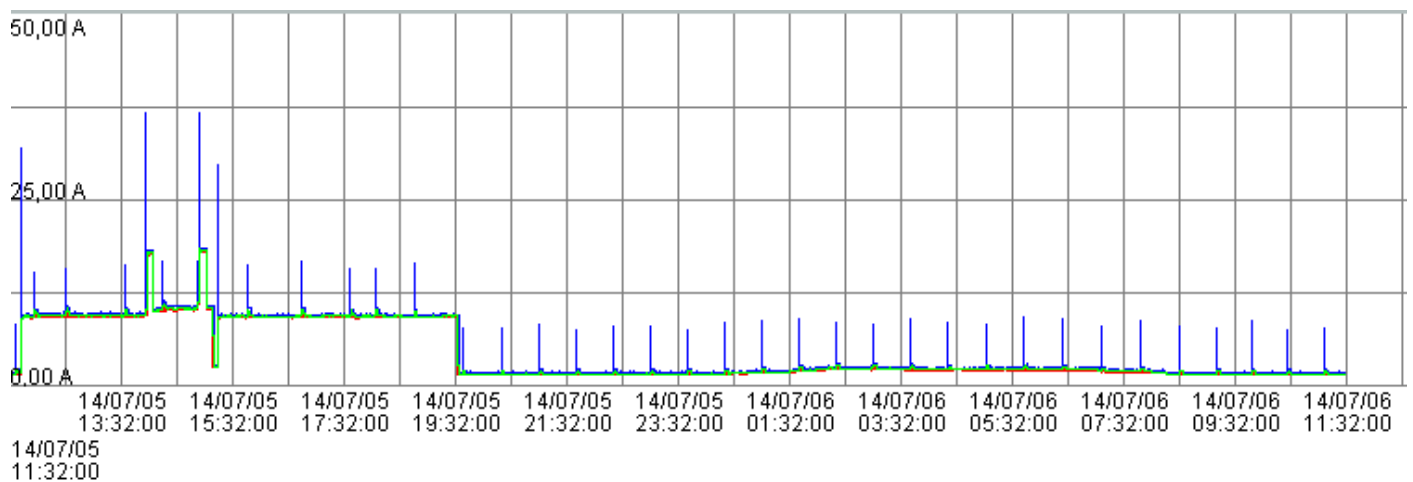
**4<sup>η</sup> ημέρα, 6/7/2014**

➤ **Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD):**



Σχόλιο : Καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας ο συντελεστής THD βρίσκεται εντός του ορίου 8% του προτύπου.

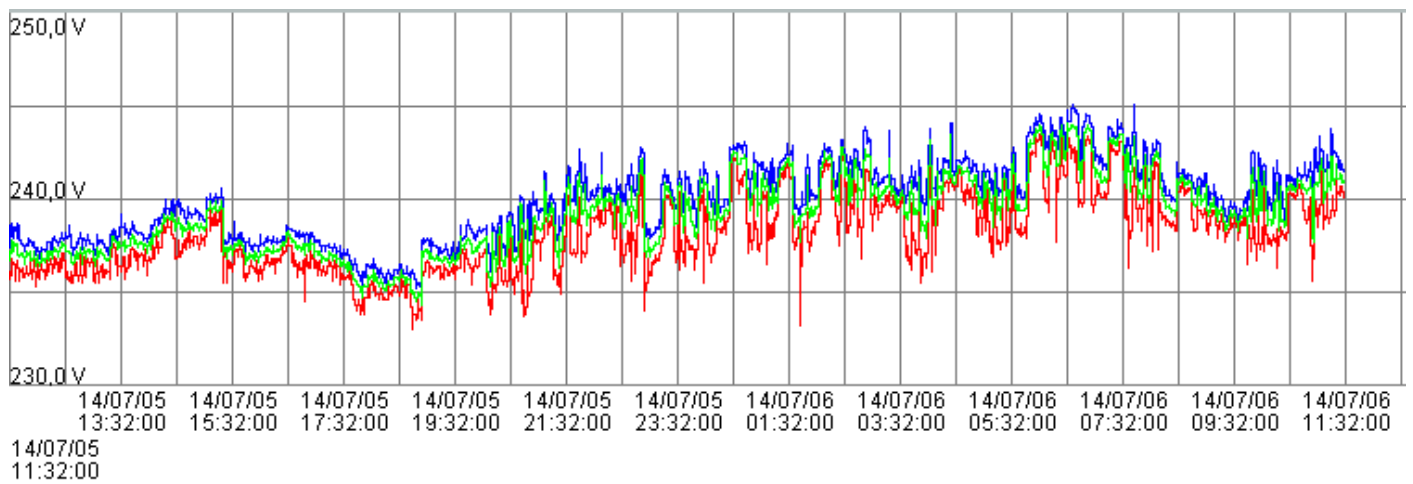
➤ **RMS τιμές των ρευμάτων των τριών φάσεων και του ουδέτερου:**



Σχόλιο : Παρατηρείται η αύξηση των ρευμάτων κατά τις εργάσιμες ώρες.

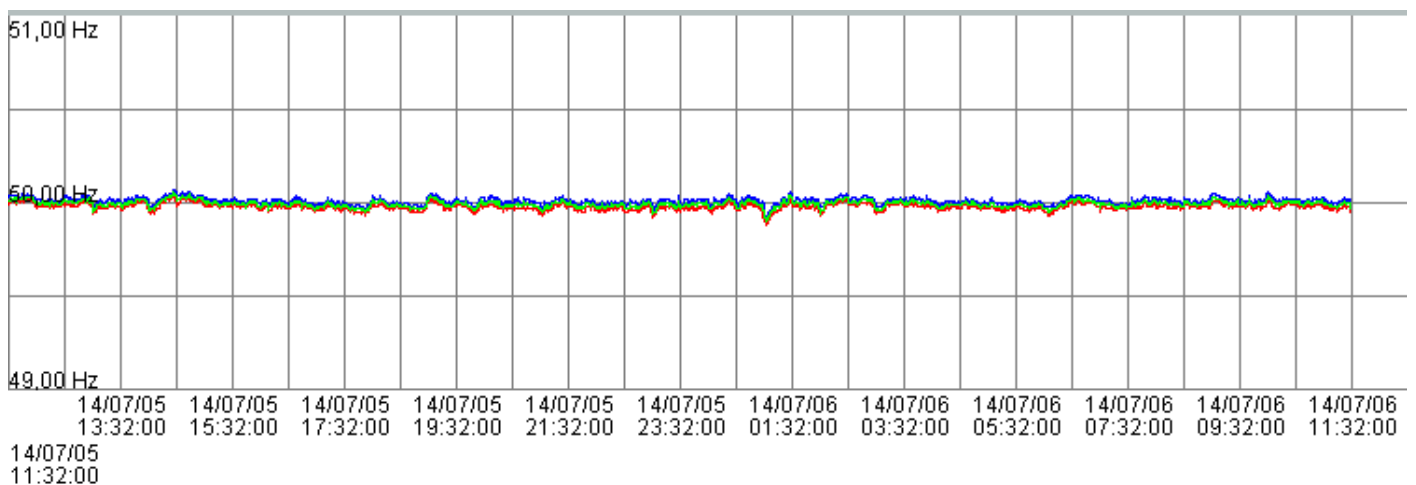


### ➤ RMS τιμές για τις τρεις φασικές τάσεις



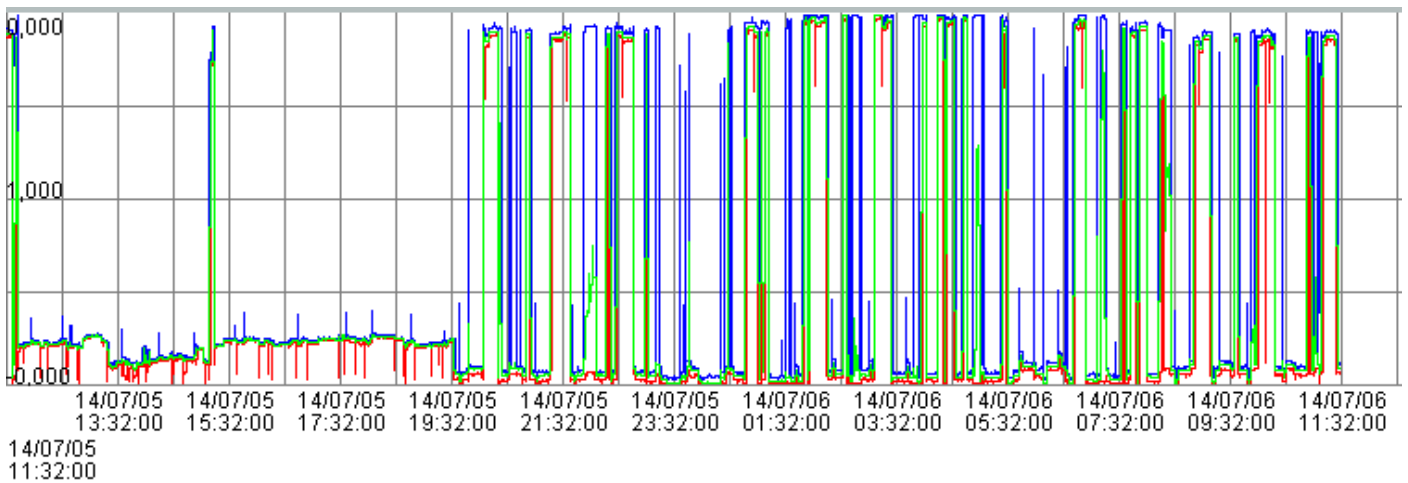
Σχόλιο: Καμία από τις τρεις φάσεις δεν ξεπερνά τα όρια που έχουμε θέσει (253V και 207V για υπέρταση και βύθιση αντίστοιχα).

### ➤ Διακύμανση της συχνότητας :



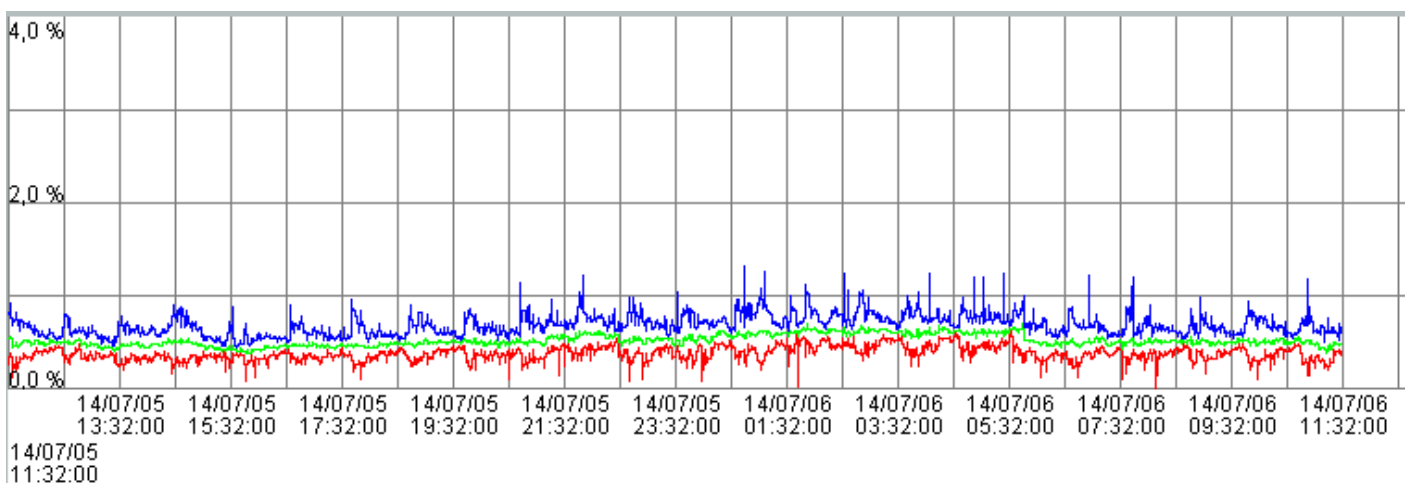
Σχόλιο : Οι διακυμάνσεις της συχνότητας είναι αμελητέες. Η μετρούμενη τιμή της κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας είναι σχεδόν η ονομαστική της (50Hz) και πάντα εντός ορίων.

## ➤ Συντελεστής Ισχύος κάθε φάσης



Σχόλιο : Ο συντελεστής ισχύος είναι αρκετά χαμηλός (μικρότερος από -0.85 τις εργάσιμες ώρες) οπότε αν το κτίριο ΚΕΤΕΑΘ ήταν πελάτης μέσης τάσης της ΔΕΗ Α.Ε τότε θα του επιβαλλόταν πρόστιμο. Παρατηρούμε επίσης ότι ο συντελεστής είναι αρνητικός κι αυτό οφείλεται στο ότι η άεργος ισχύς που καταναλώνει το κτίριο είναι χωρητική (κυρίως λόγω των κλιματιστικών και των φωτιστικών φθορισμού).

## ➤ Ανισορροπία τάσης



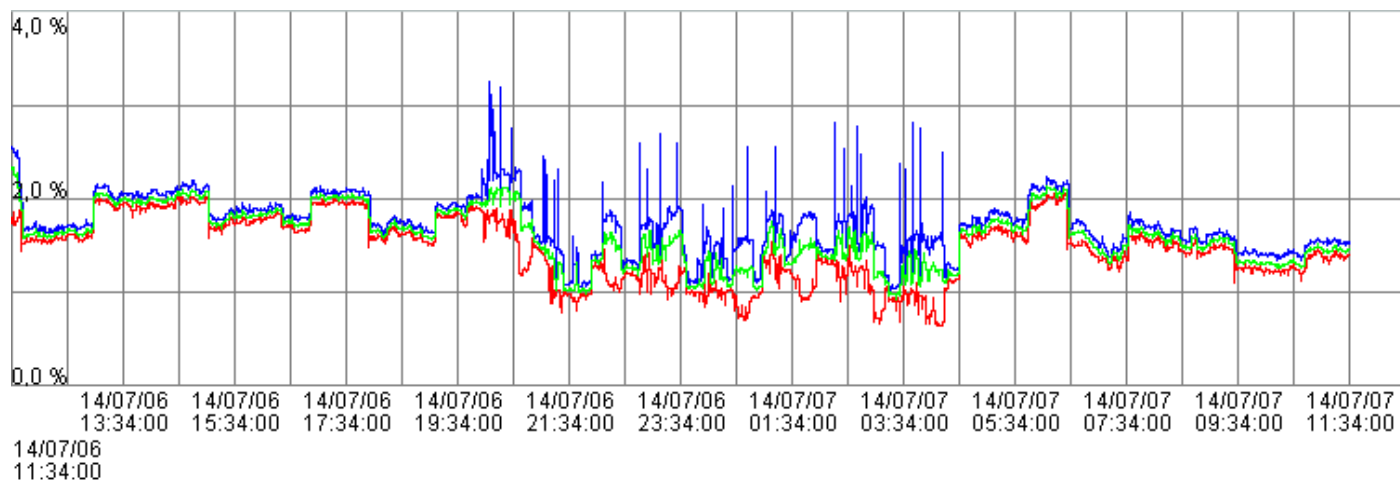
Σχόλιο : Σε καμία περίπτωση κατά τη διάρκεια της ημέρας η ανισορροπία τάσης δε ξεπερνά το όριο του 2%

## ➤ Λίστα με γεγονότα διαταραχών ( EventList)

Event list	
01:	07/05 11:31:00.131 START
02:	07/06 11:31:31.106 STOP

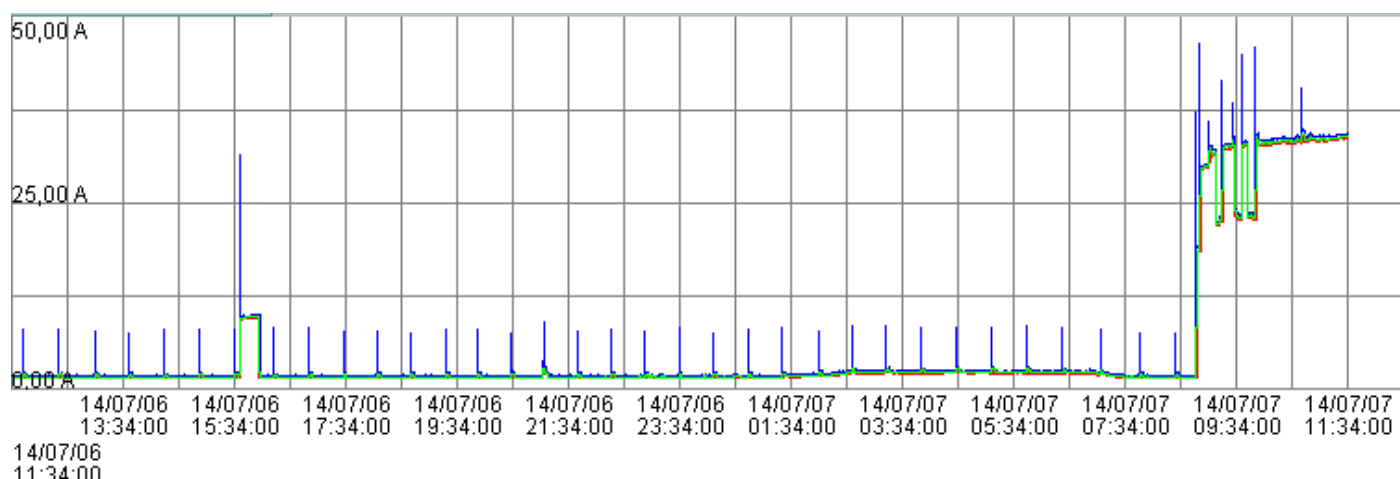
Σχόλιο : Κατά τη διάρκεια μέτρησης της 4ης ημέρας, δε καταγράφηκε κανένα Event διαταραχής.

## ➤ Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD):



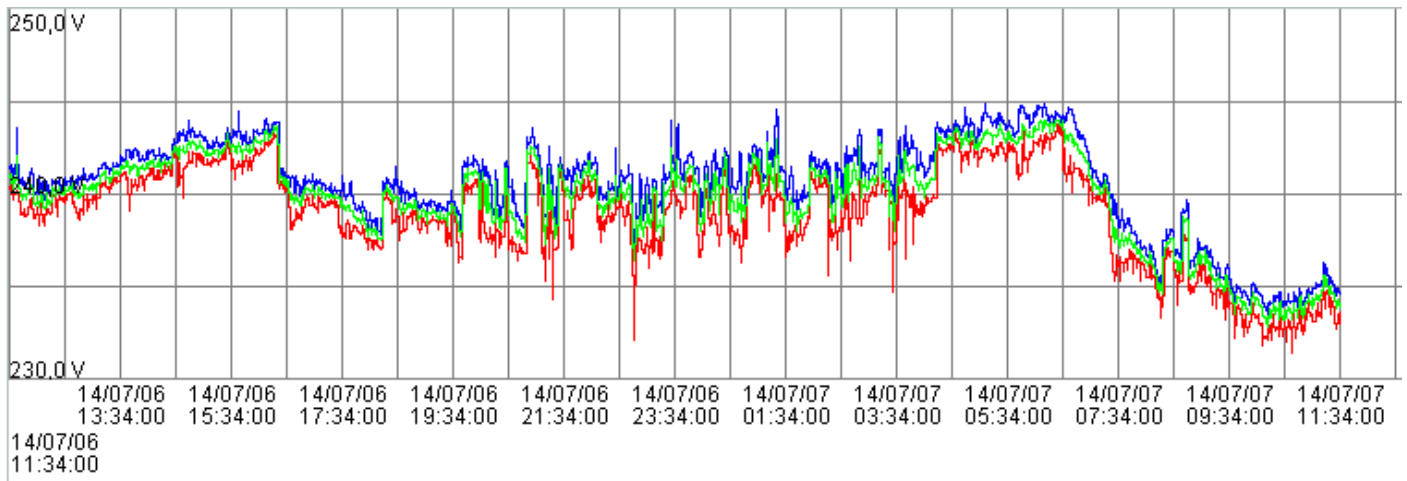
Σχόλιο : Καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας ο συντελεστής THD βρίσκεται εντός του ορίου 8% του προτύπου.

## ➤ RMS τιμές των ρευμάτων των τριών φάσεων και του ουδέτερου:



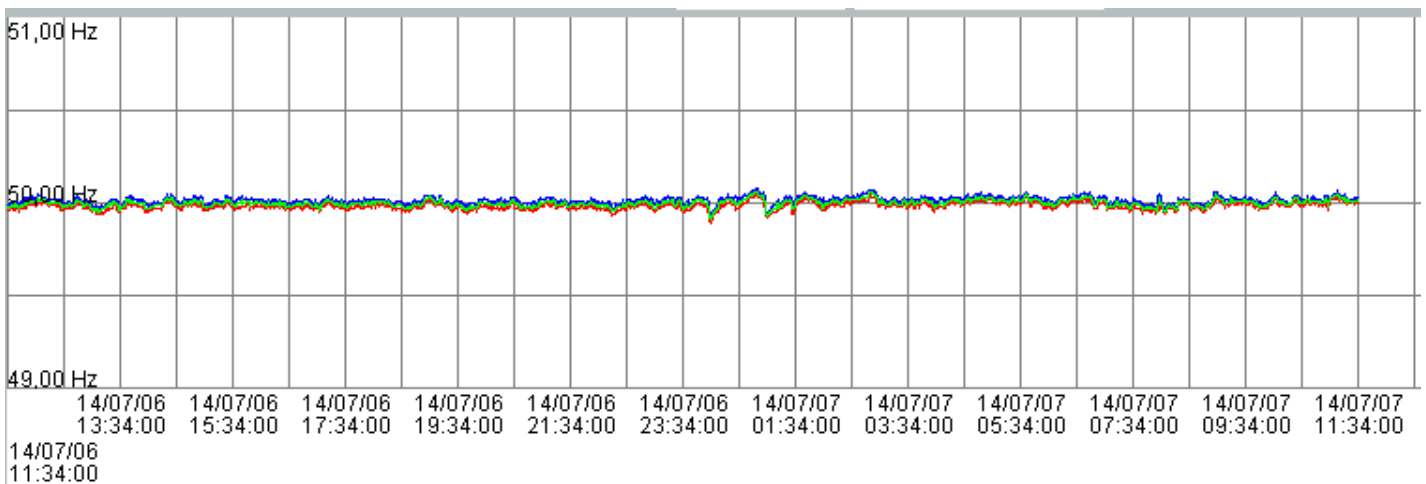
Σχόλιο : Αν και εργάσιμη μέρα οι τιμές ρεύματος των τριών φάσεων είναι πολύ χαμηλές, αυξάνονται μόνο μετά τις 08.30μ.μ λόγω του φωτισμού.

## ➤ RMS τιμές για τις τρεις φασικές τάσεις



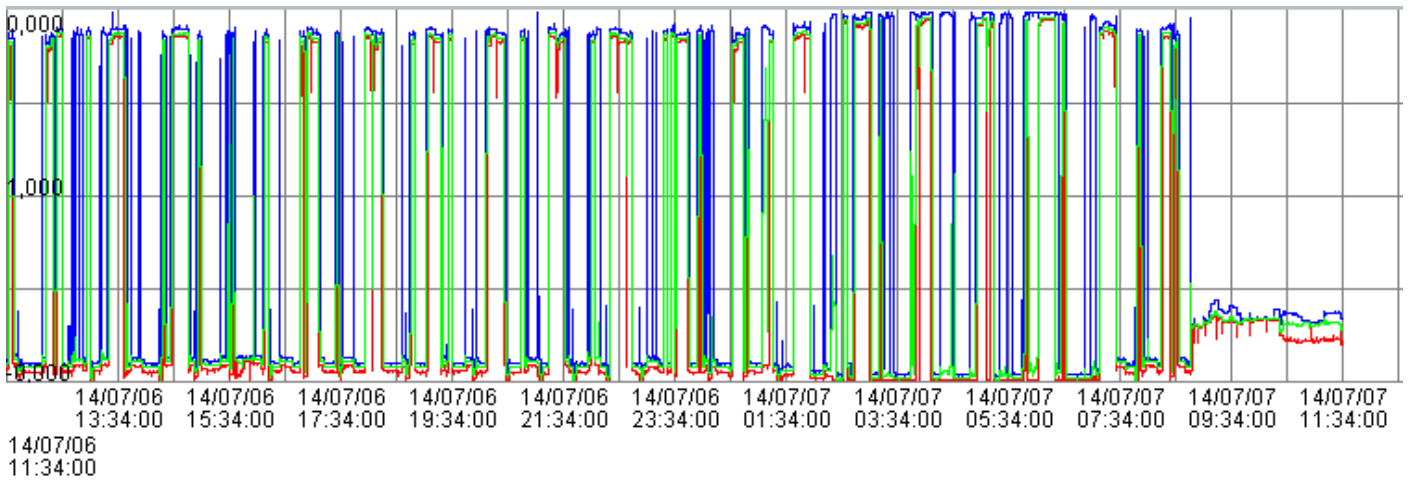
Σχόλιο: Καμία από τις τρεις φάσεις δεν ξεπερνά τα όρια που έχουμε θέσει (253V και 207V για υπέρταση και βύθιση αντίστοιχα).

### ➤ Διακύμανση της συχνότητας :



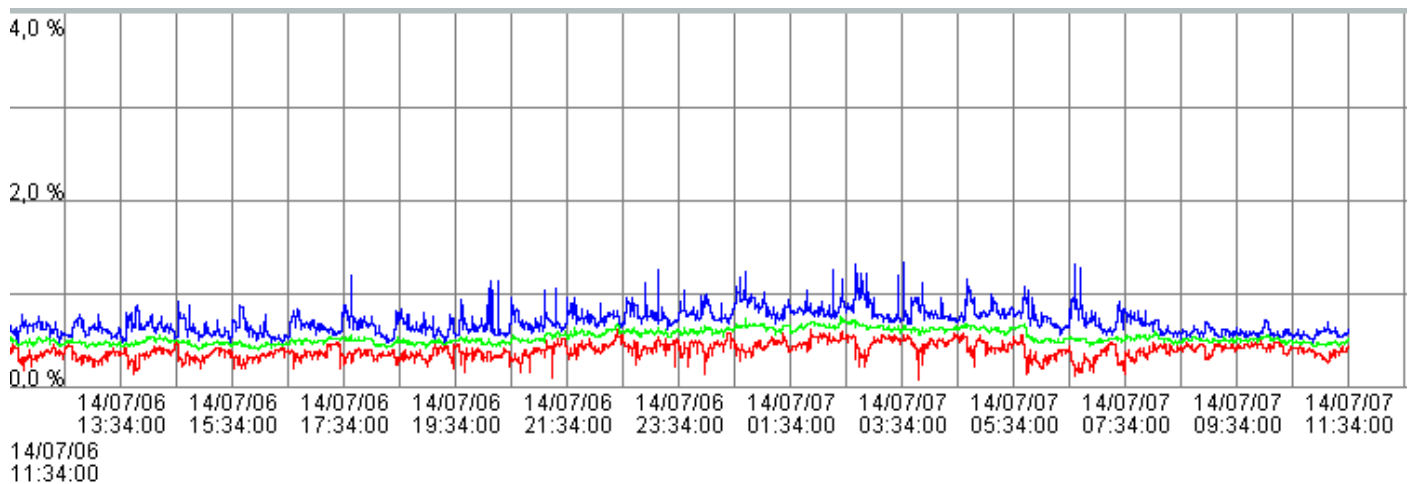
Σχόλιο : Οι διακυμάνσεις της συχνότητας είναι αμελητέες. Η μετρούμενη τιμή της κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας είναι σχεδόν η ονομαστική της (50Hz) και πάντα εντός ορίων.

## ➤ Συντελεστής Ισχύος κάθε φάση



Σχόλιο : Ο συντελεστής ισχύος είναι αρκετά χαμηλός (μικρότερος από  $-0.85$  τις εργάσιμες ώρες) οπότε αν το κτίριο ΚΕΤΕΑΘ ήταν πελάτης μέσης τάσης της ΔΕΗ Α.Ε τότε θα του επιβαλλόταν πρόστιμο. Παρατηρούμε επίσης ότι ο συντελεστής είναι αρνητικός κι αυτό οφείλεται στο ότι η άεργος ισχύς που καταναλώνει το κτίριο είναι χωρητική (κυρίως λόγω των κλιματιστικών και των φωτιστικών φθορισμού).

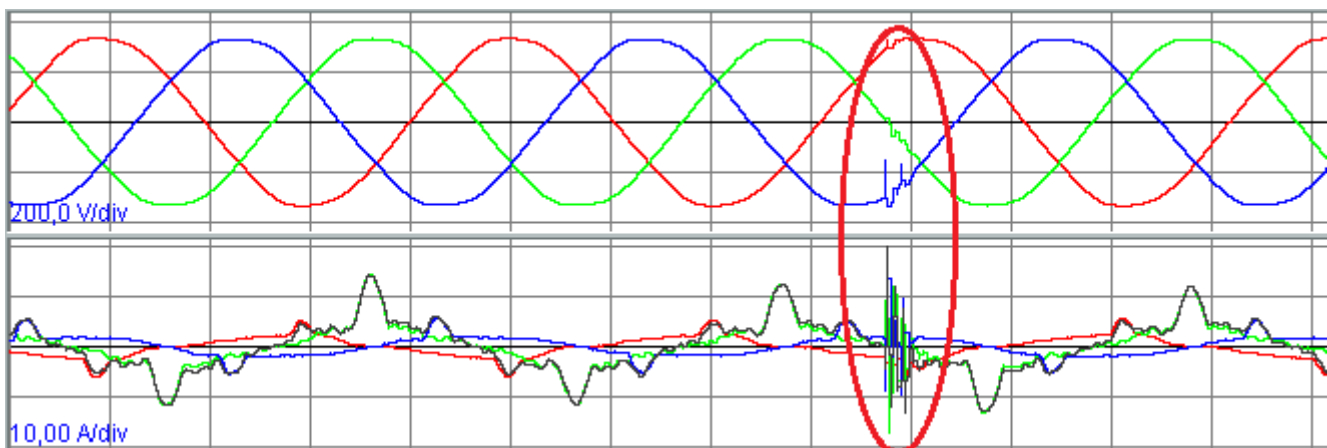
## ➤ Ανισορροπία τάσης



Σχόλιο : Σε καμία περίπτωση κατά τη διάρκεια της ημέρας η ανισορροπία τάσης δε ξεπερνά το όριο του 2%

## ➤ Λίστα με γεγονότα διαταραχών ( EventList)

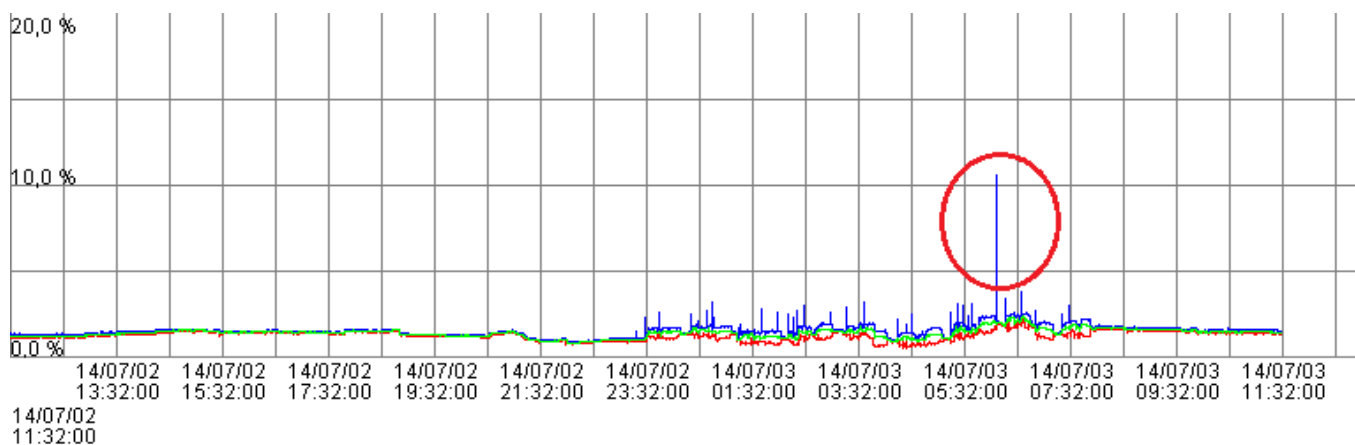
Event list	
01:	07/06 11:33:00.115 START
02:	07/06 21:05:20.527 TRANSIENT IN
03:	07/06 21:05:20.532 TRANSIENT OUT
04:	07/07 07:02:23.441 TRANSIENT IN
05:	07/07 07:02:23.478 TRANSIENT OUT
06:	07/07 07:02:48.394 TRANSIENT IN
07:	07/07 07:02:48.480 TRANSIENT OUT
08:	07/07 07:18:26.157 TRANSIENT IN
09:	07/07 07:18:26.169 TRANSIENT OUT
10:	07/07 07:18:37.654 TRANSIENT IN
11:	07/07 07:18:37.769 TRANSIENT OUT
12:	07/07 07:39:51.583 TRANSIENT IN
13:	07/07 07:39:51.689 TRANSIENT OUT
14:	07/07 07:52:52.316 TRANSIENT IN
15:	07/07 07:52:52.362 TRANSIENT OUT
16:	07/07 09:15:07.600 TRANSIENT IN
17:	07/07 09:15:07.623 TRANSIENT OUT
18:	07/07 11:35:36.426 STOP



Σχόλιο : Τα μόνα γεγονότα που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της δεύτερης μέρας, είναι αρκετά transients (μεταβατικές υπερτάσεις). Για παράδειγμα παρουσιάζουμε την παραπάνω εικόνα η οποία δείχνει την κυματομορφή τάσης και ρεύματος του Event4 και φαίνεται ξεκάθαρα η διαταραχή λόγω των εγκοπών στην κυματομορφή ρεύματος και τάσης. Από την κυματομορφή μπορούμε επίσης να συμπεράνουμε σύμφωνα και με όσα είπαμε στην παράγραφο 4.1, ότι το συγκεκριμένο γεγονός αποτελεί μία αποσβεννύμενη υπέρταση.

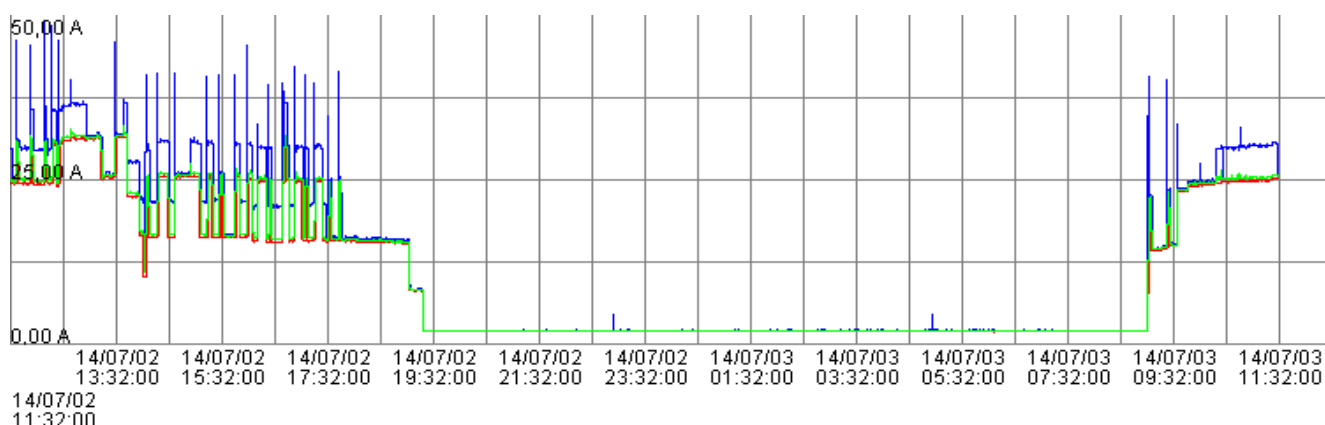
## 6<sup>η</sup> ημέρα, 8/7/2014

### ➤ Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD):



Σχόλιο : Μόνο σε μία περίπτωση, λίγο μετά τις 06:00 π.μ, ο συντελεστής THD, στιγμιαία αυξήθηκε πάνω από το όριο του 8% που ορίζει το πρότυπο EN50160. Γενικά κατά τη διάρκεια της ημέρας, δεν ξεπερνούσε το 2-3%.

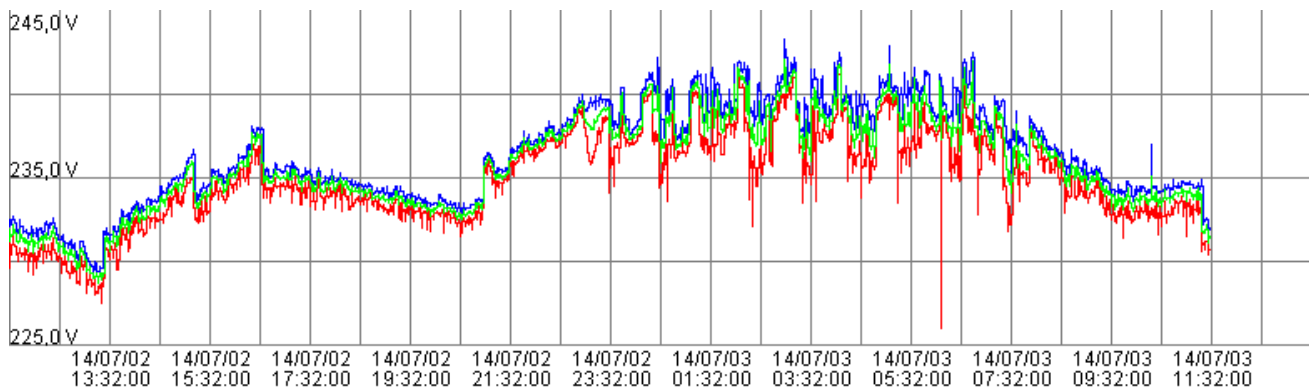
### ➤ RMS τιμές των ρευμάτων των τριών φάσεων και του ουδέτερου:



Σχόλιο : Παρατηρείται η αύξηση των ρευμάτων κατά τις εργάσιμες ώρες από τις 09.00 π.μ μέχρι τις 19.00 μ.μ .

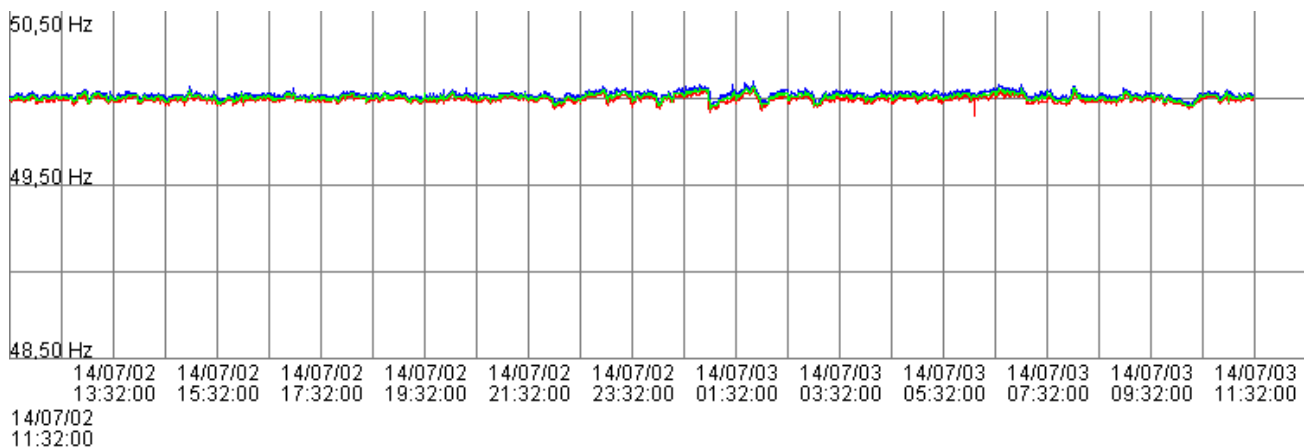


➤ **RMS τιμές για τις τρεις φασικές τάσεις :**



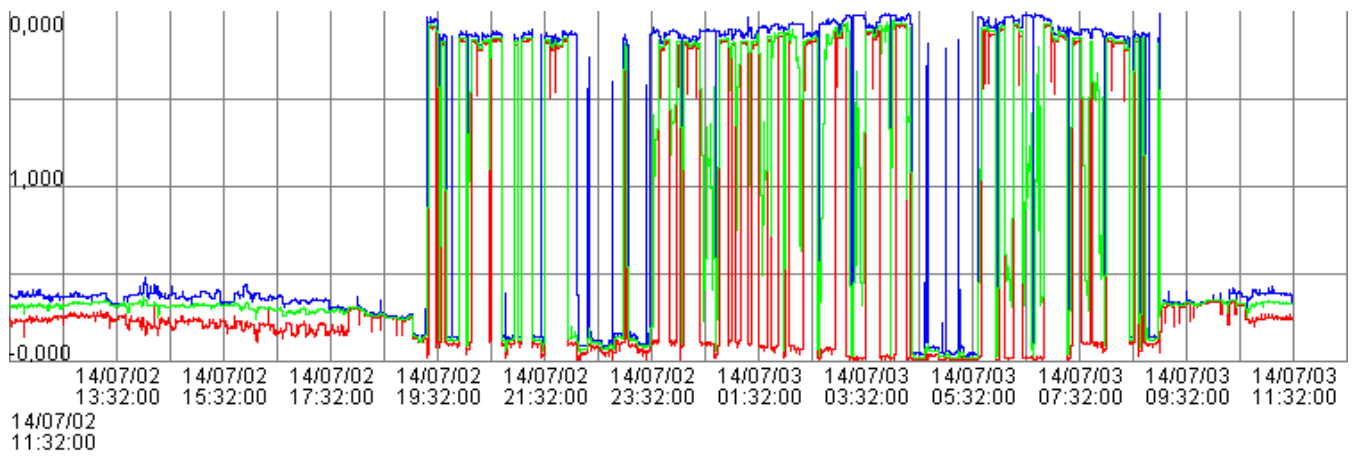
Σχόλιο: Καμία από τις τρεις φάσεις δεν ξεπερνά τα όρια που έχουμε θέσει (253V και 207V για υπέρταση και βύθιση αντίστοιχα).

➤ **Διακύμανση της συχνότητας :**



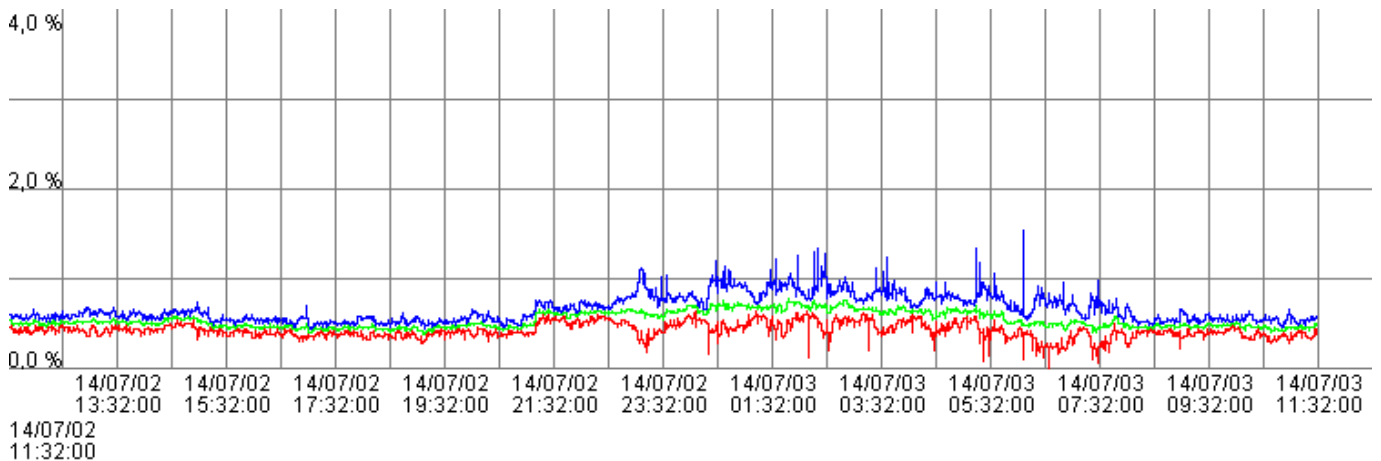
Σχόλιο : Οι διακυμάνσεις της συχνότητας είναι αμελητέες. Η μετρούμενη τιμή της κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας είναι σχεδόν η ονομαστική της (50Hz) και πάντα εντός ορίων.

### ➤ Συντελεστής Ισχύος κάθε φάσης



Σχόλιο : Ο συντελεστής ισχύος είναι αρκετά χαμηλός (μικρότερος από -0.85 τις εργάσιμες ώρες) οπότε αν το κτίριο ΚΕΤΕΑΘ ήταν πελάτης μέσης τάσης της ΔΕΗ Α.Ε τότε θα του επιβαλλόταν πρόστιμο. Παρατηρούμε επίσης ότι ο συντελεστής είναι αρνητικός κι αυτό οφείλεται στο ότι η άεργος ισχύς που καταναλώνει το κτίριο είναι χωρητική (κυρίως λόγω των κλιματιστικών και των φωτιστικών φορτισμού).

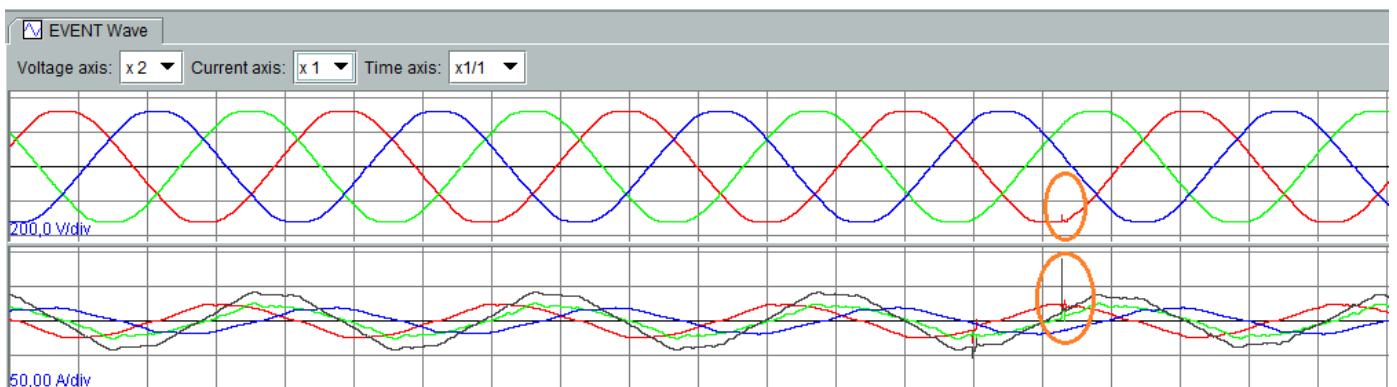
### ➤ Ανισορροπία τάσης



Σχόλιο : Σε καμία περίπτωση κατά τη διάρκεια της ημέρας η ανισορροπία τάσης δε ξεπερνά το όριο του 2%

## ➤ Λίστα με γεγονότα διαταραχών ( EventList)

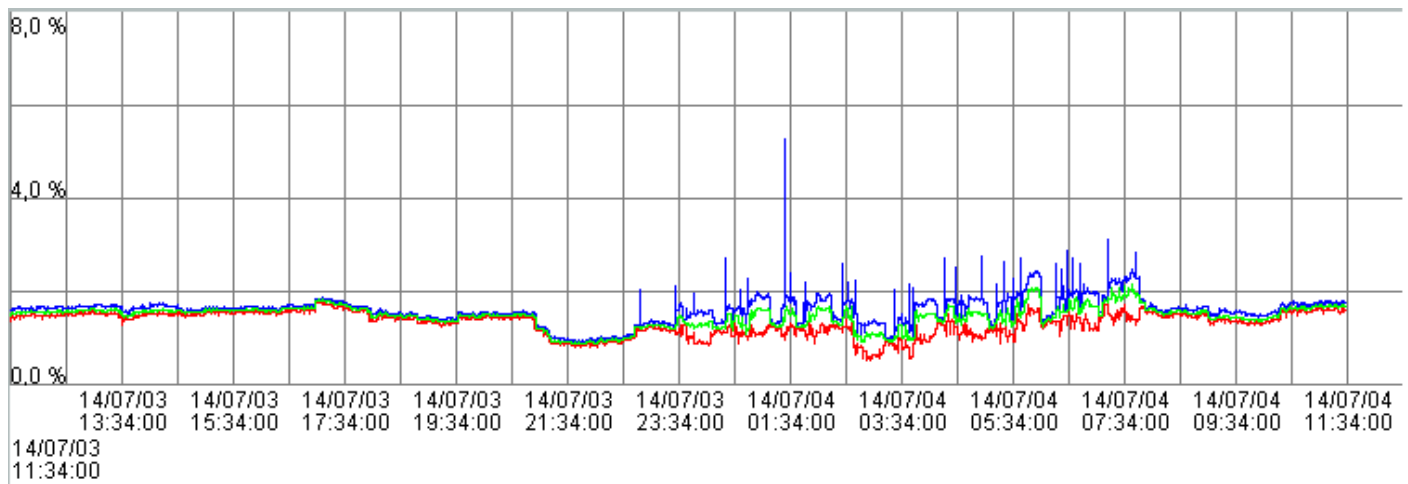
Event list	
01:	07/02 11:31:00.050 START
02:	07/02 17:13:12.733 TRANSIENT IN
03:	07/02 17:13:12.847 TRANSIENT OUT
04:	07/03 06:59:06.125 TRANSIENT IN
05:	07/03 06:59:06.161 TRANSIENT OUT
06:	07/03 07:21:33.824 TRANSIENT IN
07:	07/03 07:21:33.889 TRANSIENT OUT
08:	07/03 08:23:16.218 TRANSIENT IN
09:	07/03 08:23:16.238 TRANSIENT OUT
10:	07/03 09:02:32.114 TRANSIENT IN
11:	07/03 09:02:32.261 TRANSIENT OUT
12:	07/03 09:02:44.339 TRANSIENT IN
13:	07/03 09:02:44.462 TRANSIENT OUT
14:	07/03 11:31:03.710 STOP



Σχόλιο : Τα μόνα γεγονότα που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της πρώτης μέρας, είναι κάποια transients (μεταβατικές υπερτάσεις). Για παράδειγμα παρουσιάζουμε την παραπάνω εικόνα η οποία δείχνει την κυματομορφή τάσης και ρεύματος του Event 10 και φαίνεται ξεκάθαρα η διαταραχή λόγω της εγκοπής στην κυματομορφή ρεύματος. Από την κυματομορφή μπορούμε επίσης να συμπεράνουμε σύμφωνα και με όσα έχουμε ήδη αναφέρει στην παράγραφο 4.1, ότι το συγκεκριμένο γεγονός αποτελεί μία κρουστική υπέρταση.

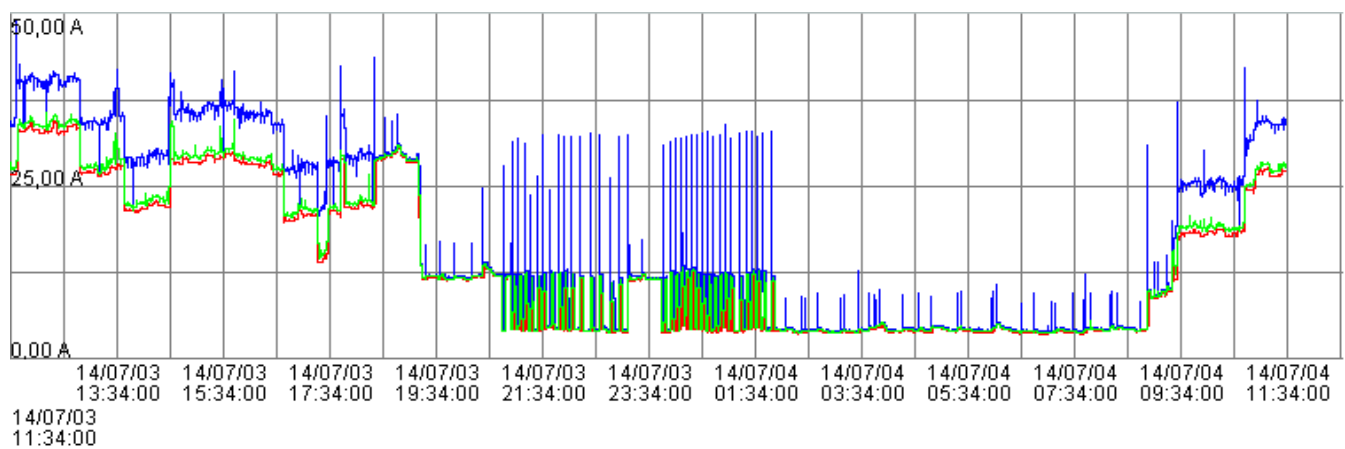
## 7<sup>η</sup> ημέρα, 9/7/2014

### ➤ Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD):



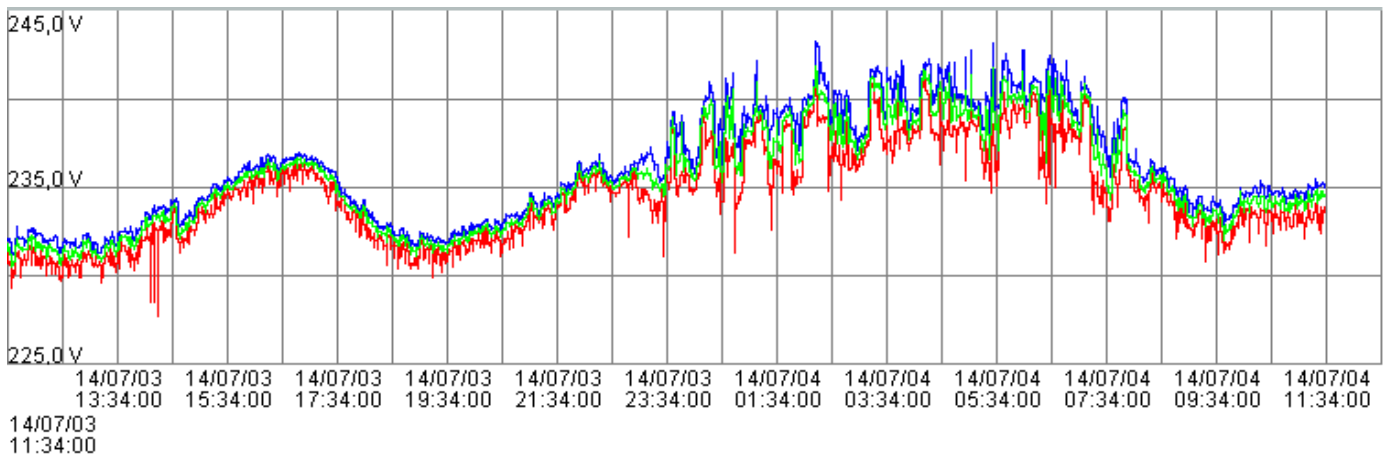
Σχόλιο : Καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας ο συντελεστής THD βρίσκεται εντός του ορίου 8% του προτύπου.

### ➤ RMS τιμές των ρευμάτων των τριών φάσεων και του ουδέτερου:



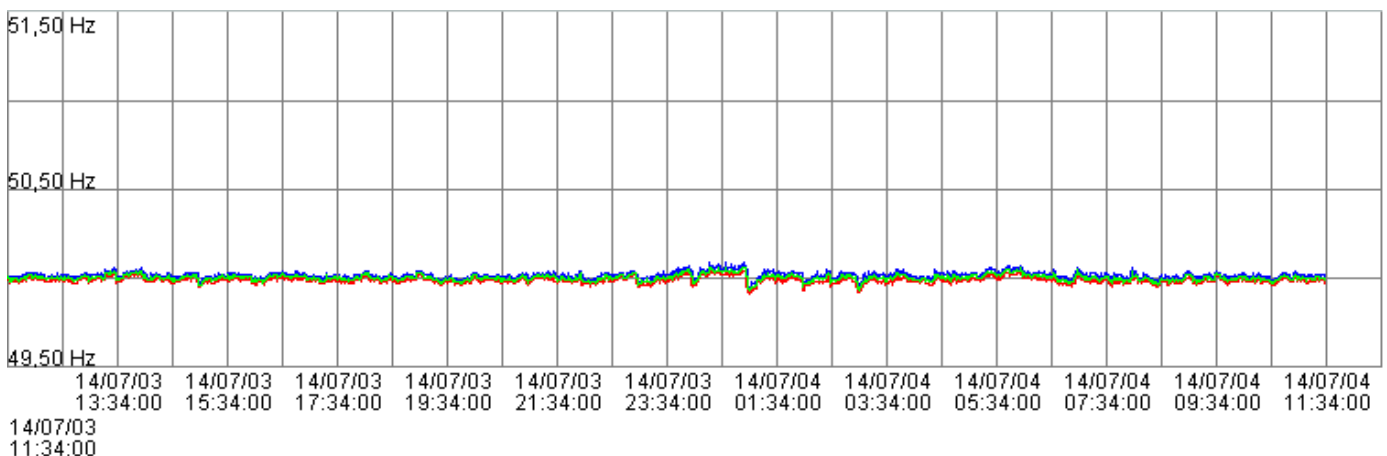
Σχόλιο : Παρατηρείται η αύξηση των ρευμάτων κατά τις εργάσιμες ώρες.

➤ **RMS τιμές για τις τρεις φασικές τάσεις :**



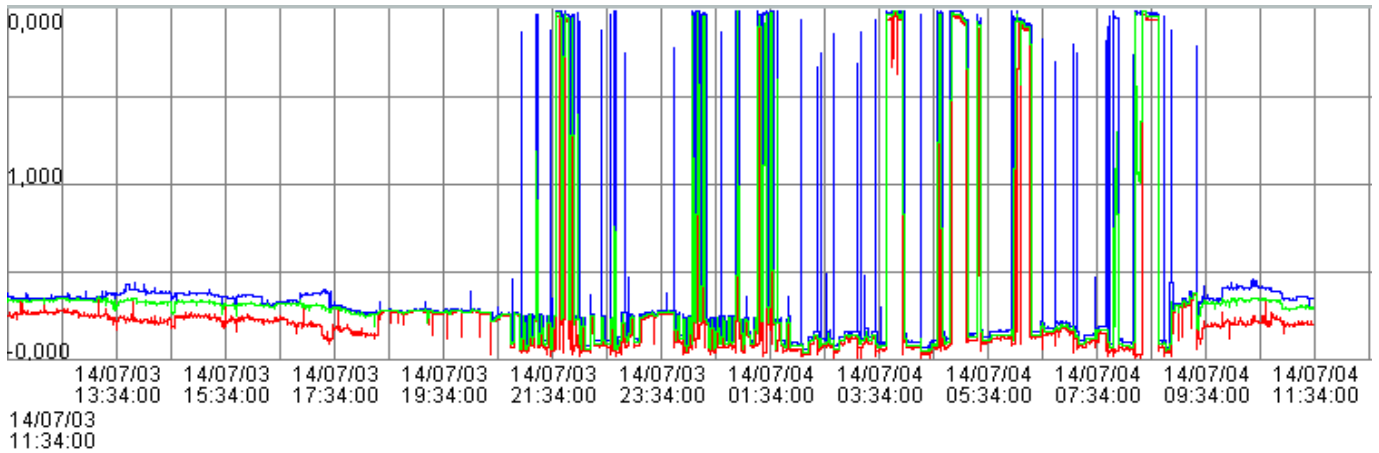
Σχόλιο: Καμία από τις τρεις φάσεις δεν ξεπερνά τα όρια που έχουμε θέσει (253V και 207V για υπέρταση και βύθιση αντίστοιχα).

➤ **Διακύμανση της συχνότητας :**



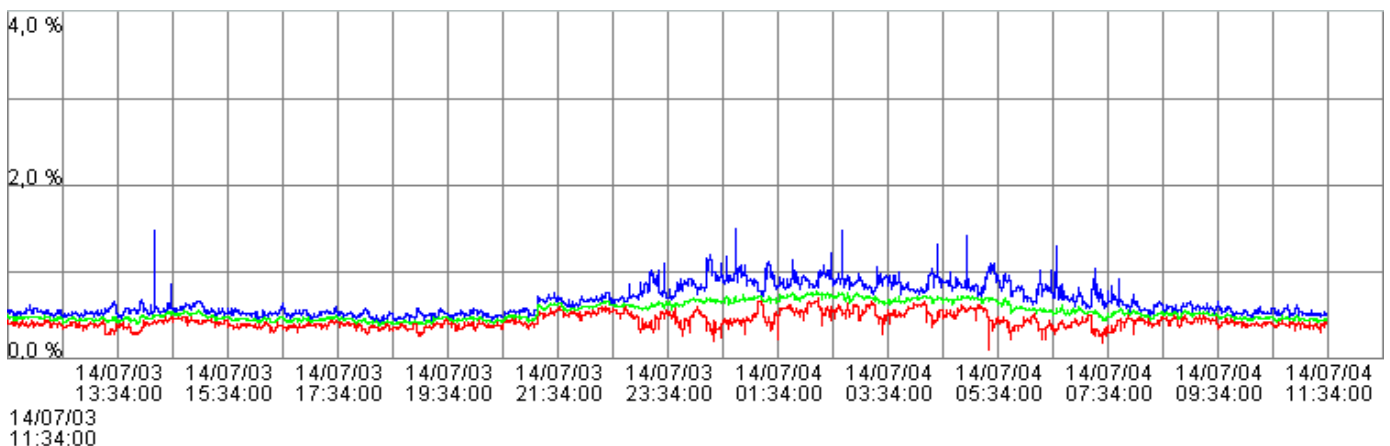
Σχόλιο : Οι διακυμάνσεις της συχνότητας είναι αμελητέες. Η μετρούμενη τιμή της κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας είναι σχεδόν η ονομαστική της (50Hz) και πάντα εντός ορίων.

### ➤ Συντελεστής Ισχύος κάθε φάσης



Σχόλιο : Ο συντελεστής ισχύος είναι αρκετά χαμηλός (μικρότερος από -0.85 τις εργάσιμες ώρες) οπότε αν το κτίριο ΚΕΤΕΑΘ ήταν πελάτης μέσης τάσης της ΔΕΗ Α.Ε τότε θα του επιβαλλόταν πρόστιμο. Παρατηρούμε επίσης ότι ο συντελεστής είναι αρνητικός κι αυτό οφείλεται στο ότι η άεργος ισχύς που καταναλώνει το κτίριο είναι χωρητική (κυρίως λόγω των κλιματιστικών και των φωτιστικών φθορισμού).

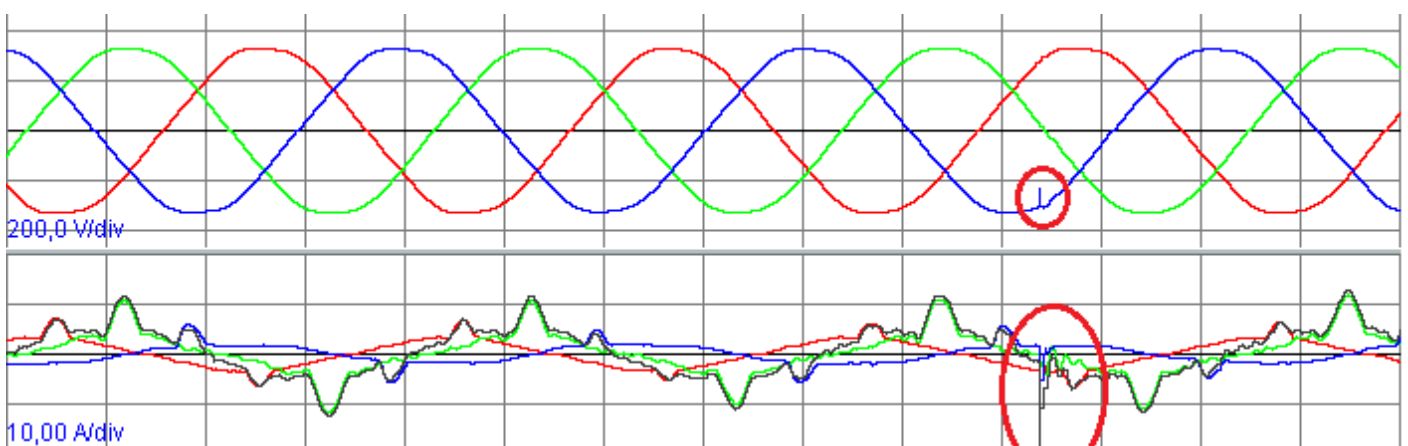
### ➤ Ανισορροπία τάσης



Σχόλιο : Σε καμία περίπτωση κατά τη διάρκεια της ημέρας η ανισορροπία τάσης δε ξεπερνά το όριο του 2%

### ➤ Λίστα με γεγονότα διαταραχών ( EventList)

Event list	
01: <input type="checkbox"/> 07/03 11:33:00.121 START	
02: <input type="checkbox"/> 07/03 13:28:05.014 TRANSIENT IN	
03: <input type="checkbox"/> 07/03 13:28:05.014 TRANSIENT OUT	
04: <input type="checkbox"/> 07/03 15:42:47.513 TRANSIENT IN	
05: <input type="checkbox"/> 07/03 15:42:47.578 TRANSIENT OUT	
06: <input type="checkbox"/> 07/03 16:43:57.354 TRANSIENT IN	
07: <input type="checkbox"/> 07/03 16:43:57.354 TRANSIENT OUT	
08: <input type="checkbox"/> 07/04 07:01:10.110 TRANSIENT IN	17: <input type="checkbox"/> 07/04 07:26:31.448 TRANSIENT OUT
09: <input type="checkbox"/> 07/04 07:01:10.303 TRANSIENT OUT	18: <input type="checkbox"/> 07/04 07:31:33.588 TRANSIENT IN
10: <input type="checkbox"/> 07/04 07:01:30.300 TRANSIENT IN	19: <input type="checkbox"/> 07/04 07:31:33.677 TRANSIENT OUT
11: <input type="checkbox"/> 07/04 07:01:30.305 TRANSIENT OUT	20: <input type="checkbox"/> 07/04 07:41:51.833 TRANSIENT IN
12: <input type="checkbox"/> 07/04 07:04:33.848 TRANSIENT IN	21: <input type="checkbox"/> 07/04 07:41:51.937 TRANSIENT OUT
13: <input type="checkbox"/> 07/04 07:04:33.923 TRANSIENT OUT	22: <input type="checkbox"/> 07/04 08:56:01.503 TRANSIENT IN
14: <input type="checkbox"/> 07/04 07:18:08.139 TRANSIENT IN	23: <input type="checkbox"/> 07/04 08:56:01.560 TRANSIENT OUT
15: <input type="checkbox"/> 07/04 07:18:08.200 TRANSIENT OUT	24: <input type="checkbox"/> 07/04 10:05:54.908 TRANSIENT IN
16: <input type="checkbox"/> 07/04 07:26:31.318 TRANSIENT IN	25: <input type="checkbox"/> 07/04 10:05:54.961 TRANSIENT OUT
	26: <input type="checkbox"/> 07/04 11:33:20.064 STOP



Σχόλιο : Τα μόνα γεγονότα που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της δεύτερης μέρας, είναι αρκετά transients (μεταβατικές υπερτάσεις). Για παράδειγμα παρουσιάζουμε την παραπάνω εικόνα η οποία δείχνει την κυματομορφή τάσης και ρεύματος του Event 14 και φαίνεται ξεκάθαρα η διαταραχή λόγω των εγκοπών στην κυματομορφή ρεύματος και τάσης. Από την κυματομορφή μπορούμε

επίσης να συμπεράνουμε σύμφωνα και με όσα είπαμε στην παράγραφο 4.1, ότι το συγκεκριμένο γεγονός αποτελεί μία κρουστική υπέρταση.

## 6.5 Καμπύλη CBEMA

Παρατηρούμε ότι τα Events που κατεγράφησαν κατά τη διάρκεια της εβδομάδος αποτελούν μεταβατικές υπερτάσεις ελάχιστης χρονικής διάρκειας συνεπώς όλα στο γράφημα της καμπύλης CBEMA ανήκουν στο αποδεκτό τμήμα της. Για να παρουσιάσουμε τη λειτουργικότητα της καμπύλης πραγματοποιήσαμε μετρήσεις τρεις ακόμα μέρες μειώνοντας τα επιτρεπτά όρια (triggerlevels) στο όργανο που προκαλούν τα Events.

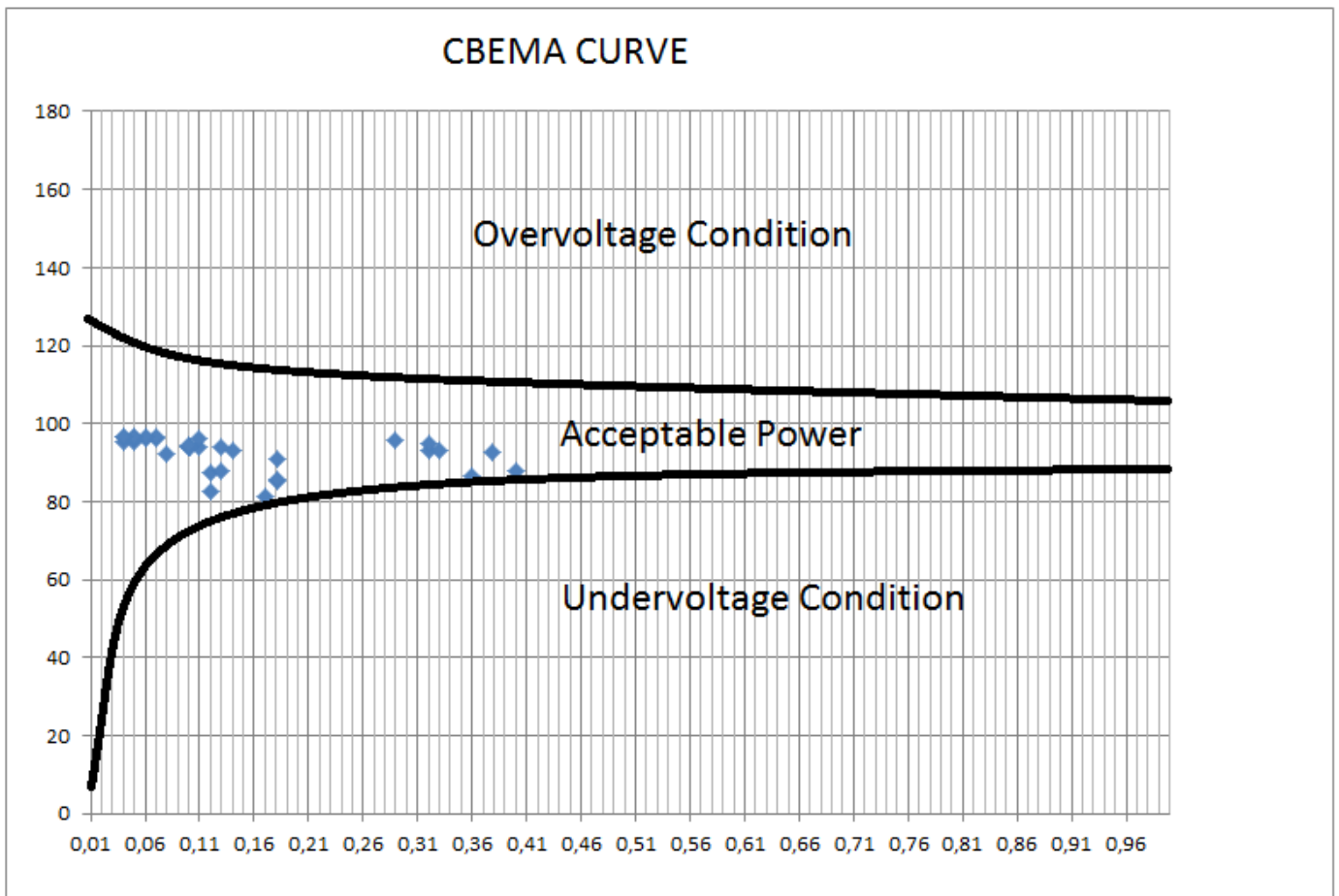
Η Εικόνα 30 παρουσιάζει τα γεγονότα που κατεγράφησαν αυτές τις τρεις μέρες:

Event list		
01: [icon] 07/11 14:04:00.046 START	17: [icon] 07/12 16:29:58.728 DIP CH3 OUT	33: [icon] 07/12 19:23:37.101 DIP CH3 IN
02: [icon] 07/11 14:47:11.347 TRANSIENT IN	18: [icon] 07/12 16:30:19.827 DIP CH3 IN	34: [icon] 07/12 19:23:37.151 DIP CH2 IN
03: [icon] 07/11 14:47:11.498 TRANSIENT OUT	19: [icon] 07/12 16:30:40.127 DIP CH3 IN	35: [icon] 07/12 19:24:03.485 DIP CH3 IN
04: [icon] 07/11 15:12:02.367 TRANSIENT IN	20: [icon] 07/12 16:30:54.087 DIP CH3 IN	36: [icon] 07/12 19:24:03.585 DIP CH2 OUT
05: [icon] 07/11 15:12:02.443 TRANSIENT OUT	21: [icon] 07/12 16:30:54.157 DIP CH3 OUT	37: [icon] 07/12 19:25:10.515 DIP CH3 IN
06: [icon] 07/11 15:48:36.787 TRANSIENT IN	22: [icon] 07/12 16:31:05.648 DIP CH3 IN	38: [icon] 07/12 19:25:10.556 DIP CH2 IN
07: [icon] 07/11 15:48:36.856 TRANSIENT OUT	23: [icon] 07/12 16:31:32.910 DIP CH1 IN	39: [icon] 07/12 19:37:19.334 DIP CH3 IN
08: [icon] 07/11 18:16:05.986 TRANSIENT IN	24: [icon] 07/12 16:31:32.951 DIP CH3 IN	40: [icon] 07/12 19:37:33.957 DIP CH3 IN
09: [icon] 07/11 18:16:06.119 TRANSIENT OUT	25: [icon] 07/12 16:31:35.950 DIP CH1 IN	41: [icon] 07/12 19:37:34.047 DIP CH2 OUT
10: [icon] 07/11 19:24:38.605 TRANSIENT IN	26: [icon] 07/12 16:31:54.351 DIP CH3 IN	42: [icon] 07/13 01:38:14.206 DIP CH2 IN
11: [icon] 07/11 19:24:38.720 TRANSIENT OUT	27: [icon] 07/12 16:31:54.741 DIP CH1 OUT	43: [icon] 07/13 01:38:14.326 DIP CH2 OUT
12: [icon] 07/12 07:29:10.401 TRANSIENT IN	28: [icon] 07/12 17:57:05.537 DIP CH3 IN	44: [icon] 07/13 01:38:52.633 DIP CH1 IN
13: [icon] 07/12 07:29:10.451 TRANSIENT OUT	29: [icon] 07/12 17:57:05.897 DIP CH1 OUT	45: [icon] 07/13 01:38:52.762 DIP CH1 OUT
14: [icon] 07/12 07:30:39.515 TRANSIENT IN	30: [icon] 07/12 18:47:18.832 TRANSIENT IN	46: [icon] 07/13 01:38:56.540 DIP CH1 IN
15: [icon] 07/12 07:30:39.660 TRANSIENT OUT	31: [icon] 07/12 18:47:18.919 TRANSIENT OUT	47: [icon] 07/13 01:42:29.248 DIP CH3 IN
16: [icon] 07/12 16:29:58.678 DIP CH3 IN	32: [icon] 07/12 19:22:33.789 DIP CH3 IN	48: [icon] 07/13 01:42:29.627 DIP CH3 OUT
49: [icon] 07/13 02:00:57.912 DIP CH1 IN		
50: [icon] 07/13 04:19:33.163 STOP		

Εικόνα 29 : EventListγια μετρήσεις από 11/7 - 13/7



Η Εικόνα 31 παρουσιάζει τη καμπύλη CBEMA για τα παραπάνω γεγονότα:



Εικόνα 30 : Ηκαμπύλη CBEMAγια τις διαταραχές που κατεγράφησαν στην περίοδο μετρήσεων 11/7 - 13/7

Παρατηρούμε ότι όλες οι διαταραχές που κατεγράφησαν και στο σύνολο τους είναι Βυθίσεις Τάσης, ανήκουν στο τμήμα της ανοχής του ευαίσθητου ηλεκτρονικού εξοπλισμού όποτε δεν υπάρχει κίνδυνος να δημιουργήσουν προβλήματα.

## 6.6 Σύνοψη-Συμπεράσματα

Όπως έχουμε αναφέρει και πιο πάνω και αποδείχτηκε από τις μετρήσεις, τα όρια που προβλέπει το πρότυπο EN50160 για την Ποιότητα Ισχύος, δεν είναι δύσκολο να ικανοποιηθούν από τους δημόσιους παραγωγούς και παρόχους ενέργειας. Η μόνη παραβίαση που παρατηρήσαμε στη διάρκεια όλης της εβδομάδος ήταν την πρώτη μέρα όταν στιγμιαία ο συντελεστής THD ξεπέρασε το όριο του 8%. Βέβαια αυτό δε σημαίνει ότι δεν συντρέχει λόγος ανησυχίας. Το πρότυπο προβλέπει ότι στην τάση για

παράδειγμα, είναι αποδεκτό να τροφοδοτούμαστε με ονομαστική τιμή τάσης 90% - 110% κατά τη διάρκεια του 95% μιας περιόδου ακόμα κι αν στο υπόλοιπο 5% της περιόδου οι διαταραχές είναι πολύ μεγάλες. Σε αυτή την περίπτωση ακόμα και αν προκληθούν βλάβες και ζημιές στον ηλεκτρολογικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό, ο πάροχος ενέργειας θα είναι νομικά καλυμμένος καθώς δεν θα έχει παραβιάσει τα όρια του προτύπου. Επίσης, το EN50160 προβλέπει εκατοντάδες σύντομες διακοπές τροφοδοσίας (<3 min) και έως 50 διακοπές μεγάλης διάρκειας (>3min) το χρόνο. Φυσικά για μία βιομηχανία το κόστος 50 διακοπών που θα διαρκέσουν αρκετές ώρες τη μέρα είναι δυσβάσταχτο. Αυτό λοιπόν είναι ένα σημείο που πρέπει το συγκεκριμένο πρότυπο να επανεξετάσει.

Επίσης, εντύπωση προκαλεί ότι στο τριήμερο 11/7 – 13/7, με μειωμένα τα trigger levels του οργάνου από 110% για Υπερτάσεις και 90% για Υποτάσεις σε 107% και 93% αντίστοιχα, κατεγράφησαν 20 βυθίσεις τάσεις ενώ στις προηγούμενες μετρήσεις δεν είχε καταγραφεί καμία. Αυτό αποδεικνύει ότι ο η ηλεκτρολογικός εξοπλισμός λειτουργεί για μεγάλο χρονικό διάστημα κοντά στις οριακές τιμές του προτύπου χωρίς αυτό να είναι εύκολα ορατό καθώς θέτουμε αυστηρά όρια καταγραφής γεγονότων(trigger levels)αδιαφορώντας ουσιαστικά για την γενικότερη συμπεριφορά των συστημάτων ενέργειας σε βάθος χρόνου.

Παρόλα τα μειονεκτήματά του όμως, το πρότυπο πετυχαίνει:

- Να ορίσει συγκεκριμένα τις παραμέτρους από τις οποίες εξαρτάται η Ποιότητα Ισχύος .
- Να ποσοτικοποιήσει τις τιμές που πετυχαίνουν ένα ελάχιστο επίπεδο Ποιότητας Ισχύος και τις οποίες μπορούν να χρησιμοποιούν οι πελάτες ως βάση για περαιτέρω διεκδίκηση καλύτερων ποιοτικών χαρακτηριστικών της ισχύος που τροφοδοτούνται από τις εταιρείες ενέργειας.

Τέλος,πρέπει να επισημάνουμε ότι το EN50160 καθορίζει όρια που είναι όχι μόνο εύκολο να τηρηθούν αλλά είναι και οικονομικά διαχειρίσιμα. Αν τα όρια του γίνουν πιο αυστηρά, τότε είναι πολύ πιθανό να αυξηθούν αντίστοιχα και οι τιμές. Πρέπει λοιπόν να βρεθεί μία μέση λύση η οποία προσφέρει ικανοποιητικό επίπεδο Ποιότητας Ισχύος στο δίκτυο ενώ ταυτόχρονα συγκρατεί τις τιμές σε λογικά πλαίσια. Διότι μπορεί στο παρελθόν ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός να μην ήταν τόσο ευαίσθητος σε διαταραχές καθώς επίσης η ρύπανση του δικτύου από αρμονικές ήταν πολύ μικρότερη, πλέον όμως αποτελεί επιτακτική ανάγκη ακόμα και οι πελάτες χαμλής τάσης να μπορούν να ελέγχουν την ποιότητα ρεύματος που τροφοδοτούνται καθώς επίσης και να ελέγχονται για τις αρμονικές που εκχύνουν στο δίκτυο λόγω των ηλεκτρονικών ισχύος που χρησιμοποιούν.Όσο για τους πελάτες μέσης τάσης που απαιτούν, δικαιολογημένα, υψηλότερα επίπεδα Ποιότητας Ισχύος, τους δίνεται η δυνατότητα να πραγματοποιήσουν μετρήσεις και να διαπραγματευτούν με τον διανομέα ενέργειας ξεχωριστά.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] C.Sankaran, « Power Quality», USA 2002
- [2] Ευάγγελος Ν. Διαλυνάς, «Αξιοπιστία συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας», Αθήνα 1996, pp. 1-14
- [3] Πέτρος Ντοκόπουλος, «Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών», Θεσσαλονίκη 2005, pp. 6,
- [4] Chattopadhyah.S, Mitra.M, Sengupta.S, «Electric Power Quality», 2002, pp. 5
- [5] Μαρία-Ευσταθία Τσιούρβα,«Αρμονικές και Ποιότητα Ισχύος», Πανεπιστήμιο Πατρών 2013,pp.14,19,24
- [6] «POWER HARMONICS ANALYSER AND POWER QUALITY ANALYSER, MODERN POWER QUALITY MEASUREMENTS TECHNIQUES», NORTHERN DESIGN (ELECTRONICS) LTD
- [7] Μητροσύλη Κωνσταντίνου, «ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΙΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ», Πανεπιστήμιο Πατρών 2012, pp.19,142
- [8] Kristina Hamachi LaCommare, Joseph H. Eto, «Understanding the Cost of Power Interruptions to U.S Electricity Consumers», Lawrence Berkeley National Laboratory 2004 pp.10-12
- [9] Μ.Π.Μπράτισης, Ε.Τσιμπλοστεφανάκης, «Ανεμογεννήτριες και Ηλεκτρονικά Ισχύος», Πανεπιστήμιο Πατρών
- [10]IkarianCentre, «Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας- Αιολικά Πάρκα:Αντίλογος», 2010
- [11] IEEEStd 1100-2005, December 2005, pp.10
- [12] G.T.Heydt, «Power Quality Engineering», IEEE Power Engineering Review, SEPTEMBER 2001
- [13]IEEE Std P-1366, «Guide for Electric Distribution Reliability Indices», May 2012

- [14]Σέργιος Θεοδωρίδης,ΚώσταςΜπερμπερίδης,ΛευτέρηςΚοφίδης, «Εισαγωγή στη Θεωρία Σημάτων και Συστημάτων», Αθήνα 2005,pp.33
- [15]Μεταπτυχιακό μάθημα Ποιότητας Ισχύος, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Εκπαιδευτικό Υλικό για την 2<sup>η</sup> Παρουσίαση.
- [16]Χ. Δημουλιάς, Κ. Γκουραμάνης, Δ. Λαμπρίδης, Π.Ντοκόπουλος, Επίδραση της Ύπαρξης Αρμονικών στην Ικανότητα Μεταφοράς Ρεύματος των Καλωδίων Ισχύος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης 2006, pp. 1-2
- [17]RezaTajali,Simplifying Harmonic Mitigation for Industrial Plants, Electrical Construction and Maintenance 2005
- [18]IEEE Std 519-1992, HARMONIC LIMITS, 1992
- [19]Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H.WayneBeaty, Electrical Power Systems Quality , McGraw Hill 2004, pp.15, 25,27-28
- [20] IEEE 1159-2009, RecommendedPractise for Monitoring Electric Power Quality, 2009
- [21] EN 50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, 1999
- [22] CBEMA CURVE – THE POWER ACCEPTABILITY CURVE FOR COMPUTER BUSINESS EQUIPMENT, 2011  
<http://www.powerqualityworld.com/2011/04/cbema-curve-power-quality-standard.html>