

**Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**“ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ  
ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥΣ”**



**Επιβλέπων Καθηγητής:  
Σπουδαστής:**

**ΨΩΜΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ  
ΜΑΔΙΑΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΑΜ: 28243**

**ΠΕΙΡΑΙΑΣ**

**ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ-2013**

Copyright © Μαδιάς Αλέξανδρος

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Α. Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά.

## Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες .....	7
1 <sup>ο</sup> κεφαλαίο Εισαγωγή.....	8
Ιστορική Αναδρομή .....	8
2 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ.....	12
2.1 Εισαγωγή .....	12
2.2 Η Ανάγκη για Ποιότητα Ισχύος.....	13
2.3 Τυποποίηση Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας .....	13
3 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	17
3.1 Εισαγωγή .....	17
3.2 Εκδηλώσεις Ποιότητας Ισχύος.....	17
3.3 Συχνότητα Ισχύος .....	18
3.3.1 Προέλευση.....	18
3.3.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών .....	18
3.4 Μεταβολές της Τάσης Τροφοδοσίας.....	19
3.4.1 Προέλευση.....	19
3.4.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών .....	19
3.5 Ταχείες αλλαγές τάσης .....	19
3.6 Βυθίσεις της παροχής τάσης .....	20
3.6.1 Λεπτομέρειες σχετικά με τα κατώτατα όρια βύθισης.....	22
3.6.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών .....	23
3.6.3 Τρόποι επίλυσης προβλήματος Βυθίσεων .....	23
3.7.1 Προέλευση.....	27
3.7.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών .....	27
3.7.3 Τρόποι επίλυσης προβλήματος Παροδικών Υπερτάσεων.....	28
3.8 Διακοπές στην Τάση .....	28
3.8.1 Προέλευση.....	28
3.8.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών .....	29
3.8.3 Τρόποι επίλυσης προβλήματος Διακοπών Τάσεων.....	29
3.9 Διακύμανση Τάσης (Flicker) .....	30
3.9.1 Προέλευση.....	32
3.9.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών .....	33
3.10 Ασυμμετρία Φάσεων .....	34
3.10.1. Λόγος τάσεων αρνητικής προς την θετική ακολουθία .....	34
3.10.2. Μέγιστη απόκλιση από τον μέσο των τριών πολικών τάσεων προς τον μέσο αυτών.....	36
3.10.3 Προέλευση.....	37
3.10.4 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών .....	37
3.11 Μεταγωγικές υπερτάσεις .....	37
3.11.1 Προέλευση .....	38
3.11.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών.....	39
3.12 Αρμονικές Τάσης .....	40
3.12.1 Γενικά .....	40
3.12.2 Προέλευση.....	42
3.12.3 Πηγές Αρμονικών.....	43
3.12.4 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών .....	44
3.13 Ενδιάμεσες Αρμονικές.....	45
3.13.1 Προέλευση.....	46
3.13.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών .....	46
3.14 Σηματοδότηση ηλεκτρικών δικτύων.....	46

3.15 Ακμή (Notching) και Θόρυβος (Noise).....	47
3.15.1 Προέλευση.....	47
3.15.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών.....	47
3.16 Διάστημα ολοκλήρωσης.....	47
3.17 Αθροιστική συχνότητα.....	48
3.18 Αξιολόγηση έναντι των ορίων προτύπου.....	49
3.19 Ονομαστική και δηλωμένη τάση τροφοδοσίας.....	50
<b>4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΠΟΥ</b>	
<b>ΠΑΡΕΧΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ.....</b>	<b>51</b>
4.1 Εισαγωγή.....	51
4.2 Σκοπός.....	51
4.3 Πεδίο δράσης.....	51
4.4 Χαρακτηριστικά παροχής τάσης.....	52
4.4.1 Διαστήματα ολοκλήρωσης.....	53
4.4.2 Συχνότητα ισχύος.....	53
4.4.3 Διακυμάνσεις της Τάσης.....	53
4.4.5 Ταχείες Μεταβολές της Τάσης.....	54
4.4.6 Βυθίσεις της παρεχόμενης τάσης.....	54
4.4.7 Διογκώσεις της παρεχόμενης τάσης.....	54
4.4.8 Διακοπές της Τάσης.....	55
4.4.9 Σοβαρότητα τρεμοπαίγματος.....	55
4.4.10 Ανομοιομορφία παροχής τάσης.....	55
4.4.11 Μεταβατικές υπερτάσεις.....	56
4.4.12 Αρμονικές Τάσης.....	56
4.4.13 Τάση Ενδιάμεσων Αρμονικών.....	56
4.4.14 Σηματοδότηση Ηλεκτρικών Δικτύων.....	56
<b>5<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ</b>	
<b>ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ.....</b>	<b>59</b>
5.1 Η Σημασία της Ποιότητας Ισχύος.....	59
5.2 Διαταραχές Ποιότητας Ισχύος.....	59
5.3 Αντιμετώπιση Προβλημάτων Ισχύος.....	65
5.4 Πρόσφατες Τάσεις στην Αντιμετώπιση Προβλημάτων Ποιότητας Ισχύος.....	68
<b>6<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑ METREL© MI2292© ΚΑΙ</b>	
<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>72</b>
6.1 Μετρήσεις για 3φ σύστημα Εμπορικού Κέντρου.....	72
6.2 Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....	78
6.3 Κριτήρια για την Επιλογή Φίλτρου.....	79
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>81</b>

## Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 3.1 Διακυμάνσεις Συχνότητας.....	19
Σχήμα 3.2 Ορισμός Ταχείας Αλλαγής Τάσης.....	20
Σχήμα 3.3 Διαδικασία Εύρεσης της <i>Urms</i> (12).....	21
Σχήμα 3.4 Χαρακτηριστικά Βύθισης Τάσης.....	22
Σχήμα 3.5 Σύστημα Βυθίσεων για διαφορετικές φάσεις.....	23
Σχήμα 3.6 Διαχωρισμός γεγονότων για τα οποία είναι υπεύθυνος ο καταναλωτής από αυτά για τα οποία είναι υπεύθυνος ο παράγοντας του δικτύου. ....	25
Σχήμα 3.7 Δομή του STS σε μία φάση.....	26
Σχήμα 3.8 SVR (Στατός Ρυθμιστής Τάσης).....	26
Σχήμα 3.9 Συσκευή αδιάλειπτης παροχής (UPS).....	27
Σχήμα 3.10 Γραφική αναπαράσταση παροδικής υπέρτασης (swells).....	27
Σχήμα 3.11 Κατώφλια διακοπών και ορισμός διάρκειας.....	29
Σχήμα 3.12 Διακύμανση της τάσης που οδηγεί σε τρεμόπαιγμα στο φως.....	30
Σχήμα 3.13 Χαρακτηριστικά κυματομορφής flicker.....	31
Σχήμα 3.14 Καμπύλη ίσης δεινότητας ( $P_{st}=1$ ) για τετραγωνικής τάσης αλλαγές σε συστήματα παροχής χαμηλής τάσης.....	31
Σχήμα 3.15 Καμπύλη ‘τρεμοπαίγματος’ για ορθογώνια διαμορφωμένες συχνότητες.....	33
Σχήμα 3.16 Αντιπαραβολή συμμετρικού με ασύμμετρο τριφασικό σύστημα.....	34
Σχήμα 3.17 Συμμετρικά στοιχεία ενός ασύμμετρου συστήματος τάσεων.....	35
Σχήμα 3.18 Μεταγωγικές υπερτάσεις παλμικού και κλιμακούμενου τύπου.....	38
Σχήμα 3.19 Χαρακτηριστικά παλμικής διαταραχής.....	38
Σχήμα 3.20 Φασματική απεικόνιση μιας συνήθους κυματομορφής, αποκαλούμενης και ως πριονισμένης κορυφής.....	41
Σχήμα 3.21 Ισοδύναμο κύκλωμα συστήματος με γραμμικό φορτίο.....	42
Σχήμα 3.22 Ισοδύναμο κύκλωμα συστήματος με μη-γραμμικό φορτίο.....	42
Σχήμα 3.23 Γραφική αναπαράσταση επιρροής αρμονικών που δημιουργούνται από μια πηγή αρμονικών στους υπόλοιπους καταναλωτές που είναι συνδεδεμένοι στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.....	43
Σχήμα 3.24 Παραδείγματα ενδιάμεσων αρμονικών.....	45
Σχήμα 3.25 Ενδιάμεσες αρμονικές στο φάσμα συχνοτήτων για DFT.....	46
Σχήμα 3.26 Γραφική αναπαράσταση της ακμής και του θορύβου.....	47
Σχήμα 3.27 Αθροιστική Συχνότητα.....	49
Σχήμα 5.28 Ισοδύναμο Κύκλωμα Δικτύου.....	60
Σχήμα 5.29 Κυματομορφές Τάσης με Ασύμμετρία.....	62
Σχήμα 5.30(α) κυματομορφές με βύθιση τάσης στις τρεις φάσεις ( $\beta$ ) η ενεργός τιμή της τάσης.....	63
Σχήμα 5.31 Κυματομορφή με Υπόταση.....	65
Σχήμα 5.32 Παθητικά φίλτρα ρεύματος στην είσοδο ενός μη γραμμικού φορτίου.....	66
Σχήμα 5.33 (α) παράλληλο και (β) σειράς ενεργό φίλτρο για τον περιορισμό των αρμονικών.....	66
Σχήμα 5.34 Παράδειγμα καμπύλης της ITIC (υπό συνθήκες υπέρτασης η συσκευή κινδυνεύει από βλάβη, ενώ υπό συνθήκες μειωμένης τάσης η συσκευή ενδέχεται να σταματήσει να λειτουργεί).....	67
Σχήμα 6.35 Συγκριτικό διάγραμμα με τις μέσες τιμές των τάσεων (με κόκκινο η μέση τιμή της τάσης V1, με πράσινο η μέση τιμή της τάσης V3 και με μπλε η μέση τιμή της τάσης V2).....	72

<b>Σχήμα 6.36</b> Συγκριτικό διάγραμμα με τις μέσες τιμές των ρευμάτων (με κόκκινο η μέση τιμή του ρεύματος I1, με πράσινο η μέση τιμή του ρεύματος I3 και με μπλε η μέση τιμή του ρεύματος I2) .....	73
<b>Σχήμα 6.37</b> 2 <sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις .....	73
<b>Σχήμα 6.38</b> 3 <sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις .....	74
<b>Σχήμα 6.39</b> 4 <sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις .....	74
<b>Σχήμα 6.40</b> 5 <sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις .....	75
<b>Σχήμα 6.41</b> 6 <sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις .....	75
<b>Σχήμα 6.42</b> 7 <sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις .....	76
<b>Σχήμα 6.43</b> 8 <sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις .....	76
<b>Σχήμα 6.44</b> 9 <sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις .....	77
<b>Σχήμα 6.45</b> 10 <sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις .....	77
<b>Σχήμα 6.46</b> 11 <sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις .....	78
<b>Σχήμα 6.47</b> Υπολογισμός του THD για τις 3 τάσεις .....	80

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην επιτυχή εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας. Θα πρέπει να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου, κ. Κωνσταντίνο Ψωμόπουλο για την επίβλεψη αυτής. Ήταν πάντα διαθέσιμος να μου προσφέρει τις γνώσεις και την εμπειρία του, καθώς και να βοηθήσει στην επίλυση όποιων αποριών μου δημιουργήθηκαν κατά την εκπόνηση της.

Την παρούσα πτυχιακή θα ήθελα να την αφιερώσω στη μητέρα μου για τις θυσίες και την υπομονή της, πριν, αλλά και κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

# 1<sup>Ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### Ιστορική Αναδρομή

Όταν τα δίκτυα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος δημιουργήθηκαν για πρώτη φορά, η ευρεία διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας σε χαμηλό κόστος, πυροδότησε μια σταθερή ζήτηση τόσο από βιομηχανικούς όσο και από οικιακούς χρήστες. Με την πάροδο του χρόνου, οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια αυξήθηκαν σε επίπεδο που να πλησιάζουν την πλήρη χωρητικότητα των τοπικών δικτύων. Το γεγονός αυτό δημιούργησε σημαντικά προβλήματα τόσο στις εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όσο και στις εταιρίες παροχής της.

Σε απάντηση αυτής της αυξανόμενης ζήτησης, ορισμένες χώρες ενθάρρυναν την ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών τρόπων αξιοποίησης της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω διαφόρων μεθόδων μεταγωγής (switching). Επιπροσθέτως, η σμίκρυνση των ηλεκτρονικών ειδών οδήγησε άμεσα σε ολοένα και πιο πολύπλοκα συστήματα στη βιομηχανία, τις τηλεπικοινωνίες, την υγειονομική περίθαλψη, τις οικιακές συσκευές, κ.λπ. Τα κυκλώματα αυτά, αν και εισήγαγαν αυξημένη ταχύτητα στη λειτουργία και την πολυπλοκότητα του έργου, κατά κανόνα χρησιμοποιούσαν τα ίδια ίσως και χαμηλότερα ποσά ενέργειας από ότι οι περισσότεροι βασικοί προκάτοχοί τους. Ωστόσο, η πλειοψηφία αυτών των κυκλωμάτων (ελεγκτές μεταβλητής ταχύτητας, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, ιατρικός εξοπλισμός, ηλεκτροσυγκολλητές, κλίβανοι κ.λπ.) χρησιμοποιούν τεχνικές «μεταγωγής», οι οποίες δρουν ως ένα μη γραμμικό φορτίο ή ως «γεννήτρια διαταραχής», υποβαθμίζοντας έτσι την ποιότητα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο εξοπλισμός με ηλεκτρονικά κυκλώματα είναι συνήθως περισσότερο ευαίσθητος στις διακυμάνσεις του δικτύου διανομής και τις διαταραχές σε σχέση με τα γραμμικά φορτία. Η παραδοσιακή μέθοδος για τον έλεγχο των συγκεκριμένων διακυμάνσεων γινόταν με συστοιχίες πυκνωτών, ωστόσο η εναλλαγή συστοιχίας πυκνωτών μπορεί να βλάψει τα ευαίσθητα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Παράλληλα, τα μη γραμμικά φορτία μπορεί να προκαλέσουν βλάβη στις συστοιχίες πυκνωτών αυξάνοντας το ρεύμα που τραβούν ή προκαλώντας συντονισμό. Επιπλέον, τα μη γραμμικά φορτία μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά τους μετασχηματιστές.

Τέτοιου είδους συνδυασμοί παραδοσιακών και μη παραδοσιακών φορτίων, σε συνδυασμό με κυμαινόμενα φορτία, προκαλούν προβλήματα που συχνά χαρακτηρίζονται ως «τυχαία» ή «σποραδικά» (προβλήματα με ευαίσθητες συσκευές), ενοχλητικά (φως που τρεμοπαίζει) ή «περίεργα» και «χωρίς προφανή λόγο» (προβλήματα με την καλωδίωση, τις συστοιχίες πυκνωτών, την υπόταση, τη σηματοδότηση, κ.λπ.).

Η οδηγία του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου σχετικά με την **Ευθύνη για το Προϊόν (85/374/EEC)** χαρακτηρίζει ρητώς την ηλεκτρική ενέργεια ως προϊόν. Ο αγοραστής γίνεται πελάτης και η ηλεκτρική ενέργεια γίνεται εμπόρευμα. Υπάρχει μία προσδοκία των πελατών ότι η τιμή των αγαθών καθορίζεται σύμφωνα με την ποιότητά του. Οι ευρωπαϊκές χώρες διαπίστωσαν ότι πρέπει να δημιουργηθεί μια περιοχή για συμβατή οικονομία άνευ συνόρων



και να απελευθερωθούν οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, δημιουργώντας έτσι μια νέα έννοια για την «**Ποιότητα Ισχύος**».

Τα τελευταία χρόνια, το σύστημα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ισχύος καλείται να αντιμετωπίσει καινούργια δεδομένα και προκλήσεις. Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας, η μεγάλη αύξηση του φορτίου, η αυξανόμενη συμμετοχή στο δίκτυο των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας αλλά και η χρήση φορτίων με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά (ηλεκτρονικά ισχύος) δημιουργούν ένα καινούργιο περιβάλλον με μεγάλες απαιτήσεις. Οι οικονομικές συνέπειες από τα προβλήματα που προκύπτουν κατά την λειτουργία του δικτύου τόσο για τις εταιρείες ηλεκτρισμού όσο και για τους καταναλωτές δημιουργούν την ανάγκη για μεγαλύτερη εποπτεία και άμεση αντιμετώπιση των προβλημάτων. Η **Ποιότητα Ισχύος (Power Quality)** αφορά ένα μεγάλο αριθμό ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων-διαταραχών που εμφανίζονται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Αν και καινούργιος όρος, η ποιότητα ισχύος καλύπτει φαινόμενα ήδη γνωστά τα οποία όμως αποκτούν διαφορετική και μεγαλύτερη σημασία στα μοντέρνα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Η αύξηση των ευαίσθητων σε διαταραχές φορτίων αλλά και των φορτίων που δημιουργούν διαταραχές (εκπομπές) και οι διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις για αξιοπιστία, καθιστούν την ποιότητα ισχύος σημαντική παράμετρο της λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος με μεγάλη οικονομική σημασία. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η ποιότητα ισχύος είναι μια θεώρηση των πραγμάτων με κέντρο βάρους τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας. Τα προβλήματα που καλύπτει είναι σημαντικά είτε γιατί συνδέονται με αυξημένο κόστος (για βιομηχανικούς καταναλωτές) είτε ακόμα και με ανθρώπινες ζωές όταν για παράδειγμα οι καταναλωτές είναι νοσοκομεία, αεροδρόμια κ.ά. Η διακοπή λειτουργίας ενός φορτίου για πολλές βιομηχανικές εγκαταστάσεις συνεπάγεται μεγάλες απώλειες για την παραγωγή τους. Οι απώλειες μπορεί να είναι ακόμα μεγαλύτερες σε περιπτώσεις όπου η επανεκκίνηση του φορτίου είναι χρονοβόρα.

Οι εταιρίες ηλεκτρισμού σε όλο τον κόσμο δραστηριοποιούνται αναφορικά με την ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος. Η EDF στη Γαλλία προσφέρει ήδη συμβόλαια τα οποία λαμβάνουν υπόψη τους την ποιότητα ισχύος. Παράλληλα αναπτύσσει ένα εκτεταμένο δίκτυο μετρήσεων για άμεση αντιμετώπιση των προβλημάτων και ενημέρωση των πελατών της. Στην Σιγκαπούρη, χώρα στην οποία βρίσκονται πολλά εργοστάσια κατασκευής ημιαγωγών και συσκευών υψηλής τεχνολογίας, γίνεται προσπάθεια βελτίωσης της παρεχόμενης ποιότητας ισχύος έτσι ώστε να ικανοποιηθούν οι μεγάλες απαιτήσεις των υπαρχόντων πελατών αλλά και προκειμένου να προσελκύσουν καινούργια εργοστάσια στη χώρα. Στο Detroit των ΗΠΑ, το 1994 υπογράφηκαν τα πρώτα συμβόλαια που εκτός από τις διακοπές περιλάμβαναν δεσμεύσεις της εταιρίας ηλεκτρισμού για τις βυθίσεις τάσης. Η εταιρία ηλεκτρισμού Detroit Edison και μεγάλοι κατασκευαστές αυτοκινήτων προχώρησαν στη σύναψη τέτοιων συμφωνιών προκειμένου η μεν εταιρία να εγγυηθεί τη διαρκή προσπάθεια της για βελτίωση της ποιότητας ισχύος, οι δε εταιρίες να εξασφαλίσουν την ελαχιστοποίηση των κινδύνων που συνεπάγονται προβλήματα στην ηλεκτρική ισχύ. Στην Ευρώπη οι συζητήσεις για την ποιότητα ισχύος και τις δεσμεύσεις σχετικά με αυτή, έχουν ως αφετηρία την **Κοινοτική Οδηγία 85/374/EEC** του 1985 που αφορά γενικά τις ευθύνες παραγωγών αναφορικά με τα προϊόντα τους. Σύμφωνα με το **Άρθρο 1** της Οδηγίας, ο παραγωγός θα πρέπει να είναι υπόλογος για ζημιά που θα προκαλέσει ελάττωμα του προϊόντος, ενώ στο **Άρθρο 3** της Οδηγίας δηλώνεται ότι ο όρος «προϊόν» αναφέρεται και στην ηλεκτρική ενέργεια.

Από κοινού εταιρείες ηλεκτρισμού και καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας ενδιαφέρονται όλο και περισσότερο για την ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος. Σαν όρος, η ποιότητα ισχύος έχει απασχολήσει έντονα τη βιομηχανία ενέργειας από τα τέλη της δεκαετίας του '80. Είναι μια έννοια-ομπρέλα για μια πληθώρα μεμονωμένων τύπων διαταραχών του συστήματος ενέργειας. Τα θέματα που εμπίπτουν στα πλαίσια της συγκεκριμένης έννοιας δεν είναι κατ' ανάγκη καινούργια. Αυτό που είναι καινούργιο έγκειται στο ότι τώρα οι μηχανικοί επιχειρούν ολική και όχι μερική προσέγγιση των θεμάτων αυτών.

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί λόγοι για το αυξανόμενο ενδιαφέρον:

1. Ο νεότερης γενιάς εξοπλισμός φορτίου, ο οποίος βασίζεται σε μικροεπεξεργαστές και ηλεκτρονικά ισχύος, είναι πιο ευαίσθητος σε διακυμάνσεις της ποιότητας ισχύος από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιούταν στο παρελθόν.
2. Η αυξανόμενη έμφαση στη συνολική απόδοση του συστήματος ενέργειας οδήγησε σε συνεχή αύξηση της εφαρμογής συσκευών, όπως υψηλής απόδοσης ρυθμιζόμενης ταχύτητας κινητήρες και πυκνωτές που διορθώνουν το συντελεστή ισχύος για να πετύχουν μείωση των απωλειών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνονται τα επίπεδα αρμονικών στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και πολλοί άνθρωποι προβληματίζονται για το μελλοντικό αντίκτυπο στις δυνατότητες του συστήματος.
3. Οι τελικοί χρήστες έχουν μια αυξημένη συνειδητοποίηση των θεμάτων ποιότητας ισχύος. Οι πελάτες είναι όλο και καλύτερα ενημερωμένοι σχετικά με θέματα όπως οι διακοπές, οι βυθίσεις τάσης, τα διακοπτικά μεταβατικά φαινόμενα και πιέζουν τις εταιρείες κοινής ωφέλειας να βελτιώσουν την ποιότητα της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.
4. Πολλά επιμέρους υποσυστήματα διασυνδέονται πλέον σε ένα δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι η μη καλή λειτουργία οποιουδήποτε υποσυστήματος έχει πολύ πιο σημαντικές επιπτώσεις στη λειτουργία όλου του δικτύου.

Το κοινό νήμα που ενώνει όλους αυτούς τους λόγους του αυξημένου ενδιαφέροντος για την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η συνεχιζόμενη τάση για αύξηση της παραγωγικότητας, την οποία επιζητούν οι κάθε είδους καταναλωτές. Από τη μία οι βιομηχανίες θέλουν πιο γρήγορες, πιο παραγωγικές, πιο αποδοτικές μηχανές. Από την άλλη οι εταιρείες κοινής ωφέλειας ενθαρρύνουν την προσπάθεια αυτή, επειδή βοηθά τους πελάτες τους να γίνουν πιο επικερδείς. Το ενδιαφέρον εδώ είναι ότι ο εξοπλισμός που εγκαθίσταται για την αύξηση της παραγωγικότητας είναι συχνά ο ίδιος που υποφέρει περισσότερο από τις κοινές διαταραχές τάσης ή ρεύματος. Επίσης ο εξοπλισμός είναι μερικές φορές η πηγή των επιπλέον προβλημάτων ποιότητας ισχύος. Όταν ολόκληρες διεργασίες αυτοματοποιούνται, η αποτελεσματική λειτουργία των μηχανών και των ελεγκτών τους εξαρτάται όλο και περισσότερο από την ποιότητα ενέργειας.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθούν οι πρόσφατες βασικές εξελίξεις στο πεδίο της ενέργειας:

- 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.
- Τα τελευταία χρόνια υπήρξε μια σημαντική αύξηση του ενδιαφέροντος για την Κατανεμημένη Παραγωγή Ενέργειας (Distributed Generation), η οποία παράγεται διασκορπισμένα σε όλο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν μια σειρά από σημαντικά ζητήματα ποιότητας ισχύος που πρέπει να αντιμετωπιστούν ως μέρος της συνολικής διασύνδεσης για Κατανεμημένη Παραγωγή Ενέργειας.
- Η παγκοσμιοποίηση της βιομηχανίας αύξησε σημαντικά την προσοχή γύρω από τα προβλήματα που δημιουργούνται στην ποιότητα του ηλεκτρικού ρεύματος σε όλο τον κόσμο. Εταιρείες που χτίζουν εργοστάσια σε νέες περιοχές βρίσκονται ξαφνικά αντιμέτωπες με απρόβλεπτα προβλήματα με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω του χαμηλότερου επιπέδου των συστημάτων ή του διαφορετικού κλίματος. Έχουν υπάρξει πολλές προσπάθειες για τη συγκριτική αξιολόγηση της ποιότητας ισχύος σε ένα σημείο του κόσμου σε σχέση με άλλα.
- Η Κατανεμημένη Παραγωγή Ενέργειας και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δημιουργούν καινούργια προβλήματα ποιότητας ισχύος, όπως μεταβολές της τάσης, flicker και παραμόρφωση κυματομορφής. Οι περισσότερες διασυνδέσεις με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ευαίσθητες σε διαταραχές της τάσης, κυρίως πτώσεις τάσης. Ένα σημαντικό ζήτημα είναι η ροπή της κατανεμημένης παραγωγής και των μεγάλων αιολικών πάρκων σε πτώσεις τάσης και άλλες ευρείας κλίμακας διαταραχές. Το θέμα αυτό αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον αν αναλογιστούμε τη ραγδαία διεύδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ελληνικό ηλεκτρικό δίκτυο (φωτοβολταϊκά συστήματα, ανεμογεννήτριες).

## 2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ

#### 2.1 Εισαγωγή

Υπάρχουν πολλοί ορισμοί αναφορικά με την Ποιότητα Ισχύος ανάλογα με την οπτική γωνία του κάθε χρήστη. Ένας απλός ορισμός, αποδεκτός από τους περισσότερους χρήστες, ερμηνεύει την ποιότητα ισχύος ως καλή, εφόσον οι συσκευές που συνδέονται με ένα ηλεκτρικό σύστημα λειτουργούν ικανοποιητικά. Συνήθως, η ανεπαρκής ή χαμηλή ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος παρουσιάζεται συνήθως ως μία ανάγκη επανειλημμένης επανεκκίνησης του Η/Υ, κλειδώματος των ευαίσθητων συσκευών, φώτα που αναβοσβήνουν ή την ελαττωματική λειτουργία του ηλεκτρονικού εξοπλισμού ή των συσκευών. Από την άλλη πλευρά, οι ηλεκτρικές εταιρίες θα χαρακτηρίσουν την ποιότητα ισχύος ως τις παραμέτρους της τάσης που θα επηρεάσουν τον ευαίσθητο εξοπλισμό.

Είναι αλήθεια, ότι η αιτία πολλών προβλημάτων μπορεί να οφείλεται στις διαταραχές της τάσης παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Μια έρευνα που έγινε από την εταιρεία Georgia Power κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, ανακάλυψε ότι η αντίληψη των εταιρειών κοινής ωφέλειας ήταν ότι το 1% των προβλημάτων ποιότητας ισχύος προκαλούνται από τη χρήση και το 25% προκαλούνται από τον πελάτη. Η αντίληψη των χρηστών είναι ότι η χρήση ευθύνεται για το 17% των προβλημάτων και ο πελάτης φέρει μόνο το 12% της ευθύνης.

Ένας άλλος ορισμός της ποιότητας ισχύος, ο οποίος βασίζεται στην αρχή της **Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας (ΗΜΣ)**, είναι αυτός που ακολουθεί. **Ο όρος «ποιότητα ισχύος» αναφέρεται σε ένα ευρύ φάσμα ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων που χαρακτηρίζουν την τάση και το ρεύμα σε μία δεδομένη στιγμή και σε μια δεδομένη τοποθεσία στο σύστημα ισχύος**, σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 1159:1995<sup>1</sup>.

Το IEC 61000 -4-30 “Τεχνικές δοκιμών και μετρήσεων-Μέθοδοι μέτρησης της Ποιότητας Ισχύος”<sup>2</sup> (στο πλαίσιο προετοιμασίας) ορίζει την ποιότητα ισχύος ως «**τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα δεδομένο σημείο σε ένα ηλεκτρικό σύστημα, αξιολογούνται έναντι ενός συνόλου τεχνικών παραμέτρων αναφοράς**».

Μία από τις πιο ενδεικτικές αντιλήψεις ενός συστήματος ισχύος από μία άποψη ποιότητας ισχύος είναι αυτή του Alexander McEachern, μέλους της Συντονιστικής Επιτροπής Προτύπων IEEE και ανώτατο μέλος της IEEE 1159.1 :

«Ένα δίκτυο ενέργειας μπορεί να συγκριθεί με μία δεξαμενή νερού στην οποία πολλοί άνθρωποι τοποθετούν νερό (το βοηθητικό πρόγραμμα), και ακόμη περισσότεροι καταναλώνουν νερό (οι καταναλωτές). Εάν κάποιος μολύνει το νερό, πολλοί άνθρωποι θα δυσαρεστηθούν. Μπορείς να αγοράσεις νερό από μία εταιρεία από την αντίθετη πλευρά της δεξαμενής, όμως η ποιότητα του νερού που θα πάρεις εξαρτάται από το άτομο το οποίο θα πρέπει να αποτρέψει τη ρύπανση στο κομμάτι της δεξαμενής σου (τοπικός διαχειριστής δικτύου)».

<sup>1</sup> IEEE 1159:1995 “IEEE recommended practice for monitoring electric power quality”.

<sup>2</sup> IEC 61000- 4- 30 “Testing and measurement techniques - power quality measurement methods”.

## 2.2 Η Ανάγκη για Ποιότητα Ισχύος

Ανεξάρτητα από ποιον από τους παραπάνω ορισμούς χρησιμοποιούμε, η ποιότητα ισχύος αποτελεί σημαντικό στρατηγικό ζήτημα στην ανοιχτή οικονομία της αγοράς ηλεκτρικού ρεύματος. Υπάρχουν αρκετοί λόγοι ώστε να ενθαρρύνουμε μία συστηματική και συνεχή προσέγγιση στην παρακολούθηση των παραμέτρων της ποιότητας ισχύος, οι οποίοι μπορούν να διακριθούν σε τεχνικούς και οικονομικούς στόχους. Συγκεκριμένα έχουμε:

### *Τεχνικοί Στόχοι*

---

- Ευκολία στον εντοπισμό και την εξάλειψη των προβλημάτων σχετικά με τις υπηρεσίες κοινής ωφέλειας ή τις εγκαταστάσεις των πελατών,
- Προληπτική συντήρηση, με την έγκαιρη επισήμανση των δυνητικών πηγών διαταραχών ή βλάβης,
- Βελτιστοποίηση του δικτύου κατά τις παραμέτρους της ποιότητας ισχύος.

### *Οικονομικοί Στόχοι*

---

- Προσφέροντας μια πιο ανταγωνιστική υπηρεσία –διαφοροποίηση μεταξύ των εταιριών παροχής,
- Οικοδόμηση νέων σχέσεων μεταξύ πελάτη και προμηθευτή,
- Ειδική μέριμνα για τους πελάτες με υψηλές απαιτήσεις ποιότητας ισχύος (π.χ. βιομηχανίες ημιαγωγών),
- Ανατροφοδότηση για τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας και την ικανοποίηση του πελάτη,
- Ετήσιες εκθέσεις σχετικά με γεγονότα που αφορούν την ποιότητα ισχύος.

## 2.3 Τυποποίηση Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας

Ένα θέμα της Οδηγίας του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου «περί προσεγγίσεως των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα»<sup>3</sup> ορίζει τους όρους, όπως είναι οι «ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές», η «ανοσία» και η «ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα». Η οδηγία αυτή θέτει το κριτήριο σύμφωνα με το οποίο ο εξοπλισμός πρέπει να πληρείται προκειμένου να πωληθεί στη Ευρωπαϊκή Ένωση. Αυτή η ενοποίηση είναι γνωστή ως «προσέγγιση της Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας». Η τεχνική υποστήριξη της οδηγίας γίνεται από τη CENELEC χρησιμοποιώντας κριτήρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η CENELEC εισήγαγε την πρακτική, η οποία βασίζεται σε διεθνώς δημοσιευμένα πρότυπα. Υπάρχουν περισσότεροι διεθνείς (IEC, IEEE, ISO, CIGRE, UNIPED), εθνικοί (ANSI, BSI, VDE), περιφερειακοί (CENELEC, APEC) ή επαγγελματικοί (ECMA) οργανισμοί που θέτουν τα πρότυπα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Τα περισσότερα από τα διεθνή αυτά πρότυπα καθορίζονται από το IEC. Πολλές προσπάθειες στον τομέα της τυποποίησης της ΗΜΣ έχει

---

<sup>3</sup> 89/336/ΕΟΚ

γίνει πρόσφατα από την IEEE για την Βόρεια και Νότια Αμερική. Παρακάτω θα προσεγγίσουμε την τυποποίηση που ακολουθεί ο οργανισμός IEC.

Η αντιστοιχία των προτύπων της Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας για τον όρο «ποιότητα ισχύος», όπως χρησιμοποιείται στην τυποποίηση της IEEE, περιγράφεται με την πρόταση: «η χαμηλή συχνότητα πραγματοποιεί φαινόμενα Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας». Μερικοί ορισμοί της IEC από το λεξικό της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής (IEV) σχετικά με την ΗΜΣ παρουσιάζονται παρακάτω.

○ ***Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα –EMC (IEV 161-01-07)***

Η ικανότητα του εξοπλισμού ή του συστήματος να λειτουργεί ικανοποιητικά στο ηλεκτρομαγνητικό τους περιβάλλον χωρίς να προκαλεί ανυπόφορες ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές σε οτιδήποτε ευρίσκεται στο περιβάλλον αυτό.

○ ***Ηλεκτρομαγνητικό Περιβάλλον (IEV 161-01-01)***

Το σύνολο των ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων που υπάρχουν σε μια δεδομένη τοποθεσία. (σε γενικές γραμμές, μπορεί να θεωρηθεί ότι το ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον εξαρτάται από το χρόνο και η περιγραφή του μπορεί να χρειαστεί μια στατιστική προσέγγιση)

○ ***Ηλεκτρομαγνητική Διαταραχή (IEV 161-01-05)***

Κάθε ηλεκτρομαγνητικό φαινόμενο που μπορεί να υποβαθμίσει την απόδοση μιας συσκευής, συστήματος ή εξοπλισμού, ή επηρεάζει δυσμενώς ή ζει σε αδρανή ύλη. (μια ηλεκτρομαγνητική διαταραχή μπορεί να είναι ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος, ανεπιθύμητο σήμα ή αλλαγή στο ίδιο το μέσο μετάδοσης).

○ ***Ανοσία (σε διαταραχή) (IEV 161-01-20)***

Η ικανότητα μιας συσκευής, εξοπλισμού ή συστήματος να λειτουργεί χωρίς να υποβαθμίζεται η παρουσία των ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών.

○ ***Ανοσία Τροφοδοσίας (απαλλαγή από το δίκτυο που μεταδίδει τη διαταραχή).***

○ ***Ηλεκτρομαγνητική Ευαισθησία (έλλειψη ανοσίας) (IEV 161-01-21)***

Η αδυναμία μιας συσκευής, εξοπλισμού ή συστήματος να λειτουργεί χωρίς να υποβαθμίζεται η παρουσία των ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο εισαγωγικό κεφάλαιο, η σωστή λειτουργία μιας συσκευής, η οποία συνδέεται σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο εξαρτάται από:

- Το ποσό της διαταραχής στην περιοχή.
- Την ευαισθησία της συσκευής σε τέτοιου είδους διαταραχές.
- Τον αντίκτυπο της συσκευής με το περιβάλλον.

Σύμφωνα με αυτό, το πρότυπο της Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας, μεταξύ άλλων, πρέπει να αναφέρει τα επίπεδα συμβατότητας και τους περιορισμούς των εκπομπών για ένα συγκεκριμένο περιβάλλον.

Υπάρχουν τρεις τύποι των προτύπων της Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας στον IEC.

#### **I. Βασικές δημοσιεύσεις για την Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα**

Παρουσιάζονται με τη μορφή ενός προτύπου ή τεχνικής έκθεσης, οι βασικές εκδόσεις καθορίζουν τα γενικά χαρακτηριστικά και τους κανόνες σχετικά με την Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα. Χρησιμοποιούνται ως κατευθυντήριες γραμμές για το πρότυπο προϊόντος των τεχνικών επιτροπών.

#### **II. Γενικά Πρότυπα**

Τα γενικά πρότυπα δεν είναι τόσο λεπτομερή όσο είναι τα πρότυπα που ισχύουν για τα προϊόντα, τα οποία δεν καλύπτονται από ένα πρότυπο προϊόντος της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Κάθε πρότυπο έχει δημοσιευθεί είτε σε οικιακό ή βιομηχανικό εύρος στο περιβάλλον στο οποίο ένα συγκεκριμένο προϊόν θα εγκατασταθεί. Η αρχή αυτή έχει θεσπιστεί από την CENELEC.

#### **III. Πρότυπο προϊόντος**

Πρότυπα για τα προϊόντα ή τις οικογένειες προϊόντων που αφορούν κατά βάση περιορισμούς εκπομπών και προδιαγραφές δοκιμής ανοσίας.

Σχεδόν όλες οι βασικές και γενικές προδιαγραφές της ΗΜΣ έχουν συνταχθεί και εκδοθεί από την τεχνική επιτροπή IEC TC77 και την CISPR. Η δραστηριότητα της CISPR στοχεύει στην έκδοση προτύπων για την πρόληψη των εκπομπών που προκαλούν παρεμβολές με τις τηλεπικοινωνίες. Η IEC TC77 σε συνδυασμό με τις υποεπιτροπές της έχει δημοσιεύσει τις σειρές προτύπων IEC EMC 61000. Πολυάριθμες άλλες τεχνικές επιτροπές ασχολούνται για την ολοκλήρωση των προτύπων για τα προϊόντα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Η IEC TC77A είναι μια υποεπιτροπή αρμόδια για φαινόμενα χαμηλής συχνότητας. Μεταξύ άλλων προτύπων, το IEC 61000-2-2 “Περιβάλλον – Επίπεδα συμβατότητας για χαμηλής συχνότητας διεξαγωγή διαταραχής και σηματοδοσίας σε δημόσια χαμηλής τάσης παροχής ενέργειας συστήματα”, αποτελεί ένα πρότυπο σύμφωνα με το οποίο η ενέργεια που παρέχεται σε έναν πελάτη να μπορεί να συγκριθεί. Ωστόσο στην ΕΕ καθώς και σε άλλες ευρωπαϊκές πόλεις, το πρότυπο CENELEC EN50160 χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στον Πίνακα 1 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα βασικά σημεία της σειράς προτύπων IEC EMC 61000:

<b>Εκδόσεις IEC</b>	<b>Αντικείμενο</b>
<b>Βασικές Εκδόσεις ΗΜΣ: Επίπεδα Συμβατότητας</b>	
61000-2-5	Ταξινόμηση των ΗΜ περιβαλλόντων
61000-2-1	Περιγραφή του ΗΜ περιβάλλοντος στα δημόσια συστήματα χαμηλής ισχύος
61000-2-2	Επίπεδα συμβατότητας σε δημόσια συστήματα χαμηλής ισχύος
61000-2-4	Επίπεδα συμβατότητας σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις
61000-2-6	Αξιολόγηση των επιπέδων των εκπομπών σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις
61000-2-8	Πτώσεις τάσεις, σύντομες διακοπές
60725	Αναφορά εμπέδησης για τις γραμμές ισχύος χαμηλής τάσης
<b>Βασικές Εκδόσεις ΗΜΣ: Εκπομπή</b>	
61000-3-2	Όρια για αρμονικές εκπομπές ηλεκτρικού ρεύματος ( $n \leq 40$ ), $I \leq 16A$ , LV
61000-3-3	Περιορισμός των διακυμάνσεων τάσης και του τεττιγισμού, $I \leq 16A$
61000-3-4	Όρια για αρμονικές εκπομπές ηλεκτρικού ρεύματος ( $n \leq 40$ ), $I \leq 16A$ , LV
61000-3-5	Περιορισμός των διακυμάνσεων τάσης και του τεττιγισμού, $I \leq 16A$
61000-3-6	Όρια για αρμονικές εκπομπές σε μεσαίας τάσης και υψηλής τάσης συστήματα ισχύος
61000-3-7	Περιορισμός των διακυμάνσεων τάσης και του τρεμοπαίγματος σε Μ.Τ. και Υ.Τ. συστήματα ισχύος
61000-3-8	Επίπεδα εκπομπών, ζώνες συχνοτήτων και επίπεδα διαταραχής για τη σηματοδότηση σε Χ.Τ. εγκαταστάσεις
<b>Βασικές Εκδόσεις ΗΜΣ: Μέτρηση-Εκπομπή</b>	
61000-4-7	Γενικός οδηγός για αρμονικές και ενδοαρμονικές μετρήσεις και όργανα μετρήσεων
61000-4-15	Μετρητής Διακύμανσης – λειτουργικές και σχεδιαστικές προδιαγραφές
61000-4-30	Μέτρηση της ποιότητας ισχύος

*Πίνακας 2.1 Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα και Πρότυπα ποιότητας ισχύος*



## 3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ

#### 3.1 Εισαγωγή

Η απόδοση του εξοπλισμού του πελάτη μπορεί να υποβαθμιστεί από διάφορες διαταραχές λόγω αγωγής ή εξ' επαγωγής. Ανάλογα με τη συχνότητα, η διαταραχή χαρακτηρίζεται είτε ως χαμηλής συχνότητας ( $< 9$  kHz) ή υψηλής συχνότητας ( $\geq 9$  kHz). Η ηλεκτροστατική εκκένωση (ESD) και ο υψηλού υψόμετρου πυρηνικός ηλεκτρομαγνητικός παλμός (HEMP) καλύπτονται επίσης, από τα πρότυπα της Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας.

Η μέτρηση της ποιότητας ισχύος θεωρείται συνήθως ως μέτρηση της χαμηλής συχνότητας διαταραχών λόγω αγωγής, με την προσθήκη μεταβατικών φαινομένων. Οι ακόλουθες παράμετροι της τάσης τροφοδοσίας επηρεάζονται από τις διαταραχές:

- Συχνότητα
- Επίπεδο τάσης
- Κυματομορφή
- Συμμετρία του τριφασικού συστήματος.

#### 3.2 Εκδηλώσεις Ποιότητας Ισχύος

Η ιδανική τάση τροφοδοσίας ενός μονοφασικού κυκλώματος είναι μια καθαρά ημιτονοειδής τάση με ονομαστική συχνότητα και εύρος τάσης. Κάθε απόκλιση από αυτήν την τάση θεωρείται ως μία εκδήλωση της ποιότητας ισχύος ή μία διαταραχή. Η ταξινόμηση των παραμέτρων της ποιότητας ισχύος φαίνεται παρακάτω στον Πίνακα 2.

Μεταβολή στην	Παράμετρος
Συχνότητα	Διακύμανση της συχνότητας ισχύος
Τάση	Μεταβολή του μεγέθους της παρεχόμενης τάσης
	Απότομες αλλαγές της τάσης
	Βυθίσεις και ανυψώσεις της παροχής τάσης
	Διακοπές της τάσης
	Τρεμόπαιγμα (Διακύμανση τάσης)
	Μη ισορροπημένη παροχή της τάσης
Κυματομορφή	Παροδικές υπερτάσεις
	Αρμονικές τάσεις
	Ενδοαρμονικές Τάσεις
	Σηματοδοσία τάσης ηλεκτρικού δικτύου στην τάση τροφοδοσίας
	Διακοπές, Ασυνέχειες
	Θόρυβος

*Πίνακας 3.1 Ταξινόμηση Παραμέτρων Ποιότητας Ισχύος*

### 3.3 Συχνότητα Ισχύος

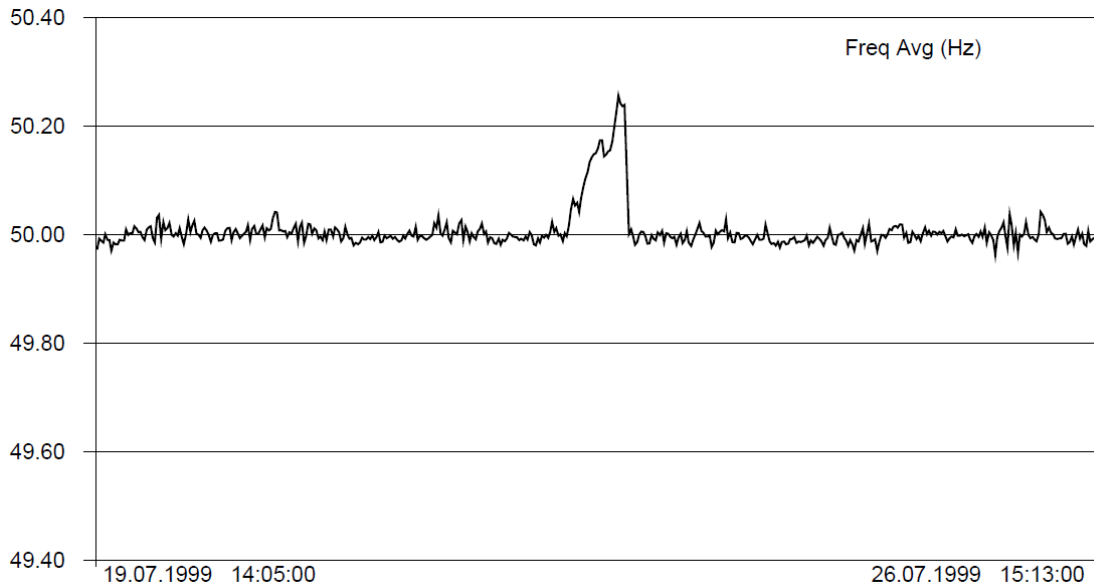
Η μέτρηση της συχνότητας ισχύος πραγματοποιείται συνήθως με την ανίχνευση της διασταύρωσης του μηδενικού σημείου. Εξαιτίας των μεταβατικών ή των αρμονικών οι τεχνικές ακύρωσης μηδενικής διέλευσης πρέπει να τίθενται σε εφαρμογή.

#### 3.3.1 Προέλευση

Η μεταβολή της συχνότητας ισχύος πραγματοποιείται όταν η ισορροπία μεταξύ των γεννητριών και των φορτίων τους αλλάζει. Υπό κανονικές συνθήκες, είναι πιθανόν να μην εμφανιστεί σημαντική διαφοροποίηση. Αποκλίσεις συχνότητας ισχύος μπορεί να αναμένονται όταν το σύστημα λειτουργεί ανεξάρτητα από το δημόσιο δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή η συχνότητα μπορεί να ποικίλει λόγω των επιπτώσεων της εναλλαγής του φορτίου σε ένα σύστημα ή προκαλείται από την κακή ρύθμιση του φορτίου.

#### 3.3.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών

Καμία σημαντική επίπτωση δεν αναμένεται από τις μεταβολές συχνότητας ισχύος. Το **Σχήμα 3.1** αντιπροσωπεύει τη μέτρηση της συχνότητας ισχύος κατά τη διάρκεια μίας εβδομάδας, σύμφωνα με το πρότυπο σύστημα. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, μια σφοδρή θύελλα προκάλεσε διακοπή σε μια γραμμή 35 kV. Η διακύμανση της συχνότητας είναι αισθητή σε απομονωμένη παραγωγή.



**Σχήμα 3.1** Διακυμάνσεις Συχνότητας

### 3.4 Μεταβολές της Τάσης Τροφοδοσίας

Το μέγεθος της παρεχόμενης τάσης αναπαρίσταται με την ενεργό τιμή της τάσης κατά τη διάρκεια μιας αθροιστικής περιόδου. Οι στατιστικοί υπολογισμοί σε αθροιστικά δεδομένα πραγματοποιούνται σε μία περίοδο που έχει μετρηθεί και οριοθετηθεί.

#### 3.4.1 Προέλευση

Μια αλλαγή στην ενεργό τιμή μπορεί να συμβεί λόγω της διακύμανσης του φορτίου, όμως η εγκατεστημένη αυτόματη ρύθμιση μπορεί να αντισταθμίσει αυτές τις αλλαγές μέσα σε λίγα δέκατα του δευτερολέπτου. Διακυμάνσεις στο μέγεθος της τάσης τροφοδοσίας μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα, όταν έχουμε να κάνουμε με πολύ μεγάλες γραμμές.

#### 3.4.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών

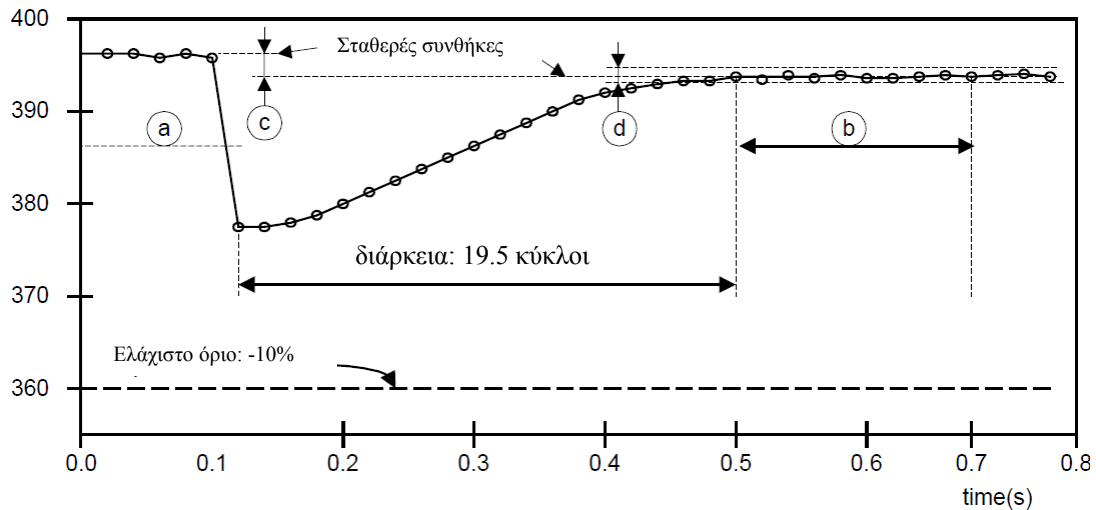
Οποιαδήποτε μεταβολή στο μέγεθος της παρεχόμενης τάσης έξω από τα όρια του +10% έως -15% από την ονομαστική τάση μπορεί να προκαλέσει πρόωρη γήρανση, υπερθέρμανση ή δυσλειτουργία του συνδεδεμένου εξοπλισμού.

### 3.5 Ταχείες αλλαγές τάσης

Η ταχεία αλλαγή της τάσης είναι μία γρήγορη αλλαγή στην τάση  $U_{rms(1/2)}$  ανάμεσα σε δύο σταθερές συνθήκες. Προκαλείται από την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση μεγάλων φορτίων. Μια χαρακτηριστική αιτία της ταχείας αλλαγής της τάσης είναι η έναρξη ενός μεγάλου κινητήρα. Εάν μια ταχεία αλλαγή της τάσης υπερβαίνει τα όρια βύθισης/διόγκωσης θεωρείται είτε ως βύθιση ή ως διόγκωση. Για τη μέτρηση των ορίων των ταχέων αλλαγών της τάσης για κάθε ένα από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά πρέπει να καθοριστεί:

- (α) η ελάχιστη διάρκεια των σταθερών συνθηκών,
- (β) η ελάχιστη διαφορά μεταξύ δύο σταθερών καταστάσεων και
- (γ) η σταθερότητα των σταθερών συνθηκών.

Το **Σχήμα 3.2** καταδεικνύει την ταχεία αλλαγή της τάσης μαζί με τα κατώτερα όριά της.



**Σχήμα 3.2** Ορισμός Ταχείας Αλλαγής Τάσης

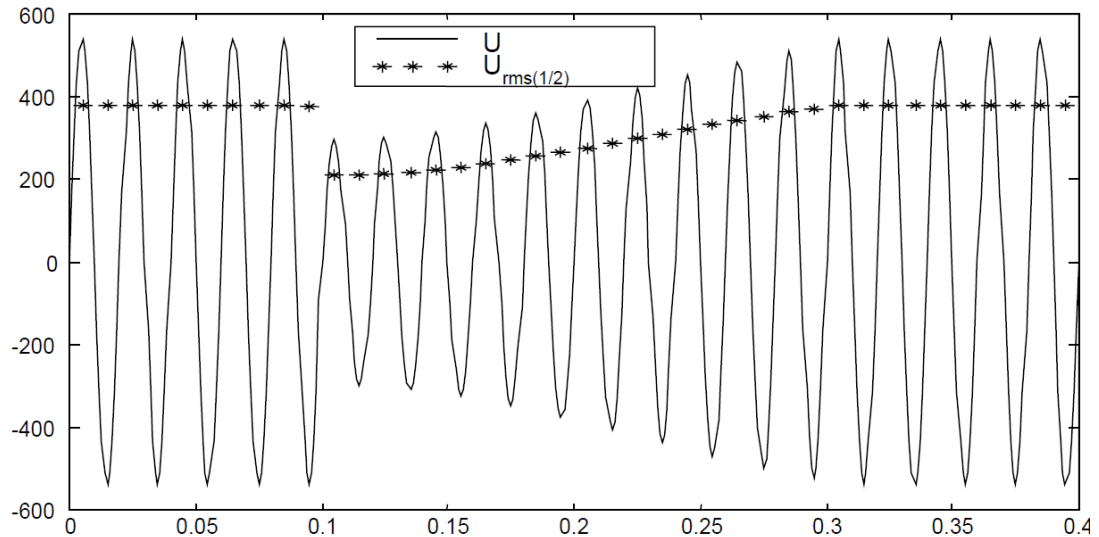
### 3.6 Βυθίσεις της παροχής τάσης

Η βύθιση της παροχής τάσης αντιστοιχεί στην προσωρινή μείωση της τάσης κάτω από το όριο και προκαλείται από αδυναμίες ενός δικτύου ή από υπερβολικά μεγάλα ρεύματα εισροής. Η διάρκεια των φαινομένων είναι περιορισμένη συνήθως γύρω στο 1 λεπτό. Μειωμένη τάση για διάστημα μεγαλύτερο του ενός λεπτού θεωρείται ως μία διακύμανση στο μέγεθος.

Για την αξιολόγηση των βυθίσεων, η τάση  $U_{rms(1/2)}$  υπολογίζεται μέσω ενός κύκλου ή ενός μισού κύκλου και ανανεώνεται κάθε 10 ms για παράδειγμα, σε κάθε μισό ενός κύκλου. Η αρχή του υπολογισμού της  $U_{rms(1/2)}$  φαίνεται στο **Σχήμα 3.3**. Κάθε 10 ms μια νέα τιμή rms (η οποία στο σχήμα σημειώνεται με \*) εμφανίζεται ώστε να γίνει σύγκριση με το όριο της βύθισης.

Η βύθιση της τάσης χαρακτηρίζεται από:

- Το όριο της βύθισης
- Τον χρόνο έναρξης μιας βύθισης
- Τη διάρκεια της βύθισης
- Τη διατήρηση της τάσης (*uret*)

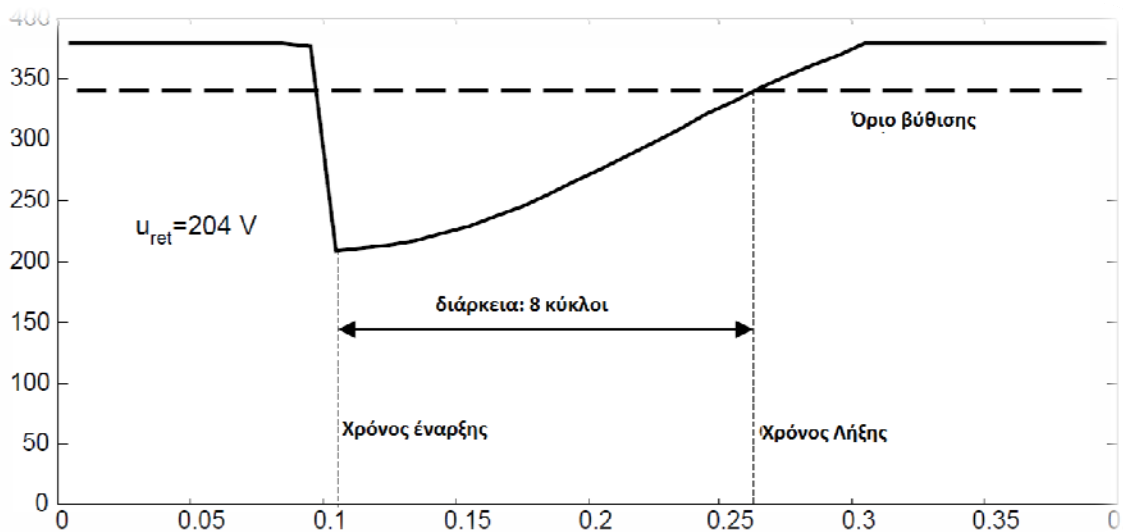


**Σχήμα 3.3** Διαδικασία Εύρεσης της  $U_{rms(1/2)}$

Το **Σχήμα 3.4** παρουσιάζει μια εξήγηση των χαρακτηριστικών της βύθισης. Το όριο της βύθισης μπορεί να ρυθμιστεί από τον χρήστη και αντιπροσωπεύει μέρος της ονομαστικής  $U_n$  ή της δηλωθείσας τάσης  $U_c$  ( ή της  $U_{dec}$  σε μερικά πρότυπα) και μπορεί να ποικίλει από  $0.9 U_c$  για την αντιμετώπιση προβλημάτων έως  $0.65 U_c$  για συμβατικούς σκοπούς. Σε αυτό το παράδειγμα το όριο της βύθισης έχει οριστεί σε  $0.85$ , δηλαδή σε  $340$  volts.

Η βύθιση ξεκινά όταν η  $U_{rms(1/2)}$  πέφτει κάτω από το όριο της βύθισης. Η βύθιση σταματά όταν η  $U_{rms(1/2)}$  ανεβαίνει πάνω από το όριο της βύθισης. Η διαφορά μεταξύ χρόνου λήξης και χρόνου έναρξης είναι η διάρκεια της βύθισης και αναφέρεται σε δευτερόλεπτα ή σε κύκλους. Η υπολειπόμενη (ή εναπομένουσα) τάση  $u_{ret}$  είναι η χαμηλότερη καταγραμμένη τιμή της  $U_{rms(1/2)}$  κατά τη διάρκεια μιας βύθισης.

Το ελάχιστο σύνολο χαρακτηριστικών που περιγράφει μια βύθιση είναι ένα ζευγάρι τάσεως - διάρκειας, το  $[u_{ret}, t]$ , αν και ορισμένα όργανα αποθηκεύουν περισσότερα δεδομένα, όπως είναι η μέση τάση κατά τη διάρκεια της περιόδου βύθισης ή την μορφή της τάσης  $U_{rms(1/2)}$ . Το παράδειγμα στο **Σχήμα 3.4** μπορεί να περιγραφεί ως βύθιση  $[209V, 160 ms]$  ή βύθιση  $[209V, 8c]$ .



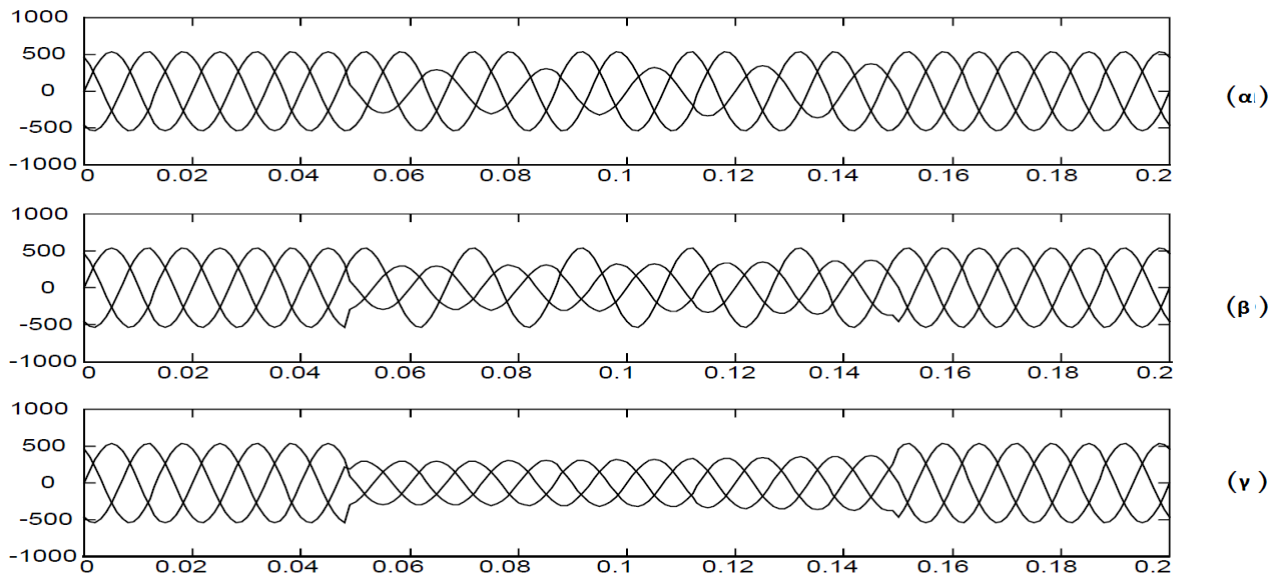
**Σχήμα 3.4** Χαρακτηριστικά Βύθισης Τάσης

### 3.6.1 Λεπτομέρειες σχετικά με τα κατώτατα όρια βύθισης

Αντί της χρήσης της  $U_n$  ή της  $U_c$ , μία ολισθαίνουσα τάση αναφοράς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του κατώτατου ορίου της βύθισης. Αυτή η επιλογή είναι χρήσιμη για την αποφυγή προβλημάτων με λόγους μετασχηματιστών, όταν η μέτρηση λαμβάνεται τόσο από την πλευρά της Χαμηλής Τάσης όσο και της πλευράς Υψηλής Τάσης ενός συστήματος. Επιπλέον, η διατηρούμενη τάση μπορεί να καταγραφεί ως ποσοστό (%) ή p.u. ή μία τιμή rms πριν τη βύθιση.

Το όριο της λήξης είναι συνήθως 1% υψηλότερο από το όριο της έναρξης. Αυτό οφείλεται σε ένα πρόβλημα, το οποίο μπορεί να προκύψει εάν μία τιμή μέτρησης είναι κοντά στην έναρξη ενός ορίου βύθισης.

Το **Σχήμα 3.5** παρουσιάζει μία φάση (α), δύο φάσεις (β) και τις τρεις φάσεις (γ) με βύθιση τάσης. Κυρίως, εξαιτίας λόγων σύμβασης, οι βυθίσεις σε διαφορετικές φάσεις θεωρούνται ως ένα γεγονός, όταν οι βυθίσεις αυτές συμπίπτουν χρονικά (δηλ. η βύθιση ξεκινά σε μία φάση και τελειώνει σε μία άλλη).



Σχήμα 3.5 Σύστημα Βυθίσεων για διαφορετικές φάσεις

### 3.6.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών

Μελέτες που διεξήχθησαν τα τελευταία χρόνια έχουν επιβεβαιώσει ότι οι βυθίσεις της τάσης προκαλούν την πλειοψηφία των δυσλειτουργιών του εξοπλισμού. Οι αναμεταδότες και οι ανάδοχοι μπορεί να πάθουν διάλειψη εάν μία βύθιση είναι στο 60% για περισσότερο του ενός κύκλου. Η ενδεχόμενη βλάβη εξαρτάται από την ικανότητα του εξοπλισμού να διατηρήσει χαμηλότερη τάση για σύντομες περιόδους. Η τεχνολογία των πληροφοριών είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε μία βύθιση. Υπάρχουν πολλά κριτήρια για την αξιολόγηση της βαρύτητας της βύθισης όπως η καμπύλη ITIC. Ηλεκτρονικές μονάδες δίσκου, μετατροπείς και εξοπλισμός με ένα ηλεκτρονικό στάδιο εισόδου είναι επίσης, ευαίσθητοι σε πτώσεις. Ένας ασύγχρονος κινητήρας μπορεί να αντλήσει ρεύμα μεγαλύτερο από το ρεύμα εκκίνησης σε μία ανακτημένη βύθιση.

### 3.6.3 Τρόποι επίλυσης προβλήματος Βυθίσεων

Αυτό που πρέπει να αποφευχθεί σε αυτήν την περίπτωση είναι το τριπάρισμα του εξοπλισμού (*tripping*), δηλαδή να βγαίνει εκτός λειτουργίας, εξαιτίας των βυθίσεων. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με μία σειρά από τρόπους:

- **Μείωση αριθμού των σφαλμάτων**

Υπάρχουν πολλές γνωστές μέθοδοι για αυτό (βασισμένοι στις αιτίες πρόκλησης σφαλμάτων), όπως: tree-trimming, οδηγοί ζώων και προστατευτικά σύρματα, όπως και αντικατάσταση των υπέργειων από υπόγειες καλωδιώσεις. Αφού οι σοβαρότερες από τις βυθίσεις προκαλούνται από σφάλματα αυτός ο τρόπος θα επηρεάσει άμεσα την συχνότητα εμφάνισης των βυθίσεων.

- **Ταχύτεροι τρόποι εκκαθάρισης σφαλμάτων.**

Αυτό απαιτεί βελτίωση των τεχνικών προστασίας και των συσκευών που χρησιμοποιούνται για την προστασία. Μεγάλο κέρδος από αυτήν την μέθοδο μπορεί να επιτευχθεί στα δίκτυα διανομής, αλλά στο επίπεδο της μεταφοράς ο χρόνος εκκαθάρισης είναι ήδη πολύ μικρός. Περαιτέρω βελτίωση στο επίπεδο μεταφοράς μπορεί να απαιτεί την ανάπτυξη μίας νέας γενιάς κυκλωμάτων διακοπών και ηλεκτρονόμων.

- **Βελτιωμένη σχεδίαση και λειτουργία του δικτύου.**

Το δίκτυο μπορεί να αλλάξει έτσι ώστε ένα σφάλμα να μην οδηγήσει σε σοβαρή βύθιση σε μία τοποθεσία. Αυτό ήταν συνήθης πρακτική στο σχεδιασμό των εργοστασιακών εγκαταστάσεων, αλλά όχι και σε αυτό του δημόσιου δικτύου. Πιθανή επιλογή είναι η απομάκρυνση μεγάλου μήκους υπέργειων τροφοδοσιών από ζυγούς που τροφοδοτούν ευαίσθητα φορτία και η σύνδεση με (on-site generators) γεννήτριες σε στρατηγικής σημασίας τοποθεσίες. Επίσης η χρήση πολύ γρήγορων διακοπών (*fast transfer switches*) μπορεί να θεωρηθεί σαν μία λύση από πλευράς δικτύου.

- **Βελτίωση του εξοπλισμού στην διασύνδεση.**

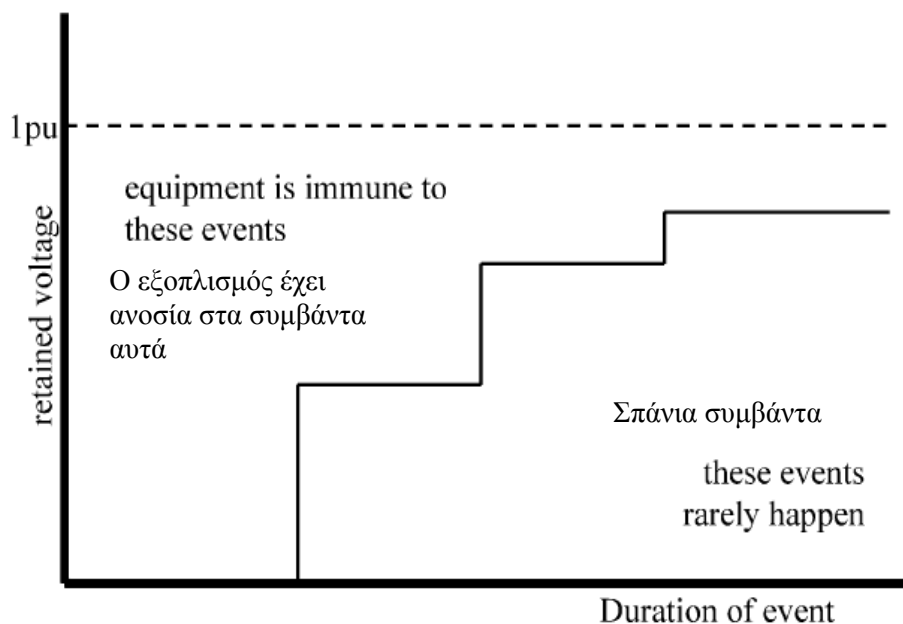
Η πιο κοινά χρησιμοποιούμενη μέθοδος βελτίωσης της βύθισης τάσεων είναι η σύνδεση UPS ή μετασχηματιστών σταθερής τάσης στο δευτερεύον μεταξύ συστήματος και ευαίσθητων φορτίων. Για μεγάλα φορτία οι στατοί πυκνωτές αντιστάθμισης (αναλύονται στην εξομάλυνση φλίκερ και αρμονικών) της δυναμικής αποκατάστασης τάσης (DVR Dynamic Voltage Restorer) είναι μία πιθανή λύση.

- **Βελτιωμένος εξοπλισμός στον τελικό καταναλωτή.**

Κάνοντας τον εξοπλισμό πιο ανθεκτικό σε όλες τις βυθίσεις θα ήταν επίσης μια λύση του προβλήματος αλλά δεν είναι ακόμα για τον περισσότερο εξοπλισμό εφικτό.

Η συζήτηση που είναι σε εξέλιξη για την βελτίωση των προβλημάτων από βυθίσεις αφορά τον καταλογισμό ευθύνης μεταξύ καταναλωτών και δικτύου (θα έπρεπε η λύση να αναζητηθεί στην πλευρά του δικτύου ή του καταναλωτή;) Σε μερικές των περιπτώσεων το κόστος του εξομαλυντικού εξοπλισμού διαμοιράζεται. Σε άλλες υπάρχουν συμβόλαια που αφορούν την ποιότητα ισχύος τα οποία καθορίζουν την ευθύνη. Σε βάθος χρόνου πρέπει να επιτευχθεί συμφωνία μεταξύ του τι είναι 'κανονικές βυθίσεις' και τι 'μη-επιτρεπτές'. Μετά να γίνει προσπάθεια ώστε για κανονικές βυθίσεις ο εξοπλισμός του τελικού χρήστη να αναμένεται να είναι ανθεκτικός, ενώ οι μη-επιτρεπτές βυθίσεις θα πρέπει να έχουν μικρή συχνότητα, όπως φαίνεται και στο *Σχήμα 3.6*.





**Σχήμα 3.6** Διαχωρισμός γεγονότων για τα οποία είναι υπεύθυνος ο καταναλωτής από αυτά για τα οποία είναι υπεύθυνος ο παράγοντας του δικτύου.

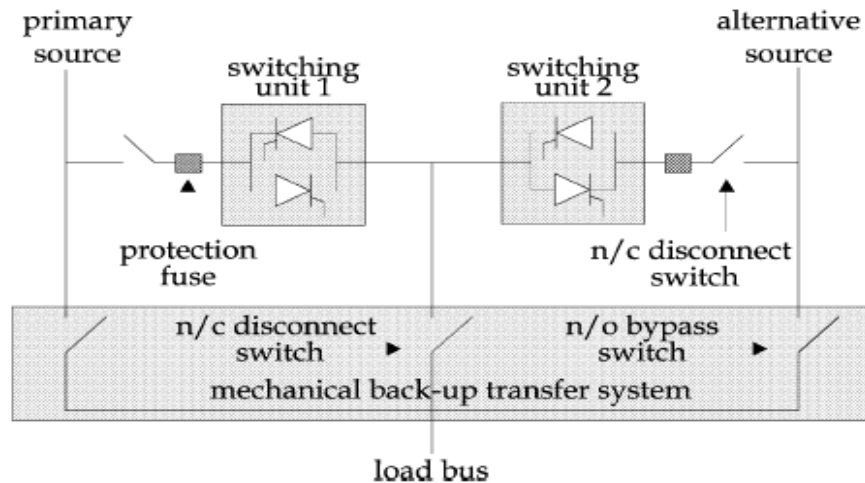
Πέραν των παραπάνω γενικών κατηγοριών παραθέτουμε και επιγραμματικά κάποιες επιπλέον λύσεις που προτείνονται:

- **Στατοί αντισταθμιστές σειράς (Static Series Compensator).**

Το SSC είναι ένα VSC (Voltage Source Converter) συνδεδεμένος εν σειρά με μια πηγή διαταραχών, που παρέχει ελεγχόμενη πηγή τάσης, η οποία αν προστεθεί στην τροφοδοσία μπορεί να προκύψει η επιθυμητή τάση.

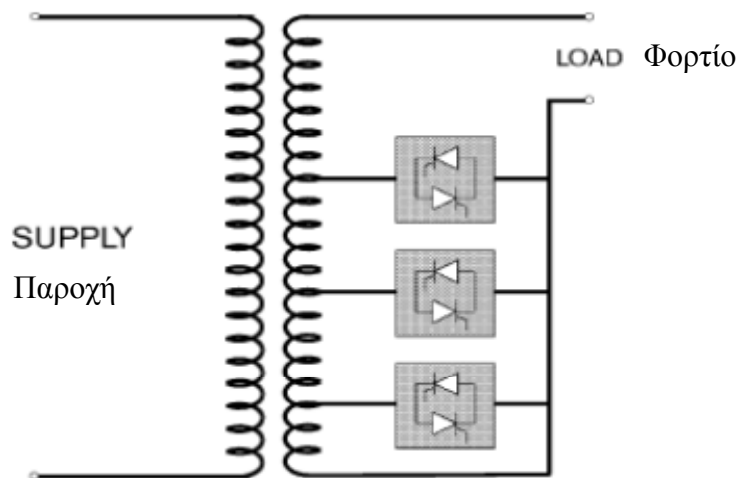
- **Στατοί χειρισμοί στην μεταφορά (Static Transfer Switch).**

Οι STS αποτελούνται από δύο ηλεκτρονικούς τριφασικούς διακόπτες, όπου ο καθένας αποτελείται από δύο αντιπαράλληλα θυρίστορ ανά φάση όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3.7**. Κανονικά ο στατός διακόπτης στην πηγή πυροδοτείται κανονικά, ενώ ο άλλος είναι εκτός. Κατά την διάρκεια της διαταραχής της τάσης, ο STS χρησιμοποιείται για να μεταφέρει από την επιλεγμένη πηγή σε μία εναλλακτική πιο υγιή πηγή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αντιμετώπιση τόσο των βυθίσεων όσο και της διακοπής με μεγάλη επιτυχία, μειώνοντας ουσιαστικά την διάρκεια τους που γίνεται αντιληπτή στο φορτίο.



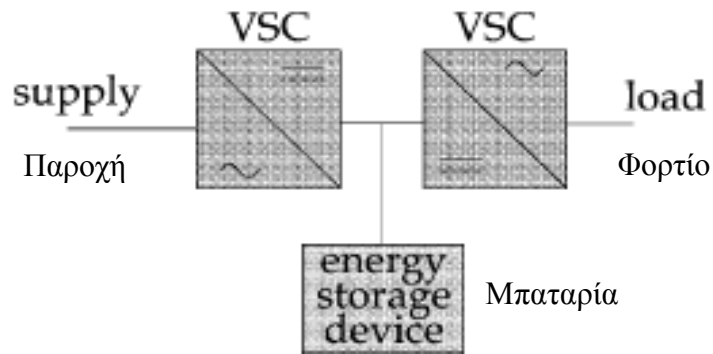
Σχήμα 3.7 Δομή του STS σε μία φάση

Καλή λύση του προβλήματος που ήδη εφαρμόζεται και στις βιομηχανίες αποτελούν ηλεκτρονικοί tab-changer που μπορούν να συνδεθούν σε μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για ευαίσθητα φορτία, ώστε να μπορεί να αλλάζει τον λόγο ανάλογα με την τάση που δέχεται στην είσοδο. Αυτό δίνεται χαρακτηριστικά στο Σχήμα 3.8. Αυτός ο μηχανισμός καλείται στατός ρυθμιστής τάσης (*Static Voltage Regulator*).



Σχήμα 3.8 SVR (Στατός Ρυθμιστής Τάσης)

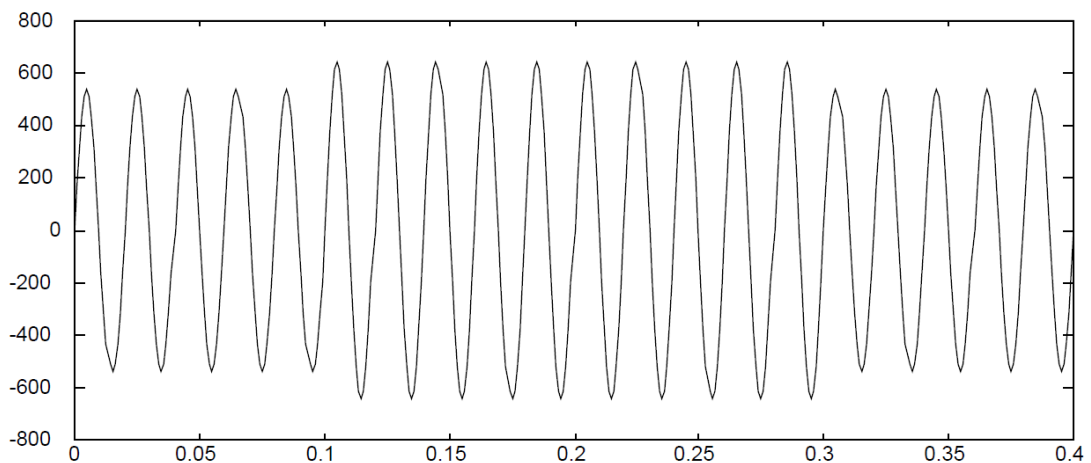
Μία κλασική λύση είναι τα UPS (Uninterrupted Power Supply) τα οποία και χρησιμοποιούνται για προστασία τόσο βυθίσεων όσο και διακοπών, αφού παρέχουν αυτονομία για κάποια λεπτά μέχρι να επανέλθει η τάση σε φυσιολογικά επίπεδα. Η δομή τέτοιων διατάξεων αδιάλειπτης λειτουργίας φαίνεται στο Σχήμα 3.9.



Σχήμα 3.9 Συσκευή αδιάλειπτης παροχής (UPS)

### 3.7 Παροδικές Υπερτάσεις

Οι παροδικές υπερτάσεις (swells) είναι στιγμιαίες ανυψώσεις της τάσης (αντίθετα από τις βυθίσεις). Η γραφική αναπαράσταση μιας παροδικής υπέρτασης φαίνεται στο **Σχήμα 3.10**. Οι ίδιοι παράμετροι για την κατηγοριοποίηση των βυθίσεων χρησιμοποιούνται και για την κατηγοριοποίηση των παροδικών ανυψώσεων.



Σχήμα 3.10 Γραφική αναπαράσταση παροδικής υπέρτασης (swells)

#### 3.7.1 Προέλευση

Η εμφάνιση των υπερτάσεων οφείλεται σε μονοφασικά σφάλματα ως προς γη (*single line ground failure SLG*), σε ανάστροφη διάσπαση (*upstream failure*), αποσύνδεση ενός μεγάλου φορτίου από το δίκτυο ή σύνδεση μεγάλων σε χωρητικότητα συστοιχιών πυκνωτών.

#### 3.7.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών

Επειδή οι παροδικές υπερτάσεις διαρκούν πολύ σύντομο χρονικό διάστημα δεν προκαλούν σημαντικά προβλήματα στα φορτία. Παρόλα αυτά, υπάρχει περίπτωση να καούν

οι λάμπες πυρακτώσεως και να σπάσει το γυαλί τους καθώς επίσης και να προκύψουν πολλά προβλήματα ασφαλείας.

### 3.7.3 Τρόποι επίλυσης προβλήματος Παροδικών Υπερτάσεων

Οι τρόποι επίλυσης των προβλημάτων αυτών θα μπορούσε να είναι οι ίδιοι με αυτούς για τις βυθίσεις. Λόγω όμως της μικρής συχνότητας και έκτασης του φαινομένου στην πράξη δεν λαμβάνονται κάποια μέτρα αποκλειστικά για αυτό το πρόβλημα. Ενέργειες που γίνονται και για άλλες διαταραχές εξομαλύνουν και τα αποτελέσματα αυτών των διαταραχών

## 3.8 Διακοπές στην Τάση

Μία μόνιμη διακοπή μπορεί να χαρακτηριστεί σαν 'η απομόνωση του δικτύου από την πηγή παροχής ισχύος στο δίκτυο'. Λόγω του παραμένουτος μαγνητισμού (συσσωρευμένη ενέργεια στο δίκτυο) παρατηρείται μία μικρή τάση πάνω από το μηδέν για μικρό διάστημα αφού συνέβη η διακοπή της τάσης. Για αυτό το λόγο και η διακοπή προσδιορίζεται σαν μία πτώση της ενεργού τιμής της τάσης κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο. Το κατώφλι αυτό μπορεί να κυμαίνεται αλλά συνήθως είναι 1%, 5% ή 10% της καθορισμένης τάσης (συνήθως της ονομαστικής). Η διάρκεια μιας διακοπής μετριέται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που μετράμε και την διάρκεια των βυθίσεων με διαφορετικό προφανώς κατώφλι σε αυτή τη περίπτωση.

Λόγω των τεχνικών μέτρησης ένα σύντομο σφάλμα στο κύκλωμα μπορεί να εμφανισθεί σαν σύντομη διακοπή σε ένα τμήμα του δικτύου και σαν βύθιση σε ένα άλλο (στο ένα σημείο του δικτύου η τάση αποκαθίσταται νωρίτερα από ότι στο άλλο).

Τις διακοπές της τάσης τις κατηγοριοποιούμε σε δύο κατηγορίες:

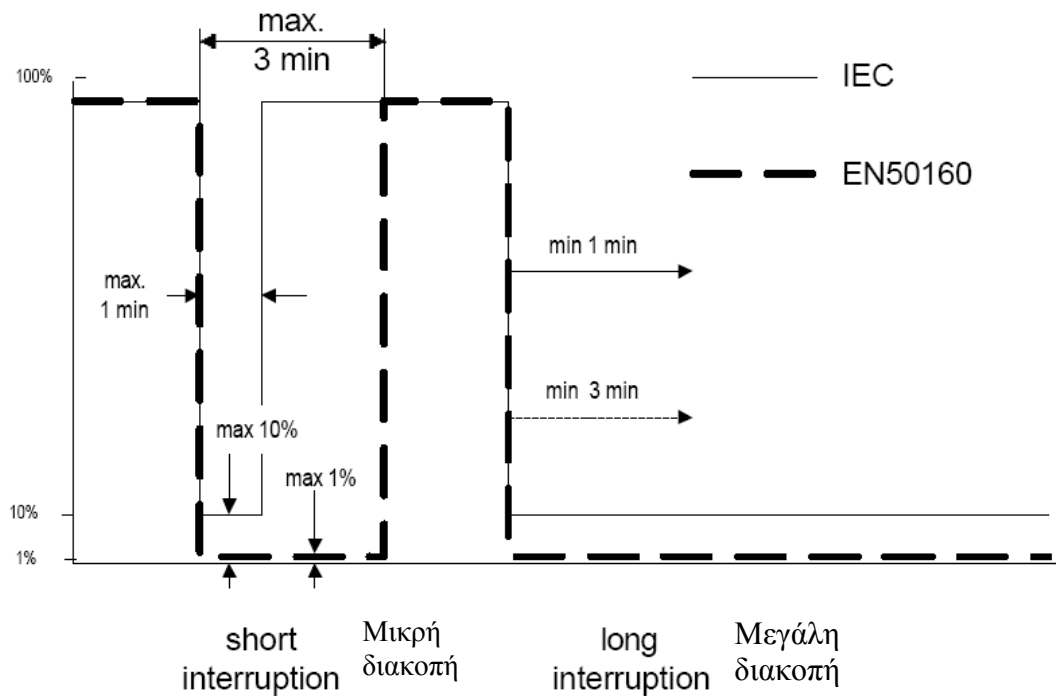
- Σύντομες διακοπές (*short interruption*) ή Παροδικές Διακοπές (*momentary interruption*)
- Μόνιμες διακοπές (*long interruption*)

### 3.8.1 Προέλευση

Σύντομες διακοπές παρουσιάζονται στο δίκτυο σε καταστάσεις σφαλμάτων, που αναγκάζουν το διακοπτικό εξοπλισμό να λειτουργήσει. Για αυτό το λόγο πρέπει να χρησιμοποιούνται σύνθετες διαδικασίες επανάζευξης για να αποφεύγεται αυτό το φαινόμενο. Η διάρκεια μίας σύντομης διακοπής μπορεί να κυμαίνεται μέχρι 1 έως 3 λεπτά ανάλογα με την διαδικασία επανάζευξης (reclosing operation), τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται ή τη συμφωνία μεταξύ καταναλωτή και παραγωγού .

Μόνιμη διακοπή θεωρείται οποιαδήποτε διακοπή ξεπερνάει σε χρόνο τα όρια που έχουν τεθεί για τις σύντομες διακοπές. Παρουσιάζονται όταν μία κατάσταση σφάλματα δεν μπορεί να επιλυθεί με την διαδικασία προστασίας και οδηγείται στην οριστική έξοδο του διακόπτη.

Μία σύγκριση μεταξύ του προτύπου της IEC και αυτού της EN50160, που συγκρίνει τα όρια για σύντομες και μόνιμες διακοπές, φαίνεται στο παρακάτω **Σχήμα 3.11**.



**Σχήμα 3.11** Κατώφλια διακοπών και ορισμός διάρκειας

### 3.8.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών

Σε εργοστασιακό περιβάλλον μία διακοπή μπορεί να προκαλέσει καταστροφική διακοπή της παραγωγικής αλυσίδας αυξάνοντας τον αριθμό των προϊόντων που απορρίπτονται ή των υλικών που απομακρύνονται. Σε μερικές περιπτώσεις, οι διακοπές μπορεί να αυξήσουν τον κίνδυνο να καταστραφούν οι συσκευές ή ακόμα και τον τραυματισμό του προσωπικού.

Οι νέες τεχνολογίες επηρεάζονται με δύο τρόπους. Πρώτον τα υπάρχοντα δεδομένα μπορεί να χαθούν και το σύστημα να καταστραφεί. Δεύτερον μετά το πέρας της διακοπής, η διαδικασία επανεκκίνησης, ειδικά σε ένα μεγάλο και πολύπλοκο σύστημα, μπορεί να διαρκέσει αρκετές ώρες. Εξαιτίας των παραπάνω λόγων σημαντικά υπολογιστικά συστήματα και τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός πρέπει να προστατεύονται επιπλέον και από σύστημα UPS (Uninterrupted Power Supply), που κρατούν την τάση σε σταθερό επίπεδο ακόμα και για μεγάλο χρονικό διάστημα μέχρι να αποκατασταθεί η τάση του δικτύου. (ή μέχρι να μπορέσει ο χρήστης να θέσει σε λειτουργία κάποια εφεδρική πηγή τροφοδοσίας ή να τερματίσει το σύστημα με ασφάλεια).

### 3.8.3 Τρόποι επίλυσης προβλήματος Διακοπών Τάσεων

Για να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε τους τρόπους επίλυσης ενός προβλήματος θα πρέπει πρώτα να κατανοηθούν οι αιτίες δημιουργίας του φαινομένου.

Οι αιτίες πρόκλησης διακοπής είτε προσωρινής είτε μόνιμης δεν διαφέρουν και πολύ από αυτές των βυθίσεων. Πολλές φορές, δε, συνεχόμενες βυθίσεις είναι υπεύθυνες για την πρόκληση διακοπών. Χαρακτηριστικό ότι οι διακοπές δεν είναι τίποτα άλλο από βυθίσεις που δεν μπόρεσαν να αντιμετωπιστούν. Για τον λόγο αυτό όλες οι μέθοδοι που προτάθηκαν για την βελτίωση των προβλημάτων από βυθίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την επίλυση των μόνιμων διακοπών.

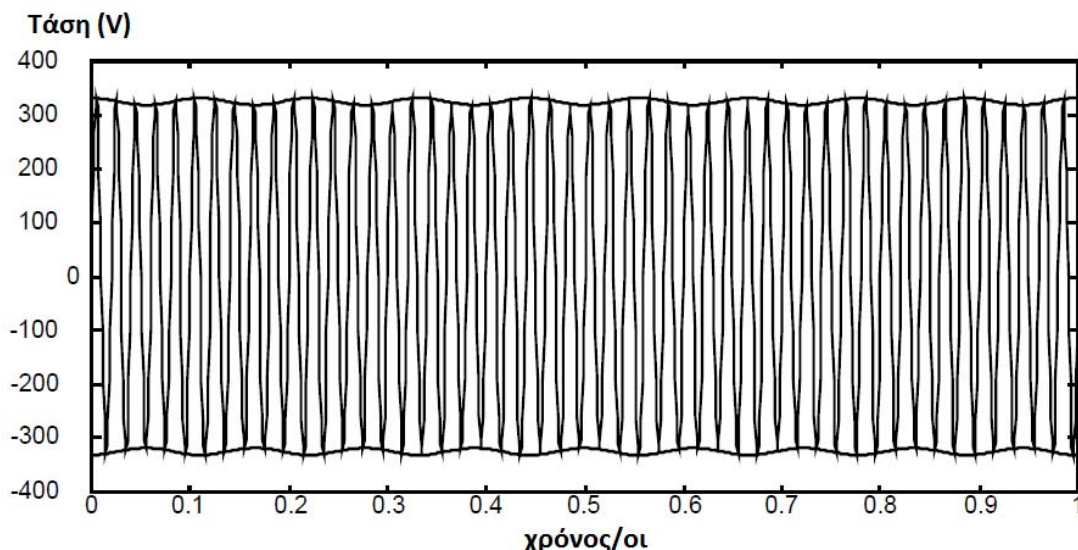
Ένας διαφορετικός τρόπος σκέψης είναι εκ του αποτελέσματος, να προταθούν λύσεις βασισμένες στα προβλήματα που δημιουργούνται από τις διακοπές:

- Παράλληλη χρήση ΗΖ (Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος) με μπαταρία και το δίκτυο. Θα τροφοδοτεί αυτό το φορτίο μέσω ενός ρελέ στην περίπτωση που έχουμε διακοπή ρεύματος.
- Μπαταρίες υγρών. (όπως αυτές του αυτοκινήτου) Δεν προτείνονται για μακράς διάρκειας χρήση, αλλά μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες για κάποιες ώρες μέχρι την αποκατάσταση της βλάβης.
- Εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών που να δουλεύουν σε παράλληλη λειτουργία με το δίκτυο της ΔΕΗ ή και ανεξάρτητα με τα αντίστοιχα προβλήματα ευστάθειας.
- Τροφοδότηση του καταναλωτή με δύο ανεξάρτητες γραμμές τροφοδοσίας από τον διανομέα.

### 3.9 Διακύμανση Τάσης (Flicker)

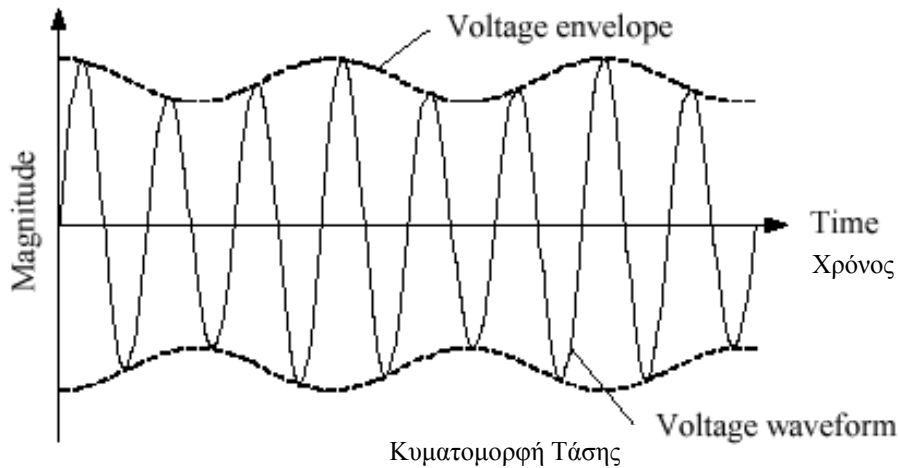
Το **flicker** ή αλλιώς γρήγορη διακύμανση της τάσης που οδηγεί σε τρεμόπαιγμα στο φως είναι μία οπτική ενόχληση λόγω αστάθειας της έντασης του φωτός (τρεμόπαιγμα). Το επίπεδο της ενόχλησης εξαρτάται από την συχνότητα και το πλάτος της αλλαγής της έντασης του φωτός και από τον παρατηρητή (δεν αντιλαμβανόμαστε όλοι την ίδια ενόχληση στην ίδια διακύμανση της τάσης).

Αλλαγή της ροής του φωτός μπορεί να συνδυαστεί με την κυμάτωση του πλάτους όπως φαίνεται και παρακάτω στο **Σχήμα 3.12**.



**Σχήμα 3.12** Διακύμανση της τάσης που οδηγεί σε τρεμόπαιγμα στο φως.

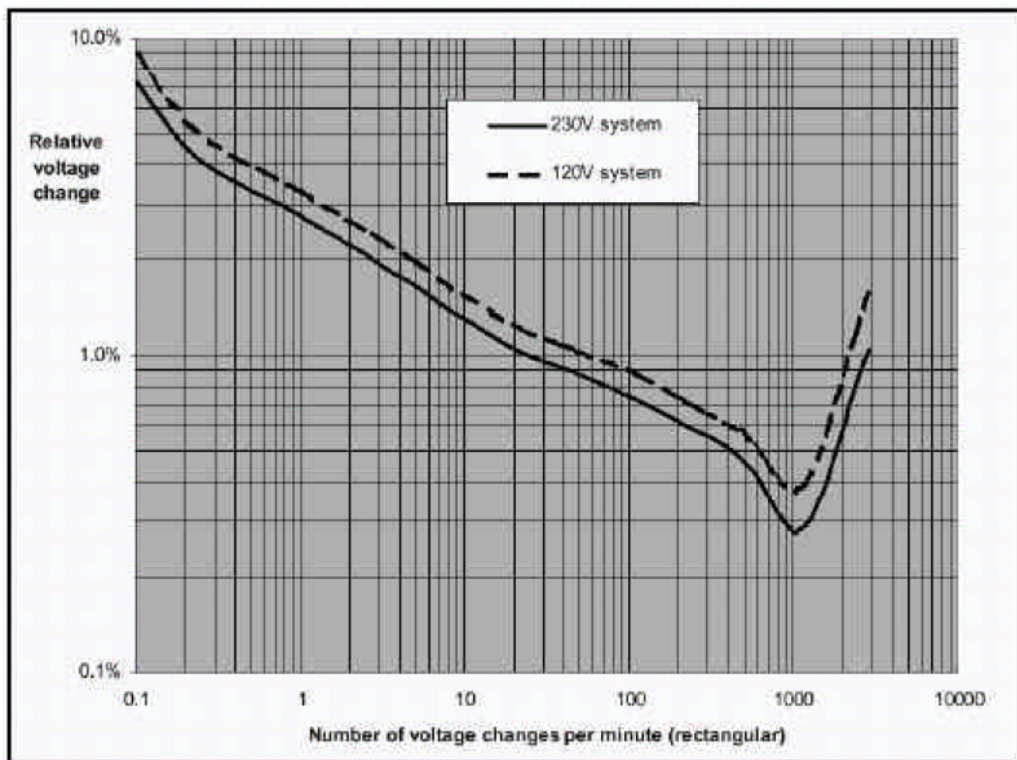
Περίγραμμα Τάσης



**Σχήμα 3.13** Χαρακτηριστικά κυματομορφής flicker

Στο **Σχήμα 3.13**, το πλάτος της διακύμανσης της τάσης λαμβάνει ημιτονοειδή μορφή όπως φαίνεται και στο σχήμα με τον όρο περίγραμμα (envelope). Ωστόσο, οι αλλαγές της τάσης μπορούν επίσης να έχουν ορθογώνιο ή ακανόνιστο σχήμα. Το προφίλ των αλλαγών τάσης θα εξαρτηθεί από το ρεύμα που καταναλώνεται από το κυμαινόμενο φορτίο.

Το flicker μετριέται σύμφωνα με το πρότυπο *IEC 61000-4-15 "flickermeter-function and design specifications"*. Βασίζεται σε μία αλυσίδα 230V/60W σήμα-λαμπτήρας-αισθητήρια οφθαλμού-διέγερση εγκεφαλικών κύτταρων (*lamp-eye-brain chain response*). Αυτή η συνάρτηση είναι η βάση για την υλοποίηση του φλικερόμετρου και αναπαρίσταται στο **Σχήμα 3.14**.



**Σχήμα 3.14** Καμπύλη ίσης δεινότητας ( $P_{st}=1$ ) για τετραγωνικής τάσης αλλαγές σε συστήματα παροχής χαμηλής τάσης

Το **φλικερόμετρο** είναι ένα όργανο σχεδιασμένο να μετράει οποιαδήποτε ποσότητα αντιπροσωπεύει το flicker (IEV 161-08-14). Μετράει την διακύμανση της τάσης, πραγματοποιεί φιλτραρισμένους υπολογισμούς και παρέχει δύο δείκτες για το flicker, τον σύντομης διάρκειας (**short-term**)  $P_{st}$  και τον μακράς διάρκειας (**long-term**)  $P_{lt}$ .

Ο **Δείκτης flicker σύντομης διάρκειας (short-term flicker indicator)** έχει τιμή ίση με την μονάδα για διακύμανση της φωτεινότητας που ήταν ενοχλητική για το 50% του κοινού. Η μέτρηση αυτού του δείκτη γίνεται για διάστημα 10 λεπτών.

Ο **Δείκτης flicker μακράς διάρκειας (long-term flicker indicator)** υπολογίζεται από τους τελευταίους 12 σύντομης διάρκειας δείκτες, δηλαδή στο διάστημα των τελευταίων 2 ωρών από την εξίσωση (3.1):

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=0}^{11} P_{st}(i)^3} \quad (3.1)$$

### 3.9.1 Προέλευση

Κύρια πηγή δημιουργίας του φαινομένου της διακύμανσης της τάσης είναι τα ηλεκτρικά τόξα των ηλεκτρικών κλιβάνων, οι μηχανές συγκόλλησης και παρόμοια «βαριά» φορτία που καταναλώνουν ρεύματα με μεγάλη διακύμανση. Το flicker μπορεί να εμφανιστεί με την παρουσία ενδιάμεσων αρμονικών σε μία συχνότητα κοντά στην θεμελιώδη ή και σε αρμονική.

Οι διακυμάνσεις τάσεως προκαλούνται όταν τα φορτία καταναλώνουν ρεύματα που έχουν σημαντικές αιφνίδιες ή περιοδικές διακυμάνσεις. Το κυμαινόμενο ρεύμα που καταναλώνεται από την παροχή προκαλεί πρόσθετες μειώσεις τάσεως στο σύστημα τροφοδοσίας, που οδηγούν σε διακυμάνσεις της παρεχόμενης τάσης. Τα φορτία που παρουσιάζουν συνεχείς, γρήγορες διακυμάνσεις είναι λοιπόν εκείνα που πιθανότατα θα προκαλέσουν διακυμάνσεις τάσεως. Παραδείγματα φορτίων που μπορούν να παράγουν διακυμάνσεις τάσεως στην παροχή είναι:

- Ηλεκτρικοί κάμινοι
- Ηλεκτροσυγκολλητές
- Εγκαταστάσεις με συχνές εκκινήσεις κινητήρων (μονάδες κλιματισμού, ανεμιστήρες)
- Μηχανισμοί κινητήρων με κυκλική λειτουργία (βαρούλκα ναρκών, ελασματουργεία)
- Μηχανήματα με μεγάλες αλλαγές ταχύτητας των κινητήρων (πριόνια, μηχανήματα διάλυσης αυτοκινήτων)

Οι συχνές, γρήγορες διακυμάνσεις σε ρεύματα φορτίου αποδίδονται στις λειτουργίες εκκίνησης κινητήρων, όπου το ρεύμα του κινητήρα συνήθως είναι 3-5 φορές το ονομαστικό ρεύμα για μία σύντομη χρονική περίοδο. Εάν ένας αριθμός κινητήρων τίθεται σε λειτουργία την ίδια ώρα, ή αν ο ίδιος κινητήρας ξεκινά και σταματά επανειλημμένα, η συχνότητα των αλλαγών της τάσεως μπορεί να προκαλέσει μαρμαρυγή (τρεμοπαίξιμο) στις εγκαταστάσεις φωτισμού, που θα είναι ορατή με γυμνό μάτι.

Σημαντική πηγή δημιουργίας flicker είναι τα αιολικά πάρκα λόγω του φαινομένου της σκίασης του πύργου βάσης όπου μειώνεται η ταχύτητα ή καλύτερα η ροπή της έλικας κάθε



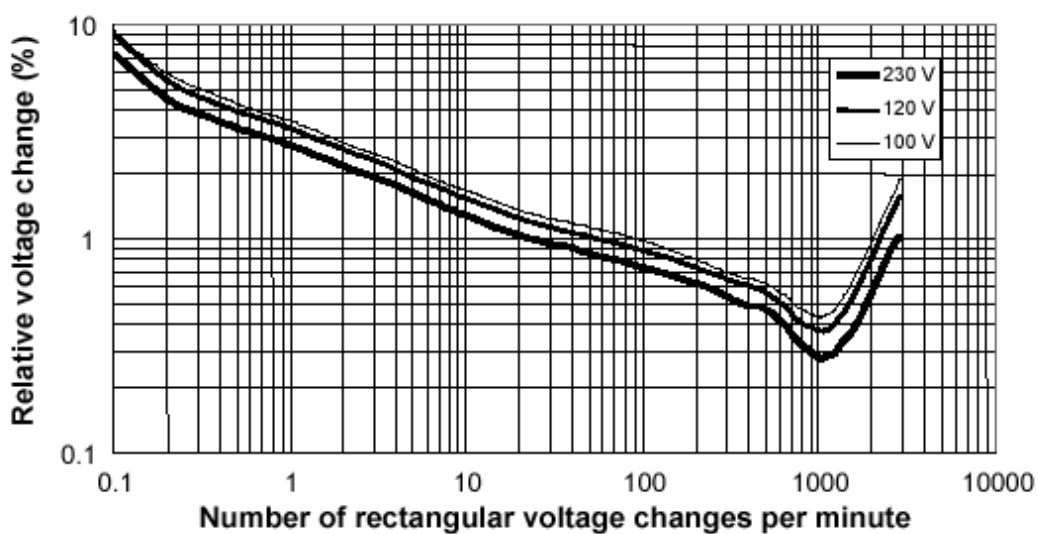
φορά που περνάει μπροστά από τον πύργο λόγω του ότι ο τελευταίος εμποδίζει τον άνεμο να κινηθεί όπως κατά την απουσία του.

### 3.9.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών

Η διακύμανση του πλάτους της τάσης είναι συνήθως σε επίπεδο χαμηλότερο του 3% της παρεχόμενης τάσης και δεν έχει κάποια αξιοπρόσεκτη επίδραση στον εξοπλισμό. Αυτή η διακύμανση ωστόσο μπορεί να προκαλέσει ενόχληση στα μάτια. Η ευαισθησία στον ερεθισμό από το τρεμοπαίξιμο των λαμπών είναι διαφορετική για κάθε άτομο. Από τεστ που έχουν γίνει έχει φανεί ότι γενικά το ανθρώπινο μάτι είναι εξαιρετικά ευαίσθητο στην διακύμανση της κυματομορφής με συχνότητα περίπου 6-8 Hz. Ωστόσο, φλίκερ που προκαλούνται από διακύμανση της τάσης με συχνότητα 9Hz θεωρούνται ενοχλητικά μόλις το 0.2% αυτών.

Οι διακυμάνσεις τάσεως μπορεί επίσης να προκαλέσουν εσφαλμένη ενεργοποίηση των ρελέ, να κάνουν παρεμβολές στα μηχανήματα επικοινωνίας και να θέσουν εκτός λειτουργίας τα ηλεκτρονικά μηχανήματα. Σοβαρές διακυμάνσεις, σε μερικές περιπτώσεις, μπορούν να εμποδίσουν άλλα φορτία να ξεκινήσουν λόγω της μείωσης της παρεχόμενης τάσης. Επιπλέον, οι επαγωγικοί κινητήρες που λειτουργούν στη μέγιστη στροφορμή τους μπορεί να καθυστερήσουν, αν οι διακυμάνσεις της τάσης είναι σημαντικού μεγέθους.

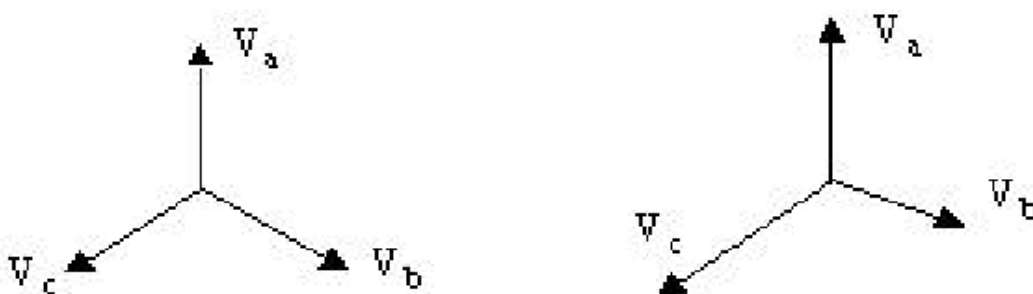
Οι διακυμάνσεις τάσεως στο δημόσιο σύστημα παροχής ρεύματος χαμηλής τάσης πρέπει να είναι μέσα στα αποδεκτά όρια που έχουν τεθεί. Γενικά τα αποδεκτά όρια διακυμάνσεων τάσης είναι κάτω από την καμπύλη μαρμαρυγής που απεικονίζεται στο **Σχήμα 3.15**. Στο παραπάνω σχεδιάγραμμα οι καμπύλες που παρουσιάζονται είναι μετά από στατιστικά στοιχεία (όπως ακριβώς αναφέραμε ότι προκύπτει συμβατικά ο ορισμός του συντελεστή για το flicker ίσος με την μονάδα) δείχνουν το όριο μέχρι το οποίο μπορεί να επιτρέπεται η διακύμανση της τάσης. Έτσι αν ο δείκτης για το flicker είναι πάνω από την καμπύλη τότε είναι εκτός ορίων ενώ αν είναι κάτω τότε εντός. Όπως παρατηρούμε και από την επεξήγηση των αξόνων η καμπύλη είναι μία συνάρτηση των επί τοις εκατό αλλαγών της τάσης σε σχέση με την συχνότητα των αλλαγών ή αλλιώς με τον αριθμό των αλλαγών σε χρόνο ενός λεπτού.



**Σχήμα 3.15** Καμπύλη 'τρεμοπαίγματος' για ορθογώνια διαμορφωμένες συχνότητες

### 3.10 Ασυμμετρία Φάσεων

Σε ένα συμμετρικό τριφασικό σύστημα παροχής, οι φασικές τάσεις των τριών γραμμών είναι ίσες σε μέγεθος και διαφέρουν ανά φάση 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) (Σχήμα 3.16). Ασυμμετρία τάσεως εμφανίζεται όταν είτε υπάρχει διαφορά στην ενεργό τιμή της τάση μεταξύ των φάσεων είτε επειδή η γωνία μεταξύ των φάσεων αποκλίνει από τις  $120^\circ$ . Στην αγγλική βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται δύο όροι *unbalance* και *imbalance*.



Σχήμα 3.16 Αντιπαράβολή συμμετρικού με ασύμμετρο τριφασικό σύστημα

Υπάρχουν πολλοί ορισμοί για τον προσδιορισμό της επίδρασης της ασυμμετρίας των φάσεων. Δύο από αυτούς είναι οι πιο γνωστοί και αυτοί είναι:

1. ο λόγος τάσεων αρνητικής προς την θετική ακολουθία και
2. η μέγιστη απόκλιση από τον μέσο των τριών πολικών τάσεων προς τον μέσο αυτών.

#### 3.10.1. Λόγος τάσεων αρνητικής προς την θετική ακολουθία

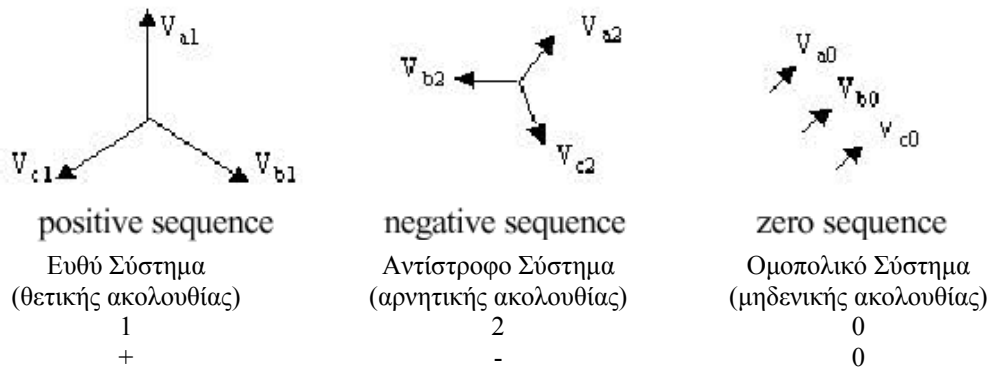
Για τον πρώτο αυτό ορισμό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος μετασχηματισμού ενός ασύμμετρου τριφασικού κυκλώματος σε τρία τριφασικά. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή κάθε τριφασικό σύστημα φασικών διανυσμάτων μπορεί να αναλυθεί σε τρία τριφασικά συστήματα, δύο συμμετρικά, ευθύ και αντίστροφο και ένα ομοπολικό. Ο μετασχηματισμός αυτός ονομάζεται μετασχηματισμός συμμετρικών συνιστωσών και οι σχέσεις που το διέπουν είναι:

$$\begin{bmatrix} \tilde{V}_{a0} \\ \tilde{V}_{a1} \\ \tilde{V}_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{V}_a \\ \tilde{V}_b \\ \tilde{V}_c \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

και

$$\begin{bmatrix} \tilde{V}_a \\ \tilde{V}_b \\ \tilde{V}_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{V}_{a0} \\ \tilde{V}_{a1} \\ \tilde{V}_{a2} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

όπου  $V_a, V_b, V_c$  το τριφασικό σύστημα τάσεων και  $V_{a0}, V_{a1}, V_{a2}$  οι συμμετρικές συνιστώσες της  $V_a$ .



**Σχήμα 3.17** Συμμετρικά στοιχεία ενός ασύμμετρου συστήματος τάσεων

Για την ανάλυση του συστήματος χρησιμοποιούνται συνήθως οι συμμετρικές συνιστώσες της φάσεως a. Οι συνιστώσες των άλλων φάσεων μπορούν να υπολογιστούν από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned} \tilde{V}_{a0} &= \tilde{V}_{b0} = \tilde{V}_{c0} \\ \tilde{V}_{b1} &= a^2 \cdot \tilde{V}_{a1}, \tilde{V}_{c1} = a \cdot \tilde{V}_{a1} \\ \tilde{V}_{b2} &= a \cdot \tilde{V}_{a2}, \tilde{V}_{c2} = a^2 \cdot \tilde{V}_{a2} \end{aligned} \quad (3.4)$$

ή:

$$\begin{bmatrix} \tilde{V}_{b0} \\ \tilde{V}_{b1} \\ \tilde{V}_{b2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{V}_{a0} \\ a^2 \cdot \tilde{V}_{a1} \\ a \cdot \tilde{V}_{a2} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \tilde{V}_{c0} \\ \tilde{V}_{c1} \\ \tilde{V}_{c2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{V}_{a0} \\ a \cdot \tilde{V}_{a1} \\ a^2 \cdot \tilde{V}_{a2} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Το τριφασικό σύστημα με τον μετασχηματισμό των τριφασικών συνιστωσών μετασχηματίζεται σε μία ισοδύναμη ομάδα τριών μονοφασικών συστημάτων. Όταν το δίκτυο είναι γραμμικό τα ρεύματα φάσεως μπορούν να προκύψουν με επαλληλία των συμμετρικών συνιστωσών τους. Το τριφασικό δίκτυο όμως πρέπει να είναι και συμμετρικό, δηλ. να παρουσιάζει τουλάχιστον διαγώνια συμμετρία **για να είναι τα τρία μονοφασικά κυκλώματα ακολουθίας ανεξάρτητα και μη συζευγμένα.**

Η επιτυχία της εφαρμογής των συμμετρικών συνιστωσών έγκειται στο γεγονός ότι είναι δυνατόν για ορισμένες συνθήκες ασυμμετρίας να επιτευχθούν σχετικά απλές διασυνδέσεις μεταξύ των κυκλωμάτων ακολουθίας στο σημείο της ασυμμετρίας.

Εάν όμως μία γραμμή με μη αντιμετατεθειμένους αγωγούς θεωρηθεί με  $Z_{ab} \neq Z_{bc} \neq Z_{ca}$  η μέθοδος των συμμετρικών συνιστωσών δεν προσφέρει σχεδόν καμία απλοποίηση. Οποσδήποτε όμως μεγάλος αριθμός μελετών μπορεί να βασιστεί στην υπόθεση ενός συμμετρικού δικτύου και κατά αυτόν τον τρόπο η ανάλυση των συμμετρικών συνιστωσών έχει διαδοθεί ευρύτατα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις δεν είναι δυνατό να αγνοηθούν οι ασυμμετρίες των κυκλωμάτων χωρίς σοβαρό σφάλμα. Τέτοια είναι π.χ. η ανάλυση των οδοντών κυμάτων. Στην περίπτωση αυτή η προσπάθεια έγκειται στην εύρεση ενός κατάλληλου μετασχηματισμού προς μετατροπή του τριφασικού δικτύου σε μονοφασικά ανεξάρτητα κυκλώματα χωρίς συζεύξεις. Σε μαθηματική γλώσσα ζητείται η διαγωνοποίηση μιας μήτρας

φυσικών αντιστάσεων, όσο ασύμμετρη και αν είναι αυτή. Στην μαθηματική γλώσσα ο μετασχηματισμός αυτός λέγεται κανονικός και η μήτρα μετασχηματισμού έχει σαν στήλες τα ιδιοδιανύσματα του συστήματος. Στην γλώσσα των μηχανικών μιλάμε για συνιστώσες ρυθμών και μετασχηματισμό ρυθμών. Χωρίς να προχωρήσουμε περισσότερο αναφέρουμε ότι τόσο ο μετασχηματισμός συνιστωσών όσο και ο μετασχηματισμός Clark αποτελούν περιπτώσεις τέτοιου μετασχηματισμού.

Αυτό που μπορούμε επίσης να κάνουμε είναι μία ερμηνεία του μετασχηματισμού με φυσικούς όρους. Η κατεύθυνση της περιστροφής ενός τριφασικού επαγωγικού κινητήρα, όταν γίνεται με τάσεις αρνητικής συχνότητας, είναι αντίθετη από αυτήν που προκύπτει όταν χρησιμοποιούνται τάσεις θετικής συχνότητας. Όταν χρησιμοποιείται σε τριφασικό επαγωγικό κινητήρα σύστημα μηδενικής συχνότητας, όπου δεν υπάρχει μετατόπιση φάσεων μεταξύ των τριών τάσεων, δεν θα υπάρξει καμία περιστροφή, καθώς δεν θα υπάρχει κανένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.

**Ως Ασύμμετρία των Φάσεων** λοιπόν ορίζεται ως ο λόγος των τάσεων της αρνητικής προς αυτόν της θετικής ακολουθίας (σχέση 3.6).

$$u_u = \frac{|V_i|}{|V_d|} \times 100\% = \frac{\text{αρνητική ακολουθία}}{\text{θετική ακολουθία}} \times 100\% \quad (3.6)$$

Εναλλακτικός ορισμός με την ίδια ισχύ είναι ο παρακάτω:

$$u_u = \sqrt{\frac{1-\sqrt{3-6\beta}}{1+\sqrt{3-6\beta}}} \times 100\% \quad (3.7)$$

$$\beta = \frac{U_{12}^4 + U_{23}^4 + U_{31}^4}{(U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2)^2} \quad (3.7a)$$

### 3.10.2. Μέγιστη απόκλιση από τον μέσο των τριών πολικών τάσεων προς τον μέσο αυτών

Ο δεύτερος αυτός ορισμός είναι ο ορισμός είναι ο βασικός ορισμός της Εθνικής Ένωσης Ηλεκτρικών Κατασκευαστών στις ΗΠΑ (NEMA), ο οποίος δίδεται με την εξίσωση:

$$u_u = \max_i \frac{U_i - U_{avg}}{U_{avg}} \times 100\% \quad (3.8)$$

$$U_i: \text{φασική τάση} \quad U_{avg} = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3} \quad (3.8a)$$

Ο ορισμός της IEC είναι μεγαλύτερης μαθηματικής ακρίβειας από αυτόν της NEMA και γι' αυτό όταν υπολογίζεται η ασύμμετρία τάσης οι δύο ορισμοί μπορεί να δώσουν διαφορετικά αποτελέσματα.

Τέλος πρέπει να πούμε ότι υπάρχει ακόμα ένας εναλλακτικός ορισμός για την επίδραση της ασύμμετρίας των τάσεων. Είναι παρόμοιος με τον δεύτερο ορισμό που δώσαμε της IEC αλλά μαθηματικά δίνει διαφορετικό αποτέλεσμα (σχέση 3.9).

$$u_u = \sqrt{\frac{6(U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2)}{U_{12} + U_{23} + U_{31}}} \times 100\% \quad (3.9)$$

$U_{12}, U_{23}, U_{31}$  – πολικές τάσεις

### 3.10.3 Προέλευση

Η Ασυμμετρία συμβαίνει όταν η κατανάλωση ρεύματος είναι ασύμμετρα κατανεμημένη στις τρεις φάσεις ή κατά την διάρκεια σφαλμάτων πριν προλάβει να λειτουργήσει η προστασία. Η ανομοιομορφία αυτή συμβαίνει όταν η κατανάλωση ρεύματος δεν είναι ισορροπημένη ή κατά τη διάρκεια μιας ελαττωματικής κατάστασης πριν την απόζευξη.

### 3.10.4 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών

Η ασυμμετρία των φάσεων επηρεάζει κυρίως του τριφασικούς ασύγχρονους κινητήρες στους οποίους προκαλεί υπερθέρμανση και επίσης επηρεάζει τον εξοπλισμό προστασίας των κυκλωμάτων (*tripping*).

## 3.11 Μεταγωγικές υπερτάσεις

Οι μεταβατικές υπερτάσεις είναι ένας όρος για σύντομες, γρήγορα αποσβενύμενες παροδικές διαταραχές της τάσης ή του ρεύματος. Μπορεί να ορισθούν ως η απόκριση του ηλεκτρικού δικτύου σε μία απότομη αλλαγή στις συνθήκες του δικτύου, είτε σκοπίμως ή από ατύχημα (χειρισμοί ζεύξης και απόζευξης ή κατάσταση σφάλματος) ή κάποιο εξωτερικό ερέθισμα του δικτύου (π.χ. πτώση κεραυνού). Οι μεταγωγές είναι μέρος της φυσικής διαδικασίας, στην οποία το δίκτυο μεταβαίνει από μία κανονική κατάσταση σε μία άλλη. Η διάρκεια του είναι στην κλίμακα από microseconds έως milliseconds.

Οι μεταβατικές υπερτάσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Κρουστικές υπερτάσεις (*impulsive overvoltage*)
- Υπερτάσεις με αποσβενόμενη ταλάντωση (*oscillatory overvoltage*)

Ένα παράδειγμα αυτών των ταλαντώσεων φαίνεται στο *Σχήμα 3.18*.



**Σχήμα 3.18** Μεταγωγικές υπερτάσεις παλμικού και κλιμακούμενου τύπου

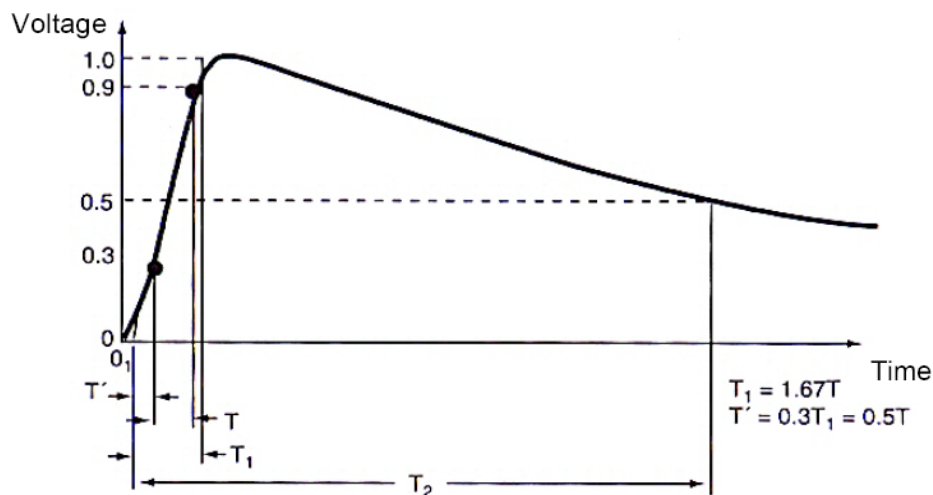
### 3.11.1 Προέλευση

#### ο Κρουστικές Υπερτάσεις

Οι κρουστικές διαταραχές είναι απότομες μεταβολές στην τάση ή/και στο ρεύμα που δεν προκαλούν αλλαγή στην συχνότητα του συστήματος, και είναι πρακτικά σε μία κατεύθυνση. Ο πιο συνήθης λόγος πρόκλησης αυτής της διαταραχής είναι οι κεραυνοί. Μία τυπική κρουστική υπέρταση φαίνεται στο **Σχήμα 3.18**. Το πλάτος μίας τέτοιας διαταραχής μπορεί να είναι αρκετές φορές μεγαλύτερο από το πλάτος του ονομαστικού πλάτους.

Οι κρουστικές υπερτάσεις συνήθως χαρακτηρίζονται από την διάρκεια μετώπου και εύρους ημίσεως-ουράς και από την τιμή κορυφής.

Αυτό φαίνεται ακολούθως στο **Σχήμα 3.19**:



**Σχήμα 3.19** Χαρακτηριστικά παλμικής διαταραχής

Ο κάθετος άξονας του διαγράμματος είναι κανονικοποιημένος στην τιμή της κορυφής της υπέρτασης (έχει τιμή 1.0 ανά μονάδα για την μέγιστη τιμή της παλμικής υπέρτασης) και το 0 ξεκινάει την στιγμή που στο **Σχήμα 3.19** συμβαίνει η υπέρταση.

Ο χρόνος μετώπου  $T_1$  συνήθως υπολογίζεται σαν 1,67 φορές τον χρόνο  $T$  στον οποίο η τάση αυξάνεται από το 30% στο 90% της κορυφής της παλμικής υπέρτασης. Η διάρκεια

ημίσεως-ουράς T2 είναι συνήθως ο χρόνος από την έναρξη της υπέρτασης έως την στιγμή που η τιμή της τάσης πέφτει κάτω από το 50% της τιμής της κορυφής της υπέρτασης.

Η κυμάτωση που φαίνεται στο **Σχήμα 3.19** θα μπορούσε χαρακτηριστικά να καλείται σαν T1/T2 κυμάτωση, όπου T1 T2 δίνονται σε μs. Η κυμάτωση 1.2/50 (1.2 μs χρόνος ανόδου, 50 μs χρόνος ημίσειας τιμής) με τιμή κορυφής V<sub>pk</sub> (π.χ. 95 kV σε ένα σύστημα 11 kV) είναι συχνά η στάνταρτ κυμάτωση για δοκιμή παλμικής υπέρτασης από κεραυνό.

#### ο Κλιμακούμενες Υπερτάσεις

Η κλιμακούμενη υπέρταση είναι απότομη μεταβολή της τάσης ή /και του ρεύματος και δεν επιφέρει κάποια αλλαγή στην συχνότητα του δικτύου. Αυτό που πρέπει να τονίσουμε είναι ότι αποσβένεται και προς τις δύο κατευθύνσεις του συστήματος χωρίς άλλη μεταβολή της κυματομορφής. Η συχνότητα της απόσβεσης μπορεί να είναι πολύ μεγάλη. Στο **Σχήμα 3.19** φαίνεται χαρακτηριστικά μία κλιμακούμενη υπέρταση (oscillatory transient).

Οι κλιμακούμενες υπερτάσεις χαρακτηρίζονται από το πλάτος, την συχνότητα και τον χρόνο εξασθένισης. Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε χαμηλής, μέσης και υψηλής συχνότητας.

Μία κλιμακούμενη υπέρταση με βασική συχνότητα λιγότερο από 5 kHz, και διάρκεια από 0.3 ms έως 50 ms, θεωρείται σαν χαμηλής συχνότητας μεταβατική υπέρταση σύμφωνα πάντα με την κατηγοριοποίηση που δίνεται στο πρότυπο 159-1995 της IEEE. Αυτή η κατηγορία καταγράφεται συχνά σε συστήματα διανομής και συμβαίνει εξαιτίας διαφόρων χειρισμών ζεύξης και απόζευξης στο δίκτυο. Η πιο συχνή αιτία είναι η ενεργοποίηση συστοιχιών πυκνωτών. Η ενεργοποίηση πυκνωτών συχνά έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία κλιμακούμενης υπέρτασης με συχνότητα ταλάντωσης μεταξύ 300 και 900Hz και κορυφή του πλάτους μεταξύ 1.3 και 1.5 φορές της τάσης στην συχνότητα των 50 Hz. Κλιμακούμενες υπερτάσεις που οφείλονται σε σίδηροσυντονισμό και ενεργοποίηση μετασχηματισμών εμπίπτουν επίσης σε αυτήν την κατηγορία.

Μία κλιμακούμενη υπέρταση με συχνότητα μεταξύ των 5 και 500 kHz και διάρκεια σε δέκατα των ms καλείται μέσης συχνότητας μεταβατική υπέρταση. Ένα τυπικό παράδειγμα θα ήταν οι μεταβατικές υπερτάσεις που δημιουργούνται από συνεχόμενες ενεργοποιήσεις πυκνωτών και από ζεύξη και συνεχόμενη απόζευξη καλωδίων.

Τέλος κλιμακούμενες υπερτάσεις με συχνότητα ταλάντωσης μεγαλύτερες από 5 kHz και μία διάρκεια στην τάξη των ms θεωρούνται σαν υψηλής συχνότητας κλιμακούμενες υπερτάσεις. Αυτές συνήθως συμβαίνουν όταν κάποιες κρουστικές υπερτάσεις (παλμικές υπερτάσεις) διεγείρουν την τοπική συχνότητα ενός τοπικού δικτύου.

#### 3.11.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών

Οι μεταβατικές υπερτάσεις προκαλούν άμεσο σφάλμα ή δυσλειτουργία Μ/Σ, πυκνωτών ή ημιαγωγών ή στην μόνωση της καλωδίωσης, και μπορούν να οδηγήσουν σε καταστάσεις σφάλματος. Εξοπλισμοί ρύθμισης ταχύτητας κινητήρων μπορεί να αστοχήσουν. Επίσης διόγκωση των μεταβατικών τάσεων στην μέση τάση που οφείλονται σε ζεύξη και απόζευξη πυκνωτών, μπορεί να οδηγήσουν κάτω από κάποιες ατυχείς συνθήκες σε παραγωγή υπερτάσεων της τάξης των 2-4p.u. στην χαμηλή τάση, πράγμα που μπορεί να είναι καταστροφικό για την πλειοψηφία των συσκευών. Έχει παρατηρηθεί ότι προκαλούν σημαντικές οικονομικές απώλειες σε αρκετές εταιρίες εξαιτίας των καταστροφών σε εξοπλισμό και στην απώλεια της παραγωγής.

## 3.12 Αρμονικές Τάσης

### 3.12.1 Γενικά

Οποιαδήποτε περιοδική απόκλιση από την καθαρά ημιτονοειδής μορφή της τάσης μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα άθροισμα από καθαρά συνημίτονα με συχνότητα ίση με την ονομαστική και ακέραια πολλαπλάσια αυτής. Η ονομαστική συχνότητα ονομάζεται θεμελιώδης συχνότητα. Μία ημιτονική Κυματομορφή με συχνότητα  $k$  φορές μεγαλύτερη από την θεμελιώδη (το  $k$  είναι ακέραιος αριθμός) καλείται αρμονική διαταραχή. Ο λόγος μεταξύ της αρμονικής συχνότητας και της θεμελιώδης συχνότητας ( $k$ ) καλείται τάξη της αρμονικής.

Σαν επόμενο βήμα απομένει ο τρόπος με τον οποίο γίνεται καταγραφή και μέτρηση των αρμονικών τάσεων. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή των αρμονικών φαινομένων πραγματοποιούν μία AC/DC μετατροπή αλλάζοντας την τάση στην είσοδο σε μία σειρά δεδομένων. Ένας υπολογισμός που ονομάζεται διακριτός μετασχηματισμός Φουριέ (*Discrete Fourier Transformation DFT*) ή η πιο γρήγορη εκδοχή του ο γρήγορος μετασχηματισμός Φουριέ (*fast Fourier Transformation FFT*) χρησιμοποιούνται για να μετατρέψουν την συχνότητα των δεδομένων στην είσοδο σε παράγοντες από συνημίτονα. Η εξίσωση 3.10 περιγράφει την σχέση μεταξύ του σήματος εισόδου και της συχνοτικής του αναπαράστασης. Το άνω όριο του αθροίσματος οριοθετείται από την συχνότητα δειγματοληψίας. Η μεγαλύτερη αρμονική συχνότητα είναι η μισή της συχνότητας δειγματοληψίας.

$$u(t) = c_{U0} + \sum_{k=0}^{\infty} c_{Uk} \sin(k2\pi f_1 t + \varphi_{Uk}) \quad (3.10)$$

$c_{U0}$  – DC συνιστώσα

$c_{Uk}$  – πλάτος αρμονικής διαταραχής  $k$

$\varphi_{Uk}$  – φασική απόκλιση αρμονικής διαταραχής  $k$

$f_1$  – θεμελιώδης αρμονική

Η παρουσία αρμονικών υπολογίζεται μέσω του δείκτη *ολικής αρμονικής παραμόρφωσης (THD) (total harmonic distortion)*. Αρμονικές της τάσης καταγράφονται με τον δείκτη *ολικής αρμονικής παραμόρφωσης της τάσης (THDV)*. **Ο THDV είναι ο λόγος της ενεργού τιμής της αρμονικής τάσης προς την ενεργό τιμή της τάσης της θεμελιώδους συχνότητας**, όπως φαίνεται και από την εξίσωση 3.11. Ο THD συχνά δίνεται σαν ποσοστό.

$$THDU = \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{40} U_k^2}{U_1^2}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{40} c_{Uk}^2}{c_{U1}^2}} \quad (3.11)$$

$U_k = c_{Uk}/\sqrt{2}$  – ενεργός (rms) τιμή αρμονικής τάσης  $k$

$u_k = \frac{U_k}{U_1} \times 100\%$  - ποσοστιαία τιμή αρμονικής τάσης  $k$

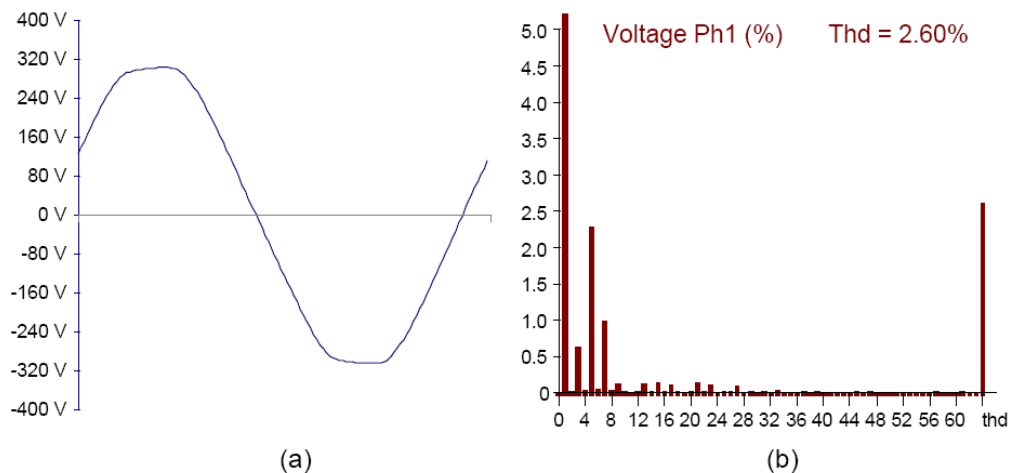
Στο **Σχήμα 3.20** παρατηρούμε ότι

- α) παρουσιάζεται μία τυπική κυματομορφή παρεχόμενης τάσης σε μία κατοικημένη περιοχή ή ένα ελαφρά (από άποψη ηλεκτρικών φορτίων) εργοστασιακό περιβάλλον.



Συσκευές διακοπτικής λειτουργίας (κοίτα την επεξήγηση **Σχήματος 3.20**) προκαλούν μία επιπεδοποίηση της κορυφής της κυματομορφής.

- b) φαίνεται το φάσμα της συχνότητας και δείχνει την παραμόρφωση της μιας ημιτονοειδούς κυματομορφής που προκύπτει από τις αρμονικές της τάσης. Κάθε αρμονική μπορεί να εκφραστεί με το πλάτος της ( $c_k$ ) την ενεργό τιμή της τάσης ( $U_k$ ) και μία ποσοστιαία τιμή ( $u_k$ ). **Η ποσοστιαία αναπαράσταση είναι αυτή που χρησιμοποιείται συχνότερα σε θέματα ποιότητας ισχύος.**



**Σχήμα 3.20** Φασματική απεικόνιση μιας συνήθους κυματομορφής, αποκαλούμενης και ως προιονισμένης κορυφής

Σε αυτό το παράδειγμα το σήμα στην είσοδο δειγματοληπτείται με 128 δείγματα ανά περίοδο, πράγμα που σημαίνει πως η μεγαλύτερη αρμονική που μπορεί να μετρηθεί είναι 64<sup>ης</sup> τάξης, όπως εξηγήσαμε προηγουμένως.

Για τις ανάγκες μέτρησης της ποιότητας ισχύος θα μπορούσαμε να μειώσουμε την μέγιστη τάξη της μετρούμενης αρμονικής στην 50<sup>ης</sup> τάξη, πράγμα που σημαίνει 2500Hz για ένα δίκτυο συχνότητας 50Hz. Διαφορά φάσης μεταξύ των αρμονικών και της θεμελιώδους τάσης δεν θεωρείται σαν πρόβλημα της ποιότητας ισχύος. Παρόλα αυτά, διαφορά φάσης μεταξύ αρμονικών ρευμάτων και τάσεων της ίδιας τάξης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια γεννήτρια αρμονικής παραμόρφωσης.

Ό,τι παρουσιάσαμε για την αρμονική παραμόρφωση της τάσης και τον THDV μπορούν ανάλογα να χρησιμοποιηθούν και αρμονική παραμόρφωση ρεύματος και τον δείκτη THDI.

$$i(t) = c_{I0} + \sum_{k=0}^{\infty} c_{Ik} \sin(k2\pi f_1 t + \varphi_{Ik}) \quad (3.12)$$

$c_{I0}$  – DC συνιστώσα

$c_{Ik}$  – πλάτος αρμονικής διαταραχής  $k$

$\varphi_{Ik}$  – φασική απόκλιση αρμονικής διαταραχής  $k$

$f_1$  – θεμελιώδης αρμονική

$$THDI = \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{40} I_k^2}{I_1^2}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{40} c_{I_k}^2}{c_{I_1}^2}} \quad (3.13)$$

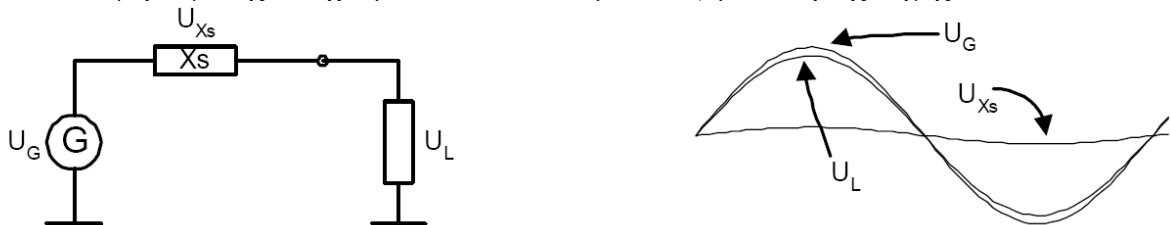
$I_k = c_{I_k}/\sqrt{2}$  – ενεργός (rms) τιμή αρμονικής εντάσης  $k$

$i_k = \frac{I_k}{I_1} \times 100\%$  - ποσοστιαία τιμή αρμονικής εντάσης  $k$

### 3.12.2 Προέλευση

Στο **Σχήμα 3.21** φαίνεται η αρχή της δημιουργίας των αρμονικών. Κοιτώντας το κύκλωμα από την πλευρά του καταναλωτή το ισοδύναμο κύκλωμα του υπόλοιπου δικτύου (ισοδύναμο *Thevenin*) μπορεί να αναπαρασταθεί από μία γεννήτρια  $G$  με αντίδραση  $X_s$  (σε περίπτωση άπειρου δικτύου δεν θα υπήρχε αντίδραση και οποιαδήποτε μεταβολή και αν γινόταν στο ρεύμα δεν θα ήταν αντιληπτή στο φορτίο, όπως θα δείξουμε και μαθηματικά παρακάτω). Η τάση της γεννήτριας θεωρείται σαν μία καθαρά ημιτονοειδής τάση με ονομαστική ενεργό τιμή. Η τάση στα άκρα του φορτίου του καταναλωτή διαφέρει από την τάση της γεννήτριας στην πτώση τάσης στην αντίδραση  $X_s$  του ισοδύναμου κυκλώματος.

Στην περίπτωση ενός γραμμικού φορτίου (ενός αντιστάτη στην συγκεκριμένη περίπτωση, αλλά τα ίδια ακριβώς αποτελέσματα έχουμε για οποιαδήποτε RLC συνδεσμολογία) το ρεύμα και κατ' επέκταση η πτώση τάσης στην αντίδραση θα είναι επίσης ημιτονοειδή. Η τάση στα άκρα του καταναλωτή θα έχει λοιπόν και αυτή ημιτονοειδή μορφή τάσης με λίγο μειωμένο πλάτος, αλλά την ίδια φάση (για την περίπτωση του αντιστάτη, με κάποια διαφορά φάσης αν έχουμε κάποιο κύκλωμα RLC) με αυτή της πηγής.



**Σχήμα 3.21** Ισοδύναμο κύκλωμα συστήματος με γραμμικό φορτίο



**Σχήμα 3.22** Ισοδύναμο κύκλωμα συστήματος με μη-γραμμικό φορτίο

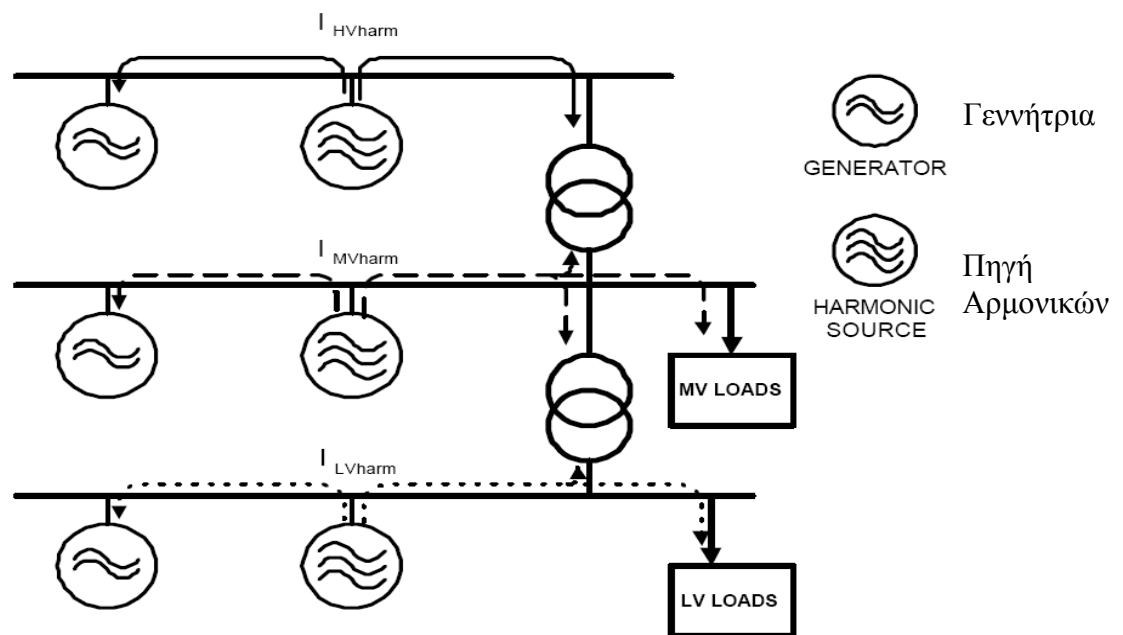
Μη γραμμικά φορτία – βλέπε **Σχήμα 3.22** – (ανορθωτές, οδηγοί ταχύτητας μηχανών, φωτισμός φθορίου, PC, TV, ...) **απορροφούν ρεύμα με μεγάλο συντελεστή THDI (αισθητά μη ημιτονοειδής μορφή τάσης)**. Για λόγους καλύτερης ανάλυσης, τα μη γραμμικά φορτία θα μπορούσαν να αναπαρασταθούν σαν γραμμικά φορτία μαζί με μία γεννήτρια αρμονικών. **Οι αρμονικές του ρεύματος προκαλούν μία μη-ημιτονοειδή πτώση τάσης στην αντίδραση του ισοδύναμου κυκλώματος  $X_s$  και κατ' επέκταση μία μη-ημιτονοειδή παραμόρφωση στην παρεχόμενη τάση από την πηγή, όπως αυτή φαίνεται στα άκρα του**

**φορτίου. Μη-γραμμικά φορτία διαταράσσουν την παρεχόμενη τάση κατά τέτοιο τρόπο που μόνο αρμονικές περιττής τάξης μπορούν να μετρηθούν με μετρητικά όργανα.**

Αν το φορτίο είναι μη-συμμετρικά ελεγχόμενο, τότε η θετική ημιπερίοδος του ρεύματος μπορεί να διαφέρει από την αρνητική με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν *άρτιας* τάξης αρμονικές και επίσης *DC συνιστώσα*. Αυτή η κατάσταση προκαλεί κορεσμό και υπερθερμάνσεις στον πυρήνα των μετασχηματιστών. Ένας σημαντικός παράγοντας *DC συνιστώσα* μπορεί να προκληθεί από γεωμαγνητικές καταιγίδες σε κάποιες περιοχές.

**Μία άλλη πηγή τάσης αρμονικών είναι το δίκτυο παροχής ενέργειας από μόνο του.** Η μαγνήτιση των πυρήνων των μετασχηματιστών ισχύος και ο κορεσμός τους προκαλεί μη-ημιτονοειδή ρεύματα τα οποία φαίνονται στους ζυγούς παροχής σαν THDV.

Στο **Σχήμα 3.23** φαίνεται πως διαδίδονται οι αρμονικές στο δίκτυο. Η Κυματομορφή της τάσης σε ένα συγκεκριμένο σημείο μέτρησης παραμορφώνεται από την επίδραση του ρεύματος όλων των πηγών διαταραχής (μετατροπείς συχνότητας, συγκολλητές, PC, μετασχηματιστές ισχύος) σε ένα σύστημα.



**Σχήμα 3.23** Γραφική αναπαράσταση επιρροής αρμονικών που δημιουργούνται από μια πηγή αρμονικών στους υπόλοιπους καταναλωτές που είναι συνδεδεμένοι στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

### 3.12.3 Πηγές Αρμονικών

Οι πηγές των αρμονικών που εμφανίζονται στα ηλεκτρικά δίκτυα μπορεί να είναι:

- Τριφασικά φορτία – 5<sup>η</sup>, 7<sup>η</sup>, 11<sup>η</sup>, 13<sup>η</sup>, 17<sup>η</sup> αρμονική
- Μη-συμμετρικά ελεγχόμενη παροχή – αρμονικές άρτιας τάξης και DC
- Επαγωγική αντιστάθμιση σειράς μειώνει τον THDI
- Μονοφασικοί ανορθωτές – υψηλή τρίτη αρμονική, THDI 80%
- Τα δίκτυα παροχής χαμηλής τάσης – THDV 1.5÷4.5%, κυρίως αρμονική 5<sup>ης</sup> τάξης

- ο Υψηλότερες τιμές παλμών – χαμηλός δείκτης THDI

### 3.12.4 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών

- Η συνολική ενεργειακή απόδοση μειώνεται
- Η πρόωρη γήρανση των στοιχείων του συστήματος
- Οι τριπλές αρμονικές μπορεί να παράγουν υψηλά ρεύματα σε μια ουδέτερη γραμμή προκαλώντας υπερθέρμανση και απώλειες
- Η αύξηση της θέρμανσης, του θορύβου και των κραδασμών σε μετασχηματιστές και κινητήρες
- Το ρεύμα στις συστοιχίες των πυκνωτών αυξάνεται με αρμονική σειρά προκαλώντας βλάβες
- Η παρουσία αρμονικής αυξάνει την πιθανότητα υψηλών συχνοτήτων
- Προβλήματα με συχνότητες σηματοδοσίας
- Ενεργοποίηση των συσκευών προστασίας
- Οι ηλεκτρονικές μονάδες και το ποσοστό αποτυχίας των μεταγωγών αυξάνεται όταν ο δείκτης THDU ανεβαίνει πάνω από το 8%

Περιττές Αρμονικές				Άρτιες Αρμονικές	
Όχι πολλαπλάσια του 3		Πολλαπλάσια του 3		Τάξη Αρμονικής h	Τάση Αρμονικής %
Τάξη Αρμονικής h	Τάση Αρμονικής %	Τάξη Αρμονικής h	Τάση Αρμονικής %		
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,4	6	0,5
13	3	21	0,3	8	0,5
$17 \leq h \leq 49$	$2,27 \times (17/h) - 0,27$	$21 < h \leq 45$	0,2	$10 \leq h \leq 50$	$0,25 \times (10/h) + 0,25$

**Σημείωση:** Τα δοσμένα επίπεδα περιττών αρμονικών που είναι πολλαπλάσια του 3 ισχύουν για μηδενικής ακολουθίας αρμονικές. Επιπλέον σε τριφασικό δίκτυο χωρίς ουδέτερο αγωγό ή χωρίς φορτίο που συνδέεται μεταξύ γραμμής και εδάφους, οι τιμές 3<sup>ης</sup> και 9<sup>ης</sup> αρμονικής μπορεί να είναι πολύ χαμηλότερες από τα επίπεδα συμβατότητας, ανάλογα με την ανομοιομορφία του συστήματος

**Πίνακας 3.1** Επίπεδα αρμονιών ορίων για δίκτυα χαμηλής τάσης σύμφωνα με IEC

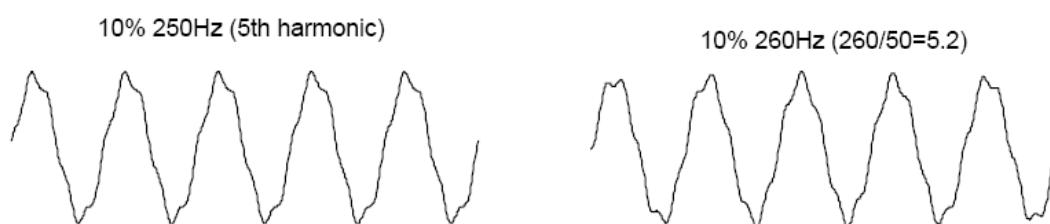
Περιττές Αρμονικές				Άρτιες Αρμονικές	
Όχι πολλαπλάσια του 3		Πολλαπλάσια του 3		Τάξη Αρμονικής h	Τάση Αρμονικής %
Τάξη Αρμονικής h	Τάση Αρμονικής %	Τάξη Αρμονικής h	Τάση Αρμονικής %		
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6,24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

**Σημείωση:** Δεν δίνονται τιμές για αρμονικές τάξεως μεγαλύτερης του 25, διότι είναι συνήθως μικρές και σε μεγάλο βαθμό απρόβλεπτες, εξαιτίας του φαινομένου του συντονισμού

**Πίνακας 3.2** Τιμές των ιδιαίτερων αρμονικών τάσεων στους ζυγούς παροχής για τάξη πάνω της 25<sup>ης</sup> δίνεται σε ποσοστό της  $U_c$  (EN50160)

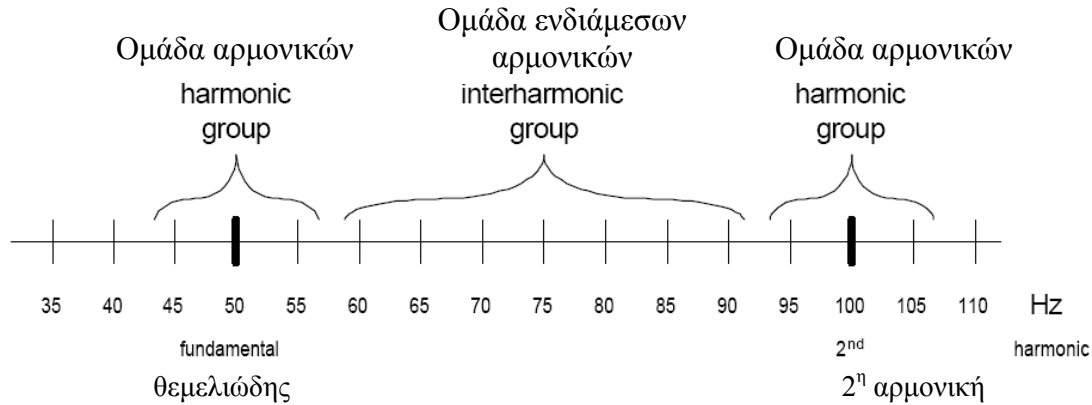
### 3.13 Ενδιάμεσες Αρμονικές

Αν η ανάλυση στο φάσμα των συχνοτήτων ενός σήματος με τον μετασχηματισμό του Fourier δίνει πληροφορίες για την ύπαρξη μιας αρμονικής με συχνότητα που δεν είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της θεμελιώδους τότε αυτή η συχνότητα ονομάζεται ενδιάμεση συχνότητα και ο παράγοντας αυτής της συχνότητας ονομάζεται ενδιάμεσος (interharmonic). (Σχήμα 3.24)



**Σχήμα 3.24** Παραδείγματα ενδιάμεσων αρμονικών

Το standard IEC 61000-4-7 “Γενικός οδηγός για μετρήσεις και κατασκευή εξοπλισμού για αρμονικές και ενδιάμεσες αρμονικές, για συστήματα παροχής ισχύος και εξοπλισμό συνδεδεμένο σε αυτό” καθορίζει την αρχή για τον τρόπο μέτρησης των ενδιάμεσων αρμονικών. Ένα παράθυρο για διάρκεια 200 ms (10 περιόδους των 50 Hz ή 12 περιόδους των 60 Hz) χρησιμοποιείται στον υπολογισμό αποτελεσμάτων για την DFT ανάλυση με μία προσαύξηση 5 Hz στο φάσμα της συχνότητας. Κάθε 10<sup>η</sup> γραμμή στο φάσμα συχνοτήτων παριστάνει και μια αρμονική συχνότητα και η ορολογία για τον χαρακτηρισμό των αρμονικών είναι C10k, U10k, u10k όπου k είναι η τάξη της αρμονικής. Για εκτίμηση των αρμονικών κάνουμε μία ομαδοποίηση των φασματικών γραμμών σε σύνολα αρμονικών και ενδιάμεσων αρμονιών, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 3.25** Ενδιάμεσες αρμονικές στο φάσμα συχνοτήτων για DFT

### 3.13.1 Προέλευση

Πηγές ενδιάμεσων αρμονικών είναι φορτία με μεγάλες διακυμάνσεις όπως φούρνοι ηλεκτρικών τόξων, συγκολλητικά μηχανήματα, κυκλομετατροπείς, διακοπτόμενος ελεγκτής (intermittent regulators), μετατροπείς συχνότητας, φορείς χαμηλών συχνοτήτων στις γραμμές ισχύος.

### 3.13.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών

Επιπρόσθετα από τα προβλήματα που προκαλούν οι αρμονικές, οι ενδιάμεσες αρμονικές προκαλούν:

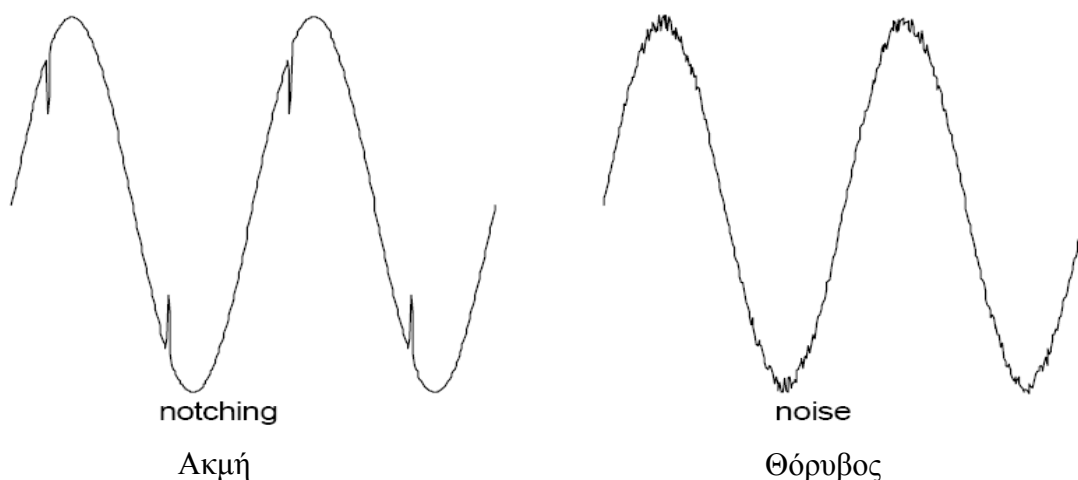
- Flicker κατά την παρουσίαση ενδιάμεσων αρμονικών κοντά στην αρμονική συχνότητα
- Διέγερση ταλαντώσεων χαμηλής συχνότητας (πρόβλημα στην στρέψη του κινητήρα εξαιτίας της ταλάντωσης σε γεννήτρια-φορτίο
- Διακυμάνσεις στις διεργασίες και σε άλλες μετρήσεις
- Δυσλειτουργία στον έλεγχο της κυμάτωσης.

## 3.14 Σηματοδότηση ηλεκτρικών δικτύων

Η σηματοδότηση ηλεκτρικού δικτύου κατηγοριοποιείται σε τέσσερις ομάδες:

- Συστήματα κεντρικού τηλεχειρισμού (110 Hz- 3000 Hz),
- Μεσαίας συχνότητας συστημάτων φέρουσας γραμμής ισχύος (3 kHz-20 kHz),
- Συστήματα φέρουσας γραμμής ισχύος ραδιοσυχνοτήτων (20 kHz-148,5 kHz),
- Σύστημα ηλεκτρικού δικτύου-σήματος.

### 3.15 Ακμή (Notching) και Θόρυβος (Noise)



**Σχήμα 3.26** Γραφική αναπαράσταση της ακμής και του θορύβου

#### 3.15.1 Προέλευση

Η ακμή (**Σχήμα 3.26**) είναι ένα φαινόμενο που προκαλείται από το εσωτερικό κύκλωμα των ελεγκτών με ανορθωτές το οποίο παράγει μικρής διάρκειας, υψηλής έντασης αιχμές ρεύματος οι οποίες επηρεάζουν επίσης και την τάση. Είναι αποτέλεσμα των απότομων ρευμάτων που ζητάνε τα φορτία ηλεκτρονικά ισχύος, αλλά λόγω του πολύ γρήγορου φαινομένου δεν δημιουργείται πτώση τάσης αλλά ένα περιοδικό φαινόμενο όπως αυτό που φαίνεται πιο πάνω.

Ο θόρυβος (**Σχήμα 3.26**) είναι ένα σήμα με πολύ ευρύ φάσμα συχνότητας το οποίο υπερτείνεται της παρεχόμενης τάσης. Κυρίως παράγεται από τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό, PCs και PLCs. Επαγωγική αντιστάθμιση σειράς, φίλτρα, απομονωμένους μετασχηματιστές και συντηρητές γραμμών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συμπίεση του θορύβου και της ακμής. Όπως ήδη έχουμε αναφέρει ο θόρυβος αποτελεί υποπερίπτωση της αρμονικής παραμόρφωσης με συνεχές φάσμα.

#### 3.15.2 Επιπτώσεις στον εξοπλισμό των πελατών

Η ακμή μπορεί να επηρεάσει τα κυκλώματα με τεχνική περάσματος από το μηδέν (zero crossing circuitry). Υψηλός λόγος  $dU/dt$  μπορεί να προκαλέσει ενεργοποίηση SCR. Η επίλυση των προβλημάτων συχνά απαιτεί τεχνικές στο πεδίο του χρόνου.

**Σημείωση:** Και οι δύο οι διαταραχές υπολογίζονται μέσω του THD στις μετρήσεις ποιότητας ισχύος.

### 3.16 Διάστημα ολοκλήρωσης

Για την απόκτηση επαρκών πληροφοριών αναφορικά με τη συμπεριφορά του δικτύου, οι εκδηλώσεις της ποιότητας ισχύος πρέπει να μετρώνται σε μεγαλύτερες χρονικά περιόδους. Μια εβδομάδα λογίζεται ως το ελάχιστο χρονικό διάστημα όπου μπορούμε να δούμε ολόκληρη την ποικιλία των διαφορετικών καταστάσεων του δικτύου.

Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου μια μεγάλη ποσότητα δεδομένων πρέπει να υποβληθεί σε επεξεργασία. Υπάρχουν περίπου 60.480.000 τέτοιες τιμές για μία μόνο φασική τάση ανά εβδομάδα. Αρμονικές, flicker και τριφασικές μετρήσεις αυξάνουν απλώς την ποσότητα των δεδομένων. Για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα τα δεδομένα πρέπει να συγκεντρώνονται.

Η συγκέντρωση των δεδομένων επιτυγχάνεται με την ολοκλήρωση (συνάθροιση, ενσωμάτωση) των δεδομένων κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου γνωστής ως διάστημα ολοκλήρωσης (συνάθροισης, ενσωμάτωσης). Υπάρχουν τρεις τιμές που εμπλέκονται σε κάθε διάστημα ολοκλήρωσης: μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή της μέτρησης αυτής της αξίας. Στο τέλος ενός διαστήματος ολοκλήρωσης κάθε εγγραφή (μέση, ελάχιστη, μέγιστη) αποθηκεύεται στη μνήμη των οργάνων και μετά την ολοκλήρωση της μέτρησης, γίνεται λήψη των δεδομένων από τα όργανα στον Η/Υ. η διάρκεια του διαστήματος ολοκλήρωσης μπορεί να ρυθμιστεί από το χρήστη από λίγα δευτερόλεπτα έως 15 λεπτά, όμως τα πρότυπα που ασχολούνται με την ποιότητα του ρεύματος χρησιμοποιούν ολοκλήρωση διαστήματος 10 λεπτών.

### 3.17 Αθροιστική συχνότητα

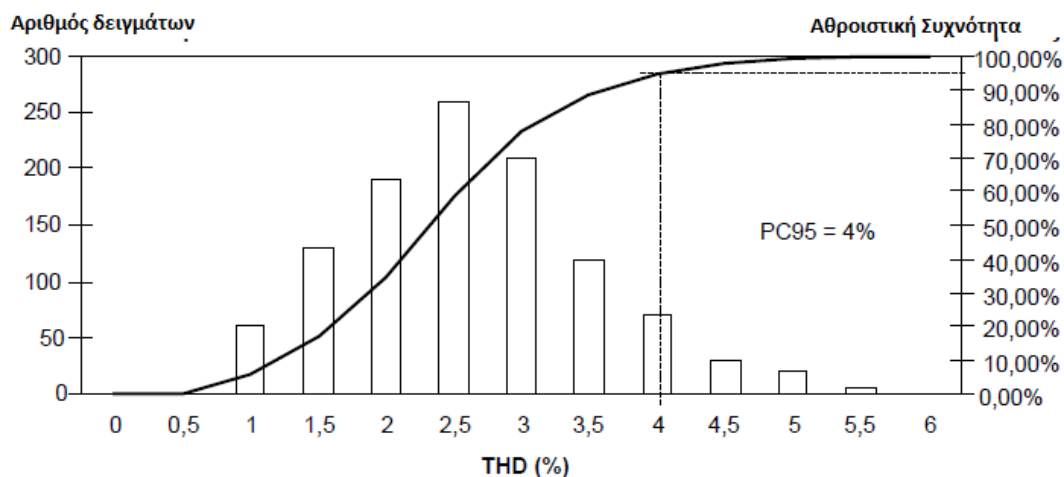
Όταν χρησιμοποιούμε δεδομένα κατά μέσο όρο, κατά το διάστημα ολοκλήρωσης το ποσό των δεδομένων που είναι αποθηκευμένα στη μνήμη ενός οργάνου, μειώνεται σημαντικά. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν 1008 δεκάλεπτα διαστήματα σε μία εβδομάδα και 3024 τιμές (μέση, ελάχιστη, μέγιστη) αποθηκεύονται για κάθε χρήστη δίνοντας τη δυνατότητα επιλογής καναλιών κατά την ηχογράφηση. Επιπλέον η συγκέντρωση δεδομένων μπορεί να εκτελεστεί σε έναν υπολογιστή μετά τη λήψη των δεδομένων από το όργανο. Οι «στατιστικές των στατιστικών» πραγματοποιούνται για δύο λόγους:

- Λόγω της στοχαστικής φύσης των παραλλαγών της τάσης, κάποιες εκδηλώσεις στα **αποτελέσματα των μετρήσεων της ποιότητας ισχύος χαρακτηρίζονται καλύτερα με τη βοήθεια στατιστικών μεθόδων.**
- Το αποτέλεσμα ενός συνόλου μετρήσεων μπορεί να παρουσιαστεί με **μία ενιαία τιμή**

Η αθροιστική συχνότητα είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη στατιστική αξιολόγηση των τιμών που μετρήθηκαν. Το **Σχήμα 3.27** δείχνει το **ιστόγραμμα** των χαρακτηριστικών μιας καταγεγραμμένης HTD τάσης. Η αθροιστική συχνότητα (έντονη γραμμή) χρησιμοποιείται ως κριτήριο στο πρότυπο EN50160. Οι τιμές στον άξονα χ ονομάζονται bins και αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των περιόδων ολοκλήρωσης. Για παράδειγμα, το bin 2 έχει την τιμή 190 που σημαίνει ότι 190 μέσες τιμές των 10 λεπτών της τάσης THD βρίσκονται εντός του εύρους των τιμών 2,25-2,75.

Μια άλλη τιμή που αναγράφεται στο ιστόγραμμα καλείται **CP95** και αποτελεί το ποσοστό των μετρήσεων που είναι μεγαλύτερες από το 95% των δειγμάτων σε μια περίοδο μέτρησης. **Η τιμή CP95 μιας συγκεκριμένης μέτρησης, χρησιμοποιείται για την επαλήθευση καθορισμένου επιπέδου ορίων.**





Σχήμα 3.27 Αθροιστική Συχνότητα

### 3.18 Αξιολόγηση έναντι των ορίων προτύπου

Προκειμένου να επιβεβαιώσουμε ότι οι διαταραχές στην τροφοδοσία παραμένουν εντός των επιτρεπόμενων ορίων, τα αποτελέσματα των μετρήσεων ποιότητας του ρεύματος πρέπει να αξιολογούνται με βάση τα όρια που ορίζονται από τα πρότυπα. Τα πρότυπα που ασχολούνται με την ποιότητα ισχύος χαρακτηρίζουν μεταβολές της τάσης ποιότητας με δύο διαφορετικούς τρόπους:

- Με περιγραφικούς δείκτες,
- Με στατιστικά λαμβανόμενες τιμές.

Οι **περιγραφικοί δείκτες** χρησιμοποιούνται για εκδηλώσεις της ποιότητας ισχύος που έχουν πολύ τυχαία φύση, μπορεί να διαφέρουν στο χρόνο και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την τοπολογία του συστήματος. Τα γεγονότα αυτά συμβαίνουν **περιστασιακά**. Δεν μπορούν να περιορίζονται αποκλειστικά και δίνονται μόνο κατά προσέγγιση. Αυτή είναι η προσέγγιση που εφαρμόζεται για την περιγραφή:

- **Των ταχέων μεταβολών της τάσης,**
- **Των πτώσεων της τάσης,**
- **Των διογκώσεων της τάσης,**
- **Των σύντομων διακοπών,**
- **Των μακρών διακοπών, και**
- **Των παροδικών υπερτάσεων.**

Η δεύτερη κατηγορία χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση ενός φαινομένου που μπορεί να μετρηθεί για μία ολοκληρωμένη χρονική περίοδο:

- **Συχνότητα ισχύος**
- **Μέγεθος της τάσης τροφοδοσίας**
- **Μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας**
- **Σοβαρότητα τρεμοπαίγματος**

- **Ασύμμετρη τάση τροφοδοσίας**
- **Τάση αρμονικών**
- **Τάση ενδιάμεσων αρμονικών**
- **Τάση δικτύου σηματοδότησης.**

### 3.19 Ονομαστική και δηλωμένη τάση τροφοδοσίας

Το EN50160 εισάγει του ακόλουθους ορισμούς της τάσης:

- **Παροχή τάσης:** η τιμή rms της τάσης σε μια δεδομένη στιγμή στους τερματικούς σταθμούς της τροφοδοσίας, η οποία μετράται σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα.
- **Ονομαστική τάση ενός συστήματος ( $U_n$ ):** η τάση με την οποία έχει σχεδιαστεί ένα σύστημα ή έχει αναγνωριστεί, και στο οποίο αναφέρονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά λειτουργίας.
- **Δηλωμένη τάση τροφοδοσίας ( $U_c$ ):** η δηλωθείσα τάση τροφοδοσίας  $U_c$  είναι συνήθως η ονομαστική τάση  $U_n$  ενός συστήματος. Εάν κατόπιν συμφωνίας μεταξύ του προμηθευτή και του πελάτη εφαρμόζεται μία τάση διαφορετική από την ονομαστική στον τερματικό σταθμό, τότε η τάση αυτή αποτελεί την δηλωμένη τάση τροφοδοσίας.

## 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΠΟΥ ΠΑΡΕΧΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

#### 4.1 Εισαγωγή

Τα διεθνή πρότυπα που αφορούν στην ποιότητα ισχύος είναι είτε βασικά ή γενικά πρότυπα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και δημοσιεύονται από την IEC (IEC 61000-x-x) και το IEEE (1159,1433,519,1564,1453). Τα περισσότερα από τα πρότυπα EMC είναι προτάσεις και χρησιμεύουν ως σημείο αναφοράς, χωρίς νομικό καθεστώς. Μερικά από αυτά, για παράδειγμα το IEC 61000-3-2 και το IEC 61000-3-3, έχουν εισαχθεί στη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Υπάρχει μια ποικιλία προτύπων για τα προϊόντα που περιορίζουν την επίδραση ενός συγκεκριμένου προϊόντος ή μιας οικογένειας προϊόντων στο σύστημα τροφοδοσίας ή το περιβάλλον. Παρόλα αυτά, το CENELEC EN50160 αποτελεί το πρότυπο που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ποιότητας ισχύος.

#### 4.2 Σκοπός

Το **πρότυπο CENELEC EN50160** «Χαρακτηριστικά της τάσης του ηλεκτρισμού που παρέχεται από τα συστήματα δημόσιας διανομής» αποτελεί ένα πρότυπο που καθορίζει τα χαρακτηριστικά της τάσης των συστημάτων διανομής χαμηλής και μεσαίας τάσης. Χρησιμοποιείται ως βάση για επαγγελματικές-πελατειακές συμβάσεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση και για μικρές συμβάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Δημοσιεύθηκε το 1994 και με μικρές αλλαγές που προστέθηκαν το 1999, το πρότυπο είναι υποχρεωτικό σε όλες τις ευρωπαϊκές χώρες.

Το EN50160 δεν αποτελεί πρότυπο Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας. Είναι ένα τυποποιημένο προϊόν, το οποίο καθορίζει την ποιότητα του προϊόντος (παροχή ηλεκτρικής ενέργειας) όσον αφορά στα χαρακτηριστικά της τάσης στους τερματικούς σταθμούς της τροφοδοσίας.

Το πρότυπο αυτό **μπορεί να αντικατασταθεί εν μέρει ή πλήρως με μία σύμβαση μεταξύ του πελάτη και του προμηθευτή**. Λόγω του υψηλού κόστους της παρεχόμενης ενέργειας σε αραιοκατοικημένες περιοχές, ο προμηθευτής και ο πελάτης μπορεί να συμφωνήσουν σχετικά με τη μείωση της ποιότητας ισχύος δημιουργώντας μια χαμηλότερη τιμή για την παρεχόμενη ενέργεια. Αποτελεί ευθύνη του πελάτη να αξιολογήσει τον αντίκτυπο των αυξημένων διαταραχών στον συνδεδεμένο εξοπλισμό.

#### 4.3 Πεδίο δράσης

Το πρότυπο EN50160 μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προδιαγραφή για τα ανώτατα όρια των διαταραχών της ποιότητας ισχύος που αναμένονται οπουδήποτε σε **χαμηλής τάσης και**

**μεσαίας τάσης συστήματα υπό φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας του ηλεκτρικού δικτύου.**

Το πρότυπο δεν είναι εφαρμόσιμο για εκδηλώσεις πέρα από τον έλεγχο των προμηθευτών<sup>4</sup>:

- Έκτακτες καιρικές συνθήκες και άλλες φυσικές καταστροφές,
- Καταιγίδες ακραίας δριμύτητας, κατολισθήσεις, σεισμοί, χιονοστιβάδες, πλημμύρες,
- Παρεμβολές από τρίτους,
- Σαμποτάζ, βανδαλισμός,
- Πράξεις προερχόμενες από δημόσιες αρχές,
- Περιορισμοί που επιβάλλονται από την κυβέρνηση σχετικά με ανησυχίες για τη δημόσια ασφάλεια,
- Κινητοποιήσεις εργαζομένων,
- Ανωτέρα βία,
- Μεγάλα ατυχήματα,
- Ελλείψεις ενέργειας που προκύπτουν από εξωτερικά γεγονότα,
- Περιορισμοί ενέργειας ή διακοπή των διακρατικών γραμμών μεταφοράς.

#### **4.4 Χαρακτηριστικά παροχής τάσης**

Όλα τα όρια και οι δείκτες που παρουσιάζονται στις επόμενες σελίδες ορίζονται για κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

Οι περιγραφικοί δείκτες χρησιμοποιούνται για τις εκδηλώσεις της ποιότητας ισχύος, οι οποίες έχουν μία πολύ τυχαία φύση, μπορεί να διαφέρουν στο χρόνο και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την τοπολογία του συστήματος. Τα γεγονότα αυτά συμβαίνουν **περιστασιακά**. Δεν μπορούν να περιορίζονται αποκλειστικά και δίνονται μόνο κατά προσέγγιση. Αυτή είναι η προσέγγιση που εφαρμόζεται για την περιγραφή:

- **Των ταχέων μεταβολών της τάσης,**
- **Των πτώσεων της τάσης,**
- **Των διογκώσεων της τάσης,**
- **Των σύντομων διακοπών,**
- **Των μακρών διακοπών, και**
- **Των παροδικών υπερτάσεων.**

Η δεύτερη κατηγορία χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση ενός φαινομένου που μπορεί να μετρηθεί για μία ολοκληρωμένη χρονική περίοδο.

---

<sup>4</sup> Guide to the application EN50160 – CENELEC BTTF-68-6

- Συχνότητα ισχύος
- Μέγεθος της τάσης τροφοδοσίας
- Μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας
- Σοβαρότητα τρεμοπαίγματος
- Ασύμμετρη τάση τροφοδοσίας
- Τάση αρμονικών
- Τάση ενδιάμεσων αρμονικών
- Τάση δικτύου σηματοδότησης.

Σημείωση: Η μέτρηση της τάσης interharmonic ορίζεται από οριακές τιμές, αλλά βρίσκεται ακόμη υπό εξέταση.

#### 4.4.1 Διαστήματα ολοκλήρωσης

Το πρότυπο καθορίζει τρία διαστήματα ολοκλήρωσης: 3", 10" και 10'. Μια περίοδος 120 λεπτών χρησιμοποιείται για τη μακροπρόθεσμη ένδειξη τρεμοπαίγματος.

#### 4.4.2 Συχνότητα ισχύος

Η ονομαστική συχνότητα της τάσης τροφοδοσίας είναι 50 Hz. Το διάστημα ολοκλήρωσης είναι 10 δευτερόλεπτα.

Τα όρια για τα μεσαίας τάσης και χαμηλής τάσης συστήματα ενός διεθνικού δικτύου είναι:

- Το 99,5% των ολοκληρωτικών τιμών του διαστήματος που καταγράφονται κατά τη διάρκεια μιας περιόδου ενός έτους πρέπει να είναι μεταξύ του  $\pm 1\%$  (49,5...50,5 Hz)
- Όλες οι τιμές των διαστημάτων ολοκλήρωσης πρέπει να είναι μεταξύ του  $+4/-6\%$  (47...52 Hz)

Τα όρια για το απομονωμένο σύστημα Μεσαία και Χαμηλής Τάσης (νησιά):

- Το 99,5% των ολοκληρωτικών τιμών του διαστήματος που καταγράφονται κατά τη διάρκεια μιας περιόδου μιας εβδομάδας, πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ του  $\pm 2\%$  (49...50Hz).
- Όλες οι τιμές που έχουν μετρηθεί των διαστημάτων ολοκλήρωσης, οι οποίες καταγράφονται κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας, πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ του  $\pm 15\%$  (42.5...57.5Hz).

#### 4.4.3 Διακυμάνσεις της Τάσης

Η ονομαστική τάση για τα συστήματα XT είναι 230V μεταξύ φάσης και ουδέτερου για σύστημα 4 καλωδίων και 230V μεταξύ των δύο φάσεων για σύστημα 3 καλωδίων. Η ονομαστική τάση για τα συστήματα MT ισούται με τη δεδηλωμένη τάση  $U_c$ . Το διάστημα ενσωμάτωσης για τη μέτρηση των διακυμάνσεων της τάσης είναι 10 λεπτά.

Τα όρια για τα συστήματα ΧΤ είναι:

- Το 95% των ενσωματωμένων τιμών του διαστήματος που καταγράφεται κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας πρέπει να είναι  $\pm 10\% U_n$ .
- Όλες οι καταγεγραμμένες τιμές των ενσωματωμένων διαστημάτων πρέπει να είναι εντός του  $+10/-15\% U_n$ .

Τα όρια για τα συστήματα ΜΤ είναι:

- Το 95% των ενσωματωμένων τιμών του διαστήματος που καταγράφεται κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας πρέπει να είναι μεταξύ του  $\pm 10\% U_n$ .

#### 4.4.5 Ταχείες Μεταβολές της Τάσης

Η παρουσία των ταχέων αλλαγών της τάσης σε ένα σύστημα αξιολογείται με τη χρήση περιγραφικών δεικτών.

Συστήματα Χ.Τ.:

- Γενικά δεν μπορεί να υπερβεί το όριο του 5% του  $U_n$ , όμως περιστασιακά μικρότερες αλλαγές, της τάξης άνω του 10% ανά ημέρα, μπορεί να συμβούν.

Συστήματα Μ.Τ.:

- Γενικά δεν μπορεί να υπερβεί το όριο του 4% του  $U_c$ , όμως περιστασιακά μικρότερες αλλαγές, της τάξης άνω του 6% ανά ημέρα, μπορεί να συμβούν.

#### 4.4.6 Βυθίσεις της παρεχόμενης τάσης

Η παρουσία βυθίσεων στην παρεχόμενη τάση σε ένα σύστημα αξιολογείται με τη χρήση περιγραφικών δεικτών.

Συστήματα Χ.Τ. και Μ.Τ.:

- Ο αναμενόμενος αριθμός των βυθίσεων μπορεί να κυμαίνεται από μερικές δεκάδες μέχρι μία χιλιάδα κατά τη διάρκεια ενός έτους. Η πλειοψηφία των βυθίσεων έχει διάρκεια μικρότερη από 1 δευτερόλεπτο και βάθος μικρότερο του 60%. Σε ορισμένες περιοχές οι πτώσεις βάθους 10%-15% μπορεί να συμβαίνουν αρκετά συχνά.

#### 4.4.7 Διογκώσεις της παρεχόμενης τάσης

Οι διογκώσεις της παρεχόμενης τάσης ορίζονται στο πρότυπο EN50160 ως «προσωρινές υπερτάσεις συχνότητας ισχύος». Η παρουσία των διογκώσεων της παρεχόμενης τάσης τροφοδοσίας σε ένα σύστημα αξιολογείται μέσω περιγραφικών δεικτών.

Συστήματα Χ.Τ.:

- Ένα λάθος σε έναν upstream μετασχηματιστή μπορεί να προκαλέσει υπέρταση που δεν υπερβαίνει γενικά το 1,5 kV στην πλευρά της χαμηλής τάσης.

Συστήματα Μ.Τ.:

- Ένα λάθος μπορεί να προκαλέσει υπερτάσεις μέχρι 1,7 U<sub>c</sub> σε συστήματα με σταθερή γείωση και έως 2 U<sub>c</sub> σε συστήματα με απομονωμένη ή συντονισμένη γείωση.

#### 4.4.8 Διακοπές της Τάσης

Οι διακοπές της τάσης συμβαίνουν όταν η τάση τροφοδοσίας πέφτει κάτω από το όριο της διακοπής, δηλαδή στο 1% του U<sub>n</sub> όταν η μέτρηση γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο EN50160. Μικρές διακοπές καλούνται οι διακοπές που διαρκούν λιγότερο από 3 λεπτά. Οι μεγάλης διάρκειας διακοπές διαρκούν περισσότερο από 3 λεπτά. Η παρουσία μικρής και μεγάλης διάρκειας διακοπών σε ένα σύστημα αξιολογείται μέσω περιγραφικών δεικτών.

Χ.Τ. και Μ.Τ. συστήματα:

- Ο αναμενόμενος αριθμός των **σύντομων διακοπών** μπορεί να κυμαίνεται από μερικές δεκάδες έως μερικές εκατοντάδες κατά τη διάρκεια ενός έτους. Περίπου το 70% των σύντομων διακοπών έχουν διάρκεια μικρότερη του ενός δευτερολέπτου.
- Ο αναμενόμενος αριθμός των **μεγάλης διάρκειας διακοπών** μπορεί να ποικίλει από λιγότερο από 10 έως 50 στη διάρκεια ενός έτους.

Οι προκαθορισμένες διακοπές αποκλείονται από τον αριθμό των αναμενόμενων μακροχρόνιων διακοπών επειδή αυτές έχουν ανακοινωθεί εκ των προτέρων.

#### 4.4.9 Σοβαρότητα τρεμοπαίγματος

Ο δείκτης του βραχυπρόθεσμου τρεμοπαίγματος (Pst) υπολογίζεται πάνω από 10 λεπτά στο διάστημα της ενσωμάτωσης. Τα όρια για τα Χ.Τ. και Μ.Τ. συστήματα είναι:

- Ο δείκτης του μακροπρόθεσμου τρεμοπαίγματος (Plt) δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή της μίας μονάδας για το 95% για χρονική περίοδο της μίας εβδομάδας.

#### 4.4.10 Ανομοιομορφία παροχής τάσης

Το διάστημα ενσωμάτωσης για τη μέτρηση της ανομοιομορφίας στην παροχή της τάσης είναι 10 λεπτά.

Τα όρια για τα συστήματα Χ.Τ. είναι:

- Το 95% των τιμών για το διάστημα ενσωμάτωσης δεν πρέπει να υπερβαίνει το 2% κατά τη διάρκεια περίπου μίας εβδομάδας. Σε ορισμένες περιοχές, εμφανίζεται ανομοιομορφία παροχής στην τάση γύρω στο 3%.

#### **4.4.11 Μεταβατικές υπερτάσεις**

Η παρουσία ταχέων μεταβολών στην τάση μεταξύ του ζωντανού αγωγού και της γης σε ένα σύστημα αξιολογείται μέσω περιγραφικών δεικτών.

Συστήματα X.T.:

- Οι μεταβατικές υπερτάσεις γενικά δεν υπερβαίνουν την τιμή των 6 kV.

Συστήματα M.T.:

- (δεν υπάρχουν δηλωμένες ενδεικτικές τιμές).

#### **4.4.12 Αρμονικές Τάσης**

Το διάστημα ενσωμάτωσης για τη μέτρηση της ανομοιομορφίας στην παροχή της τάσης είναι 10 λεπτά.

Τα όρια για τα συστήματα X.T. και M.T. είναι:

- Η τάσης της κάθε αρμονικής πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με την τιμή αυτής της αρμονικής, για το 95% των ενσωματωμένων διαστημάτων που καταγράφονται στο διάστημα μίας εβδομάδας.
- Ο δείκτης THD της παρεχόμενης τάσης (THDU) πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος με 8% για το 95% των διαστημάτων ενσωμάτωσης που καταγράφονται σε διάστημα μιας εβδομάδας.
- 

#### **4.4.13 Τάση Ενδιάμεσων Αρμονικών**

Τα όρια για την τάση των ενδιάμεσων αρμονικών είναι υπό εξέταση.

#### **4.4.14 Σηματοδότηση Ηλεκτρικών Δικτύων**

Το διάστημα ενσωμάτωσης για τη μέτρηση της ανομοιομορφίας της τάσης σε ένα δίκτυο σηματοδότησης είναι 3 δευτερόλεπτα.

Τα όρια για τα συστήματα X.T. και M.T. είναι:



- Το 99% των διαστημάτων ενσωμάτωσης κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας πρέπει να έχει τιμή rms της τάσης σηματοδότησης μικρότερη ή ίση με την οριοθετική καμπύλη

•

Ο ακόλουθος Πίνακας 5 παρουσιάζει τα όρια που ορίζονται στο EN50160. Εάν δεν αναφέρεται ρητά το επίπεδο της τάσης τότε το ίδιο όριο ισχύει τόσο για τα συστήματα Χ.Τ. όσο και Μ.Τ.

Χαρακτηριστικό	Ονομαστική αξία	ip	variation min/max	Χρ. διάστημα μέτρησης	Σημειώσεις
Συχνότητα Ισχύος	50Hz	10s	-1% / +1% @ 99.5% ενός έτους -6% / +4% @ 100% ενός έτους	1 εβδομάδα	
	50Hz	10s	-2%/+2% @ 95% μιας εβδομάδας -15%/+15% @ 100 % ενός διαστήματος	1 εβδομάδα	για συστήματα απομονωμένα συστήματα
Μέγεθος της τάσης τροφοδοσίας	LV: 230V MV: Uc				μέχρι το 2003 το LV Un πρέπει να είναι σύμφωνα με το εθνικό HD 472 S1
Μεταβολές της τάσης τροφοδοσίας	LV: Un	10min	-10% / +10% @ 95% μιας εβδομάδας -15% / +10% @ 100% μιας εβδομάδας	1 εβδομάδα	
	MV: Uc	10min	-10% / +10% @ 95% μιας εβδομάδας	1 εβδομάδα	
Ταχείες αλλαγές της τάσης	LV: Un		γενικά ±5% max ±10% πολλές φορές την ημέρα	1 ημέρα	ενδεικτικά
	MV: Uc		γενικά ±4% max ±6% πολλές φορές την ημέρα		
Εσβαρότητα τρεμοπαίγματος			Plt < 1 @ 95% μιας εβδομάδας	1 εβδομάδα	Pst δεν χρησιμοποιείται
Πτώσεις παροχής της τάσης	LV		10-1000 / year, <1s, βάθος < 60% προκαλείται από μεγάλα φορτία	1 έτος	ενδεικτικά βάθος % του Un (Uc)
	MV		10-1000 / year, <1s, βάθος < 60% προκαλείται από μεγάλα φορτία & σφάλματα		
Μικρές διακοπές			10 έως αρκετές εκατοντάδες, 70% < 1s	1 έτος	ενδεικτικά διάρκεια < 3 min
Μεγάλες διακοπές			10-50	1 έτος	ενδεικτικά, τα προαχδιασμένα δεν μετρώνται
Προσωρινές υπερτάσεις	LV MV		<1.5 kV rms πάνω από 5 s < 2.0 Uc; λαποτυχιές < 3 Uc; φαιδηροσυντονισμός		ενδεικτικά
Παροδικές υπερτάσεις	LV MV		< 6 kV		ενδεικτικά
Ασύμμετρη παροχή της τάσης		10min	<2% @ 95% της εβδομάδας περιστασιακά άνω του 3%	1 εβδομάδα	
Αρμονικές		10min	Πίνακας 4 @ 95% της εβδομάδας	1 εβδομάδα	
Inter-harmonics		10min	όρια υπό εξέταση	1 εβδομάδα	
Σηματοδότηση δικτύου		3s	λιγότερο από την καμπύλη του EN50160 στο σήμα 16 @ 99% μιας ημέρας	1 ημέρα	

Πίνακας 4.1 Όρια που ορίζονται στο EN50160.

## 5<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

#### 5.1 Η Σημασία της Ποιότητας Ισχύος

Οι επιχειρήσεις συνεχώς προσπαθούν να βελτιώσουν τα συστήματα ηλεκτροδότησης τους, ώστε να παρέχουν την πιο αξιόπιστη και όσο το δυνατόν συνεπέστερη ηλεκτρική ισχύ. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια φυσιολογικής λειτουργίας και διεξαγωγής καθημερινών εργασιών, η τάση διακυμαίνεται αναπόφευκτα καθώς φορτία ηλεκτρικού ρεύματος φεύγουν και έρχονται στο σύστημα ηλεκτροδότησής ή οι παράπλευρες λειτουργίες ανακατανέμουν μεταξύ τους, διάφορες πηγές προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας. Με την έλευση των μικροεπεξεργαστικών συστημάτων ελέγχου στους διάφορους εξοπλισμούς, ακόμη και μια απόκλιση 1-2 V είναι αρκετή για να προκαλέσει τον εξοπλισμό να επανεκκινήσει ή να αποτύχει, παρόλο που οι περισσότερες δασμολογίες χρήσης ορίζουν την καθορισμένη τάση σε επίπεδα +/- 5 % ή ακόμα 10 %.

Το συμπέρασμα που προκύπτει, είναι ότι δεν είναι δυνατόν για μια εφαρμογή - εργασία να διατηρηθεί απόλυτα σταθερή τάση 100 τοις εκατό του χρόνου, λόγω της ύπαρξης αρκετών γεγονότων που αφορούν την ποιότητα ισχύος (PQ), για λόγους που δεν έχουν καμία σχέση με την εφαρμογή αυτή καθ' εαυτή. Κεραυνοί, καταιγίδες, αυτοκινητιστικά ατυχήματα που σχετίζονται με σύγκρουση σε κολώνες ηλεκτροδότησης, ακόμη και δραστηριότητες τρωκτικών όπως τα ποντίκια και οι σκίουροι, μπορεί να προκαλέσουν διαταραχές μεγάλης έντασης και εξάρσεις στην ηλεκτροδότηση. Βοηθητικές εφαρμογές μπορούν να προσφέρουν 99.99 % πιστότητα, το οποίο μεταφράζεται σε περίπου 53 λεπτά του συνολικού χρόνου διακοπής ετησίως, κάτι που μπορεί να είναι τόσο καλό όσο είναι δυνατόν. Ο μόνος τρόπος για να βελτιωθεί η αξιοπιστία πέρα από αυτό το επίπεδο είναι να επικεντρωθεί ο εκάστοτε φορέας σε ευαίσθητο εξοπλισμό και πιθανές προβληματικές περιοχές στο εσωτερικό μιας συγκεκριμένης εγκατάστασης.

Ευαίσθητα προβλήματα ποιότητας ισχύος προέρχονται συχνά μέσα στα όρια της εγκατάστασης και ανιχνεύονται συνήθως σε πράγματα όπως η έναρξη και διακοπή συμπίεστών ή κινητήρων με κλιματισμό, υπερφορτίσεις κυκλωμάτων, αρμονικές που δημιουργήθηκαν από ηλεκτρονικό εξοπλισμό, ή προβλήματα στη γείωση και την καλωδίωση. Οι εμπειρογνώμονες της βιομηχανίας υπολογίζουν ότι 70-85 % όλων των προβλημάτων μετάβασης τάσης δημιουργούνται μέσα σε εμπορικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις και όχι από κάποιο πρόβλημα στο δίκτυο. Αλλά όποια και αν είναι η προέλευση μιας ηλεκτρικής διαταραχής, το αποτέλεσμα μπορεί να είναι ακριβό και εντελώς ενοχλητικό.

#### 5.2 Διαταραχές Ποιότητας Ισχύος

Οι διαταραχές της ποιότητας ισχύος χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: μεταβολές και γεγονότα. Η μεταβολή είναι μια μικρή απόκλιση από την ημιτονοειδή κυματομορφή και συμβαίνει στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Το γεγονός είναι μια μεγάλη απόκλιση,

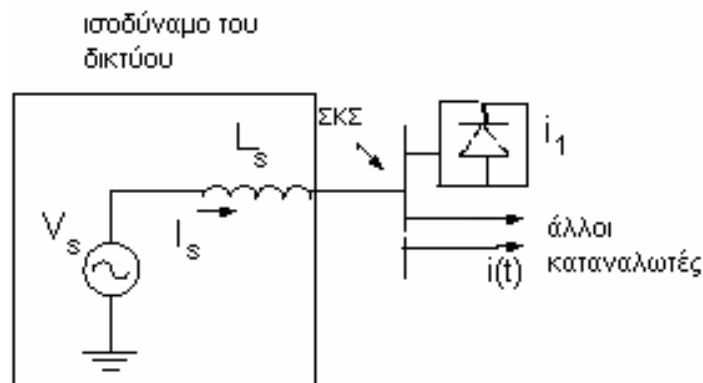
παρατηρείται όταν το μετρούμενο μέγεθος ξεπεράσει κάποιο όριο και συμβαίνει κατά τη διάρκεια μεταβατικών καταστάσεων ή σφαλμάτων.

## 5.2.1 Μεταβολές

### 5.2.1.1 Αρμονικές

Αρμονικές καλούνται τα ημιτονοειδή ρεύματα ή τάσεις με συχνότητες πολλαπλάσιες της θεμελιώδους συχνότητας του δικτύου. Οι διαταραγμένες, λόγω αρμονικών, κυματομορφές αναλύονται σε άθροισμα της θεμελιώδους και των αρμονικών που δημιουργούνται από τις μη γραμμικές χαρακτηριστικές τάσης-ρεύματος των συσκευών που συνδέονται στο δίκτυο.

Μέσω της τάσης και σε συνάρτηση με την ισχύ βραχυκυκλώσεως του δικτύου, οι αρμονικές που παράγονται σε ένα σημείο μεταδίδονται και μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα και σε άλλα φορτία. Όπως φαίνεται και από το ισοδύναμο κύκλωμα του **Σχήματος 5.28**, λόγω της πεπερασμένης (μη μηδενικής) εσωτερικής σύνθετης αντίστασης του δικτύου, η κυματομορφή της τάσης στο σημείο ζεύξης παραμορφώνεται.



**Σχήμα 5.28** Ισοδύναμο Κύκλωμα Δικτύου

Μη γραμμικά φορτία υπάρχουν τόσο σε οικιακούς όσο και σε βιομηχανικούς καταναλωτές. Τέτοια είναι:

- Φορτία με ηλεκτρονικά ισχύος: ανορθωτές, PLC
- Φορτία που χρησιμοποιούν ηλεκτρικό τόξο: φούρνοι τήξης και λάμπες φθορισμού
- Φορτία που χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά: τηλεοράσεις, φούρνοι μικροκυμάτων, φωτοαντιγραφικά, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, εκτυπωτές κτλ
- Μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος για τη σύνδεσή τους με το δίκτυο, όπως για παράδειγμα είναι τα φωτοβολταϊκά, οι ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών, οι κυψέλες καυσίμου και οι μικροστρόβιλοι.

Στους κινητήρες και τις γεννήτριες, τάση και ρεύμα με αρμονικές συνιστώσες, έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη θερμοκρασία λόγω απωλειών σιδήρου και χαλκού άρα και μειωμένη απόδοση, αύξηση του θορύβου, μη ομαλή εκκίνηση και αυξημένη ολίσθηση για κινητήρες

επαγωγής. Εξαιτίας των αρμονικών ενδέχεται να λειτουργήσουν λανθασμένα συσκευές προστασίας ειδικά αυτές που χρησιμοποιούν θερμικά μοντέλα. Αν ο υπολογισμός της ενεργού τιμής της έντασης γίνεται χρησιμοποιώντας τη μέγιστη τιμή της κυματομορφής της αυξάνεται η πιθανότητα λάθους και ανεπιθύμητης λειτουργίας της προστασίας. Για τον ίδιο λόγο λάθη παρουσιάζονται σε μετρητικές συσκευές. Οι αρμονικές επίσης είναι η αιτία για προβλήματα στην λειτουργία ηλεκτρονικών συστημάτων. Μακροχρόνια οι αρμονικές προκαλούν πρόωρη γήρανση των συσκευών. Οι πυκνωτές είναι επίσης ευαίσθητοι στις αρμονικές και κυρίως σε αυτές υψηλής συχνότητας. Αν η ιδιοσυχνότητα του κυκλώματος που δημιουργείται από τον πυκνωτή και την ισοδύναμη επαγωγή του δικτύου παροχής στο σημείο σύνδεσης είναι ίδια με αυτή της αρμονικής που παράγεται από το φορτίο προκαλείται συντονισμός, αύξηση του μεγέθους της αρμονικής, υπερθέρμανση του πυκνωτή και ενδεχομένως καταστροφή του διηλεκτρικού του υλικού ή λειτουργία της προστασίας του και αποσύνδεση του.

#### **5.2.1.2 Ενδιάμεσες Αρμονικές**

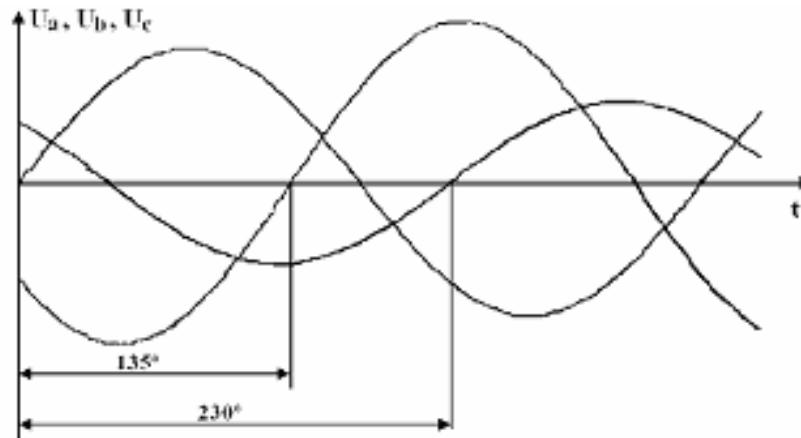
Οι ενδιάμεσες αρμονικές είναι μη ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους και βρίσκονται μεταξύ των αρμονικών. Παράγονται κυρίως από στατούς μετατροπείς συχνότητας (λόγω μη ορθής έναυσης), συσκευές τόξου κ.λ.π.

#### **5.2.1.3 Επαναλαμβανόμενες Διακυμάνσεις Τάσης (flicker)**

Οι συστηματικές διακυμάνσεις της τάσης σε μια περιβάλλουσα ή σειρά τυχαίων μεταβολών τάσης με πλάτος που συνήθως δεν ξεπερνά το 0,9-1,1 α.μ. συχνά καλούνται τρεμοπαίξιμο (flicker) ή διακύμανση (fluctuation). Ειδικότερα ο όρος flicker έχει ληφθεί από την ορατή επίδραση της διακύμανσης της τάσης στους λαμπτήρες. Οι επαναλαμβανόμενες μεταβολές της τάσης οφείλονται σε αντίστοιχες μεταβολές της απορροφούμενης ή της παραγόμενης ενεργού και αέργου ισχύος, όπως π.χ. συμβαίνει στην περίπτωση της λειτουργίας ηλεκτροσυγκολλήσεων, κινητήρων που κινούν φορτία με μεταβαλλόμενη ροπή αντιστάσεως καθώς και στην περίπτωση γεννητριών με μεταβαλλόμενη κινητήρια ροπή, όπως είναι οι ανεμογεννήτριες.

#### **5.2.1.4 Ασυμμετρία**

Εάν το πλάτος της κυματομορφής της τάσης στις τρεις φάσεις δεν είναι ίσο τότε υπάρχει ασυμμετρία (**Σχήμα 5.29**). Μια μη-συμμετρική τάση μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις συμμετρικές που ονομάζονται θετικής, αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας συνιστώσες. Οι τρεις τάσεις θετικής ακολουθίας έχουν διαφορά φάσης  $120^\circ$  και περιστρέφονται με την αντίθετη φορά του ρολογιού. Το ίδιο συμβαίνει και για τις τάσεις αρνητικής ακολουθίας, αλλά κινούνται με τη φορά του ρολογιού. Οι τάσεις μηδενικής ακολουθίας είναι συμφασικές και δεν περιστρέφονται.



**Σχήμα 5.29** Κυματομορφές Τάσης με Ασυμμετρία

### 5.2.1.5 Συνιστώσα Συνεχούς Ρεύματος

Ορισμένες φορές παρατηρείται σε εναλλασσόμενα δίκτυα μια συνιστώσα συνεχούς ρεύματος ή τάσης. Η έγχυση μιας dc συνιστώσας προκαλείται από ανοιγοκλείσιμο μηχανικών διακοπών ή από τη λειτουργία ηλεκτρονικών ισχύος που συνδέουν και αποσυνδέουν τις διάφορες συσκευές στο δίκτυο. Συνεχές ρεύμα σε δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να έχει βλαβερές συνέπειες, όπως το να κορεστεί ο πυρήνας ενός μετασχηματιστή σε κανονική λειτουργία με αποτέλεσμα να υπάρχει υπερθέρμανση και να μειωθεί η διάρκεια ζωής του. Επίσης, η ύπαρξη συνεχούς ρεύματος μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρολυτική διάβρωση των καλωδίων γείωσης.

### 5.2.1.6 Μεταβολές Συχνότητας

Ορίζεται ως η απόκλιση της θεμελιώδους συχνότητας του συστήματος από την καθορισμένη τιμή της (50 Hz). Υπάρχουν μικρές μεταβολές στη συχνότητα καθώς αλλάζει η δυναμική ισορροπία μεταξύ φορτίου και μονάδων παραγωγής. Το μέγεθος και η διάρκεια της εκτροπής της συχνότητας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του φορτίου και το σύστημα ελέγχου των μονάδων παραγωγής. Οι μεταβολές της συχνότητας είναι σπάνιες στα σύγχρονα διασυνδεδεμένα δίκτυα, αλλά είναι πιο πιθανό να συμβούν σε αυτόνομα συστήματα που τροφοδοτούνται από απομονωμένες μονάδες παραγωγής. Μεταβολές συχνότητας συμβαίνουν όταν υπάρχει σοβαρό σφάλμα στο σύστημα μεταφοράς ή όταν αποσυνδεθεί μεγάλο φορτίο ή μονάδα παραγωγής. Οι αποκλίσεις από την ονομαστική συχνότητα μπορούν να προκαλέσουν δυσλειτουργία σε ηλεκτρονικές συσκευές και να επηρεάσουν την ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων.

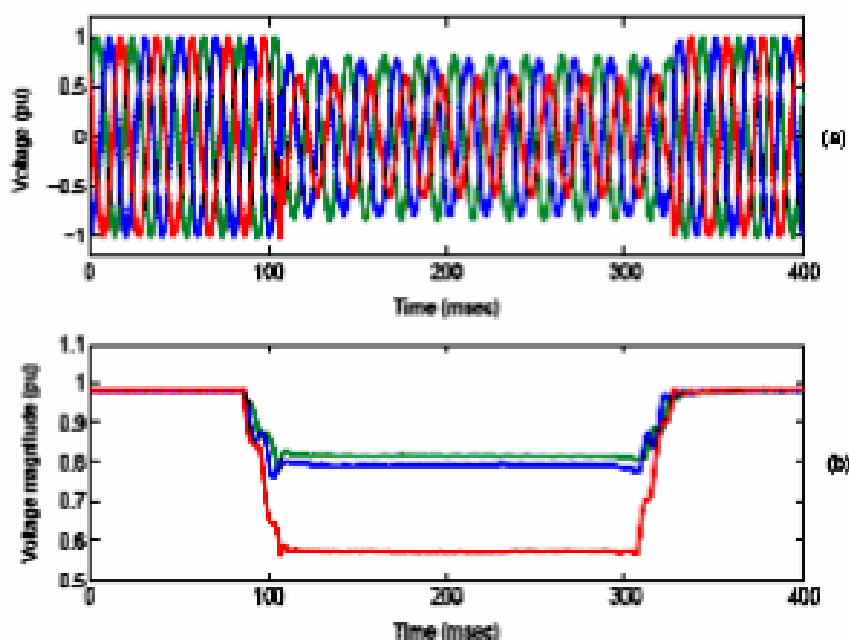
## 5.2.2 Γεγονότα

### 5.2.2.1 Βυθίσεις Τάσης

Βύθιση τάσης είναι η μικρής διάρκειας μείωση της ενεργού τιμής της τάσης κυρίως λόγω σφαλμάτων στο δίκτυο ή λόγω της σύνδεσης μεγάλων κινητήρων (**Σχήμα 5.30**). Βύθιση της τάσης παρατηρείται επίσης και κατά τη λειτουργία ενός μετασχηματιστή στην

περιοχή κορεσμού της καμπύλης λειτουργίας του, λόγω των μεγάλων ασύμμετρων ρευμάτων που προκαλούνται (π.χ. κατά την ενεργοποίηση του).

Το ενδιαφέρον γύρω από τις βυθίσεις τάσεις εστιάζεται κυρίως στα προβλήματα τα οποία δημιουργούν σε μεγάλο αριθμό συσκευών. Ηλεκτρονικοί υπολογιστές, κινητήρες ελεγχόμενης ταχύτητας (adjustable speed drives), συστήματα ελέγχου (PLC) είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα. Κάποιες συσκευές δεν μπορούν να αντέξουν τάση κάτω από 90% της ονομαστικής για 1 ή 2 κύκλους. Πολλές ηλεκτρονικές συσκευές και κινητήρες ελεγχόμενης ταχύτητας δεν λειτουργούν σωστά για βυθίσεις τάσης κάτω από 70% για περισσότερο από 100 msec. Για τους επαγωγικούς κινητήρες κατά την διάρκεια της πτώσης τάσης μειώνεται ο αριθμός των στροφών τους και τροφοδοτούνται με μεγαλύτερο ρεύμα. Εάν η βύθιση τάσης διαρκέσει αρκετά, τότε ενδέχεται να φτάσουν σε ένα σημείο όπου σταματούν να λειτουργούν (stalling). Οι αλλαγές αυτές στο ρεύμα αλλά και στην ροπή του κινητήρα ενδέχεται να οδηγήσουν σε λειτουργία της προστασίας του και τελικά ο κινητήρας να αποσυνδεθεί. Επίσης, κατά την επαναφορά της τάσης ο κινητήρας καταναλώνει μεγάλα ρεύματα μειώνοντας έτσι την τάση. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σε βιομηχανίες με πολλούς κινητήρες.



**Σχήμα 5.30**(α) κυματομορφές με βύθιση τάσης στις τρεις φάσεις (β) η ενεργός τιμή της τάσης

Τα κύρια χαρακτηριστικά του φαινομένου της βύθισης τάσης είναι η διάρκεια του και το μέγεθος της τάσης. Για βυθίσεις τάσης που προκαλούνται από σφάλματα, το μέγεθος της τάσης εξαρτάται από την απόσταση του σφάλματος από το φορτίο, τις διασυνδέσεις του δικτύου καθώς και το πόσο δυνατό ή ασθενές είναι το δίκτυο (ισχύς βραχυκύκλωσης). Ο τύπος του σφάλματος και οι συνδεσμολογίες των μετασχηματιστών μεταξύ του σφάλματος και του φορτίου είναι επίσης καθοριστικοί παράγοντες του μεγέθους της τάσης.

Η διάρκεια εξαρτάται κυρίως από το πόσο γρήγορα θα λειτουργήσει το σύστημα προστασίας του δικτύου προκειμένου να απομονωθεί το τμήμα του δικτύου όπου εμφανίστηκε το σφάλμα. Οι χρόνοι που υπεισέρχονται εδώ είναι τόσο ο χρόνος εντοπισμού του σφάλματος (δηλαδή ο τύπος προστασίας που χρησιμοποιείται: ηλεκτρονόμοι αποστάσεως, διαφορική προστασία, ηλεκτρονόμοι υπερέυματος, ασφάλειες κτλ) καθώς και ο χρόνος λειτουργίας των

συσκευών διακοπής του ρεύματος (διακόπτες ισχύος, ασφάλειες κτλ). Βυθίσεις τάσης λόγω της σύνδεσης μεγάλων κινητήρων προκαλούνται λόγω των μεγάλων ρευμάτων εκκινήσεως και έχουν χαρακτηριστικά που εξαρτώνται από το μέγεθος των κινητήρων, τα χαρακτηριστικά τους (αδράνεια, τρόπος εκκίνησης κτλ) καθώς και από την ισχύ βραχυκύκλωσης.

#### 5.2.2.2 Διακοπή

Σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα οι διακοπές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

1. Μικρής διάρκειας (μικρότερης από 3 λεπτά) και
2. Μεγάλης διάρκειας (μεγαλύτερης από 3 λεπτά).

Οι διακοπές μεγάλης διάρκειας οφείλονται είτε σε κάποιο σοβαρό σφάλμα, το οποίο δεν αποκαταστάθηκε με την λειτουργία του συστήματος προστασίας είτε λόγω προγραμματισμένων εργασιών συντήρησης στο δίκτυο. Οι διακοπές μικρής διάρκειας προέρχονται από την λειτουργία επανακλειόμενων διακοπών (reclosers) και επαναφορά του δικτύου μετά από σφάλμα. Η διαδικασία αυτή είναι συνηθισμένη σε δίκτυα διανομής και εφαρμόζεται διότι μεγάλο ποσοστό των σφαλμάτων δεν είναι μόνιμα και εξαλείφονται μετά την λειτουργία του συστήματος προστασίας.

Οι διακοπές μπορούν να θεωρηθούν ειδική περίπτωση βυθίσεων τάσης (όπου η τάση γίνεται μηδέν) και όσον αφορά την επίδραση τους στα φορτία ισχύει ότι και για την επίδραση των βυθίσεων τάσης.

#### 5.2.2.3 Υπερτάσεις

Ως υπέρταση ορίζεται η αύξηση στην RMS τιμή της τάσης σε περισσότερο από 110 % και για διάρκεια μεγαλύτερη του ενός λεπτού.

Οι υπερτάσεις που εμφανίζονται κατά την διάρκεια λειτουργίας ενός δικτύου μπορούν να γίνουν ιδιαίτερα επικίνδυνες για τον εξοπλισμό του αλλά και για τα φορτία. Υπερτάσεις προκαλούνται από κεραυνούς (και μπορεί να οδηγήσουν σε σφάλματα), προβλήματα σε διακόπτες ισχύος, άλλα φαινόμενα διακοπής και σφάλματα.

Διακόπτες ισχύος που διακόπτουν πρόωρα το ρεύμα το οποίο εισέρχεται από αυτούς (όχι στο σημείο όπου το ρεύμα γίνεται μηδέν) προκαλούν μεγάλες υπερτάσεις. Το φαινόμενο μπορεί να εμφανιστεί όταν διακόπτες ισχύος προσπαθούν να διακόψουν μικρά επαγωγικά ρεύματα και ενδέχεται να οφείλεται σε πρόβλημα των επαφών του. Οι υπερτάσεις αυτές είναι τυπικά μικρής διάρκειας αλλά μπορεί να φτάσουν σε μέγεθος 3 φορές την ονομαστική τιμή. Υπερτάσεις μεγαλύτερης διάρκειας εμφανίζονται κατά την διάρκεια μονοφασικών σφαλμάτων σε αγείωτα δίκτυα ή δίκτυα γειωμένα μέσω σύνθετης αντίστασης (voltage swells). Οι υπερτάσεις στην χειρότερη περίπτωση ισούνται με την πολική τάση του δικτύου, εμφανίζονται στις υγιείς φάσεις και διαρκούν όσο διαρκεί το σφάλμα. Υπερτάσεις μικρής διάρκειας αλλά μεγάλου μεγέθους ενδεχομένως να σημειωθούν κατά την σύνδεση πυκνωτών στο δίκτυο. Το μέγεθος τους μπορεί να φτάσει μέχρι και 2 φορές την ονομαστική τάση και αυτό εγκυμονεί κινδύνους για την λειτουργία αλλά και την ασφάλεια ηλεκτρονικών συσκευών. Περιπτώσεις έχουν καταγραφεί όπου εξαιτίας τέτοιων υπερτάσεων σημειώθηκαν

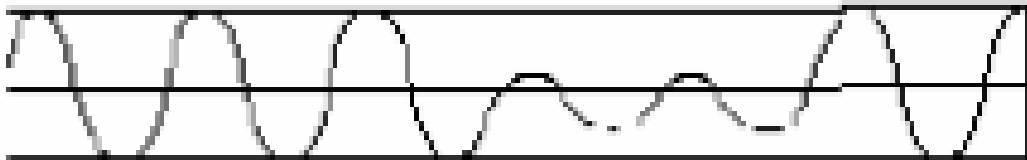


βλάβες των ηλεκτρονικών τμημάτων συσκευών όπως αξονικοί τομογράφοι και κινητήρες ελεγχόμενης ταχύτητας. Η σύνδεση πυκνωτή προκαλεί μια ταλάντωση μεταξύ του πυκνωτή που ενεργοποιείται και του συστήματος. Η ταλάντωση αυτή μεταδίδεται στο δίκτυο και διαμέσου των μετασχηματιστών φτάνει στους καταναλωτές. Άλλες υπερτάσεις (πχ λόγω κεραυνών), που συνδέονται με υψηλότερες συχνότητες, ανακλώνται στον μετασχηματιστή, ένα μικρό ποσοστό του ρεύματος όμως περνάει στο υπόλοιπο κύκλωμα και δημιουργεί προβλήματα στα φορτία.

Όταν συνδέονται πυκνωτές στο δίκτυο διανομής για την υποστήριξη της τάσης, το φαινόμενο ενδέχεται να παρουσιάσει δυσμενέστερα χαρακτηριστικά στο δίκτυο της χαμηλής τάσης εξαιτίας της παρουσίας εκεί πυκνωτών χωρητικής αντιστάθμισης (φαινόμενο συντονισμού). Η τάση εκεί μπορεί να φτάσει έως και 3 φορές την ονομαστική ,ειδικά σε περιπτώσεις όπου το φορτίο είναι κυρίως κινητήρες και δεν υπάρχει αρκετή απόσβεση από ωμικά φορτία. Η προστασία υπερτάσεως (surge arresters) πρέπει να τοποθετηθεί λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω. Η τοποθέτηση πυκνωτών με δυνατότητα ελεγχόμενης σύνδεσης σε επιλεγμένες χρονικές στιγμές μπορεί να περιορίσει στο ελάχιστο αυτού του είδους τις υπερτάσεις. Προβλήματα στο διακόπτη που χρησιμοποιείται για την σύνδεση του πυκνωτή θα προκαλέσουν επίσης υπερτάσεις .

#### 5.2.2.4 Υποτάσεις

Υπόταση είναι η μείωση της ενεργού τιμής της τάσης σε λιγότερο από 90% και για διάρκεια περισσότερο από 1 λεπτό (**Σχήμα 5.31**). Η σύνδεση ενός φορτίου ή η αποσύνδεση ενός πυκνωτή μπορεί να προκαλέσει υπόταση μέχρις ότου οι ρυθμιστικές διατάξεις του συστήματος επαναφέρουν την τάση στα επιτρεπτά όρια.



**Σχήμα 5.31** Κυματομορφή με Υπόταση

### 5.3 Αντιμετώπιση Προβλημάτων Ισχύος

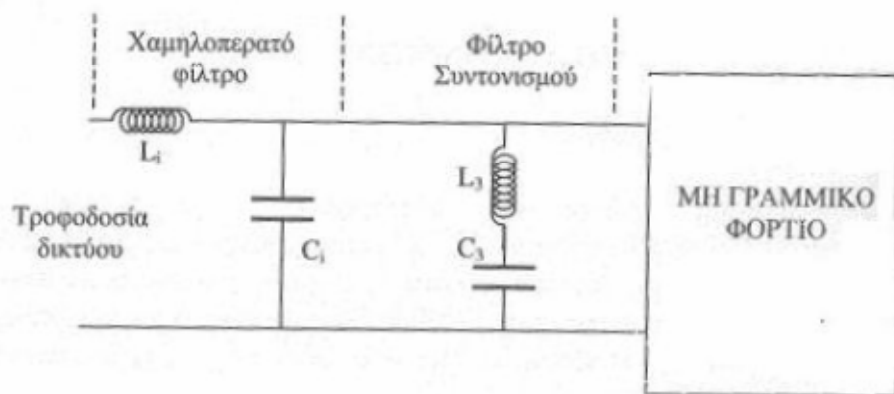
Τα συνηθέστερα προβλήματα στην Ποιότητα Ισχύος, είναι οι αρμονικές, οι βυθίσεις τάσης και οι διακοπές. Για καθένα από τα παραπάνω προβλήματα, προτείνονται οι παρακάτω τρόποι επίλυσης τους, τόσο από την πλευρά των καταναλωτών όσο και από την πλευρά του παρόχου.

#### 5.3.1 Αρμονικές

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούνται από αρμονικές υπάρχουν μέθοδοι τέτοιες ώστε να μειώσουν , να εξαλείψουν ή να μην επιτρέψουν τη διείσδυση των αρμονικών στο δίκτυο. Οι πιο διαδεδομένες από αυτές είναι:

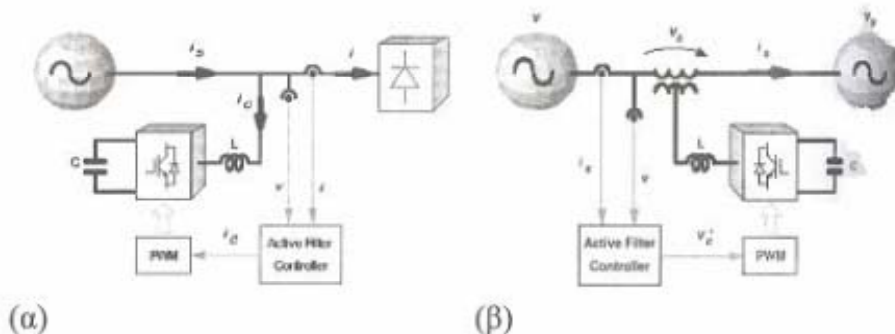
- Η τοποθέτηση φίλτρων. Τα φίλτρα μπορεί να είναι είτε ενεργά είτε παθητικά.

Τα παθητικά φίλτρα είναι συνδυασμός πυκνωτών και πηνίων. Στο **Σχήμα 5.32** βλέπουμε ένα σύστημα στο οποίο την είσοδο υπάρχουν δύο ειδών φίλτρα ρεύματος. Το ένα φίλτρο είναι ένα χαμηλοπερατό φίλτρο ρεύματος το οποίο μειώνει όλες τις ανώτερες αρμονικές συνιστώσες χωρίς να μειώνει τη θεμελιώδη συνιστώσα. Επίσης, υπάρχει άλλο ένα φίλτρο το οποίο αποτελείται από ένα πηνίο και ένα πυκνωτή σε σειρά και ονομάζεται φίλτρο συντονισμού. Οι τιμές  $L$  και  $C$  του φίλτρου αυτού επιλέγονται ώστε να συντονίζεται (δηλ. να παρουσιάζει μηδενική αντίσταση) στη συχνότητα της ανεπιθύμητης αρμονικής συνιστώσας του ρεύματος που θέλουμε να εξαλείψουμε από την είσοδο της ηλεκτρικής συσκευής. Μπορεί να έχουμε πάνω από ένα συντονισμένο φίλτρο στην είσοδο της συσκευής και την εξάλειψη ενός αριθμού παρασιτικών αρμονικών συνιστωσών.



**Σχήμα 5.32** Παθητικά φίλτρα ρεύματος στην είσοδο ενός μη γραμμικού φορτίου

Τα ενεργά φίλτρα είναι διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος μπορεί να συνδέονται παράλληλα ή σε σειρά με το φορτίο (**Σχήμα 5.33**). Τα παράλληλα φίλτρα χρησιμοποιούνται όταν το μη γραμμικό φορτίο συμπεριφέρεται σαν πηγή αρμονικών ρευμάτων, όπως είναι οι μετατροπείς φυσικής μετάβασης με θυρίστορ με μεγάλη  $dc$  επαγωγή για συστήματα ηλεκτρικής κίνησης συνεχούς ρεύματος. Τα ενεργά φίλτρα σειράς χρησιμοποιούνται εκεί που το μη γραμμικό φορτίο θεωρείται πηγή αρμονικής τάσης, όπως είναι η συνήθης περίπτωση των αντιστροφέων που έχουν στην είσοδο γέφυρα διόδων και πυκνωτή εξομάλυνσης στο τμήμα συνεχούς ρεύματος.



**Σχήμα 5.33** (α) παράλληλο και (β) σειράς ενεργό φίλτρο για τον περιορισμό των αρμονικών.

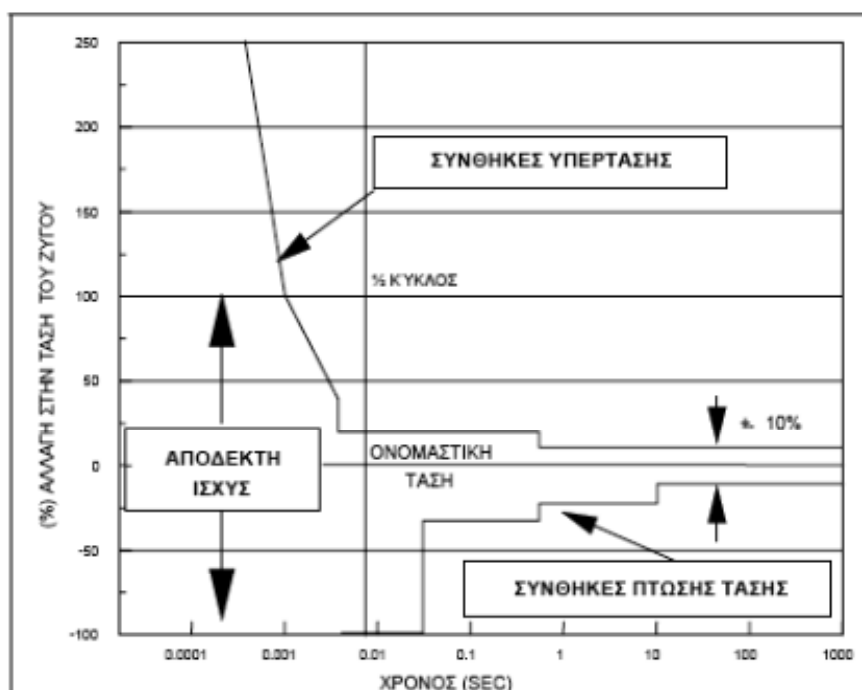
- Χρησιμοποίηση κατάλληλων τεχνικών παλμοδότησης των μετατροπέων όπως είναι για παράδειγμα η τεχνική Ημιτονοειδούς Διαμόρφωσης Εύρους Παλμών (SPWM).

### 5.3.2 Βυθίσεις Τάσης

Από την πλευρά της εταιρίας ηλεκτρισμού, προσπάθεια μείωσης του αριθμού βυθίσεων τάσης συνεπάγεται προσπάθεια μείωσης του αριθμού σφαλμάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με συχνότερη συντήρηση και επιθεώρηση του δικτύου και του εξοπλισμού. Η χρήση υπόγειων καλωδίων αντί για εναέριες γραμμές μειώνει την συχνότητα σφαλμάτων λόγω κεραυνών. Επίσης, βελτίωση των χρόνων λειτουργίας του συστήματος προστασίας μειώνει την διάρκεια των βυθίσεων τάσης.

Από την πλευρά των καταναλωτών, βοήθεια μπορεί να αναζητηθεί σε συσκευές αποθήκευσης ενέργειας (πχ UPS) ή υποστήριξης της τάσης (Dynamic Voltage Restorer). Η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι για τα PLC η χρήση UPS είναι τις περισσότερες φορές απαραίτητη και οικονομικά τεκμηριωμένη. Για τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές τα UPS είναι πλέον κοινή πρακτική.

Σημαντικό επίσης είναι να είναι γνωστή η ικανότητα του φορτίου να συνεχίσει να λειτουργεί σε περίπτωση βύθισης τάσης. Για τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές η καμπύλη της ITIC (Information Technology Industry Council) δείχνει την τυπική αντοχή τους σε κλίμακα μεγέθους-διάρκειας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να εξετασθεί το εάν μια βύθιση τάσης δημιουργεί πρόβλημα ή όχι (Σχήμα 5.34). Λειτουργία ενός υπολογιστή εκτός των ορίων της καμπύλης οδηγεί σε απώλεια δεδομένων, σε λανθασμένες ενέργειες, απενεργοποίηση της συσκευής ακόμα και καταστροφή στοιχείων του. Όλα τα παραπάνω βέβαια υπόκεινται σε οικονομικούς περιορισμούς και μελέτες πρέπει να εκπονηθούν προκειμένου να αιτιολογηθεί το επιπλέον κόστος.



**Σχήμα 5.34** Παράδειγμα καμπύλης της ITIC (υπό συνθήκες υπέρτασης η συσκευή κινδυνεύει από βλάβη, ενώ υπό συνθήκες μειωμένης τάσης η συσκευή ενδέχεται να σταματήσει να λειτουργεί).

### 5.3.3 Διακοπές

Οι διακοπές μπορούν να θεωρηθούν ειδική περίπτωση βυθίσεων τάσης (όπου η τάση γίνεται μηδέν) και όσον αφορά την επίδραση τους στα φορτία ισχύει ότι και για την επίδραση των βυθίσεων τάσης. Μια πρακτική που εφαρμόζεται είναι η ρύθμιση των επανακλειόμενων διακοπών έτσι ώστε να λειτουργήσουν ταχύτερα από τις ασφάλειες που βρίσκονται σε χαμηλότερα σημεία του δικτύου. Έτσι αυξάνεται η πιθανότητα να εξαιρεθεί το σφάλμα χωρίς να χρειαστεί να λειτουργήσει η ασφάλεια (και να πρέπει τελικά να αντικατασταθεί). Αυτό σημαίνει μια μικρής διάρκειας διακοπή για περισσότερα φορτία αντί για μια μεγάλης διάρκειας διακοπή για τα φορτία εκείνα που τροφοδοτούνται από την γραμμή όπου εμφανίστηκε το σφάλμα. Πάντως, η επιλογή ή όχι μιας τέτοιας πρακτικής συνδέεται άμεσα με το κατά πόσο μια σύντομη διακοπή επηρεάζει μια ευαίσθητη παραγωγική διαδικασία. Εάν για παράδειγμα σε ένα εργοστάσιο μια σύντομη διακοπή σταματά μια διαδικασία η οποία χρειάζεται πολλές ώρες για επανεκκίνηση τότε είναι αδιάφορο το εάν η διακοπή ισχύος είναι μεγάλης ή μικρής διάρκειας. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος για την αποφυγή προβλημάτων από τις διακοπές είναι η εγκατάσταση συστημάτων UPS και ηλεκτροπαραγωγών ζευγών. Βελτίωση από την μεριά του δικτύου μπορεί να επιτευχθεί μειώνοντας αφενός την συχνότητα των σφαλμάτων και αφετέρου μειώνοντας την διάρκεια των διακοπών. Μείωση της διάρκειας των διακοπών μπορεί να γίνει με αξιοποίηση των μοντέρνων συστημάτων προστασίας. Συστήματα τα οποία προβλέπουν την ανταλλαγή πληροφοριών μέσω τηλεπικοινωνιακών συστημάτων αυξάνουν την αποτελεσματικότητα στον εντοπισμό του σφάλματος, επιταχύνουν τους χρόνους προστασίας και μειώνουν τον χρόνο αποκατάστασης σφαλμάτων.

### 5.4 Πρόσφατες Τάσεις στην Αντιμετώπιση Προβλημάτων Ποιότητας Ισχύος

Τα διάφορα μέτρα αντιμετώπισης που λαμβάνονται για τη βελτίωση της ποιότητας ισχύος είναι:

- Αντιστάθμιση της άεργου ισχύος
- Αναβάθμιση των ηλεκτρικών δικτύων μεταφοράς και διανομής
- (με διατάξεις και εξοπλισμό για επιτήρηση και έλεγχο των συστημάτων)
- Διεσπαρμένη παραγωγή (σύνδεση τοπικής παραγωγής στο σύστημα διανομής)
- Εγκατάσταση λογισμικού που προσδιορίζει τα όρια ασφαλούς λειτουργίας των συστημάτων

Τα παραπάνω μέτρα δεν επαρκούν για την αντιμετώπιση των προβλημάτων καθώς το ενεργειακό πρόβλημα είναι πολυπαραγοντικό και σύνθετο εφόσον διέπεται από συνιστώσες μεταβαλλόμενες με τις ενεργειακές απαιτήσεις του σύγχρονου καταναλωτή. Είναι αναγκαία η λήψη επιπλέον μέτρων για τη βελτιστοποίηση της ποιότητας ισχύος σε ενεργοβόρες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, με απώτερο στόχο τη μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας.

Μια προτεινόμενη λύση στο επίπεδο της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ο διαμοιρασμός των καταναλωτών σε ομάδες με βάση τη μορφή της κατανάλωσής τους. Δημιουργείται λοιπόν η ανάγκη να συγκροτηθεί ένα σύστημα που θα λειτουργεί στο επίπεδο διανομής και θα αναλαμβάνει την ομαδοποίηση των καταναλωτών. Επίσης αυτό το σύστημα θα συνεργάζεται με τους αρμόδιους φορείς ώστε να εξασφαλίζεται η εξομάλυνση της ημερήσιας καμπύλης κατανάλωσης. Βασικός στόχος του συστήματος αυτού θα είναι η

αντιμετώπιση της αυξανόμενης ζήτησης φορτίου, με φυσικό επακόλουθο τη μείωση της αιχμής ζήτησης.

Για την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος είναι απαραίτητο σε πρώτη φάση να καταγραφεί η συνολική κατανάλωση ενέργειας ενός καταναλωτή. Για την καταγραφή, εγκαθίσταται ψηφιακός μετρητής στην είσοδο της εγκατάστασης, ο οποίος αποθηκεύει τα δεδομένα, τα οποία προορίζονται για επεξεργασία από κατάλληλο λογισμικό. Το λογισμικό, ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη ως προς την επιτρεπτή συνολική κατανάλωση, προκειμένου να μειώσει ή να διακόψει τη λειτουργία συγκεκριμένων συσκευών, πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες κάθε χρονική στιγμή.

Για να μπορέσει να αναγνωρίσει τις συσκευές πρέπει να υπάρχει μια βάση δεδομένων με αποθηκευμένα τα απαραίτητα στοιχεία της λειτουργίας αυτών των συσκευών. Απαραίτητη είναι και η εγκατάσταση συσκευών ελέγχου και επιτήρησης μεμονωμένων φορτίων, οι οποίες θα είναι συνδεδεμένες με το λογισμικό. Η μέτρηση των αναγκαίων μεγεθών όσον αφορά στα φορτία αυτά γίνεται με τη βοήθεια αναπτυγμένων μεθόδων μετρήσεων, όπως η μη παρεμβατική επιτήρηση φορτίων και η αναγνώριση της λειτουργίας τους γίνεται μέσω των υπογραφών τους που βρίσκονται στη βάση δεδομένων.

Τα τελευταία χρόνια, άρχισε να δημιουργείται ενδιαφέρον για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορα σημεία του δικτύου, όπως για παράδειγμα στο σύστημα διανομής. Η τάση αυτή οδήγησε στη διανεμημένη ή διεσπαρμένη παραγωγή δηλαδή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πολλές μονάδες, διασκορπισμένες στο σύστημα. Προς αυτή την κατεύθυνση, της βέλτιστης, αξιόπιστης, ασφαλούς και αποδοτικής παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, επιστρατεύεται η ανάπτυξη των «έξυπνων δικτύων». Τα έξυπνα δίκτυα, είναι ηλεκτρικά δίκτυα που χρησιμοποιούν τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών για τη συγκέντρωση δεδομένων που αφορούν στη λειτουργία τους, με αυτοματοποιημένο τρόπο. Επιτρέπουν δηλαδή τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο και την ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών και αξιολογούν την πιθανή συμφόρηση στο δίκτυο.

Η τάση αυτή προς τα έξυπνα δίκτυα δικαιολογείται απόλυτα, καθώς η αυτοματοποίηση του ενεργειακού συστήματος επιτρέπει την ταχεία διάγνωση και άμεση εύρεση λύσεων σε συγκεκριμένες διαταραχές του συστήματος ή σε διακοπές. Ακόμη, είναι σημαντική η δυνατότητα που προσφέρουν για εντοπισμό και αποκατάσταση σφαλμάτων χωρίς παρέμβαση τεχνικών. Σημαντικός βέβαια είναι ο ρόλος τους στη συνολική βελτίωση της απόδοσης της ενεργειακής υποδομής μέσω διαχείρισης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η απενεργοποίηση των κλιματιστικών κατά τη διάρκεια βραχυπρόθεσμων αιχμών ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες για την αποφυγή της ολικής κατάρρευσης του δικτύου (black-out). Τέλος, το συνολικό φορτίο που είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο μπορεί να μεταβάλλεται αισθητά κάθε χρονική στιγμή, έτσι το έξυπνο δίκτυο μπορεί να προειδοποιήσει ένα σύνολο καταναλωτών να μειώσουν την κατανάλωσή τους τη δεδομένη χρονική στιγμή, ώστε να καλυφθεί το φορτίο χωρίς τη χρήση εφεδρικών γεννητριών.

Στη μέθοδο της παρεμβατικής επιτήρησης φορτίου καταγράφεται η ηλεκτρική συμπεριφορά μίας συσκευής και το μετρητικό όργανο παρεμβάλλεται μεταξύ της κάθε συσκευής ξεχωριστά και των σημείων της εγκατάστασης που την τροφοδοτούν. Έτσι δημιουργείται ένα δίκτυο μετρητικών διατάξεων που παρέχουν πληροφορίες για τη λειτουργία των συνδεδεμένων συσκευών σε πραγματικό χρόνο, καθιστώντας ασύμφορη οικονομικά τη διαδικασία μετρήσεων κάθε συσκευής μεμονωμένα.

Από την άλλη, η μέθοδος μη παρεμβατικής επιτήρησης φορτίου προϋποθέτει μόνο την εγκατάσταση ενός μετρητή ισχύος στο σημείο κεντρικής παροχής της εγκατάστασης, ο οποίος εξάγει τις απαραίτητες πληροφορίες χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις στο συγκεκριμένο σημείο. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην υπόθεση ότι κάθε φορτίο χαμηλής τάσης έχει μία συγκεκριμένη υπογραφή, η οποία μπορεί να καθοριστεί από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του φορτίου κατά την εκκίνηση και κατά τη διάρκεια ομαλής λειτουργίας.

Οι μη «παρεμβατικοί επιτηρητές» είναι σχεδιασμένοι ώστε να παρακολουθούν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που περιλαμβάνει έναν αριθμό συσκευών, οι οποίες τίθενται εντός και εκτός λειτουργίας, ανεξάρτητα ή μια από την άλλη. Μέσω ανάλυσης των κυματομορφών της τάσης και του ρεύματος του συνολικού φορτίου, αναγνωρίζεται η φύση κάθε συσκευής, η εκάστοτε ενεργειακή κατανάλωση και άλλα σχετικά στατιστικά στοιχεία, όπως οι μεταβολές των μεγεθών κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Ο μετρητής απεικονίζει το συνολικό φορτίο ελέγχοντας τις ηλεκτρονικές υπογραφές των συσκευών. Αυτές παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες για τη λειτουργία των συσκευών που απαρτίζουν το φορτίο. Κάθε συσκευή έχει διαφορετική υπογραφή, έτσι μετά τον προσδιορισμό της χρονικής στιγμής έναυσης και παύσης λειτουργίας της, είναι δυνατόν να προκύψουν στατιστικά στοιχεία, όπως η ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με μεταβλητές παραμέτρους που την επηρεάζουν (ώρα, θερμοκρασία κ.α.). Λαμβάνοντας υπόψη τις μετρήσεις της άεργου ισχύος ή και των αρμονικών του ρεύματος σε συνδυασμό με τις μετρήσεις ενεργού ισχύος, είναι δυνατή η λήψη περισσότερων πληροφοριών για τις χρησιμοποιούμενες συσκευές.

Το σημαντικό πλεονέκτημα των μη παρεμβατικών μεθόδων είναι πως μέσω της αναλυτικής περιγραφής των επιμέρους καταναλώσεων μιας εγκατάστασης, οι χρήστες είναι σε θέση να γνωρίζουν το ποσοστό κατανάλωσης της εκάστοτε συσκευής σε σχέση με το συνολικό φορτίο, ώστε να έχουν τη δυνατότητα να προβούν σε ενέργειες με στόχο τη μείωση της συνολικής ενέργειας.

Ακόμη έχει ιδιαίτερη σημασία η συμβολή των ηλεκτρικών επιτηρητών στην πρόβλεψη σφαλμάτων που μπορεί να προκληθούν από κατασκευαστικές ανωμαλίες σε συσκευές. Μέσω της συνεχούς παρακολούθησης, οι χρήστες ενημερώνονται για επικείμενα σφάλματα ή για επικείμενες διακοπές στην τροφοδοσία της εγκατάστασης, ώστε να έχουν τη δυνατότητα να αποτρέψουν πιθανές βλάβες στον εξοπλισμό.

Για τη συγκεκριμένη μέθοδο λοιπόν απαιτείται ένας μόνο αισθητήριος μηχανισμός, άρα εξασφαλίζεται η δυνατότητα εύκολης εγκατάστασης και πολύ χαμηλού κόστους για τους καταναλωτές, καθώς οι μοναδικές παρεμβάσεις που χρειάζεται να γίνουν είναι στην κεντρική ηλεκτρική παροχή. Αποτέλεσμα αυτών είναι η ευκολία συντήρησης και η άμεση αντιμετώπιση προβλημάτων, καθώς αποφεύγεται η εξέταση και ο έλεγχος ενός πολύπλοκου δικτύου αισθητήρων σε περίπτωση σφαλμάτων στο σύστημα επιτήρησης, όπως συμβαίνει στους παρεμβατικούς επιτηρητές φορτίου. Συνεπώς, η πολυπλοκότητα του συστήματος έγκειται στην πολυπλοκότητα του λογισμικού που ελέγχει τη λειτουργία τους. Ανάλογα λοιπόν με τις ανάγκες κάθε εγκατάστασης διαμορφώνεται το λογισμικό από τον κατασκευαστή, προσαρμόζοντας το στις ανάγκες του χρήστη.

Η αντιμετώπιση του προβλήματος των αρμονικών ρεύματος γίνεται κατά κανόνα με την εγκατάσταση κατάλληλων φίλτρων. Τα φίλτρα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τα ενεργά και τα παθητικά φίλτρα. Τα ενεργά φίλτρα είναι ιδιαίτερα αποδοτικά στην αντιμετώπιση

των αρμονικών αλλά έχουν πολύ μεγάλο κόστος. Τα παθητικά φίλτρα απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό για να γίνουν αποτελεσματικά αλλά έχουν μικρότερο κόστος. Η επιλογή του τύπου του φίλτρου, του μεγέθους του και της συνδεσμολογίας, γίνεται μετά από μετρήσεις αρμονικών ρεύματος και τάσης στα διάφορα φορτία της εγκατάστασης. Επιπλέον απαιτούνται υπολογισμοί, και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και προσομοίωση του ηλεκτρικού δικτύου της εγκατάστασης με ειδικό λογισμικό. Διαφορετικά είναι πολύ πιθανόν να οδηγηθεί κάποιος σε καταστροφή των ίδιων των φίλτρων λόγω υπερφόρτισής τους. Τόσο τα ενεργά όσο και τα παθητικά φίλτρα συμβάλουν και στην αντιστάθμιση της άεργης ισχύος.

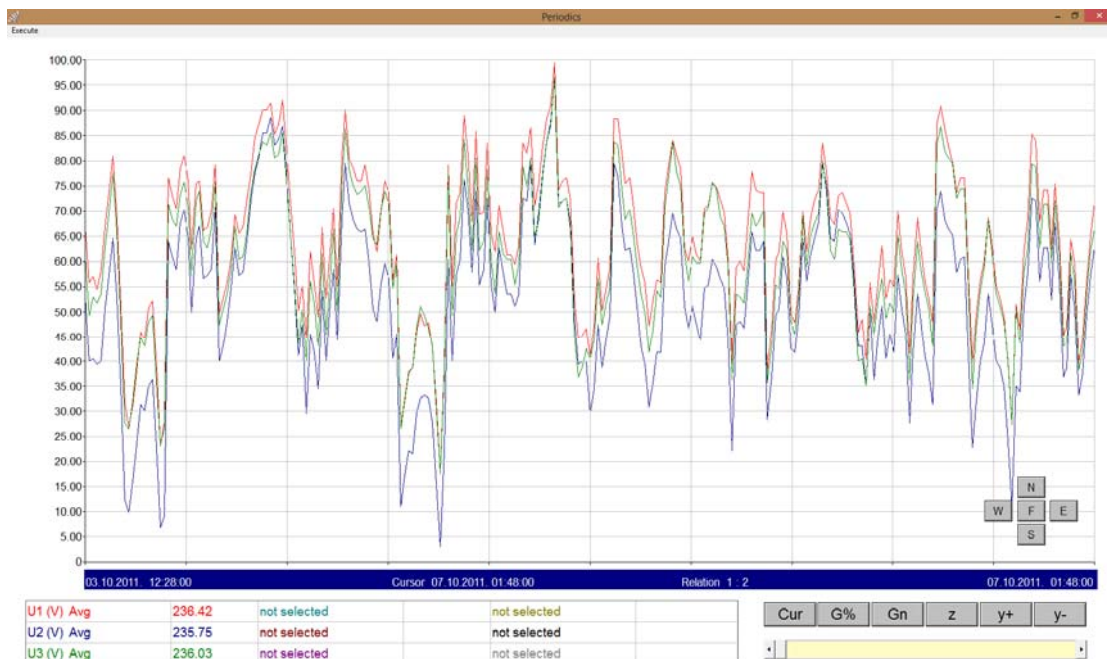
## 6<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑ METREL© MI2292© ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματική εργασία, εμφανίζουμε τις μετρήσεις που λήφθηκαν με τη βοήθεια του μηχανήματος Metrel© MI 2292© σε Εμπορικό Κέντρο και την ανάλυση τους μέσω του προγράμματος PowerLink© που παρέχεται από την εταιρεία. Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε εμφανίζονται στις παρακάτω κυματομορφές, όπου γίνεται ανάλυση από την 1<sup>η</sup> έως και την 11<sup>η</sup> αρμονική.

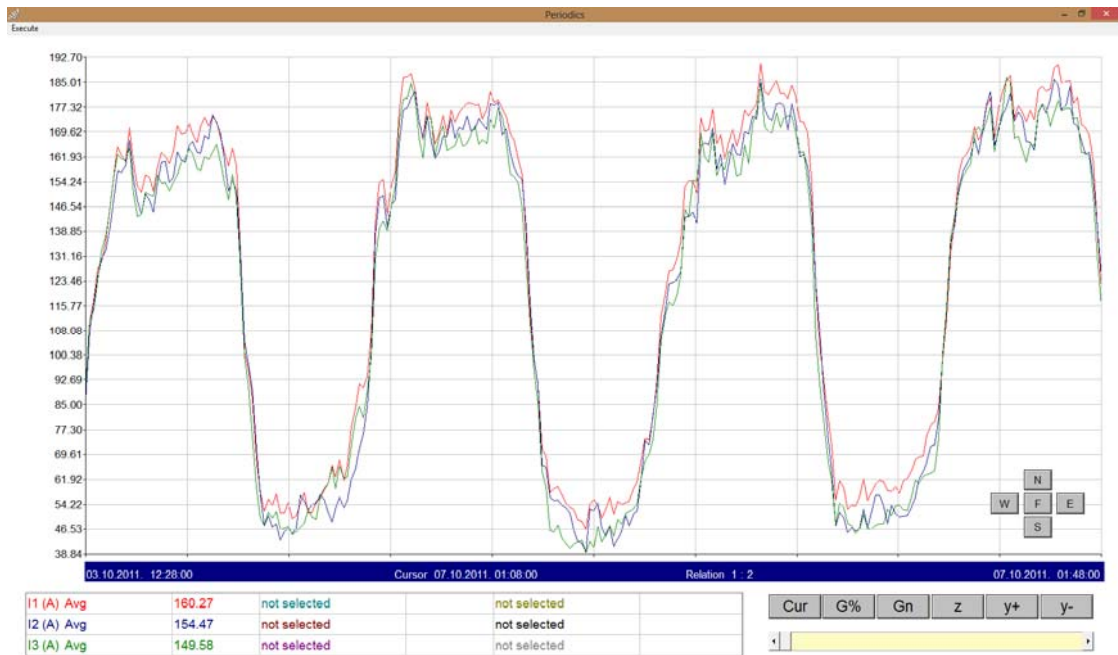
#### 6.1 Μετρήσεις για 3φ σύστημα Εμπορικού Κέντρου

Παρακάτω εμφανίζονται οι μετρήσεις για τις τάσεις και τα ρεύματα του 3φ συστήματος. Τα **Σχήματα 6.35** και **6.36**, εμφανίζουν τις μέσες τιμές των τάσεων και των ρευμάτων αντίστοιχα.



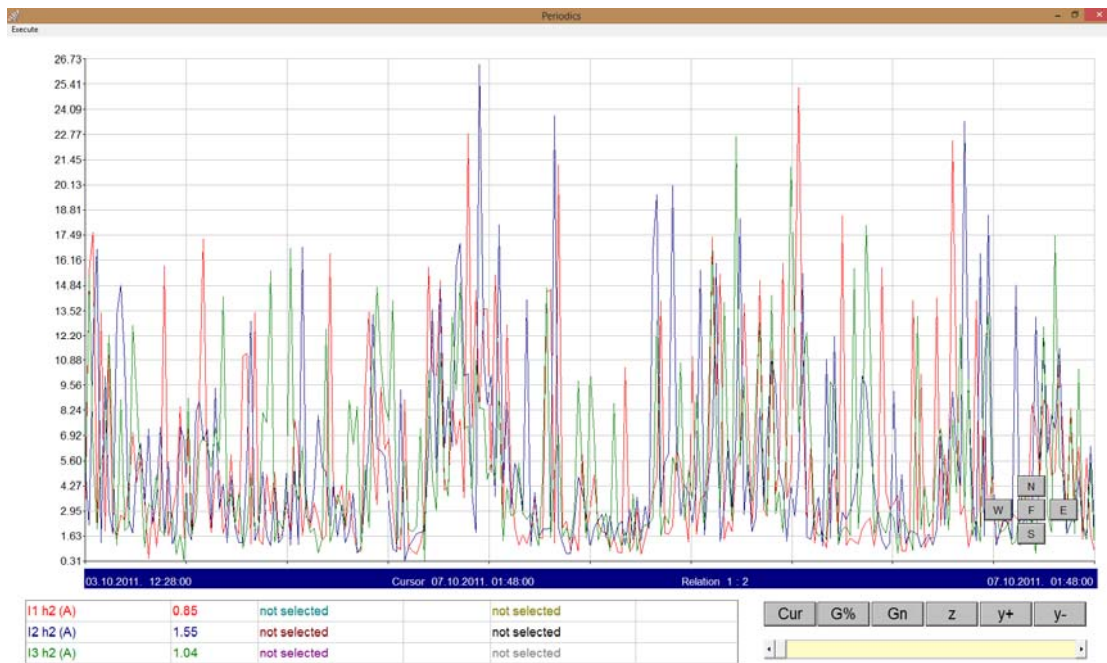
**Σχήμα 6.35** Συγκριτικό διάγραμμα με τις μέσες τιμές των τάσεων (με κόκκινο η μέση τιμή της τάσης V1, με πράσινο η μέση τιμή της τάσης V3 και με μπλε η μέση τιμή της τάσης V2)



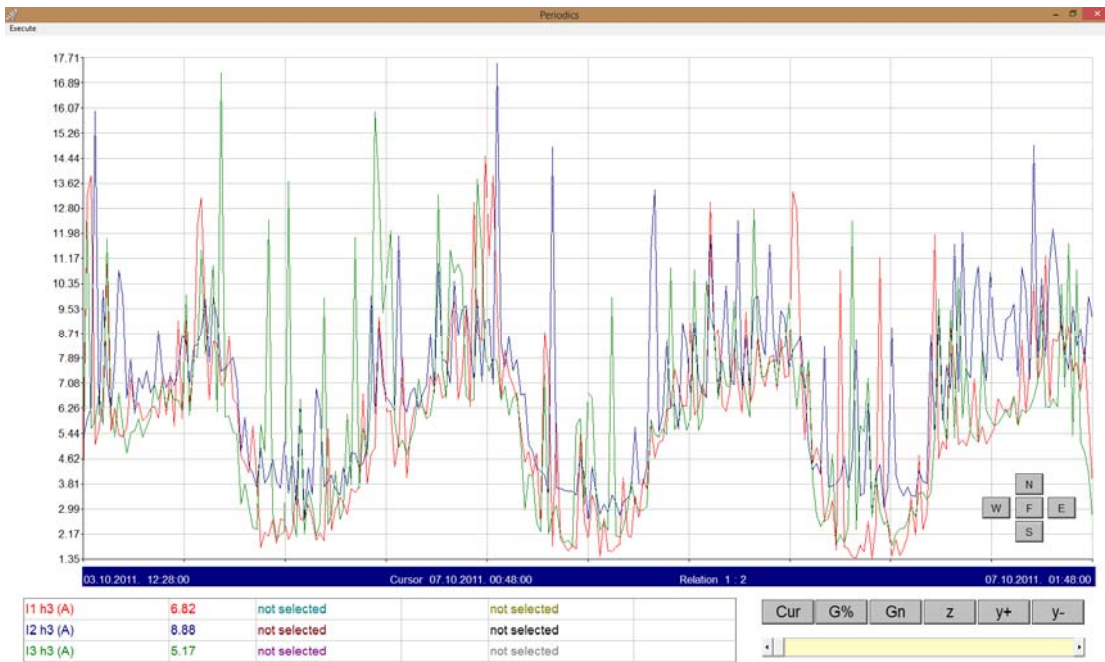


**Σχήμα 36** Συγκριτικό διάγραμμα με τις μέσες τιμές των ρευμάτων (με κόκκινο η μέση τιμή του ρεύματος I1, με πράσινο η μέση τιμή του ρεύματος I3 και με μπλε η μέση τιμή του ρεύματος I2)

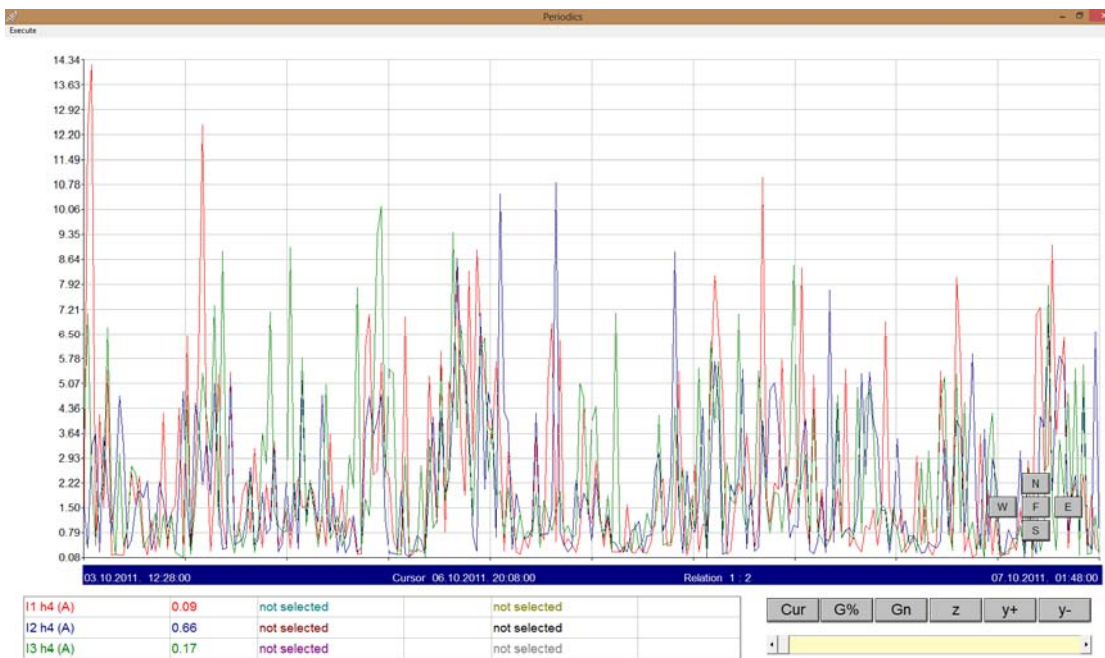
Στη συνέχεια, στα παρακάτω σχήματα εμφανίζουμε τις αρμονικές από την 2<sup>η</sup> έως και την 11<sup>η</sup> για τις 3 φάσεις του συστήματος:



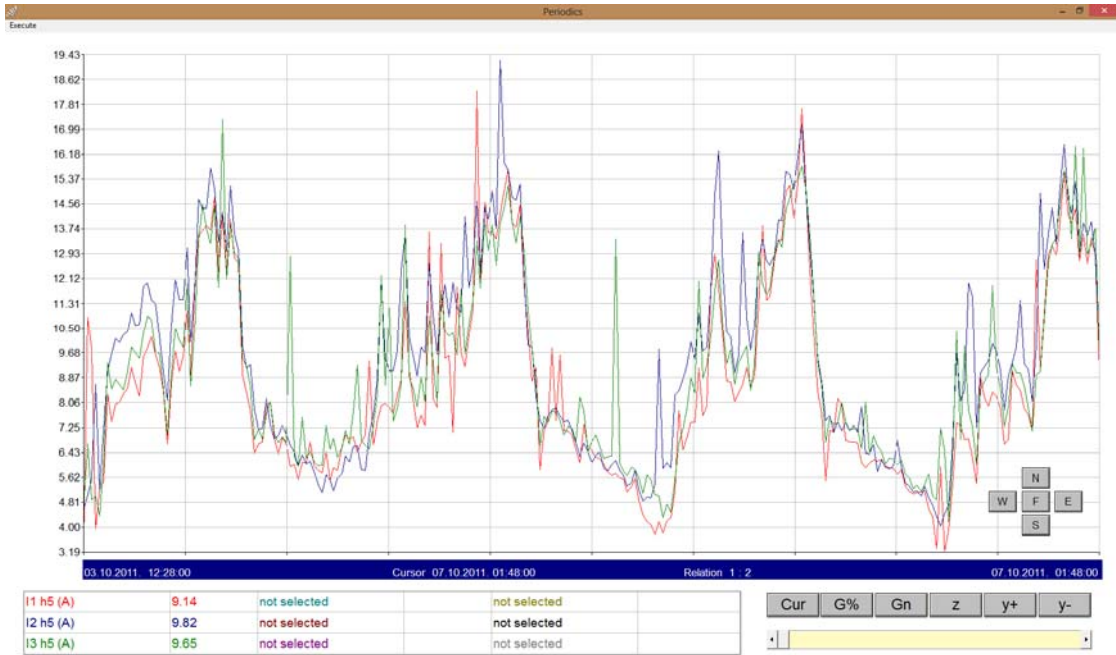
**Σχήμα 6.37** 2<sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις



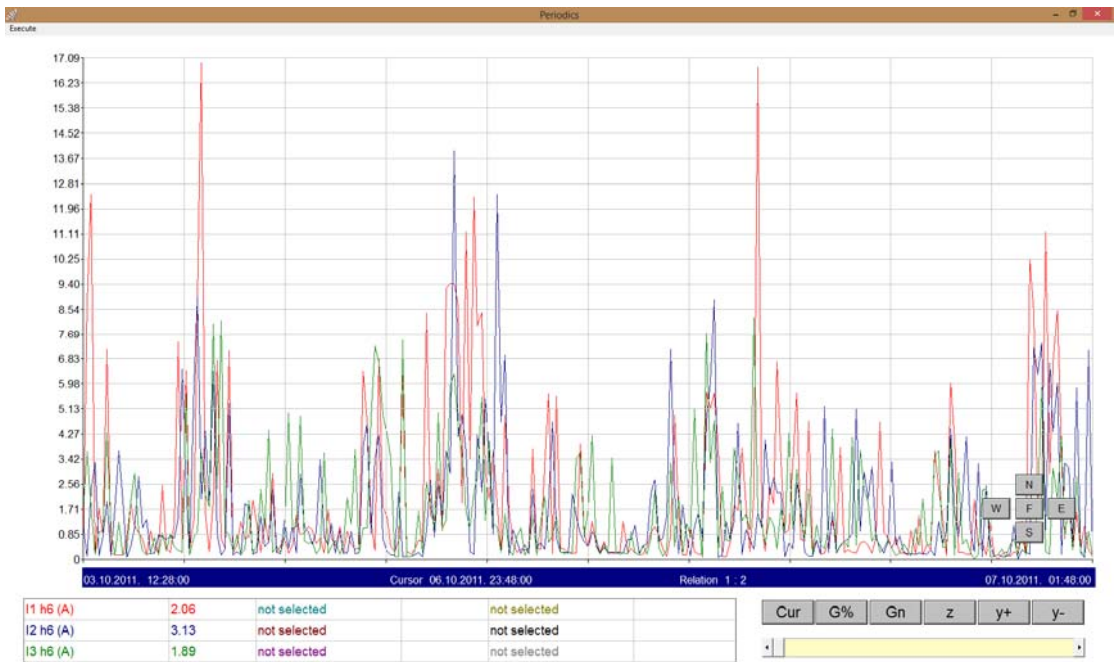
Σχήμα 6.38 3<sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις



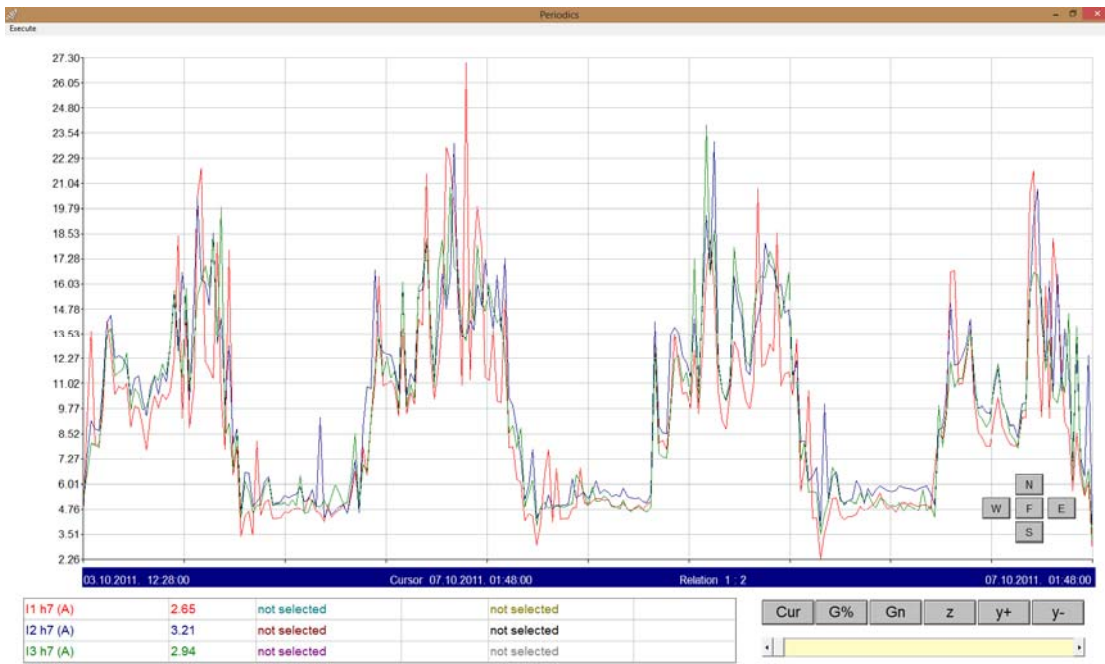
Σχήμα 6.39 4<sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις



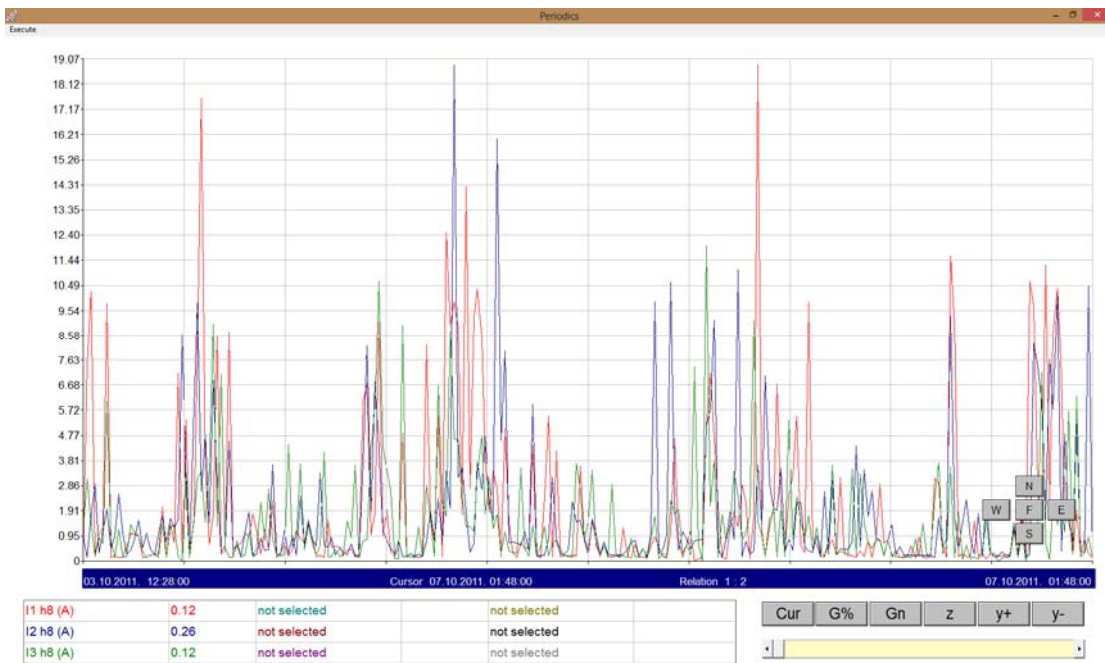
Σχήμα 6.40 5<sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις



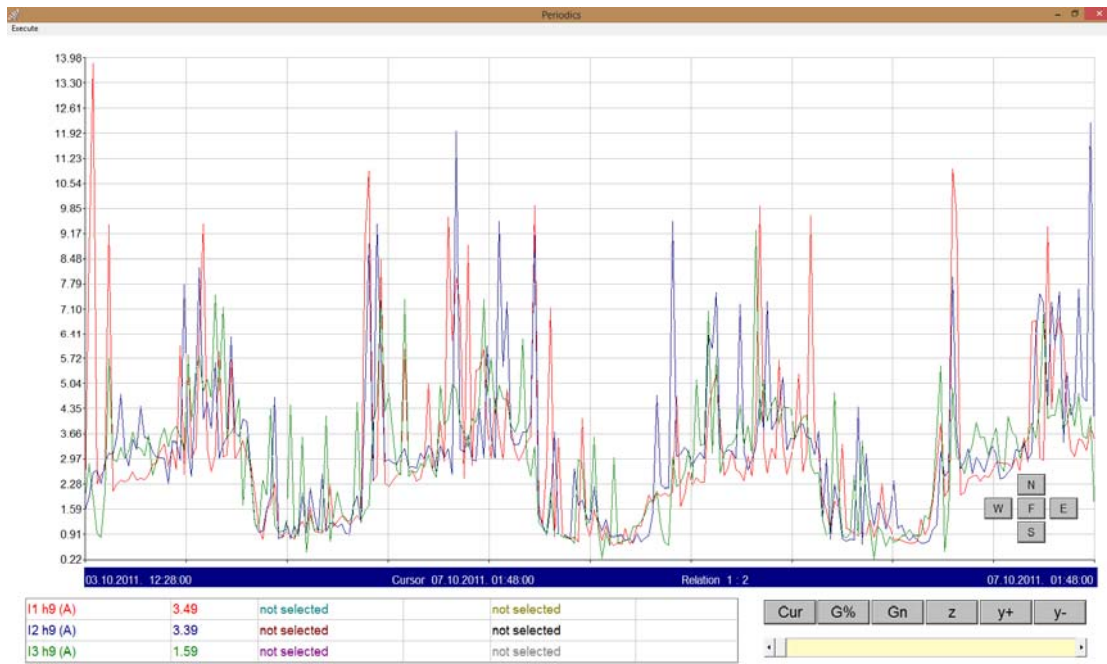
Σχήμα 6.41 6<sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις



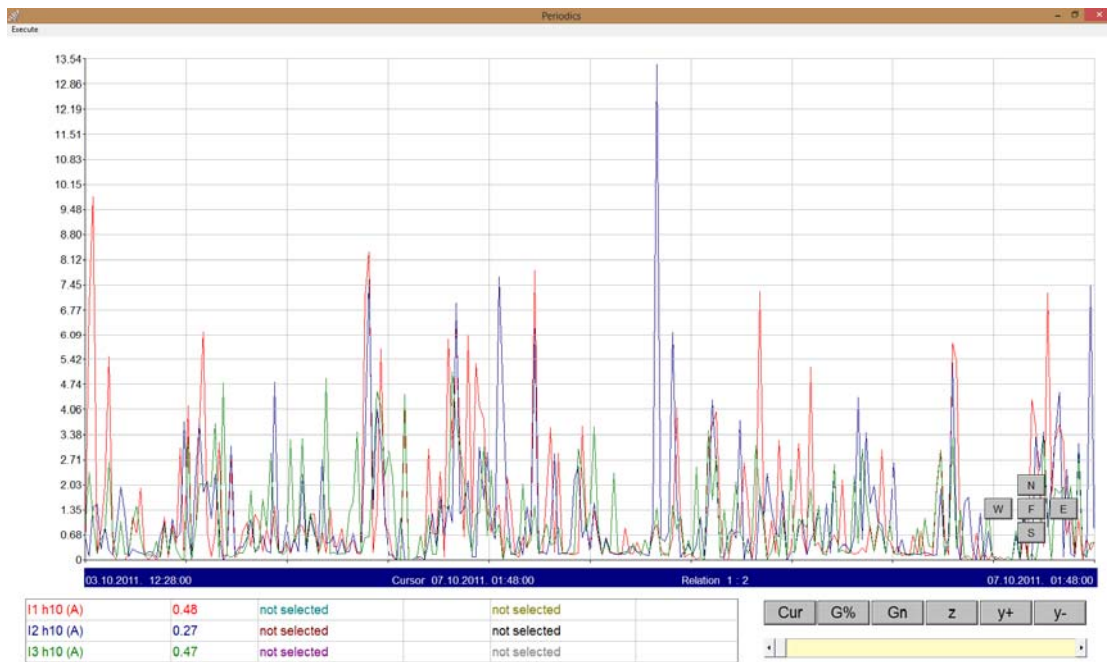
Σχήμα 6.42 7<sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις



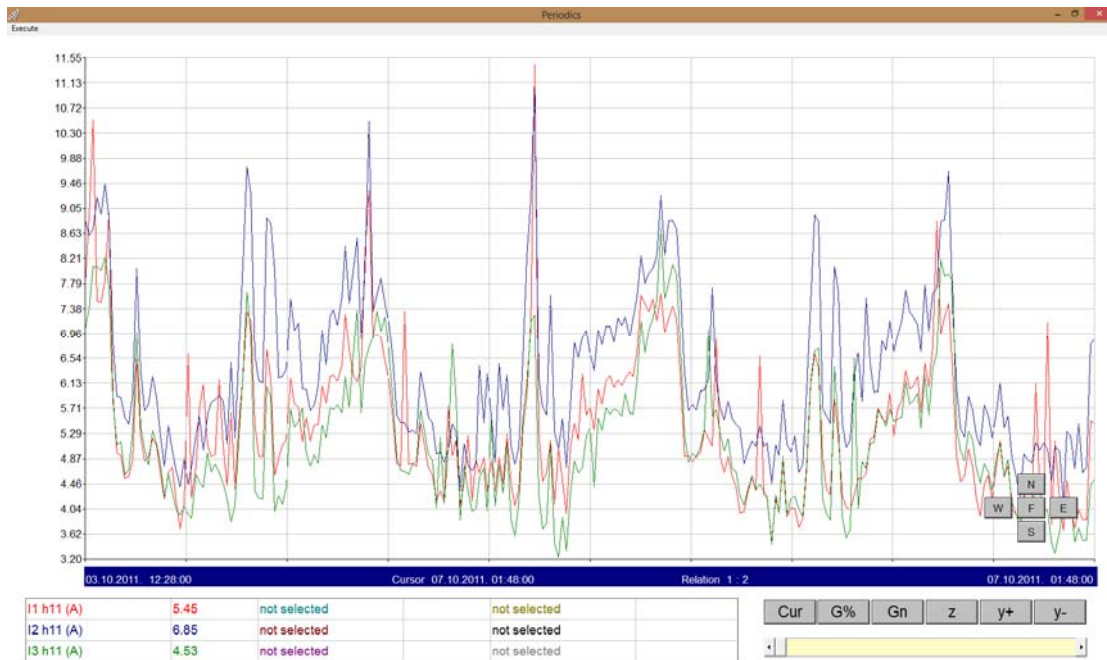
Σχήμα 6.43 8<sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις



Σχήμα 6.44 9<sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις



Σχήμα 6.45 10<sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις



Σχήμα 6.46 11<sup>η</sup> αρμονική για τις 3 φάσεις

## 6.2 Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Παρατηρούμε ότι η ύπαρξη αρμονικών είναι το κυριότερο πρόβλημα από όσα είχαμε προαναφέρει, επομένως θα πρέπει να αναζητήσουμε τη λύση στη θεραπεία των αρμονικών, ώστε να ελαχιστοποιήσουμε την επίδραση τους.

Τα παθητικά φίλτρα είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα αφού χρησιμοποιούνται στον περιορισμό των αρμονικών ρευμάτων. Αποτελούνται γενικά από τον εν σειρά συνδυασμό πυκνωτών και πηνίων. Τα παθητικά φίλτρα ακόμα ονομάζονται και «καταβόθρες» αρμονικών ρευμάτων επειδή απορροφούν αυτά τα ρεύματα. Τα φίλτρα αυτά παρουσιάζουν χαμηλή αντίσταση σε μια ή σε εύρος συχνοτήτων στις οποίες είναι συντονισμένα. Έτσι σε αυτές τις συχνότητες το κάθε φίλτρο έχει μικρή αντίσταση και έτσι «ελκύει» όλα τα ρεύματα αυτών των συχνοτήτων.

Παθητικά φίλτρα είναι εγκαταστημένα στην AC πλευρά ανορθωτών, σε drives μηχανών, σε συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS) και σε άλλα μη-γραμμικά φορτία για να μειώσουν / περιορίσουν την παραμόρφωση της τάσης ή/και του ρεύματος σε αποδεκτά επίπεδα στο σημείο της σύνδεσης με το δίκτυο παροχής της Ενέργειας. Η ανάλυση και η μελέτη για τα φίλτρα σε μια εγκατάσταση γίνεται με την προϋπόθεση ότι στο σύστημα έχω μόνιμη κατάσταση αν και στην πράξη τα φίλτρα θα πρέπει να λειτουργούν σε δυναμικές καταστάσεις (όπου κάποιοι από τους πυκνωτές ή και όλοι θα μπορούν να συνδέονται ή και να αποσυνδέονται από το δίκτυο). Παραδείγματα εφαρμογών όπου τα φίλτρα που βάζουμε είναι συνδεδεμένα/αποσυνδεδεμένα είναι τα drives των ασανσέρ, στους μετατροπείς σταθμών HVDC κτλ.

Σε συστήματα με πολλά φίλτρα είναι αναγκαίο να έχει γίνει πριν την εγκατάσταση μελέτη για το πόσα και ποια φίλτρα θα συνδέονται / αποσυνδέονται σε κάθε λειτουργική κατάσταση. Μια καλή πρακτική είναι πρώτα να αποσυνδέονται τα φίλτρα που αφορούν τις υψηλές αρμονικές και ύστερα αυτά που αφορούν τις πιο χαμηλές αρμονικές. Τα αντίθετα θα

πρέπει να συμβαίνουν κατά την σύνδεση των φίλτρων στο δίκτυο. Γενικά όμως θα πρέπει να γίνεται μελέτη πριν την ένταξη ενός φίλτρου στο σύστημα επειδή η απόκρισή τους είναι άμεσα εξαρτώμενη με την συγκεκριμένη εκείνη την στιγμή κατάσταση του συστήματος. Αν οι τράπεζες πυκνωτών έχουν φίλτρα τότε είναι λογικό τα φίλτρα να είναι συνέχεια συνδεδεμένα με το σύστημα και οι τράπεζες να χρησιμοποιούνται για την ρύθμιση της τάσης και του συντελεστή ισχύος

### 6.3 Κριτήρια για την Επιλογή Φίλτρου

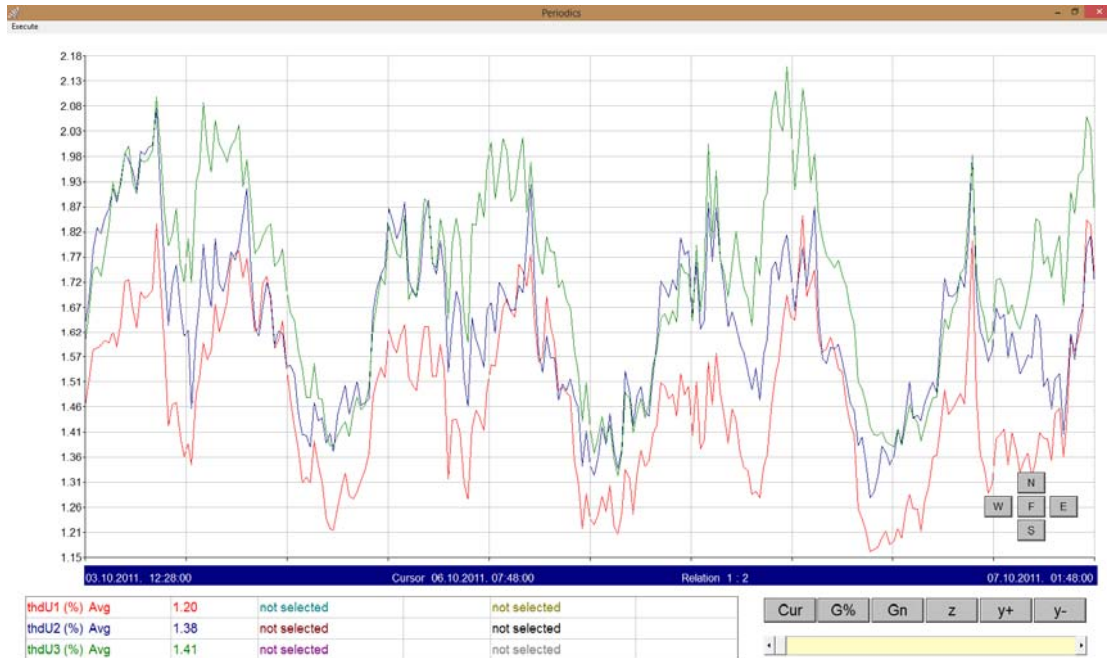
Το μέγεθος ενός φίλτρου ορίζεται ως η άεργος ισχύς που το φίλτρο παρέχει στη θεμελιώδη συχνότητα. Είναι ουσιαστικά ίσο με την άεργη ισχύ που παρέχεται από τους πυκνωτές στην θεμελιώδη συχνότητα. Το συνολικό μέγεθος όλων των κλάδων ενός φίλτρου καθορίζεται από τις απαιτήσεις σε άεργη ισχύ της πηγής αρμονικών και από το πόσο αυτήν η απαίτηση μπορεί να καλυφθεί από το δίκτυο.

Το ιδανικό κριτήριο για την σχεδίαση φίλτρων είναι η εξάλειψη όλων των επιζήμιων αποτελεσμάτων που προκαλούνται από την παραμόρφωση της κυματομορφής, συμπεριλαμβανομένης της τηλεφωνικής παρεμβολής, η οποία είναι η δυσκολότερη επίδραση για να εξαλειφθεί πλήρως. Εντούτοις, το παραπάνω ιδανικό κριτήριο είναι μη ρεαλιστικό για τεχνικούς και οικονομικούς λόγους. Από τεχνικής απόψεως, είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστεί εκ των προτέρων η κατανομή των αρμονικών σε όλο το δίκτυο. Από οικονομικής πλευράς, η μείωση της τηλεφωνικής παρεμβολής μπορεί να επιτευχθεί οικονομικότερα με τη λήψη μερικών προληπτικών μέτρων στο τηλεφωνικό σύστημα και άλλων στο σύστημα ισχύος.

Μια πρακτικότερη προσέγγιση είναι να γίνει προσπάθεια να περιοριστεί το πρόβλημα σε ένα αποδεκτό επίπεδο στο σημείο κοινής ζεύξης (point of common coupling) με άλλους καταναλωτές, με το πρόβλημα να εκφράζεται είτε με όρους αρμονικού ρεύματος, αρμονικής τάσης, είτε και των δύο. Ένα κριτήριο, βέβαια, που είναι βασισμένο στην αρμονική τάση είναι καταλληλότερο για τον σχεδιασμό φίλτρων, επειδή είναι ευκολότερο να παραμείνει η τάση μέσα σε ένα λογικό όριο από το να περιοριστεί το ρεύμα καθώς η σύνθετη αντίσταση του δικτύου αλλάζει.

Ο δείκτης THD της τάσης είναι περισσότερος αντιπροσωπευτικός από το αριθμητικό άθροισμα, επειδή αντιστοιχεί στην ισχύ των αρμονικών και συσχετίζεται επομένως περισσότερο με τη δριμύτητα-οξύτητα της διαταραχής. Τα συνιστώμενα κριτήρια για τα φίλτρα μετατροπέων H.V.d.c. είναι το ανώτατο όριο οποιασδήποτε αρμονικής και το THD. Γενικά είναι ικανοποιητικό να περιληφθούν όλες οι αρμονικές μέχρι την 25η τάξη αρμονικής. Οι μέγιστες τιμές των μεμονωμένων αρμονικών εμφανίζονται γενικά για διαφορετικές περιπτώσεις. Είναι επομένως απαραίτητο να διευκρινιστεί εάν για τον υπολογισμό του THD πρέπει να χρησιμοποιηθούν εκείνες οι τιμές των αρμονικών που μπορούν να εμφανιστούν ταυτόχρονα, ή εκείνες οι τιμές (οι μέγιστες για κάθε αρμονική) που είναι μη-συμπίπτουσες χρονικά. Όσον αφορά την τηλεφωνική παρεμβολή, αν και χρησιμοποιείται σε διάφορα προγράμματα, η χρήση του δείκτη IT σε έναν κόμβο ενός συστήματος μετάδοσης έχει λίγη σημασία. Εντούτοις, σε περιπτώσεις όπου η ειδική αντίσταση της γης είναι υψηλή είναι σωστό τα μεγέθη των αρμονικών ρευμάτων που ρέουν στις συγκεκριμένες γραμμές μεταφοράς που βρίσκονται κοντά στις τηλεφωνικές γραμμές να περιοριστούν.

Για να ελέγξουμε κατά πόσο επηρεάζουν οι παραπάνω αρμονικές την ποιότητα ισχύος επομένως, βάσει των αποτελεσμάτων της προηγούμενης παραγράφου, θα χρησιμοποιήσουμε το δείκτη THD. Εάν το THD για την τάση, είναι μικρότερο του 5% και δεν παρατηρούνται μεγάλες τιμές ανώτερων αρμονικών, το επίπεδο αρμονικών διαταραχών είναι ικανοποιητικό, κάτι που ικανοποιείται στην περίπτωση μας, όπως φαίνεται και από το **Σχήμα 6.47**, όπου η μέγιστη τιμή δεν ξεπερνάει το 2.18%.



**Σχήμα 6.47** Υπολογισμός του THD για τις 3 τάσεις



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] [http://europa.eu.int/comm/consumers/cons\\_safe/prod\\_safe/defect\\_prod/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/consumers/cons_safe/prod_safe/defect_prod/index_en.htm)

[2] MODERN POWER QUALITY MEASUREMENT TECHNIQUES by Metrel®  
[http://www.shmcomms.co.uk/images/PDFs/AN\\_power\\_meas\\_tech.pdf](http://www.shmcomms.co.uk/images/PDFs/AN_power_meas_tech.pdf)

[3] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan , H. Wayne Beaty , “Electrical Power Systems Quality”, Mc Graw-Hill, ISBN-0-07-018031-8.

[4] Ph. Feracci, “Power Quality”, Cahier technique no.199, Schneider Electric.

[5] <http://www.protasis.net.gr/en/protasis-sa-protection-control-monitoring>

[6] Στέφανος Ν. Μανιάς , “Ηλεκτρονικά Ισχύος” , εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2000

[7] Τεχνικές Προδιαγραφές για τη Σύνδεση Παραγωγών στα Δίκτυα Διανομής , Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Διεύθυνση Ανάπτυξης και Διαχείρισης Δικτύων , Αθήνα 2004.

[8] Power Quality and DER: an overview of the impact of the different power-quality disturbances on DER and of the impact of DER on the different power-quality disturbances, EU-DEEP, FP6 Project: SES6-CT-2003-503516.

[9] Power Quality Application Guide, Hans De Keulenaer, European Copper Institute, May 2002