



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

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ
ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Α. ΛΑΓΓΟΥΡΑΝΗΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΤΟΠΑΛΗΣ ΦΡΑΓΚΙΣΚΟΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.**

Αθήνα, Μάιος 2007



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

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ
ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Α. ΛΑΓΓΟΥΡΑΝΗΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΤΟΠΑΛΗΣ ΦΡΑΓΚΙΣΚΟΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

.....
ΦΡΑΓΚΙΣΚΟΣ	ΙΩΑΝΝΗΣ	ΠΕΡΙΚΛΗΣ
ΤΟΠΑΛΗΣ	ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ	ΜΠΟΥΡΚΑΣ
ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2007

.....

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Α. ΛΑΓΓΟΥΡΑΝΗΣ

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

Copyright © ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Α. ΛΑΓΓΟΥΡΑΝΗΣ, 2007

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται τα κριτήρια για τον χαρακτηρισμό της ποιότητας ισχύος ενός δικτύου. Προς αυτή την κατεύθυνση, χρησιμοποιήθηκαν όλες οι διαταραχές που καταγράφονται στην διεθνή βιβλιογραφία και επηρεάζουν την ποιότητα της ηλεκτρικής ισχύος. Τέτοιες διαταραχές είναι οι διακοπές τροφοδοσίας, οι βυθίσεις, οι αργές και ταχείες μεταβολές της τάσης, οι αρμονικές, η μεταβολή της συχνότητας, η ασυμμετρία των φάσεων, το φλίκερ, οι παροδικές υπερτάσεις και θόρυβος.

Οι διαταραχές αυτές μελετήθηκαν εκτενώς, τόσο ως προς τις αιτίες δημιουργίας τους, όσο και ως προς τα αποτελέσματα τους στον ηλεκτρικό εξοπλισμό. Βάσει της γνώσης που αποκτήθηκε συντάχθηκε ένα ερωτηματολόγιο, που στόχο είχε να καταγράψει την γνώμη των καταναλωτών σχετικά με την σοβαρότητα των διαταραχών.

Τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου και η γνώση από την μελέτη των διαταραχών, χρησιμοποιήθηκαν σαν βάση δεδομένων για την λήψη αποφάσεων σε ένα έμπειρο σύστημα που κατασκευάστηκε με την χρήση της ασαφούς λογικής (fuzzy logic). Το σύστημα στηρίζεται στην πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων και συνδυάζει τις επιπτώσεις όλων των διαταραχών.

Είσοδος για το σύστημα αποτελούν οι στατιστικές τιμές εμφάνισης των διαταραχών και έξοδος του αποτελεί ο Ασαφής Δείκτης Αξιολόγησης (Fuzzy Site Index). Οι τιμές του δείκτη αντιστοιχίζονται σε λεκτικούς όρους (αποασαφοποιούνται). Ο εκάστοτε λεκτικός όρος αποτελεί στοιχείο εκτίμησης της ποιότητας ισχύος ενός δικτύου.

ABSTRACT

In this Thesis, the criteria for the evaluation of power quality in an electrical grid are examined. To this direction, all the disturbances that are recorded in the international bibliography and influence the power quality are used. Such disturbances are the short and long interruptions, the sags, the slow and rapid voltage variations, the harmonics, the frequency variations, the unbalances, the flicker, the transients and the noise.

These disturbances were studied extensively to investigate their causes and the influence they have in the electric equipment. According to the knowledge that was acquired, a questionnaire was composed, and the opinion of consumers was recorded with regard to the gravity of disturbances.

The results of questionnaire and the knowledge from the study of disturbances were used as data base for the decision-making in an experienced system that was created with the use of fuzzy logic. The system is based on the multicriterial decision-making and combines the repercussions of all disturbances.

Input of the system are the statistical values of disturbances and output is the Fuzzy Site Index (FSI). The values of FSI correspond to verbal terms. Each verbal term constitutes an estimation of the grid power quality.

Πρόλογος

Η παρούσα Διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά την διάρκεια των σπουδών μου στο δέκατο εξάμηνο της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2006-2007.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές και ειλικρινείς μου ευχαριστίες στον Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κ. Τοπαλή Φραγκίσκο για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, καθώς και για την ενθάρρυνση και τη βοήθειά του.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάκτορα της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κ. Βόκα Γεώργιο για τη συνεχή παρακολούθηση της πορείας της διπλωματικής μου εργασίας, την καθοδήγησή του, τις πολύτιμες συμβουλές και το ενδιαφέρον που έδειξε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον κ. Μπλάνα (ΔΕΣΜΗΕ) για την προθυμία που επέδειξε κατά τη συνεργασία μας και τις πολύτιμες εμπειρίες και απόψεις που προσέφερε. Επίσης, εκφράζονται θερμές ευχαριστίες προς τον κ. Λάγιο εμπορικό υπεύθυνο της ΔΕΗ για την πολύτιμη συνεισφορά στην διαμόρφωση του ερωτηματολογίου και την επικοινωνία με τους καταναλωτές.

Θερμές ευχαριστίες προς όλους τους τεχνικούς υπεύθυνους των εταιριών που συμμετείχαν στην έρευνα για τη διάθεση των στοιχείων που μας παρείχαν και την προθυμία για συνεργασία που επέδειξαν.

Στην παρούσα εργασία χρειάστηκε πολλές φορές η βοήθεια αρκετών ανθρώπων από την αγορά, ώστε το ασαφές σύστημα να στηρίζεται σε ρεαλιστικά δεδομένα. Για τις πληροφορίες και τα στοιχεία που μου διέθεσαν θα ήθελα να τους εκφράσω τις ευχαριστίες μου.

Αθήνα, Μάιος 2007
Παναγιώτης Α. Λαγγουράνης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.1. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	12
1.2. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΖΗΤΗΜΑΤΟΣ.....	20
1.3. ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΙ ΣΚΕΠΤΙΚΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ.....	22
1.4. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	27
2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ	28
2.0. ΓΕΝΙΚΑ.....	28
2.1. ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ	31
2.1.0. ΓΕΝΙΚΑ.....	31
2.1.1. ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ.....	32
2.1.2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ	32
2.1.3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ	33
2.2. ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΤΗΣ ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΗΣ ΤΑΣΗΣ.....	33
2.2.0. ΓΕΝΙΚΑ.....	33
2.2.1. ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ.....	33
2.2.2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ.....	33
2.2.3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ	34
2.3. ΠΑΡΟΔΙΚΗ ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ (SAG, DIP)	35
2.3.1. ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ.....	41
2.3.2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ.....	42
2.3.3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ	47
2.3.4. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΥΠΟ ΕΡΕΥΝΑ.....	50
2.4. ΠΑΡΟΔΙΚΗ ΥΠΕΡΤΑΣΗ (SWELL).....	51
2.4.1. ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ.....	51
2.4.2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ.....	51
2.4.3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ	52
2.5. ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ.....	52
2.5.0. ΓΕΝΙΚΑ.....	52
2.5.1. ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ.....	52
2.5.2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ.....	53
2.5.3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ	54
2.6. FLICKER.....	54
2.6.0. ΓΕΝΙΚΑ.....	54
2.6.1. ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ.....	56
2.6.2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ.....	57
2.6.3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ	58
2.7. ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ ΤΩΝ ΦΑΣΕΩΝ	63
2.7.0. ΓΕΝΙΚΑ.....	63
2.7.1. ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ.....	66

2.7.2.	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ.....	66
2.7.3.	ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ	70
2.8.	ΜΕΤΑΓΩΓΙΚΗ ΥΠΕΡΤΑΣΗ	71
2.8.0.	ΓΕΝΙΚΑ ΚΑΙ ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ	71
2.8.1.	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ.....	74
2.9.	ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ ΤΑΣΗΣ	77
2.9.0.	ΓΕΝΙΚΑ.....	77
2.9.1.	ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ	79
2.9.2.	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ.....	84
2.9.3.	ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ	92
2.9.4.	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΥΠΟ ΕΡΕΥΝΑ	95
2.10.	ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ.....	95
2.10.0.	ΓΕΝΙΚΑ.....	95
2.10.1.	ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ	96
2.10.2.	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ.....	96
2.11.	ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ, ΑΚΜΗ (NOTCHING) & ΘΟΡΥΒΟΣ (NOISE) 97	
2.11.1.	ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ.....	99
2.11.2.	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ.....	99
2.11.3.	ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ	99
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	.....	100
3.	ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ - ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ 101	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	.....	131
4.	ΑΣΑΦΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	132
4.0	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	132
4.1	ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ	133
4.1.1.	ΜΟΝΙΜΗ ΔΙΑΚΟΠΗ – 1 ^ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ.....	139
4.1.2.	ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΔΙΑΚΟΠΗ – 2 ^ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ.....	142
4.1.3.	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ – 3 ^ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ 145	
4.1.4.	ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΤΑΣΕΩΣ – 4 ^ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ	149
4.1.5.	ΦΛΙΚΕΡ – 5 ^ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ	153
4.1.6.	ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ ΤΩΝ ΦΑΣΕΩΝ – 6 ^ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ.....	156
4.1.7.	ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ – 7 ^ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ	158
4.1.8.	ΥΠΟΤΑΣΗ / ΥΠΕΡΤΑΣΗ – 8 ^ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ.....	164
4.2	ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ	167
4.2.1.	ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ	173
4.2.2.	ΠΑΡΟΔΙΚΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ.....	174
4.2.3.	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ.....	175
4.2.4.	ΒΥΘΙΣΕΙΣ	176
4.2.5.	ΦΛΙΚΕΡ.....	177
4.2.6.	ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ ΦΑΣΕΩΝ.....	178

4.2.7.	ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ	179
4.2.8.	ΥΠΟΤΑΣΗ / ΥΠΕΡΤΑΣΗ	181
4.3	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΘΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ.....	182
4.3.1.	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΣΑΦΟΥΣ ΔΕΙΚΤΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	182
4.3.2.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ	190
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	.....	197
5.	ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	198
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	.....	202
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	.....	211
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	.....	212
A.0.	Σκοπός.....	213
A.1.	Εμβέλεια	213
A.2.	Χαρακτηριστικά της παρεχόμενης τάσης.....	214
A.2.1.	Ισχύς.....	217
A.2.2.	Διακυμάνσεις της παρεχόμενης τάσης.....	218
A.2.3.	Ταχείες μεταβολές της τάσης.....	218
A.2.4.	Βυθίσεις στην παρεχόμενη τάση	218
A.2.5.	Παροδικές υπερτάσεις στην παρεχόμενη τάση	218
A.2.6.	Διακοπές της παρεχόμενης τάσης τροφοδοσίας	219
A.2.7.	Σοβαρότητα του flicker.....	219
A.2.8.	Ασυμμετρία παρεχόμενης τάσης	219
A.2.9.	Μεταβατικές υπερτάσεις.....	219
A.2.10.	Αρμονική τάση.....	219
A.2.11.	Ενδιάμεσων αρμονικών τάσης.....	220
A.2.12.	Βασικά Σήματα	220
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	.....	223
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ .....	.....	231
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ .....	.....	235

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Όταν πρωτοκατασκευάστηκαν τα Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας η ζήτηση και από οικιακούς αλλά και από βιομηχανικούς καταναλωτές ήταν κατά κάποιο τρόπο σταθερή (συγκεκριμένη). Η πλατιά διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας αποτέλεσε όμως την βάση για περαιτέρω ανάπτυξη του δικτύου.

Με το πέρασ του χρόνου οι απαιτήσεις σε Ενέργεια αυξήθηκαν σε επίπεδο τέτοιο που άγγιζαν την πλήρη χωρητικότητα του τοπικού δικτύου. Αυτό προκάλεσε σημαντικά προβλήματα τόσο στην κάλυψη της παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας όσο και στις εταιρίες που την παρείχαν.

Στην προσπάθεια να δοθεί λύση στις αυξανόμενες απαιτήσεις μερικές χώρες ενθάρρυναν την ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών μεθόδων χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η «συμπίεση» των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων οδήγησε σε αυξανόμενης πολυπλοκότητας συστήματα στην βιομηχανία, στις τηλεπικοινωνίες, στο τομέα της υγείας, σε εμπορικές δραστηριότητες κ.α.. Αυτά τα κυκλώματα, παρόλο που εισήγαγαν αυξημένες ταχύτητες λειτουργίας και πολυπλοκότητα απαιτήσεων, τυπικά χρειάζονταν τα ίδια ή και μικρότερα επίπεδα ενέργειας από ότι τα προηγούμενα. Παρόλα αυτά, η πλειοψηφία αυτών των κυκλωμάτων (ελεγκτές κυμαινόμενης ταχύτητας, PC, νοσοκομειακοί εξοπλισμοί, ηλεκτρικοί κλίβανοι και φούρνοι ηλεκτρικών τόξων κ.α.), χρησιμοποιούν τεχνικές γρήγορων διακοπών (switch mode techniques) που λειτουργούν σαν *μη γραμμικά φορτία* ή αλλιώς σαν *‘γεννήτριες διαταραχών’* οι οποίες υποβιβάζουν την Ποιότητα της Παρεχόμενης Ηλεκτρικής Ισχύος [9].

Το ερώτημα που αρχικά τέθηκε είναι ‘τι είναι Ποιότητα Ισχύος και αν αυτός ο όρος είχε πάντοτε και για όλους την ίδια σημασία’. Για να απαντήσουμε στο συγκεκριμένο ερώτημα πρέπει πρώτα να προσδιορίσουμε πότε και γιατί τέθηκε η ανάγκη διατύπωσης του όρου ‘ποιότητα ισχύος’.

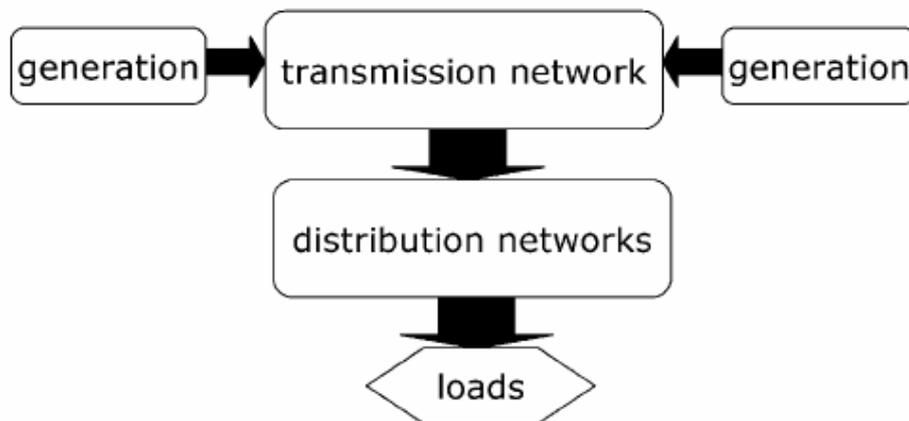
Σκοπός του Ηλεκτρικού Δικτύου από κατασκευής του είναι να παράγει ηλεκτρική ενέργεια και να μεταφέρει αυτήν την ενέργεια στον τελικό καταναλωτή σε επιθυμητό επίπεδο τάσης. Ο περιορισμός που έμπαινε παραδοσιακά ήταν ο τεχνικός στόχος να επιτευχθεί για *λογικό κόστος*[13]. Το ευνοϊκότερο επίπεδο επένδυσης προσπαθούσε να επιτευχθεί με συνεχή ανακατανομή μεταξύ αξιοπιστίας και κόστους.

Ο στόχος ενός δικτύου θέτει την ανάγκη τροφοδότησης των καταναλωτών με αποδεκτό επίπεδο τάσης. Αυτό αποτελεί από μόνο του ένα περιορισμό. Είναι κάτι σαν γενικό όριο που πρέπει να τηρείται. Έτσι τίθεται η ανάγκη προσδιορισμού κάποιας έννοιας που θα ποσοτικοποιεί την αξιοπιστία του δικτύου.

Αρχικά ο διαχειριστής του συστήματος αντιμετώπιζε συχνά αντιδράσεις των βιομηχανικών καταναλωτών σχετικά με την ‘ευρύτητα’ που θα είχε ο όρος ‘αξιοπιστία’. ‘Έπρεπε να συμπεριλαμβάνονται μόνο οι μόνιμες διακοπές;’ ή ‘μήπως ήταν σωστότερο να συμπεριλαμβάνονται και οι παροδικές διακοπές ή ακόμα και οι βυθίσεις τάσεως’[11].

Ο όρος **ποιότητα ισχύος** πρωτοεμφανίστηκε αναφερόμενος σε άλλα χαρακτηριστικά της παρεχόμενης τάσης πέρα των μόνιμων διακοπών. Αλλά η πρώτη διαμάχη ξεκίνησε όταν η εταιρία παροχής συμπεριέλαβε στον όρο ποιότητα ισχύος και διαταραχές που οφείλονταν στους καταναλωτές.

Ο τρόπος που ήταν δομημένο το **Σ.Η.Ε.** τα προηγούμενα χρόνια επέτρεπε στους καταναλωτές να μην θέλουν να δεχτούν τις ευθύνες τους για την δημιουργία προβλημάτων στο δίκτυο [11]. Η δομή του **Σ.Η.Ε.** φαίνεται στο **Σχήμα 1.1**, όπως ακριβώς μπορεί να βρεθεί σε πολλά βιβλία. Οι καταναλωτές συνήθως αναφέρονται σαν φορτία (loads).



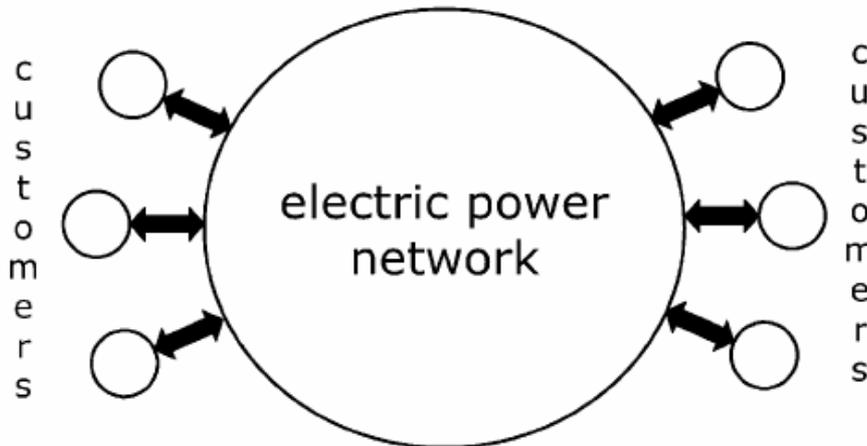
Σχήμα 1.1. : Κλασικό μοντέλο ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας [11]

Ένα πλήθος εξελίξεων οδήγησαν σε μία διαφορετική οπτική για τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι εξελίξεις είναι άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους, αλλά εδώ μπορούμε να αναφέρουμε τις τρεις κυριότερες [11]:

- Η **απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας** δημιουργεί το τοπίο, όπου δεν υπάρχει πλέον ένα μοναδικό σύστημα αλλά ένα πλήθος ανεξάρτητων εταιριών παραγωγής με καταναλωτές.
- **Οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας** έχουν ενδιαφερθεί περισσότερο για τα δικαιώματα τους και απαιτούν φτηνή ηλεκτρική ενέργεια **υψηλής αξιοπιστίας και ποιότητας**. Η προτεραιότητα μεταξύ των προηγούμενων χαρακτηριστικών διαφοροποιείται για διαφορετικού τύπου καταναλωτές. Οι καταναλωτές δεν είναι πια διατεθειμένοι να δεχτούν την θέση τους, σαν μία ακόμα παράμετρο στον κεντρικό σχεδιασμό του συστήματος.
- **Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας** μεταφέρεται από τις κλασσικές μεγάλες μονάδες παραγωγής, που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο μεταφοράς υψηλής τάσης, **σε μικρότερες μονάδες** που είναι συνδεδεμένες σε χαμηλότερα επίπεδα τάσης. Παραδείγματα είναι οι μονάδες συνδυασμένου **θερμοδυναμικού κύκλου** και οι **μονάδες παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**, όπως την αιολική και την ηλιακή.

Εξαιτίας αυτών των γεγονότων τα ηλεκτρικά συστήματα δεν μπορούν πλέον να θεωρούνται σαν μία οντότητα, αλλά σαν ένα **δίκτυο ηλεκτρισμού** με αρκετούς

πελάτες. Αυτό το νέο μοντέλο απεικονίζεται στο **Σχήμα 1.2**. Εδώ πρέπει να τονίσουμε πως η φυσική δομή του ηλεκτρικού συστήματος (δικτύου) δεν έχει αλλάξει, μόνο ο τρόπος θεώρησης άλλαξε.



Σχήμα 1.2: Σύγχρονο μοντέλο ενός ηλεκτρικού δικτύου [11]

Στο **Σχήμα 1.2** φαίνεται πως το ηλεκτρικό δίκτυο συνδέει μερικούς ή πολλούς πελάτες. Οι πελάτες μπορεί να καταναλώνουν ή και να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια ή ακόμα **και τα δύο** σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. *Διαφορετικού τύπου καταναλωτές έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε πλάτος τάσης, συχνότητα, κυματομορφή, κ.α.. Διαφορετικοί καταναλωτές έχουν διαφορετικού τύπου διακυμάνσεις του ρεύματος, διακύμανση ζήτησης και παραμόρφωση κυματομορφής, πράγμα που σημαίνει ότι 'μολύνουν' την τάση στους άλλους καταναλωτές με διαφορετικό τρόπο.*

Το ηλεκτρικό σύστημα **Σχήματος 1.2**, θα μπορούσε να είναι ένα δίκτυο μεταφοράς, ένα δίκτυο διανομής, ένας εργοστασιακός χώρος ή και ένα απλό ακόμα σύστημα που ανήκει σε μία μόνο εταιρία. Αυτή είναι και η δυναμική αυτού του συστήματος.

Για το δίκτυο μεταφοράς, οι πελάτες είναι για παράδειγμα σταθμοί παραγωγής, δίκτυα διανομής, μεγάλοι βιομηχανικοί καταναλωτές (οι οποίοι θα μπορούσαν να παράγουν και να καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, ανάλογα με την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας εκείνη την στιγμή) ή και άλλα δίκτυα μεταφοράς.

Για το δίκτυο διανομής, οι πελάτες είναι επί του παρόντος κυρίως τελικοί-χρήστες (end-users) που προς το παρόν μόνο καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης είναι και τα δίκτυα μεταφοράς και μικρότεροι σταθμοί παραγωγής και πελάτες. Πρέπει να επισημάνουμε ότι στην ομαδοποίηση που κάναμε στο παραπάνω **Σχήμα** όλοι οι καταναλωτές είναι ίσοι, ακόμα και αν σε πολλές περιπτώσεις κάποιος μπορεί να παράγει, ενώ κάποιος άλλος να καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια. Ο ρόλος της εταιρίας που κατέχει τα δίκτυα είναι μόνο να μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια, ή με οικονομικούς όρους: να επιτρέψει τις συνδιαλλαγές μεταξύ καταναλωτών. Ο τεχνικός ρόλος ενός δικτύου ενέργειας είναι να επιτρέψει την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ διαφορετικών καταναλωτών, να μπορεί να εγγυηθεί παροχή αποδεκτής τάσης και να επιτρέψει οποιαδήποτε ρεύματα να απορροφούνται από τους καταναλωτές.

Σε ένα ιδανικό δίκτυο κάθε καταναλωτής θα πρέπει να δέχεται την παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια από μία **ισοδύναμη ιδανική πηγή τάσης με μηδενική επαγωγική αντίδραση** [1]. Οποιοδήποτε και αν ήταν το ρεύμα, η τάση θα πρέπει να διατηρείται σταθερή. Όπως πάντα, η πραγματικότητα είναι διαφορετική. Την ποιότητα ισχύος την αφορά αυτή η διακύμανση μεταξύ πραγματικότητας και ιδανικής κατάστασης.

Το νέο αυτό μοντέλο γίνεται αρκετά ελκυστικό σκεπτόμενοι και την είσοδο των ανανεώσιμων και άλλων φιλικών προς το περιβάλλον πηγών ενέργειας, στο ηλεκτρικό σύστημα. Το ηλεκτρικό δίκτυο δεν είναι πια η *οριακή συνθήκη* που περιορίζει για παράδειγμα το μέγεθός της ενέργειας από αιολικά πάρκα, που μπορεί να παραχθεί σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία. Αντιθέτως η δουλειά του δικτύου είναι πλέον να μεταφέρει την ενέργεια από αιολικά πάρκα που παράγεται. Έτσι γίνεται πλέον ξεκάθαρο ότι η τελική λύση θα πρέπει να βρεθεί σε **συνεργασία μεταξύ καταναλωτών και του διαχειριστή του συστήματος**, λαμβάνοντας υπόψη τους πολλούς **τεχνικούς και οικονομικούς περιορισμούς** [11], [9].

Υπάρχουν πολλές απόψεις σχετικά με τους περιορισμούς που μπορεί να βάλει το δίκτυο στην αγορά. Μία πολυσυζητημένη είναι η **περιορισμένη δυνατότητα του συστήματος σε μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας**. Πρέπει να παρατηρήσουμε ότι η έλλειψη στην *χωρητικότητα παραγωγής* (generation capacity) δεν είναι μία έλλειψη του δικτύου, αλλά μία **έλλειψη στην αγορά**.

Σε αυτόν τον σύγχρονο τρόπο οπτικής του ηλεκτρικού συστήματος η εταιρία παροχής δεν αγοράζει και πουλάει πλέον ηλεκτρική ενέργεια, αλλά αντιθέτως **πουλάει χωρητικότητα μεταφοράς και πρόσβαση στο δίκτυο**.

Το πρόβλημα με τους περιορισμούς της χωρητικότητας που αναφέραμε έχει να κάνει με την αξιοπιστία του συστήματος στην περίπτωση που χαθεί μία γραμμή μεταφοράς. Στην γενική περίπτωση πρέπει να ισχύει ο κανόνας της n-1 εφεδρείας. Αυτό που παρατηρείται στην Ελλάδα είναι η ζήτηση ενέργειας από τα Βαλκάνια. Το πρόβλημα είναι πως στην περίπτωση που χαθεί κάποια γραμμή και δεν ικανοποιείται ο τεχνικός περιορισμός n-1, είναι πολύ πιθανόν η εφεδρεία ενέργειας να μην επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών. Αποτέλεσμα θα είναι κάποιες γραμμές μεγάλης ζήτησης να βγαίνουν εκτός λειτουργίας μέχρι να αποκατασταθεί το πρόβλημα. Κάποιες φορές μπορεί το πρόβλημα να πάρει μεγάλες διαστάσεις.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το Black Out στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ. Στην περιοχή για περιβαλλοντικούς λόγους, είχαν μεταφερθεί τα εργοστάσια παραγωγής **ΗΕ** εκτός πολιτείας. Σε μία περίπτωση που χάθηκαν κάποιες από τις διασυνδέσεις δημιουργήθηκε πρόβλημα που ακολούθησε το φαινόμενο της χιονοστιβάδας με αποτέλεσμα να υπάρχει συνολικό Black Out. Για τον λόγο αυτό θα ήταν σωστότερο να υπάρχουν κανόνες στην αγορά και να μην αφήνονται όλα στην τύχη αφού πρέπει να υπάρξει ένας κεντρικός σχεδιασμός, όπως επεσήμανε και ο κ. Μπλάνας (ΔΕΣΜΗΕ).

Για τον λόγο αυτό ήταν πλέον επιτακτική ανάγκη να ορισθούν κάποια μεγέθη αξιοπιστίας που θα μπορούν να κρίνουν ένα δίκτυο για την καταλληλότητά του.

Τέθηκε η αναγκαιότητα του ορισμού της 'ποιότητας ισχύος'. Υπάρχει μεγάλη σύγχυση όσον αφορά την ερμηνεία του όρου και όχι άδικα αφού η ισχύς (power) χρησιμοποιείται σαν συνώνυμο του ηλεκτρισμού (electricity) στην Αμερική, ενώ

ταυτόχρονα σημαίνει και την ανά μονάδα χρόνου παραγωγή η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν πολλοί ορισμοί για το τι είναι ποιότητα ισχύος βασιζόμενοι στην προσωπική άποψη του καθενός.

Ένας απλός ορισμός, δεκτός από τους περισσότερους καταναλωτές, παρουσιάζει την ποιότητα ισχύος σαν ‘ικανοποιητική’ αν οι συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας *δουλεύουν ικανοποιητικά* [9]. Συνήθως, χαμηλή ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος από ο δίκτυο, γίνεται αντιληπτή σαν ανάγκη για επαναλαμβανόμενη επανεκκίνηση του προσωπικού υπολογιστή σας, άνοιγμα ασφάλειας των ευαίσθητων συσκευών, φλίκερ (τρεμόπαιγμα του φωτός που παρέχουν οι λάμπες πυρακτώσεως), ή λάθος λειτουργία των ηλεκτρονικών ελεγκτών οδήγησης. Από την άλλη πλευρά, οι εταιρίες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας θα χαρακτήριζαν την ποιότητα ισχύος σαν τις παραμέτρους εκείνες της τάσης που επηρεάζουν την λειτουργία των ευαίσθητων φορτίων.

Είναι αλήθεια ότι η αιτία δημιουργίας πολλών προβλημάτων μπορεί να οφείλεται στις διάφορες διαταραχές της παρεχόμενης τάσης. Μία έρευνα που διεξήχθη από την «Georgia Power» κατά την δεκαετία του ’90 αποκάλυψε πως η άποψη της των εταιριών παροχής της **ΗΕ** θέλει τα προβλήματα της ποιότητας ισχύος να οφείλονται κατά 1% στις εταιρίες (στην Ελλάδα είναι μόνο η ΔΕΗ και κάποιες μικρές που είναι στον χώρο των ανανεώσιμων πηγών) και κατά 25% στους καταναλωτές. Από την άλλη πλευρά οι καταναλωτές πιστεύουν ότι τα προβλήματα τα προκαλούν οι παροχείς κατά 17% ενώ αυτοί ευθύνονται κατά την γνώμη τους μόλις για τις 12% των περιπτώσεων [9].

Ένας άλλος ορισμός της ποιότητας ισχύος, βασίζεται στον κανόνα EMC (ElectroMagnetic Compatibility), είναι ο ακόλουθος:

Ο όρος ‘**Ποιότητα Ισχύος**’ αναφέρεται σε μία ευρεία ποικιλία ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων που χαρακτηρίζουν την τάση και το ρεύμα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό σημείο, σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία και σε ένα συγκεκριμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. (*IEEE 1159:1995 “IEEE recommended practice for monitoring electric power quality”*)

Στο IEC 61000-4-30 “*Testing and measurement techniques-power quality measurement methods*” ορίζεται η ποιότητα ισχύος σαν :

«τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα συγκεκριμένο σημείο ενός ηλεκτρικού συστήματος, υπολογισμένο σε σχέση με ένα σύνολο τεχνικών παραμέτρων».

Ο Heydt ([12]) ορίζει την ‘ποιότητα ισχύος’ σαν το μέγεθος που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του ‘πόσο καλά μπορεί να χρησιμοποιηθούν από τους καταναλωτές οι παροχές ενός δικτύου ηλεκτρικής ισχύος’.

Τέλος παρουσιάζουμε μια από τις πιο κοινοποιημένες απόψεις για ένα Σύστημα Ενέργειας από την *οπτική της ποιότητας ισχύος*:

«Ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να παρομοιασθεί με μία δεξαμενή νερού με πολλούς να γεμίζουν με νερό την δεξαμενή (οι παροχείς, *the utility*) και ακόμα περισσότερους να πίνουν αυτό το νερό (πελάτες, *customers*). Αν κάποιος μολύνει το νερό, τότε πολλοί θα είναι δυσαρεστημένοι. **Θα μπορούσε κάποιος να αγοράσει νερό από κάποια άλλη εταιρία στην άλλη άκρη της δεξαμενής, όμως η**

ποιότητα του νερού που θα εξασφαλίσει κανείς θα εξαρτάται από τον άνθρωπο που θα είναι υπεύθυνος για την μόλυνση στην πλευρά που βρίσκεστε στην δεξαμενή (τοπικός διαχειριστής δικτύου).» (Alexander McEachern, δραστηριοποιείται στον χώρο δημιουργίας και βελτίωσης διεθνών στάνταρτ, εκπροσωπεί τις ΗΠΑ στην Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή, *International Electrotechnical Commission (IEC)*, στο *Working Group 9*, που προσδιορίζει τα στάνταρτ της ποιότητας ισχύος για τις συσκευές. Είναι Senior Member της IEEE 1159.1, και εκλεγμένο μέλος της IEEE Standarts Co-ordination Committee on Power Quality)

Έκτος από την γενική προσέγγιση του όρου ‘ποιότητα ισχύος’ καλό θα ήταν να προσδιορίσουμε και κάποιους όρους που πολύ συχνά συναντώνται στην διεθνή βιβλιογραφία και χρησιμοποιούνται για να απεικονίσουν ακριβώς το ίδιο ζητούμενο: **την αξιοπιστία ενός δικτύου.**

Ένα κοινώς αποδεκτό σύνολο ορισμών δίνεται αμέσως παρακάτω [11]:

- **Ποιότητα τάσης (Voltage quality)** σχετίζεται με την απόκλιση της τάσης από την ιδανική. Ιδανική τάση είναι ένα καθαρό συνημίτονο μίας συχνότητας, που χαρακτηρίζεται από σταθερή τιμή πλάτους και συχνότητας.
- **Ποιότητα ρεύματος (current quality)** είναι ο συμπληρωματικός όρος της ποιότητας τάσεως. Σχετίζεται με τη απόκλιση του ρεύματος από την ιδανική τιμή του ρεύματος. Το ιδανικό ρεύμα είναι και σε αυτήν την περίπτωση ένα απλό συνημίτονο μονής συχνότητας μιας σταθερής συχνότητας και σταθερού πλάτους, με την επιπρόσθετη απαίτηση ότι το συνημίτονο του ρεύματος πρέπει να είναι σε φάση με αυτή της τάσης.
- **Ποιότητα ισχύος (power quality)** είναι ο συνδυασμός της ποιότητας τάσεως και της ποιότητας ρεύματος.
- **Ποιότητα παροχής (quality of supply)** είναι συνδυασμός της ποιότητας τάσεως και της μη-τεχνικής οπτικής της αλληλεπίδρασης του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας με τους πελάτες του.
- **Ποιότητα κατανάλωσης (quality of consumption)** είναι ο συμπληρωματικός όρος της ποιότητας παροχής.

Πρέπει να τονίσουμε ότι όλοι είναι το ίδιο συχνά χρησιμοποιούμενοι, ειδικά όμως ο όρος **ποιότητα ρεύματος** και **ποιότητα κατανάλωσης** χρησιμοποιείται συχνότερα. Επίσης πρέπει να τονίσουμε ότι διαφορετικές πηγές (βιβλιογραφίας) δίνουν συχνά τελείως διαφορετικούς ορισμούς, πολλές φορές αντικρουόμενους. Όλοι οι ορισμοί που δόθηκαν παραπάνω εντάσσονται στην διασύνδεση μεταξύ δικτύου και καταναλωτή. Αυτό για παράδειγμα μπορεί να είναι ένας οικιακός καταναλωτής και το δημόσιο δίκτυο χαμηλής τάσης, ένα μεμονωμένο εργοστάσιο και το εργοστασιακό δίκτυο μέσης τάσης ή ένα δίκτυο μεταφοράς υψηλής τάσης και ένα δίκτυο διανομής. Ο όρος ‘ποιότητα ισχύος’ συνήθως δεν περιορίζεται στην διασύνδεση του δικτύου και του τελικού καταναλωτή.

Πέραν από τους ορισμούς που χρησιμοποιούνται, η ποιότητα ισχύος είναι σημαντικός στρατηγικός στόχος στην ελεύθερη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν σοβαροί λόγοι να ενθαρρύνει κανείς μία συστηματική και σταθερή προσέγγιση για να απεικονίσει τις παραμέτρους της ποιότητας ισχύος [9]. Για την ακρίβεια γίνεται προσπάθεια να **επιτευχθούν** κάποιοι συγκεκριμένοι **στόχοι**. Οι στόχοι ανά κατηγορίες δίνονται παρακάτω:

Αντικειμενικός τεχνικός στόχος

- Ευκολία στην αναγνώριση και επίλυση των προβλημάτων που δημιουργούνται από την εγκατάσταση νέων παραγωγών ή καταναλωτών:

Οι νέοι παραγωγοί και καταναλωτές που συνδέονται σε ένα δίκτυο είναι προφανές πως επηρεάζουν το δίκτυο αυτό όσον αφορά την ποιότητα ισχύος αυτού (αυτό θα γίνει σαφέστερο και θα αποδειχθεί στην συνέχεια). Για τον λόγο αυτό να έχει πραγματοποιηθεί μια εκτενείς μελέτη της ποιότητας ισχύος τόσο στην περιοχή όσο και γενικό πλαίσιο θα είναι πιο εύκολο να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα που θα δημιουργηθούν αφού θα είναι γνωστή η πηγή δημιουργίας αυτών. Επίσης δεν θα τοποθετούνται προβληματικοί παραγωγοί ή καταναλωτές σε περιοχές με ήδη βεβαρημένο πρόβλημα στην ποιότητα,

- Προληπτική συντήρηση, στην περιοχή που παρατηρούνται πιθανές πηγές διαταραχών και σφαλμάτων:

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως στις περιοχές όπου παρατηρείται πρόβλημα από τεχνικής άποψης θα είναι πλέον δυνατή η τοποθέτηση πρόσθετων υποστηρικτικών μηχανισμών για την βελτίωση του προβλήματος. Επίσης επειδή αρκετά είναι τα προβλήματα που οφείλονται και στην έλλειψη συντήρησης στην περιοχή θα μπορούσε να πραγματοποιείται προληπτική συντήρηση που θα έλυνε τα προβλήματα πριν καν εμφανιστούν.

- Βελτιστοποίηση του δικτύου βασισμένη στις παραμέτρους ποιότητας ισχύος

Αν υπήρχε ένας γενικός δείκτης που να καθόριζε την καταλληλότητα ενός δικτύου με βάση την ποιότητα ισχύος τότε θα υπήρχε η δυνατότητα βελτίωσης του δικτύου βάσει αυτών των δεικτών, ώστε ένα δίκτυο να γίνεται πιο 'ποιοτικό' και κατ' επέκταση πιο ανταγωνιστικό.

Αντικειμενικός οικονομικός στόχος

- Διαχειριστικό ειδικό συμβόλαιο

Για την εταιρία παροχής η έρευνα στον τομέα της ποιότητας ισχύος θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα για την βελτίωση του δικτύου και του προϊόντος που παρέχει. Για την βελτίωση υπάρχουν δύο τρόποι. Ο ένας είναι να πραγματοποιηθεί κάποια βελτίωση στον τρόπο κατανάλωσης από τους καταναλωτές και ο άλλος είναι να μπορεί η εταιρία παροχής ανά πάσα στιγμή να καλύπτει τις απαιτήσεις των καταναλωτών. Το ερώτημα που τίθεται είναι ποιος θα πληρώσει αυτή την βελτίωση για την οποία ομολογουμένως όφελος έχουν και οι δύο πλευρές. Η μία λύση θα ήταν να υπάρξει διαφορετική κοστολόγηση της ισχύος που καταναλώνει κάθε καταναλωτής με βάση την βελτίωση ή αλλοίωση που προκαλεί στην ποιότητα ισχύος του δικτύου. Έτσι θα μπορούσαν οι 'καλοί' να ανταμείβονται και οι 'κακοί'

να επιβαρύνονται, ενθαρρύνοντας τους να βελτιώσουν την ποιότητα της ισχύος που καταναλώνουν.

- Λιγότερες οικονομικές απώλειες από 'τιμωρίες' της αρχής παροχής ενέργειας
Στο προηγούμενο πλαίσιο κάποια επιχείρηση η οποία θα μελετούσε το σύστημα της με αυτόν τον τρόπο και θα προωθούσε τρόπους βελτίωσης των εγκαταστάσεων της, θα είχε και την αντίστοιχη μείωση στις επιβαρύνσεις από την αρχή (αυτό συμβαίνει και σήμερα στην Ελλάδα με την διαφορά ότι πραγματοποιείται μόνο για τους πολύ μεγάλους καταναλωτές).

- Βελτίωση στην επένδυση για την διαχείριση (improving in investment management)

- Η ποιότητα της παρεχόμενης ενέργειας επηρεάζει την τιμή της ενέργειας
Το κοστολόγιο μπορεί επίσης να επηρεαστεί και προς την πλευρά του καταναλωτή από την άποψη ότι δεν είναι πλέον διατεθειμένος να πληρώνει στην ίδια τιμή την ενέργεια αν δεν είναι ποιοτικά αποδεκτή για τα συστήματά του.

Όλοι οι οικονομικοί στόχοι που καταγράφηκαν κυρίως πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την σχεδίαση της τακτικής που θα ακολουθήσει μια εταιρία είτε αυτή είναι παροχέας είτε καταναλωτής της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο στόχος αυτό που μπορεί να οριστεί και σαν στόχος μάρκετινγκ δίνεται παρακάτω.

Στόχος μάρκετινγκ

- Να προσφέρει πιο ανταγωνιστικές υπηρεσίες – διαφοροποίηση μεταξύ εταιριών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας
- Θέσπιση καλύτερης σχέσης μεταξύ παροχέα και καταναλωτή
- Ειδική μεταχείριση για καταναλωτές με αυξημένες απαιτήσεις σε ποιότητα ισχύος
- Χρήση της γνώμης των καταναλωτών για βελτίωση της ανταγωνιστικότητας και προσπάθεια ικανοποίησης των απαιτήσεών τους
- Ετήσια ενημέρωση πάνω στα συμβάντα που έχουν να κάνουν με την ποιότητα ισχύος

Συμπεραίνει κανείς ότι η ποιότητα ισχύος όχι μόνο είναι ένας τομέας της ηλεκτρικής ισχύος που έχει τεχνικό ενδιαφέρον, αλλά η βελτίωση του βοηθάει στην οικονομικότερη απόδοση των ηλεκτρικών συσκευών. Για τον λόγο αυτό πολλές φορές η βελτίωση του χρησιμοποιείται σαν κίνητρο για την προσέλκυση καταναλωτών, εξ ου και ο στόχος μάρκετινγκ που δίνεται παραπάνω. Για τον λόγο αυτό έχουν ασχοληθεί πάρα πολλοί με την προσπάθεια βελτίωσης της ποιότητας ισχύος ([11], [17], [18], [20], [21], [25], [27], [34], [41], [44], [50]).

1.2. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΖΗΤΗΜΑΤΟΣ

Προς το παρόν μελετήσαμε τη σημαντικότητα της ποιότητας ισχύος και τους λόγους αναγκαιότητας ενασχόλησης με την επίλυση των προβλημάτων που δημιουργούνται.

Όπως αναφέρθηκε και στο τέλος του προηγούμενου υποκεφαλαίου η σημαντικότητα ενασχόλησης με την ποιότητα ισχύος δεν έχει ενδιαφέρον μόνο από τεχνικής άποψης. Σημαντικό ενδιαφέρον έχει και από οικονομικής άποψης και από άποψης μάρκετινγκ στην ελεύθερη διαμορφωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Θα μπορούσε κανείς να υποστηρίξει ότι πολλές φορές η μελέτη κάποιου προβλήματος «υπαγορεύεται» από τις οικονομικές απώλειες και την πολιτική της εταιρίας παροχής. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ([50]) ότι «δεν είναι επαρκής η αναζήτηση λύσης ενός προβλήματος ποιότητας ισχύος μόνο από τεχνικής άποψης. Το πρόβλημα στην ποιότητα ισχύος είναι ένα πρόβλημα σε όλο το περιβάλλον που απαρτίζει το σύστημα, των καταναλωτών και των παραγωγών. Για την βελτίωση αυτού ρόλο παίζουν όχι μόνο τεχνικοί παράγοντες αλλά και οικονομικοί και πολιτικοί.».

Η φιλοσοφία της ‘ελάχιστης ζημίας’ είναι ένας κατεξοχήν τρόπος αντιμετώπισης των προβλημάτων τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τους παραγωγούς. Όμως πρέπει να κατηγοριοποιηθεί ο βραχυπρόθεσμος όρος για την επίδραση του χαμηλού κόστους στην χαμηλή ποιότητα ισχύος. Η δουλειά των μηχανικών σε αυτή τη περίπτωση, είναι να βρουν την ισορροπία μεταξύ των δύο, ποιότητας ισχύος-κόστους [15]. Ένα τέτοιο μοντέλο της βέλτιστης επιλογής μεταξύ αυτών για την σωστότερη ισορροπία παρουσιάζεται από τους Lee και Heydt ([15]).

Τι ακριβώς είναι κόστος για της ποιότητας ισχύος; Η πιο απλή εκτίμηση θα ήταν να παραλληλίσουμε το κόστος με τις απώλειες από τις διαταραχές που σχετίζονται με την ποιότητα ισχύος. Το κόστος όμως μπορεί να συμπεριλάβει και τα εξής [15]:

- Απώλειες στην βιομηχανική παραγωγή
- Κόστος του εξοπλισμού για να διατηρηθεί ένα κατάλληλο επίπεδο στην ποιότητα ισχύος
- Απώλειες στην εργασία εξαιτίας της διακοπής σε εμπορικούς τομείς όπως σε οικονομικές υπηρεσίες
- Απώλειες πληροφοριών εξαιτίας των διακοπών σε επιχειρήσεις με πληροφοριακά συστήματα
- Απώλεια εμπιστοσύνης στην εταιρία παροχής
- Αρνητική επίδραση των διακοπών στον οικονομικό τομέα

Οι παραπάνω απώλειες πρέπει να μοιραστούν σωστά μεταξύ καταναλωτών και παραγωγών. Το δεδομένο είναι ότι αρκετά από τα προβλήματα επηρεάζουν

σημαντικά τους καταναλωτές. Όπως όμως αναφέραμε και πολλά από τα προβλήματα προέρχονται από τους καταναλωτές ([9], [52]). Για τον λόγο αυτό έχουν πραγματοποιηθεί μία σειρά ερευνών, που σχετίζονται με την ποιότητα ισχύος, για να καταγράψουν την προθυμία των καταναλωτών να πληρώσουν περισσότερο για καλύτερη ποιότητα ισχύος και το πλήθος των βιομηχανικών πελατών που πληρώνουν για εξοπλισμό βελτίωσης της ποιότητας ισχύος ([57], [58], [59]). Η απάντηση στο παραπάνω ερώτημα δεν μπορεί να είναι μονολεκτική (ναι είμαι πρόθυμος ή όχι δεν είμαι), γιατί την ενέργεια μας την επηρεάζουν και άλλοι λόγοι πλην των οικονομικών και των τεχνικών και αυτοί σχετίζονται με την πολιτική της κάθε επιχείρησης. Τις παραπάνω ερωτήσεις τις συμπεριλάβαμε και στο ερωτηματολόγιο που δίνεται στο Παράρτημα Γ. (Τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου παρατίθενται στο Κεφάλαιο 3.)

Από την στιγμή που η ποιότητα ισχύος αποτελεί ένα σημαντικό κριτήριο στον σχεδιασμό των περισσότερων εταιριών κρίθηκε αναγκαίο να πραγματοποιηθούν πολλές μελέτες για την καλύτερη απεικόνιση των διαταραχών της ποιότητας ισχύος καθώς και για τον προσδιορισμό του κάθε είδους της διαταραχής που προκαλεί ένα πρόβλημα ([45], [53], [65]-[69], [71]-[77]). Αυτό δεν είναι τυχαίο αφού η απεικόνιση της ποιότητας ισχύος μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη αντιμετώπιση των προβλημάτων και στον καλύτερο σχεδιασμό της οργάνωσης ενός ηλεκτρικού συστήματος ([45]). Γι' αυτό είναι σημαντικό να γίνεται μία καλύτερη μελέτη των φαινομένων και η ανάδειξη λύσεων στα προβλήματα που δημιουργούνται ([46]) ώστε να είναι εντέλει δυνατή η καταλληλότερη διαχείριση του ηλεκτρικού συστήματος ([47]). Τα πλεονεκτήματα από αυτήν την διαδικασία συνοψίζονται και στους στόχους μάρκετινγκ που δόθηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

Βασιζόμενοι στον προηγούμενο ορισμό του κόστους και στην απεικόνιση των διαταραχών έγιναν προσπάθειες να δοθούν λύσεις με οικονομικά κριτήρια [13], [48], [49]. Αυτό που κυριαρχούσε ήταν να αγνοούνται οι περισσότερες των διαταραχών πλην των διακοπών και των βυθίσεων πιο ζημιογόνες για την βιομηχανία και αυτές των οποίων τα αποτελέσματα είναι άμεσα ορατά (διακοπή της παραγωγικής αλυσίδας). Ο Wang και ο Chen ([48]) συγκεκριμένα η εκτίμηση δόθηκε βάσει κάποιων διεθνώς αναγνωρισμένων καμπυλών για τις βυθίσεις. Επίσης έγινε προσπάθεια ([13], [49]) να προσδιορισθεί η σχέση 'διαταραχής' - 'ώρες εκτός λειτουργίας ανά έτος', ώστε να ποσοτικοποιηθεί και το πρόβλημα.

Οι McGranaghan και Roettger ([13]) συγκρίνουν το πρόβλημα με το κόστος μιας λύσης που θα είχε σαν αποτέλεσμα την μείωση της απώλειας. Στην προσπάθεια αυτή προσδιόρισαν κάποια βάρη για κάθε διαφορετική κατηγορία βύθισης και διακοπής. Η τιμή αυτών δόθηκε με βάση την δική τους εμπειρία. Αυτή ακριβώς η διαδικασία είναι που έχει πρωταρχική σημασία και στην παρούσα εργασία: ***Ο προσδιορισμός της σημαντικότητας της κάθε διαταραχής για κάθε κατηγορία καταναλωτών.*** Αυτός ήταν και ο κύριος λόγος σύνταξης του ερωτηματολογίου, δηλαδή η κατηγοριοποίηση των διαταραχών βάσει της σημαντικότητας τους για τους καταναλωτές.

Το συγκεκριμένο δεν το πραγματοποιήσαμε αυθαίρετα, αφού στόχος ήταν να πραγματοποιηθεί μία κατηγοριοποίηση των δικτύων ανά περιοχή. Ο λόγος και ο τρόπος με τον οποίο το πραγματοποιήσαμε ακολουθούν στην επόμενη ενότητα.

1.3. ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΙ ΣΚΕΠΤΙΚΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Όπως αναφέραμε η διακύμανση των διαταραχών μπορεί να κυμαίνεται τόσο ανά περιοχή όσο και ανά δίκτυο ([14], [45], [53]). Σε μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε πάνω από 13000 καταναλωτές παρατηρήθηκε ότι οι απώλειες λόγω των διαφόρων διαταραχών δεν οφείλεται μόνο στο πλάτος και την διάρκεια της διαταραχής στο σημείο δημιουργίας αυτής ([60]). Από τα αποτελέσματα έγινε εμφανές ότι **το μέγεθος του προβλήματος οφείλεται επίσης στην δομή που έχει το δίκτυο στην περιοχή, στις γεωγραφικές συνθήκες, το επίπεδο της συντήρησης στην διαχείριση και την λειτουργία του συστήματος**, καθώς επίσης και **στα χαρακτηριστικά των φορτίων των καταναλωτών**.

- **Δομή του Δικτύου:** (βρογχοειδές, μεγάλο σε μήκος, ...) ανάλογα με το πώς είναι η δομή του δικτύου (απόσταση μεταξύ διαφορετικών καταναλωτών και τρόπος σύνδεσης αυτών) επηρεάζονται διαφορετικά οι καταναλωτές σε κάθε σημείο.
- **Γεωγραφικές Συνθήκες:** Ανάλογα με το που βρίσκεται το κάθε δίκτυο (αγροτική περιοχή, αστική ή προάστιο) η συχνότητα εμφάνισης των διαταραχών και το μέγεθος αυτών κυμαίνεται. Αυτό συμβαίνει γιατί σε αγροτικές περιοχές τα δίκτυα είναι συνήθως μεταφοράς και διανομής και υπέργεια. Οι αποστάσεις είναι μεγάλες και συνεπώς είναι εκτεθειμένα σε πολλά δυσμενή καιρικά φαινόμενα.
- **Το επίπεδο της συντήρησης στην διαχείριση και λειτουργία:** Το επίπεδο της συντήρησης, δηλαδή το χρονικό διάστημα που έχει να πραγματοποιηθεί συντήρηση και η κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο εξοπλισμός παίζουν σημαντικό ρόλο. Στην «Αξιοπιστία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας» ([5]) γίνεται προφανές πως επηρεάζει ο χρόνος συντήρησης την διάρκεια εκτός λειτουργίας του συστήματος. Ενώ σε περίπτωση μεγάλου χρόνου χωρίς συντήρηση αυξάνεται η πιθανότητα παρουσίασης προβλήματος.
- **Χαρακτηριστικά στα φορτία των καταναλωτών:** Ο συγκεκριμένος παράγοντας έχει εξελιχθεί τα τελευταία χρόνια σε έναν από τους κατεξοχήν σημαντικότερους για εμφάνιση και διαμόρφωση των διαταραχών σε κάποια περιοχή. Αυτό συμβαίνει επειδή το δίκτυο δεν είναι μόνο ο παραγωγός και οι γραμμές μεταφοράς, αλλά επίσης και οι καταναλωτές. Όπως αναφέραμε οι καταναλωτές αποτελούν σημαντική πηγή διαταραχών. Τα ηλεκτρονικά ισχύος αποτελούν πηγή αρμονικών, ενώ οι μεγάλοι κινητήρες πηγή βυθίσεων. Η μη συμμόρφωση των καταναλωτών στις συμφωνίες με τον παροχέα ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργεί σημαντικά επιπλέον προβλήματα. (και τα δύο αναλύονται πλήρως στο 2^ο και το 3^ο κεφάλαιο)

Είναι φανερό πως για να εκτιμήσουμε μια διαταραχή δεν είναι δυνατό να το πράξουμε με την καταγραφή αυτής από ένα κεντρικό και μόνο σύστημα. Κρίνεται αναγκαίο για την αντιμετώπιση τέτοιου είδους προβλημάτων να υπάρχει καταγραφή **σε πολλά διαφορετικά σημεία** ενός δικτύου, κατάλληλα να απεικονίσουν την μορφολογία αυτού. Η τακτική αυτή ακολουθείται και από τους Tom, Mansor και Sunderman ([14]) για τις ανάγκες ενός προγράμματος της EPRI πάνω στην ποιότητα

ισχύος. Στο πρόγραμμα αυτό καταγράφηκαν βυθίσεις και διακοπές σε 276 τοποθεσίες σε 100 διαφορετικά δίκτυα διανομής για ένα διάστημα άνω των 27 μηνών. Στόχος του συγκεκριμένου προγράμματος ήταν να απεικονίσει το μέγεθος διακύμανσης των διαταραχών ανά περιοχή, ποιες παράμετροι του δικτύου προκαλούν την διαταραχή και να βρει τρόπους πρόβλεψης της ποιότητας ισχύος σε μία περιοχή. Το σημαντικό στην συγκεκριμένη εργασία είναι πέραν των στατιστικών στοιχείων σχετικά με τους δείκτες εκτίμησης της ποιότητας ισχύος, ότι δόθηκε ένας **πίνακας καταγραφής του πλήθους των βυθίσεων ανά κατηγορία** (διάρκεια-βάθος). Για τις ανάγκες της απεικόνισης χρησιμοποιήθηκε ένας μέσος όρος (το 50% των περιοχών είχαν περισσότερες βυθίσεις από αυτή την τιμή), ένα χαμηλότερο και ένα υψηλότερο βαθμό βυθίσεων ανά έτος (στην κάθε περιοχή). Έτσι ήταν γνωστό που περίπου θα κινηθεί ο αριθμός των βυθίσεων ανά περιοχή και κατ' επέκταση τι πρέπει να περιμένει ο καταναλωτής εκ των προτέρων, αλλά και εκ των υστέρων πόσο επηρεάστηκαν οι συσκευές του.

Αυτό που εμάς ενδιαφέρει άμεσα για αυτήν την εργασία είναι η επιβεβαίωση της άποψης ότι οι διαταραχές κυμαίνονται όχι μόνο ανά περιοχή, αλλά και εντός του ίδιου του δικτύου.

Παρόμοια λογική υποστηρίζεται και από τους Byman, Schorr von Corolsfeld και Van Grop ([45]), όπου προσπαθεί να αναπτύξει μία τακτική για κεντρικό σχεδιασμό και οργάνωση του συστήματος. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα βασίζεται στην τοποθέτηση πολλών καταγραφικών της ποιότητας ισχύος σε πολλά διαφορετικά σημεία στο σύστημα, ώστε να διασφαλιστεί η σωστότερη απεικόνιση της αντίδρασης του συστήματος. Έτσι είναι ευκολότερος και ο σχεδιασμός για την αντιμετώπιση των προβλημάτων ([55]).

Οι Wang, Koval και Xu ([54]) βασιζόμενοι σε αυτήν την λογική γίνεται μία απεικόνιση των διαταραχών για την συγκεκριμένη περιοχή και προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος με τις ιδιομορφίες της περιοχής.

Οι Gosbel, Baitch και Bollen ([53]) παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο πρέπει να γίνει η αναφορά, η παρουσίαση και η απεικόνιση της ποιότητας ισχύος. Για άλλη μια φορά γίνεται εμφανές ότι και για αυτό τον λόγο είναι αναγκαία η παρατήρηση των διαταραχών κατά τόπους, αφού και εδώ αναφέρεται η διαφοροποίηση των διαταραχών ανά περιοχή. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο πρέπει να γίνεται αναφορά για τα συμβάντα της ποιότητας ισχύος, ώστε να είναι δυνατή η κατανόηση του προβλήματος για την οργάνωση της λύσης. Έτσι πρέπει να γίνουν και σε αυτήν την περίπτωση τριών διαφορετικών ειδών καταγραφές:

1. Αναφορά σε μία περιοχή
2. Αναφορά για το δίκτυο
3. Αναφορά συστήματος

Τόσο οι Ellis και Guirdy ([17]) όσο και οι Capasso, Lamedica και Prudenzi ([19], [21] και [25]) παρουσιάζονται τα προβλήματα που μπορούν να δημιουργηθούν από συσκευές στο ίδιο το κύκλωμα της κάθε περιοχής αλλά και στα γειτονικά συστήματα.

Αυτή η διαδικασία της καταγραφής της ποιότητας ισχύος σε πολλές περιοχές και σε πολλά σημεία στο ίδιο το δίκτυο θα μπορούσε να βοηθήσει σε μία από τις σημαντικότερες διαδικασίες οργάνωσης ενός δικτύου. Θα ήταν δυνατό με χρήση αυτών των δεδομένων η εταιρία παροχής να προβλέψει την ποιότητα ισχύος σε κάποια περιοχή και να βρει την καταλληλότερη τοποθεσία να τοποθετήσει ευαίσθητους καταναλωτές. Θα μπορούσε επίσης να προσδιορίσει αν σε μία περιοχή το δίκτυο υπολειτουργεί σε σχέση με τις υποδομές του ή να προσδιορισθεί το ρίσκο μιας πιθανής παροχής σε σύστημα με υψηλές απαιτήσεις ([14]).

Αυτό θα μπορούσε από μόνο του να βοηθήσει στην διαδικασία βελτίωσης του συστήματος αφού θα ακολουθούμε πάντα την βέλτιστη επιλογή, ενώ θα μπορούσε να αποτελέσει βάση για την διαδικασία υποστήριξης του συστήματος με λύσεις για την ποιότητα ισχύος

Οι Dizbravedic, Majstrovic και Zutobradic ([42]), οι Παπαθανασίου και Stantjer ([26]), οι Κασμάς και Παπαθανασίου ([28]) και τέλος οι Παπαθανασίου, Τσίτιλος, Αντωνόπουλος και Σταυρόπουλος ([29]) καταγράφουν στους παραγωγούς ΗΕ, ακόμα και σε μικρής κλίμακας, να γίνεται έλεγχος για την ποιότητα ισχύος που εισάγουν στο δίκτυο και για το πώς θα διαμορφωθεί η ποιότητα ισχύος μετά την εισαγωγή τους (ειδικά στο τελευταίο παρατηρούμε πως έχουν θεσπιστεί διεθνή όρια για την είσοδο των παραγωγών). Ο έλεγχος πριν αλλά και κατά την διάρκεια είναι πάρα πολύ σημαντική διαδικασία. Σήμερα όμως έλεγχος γίνεται μόνο στους παραγωγούς, ενώ από τους καταναλωτές για τέτοιου είδους ζητήματα ελέγχονται μόνο οι πολύ μεγάλοι και αυτοί που έχει αναφερθεί ότι προκαλούν προβλήματα.

Θα γίνει περισσότερο σαφές στην συνέχεια ότι πέραν των μεγάλων καταναλωτών σημαντικές είναι οι διαταραχές που δημιουργούνται και από τον ανεξέλεγκτο οικιακό εξοπλισμό και κυρίως από τα κλιματιστικά που υπερλειτουργούν και είναι πηγές αρμονικών και άλλων διακυμάνσεων. Γι' αυτό μία άλλη πολύ σημαντική μελέτη θα ήταν να γίνει μία αξιολόγηση της σημαντικότητας του εξοπλισμού των καταναλωτών για την ποιότητα ισχύος του δικτύου και εν συνεχεία να χαρακτηρίζονται οι συσκευές του καταναλωτή σαν φιλικές προς το δίκτυο ή όχι. Το σκεπτικό αυτής της εργασίας θα ήταν να πριμοδοτηθούν οι φιλικές προς την ποιότητα ισχύος του δικτύου συσκευές και ο καταναλωτής αν επιθυμεί να αγοράσει τις άλλες να γνωρίζει ότι θα επιβαρυνθεί περισσότερο από το σύστημα, αφού και αυτός με την στάση του θα του δημιουργεί πρόβλημα.

Επιστρέφοντας στις προηγούμενες εργασίες που αναλύθηκαν μπορούμε να πούμε πως είχαν κοινό ότι **εστίαζαν σε βυθίσεις και διακοπές**. Αυτό που εμείς θέλουμε να κάνουμε σε αυτήν την εργασία είναι να προσπαθήσουμε αυτήν την διαδικασία να την πραγματώσουμε για **το σύνολο των διαταραχών που απαρτίζουν τον όρο 'ποιότητα ισχύος'**. (αν όχι όλα το μεγαλύτερο σύνολο αυτών και πάντα τα σημαντικότερα) Στόχος μας, ίδιος με αυτόν των προηγούμενων μελετητών. Προσπαθούμε να προσδιορίσουμε **θέσεις κατάλληλες για την σύνδεση ευαίσθητων καταναλωτών ή θέσεις όπου το δίκτυο χρειάζεται υποστήριξη**.

Σημαντικό για την εργασία μας ήταν όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη ενότητα η **σύνδεση του τεχνικού με τον οικονομικό στόχο**. Στο πλαίσιο αυτό συντάξαμε και το ερωτηματολόγιο. Κύριος στόχος ήταν η εξαγωγή κάποιων βαθμών συμμετοχής της κάθε διαταραχής στο **σύνολο 'πολύ καλή ποιότητα ισχύος'**. Αν οι καταναλωτές

θεωρούσαν σημαντική μια διαταραχή καλούνταν να την βαθμολογήσουν υψηλά, ενώ αν θεωρούσαν πως του επηρεάζει ελάχιστα καλούνταν να την βαθμολογήσουν χαμηλά (είχαμε θέσει και άλλες ερωτήσεις σχετικές με τα όσα έχουν αναφερθεί ως εδώ. Τα αποτελέσματα παρατείνονται στο 3^ο κεφάλαιο). Έτσι κάναμε χρήση της γνώμης των ειδικών¹.

Προσπαθήσαμε να προσδιορίσουμε μία λύση για το πρόβλημα κάνοντας χρήση της ασαφούς λογικής. Για την ακρίβεια χρησιμοποιήσαμε την πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων σε περιβάλλον αβεβαιότητας [63], [64].

Η λογική που ακολουθήσαμε δεν είναι τυχαία. Έχει ήδη εφαρμοστεί τόσο στα [61] και [62] όσο και ο Σκίκος ([40]). Ειδικά στο τελευταίο γίνεται προσπάθεια επιλογής της καταλληλότερης θέσης για τοποθέτηση αιολικού πάρκου βάσει κάποιων δεδομένων εισόδου και χρήση της πολυκριτηριακής αντιμετώπισης τέτοιων προβλημάτων.

Η πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων σε καταστάσεις αβεβαιότητας στηρίζεται στην ασαφή λογική (fuzzy logic). Η ασαφής λογική έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλούς επιστημονικούς τομείς τα τελευταία χρόνια, για να λύσει προβλήματα των οποίων η λύση δεν μπορεί να προσεγγιστεί από τις κλασικές μεθόδους.

Η ασαφής λογική έχει χρησιμοποιηθεί ως εκ τούτου και για την αντιμετώπιση προβλημάτων αβεβαιότητας στον τομέα της ποιότητα ισχύος. Μέχρι στιγμής βάρος στην χρήση της έχει δοθεί για την δημιουργία μοντέλων για την καλύτερη αναγνώριση των διαταραχών της ποιότητας ισχύος ([35], [36], [65], [66], [72], [73], [74], [76]). Σημαντικό είναι το κομμάτι εκείνο που έχει χρησιμοποιήσει την ασαφή λογική για την αντιμετώπιση των προβλημάτων και για την απεικόνιση και εκτίμηση των προβλημάτων της ποιότητας ισχύος ([26], [27], [32], [33], [34], [35], [37], [38], [39], [67]-[69], [71], [75], [77], [78]).

Στην αναζήτηση που πραγματοποιήθηκε στην διεθνή βιβλιογραφία και στα διεθνή συνέδρια, παρατηρήθηκε πως ενώ το ενδιαφέρον από την μία για χρήση της ασαφούς λογικής ήταν έντονο και από την άλλη η εκτίμησης της ποιότητας ισχύος ανά περιοχή κρίθηκε αναγκαία, **δεν** παρατηρήθηκε κάποια προσπάθεια **συνδυασμού** της μεθόδου αυτής με την θεωρητική γνώση για την εξαγωγή κάποιου συστήματος εξαγωγής συμπερασμάτων. Ακριβώς αυτό το **‘κενό’** προσπαθούμε να καλύψουμε με την διεξαγωγή αυτής της εργασίας.

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε ένα ασαφές σύστημα που μπορεί να δέχεται είσοδο στατιστικά στοιχεία για τις διαταραχές και την άποψη των ειδικών (από το ερωτηματολόγιο) και σαν έξοδο θα δίνει το ποσοστό επί τοις εκατό της συνεισφοράς της θέσης στο σύνολο ‘πολύ καλή ποιότητα ισχύος’. Με αυτόν τον τρόπο θα προσπαθούμε να δίνουμε βασιζόμενοι σε ένα έμπειρο σύστημα μία εκτίμηση για το πόσο καλή ή κακή (λεκτική προσέγγιση) είναι μία θέση σε ένα δίκτυο. Ο τρόπος που προσπαθήσαμε να το πραγματοποιήσουμε παρουσιάζεται αμέσως παρακάτω σαν διάρθρωση της εργασίας.

¹ έμπειροι => έμπειρο σύστημα. Για την κατασκευή ενός έμπειρου συστήματος απαραίτητη θεωρείται η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων που θα αποτελεί την βάση για λήψη αποφάσεων και συγκρίσεις. Η βάση αυτή δημιουργείται από την εμπειρία και την γνώμη ειδικών πάνω στον τομέα για τις ανάγκες του συστήματος αποκαλούνται έμπειροι.

1.4. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο **2^ο κεφάλαιο** αναλύουμε όλες τις διαταραχές της ποιότητας ισχύος και παρουσιάζουμε την προέλευση τους, τα προβλήματα που προκαλούν στους καταναλωτές και τους τρόπους που αντιμετωπίζονται. Έτσι αποκτούμε εμπειρία σχετικά με την σημαντικότητα των διακυμάνσεων και είμαστε σε θέση να υποστηρίξουμε την σημαντικότητα της κάθε διαταραχής.

Στο **3^ο κεφάλαιο** παραθέτουμε τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου που συντάξαμε και παρουσιάζουμε μία εκτίμηση βάσει της γνώμης των καταναλωτών για την σημαντικότητα των διαταραχών. Με χρήση αυτών των δεδομένων μπορούμε να προσδιορίσουμε τα βάρη (σημαντικότητα) της κάθε διαταραχής που χρειάζονται στο ασαφές σύστημα του 4^{ου} κεφαλαίου.

Στο **4^ο κεφάλαιο** αναπτύσσουμε το ασαφές σύστημα το οποίο δέχεται σαν είσοδο τα δεδομένα που προκύπτουν από τα προηγούμενα δύο κεφάλαια και σαν έξοδο δίνει την καταλληλότητα μιας θέσης σε σχέση με την ποιότητα ισχύος.

Για την πληρότητα της εργασίας κρίθηκε αναγκαίο να παρουσιάσουμε κάποιες λεπτομέρειες που βοήθησαν στην εργασία μας με μορφή παραρτημάτων.

Έτσι στο **Παράρτημα Α** δίνεται το πρότυπο EN50160 το οποίο παρουσιάζει τον τρόπο μέτρησης των διαφόρων διαταραχών της ποιότητας ισχύος και παραθέτει και ένα όριο για κάθε μία από αυτές τις διαταραχές. Το σημαντικό στο συγκεκριμένο πρότυπο και αυτό που το έκανε να το προτιμήσουμε από άλλα της IEEE και της IEC είναι πως βασίζεται στην στατιστική απεικόνιση των φαινομένων και στην καταγραφή και μέτρηση με βάση ένα χρονικό διάστημα. Τα υπόλοιπα πρότυπα αναλώνονταν στον προσδιορισμό του είδους της κάθε διαταραχής και τα όρια που παρουσίαζαν είχαν να κάνουν με το πότε μία διαταραχή μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα συγκεκριμένο είδος, π.χ. σαν βύθιση.

Επίσης μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι το συγκεκριμένο πρότυπο ενίσχυσε την πεποίθησή μας ότι μπορεί και πρέπει να γίνει η αντιμετώπιση του προβλήματος από στατιστικής άποψης και όχι απλά από άποψης συμβάντων. Για αυτούς τους λόγους μπορούμε να πούμε ότι στηρίξαμε αρκετά στα δεδομένα που μας παρείχε.

Στο **Παράρτημα Β** παρουσιάζεται ο τρόπος υλοποίησης του ασαφούς μοντέλου που προτείνεται στο 4^ο κεφάλαιο, με επεξηγήσεις και σχόλια.

Στο **Παράρτημα Γ** παρουσιάζουμε το ερωτηματολόγιο που συντάξαμε για τις ανάγκες της εργασίας και το μοιράσαμε σε κάποιες εταιρίες και τα αποτελέσματα αυτού φαίνονται στο Κεφ 3.

Τέλος στο **Παράρτημα Δ** γίνεται μία σύντομη παρουσίαση της ασαφούς λογικής και της πολυκριτηριακής λήψης αποφάσεων που χρησιμοποιήσαμε στο 4^ο Κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ

2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ

2.0. ΓΕΝΙΚΑ

Όταν γίνεται αναφορά στα χαρακτηριστικά της ποιότητας ισχύος τότε εννοούνται τα **χαρακτηριστικά εκείνα της παρεχόμενης τάσης**, η **απόκλιση** των οποίων **από τις ονομαστικές τους τιμές**, προκαλεί **δυσλειτουργία στον ηλεκτρικό εξοπλισμό**. Ιδανική μορφή της τάσης θα ήταν ένα καθαρό συνημίτονο με σταθερή συχνότητα και πλάτος. Κάθε απόκλιση από αυτή την μορφή, την ονομάζουμε διαταραχή. **Η απόδοση μιας συσκευής ενός πελάτη μπορεί να μειωθεί σημαντικά από την παρουσία κάποιας διαταραχής** ([9]). Βάσει της συχνότητας, μία διαταραχή μπορεί να χαρακτηριστεί ως χαμηλής συχνότητας (<9kHz) ή υψηλής συχνότητας (>9kHz). Οι παρακάτω **παράμετροι της παρεχόμενης τάσης** επηρεάζονται έντονα από τις διαταραχές:

- ➔ **Συχνότητα**
- ➔ **Επίπεδο τάσης**
- ➔ **Κυματομορφή τάσης ή ρεύματος**
- ➔ **Συμμετρία των τριών φάσεων**

Οι διαταραχές μπορεί να **κατηγοριοποιηθούν** με πολλούς τρόπους (δηλαδή να τις κατατάξουμε σε κατηγορίες διαταραχών). Εδώ παρουσιάζονται κάποιοι **τρόποι κατηγοριοποίησης** που παρατηρήθηκαν στην διεθνή βιβλιογραφία:

- ① Μία κατηγοριοποίηση δόθηκε από το **Bollen** ([11]) και βασίζεται στον τρόπο που μετριούνται τα χαρακτηριστικά της τάσης και του ρεύματος:
1. **ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ (VARIATIONS)** είναι **μικρές** αποκλίσεις των χαρακτηριστικών της τάσης και του ρεύματος από τις ονομαστικές και τις ιδανικές τους τιμές, που παρατηρούνται **για αρκετές περιόδους**. Παραδείγματα είναι η διακύμανση της ενεργού τιμής της τάσης και της συχνότητας από τις ονομαστικές τους τιμές και η αρμονική παραμόρφωση της τάσης και του ρεύματος. Οι **διακυμάνσεις** είναι διαταραχές που μπορούν να **μετρηθούν οποιαδήποτε χρονική στιγμή**. Οι αρμονικές παραμορφώσεις είναι ένα παράδειγμα αυτού του τύπου διαταραχών.
 2. **ΣΥΜΒΑΝΤΑ (EVENTS)** είναι μεγαλύτερες διακυμάνσεις οι οποίες όμως παρουσιάζονται **περιστασιακά**, όπως διακοπές της τάσης ή μεγάλα ρεύματα λόγω ζεύξης ή απόζευξης κάποιου μεγάλου φορτίου. Τα **συμβάντα** είναι διαταραχές που **αρχίζουν και τελειώνουν περνώντας ένα συγκεκριμένο κατώφλι**. Παράδειγμα τέτοιων διαταραχών μπορούν να θεωρηθούν και οι βυθίσεις.

Η διαφορά μεταξύ **διακυμάνσεων** και **συμβάντων** δεν είναι πάντα εμφανής και εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η μέτρηση της κάθε

διαταραχής. Ο καλύτερος τρόπος διαχωρισμού μεταξύ των δύο διαταραχών είναι ο ακόλουθος:

οι διακυμάνσεις μπορούν να μετρηθούν *οποιοδήποτε χρονική στιγμή*, ενώ για τα συμβάντα χρειάζεται κανείς να *περιμένει έως* ότου κάποιο από τα χαρακτηριστικά της τάσεως ή του ρεύματος *υπερβεί κάποιο συγκεκριμένο όριο*. Καθώς το όριο μίας διαταραχής είναι πολλές φορές *αυθαίρετα ορισμένο* είναι πολύ συχνά στενή η νοητή γραμμή που χωρίζει διακυμάνσεις και συμβάντα. Παρόλα αυτά ο διαχωρισμός τους παραμένει χρήσιμος και στην πραγματικότητα γίνεται σε κάθε μελέτη ποιότητας ισχύος. Για παράδειγμα, μετρήσεις της ενεργού τιμής της τάσης μπορεί να είναι βάση τόσο για διακυμάνσεις (μετρείται η rms κάθε 10 λεπτά) όσο και βάση για συμβάν (αρχίζοντας και τελειώνοντας όταν περνάει η rms τιμή το 90% της ονομαστικής).

Ο ορισμός των διακυμάνσεων και των συμβάντων της ποιότητας ισχύος όπως δόθηκε παραπάνω είναι πολύ πλατύτερος από την γενική ερμηνεία της ποιότητας ισχύος. Αυτό έχει να κάνει με το γεγονός ότι η ποιότητα ισχύος συνήθως είναι μέρος της έκφρασης *‘κακή ποιότητα ισχύος’*. Μία διαταραχή στην ποιότητα ισχύος φαίνεται μόνο σαν πρόβλημα αν δημιουργεί πρόβλημα είτε στους καταναλωτές, είτε στο ίδιο το σύστημα.¹

Βυθίσεις και αρμονικές είναι προβλήματα του δικτύου και αποτελούν μέρος του προβλήματος της ποιότητας ισχύος για πολλούς. Από την άλλη η διακύμανση της συχνότητας και της τάσης, δεν θεωρούνται πλέον πρόβλημα γιατί έχουν συμπεριληφθεί στον σχεδιασμό των εγκαταστάσεων ([11]).

- ② Μία ακόμα κατηγοριοποίηση των διαταραχών, που δίνεται στο **‘Power-electronic solutions to power quality solutions’** ([20]), είναι ο διαχωρισμός τους σε *μικρής διάρκειας ή γρήγορες* και *σε σταθερής κατάστασης*. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν διαταραχές όπως είναι κρουστικές υπερτάσεις και οι υπερτάσεις με αποσβενύμενη ταλάντωση, βυθίσεις, παροδικές διακοπές, ενώ στην δεύτερη διαταραχές όπως είναι οι αρμονικές και το φλίκερ.
- ③ Στο ίδιο paper δίνεται μία ακόμη κατηγοριοποίηση που έχει να κάνει με τα **αίτια δημιουργίας της διαταραχής** και είναι μεταξύ διαταραχών που σχετίζονται με την *ποιότητα της παρεχόμενης τάσης* και με αυτές που σχετίζονται με την *ποιότητα του απορροφούμενου ρεύματος από το φορτίο*. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν εκτός των άλλων οι βυθίσεις και οι διακοπές, που είναι αποτέλεσμα κυρίως σφαλμάτων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι διαταραχές μπορεί να προκαλέσουν τριπάρισμα (βγαίνουν εκτός λειτουργίας) ευαίσθητων ηλεκτρονικών συσκευών με καταστροφικές συνέπειες σε εργοστασιακές εγκαταστάσεις, όπου αστοχία κρίσιμου εξοπλισμού μπορεί να οδηγήσει σε *διακοπή ολόκληρης της παραγωγής με σοβαρές οικονομικές απώλειες*. Ο χαρακτηρισμός που δίνεται σε αυτήν την κατηγορία είναι πως **η πηγή διαταράσσει το φορτίο**. (Γνώμη μας είναι πως η συμμετοχή του καταναλωτή (φορτίου) στην διαταραχή είναι επίσης σημαντική). Για να αποφύγουν συνεχείς απώλειες χρημάτων, οι

¹ Περισσότερα στοιχεία για τον ορισμό της ποιότητας ισχύος δόθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο

εργοστασιακοί καταναλωτές συχνά εγκαθιστούν εξοπλισμούς προστασίας από τις διαταραχές.

Η δεύτερη κατηγορία καλύπτει φαινόμενα που οφείλονται στην **χαμηλή ποιότητα ρεύματος που απορροφούν τα φορτία**. Σύμφωνα με αυτήν την ανάλυση, **είναι το φορτίο που διαταράσσει την πηγή**. Ένα τυπικό παράδειγμα είναι οι *αρμονικές στο ρεύμα που απορροφούν πολλά μη γραμμικά φορτία*, όπως οι ανορθωτές, ή μη συμμετρικά απορροφούμενα ρεύματα από ασύμμετρα φορτία.

Μία πιο σύνθετη περίπτωση είναι το φλίκερ, που προκαλείται από την διακύμανση στην τάση που δημιουργείται από φορτία κυμαινόμενης ζήτησης ισχύος που συνδέονται σε ένα ασθενές δίκτυο. Οι καταναλωτές δεν καταλαβαίνουν άμεσες απώλειες στην παραγωγή από τέτοιου είδους φαινόμενα. Όμως **χαμηλή ποιότητα ρεύματος απορροφούμενη από πολλούς καταναλωτές ταυτόχρονα** οδηγεί σε χαμηλή ποιότητα ισχύος που παρέχεται και στους υπόλοιπους καταναλωτές. Αποτέλεσμα είναι δημιουργία διαταραχής και στην τάση. Για τον λόγο αυτό έχουν συνταχθεί πολλά πρότυπα που θέτουν όρια για το μέγεθος της κάθε διαταραχής. Για να συμμορφωθούν οι καταναλωτές με αυτά τα όρια αναγκάζονται να εγκαταστήσουν εξοπλισμούς εξομάλυνσης. Σήμερα μόνο οι μεγάλοι καταναλωτές έχουν λάβει κάποια μέτρα (όπως θα φανεί και στις απαντήσεις του ερωτηματολογίου στο 3^ο κεφάλαιο). **Οικιακοί και μικροί καταναλωτές αγνοούν ακόμα και την ύπαρξη αυτών των φαινομένων.**

- ④ Μία τελευταία κατηγοριοποίηση που είναι δίνεται στο **‘Power Harmonics Analyzer and Power Quality Analyzer’** ([9]) έχει να κάνει με την **μορφή της διαταραχής και του χαρακτηριστικού που μεταβάλλει**. Έτσι έχουμε διαταραχή που επηρεάζει την **τάση** και διαταραχή που επηρεάζει την **Κυματομορφή**. Οι διαταραχές που ανήκουν σε κάθε κατηγορία φαίνονται στον **Πίνακα 2.1**.

Για την δημιουργία του σκελετού αυτού του κεφαλαίου και τον τρόπο που γίνεται η παρουσίαση των διαταραχών υιοθετήθηκε η τελευταία περίπτωση. Η κάθε διαταραχή δίνεται στον **Πίνακα 2.1** σε σχέση στο οποίο αναπτύσσεται.

Διακύμανση της	Παράμετρος	Επεξήγηση
Συχνότητας	Διακύμανση της συχνότητας τροφοδοσίας	2.1
Τάσης	Διακύμανση του πλάτους της παρεχόμενης τάσης	2.2
	Ταχείες μεταβολές της τάσης	2.3
	Βύθιση τάσης και παροδική υπέρταση	2.4&2.5
	Διακοπές της τάσης	2.6
	Φλίκερ	2.7
	Ασυμμετρία φάσεων	2.8
Κυματομορφής	Μεταβατικές υπερτάσεις (transient overvoltage)	2.9
	Αρμονικές τάσης	2.10
	Ενδιάμεσες αρμονικές (interharmonics)	2.11
	Περιοδική διαταραχή, ακμή (notching) & Θόρυβος (Noise)	2.12

Πίνακας 2.1 πίνακας διαταραχών της τάσης ανά κεφάλαιο

Ο τρόπος που γίνεται η **διάρθρωση του κάθε κεφαλαίου** και κατ' επέκταση η παρουσίαση της κάθε διαταραχής έχει να κάνει με τον τρόπο που θα αντιμετωπίζεται λογικά ένα πρόβλημα. Πρώτα αναλύεται η **φύση της κάθε διαταραχής** και την **μορφή αυτής**. Επόμενο βήμα είναι ο προσδιορισμός της **πηγής δημιουργίας του φαινομένου**. Τρίτον εξετάζεται ο **τρόπος επίδρασης κάθε διαταραχής στον εξοπλισμό, τόσο των καταναλωτών όσο και του δικτύου**. Και τέλος αναφέρονται **τρόποι αντιμετώπισης των προβλημάτων** που δημιουργεί.

2.1. ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ

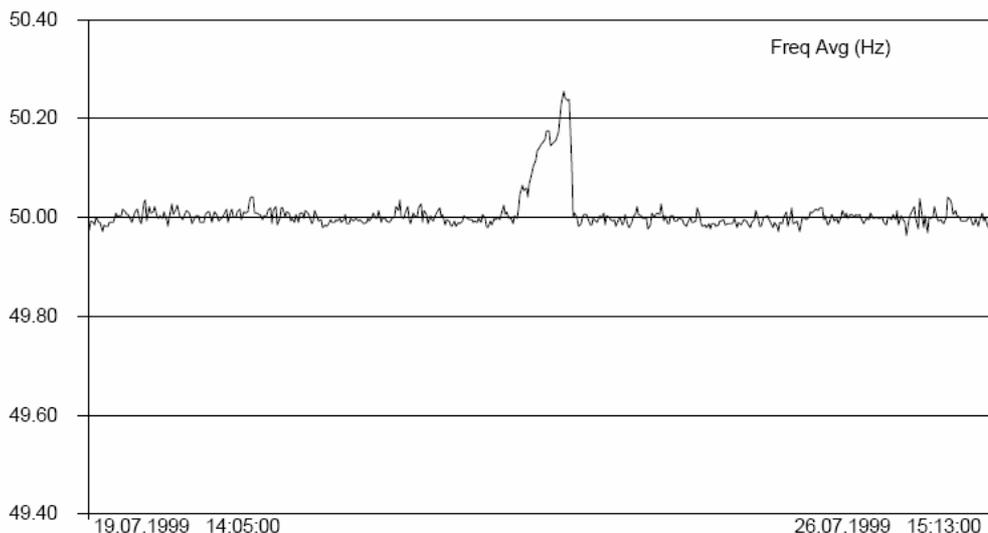
2.1.0. ΓΕΝΙΚΑ

Η μέτρηση της συχνότητας τροφοδοσίας πραγματοποιείται συχνά με βάση την ανίχνευση των περασμάτων της τάσης από το μηδέν (**zero crossing detection**). Εξαιτίας των μεταβατικών φαινομένων και των αρμονικών² πρέπει να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνικές απόρριψης του πολλαπλού περάσματος από το μηδέν.

Για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου παρατείνονται μία εικόνα που παρουσιάζει μία μικρή διαταραχή στην συχνότητα.

Το **Σχήμα 2.1** παρουσιάζει την μέτρηση της συχνότητας τροφοδοσίας για διάστημα μεγαλύτερο από μια εβδομάδα. Κατά την διάρκεια των μετρήσεων μία καταιγίδα προκάλεσε σφάλμα σε μια γραμμή των 35kV. Η διακύμανση είναι εμφανής κατά την απομονωμένη λειτουργία.

² Εξετάζονται στις παραγράφους 2.9 και 2.10 αντίστοιχα



Σχήμα 2.1. Καταγραφή από ένα πραγματικό δίκτυο όπου φαίνεται χαρακτηριστικά ένα παράδειγμα διακύμανσης της συχνότητας που δεν ξεφεύγει βέβαια από τα επιτρεπτά όρια [9]

2.1.1. ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

Οι διακυμάνσεις στην συχνότητα τροφοδοσίας δημιουργούνται όταν **η ισορροπία μεταξύ της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και των φορτίων αλλάξει**. Σε κανονικές συνθήκες, δεν είναι και πολύ πιθανό να παρατηρηθεί σημαντική διακύμανση. Διακυμάνσεις στην συχνότητα αναμένεται να παρατηρηθούν όταν το σύστημα λειτουργεί σε **‘απομόνωση’** από το υπόλοιπο διασυνδεδεμένο δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας ([86], [9]). Σε αυτή τη περίπτωση η συχνότητα μπορεί να κυμαίνεται εξαιτίας της συνεχούς ζεύξης και απόζευξης μεγάλων φορτίων στο σύστημα ή λόγω της **έλλειψης κανονισμών**³ για τα φορτία που συνδέονται (π.χ. τα φορτία που συνδέονται δεν ικανοποιούν τα όρια για καλή ποιότητα ισχύος όπως δίνονται από τα διεθνή πρότυπα, όμως δεν υπάρχει κάποιος κανονισμός που να απαγορεύει σε ένα τέτοιο καταναλωτή να συνδεθεί στο σύστημα).

2.1.2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ

Συνήθως οι περισσότερες συσκευές από κατασκευαστικής άποψης μπορούν να αντέξουν μία διακύμανση της τάξης του 1% στην συχνότητα της τάσης που δέχονται. Αν απομακρυνθεί πολύ από αυτά τα όρια οι συνέπειες ενδέχεται να είναι καταστροφικές για τις συσκευές αν έχει μεγάλη διάρκεια. Όπως όμως αναφέραμε μετά την διασύνδεση της Ελλάδας με το υπόλοιπο ευρωπαϊκό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας οι διακυμάνσεις της τάσης που παρατηρούνται είναι αμελητέες και μόνο στην περίπτωση που ‘κοπεί’, έστω και για λίγο, η διασύνδεση μπορεί να πάρουν κάποιες τιμές που να είναι ανησυχητικές, αλλά όχι καταστροφικές. Πρόβλημα

³ Το ειδικό συμβόλαιο για το οποίο γίνεται λόγος στο 1^ο κεφάλαιο)

παρατηρείται κυρίως σε απομονωμένα συστήματα, όπως είναι τα πολλά νησιά που έχουμε στην Ελλάδα.

2.1.3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται επίλυση του προβλήματος παρουσιάζεται στο 'Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Έλεγχος Συχνότητας και τάσεως' ([86]). Διδάσκεται στο μάθημα 'Αυτόματος Έλεγχος και ευστάθεια ΣΗΕ' στο 9^ο εξάμηνο της σχολής ΗΜΜΥ. Ο τρόπος αυτός είναι η **πρωτεύουσα και δευτερεύουσα ρύθμιση** η επεξήγηση της οποίας παραλείπεται.

2.2. ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΤΗΣ ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΗΣ ΤΑΣΗΣ

2.2.0. ΓΕΝΙΚΑ

Το εύρος της παρεχόμενης τάσης αναπαρίσταται με την RMS τιμή της τάσης για χρόνο ίσο με το μισό της περιόδου. Στατιστικοί υπολογισμοί για κάποια συγκεκριμένα δεδομένα γίνονται για μία περίοδο. Χρησιμοποιείται ένα κενό διάστημα ολοκλήρωσης ώστε να μειώνεται ο όγκος των μετρήσεων και αυτό μπορεί να είναι από μερικά δευτερόλεπτα μέχρι και 10 λεπτά. Σαν διακύμανση της τάσης συνήθως ορίζεται η ***μακράς διάρκειας απόκλιση της τάσης από την ονομαστική της τιμή (θα μπορούσε κανείς να την αποκαλέσει και μόνιμη γιατί παρατηρείται σε αρκετές περιόδους).***

2.2.1. ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

Μια αλλαγή στην RMS τιμή της τάσης μπορεί να συμβεί εξαιτίας της ***διακύμανσης των φορτίων του δικτύου***, αλλά με μία εγκατάσταση αυτόματου ρυθμιστή τάσης θα ήταν δυνατό να γίνει μία αντιστάθμιση αυτών των αλλαγών εντός κάποιων δεκάτων του δευτερολέπτου. Οι διακυμάνσεις αυτές μπορεί να αποτελέσουν πρόβλημα σε πολύ μεγάλες γραμμές⁴.

2.2.2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ

Οποιαδήποτε διαταραχή στο πλάτος της τάσης εκτός των ορίων του +10% / -15% της ονομαστικής τιμής του πλάτους της τάσης μπορεί να προκαλέσει πρόωρη γήρανση, υπερθέρμανση ή δυσλειτουργία του συνδεδεμένου εξοπλισμού.

⁴ π.χ. όταν ένα δίκτυο είναι βρογχοειδές και κόβεται μία από τις δύο άκρες τότε δημιουργείται ένα κύκλωμα σειράς πολύ μεγάλου μήκους με αποτέλεσμα η αρχή να έχει ανύψωση τάσης. Το άλλο άκρο θα έχει υπόταση. Αυτό συμβαίνει επειδή δεν θα είναι δυνατόν να γίνει αντιστάθμιση που να ικανοποιεί όλα τα στοιχεία που είναι ενωμένα σε μία γραμμή. Το συγκεκριμένο πρόβλημα το αντιμετώπιζε και κάποιος από τους καταναλωτές του ερωτηματολογίου

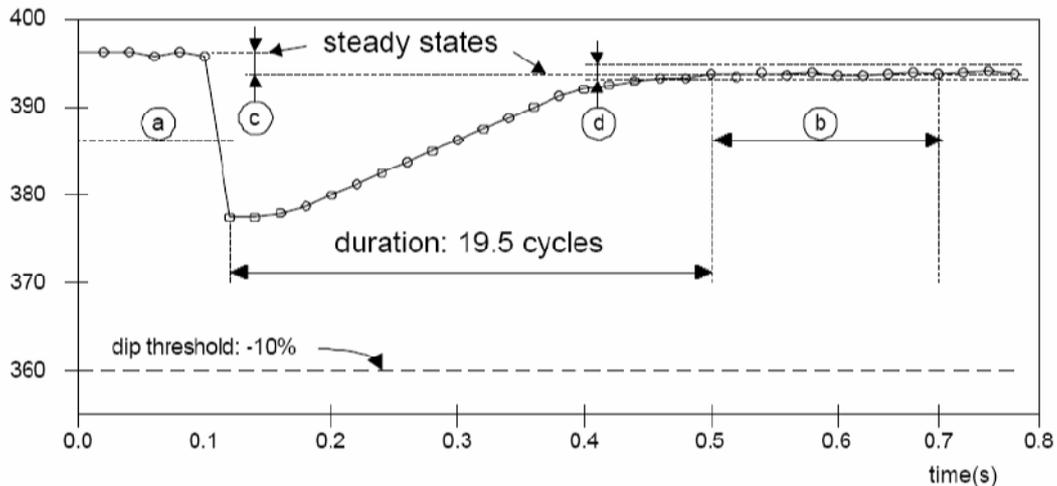
2.2.3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

- Ο καλύτερος τρόπος επίλυσης αυτών των προβλημάτων είναι η χρήση μικρότερων γραμμών από τους παραγωγούς προς τους καταναλωτές. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην μείωση της πτώσης τάσης από την παραγωγή στην κατανάλωση.
- Άλλος τρόπος είναι η χρήση των APT (Αυτόματων Ρυθμιστών Τάσης) που ήδη γίνεται στις μονάδες παραγωγής.
- Τέλος είναι γνωστή και η μέθοδος χρήσης μετασχηματιστών με μεταβλητό λόγο μετασχηματισμού, ώστε να διορθώνεται πιθανή μακρά διακύμανση στην τάση (αυτή την μέθοδο την χρησιμοποιούν εκτός της ΔΕΗ και αρκετοί μεγάλοι καταναλωτές).
- Μία άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται από τους παροχείς είναι η αντιστάθμιση της τάσης σε πολλούς ζυγούς χωριστά και όχι σε κεντρικό επίπεδο. Όμως υπάρχουν και αρνητικές συνέπειες από την χρήση πυκνωτών.⁵

TAXEIES METABOLES THS TΑΣΗΣ

Ταχεία μεταβολή της τάσης καλείται μία γρήγορη μεταβολή στη τάση μεταξύ δύο κανονικών συνθηκών. Μπορεί να προκληθεί με την ζεύξη ή απόζευξη μεγάλων φορτίων στο δίκτυο. Ένα τυπικό παράδειγμα μία ταχείας μεταβολής στην τάση μπορεί να παρατηρηθεί με την εκκίνηση ενός μεγάλου κινητήρα. Αν η απότομη μεταβολή στην τάση ξεπερνάει κάποια όρια τότε θεωρείται σαν βύθιση ή υπέρταση. Για την μέτρηση ενός φαινομένου ταχείας μεταβολής της τάσης πρέπει να οριοθετηθούν οι τιμές των κατωφλίων για κάθε ένα από τα παρακάτω χαρακτηριστικά: *ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή μεταβολής (a), ελάχιστη διάρκεια που πρέπει να βρισκόμαστε σε κανονική κατάσταση λειτουργίας (b), ελάχιστη διαφορά μεταξύ δύο καταστάσεων κανονικής λειτουργίας (c) το διάστημα σταθερότητας για τις καταστάσεις κανονικής λειτουργίας (d)*. Το **σχήμα 2.2** δείχνει μία ταχεία μεταβολή στην τάση με τα αντίστοιχα όρια (κατώφλια thresholds). Στο σχήμα αυτό δίνονται και τα a, b, c, d όπως ορίστηκαν παραπάνω.

⁵ Οι συνέπειες της χρήσης πυκνωτών εξηγούνται στο υποκεφάλαιο ανάλυσης των αρμονικών.



Σχήμα 2.2. Ορισμός των μεταβλητών που προσδιορίζουν τις ταχείες μεταβολές της τάσης [9]

Οι ταχείες μεταβολές της τάσης παρουσιάζονται σε δύο κατηγορίες μία είναι η παροδική πτώση τάσης (2.3.) και μία η παροδική υπέρταση (2.4.) που αναπτύσσονται στην συνέχεια.

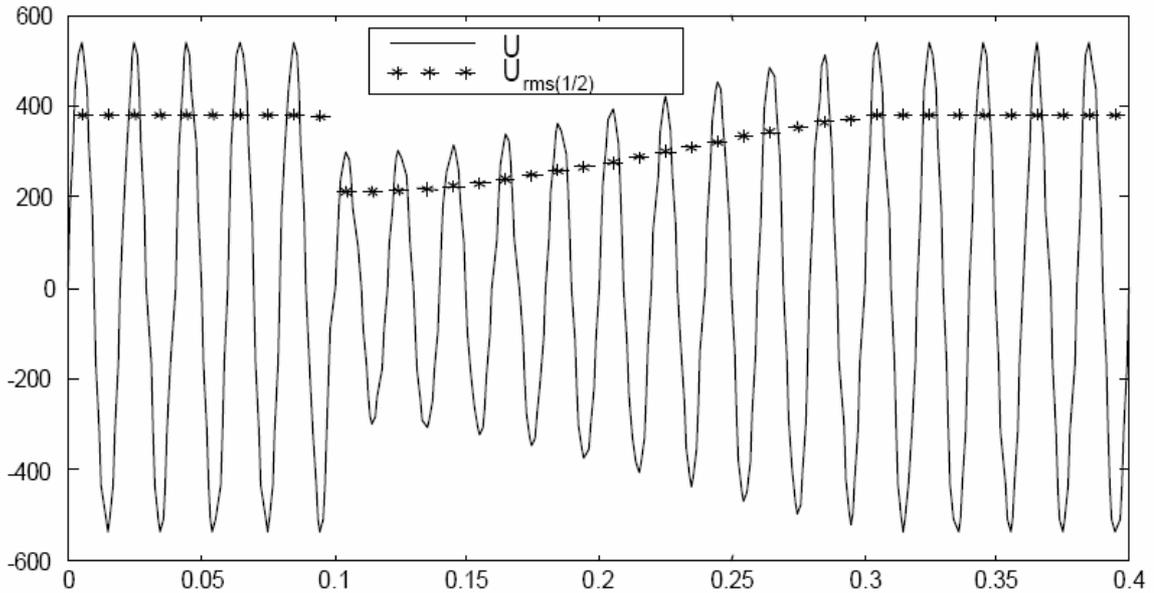
2.3. ΠΑΡΟΔΙΚΗ ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ (SAG, DIP)

2.3.0. ΓΕΝΙΚΑ

Βύθιση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται διεθνώς για να ορίσει μία παροδική μείωση της παρεχόμενης τάσης κάτω από ένα κατώφλι για χρόνο μικρότερο του ενός λεπτού. Μείωση της τάσης για μεγαλύτερη διάρκεια από το ένα λεπτό κατατάσσονται στις διακυμάνσεις του πλάτους, όπως και παρουσιάσαμε στην ενότητα 2.2.

Στην διεθνή βιβλιογραφία ο όρος **sag** χρησιμοποιείται από ένα σημαντικό αριθμό ερευνητών, αλλά τελευταία η επιτυχία της EMC (ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας) έχει ορίσει τον όρο **dip** ως τον καταλληλότερο.

Για την εκτίμηση των βυθίσεων της RMS τιμής της τάσης, αυτή υπολογίζεται στο διάστημα μιας περιόδου ή μιας ημιπεριόδου, κάθε 10ms (κάθε μισό κύκλο). Αυτή η τιμή φαίνεται σαν $U_{rms(1/2)}$. Η αρχή της μέτρησης της $U_{rms(1/2)}$ τιμής φαίνεται στο **σχήμα 2.3**. Κάθε 10ms μία καινούργια τιμή της ενεργού τιμής της τάσης (φαίνεται στο σχήμα σαν *) παρουσιάζεται για την σύγκριση με το κατώφλι.

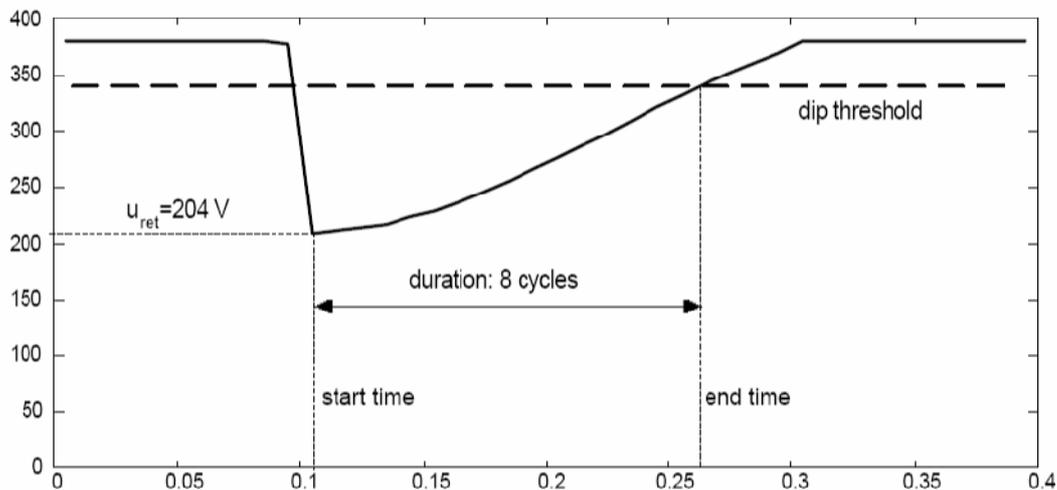


Σχήμα 2.3. στο σχήμα αυτό φαίνεται η ενεργός τιμή $U_{rms(1/2)}$ όπως αυτή καταγράφεται σε σχέση με το πλάτος της κυματομορφής της τάσης [9]

Η βύθιση της τάσης χαρακτηρίζεται από 4 στοιχεία [9]:

- 1) Κατώφλι βύθισης
- 2) Ώρα εκκίνησης της βύθισης
- 3) Διάρκεια βύθισης
- 4) Ύψος τάσης (retained voltage) U_{ret} (ο όρος από την άποψη ότι δεν πάει παρακάτω)

Στο Σχήμα 2.4. παρουσιάζονται τα 4 χαρακτηριστικά σε μια βύθιση τάσης όπως απεικονίζονται γραφικά. Το κατώφλι βύθισης μπορεί να τεθεί από τον χρήστη και είναι σαν ποσοστό της ονομαστικής τάσης U_n ή συμφωνημένης τάσης (**declared voltage**) U_c (η U_{dec} σε μερικές περιπτώσεις). Μπορεί να κυμαίνεται από $0.9 U_c$ για αποφυγή προβλημάτων έως $0.65 U_c$ σε κάποιες συμβατικές περιπτώσεις. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το κατώφλι βύθισης τέθηκε στα 0.85, το οποίο και σημαίνει 340volts (πολική τάση).

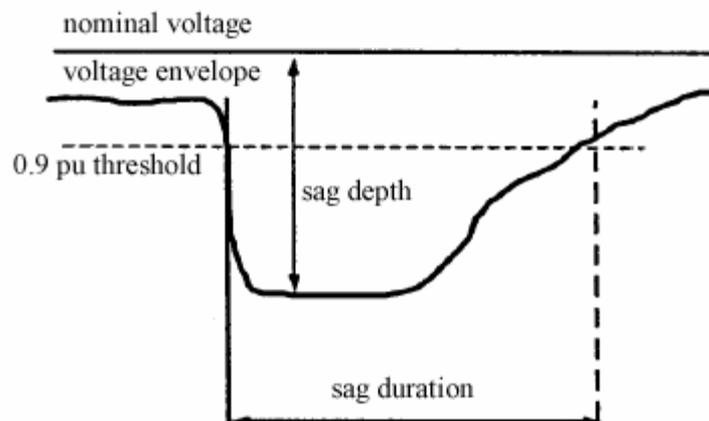


Σχήμα 2.4. χαρακτηριστικά της βύθισης τάσεως [9]

Η βύθιση *ξεκινάει* όταν η τάση πέσει *κάτω από το κατώφλι*. *Τερματίζεται* όταν η τάση πάρει τιμή *μεγαλύτερη από το κατώφλι*. Η χρονική διαφορά μεταξύ της εκκίνησης και του τερματισμού είναι η διάρκεια της βύθισης και καταγράφεται συνήθως σε δευτερόλεπτα ή περιόδους. Το βάθος της βύθισης είναι η μικρότερη τιμή τάσης που παρατηρείται στην συγκεκριμένη βύθιση (βάθος της βύθισης καλούμε την μέγιστη διαφορά που θα έχει η τάση κατά την βύθιση από την ονομαστική).

Το ελάχιστο σύνολο χαρακτηριστικών που μπορούν να περιγράψουν μια βύθιση είναι η διάρκεια και του ύψους της βύθισης [U_{ret} , διάρκεια], παρόλα αυτά μερικά όργανα μπορούν να εμφανίσουν περισσότερα από ένα χαρακτηριστικά, όπως τον μέσο όρο της τάσης κατά την διάρκεια της βύθισης. Το παράδειγμα της σχήματος 2.4 μπορεί να περιγραφεί π.χ. με [209V,160ms].

Σαν υποσημείωση επισημαίνεται ότι συχνότερα στην βιβλιογραφία χρησιμοποιείται ο όρος (στην Ελλάδα χρησιμοποιείται κατεξοχήν) βάθος τάσης όπου ένα βάθος τάσης της τάξης του 90% αντιστοιχεί σε διατηρημένη τάση της τάξης των 10%. Αυτό φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα που δίνονται εκ νέου τα χαρακτηριστικά μιας βύθισης.

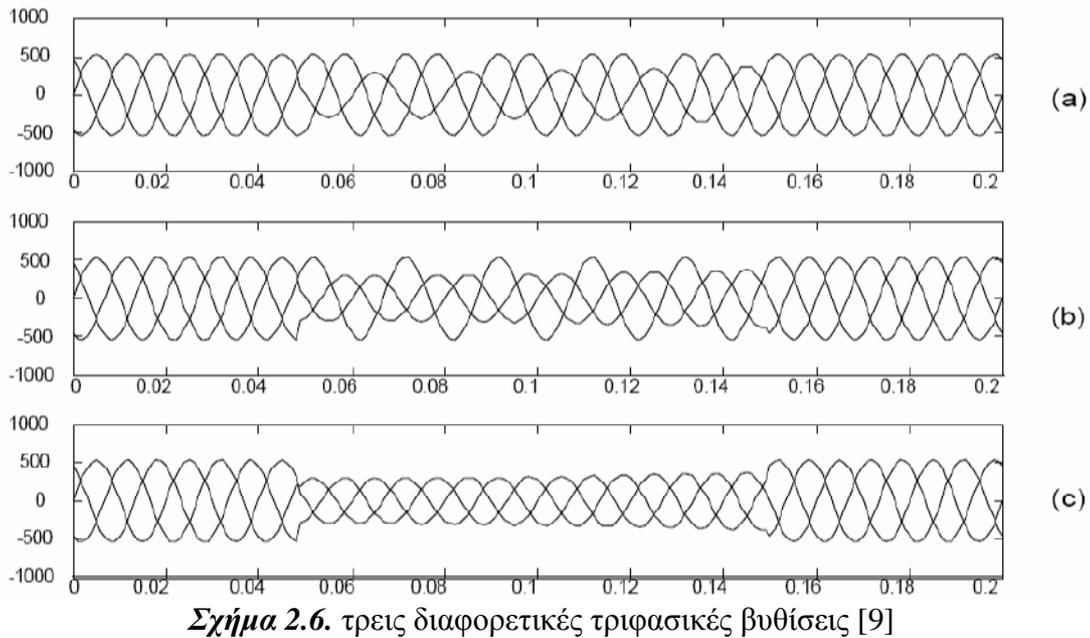


Σχήμα 2.5. χαρακτηριστικά τάσης κύρια χρησιμοποιούμενα στην ελληνική βιβλιογραφία [10]

Ιδιαίτερη προσοχή χρίζει το κατώφλι της βύθισης. Αντί να χρησιμοποιείται κάποια προκαθορισμένη τιμή της τάσης για τον χαρακτηρισμό της κάθε βύθισης θα μπορούσε να γίνει μια **κανονικοποίηση** σε κάποια ανοιγμένη μονάδα (όπως είναι το ανά μονάδα σύστημα).

Με αυτόν τον τρόπο θα αποφεύγονταν προβλήματα επαναπροσδιορισμού της βύθισης για διαφορετικές τιμές της τάσης. Επίσης σημαντική είναι η διαφοροποίηση στο κατώφλι ανάλογα με το αν ξεκινάει ή τελειώνει η βύθιση. **Το τέλος της βύθισης είναι συνήθως 1% υψηλότερα από το κατώφλι στην έναρξη της βύθισης.** Η σύμβαση αυτή έγινε για να αποφευχθεί το πρόβλημα που μπορεί να προκύψει αν η τάση κινείται σε επίπεδα οριακά σε σχέση με το κατώφλι.

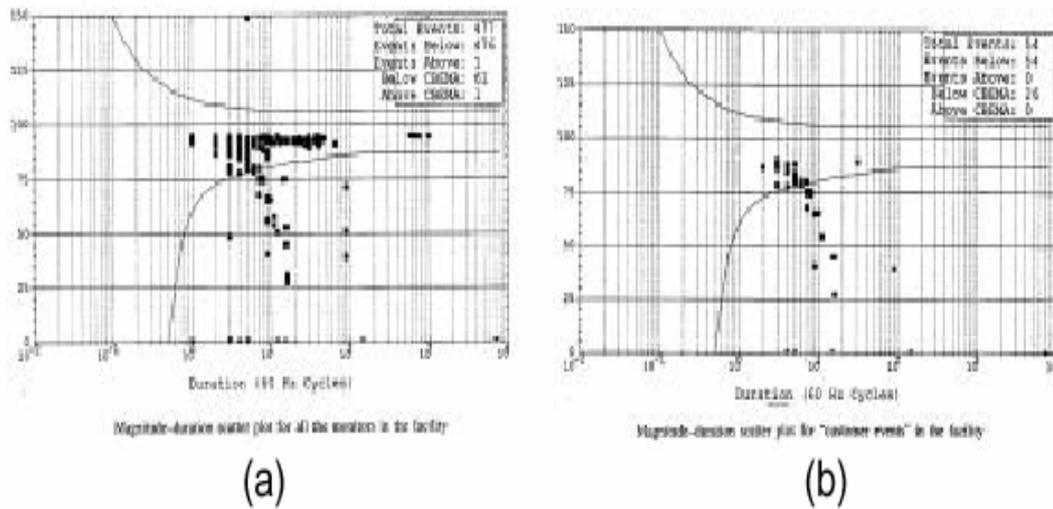
Στο σχήμα 2.6. απεικονίζεται μία μονοφασική (a), μια διφασική (b) και τριφασική βύθιση (c) βύθιση της τάσης.



Η διαδικασία χαρακτηρισμού μιας βύθισης γίνεται ακόμα πιο περίπλοκη όταν υπάρχουν τρεις φάσεις και / ή πολλά διαδοχικά συμβάντα βύθισης. Το ερώτημα που τίθεται σε αυτήν την περίπτωση είναι αν πρέπει να χαρακτηριστούν ως διαφορετικές βυθίσεις ή ως ένα σύνθετο φαινόμενο βύθισης πολλαπλών φάσεων; Η απάντηση εξαρτάται από το αν η συχνότητά τους προκάλεσε ένα ή περισσότερα περιστατικά διακοπής λειτουργίας των μηχανημάτων και παράπονα πελατών.

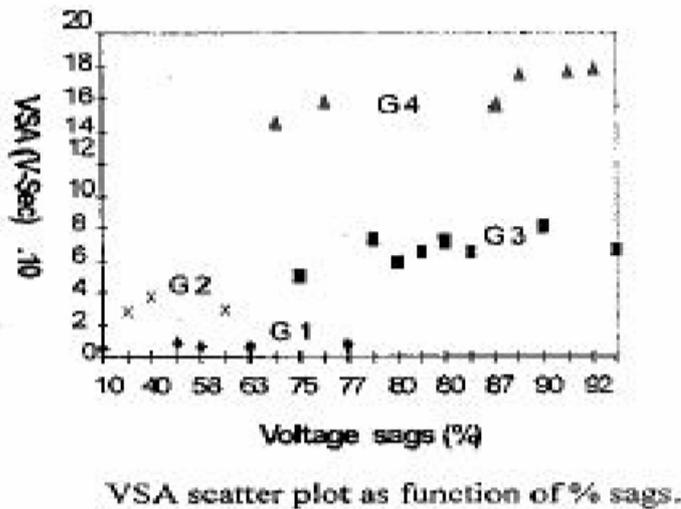
Στην περίπτωση παροχής μέσης τάσης, θεωρήθηκε ότι οι περισσότεροι πελάτες είναι τριφασικοί και μία βύθιση στις τρεις φάσεις δεν είναι περισσότερο σοβαρή από μία βύθιση σε μία φάση. Όταν γίνονται ταυτόχρονες βυθίσεις σε διαφορετικές φάσεις, τότε η βύθιση με το μεγαλύτερο βάθος θεωρείται ως αυτή που θα χρησιμοποιήσουμε για το χαρακτηρισμό – μία διαδικασία που ονομάζεται «σύζευξη φάσεων».

Όταν οι βυθίσεις γίνονται με μεγάλη συχνότητα, συνήθως ως αποτέλεσμα λειτουργίας γρήγορης ξεύξης - απόξευξης διακοπών, είναι σχεδόν απίθανο η κάθε βύθιση να προκαλέσει εκ νέου διακοπή λειτουργίας του ίδιου μηχανήματος, αφού χρειάζεται χρόνος για την επανεκκίνησή του. Ο Bollen ([11]) προτείνει να καταγράφεται η βύθιση με το μεγαλύτερο βάθος τάσης, όταν πραγματοποιούνται πολλές βυθίσεις σε χρόνο μικρότερο του ενός λεπτού. Στο **Σχήμα 2.7** (α) και (β) φαίνεται πως η κατανομή των βυθίσεων σε μια περιοχή μπορεί να επηρεαστεί όταν χρησιμοποιείται σύζευξη φάσεων.



Σχήμα 2.7. : Σύγκριση δημιουργίας αναφοράς με τη χρήση της καμπύλης CBMA (a) χωρίς και (b) με σύζευξη χρόνου [10]

Είναι εμφανές ότι όσο πιο ‘ρηχές’ είναι οι βυθίσεις τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι η διάρκειά τους για να προκαλέσουν εξίσου σημαντικά προβλήματα στην λειτουργία των μηχανημάτων. Ο Nasrullah [7] πρότεινε ότι η παράμετρος Βάθος x Διάρκεια, αποκαλούμενη Ένταση Βύθισης Τάσεως (VSA) μπορεί να αποτελέσει αποτελεσματικό μέτρο για τον χαρακτηρισμό της βύθισης. Το σχήμα 2.8, σχετικά με αυτήν πρόταση, δείχνει ότι ομάδες παρόμοιων μηχανημάτων, των οποίων η λειτουργία διακόπηκε υπό διαφορετικές συνθήκες βύθισης παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές Έντασης της Βύθισης Τάσεως.

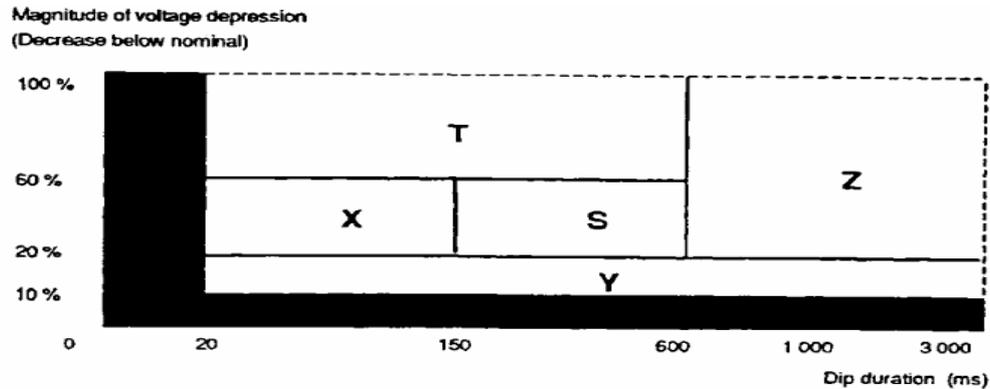


Σχήμα 2.8.: VSA για ομάδες παρόμοιου εξοπλισμού (G1-G4) κάτω από διαφορετικά βάθη βύθισης [10]

Υπάρχουν και εναλλακτικοί ορισμοί από την αναπαράσταση **βάθους-διάρκειας** και την τοποθέτηση της τιμής σε μία καμπύλη της μορφής CBEMA ή ITIC⁶. Μια

⁶ Οι καμπύλες αυτές φαίνονται στο Σχήμα 2.13

παραλλαγή λοιπόν αυτής της μεθόδου δόθηκε από την Εταιρία Ηλεκτρισμού της Νότιας Αφρικής, ESKOM. Για την απεικόνιση μιας βύθισης όρισαν ορθογώνια τμήματα στο επίπεδο διάρκεια / μέγεθος και αναλόγως αυτό το ζευγάρι προκύπτει και ο αριθμός των βυθίσεων που ανήκουν σε κάθε τμήμα.

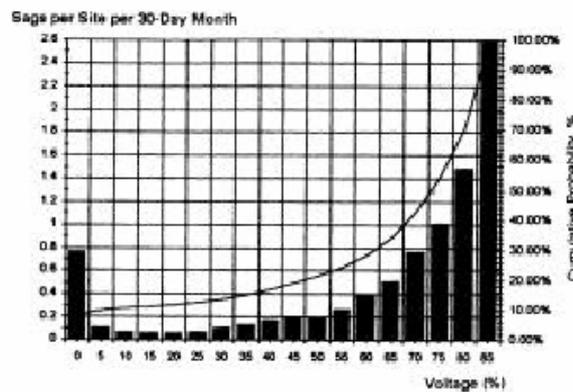


Voltage dip window

Network Voltage	Number of voltage sags per year				
	Sag(Dip) Window Category				
	Z	T	S	X	Y
6.6 kV≤ 44 kV	20	30	30	100	150
6.6 kV≤ 44 kV (Rural)	49	54	69	215	314
> 44 kV≤ 132 kV	16	25	25	80	120
220 kV≤ 765 kV	5	6	11	45	88

Σχήμα 2.9. : ESKOM παράθυρο βύθισης τάσης [16]

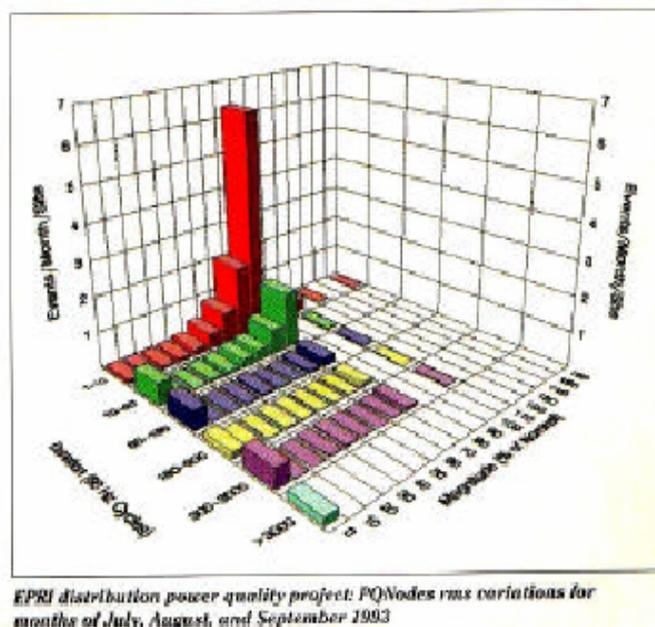
Ο τρόπος αναπαράστασης των βυθίσεων που έχει σημαντική αξία στην συγκεκριμένη διπλωματική είναι η στατιστική απεικόνιση των βυθίσεων σε μορφή αθροιστικής συχνότητας εμφάνισης τους⁷. Η EPRI δίνει μια στατιστική προσέγγιση, χρησιμοποιώντας ιστογράμματα και καμπύλες αθροιστικής συχνότητας. Παρακάτω φαίνονται προσεγγίσεις με δισδιάστατες (Σχήμα 2.10) και τρισδιάστατες (Σχήμα 2.11) αναπαραστάσεις.



Typical U.S. electric utility sag incidence rate data for 9-month period. (Courtesy of Electric Power Research Institute, EP 3098-1.)

Σχήμα 2.10. : 2D στατιστική προσέγγιση βασισμένη μόνο στο μέγεθος [80]

⁷ Ο τρόπος που χρησιμοποιείται η αθροιστική συχνότητα αναλύεται καλύτερα στο τρίτο κεφάλαιο με τα πρότυπα που χρειάζεται για την οριοθέτηση των διαταραχών όπως ακριβώς και οι προηγούμενες καμπύλες



Σχήμα 2.11. : 3D στατιστική προσέγγιση βασισμένη στο μέγεθος και τη διάρκεια [80]

2.3.1. ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

Οι βυθίσεις τάσεως δημιουργούνται κυρίως λόγω καταστάσεων σφαλμάτων στο δίκτυο ή λόγω εξαιρετικά μεγάλων ρευμάτων που διαρρέουν στιγμιαία το δίκτυο, όπως για παράδειγμα λόγω κεραυνού που έπληξε κάποια εναέρια γραμμή μεταφοράς ή λόγω εκκίνησης κάποιων πολύ μεγάλων φορτίων⁸.

Βύθιση μπορεί να προκληθεί από τις βλάβες στη λειτουργία ή από το ξεκίνημα των μεγάλων φορτίων όπως οι συνδεδεμένοι DOL επαγωγικοί κινητήρες.

Πρέπει επίσης να γίνει σαφές ότι μπορεί και να προκληθούν «τοπικές» βυθίσεις είτε σε οικιακές, είτε σε εμπορικές, είτε ακόμα και σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις οι οποίες συμβαίνουν λόγω της εκκίνησης κάποιων φορτίων και είναι ικανές να επηρεάσουν τον υπόλοιπο εξοπλισμό της εγκατάστασης αλλά δεν μπορούν να επηρεάσουν στην ίδια κλίμακα και γειτονικές εγκαταστάσεις.

Οι βυθίσεις λοιπόν είναι μικρής διάρκειας πτώσεις τάσης, που οφείλονται σε μικρής διάρκειας αύξησης του ρεύματος, συνήθως σε διαφορετικό σημείο από αυτό που μετράται η βύθιση. Η πιο συνήθεις λόγοι υπερεντάσεων, που οδηγούν σε βυθίσεις είναι, όπως είπαμε η εκκίνηση κινητήρων, η ενεργοποίηση μετασχηματιστών και οι καταστάσεις σφάλματος. Όμως η ζεύξη πυκνωτών και η αυτόματη και ταχεία ζεύξη

⁸ κεραυνός => μεγάλο ρεύμα => σταθερή τάση γεννήτριας => μεγαλύτερη πτώση τάσης

και απόζευξη φορτίων με την τεχνολογία που προσφέρουν τα ηλεκτρονικά ισχύος οδηγούν σε μικρής διάρκειας υπερεντάσεις. Η διάρκεια της υπερέντασης είναι μικρή για να προκαλέσει σημαντική μείωση στην τάση. Αυτά τα γεγονότα συνήθως δεν αναφέρονται σαν βυθίσεις, αλλά σαν αιχμές (notches) ή μεταγωγικές τάσεις (transient voltages) αντίστοιχα. Από την πλευρά των τεχνικών θεωρείται πως οι βυθίσεις τάσεως εξαιτίας σφαλμάτων είναι ο λόγος της πλειοψηφίας δημιουργίας προβλημάτων στον εξοπλισμό.

Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται μιας τελείως διαφορετική άποψη για τις βυθίσεις όπως καταγράφηκε στην διεθνή βιβλιογραφία [11]. Οι βυθίσεις συνήθως παρουσιάζονται σαν ανεπιθύμητες καταστάσεις στην λειτουργία του συστήματος και όχι άδικα. Μία άλλη πιο θετική οπτική όμως θα μπορούσε να τις παρουσιάσει σαν **αποτέλεσμα της μεγάλης αξιοπιστίας του συστήματος παροχής**. Χωρίς την ευρεία χρήση εξοπλισμού προστασίας, **κάθε σφάλμα θα οδηγούσε σε απώλεια της παροχής, διακοπή, για μία μεγάλη μερίδα καταναλωτών**. Η προστασία **περιορίζει σημαντικά τον αριθμό των καταναλωτών που αντιλαμβάνονται μόνιμη διακοπή**. Σε πολλές περιπτώσεις προσεγγίζει το μηδέν. Κατά αυτόν τον τρόπο καταναλωτές που άλλοτε θα αντιμετώπιζαν μία μόνιμη διακοπή, **τώρα αντιμετωπίζουν μια βύθιση τάσεως**.

Αυτός ο τρόπος προστασίας αποδείχθηκε αρκετά καλός για πολλά χρόνια αλλά τελευταία όλο και περισσότερα είναι τα προβλήματα που καταγράφονται εξαιτίας αυτών των πτώσεων τάσης στους τελικούς καταναλωτές. Αυτό δεν είναι αποτέλεσμα μόνο του γεγονότος πως ο εξοπλισμός, ειδικά τα ηλεκτρονικά κυκλώματα, έχουν γίνει πιο ευαίσθητα σε πτώσεις τάσεως, αλλά και στο γεγονός πως και οι εταιρίες έχουν γίνει λιγότερο ανθεκτικές σε απώλειες λόγω διακοπής της παραγωγικής διαδικασίας. Τα αποτελέσματα των βυθίσεων στον εξοπλισμό των καταναλωτών παρουσιάζονται παρακάτω.

2.3.2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ

Η ‘λογική’ των βυθίσεων και των αποτελεσμάτων τους είναι γνωστή για πολλά χρόνια [11]. Η μείωση στην τάση οδηγεί σε μείωση στην δυνατότητα ενεργειακής μεταφοράς ενός συστήματος. **Αυτό αποτελούσε την λογική βάση της μεταβατικής σταθερότητας**: η υπόταση εξαιτίας σφάλματος οδηγεί σε μείωση της ενέργειας που μεταφέρεται από τις γεννήτριες στους κινητήρες. Οι κινητήρες επιβραδύνουν και οι γεννήτριες επιταχύνουν για να καλυφθεί το κενό στην ενέργεια. Αυτό το φαινόμενο θέτει τα όρια για την εκκαθάριση ενός σφάλματος στο δίκτυο μεταφοράς και επίσης για τους κανόνες σύνδεσης ενός αιολικού πάρκου στο δίκτυο ([11]).

Η βύθιση τάσης θεωρείται το ποιοτικό πρόβλημα ισχύος με την περισσότερη ανησυχία στους βιομηχανικούς πελάτες. Πολλοί διανομείς έχουν διεξάγει έρευνες στο δίκτυό τους πραγματοποιώντας υπολογισμό απλών αριθμών για να μετρήσουν την αξιοπιστία του δικτύου τους ώστε να αποφευχθεί αυτό το φαινόμενο. Η καταγραφή αυτή συν τοις άλλοις συμβάλει και στα παρακάτω ([9], [11], [14]):

- Να δοθούν πληροφορίες στους πελάτες για το σωστότερο προσδιορισμό των κρίσιμων προδιαγραφών εξοπλισμού που προσφέρουν περισσότερη εμπιστοσύνη

στις νέες εγκαταστάσεις ή να καθορίσουν οικονομικώς αποδοτικές τεχνικές μετριάσεως των βυθίσεων στις παλαιές εγκαταστάσεις που προκαλούν προβλήματα.

- Να δοθούν οι απαραίτητες προδιαγραφές ώστε να καταδειχθεί ένα αποδεκτό επίπεδο ποιοτικών διαταραχών ισχύος. **Ανάπτυξη διεθνών προτύπων τα οποία θα γίνουν μέρος της νομοθεσίας κάθε χώρας, ώστε να μην είναι απλά προτρεπτικά όπως είναι σήμερα.**
- Να δημιουργηθεί ένα εργαλείο μέτρησης που να αξιολογεί τα προβλήματα. Έτσι μπορούν να κριθούν σχετικά με άλλους παροχείς ενέργειας, μερικοί από τους οποίους ενδέχεται να είναι οι ανταγωνιστές τους. **Το σκεπτικό αυτό που ακούγεται σωστό για ένα καθεστώς ελεύθερης αγοράς έχει ένα συγκεκριμένο πρόβλημα στα ήδη υπάρχοντα διεθνώς δεδομένα. Παντού υπάρχουν σε ελεύθερη αγορά πολλοί παροχείς, αλλά δεν υπάρχουν πολλά δίκτυα παροχής που να μπορεί κάποιος να συνδεθεί.**
Έτσι για την βύθιση που αποτελεί μέρος ενός συστήματος δεν σημαίνει ότι αν κάποιος κλείσει μία συμφωνία με κάποιον παροχέα ισχύος ότι η ισχύς που θα καταναλώνει κάθε στιγμή θα είναι και αυτή που θα παράγει ο παραγωγός που συμφώνησε. Έτσι βύθιση είναι αναπόφευκτη και για αυτόν. Μάλιστα όπως αναπτύχθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο όταν αυξάνεται η απόσταση παραγωγού καταναλωτή (εισαγωγή ενέργειας από εξωτερικό) τότε υπάρχει σοβαρή περίπτωση να εμφανιστεί μόνιμη διακοπή σε όλο το σύστημα στην περίπτωση που χαθεί η διασύνδεση.
- **Να δημιουργηθεί ένα σταθερό επίπεδο κανονικής ποιότητας ενέργειας ως βάση για τις συμβάσεις με τους πελάτες.** Αυτό το ζήτημα το τίθεται προς απάντηση από τους καταναλωτές και στο ερωτηματολόγιο που συντάχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής.
- Να επιτραπούν οι συγκρίσεις των διαφορετικών μερών ενός δικτύου ώστε να δημιουργηθούν οι κατάλληλες πρακτικές επέκτασης, βελτίωσης και συντήρησης δικτύων. Και αυτό τίθεται προς απάντηση από τους καταναλωτές και στο ερωτηματολόγιο που συντάξαμε στα πλαίσια της διπλωματικής.

Έρευνες που διεξήχθησαν τα τελευταία χρόνια έχουν επιβεβαιώσει ότι οι βυθίσεις τάσεως προκαλούν τα περισσότερα των προβλημάτων των ηλεκτρικών εξοπλισμών [14]. Οι Ηλεκτρονόμοι και οι ημιαγωγοί μπορεί να βγουν εκτός λειτουργίας στην περίπτωση που υπάρξει βύθιση τάσης 60% για διάστημα μεγαλύτερο της μιας περιόδου. Υποθετικές καταστροφές εξαρτώνται από την ικανότητα του εξοπλισμού να αντέξει χαμηλότερη τάση για μικρή χρονική περίοδο. Ιδιαίτερα ευαίσθητες στις βυθίσεις είναι οι συσκευές των νέων τεχνολογιών⁹. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά κριτήρια για να γίνει μία αξιολόγηση της σοβαρότητας κάθε τέτοιας διαταραχής, όπως είναι για παράδειγμα η καμπύλη ITIC. Κυκλώματα οδήγησης (electronic drives), μετατροπείς και συσκευές με ψηφιακή είσοδο (τύπου 0 και 1, δηλαδή 0V και 5V) είναι επίσης ευαίσθητα στις βυθίσεις.

⁹ Σαν συσκευές νέων τεχνολογιών θεωρούνται αυτές που απαρτίζουν συσκευές πληροφορικής, τηλεπικοινωνιών, κ.α.

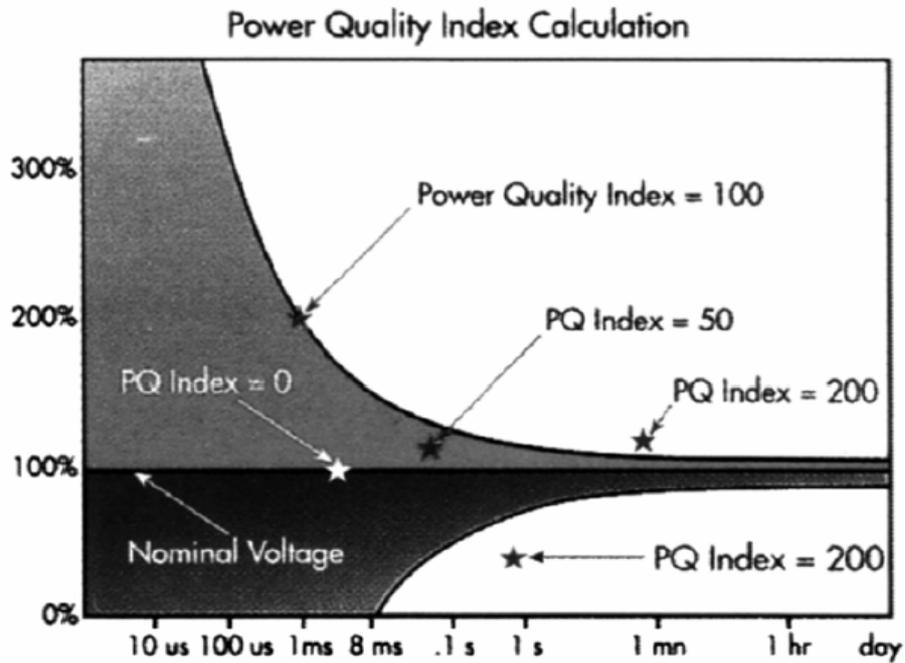
Στην επαναφορά μετά από βύθιση οι ασύγχρονοι κινητήρες θα τραβήξουν μεγαλύτερο ρεύμα από το ρεύμα εκκίνησης τους. Αυτό αποτελεί και μία από τις σοβαρότερες αιτίες δημιουργίας προβλημάτων λόγω των βυθίσεων, αφού τα επαγωγικά φορτία θα απαιτήσουν μεγαλύτερο ρεύμα κατά την επανεκκίνηση τους και θα προκαλέσουν περαιτέρω πτώση τάσης, οξύνοντας το πρόβλημα και οδηγώντας σε διακοπή της παροχής, αφού ο διαχειριστής του συστήματος αναγκάζεται να βγάλει εκτός κάποιες γραμμές (συνήθως ολόκληρες περιοχές οικιακών καταναλωτών) προκειμένου να είναι εφικτή η αποκατάσταση της τάσης στα φυσιολογικά επίπεδα. Εν συνεχεία ο διαχειριστής εισάγει σταδιακά τα φορτία ανά περιοχή για αποφευχθεί το ίδιο πρόβλημα.

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται δύο καμπύλες οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιορίσουμε την σημαντικότητα μιας βύθισης στα ευαίσθητα φορτία. Οι καμπύλες είναι του τύπου διάρκειας-βάθος βύθισης και είναι από δύο ανεξάρτητους φορείς από τον **CBEMA** (Computer Business Equipment Manufacturers Association) και άλλο η καμπύλη της **ITIC** (Information Technology Industry Council) όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Η καμπύλη από την **CBEMA** δημιουργήθηκε το 1997. Παρατηρείται ότι στην καμπύλη αυτή υπάρχει μία περιοχή που περικλείεται από τις δύο καμπύλες και είναι ο «χώρος» μέσα στον οποίο επιτρέπεται να βρίσκονται οι βυθίσεις, ενώ σε περίπτωση που βρίσκονται εκτός αυτού υπάρχει σοβαρή πιθανότητα να προκληθεί σφάλμα στο ευαίσθητο ηλεκτρονικό εξοπλισμό.

Η καμπύλη αυτή όπως και η επόμενη μπορεί κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί και για την αξιολόγηση των υπερτάσεων. Φαίνεται επίσης ότι το μεγάλο πλήθος των βυθίσεων μπορεί να είναι αποδεκτό, αν ο χρόνος που διαρκούν είναι αρκετά μικρός. Δηλαδή οι συσκευές είναι πιο ανθεκτικές στις απότομες αλλαγές από ότι είναι στις μεταβολές του πλάτους της τάσης, που είναι μεταβολές μεγαλύτερης διάρκειας.

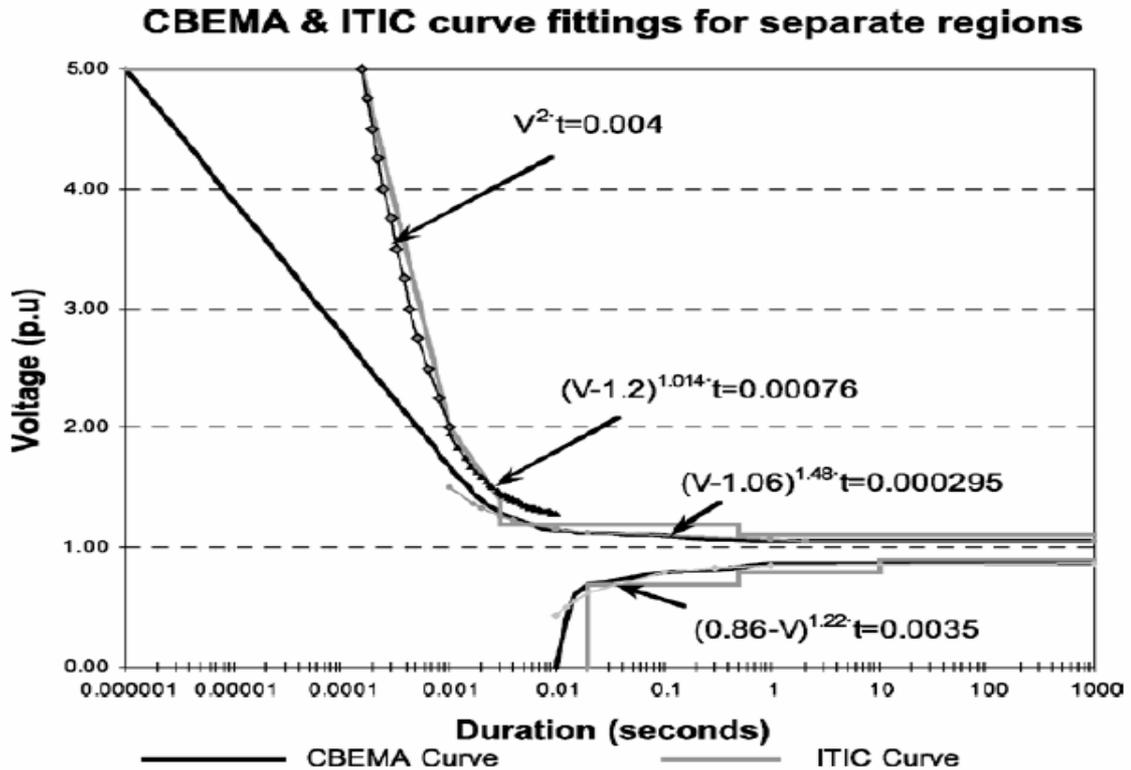
Τέλος πρόβλημα μπορεί να προκύψει ακόμα και αν τα αποτελέσματα είναι εντός των καμπυλών (άρα με τον κοινό νου αποδεκτά). Λειτουργία ή η αστοχία ενός ηλεκτρονικού εξοπλισμού είναι λίγο ασαφής, αφού μπορεί να αστοχήσει ακόμα και αν βρίσκεται εντός των φυσιολογικών συνθηκών λειτουργίας. Εξαρτάται σημαντικά και από άλλους παράγοντες όπως είναι οι καιρικές συνθήκες και η παλαιότητα του εξοπλισμού. Για το λόγο αυτό και οι καμπύλες αυτές προσπαθούν να αποτελούν ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα αλλά δεν είναι πανάκια αποδεκτής λύσης, όμως αποτελούν μία σοβαρή ένδειξη για αποφυγή ή δημιουργία προβλήματος.



Σχήμα 2.12. : Δείκτης Ποιότητας ισχύος [16]¹⁰

Ο παραπάνω οργανισμός πρόσφατα αντικαταστάθηκε από τον ITIC, ο οποίος και πρόσφατα παρουσίασε ένα καινούργιο γράφημα καμπυλών το οποίο είναι παρόμοιο με το προηγούμενο αλλά διαφοροποιείται στο ότι προσπάθησε να συμπεριλάβει την επίδραση σε εξοπλισμούς που δεν ήταν ευρέως χρησιμοποιούμενοι το 1977, όπως είναι οι προσωπικοί υπολογιστές, τα φωτοαντιγραφικά και τα fax. Το γράφημα αυτό δίνεται αμέσως παρακάτω.

¹⁰ Ο δείκτης υπολογίζεται από την (1) στο [16]



Σχήμα 2.13. : Καμπύλες προσδιορισμού της σοβαρότητας μιας βύθισης που προτείνονται από CBEMA και ITIC [16]

Στο **Σχήμα 2.13.** παρατηρείται μία καμπύλη της μορφής της CBEMA και ένας δείκτης, ο οποίος και τοποθετείται πάνω στην καμπύλη. Με τον τρόπο αυτό γίνεται μία προσέγγιση αν και κατά πόσο είναι αξιόπιστο το σύστημα. Ο δείκτης χρησιμοποιείται ως μέσο σύγκρισης. Παρόμοια είναι και η λογική της παρούσας εργασίας με την διαφορά ότι την αξιοπιστία την καθορίζουν πολλές μεταβλητές και δεν αναμένεται απλώς η απάντηση αν βρίσκονται εντός ή εκτός ορίων. Παρόλα αυτά η διατύπωση και μόνο μιας τέτοιας προσέγγισης ενισχύει τον λόγο ύπαρξης αυτής της εργασίας.

Για τα υπόλοιπα φορτία λόγω της έλλειψης πληροφοριών που να μπορούν να συγκετροποιήσουν την επίδραση της πτώσης τάσης σε μια καμπύλη, χρησιμοποιούνται οι παραπάνω δύο καμπύλες για να καταταγεί η σοβαρότητα της διαταραχής σε όλα τα φορτία. Με αυτόν τρόπο παρουσιάζονται οι βυθίσεις μιας εγκατάστασης σε ένα γράφημα διάρκειας-βάθους όπως τα παραπάνω συνηθίζεται να συγκρίνονται με τις δύο αυτές καμπύλες.

Έτσι είναι εφικτή μία γρήγορη οπτική εκτίμηση του αριθμού των βυθίσεων που είναι πιθανόν να προκαλέσουν προβλήματα στη λειτουργία του εξοπλισμού, εάν οι καμπύλες CBEMA / ITIC είχαν γενική εφαρμογή. Ωστόσο, πολλά μηχανήματα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και τα διαγράμματα αυτού του είδους δεν είναι χρήσιμα για μεμονωμένες εγκαταστάσεις. Αυτή η μέθοδος αναπαράστασης των βυθίσεων σε ένα μέρος έχει πιθανότητα κάποια αξία όσον αφορά την απλοποιημένη σύγκριση της επίδρασης της βύθισης σε δύο διαφορετικά σημεία με τον αριθμό των βυθίσεων που βρίσκονται εκτός (δηλαδή από κάτω) της χαμηλότερης καμπύλης.

ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ

Αρκετές συσκευές που περιέχουν σύγχρονη τεχνολογία ηλεκτρονικών ισχύος, όπως είναι οι υπολογιστές, ελεγκτές και οδηγοί μεταβλητής ταχύτητας, PLC, κ.α. ήδη παρουσιάζουν πρόβλημα στην λειτουργία τους όταν η τάση πέσει κάτω από το 85% για πάνω από 40ms. Αυτό είναι αποτέλεσμα των διακοπών παροχής ρεύματος (SMPS) που είναι σύνηθες κομμάτι στο μπροστινό μέρος των ηλεκτρονικών μηχανημάτων. Τα σημαντικά τους εξαρτήματα είναι η γέφυρα ανορθωτή πλήρους κύματος και ο πυκνωτής εξομάλυνσης για την τάση συνεχούς ρεύματος, που περνάει από το επόμενο στάδιο του κυκλώματος. Κατά τη διάρκεια μίας μεγάλης βύθισης, η παροχή δεν είναι αρκετή για να φορτίσει τον πυκνωτή, του οποίου η τάση αντίστοιχα μειώνεται από το ρεύμα που απορροφάται από το επόμενο στάδιο. Εάν η διάρκεια της βύθισης είναι αρκετά μεγάλη, η τάση του πυκνωτή θα πέσει πολύ χαμηλά για να υπάρχει σωστή λειτουργία και θα μειωθεί η απόδοσή του ή θα δυσλειτουργήσει. Η μέγιστη διάρκεια βύθισης κατά την οποία μπορεί να υπάρξει σωστή λειτουργία εξαρτάται από το μέγεθος του πυκνωτή, το ρεύμα που τραβάει και τα περιθώρια αποδεκτής τάσης του, και μπορεί να είναι 1 –20 κύκλοι για τα ηλεκτρονικά μηχανήματα. Στην περίπτωση των ψηφιακών ρολογιών, το περιθώριο είναι μεγαλύτερο, από 1 – 10 δευτερόλεπτα.

ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΕ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Οι επαγωγικοί κινητήρες συνδεδεμένοι σε σειρά μπορούν να παρουσιάζουν προβλήματα στη λειτουργία τους ή να αποκλίνουν από την αποδεκτή ταχύτητα σε βυθίσεις διάρκειας από 10 κύκλους έως κάποια δευτερόλεπτα. Η συμπεριφορά τους εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του μηχανικού φορτίου. Όταν τελειώσει η βύθιση, ***η μειωμένη ταχύτητα του κινητήρα τραβάει μεγαλύτερο ρεύμα, το οποίο μπορεί να μειώσει την επαναφορά της τάσης. Για το λόγο αυτό, οι επιπτώσεις της βύθισης σε μια βιομηχανική εγκατάσταση μπορούν να βελτιωθούν με την αποσύνδεση όλων των μη κυρίων κινητήρων υπό δεδομένες συνθήκες.***

Οι αυτόματοι εναλλασσόμενοι ρεύματος είναι πολύ ευαίσθητοι και ανέχονται 60% τάση για μόνο λίγους κύκλους πριν σταματήσουν να λειτουργούν. Προτείνεται η αντικατάστασή τους από ειδικούς, κατάλληλους αυτόματους συνεχούς ρεύματος, καθώς αποτελεί τρόπο βελτίωσης της απόδοσης της εγκατάστασης κατά τη βύθιση.

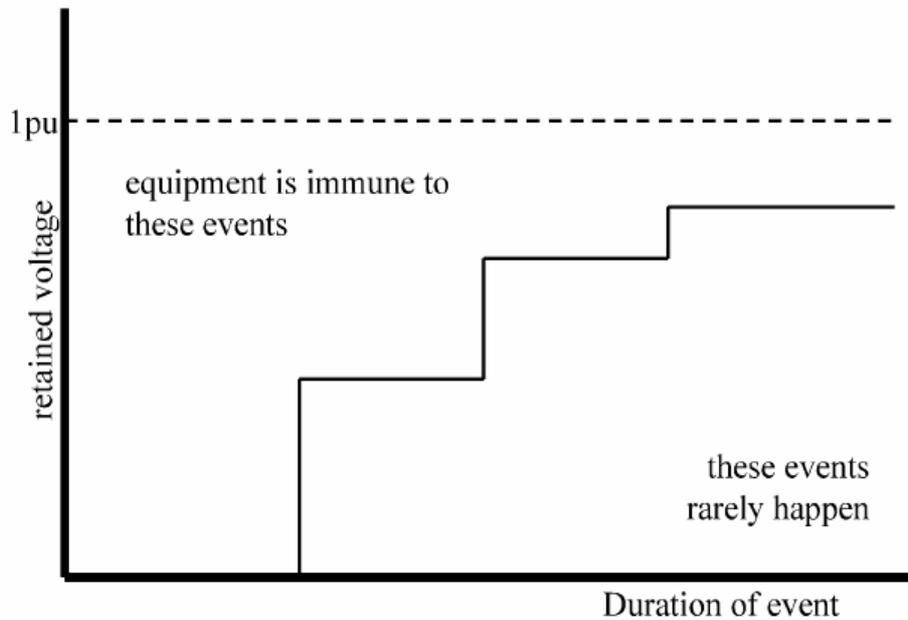
2.3.3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Αυτό που πρέπει να αποφευχθεί σε αυτήν την περίπτωση είναι το τριπάρισμα (βγαίνουν εκτός λειτουργίας, ***tripping***) του εξοπλισμού εξαιτίας των βυθίσεων. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με μία σειρά από τρόπους [11], [41]:

- ***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 (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.

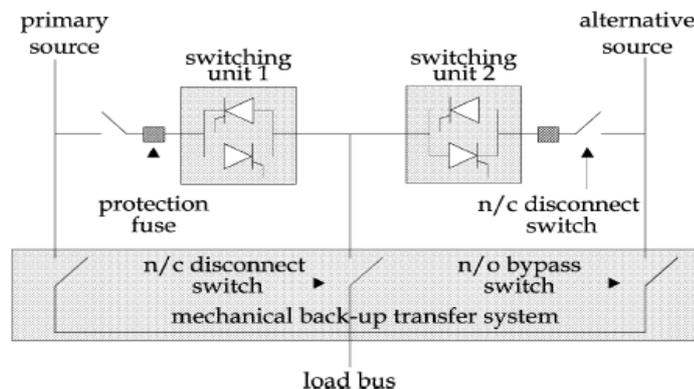
Η συζήτηση που είναι σε εξέλιξη για την βελτίωση των προβλημάτων από βυθίσεις αφορά τον καταλογισμό ευθύνης μεταξύ καταναλωτών και δικτύου: θα έπρεπε η λύση να αναζητηθεί στην πλευρά του δικτύου ή του καταναλωτή; Σε μερικές των περιπτώσεων το κόστος του εξομαλυντικού εξοπλισμού διαμοιράζεται. Σε άλλες υπάρχουν συμβόλαια που αφορούν την ποιότητας ισχύος 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 2.14**.



Σχήμα 2.14. : Διαχωρισμός γεγονότων για τα οποία είναι υπεύθυνος ο καταναλωτής από αυτά για τα οποία είναι υπεύθυνος ο παράγοντας του δικτύου [11]

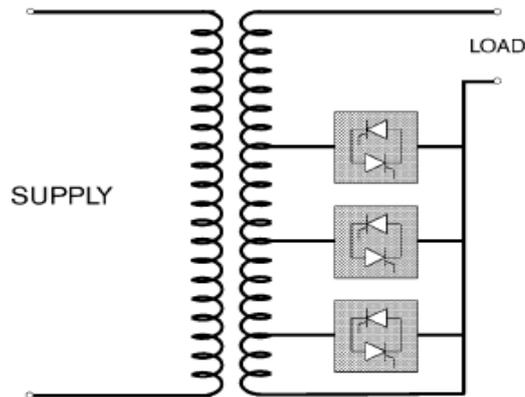
Πέραν των παραπάνω γενικών κατηγοριών παραθέτουμε και επιγραμματικά κάποιες λύσεις που δίνονται στο [20]:

- **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 2.15**. 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.



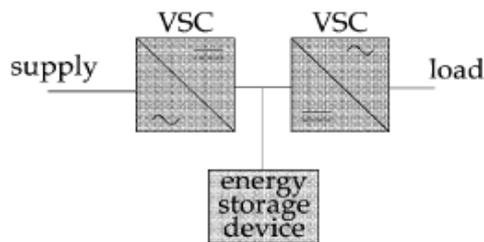
Σχήμα 2.15. : δομή του STS σε μία φάση [20]

- Καλή λύση του προβλήματος που ήδη εφαρμόζεται και στις βιομηχανίες αποτελούν ηλεκτρονικοί tap-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 2.16.**. Αυτός ο μηχανισμός καλείται στατός ρυθμιστής τάσης (*Static Voltage Regulator*).



Σχήμα 2.16.: SVR [20]

- 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 2.17.**



Σχήμα 2.17. : συσκευή αδιάλειπτης παροχής [20]

- Υπάρχουν και άλλες πιο σύνθετες λύσεις εξίσου αποδεκτές ([20]).

2.3.4. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΥΠΟ ΕΡΕΥΝΑ

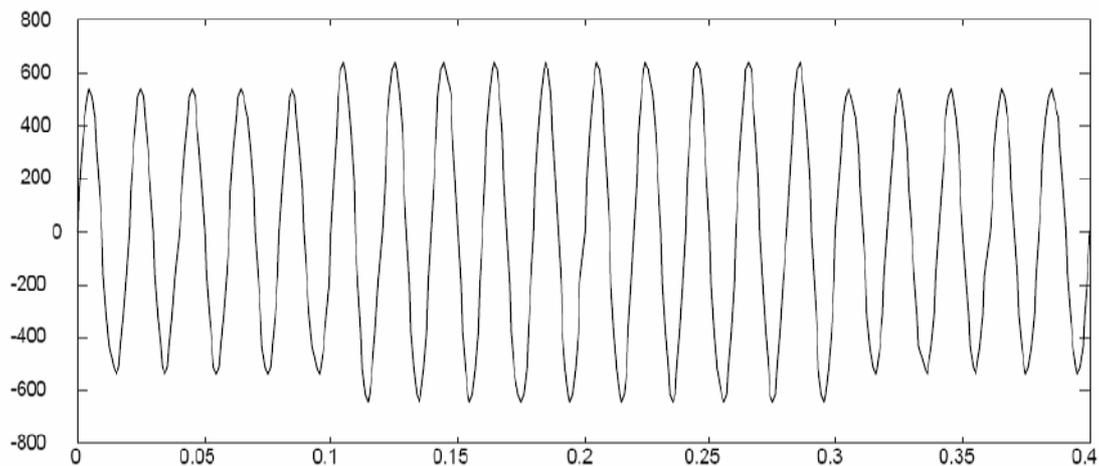
Έρευνες πάνω στις βυθίσεις συμπεριλαμβάνουν μελέτες για εξομαλυντικό εξοπλισμό και την βελτίωση του εξοπλισμού του τελικού χρήστη. Επίσης περιλαμβάνει εκπαίδευση σχετική με την έρευνα μεταξύ συχνότητας βυθίσεων και σχεδιασμού και λειτουργία του συστήματος. Πρωταρχική έρευνα χρειάζεται για τα χαρακτηριστικά των βυθίσεων και τους δείκτες για την μέτρησή τους. Έρευνα χρειάζεται ειδικά για ανάπτυξη μεθόδων για συστημάτων εξαγωγής δεικτών, με περιορισμένο αριθμό μετρήσεων και μεθόδων κατάλληλα εφαρμόσιμων για κάθε δείκτη. Σχετική δουλειά χρειάζεται για την εξαγωγή πρόσθετων πληροφοριών από τις καταγεγραμμένες βυθίσεις. Αυτή είναι μία από τις πιθανές εφαρμογές για τεχνικές ανάλυσης σήματος.

Βασική έρευνα επίσης χρειάζονται για στοχαστικές μεθόδους πρόβλεψης, συμπεριλαμβανομένου μεγάλου αριθμού συγκρίσεων με αποτελέσματα μετρήσεων για να βρεθούν τα καταλληλότερα όρια στην στοχαστική πρόβλεψη. Η περισσότερη δουλειά στις επιπτώσεις των βυθίσεων έχουν κατευθυνθεί προς τους ελεγκτές μεταβαλλόμενης ταχύτητας των κινητήρων (adjustable speed drives). Με την σημαντική ανάπτυξη της παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές πρέπει να δοθεί βάρος στον τρόπο που επηρεάζουν οι βυθίσεις την παραγωγή ειδικά σε διασυνδέσεις βασισμένες στους αντιστραφείς (αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα).

2.4. ΠΑΡΟΔΙΚΗ ΥΠΕΡΤΑΣΗ (SWELL)

2.4.0. ΓΕΝΙΚΑ

Οι παροδικές υπερτάσεις (swells) είναι στιγμιαίες ανυψώσεις της τάσης (αντίθετα στις βυθίσεις). Η γραφική αναπαράσταση μιας παροδικής υπέρτασης φαίνεται στην εικόνα 6. Οι ίδιοι παράμετροι για κατηγοριοποίηση των βυθίσεων χρησιμοποιούνται και για την κατηγοριοποίηση των παροδικών ανυψώσεων.



Σχήμα 2.18.: Γραφική αναπαράσταση παροδικής υπέρτασης (swells) [9]

2.4.1. ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

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.

2.4.2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ

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.

2.4.3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Τρόποι επίλυσης θα μπορούσε να είναι οι ίδιοι με αυτούς για τις βυθίσεις. Όμως λόγω 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.

2.5. ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ

2.5.0. ΓΕΝΙΚΑ

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*)

2.5.1. ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

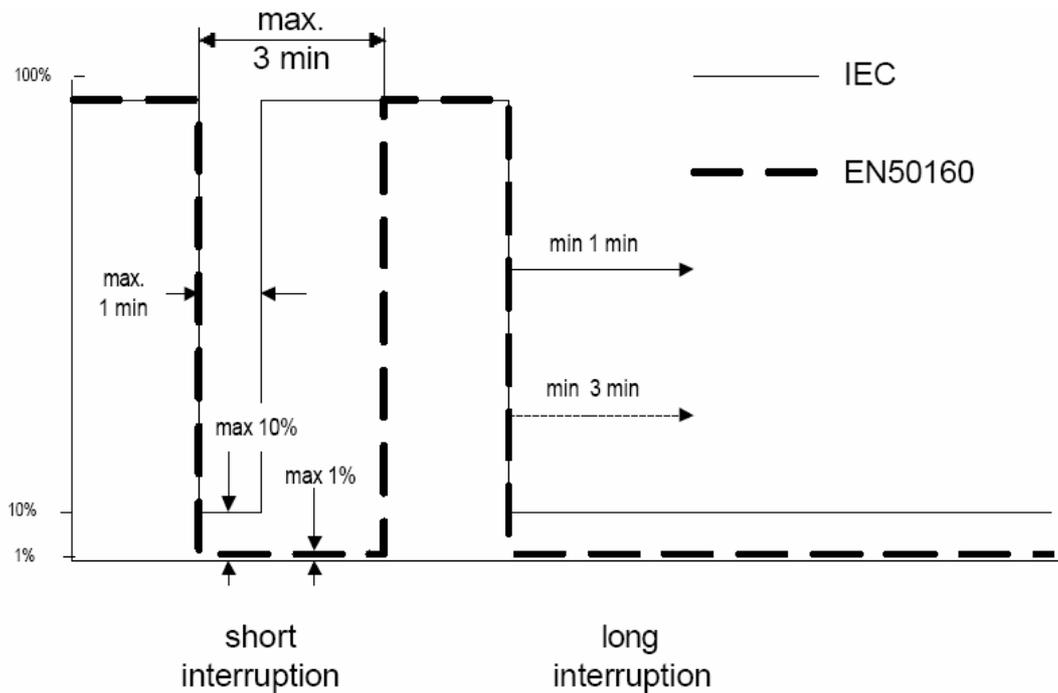
Σύντομες διακοπές παρουσιάζονται στο δίκτυο σε καταστάσεις σφαλμάτων, που αναγκάζουν το διακοπτικό εξοπλισμό να λειτουργήσει. Για αυτό το λόγο πρέπει να χρησιμοποιούνται σύνθετες διαδικασίες επανάξευξης για να αποφεύγεται αυτό το φαινόμενο. Η διάρκεια μίας σύντομης διακοπής μπορεί να κυμαίνεται μέχρι 1 έως 3 λεπτά ανάλογα με την διαδικασία επανάξευξης (*reclosing operation*), τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται ή τη συμφωνία μεταξύ καταναλωτή και παραγωγού¹¹.

Μόνιμη διακοπή θεωρείται οποιαδήποτε διακοπή ξεπερνάει σε χρόνο τα όρια που έχουν τεθεί για τις σύντομες διακοπές. Παρουσιάζονται όταν μία κατάσταση

¹¹ π.χ. διαφορετικά πρότυπα => διαφορετικά όρια => διαφορετική διάρκεια διακοπής

σφάλματα δεν μπορεί να επιλυθεί με την διαδικασία προστασίας και οδηγείται στην οριστική έξοδο του διακόπτη ([2]).

Μία σύγκριση μεταξύ του προτύπου της **IEC** και αυτού της **EN50160**, που συγκρίνει τα όρια για σύντομες και μόνιμες διακοπές, φαίνεται στο παρακάτω **Σχήμα 2.19**.



Σχήμα 2.19. : Κατώφλια διακοπών και ορισμός διάρκειας [9]

2.5.2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ

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)

2.5.3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

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 ([11]). 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 προτείνουμε λύσεις βασισμένες στα προβλήματα που δημιουργούνται από τις διακοπές:

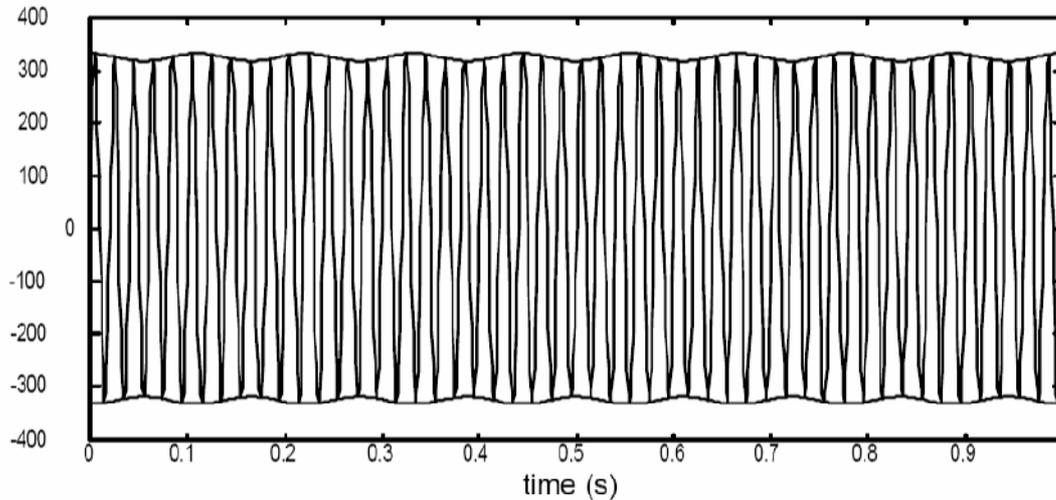
- Παράλληλη χρήση HZ (Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος) με μπαταρία και το δίκτυο. Θα τροφοδοτεί αυτό το φορτίο μέσω ενός ρελέ στην περίπτωση που έχουμε διακοπή ρεύματος.
- Μπαταρίες υγρών. (όπως αυτές του αυτοκινήτου) Δεν προτείνονται για μακράς διάρκειας χρήση, αλλά μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες για κάποιες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

2.6. FLICKER

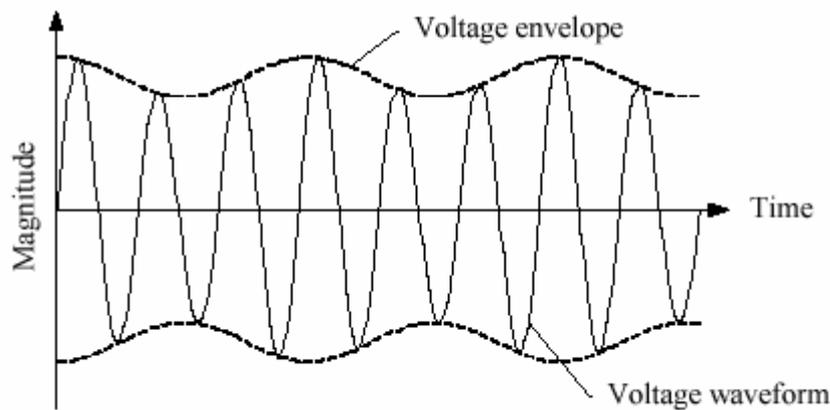
2.6.0. ΓΕΝΙΚΑ

Το φλίκερ 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 στην παρακάτω **Σχήμα 2.20**.



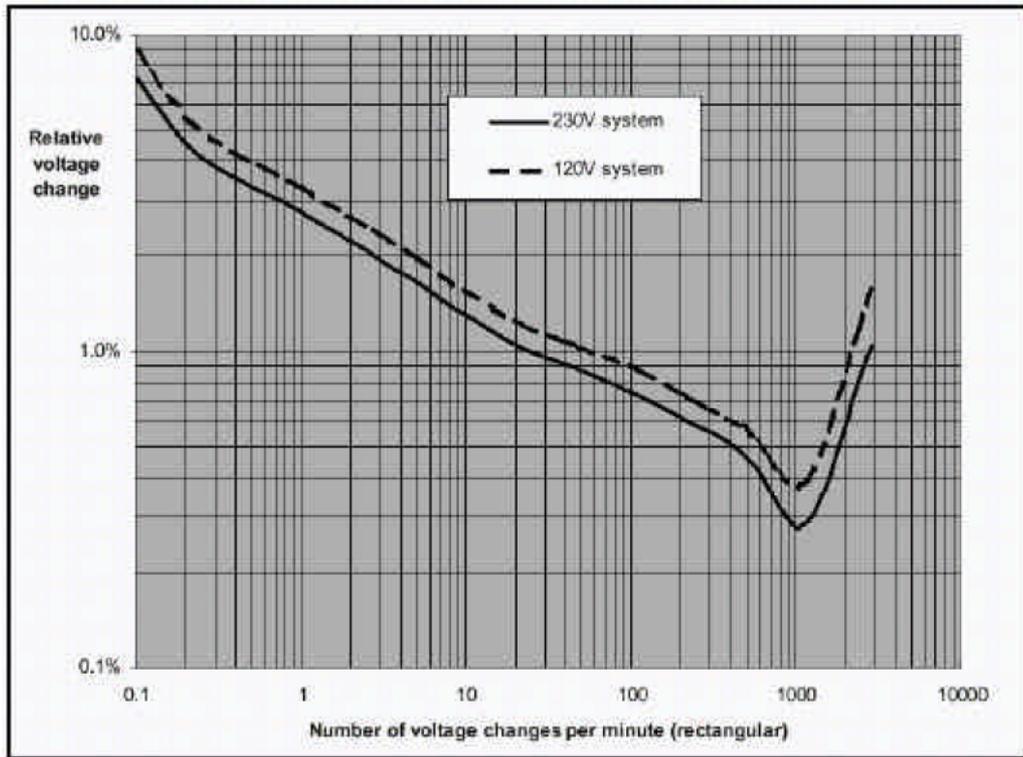
Σχήμα 2.20. : διακύμανση της τάσης που οδηγεί σε τρεμόπαιγμα στο φως [9]



Σχήμα 2.21. : χαρακτηριστικά κυματομορφής φλίκερ [10]

Στο Σχήμα 2.21. 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 φλίκερ μετρείται σύμφωνα με τα στάνταρτ *IEC 61000-4-15 “flickermeter-function and design specifications”*. Βασίζεται σε μία 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 2.22.



Σχήμα 2.22. : καμπύλη ίσης δεινότητας ($P_{st}=1$) για τετραγωνικής τάσης αλλαγές σε συστήματα παροχής χαμηλής τάσης [9]

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

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

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

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=0}^{11} P_{st}(i)^3} \quad (2.1)$$

2.6.1. ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

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. Φλίκερ 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.

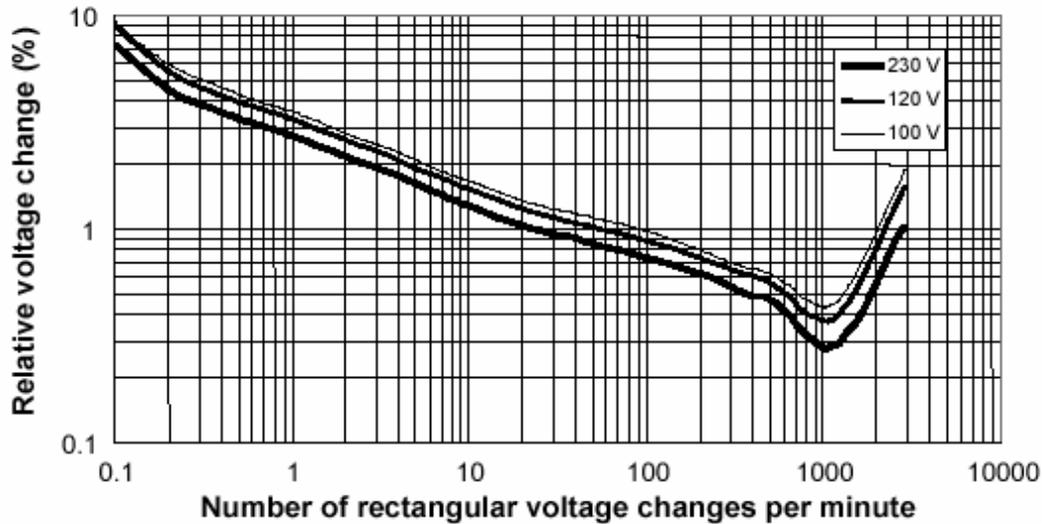
Σημαντική πηγή δημιουργίας φλίκερ είναι τα αιολικά πάρκα λόγω του φαινομένου της σκίασης του πύργου βάσης όπου μειώνεται η ταχύτητα (ή καλύτερα η ροπή της έλικας κάθε φορά που περνάει μπροστά από τον πύργο λόγω του ότι ο τελευταίος εμποδίζει τον άνεμο να κινηθεί όπως κατά την απουσία του).

2.6.2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ

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.



Σχήμα 2.23. : Καμπύλη 'τρεμοπαίγματος' για ορθογώνια διαμορφωμένες συχνότητες [10]

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 2.23. Στο παραπάνω σχεδιάγραμμα οι καμπύλες που παρουσιάζονται είναι μετά από στατιστικά στοιχεία (όπως ακριβώς αναφέραμε ότι προκύπτει συμβατικά ο ορισμός του συντελεστή για το φλίκερ ίσος με την μονάδα) δείχνουν το όριο μέχρι το οποίο μπορεί να επιτρέπεται η διακύμανση της τάσης. Έτσι αν ο δείκτης για το φλίκερ 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.

2.6.3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Αν ήθελε κανείς να προσπαθήσει να λύσει το πρόβλημα της ύπαρξης φλίκερ θα έπρεπε να καταφέρει να λύσει το πρόβλημα της κατανάλωσης απότομα και με μεγάλη διακύμανση τόσο αέργου όσο και ενεργού ισχύος.

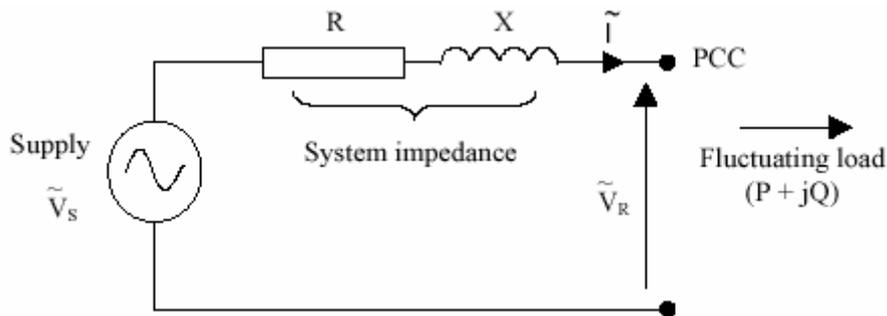
Για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου παρουσιάζεται η μαθηματική ανάλυση του προβλήματος, όπως αναπτύχθηκε σε τεχνικές οδηγίες του πανεπιστημίου του Wollongong στην Αυστραλία από τους Robinson, Perrera, Gosbel και Smith ([87]).

Φανταστείτε το απλό μοντέλο που αναπαριστά ένα κυμαινόμενο φορτίο που καταναλώνει πραγματική ισχύ P , και ισχύ από φανταστική Q , συνδεδεμένο με ένα σύστημα τροφοδοσίας με εμπέδηση αντίστασης R , και αντίδρασης X , όπως φαίνεται

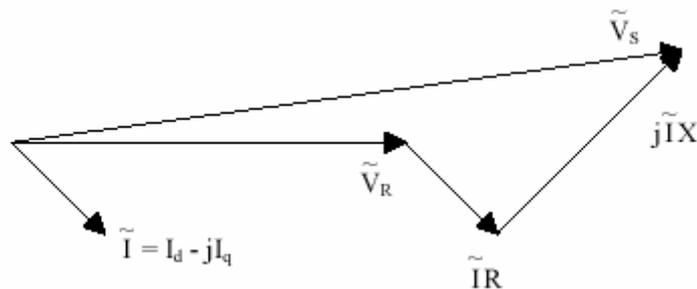
στο **Σχήμα 2.24**. Η τάση V_R που βλέπει ο πελάτης συνήθως μπορεί να ρυθμιστεί λειτουργώντας το σύστημα τάσης V_S σε ελαχίστως μεγαλύτερη τιμή, ώστε να διασφαλιστεί το V_R θα παραμείνει στην απαιτούμενη τιμή, π.χ. 230 V σε ένα μονοφασικό σύστημα.

Κατά τη διάρκεια σταθερής λειτουργίας αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση αυτόματων ασφαλειών στους μετασχηματιστές, αντισταθμιστές γραμμής και **ρυθμιστές τάσης** (κυρίως ρυθμιστές τάσης με άμεση απόκριση). Για πιο γρήγορες αλλαγές στο ρεύμα του φορτίο, η λειτουργία τέτοιων συσκευών δεν είναι αρκετά γρήγορη για να ρυθμίσει αποτελεσματικά την τάση και να παραμείνει αυτή στην ίδια τιμή.

Η τάση που προκύπτει από το ρεύμα που τραβάει το φορτίο απεικονίζεται στο φασικό διάγραμμα του Σχήματος 4 όπου V_S είναι η παρεχόμενη τάση και V_R η τελική τάση που φαίνεται στο φορτίο στο σημείο κοινής σύνδεσης (PCC).



Σχήμα 2.24. : Απλό μοντέλο ενός συστήματος ισχύος [87]



Σχήμα 2.25. : Διάγραμμα για τους φάσορες της τάσης παροχής [87]

Η συνολική ισχύς που καταναλώνεται από το κυμαινόμενο φορτίο και τους φάσορες τάσης μπορεί να περιγραφεί με τις εξισώσεις (2.2) και (2.3) αντίστοιχα.

$$\tilde{V}_R \tilde{I}^* = P + jQ \quad (2.2)$$

$$\tilde{V}_S = \tilde{V}_R + \tilde{I}(R + jX) \quad (2.3)$$

Αναλύοντας την εξίσωση (2.3) για τους φάσορες τάσης, προκύπτουν τα ακόλουθα:

$$\tilde{V}_S = \tilde{V}_R + (I_d - jI_q)(R + jX) \quad (2.4)$$

$$= (V_R + R I_d + X I_q) + j(X I_d - R I_q) \quad (2.5)$$

Αγνοώντας τις διαφορές φάσης μεταξύ V_R και V_S στην εξίσωση (2.5) και εξισώνοντας μόνο τα πραγματικά μέρη

$$V_S = V_R + R I_d + X I_q \quad (2.6)$$

Υποθέτοντας ότι το V_S είναι ένα άπειρο δίκτυο, αυτό σημαίνει ότι το V_S παραμένει σταθερό ότι φορτίο και να συνδέσουμε σε αυτό, άρα παραμένει σταθερό παρά το ρεύμα που καταναλώνεται από το κυμαινόμενο φορτίο, για όποιες αλλαγές στα I_d και I_q , οι αλλαγές στο V_R θα είναι ο εξής:

$$0 = \Delta V_R + R \Delta I_d + X \Delta I_q \quad (2.7)$$

$$\Delta V_R = - (R \Delta I_d + X \Delta I_q) \quad (2.8)$$

Η εξίσωση (2.8) μπορεί να ξαναγραφτεί ανά μονάδα, π.χ. με βάση τις αλλαγές στην πραγματική ή φανταστική ισχύ που καταναλώνει το κυμαινόμενο φορτίο

$$\Delta V_R = - (R \Delta P + X \Delta Q) \quad (2.9)$$

Εάν το R είναι αμελητέο, τότε η αντίδραση $X = 1 / \text{επίπεδο λάθους}$ (για την ακρίβεια $Z = \frac{1}{\text{σταθμηβραχυκύκλωσης}}$, όπου στάθμη βραχυκύκλωσης είναι ίση με το επίπεδο σφάλματος στο συγκεκριμένο σημείο), οδηγεί στην εξίσωση (2.10)

$$\Delta V_R = - \Delta Q / \text{Fault level} \quad (2.10)$$

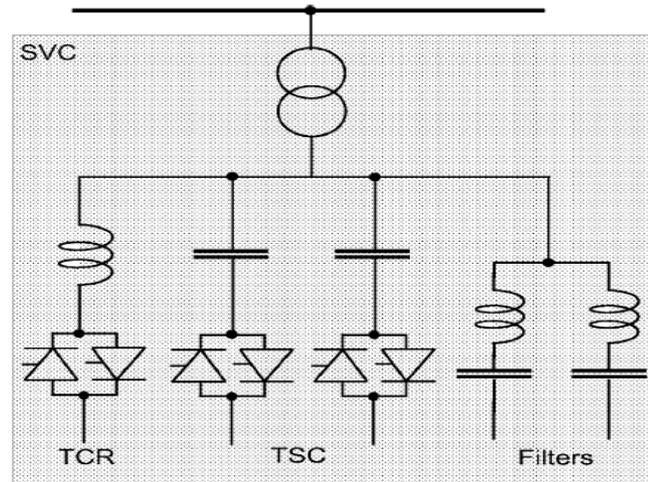
Παρατηρείται με αυτό τον τρόπο ότι η τάση στο Σημείο Κοινής Σύνδεσης είναι ουσιαστικά συνάρτηση της διακυμάνσης της φανταστικής ισχύος του φορτίου και των χαρακτηριστικών του συστήματος παροχής. Σημειώστε ότι για συστήματα χαμηλής τάσης, όπου το R είναι σημαντικά μεγαλύτερο, η πραγματική ισχύς μπορεί επίσης να συμβάλλει σημαντικά στις διακυμάνσεις της τάσεως (όμως πρέπει να πούμε ότι το φλίκερ δημιουργείται από φορτία που καταναλώνουν ισχύ συνδεδεμένα στην μέση τάση).

Έτσι μετά από αυτή την ανάλυση καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι αν θέλει κάποιος να ελέγξει τις διακυμάνσεις της τάσης πρέπει να χρησιμοποιήσει εξοπλισμό τέτοιο που να μπορεί να ελέγξει δυναμικά και ανά πάσα στιγμή την κατανάλωση άεργου ισχύος και να μπορέσει να την περιορίσει αν όχι να την εξαλείψει.

Για την εξάλειψη της παρουσίας των φλίκερ μία σειρά από μεθόδους έχουν παρουσιασθεί κι διαφέρουν σε αποτελεσματικότητα, κόστος και αν είναι εφαρμόσιμες στην εκάστοτε περίπτωση. Γενικά οι μέθοδοι που έχουν προταθεί μπορούν να διαχωριστούν σε άμεσες και έμμεσες μεθόδους. Κυρίως φλίκερ δημιουργούν οι κλίβανοι και γι' αυτούς και έχουν αναπτυχθεί και οι περισσότερες λύσεις. Με την ανάπτυξη που έχουν όμως τα αιολικά πάρκα και με τα επίπεδα φλίκερ που εισάγουν κάποιες από τις μεθόδους προσπαθούν να απευθύνονται και στις δύο κυριότερες πηγές δημιουργίας. Οι άμεσες μέθοδοι έχουν συσκευές που συνδέονται

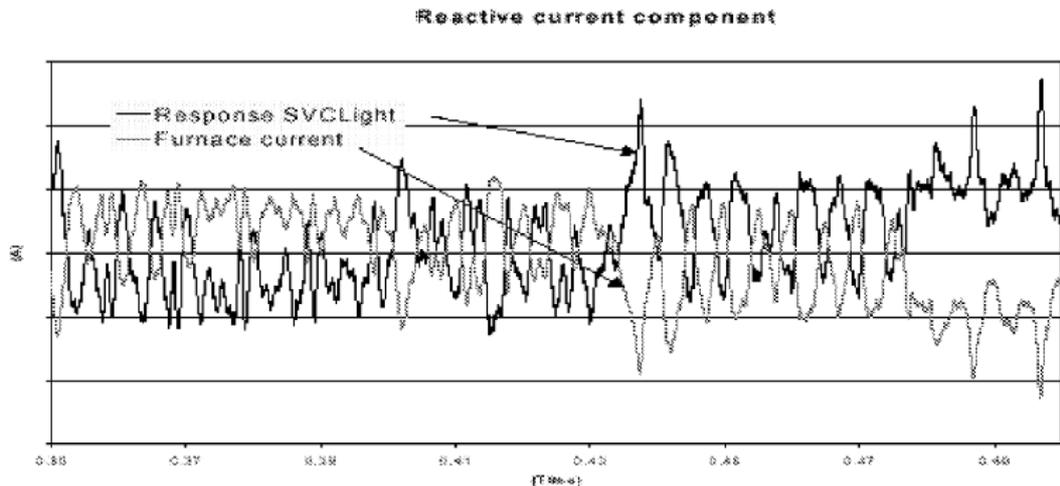
απευθείας με τον κλίβανο, ενώ οι έμμεσες δεν επεμβαίνουν πάνω στο τόξο, όμως κόβουν τις παρενέργειες αυτού με κάποιες συσκευές που συνδέονται παράλληλα. Τρόποι να μειωθεί το φλίκερ δίνονται παρακάτω:

- Προσεκτικός έλεγχος της ισχύος εισόδου στο τόξο. Ειδικοί μετασχηματιστές έχουν χρησιμοποιηθεί για την τροφοδότηση των κλιβάνων.
- Ενίσχυση του δικτύου θα ήταν ένας αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος, όμως είναι αρκετά ακριβή μέθοδος και χρησιμοποιείται μόνο σε περιπτώσεις επέκτασης των εγκαταστάσεων του κλιβάνου, χωρίς να σημαίνει ότι είναι και εφαρμόσιμη μέθοδος εξαιτίας περιβαλλοντικών λόγων.[11]
- Ρυθμιστές του επιπέδου της ισχύος (*dimmer*) που εισάγονται εν σειρά με τον κλίβανο και μπορούν σε μερικές των περιπτώσεων να ελέγξουν το ρεύμα που αυτός απορροφά. Οι ελεγκτές αυτοί είναι σειριακές συσκευές με αντιπαράλληλα θυρίστορ και μια σειριακή επαγωγή. Το μειονέκτημα είναι ο αργός χρόνος απόκρισης και η μεγάλη αρμονική παραμόρφωση που εισάγουν. Εξαιτίας και της υψηλής αξίας της συσκευής μπορεί ο όλος εξοπλισμός να γίνει πολύ ακριβός.[11]
- Σειριακοί πυκνωτές έχουν επίσης ερευνηθεί και εγκατασταθεί για την επίλυση του φαινομένου. Χωρητικότητες εν σειρά με τον κλίβανο με κατάλληλη τιμή χωρητικότητας είναι κατάλληλοι για την αντιστάθμιση επαγωγών μεταξύ της πηγής και του κλιβάνου. Παρόλα αυτά ο κίνδυνος συγχρονισμού με την επαγωγή των γραμμών αποτελεί έναν από τους λόγους που η συγκεκριμένη μέθοδος αποφεύγεται στην πράξη.[14]
- Είσοδος σειριακής αντίστασης στην σειρά με τον κλίβανο. Το ρεύμα που απορροφάει ο κλίβανος μειώνεται εξαιτίας της μεγάλης επαγωγικής αντίδρασης. Επίσης μεγαλύτερη επαγωγή αυξάνει την διαφορά φάσης μεταξύ ρεύματος και τάσης και κατ' επέκταση σταθερότερο ηλεκτρικό τόξο. Ο αντιστάτης πρέπει να επιλεγεί με προσοχή αφού μεγάλες τιμές επαγωγικής αντίδρασης μπορεί να σημαίνει μείωση της παρεχόμενης προς τον κλίβανο ισχύος και κατ' επέκταση και της δυνατότητας παραγωγής χάλυβα.[10]
- Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα μηχανήματα εξάλειψης του φλίκερ είναι οι στατοί πυκνωτές (*static var compensator*) και *D-Statcom*. Και οι δύο αυτοί εξοπλισμοί χρησιμοποιούν τεχνολογία ηλεκτρονικών ισχύος και η περαιτέρω μελέτη τους μελέτη τους ξεφεύγει τα όρια της διπλωματικής. Αναλύονται καλύτερα στο [20]. Αυτό που μπορούμε να πούμε εδώ είναι ότι ο SVC μπορεί να λειτουργήσει σαν ελεγκτής της τάσης με την παραγωγή ή κατανάλωση έργου ισχύος από το σύστημα που έχει. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν εξισορρόπηση ασύμμετρων φορτίων. Για μία καλύτερη οπτική του εξοπλισμού δίνεται ένα παραστατικό σχέδιο του εξοπλισμού στο **Σχήμα 2.26**. Όπως φαίνεται και στο σχήμα αποτελείται από μια επαγωγή που ελέγχεται με θυρίστορ και κάποιους πυκνωτές που και αυτοί συνδέονται με θυρίστορ. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ο χρόνος απόκρισης.[20]



Σχήμα 2.26. : αρχή λειτουργίας του SVC [20]

- Λίγα λόγια και για τον D-Statcom, που είναι πιο γρήγορος από τους SVC, αλλά και πιο ακριβός. Το πλεονέκτημα του να χρησιμοποιεί κανείς δυναμικούς μετατροπείς με θυρίστορ είναι η δυνατότητα παραγωγής και κατανάλωσης τόσο ενεργούς όσο και άεργου ισχύος. Χρησιμοποιώντας VSC (Voltage Source Converter) με PWM (pulse width modulation) μπορεί να γίνει ταχύτερη μετατροπή, πράγμα που χρειάζεται για την αντιμετώπιση και του φλίκερ. Ο SVC με PWM φαίνεται να είναι σήμερα ο καταλληλότερος εξοπλισμός για αντιμετώπιση φλίκερ. Η πρόσθεση IGBTs αυξάνει την απόδοση και βελτιώνει την ταχύτητα της απόκρισης. Το όλο σύστημα λέγεται **D-Statcom**. Στο Σχήμα 2.27. φαίνεται πως γίνεται η δυναμική αντιστάθμιση με αυτά τα δύο συστήματα.[20]

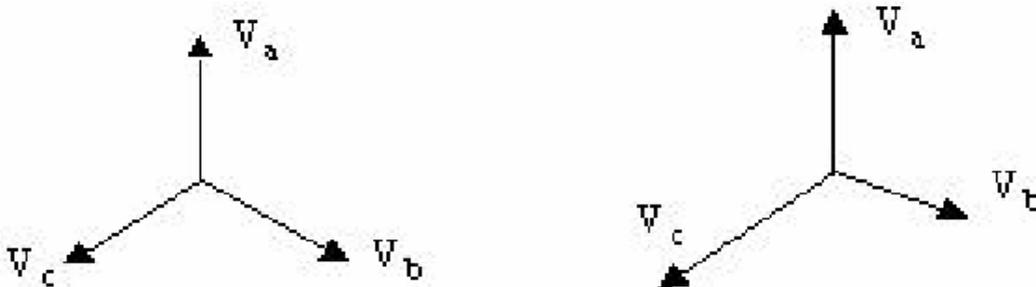


Σχήμα 2.27. : άεργο ρεύμα από τον κλίβανο και την αντιστάθμιση αυτού [20]

2.7. ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ ΤΩΝ ΦΑΣΕΩΝ

2.7.0. ΓΕΝΙΚΑ

Σε ένα συμμετρικό τριφασικό σύστημα παροχής, οι φασικές τάσεις των τριών γραμμών είναι ίσες σε μέγεθος και διαφέρουν ανά φάση μεταξύ τους κατά 120° (το ίδιο συμβαίνει και για τις πολικές με διαφορετικά μέτρα και γωνίες από τις φασικές αλλά ίσα μεταξύ τους και γωνίες μεγαλύτερες κατά 30° από τις αντίστοιχες φασικές) (Σχήμα 2.28). 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°. Στην αγγλική βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται δύο όροι *unbalance* και *imbalance*.



Σχήμα 2.28. : αντιπαραβολή 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: (α) ο λόγος τάσεων αρνητικής προς την θετική ακολουθία και (β) μέγιστη απόκλιση από τον μέσο των τριών πολικών τάσεων προς τον μέσο αυτών.

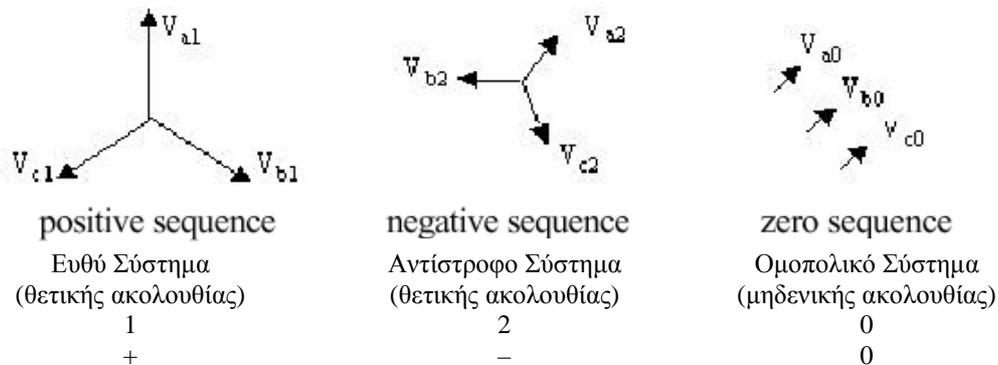
(α) Για τον πρώτο αυτό ορισμό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος μετασχηματισμού ενός ασύμμετρου τριφασικού κυκλώματος σε τρία τριφασικά. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή κάθε τριφασικό σύστημα φασικών διανυσμάτων μπορεί να αναλυθεί σε τρία τριφασικά συστήματα, δύο συμμετρικά, ευθύ και αντίστροφο και ένα ομοπολικό. Ο μετασχηματισμός αυτός ονομάζεται μετασχηματισμός συμμετρικών συνιστωσών και οι σχέσεις που το διέπουν είναι ([1]):

$$\begin{bmatrix} \tilde{V}_{a0} \\ \tilde{V}_{a1} \\ \tilde{V}_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{V}_a \\ \tilde{V}_b \\ \tilde{V}_c \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

και

$$\begin{bmatrix} \tilde{V}_a \\ \tilde{V}_b \\ \tilde{V}_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{V}_{a0} \\ \tilde{V}_{a1} \\ \tilde{V}_{a2} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

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 2.28. : Συμμετρικά στοιχεία ενός ασύμμετρου συστήματος τάσεων

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

$$\begin{aligned}
 \tilde{V}_{a0} &= \tilde{V}_{b0} = \tilde{V}_{c0} \\
 \tilde{V}_{b1} &= a^2 \cdot \tilde{V}_{a1}, \tilde{V}_{c1} = a \cdot \tilde{V}_{a1} \\
 \tilde{V}_{b2} &= a \cdot \tilde{V}_{a2}, \tilde{V}_{c2} = a^2 \cdot \tilde{V}_{a2}
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

ή:

$$\begin{bmatrix} \tilde{V}_{b0} \\ \tilde{V}_{b1} \\ \tilde{V}_{b2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{V}_{a0} \\ a^2 \cdot \tilde{V}_{a1} \\ a \cdot \tilde{V}_{a2} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \tilde{V}_{c0} \\ \tilde{V}_{c1} \\ \tilde{V}_{c2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{V}_{a0} \\ a \cdot \tilde{V}_{a1} \\ a^2 \cdot \tilde{V}_{a2} \end{bmatrix} \tag{2.14}$$

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[9], 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 ερμηνία 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.

Ασυμμετρία των φάσεων λοιπόν ορίζεται ως ο λόγος των τάσεων της αρνητικής προς αυτόν της θετικής ακολουθίας (2.15). ([9])

$$u_u = \frac{|V_i|}{|V_d|} \cdot 100 \% = \frac{\text{negative sequence}}{\text{positive sequence}} \cdot 100 \% \quad (2.15)$$

εναλλακτικός ορισμός με την ίδια ισχύ είναι ο:

$$u_u = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \cdot 100 \% \quad (2.16)$$

$$\beta = \frac{U_{12}^4 + U_{23}^4 + U_{31}^4}{(U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2)^2} \quad (2.17)$$

(β) 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:

$$u_u = \max_i \frac{U_i - U_{avg}}{U_{avg}} \cdot 100 \% \quad (2.18)$$

$$U_i - \text{phase voltage}, \quad U_{avg} = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3} \quad (2.19)$$

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

Τέλος πρέπει να πούμε ότι υπάρχει ακόμα ένας εναλλακτικός ορισμός για την επίδραση της ασυμμετρίας των τάσεων. Είναι παρόμοιος με τον δεύτερο ορισμό που δώσαμε της IEC αλλά μαθηματικά δίνει διαφορετικό αποτέλεσμα ([9]).

$$u_u = \sqrt{\frac{6(U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2)}{(U_{12} + U_{23} + U_{31})}} \cdot 100 \% \quad (2.20)$$

U_{12}, U_{23}, U_{31} – line voltages

2.7.1. ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

Ασυμμετρία συμβαίνει όταν η κατανάλωση ρεύματος είναι ασύμμετρα κατανομημένη στις τρεις φάσεις ή κατά την διάρκεια σφαλμάτων πριν προλάβει να λειτουργήσει η προστασία.

2.7.2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ

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

Τα προβλήματα παρουσιάζονται αμέσως παρακάτω:

Επίπτώσεις σε επαγωγικούς κινητήρες

Η σημαντικότερη επίπτωση της ασυμμετρίας της τάσης είναι στους τριφασικούς επαγωγικούς κινητήρες. Οι τριφασικοί επαγωγικοί κινητήρες είναι από τα πιο συνηθισμένα φορτία στο δίκτυο και υπάρχουν σε μεγάλες ποσότητες ειδικά σε βιομηχανικό περιβάλλον. Όταν ένας τριφασικός επαγωγικός κινητήρας τροφοδοτείται από ένα ασύμμετρο δίκτυο, το ρεύμα γραμμής που απορροφά παρουσιάζει ένα σημαντικό βαθμό ασυμμετρίας, ο οποίος είναι πολλές φορές πολλαπλάσιος του βαθμού ασυμμετρίας της τάσης. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί βάσει των δύο αντίθετα στρεφόμενων πεδίων, τα οποία δημιουργούνται όταν ο κινητήρας υπόκειται σε ασυμμετρία τάσης. Για να προσπαθήσουμε να επεξηγήσουμε πως επηρεάζεται ο τριφασικός επαγωγικός κινητήρας από την ασυμμετρία των φάσεων θα χρησιμοποιήσουμε τον ορισμό της IEC. Για τον λόγο αυτό θα προσπαθήσουμε να κάνουμε μια αναγωγή των τιμών στα ισοδύναμα κυκλώματα ακολουθίας.

Όσον αφορά το κύκλωμα θετικής ακολουθίας, εάν ο κινητήρας έχει ολίσθηση που δίνεται από τον τύπο:

$$s_1 = \frac{N_s - N_r}{N_s} \quad (2.21)$$

N_s – σύγχρονη ταχύτητα
 N_r – η ταχύτητα του δρομέα

Τότε η ολίσθηση που «βλέπει» το κύκλωμα αρνητικής ακολουθίας είναι:

$$s_2 = \frac{-N_s - N_r}{-N_s} \quad (2.22)$$

Η ολίσθηση s_2 μπορεί να εκφραστεί σε σχέση με την ολίσθηση s_1 όπως φαίνεται από κάτω:

$$s_2 = \frac{-N_s - N_r}{-N_s} = (2 - s_1) \quad (2.23)$$

Αφού η ολίσθηση του κυκλώματος θετικής ακολουθίας s_1 είναι συνήθως πολύ μικρή (κοντά στο μηδέν), η ολίσθηση της αρνητικής συχνότητας s_2 θα είναι πολύ μεγάλη (κοντά στο 2). Βάσει της βασικής θεωρίας των επαγωγικών κινητήρων, η σύνθετη αντίδραση ενός επαγωγικού κινητήρα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ολίσθηση, όπου όταν αυτή είναι μεγάλη (π.χ. στην αρχή ή σε συνθήκες κλειδωμένου κινητήρα, δηλ. ακινητοποιημένου $N_r=0 \Rightarrow s_1=1$) η εμπέδηση είναι μικρή και αντίστροφα, σε μικρή ολίσθηση είναι πολύ μεγάλη. Έτσι, μπορούμε κατά προσέγγιση να πούμε ότι η αναλογία της σύνθετης αντίδρασης θετικής ακολουθίας ως προς τη σύνθετη αντίδραση αρνητικής ακολουθίας είναι:

$$\frac{Z_1}{Z_2} \approx \frac{I_{start}}{I_{running}} \quad (2.24)$$

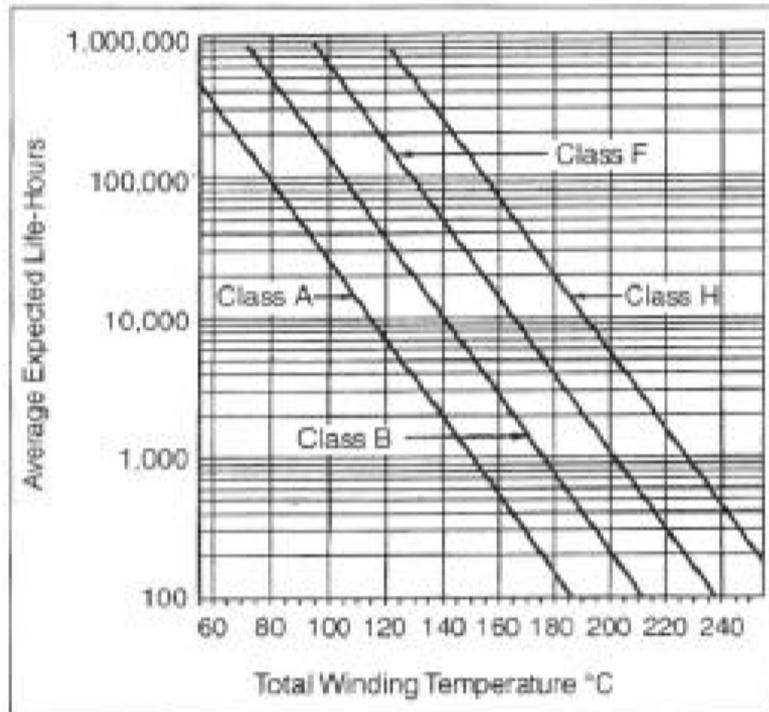
Καθώς το ρεύμα στο κύκλωμα θετικής ακολουθίας είναι $I_1 = V_1/Z_1$ και το ρεύμα στο κύκλωμα αρνητικής ακολουθίας είναι $I_2 = V_2/Z_2$ μπορεί γρήγορα να βρούμε ότι:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{V_2}{V_1} \times \frac{I_{start}}{I_{running}} \quad (2.25)$$

Για παράδειγμα, ένας κινητήρας με ρεύμα στροφείου, το οποίο είναι 6 φορές το ρεύμα λειτουργίας θα προκαλούσε σημαντική ασυμμετρία 30% στη γραμμή ρεύματος του κινητήρα, εάν η ασυμμετρία της τάσης ήταν 5%. [82]

Εάν ο κινητήρας λειτουργεί σε πλήρες φορτίο, κάποια από τα τυλίγματα των φάσεων του στάτη και ο δρομέας θα απορροφούν περισσότερο ρεύμα από ότι επιτρέπεται και

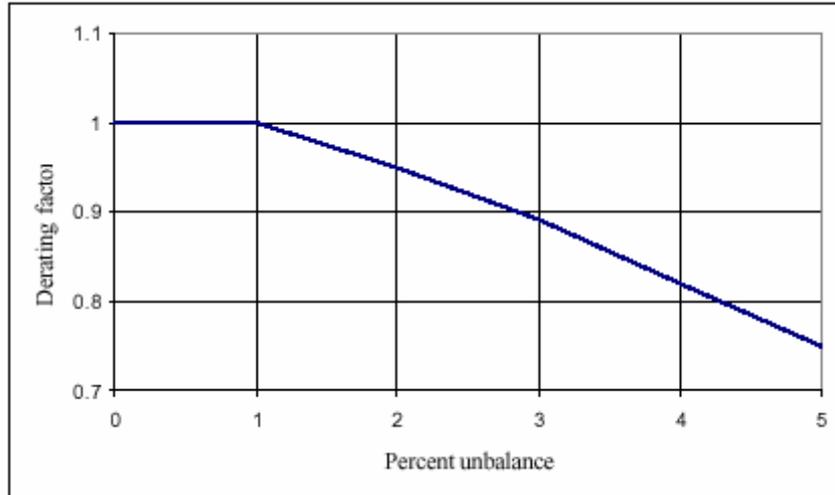
έτσι θα προκληθούν επιπλέον απώλειες στον κινητήρα. Αυτό θα οδηγήσει στην μείωση της απόδοσης του κινητήρα και παράλληλα θα μειώσει και την χρόνο ζωής των μονώσεων λόγω υπερθέρμανσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μέση εκτιμώμενη διάρκεια ζωής της μόνωσης μειώνεται κατά 50% για κάθε 1^ο Κελσίου που ανεβαίνει η θερμοκρασία, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.30**.



Σχήμα 2.30. : Μεταβολή του χρόνου ζωής της μόνωσης με τη θερμοκρασία

Επιπλέον της μειωμένης απόδοσης, της υπερθέρμανσης και της μείωσης του χρόνου ζωής της μόνωσης, οι επαγωγικοί κινητήρες που λειτουργούν σε κατάσταση ασυμμετρίας θα κάνουν πολύ θόρυβο κατά τη λειτουργία τους, λόγω των κραδασμών από την στροφορμή και την ταχύτητα. Προφανώς σε τέτοιες περιπτώσεις η κατάλληλη στροφορμή και ταχύτητα θα είναι μικρότερη της κανονικής.

Έχοντας συνειδητοποιήσει ότι η ασυμμετρία της τάσης προκαλεί επιπλέον απώλειες, προκειμένου να προφυλαχθούν οι κινητήρες από την υπερφόρτωση, η NEMA δημιούργησε μία καμπύλη μείωσης της απόδοσης, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.31**. Η καμπύλη αυτή υποθέτει ότι ο κινητήρας ήδη παράγει το αναγραφόμενο φορτίο. Βάσει αυτής της καμπύλης, κάθε κινητήρας πρέπει να είναι κατασκευασμένος να αντέχει 1% ασυμμετρία και σε μεγαλύτερες καταστάσεις ασυμμετρίας θα μειώνεται η απόδοσή του ανάλογα με το επίπεδο της ασυμμετρίας. Για παράδειγμα, εάν η ασυμμετρία είναι 3%, ένας κινητήρας ονομαστικής ισχύος 10 kW θα πρέπει να λειτουργεί με φορτίο μόνο μέχρι 9 kW. Εάν 10 kW είναι η ισχύς που πρέπει να μπορεί να «σηκώσει» ο κινητήρας σε κατάσταση 3% ασυμμετρίας, τότε ο κινητήρας πρέπει να είναι περίπου 12 kW. Η λειτουργία ενός επαγωγικού κινητήρα με ασυμμετρία πάνω από 5% δεν συνιστάται.

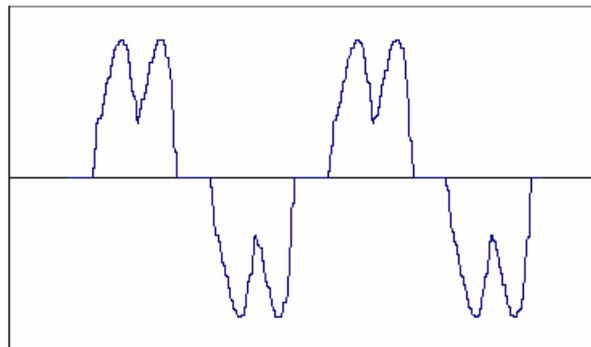


Σχήμα 2.31. : Καμπύλη NEMA μείωσης απόδοσης ενός επαγωγικού κινητήρα [10]

Παρόλο που η καμπύλη του **Σχήματος 2.31** φαίνεται να έχει παγκόσμια εφαρμογή, πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι το επίπεδο της μείωσης της απόδοσης που ισχύει για κάθε κινητήρα εξαρτάται από το μέγεθος και τον σχεδιασμό του.

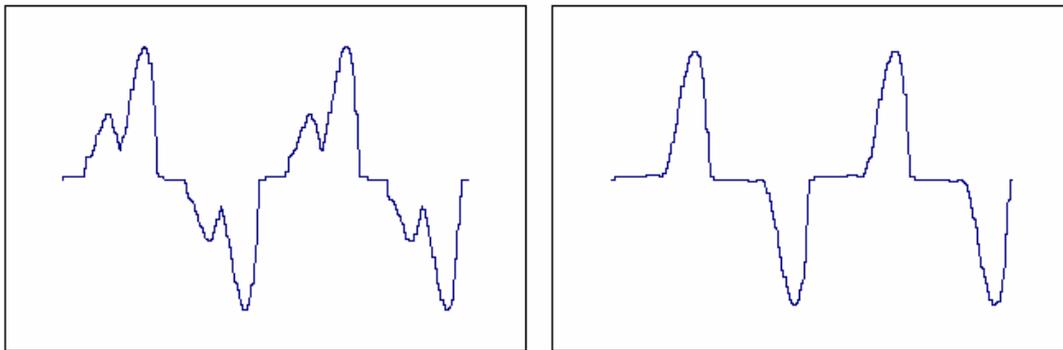
Επιπτώσεις σε inverter

Τα τριφασικά ανορθωτικά συστήματα με διόδους αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των συστημάτων οδήγησης μεταβαλλόμενης ταχύτητας και των υποστηρικτών αδιάλειπτης λειτουργίας (UPS). Αυτά τα συστήματα ανορθωτών απορροφούν ρεύματα μη-ημιτονοειδούς κυματομορφής. Αν το σύστημα παροχής ηλεκτρισμού είναι συμμετρικό, το ρεύμα που μπορούν να απορροφήσουν έχει την μορφή του «διπλού παλμού ανά μισό κύκλο», όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.32**, το οποίο αποτελείται από αρμονικές, η τάξη των οποίων δίδεται από την χαρακτηριστική: $h = 6k \pm 1$, όπου $h =$ τάξη της αρμονικής και $k = 1, 2, \dots$ δίνοντας μόνο $5^{\text{η}}$, $7^{\text{η}}$, $11^{\text{η}}$, $13^{\text{η}}$... ακολουθία αρμονικών.



Σχήμα 2.32. : Κυματομορφή γραμμικού ρεύματος ενός τριφασικού ανορθωτή διόδων, όταν το σύστημα παροχής είναι συμμετρικό [10]

Όσο το σύστημα τροφοδοσίας γίνεται πιο ασύμμετρο, τόσο η μορφή του ρεύματος παρεκκλίνει από αυτή του **Σχήματος 2.32**, και αποκτά μορφή απλού παλμού, όπως φαίνεται στα Σχήματα **2.33 (α)** και **2.33 (β)**, οδηγώντας σε ασυνήθιστες τριπλές αρμονικές. Η ασυμμετρία των φάσεων μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία των συστημάτων οδήγησης λόγω υπερβολικών γραμμικών ρευμάτων εναλλασσόμενου ρεύματος σε κάποιες απ' τις φάσεις και ελλιπή τάση στη πλευρά συνεχούς ρεύματος (**DC link**). Αυτό με τη σειρά του μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική υπερθέρμανση των διόδων και του πυκνωτή συνεχούς ρεύματος. Αύξηση των ανεπιθύμητων αρμονικών τρίτης τάξης στο ρεύμα μπορεί επίσης να προκαλέσει ανεπιθύμητα προβλήματα αρμονικών στο σύστημα τροφοδοσίας.



(a) Voltage unbalance – 5%

(b) Voltage unbalance – 15%

Σχήμα 2.33. : Κυματομορφή γραμμικού ρεύματος ενός τριφασικού ανορθωτή διόδων, όταν το σύστημα παροχής είναι ασύμμετρο [10]

Στα συστήματα κίνησης εναλλασσόμενου ρεύματος τελευταίας γενιάς με ανορθωτές PWM με θυρίστορ (αντί για ανορθωτές διόδων), οι επιπτώσεις της ασυμμετρίας στο σύστημα τροφοδοσίας περιλαμβάνουν αυξημένη παραμόρφωση του ρεύματος, πρόκληση κυματισμού 100Hz στη πλευρά συνεχούς ρεύματος και αύξηση της άεργου ισχύος που απορροφά.

2.7.3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Η επίτευξη μηδενικού βαθμού ασυμμετρίας μεταξύ των φάσεων σε ένα σύστημα διανομής είναι προφανώς αδύνατη, λόγω:

- (α) στοχαστικότητας της σύνδεσης και αποσύνδεσης των μονοφασικών φορτίων,
- (β) άνιση κατανομή των μονοφασικών φορτίων στις τρεις φάσεις και
- (γ) εγγενούς ασυμμετρίας του συστήματος τροφοδοσίας.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν τεχνικές βελτίωσης της συμμετρικότητας τόσο σε επίπεδο παραγωγής όσο και σε επίπεδο κατανάλωσης, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μείωση του συντελεστή ασυμμετρίας της φάσεων και των επιπτώσεών της.

Προτεινόμενα μέτρα για μια εταιρία παροχής:

- Ανακατανομή των μονοφασικών φορτίων ισομερώς σε όλες τις φάσεις.

- Μείωση της ασυμμετρίας του συστήματος, η οποία προέκυψε λόγω των σύνθετων αντιστάσεων του συστήματος, όπως αυτές εξαιτίας των μετασχηματιστών και των γραμμών.[82]
- Μονοφασικοί ρυθμιστές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την διόρθωση της ασυμμετρίας, αλλά πρέπει πάντα να ελέγχονται ώστε να μην προξενίσουν περαιτέρω ασυμμετρία.[10]
- Τα παθητικά συστήματα δικτύων και τα ηλεκτρονικά συστήματα ενεργούς ισχύος, όπως οι πυκνωτές δυναμικής μεταβλητής αντιστάθμισης (Static Var Compensator) και οι ρυθμιστές γραμμής, επίσης θεωρούνται κατάλληλοι για την διόρθωση της ασυμμετρίας. Σε αντίθεση με τα παθητικά συστήματα, τα ενεργητικά συστήματα μπορούν να διορθώσουν την ασυμμετρία δυναμικά, πράγμα που σημαίνει να εξομαλύνουν τις αλλαγές και από τα συνεχώς κυμαινόμενα φορτία.[41]

Προτεινόμενα μέτρα για βιομηχανικούς καταναλωτές:

- Εξισορρόπηση φορτίου.
- Χρήση παθητικών κυκλωμάτων και πυκνωτών δυναμικής μεταβλητής αντιστάθμισης (Static Var Compensator).[82]
- Μηχανήματα ευαίσθητα σε ασυμμετρία φάσεων δεν πρέπει να συνδέονται σε συστήματα παροχής μονοφασικών φορτίων.
- Οι επιπτώσεις της ασυμμετρίας φάσεων στους μηχανισμούς οδήγησης εναλλασσόμενου ρεύματος μηχανών μεταβλητής ταχύτητας μπορούν να μειωθούν αν ρυθμιστούν κατάλληλα οι αντιδράσεις τόσο στην πλευρά εναλλασσόμενης τάσης όσο και στην πλευρά συνεχούς.[41]

Για την προστασία των επαγωγικών κινητήρων πρέπει να αναπτυχθούν ρελέ να μπλοκάρουν όταν δέχονται ρεύματα και τάσεις αρνητικής ακολουθίας. Θεωρείται ότι τα ρελέ ανίχνευσης ρεύματος αρνητικής ακολουθίας έχουν καλύτερη ευαισθησία σε σχέση με τα ρελέ ανίχνευσης τάσης αρνητικής ακολουθίας.

2.8. ΜΕΤΑΓΩΓΙΚΗ ΥΠΕΡΤΑΣΗ

2.8.0. ΓΕΝΙΚΑ ΚΑΙ ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

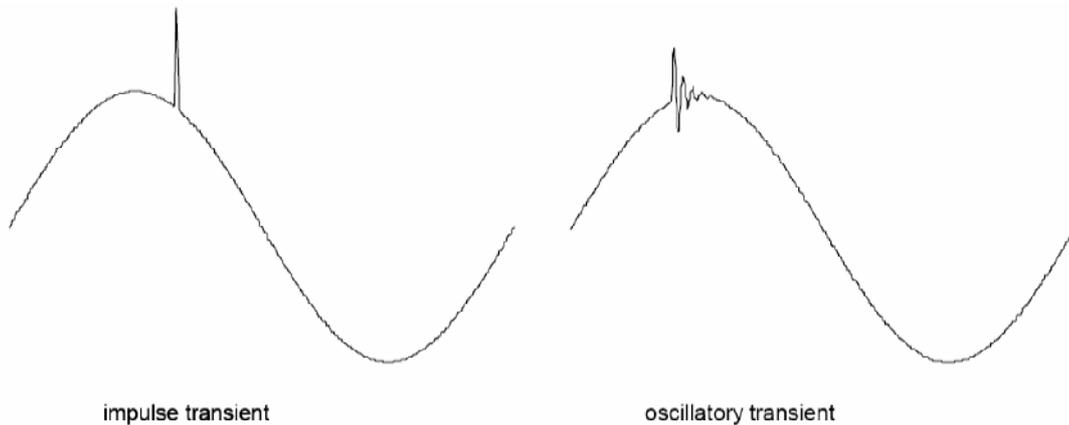
Οι μεταβατικές υπερτάσεις είναι ένας όρος για σύντομες, γρήγορα αποσβενύμενες παροδικές διαταραχές της τάσης ή του ρεύματος. Μπορεί να ορισθούν ως η απόκριση του ηλεκτρικού δικτύου σε μία απότομη αλλαγή στις συνθήκες του δικτύου, είτε σκοπίμως ή από ατύχημα (χειρισμοί ζεύξης και απόζευξης ή κατάσταση 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 αποσβενύμενη ταλάντωση (*oscillatory overvoltage*)

Ένα παράδειγμα αυτών των ταλαντώσεων φαίνεται στο Σχήμα 2.34.

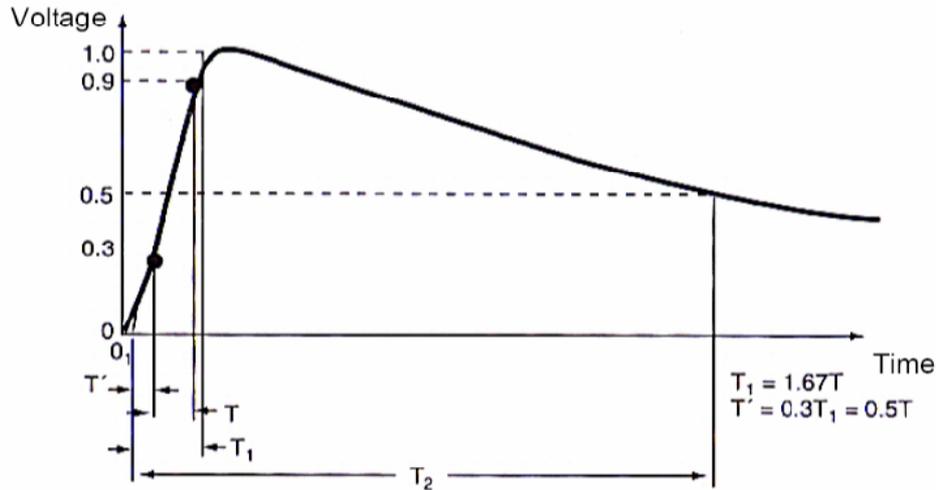


Σχήμα 2.34. : μεταγωγικές υπερτάσεις παλμικού και κλιμακούμενου τύπου (impulsive and oscillatory transients) [9]

Παλμικές Υπερτάσεις

Οι παλμικές 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 παλμική υπέρταση φαίνεται στο σχήμα 2.34. Το πλάτος μίας τέτοιας διαταραχής μπορεί να είναι αρκετές φορές μεγαλύτερο από το πλάτος του ονομαστικού πλάτους.

Οι παλμικές υπερτάσεις συνήθως χαρακτηρίζονται από τον διάρκεια μετώπου και ημίσειας εύρους και από την τιμή κορυφής. Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 2.34.



Σχήμα 2.35. : Χαρακτηριστικά παλμικής διαταραχής [41]

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 2.35. 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 ημίσειας εύρους T_2 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, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται και στο σχήμα 2.29.

Η κυμάτωση που φαίνεται στο σχήμα 2.35 θα μπορούσε χαρακτηριστικά να καλείται σαν T_1/T_2 κυμάτωση, όπου T_1 T_2 δίνονται σε μs . Η κυμάτωση 1.2/50 (1.2 μs χρόνος ανόδου, 50 μs χρόνος ημίσειας τιμής) με τιμή κορυφής V_{pk} (π.χ. 95kV σε ένα σύστημα 11kV) είναι συχνά η στάνταρτ κυμάτωση για δοκιμή παλμικής υπέρτασης από κεραυνό.

Κλιμακούμενες Υπερτάσεις

Η κλιμακούμενη υπέρταση είναι απότομη μεταβολή της τάσης ή /και του ρεύματος κα 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 2.35.** 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 the crest voltage 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 500kHz 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 5kHz και μία διάρκεια στην τάξη των ms θεωρούνται σαν υψηλής συχνότητας κλιμακούμενες υπερτάσεις. Αυτές συνήθως συμβαίνουν όταν κάποιες παλμικές υπερτάσεις (*κρουστικές υπερτάσεις*) διεγείρει την τοπική συχνότητα ενός τοπικού δικτύου.

2.8.1. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ

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 2-4α.μ. 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. ([84], [10], [41])

Στο σημείο αυτό θα μπορούσαμε να αναλύσουμε το αποτέλεσμα των δύο σημαντικότερων αιτιών δημιουργίας μεταβατικών υπερτάσεων. Αυτές είναι όπως είπαμε το κεραυνικό πλήγμα και οι διαδικασίες ζεύξης και απόζευξης σε ένα δίκτυο.

Κερανοί

Οι κερανοί είναι μία ηλεκτρική εκφόρτιση στην ατμόσφαιρα μεταξύ των νεφών και τις γης η και μεταξύ των ίδιων των νεφών. Παρότι οι περισσότερες εκφορτίσεις πραγματοποιούνται μεταξύ των νεφών, αυτές που πραγματοποιούνται με κατεύθυνση την γη είναι αρκετές ώστε να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα στα ηλεκτρικά συστήματα και τον ευαίσθητο ηλεκτρικό εξοπλισμό. Όταν κερανοί πλήττουν ηλεκτρικά συστήματα ή κοντά σε αυτά τότε μεγάλα ρεύματα δημιουργούνται και επάγονται μέσω του συστήματος στον συνδεδεμένο εξοπλισμό. Μεγάλες παλμικές υπερτάσεις προκύπτουν σαν αποτέλεσμα αυτών των ρευμάτων. Ο τρόπος που γίνεται

η διάδοση των διαταραχών εμπίπτει στην θεωρία των οδεύοντων κυμάτων και η παρουσίαση της οποίας ξεφεύγει από τα όρια της διπλωματικής εργασίας.

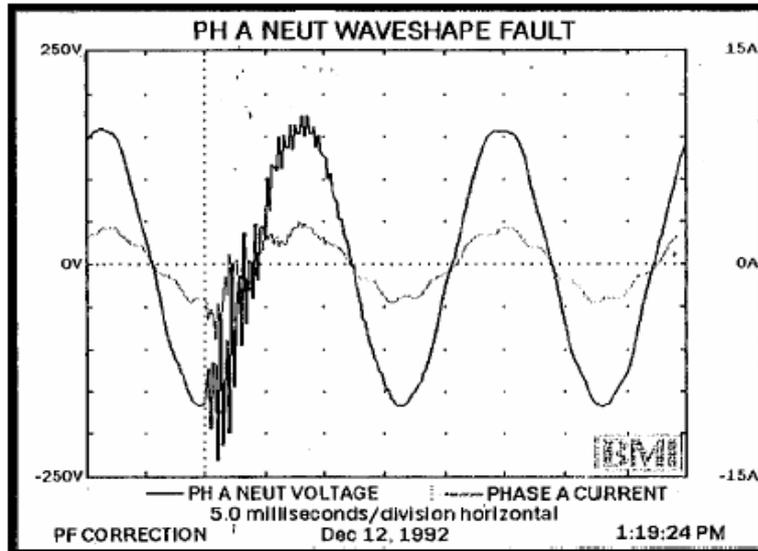
Ο κεραυνός μπορεί να πλήξει απευθείας τους αγωγούς των φάσεων των υπέργειων γραμμών προκαλώντας μεταβατικές υπερτάσεις πάρα πολύ μεγάλου πλάτους. Η μέγιστη τιμή του ρεύματος μπορεί να είναι έως και 200kA με τάσεις άνω των 1MV. Αυτή η κατάσταση συνήθως προκαλεί σφάλματα διαδίδονται στο δίκτυο σαν διακοπές ή βυθίσεις. Ο κεραυνός μπορεί επίσης να πλήξει τις υπέργειες γειώσεις (καλώδια προστασίας) που είναι μερικές φορές εγκατεστημένες πάνω από τους αγωγούς των φάσεων για να τους προστατεύουν από άμεσο κεραυνικό πλήγμα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στο αποκαλούμενο back-flashover στους αγωγούς των φάσεων, μιας και η τάση στην γείωση ή τον πύργο γίνεται πολλές φορές μεγαλύτερη αυτών στους αγωγούς των φάσεων.

Επιπρόσθετα στα άμεσα κεραυνικά πλήγματα ο κεραυνός μπορεί να επηρεάσουν τα ρεύματα και τις τάσεις στις γραμμές χωρίς άμεση επαφή. Τα υψηλά ηλεκτρομαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από την εκφόρτιση του κεραυνού μπορεί να συνδεθούν ηλεκτρικά με το δίκτυο και να προκαλέσουν μεταβατικές υπερτάσεις. Ρεύματα που εμφανίζονται σε αυτές τις περιπτώσεις είναι μικρότερα των 2kA με τάσεις χαμηλότερες των 100kV.

Χειρισμός ζεύξεων και απόζεύξεων στο δίκτυο

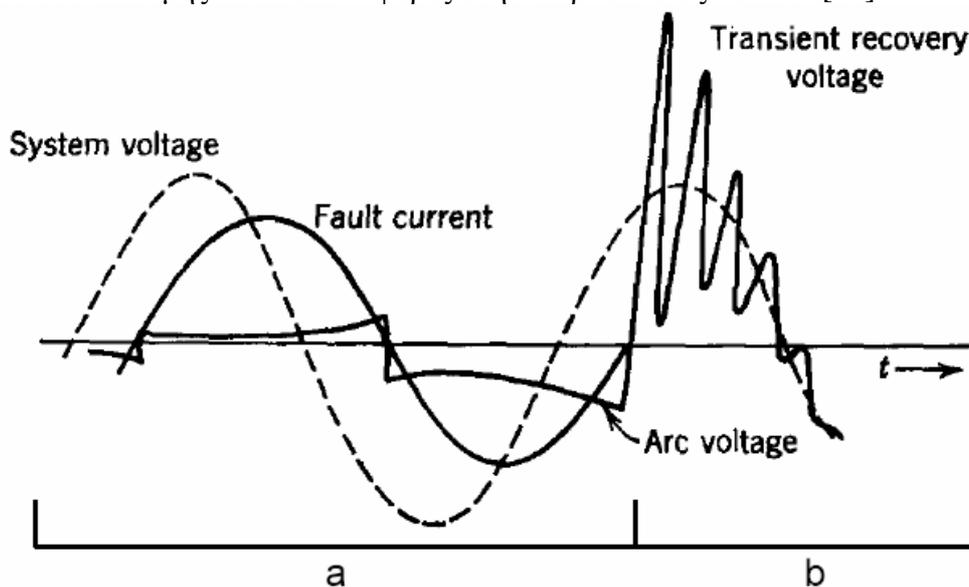
Οι ζεύξης και απόζεύξης στα δίκτυα διανομής αποτελούν τον κυριότερο λόγο εμφάνισης κλιμακούμενων υπερτάσεων. Τέτοιοι χειρισμοί περιλαμβάνουν ζεύξη και απόζεύξη συστοιχιών πυκνωτών, ζεύξη και απόζεύξη αυτόματων διακοπών για εκκαθάριση σφαλμάτων και ζεύξη η απόζεύξη ολόκληρων γραμμών στην διανομή για προκαθορισμένη συντήρηση ή και ανακατασκευή αυτών.

Χωρητικότητες έχουν εγκατασταθεί από τους παροχείς σε πολλά διαφορετικά σημεία τόσο στην διανομή όσο και στην μεταφορά, ώστε να παρέχουν άεργο ισχύ για τις ανάγκες του συστήματος (διαδικασία αντιστάθμισης). Συνδέονται και αποσυνδέονται ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε χρονικής στιγμής σε ενέργεια. Όταν ένας πυκνωτής ενεργοποιείται στιγμιαία η τάση στον ζυγό σύνδεσης θα καταρρεύσει. Αυτό συμβαίνει επειδή η τάση σε ένα πυκνωτή δεν μπορεί να αλλάξει ακαριαία. Το φαινόμενο αυτό ακολουθείται από μία αποσβάνουσα ανάκαμψη της τάσης για μισό κύκλο ή και λίγο παραπάνω. Αυτό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση μίας τάσης της οποίας η μέγιστη τιμή να είναι μέχρι και δύο φορές την μέγιστη τάση της τάσης στα 50Hz, αλλά τις περισσότερες φορές δεν είναι πάνω από 1.5 φορές αυτήν. Ένα παράδειγμα για δίνεται στο Σήμα 2.36. Το ίδιο φαινόμενο μπορεί να συμβεί και όταν ένας πυκνωτής βγαίνει εκτός δικτύου.



Σχήμα 2.36. : μεταβατικές υπερτάσεις και υπερεντάσεις από ενεργοποίηση πυκνωτή [84]

Εκτός από τους χειρισμούς πυκνωτών, κλιμακούμενες μεταβατικές υπερτάσεις μπορεί να προκύψουν όταν οι διακόπτες κυκλωμάτων κάνουν εκκαθάριση ενός σφάλματος. Κυματομορφές σχετικές με αυτή τη διαδικασία φαίνονται στο Σχήμα 2.36. Κατά την διάρκεια της περιόδου 'α', ρεύμα τόξου διαπερνά τις επαφές του διακόπτη καθώς αυτός ανοίγει. Όσο απομακρύνονται οι επαφές τόσο μεγαλώνει και η τάση του τόξου. Η χρονική περίοδος 'b' αρχίζει όταν το ρεύμα μηδενίζεται και το διάστημα μεταξύ των επαφών είναι επαρκώς μεγάλο ώστε να αντέξει την ταλάντωση ανάκαμψης της τάσης που επιβάλλει το δίκτυο. η συχνότητα της ανάκαμψης καθορίζεται από την επαγωγική και χωρητική συμπεριφορά του κυκλώματος όπως αυτό φαίνεται από το διακόπτη. Αυτή η συχνότητα μπορεί να είναι κάποιες δεκάδες kHz και η μέγιστη τάση μπορεί να φτάσει να είναι διπλάσια της ονομαστικής. Η κατάσταση χειροτερεύει όταν ο διακόπτης ελέγχει μία υπέργεια τροφοδοσία και πρέπει να πραγματοποιεί ανοιγοκλεισίματα για να κάνει την εκκαθάριση την παροδικών σφαλμάτων. Σε αυτήν την περίπτωση η ταλάντωση μπορεί να εμφανιστεί στο δίκτυο διανομής πάνω από 4 φορές στην διάρκεια ενός λεπτού. [84]



Σχήμα 2.37. : Τυπική αποσβένουσα ταλάντωση λόγω εκκαθάρισης σφαλμάτων [41]

2.9. ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ ΤΑΣΗΣ

2.9.0. ΓΕΝΙΚΑ

Βασικά στοιχεία

Οποιαδήποτε περιοδική απόκλιση από την καθαρά ημιτονική 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 (2.26) 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.

$$u(t) = c_{U0} + \sum_{k=0}^{\infty} c_{Uk} \sin(k \cdot 2\pi f_1 t + \phi_{Uk}) \quad (2.26)$$

c_{U0} - DC component

c_{Uk} - amplitude of k ordered voltage harmonic

ϕ_{Uk} - phase shift of k ordered voltage harmonic

f_1 - fundamental frequency

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 (2.27). Ο THD συχνά δίνεται σαν ποσοστό.

$$THDU = \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{40} U_k^2}{U_1^2}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{40} c_{Uk}^2}{c_{U1}^2}} \quad (2.27)$$

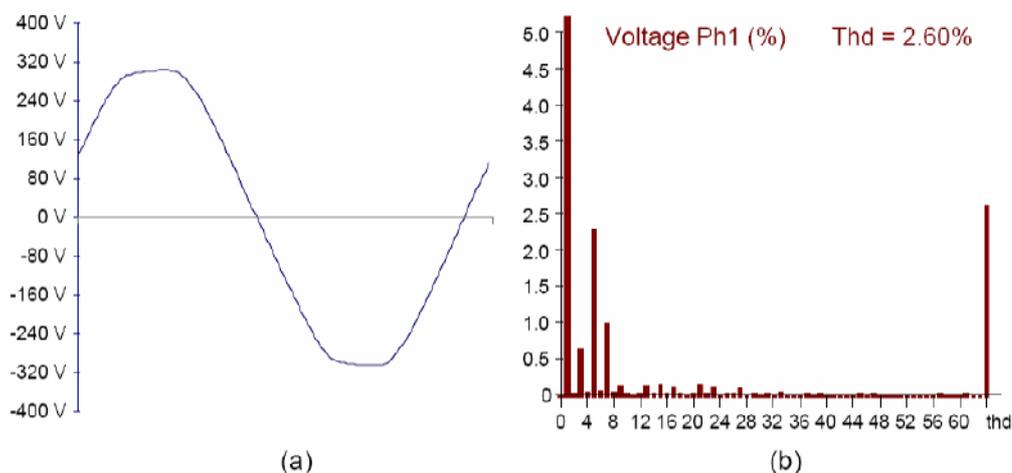
$U_k = c_{Uk} / \sqrt{2}$ – rms value of voltage harmonic k

$u_k = \frac{U_k}{U_1} \cdot 100\%$ – procentual value of voltage harmonic k

Στο **Σχήμα 2.38** (a) 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 2.39) προκαλούν μία επιπεδοποίηση της κορυφής της κυματομορφής. Στο διάγραμμα του **Σχήματος 2.38** (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.**

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^{ης} τάξης, όπως εξηγήσαμε προηγουμένως.

Για τις ανάγκες μέτρησης της ποιότητας ισχύος θα μπορούσαμε να μειώσουμε την μέγιστη τάξη της μετρούμενης αρμονικής στην 50^{ης} 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.



Σχήμα 2.38. : φασματική απεικόνιση μιας συνήθους κυματομορφής καλούμενης και ως προιονισμένης κορυφής [9]

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

$$i(t) = c_{I0} + \sum_{k=0}^{\infty} c_{Ik} \sin(k \cdot 2\pi f_1 t + \phi_{Ik}) \quad (2.28)$$

c_{I0} - DC component

c_{Ik} - amplitude of k ordered current harmonic

ϕ_{Ik} - phase shift of k ordered current harmonic

$$THDI = \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{40} I_k^2}{I_1^2}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{40} c_{Ik}^2}{c_{I1}^2}} \quad (2.29)$$

$I_k = c_{Ik} / \sqrt{2}$ - rms value of current harmonic k

$i_k = \frac{I_k}{I_1} \cdot 100\%$ - procentual value of current harmonic k

2.9.1. ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

Στο **Σχήμα 2.39** 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 2.39 : ισοδύναμο κύκλωμα συστήματος με γραμμικό φορτίο [9]



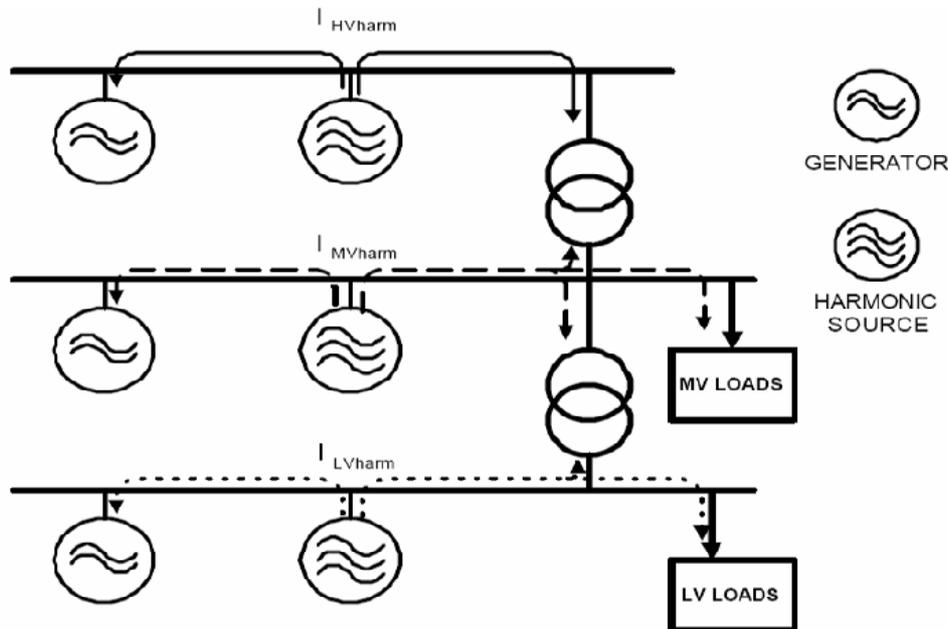
Σχήμα 2.40. : Ισοδύναμο κύκλωμα συστήματος με μη-γραμμικό φορτίο [9]

Μη γραμμικά φορτία (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 2.41. 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 2.41. : γραφική αναπαράσταση επιρροής αρμονικών που δημιουργούνται από μια πηγή αρμονικών στους υπόλοιπους καταναλωτές που είναι συνδεδεμένοι στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. [9]

Επειδή ακριβώς σε ένα δίκτυο η αρμονική παραμόρφωση στην τάση επηρεάζει και τους γείτονες, επιβάλλεται να γίνεται μία **αρμονική ανάλυση** σε έναν χώρο. Η αρμονική ανάλυση γίνεται για να προβλεφθεί η αρμονική παραμόρφωση σε μία ή σε περισσότερες τοποθεσίες στο ηλεκτρικό δίκτυο. Τέτοια μελέτη μπορεί να γίνει για να υπολογιστεί η επίδραση ενός νέου μη-γραμμικού φορτίου ή η εγκατάσταση ενός αρμονικού φίλτρου. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι αρμονικής ανάλυσης. Αυτή που βασίζεται στην ανάλυση στο πεδίο του χρόνου και αυτή που βασίζεται στην ανάλυση στο πεδίο της συχνότητας, [9]

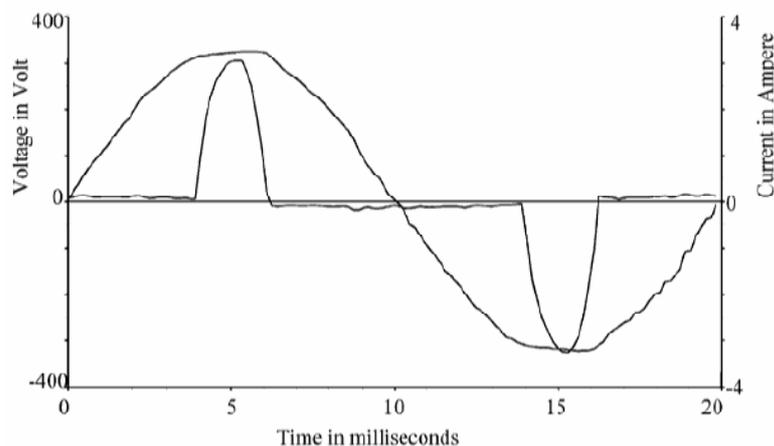
- **Ανάλυση στο πεδίο του χρόνου:** το σύστημα, δηλαδή το δίκτυο και τα φορτία, μοντελοποιείται σε λεπτομέρειες κατά τις οποίες μιας χρονική ανάλυση που γίνεται δίνει αποτελέσματα σε πραγματικές κυματομορφές. Οι συντελεστές των αρμονικών προσδιορίζονται με την εφαρμογή ενός μετασχηματισμού Fourier στην κυματομορφή.
- **Ανάλυση στο πεδίο της συχνότητας:** ένα ξεχωριστό μοντέλο δημιουργείται για κάθε συντελεστή συχνότητα ω που συμμετέχει στην ανάλυση. Κάθε απλής συχνότητας μοντέλο είναι σχετικά απλό αφού το μόνο που χρειάζεται είναι να ισχύει για την συγκεκριμένη συχνότητα. Τα μοντέλα εξαγωγής συμπερασμάτων είναι τα ίδια, όπως για την θεμελιώδη συχνότητα για μιγαδική τάση και ρεύμα. Η βασική διαφορά, και επίσης η βασική δυσκολία, έγκειται στην επιλογή των τιμών των επαγωγικών αντιδράσεων. Εδικά για συνιστώσες υψηλότερων συχνοτήτων χρειάζονται διαφορετικά μοντέλα εξαιτίας των σημαντικών χωρητικών ρευμάτων, αλλά οι μέθοδοι υπολογισμού παραμένουν οι ίδιοι. Ο όρος αρμονική ανάλυση κανονικά χρησιμοποιείται για την δεύτερη μέθοδο, αλλά η πρώτη μέθοδος θα έδινε επίσης αποτέλεσμα σε αρμονικό φάσμα. Ο λόγος που χρησιμοποιείται η δεύτερη μέθοδος είναι η απλότητα της. Η ίδια

μέθοδος ανάλυσης μπορεί να εφαρμοστεί στις αρμονικές συχνότητες, όπως ακριβώς και στην θεμελιώδη

Οι βασικές υποθέσεις πίσω από την μέθοδο αυτή είναι ότι η μη-γραμμικότητα περιορίζεται σε ένα συγκεκριμένο αριθμό αρμονικών τάξεων (στον μεγαλύτερο αριθμό φορτίων) και ότι η κυματομορφή του ρεύματος ενός μη-γραμμικού συντελεστή δεν επηρεάζεται σημαντικά από την κυματομορφή της τάσης.

Πηγές αρμονικών διαταραχών

Όπως είπαμε η αρμονική παραμόρφωση οφείλεται στα μη-γραμμικά φορτία. Η κύρια παραμόρφωση είναι εξαιτίας των φορτίων με ηλεκτρονικά ισχύος, όπως είναι η τηλεόραση, οι υπολογιστές και οι λάμπες εξοικονόμησης ενέργειας. Τέτοιου είδους φορτία υπάρχουν σε μεγάλες ποσότητες σε οικιακούς και εμπορικούς καταναλωτές, με αποτέλεσμα να διαμορφώνουν υψηλά επίπεδα παραμόρφωσης στο δίκτυο. ένα παράδειγμα ενός μη-ημιτονοειδούς ρεύματος εξαιτίας της κανονικής λειτουργίας ενός υπολογιστή φαίνεται στο **Σχήμα 2.42**. Αυτή η Κυματομορφή είναι τυπική για αρκετά φορτία στο σπίτι και στο γραφείο.



Σχήμα 2.42. : παράδειγμα της τάσης στα άκρα ενός υπολογιστή (ημιτονοειδής κυματομορφή) και το απορροφούμενο μη-ημιτονοειδές ρεύμα [11]

Πάρα πολύ σημαντικές πηγές αρμονικών αποτελούν και ελεγκτές μεταβλητής ταχύτητας και οι κλίβανοι τόξου. Όμως αυτές οι συσκευές συνήθως συναντώνται σε μεγάλους εργοστασιακούς χώρους όπου έχει ήδη ληφθεί μέριμνα για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων. για αυτό το λόγο η παραμόρφωση στην τάση προέρχεται κυρίως από μικρά μη-γραμμικά φορτία και όχι από μεγάλα. Παρόλα αυτά τα μεγάλα μη-γραμμικά φορτία προκαλούν συχνά τοπικά προβλήματα. Πρέπει να τονίσουμε ότι η πηγή της παραπάνω πληροφορίας είναι η Σουηδία, με συνέπεια να μην μπορούμε να υποστηρίξουμε με βεβαιότητα ότι το ίδιο συμβαίνει και στην χώρα μας. πάντως μία ένδειξη που επιβεβαιώνει αυτόν τον κανόνα είναι οι απαντήσεις που δόθηκαν στα ερωτηματολόγια και παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4.

Ενδιάμεσες αρμονικές συνδέονται περισσότερο με τα εργοστασιακά φορτία, όπως το ίδιο συμβαίνει και με τον θόρυβο. Εδώ πρέπει να αποσαφηνίσουμε μια πολύ συχνά

εσφαλμένα παρατηρούμενη άποψη. Οι πυκνωτές δεν αποτελούν πηγές δημιουργίας αρμονικής παραμόρφωσης, όπως πολλοί πιστεύουν. Αυτό που συμβαίνει είναι ο συντονισμός που ενδέχεται να δημιουργηθεί με τα επαγωγικά φορτία του δικτύου, να βρίσκεται κοντά σε κάποια αρμονική συχνότητα με αποτέλεσμα να ενισχύει τα αρμονικά ρεύματα και τάσεις που δημιουργούν τα μη-γραμμικά φορτία. Το συγκεκριμένο φαινόμενο θα εξετάσουμε καλύτερα στο παρακάτω κεφάλαιο για τις επιπτώσεις στον συντονισμό.

Οι πηγές των αρμονικών που εμφανίζονται στα ηλεκτρικά δίκτυα μπορούν να διαχωριστούν σε κλασσικές και νέες πηγές.

Κλασσικές πηγές αρμονικών [9]-[11]

- Στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές: Οι αρμονικές οφείλονται στις οδοντώσεις του πυρήνα και στις ατέλειες των μαγνητικών κυκλωμάτων τους.
- Ρεύματα μαγνήτισης των Μ/Σ: Οι αρμονικές οφείλονται στο μαγνητικό κορεσμό των πυρήνων και στη μαγνητική υστέρηση. Υπερτάσεις και γεωμαγνητικά ρεύματα προκαλούν μαγνητικό κορεσμό και προβλήματα κυρίως σε μεγάλα δίκτυα
- Σιδηροσυντονισμό: Οι αρμονικές οφείλονται σε ισχυρό μη γραμμικό φαινόμενο προκαλούμενο από την αλληλεπίδραση μη γραμμικής επαγωγικής αντίδρασης (π.χ. Μ/Σ) με τη χωρητικότητα του συστήματος. Συχνά υπερισχύουν οι συχνότητες του 1/3 ή 1/5 της βασικής και εμφανίζεται σαν υποαρμονικό φαινόμενο με υπερτάσεις, μεγάλα ρεύματα, παραμόρφωση κυματομορφών κλπ.
- Μη γραμμικότητες δικτύου: Προκύπτουν από φορτία όπως ανορθωτές, οι μετατροπείς, οι κλίβανοι ηλεκτρικού τόξου, τα μηχανήματα ηλεκτροσυγκόλλησης τόξου, οι λαμπτήρες αερίου, οι ελεγκτές τάσης, οι μετατροπείς συχνότητας κ.ά.
- Τριφασικά φορτία – 5^η, 7^η, 11^η, 13^η, 17^η αρμονική
- Μη-συμμετρικά ελεγχόμενη παροχή – αρμονικές άρτιας τάξης και DC
- Επαγωγική αντιστάθμιση σειράς μειώνει τον THDI

Νέες πηγές αρμονικών

- Συσκευές που συνδυάζουν ημιαγωγούς και συστήματα διακοπής (για εξοικονόμηση ενέργειας).
- Συσκευές ελέγχου των κινητήρων σε εφαρμογές ελέγχου ταχύτητας έλξης (π.χ. ηλ/κοί σιδηρόδρομοι).
- Συσκευές μετατροπής και μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος με D.C. υψηλής τάσεως.

- Ηλιακές και αιολικές πηγές μικρής ισχύος με τους αντίστοιχους AC/DC μετατροπείς ισχύος για τη σύνδεση των πηγών με τα συστήματα διανομής.
- Συστήματα διόρθωσης συντελεστή ισχύος. Η χρήση συστοιχιών πυκνωτών προκαλεί παραγωγή αρμονικών λόγω συντονισμού. Όπως άλλωστε επίσης και η χρήση πηνίων αντιστάθμισης που χρησιμοποιούνται για την εξουδετέρωση χωρητικών φορτίσεων (π.χ. μεγάλων γραμμών μεταφοράς). Άλλος λόγος δημιουργίας αρμονικών στα ανωτέρω συστήματα είναι τα θυρίστορ, που περιλαμβάνονται στις νέες μεθόδους διόρθωσης του συντελεστή ισχύος.
- Συσκευές φόρτισης συσσωρευτών. Απαιτούν χρήση ανορθωτών και χρησιμοποιούνται π.χ. σε ηλεκτρικά οχήματα που λειτουργούν με συσσωρευτές.
- Συσκευές άμεσης μετατροπής ενέργειας (π.χ. μαγνητο-υδροδυναμική μετατροπή, κύτταρα καυσίμου, κλπ), που απαιτούν AC/DC μετατροπείς.
- Κυκλομετατροπείς (cycloconverters) που χρησιμοποιούνται σε κινητήρες χαμηλών ταχυτήτων και μεγάλων ροπών, κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές.
- Μονοφασικοί ανορθωτές – υψηλή τρίτη αρμονική, THDI 80%
- Τα δίκτυα παροχής χαμηλής τάσης – THDV 1.5÷4.5%, κυρίως αρμονική 5^{ης} τάξης
- Στοιχεία θέρμανσης PBM (Pulse Burst-Modulated), που χρησιμοποιούνται σε μεγάλους κλιβάνους.
- Υψηλότερες τιμές παλμών – χαμηλός δείκτης THDI

2.9.2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ

Ο εξοπλισμός αποκρίνεται διαφορετικά στην εφαρμογή σε αυτόν αρμονικής τάσης και εξαρτάται σημαντικά από την μέθοδο λειτουργίας. Για παράδειγμα οι λαμπτήρες πυρακτώσεως και οι περισσότεροι τύποι οικιακών θερμοσιφώνων και θερμοστρών δεν επηρεάζονται σχεδόν καθόλου.

Απ' την άλλη, τα τυλίγματα των επαγωγικών κινητήρων υπερθερμαίνονται από τις αρμονικές, προκαλώντας με αυξημένο ρυθμό μείωση της αποδοτικότητας των μονώσεων, όπως και μείωση του χρόνου ζωής τους. Οι αρμονικές τάσεις μπορούν να δώσουν αντιστοίχως μεγαλύτερα ρεύματα από αυτά της θεμελιώδους συνιστώσας και για αυτό μπορεί εύκολα να υποτιμηθεί ο βαθμός της πρόσθετης θερμότητας στον κινητήρα (στην αρχική μελέτη που θεωρήθηκε ότι θα φτάσει μέχρι ένα συγκεκριμένο σημείο με αποτέλεσμα καταστροφικές συνέπειες για τον κινητήρα). Η λειτουργία κάποιων συσκευών βασίζεται σε μία ακριβή κυματομορφή τάσης με ελάχιστες αποκλίσεις, με αποτέλεσμα αυτές οι συσκευές να δυσλειτουργούν παρουσία αρμονικών. Παραδείγματα τέτοιων συσκευών αποτελούν εξοπλισμοί που

περιλαμβάνουν SCRs ή θυρίστορ όπως ρυθμιστές μεταβλητής έντασης φωτισμού και συγκολλητικές μηχανές.

Πολλές από τις αρμονικές που διαρρέουν το δίκτυο οφείλονται στην παραμόρφωση που εισάγουν μονοφασικά φορτία, , όπως και παρατηρείται σε δημόσια κτίρια που στεγάζουν γραφεία, μπορεί να προκαλέσουν διαρροή ρευμάτων στον ουδέτερο αγωγό που ξεπερνούν την ονομαστική ενεργό τιμή του ρεύματος. Σε συνθήκες χωρίς αρμονικές, ο ουδέτερος μεταφέρει πολύ μικρά ρεύματα, και κατά συνέπεια έχει γίνει πλέον πρακτική να τοποθετούνται αγωγοί στον ουδέτερο που να μπορούν να μεταφέρουν ολόκληρο ή πιθανά το μισό από την ονομαστική ενεργό τιμή του ρεύματος Με εξαιρετικά επίπεδα αρμονικών ελλοχεύει ο κίνδυνος υπερφόρτισης του ουδετέρου με δύο πιθανές επιπτώσεις:

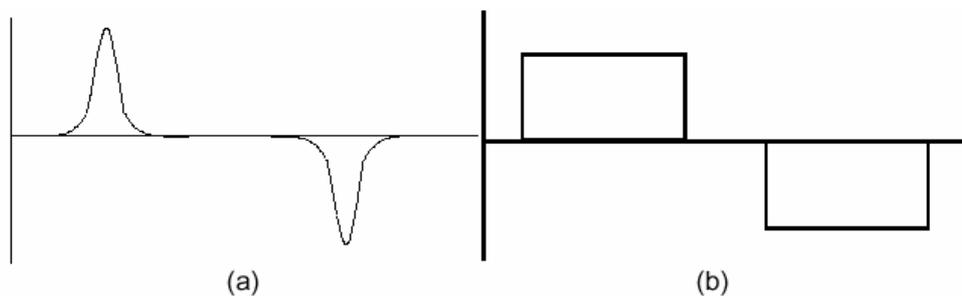
- (i) Υπερθέρμανση του αγωγού στον ουδέτερο με μείωση του χρόνου ζωής και ενδεχόμενο εκδήλωσης πυρκαγιάς.
- (ii) Υπάρχουν διαμαρτυρίες ότι εμφάνιση μεγάλων τάσεων στον ουδέτερο επηρεάζουν τον ψηφιακό εξοπλισμό και τα τοπικά δίκτυα (LANs) αν δεν υφίσταται καλό σύστημα γείωσης.

Στο σύστημα τροφοδοσίας, οι Μ/Σ των υποσταθμών και οι πυκνωτές αντιστάθμισης είναι αυτοί που επηρεάζονται περισσότερο. Οι Μ/Σ επηρεάζονται από παραμορφωμένη κυματομορφή ρεύματος που μπορεί να προκαλέσει επιπλέον θέρμανση και να οδηγήσει σε μείωση του χρόνου ζωής των. Οι πυκνωτές επηρεάζονται από την επιβαλλόμενη κυματομορφή της τάσης, που αν είναι σημαντικά παραμορφωμένη μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση του διηλεκτρικού μέσου στον πυκνωτή, με κίνδυνο να οδηγήσει σε έκρηξη.

Πολλοί από τους μηχανικούς στις εργοστασιακές εγκαταστάσεις ενδιαφέρονται μόνο για προβλήματα στην παρεχόμενη ισχύ τα οποία γίνονται άμεσα αντιληπτά, αφού οδηγούν σε άμεση δυσλειτουργία ή αστοχία του εξοπλισμού. Από την εμπειρία μας (και αυτά που καταγράφονται τόσο στην εγχώρια, όσο και στην διεθνή βιβλιογραφία) έχουμε παρατηρήσει ότι η επίδραση των αρμονικών στον εξοπλισμό μπορεί να οδηγήσει σε υπερθέρμανση και μείωση της διάρκειας ζωής (ή την διάρκεια ασφαλούς λειτουργίας, δηλ. μετά απαιτείται συντήρηση ή επισκευή) σε μέγεθος μέχρι και το μισό της αναμενόμενης, με προφανείς οικονομικές επιπτώσεις. Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα προβλήματα στο σύστημα, οι αρμονικές μπορούν να περνούν απαρατήρητες για αρκετά χρόνια εκτός αν τύχει να γίνει κάποια προκαθορισμένη μέτρηση στην θερμοκρασία της συσκευής ή στην κυματομορφή τάσης που τροφοδοτείται.

Στο συγκεκριμένο σημείο πρέπει να τονίσουμε κάτι που πολλοί αγνοούν. Αναφέραμε στις πηγές αρμονικών ότι ανήκει και το ίδιο το σύστημα (στην συγκεκριμένη περίπτωση εννοούμε το σύστημα των παραγωγών της ενέργειας και το δίκτυο της μεταφοράς αυτής, ενώ στην πραγματικότητα στο σύστημα ανήκουν και οι καταναλωτές όπως ήδη έχουμε αναφέρει), όμως η επίδραση αυτή δεν είναι τόσο σημαντική στην δημιουργία όσο στην διάδοση ή καλύτερα στην διατήρηση των ήδη υπαρχόντων αρμονικών στο δίκτυο. Σε αυτό συνεισφέρει το γεγονός ότι για τους παραγωγούς, ακόμα και για τους μικρούς, υπάρχουν συγκεκριμένα όρια που πρέπει να τηρούνται και έτσι έχουν αναπτύξει μεθόδους εξάλειψης των αρμονικών στην τάση. Το ίδιο συμβαίνει και με μερικούς από τους μεγάλους καταναλωτές στην ΥΤ, αλλά όχι συστηματικά αλλά μετά από παρατήρηση δημιουργίας σημαντικών

προβλημάτων στους γειτονικούς καταναλωτές. Έτσι δεν είναι τυχαίο ότι πριν την δεκαετία του '60 η αρμονική παραμόρφωση ήταν ελάχιστη (έκτοτε το δίκτυο αναπτύχθηκε πολύ, αλλά πολλές φορές άναρχα). Στις μέρες μας, ένας διαφορετικός τύπος φορτίου καταναλωτών, με χρήση των ηλεκτρονικών ισχύος, έχει γίνει αρκετά δημοφιλής. Αυτά τα καλούμενα και ως «φορτία εισαγωγής διαταραχών» απορροφούν ρεύματα που δεν είναι ημιτονοειδούς μορφής όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 2.43** (α) και (β). ο πρώτος τύπος ρεύματος απορροφάται από ηλεκτρονικό εξοπλισμό γραφείου, όπως κομπιούτερ, φάξ και άλλες οικιακές συσκευές με ηλεκτρονικό έλεγχο, όπως οι πιο πολύπλοκοι τύποι πλυντηρίων. Ο δεύτερος τύπος ρεύματος απορροφάται από συστήματα οδήγησης κινητήρων μεταβλητής ταχύτητας, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στην γραμμή παραγωγής μιας βιομηχανίας ή στους ανεγκυστήρες.



Σχήμα 2.43. : Κυματομορφές ρεύματος που τραβάει (α) ένας προσωπικός υπολογιστής, (β) ένα inverter [10]

Αυτές οι μορφές κύματος μπορούν να αναλυθούν σε ένα συνδυασμό άλλων ημίτονων ένα για την θεμελιώδη συχνότητα και τα άλλα για συχνότητες ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους, όπως ήδη έχουμε εξηγήσει. Έτσι η κυματομορφή (α) αποτελείται από συνημίτονα συχνότητας 50, 150, 250 Hz κ.ο.κ. ($2n-1$, όπου n είναι η τάξη της αρμονικής, άρα περιττές αρμονικές), ενώ η κυματομορφή (β) μπορεί να αναλυθεί σε συνημίτονα συχνότητας 50, 250, 350Hz κ.ο.κ. (άρα αρμονικές τάξης που δεν είναι πολλαπλάσια του 3). Το πλάτος και η συχνότητα των υψίσυχων συνιστωσών είναι χαρακτηριστική του τύπου του φορτίου που προκαλεί την διαταραχή και επομένως μπορεί να αναγνωριστεί με αυτόν τον τρόπο. Η συνιστώσα της παραμόρφωσης μπορεί και κινείται μέσα στο δίκτυο και προσθέτει υψίσυχνες πτώσεις τάσης που επηρεάζουν και τον γειτονικό εξοπλισμό. Στην περίπτωση που φαίνεται στην εικόνα 4, ο ζυγός 1 δεν θα έχει καθόλου παραμόρφωση αφού και θεωρείται άπειρος ζυγός, ο ζυγός 2 θα έχει κάποια μικρή παραμόρφωση ενώ ο ζυγός 3 θα έχει αρκετά μεγαλύτερη παραμόρφωση, εξαιτίας της μεγαλύτερης σύνθετης αντίστασης όσο απομακρυνόμαστε από τον άπειρο ζυγό (αυτό το εξηγήσαμε στο προηγούμενο παράδειγμα του κεφαλαίου 2.10.1). οι κυματομορφές του ρεύματος στο Σχήμα 2.43 (α) και (β) προκαλούν flat-top και notching τύπο διαταραχής στην τάση.

Έτσι μπορεί κανείς να δει το φαινόμενο της αρμονικής διαταραχής σαν ένα φαινόμενο, όπου οι πελάτες επηρεάζουν ο ένας τον άλλο μέσω της κοινής τους σύνδεσης με το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η παρουσία σύνθετης αντίστασης από την πλευρά του συστήματος είναι αναπόφευκτη (δηλ. δεν γίνεται κάθε φορτίο να βλέπει ότι είναι συνδεδεμένο με ένα άπειρο σύστημα

χωρίς να παρεμβάλλεται κάποια σύνθετη αντίδραση μεταξύ των δύο, ώστε οποιαδήποτε διαταραχή στο ρεύμα να μην έχει επίπτωση στην τάση). Επομένως η αύξηση των πελατών με ηλεκτρονικά ισχύος στον εξοπλισμό τους, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της αρμονικής διαταραχής του συστήματος που είναι αναπόφευκτη. Επειδή υπερβολική αρμονική παραμόρφωση έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνει την απόδοση κάποιων τύπων συσκευών, είναι σημαντικό να είναι δυνατός ο υπολογισμός του επιπέδου της αρμονικής παραμόρφωσης και η προσπάθεια μείωσης τους σε μερικές των περιπτώσεων.

Στην συνέχεια παραθέτουμε συγκεντρωμένες πια τις σημαντικότερες επιπτώσεις των αρμονιών διαταραχών στα φορτία [9-11]:

- Η ενεργειακή απόδοση σε όλο το δίκτυο μειώνεται
- Πρόωρη γήρανση των συντελεστών του συστήματος
- Αρμονικές τάξης πολλαπλάσιας του 3 προκαλούν υψηλές τιμές των ρευμάτων στον ουδέτερο αγωγό και σαν αποτέλεσμα υπερθέρμανση αυτών και απώλειες ενέργειας
- Αυξημένη υπερθέρμανση, θόρυβος και δονήσεις σε μετασχηματιστές και κινητήρες
- Το ρεύμα στους πυκνωτές αυξάνει με την αύξηση της τάξης της αρμονικής και προκαλεί με σοβαρή πιθανότητα σφάλματα
- Η παρουσία των αρμονικών αυξάνει την πιθανότητα για συντονισμό
- Προκαλείται πρόβλημα στην συχνότητα των σημάτων άλλων όπως π.χ. των τηλεπικοινωνιακών
- Ενεργοποίηση των συσκευών προστασίας των δικτύων
- Η συχνότητα αστοχία και σφάλματα στην λειτουργία στις ηλεκτρονικές συσκευές οδήγησης μηχανών και στους διακόπτες αυξάνεται αν ο THDV περάσει σε επίπεδα το 8%
- **Υπερτάσεις ή υπερεντάσεις:** προέρχονται από φαινόμενα συντονισμού, που οφείλονται στην ύπαρξη των αρμονικών.
- Αυξημένες απώλειες και υπερθέρμανση στρεφόμενων μηχανών, πυκνωτών, μετασχηματιστών και γενικότερα στο χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό των ηλεκτρικών δικτύων, με αποτέλεσμα τη μείωση του βαθμού απόδοσης. Το μέγεθος αυτής της μείωσης εξαρτάται από την τάξη και το μέγεθος των υπάρχουσών αρμονικών, που αυξάνουν τη φαινόμενη ισχύ κατανάλωσης του δικτύου και τις αντιστάσεις των στοιχείων εξοπλισμού.
- Λανθασμένες μετρήσεις κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από επαγωγικούς μετρητές. Η ύπαρξη αρμονικών στα δίκτυα προκαλεί λανθασμένη καταγραφή της καταναλισκόμενης από ωμικούς καταναλωτές ενέργειας. Σύμφωνα με τη

θεωρητική και πειραματική έρευνα βρέθηκε ότι οι μονοφασικοί επαγωγικοί μετρητές καταγράφουν μεγαλύτερο ποσό ενέργειας από εκείνο που καταναλώνεται στην πραγματικότητα από το φορτίο. Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται στη δημιουργία δινορρευμάτων στο δίσκο του μετρητή, λόγω των αρμονικών, προκαλώντας έτσι την επιτάχυνση των περιστροφών του. Για το σημερινό επίπεδο αρμονικών των δικτύων η αύξηση της καταγραφόμενης ενέργειας δεν υπερβαίνει το 1%.

- Δυσμενείς επιδράσεις σε οικιακές ηλεκτρικές συσκευές: Εμφανίζονται πιο έντονα σε μικρά ηλεκτρικά δίκτυα. Σαν παράδειγμα αναφέρονται οι κυριότερες συνέπειες της ύπαρξης αρμονικών στη λειτουργία τηλεοπτικών συσκευών, όπως είναι:

A) η υπερθέρμανση της τροφοδοτικής συσκευής συνεχούς ρεύματος και
B) η παραμόρφωση της εικόνας λόγω υπεραρμονικών και εν μέρει αρμονικών (fractional harmonics) που προκαλούν περιοδική μεγέθυνση και σμίκρυνση της εικόνας από μεταβολές του πλάτους τάσης.

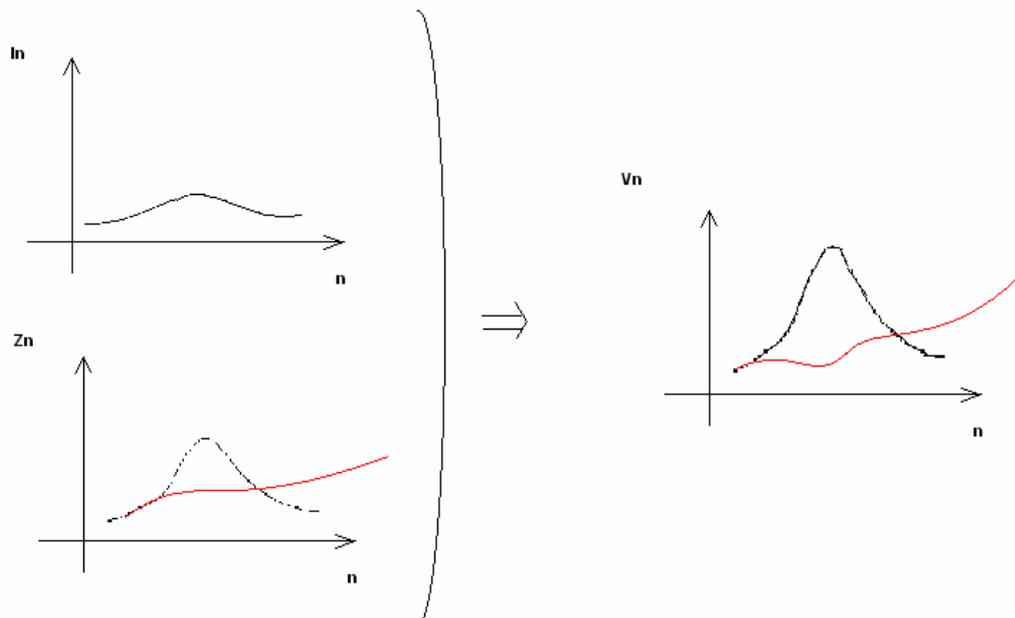
Από τις παραπάνω συνέπειες αυτό που πρέπει να εξηγήσουμε καλύτερα είναι πως το φαινόμενο του συντονισμού που εισάγουν οι πυκνωτές αντιστάθμισης στο δίκτυο μπορεί να μεγεθύνει την μορφή των αρμονικών και κατ' επέκταση και τα προβλήματα που εισάγουν αυτές στο δίκτυο.

Οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται και από τους παροχείς ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και από τους καταναλωτές για τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος. Αυτοί μπορούν να προκαλέσουν πολύ μεγάλη αρμονική παραμόρφωση, σε κάποιες συχνότητες που υπό την απουσία τους θα ήταν αποδεκτή.

Σε προηγούμενη παράγραφο αναφερθήκαμε σε συστήματα με σύνθετη αντίσταση, η οποία προκαλεί πτώσεις τάσεως. Αυτή η σύνθετη αντίσταση είναι στις περισσότερες περιπτώσεις επαγωγική και αυξάνεται καθώς αυξάνεται η συχνότητα ($Z_L \sim f$). Συνεπώς οι υψηλής συχνότητας αρμονικές του ρεύματος ακόμα και αν έχουν αρκετά μικρότερη τιμή από αυτές στις χαμηλές συχνότητες προκαλούν μια μεγάλη αρμονική παραμόρφωση. Αντίθετα η σύνθετη αντίσταση των πυκνωτών μειώνεται με την αύξηση της συχνότητας ($Z_C \sim 1/f$). Το αποτέλεσμα των δύο παραπάνω σε ένα σύστημα όπου συνυπάρχουν και των δύο ειδών φορτία, όπως είναι και τα δίκτυα διανομής, φαίνεται παρακάτω:

- Σε χαμηλές συχνότητες, η σύνθετη αντίσταση του συστήματος χαρακτηρίζεται από τη χαμηλή επαγωγική σύνθετη αντίσταση των M/Σ και των γραμμών μεταφοράς(δηλαδή επειδή σε αυτήν την συχνότητα οι πυκνωτές έχουν πολύ μεγάλες αντιστάσεις και σε σύγκριση με τα πηνία φαίνονται σαν άπειρης αντίστασης, δεν διαρρέονται από μεγάλο μέτρο ρεύματα το οποίο περνάει σχεδόν εξ ολοκλήρου από τις αντιδράσεις, άρα αυτές είναι και που χαρακτηρίζουν το σύστημα).

- Στις υψηλές συχνότητες καθορίζεται από τη χαμηλή χωρητική σύνθετη αντίσταση των πυκνωτών διόρθωσης του συντελεστή ισχύος (για τους ίδιους ακριβώς λόγους που είπαμε και πριν με την αντίθετη λογική).
- Υπάρχει μια ενδιάμεση περιοχή συχνοτήτων όπου τα επαγωγικά και τα χωρητικά φαινόμενα συνδυάζονται σε μια πολύ υψηλή σύνθετη αντίσταση. Ένα μικρής εντάσεως ρεύμα, μιας αρμονικής μέσα σ' αυτή την περιοχή, μπορεί να δώσει μια πολύ υψηλή και ανεπιθύμητη αρμονική τάση. Αυτή η κατάσταση ονομάζεται συντονισμός. Για να είμαστε ακριβείς ο συντονισμός σαν έννοια έχει μία διαφορετική σημασία και αυτή είναι η μεγιστοποίηση 'του πλάτους της ταλάντωσης στην φυσική όταν αυτή πραγματοποιεί ταλάντωση με κάποια συχνότητα. Και στον ηλεκτρισμό όμως τα ηλεκτρικά κυκλώματα βρίσκονται σε μία ηλεκτρική ταλάντωση με την διαφορά ότι τα μεγέθη που ταλαντώνονται είναι η τάση και το ρεύμα. Επομένως στην συγκεκριμένη περίπτωση ο συντονισμός σημαίνει ελαχιστοποίηση της σύνθετης αντίδρασης του κυκλώματος και μεγιστοποίηση του ρεύματος που τραβάει αυτό συνολικά κατά μέτρο. Αυτό θα συνέβαινε σε οποιοδήποτε κύκλωμα τα στοιχεία του ήταν συνδεδεμένα εν σειρά. Σε ένα τριφασικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας όλα τα φορτία που συνδέονται σε αυτό δεν μπορεί παρά να είναι παράλληλα συνδεδεμένα. Αυτό που αλλάζει στην συνάρτηση που δίνει την τιμή της σύνθετης αντίδρασης του δικτύου είναι πως αντί για ελάχιστο, το μέτρο της κάνει ένα μέγιστο σε μία συχνότητα που και αυτή ονομάζεται συχνότητα συντονισμού. Αυτό συμβαίνει επειδή αν θεωρήσουμε μία άπειρη πηγή τάσης και ένα φορτίο που απορροφά συγκεκριμένου τύπου ρεύμα τότε η πτώση τάσης σε κάθε σύνθετη αντίδραση και κατ' επέκταση η μορφή της τάσης που βλέπουν τα επόμενα από το συγκεκριμένο συνδεδεμένα φορτία επηρεάζεται περισσότερο αν έχει κάποια τάξης αρμονικής ρεύματα που να είναι κοντά στην συχνότητα συντονισμού. Για τις δύο μορφές αντιστάσεων δίνουμε τα παρακάτω διαγράμματα από τα οποία γίνεται σαφές πως επηρεάζεται και η τάση, που καταλήγει να έχει μεγάλη αρμονική παραμόρφωση.



Σχήμα 2.44. : γραφική αναπαράσταση παραμόρφωσης της τάσης από τα αρμονικής φύσης ρεύματα που απορροφούν τα μη-γραμμικά φορτία του δικτύου

Στο παραπάνω Σχήμα δόθηκε μία εκτίμηση του πως επηρεάζεται η τάση σε καταστάσεις συντονισμού. Με μαύρο χρώμα είναι η περίπτωση που εξηγήσαμε από πάνω με κόκκινο χρώμα δίδεται η περίπτωση όπου τα χωρητικά στοιχεία του κυκλώματος είναι κατά πολύ μικρότερα των επαγωγικών και γι' αυτό και δεν τα επηρεάζουν σημαντικά. Στην πραγματικότητα αυτό που συμβαίνει είναι να υπάρχουν πολλά διαφορετικών μεγεθών συστήματα αντιστάθμισης και όπως είναι αναμενόμενο και πολλές διαφορετικές επαγωγικές αντιδράσεις. Σε αυτή την περίπτωση το φαινόμενο που παρατηρείται είναι αυτό του πολλαπλού συντονισμού. Που στο τέλος η σύνθετη αντίδραση δεν μηδενίζεται αλλά συνεχίζει να αυξάνεται μετά το τελευταίο ελάχιστο που κάνει σε κάποια συχνότητα αρκετά μεγαλύτερη της θεμελιώδους. Έτσι είναι πιθανό να υπάρξει συντονισμός σειράς ή παράλληλος ή και τα δυο μαζί, οπότε δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για τη ροή μεγάλων ρευμάτων ή την ανάπτυξη υψηλών τάσεων. Αν το σημείο συντονισμού συμβεί να είναι κοντά σε μία από τις συχνότητες που δημιουργούνται από τις πηγές των αρμονικών, τότε το αποτέλεσμα θα είναι η διόγκωση της αρμονικής παραμόρφωσης δημιουργία υπερεντάσεων ή υπερτάσεων. Αυτό φαίνεται αμέσως παρακάτω.

Το μέγεθος ενός πυκνωτή συνήθως δίνεται σε σχέση με την άεργο ισχύ που παράγεται Q_C . Έστω ότι το επίπεδο λάθους (fault level) στο σημείο σύνδεσης του πυκνωτή είναι FL . Αν και τα δυο μετρούνται σε συνεπείς μονάδες, π.χ. MVAr και MVA τότε μια αντήχηση θα συμβεί στην τάξη μιας αρμονικής n_{res} :

$$n_{res} = \sqrt{\frac{FL}{Q_C}} \quad (2.30)$$

Αν το νούμερο είναι κοντά στην τάξη μιας αρμονικής που παρουσιάζει ένα φορτίο, τότε υπάρχει μεγάλος κίνδυνος αρμονικής αντήχησης. Για παράδειγμα θα υποθέσουμε ότι έχουμε $FL=100$ MVA και μια συστοιχία πυκνωτών με $Q_C=800$ kVAr. Αυτό θα μας δώσει αποτέλεσμα $n_{res}=11.2$. Αυτό είναι πολύ κοντά στην αρμονική 11^{ης} τάξης που παράγεται από πολλών ειδών αρμονικά φορτία και υπάρχει μεγάλος κίνδυνος συντονισμού με οτιδήποτε γειτονικά φορτία που προκαλούν παραμόρφωση αυτού του είδους. Αν η συστοιχία πυκνωτών μπορούσε να μειωθεί στα 500 kVAr τότε έχουμε $n_{res}=14.1$ και ο κίνδυνος συντονισμού γίνεται πολύ μικρότερος.

Τα κυριότερα προβλήματα που προκαλούνται από τις υπερτάσεις και τις υπερεντάσεις είναι [10]:

- A. Βλάβες σε συστοιχίες πυκνωτών
- B. Βλάβες στις ασφάλειες προστασίας
- Γ. Διασπάσεις των διηλεκτρικών μονώσεων καλωδίων ή πυκνωτών

Αυτό που πρέπει να τονίσουμε είναι ότι η ύπαρξη αρμονικών έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνεται τόσο η ενεργός όσο και η άεργος ισχύς που καταναλώνεται, με συνέπεια να αλλάζει και ο συντελεστής ο ισχύος και η μέθοδος μέτρησης της.

Παρακάτω δίνονται τρεις πίνακες που παρουσιάζουν ο πρώτος της πηγές αρμονικών ανά τάξη αρμονικής και κατηγορία εξοπλισμού, και οι άλλοι δύο τα όρια για αρμονικές περιττής και άρτιας τάξης.

Πηγή Αρμονικών	Τάξη Αρμονικών	Περιοχή Συχνοτήτων (Hz)
Στρεφόμενες μηχανές	3, 5, 7, ...	150 - 3000
Μετατροπείς:		
- πλευρά dc ρεύματος	2, 4, 6, ...	100 - 1000
- πλευρά ac ρεύματος	3, 5, 7, ...	150 - 1000
Μετ/στές	3, 5, 7, ...	150 - 1000
Κλίβανοι τόξου, ηλεκτρ. συγκολλήσεις	3, 5, 7, ...	150 - 5000

Πίνακας 2.2. : τι είδους αρμονικές παράγουν διαφορετικού τύπου φορτία [10]

Odd harmonics				Even harmonics	
Non-multiple of 3		Multiple of 3			
Harmonic Order	Harmonic Voltage	Harmonic Order	Harmonic Voltage	Harmonic Order	Harmonic Voltage
h	%	h	%	h	%
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	$10 \leq h \leq 50$	$0,25 \times (10/h) + 0,25$

NOTE - The levels given for odd harmonics that are multiples of three apply to zero sequence harmonics. Also, on a three-phase network without a neutral conductor or without load connected between line and ground, the values of the 3rd and 9th harmonics may be much lower than the compatibility levels, depending on the unbalance of the system.

Πίνακας 2.3. : επίπεδα αρμονιών ορίων για δίκτυα χαμηλής τάσης σύμφωνα με IEC [9]

Odd harmonics				Even harmonics	
Non-multiple of 3		Multiple of 3		Harmonic Order h	Harmonic Voltage %
Harmonic Order h	Harmonic Voltage %	Harmonic Order h	Harmonic Voltage %		
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				

NOTE – No values are given for harmonics of order higher than 25, as they are usually small but largely unpredictable due to resonance effects.

Πίνακας 2.4. : τιμές των ιδιαίτερων αρμονικών τάσεων στους ζυγούς παροχής για τάξη πάνω της 25^{ης} δίνεται σε ποσοστό της U_c (EN50160) [9]

2.9.3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Βελτίωση του προβλήματος που προκαλείται από την αρμονική παραμόρφωση συχνά συναντάται ως συνώνυμο της μείωσης της παραμόρφωσης της αρμονικής τάσης και ρεύματος. Παρόλα αυτά το πρόβλημα μπορεί επίσης να λυθεί με βελτίωση της ατρωσίας του εξοπλισμού. **De-rating** μετασχηματιστών και κινητήρων είναι ένας τρόπος επίλυσης του προβλήματος, αν και όχι ο πιο συνηθισμένος και οικονομικός.

Ένας πιο συνήθης τρόπος κατάπνιξης των αρμονικών προβλημάτων είναι η εγκατάσταση φίλτρων, τυπικά LC-σειράς σύνδεσης που στρέφουν τα ανεπιθύμητα αρμονικά ρεύματα πίσω στο φορτίο. Τα αρμονικά ρεύματα παραμένουν υψηλά, αλλά δεν διαδίδονται μέσω του φορτίου και δεν προκαλούν τέτοια αρμονική παραμόρφωση στην τάση. Το μειονέκτημα αυτών των αποκαλούμενων ‘παθητικών’ φίλτρων (κίνδυνος υπερφόρτισης, εισαγωγή νέων συχνοτήτων συντονισμού) οδήγησε στην ανάπτυξη των αποκαλούμενων ‘ενεργών’ φίλτρων, όπου το ρεύμα ελέγχεται πλήρως και προσαρμόζεται στην υπάρχουσα παραμόρφωση τάσης και ρεύματος. Άλλες τεχνικές μετριασμού συμπεριλαμβάνουν βελτιώσεις στο δίκτυο (De-rating μετασχηματιστών, διαχωρισμό ευαίσθητων και ‘μολυσματικών’ φορτίων) και βελτιώσεις στα φορτία. Τα τελευταία εμπεριέχουν μία περισσότερο ημιτονοειδή Κυματομορφή ρεύματος (μειωμένη εκπομπή), αλλά επίσης αυξημένη ατρωσία σε παραμορφώσεις της τάσης. Μειωμένη εκπομπή θεωρείται από πολλούς σαν η ενδεδειγμένη μακροπρόθεσμη λύση. Καθώς το πλήθος των προβλημάτων που οφείλονται στις αρμονικές παραμένει σε σχετικά χαμηλά επίπεδα, η προσπάθεια διατήρησης της παραμόρφωσης σε αυτά τα επίπεδα ή η επίτρεψη μικρής αύξησης αυτής μπορεί να αποτελέσει την φτηνότερη λύση.

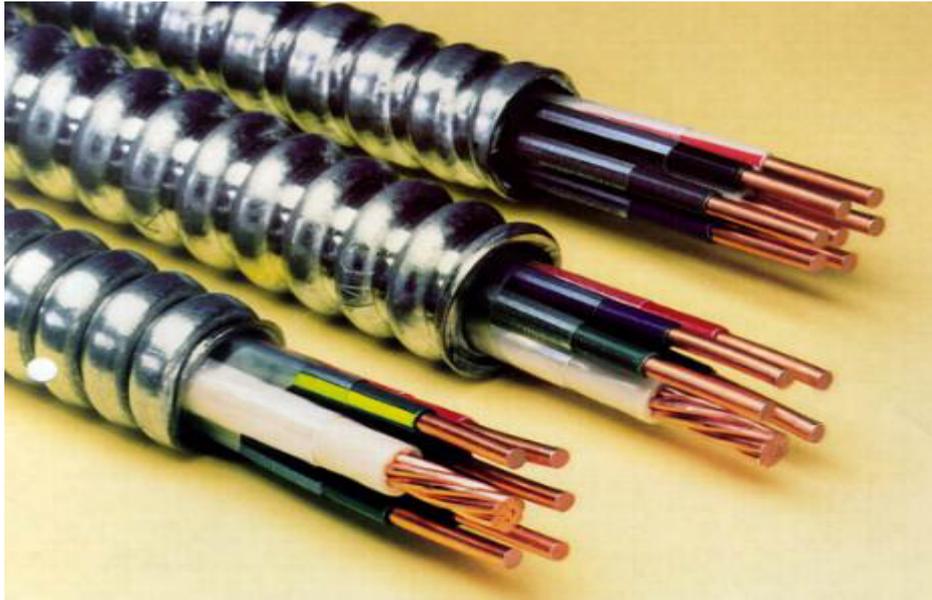
Ένας σημαντικός παράγοντας στην ταξινόμηση των αρμονικών προβλημάτων είναι ο ορισμός των ορίων της αρμονικής παραμόρφωσης τάσης και ρεύματος. Τα όρια της παραμόρφωσης από αρμονική τάση αναφέρονται σε πολλά εθνικά και διεθνή πρότυπα, τα οποία κυρίως αποτελούν μία καταγραφή σε κανόνες της ήδη υπάρχουσας παραμόρφωσης. Για τα όρια των αρμονικών ρευμάτων η IEC και η IEEE χρησιμοποιούν δύο, επί τοις αρχής, διαφορετικές προσεγγίσεις. Τα IEC πρότυπα θέτουν όρια βάσει του μεγέθους της εκπομπής κάθε εξοπλισμού, την ώρα που τα IEEE θέτουν όρια για την εκπομπή κάθε καταναλωτή. σύμφωνα με τα πρότυπα της IEEE η ευθύνη είναι στον καταναλωτή, ο οποίος και ενδέχεται να αγοράσει φίλτρα αντί να αγοράσει καλύτερο εξοπλισμό. Σε αντίθεση σύμφωνα με τα IEC πρότυπα η ευθύνη είναι στον καταναλωτή των ‘μολυσματικών’ συσκευών (μπορούμε να πούμε πως μολυσματικό είναι το φορτίο που μολύνει το δίκτυο με αρμονικές). Η διαφοροποίηση πηγάζει από τον στόχο των κειμένων: τα πρότυπα της IEEE στοχεύουν στην κανονικοποίηση της σύνδεσης μεγάλων εργοστασιακών καταναλωτών, ενώ τα πρότυπα της IEC αναφέρονται κυρίως σε μικρούς καταναλωτές που δεν έχουν δυνατότητα επιλογής μεθόδων αντιμετώπισης των προβλημάτων.

Φίλτρα Αρμονικών

Τα φίλτρα μερικές φορές είναι πιο δαπανηρά όταν πρόκειται για υπάρχουσα κατασκευή, καθώς η επανακαλωδίωση είναι δύσκολη και κοστίζει. Τα φίλτρα χρησιμοποιούνται για να εμποδίσουν ή να παγιδύσουν τα επιβλαβή ρεύματα, μειώνοντας τα φορτία των αρμονικών στην καλωδίωση. Ο σχεδιασμός των φίλτρων όμως εξαρτάται από τον εξοπλισμό στον οποίο εγκαθίσταται και μπορεί να είναι άχρηστα, αν το συγκεκριμένο μηχάνημα αλλαχτεί. Τα χαρακτηριστικά των φίλτρων πρέπει να είναι πολύ προσεκτικά σχεδιασμένα για μια συγκεκριμένη εγκατάσταση και συνιστάται η αναζήτηση επαγγελματικής βοήθειας. Επίσης, τα φίλτρα είναι αρκετά ακριβά ανά kVA.[41]

Διπλά – Διαστασιολογημένοι Ουδέτεροι ή Ξεχωριστοί Ουδέτεροι

Οι πηγές των αρμονικών του δικτύου ενός κτιρίου έχουν ήδη συζητηθεί. Οι αρμονικές κάτι πολύ πιο σημαντικό από απλό πρόβλημα ή πηγή κακής λειτουργίας των μηχανημάτων. Μπορούν να αποτελέσουν σοβαρό παράγοντα ασφαλείας. Ευτυχώς, μπορούν εύκολα να αντιμετωπιστούν με τη χρήση διπλά – διαστασιολογημένων ουδέτερων, όπως προτείνεται από την Πρώην Ένωση Κατασκευαστών Υπολογιστών και Επαγγελματικού Εξοπλισμού (CBEMA), και νυν Συμβούλιο Πληροφόρησης περί Βιομηχανίας της Τεχνολογίας (ITIC). Εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξεχωριστοί ουδέτεροι για κάθε αγωγό φάσης. Τουλάχιστον ένας κατασκευαστής καλωδίων κατασκευάζει καλώδιο τύπου AC ή MC με μεγάλο μέγεθος ή επιπλέον εσωτερικούς ουδέτερους αγωγούς. Το επιπλέον κόστος για τη μεγέθυνση του ουδέτερου είναι ελάχιστο και η ασφάλεια που προσφέρει θα ισχύει ακόμα και αν γίνουν αλλαγές στα μηχανήματα που επηρεάζουν τις εμπλεκόμενες συχνότητες.(**Σχήμα 2.46**) [10]



Σχήμα 2.46.: Τρεις τύποι καλωδίων MC. Πάνω: αγωγοί τριών φάσεων με ξεχωριστό ουδέτερο για κάθε φάση. Μεσαίο: αγωγοί τριών φάσεων (12 gage) με ουδέτερο διπλού μεγέθους (8 gage λευκό σύρμα). Κάτω αγωγοί τριών φάσεων, ένας ουδέτερος διπλού μεγέθους, και ένας απομονωμένος αγωγός γείωσης (με κιτρινοπράσινη ρίγα). Και οι τρεις τύποι καλωδίων έχουν γείωση.

Θωρακισμένοι Μετασχηματιστές Απομόνωσης

Οι θωρακισμένοι μετασχηματιστές απομόνωσης είναι συσκευές φιλτραρίσματος, οι οποίες μειώνουν την παροχή μέσω των συχνοτήτων των αρμονικών από την πηγή ή το φορτίο. Πρόκειται για μία αληθοφανή τεχνική ανακατασκευής στην οποία τα προβλήματα ρεύματος είναι ήδη γνωστά αλλά είναι και πολύ ακριβή ανά kVA.[10]

Μετασχηματιστές K-Rated

Οι μετασχηματιστές K-rated έχουν ενισχυμένους αγωγούς και μερικές φορές ψύξη για να γίνεται η διαχείριση των αρμονικών φορτίων με ασφάλεια. Εναλλακτικά, μερικές φορές συνηθισμένοι μετασχηματιστές είναι προσαρμοσμένοι, ώστε να αντέχουν την επιπλέον θερμοκρασία λόγω των αρμονικών. Ανάλογα με τις συνθήκες που υπάρχουν, το όριο του φορτίου που παρατηρείται είναι μόνο το 50% του αναγραφόμενου. Αυτό μπορεί να είναι κατάλληλο για τη διαχείριση των αρμονικών, αλλά μειώνει την αποτελεσματικότητα του μετασχηματιστή. Πρέπει να γίνεται μία προσεκτική σύγκριση του σχετικού κόστους των μετασχηματιστών K-rated και de-rated.[10]

Αποζεύκτες Αρμονικού Κυκλώματος και Πίνακες Ελέγχου

Ο κίνδυνος εδώ είναι η υπερθέρμανση λόγω των αρμονικών, και τα ενισχυμένα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα στοιχεία προσφέρουν προστασία. Οι ουδέτερες γέφυρες πρέπει να εκτιμώνται για το διπλάσιο του φασικού ρεύματος.

2.9.4. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΥΠΟ ΕΡΕΥΝΑ

Οι περισσότερες των ερευνών πάνω σε αρμονικές κυματομορφές έχουν πραγματοποιηθεί σε πανεπιστήμια, με έμφαση στην αρμονική ανάλυση σε συστήματα μεταφοράς. Καταγραφή περισσότερων επιπέδων μέτρησης (further calibration with measurements) χρειάζεται για να είναι δυνατή η δοκιμή σε περισσότερα δίκτυα και μοντέλα φορτίων. Η διαθεσιμότητα μεγάλου αριθμού μετρητικού εξοπλισμού κάνει τέτοιες μελέτες πραγματοποιήσιμες.

Μια σημαντική ερώτηση που πρέπει να απαντηθεί είναι αυτή για το «ιδανικό επίπεδο παραμόρφωσης». Οι επιπτώσεις της αρμονικής παραμόρφωσης πρέπει να μελετηθούν, τόσο για τις ήδη υπάρχουσες παραμορφώσεις όσο και για μεγαλύτερα επίπεδα αυτών. Η συζήτηση που βρίσκεται αυτήν την στιγμή σε εξέλιξη είναι πόσο θα πρέπει να αυξηθούν ακόμα τα επίπεδα αρμονικής παραμόρφωσης για να προκαλούνται σοβαρά προβλήματα.

Μία άλλη κατεύθυνση ερευνών είναι στην βελτίωση του εξοπλισμού. Οι μεγάλοι μετατροπείς PWM δεν είναι μόνο ικανοί στο να παράγουν ημιτονοειδή κυματομορφή, είναι επίσης ικανοί να εξομαλύνουν την παραμόρφωση που παράγεται από άλλα φορτία. Η εγκατάσταση πρόσθετων ελεγκτικών αλγορίθμων στον εξοπλισμό μαζί με PWM μετατροπείς (αεριοστρόβιλοι, μεγάλοι ελεγκτικοί οδηγοί) μπορούν να οδηγήσουν στην μείωση της αρμονικής παραμόρφωσης χωρίς πρόσθετη επιβάρυνση. Η ανάπτυξη τέτοιων αλγορίθμων θα μπορούσε να ενθαρρυνθεί από τους παράγοντες του δικτύου δημιουργώντας την αγορά αρμονικών παραμορφώσεων. Μια τέτοια αγορά απαιτεί πρόσθετη βασική έρευνα στην αναζήτηση επαρκών μηχανισμών για την αγορά. Μια άλλη ανάπτυξη θα μπορούσε να είναι στην κατεύθυνση ανάπτυξης ενεργών αρμονικών φίλτρων χαμηλότερης τιμής και καλύτερης απόδοσης.

2.10. ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ

2.10.0. ΓΕΝΙΚΑ

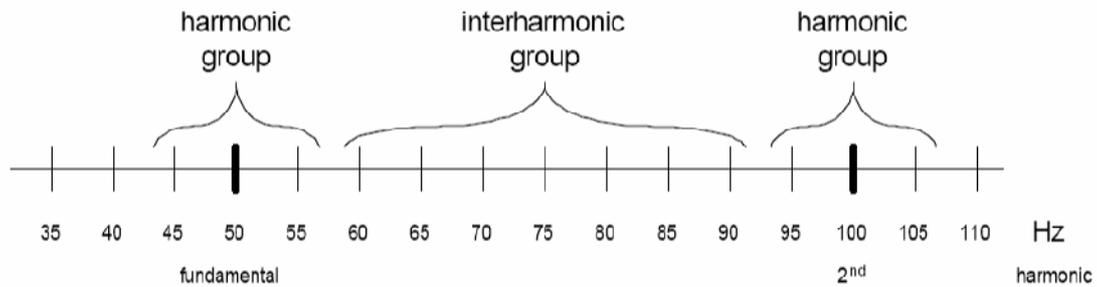
Αν η ανάλυση στο φάσμα των συχνοτήτων ενός σήματος με τον μετασχηματισμό του Fourier δίνει πληροφορίες για την ύπαρξη μιας αρμονικής με συχνότητα που δεν είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της θεμελιώδους τότε αυτή η συχνότητα ονομάζεται ενδιάμεση συχνότητα και ο παράγοντας αυτής της συχνότητας ονομάζεται ενδιάμεσος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



Σχήμα 2.47. : παραδείγματα ενδιάμεσων αρμονικών [9]

Το στάνταρτ 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 10ⁿ 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 2.48. : Ενδιάμεσες αρμονικές στο φάσμα συχνοτήτων για DFT [9]

2.10.1. ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

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.

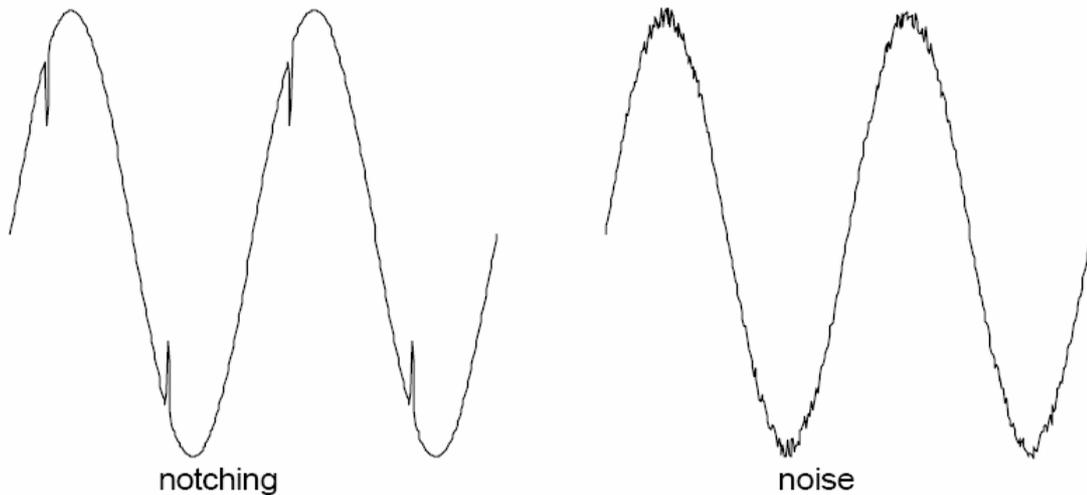
2.10.2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ

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) ΝΑ ΤΟ ΕΞΗΓΗΣΩ ΚΑΛΥΤΕΡΑ
- Διακυμάνσεις στις διεργασίες και σε άλλες μετρήσεις
- Δυσλειτουργία στον έλεγχο της κυμάτωσης.

2.11. ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ, ΑΚΜΗ (NOTCHING) & ΘΟΡΥΒΟΣ (NOISE)

2.11.0. ΓΕΝΙΚΑ



Σχήμα 2.49. : γραφική αναπαράσταση της αιχμής και του θορύβου [9]

Ένας πιο σωστός όρος που θα μπορούσαμε να χρησιμοποιηθεί θα ήταν παραμόρφωση της κυματομορφής. Στον όρο αυτό θα συμπεριλαμβάνονταν οι παρακάτω κατηγορίες :

- Αρμονική παραμόρφωση
- Παρουσία συνεχούς τάσης
- Ενδιάμεσες αρμονικές
- Φλίκερ ή αλλιώς διακύμανση της τάσης που οδηγεί σε τρεμόπαιγμα στο φως
- **Θόρυβος**

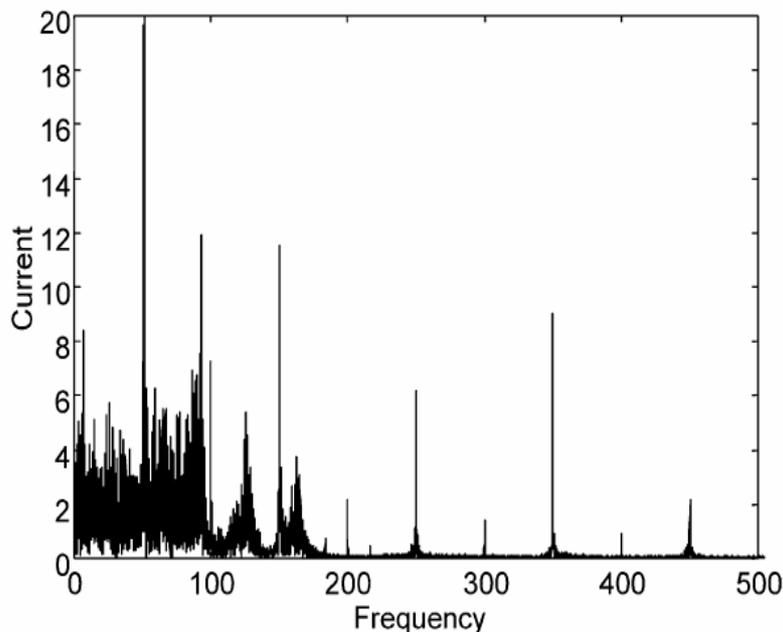
Τις παραπάνω κατηγορίες παραμόρφωσης της τάσης είτε τις έχουμε ήδη εξετάσει (εκτός από τον θόρυβο που τον εξετάζουμε σε αυτήν την παράγραφο). Μία από αυτές όμως χρίζει περισσότερης μελέτης. Αυτή είναι η παρουσία συνεχούς τάσης στην παρεχόμενη τάση. Μπορεί να θεωρηθεί σαν μία ειδική περίπτωση της αρμονικής παραμόρφωσης, αλλά συνήθως παρουσιάζεται σαν κάτι διαφορετικό εξαιτίας κυρίως του διαφορετικού τρόπου μέτρησης και των διαφορετικών επιπτώσεων που έχουν.

Πριν συνεχίσουμε πρέπει να τονίσουμε ότι το ηλεκτρικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι μία στάσιμη οντότητα αλλά μεταβάλλεται συνεχώς. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι πάντα εύκολο να γίνει διαχωρισμός μεταξύ των παραπάνω χαρακτηριστικών. Ο καλύτερος τρόπος να γίνει μια σωστότερη εκτίμηση της κάθε παραμόρφωσης είναι με την χρήση της ασαφούς λογικής, και κάποια συστήματα που έχουν ήδη αναπτυχθεί δίνονται στα papers που είναι την βιβλιογραφία. Ένας άλλος τρόπος βασίζεται στα μετρητικά όργανα που χρησιμοποιείται για κάθε διαφορετική παραμόρφωση. Από τον τρόπο και τα αποτελέσματα της μέτρησης μπορεί να γίνει

αντιληπτό τι διαταραχή παρουσιάστηκε. Ακόμα αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό για περιπτώσεις παραμόρφωσης της κυματομορφής.

Στο σημείο αυτό θα παρουσιάσουμε μία φασματική απεικόνιση ενός σήματος. Για να έχουμε μια συνεπή εικόνα η καταγραφή διήρκεσε 50 κύκλους (1 δευτερόλεπτο). Οι αρμονικές και οι ενδιάμεσες αρμονικές φαίνονται στο φάσμα σαν έντονες γραμμές, την στιγμή που ο **θόρυβος** φαίνεται σαν ένα συνεχές φάσμα. Το φλίκερ, δεν μπορεί να εξαχθεί κατευθείαν από το φάσμα. Παρόλα αυτά, η παρουσία η παρουσία παραγόντων της συχνότητας σε εύρος 10Hz γύρω από την ονομαστική συχνότητα, είναι μια καλή ένδειξη. Για την καλύτερη ανάλυση του φλίκερ έχει αναπτυχθεί το φλικερόμετρο, όπως παρουσιάσαμε στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

Στο **Σχήμα 2.50** φαίνεται το φάσμα ενός σήματος του ρεύματος που περιέχει διαφόρων τύπων παραμορφώσεις της κυματομορφής του ρεύματος. Το φάσμα αυτό ελήφθη από την τοποθέτηση ενός διακριτού μετασχηματισμού Fourier σε ένα παράθυρο 20 s του μετρούμενου ρεύματος σε έναν κλίβανο ηλεκτρικού τόξου. Η αρμονική παραμόρφωση γίνεται αντιληπτή σαν φασματικές γραμμές σε ακέραια πολλαπλάσια της ονομαστικής συχνότητας. Οι φασματικές γραμμές κοντά στις γραμμές των αρμονικών είναι εξαιτίας της χρονικής διακύμανσης εμφάνισης του πλάτους αυτών αρμονικών. Ενδιάμεσες αρμονικές αναγνωρίζονται στο φάσμα σαν γραμμές ενδιάμεσα των αρμονικών. Σε αυτή τη περίπτωση όμως δεν φαίνεται ξεκάθαρα η παρουσία τους αλλά υπάρχει ένα σημαντικό μέγεθος θορύβου, ειδικά κάτω από τα 100Hz. Μέρος αυτού του θορύβου έχει και σαν αποτέλεσμα και το φλίκερ στο φως. Να σημειώσουμε ότι σύμφωνα με το πρότυπο της IEC για την μέτρηση της αρμονικής παραμόρφωσης (IEC 61000-4-7) όλες οι ενδιάμεσες τιμές στο φάσμα προσδιορίζονται σαν ενδιάμεσες αρμονικές, ακόμα και αν ο θόρυβος θα ήταν καταλληλότερος χαρακτηρισμός.



Σχήμα 2.50. : φάσμα συχνότητας ενός σήματος με διαφορετικές μορφές παραμόρφωσης [11]

2.11.1. ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

Η ακμή 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. Συνήθως είναι περιοδικής μορφής όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.50. Όπως έχουμε πει και σε προηγούμενη παράγραφο 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 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.

2.11.2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ

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.

2.11.3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Οι τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση αυτών των προβλημάτων είναι παρόμοιες με αυτές για αρμονικές, αφού και θεωρούνται υποκατηγορίες αυτών. Όμως δεν είναι σίγουρο ότι θα έχει πάντα την καλύτερη λύση, επειδή κάποια από τα συστήματα που παρουσιάστηκαν έχουν αργή απόκριση. Πάντως επειδή δεν είναι ακόμα σημαντική η παρουσία τους στο δίκτυο, δεν έχουν αναπτυχθεί ιδιαίτεροι τρόποι επίλυσης. Πάντως όσο θα αυξάνεται η χρήση ηλεκτρονικών ισχύος τόσο θα γίνεται πιο αναγκαία η καλύτερη καταγραφή και προσπάθεια επίλυσης τυχόν προβλημάτων που δημιουργούνται από αυτές τις διαταραχές.

Ο θόρυβος που γίνεται πολλές φορές αντιληπτός σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα, μπορεί να απομονωθεί με την χρήση φίλτρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΩΝ

3. ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ - ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ **ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ**

3.0. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας συντάχθηκε ένα ερωτηματολόγιο¹. Το ερωτηματολόγιο αποτέλεσε ‘εργαλείο’ για την απόκτηση της βασικής γνώσης από τους ‘ειδικούς’ (experts)². Η διαδικασία αυτή ολοκληρώθηκε με επιτυχία, με 14 εταιρίες να λαμβάνουν μέρος. Τις ερωτήσεις απάντησαν οι αρμόδιοι Μηχανικοί της κάθε εταιρίας. Οι εταιρίες που συμμετείχαν στην προσπάθεια αυτή και συνέβαλαν με την εμπειρία τους στον χώρο, ακολουθούν με αλφαβητική σειρά:

- **AIR LIQUIDE**
- **BIC**
- **COCA COLA**
- **COSMOS**
- **MILLENNIUM**
- **ΑΤΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ**
- **ΕΡΡΙΚΟΣ ΝΤΥΝΑΝ**
- **ΛΑΡΚΟ**
- **ΜΙΣΚΟ**
- **ΠΑΛΕΡ**
- **ΠΑΠΑΣΤΡΑΤΟΣ**
- **ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΚΗ**
- **ΨΥΓΕΙΑ ΒΕΡΜΙΟΝ**

Το δείγμα που διαμορφώθηκε για τις ανάγκες αυτής της μικρής έρευνας είναι αντιπροσωπευτικό όσον αφορά τα **είδη των φορτίων** της κάθε εταιρία. Το μέγεθος του δείγματος θεωρείται και αυτό αντιπροσωπευτικό, αφού για κάθε κατηγορία καταναλωτών συμπεριλαμβάνει τουλάχιστον δύο εκπροσώπους της. Στην επιλογή του δείγματος βοήθησε ο κ. Λάγιος, ως εμπορικός αντιπρόσωπος της Δ.Ε.Η. Α.Ε., ο οποίος και αποτελεί πολύ καλό γνώστη του είδους και του μεγέθους των φορτίων του κάθε καταναλωτή. Στην σύσταση του ερωτηματολογίου σημαντική υπήρξε η βοήθεια του κ. Μπλάνα από τον ΔΕΣΜΗΕ.

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται προσπάθεια στατιστικής απεικόνισης της εμπειρίας που αποτυπώνεται στις απαντήσεις των εταιριών. Παρατείθονται μόνο οι ερωτήσεις που μπορούν να βοηθήσουν προς αυτή τη κατεύθυνση³. Πέρα της ‘στατιστικοποίησης’ των δεδομένων, δίνονται επεξηγήσεις των απαντήσεων, που βασίζονται στην θεωρία των δύο πρώτων κεφαλαίων. Οι απαντήσεις με κατάλληλη επεξεργασία θα

¹ Παράρτημα Γ

² όπως γίνεται στα έμπειρα συστήματα. Στα έμπειρα συστήματα δημιουργείται μία βάση δεδομένων από τις απόψεις που διατυπώνουν κάποιοι ειδικοί πάνω στον τομέα που μελετάται.

³ Ερωτήσεις που διατυπώθηκαν στο ερωτηματολόγιο για την κατανόηση άλλων ερωτήσεων, δεν καταγράφονται στην ανάλυση, όμως τα αποτελέσματά τους χρησιμοποιούνται έμμεσα

χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή της βάσης γνώσης του ασαφούς συστήματος στο 4^ο Κεφάλαιο.

3.1. ΒΑΣΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ

Το δείγμα των καταναλωτών αποτελείται κατά κύριο λόγο από καταναλωτές Μέσης Τάσης⁴. Για την καλύτερη κατανόηση του μεγέθους των καταναλωτών παρατείνονται η εγκατεστημένη ισχύς κάποιων εκ των εταιριών. Η ισχύς δεν είναι σε αντιστοιχία με την σειρά που αναγράφονται παραπάνω οι εταιρίες, για την διασφάλιση του απορρήτου της πληροφορίας που παρείχαν:

- 170000 kVA
- 3500 kVA
- 1400 kVA
- 11500 kVA
- 4000 kVA
- 6000 kVA
- 36740 kVA
- 2000 kVA
- 8800 kVA
- 456 kVA
- 210000 kVA
- 3000 kVA
- 1600 kVA

- ▶ **Εύκολα Παρατηρείται ότι σε αρκετές περιπτώσεις η ισχύς είναι της τάξης κάποιων MVA εγκατεστημένης ισχύος, που σε απόλυτα νούμερα μπορεί να είναι αντίστοιχα με μία ολόκληρη συνοικία μιας πόλης ή ακόμα και ένα χωριό ή μία μικρή κωμόπολη.**

Από μία κατά προσέγγιση καταγραφή των φορτίων που δίνεται από τις εταιρίες, το μεγαλύτερο ποσοστό συνολικά επί των φορτίων το κατέχουν αυτά της κίνησης με περίπου 40%, ενώ οι υπολογιστικές μονάδες πολύ μικρότερο της τάξης των 5 ποσοστιαίων μονάδων. Ο φωτισμός όπως αναμενόταν είναι περίπου στο 18% ενώ γύρω στο 25% καταλαμβάνουν τα συστήματα ψύξης. Οι φούρνοι ποσοστιαία αποτελούσαν το 12%, ενώ τέλος αρκετές εταιρίες είχαν και άλλα φορτία τα οποία δεν συγκαταλέγονται στα προαναφερθέντα⁵, τα οποία καταλάμβαναν πολύ μικρό μέρος του συνολικού φορτίου και ήταν ποσοστιαία περίπου στο 3%.

Τα παραπάνω ποσοστά προέκυψαν ως ο λόγος του αθροίσματος των ποσοστών των φορτίων των εταιριών για κάθε κατηγορία προς το πλήθος των εταιριών. Δηλαδή

⁴ Υπήρχε και ένας καταναλωτής και Μέσης Τάσης και Χαμηλής Τάσης, ενώ υπήρχαν και δυο καταναλωτές Υψηλής Τάσης

⁵ μερικά από τα φορτία που καταγράφηκαν είναι : τα ηλεκτρονικά συστήματα διόδων και διαχειριστή συστημάτων, ROBOT CNC, CPU – DLC – πλακέτες και συστήματα ζύγισης κ.α.

(ποσοστό φορτίου στην συνολική έρευνα) = (άθροισμα των ποσοστών του ίδιου φορτίου σε όλες τις εταιρίες) / (συνολικός αριθμός εταιριών που συμμετείχαν στο δείγμα).

Δηλαδή θεώρηση της κάθε εταιρίας σαν μία μονάδα στο σύνολο και όχι ένα ποσοστό του συνόλου, εξαρτώμενο από την ισχύ. Αυτή τη λογική χρησιμοποιείται, επειδή τα προβλήματα συμβαίνουν σε κάθε εταιρία χωριστά και γι' αυτό είναι αποδεκτό να θεωρηθεί αντιστοιχία στα ποσοστά, με τα προβλήματα και τις διακυμάνσεις.

Ένας **άλλος τρόπος** είναι να προσδιοριστούν τα συνολικά ποσοστά των φορτίων στο σύνολο των εταιριών που συμμετείχαν. Αυτό μαθηματικά διατυπώνεται :

(ποσοστό φορτίων σε μία εταιρία) X (εγκατεστημένη ισχύς της εταιρίας) / (συνολική εγκατεστημένη ισχύς σε όλες τις εταιρίες που συμμετέχουν),

ώστε να προκύψει ένα ποσοστό του είδους του φορτίου συνολικά. Η συγκεκριμένη λογική θα μπορούσε να αποτελεί τρόπο κατηγοριοποίησης, όμως η χρήση αυτής της μεθόδου θα παρέκαμπε κάποια προβλήματα που δημιουργούνται σε μία ολόκληρη κατηγορία καταναλωτών⁶, που ίσως να μην έχουν τόσο μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ, αλλά ο εξοπλισμός τους να είναι υπερευαίσθητος σε μία διαταραχή που δεν επηρεάζει τόσο πολύ τους υπόλοιπους καταναλωτές.

Για την πληρότητα της ανάλυσης, παρατίθενται τα ποσοστά που προκύπτουν με εφαρμογή αυτής της μεθόδου για τα φορτία που συμμετείχαν στην διαμόρφωση του ερωτηματολογίου:

- ο κίνηση 22%,
- ο Υπολογιστές 2.4%,
- ο φωτισμός 7%,
- ο ψύξη 6%,
- ο φούρνοι 61% και
- ο άλλα φορτία 2%.

Όπως εύκολα παρατηρείται μειώθηκε σημαντικά το ποσοστό της κίνησης του φωτισμού και της ψύξης για να ανέβει σε ποσοστό η κατηγορία των φούρνων, και αυτό γιατί σε εγκατεστημένη ισχύ οι φούρνοι είναι πολλαπλάσιοι των άλλων φορτίων. **Επιβεβαιώνεται με αυτό τον τρόπο η παραπάνω παρατήρηση**, αφού οι φούρνοι συναντώνται μόνο σε τρεις από τις συνολικά 14 κατηγορίες καταναλωτών, που συμμετείχαν, άρα ο παραπάνω τρόπος δίνει χειρότερο αποτέλεσμα από τον προηγούμενο που προτείνεται.

Ένα ακόμα στοιχείο αδυναμίας αυτής της μεθόδου, παρατηρείται λόγω της σημαντικής μείωσης στα φορτία κίνησης, τα οποία όμως είναι οι δέκτες, αλλά και οι δημιουργοί, πολλών εκ των προβλημάτων. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η προσφορά τους και κατ' επέκταση, αλλοιώνεται το αποτέλεσμα.

Επίσης ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός που υπάρχει σε όλες τις εγκαταστάσεις σε μικρό ποσοστό, γίνεται με αυτή τη μέθοδο ανεπαίσθητος, όπως και τα συστήματα ψύξεως

⁶ το δείγμα είναι αντιπροσωπευτικό των περισσότερων κατηγοριών

που κατά γενική ομολογία είναι και οι δύο δημιουργοί μεγάλων διαταραχών και προβλημάτων για το δίκτυο. Εκτός αυτού είναι πολύ ευαίσθητα σε όλες τις μεταβολές.

3.2. ΣΥΜΠΕΦΩΝΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ

Ένα άλλο χαρακτηριστικό που ζητήθηκε μέσω των ερωτηματολογίων είναι η **συμπεφωνημένη ισχύς**. Η συμπεφωνημένη ισχύς αποτελεί την ισχύ την οποία συμφωνεί κάθε εταιρία με την Δ.Ε.Η., πως δεν θα υπερβεί. Βάσει αυτής της τιμής διαμορφώνεται το πάγιο το οποίο καλείται να πληρώσει η εταιρία στο τιμολόγιο κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αν υπερβεί την συγκεκριμένη κατανάλωση υπάρχει κάποια πρόσθετη επιβάρυνση για την εταιρία⁷.

Η συμπεφωνημένη ισχύς είναι καθαρά στην επιλογή του καταναλωτή, δηλαδή αυτός την προτείνει και είναι συνήθως χαμηλότερη της εγκατεστημένης⁸. Οπότε εύκολα θα ισχυριζόταν κανείς ότι δεν αποτελεί ένδειξη καλής ή κακής λειτουργίας ενός δικτύου. **Δεν είναι πάντοτε σωστό**. Αυτό συμβαίνει γιατί εκτός από τους λόγους τιμολόγησης η συμπεφωνημένη ισχύς (σαν κάποιο πολλαπλάσιο της συνήθως) χρησιμεύει και για την ασφάλεια των δικτύων διανομής. Η ασφάλεια αυτή εκφράζεται στο μέγεθος των μετασχηματιστών που χρησιμοποιούνται στους υποσταθμούς διανομής, στην καλωδίωση που υπάρχει στο συγκεκριμένο δίκτυο⁹, στις συσκευές προστασίας των γραμμών¹⁰ και ακόμα και το πλήθος των καταναλωτών που συνδέονται σε ένα δίκτυο. Έτσι όλα αυτά είναι άμεσα εξαρτώμενα από την ήδη συμφωνηθείσα μεταφερόμενη ισχύ σε κάποια γραμμή.

Κατά αυτή τη λογική, αν η εταιρία ηλεκτρισμού παρατηρήσει ότι βρίσκεται σημαντικά εντός των ορίων ασφαλείας μπορεί να επιτρέψει την σύνδεση κάποιου καταναλωτή, **χωρίς** την αναβάθμιση της καλωδίωσης και του εξοπλισμού. Όμως στην περίπτωση ταυτόχρονης υπέρβασης της συμφωνηθείσας ισχύος από πολλούς καταναλωτές, τότε υπάρχει σοβαρό ενδεχόμενο υπερφόρτισης της γραμμής (δεν μπορεί να μεταφέρει παραπάνω ισχύ) με αποτέλεσμα να προκληθούν υποτάσεις και άλλα σοβαρά παροδικά ή και μεγαλύτερης διάρκειας προβλήματα που να επηρεάζουν κατά κύριο λόγο τους καταναλωτές, αλλά πολλές φορές και το ίδιο το σύστημα διανομής.

Τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν είναι κυρίως υποτάσεις σε καταστάσεις μεγάλης ζήτησης, που μπορεί να αναγκάσουν κάποιους καταναλωτές να βγουν εκτός

⁷ είναι κάτι αντίστοιχο με τους απλούς καταναλωτές όπου αν περάσουν ένα συγκεκριμένο επίπεδο κατανάλωσης, αντίστοιχο των τετραγωνικών μέτρων της οικίας τους καλούνται για την επιπλέον κατανάλωση να πληρώσουν πολλαπλάσια τιμή της κιλοβατώρας

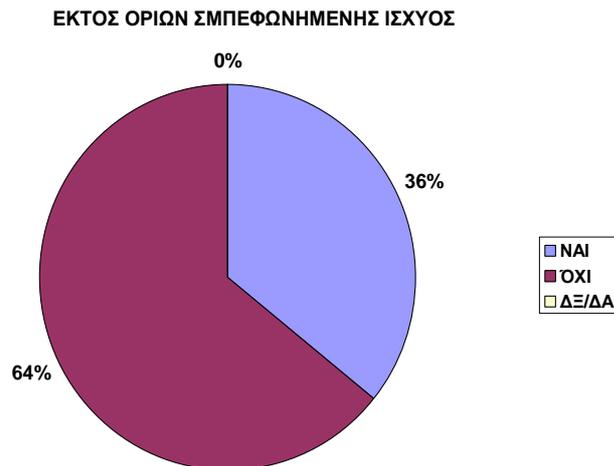
⁸ συνήθως πολύ χαμηλότερη εκτός αν η συγκεκριμένη επιχείρηση πρέπει να έχει σε διαρκή λειτουργία και ταυτόχρονα όλα τα φορτία που είναι εγκατεστημένα στον χώρο της, π.χ. φώτα σε σήραγγες που είναι ανοιχτά νυκθημερόν

⁹ η μορφή και το μέγεθος ενός καλωδίου εξαρτάται από τον χώρο που το τοποθετούμε και από την ισχύ που πρόκειται να μεταφέρει

¹⁰ που έχουν να κάνουν με προστασία υπερτάσεως ή υπερεντάσεως και εξαρτώνται άμεσα, για τα διάφορα κατώφλια του προσδιορισμού σφάλματος, από το μέγεθος της ισχύος

λειτουργίας. Δημιουργούνται και κάποια μεταβατικά φαινόμενα τα οποία δεν είναι σε τέτοιο μέγεθος για να προκαλέσουν πρόβλημα.

Σε συνάρτηση με αυτή την λογική, ακολούθησε και η ερώτηση σχετικά με το αν κάποια εταιρία *έχει αναγκαστεί να βγει ποτέ εκτός ορίων της συμπεφωνημένης ισχύος*. Οι απαντήσεις δίδονται παρακάτω σε μορφή πίτας συμμετοχής.



Σχήμα 3.1. : Ποσοστό καταναλωτών που δηλώνουν πως έχουν αναγκαστεί να βγουν εκτός ορίων της συμπεφωνημένης ισχύος

Στο **Σχήμα 3.1.** παρατηρείται ότι στην παραπάνω ερώτηση οι περισσότεροι δηλώνουν ότι δεν χρειάστηκε να βγουν εκτός των ορίων (το 64%), ενώ σημαντικά μικρότερο είναι το ποσοστό αυτών που αναγκάστηκαν να βγουν (36%). Αυτό από την μία επιβεβαιώνει ότι η συμπεφωνημένη ισχύς είναι μία τιμή που την προσδιορίζει ο ίδιος ο καταναλωτής επομένως και κατά πάσα πιθανότητα θα την τηρήσει, αλλά επιβεβαιώνει και το γεγονός ότι υπάρχει περίπτωση να δημιουργηθεί πρόβλημα λόγω υπερφόρτισης, γιατί δεν είναι αμελητέο το ποσοστό εκείνων που αναγκάστηκαν να την υπερβούν. Οπότε αν συμβεί ταυτόχρονα ενδέχεται να προκύψει κάποιο πρόβλημα στους ίδιους τους καταναλωτές.

3.3. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Ένα επόμενο ερώτημα ήταν *ο συντελεστής ισχύος* της κάθε εταιρίας. Για το συγκεκριμένο ζήτημα τα ερωτήματα είναι πολλά, όπως αν έχουν κάποια επίπτωση οι διάφορες τεχνικές βελτίωσης του συντελεστή ισχύος στην ποιότητα ισχύος και αν **καλός συντελεστής ισχύος έχει σαν αποτέλεσμα καλή ποιότητα ισχύος**.

Στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας τα φορτία που είναι συνδεδεμένα στα συστήματα είναι κατ' εξοχήν **επαγωγικά**. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο συντελεστής ισχύος να είναι πολύ χαμηλός. Οι επιπτώσεις στο σύστημα είναι ποικίλες και γι' αυτό γίνεται πάντα προσπάθεια βελτίωσης του, δηλαδή προσπάθεια να προσεγγίσει ο την

μονάδα που θα ήταν και το ιδανικό. Οι επιπτώσεις της μη-διόρθωσης ή της αποτυχίας διόρθωσης του συντελεστή ισχύος μπορούν δίνονται αμέσως παρακάτω [79]:

- Η παρουσία της άεργου ισχύος σε κάθε φάση προκαλεί την αύξηση της ενεργού τιμής του ρεύματος που απαιτείται για την μεταφορά της ίδιας ποσότητας ενεργού ισχύος. Αυτό μπορεί να αποδειχθεί και μαθηματικά:
- Η συνολική στιγμιαία ισχύς που μεταφέρει ένα τριφασικό σύστημα είναι σταθερή και μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$p(t) = p_a(t) + p_b(t) + p_c(t) \quad (3.1)$$

Όμως η ισχύς σε κάθε φάσης δίνεται από το γινόμενο της στιγμιαίας τιμής της τάσης με το συμπλήρωμα της στιγμιαίας τιμής του ρεύματος, πράγμα που σημαίνει:

$$p(t) = V(t) \cdot I(t) \quad (3.2)$$

Αν για τις ανάγκες του υπολογισμού γίνει η παραδοχή για τάση αναφοράς, ότι είναι αυτή στη φάση a τότε για τις τρεις φάσεις:

$$V_a(t) = V \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad (3.2)$$

$$I_a(t) = I \cdot \cos(\omega \cdot t + \theta) \quad (3.3)$$

Όμοια για τις άλλες φάσεις με διαφορά φάσης 120° μεταξύ τους:

$$V_b(t) = V \cdot \cos(\omega \cdot t - \frac{2 \cdot \pi}{3}) \quad (3.4)$$

$$I_b(t) = I \cdot \cos(\omega \cdot t - \frac{2 \cdot \pi}{3} - \theta), \quad (3.5)$$

όμοια για την φάση c έχουμε:

$$V_c(t) = V \cdot \cos(\omega \cdot t + \frac{2 \cdot \pi}{3}) \quad (3.6)$$

$$I_c(t) = I \cdot \cos(\omega \cdot t + \frac{2 \cdot \pi}{3} - \theta) \quad (3.7)$$

Η στιγμιαία ισχύς κάθε φάσης είναι το γινόμενο των δύο μεταξύ τους μετά από πράξεις τριγωνομετρίας:

$$p_a(t) = V_a(t) \cdot I_a(t) = V \cdot I \cdot \cos \theta + V \cdot I \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t - \theta) \quad (3.8)$$

όμοια για τις άλλες δύο φάσεις:

$$p_b(t) = V_b(t) \cdot I_b(t) = V \cdot I \cdot \cos \theta + V \cdot I \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t - \frac{4 \cdot \pi}{3} - \theta) \quad (3.9)$$

$$p_c(t) = V_c(t) \cdot I_c(t) = V \cdot I \cdot \cos \theta + V \cdot I \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t + \frac{4 \cdot \pi}{3} - \theta). \quad (3.10)$$

Αν προστεθούν αυτοί οι τρεις όροι τα μεταβαλλόμενα τμήματα ‘φεύγουν’, επειδή το διανυσματικό άθροισμα των γωνιών τους είναι 0. επομένως αυτό που μένει είναι μόνο ο σταθερός όρος, πράγμα που σημαίνει ότι τα τριφασικό σύστημα μεταφέρει σταθερή στιγμιαία ισχύς που εξαρτάται και από την διαφορά φάσης ρεύματος τάσης που στην σχέση εκφράζεται με τον συντελεστή ισχύος. Επομένως όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής ισχύος τόσο μικρότερη είναι η στιγμιαία ισχύς που μπορεί να μεταφέρει συνολικά ένα τριφασικό σύστημα. Αυτό φαίνεται και από την σχέση:

$$P = 3 \cdot V_\phi \cdot I_L \cdot \cos \theta = 3 \cdot V_\pi \cdot I_L \cdot \cos \theta \quad (3.11)$$

Όπως εύκολα παρατηρείται η ενεργός ισχύς ενός τριφασικού συστήματος είναι άμεσα εξαρτώμενη από τον συντελεστή ισχύος. Μάλιστα η αύξηση της άεργου ισχύος (μείωση του συντελεστή ισχύος), σε κάθε φάση, προκαλεί την αύξηση της ενεργού τιμής του ρεύματος που απαιτείται για την μεταφορά της ίδιας ποσότητας ενεργού ισχύος. Άρα σαν αποτέλεσμα υπερφορτίσεις, μεγαλύτερες πτώσεις τάσης και υπερθερμάνσεις των αγωγών.

- Ένα άλλο πρόβλημα, πάρα πολύ σημαντικό για τις διάφορες διαταραχές της τάσης, είναι ο τρόπος που λειτουργούν τα φορτία επαγωγικού χαρακτήρα στην προσπάθεια επαναφοράς της τάσης (μετά από βυθίσεις,...). Στην περίπτωση αυτή τα επαγωγικά φορτία που υπάρχουν στο δίκτυο όταν η τάση προσπαθεί να επανέλθει σε φυσιολογικά επίπεδα, προσπαθούν να απορροφήσουν περισσότερο ρεύμα¹¹ και εμποδίζουν την τάση στο να επανέλθει σε φυσιολογικά επίπεδα.

Μάλιστα αμβλύνουν το πρόβλημα περαιτέρω, ρίχνοντας περισσότερο την τάση και οδηγώντας σε αλυσιδωτή πτώση τάσης, που οδηγεί πολλές φορές σε διακοπή της παροχής. Για τον λόγο αυτό όταν συμβαίνει το παραπάνω φαινόμενο στον ελλαδικό χώρο, πολλές είναι οι φορές που η Δ.Ε.Η. αναγκάζεται να βγάζει εκτός ολόκληρες γραμμές και να κάνει εν συνεχεία σταδιακή εισαγωγή τους για να μειωθεί η αντίσταση στην επαναφορά και αποκατάσταση της τάσης.

Σε τοπικό επίπεδο αυτό είναι εύκολο να παρατηρηθεί στα αιολικά πάρκα, όπου και πολλές γεννήτριες επαγωγής για την εκκίνηση τους χρειάζονται άεργο ισχύ από το δίκτυο και απορροφούν μεγάλες ποσότητες ρεύματος, προκαλώντας μεγάλες πτώσεις τάσης. Οπότε η πολιτική είναι σταδιακή εισαγωγή τους στην παραγωγή, όπου κάθε ομάδα μπαίνει στο δίκτυο ανά δεκάλεπτο. Άλλη χαρακτηριστική περίπτωση είναι ο χώρος της βιομηχανίας με πολλά φορτία κίνησης. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγεται δευτερεύουσας σημασίας

¹¹ επειδή τα ρεύματα εκκινήσεως αν κάποιοι από τους κινητήρες σταμάτησαν είναι αρκετές φορές πολλαπλάσια των ονομαστικών

κινητήρες να βγαίνουν εκτός λειτουργίας και να ξανασυνδέονται όταν έχει αποκατασταθεί πλήρως η τάση.

- Ένα άλλο πρόβλημα πολύ εξειδικευμένα για το ελληνικό διασυνδεδεμένο σύστημα στην ηπειρωτική χώρα, είναι ο τρόπος που είναι κατανεμημένη η παραγωγή. Είναι χαρακτηριστική η έκφραση που πολλοί χρησιμοποιούν πως «η παραγωγή είναι στον βορρά και η κατανάλωση στον νότο». Αυτό σημαίνει πρακτικά ότι για να είναι δυνατόν να φτάσει η τάση σε φυσιολογικά επίπεδα στο νότιο τμήμα της χώρας πρέπει η τάση να είναι αρκετά υπερυψωμένη στα πρώτα χιλιόμετρα της διαδρομής της, με αποτέλεσμα πολλοί καταναλωτές που είναι συνδεδεμένοι από την κεντρική και προς τη βόρεια Ελλάδα να αντιμετωπίζουν σημαντικά προβλήματα υπέρτασης που μπορεί να είναι καταστροφικά για τους εξοπλισμούς τους. Ο λόγος που είναι αναγκαίος να είναι υπερυψωμένη η τάση που «ξεκινάει» από το βόριο τμήμα είναι τα πολλά επαγωγικά φορτία που δεν αντισταθμίζονται, όχι μόνο στιγμιαία αλλά και σε μόνιμες καταστάσεις, με αποτέλεσμα όπως είναι γνωστό από την θεωρία, η κατανάλωση άεργου να προκαλεί πτώση τάσης ενώ η παραγωγή ανύψωση αυτής. Εκτός φυσικά των επαγωγικών φορτίων των καταναλωτών, δεν πρέπει να αγνοούνται και τα επαγωγικά φορτία στις γραμμές μεταφοράς (τα οποία όμως είναι σταθερά και εύκολα αντισταθμίζονται).

Το συγκεκριμένο πρόβλημα **δεν λύνεται** με την εγκατάσταση **σταθερής χωρητικότητας πυκνωτών**, γιατί το πρόβλημα που θα παρουσιαζόταν σε αυτήν την περίπτωση θα ήταν υπερτάσεις σε καταστάσεις χαμηλής ζήτησης, που μπορεί να είναι εξίσου καταστροφικές όπως και υποτάσεις. Γι' αυτό σημαντικό ρόλο στην διόρθωση του συντελεστή ισχύος παίζει η τρομερή ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος που μπορούν να προσφέρουν μεθόδους δυναμικής επίλυσης του προβλήματος. Πολλές είναι οι λύσεις που κυκλοφορούν πλέον στο εμπόριο με τις περισσότερες από αυτές να έχουν παρουσιαστεί στον τρόπο επίλυσης του φαινομένου των αρμονικών στο δεύτερο Κεφάλαιο και έχουν άμεση εφαρμογή και σε αυτόν τον τομέα. Τέλος έχουν κατατεθεί **προτάσεις** στο Τ.Ε.Ε. που καλούν την Δ.Ε.Η. να δώσει κίνητρα στους καταναλωτές, οι οποίοι μπορούν και προσφέρουν άεργο ισχύ στο δίκτυο σαν έναν τρόπο επίλυσης του προβλήματος (Καθημερινή 17.4.2006). Η μέχρι τώρα τιμολόγηση του συντελεστή ισχύος περιορίζεται στα πλαίσια της σύγκρισης του με την μονάδα.

- Ένα στοιχείο που πρέπει όχι απλά να επισημάνουμε αλλά να τονίσουμε είναι πως η συχνότητα όλων αυτών φαινομένων, όπως και η δεινότητα τους πολλαπλασιάζεται στα απομονωμένα συστήματα, όπως είναι σχεδόν εξολοκλήρου ο νησιωτικός χώρος στην Ελλάδα. Αυτό σημαίνει ότι όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως αλλά και όσα θα αναφερθούν στην συνέχεια για τα νησιά αποτελούν ένα αισιόδοξο σενάριο. Στα νησιά τα φαινόμενα είναι πολύ πιο έντονα και δημιουργούν πολύ σημαντικότερα προβλήματα στους εξοπλισμούς.

Το πρόβλημα της διατήρησης της τάσεως μεταξύ των επιτρεπόμενων ορίων περιπλέκεται από το γεγονός ότι το σύστημα τροφοδοτείται από πολλές πηγές και τροφοδοτεί φορτία σε όλες τις βαθμίδες του συστήματος. Συνεπώς, δεν πρόκειται για την διατήρηση της τάσεως σε μία μόνο βαθμίδα, αλλά σε πολλές και συγκεκριμένα σε όλες τις βαθμίδες του συστήματος. Για το λόγο αυτόν η ρύθμιση της τάσεως δεν

μπορεί να γίνεται μόνο από τις γεννήτριες, που είναι φυσιολογικά οι πηγές άεργου όπως και ενεργού ισχύος, αλλά πρέπει να γίνεται και με άλλα μέσα σε περισσότερες περιοχές του δικτύου ([86]). Το πρόβλημα επομένως δεν αφορά μόνο τις μονάδες παραγωγής, αλλά ολόκληρο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και απαιτεί την διάθεση εξοπλισμού για τον σκοπό αυτό. Η κατάλληλη επιλογή και χρησιμοποίηση του εξοπλισμού αυτού είναι από τα σημαντικότερα προβλήματα της σχεδιάσεως και λειτουργίας του συστήματος ([1]).

Παρατίθενται επιγραμματικά τα μέσα με τα οποία επιτυγχάνεται ρύθμιση ή έλεγχος της τάσεως:

- I) Τα συστήματα διεγέρσεως των κινητήρων.
- II) Τα συστήματα αλλαγής της τάσεως υπό φορτίο των μετασχηματιστών ισχύος.
- III) Οι μετασχηματιστές ρυθμίσεως της τάσης.
- IV) Πηγές άεργου ισχύος, όπως σύγχρονοι και στατοί εγκάρσιοι πυκνωτές.
- V) Η χωρητική αντιστάθμιση σειράς και η εγκάρσια επαγωγική αντιστάθμιση των γραμμών μεταφοράς.

Σήμερα η μέτρηση του συντελεστή ισχύος από την ΔΕΗ τις περισσότερες φορές καταμετρείται ως 'ο μέσος συντελεστής ισχύος στην διάρκεια ενός μήνα', όπου καταμετρούνται η ενεργός και η άεργος ισχύς, που έχει καταναλώσει ο πελάτης. Από την διαίρεση της ενεργού με το άθροισμα των δύο τους, προκύπτει ο συντελεστής ισχύος, αφού ενεργός + άεργος = φαινόμενη και επίσης ενεργός / φαινόμενη = ΣΙ.

Από κάποιους άλλους καταναλωτές, στους οποίους η ΔΕΗ έχει συνδέσει πιο καινούργιο εξοπλισμό καταγραφής (με κάποια μικροηλεκτρονικά κυκλώματα και σύνθετες μεθόδους καταγραφής και αποθήκευσης) μπορεί να καταγράφεται εκτός του μηνιαίου συντελεστή ισχύος και ο συντελεστής ισχύος τις ώρες αιχμής¹². Αυτό σαν άμεσο αποτέλεσμα έχει οι εταιρίες να μην ενδιαφέρονται για καθημερινή ισορροπία της κατανάλωσης, πόσο μάλλον για την στιγμιαία. Αποτέλεσμα αυτού: Αν μηνιαία έχουν 'μείνει πίσω' σε παραγωγή άεργου ισχύος να συνδέουν τους πυκνωτές για επιπλέον παραγωγή, χρονικές στιγμές που δεν εξυπηρετεί το 'γενικό καλό'. Τις περισσότερες φορές αυτό επιδεινώνει παρά βελτιώνει τα προβλήματα που υπάρχουν στο δίκτυο.

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ

Οι περισσότεροι καταναλωτές χρησιμοποιούν κάποιους μηχανισμούς για να πετύχουν διόρθωση του συντελεστή ισχύος της μονάδας τους. Αυτό το πραγματοποιούν για οικονομικούς κυρίως λόγους. Υπάρχει σοβαρή επιβάρυνση σε αυτόν, του οποίου ο συντελεστής ισχύος είναι χαμηλότερος του 0,8, ενώ και για τους υπόλοιπους χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος που υπολογίζει την έκπτωση (ή επιβάρυνση), που θα έχουν βάσει της τιμής του συντελεστή ισχύος τους.

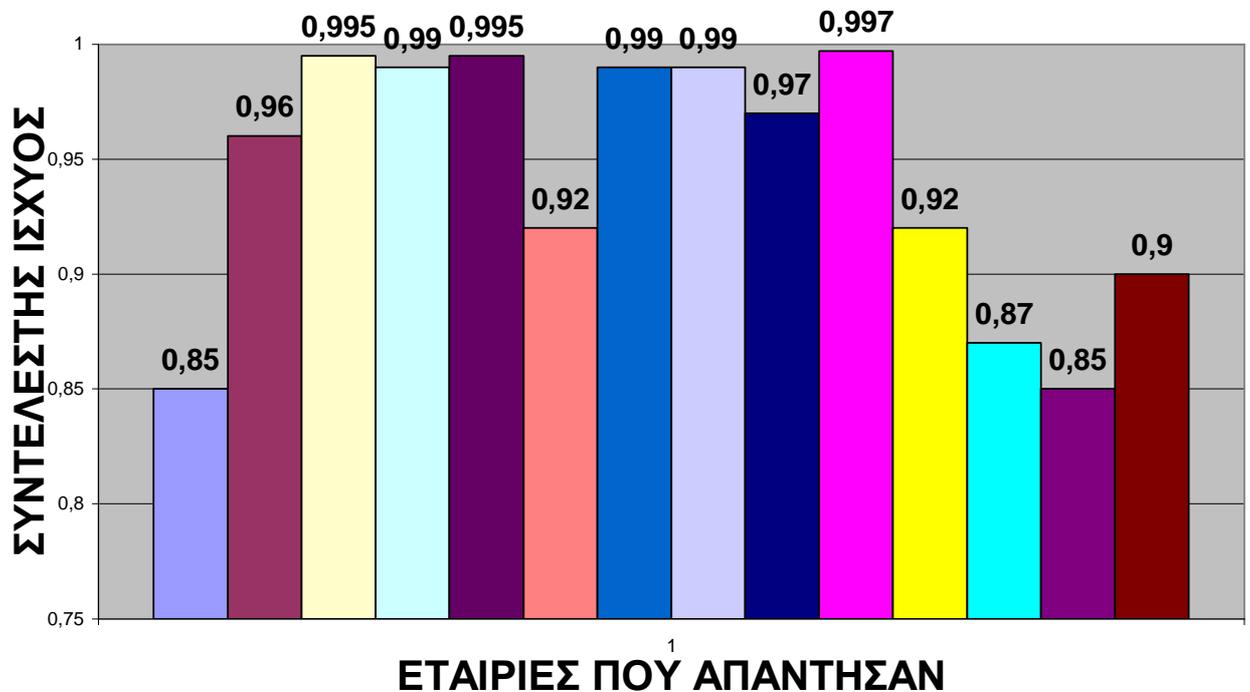
Επειδή για την αντιστάθμιση αυτή ο κύριος εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι συστοιχίες πυκνωτών, δημιουργούνται πολλά παράπλευρα προβλήματα που αξίζει κανείς να καταγράψει.

¹² αλλά και πάλι ως μέσος όρος,

Το σημαντικότερο αυτών είναι η κατάσταση συντονισμού που μπορεί να δημιουργηθεί. Όπως φαίνεται στο κεφάλαιο των αρμονικών η είσοδος πυκνωτών και μάλιστα διαφορετικών χωρητικοτήτων και σε διαφορετικές τοποθεσίες, όπως συμβαίνει και στην πραγματικότητα, δημιουργούν πολλαπλές συχνότητες συντονισμού. Ο κίνδυνος που ελλοχεύει σε αυτήν την περίπτωση είναι η ‘συνάντηση’ μια από αυτές τις συχνότητες με κάποια από τις αρμονικές συχνότητες της τάσεως του δικτύου, οπότε και το πρόβλημα διογκώνεται και η αρμονική παραμόρφωση αποκτά τέτοιο βαθμό που είναι σημαντική παρέμβαση, με τρομερά αρνητικές συνέπειες για τον εργοστασιακό, αλλά και οικιακό εξοπλισμό.

Εν συνεχεία παρουσιάζεται ο συντελεστής ισχύος των εταιριών που συμμετείχαν στην απάντηση του ερωτηματολογίου.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΩΝ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΠΟΥ ΣΥΜΜΕΤΕΙΧΑΝ



Σχήμα 3.2. : Συντελεστής ισχύος των εταιριών που συμμετείχαν στο ερωτηματολόγιο

Στο Σχήμα 3.2. παρατηρείται ότι οι περισσότερες εταιρίες, έχουν εφαρμόσει συστήματα διόρθωσης του συντελεστή ισχύος (συστήματα αντιστάθμισης). Ως αποτέλεσμα έχει την σημαντική βελτίωση του συντελεστή ισχύος, εκτός κάποιων εξ αυτών¹³.

Οι καταναλωτές που έχουν πολύ καλό συντελεστή ισχύος, έχουν σύμφωνα πάντα με τα λεγόμενα τους συστήματα αντιστάθμισης σε κάθε μεγάλο φορτίο που έχουν, εκτός της γενικής αντιστάθμισης που διαθέτουν. Επομένως σύμφωνα και με τα όσα

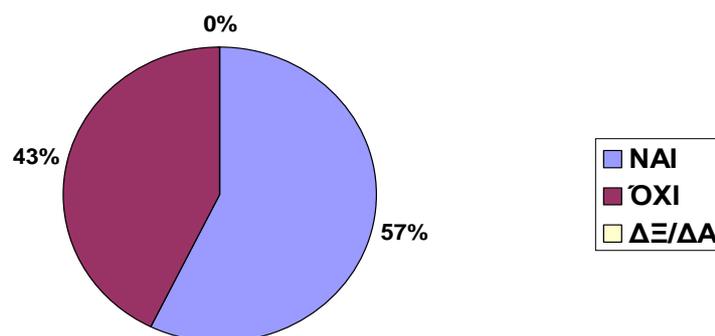
¹³ ένας εκ των καταναλωτών έχει ήδη δρομολογήσει σύστημα με ηλεκτρονικά ισχύος πυκνωτές και πηνία, ώστε να έχει σαν νέο συντελεστή ισχύος το 0.9995, το σύστημα μπορεί να παρομοιασθεί και σαν SVC (static var compensator)

αναφέρθηκαν, έχει γίνει σημαντική προσπάθεια αντιστάθμισης των άεργων φορτίων στις διάφορες εταιρίες. Όμως πάντα τίθεται το ζήτημα της παραγωγής και άεργων φορτίων για την πιο ολοκληρωμένη αντιστάθμιση του όλου συστήματος. Επίσης δεν πρέπει να αγνοείται το γεγονός ότι στις μέρες μας που τα επαγωγικά φορτία των οικιακών καταναλωτών έχουν αυξηθεί σημαντικά, λόγω κυρίως της εκτόξευσης στις πωλήσεις των κλιματιστικών, υπάρχει τρομερή ανάγκη αντιστάθμισης και των οικιακών εγκαταστάσεων.

3.4. ΤΡΟΠΟΙ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΕΩΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Ένα επόμενο πολύ βασικό ερώτημα για την διασφάλιση της αδιάλειπτης παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας τέθηκε μέσω της ερώτησης, ύπαρξης ή μη **διαφορετικού τρόπου τροφοδότησης των εγκαταστάσεων της κάθε εταιρίας**.

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ



Σχήμα 3.3. : Ποσοστό των καταναλωτών που δήλωσαν ότι διαθέτουν διαφορετικό τρόπο τροφοδότησης της εγκατάστασης τους (είτε με UPS, είτε γεννήτρια, είτε δεύτερη γραμμή)

Ο λόγος που τέθηκε το συγκεκριμένο ερώτημα δεν είναι τυχαίος. Τα σημαντικότερα προβλήματα σύμφωνα με τους καταναλωτές, αλλά και την διεθνή βιβλιογραφία ([14], [11], [9]), είναι αυτά που προκύπτουν από βυθίσεις τάσεως και παροδικές, μη-προγραμματισμένες διακοπές. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα σημαντικός τρόπος επίλυσης του προβλήματος είναι είτε η εγκατάσταση συστημάτων αδιάλειπτης παροχής ενέργειας (**Uninterrupted Power Supply**), είτε συστήματα γεννητριών ηλεκτρικής ενέργειας, είτε συνδυασμός των δύο παραπάνω, είτε τέλος για μεγάλους καταναλωτές δυνατότητα τροφοδότησης των εγκαταστάσεων τους με δεύτερη γραμμή από το σύστημα παροχής, που θα πρέπει να είναι ανεξάρτητη ώστε να διασφαλιστεί το αδιάλειπτο της τροφοδοσίας.

Από το συγκεκριμένο ερώτημα θα εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα, όσον αφορά πόσοι είναι αυτοί που επηρεάζονται σημαντικά από τις διακοπές της τάσης, αλλά και πόσοι

έχουν ουσιαστικά μεριμνήσει, ώστε να αποφευχθούν οι ανεπιθύμητες συνέπειες αυτών των φαινομένων. Το Σχήμα 3.3. δείχνει ακριβώς αυτό το ζήτημα, όπου πάνω από τους μισούς καταναλωτές έχουν εγκαταστήσει τέτοια συστήματα.

Οι συνέπειες που μπορεί να έχει κάθε εταιρία είναι πάρα πολλές. Πολλές από αυτές αναφέρονται παρακάτω (στο ερώτημα που ζητείται η απαρίθμηση των προβλημάτων που παρουσιάστηκαν από τις διάφορες διαταραχές).

Από την έρευνα που διεξήχθη, καταγράφηκαν πολλοί διαφορετικοί τρόποι τροφοδότησης, από τους οποίους γίνεται αντιληπτό που χώλαινε η κάθε εταιρία πριν την εγκατάσταση αυτών των διατάξεων ή που δεν θα ήθελε να χάσει την τροφοδότηση της, από την στιγμή που η εγκατάσταση έγινε εξαρχής.

Παραδείγματα είναι:

- ΔΕΥΤΕΡΗ ΓΡΑΜΜΗ 20KV, ΜΑΝΤΑΛΩΜΕΝΟΣ Ο ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΤΩΝ 150kV
- UPS ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΓΙΑ ΕΦΕΔΡΕΙΑ
- UPS ΣΤΑ ΔΙΟΔΙΑ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑ ΚΑΠΟΙΑ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ ΔΕΥΤΕΡΗ ΓΡΑΜΜΗ ΠΟΥ ΓΙΝΕΤΑΙ ΒΡΟΧΟΣ
- UPS ΜΕ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΗ ΓΡΑΜΜΗ
- UPS ΣΕ ΟΛΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Παρά τον εξοπλισμό, αλλά και τα χρήματα που μπορεί κάποιος να έχουν διαθέσει πολλές από τις παραπάνω μεθόδους δεν δίνουν πάντα ασφαλείς τρόπους για την αντιμετώπιση των προβλημάτων. Τα προβλήματα που δεν επιλύονται είτε δημιουργούνται από αυτές τις μεθόδους είναι:

- Πολλές φορές οι καταναλωτές διαμαρτύρονται ότι η δεύτερη γραμμή που οι ίδιοι θεωρούσαν ανεξάρτητη αποδεικνύεται στην πράξη πως είναι άλλη μία γραμμή από τον ίδιο υποσταθμό, πράγμα που σημαίνει ότι σε περίπτωση βλάβης σε κάποιο υποσταθμό διακόπτεται η παροχή τους. Λόγω της μικρής πιθανότητας ταυτόχρονης βλάβης σε όλους τους Μ/Σ ενός Υ/Σ, πολλοί θεωρούν ότι μπορεί δύο γραμμές από διαφορετικούς Μ/Σ να θεωρηθούν ανεξάρτητες, ακόμα και αν είναι και από τον ίδιο Υ/Σ. Αυτό δεν είναι όμως σωστό σύμφωνα με την θεωρία των βλαβών ([5]). Εξοπλισμός μέσα στον ίδιο Υ/Σ εκτός από τις ανεξάρτητες βλάβες που μπορεί να υποστεί υπάρχει μεγάλος αριθμός βλαβών (συνήθως περισσότερες των ανεξάρτητων) που καλούνται βλάβες κοινής αιτίας. Αυτές έχουν να κάνουν είτε με κάποια καταστροφή στον ίδιο τον Υ/Σ, είτε επειδή κάποιος από τους Μ/Σ βγήκε εκτός λειτουργίας για προγραμματισμένη συντήρηση, αλλά οι υπόλοιποι (παρά το σύστημα n+1 εφεδρείας) δεν κατάφεραν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις και ολόκληρος ο εξοπλισμός βγήκε εκτός λειτουργίας. Όπως έγινε αντιληπτό για να εξασφαλιστεί η ανεξαρτησία θα έπρεπε να έχουμε τροφοδότηση από διαφορετικούς υποσταθμούς που δεν συνδέονται μεταξύ τους. Παρόλα αυτά κάποιος από τους καταναλωτές που έχουν δεύτερη

γραμμή τροφοδοσίας διαμαρτυρήθηκαν όχι απλά γιατί τροφοδοτούνταν από τον ίδιο Υ/Σ αλλά γιατί η τροφοδοσία ερχόταν από τον ίδιο Μ/Σ, πράγμα που το διαπίστωσαν όταν έχασαν την τροφοδοσία σε κάποια βλάβη ενός μόνο από τους Μ/Σ του Υ/Σ. Τις περισσότερες φορές είναι φαινομενικά αδύνατο να τροφοδοτηθούν κάποιες περιοχές από ανεξάρτητες, όπως ορίστηκαν, γραμμές επειδή στην περιοχή υπάρχει μόνο ένας Υ/Σ διανομής και επιπλέον γραμμή από άλλο Υ/Σ θα ήταν τρομερά μεγάλο κόστος που θα καλούνταν να καλύψει ο καταναλωτής που τις περισσότερες φορές δεν είναι διατεθειμένος να το κάνει.

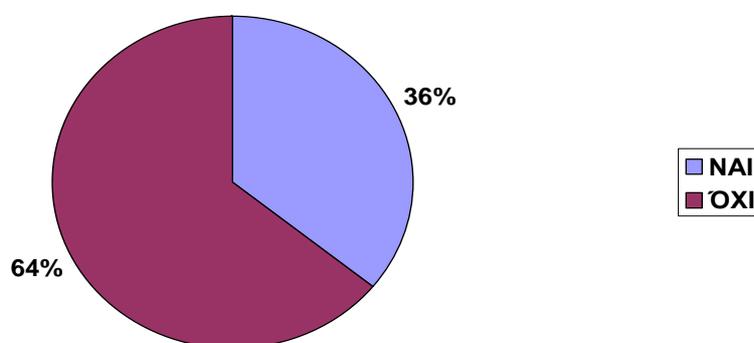
- Ένας διαφορετικός τρόπος προστασίας είναι τα UPS. Ο συγκεκριμένος εξοπλισμός μπορεί να εξομαλύνει γρήγορα φαινόμενα όπως είναι βυθίσεις και παροδικές υπερτάσεις και πολλές φορές να προσφέρει, μέσω κάποιου συστήματος συσσωρευτών που διαθέτει, και τάση τροφοδοσίας τόσο σε παροδικές διακοπές όσο και σε μόνιμες μικρής πάντα διάρκειας (συνήθως έχει αυτονομία από 10 λεπτά μέχρι και μισή ώρα, με την διάρκεια να κυμαίνεται ανάλογα με τον κατασκευαστή, τα φορτία που συνδέονται και την τιμή του εξοπλισμού). Το πρόβλημα με τον συγκεκριμένο εξοπλισμό είναι ότι δεν είναι δυνατό να εξομαλύνει μακράς διάρκειας ή και μόνιμης (όσο μπορεί κάτι να χαρακτηριστεί μόνιμο στο δυναμικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας) φύσεως διαταραχές, όπως είναι οι υποτάσεις, οι υπερτάσεις, οι αρμονικές και οι μόνιμες διακοπές, όπως μία διακοπή μιάμισης ώρας που παρατηρήθηκε την άνοιξη του 2005 στην περιοχή της Ελευσίνας ή το μεγάλο Blackout πριν τους ολυμπιακούς αγώνες. Ένα ακόμα ζήτημα όσον αφορά τα UPS είναι οι μεγάλες τιμές αρμονικών που εισάγουν στο δίκτυο σε περίπτωση εσφαλμένης λειτουργία τους.
- Για τα μακράς διάρκειας φαινόμενα που περιγράψαμε από πάνω πολλοί είναι αυτοί που έχουν εγκαταστήσει γεννήτριες στο χώρο των εγκαταστάσεών τους. Τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν από την λειτουργία τέτοιων γεννητριών σε απομονωμένα ουσιαστικά συστήματα είναι γνωστές από την θεωρία των ηλεκτρικών μηχανών.

3.5. ΚΑΤΑΓΡΑΦΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Αφήνοντας τα συστήματα για συνεχή παροχή οι καταναλωτές κλήθηκαν να περιγράψουν τον **καταγραφικό εξοπλισμό** που διαθέτουν, για να κάνουν καταγραφή των διαφόρων διαταραχών που ενδέχεται να προκαλέσουν πρόβλημα ή ήδη έχουν προκαλέσει πρόβλημα στον εξοπλισμό τους.

Τα αποτελέσματα της ερώτησης αυτής φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.

ΥΠΑΡΧΕΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ



Σχήμα 3.4. : Ποσοστό καταναλωτών που διαθέτουν καταγραφικό εξοπλισμό για την καταγραφή των φαινομένων της ποιότητας ισχύος

Τα αποτελέσματα δεν είναι αυτά που θα περίμενε κανείς. Φαίνεται ότι πάνω από το 50% δεν διαθέτουν κάποιο καταγραφικό μηχανισμό για να μπορούν να παρατηρήσουν τα διάφορα φαινόμενα ποιότητας ισχύος. Από αυτούς που διαθέτουν εξοπλισμό, όπως θα τον περιγραφεί παρακάτω, δεν είναι τέτοιος που να μπορεί να καταγράψει όλα τα φαινόμενα αλλά μόνο ένα μέρος αυτών ενώ μόνο ο καταναλωτής υψηλής τάσης είχε την δυνατότητα ανά τακτά χρονικά διαστήματα και σε περιπτώσεις σφαλμάτων να παρατηρήσει το φαινόμενο για να δικαιολογήσει την προέλευση του.

Όλες οι εταιρίες, από την άλλη, διέθεταν εξοπλισμούς καταγραφής της ενεργού και άεργου κατανάλωσης, καθώς και πλήρη καταγραφή ενεργών τάσεων και ρευμάτων ανά φάση. Επίσης είχαν την δυνατότητα παρατήρησης του επιπέδου της μηνιαίας παραγωγής τους για να κάνουν αντιστάθμιση¹⁴.

Ο εξοπλισμός απεικόνισης της ποιότητας ισχύος χρειάζεται για να μπορεί να προσδιοριστεί τι είδους διαταραχή είναι παρούσα στο δίκτυο, αφού οι περισσότερες των διαταραχών δεν είναι πάντα εμφανείς. Πολλά διαφορετικά είδη εξοπλισμών απεικόνισης της ποιότητας ισχύος είναι διαθέσιμα στο εμπόριο και σαν γενικός κανόνας ισχύει, όσο πιο ακριβό είναι ένα καταγραφικό, τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των διαταραχών που μπορεί να καταγράψει με μεγαλύτερη ακρίβεια. Παρόλα αυτά κάποιοι φτηνότεροι εξοπλισμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν, οι οποίοι μπορούν και παρέχουν τα βασικά χαρακτηριστικά της ποιότητας ισχύος.

Από τους καταναλωτές με συστήματα καταγραφής για την ποιότητα ισχύος καταγράφηκαν τα εξής είδη εξοπλισμών:

¹⁴ πράγμα που όπως είπαμε δεν είναι κατά ανάγκη θετικό, γιατί σε ταυτοχρονισμό αυτής της μεθόδου από πολλούς μεγάλους καταναλωτές όταν δεν χρειάζεται, θα δημιουργήσει υπερτάσεις. Καλύτερη μέθοδος είναι η στιγμιαία αντιστάθμιση

- **Power analyzer** : που κάνει συνεχή καταγραφή της κυματομορφής της τάσης και της ισχύς και μπορεί να κάνει μεταφορά των δεδομένων σε Η/Υ για περαιτέρω αξιολόγηση των διαταραχών. Όπου χρησιμοποιείται είναι σε αυτόματη λειτουργία και περνάει στον Η/Υ δεδομένα που συνέβησαν το τελευταίο 20μέρο, και αυτό γιατί είναι πολύ μεγάλη η ποσότητα της πληροφορίας που καταγράφεται και γι' αυτό πρέπει να γίνεται κάποιο είδος επιλογής.
- **Σύστημα ελέγχου SCADA** : το συγκεκριμένο σύστημα με την αναβάθμιση του μπορεί κάθε διαταραχή που βγαίνει εκτός ορίων να την στέλνει σε Η/Υ για περαιτέρω αντιμετώπιση. Κύρια όμως λειτουργία του είναι η προσπάθεια όπου αυτό είναι δυνατό και όπου η διαδικασία ελέγχεται από Η/Υ να κάνει μία προσπάθεια αντιμετώπισης του προβλήματος. Το σύστημα αυτό κύρια εφαρμογή βρίσκει και στον έλεγχο των ηλεκτρονικά ελεγχόμενων διακοπών μιας εγκατάστασης.

Μία εκτίμηση για την σημασία της ύπαρξης εξοπλισμού θα γίνει και παρακάτω, όπου δίνονται και ποιες είναι οι διαταραχές που έχουν παρατηρηθεί από τους διάφορους καταναλωτές. Και λέμε έχουν παρατηρηθεί και όχι καταγραφεί γιατί πολλές από τις διαταραχές μπορούν να παρατηρηθούν οπτικά ή και ακόμα εκ των αποτελεσμάτων που έχουν στους εξοπλισμούς. Η πρώτη μέθοδος βρίσκει εφαρμογή π.χ. στην παρατήρηση των φλίκερ, το τρίξιμο των μηχανών λόγω αρμονικών, και στην παρατήρηση μιας διακοπής, που γίνεται πρώτα οπτικά αντιληπτή. Επίσης από τα προβλήματα των φορτίων θα έπρεπε κανείς να μπορεί να αναγνωρίσει την διαταραχή που τα δημιουργεί.

Για το συγκεκριμένο ζήτημα μπορεί να δοθεί μια ολόκληρη «θεωρία», που στην διεθνή βιβλιογραφία καλείται 'μέθοδος εύρεσης προβλήματος σε εργοστασιακό χώρο' και συνοπτικά την παρουσιάζουμε παρακάτω.

- Καταρχάς όταν κάποιος ερευνά ένα πρόβλημα σε ένα εργοστασιακό χώρο, πρέπει πρώτα να αναζητήσει απαντήσεις στις ακόλουθες ερωτήσεις:
 - ? **Τι είναι αυτό που επηρεάζεται?** Είναι ένας ελεγκτής μεταβλητών στροφών (ευαίσθητος σε βυθίσεις και μεταβατικά φαινόμενα (transients) που προκαλούν πυκνωτές) ή μήπως είναι ένας υπολογιστής (ευαίσθητος και αυτός σε βυθίσεις και μεταγωγές)?
 - ? **Ποιος είναι ο τύπος της διαταραχής?** Αυτό μπορεί να είναι προκύπτει από την φύση του προβλήματος (όπως αυτό παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα) ή μπορεί να χρειάζεται μετρήσεις και μάλιστα σε κάποιο λογικό χρονικό διάστημα, ώστε να μπορέσουν να καταγραφούν δύο φορές το συγκεκριμένο πρόβλημα.
 - ? **Είναι η διαταραχή εντός των επιτρεπτών ορίων (στάνταρτ εταιρίας παροχής ή στάνταρτ ευαισθησίας φορτίων εργοστασίου)?** Αν η διαταραχή είναι εντός των ορίων (και παρόλα αυτά προέκυψε πρόβλημα στο εργοστάσιο) τότε κάποιο από τα φορτία βρίσκεται σε κατάσταση εσφαλμένης λειτουργίας (και υπάρχει και πιθανότητα να μην οφείλεται στην διαταραχή), αν πάλι βρισκόμαστε εκτός των ορίων τότε είναι αναμενόμενο να προκύψει σφάλμα σε κάποια συσκευή και γι' αυτό θα πρέπει η εταιρία να ενθαρρύνει τεχνικές βελτίωσης και απάλειψης των προβλημάτων.

- ? Από πού προέκυψε η διαταραχή (τι την δημιούργησε)? Αυτό πολλές φορές μπορεί να προσδιοριστεί από ταυτόχρονες μετρήσεις σε τάση και ρεύμα. Για παράδειγμα αν μία βύθιση στην τάση του εργοστασίου συνοδεύεται από ταυτόχρονη απορρόφηση μεγάλης τιμής ρεύματος στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου, τότε κατά πάσα πιθανότητα η βύθιση οφείλεται σε εκκίνηση κάποιου κινητήρα εντός του εργοστασίου.

Πρόβλημα	Πιθανός λόγος
Υπερφόρτιση ουδετέρου	Αρμονικές
Αστοχία (trip-out) συστήματος ελέγχου κινητήρων ή κυκλωμάτων PLC	Βύθιση ή ταλαντωτική μεταβατική υπέρταση (oscillatory transient)
Καταστροφή ηλεκτρονικού εξοπλισμού	Παλμικές μεταβατικές υπερτάσεις (impulsive transients)
Μηδενισμός ηλεκτρονικών ρολογιών	Βύθιση τάσεως
Ρολόγια που δεν τρέχουν γρηγορότερα	Αρμονικές
Τρεμοπαίξιμο φώτων (φλίκερ)	Διακύμανση της τάσης
Αστοχία πυκνωτών	Αρμονικές
Υπερθέρμανση κινητήρων	Χαμηλή τάση, ασυμμετρία φάσεων, αρμονικές
Οι γλόμποι των λαμπτήρων φθορισμού σπάνε απότομα	Μεγάλες υπερτάσεις
Αυτόματοι διακόπτες (Ηλεκτρονόμοι) τριπάρουν (βγαίνουν εκτός λειτουργίας)	Βύθιση τάσεως

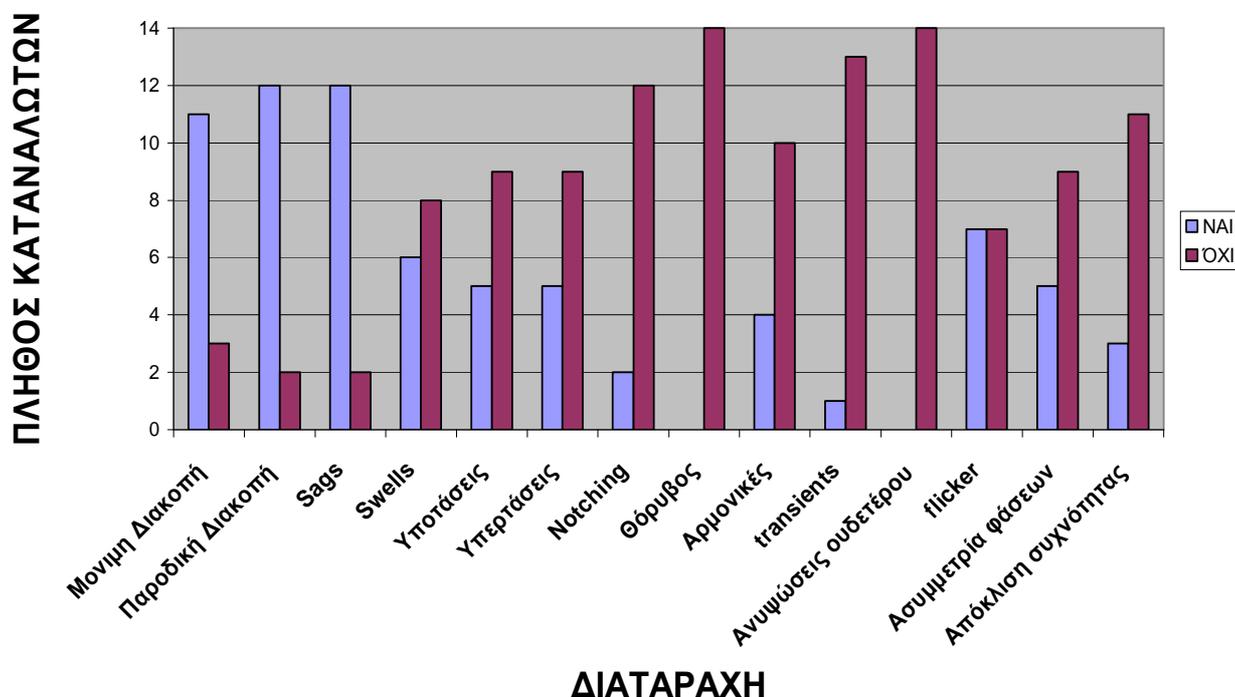
Πίνακας 3.1. : Αντιστοίχισης διαταραχής και προβλήματος (για τι είδους διαταραχή πρέπει να κοιτάζω)

Μόλις η πηγή της διαταραχής αναγνωρισθεί, πρέπει να καθοριστεί η υπευθυνότητα της δημιουργίας της αν οφείλεται σε λειτουργία εκτός του εργοστασίου. Η εταιρία παροχής είναι υπεύθυνη στην περίπτωση που η τιμή της διαταραχής ξεπερνά κάποιον οροθετημένο στόχο, που προέκυψε συνήθως μέσω κάποιας συμφωνίας της με τους καταναλωτές, για το αντίστοιχο χαρακτηριστικό της τάσης που διαταράχθηκε. Κάποια τέτοια επίπεδα συμφωνίας δίνονται και στο Παράρτημα Α με τα όρια για την κάθε διαταραχή.

3.6. ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ ΠΟΥ ΠΑΡΑΤΗΡΗΘΗΚΑΝ

Έτσι είτε μέσω κάποιων καταγραφικών είτε μέσω της εμπειρίας και της παρατήρησης της λειτουργίας των φορτίων, ζητήθηκε από τους καταναλωτές να αναφέρουν ποια από τις διαταραχές που φαίνονται στην ερώτηση 6 του ερωτηματολογίου, έχουν παρατηρήσει στον χώρο τους. Οι απαντήσεις που πήραμε φαίνονται αμέσως παρακάτω στο ραβδόγραμμα που δίνεται στο Σχήμα 3.5.

ΠΟΙΕΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΑΝ ΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ



Σχήμα 3.5. : Διαταραχές που δήλωσαν οι καταναλωτές ότι παρατήρησαν στον χώρο τους

Αυτό που φαίνεται από τις παραπάνω καταγραφές είναι, ότι οι περισσότεροι παρατήρησαν τις μόνιμες και παροδικές διακοπές και τις βυθίσεις, των οποίων η παρατήρηση μπορεί να γίνει αρχικά και με την οπτική αντίληψη. Μοιρασμένοι είναι αυτοί που παρατήρησαν τις παροδικές υπερτάσεις (που λόγω της αμβλύτητας των φαινομένων που προκαλούν είναι ευκολότερο να παρατηρηθούν). Διαταραχές που αρχίζουν να αποκτούν πιο μόνιμο χαρακτήρα και πρέπει να παρατηρηθούν είτε από την γνώση του μηχανικού για τα προβλήματα που αυτές δημιουργούν, είτε μέσω καταγραφικών οργάνων (παραδείγματος χάριν οι υποτάσεις και υπερτάσεις πρέπει κανείς να κοιτάξει τα βολτόμετρα του Υ/Σ του εργοστασίου του ή πρέπει να ξέρει από τα αποτελέσματα των προβλημάτων τι ήταν η διαταραχή που την προκάλεσε), φαίνεται στο ραβδόγραμμα ότι όλο και λιγότεροι είναι αυτοί που τις παρατήρησαν, παρά το γεγονός ότι στο βόριο τμήμα της αττικής όπως αναφέραμε προηγουμένως θα έπρεπε να παρατηρούνται κάποιες υποτάσεις.

Φυσικά αυτό δεν σημαίνει κατά ανάγκη ότι δεν συνέβησαν. Μπορεί κάλλιστα και να έχουν συμβεί, αλλά ο μηχανικός να μην τα παρατήρησε. Φυσικά πάντα υπάρχει το ενδεχόμενο να δημιουργήθηκαν τέτοια φαινόμενα, αλλά να μην έχουν υπερβεί τα όρια, όπως και να μην υπήρχε η δυνατότητα παρατήρησης τους, όπως ακόμα και να μην προκάλεσαν προβλήματα στον εξοπλισμό της εγκατάστασης, οπότε και να μην παρατηρήθηκαν για αυτό το λόγο (φυσικά ελλοχεύει πάντα ο κίνδυνος να προκάλεσαν προβλήματα και κάποιος λόγω άγνοιας να τα ανήγαγε σε άλλη διαταραχή).

Σε γενικές γραμμές πάντως ισχύει ότι σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα όπως είναι αυτό του χερσαίου ελλαδικού χώρου, στο οποίο και συναντώνται όλων των ειδών τα φορτία που μπορεί να υπάρξουν σε ένα δίκτυο, είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα παρατηρήσουμε πολλά από τα παραπάνω φαινόμενα. Το θέμα είναι αν αυτά τα φαινόμενα είναι εκτός ορίων, οπότε και μπορεί να προκαλέσουν πρόβλημα. Οπότε σαν ‘παρατήρηση’ του φαινομένου μπορεί να θεωρηθεί η δημιουργία προβλήματος από αυτό. Άρα με αυτόν τον συλλογισμό όσοι δηλώνουν μη-παρατήρηση κάποιου φαινομένου μπορεί και να σημαίνει ότι αυτό δεν προκάλεσε κάποιο πρόβλημα, που να οδήγησε στην παρατήρηση του φαινομένου είτε από κάποιο μετρητικό όργανο, είτε εκ του αποτελέσματος.

Φυσικά η παραπάνω διατύπωση είναι μία παραδοχή που κάνει κανείς, αλλά δεν είναι πάντα σωστή. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το ραβδόγραμμα, όπου φαίνεται ότι ελάχιστοι είναι αυτοί που παρατήρησαν τόσο τις αιχμές (notching) όσο και τις μεταβατικές υπερτάσεις (transients). Παρόλα αυτά πολλοί δήλωσαν πρόβλημα στην λειτουργία των υπολογιστικών τους συστημάτων, προβλήματα που τις περισσότερες των περιπτώσεων τα προκαλούν αυτά τα δύο φαινόμενα που οφείλονται σε διακοπτικές λειτουργίες τόσο των ηλεκτρονικών ισχύος (που χρησιμοποιούνται ευρέως πλέον στην βιομηχανία), όσο και της ένταξης και εξόδου πυκνωτών σε τακτά χρονικά διαστήματα, στην προσπάθεια διόρθωσης του συντελεστή ισχύος.

Επομένως η **εμπειρία** δείχνει ότι για μερικά από τα φαινόμενα, κυρίως αυτά των οποίων οι επιπτώσεις δεν είναι άμεσα αντιληπτές στην παραγωγική διαδικασία¹⁵, **δεν** υπάρχει το απαραίτητο **ενδιαφέρον** από τους αρμοδίους να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα, αλλά και να μάθουν περισσότερα για τα προβλήματα που μπορεί μακροχρόνια να τους δημιουργούν. Αν και πολλές φορές σαν αιτία αυτής της αντίδρασης φέρεται να είναι το κόστος, είναι πολλά τα παραδείγματα που ο εξοπλισμός προστασίας θα μπορούσε να βοηθήσει ουσιαστικά στην βελτίωση και της ποιότητας της παραγωγής και κατ’ επέκταση να βοηθήσει τις εταιρίες να κάνουν απόσβεση της επένδυσής τους. Εδώ ίσως είναι αναγκαίο να τεθεί και το ζήτημα ‘κατά πόσο δίνονται και τα κατάλληλα κίνητρα’, ώστε οι καταναλωτές να ενδιαφερθούν για τα διάφορα αυτά φαινόμενα.

Παρατηρώντας τέλος το ραβδόγραμμα φαίνεται ότι ελάχιστοι είναι αυτοί που έχουν παρατηρήσει την συχνότητα να βγαίνει εκτός των συμφωνημένων ορίων. Αυτό είναι απόλυτα φυσικό αφού πλέον η Ελλάδα ανήκει στο διασυνδεδεμένο ευρωπαϊκό σύστημα και η συχνότητα ρυθμίζεται κυρίως από τα μεγάλα εργοστάσια τόσο της κεντρικής Ευρώπης όσο και των Βαλκανίων (περισσότερες πληροφορίες για την ρύθμιση της συχνότητας δίνουμε στο δεύτερο κεφάλαιο, όπου γίνεται αναφορά και στο διασυνδεδεμένο σύστημα που ανήκει η χώρα μας).

Τέλος ένα πολύ ενθαρρυντικό μήνυμα που μπορεί κανείς να αποκομίσει από το ερωτηματολόγιο και αυτό είναι, ότι πολλοί είναι αυτοί που δεν παρατήρησαν ασυμμετρία φάσεων, πράγμα που μπορεί να σημαίνει ότι η ΔΕΗ σε αυτό το τομέα έχει κινηθεί πολύ καλά και έχει καταφέρει να **κατανείμει** κατά τον δυνατόν καλύτερο τρόπο τα μονοφασικά φορτία που έχουν συνδεθεί στο δίκτυο. Όπως ενθαρρυντικό

¹⁵ όπως είναι οι προηγούμενες, η πρόωγη γήρανση εξοπλισμού που δεν είναι άμεσα αντιληπτή, κ.α.

στοιχείο μπορεί να αποτελεί και το γεγονός πως κανένας δεν αναφέρει ότι παρατήρησε ανύψωση τάσης του ουδετέρου, πράγμα που μπορεί να σημαίνει ότι έχουν χρησιμοποιηθεί πολύ καλές μέθοδοι γείωσης που απομονώνουν τα αρμονικά ρεύματα και τα ρεύματα διαφυγής από την επιστροφή τους στο δίκτυο και την επιπλέον επιβάρυνση του.

3.7. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ

Στην συνέχεια του ερωτηματολογίου ζητήθηκε από τους καταναλωτές να περιγράψουν τα προβλήματα που προέκυψαν από τις διάφορες διαταραχές. Μερικές από τις απαντήσεις φαίνονται από κάτω, για να γίνει κατανοητό ποιο μπορεί να είναι το μέγεθος των προβλημάτων¹⁶:

- Υπερτάσεις που δημιουργούνται κυρίως από καταναλωτές που είναι στο νότιο τμήμα της αττικής και τους ανυψώνει την τάση είτε η Μεγαλόπολη είτε το Λαύριο, είναι αναγκασμένοι να ανεβάζουν τα έξοδα που κάνουν για τα συστήματα προστασίας που έχουν.
- Ένα άλλο παράπονο από κάποιους από τους καταναλωτές είναι η διαδικασία ζεύξης-απόζευξης (reclosing), που ακολουθεί η ΔΕΗ για την προστασία του συστήματος που τους δημιουργεί πρόβλημα. Δυστυχώς, είτε καλώς είτε κακώς, η συγκεκριμένη μέθοδος είναι από τις λίγες που μπορούν να εφαρμοστούν, και μάλιστα αυτή εφαρμόζεται με μεγάλη επιτυχία, στην προσπάθεια αποφυγής μόνιμης διακοπής από παροδικά ακραία καιρικά φαινόμενα. Επομένως ίσως κανείς να ισχυριστεί ότι μπρος στο κοινό καλό, κάποια παράπλευρα φαινόμενα είναι αναπόφευκτα.
- Κάποιοι από τους καταναλωτές που έχουν φούρνους στις εγκαταστάσεις τους αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της διακοπής της παραγωγικής διαδικασίας, με αρνητικό ενδεχόμενο να κρυσώσουν οι φούρνοι και να παγώσει μέσα τους το παραγόμενο προϊόν.
- Κάποιοι διατύπωσαν την άποψη ότι αντιμετωπίζουν προβλήματα με τα ηλεκτρονικά κυκλώματα ελέγχου των μηχανών τους, όπως είναι τα PLC.
- Ένα πρόβλημα όμως που αντιμετωπίσαν αρκετοί είναι η απώλεια στην παραγωγή, που δημιουργείται από τον χρόνο που χρειάζεται η αλυσίδα της παραγωγής να μπει ξανά σε λειτουργία, λόγω του μεγάλου χρόνου εκκίνησης κάποιων εκ των μηχανών τους. Αυτό οδηγεί σε μεγάλη οικονομική επιβάρυνση (όπως ήδη έχουμε αναφέρει τέτοιου είδους κόστος συγκαταλέγεται στο κόστος που δημιουργείται από χαμηλή ποιότητα ισχύος).
- Κάποιοι από τους καταναλωτές έχουν συστήματα αερισμού με ανεμιστήρες, είτε στην παραγωγή του είτε στην εξυπηρέτηση των πελατών. Πολλές φορές λόγω πολύ γρήγορων μεταβολών, που ακόμα και το σύστημα διαφορετικής τροφοδότησης δεν εκκινεί για να καλύψει το πρόβλημα, αυτοί διακόπτουν την

¹⁶ το συγκεκριμένο ερώτημα δεν είναι μία επίκληση για απόδοση ευθυνών και καταγραφή παραπόνων προς την ΔΕΗ, αλλά μία προσπάθεια να αναδείξουμε τη σοβαρότητα του ζητήματος της ποιότητας ισχύος. Άλλωστε απόδοση ευθυνών δεν είναι δυνατόν να γίνει γιατί εμείς δεν είμαστε σε θέση να ξέρουμε ποιος ευθύνεται για την κάθε διαταραχή που προκαλεί το καταγεγραμμένο πρόβλημα. Αλλά και σε αυτήν την θέση να βρισκόμασταν δεν θα πραγματοποιούσαμε ένα τέτοιο εγχείρημα γιατί δεν είναι αυτός ο στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής

λειτουργία τους και επιβάλλεται η ανθρώπινη παρέμβαση για την επανεκκίνηση τους. Λόγω όμως των αποστάσεων αυτό μπορεί να σημαίνει είτε χρόνος απώλειας παραγωγής, είτε και χρόνος χαμηλής ασφάλειας προσωπικού.

- Επίσης καταγράφηκε το φαινόμενο στα λιθογραφικά μηχανήματα για διακοπές της τάσης μεγαλύτερες της μισής ώρας να κολλάει το μελάνι πάνω στους κυλίνδρους του λιθογραφικού και να επιβάλλεται η αφαίρεση του κυλίνδρου για καθαρισμό, ή στην χειρότερη των περιπτώσεων η αντικατάστασή του, γεγονός που είναι τρομερά δαπανηρό για μία επιχείρηση.
- Σε κάποιες των περιπτώσεων παρατηρούνται υποτάσεις ή υπερτάσεις σε κάποιους καταναλωτές που είναι πολύ κοντά συνδεδεμένοι σε σταθμό διανομής. Αυτό συμβαίνει επειδή το δίκτυο της Μέσης Τάσης στην Ελλάδα είναι βρογχοειδές και σε περίπτωση συντήρησης της μίας από τις δύο γραμμές (δηλαδή το ένα από τα δύο άκρα του βρόγχου) κάποιος γίνεται πρώτος και κάποιος τελευταίος. Συνέπεια για την προσπάθεια ακόμα και ο τελευταίος να έχει ικανοποιητική τάση, πράγμα που δεν πάντα εφικτό, ο πρώτος στην αλυσίδα να λειτουργεί σε καταστάσεις υπέρτασης, ενώ ο τελευταίος σε καταστάσεις υπότασης.
- Κάποιος από τους καταναλωτές αναφέρει καταστροφικές συνέπειες κάποιου μέρους του εξοπλισμού του όπως είναι η καταστροφή κινητήρων σε κρίσιμα σημεία της παραγωγικής διαδικασίας. Καταστροφή τροφοδοτικών των PLC καθώς και όλων των κρίσιμων τροφοδοτικών στην επί μέρους παραγωγική διαδικασία, σαν αποτέλεσμα των υπερτάσεων που είχαν στην περιοχή.
- Επίσης κάποιος παρατήρησε ότι είχαν αυξημένη κατανάλωση ρεύματος και υπερθέρμανση των καλωδιώσεων λόγω λειτουργίας σε καταστάσεις υπότασης (370V-375V).
- Καταστροφή Η/Υ στην παραγωγή και στα γραφεία είναι ένα άλλο φαινόμενο που παρατηρήθηκε, αλλά όπως είπαμε δεν ήταν δυνατός ο προσδιορισμός της πηγής του φαινομένου.
- Σε κάποιους χώρους παρατηρήθηκαν και καταστροφές σε λαμπτήρες πυρακτώσεως λόγω της διακύμανσης της τάσης.
- Σε κάποιες περιπτώσεις και σε παλαιότερου τύπου εξοπλισμούς παρατηρήθηκε ότι μηχανές που είχαν στην πλακέτα ελέγχου του κυκλώματος τους επιτηρητή τάσης, κόβανε ταχύτητα και σταματούσαν σε καταστάσεις υπέρτασης. Αυτό σήμαινε ανάγκη επανεκκίνησης των κινητήρων και κατ' επέκταση πρόσθετη επιβάρυνση του δικτύου. Σαν αποτέλεσμα είχε να αναγκαστούν να βάλουν κάποιον σταθεροποιητή τάσεως για να μπορούν να διατηρούν την τάση σε φυσιολογικά επίπεδα. Αυτό ήταν ένα πρόσθετο κόστος για τις εταιρίες αυτές.
- Κάποιοι δήλωσαν εκτεταμένες ζημιές στον εξοπλισμό τους μετά την προσπάθεια επαναφοράς από κάποιο blackout και συγκεκριμένα αυτό της 12-07-2004, χωρίς πάντως να είναι σε θέση να περιγράψουν την αιτία δημιουργίας των καταστροφών.
- Τέλος σε καταναλωτές με αρκετά ευαίσθητα φορτία μπορεί να δημιουργηθεί πρόβλημα στην ποιοτική λειτουργία αυτών, όπως σε νοσοκομειακές εγκαταστάσεις όπου μπορεί να δημιουργηθεί πρόβλημα στην λειτουργία του αξονικού και του μαγνητικού τομογράφου.

Υπάρχουν πολλά ακόμα παραδείγματα καταστροφών που μπορεί να προκληθούν από τις διάφορες διαταραχές που μειώνουν το επίπεδο ποιότητας ισχύος σε ένα δίκτυο,

αλλά τα συγκεκριμένα παραδείγματα ήταν **αντιπροσωπευτικά** και ικανά για να μας δείξουν ότι τα προβλήματα δεν είναι μόνο στις θεωρητικά αναμενόμενες συνέπειες μη καλής ποιότητας ισχύος, αλλά έχουν και πραγματική υπόσταση.

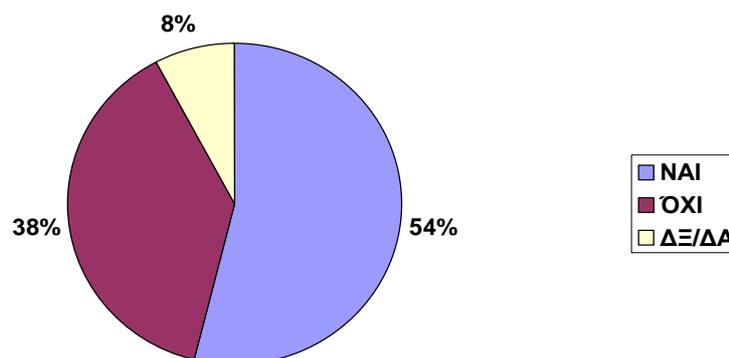
Για τον λόγο αυτό για έναν καταναλωτή που σέβεται τον εαυτό του θεωρείται πλέον επιτακτική ανάγκη τόσο να ενημερωθεί πάνω σε αυτά τα φαινόμενα, αλλά και να πάρει δραστικές αποφάσεις για την αντιμετώπιση τους. Στο πλαίσιο τόσο της αντιμετώπισης όσο και της επιλογής ενός ‘καλού’ ποιοτικά δικτύου βασίζεται και η συγκεκριμένη διπλωματική, όπως ήδη αναφέραμε στο πρώτο κεφάλαιο και όπως και θα επεξηγήσουμε στην συνέχεια.

3.8. ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΔΕΗ ΣΤΗΝ ΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Σε επόμενο επίπεδο, και για την κατανόηση της λειτουργίας του συστήματος, τέθηκαν κάποιες ερωτήσεις σχετικά με την επικοινωνία των καταναλωτών με την ΔΕΗ και την προσπάθεια επίλυσης από κοινού των υπάρχοντων προβλημάτων.

Με αυτό το σκεπτικό οι ερωτήσεις ήταν ‘Αν για τα προβλήματα που παρατήρησαν στον χώρο τους, **έχουν ενημερώσει την ΔΕΗ**’. Η απάντηση : το 100% των καταναλωτών έχει ενημερώσει την ΔΕΗ στην προσπάθεια του να τα λύσει¹⁷. Στην ίδια ερώτηση κλήθηκαν να αναφέρουν **‘τρόπους που η ΔΕΗ προσπάθησε να βοηθήσει’** και εν συνεχεία καλούνται να απαντήσουν αν **‘είχε αποτέλεσμα αυτή η προσπάθεια’**.

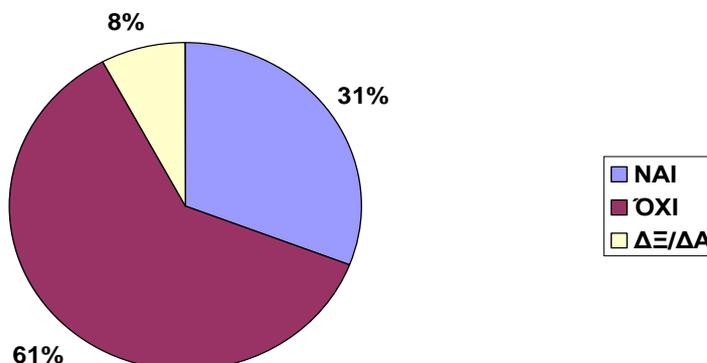
ΠΡΟΣΦΕΡΘΗΚΕ ΝΑ ΒΟΗΘΗΣΕΙ Η ΔΕΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ



Σχήμα 3.6. : Απαντήσεις καταναλωτών στο κατά πόσο η ΔΕΗ προσφέρθηκε να βοηθήσει για την επίλυση των προβλημάτων που τους δημιουργήθηκαν

¹⁷ το ραβδόγραμμα σε αυτήν την περίπτωση είναι περιττό

ΕΙΧΕ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ Η ΔΕΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ



Σχήμα 3.7. : Απαντήσεις καταναλωτών στο κατά πόσο η βοήθεια της ΔΕΗ είχε αποτελέσματα στην επίλυση των προβλημάτων που τους δημιουργήθηκαν

Τα αποτελέσματα καταγράφονται στις 'πίτες' των Σχημάτων 3.6. και 3.7. Πάνω από τους μισούς πιστοποιούν ότι η ΔΕΗ έκανε προσπάθειες για να βοηθήσει την κατάσταση. Ενώ μία συντριπτική πλειοψηφία της τάξης του 66% ισχυρίζονται ότι οι προσπάθειες δεν είχαν αποτέλεσμα.

Οι παραπάνω δύο ερωτήσεις και ο τρόπος που απαντήθηκαν χρίζουν καλύτερης επεξήγησης. Καταρχάς η επικοινωνία για την αντιμετώπιση των προβλημάτων γινόταν μέσω τηλεφώνου. Αυτό το τονίζουμε γιατί μπορεί να παρομοιαστεί με ένα **online σύστημα**, αλλά και γιατί μπορεί κανείς να καταλάβει και την φύση των προβλημάτων¹⁸.

Έτσι όπως ακριβώς προβλέφθηκε η συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων είχαν να κάνουν με ρύθμιση τάσεως. Ενώ μία περίπτωση σε εναέριο δίκτυο, λόγω των σημαντικών προβλημάτων που υπήρχαν, έκανε συντήρηση στην ήδη υπάρχουσα γραμμή και εν τέλει αναγκάστηκε να την αλλάξει ολόκληρη.

Πάγιο αίτημα των καταναλωτών αποτελεί το λογικότερο όλων, να έχουν στην εγκατάσταση τους τάση τροφοδοσίας που να πληροί κάποιους κανόνες. Όμως το φαινόμενο αυτό αναλύθηκε προηγουμένως και είναι πολύ πιο **σύνθετο** από ότι φαίνεται με μία βιαστική παρατήρηση.

Έτσι το αίτημα των καταναλωτών να αυξήσει η ΔΕΗ την τάση στον υποσταθμό¹⁹ σε καταστάσεις υπότασης ή να την μειώσει σε καταστάσεις υπέρτασης, θα έχει σαν

¹⁸ αφού μέσω τηλεφωνικής επικοινωνίας το μόνο που μπορεί κανείς να λύσει είναι το πρόβλημα του πλάτους της τάσης ή κάποιες διακοπές της παροχής

¹⁹ αναφέρθηκαν ήδη οι μέθοδοι που μπορεί να το κάνει αυτό

αποτέλεσμα κάποιου να είναι ικανοποιημένος και κάποιου εκτός (πάνω και κάτω) ορίων και άρα δυσαρεστημένοι.

Σχεδόν όλοι έχουν προσπαθήσει να λάβουν **κάποια μέτρα για την απάλειψη των προβλημάτων** από διάφορες διαταραχές στον χώρο τους. Μέθοδοι όπως είναι:

- SVC
- UPS σε ευαίσθητα φορτία
- Εγκατάσταση περιοριστών τάσεων κεντρικά στον υποσταθμό
- Υπερτασική προστασία των ευαίσθητων ηλεκτρονικά συστημάτων
- Γεννήτρια με UPS

Ενώ στην ερώτηση λήψης μέτρων για μείωση των προβλημάτων που εισάγουν οι ίδιοι στο δίκτυο οι απαντήσεις ήταν σχεδόν πανομοιότυπες, αφού οι περισσότεροι δήλωναν άγνοια για διαταραχές που μπορεί η εγκατάστασή τους να προκαλεί και όλοι σαν λύση ανέφεραν μεθόδους αντιστάθμισης με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Όμως όπως ήδη αναφέρθηκε πολύ καλός μηνιαίος συντελεστής ισχύος δεν σημαίνει και επίλυση των καθημερινών προβλημάτων. Φυσικά για τον τρόπο που γίνεται η μέτρηση του συντελεστή ισχύος δεν φέρουν μεγάλη ευθύνη οι καταναλωτές. Πάντως ένα ποσοστό της τάξης του 35% χρησιμοποιεί δυναμική αντιστάθμιση ανά φορτίο (με χρήση κάποιες φορές και τεχνολογία ηλεκτρονικών ισχύος), γεγονός που είναι αρκετά πιο ικανοποιητικό από τις προηγούμενες μεθόδους αντιστάθμισης που χρησιμοποιούνταν και χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα.

Σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση όλων αυτών των φαινομένων μπορεί να παίζει και ο διαχειριστής του συστήματος (ΔΕΣΜΗΕ) που γνωρίζει την ζήτηση και παραγωγή σε κάθε επιμέρους δίκτυο. Πολλές φορές, δε, διεξάγει και μετρήσεις για περισσότερα χαρακτηριστικά της ενέργειας από μόνο την κατανάλωση σε άεργο και ενεργό, όπως είναι οι αρμονικές που εισάγονται από κάποιους καταναλωτές πίσω στο δίκτυο. Κατά αυτόν τον τρόπο αναλαμβάνει και ευθύνες βελτίωσης του συστήματος και με το σκεπτικό αυτό θέσαμε και την ερώτηση αν **έχει γίνει στον καταναλωτή κάποια σύσταση είτε από ΔΕΗ είτε από ΔΕΣΜΗΕ για τα προβλήματα ποιότητας που προκαλεί στο ο καταναλωτής στο δίκτυο**. Η απάντηση ήταν αρνητική εκτός από μία και μοναδική περίπτωση. Οπότε δύο είναι οι πιθανότερες περιπτώσεις: είτε οι περισσότεροι καταναλωτές εισάγουν μικρού όγκου προβλήματα στο δίκτυο ή οι μετρήσεις για τον έλεγχο γίνονται κυρίως σε πολύ μεγάλους καταναλωτές, που θα απορροφήσουν μεγαλύτερες τιμές ρεύματος και κατ' επέκταση θα επηρεάσουν και μεγαλύτερο όγκο γειτονικών εγκαταστάσεων.

Από την εμπειρία που αποκτήθηκε από αυτήν την διαδικασία, θα έπρεπε να γίνονται μετρήσεις σε όλους τους καταναλωτές μέσης τάσης και προσπάθεια να βελτιώσουν την ποιότητα τους, αλλά επίσης να γίνονται και μετρήσεις και ανά Υ/Σ σε οικιακές εγκαταστάσεις γιατί σύμφωνα και με την διεθνή βιβλιογραφία, αφού οι μεγάλοι καταναλωτές λαμβάνουν ως είθισται κάποια μέτρα καταπράυνσης των φαινομένων, την μεγαλύτερη παραμόρφωση εισάγουν οι οικιακοί καταναλωτές ([11]).

Σε ένα επόμενο βήμα έγιναν κάποιες ερωτήσεις που βασίζονται κυρίως στο σκεπτικό της διπλωματικής, όπως αυτό αναλύθηκε στο πρώτο κεφάλαιο. Αυτό που επιδιώκεται

είναι η γνώμη των ‘ειδικών’ πάνω στο ζήτημα που τίθεται και ο τρόπος επίλυσης που προτείνεται.

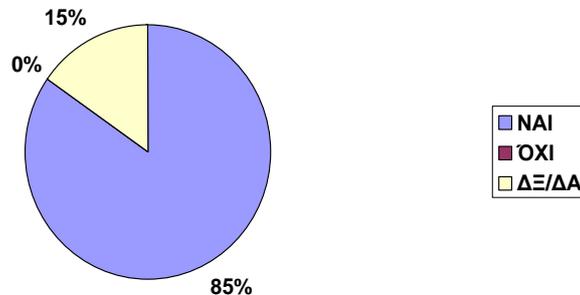
Το σκεπτικό της συγκεκριμένης εργασίας εν τάχη ήταν η προσπάθεια άντλησης όσο το δυνατόν περισσότερων πληροφοριών για τα διάφορα φαινόμενα που προκαλούν αλλοίωση της ποιότητας ισχύος ενός δικτύου. Από τα δεδομένα τα οποία θα αποκτούνται, είτε μέσω του ερωτηματολογίου, είτε από προσωπικές συζητήσεις με ανθρώπους με μεγαλύτερη εμπειρία στον χώρο, γίνεται η προσπάθεια να ασαφοποιηθεί η επίδραση του κάθε φαινομένου σε αυτό που καλείται ‘καλή ποιότητα ισχύος’. Με αυτόν τρόπο στόχος είναι η κατασκευή ενός ασαφούς συστήματος που θα παίρνει αποφάσεις μέσα σε αβεβαιότητα και το οποίο θα δίνει μία (υποκειμενική πάντα, αφού υποκειμενική είναι και η πηγή που χρησιμοποιήσαμε ως βάση) εκτίμηση για το κατά πόσο καλό είναι ένα δίκτυο σαν αποτέλεσμα κάποιας συνάρτησης συμμετοχής.

Περισσότερα για την λογική και την υλοποίηση ακολουθούν στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο. Αυτό που επιδιώκεται με τις συγκεκριμένες ερωτήσεις είναι παρατηρηθεί το **σκεπτικό** που λέει πως είναι πλέον μία **αναγκαιότητα να γίνει μία κατηγοριοποίηση των διαφόρων δικτύων διανομής, ανάλογα με το πόσο ‘καλή’ είναι η ποιότητα ισχύος που μπορούν να παρέχουν**, βάσει και στατιστικών στοιχείων. Σημαντικό επίσης είναι να κρίνουν την αναγκαιότητα ύπαρξης ενός ‘καλού’ ποιοτικά δικτύου, μέσω της απάντησης στο αν θα μπορούσε να αποτελέσει **κριτήριο επιλογής για την τοποθεσία εγκατάστασης** μιας εταιρίας. Τέλος δεν πρέπει να αγνοείται ο λόγος που κανείς θα ήθελε σήμερα να κάνει μία καταγραφή ενός δικτύου, και αυτός δεν είναι άλλος από την προσπάθεια βελτίωσης του εκάστοτε δικτύου για τον παράγοντα ποιότητα ισχύος.

Έτσι τίθεται και το ερώτημα αν **θα έπρεπε να γίνει κάποια βαθμολόγηση και των ίδιων των καταναλωτών** (αφού ένα δίκτυο δεν είναι μόνο η εταιρία παροχής αλλά χαρακτηρίζεται και από τα φορτία που είναι συνδεδεμένα σε αυτό, όπως δείξαμε και στο πρώτο κεφάλαιο), με βάση την ποιότητα ισχύος της εγκατάστασης τους και τον τρόπο που επηρεάζει τα γειτονικά φορτία. Αυτό θα μπορούσε κάλλιστα μετέπειτα να χρησιμοποιηθεί για **προσπάθεια βελτίωσης του δικτύου εκεί που έχει ‘προβληματικούς’ καταναλωτές**.

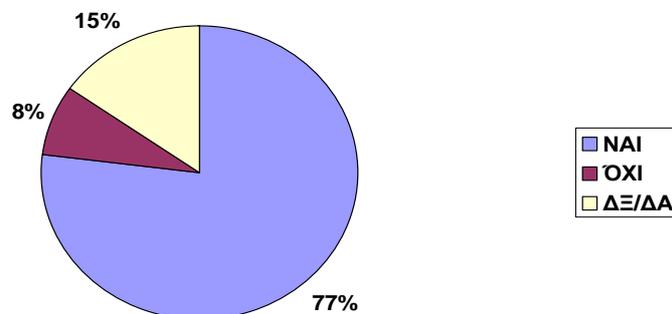
Η ερώτηση που θα μπορούσε κανείς να πει ότι έρχεται σαν φυσικό επακόλουθο είναι **ποιος θα πληρώσει την επικείμενη βελτίωση του δικτύου**, λόγω των προβληματικών καταναλωτών. Δύο δυνατές απαντήσεις προτείνονται, η μία είναι αυτοί που τα δημιουργούν να τα καλύψουν και η άλλη είναι όλοι να προσφέρουν μέσω της αύξησης της kWh στην βελτίωση του δικτύου. Τα αποτελέσματα των ερωτήσεων φαίνονται αμέσως από κάτω:

**ΣΥΜΦΩΝΕΙΤΕ ΜΕ ΤΗΝ ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ
ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΙ ΣΕ ΕΝΑ ΔΙΚΤΥΟ, ΚΑΙ ΚΑΤ'
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΙΔΙΟΥ ΤΟΥ
ΔΙΚΤΥΟΥ**



Σχήμα 3.8. : Απάντηση στην ερώτηση για βαθμολόγηση των καταναλωτών ανάλογα με την ποιότητα των φορτίων που συνδέουν στο δίκτυο

**ΣΥΜΦΩΝΕΙΤΕ ΝΑ ΓΙΝΕΙ ΧΡΗΣΗ ΑΥΤΗΣ ΤΗΣ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑΣ
ΓΙΑ ΕΠΙΒΡΑΒΕΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΒΑΡΝΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ**



Σχήμα 3.9. : Απαντήσεις στην ερώτηση κατά πόσο θα έπρεπε να γίνει χρήση μιας υποθετικής βαθμολόγησης των καταναλωτών για οικονομικούς λόγους

Εύκολα παρατηρείται ότι το σκεπτικό βρίσκει μεγάλη ανταπόκριση στους καταναλωτές, οι οποίοι δείχνουν να επιθυμούν καλύτερη ποιότητα ισχύος και κατ' επέκταση άμεση βαθμολόγηση και βελτίωση του δικτύου εκεί που χωλαίνει, και είναι πρόθυμοι, ενώ έχουν και οι ίδιοι κατά την γνώμη τους λάβει κάποια μέτρα για την βελτίωση της ποιότητας ισχύος, το επιπλέον κόστος που θα δημιουργηθεί να αποπληρωθεί ανάλογα με τον βαθμό επίδρασης του καθενός στην μείωση αυτού που λέμε 'ποιότητα ισχύος'.

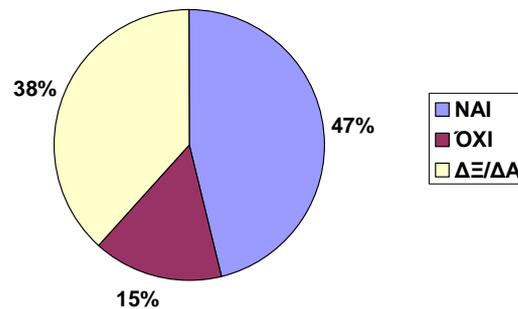
Αυτό το αποτέλεσμα θα μπορούσε κανείς να πει, ότι ενθαρρύνει σκεπτικό όπως αυτό που προτείνεται. Δίνει επίσης διεξόδους ανάπτυξης νέων διπλωματικών εργασιών

πέρα από τα πλαίσια της συγκεκριμένης. Να θυμίσουμε απλά ότι στην παρούσα διπλωματική θα γίνει μία προσπάθεια βαθμονόμησης ολόκληρου του δικτύου και όχι κάθε καταναλωτή ξεχωριστά.

3.9. ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

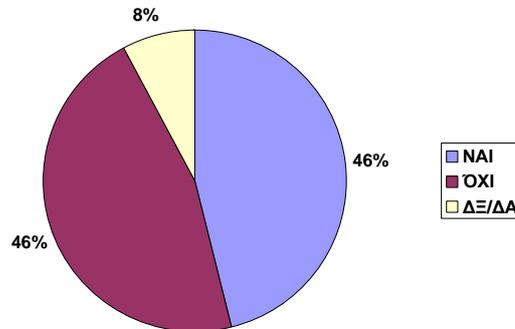
Πριν την ολοκλήρωση του ερωτηματολογίου δύο ακόμα ερωτήσεις θεωρήθηκαν αναγκαίες για να βγουν ασφαλή συμπεράσματα. Η μία εξ αυτών έχει να κάνει με το κατά πόσο κάποιος θα ήταν **διατεθειμένος να πληρώσει ακριβότερο τιμολόγιο, αν του διασφαλιζόταν ένα πολύ καλύτερο επίπεδο ποιότητας ισχύος από το υπάρχον**. Η δεύτερη ερώτηση έχει να κάνει πάλι με οικονομικά κριτήρια και ζητούσαμε να μάθουμε αν **η ποιότητα ισχύος μιας περιοχής θα αποτελούσε κριτήριο ικανό για μία εταιρία, ώστε να αποκλείσει ή αντίστοιχα να προκρίνει κάποια περιοχή για την μελλοντική της εγκατάσταση**. Οι απαντήσεις σε μορφή πίτας συμμετοχής δίνεται παρακάτω στα σχήματα 3.10. και 3.11. και ακολουθούν κάποιες επεξηγήσεις.

**ΘΑ ΕΙΣΑΣΤΑΝ ΔΙΑΤΕΘΕΙΜΕΝΟΣ ΝΑ ΠΛΗΡΩΣΕΤΕ
ΑΚΡΙΒΟΤΕΡΟ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ ΑΝ ΣΑΣ ΔΙΑΣΦΑΛΙΖΑΝΕ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΠΟΥ ΘΑ ΣΑΣ ΠΑΡΕΙΧΑΝ**



Σχήμα 3.10. : Απαντήσεις στην ερώτηση για ακριβότερο τιμολόγιο στην περίπτωση καλύτερης ποιότητας ισχύος από το δίκτυο.

ΘΑ ΑΠΟΤΕΛΟΥΣΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ Η ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Η ΜΗ ΣΕ ΚΑΠΟΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ
ΕΤΑΙΡΙΑΣ ΣΑΣ



Σχήμα 3.11. : Απαντήσεις στην ερώτηση αν η ποιοτική βαθμολογία ενός δικτύου θα ήταν κριτήριο ικανό ώστε να κατευθύνουν για άλλη περιοχή την εγκατάστασή τους

Παρατηρείται ότι μία μεγάλη μερίδα των καταναλωτών είναι έτοιμοι να πληρώσουν ακόμα και ακριβότερο τιμολόγιο αν εξασφαλιστούν για την ουσιαστική βελτίωση της ποιότητας ισχύος που θα έχει η παρεχόμενη τάση.

Φυσικά το συγκεκριμένο ζήτημα έχει πολλές προεκτάσεις και πολλά ερωτηματικά δημιουργούνται. Ένα είναι ποιο θα είναι αυτό το καινούργιο επίπεδο ποιότητας ισχύος και ποιος θα το προσδιορίζει. Επίσης η βελτιωμένη ποιότητα ισχύος θα είναι καθ' όλη την διάρκεια του έτους ή θα εξακολουθούν να παρατηρούνται διακυμάνσεις, όπως συμβαίνει και τώρα. Τα έξοδα για την βελτίωση της ποιότητας ποιος θα τα αναλάβει. Γιατί αν είναι τα αναλάβει ο καταναλωτής τότε ποιος ο λόγος επιπλέον επιβάρυνσης. Και άλλα πολλά ερωτήματα μπορούν να διατυπωθούν. Η λύση τους δεν είναι μονοδιάστατη. Μπορούν να υπάρξουν ποικίλες λύσεις, και δυναμική στην πορεία αντιμετώπιση τόσο αυτών όσο και όποιων άλλων ερωτημάτων δημιουργηθούν. Το ζήτημα όμως για να έχουν ουσία όλα αυτά είναι κατ' αρχάς να γίνουν ουσιαστικά βήματα προς μία προσπάθεια επίλυσης των προβλημάτων και όχι η αδρανής στάση. Όσο τα προβλήματα δεν επιλύονται στην βάση τους τόσο θα διογκώνονται στο μέλλον.

Πάντως ενθαρρυντικό είναι το αποτέλεσμα και των δύο ερωτήσεων. Αφού και στις δύο περιπτώσεις οι καταναλωτές φαίνονται έτοιμοι να κάνουν το βήμα παραπέρα, στην προσπάθεια να βελτιώσουν την ποιότητα ισχύος την οποία δέχονται και κατ' επέκταση την βελτίωση της ποιότητας της παραγωγής τους.

Τέλος απομένει κάτι πολύ ουσιαστικό για την παρούσα εργασία. Αυτό είναι η **βαθμολόγηση των διαφόρων φαινομένων από τους 'ειδικούς'** καταναλωτές. Έτσι για τις ανάγκες της συγκεκριμένης ερώτησης έγινε μια κανονικοποίηση των επιπτώσεων από τις διάφορες διαταραχές και κλήθηκαν οι 'ειδικοί' να δώσουν, βάσει της εμπειρίας τους, μία βαθμολογία των φαινομένων ανάλογα με τα προβλήματα που αυτά δημιουργούν (προφανώς στους ίδιους, εξ' ου και η υποκειμενικότητα της απόφασης). Η βαθμολόγηση έχει να κάνει ως εξής: 1: Δεν παρατηρήθηκε, 2:

Μηδενικό πρόβλημα, 3-4: Μικρό πρόβλημα, 5-7: Μεσαίο πρόβλημα, 8-9: Σοβαρό πρόβλημα, 10: Ανεπανόρθωτο.

Ο λόγος της επιλογής της παραπάνω βαθμολόγησης γίνεται σαφής στο επόμενο κεφάλαιο, όπου και αναλύεται και εν συνεχεία χρησιμοποιείται και η βαθμολογία στην διαμόρφωση του ασαφούς συστήματος.

Τα αποτελέσματα που πήραμε φαίνονται στον πίνακα 3.2.

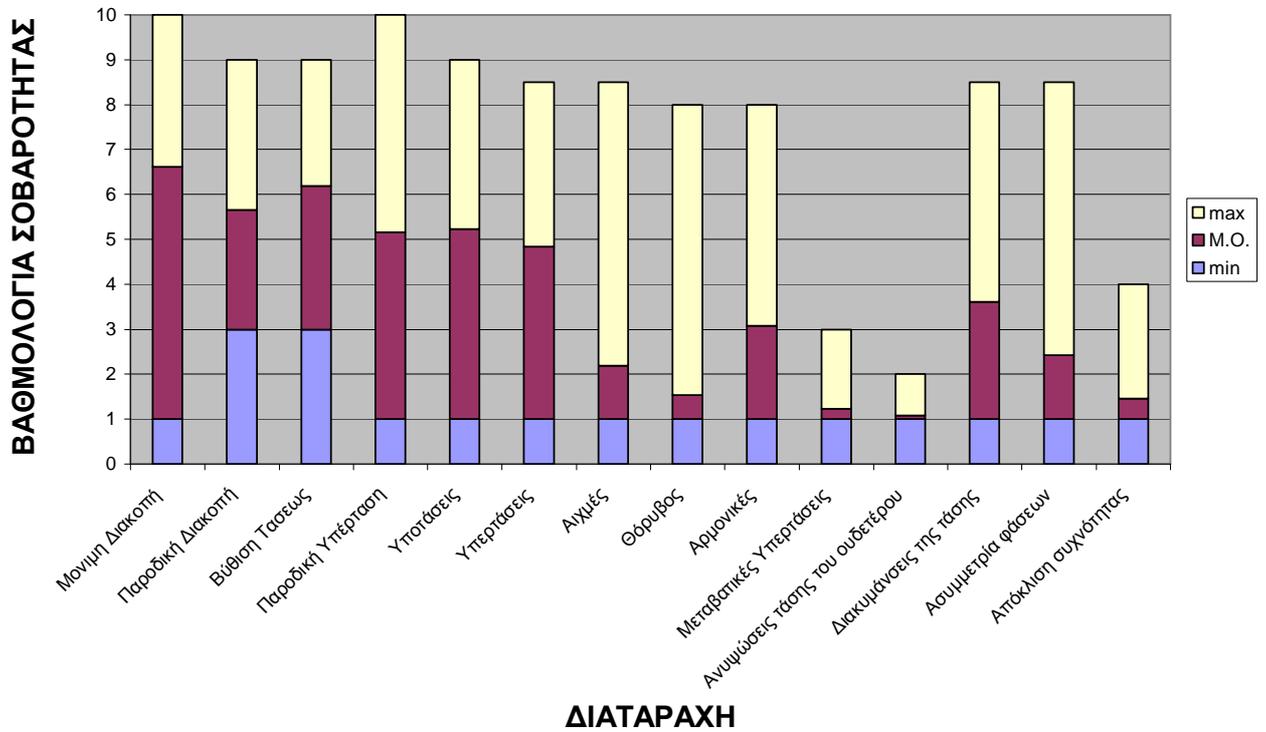
ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ	Μονιμη Διακοπή	3	8,5	8	8,5	9	4	6	9	1	8	1	10	10
	Παροδική Διακοπή	3	8,5	6	8,5	5	4	4	9	3,5	5	3	5	9
	Βύθιση Τασεως	3	8,5	5	8,5	4	3	3	9	5,5	8	5	9	9
	Παροδική Υπέρταση	5	8,5	1	8,5	1	2	8	3	3	10	1	8	8
	Υποτάσεις	3	8,5	5	8,5	2	6	3	9	5	1	4	6	7
	Υπερτάσεις	8	8,5	1	8,5	2	1	8	5	7	1	1	5	7
	Αιχμές	8	1	1	8,5	1	1	1	1	1	1	1	2	1
	Θόρυβος	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Αρμονικές	8	1	1	8	1	1	1	1	1	8	1	5	3
	Μεταβατικές Υπερτάσεις	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2
	Ανυψώσεις τάσης ουδετέρου	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
	Διακυμάνσεις της τάσης	6	8,5	1	8,5	3	1	4	7	1	1	1	3	2
	Ασυμμετρία φάσεων	3	1	1	8,5	1	3	1	1	1	1	4	3	3
	Απόκλιση συχνότητας	1	1	4	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2

Πίνακας 3.2. : Η βαθμολογία της σοβαρότητας των διαταραχών όπως δόθηκε από τους καταναλωτές για τον τρόπο που επηρεάζουν τα φορτία τους.

Θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί ανάλυση χωριστά για τον κάθε βαθμό καθενός από τα φαινόμενα. Επιλέγεται πάντως, για μείωση του όγκου των πληροφοριών, να γίνει μία παρουσίαση του κάθε φαινομένου χρησιμοποιώντας τον μέσο όρο των βαθμολογιών που έδωσαν οι ‘ειδικοί’.

Έτσι στο Σχήμα 3.12. φαίνεται σε μορφή ραβδογράμματος ο μέσος όρος των βαθμολογιών που πήρε κάθε διαταραχή από τους καταναλωτές.

ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑΣ ΚΑΘΕ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ



Σχήμα 3.12. : Παρουσίαση των βαθμολογιών της σοβαρότητας για κάθε διαταραχή όπως δόθηκαν από τους καταναλωτές. Παρουσιάζονται σαν διακύμανση από την ελάχιστη στην μέγιστη τιμή που δόθηκε και ενδιάμεσα ο μέσος όρος των τιμών

Το παραπάνω ραβδόγραμμα είναι πολύ χρήσιμο για την περαιτέρω συνέχιση της διπλωματικής. Παρουσιάζονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές που δόθηκαν καθώς και ο μέσος όρος αυτών.

Ο τρόπος που θα γίνει χρήση αυτών των δεδομένων αναλύεται αμέσως παρακάτω στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΑΣΑΦΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

4. ΑΣΑΦΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ

4.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα κεφάλαια που προηγήθηκαν (2^ο και 3^ο) τέθηκαν οι βάσεις για την κατανόηση των διαταραχών και τον τρόπο επιρροής τους στα φορτία. Απομένει ο προσδιορισμός της σχέσης διαταραχής–τοποθεσίας και διαταραχής–μορφολογίας του δικτύου. Η εξάρτηση ανά περιοχή δεν είναι τυχαία επινόηση. Έχει προηγουμένως ερευνηθεί και αποδειχθεί από πολλούς ερευνητές, όπως αναφέρθηκε στο **1^ο κεφάλαιο** ([11], [14], [26], [28], [40], [45], [46], [53], [54], [56]).

Στόχος είναι η υλοποίηση ενός ασαφούς συστήματος που θα αξιολογεί και θα κατηγοριοποιεί ένα δίκτυο με βάση την ποιότητα ισχύος του. Θα γίνει χρήση της πολυκριτηριακής μεθόδου για εξαγωγή αποφάσεων σε **αβεβαιότητα**. Αυτό έχει ήδη δοκιμαστεί για πολλά διαφορετικά πεδία και από πολλούς ερευνητές (λεπτομέρειες στο 1^ο κεφάλαιο). Η λύση που προτείνεται βασίζεται κυρίως στην **εμπειρία**. Αυτό σημαίνει πως το σύστημα **δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένο**, αλλά μπορούν να υπάρξουν και άλλα ισοδύναμα συστήματα.

Το σκεπτικό συνδυάζει **λογική και εμπειρία**. Το σύστημα πρέπει να αξιολογεί τα δεδομένα και να αποφαινεται για την καταλληλότητα μιας θέσης. Για είναι αυτό εφικτό θα πρέπει να υλοποιεί κάποιες **απαιτήσεις**:

- **Θα πρέπει να εκτιμά την καταλληλότητα του δικτύου σε κάποια περιοχή και για τα 3 διαφορετικά είδη καταναλωτών.**

Υπάρχουν 3 διαφορετικές κατηγορίες καταναλωτών:

- ❖ **οι οικιακοί,**
- ❖ **οι εμπορικοί και**
- ❖ **οι βιομηχανικοί.**

Κάθε κατηγορία έχει διαφορετικές απαιτήσεις και κατά συνέπεια επηρεάζεται διαφορετικά από ίδια διαταραχή. Αρχική σκέψη της παρούσας μελέτης ήταν το σύστημα να δύναται να εκτιμήσει την καταλληλότητα μιας θέσης για την σύνδεση συγκεκριμένου εξοπλισμού. **Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε κάτι γενικότερο. Συγκεκριμένα η αποτίμηση για κάθε κατηγορία καταναλωτών, οι οποίες μπορεί να διαθέτουν αρκετά διαφορετικά φορτία. Η αναζήτηση λύσης ανά καταναλωτή ενισχύεται από το διαφορετικό είδος εγκαταστάσεων ανά κατηγορία.** Για τον σκοπό αυτό θα πρέπει να δηλώνεται ρητώς για ποια από τις κατηγορίες απαιτείται εξαγωγή σαφών συμπερασμάτων. Ο τρόπος υλοποίησης δίνεται στο 4.2.

- **Θα πρέπει να δέχεται σαν είσοδο το μέγεθος των διαταραχών σε κάποια περιοχή σε μορφή στατιστικών δεδομένων.**

Σύμφωνα με το **EN50160** (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α) τα όρια που χρησιμοποιούνται βασίζονται στην στατιστικότητα των φαινομένων και στην περιοδική εμφάνιση τους. Έτσι ενισχύεται το γεγονός ότι πολλά από

τα προβλήματα οφείλονται στην φύση του δικτύου και όχι απλά σε τυχαία εξωτερικά αίτια. Για το λόγο αυτό καλείται ο χρήστης του συστήματος να εισάγει δεδομένα για την κάθε διαταραχή και αυτά θα συγκρίνονται με κάποια βάση δεδομένων για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

- **Θα πρέπει να έχει μία βάση δεδομένων που θα χρησιμοποιείται για την σύγκριση.**

Αν το πρόβλημα ήταν μονοδιάστατο και με παραβίαση ενός εκ των ορίων δημιουργούνταν πρόβλημα, τότε θα αρκούσε μία απλή βάση δεδομένων. **Όμως το πρόβλημα είναι πολυδιάστατο και για την ακρίβεια πολυκριτηριακό.** Αυτό σημαίνει πως ακόμα και ένα από τα όρια να μην ικανοποιείται δεν συνεπάγεται πρόβλημα στον εξοπλισμό. Η δημιουργία ή όχι προβλήματος εξαρτάται από ένα συνδυασμό της συμπεριφοράς των διαταραχών. Η λύση του προβλήματος είναι λοιπόν πιο σύνθετη και την δίνει η ασαφής λογική. Κατασκευάζοντας τις **συναρτήσεις συμμετοχής** με ιδιαίτερη προσοχή, όπως δίνεται και στο 4.1, απομένει η χρήση μίας μεθόδου για τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων από κάθε διαταραχή χωριστά. Η μέθοδος αυτή είναι η **πολυκριτηριακή μέθοδος εξαγωγής συμπερασμάτων μέσα σε αβεβαιότητα** και αναπτύσσεται στο 4.3.

Για να είναι δυνατή η αναφορά σε ένα τέτοιο σύστημα πρέπει να προσδιορισθούν οι συναρτήσεις εκείνες που θα προσδιορίζουν αν τα δεδομένα εισόδου είναι εντός των ορίων ή εκτός και πόσο σημαντική είναι η τιμή τους για την συνολική ποιότητα ισχύος. Αυτές οι συναρτήσεις είναι οι **συναρτήσεις συμμετοχής** για το κάθε χαρακτηριστικό της τάσης στο σύνολο **‘πολύ καλή ποιότητα ισχύος’**. Ο προσδιορισμός των συναρτήσεων συμμετοχής αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στο τομέα της ασαφούς λογικής. Πολλές είναι οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό τους, αλλά τον σημαντικότερο πάντα ρόλο παίζει η **αντίληψη του συγγραφέα και η εμπειρία**. Η λογική που ακολουθείται στην παρούσα διπλωματική ακολουθεί στο αμέσως επόμενο υποκεφάλαιο.

4.1 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ

Η διαμόρφωση των συναρτήσεων συμμετοχής παίζει καθοριστικό ρόλο στην κατασκευή ενός ασαφούς συστήματος. Αποτελούν τον πρώτο και τον τελευταίο κρίκο στην αλυσίδα εξαγωγής συμπερασμάτων [62 – 64]. Για τον λόγο αυτό έχει δοθεί σημαντικό βάρος στον τρόπο υπολογισμού τους. Κύριος παράγοντας στον προσδιορισμό μιας συνάρτησης συμμετοχής αποτελεί η **καλή γνώση του προβλήματος**. Στην παρούσα περίπτωση αυτό αντικατοπτρίζεται με την καλή γνώση των **τιμών σωστής λειτουργίας των συσκευών**, για κάθε χαρακτηριστικό της τάσης (2^ο κεφάλαιο). Κάθε περιοχή λειτουργίας προσδιορίζεται από κάποια **όρια**. Τα όρια είναι διαφορετικά για κάθε χαρακτηριστικό και μπορούν να προσδιορισθούν και από την εμπειρία (π.χ. 5 διακοπές τον χρόνο είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για δημιουργία

προβλήματος). **Πέραν της εμπειρίας στην προσπάθεια αυτή βοήθησαν αρκετά και οι τιμές των ορίων που δίνονται στο διεθνές πρότυπο EN50160.**

Το **EN50160** προσδιορίζει τα όρια ακριβώς στην μορφή χρήσης τους για την κατασκευή του συστήματος, δηλαδή σαν **στατιστικές τιμές**. Το συγκεκριμένο πρότυπο ήταν αυτό που ενίσχυσε την πεποίθηση ότι ενδείκνυται η καταγραφή των φαινομένων για κάποιο χρονικό διάστημα. Στην διεθνή βιβλιογραφία, που συγκεντρώθηκε, η προσέγγιση του προβλήματος αναλώνεται στον προσδιορισμό **του είδους της διαταραχής** που εμφανίστηκε ([36], [66] – [69], [71] – [76]). Η παρούσα εργασία είναι κάτι το διαφορετικό. Η διαδικασία αναγνώρισης της διαταραχής έχει πραγματοποιηθεί. Στη συνέχεια συλλέγονται στοιχεία για το πλήθος των διαταραχών που παρουσιάστηκαν (πολλές είναι οι αναφορές διεθνώς και στην σημαντικότητα αυτής της μεθόδου ([9], [14], [26], [58])). Τέλος και **βάσει της εμπειρίας αξιολογείται αν το εκάστοτε πλήθος διαταραχών ήταν ή όχι επιζήμιο για την λειτουργία των συσκευών**. Τα υπόλοιπα πρότυπα (π.χ. **IEEE 1159-95**) έδιναν κυρίως τιμές που βοηθούσαν στον προσδιορισμό των διαφόρων διαταραχών (δηλαδή οι τιμές που προτεινόταν στα συγκεκριμένα πρότυπα αποτελούσαν κριτήριο προσδιορισμού της κατηγορίας της διαταραχής που πραγματοποιούνταν).

Στο ίδιο μήκος κύματος με το πρότυπο **EN50160** κινείται και το [9]. Στο τελευταίο γίνεται προσπάθεια να δοθεί μία εκτίμηση του τρόπου μετρήσεως και καταγραφής των διαταραχών. Στη συνέχεια παρουσιάζει τα όρια καλής λειτουργίας βάσει του ποσοστού των δειγμάτων που μετρήθηκαν. Δύο σημαντικά προβλήματα παρουσιάζει η μορφή που δίνονται τα όρια:

- ❖ **Πρόβλημα** αποτελεί η **μη χρήση** του ίδιου **τύπου ορίου** για όλα τα χαρακτηριστικά της τάσης (δεν είναι όλα τα όρια σε εκατοστιαία κλίμακα).
- ❖ Επίσης **πρόβλημα** αποτελεί και η **έλλειψη επεξήγησης του ορίου** : ποιες οι **επιπτώσεις** αν οι διαταραχές **υπερβούν τα όρια** και ποια η **αυστηρότητα** αυτής της υπέρβασης (ποιο το επιτρεπτό εύρος υπέρβασης των ορίων χωρίς σημαντικό πρόβλημα).

Για την **υπέρβαση αυτών των προβλημάτων** πραγματοποιήθηκαν κάποιες **παραδοχές**:

- ✓ Για την **διαφορετικότητα της μορφής των ορίων**, γίνεται η παραδοχή ότι δεν επηρεάζει το συνολικό σύστημα. Στο τέλος συνυπολογίζονται όλες οι διαταραχές, κάθε μία με την δική της σημαντικότητα. Η παραδοχή αυτή δεν απέχει από την πραγματικότητα. Στην πράξη για κάθε χαρακτηριστικό πρώτα υπολογίζεται η σημαντικότητα του πλήθους για το ίδιο. Στην συνέχεια σαν δεύτερο βήμα προσδιορίζεται η καταλληλότητα του χαρακτηριστικού για την ποιότητα ισχύος του δικτύου.
- ✓ Σημαντικό είναι να καθοριστεί ο τρόπος αντιμετώπισης όταν το όριο δεν είναι σαφώς προσδιορισμένο. π.χ. όταν το όριο δίνεται σαν εύρος τιμών : **10 – 50 μόνιμες διακοπές στην διάρκεια ενός έτους**. Σε αυτές τις περιπτώσεις το κάτω όριο θεωρείται ως το καθοριστικό για την αλλαγή

στην τιμή της συνάρτησης συμμετοχής (π.χ. από **0** έως και **10** μόνιμες διακοπές η συνάρτηση συμμετοχής θα είναι **1**, η διαταραχή θα κινείται σε απόλυτα λογικά επίπεδα και θα συνεισφέρει τα μέγιστα στην καλή ποιότητα του συστήματος). Το πάνω όριο χρησιμοποιείται για να καθορίσει την κλίση που θα έχει η καμπύλη στην συνάρτηση συμμετοχής (αν το εύρος είναι μεγάλο τότε η καμπύλη έχει μικρή κλίση και αντίστροφα). Η μορφή αυτή του ορίου παρατηρείται στις **μόνιμες** και **παροδικές διακοπές** και στις **βυθίσεις** της τάσεως.

- ✓ Η άλλη μορφή που δίνονται τα όρια είναι σε εκατοστιαία κλίμακα το ποσοστό των δειγμάτων εντός ορίων. Στην περίπτωση αυτή θεωρείται ότι έχουν πραγματοποιηθεί μετρήσεις και γίνεται λόγος για το ποσοστό των δειγμάτων. Το ποσοστό που δίνεται θεωρείται πως είναι το σημείο αναφοράς για την αλλαγή της κλίσης της καμπύλης (όπως και το κάτω όριο στην προηγούμενη περίπτωση). Για την τιμή της κλίσης αυτή τη φορά γίνεται εμπειρική εφαρμογή.

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις βάση δόθηκε κυρίως στην εμπειρία και την υπάρχουσα γνώση, όπως διατυπώθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Αυτό όμως που ενισχύει και την διπλωματική είναι η έμφαση που δόθηκε στην **εμπειρία των ειδικών**, όπως αυτή καταγράφεται στο 3^ο κεφάλαιο (ανάπτυξη αυτού στο 4.3.).

Εκτός των παραδοχών απαραίτητη είναι η παρουσίαση της μεθοδολογίας κατασκευής των συναρτήσεων συμμετοχής. Οι διαταραχές εξηγήθηκαν καλύτερα στο 2^ο κεφάλαιο. Οπότε δεν παρουσιάζονται λεπτομέρειες παρά μόνο συμπεράσματα.

Η διαδικασία αποτελείται από **4 σημαντικά βήματα**:

- **ΒΗΜΑ 1^ο**

Πρώτο και σημαντικότερο βήμα αποτελεί ο προσδιορισμός και η αποσαφήνιση του ορίου που δίνεται στο πρότυπο EN50160. Το βήμα αυτό είναι πάρα πολύ σημαντικό γιατί θα κρίνει σε σημαντικό βαθμό την μορφή που θα έχει η συνάρτηση συμμετοχής. Απαραίτητος κρίνεται ο καθορισμός της αυστηρότητας του ορίου, δηλαδή της σοβαρότητας των επιπτώσεων στην περίπτωση υπέρβασης του. Αν το σύνολο των διαταραχών παραμένει εντός ορίων, θα θεωρείται πως η τάση βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα και συνεπώς η διαταραχή δεν δημιουργεί πρόβλημα και προσφέρει τα μέγιστα στο σύνολο «πολύ καλή ποιότητα ισχύος».

Το βήμα αυτό οργανώνεται σε δύο σκέλη. Στο πρώτο παρατίθεται αυτούσιο το όριο όπως δίνεται στο πρότυπο EN50160. Στο δεύτερο σκέλος δίνονται εκτιμήσεις και παραδοχές που έγιναν πάνω στο όριο, ώστε να είναι δυνατή η χρήση του για την συνάρτηση συμμετοχής.

- **ΒΗΜΑ 2^ο**

Δεύτερο βήμα αποτελεί ο προσδιορισμός της ασαφούς συνάρτησης (κριτήριο απόφασης) και των ασαφών μεταβλητών. Το κριτήριο και οι

μεταβλητές έχουν **λεκτικό χαρακτήρα** και η μορφή τους ακολουθεί την νόρμα **ΑΝ Α ΤΟΤΕ Β**, με το **Α** να αποτελεί την **μεταβλητή** και το **Β** να αποτελεί τον **στόχο**. Κύριο μέλημα αποτελεί ο προσδιορισμός της μεταβλητής και του στόχου για κάθε ένα από τα χαρακτηριστικά. Οι μεταβλητές θα είναι και οι μεταβλητές που θα δέχονται σαν είσοδο οι συναρτήσεις συμμετοχής, ενώ ο στόχος θα αποτελεί και την έξοδο της συνάρτησης. ([40], [61], [64], [85])

- **ΒΗΜΑ 3^ο**

Γενικός στόχος αποτελεί η χάραξη της γραφικής παράστασης της συνάρτησης συμμετοχής. Στο πλαίσιο αυτό χρειάζεται μία καμπύλη πρότυπο. Για το **τρίτο** βήμα στόχος αποτελεί ο σχεδιασμός μίας εμπειρικής γραφικής παράστασης που θα λειτουργήσει σαν πρότυπο. Για την επίτευξη του στόχου πρέπει να προταθούν κάποιες τιμές της συνάρτησης συμμετοχής για καθορισμένες τιμές του πλήθους των διαταραχών. Αρχικά προτείνονται κάποιες λεκτικές εκφράσεις για να χαρακτηρίσουν το μέγεθος των διαταραχών. Η αποτύπωση αυτής της τιμής σε μορφή κατάλληλη για συνάρτηση συμμετοχής πραγματοποιείται τόσο βάσει της εμπειρίας όσο και βάσει της γνώσης που αποκτήθηκε από την μελέτη των διαταραχών [40]. Η κατανόηση του συγκεκριμένου θα γίνει ευκολότερη με παρατήρηση του πίνακα που υπάρχει στο 3^ο Βήμα κάθε ανάλυσης στο 4.1.. Οι τιμές που προτάθηκαν μπορούν να θεωρηθούν σαν διαστάσεις. Τοποθετώντας αυτές τις τιμές σε ένα διάγραμμα και ενώνοντας τα σημεία κατασκευάζεται μια γραφική παράσταση που έχει συνήθως μορφή εκθετικής καμπύλης [40]. Η γραφική αυτή παράσταση αποτελεί την εμπειρική αυτή καμπύλη και έχει την εξής λειτουργία:

Αν είναι γνωστή κάποια τιμή για το πλήθος των χαρακτηριστικών που εμφανίστηκαν τότε η τιμή της συμμετοχής του χαρακτηριστικού στο σύνολο πολύ καλή ποιότητα ισχύος θα δίνεται από την τομή της ευθείας $\chi = \text{"πλήθος διαταραχών"}$ και της γραφικής συνάρτησης.

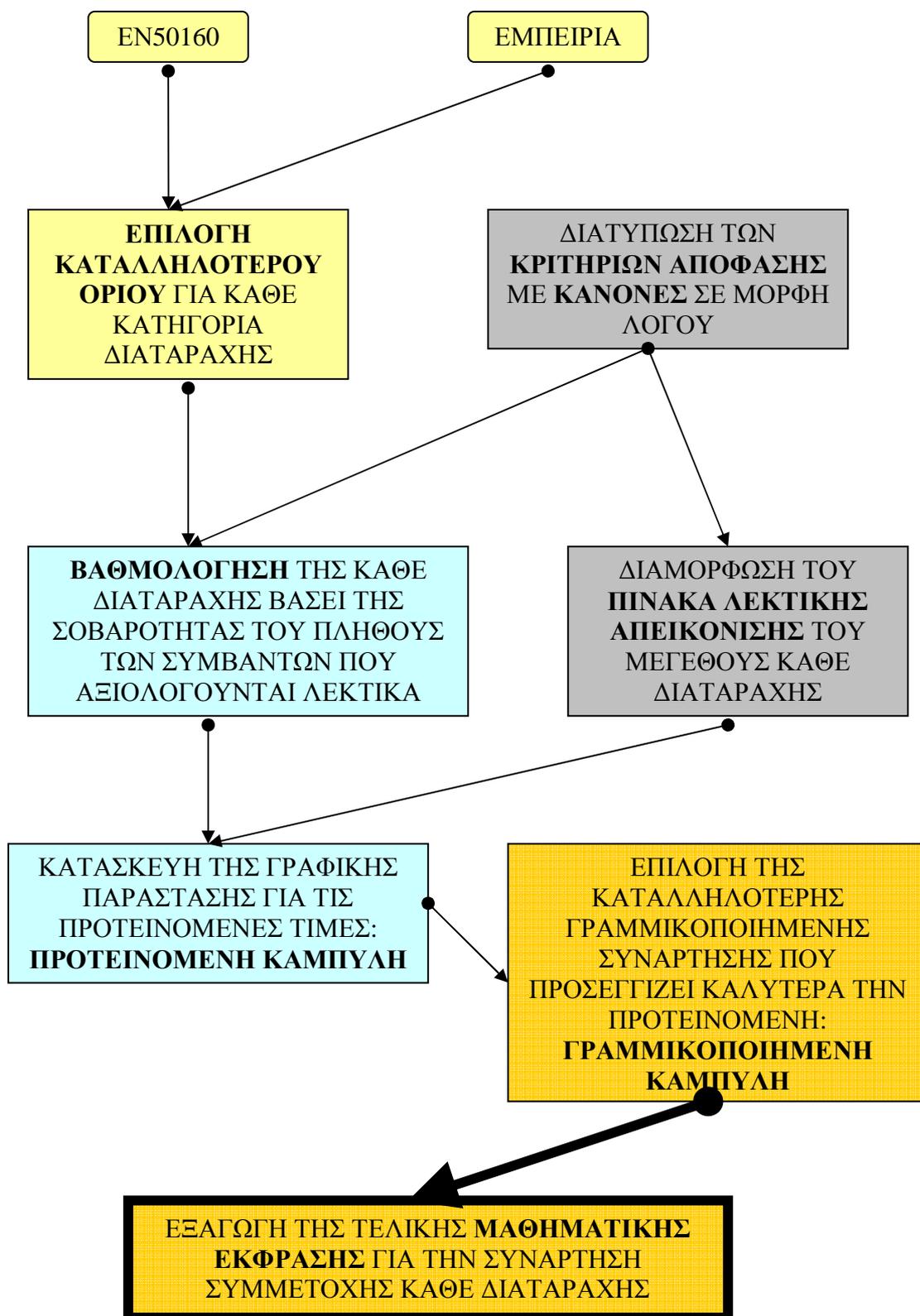
- **ΒΗΜΑ 4^ο**

Στο **τέταρτο** και τελευταίο **βήμα** πραγματοποιείται η εξαγωγή της συνάρτησης συμμετοχή από την εμπειρική καμπύλη του 3^{ου} βήματος. Για το σκοπό αυτό προτείνεται η **γραμμικοποίηση** της γραφικής αυτής παράστασης. Συνήθως η **τραπεζοειδής** μορφή προσεγγίζει ικανοποιητικά την συνάρτηση συμμετοχής. Σημαντικό είναι η νέα συνάρτηση (που διατυπώνεται και με μαθηματική έκφραση) να μην είναι **ποτέ πιο ελαστική** από την εμπειρικά εκφρασμένη συνάρτηση. Στη περίπτωση που ήταν ελαστικότερα τα όρια από τα προτεινόμενα ελλοχεύει ο κίνδυνος παρουσίασης **απρόβλεπτου** σφάλματος. Η **γραμμικοποίηση** παρουσιάζεται **πρώτα γραφικά**, στο ίδιο σχεδιάγραμμα με την προηγούμενη συνάρτηση, και εν συνεχεία δίνεται και η **μαθηματικής της έκφραση**.

Τα βήματα αυτά μπορούν παρουσιάζονται σε μορφή μπλοκ διαγράμματος στην σελίδα που ακολουθεί. Στο διάγραμμα αυτό τα τετράγωνα αποτελούν ενέργειες

*ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΑΣΑΦΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ
ΙΣΧΥΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ*

και τα οβάλ δεδομένα. Δεδομένα αποτελούν η **εμπειρία** και το πρότυπο **EN50160**. Η διαδοχή των καταστάσεων στο διάγραμμα πραγματοποιείται από τα αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω. Το διάγραμμα δείχνει παραστατικά τα βήματα που αναπτύχθηκαν.



Σχήμα 4.1 : Μπλοκ Διάγραμμα αναπαράστασης του τρόπου κατασκευής της συνάρτησης συμμετοχής

4.1.1. ΜΟΝΙΜΗ ΔΙΑΚΟΠΗ – 1^ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ

ΒΗΜΑ 1^ο

► Όριο στο EN50160 : 10 – 50 διακοπές τον χρόνο.

Οι μόνιμες διακοπές είναι μία από τις *σοβαρότερες* διαταραχές στην τάση. Για την κατασκευή της συνάρτησης υιοθετείται το όριο που δίνεται στο πρότυπο EN50160.

Το όριο είναι στην μορφή **εύρους τιμών**. Σύμφωνα με τις παραδοχές που πραγματοποιήθηκαν προβλέπεται η χρήση και των δύο τιμών. Το κάτω όριο θα χρησιμεύσει σαν το σημείο αλλαγής της κλίσης της καμπύλης, ενώ το πάνω όριο χρησιμεύει σαν κριτήριο για την τιμή της κλίσης. Ο τρόπος και οι αιτίες αυτής της επιλογής χρίζουν μιας καλύτερης αιτιολόγησης. Επιδιώκοντας μία επεξήγηση του ίδιου του ορίου, δύο είναι οι οπτικές προσέγγισης του προβλήματος:

- ➔ Περίπτωση πρώτη: Το όριο θεωρείται κάποιος αριθμός στο διάστημα από **10** έως **50**. Αν οι διακοπές ήταν περισσότερες από αυτό στην διάρκεια ενός έτους τότε το δίκτυο θα χαρακτηριζόταν σαν λιγότερο αξιόπιστο ή *αλλιώς δεν θα συνεισέφερε σημαντικά στο σύνολο «πολύ καλή ποιότητα ισχύος»*.
- ➔ Περίπτωση δεύτερη: Το **10** και το **50** αποτελούν τους δύο αριθμούς που οριοθετούν την δημιουργία προβλήματος. **Έως 10 ανεκτή κατάσταση. Πάνω από 50 απαράδεκτη**. Αυτό σε επίπεδο **ασαφούς λογικής** αποτυπώνεται ως εξής: αν συμβούν κάτω των 10 διακοπών στην διάρκεια ενός έτους τότε αυτή η διαταραχή συνεισφέρει τα μέγιστα στο σύνολο πολύ καλή ποιότητα ισχύος. Αντίθετα αν συμβούν περισσότερες από 50 τότε δεν συνεισφέρει καθόλου. Για διακοπές στο ενδιάμεσο διάστημα θα έχουμε μία μέση λύση.

Η παραδοχή που πραγματοποιήθηκε στη αρχή του κεφαλαίου ταυτίζεται με την δεύτερη από τις παραπάνω δύο περιπτώσεις. Σημαντικό αρνητικό της υπάρχουσας οριοθέτησης αποτελεί η έλλειψη συσχέτισης με την διάρκεια της διακοπής.

Αυτό που προτείνεται μέσω αυτής της εργασίας είναι μία εκτίμηση βάσει της εμπειρίας. Η **συσχέτιση** του **πλήθους** των διακοπών με την **διάρκεια** αυτών αποτελεί σημαντικό παράγοντα και πεδίο *μελλοντικής μελέτης*.

ΒΗΜΑ 2^ο

Για το πλήθος των μόνιμων διακοπών διατυπώνεται **γλωσσικά** το ακόλουθο κριτήριο απόφασης:

<Αν η μέση τιμή των διακοπών που λαμβάνουν χώρα ανά έτος είναι πολύ μικρή, τότε η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος>

Το παραπάνω κριτήριο είναι δομημένο στην μορφή:

IF A THEN B

Όπου

A η ασαφής πρόταση <η μέση τιμή των διακοπών που λαμβάνουν χώρα ανά έτος είναι πολύ μικρή> (Υπόθεση).

B η ασαφής πρόταση < η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος> (Συμπέρασμα).

Η **ασάφεια** που εισάγεται από τον όρο <η μέση τιμή των διακοπών που λαμβάνουν χώρα ανά έτος είναι πολύ μικρή> αντιμετωπίζεται από το κριτήριο απόφασης, μέσω της μαθηματικής έκφρασης της ασαφούς πρότασης <το χ είναι πολύ μικρό>, όπου χ είναι η **ασαφής μεταβλητή**, δηλαδή η **μέση τιμή των διακοπών ανά έτος** (μέση τιμή γιατί θεωρείται ότι έγιναν κάποια χρόνια μετρήσεις).

Η μαθηματική έκφραση της παραπάνω ασαφούς πρότασης αποτελεί την συνάρτηση συμμετοχής και **εκφράζει τον βαθμό ένταξης** της υποψήφιας θέσης στο **σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος>**, όπως αυτό εκφράζεται από το 1^ο κριτήριο απόφασης. Ο καθορισμός της συνάρτησης συμμετοχής είναι ένα από τα βασικότερα και με μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον θέματα στην θεωρία των ασαφών συνόλων [40]. Γενικά δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη μέθοδος. Συνήθως, ο καθορισμός γίνεται εμπειρικά και συχνά **αυθαίρετα** (arbitrary), βασιζόμενος σε **υποκειμενικά κριτήρια του μελετητή**.

ΒΗΜΑ 3^ο

Το ασαφές σύνολο αναφοράς για το 1^ο **Κριτήριο** δίνεται με την μορφή **γλωσσικών όρων** (*linguistic terms*) στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 4.1: Ασαφές σύνολο αναφοράς για την μέση τιμή των διακοπών ανά έτος που συμβαίνουν σε ένα δίκτυο.

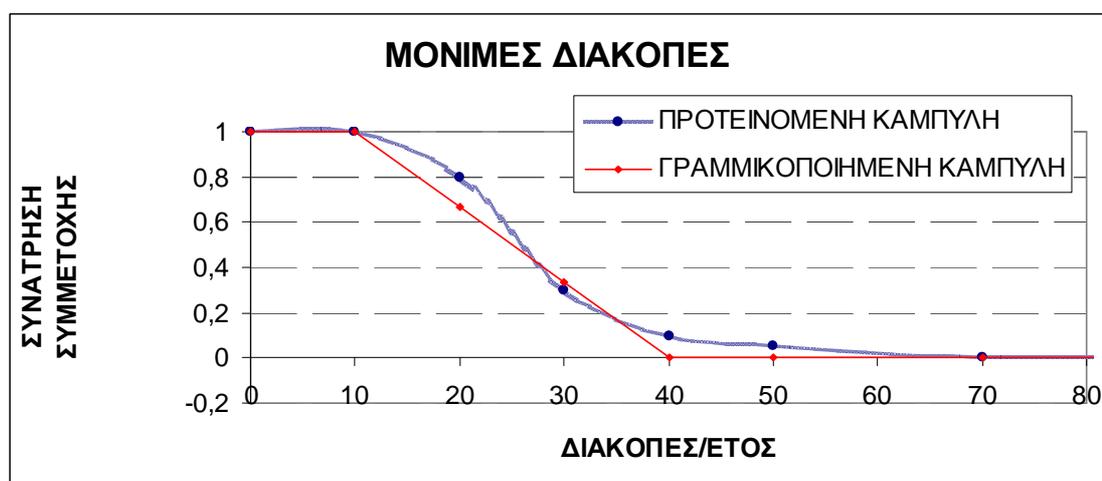
ΔΙΑΚΟΠΕΣ/ΕΤΟΣ	ΓΛΩΣΣΙΚΟΣ ΟΡΟΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ	ΤΙΜΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ
0	Ελάχιστες	1.0
10	Ελάχιστες	1.0
20	Πολύ λίγες	0.8
30	Λίγες	0.5
40	Πολλές	0.3
50	Πάρα πολλές	0.2
70	Υπερβολικά πολλές	0.0

ή σε μορφή συνόλου:

$$L_1 = \{0/1.0, 10/1.0, 20/0.8, 30/0.5, 40/0.3, 50/0.2, 70/0.0\}$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το παραπάνω σύνολο είναι κατά κάποιο τρόπο **αυθαίρετο (arbitrary fuzzy set)** και κατά συνέπεια **δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένο**. Κάθε άλλο ασαφές σύνολο το οποίο περιγράφει ικανοποιητικά τις τιμές ένταξης των υποψήφιων θέσεων στο σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος> για ορισμένες κρίσιμες τιμές των διακοπών που μπορούν να συμβούν στην διάρκεια ενός έτους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο πρώτο κριτήριο αντί για το L_1 .

Η γραφική παράσταση αυτής θα είναι:



Σχήμα 4.2.: Γραφική αναπαράσταση του προτεινόμενου και του γραμμικοποιημένου μοντέλου για την μόνιμη διακοπή

Στο παραπάνω διάγραμμα με παχιά μπλε γραμμή παρουσιάζεται η προτεινόμενη γραφική συνάρτηση και με κόκκινη η γραμμικοποιημένη, της οποίας την μαθηματική έκφραση δίνουμε στο 4^ο βήμα.

ΒΗΜΑ 4^ο

Από το σχήμα 4.2. προκύπτει ως καταλληλότερη μορφή για την συνάρτηση τραπεζοειδής καμπύλη. Το σημαντικό είναι η επιλογή των ορίων αλλαγής της κλίσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση από την γραφική παράσταση επιλέγονται οι τιμές 10 και 40. Η τιμή 40 (αντί για 50) επιλέγεται για την αυστηρότητα που μπορεί και προσδίδει στην γραμμικοποιημένη συνάρτηση.

Η τελική συνάρτηση συμμετοχής βάσει των παραπάνω τιμών θα είναι:

$$\mu_1(i) = \begin{cases} 1, & 0 \leq i \leq 10 \\ 1 - (1/30) * (i - 10), & 10 \leq i \leq 40 \\ 0, & 40 \leq i \end{cases} \quad (4.1)$$

όπου **i** είναι η **μεταβλητή** για τις **μόνιμες διακοπές** (interruptions)

Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2, η **γραμμικοποιημένη** συνάρτηση που επιλέχθηκε είναι «**αυστηρότερη**» από την **προτεινόμενη** καμπύλη που θα προέκυπτε από **απλή ένωση των σημείων**. Αυτό είναι σκόπιμο προκειμένου να εξασφαλίζεται πάντα η σωστότερη λειτουργία του συστήματος χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο οποιαδήποτε από τις συσκευές.

4.1.2. ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΔΙΑΚΟΠΗ – 2^ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ

ΒΗΜΑ 1^ο

- ▶ **Όριο στο EN50160 : 10** έως κάποιες εκατοντάδες παροδικές διακοπές τον χρόνο, το **70%** των οποίων η διάρκεια δεν πρέπει να ξεπερνά το **1sec**.

Οι **παροδικές διακοπές** είναι και αυτές από τις **σοβαρότερες** διαταραχές σε ένα δίκτυο. Μερικές φορές είναι εξίσου σημαντικές με τις μόνιμες διακοπές. Για το λόγο αυτό αξίζει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή. Το **όριο** που δίνεται και σε αυτή τη περίπτωση από το **EN50160** είναι στην **ίδια μορφή** με αυτό των **μόνιμων διακοπών**. Δίνεται πως επιτρέπονται από **10** μέχρι **μερικές εκατοντάδες τον χρόνο**.

Η επεξήγηση του ορίου και σε αυτή τη περίπτωση είναι δισδιάστατη. Και εδώ όπως και στις μόνιμες διακοπές επιλέγεται ο **δεύτερος τρόπος** προσέγγισης. Σαν ιδιαιτερότητα αναφέρεται η επιθυμία **ραγδαίας πτώσης** από το **10 στο 100** για την τιμή της συμμετοχής στο σύνολο "πολύ καλή ποιότητα ισχύος". Από το **100 στο 400** μία **ήπια** προσέγγιση του **μηδενός**.

Όπως είναι προφανές οι «**κάποιες εκατοντάδες**» που δίνονται στο πρότυπο προσεγγίζονται ικανοποιητικά από την τιμή των 400. Ο τρόπος που πραγματοποιείται αυτό φαίνεται καλύτερα και στον πίνακα με τις προτεινόμενες τιμές στο **Βήμα 3^ο** και στην προτεινόμενη καμπύλη που προκύπτει.

Στην παρούσα περίπτωση αυτό που προτείνεται μέσω της εργασίας είναι μία εκτίμηση βάσει της εμπειρίας. Η **συσχέτιση** του **πλήθους** των διακοπών με την **διάρκεια** αυτών αποτελεί σημαντικό παράγοντα και πεδίο **μελλοντικής μελέτης**.

ΒΗΜΑ 2^ο

Για το πλήθος των παροδικών διακοπών διατυπώνεται **γλωσσικά** το ακόλουθο **κριτήριο απόφασης**:

< **Αν η μέση τιμή των παροδικών διακοπών που λαμβάνουν χώρα ανά έτος είναι πολύ μικρή, τότε η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος** >

Το παραπάνω κριτήριο είναι δομημένο στην μορφή:

IF A THEN B

Όπου

A η ασαφής πρόταση < η μέση τιμή των παροδικών διακοπών που λαμβάνουν χώρα ανά έτος είναι πολύ μικρή > (Υπόθεση).

B η ασαφής πρόταση < η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος > (Συμπέρασμα).

Η **ασάφεια** που εισάγεται από τον όρο <η μέση τιμή των παροδικών διακοπών που λαμβάνουν χώρα ανά έτος είναι πολύ μικρή> αντιμετωπίζεται από το κριτήριο απόφασης, μέσω της μαθηματικής έκφρασης της ασαφούς πρότασης <το χ είναι πολύ μικρό>, όπου χ είναι η **ασαφής μεταβλητή**, δηλαδή η **μέση τιμή των παροδικών διακοπών ανά έτος** (μέση τιμή γιατί θεωρείται ότι έγιναν κάποια χρόνια μετρήσεις).

Η μαθηματική έκφραση της παραπάνω ασαφούς πρότασης αποτελεί την συνάρτηση συμμετοχής και **εκφράζει τον βαθμό ένταξης** της υποψήφιας θέσης στο **σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος>**, όπως αυτό εκφράζεται από το **2^ο κριτήριο** απόφασης. Ο καθορισμός της συνάρτησης συμμετοχής είναι ένα από τα βασικότερα και με μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον θέματα στην θεωρία των ασαφών συνόλων [40]. Γενικά δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη μέθοδος. Συνήθως, ο καθορισμός γίνεται εμπειρικά και συχνά **αυθαίρετα** (arbitrary), βασιζόμενος σε **υποκειμενικά κριτήρια του μελετητή**.

ΒΗΜΑ 3^ο

Το ασαφές σύνολο αναφοράς για το **2^ο Κριτήριο** δίνεται με την μορφή **γλωσσικών όρων (linguistic terms)** στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 4.2: Ασαφές σύνολο αναφοράς για την μέση τιμή των διακοπών ανά έτος που συμβαίνουν σε ένα δίκτυο.

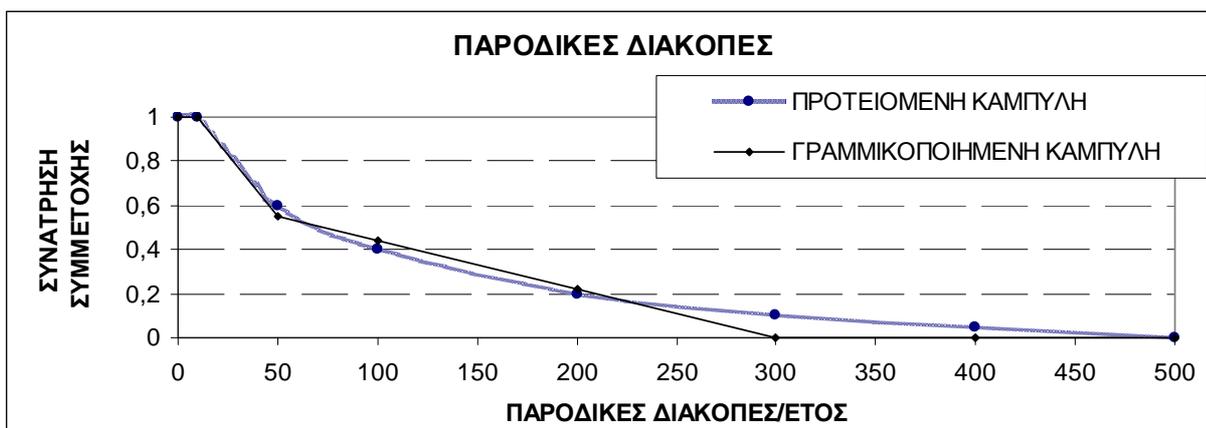
ΔΙΑΚΟΠΕΣ/ΕΤΟΣ	ΓΛΩΣΣΙΚΟΣ ΟΡΟΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ	ΤΙΜΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ
0	πολύ χαμηλή	1.0
10	πολύ χαμηλή	1.0
50	Χαμηλή	0.6
100	Μέτρια	0.4
200	Μέτρια	0.2
300	Υψηλή	0.1
400	Πολύ υψηλή	0.05
500	Πολύ Υψηλή	0.0

ή σε μορφή συνόλου:

$$L_2 = \{0/1.0, 10/1.0, 50/0.6, 100/0.4, 200/0.2, 300/0.1, 400/0.05, 500/0.0\}$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το παραπάνω σύνολο είναι κατά κάποιο τρόπο **αυθαίρετο (arbitrary fuzzy set)** και κατά συνέπεια **δεν** είναι **μονοσήμαντα** ορισμένο. Κάθε άλλο ασαφές σύνολο το οποίο περιγράφει ικανοποιητικά τις τιμές ένταξης των υποψήφιων θέσεων στο σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος> για ορισμένες κρίσιμες τιμές των διακοπών που μπορούν να συμβούν στην διάρκεια ενός έτους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο πρώτο κριτήριο αντί για το L_2 .

Η γραφική παράσταση αυτής θα είναι:



Σχήμα 4.3.: Γραφική αναπαράσταση του προτεινόμενου και του γραμμικοποιημένου μοντέλου για την παροδική διακοπή

Στο παραπάνω διάγραμμα με **παχιά μπλε** γραμμή παρουσιάζεται η **προτεινόμενη** γραφική συνάρτηση και με **μαύρη** η **γραμμικοποιημένη**, της οποίας την μαθηματική έκφραση δίνουμε στο 4^ο βήμα.

ΒΗΜΑ 4^ο

Από το σχήμα 4.3. επιλέγεται η τραπεζοειδής μορφή για την συνάρτηση συμμετοχής. Το σημαντικό είναι η επιλογή των ορίων αλλαγής της κλίσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση από την γραφική παράσταση επιλέγονται οι τιμές 10 και 100.

Η τελική συνάρτηση συμμετοχής βάσει των παραπάνω τιμών θα είναι:

$$\mu_2(m) = \begin{cases} 1, & 0 \leq m \leq 10 \\ 1 - (0.45/40) * (m-10), & 10 \leq m \leq 50 \\ 0.55 - (0.55/250) * (m-50), & 50 \leq m \leq 300 \\ 0, & 300 \leq m \end{cases} \quad (4.2)$$

όπου m είναι η μεταβλητή για τις παροδικές διακοπές (momentary interruptions)

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3. η γραμμικοποιημένη συνάρτηση που επιλέχθηκε είναι «αυστηρότερη» από την προτεινόμενη καμπύλη που θα προέκυπτε από απλή ένωση των σημείων. Αυτό είναι σκόπιμο προκειμένου να εξασφαλίζεται πάντα η σωστότερη λειτουργία του συστήματος χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο οποιαδήποτε από τις συσκευές.

4.1.3. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ – 3^ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ

ΒΗΜΑ 1^ο

► Στο πρότυπο EN50160 δίνονται δύο όρια. Ένα για τα διασυνδεδεμένα και ένα για τα απομονωμένα ηλεκτρικά συστήματα:

→ Διασυνδεδεμένο Σύστημα:

- 99.5% των δειγμάτων να είναι εντός των ορίων -1% / +1% της ονομαστικής τάσης στην διάρκεια ενός έτους.
- 100% των δειγμάτων να είναι εντός των ορίων -6% / +4% της ονομαστικής συχνότητας στην διάρκεια ενός έτους.

→ Απομονωμένο σύστημα:

- 95% των δειγμάτων να είναι εντός των ορίων -2% / +2% της ονομαστικής συχνότητας στην διάρκεια μιας βδομάδας.
- 100% των δειγμάτων να είναι εντός των ορίων -15% / +15% της ονομαστικής συχνότητας σε κάθε περίοδο μέτρησης.

Η μεταβολή στην συχνότητα μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα δυσλειτουργίας αλλά και καταστροφής αρκετών εκ των συσκευών. Για το λόγο αυτό όπως και οι προηγούμενες κατηγορίες χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής. Τα τελευταία χρόνια μετά την διασύνδεση των περισσότερων χωρών των Βαλκανίων με το ευρωπαϊκό δίκτυο οι εμφανίσεις τέτοιων διακυμάνσεων έχουν μειωθεί αρκετά. Πρόβλημα εξακολουθεί να παραμένει το δίκτυο των νησιωτικών περιοχών της χώρας που δεν μπορούν να συνδεθούν με το υπόλοιπο δίκτυο. Όσο μικρότερο είναι ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας τόσο πιο ασταθές και ευάλωτο είναι στις διακυμάνσεις της ζήτησης ενέργειας (καλύτερα αναλύεται και στο 2^ο κεφάλαιο). Κρίνεται λοιπόν σκόπιμος ο διαχωρισμός μεταξύ απομονωμένων και διασυνδεδεμένων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.

Στόχος αποτελούσε να ακολουθηθεί η μορφή των ορίων όπως δίνεται από το πρότυπο **EN50160**. Στο πλαίσιο που κινείται έως τώρα επιδιώκεται η χρήση της αυστηρότερης λύσης. Στο ίδιο σκεπτικό κινείται και η πρόταση για τα όρια σε αυτήν την περίπτωση.

Λόγος γίνεται για κάθε **κατηγορία χωριστά**. Έτσι έχουμε:

- ➔ **Διασυνδεδεμένα** συστήματα: **99.5%** των δειγμάτων εντός **-1% / +1%** της ονομαστικής συχνότητας στην διάρκεια ενός έτους.
- ➔ **Απομονωμένα** συστήματα: **95%** των δειγμάτων εντός **-2% / +2%** της ονομαστικής συχνότητας στην διάρκεια μιας εβδομάδας.

Παρατηρείται ότι η προηγούμενη **μορφή** των ορίων **δεν συμπίπτει** με αυτή για τις δύο **πρώτες περιπτώσεις**. Γίνεται λόγος για ποσοστό δειγμάτων. Ο τρόπος που γίνεται η **μέτρηση** και η **δειγματοληψία** αναλύεται καλύτερα στο [9].

ΒΗΜΑ 2^ο

Για το **ποσοστό των δειγμάτων** εκτός ορίων προβλεπόμενης μεταβολής στην συχνότητα διατυπώνεται **γλωσσικά** το ακόλουθο **κριτήριο απόφασης**:

<Αν το ποσοστό των δειγμάτων που είναι εντός ορίων σε κάποια χρονική διάρκεια είναι πολύ μεγάλο, τότε η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος>

Το παραπάνω κριτήριο είναι δομημένο στην μορφή:

IF A THEN B

Όπου

A η ασαφής πρόταση *<το ποσοστό των δειγμάτων που είναι εντός ορίων σε κάποια χρονική διάρκεια>* (Υπόθεση).

B η ασαφής πρόταση *<η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος>* (Συμπέρασμα).

Η **ασάφεια** που εισάγεται από τον όρο *<το ποσοστό των δειγμάτων που είναι εντός ορίων σε κάποια χρονική διάρκεια >* αντιμετωπίζεται από το κριτήριο απόφασης, μέσω της μαθηματικής έκφρασης της ασαφούς πρότασης *<το χ είναι πολύ μεγάλο>*, όπου χ είναι η **ασαφής μεταβλητή**, δηλαδή **το ποσοστό των δειγμάτων σε κάποια χρονική περίοδο** (θεωρήσαμε χρονική περίοδο και όχι εβδομάδα ή έτος όπως αναφέρεται στα όρια κάνοντας τον κανόνα πιο γενικό και να ισχύει και για τις δύο περιπτώσεις).

Η μαθηματική έκφραση της παραπάνω ασαφούς πρότασης αποτελεί την συνάρτηση συμμετοχής και **εκφράζει τον βαθμό ένταξης** της υποψήφιας θέσης στο **σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος>**, όπως αυτό εκφράζεται από το **3^ο κριτήριο απόφασης**. Ο καθορισμός της συνάρτησης συμμετοχής είναι ένα από

τα βασικότερα και με μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον θέματα στην θεωρία των ασαφών συνόλων [40]. Γενικά δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη μέθοδος. Συνήθως, ο καθορισμός γίνεται εμπειρικά και συχνά **αυθαίρετα** (arbitrary), βασιζόμενος σε **υποκειμενικά κριτήρια του μελετητή**.

ΒΗΜΑ 3^ο

Το ασαφές σύνολο αναφοράς για το **3^ο Κριτήριο** δίνεται με την μορφή **γλωσσικών όρων** (*linguistic terms*) στους επόμενους πίνακες (έναν για κάθε κατηγορία):

Διασυνδεδεμένα Συστήματα

Πίνακας 4.3.1: Ασαφές σύνολο αναφοράς για το ποσοστό των δειγμάτων εντός των προβλεπόμενων ορίων μεταβολής στην συχνότητα στην διάρκεια ενός έτους σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα.

ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΝΤΟΣ ΟΡΙΩΝ (%)	ΓΛΩΣΣΙΚΟΣ ΟΡΟΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ	ΤΙΜΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ
0	Πολύ χαμηλή	0.0
20	Πολύ χαμηλή	0.0
40	Ελάχιστα	0.1
60	Χαμηλή	0.2
80	Μέτρια	0.5
90	Υψηλή	0.8
95	Πολύ υψηλή	0.9

ή σε μορφή συνόλου:

$$L_{3.1} = \{0/0.0, 20/0.0, 40/0.1, 40/0.2, 60/0.2, 80/0.5, 90/0.8, 95/0.9, 99.5/1.0, 100/1.0\}$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το παραπάνω σύνολο είναι κατά κάποιο τρόπο **αυθαίρετο (arbitrary fuzzy set)** και κατά συνέπεια **δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένο**. Κάθε άλλο ασαφές σύνολο το οποίο περιγράφει ικανοποιητικά τις τιμές ένταξης των υποψήφιων θέσεων στο σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος> για ορισμένες κρίσιμες τιμές των διακοπών που μπορούν να συμβούν στην διάρκεια ενός έτους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο πρώτο κριτήριο αντί για το $L_{3.1}$.

Απομονωμένα Συστήματα

Πίνακας 4.3.2: Ασαφές σύνολο αναφοράς για το ποσοστό των δειγμάτων εντός των προβλεπόμενων ορίων στην διάρκεια μιας εβδομάδας σε ένα απομονωμένο σύστημα.

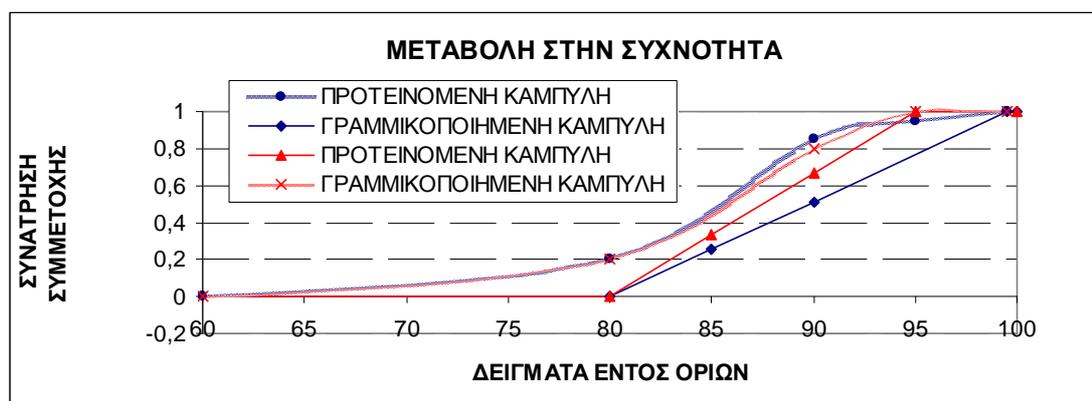
ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΝΤΟΣ ΟΡΙΩΝ (%)	ΓΛΩΣΣΙΚΟΣ ΟΡΟΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ	ΤΙΜΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ
0	Πολύ χαμηλή	0.0
20	Πολύ χαμηλή	0.0
40	Ελάχιστα	0.1
60	Χαμηλή	0.2
80	Μέτρια	0.5
90	Υψηλή	0.8
95	Πολύ υψηλή	1
100	Πολύ υψηλή	1

ή σε μορφή συνόλου:

$$L_{3.2} = \{0/0.0, 20/0.0, 40/0.1, 40/0.2, 60/0.2, 80/0.5, 90/0.8, 95/1, 100/1.0\}$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το παραπάνω σύνολο είναι κατά κάποιο τρόπο **αυθαίρετο (arbitrary fuzzy set)** και κατά συνέπεια **δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένο**. Κάθε άλλο ασαφές σύνολο το οποίο περιγράφει ικανοποιητικά τις τιμές ένταξης των υποψήφιων θέσεων στο σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος> για ορισμένες κρίσιμες τιμές των διακοπών που μπορούν να συμβούν στην διάρκεια ενός έτους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο πρώτο κριτήριο αντί για το $L_{3.2}$.

Η γραφική παράσταση αυτής θα είναι:



Σχήμα 4.4.: Γραφική παράσταση του προτεινόμενου και του γαρμμικοποιημένου μοντέλου για απομονωμένα και διασυνδεδεμένα συστήματα

Στο **Σχήμα 4.4.** παρατίθενται στην ίδια γραφική αναπαράσταση τέσσερις συναρτήσεις. Η **παχιά μπλε** γραμμή είναι η **προτεινόμενη** καμπύλη για τα **διασυνδεδεμένα** συστήματα. Η **λεπτή μπλε** η αντίστοιχη **γαρμμικοποιημένη**.

Η **παχιά κόκκινη** είναι η **προτεινόμενη** για τα **απομονωμένα** συστήματα. Η **λεπτή κόκκινη** η αντίστοιχη **γραμμικοποιημένη**. Οι μαθηματικές εκφράσεις ακολουθούν στο 4^ο Βήμα.

ΒΗΜΑ 4^ο

Η τελική συνάρτηση συμμετοχής για την κάθε περίπτωση χωριστά θα είναι:

$$\mu_{3.1}(f) = \begin{cases} 0, & 0 \leq f \leq 80 \\ (1/19,5) \cdot (f-80), & 80 \leq f \leq 99,5 \\ 1, & 99,5 \leq f \end{cases} \quad (4.3.1)$$

και:

$$\mu_{3.2}(f) = \begin{cases} 0, & 0 \leq f \leq 80 \\ (1/15) \cdot (f-80), & 80 \leq f \leq 95 \\ 1, & 95 \leq f \end{cases} \quad (4.3.2)$$

όπου **f** είναι η **μεταβλητή** για τις **τιμές των δειγμάτων** της συχνότητας που είναι **εντός** των προβλεπόμενων **ορίων** για την κάθε περίπτωση.

Όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.4**, οι **γραμμικοποιημένες** συνάρτησεις που επιλέχθηκαν είναι «**αυστηρότερες**» από τις **προτεινόμενες** καμπύλες που θα προέκυπταν από απλή ένωση των σημείων. Αυτό είναι σκόπιμο προκειμένου να εξασφαλίζεται πάντοτε η **σωστότερη** λειτουργία του συστήματος χωρίς να θέτουμε σε κίνδυνο οποιαδήποτε από τις συσκευές.

4.1.4. ΒΥΘΙΣΕΙΣ ΤΑΣΕΩΣ – 4^ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ

ΒΗΜΑ 1^ο

- **Όριο που δίνεται στο EN50160 : 10 έως 1000 βυθίσεις το έτος με διάρκεια μικρότερη του ενός δευτερολέπτου που δεν ξεπερνά σε βάθος το 60% της ονομαστικής τάσης. Προκαλείται δε από εισαγωγή μεγάλων φορτίων στο δίκτυο και από καταστάσεις σφαλμάτων.**

Οι **βυθίσεις** στην τάση αποτελούν και αυτές μία από τις **σοβαρότερες διαταραχές**. Από τις καταγραφές που υπάρχουν παρατηρείται ότι προκαλούν πολύ **σοβαρά προβλήματα σε όλους τους καταναλωτές**. Πολλές φορές τα προβλήματα αυτά είναι **εξίσου σημαντικά** με αυτά που προκαλούν **μόνιμες και παροδικές διακοπές** (2^ο κεφάλαιο).

Το όριο που προτείνεται από το **EN50160** έχει την μορφή των δύο πρώτων περιπτώσεων. Όπως και στις δύο πρώτες περιπτώσεις έτσι και εδώ μπορεί να γίνει **χρήση των ορίων με δύο τρόπους**. Και σε αυτή τη περίπτωση επιλέγεται ο **δεύτερος** τρόπος. Δηλαδή και σύμφωνα και με την παραδοχή που πραγματοποιήσαμε στην αρχή του κεφαλαίου το 10 και το 1000 οριοθετούν την αρχή και το τέλος του προβλήματος. Κάτω από 10 βυθίσεις το έτος ιδανική κατάσταση. Πάνω από 1000 απαράδεκτη.

Εξαιτίας της **σημαντικότητας των βυθίσεων** θα πρέπει κύρια επιδίωξη να είναι η **ραγδαία πτώση** της συνάρτησης συμμετοχής στην **αύξηση του αριθμού των βυθίσεων**.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Το όριο που δίνεται στο **EN50160** είναι πολύ γενικό. Θεωρεί ότι το βάθος και η διάρκεια της βύθισης δεν μπορεί να υπερβεί κάποιο όριο (**60%** για το **βάθος** και **1 sec** για την **διάρκεια**). Έτσι γίνεται αποδεκτό ότι όλες οι βυθίσεις έχουν την ίδια επίπτωση ανεξαρτήτου διάρκειας και βάθους. Αυτό δεν είναι απόλυτα σωστό. Η παραδοχή αυτή που γίνεται στο **EN50160** σίγουρα θα έχει κάποιες **απώλειες**. Για το λόγο αυτό σωστότερο θα ήταν η **ανάπτυξη μιας συνάρτησης** που θα **συνδυάζει διάρκεια και βάθος** για την εξαγωγή ενός **συντελεστή** αντιπροσωπευτικότερου για τις **βυθίσεις**. Η ανάπτυξη αυτής της συσχέτισης ξεφεύγει από τα πλαίσια της διπλωματικής και αφήνεται για μελλοντική μελέτη.

ΒΗΜΑ 2^ο

Για το πλήθος των βυθίσεων διατυπώνεται **γλωσσικά** το ακόλουθο **κριτήριο απόφασης**:

<Αν η μέση τιμή των βυθίσεων που λαμβάνουν χώρα ανά έτος είναι πολύ μικρή, τότε η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος>

Το παραπάνω κριτήριο είναι δομημένο στην μορφή:

IF A THEN B

Όπου

A η ασαφής πρόταση *<η μέση τιμή των βυθίσεων που λαμβάνουν χώρα ανά έτος είναι πολύ μικρή>* (Υπόθεση).

B η ασαφής πρόταση *<η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος>* (Συμπέρασμα).

Η **ασάφεια** που εισάγεται από τον όρο *<η μέση τιμή των βυθίσεων που λαμβάνουν χώρα ανά έτος είναι πολύ μικρή>* αντιμετωπίζεται από το κριτήριο απόφασης, μέσω της μαθηματικής έκφρασης της ασαφούς πρότασης *<το χ είναι πολύ μικρό>*, όπου χ είναι η **ασαφής μεταβλητή**, δηλαδή η **μέση τιμή των διακοπών ανά έτος** (μέση τιμή γιατί θεωρείται ότι έγιναν κάποια χρόνια μετρήσεις).

Η μαθηματική έκφραση της παραπάνω ασαφούς πρότασης αποτελεί την συνάρτηση συμμετοχής και **εκφράζει τον βαθμό ένταξης** της υποψήφιας θέσης στο **σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος>**, όπως αυτό εκφράζεται από το **4^ο κριτήριο απόφασης**. Ο καθορισμός της συνάρτησης συμμετοχής είναι ένα από τα βασικότερα και με μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον θέματα στην θεωρία των ασαφών συνόλων [40]. Γενικά δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη μέθοδος. Συνήθως, ο καθορισμός γίνεται εμπειρικά και συχνά **αυθαίρετα** (arbitrary), βασιζόμενος σε **υποκειμενικά κριτήρια του μελετητή**.

ΒΗΜΑ 3^ο

Το ασαφές σύνολο αναφοράς για το **4^ο Κριτήριο** δίνεται με την μορφή **γλωσσικών όρων** (*linguistic terms*) στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 4.4: Ασαφές σύνολο αναφοράς για το ποσοστό των δειγμάτων που βγαίνουν εκτός ορίων στην διάρκεια μιας εβδομάδας.

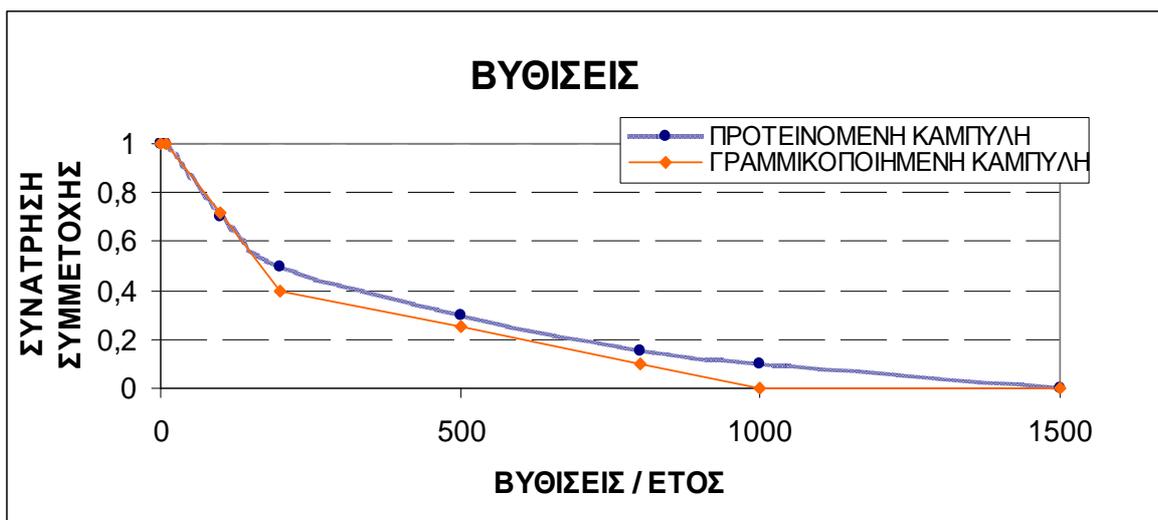
ΒΥΘΙΣΕΙΣ/ΕΤΟΣ	ΓΛΩΣΣΙΚΟΣ ΟΡΟΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ	ΤΙΜΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ
0	Πολύ χαμηλή	1.0
10	Πολύ χαμηλή	1.0
100	Χαμηλή	0.7
200	Μέτρια	0.5
500	Υψηλή	0.3
800	Πολύ Υψηλή	0.15
1000	Πολύ υψηλή	0.1
1500	Πάρα πολύ υψηλή	0.0

ή σε μορφή συνόλου:

$$L_4 = \{0/1.0, 10/1.0, 100/0.7, 200/0.5, 500/0.3, 1000/0.1, 1500/0.0\}$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το παραπάνω σύνολο είναι κατά κάποιο τρόπο **αυθαίρετο (arbitrary fuzzy set)** και κατά συνέπεια **δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένο**. Κάθε άλλο ασαφές σύνολο το οποίο περιγράφει ικανοποιητικά τις τιμές ένταξης των υποψήφιων θέσεων στο σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος> για ορισμένες κρίσιμες τιμές των διακοπών που μπορούν να συμβούν στην διάρκεια ενός έτους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο πρώτο κριτήριο αντί για το **L₄**.

Η γραφική παράσταση αυτής θα είναι:



Σχήμα 4.5.: Γραφική παράσταση του προτεινόμενου και του γραμμικοποιημένου μοντέλου για τις βυθίσεις

Στο Σχήμα 4.5. η παχιά μπλε γραμμή αποτελεί την καμπύλη για τις προτεινόμενες τιμές στον πίνακα 4.4.. Η πορτοκαλί γραμμή είναι η γραμμικοποιημένη συνάρτηση της οποίας η μαθηματική έκφραση δίνεται παρακάτω. Είναι εμφανές ότι η καμπύλη **αλλάζει δύο φορές κλίση**. Αυτό θα γίνει πιο εύκολα κατανοητό στην μαθηματική συνάρτηση που ακολουθεί.

ΒΗΜΑ 4^ο

Η τελική συνάρτηση συμμετοχής βάσει των παραπάνω τιμών θα είναι:

$$\mu_4(d) = \begin{cases} 1, & 0 \leq d \leq 10 \\ 1-(0,6/190)*(d-10), & 10 \leq d \leq 200 \\ 0,4-(0,4/800)*(d-200), & 200 \leq d \leq 1000 \\ 0, & 1000 \leq d \end{cases} \quad (4.4.)$$

όπου **d** είναι η μεταβλητή που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση των βυθίσεων.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5. η γραμμικοποιημένη συνάρτηση που επιλέξαμε είναι «αυστηρότερη» από τις προτεινόμενες καμπύλες που θα προέκυπτε από απλή ένωση των σημείων. Αυτό είναι σκόπιμο προκειμένου να εξασφαλίζεται πάντα η σωστότερη λειτουργία του συστήματος χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο οποιαδήποτε από τις συσκευές. Από την παραπάνω συνάρτηση συμμετοχής που

δίνεται γίνεται κατανοητή και η αλλαγή της κλίσης της καμπύλης στο σχήμα 4.5.

4.1.5. ΦΛΙΚΕΡ – 5^ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ

ΒΗΜΑ 1^ο

► **Όριο στο EN50160** : Το 95% των δειγμάτων να έχουν P_{It} μικρότερο της μονάδας.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί το φλίκερ αποτελεί μία απεικόνιση της ευαισθησίας του ματιού στο **τρεμοπαίξιμο του φωτός**. Στην θεωρία του 2^{οο} κεφαλαίου έγινε αναφορά σε δυο δείκτες που χαρακτηρίζουν το φαινόμενο της «μαρμαρυγνής» (ελληνική απόδοση του όρου φλίκερ). Ο ένας είναι για **σύντομο** χρονικό διάστημα (P_{st}) και ο άλλος για **μεγαλύτερο** χρονικό διάστημα (P_{It}). Ο τελευταίος είναι και η βάση διατύπωσης για τον ορισμό του ορίου στο [9].

Και σε αυτή τη περίπτωση γίνεται λόγος για **ποσοστό δειγμάτων** εντός ορίων όπως έγινε και στην **μεταβολή της συχνότητας**. Ο τρόπος που θα το χειρισμού λοιπόν είναι παρόμοιος. Αναφέρεται ότι ο τρόπος **μετρήσεων** και **δειγματοληψίας** εξηγείται στο [9].

Στην παρούσα εργασία αυτό που προτείνεται είναι μία **εκτίμηση βάσει της εμπειρίας**.

ΒΗΜΑ 2^ο

Για το ποσοστό των δειγμάτων για το φλίκερ εντός ορίων διατυπώνεται **γλωσσικά** το ακόλουθο κριτήριο απόφασης:

<Αν το ποσοστό των δειγμάτων που είναι εντός ορίων για το P_{It} είναι πολύ μεγάλο, τότε η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος>

Το παραπάνω κριτήριο είναι δομημένο στην μορφή:

IF A THEN B

Όπου

A η ασαφής πρόταση < το ποσοστό των δειγμάτων που είναι εντός ορίων για το P_{It} είναι πολύ μεγάλο > (Υπόθεση).

B η ασαφής πρόταση < η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος > (Συμπέρασμα).

Η **ασάφεια** που εισάγεται από τον όρο < το ποσοστό των δειγμάτων που είναι εντός ορίων για το P_{It} είναι πολύ μεγάλο > αντιμετωπίζεται από το κριτήριο απόφασης, μέσω της μαθηματικής έκφρασης της ασαφούς πρότασης <το χ είναι πολύ μεγάλο>, όπου χ είναι η **ασαφής μεταβλητή**, δηλαδή **το ποσοστό των δειγμάτων που είναι εντός ορίων για το P_{It}** .

Η μαθηματική έκφραση της παραπάνω ασαφούς πρότασης αποτελεί την συνάρτηση συμμετοχής και **εκφράζει τον βαθμό ένταξης** της υποψήφιας θέσης στο **σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος>**, όπως αυτό εκφράζεται από το **5^ο κριτήριο απόφασης**. Ο καθορισμός της συνάρτησης συμμετοχής είναι ένα από τα βασικότερα και με μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον θέματα στην θεωρία των ασαφών συνόλων [40]. Γενικά δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη μέθοδος. Συνήθως, ο καθορισμός γίνεται εμπειρικά και συχνά **αυθαίρετα** (arbitrary), βασιζόμενος σε **υποκειμενικά κριτήρια του μελετητή**.

ΒΗΜΑ 3^ο

Το ασαφές σύνολο αναφοράς για το **5^ο Κριτήριο** δίνεται με την μορφή **γλωσσικών όρων (linguistic terms)** στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 4.5: Ασαφές σύνολο αναφοράς για το ποσοστό των δειγμάτων εντός ορίων για το P_{It} στην διάρκεια μιας εβδομάδας.

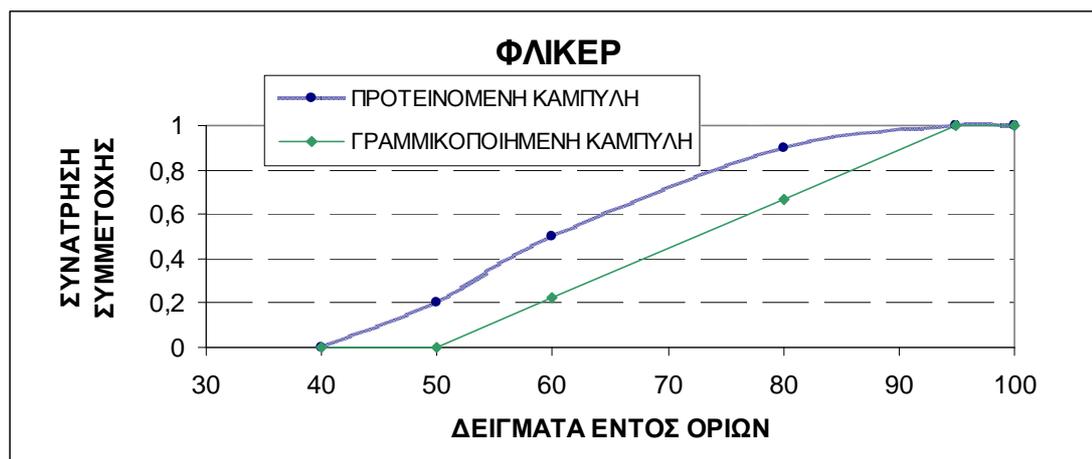
ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΝΤΟΣ ΟΡΙΩΝ (%)	ΓΛΩΣΣΙΚΟΣ ΟΡΟΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ	ΤΙΜΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ
40	Πολύ χαμηλός	0.0
50	Χαμηλή	0.2
60	Μέτρια	0.5
80	Υψηλή	0.8
95	Πολύ υψηλή	1.0
100	Πολύ υψηλή	1.0

ή σε μορφή συνόλου:

$$L_5 = \{ 40/0.0, 50/0.2, 60/0.5, 80/0.8, 95/0.9, 100/1.0 \}$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το παραπάνω σύνολο είναι κατά κάποιο τρόπο **αυθαίρετο (arbitrary fuzzy set)** και κατά συνέπεια δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένο. Κάθε άλλο ασαφές σύνολο το οποίο περιγράφει ικανοποιητικά τις τιμές ένταξης των υποψήφιων θέσεων στο σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος> για ορισμένες κρίσιμες τιμές των διακοπών που μπορούν να συμβούν στην διάρκεια ενός έτους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο πρώτο κριτήριο αντί για το L_5 .

Η γραφική παράσταση αυτής θα είναι:



Σχήμα 4.6.: Γραφική παράσταση του προτεινόμενου και του γραμμικοποιημένου μοντέλου για το ποσοστό των δειγμάτων για φλίκερ

Στο παραπάνω σχήμα η **παχιά μπλε** γραμμή απεικονίζει την **ένωση των σημείων** από τις **προτεινόμενες** τιμές για τα ποσοστά και η **πράσινη** την συνάρτηση από την **μαθηματική έκφραση** που δίνεται στο 4^ο βήμα.

ΒΗΜΑ 4^ο

Η τελική συνάρτηση συμμετοχής βάσει των παραπάνω τιμών θα είναι:

$$\mu_5(fl) = \begin{cases} 0, & 0 \leq fl \leq 50 \\ (1/45) * (fl - 50), & 50 \leq fl \leq 95 \\ 1, & 95 \leq fl \end{cases} \quad (4.5.)$$

όπου **fl** χρησιμοποιείται για την **μεταβλητή** που θα απεικονίζει τα **ποσοστά** των δειγμάτων που θα είναι **εντός ορίων** για την μέτρηση του **φλίκερ**.

Όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.6.** η **γραμμικοποιημένη** συνάρτηση που επιλέχθηκε είναι «**αυστηρότερη**» από τις **προτεινόμενες** καμπύλες που θα προέκυπτε από απλή ένωση των σημείων. Αυτό είναι σκόπιμο προκειμένου να εξασφαλίζεται πάντα η σωστότερη λειτουργία του συστήματος χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο οποιαδήποτε από τις συσκευές.

4.1.6. ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ ΤΩΝ ΦΑΣΕΩΝ – 6^ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ

ΒΗΜΑ 1^ο

- ▶ **Όριο στο EN50160** : Το ποσοστό των δειγμάτων με **ασυμμετρία μικρότερη** του **2%** πρέπει να είναι **μεγαλύτερο** του **95%** στην διάρκεια μιας βδομάδας. Περιστασιακά η **ασυμμετρία** μπορεί να φτάσει **μέχρι** και το **3%**.

Η **ασυμμετρία** των φάσεων αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για εκείνους τους καταναλωτές που έχουν **τριφασικά φορτία**. Ιδιαίτερο πρόβλημα παρουσιάζουν οι τριφασικοί κινητήρες επαγωγής.

Ο **δείκτης** με τον οποίο μετριέται η **ασυμμετρία** δίνεται στο **2^ο** κεφάλαιο. Ο τρόπος δειγματοληψίας δίνεται στο [9]. Και στην περίπτωση αυτή όπως και στην προηγούμενη το όριο σχετίζεται με ποσοστό δειγμάτων. Οπότε η αντιμετώπιση θα είναι παρόμοια.

Στην παρούσα εργασία αυτό που προτείνεται είναι μία **εκτίμηση βάσει της εμπειρίας**.

ΒΗΜΑ 2^ο

Για το ποσοστό των δειγμάτων της **ασυμμετρία** που είναι εντός των ορίων διατυπώνεται **γλωσσικά** το ακόλουθο **κριτήριο απόφασης**:

<Αν το ποσοστό των δειγμάτων εντός ορίων για την ασυμμετρία είναι πολύ μεγάλο, τότε η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος>
Το παραπάνω κριτήριο είναι δομημένο στην μορφή:

IF A THEN B

Όπου

A η ασαφής πρόταση **< το ποσοστό των δειγμάτων εντός ορίων για την ασυμμετρία είναι πολύ μεγάλο >** (Υπόθεση).

B η ασαφής πρόταση **< η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος >** (Συμπέρασμα).

Η **ασάφεια** που εισάγεται από τον όρο **< το ποσοστό των δειγμάτων εντός ορίων για την ασυμμετρία είναι πολύ μεγάλο >** αντιμετωπίζεται από το κριτήριο απόφασης, μέσω της μαθηματικής έκφρασης της ασαφούς πρότασης **<το χ είναι πολύ μεγάλο>**, όπου χ είναι η **ασαφής μεταβλητή**, δηλαδή **το ποσοστό των δειγμάτων εντός ορίων για την ασυμμετρία είναι πολύ μεγάλο**.

Η μαθηματική έκφραση της παραπάνω ασαφούς πρότασης αποτελεί την συνάρτηση συμμετοχής και **εκφράζει τον βαθμό ένταξης** της υπονήφιας θέσης στο **σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος>**, όπως αυτό εκφράζεται από το **6^ο κριτήριο απόφασης**. Ο καθορισμός της συνάρτησης συμμετοχής είναι ένα από τα βασικότερα και με μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον θέματα στην θεωρία των ασαφών συνόλων [40]. Γενικά δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη μέθοδος. Συνήθως, ο καθορισμός γίνεται εμπειρικά και συχνά **αυθαίρετα** (arbitrary), βασιζόμενος σε **υποκειμενικά κριτήρια του μελετητή**.

ΒΗΜΑ 3^ο

Το ασαφές σύνολο αναφοράς για το **6^ο Κριτήριο** δίνεται με την μορφή **γλωσσικών όρων** (*linguistic terms*) στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 4.6.: Ασαφές σύνολο αναφοράς για το ποσοστό των δειγμάτων εντός ορίων στην διάρκεια μιας εβδομάδας.

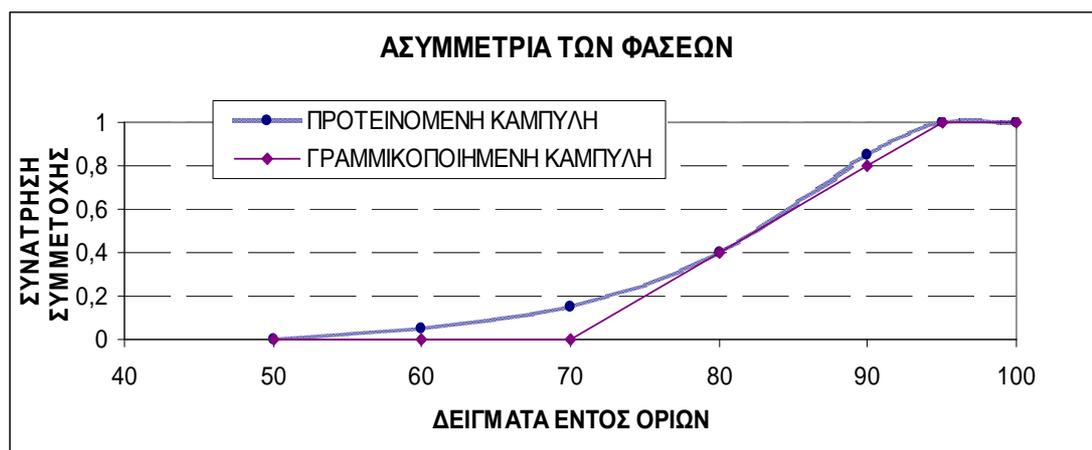
ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΝΤΟΣ ΟΡΙΩΝ (%)	ΓΛΩΣΣΙΚΟΣ ΟΡΟΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ	ΤΙΜΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ
50	Πολύ χαμηλός	0.0
60	Πολύ χαμηλός	0.1
70	Χαμηλή	0.2
80	Μέτρια	0.5
90	Υψηλή	0.8
95	Πολύ υψηλή	1.0
100	Πολύ υψηλή	1.0

ή σε μορφή συνόλου:

$$L_6 = \{ 50/0.0, 60/0.1, 60/0.2, 80/0.5, ,90/0.8, 95/1.0, 100/1.0 \}$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το παραπάνω σύνολο είναι κατά κάποιο τρόπο **αυθαίρετο** (**arbitrary fuzzy set**) και κατά συνέπεια δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένο. Κάθε άλλο ασαφές σύνολο το οποίο περιγράφει ικανοποιητικά τις τιμές ένταξης των υπονήφιων θέσεων στο σύνολο **<πολύ καλή ποιότητα ισχύος>** για ορισμένες κρίσιμες τιμές των διακοπών που μπορούν να συμβούν στην διάρκεια ενός έτους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο **6^ο κριτήριο** αντί για το **L₆**.

Η γραφική παράσταση αυτής θα είναι:



Σχήμα 4.7.: Γραφική παράσταση του προτεινόμενου και του γραμμικοποιημένου μοντέλου για το ποσοστό των δειγμάτων για ασυμμετρία

Στο Σχήμα 4.7. με παχιά μπλε γραμμή δίνεται η καμπύλη από απλή ένωση των προτεινόμενων τιμών και με μοβ η αντίστοιχη της γραμμικοποιημένης συνάρτησης.

ΒΗΜΑ 4^ο

Η τελική συνάρτηση συμμετοχής βάσει των παραπάνω τιμών θα είναι:

$$\mu_6(a) = \begin{cases} 0, & 0 \leq a \leq 70 \\ (1/25) \cdot (a-70), & 70 \leq a \leq 95 \\ 1, & 95 \leq a \end{cases} \quad (4.6.)$$

όπου **a** είναι η μεταβλητή που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση του ποσοστού των δειγμάτων εντός ορίων για την ασυμμετρία.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.7. η γραμμικοποιημένη συνάρτηση που επιλέξαμε είναι «αυστηρότερη» από τις προτεινόμενες καμπύλες που θα προέκυπτε από απλή ένωση των σημείων. Αυτό είναι σκόπιμο προκειμένου να εξασφαλίζεται πάντα η σωστότερη λειτουργία του συστήματος χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο οποιαδήποτε από τις συσκευές.

4.1.7. ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ – 7^ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ

ΒΗΜΑ 1^ο

- ▶ **Όριο στο EN50160** : Για κάθε τάξη αρμονικής θα πρέπει το 95% των δειγμάτων από τις μετρήσεις να είναι εντός των ορίων που προτείνονται στον πίνακα 4 του **“Power Harmonics Analasysers and Power Quality Analyser, modern power quality measurements techniques”** ([9]).

Οι αρμονικές είναι ένα φαινόμενο το οποίο έχει απασχολήσει σημαντικό αριθμό ερευνητών. Αν και τα αποτελέσματα του φαινομένου **δεν είναι τόσο άμεσα ορατά** όπως αυτά των διακοπών, η περίπτωση χρίζει **ιδιαίτερου ενδιαφέροντος**. Οι αρμονικές άρχισαν να παρατηρούνται στο δίκτυο με τις **νέες τεχνολογίες**. Η **μέτρηση** των αρμονικών γίνεται με **δύο** διαφορετικούς τρόπους:

- ο Είτε μετρώντας **κάθε τάξη** αρμονικής **χωριστά**
- ο Είτε μετρώντας ένα **δείκτη** γενικό για όλες τις αρμονικές τον **THD**.

Στην παρούσα εργασία προτείνεται η χρήση και **των δύο μεθόδων** δίνοντας στον χρήστη του συστήματος την **δυνατότητα επιλογής** μιας εξ αυτών. Πιο συγκεκριμένα:

- **Στην πρώτη μέθοδο** γίνεται χρήση του ορίου όπως αυτό προτείνεται από το πρότυπο **EN50160**. Η διαφοροποίηση που προτείνεται στην παρούσα εργασία **σχετίζεται με το πλήθος των τάξεων που απαρτίζουν το δείγμα**. Η τιμή των **95%** των δειγμάτων εντός ορίων **δεν αλλάζει**. Αυτό που προτείνεται είναι η χρήση μόνο των τάξεων εκείνων που είναι γνωστό πως δημιουργούν πρόβλημα¹. Στην περίπτωση που συμπεριλαμβάνονταν στο πλήθος των δειγμάτων θα αλλοίωνε το αποτέλεσμα: Όπως αναλύθηκε και στο 2^ο Κεφάλαιο πρόβλημα λόγω αρμονικών στην τάση δημιουργείται μόνο αν η μορφή του φορτίου το επιτρέπει. Επομένως ακόμα και αν κάποιες τάξεις αρμονικών που δεν επηρεάζουν την μορφή του ρεύματος², είναι εκτός ορίων, δεν θα δημιουργούνταν πρόβλημα. Αν όμως τις συμπεριλάβουμε στο πλήθος των δειγμάτων τις χρησιμοποιούμε σαν να επηρεάζουν. Έτσι λοιπόν το **95%** των **δειγμάτων** αναφέρεται στις **τάξεις** αυτές των αρμονικών που **δημιουργούν πρόβλημα**. Έτσι θα γίνονται μετρήσεις και χρήση μόνο αυτών των τάξεων. Στην περίπτωση που υπάρχει άγνοια θα καταγράφονται όλες ή θα γίνεται χρήση της επόμενης μεθόδου.
- Η άλλη μέθοδος σχετίζεται με τον δείκτη **THDV (Total Harmonic Distortion Voltage)**. **Το όριο του συγκεκριμένου στατιστικού δείκτη είναι το 8%**. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις έτσι και εδώ από το 0% έως και το 8% το πρόβλημα που δημιουργείται στα φορτία δεν

¹ Δεν δημιουργούν όλες οι τάξεις των αρμονικών πρόβλημα στα φορτία.

² Μεγάλες τάξεις αρμονικών ‘κόβονται’ εύκολα με φίλτρα και δεν επηρεάζουν το ρεύμα που διαρρέει τα φορτία. Επομένως δεν δημιουργεί παραμόρφωση στην τάση. Επομένως και δεν χρειάζεται να συμπεριληφθούν και στο ποσοστό. Το ίδιο ισχύει και για τάξεις στις οποίες το φορτίο στην ανάλυση Fourier έχει μηδενική τιμή.

είναι το ίδιο, αλλά κλιμακώνεται. Εκτός του ορίου η ποιότητα θεωρείται απαράδεκτη. Η μέθοδος αυτή είναι από τη μία **πιο εύχρηστη**, αφού ο δείκτης αυτός **μετράται εύκολα**. Από την άλλη όμως ο δείκτης **εμπεριέχει όλες τις τάξεις** των αρμονικών και κατ' επέκταση **δεν εστιάζει στην πηγή** δημιουργίας του **προβλήματος**. Αν είναι γνωστές οι τάξεις που δημιουργούν το πρόβλημα προτείνεται η **πρώτη μέθοδος**, διαφορετικά αρκούμαστε στην **δεύτερη**.

Στην παρούσα περίπτωση αυτό που προτείνεται μέσω της εργασίας είναι μία **εκτίμηση βάσει της εμπειρίας**.

Τα βήματα που ακολουθούν θα διαρθρωθούν σε 2 περιπτώσεις, όπως ακριβώς και στην ανάλυση της μεταβολής της συχνότητας.

ΒΗΜΑ 2^ο

1^η περίπτωση

Για τις **αρμονικές** διατυπώνεται **γλωσσικά** το ακόλουθο **κριτήριο απόφασης**:

<Αν το ποσοστό των δειγμάτων των αρμονικών εντός ορίων είναι πολύ μεγάλο, τότε η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος>

Το παραπάνω κριτήριο είναι δομημένο στην μορφή:

IF A THEN B

Όπου

A η ασαφής πρόταση **< το ποσοστό των δειγμάτων των αρμονικών εντός ορίων είναι πολύ μεγάλο >** (Υπόθεση).

B η ασαφής πρόταση **< η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος >** (Συμπέρασμα).

Η **ασάφεια** που εισάγεται από τον όρο **< το ποσοστό των δειγμάτων των αρμονικών εντός ορίων είναι πολύ μεγάλο >** αντιμετωπίζεται από το κριτήριο απόφασης, μέσω της μαθηματικής έκφρασης της ασαφούς πρότασης **<το χ είναι πολύ μικρό>**, όπου χ είναι η **ασαφής μεταβλητή**, δηλαδή **το ποσοστό των δειγμάτων των αρμονικών εντός ορίων είναι πολύ μεγάλο**.

Η μαθηματική έκφραση της παραπάνω ασαφούς πρότασης αποτελεί την συνάρτηση συμμετοχής και **εκφράζει τον βαθμό ένταξης** της υποψήφιας θέσης στο **σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος>**, όπως αυτό εκφράζεται από το **7^ο κριτήριο απόφασης**. Ο καθορισμός της συνάρτησης συμμετοχής είναι ένα από τα βασικότερα και με μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον θέματα στην θεωρία των ασαφών συνόλων [40]. Γενικά δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη μέθοδος.

2^η περίπτωση

Για τις **αρμονικές** διατυπώνεται **γλωσσικά** το ακόλουθο **κριτήριο απόφασης**:

<Αν ο δείκτης THD των αρμονικών είναι πολύ μικρός, τότε η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος>

Το παραπάνω κριτήριο είναι δομημένο στην μορφή:

IF A THEN B

Όπου

A η ασαφής πρόταση < ο δείκτης THD των αρμονικών είναι πολύ μικρός > (Υπόθεση).

B η ασαφής πρόταση < η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος > (Συμπέρασμα).

Η **ασάφεια** που εισάγεται από τον όρο < το ποσοστό των δειγμάτων των αρμονικών εντός ορίων είναι πολύ μεγάλο > αντιμετωπίζεται από το κριτήριο απόφασης, μέσω της μαθηματικής έκφρασης της ασαφούς πρότασης < το χ είναι πολύ μικρό >, όπου χ είναι η **ασαφής μεταβλητή**, δηλαδή ο δείκτης THD των αρμονικών είναι πολύ μικρός.

Η μαθηματική έκφραση της παραπάνω ασαφούς πρότασης αποτελεί την συνάρτηση συμμετοχής και **εκφράζει τον βαθμό ένταξης** της υποψήφιας θέσης στο **σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος>**, όπως αυτό εκφράζεται από το **7^ο κριτήριο απόφασης**. Ο καθορισμός της συνάρτησης συμμετοχής είναι ένα από τα βασικότερα και με μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον θέματα στην θεωρία των ασαφών συνόλων [40]. Γενικά δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη μέθοδος.

Συνήθως, ο καθορισμός γίνεται εμπειρικά και συχνά **αυθαίρετα** (arbitrary), βασιζόμενος σε **υποκειμενικά κριτήρια του μελετητή**.

ΒΗΜΑ 3^ο

1^η περίπτωση

Το ασαφές σύνολο αναφοράς για το **7^ο Κριτήριο** δίνεται με την μορφή **γλωσσικών όρων** (*linguistic terms*) στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 4.7.1.: Ασαφές σύνολο αναφοράς για το ποσοστό των δειγμάτων εντός ορίων στην διάρκεια μιας εβδομάδας.

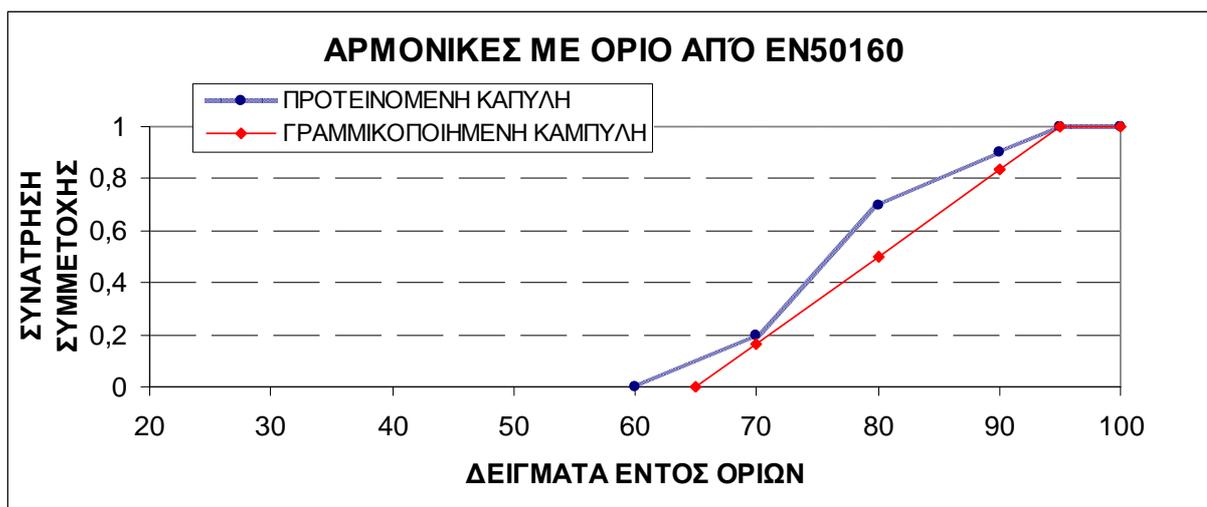
ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΝΤΟΣ ΟΡΙΩΝ (%)	ΓΛΩΣΣΙΚΟΣ ΟΡΟΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ	ΤΙΜΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ
60	Πολύ χαμηλός	0.0
70	Χαμηλή	0.2
80	Μέτρια	0.7
90	Υψηλή	0.9
95	Πολύ υψηλή	1.0
100	Πολύ υψηλή	1.0

ή σε μορφή συνόλου:

$$L_{7.1} = \{ 60/0.0, 70/0.2, 80/0.7, 90/0.9, 95/1.0, 100/1.0 \}$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το παραπάνω σύνολο είναι κατά κάποιο τρόπο **αυθαίρετο (arbitrary fuzzy set)** και κατά συνέπεια δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένο. Κάθε άλλο ασαφές σύνολο το οποίο περιγράφει ικανοποιητικά τις τιμές ένταξης των υπογήφινων θέσεων στο σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος> για ορισμένες κρίσιμες τιμές των διακοπών που μπορούν να συμβούν στην διάρκεια ενός έτους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο πρώτο κριτήριο αντί για το **L_{7,1}**.

Η γραφική παράσταση αυτής θα είναι:



Σχήμα 4.8.1: Γραφική παράσταση του προτεινόμενου και του γραμμικοποιημένου μοντέλου για το ποσοστό των δειγμάτων για υπόταση

Στο **Σχήμα 4.8.1**, με **παχιά μπλε** γραμμή δίνεται η καμπύλη από **απλή ένωση** των **προτεινόμενων τιμών** και με **κόκκινη** η αντίστοιχη **γραμμικοποιημένη** συνάρτηση.

2^η περίπτωση

Πίνακας 4.7.2: Ασαφές σύνολο αναφοράς για τον δείκτη THD στην διάρκεια μιας εβδομάδας.

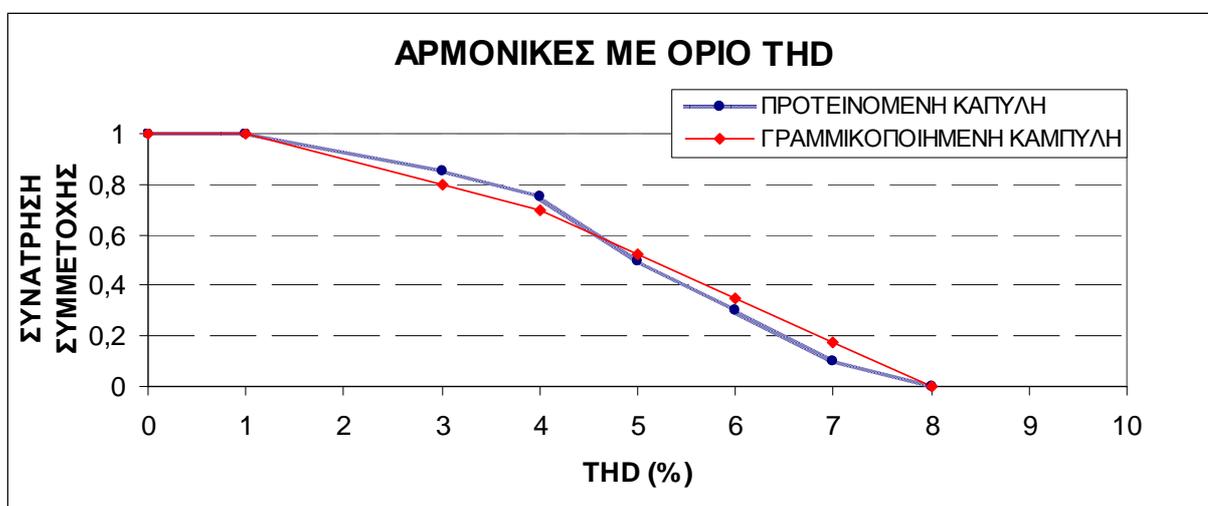
ΔΕΙΚΤΗΣ THD (%)	ΓΛΩΣΣΙΚΟΣ ΟΡΟΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ	ΤΙΜΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ
0.0	Πολύ χαμηλή	1.0
1.0	Πολύ υψηλή	1.0
2.0	Υψηλή	0.9
3.0	Υψηλή	0.75
4.0	Μέτρια	0.5
5.0	Χαμηλή	0.3
7.0	Πολύ υψηλή	0.1
8.0	Πολύ υψηλή	0.0

ή σε μορφή συνόλου:

$$L_{7.2} = \{ 0.0/1.0, 1.0/1.0, 2.0/0.9, 3.0/0.75, 4.0/0.5, 5.0/0.3, 7.0/0.1, 8.0/0.1 \}$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το παραπάνω σύνολο είναι κατά κάποιο τρόπο **αυθαίρετο (arbitrary fuzzy set)** και κατά συνέπεια δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένο. Κάθε άλλο ασαφές σύνολο το οποίο περιγράφει ικανοποιητικά τις τιμές ένταξης των υπογήφινων θέσεων στο σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος> για ορισμένες κρίσιμες τιμές των διακοπών που μπορούν να συμβούν στην διάρκεια ενός έτους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο πρώτο κριτήριο αντί για το $L_{7.2}$.

Η γραφική παράσταση αυτής θα είναι:



Σχήμα 4.8.2.: Γραφική παράσταση του προτεινόμενου και του γραμμικοποιημένου μοντέλου για το ποσοστό των δειγμάτων για υπόταση

Στο Σχήμα 4.8.2. με **παχιά μπλε** γραμμή δίνεται η καμπύλη από **απλή ένωση** των **προτεινόμενων τιμών** και με **κόκκινη** η αντίστοιχη **γραμμικοποιημένη** συνάρτηση.

ΒΗΜΑ 4^ο

Η τελική συνάρτηση συμμετοχής για κάθε μία από τις δύο περιπτώσεις δίνεται από κάτω:

$$\mu_7(h) = \begin{cases} 0, & 0 \leq h \leq 60 \\ (1/35)*(h-60), & 60 \leq h \leq 95 \\ 1, & 95 \leq h \end{cases} \quad (4.7.1)$$

και

$$\mu_7(thd) = \begin{cases} 1, & 0.0 \leq thd \leq 1.0 \\ 1-(0.3/3)*(thd-1), & 1.0 \leq thd \leq 4.0 \\ 0.7-(0.7/4)*(thd-4), & 4.0 \leq thd \leq 8.0 \\ 1, & 8.0 \leq thd \end{cases} \quad (4.7.2)$$

όπου

h είναι η μεταβλητή που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση του ποσοστού των δειγμάτων εντός ορίων για τις αρμονικές.

thd είναι η μεταβλητή που χρησιμοποιείται αντίστοιχα για την αναπαράσταση του στατιστικού δείκτη.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.8.1. και Σχήμα 4.8.2. η γραμμικοποιημένη συνάρτηση που επιλέχθηκε είναι «αυστηρότερη» από την προτεινόμενη καμπύλη που θα προέκυπτε από απλή ένωση των σημείων. Αυτό είναι σκόπιμο προκειμένου να εξασφαλίζεται πάντα την σωστότερη λειτουργία του συστήματος χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο οποιαδήποτε από τις συσκευές.

4.1.8. ΥΠΟΤΑΣΗ / ΥΠΕΡΤΑΣΗ – 8^ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ

ΒΗΜΑ 1^ο

- ▶ **Όριο στο EN50160 : Μέση τάση** το 95% του συνόλου των δειγμάτων πρέπει να είναι εντός του $\pm 10\%$ της ονομαστικής τιμής στην διάρκεια μιας βδομάδας. Στη χαμηλή τάση θα πρέπει πάλι το 95% των δειγμάτων να είναι εντός των ίδιων ορίων, όμως θα πρέπει επίσης και το 100% αυτών να είναι εντός του $+10\%$ / -15% της ονομαστικής τάσης.

Παρατηρώντας την μορφή των ορίων σε κανένα από τα άλλα χαρακτηριστικά δεν υπεισέρχεται ο διαχωρισμός μέσης και χαμηλής τάσης. Στην συγκεκριμένη περίπτωση που μελετάται, παρατηρείται ότι το ένα από τα δύο όρια είναι κοινό ενώ το άλλο (100% των δειγμάτων) δεν απέχει και πολύ από το προηγούμενο. Για το λόγο αυτό υιοθετείται μόνο το πρώτο όριο και για τις δύο περιπτώσεις. Τα διαφορετικά επίπεδα της τάσης γίνεται η παραδοχή ότι δεν επηρεάζονται με διαφορετικό τρόπο.

Στην περίπτωση της εργασίας αυτής δίνεται μία **εκτίμηση βάσει της εμπειρίας**.

ΒΗΜΑ 2^ο

Για το ποσοστό των δειγμάτων της υπότασης και της υπέρτασης που είναι εντός των ορίων διατυπώνεται **γλωσσικά** το ακόλουθο **κριτήριο απόφασης**:

<Αν το ποσοστό των δειγμάτων εντός ορίων για την υπόταση και την υπέρταση είναι πολύ μεγάλο, τότε η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος>

Το παραπάνω κριτήριο είναι δομημένο στην μορφή:

IF A THEN B

Όπου

A η ασαφής πρόταση *< το ποσοστό των δειγμάτων εντός ορίων για την υπόταση και την υπέρταση είναι πολύ μεγάλο >* (Υπόθεση).

B η ασαφής πρόταση *< η υποψήφια θέση έχει πολύ καλή ποιότητα ισχύος >* (Συμπέρασμα).

Η **ασάφεια** που εισάγεται από τον όρο *< το ποσοστό των δειγμάτων εντός ορίων για την υπόταση και την υπέρταση είναι πολύ μεγάλο >* αντιμετωπίζεται από το κριτήριο απόφασης, μέσω της μαθηματικής έκφρασης της ασαφούς πρότασης *<το χ είναι πολύ μεγάλο>*, όπου χ είναι η **ασαφής μεταβλητή**, δηλαδή **το ποσοστό των δειγμάτων εντός ορίων για την υπόταση και την υπέρταση είναι πολύ μεγάλο**.

Η μαθηματική έκφραση της παραπάνω ασαφούς πρότασης αποτελεί την συνάρτηση συμμετοχής και **εκφράζει τον βαθμό ένταξης** της υποψήφιας θέσης στο **σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος>**, όπως αυτό εκφράζεται από το **6^ο κριτήριο απόφασης**. Ο καθορισμός της συνάρτησης συμμετοχής είναι ένα από τα βασικότερα και με μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον θέματα στην θεωρία των ασαφών συνόλων [40]. Γενικά δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη μέθοδος. Συνήθως, ο καθορισμός γίνεται εμπειρικά και συχνά **αυθαίρετα** (arbitrary), βασιζόμενος σε **υποκειμενικά κριτήρια του μελετητή**.

ΒΗΜΑ 3^ο

Το ασαφές σύνολο αναφοράς για το **8^ο Κριτήριο** δίνεται με την μορφή *γλωσσικών όρων (linguistic terms)* στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 4.8.: Ασαφές σύνολο αναφοράς για το ποσοστό των δειγμάτων εντός ορίων στην διάρκεια μιας εβδομάδας.

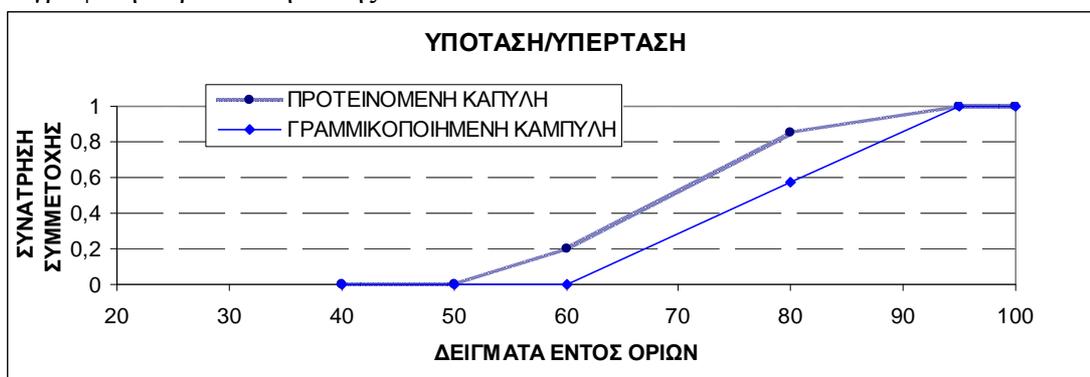
ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΝΤΟΣ ΟΡΙΩΝ (%)	ΓΛΩΣΣΙΚΟΣ ΟΡΟΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ	ΤΙΜΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ
50	Πολύ χαμηλός	0.0
60	Χαμηλή	0.0
70	Μέτρια	0.2
80	Υψηλή	0.5
95	Πολύ υψηλή	1.0
100	Πολύ υψηλή	1.0

ή σε μορφή συνόλου:

$$L_8 = \{ 50/0.0, 60/0.0, 70/0.2, 80/0.5, 95/1.0, 100/1.0 \}$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το παραπάνω σύνολο είναι κατά κάποιο τρόπο **αυθαίρετο (arbitrary fuzzy set)** και κατά συνέπεια δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένο. Κάθε άλλο ασαφές σύνολο το οποίο περιγράφει ικανοποιητικά τις τιμές ένταξης των υπογήφινων θέσεων στο σύνολο <πολύ καλή ποιότητα ισχύος> για ορισμένες κρίσιμες τιμές των διακοπών που μπορούν να συμβούν στην διάρκεια ενός έτους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο **8^ο κριτήριο** αντί για το **L₈**.

Η γραφική παράσταση αυτής θα είναι:



Σχήμα 4.9.: Γραφική παράσταση του προτεινόμενου και του γραμμικοποιημένου μοντέλου για το ποσοστό των δειγμάτων για υπόταση

Στο Σχήμα 4.9. με παχιά μπλε γραμμή δίνεται η καμπύλη από απλή ένωση των προτεινόμενων τιμών και με πορτοκαλί η αντίστοιχη της γραμμικοποιημένης συνάρτησης.

ΒΗΜΑ 4^ο

Η τελική συνάρτηση συμμετοχής βάσει των παραπάνω τιμών θα είναι:

$$\mu_8(u_0) \begin{cases} 0, & 0 \leq u_0 \leq 70 \\ (1/25) \cdot (u_0 - 70), & 70 \leq u_0 \leq 95 \\ 1, & 95 \leq u_0 \end{cases} \quad (4.8)$$

όπου **u₀** είναι η μεταβλητή που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση του ποσοστού των δειγμάτων εντός ορίων για την ασυμμετρία.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.9. η γραμμικοποιημένη συνάρτηση που επιλέχθηκε είναι «**αυστηρότερη**» από την προτεινόμενη καμπύλη που θα προέκυπτε από απλή ένωση των σημείων. Αυτό είναι σκόπιμο προκειμένου να εξασφαλίζεται πάντα την σωστότερη λειτουργία του συστήματος χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο οποιαδήποτε από τις συσκευές.

4.2 ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ

Στο υποκεφάλαιο 4.1. παρουσιάστηκε η κατασκευή της συνάρτησης συμμετοχής, για τις διάφορες διαταραχές. Το **ερώτημα** είναι αν οι συναρτήσεις αυτές μπορούν να **απεικονίσουν ικανοποιητικά την επιρροή κάποιας διαταραχής σε όλους τους καταναλωτές**. Η απάντηση είναι **αρνητική**. Οι συναρτήσεις που δόθηκαν στο προηγούμενο σκέλος είναι γενικότερες και καλύπτουν εν μέρει όλες τις κατηγορίες καταναλωτών. Απευθύνονται σε όλες τις κατηγορίες των καταναλωτών χωρίς όμως να είναι αντιπροσωπευτικές για καμία εξ αυτών. Για να γίνει η συνάρτηση ικανοποιητική για κάποια κατηγορία χρειάζεται κάποια προσαρμογή. Το συγκεκριμένο πραγματοποιήθηκε διότι **ίδια διαταραχή δεν σημαίνει ίδια επιρροή σε δύο διαφορετικούς καταναλωτές**, ακόμα και αν είναι στο **ίδιο δίκτυο** και στην **ίδια περιοχή**. Αιτία αποτελεί η διαφορετική φύση των φορτίων. Για την απεικόνιση αυτής της διαφορετικότητας θεωρήθηκε αρκετά ικανοποιητική η ομαδοποίηση των φορτίων σε τρεις κατηγορίες (η ομαδοποίηση αυτή παρατηρείται και στην διεθνή βιβλιογραφία [9], [10], [11]) :

- **Οικιακοί** καταναλωτές
- **Εμπορικοί** καταναλωτές και
- **Βιομηχανικοί** καταναλωτές

Η ομαδοποίηση αυτή γίνεται κυρίως βάσει του εξοπλισμού που χρησιμοποιεί η κάθε κατηγορία καταναλωτών. π.χ. διαφορετικές ανάγκες τόσο σε ποιότητα όσο και σε επίπεδα ισχύος απαιτούν οι βιομηχανικοί καταναλωτές από τους οικιακούς, επίσης διαφορετική είναι και η επιρροή τους στην ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος. Για τους λόγους αυτούς θεωρήθηκε σωστότερο να υπάρχει **ξεχωριστή αντιμετώπιση** για κάθε **χαρακτηριστικό ανά κατηγορία** καταναλωτών. Υπάρχουν **δύο τρόποι** να το πραγματοποιηθεί αυτό:

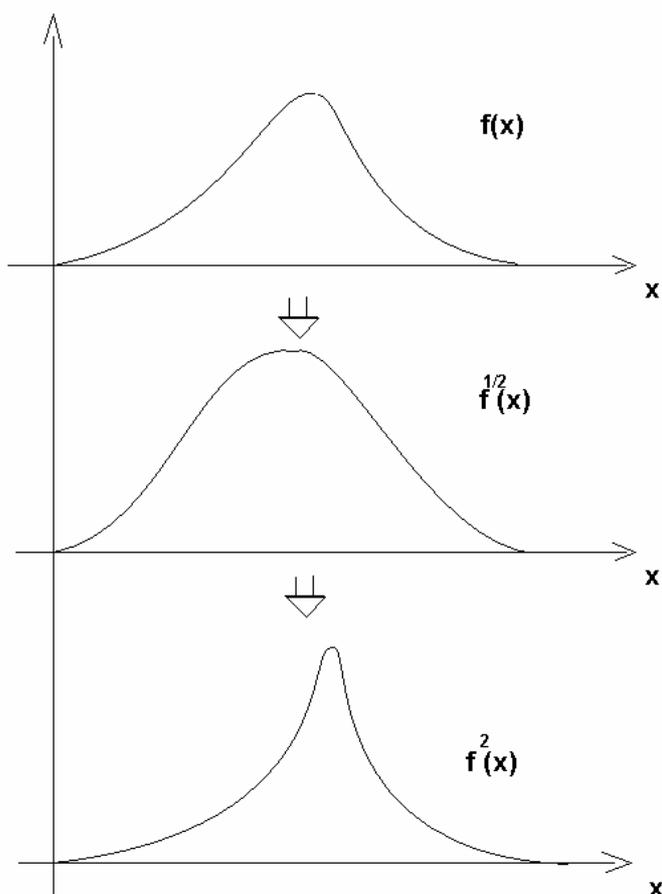
- α) Ορισμός τριών διαφορετικών συναρτήσεων συμμετοχής για κάθε χαρακτηριστικό**
- β) Για κάθε χαρακτηριστικό να ορίζεται μία συνάρτηση συμμετοχής και τρεις συντελεστές, ένας για κάθε κατηγορία.** Η συνάρτηση συμμετοχής θα είναι μία και κάθε **συντελεστής** θα καθορίζει **πόσο σημαντική είναι η συνάρτηση** συμμετοχής για κάθε κατηγορία καταναλωτή.

Στην παρούσα εργασία εφαρμόζεται ο **δεύτερος τρόπος**. Για να γίνει κατανοητή η κάθε τιμή συνεισφοράς που προτείνεται, παρατίθενται παράλληλα και κομμάτια από το 2^ο κεφάλαιο και τα υποκεφάλαια του για την επίδραση των διαταραχών στους καταναλωτές.

Οι τιμές τις οποίες μπορούν να δεχθούν οι συντελεστές είναι από 0 έως 1.0. Ο τρόπος με τον οποίο επιλέχθηκε να γίνει η βαθμολόγηση έχει ως εξής: Το 0 δίνεται σε όσες από τις διαταραχές είναι εντελώς ασήμαντες για την κατηγορία των καταναλωτών που εξετάζεται. Το 1.0 αντιστοίχως απεικονίζει την **απόλυτη σημαντικότητα** κάποιας διαταραχής για την κατηγορία των καταναλωτών που εξετάζεται. Ενδιάμεσες τιμές απεικονίζουν και ενδιάμεσο επίπεδο σημαντικότητας.

Ο τρόπος με τον οποίο οι συντελεστές επιδρούν στην συνάρτηση συμμετοχής και την αλλάζουν βασίζεται στην θεωρία των ασαφών συνόλων. Από τους δύο τρόπους που προτάθηκαν επιλέχθηκε ο δεύτερος. Αυτό συνεπάγεται την ύπαρξη μιας συνάρτησης συμμετοχής, όπως δόθηκε από το προηγούμενο υποκεφάλαιο. Σύμφωνα με την θεωρία ασαφών συνόλων [85] όταν ένα ασαφές σύνολο υψώνεται σε μία δύναμη γίνεται τόσο αυστηρότερο όσο μεγαλύτερη είναι η δύναμη. Αυτό στην προκειμένη περίπτωση σημαίνει πως οι συντελεστές όσο πιο κοντά είναι στην μονάδα τόσο πιο αυστηρό είναι το ασαφές σύστημα. Όσο απομακρύνονται από την μονάδα (πλησιάζουν το μηδέν) τόσο πιο ελαστικό γίνεται το κριτήριο επιλογής. Σε γραφική αναπαράσταση η καμπύλη “ανοίγει” στην περίπτωση που πολλαπλασιάζεται με τιμή μικρότερη της μονάδας και “μικραίνει” στην περίπτωση που πολλαπλασιάζεται με μεγαλύτερη. Σε απόλυτες τιμές (κανονικοποιημένες στην μονάδα) ισχύει το ίδιο για μεγάλες (κοντά στην μονάδα) και μικρές τιμές (κοντά στο μηδέν). Υπάρχει μία ουσιαστική μόνο διαφορά. Και στις δύο περιπτώσεις αν υψωθεί η συνάρτηση σε

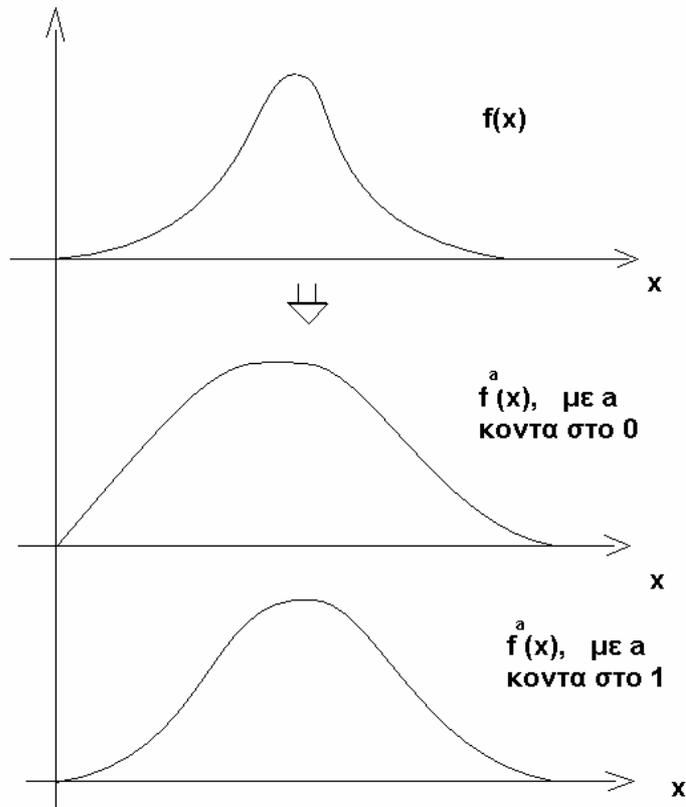
δύναμη σαν αποτέλεσμα θα προκύψει ελαστικότερη συνάρτηση συμμετοχής. Αυτό φαίνεται γραφικά και παρακάτω:



Σχήμα 4.10.: Τρόπος επίδρασης σε μια συνάρτηση συμμετοχής με την ύψωση σε δύναμη μικρότερη και μεγαλύτερη της μονάδας

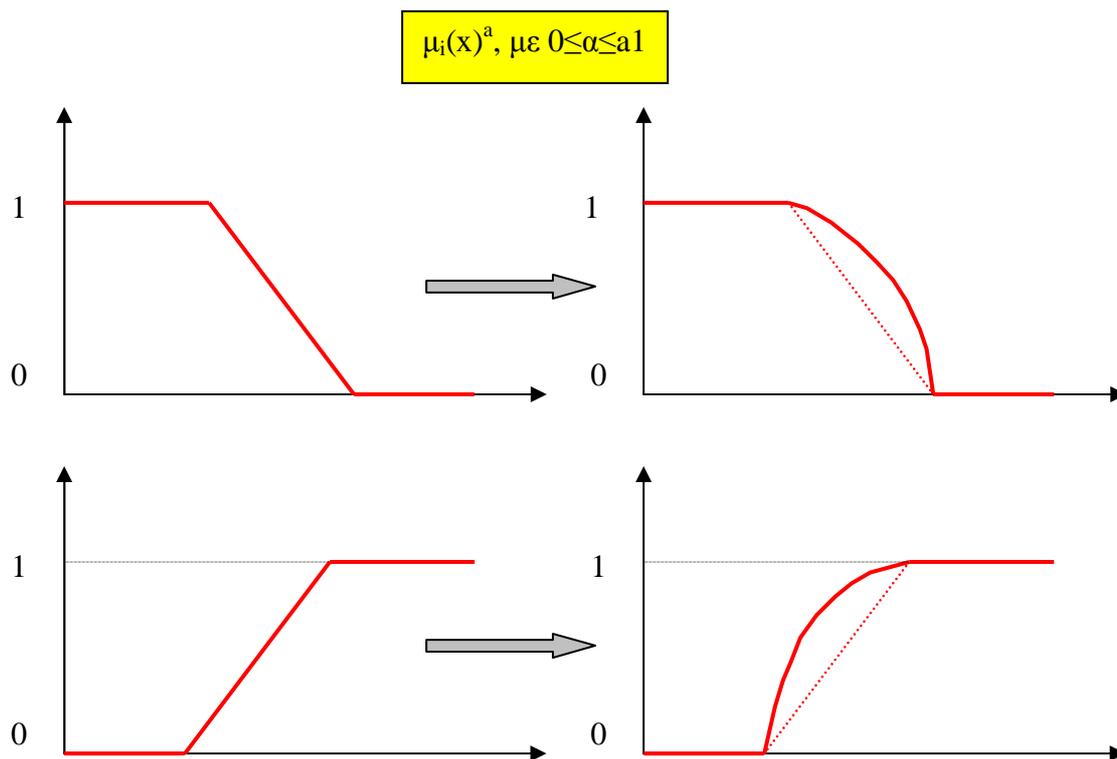
Στο σχήμα 4.10. φαίνεται καθαρά αυτό που ειπώθηκε και με λόγια. Η καμπύλη συμπιέζεται αν την υψώσουμε σε δύναμη μεγαλύτερη της μονάδας και διογκώνεται στην περίπτωση που υψώνεται σε δύναμη χαμηλότερη της μονάδας αλλά πάντα θετικό αριθμό. Με αυτό τον τρόπο δίνεται μία δυνατότητα έχοντας μια συνάρτηση συμμετοχής σαν βάση να δημιουργούνται αυστηρότερες και ελαστικότερες συναρτήσεις συμμετοχής του ίδιου τύπου. Στην περίπτωση που εξετάζεται οι συντελεστές είναι όλοι χαμηλότεροι της μονάδας. Επομένως όλες οι συναρτήσεις θα είναι ελαστικότερες της προτεινόμενης. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.11. αναλόγως της τιμής του συντελεστή αυξάνεται η μειώνεται και η ελαστικότητα που αποκτά η νέα συνάρτηση. Για τιμές του συντελεστή κοντά στην μονάδα η συνάρτηση είναι σχεδόν το ίδιο αυστηρή με την προτεινόμενη. Αντίθετα όταν οι τιμές των συντελεστών προσεγγίζουν την μονάδα τότε η συνάρτηση τείνει να προσεγγίσει την μονάδα και να είναι απόλυτα ελαστική. Για τους παραπάνω λόγους η συνάρτηση που προτάθηκε και από την

προηγούμενη περίπτωση θα είναι η αυστηρότερη δυνατή που μπορεί να προταθεί. Εκ των συντελεστών και της σημαντικότητας της κάθε διαταραχής θα προκύπτει και πιο ελαστική συνάρτηση για τις κατηγορίες των καταναλωτών.



Σχήμα 4.11.: Τρόπος επίδρασης σε μια συνάρτηση συμμετοχής με την ύψωση σε δύναμη μικρότερη της μονάδος κοντά στο 0 και το 1 αντίστοιχα

Στην περίπτωση που εξετάζεται οι συναρτήσεις είναι γαμμικοποιημένες και αρχίζουν στο 0.0 και καταλήγουν στο 1.0 ή αντίστροφα. Στις περιπτώσεις αυτές όπως διαπιστώνεται εύκολα τα δύο άκρα παραμένουν σταθερά ενώ η καμπύλη που τα ενώνει διογκώνεται στην περίπτωση που υψώνεται σε δύναμη μικρότερη της μονάδος. Αυτό φαίνεται και στο **Σχήμα 4.12.** και για τις δύο περιπτώσεις.



Σχήμα 4.12.: Τρόπος επίδρασης σε γραμμικοποιημένη συνάρτηση συμμετοχής με την ύψωση σε δύναμη μικρότερη της μονάδος κοντά στο 0 και το 1 αντίστοιχα

Στο **Σχήμα 4.12.** στα σχήματα που βρίσκονται μετά την συνεπαγωγή η διακεκομμένη κόκκινη γραμμή υπάρχει για να είναι φανερή η προηγούμενη μορφή της συνάρτησης, πριν την ύψωση στην δύναμη.

Στο πλαίσιο της εργασίας προτάθηκαν και άλλες λύσεις. Η μία ήταν ο συντελεστής να πολλαπλασιάζεται με την συνάρτηση για να δείχνει την σημαντικότητα και όχι να την υψώνει σε δύναμη. Με τις τιμές που δίνονταν στους συντελεστές αυτό θα είχε αντίθετο αποτέλεσμα. Δηλαδή η σημαντικότητα μιας διαταραχής που εκφράζεται με τιμή κοντά στην μονάδα αν πολλαπλασιαζόταν με την αντίστοιχη συνάρτηση συμμετοχής θα προέκυπτε συνάρτηση ελαφρώς αυστηρότερη. Αντίθετα η τιμή που είναι κοντά στο μηδέν και δίνει απόλυτη ελαστικότητα (όχι σημαντική διαταραχή) θα έδινε μέσω του πολλαπλασιασμού συνάρτηση απόλυτα αυστηρή. Σε γραφική αναπαράσταση με τον πολλαπλασιασμό προκύπτει συμπίεση της καμπύλης προς τα άνω ή τα κάτω. Στην περίπτωση που οι τιμές είναι μικρότερες της μονάδος τότε προκύπτει συμπίεση προς τα κάτω και μάλιστα τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερη η τιμή. Άρα και πιο αυστηρή καμπύλη. Δύο ήταν οι προτάσεις για την λύση του προβλήματος που επικράτησαν. Όμως καμία από τις δύο για λόγους που παρατίθενται δεν έπεισε για την καταλληλότητα της περισσότερο από την ύψωση σε δύναμη. Για την πληρότητα της εργασίας παρατίθενται και οι άλλες λύσεις που προτάθηκαν:

- Για την λύση του προβλήματος θα μπορούσαν οι συντελεστές να είχαν τιμή μεγαλύτερης της μονάδος. Έτσι οι σημαντικές διαταραχές θα

πολλαπλασιάζονταν με μεγαλύτερες τιμές π.χ. 4, 5, 6. Οι πιο ασήμαντες διαταραχές θα υψώνονται σε δυνάμεις κοντά στην μονάδα. Αυτό το σύστημα θα έδινε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ο λόγος που επιλέχθηκε η βαθμολόγηση με τιμές από την θεωρία των ασαφών συστημάτων είναι για την πλησιέστερη στην πραγματικότητα προσέγγιση. Δεν θα ήταν το ίδιο εύκολη η βαθμολόγηση με αυτά τα μεγέθη την στιγμή που όλα στην ζωή περιστρέφονται γύρω από κλίμακες του 10. Για τον ίδιο λόγο θα ήταν και πιο δύσκολο να γίνει αντιληπτή από τον αναγνώστη η αιτία που δόθηκε αυτή η τιμή. Σε γενικότερο πλαίσιο θεωρήθηκε σκόπιμο να διατηρούνται κατά το δοκούν οι τιμές σε ασαφή πλαίσια για αποφυγή σύγχυσης.

- Δεύτερος τρόπος επίλυσης του προβλήματος θα μπορούσε να αποτελέσει η αντιστροφή των μεγεθών. Δηλαδή τα σημαντικά προβλήματα να βαθμολογούνται με χαμηλές τιμές (κοντά στην μονάδα) και τα λιγότερο σημαντικά προβλήματα με μεγάλες τιμές (κοντά στην μονάδα). Ο λόγος που απορρίφθηκε η συγκεκριμένη μέθοδος έχει να κάνει πάλι με την σωστή απεικόνιση και αντίληψη του προβλήματος. Δηλαδή θα ήταν λόγος δημιουργίας προβλήματος να θεωρούμε πως διαταραχές που συνεισφέρουν περισσότερο στο σύνολο πολύ καλή ποιότητα ισχύος θα βαθμολογούνται στους συντελεστές με χαμηλότερες τιμές. Εκτός αυτού θεωρήθηκε πως η ύψωση σε δύναμη και σε αυτήν την περίπτωση προσεγγίζει καλύτερα το πρόβλημα δίνοντας πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Στο σημείο αυτό επισημαίνεται πως οι παρακάτω τιμές είναι υποκειμενικές και έχουν προκύψει από την αξιολόγηση των προβλημάτων από τον γράφοντα. Κατά συνέπεια δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένες.

Το ερώτημα είναι αν αυτές οι τιμές μπορούσαν να προκύψουν από τις απαντήσεις του ερωτηματολογίου. Αυτό έχει ήδη πραγματοποιηθεί αλλά εμμέσως. Δηλαδή έχει ληφθεί σοβαρά υπόψη η γνώμη των καταναλωτών στις τιμές που προτείνονται. Πέραν αυτού όμως στο ερωτηματολόγιο που συντάχθηκε παρατηρείται πως δόθηκαν από τους καταναλωτές κάποια βάρη που προσδιορίζουν την σημαντικότητα της κάθε διαταραχής. Στην μικρή αυτή έρευνα έλαβαν μέρος καταναλωτές όλων των κατηγοριών. Κυρίως όμως από τις δύο τελευταίες (εμπορικοί και βιομηχανικοί καταναλωτές). Κατά αυτόν τον τρόπο δεν είναι ικανοποιητική η προσέγγιση για την εξαγωγή των συντελεστών από αυτές τις απαντήσεις. Αυτό δεν είναι τυχαίο. Στόχος των τιμών της σημαντικότητας που δίνονταν από τους καταναλωτές δεν ήταν η εξαγωγή κάποιων συντελεστών για τις κατηγορίες των καταναλωτών. Στόχος ήταν ο προσδιορισμός της σχέσης σημαντικότητας μεταξύ των διαφόρων διαταραχών. Ή αλλιώς της σχετικής σημαντικότητας. Δηλαδή πόσο σημαντική είναι κάποια διαταραχή σε σχέση με κάποια άλλη για το σύνολο των καταναλωτών. Ο λόγος που πραγματοποιήθηκε αυτή η συσχέτιση αλλά και ο τρόπος που γίνεται εκμεταλλεύσιμη αυτή η σχέση δίνεται στην επόμενη παράγραφο.

Για κάθε χαρακτηριστικό δίνονται και οι επιπτώσεις του σε κάθε μία από τις ομάδες των καταναλωτών. Σαν αποτέλεσμα δίνεται και η τιμή του συντελεστή για κάθε μία από τις κατηγορίες. Ο συντελεστής δίνεται στην παρακάτω μορφή:

syn_{ab}

με το a να αποτελεί τον αριθμό που καταδεικνύει το κριτήριο που αφορά ο συντελεστής και το b να καταδεικνύει την κατηγορία του καταναλωτή. Τιμές για το a είναι:

- 1, 1^ο κριτήριο απόφασης (μόνιμες διακοπές)
- 2, 2^ο κριτήριο απόφασης (παροδικές διακοπές)
- 3, 3^ο κριτήριο απόφασης (βυθίσεις)
- 4, 4^ο κριτήριο απόφασης (μεταβολή στην συχνότητα)
- 5, 5^ο κριτήριο απόφασης (φλίκερ)
- 6, 6^ο κριτήριο απόφασης (ασυμμετρία φάσεων)
- 7, 7^ο κριτήριο απόφασης (αρμονικές)
- 8, 8^ο κριτήριο απόφασης (υπόταση/ υπέρταση)

Οι τιμές για το b είναι:

- **r**, residential (οικιακοί καταναλωτές)
- **c**, commercial (εμπορικοί καταναλωτές)
- **i**, industrial (βιομηχανικοί καταναλωτές)

4.2.1. ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ

Στις διακοπές αυτές που διαρκούν περισσότερο από 10 λεπτά μπορεί α δημιουργηθούν πολύ σοβαρά προβλήματα σε όλων των ειδών τους καταναλωτές. Όλες οι διαταραχές και όχι μόνο για οι μόνιμες διακοπές μπορεί να έχουν αντιμετωπιστεί και τα προβλήματα που αναφέρονται να μην επηρεάζουν πλέον τα συστήματα. Όμως στο σημείο αυτό γίνεται λόγος για προβλήματα που εμφανίζονται ασχέτως αν έχουν ή όχι αντιμετωπιστεί από τους καταναλωτές. Το κόστος αντιμετώπισης θα είναι και αυτό μεγάλο σε περίπτωση που τα προβλήματα που εμφανίζονται δημιουργούσαν μεγάλο πρόβλημα.

⇒ ΟΙΚΙΑΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ

Είναι το σημαντικότερο πρόβλημα που εμφανίζεται στους οικιακούς καταναλωτές και γίνεται άμεσα αντιληπτό (άλλα προβλήματα π.χ. οι αρμονικές, δεν είναι άμεσα αντιληπτές από τους καταναλωτές). Τα προβλήματα μπορεί να είναι από τον φούρνο και στο φαγητό, σε ψυγεία και καταστροφή προϊόντων, μέχρι και στο νερό σε σπίτια στα νησιά που δεν έχει πίεση και γίνεται χρήση πιεστικού. Άλλο πιθανό πρόβλημα η μη λειτουργία της γκαραζόπορτας στα σπίτια και ο εγκλωβισμός στον ανελκυστήρα σε πολυκατοικίες. Θεωρήθηκε πολύ σημαντική διαταραχή για την διαμόρφωση της ποιότητας ισχύος και για τους λόγο αυτό ο συντελεστής για **οικιακούς καταναλωτές** προτείνεται να έχει τιμή **1.0**.

$$\text{syn}_{1r} = 1.0$$

(4.9)

⇒ ΕΜΠΟΡΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ

Πολλά και σημαντικά είναι τα προβλήματα στους εμπορικούς καταναλωτές από τις μόνιμες διακοπές. Το σημαντικότερο όλων είναι το σβήσιμο του φωτισμού και των ταμειακών μηχανών που αναγκάζουν καταστήματα να παραμένουν κλειστά. Επίσης δεν λειτουργούν οι ηλεκτρονικές συσκευές και έτσι γραφεία που στεγάζονται σε εμπορικούς χώρους δεν μπορούν να λειτουργήσουν. Μεγάλο μπορεί να είναι και το πρόβλημα με χαμένα δεδομένα από απενεργοποίηση χωρίς αποθήκευση. Τα προβλήματα σε αυτήν την κατηγορία δεν αναφέρονται στο σύνολο της μέρας αφού δεν λειτουργεί ο εμπορικός χώρος νυχθημερόν. Παρόλα αυτά επειδή δεν χρησιμοποιείται απεικόνιση των διακοπών με διάρκεια και χρονική περίοδο, αλλά θεωρούνται ως απλά συμβάντα λαμβάνονται υπόψιν κανονικά. Για τους λόγους αυτούς ο συντελεστής που προτείνεται και σε αυτή τη περίπτωση θα είναι το **1.0**.

$$\text{syn}_{Ic} = 1.0 \quad (4.10)$$

⇒ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ

Στους βιομηχανικούς καταναλωτές είναι κατανοητό το πρόβλημα που μπορεί να δημιουργήσει μία μόνιμη διακοπή. Η παραγωγική αλυσίδα κόβεται, η παραγωγή διακόπτεται και η ζημία είναι πολύ μεγάλη. Για τον λόγο αυτό συνήθως εγκαθίστανται δαπανηρά συστήματα που διατηρούν συνεχή τροφοδοσία. Και για τους δύο παραπάνω λόγους θεωρείται πολύ σημαντική και ο συντελεστής που προτείνεται θα είναι και πάλι η μονάδα.

$$\text{syn}_{Ii} = 1.0 \quad (4.11)$$

4.2.2. ΠΑΡΟΔΙΚΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ

Στις διακοπές αυτές που λειτουργούν από ένα μέχρι 10 λεπτά τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργηθούν είναι εξίσου σημαντικά με αυτά της μόνιμης διακοπής.

⇒ ΟΙΚΙΑΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ

Οι οικιακοί καταναλωτές επηρεάζονται μεν αλλά όχι τόσο πολύ όσο στις μόνιμες διακοπές. Με την επαναφορά της τροφοδοσίας ό,τι σύστημα υπάρχει στο σπίτι επανέρχεται αυτόματα. Όμως η διάρκεια κάποιων λεπτών δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα όταν ειδικά μιλάμε για προβλήματα του τύπου εγκλωβισμούς σε ανελκυστήρες ή προσωπικούς υπολογιστές. Για αυτούς τους λόγους ο συντελεστής για τους προτείνεται να είναι **0.8**.

$$\text{syn}_{2r} = 0.8$$

(4.12)

⇒ **ΕΜΠΟΡΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ**

Τα προβλήματα στους εμπορικούς καταναλωτές είναι σημαντικότερα από αυτά των οικιακών καταναλωτών. Παροδική διακοπή σημαίνει διακοπή της λειτουργίας για ταμειακές μηχανές και υπολογιστών στον χώρο εργασίας. Αν σκεφτεί κανείς ότι τα μεγάλα γραφεία έχουν κεντρικό σύστημα τηλεφωνίας που τροφοδοτείται από ρεύμα τα προβλήματα μπορούν να λάβουν σοβαρές διαστάσεις. Αυτό σαν αποτέλεσμα μπορεί να σημαίνει ότι χρειάζεται εγκατάσταση συστημάτων αδιάλειπτης τροφοδοσίας. Εκτιμώντας την σοβαρότητα των προβλημάτων προτείνεται ο συντελεστής να έχει τιμή ίση με **0.9**.

$$\text{syn}_{2c} = 0.9$$

(4.13)

⇒ **ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ**

Για τους βιομηχανικούς καταναλωτές τα προβλήματα είναι σοβαρότερα από ότι για τους υπόλοιπους. Αν διακοπεί η τροφοδοσία στην αλυσίδα παραγωγής, τότε χρειάζεται μία χρονοβόρος διαδικασία για να επανέλθει το σύστημα σε κατάσταση ομαλής λειτουργίας. Για μεγάλα συστήματα χρειάζεται χειροκίνητη παρέμβαση που μπορεί να κρατήσει χρονικά έως και 30 λεπτά καθυστερώντας σημαντικά την παραγωγή. Αυτό σημαίνει ότι το πρόβλημα είναι εξίσου σημαντικό με τις μόνιμες διακοπές. Για τους λόγους αυτούς η μεταβολή αυτή θεωρείται πως είναι εξίσου σημαντική με τις μόνιμες διακοπές και προτείνεται ο συντελεστής να έχει τιμή **1.0**.

$$\text{syn}_{2i} = 1.0$$

(4.14)

4.2.3. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ

Η διακύμανση της συχνότητας είναι η διαταραχή κατά την οποία η συχνότητα απομακρύνεται από την ονομαστική της τιμή. Μεγάλη διακύμανση μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα σε όλες τις κατηγορίες καταναλωτών.

⇒ **ΟΙΚΙΑΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ**

Όλες οι συσκευές επηρεάζονται σημαντικά από την διακύμανση στην συχνότητα, περισσότερο επηρεάζονται όμως οι ηλεκτρονικές συσκευές. Σημαντική η επίδραση γι' αυτό και η τιμή που προτείνεται είναι **0.9**.

$$\text{syn}_{3r} = 0.9 \quad (4.15)$$

⇒ **ΕΜΠΟΡΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ**

Ίδιοι οι λόγοι με παραπάνω ίδια και η τιμή.

$$\text{syn}_{3e} = 0.9 \quad (4.16)$$

⇒ **ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ**

Οι βιομηχανικοί καταναλωτές επηρεάζονται περισσότερο από τις άλλες δύο κατηγορίες και αυτό γιατί συνήθως στην παραγωγική αλυσίδα διαθέτουν μηχανήματα τέτοια που είναι λιγότερο ανθεκτικά σε τέτοιου είδους μεταβολές. Για τον λόγο αυτό η τιμή της συνεισφοράς που προτείνεται είναι **1.0**.

$$\text{syn}_{3i} = 1.0 \quad (4.17)$$

4.2.4. ΒΥΘΙΣΕΙΣ

Οι βυθίσεις είναι από τις σημαντικότερες διαταραχές για όλους τους καταναλωτές και αυτή για την οποία υπάρχουν. Αποτελεί την διαταραχή που συγκεντρώνει τις περισσότερες διαμαρτυρίες για δημιουργία προβλημάτων. Κάθε κατηγορία επηρεάζεται όμως διαφορετικά.

⇒ **ΟΙΚΙΑΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ**

Οι βυθίσεις είναι διαταραχές που μπορεί να προκληθούν είτε από καταστάσεις σφάλματος είτε από εκκίνηση μεγάλων φορτίων. Τα προβλήματα που μπορεί να προκαλέσουν στους οικιακούς καταναλωτές είναι σχεδόν αμελητέα αφού οι περισσότερες οικιακές συσκευές είτε επανέρχονται αυτόματα με την αποκατάσταση της τάσης, είτε το πρόβλημα που μπορεί να

προκληθεί είναι αμελητέο. Το μόνο πρόβλημα είναι σε ηλεκτρονικές συσκευές που αποσυγχρονίζονται (ρολόγια) ή επανεκκινούν οπότε και ενδέχεται να χαθούν μη αποθηκευμένες πληροφορίες. Για τους λόγους αυτούς προτείνεται η τιμή του συντελεστή να είναι **0.6**.

$$\boxed{\text{syn}_{4r} = 0.6} \quad (4.18)$$

⇒ **ΕΜΠΟΡΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ**

Τα προβλήματα δεν αλλάζουν ούτε στους εμπορικούς καταναλωτές. Αντιμετωπίζουν παρόμοια προβλήματα με τους οικιακούς. Η διαφορά για αυτήν την κατηγορία καταναλωτών είναι ότι τα συστήματα που επηρεάζονται είναι πολύ μεγαλύτερης σημασίας από τα συστήματα των οικιακών καταναλωτών, ενώ δεδομένα που ενδέχεται να χαθούν είναι πολύ σημαντικότερα. Για τους λόγους αυτούς προτείνεται η τιμή του συντελεστή να είναι ίση με **0.8**.

$$\boxed{\text{syn}_{4c} = 0.8} \quad (4.19)$$

⇒ **ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ**

Τα προβλήματα στους βιομηχανικούς καταναλωτές είναι πολύ σημαντικότερα από αυτά των άλλων κατηγορών. Αυτό συμβαίνει γιατί επανεκκίνηση των συστημάτων για αυτού του είδους τους καταναλωτές μπορεί να σημαίνει τριαντάλεπτη καθυστέρηση στην παραγωγή και σημαντική ζημία. Με αυτήν την λογική τα αποτελέσματα αυτού του φαινομένου δεν διαφέρουν και πολύ από αυτά για τις προσωρινές διακοπές. Για αυτούς τους λόγους προτείνεται η τιμή για τον συντελεστή να είναι και σε αυτή την περίπτωση **1.0**.

$$\boxed{\text{syn}_{4i} = 1.0} \quad (4.20)$$

4.2.5. ΦΛΙΚΕΡ

Το φλίκερ από τον ορισμό του είναι η γρήγορη διακύμανση της τάσης που καταλαβαίνει το ανθρώπινο μάτι και είναι ενοχλητική για την όραση του. Κατά συνέπεια το πρόβλημα είναι κοινό σε όλους τους καταναλωτές. Παρόλα αυτά από κατηγορία σε κατηγορία η μορφή των προβλημάτων είναι διαφορετική.

⇒ **ΟΙΚΙΑΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ**

Στους οικιακούς καταναλωτές αναφέρθηκε ότι το τρεμοπίξιμο των φώτων μπορεί να είναι αρκετά ενοχλητικό. Αυτό δεν σημαίνει ότι η παρουσία του προκαλεί κάποιο πρόβλημα στις οικιακές εργασίες, ούτε και στις οικιακές εγκαταστάσεις, αλλά δημιουργεί ενόχληση στην παρατήρηση. Αυτό σημαίνει ότι ο άνθρωπος δεν μπορεί να λειτουργήσει όπως σε κανονικές συνθήκες. Δεν γνωρίζουμε ακόμα αν θα μπορούσε να αποτελέσει και αφετηρία οφθαλμολογικών προβλημάτων, αλλά μια τέτοια περίπτωση φαντάζει μακρινή. Για τους λόγους αυτούς προτείνεται η τιμή του συντελεστή να είναι **0.9** (δεν προτείνεται το 1.0 για να φανεί και η διαφορά με τις άλλες δύο κατηγορίες καταναλωτών).

$$\text{syn}_{5r} = \mathbf{0.9} \quad (4.21)$$

⇒ **ΕΜΠΟΡΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ**

Οι εμπορικοί καταναλωτές όπως και οι βιομηχανικοί επηρεάζονται περισσότερο από το φλίκερ. Αυτό συμβαίνει γιατί η οπτική ενόχληση στον χώρο εργασίας μπορεί να αποτελέσει πηγή μείωσης της παραγωγικότητας και κατά συνέπεια μείωσης της απόδοσης των εργαζομένων. Για αυτούς τους λόγους προτείνεται η τιμή του συντελεστή σε αυτήν την περίπτωση να είναι **1.0**.

$$\text{syn}_{5e} = \mathbf{1.0} \quad (4.22)$$

⇒ **ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ**

Παρόμοια η ερμηνεία με την προηγούμενη κατηγορία και η ίδια και η τιμή που προτείνεται.

$$\text{syn}_{5i} = \mathbf{1.0} \quad (4.23)$$

4.2.6. ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ ΦΑΣΕΩΝ

Η ασυμμετρία των φάσεων είναι η διαταραχή εκείνη κατά την οποία το τριφασικό σύστημα των τάσεων παύει να είναι συμμετρικό. Κυρίως επηρεάζονται τριφασικοί καταναλωτές.

⇒ **ΟΙΚΙΑΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ**

Οι οικιακοί καταναλωτές είναι κατεξοχήν μονοφασικοί, ενώ και τριφασικοί να είναι δεν έχουν στην πλειοψηφία τους τριφασικά φορτία για να τροφοδοτήσουν. Το μόνο φορτίο που μπορεί να υποστεί φθορές και όχι βλάβη είναι ο ανελκυστήρας. Για τους λόγους αυτούς η τιμή που προτείνεται είναι **0.1**.

$$\text{syn}_{6r} = 0.1 \quad (4.24)$$

⇒ **ΕΜΠΟΡΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ**

Οι εμπορικοί καταναλωτές έχουν στην πλειοψηφία τους πολλά περισσότερα τριφασικά φορτία από ότι οι οικιακοί καταναλωτές. Η ασυμμετρία των τριών φάσεων κύρια επίδραση έχει σε επαγωγικούς κινητήρες και σε inverter, κατηγορίες φορτίων που για εμπορικούς καταναλωτές είναι ένα μικρό ποσοστό του συνολικού τους φορτίου (κύρια φορτία είναι ψυκτικά συγκροτήματα και φωτισμός, ενώ σε γραφεία σημαντικό μερίδιο αποκτούν και τα υπολογιστικά συστήματα αλλά όλα είναι μονοφασικά φορτία). Για τους λόγους αυτούς προτείνεται η τιμή **0.4**.

$$\text{syn}_{6c} = 0.4 \quad (4.25)$$

⇒ **ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ**

Οι βιομηχανικοί καταναλωτές είναι αυτοί που επηρεάζονται περισσότερο από όλους από τις καταστάσεις ασυμμετρίας φάσεων. Οι λόγοι είναι εμφανείς, σύμφωνα και με αυτά που αναφέρθηκαν έως τώρα. Αποτελούνται κυρίως από inverter και επαγωγικούς κινητήρες. Για τον λόγο αυτό η τιμή που προτείνεται σε αυτήν την περίπτωση είναι η μονάδα.

$$\text{syn}_{6i} = 1.0 \quad (4.26)$$

4.2.7. ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ

Οι αρμονικές αποτελούν ένα από τα προβλήματα για τα οποία διαμαρτύρονται οι βιομηχανικοί καταναλωτές. Δημιουργούνται από

όλες τις κατηγορίες καταναλωτών. Παρόλα αυτά δεν γίνονται αντιληπτές από όλους διότι χρειάζεται μετρητικός εξοπλισμός για να καταγραφούν. Τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργήσουν είναι από ασήμαντα μέχρι και πολύ σοβαρά αναλόγως και την κατηγορία.

⇒ **ΟΙΚΙΑΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ**

Τα προβλήματα που δημιουργούνται στους οικιακούς καταναλωτές από τις αρμονικές είναι σχετικά μικρά σε μέγεθος. Η αλλοίωση της εικόνας της τηλεόρασης και η υπερθέρμανση των μονώσεων αποτελούν κάποια από τα προβλήματα. Σημαντική πηγή αρμονικών αποτελούν τα κλιματιστικά που υπάρχουν στα σπίτια. Συνήθως σε περιοχές που είναι γνωστό ότι υπάρχουν αρμονικές στο δίκτυο εγκαθίστανται σταθεροποιητές τάσης για την προστασία των ηλεκτρονικών συσκευών. Για τους λόγους αυτούς προτείνεται η τιμή του συντελεστή να είναι **0.3**.

$$\text{syn}_{7r} = 0.3$$

(4.27)

⇒ **ΕΜΠΟΡΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ**

Στους εμπορικού καταναλωτές τα προβλήματα είναι σημαντικότερα. Οι αρμονικές μπορεί να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα στον υπολογιστικό εξοπλισμό των εμπορικών χώρων. Επίσης τα πολλά κλιματιστικά που χρησιμοποιούνται σε εμπορικούς χώρους προκαλούν σημαντικές τιμές αρμονικών που μπορεί να προκαλέσουν υπερθέρμανση των μονώσεων και των λοιπών συσκευών. Ο λόγος που κάνει τις αρμονικές να προκαλούν σημαντικότερα προβλήματα σε αυτό το χώρο από ότι στους οικιακούς καταναλωτές αποτελούν οι συστοιχίες πυκνωτών που χρησιμοποιούνται για την βελτίωση του συντελεστή ισχύος. Όπως φαίνεται και στο 2.10.2 η χωρητική αντίδραση των πυκνωτών μπορεί να προκαλέσει συντονισμό και κατ' επέκταση σημαντικά ρεύματα που μπορούν να δράσουν αρνητικά στην λειτουργία των φορτίων. Για τους λόγους αυτούς προτείνεται η τιμή **0.7**.

$$\text{syn}_{7c} = 0.7$$

(4.28)

⇒ **ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ**

Οι βιομηχανικοί καταναλωτές όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις έτσι και εδώ επηρεάζονται πολύ περισσότερο από τις άλλες κατηγορίες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός της υπερθέρμανσης των κινητήρων τους και των καλωδίων. Επίσης λόγω των μεγάλων επαγωγικών φορτίων που διαθέτουν κάνουν χρήση μεγάλων συστοιχιών πυκνωτών για να πετύχουν αντιστάθμιση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία συντονισμού σε τάξεις αρμονικών

που μπορεί να είναι επιζήμιες για τα φορτία τους και για την παραγωγή τους. Για τους λόγους αυτούς προτείνεται η τιμή 1.0.

$$\text{syn}_{\gamma_i} = 1.0 \quad (4.29)$$

4.2.8. ΥΠΟΤΑΣΗ / ΥΠΕΡΤΑΣΗ

Οι υποτάσεις και οι υπερτάσεις αποτελούν πηγή έντονης διαμαρτυρίας από τους καταναλωτές προς τον ΔΕΣΜΗΕ και αυτός είναι και ο λόγος που χρησιμοποιούνται και στο συγκεκριμένο μοντέλο. Όλοι οι εξοπλισμοί επηρεάζονται αλλά πιο πολύ αυτοί των βιομηχανικών.

⇒ ΟΙΚΙΑΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ

Οι οικιακοί καταναλωτές επηρεάζονται σημαντικά από τις υποτάσεις. Όμως ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται σε οικιακές εγκαταστάσεις είναι συνήθως πιο ανθεκτικές από ότι αυτές των εμπορικών και των βιομηχανικών και γι' αυτό η τιμή που προτείνεται είναι **0.6**.

$$\text{syn}_{8r} = 0.6 \quad (4.30)$$

⇒ ΕΜΠΟΡΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ

Οι επιπτώσεις μπορεί να είναι σημαντικές. Από καταστροφή ταμειακών μηχανών μέχρι και σοβαρή μείωση της κατανάλωσης και της παραγωγής από υπολογιστικά συστήματα σε εμπορικούς χώρους. Για τον λόγο αυτό προτείνεται η τιμή **0.8**.

$$\text{syn}_{8c} = 0.8 \quad (4.31)$$

⇒ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ

Οι βιομηχανικοί καταναλωτές επηρεάζονται περισσότερο από όλους τους άλλους. Οι ευαίσθητες ηλεκτρονικές συσκευές που διαθέτουν στην παραγωγική τους αλυσίδα μπορεί να δυσλειτουργήσουν ή να διακόψουν ακόμα και την λειτουργία τους. Απαιτούνται ακριβά προστατευτικά συστήματα για αυτόν τον εξοπλισμό και γενικότερα για τον πανάκριβο βιομηχανικό εξοπλισμό που μπορεί να καταστραφεί. Για τους λόγους αυτούς η τιμή που προτείνεται είναι **1.0**.

$$\text{syn}_{8i} = 1.0 \quad (4.32)$$

Όσα παρουσιάστηκαν λεκτικά συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ ΣΤΗΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ			
ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ		
	ΟΙΚΙΑΚΟΙ	ΕΜΠΟΡΙΚΟΙ	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ
ΜΟΝΙΜΗ ΔΙΑΚΟΠΗ	1	1	1
ΠΑΡΟΔΙΚΗ ΔΙΑΚΟΠΗ	0,8	0,9	1
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	0,9	0,9	1
ΒΥΘΙΣΕΙΣ	0,6	0,8	1
ΦΛΙΚΕΡ	0,9	0,9	1
ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ	0,1	0,4	1
ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ	0,3	0,7	1
ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ/ ΥΠΟΤΑΣΕΙΣ	0,6	0,8	1

Πίνακας 4.9. : Συντελεστές διαταραχών για τις κατηγορίες των διαταραχών.

Η παρατήρηση που πρέπει να γίνει σχετίζεται με την τρίτη στήλη που αφορά τους βιομηχανικούς καταναλωτές. Οι τιμές για όλες τις διαταραχές είναι μονάδα. Αυτό δεν σημαίνει πως όλες οι διαταραχές είναι καταστροφικές για τους βιομηχανικούς καταναλωτές. Ο τρόπος που προτείνονται οι συντελεστές έχει να κάνει με την σχετική σημαντικότητα. Δηλαδή κατασκευάζεται μία συνάρτηση που θεωρείται η αυστηρότερη δυνατή. Αυτή η συνάρτηση απεικονίζει την επίδραση σε κάποια κατηγορία καταναλωτών. Οι άλλες κατηγορίες θα προκύψουν από αυτή την συνάρτηση. Στην προκειμένη περίπτωση τυχαίνει να εκτιμάται πως κάθε διαταραχή επηρεάζει περισσότερο τους βιομηχανικούς από τους άλλους και γι' αυτό και έχουν την τιμή 1. Στην γενική περίπτωση κρίνεται απαραίτητη για αυτή την μέθοδο η ύπαρξη ενός άσσου σε κάθε γραμμή (διαταραχή).

4.3 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΘΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ

4.3.1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΣΑΦΟΥΣ ΔΕΙΚΤΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Ως το βήμα αυτό έχει προσδιορισθεί η συνάρτηση συμμετοχής για κάθε διαταραχή (4.1.) και οι συντελεστές για κάθε κατηγορία καταναλωτών (4.2.). Με τον συνδυασμό των δύο προκύπτει η συνάρτηση συμμετοχής για κάθε

κατηγορία καταναλωτών και για κάθε διαταραχή. Μαθηματικά αυτό υλοποιείται με την ύψωση της συνάρτησης συμμετοχής σε μια δύναμη με εκθέτη τον συντελεστή που προτάθηκε. Απομένει ο συνδυασμός των συναρτήσεων προς την υλοποίηση ενός συστήματος. Η σύνδεση θα πραγματοποιηθεί βάσει της σημαντικότητας κάθε διαταραχής για την ποιότητα ισχύος του συστήματος. Σκόπιμο για τις ανάγκες της εργασίας είναι η σημαντικότητα αυτή να αποτυπώνεται ποσοστιαία βάσει της προσφοράς στο σύνολο «πολύ καλή ποιότητα ισχύος για ένα δίκτυο». Το συγκεκριμένο αποτελούσε ερώτηση στο ερωτηματολόγιο του παραρτήματος Γ. Οι απαντήσεις φαίνονται σε μορφή βαρδογράμματος στο 3^ο Κεφάλαιο (Σχήμα 3.12.).

Ο τρόπος με τον οποίο υλοποιείται το ασαφές σύστημα υπαγορεύεται από την θεωρία των ασαφών συνόλων ([40] [61] [63] [64] [85]). Στην θεωρία υπάρχει η διασύνδεση αιτίας – αποτελέσματος IF A THEN B (4.1). Στα ασαφή συστήματα κρίνεται απαραίτητη η συνεργασία των αποτελεσμάτων για κάθε αίτιο για την επίτευξη ενός κοινού στόχου. Στόχος εδώ αποτελεί η πολύ καλή ποιότητα ισχύος σε ένα δίκτυο. **Αίτια** για την μη επίτευξη αυτού αποτελούν οι διαταραχές, και συγκεκριμένα η συχνότητα και το μέγεθος της εμφάνισης αυτών. Ο τρόπος σύνδεσης αυτών προτάθηκε εμμέσως από τους “έμπειρους” στο ερωτηματολόγιο (ως επί το πλείστον τεχνικοί διευθυντές μεγάλων καταναλωτών). Ο δε τρόπος με τον οποίο η συσχέτιση αυτή χρησιμοποιείται για την κατασκευή του ασαφούς συστήματος σχετίζεται με την «πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων σε αβεβαιότητα». Η μέθοδος αυτή όπως παρουσιάζεται και στα [40] [63] [64] αποτελεί έναν τρόπο για τον συνδυασμό διαφορετικών συμβάντων. Εν προκειμένω στόχος είναι να επιτευχθεί ικανοποιητική ένταξη στο σύνολο «πολύ καλή ποιότητα ισχύος». Προς τούτο κάθε διαταραχή προσφέρει στο σύνολο ανάλογα με την σημαντικότητα της.

Σύμφωνα με την θεωρία των ασαφών συνόλων [85] θα πρέπει κάθε συνάρτηση συμμετοχής να βρίσκεται εντός των ορίων 0 και 1.0. Επίσης θα πρέπει η απεικόνιση του συνόλου να μπορεί να πραγματοποιηθεί από μία μόνο συνάρτηση. Στο υποκεφάλαιο 4.1. προτάθηκε μία εκτίμηση για την συνάρτηση συμμετοχής. Για κάθε κατηγορία καταναλωτών προτάθηκαν στο 4.2.³ οι συντελεστές για την σημαντικότητα κάθε διαταραχής ανά ομάδα καταναλωτών. Επομένως έχει προταθεί με έμμεσο τρόπο συνάρτηση συμμετοχής για κάθε κατηγορία καταναλωτών. Δηλαδή ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η ασαφοποίηση για κάθε κατηγορία καταναλωτών. Η μορφή του διανύσματος απόφασης για κάθε χαρακτηριστικό και για κάθε καταναλωτή είναι:

$$\mathbf{M}_i = [\mu_i(\mathbf{d}_i)^{\text{syn}_i}] \quad (4.33)$$

όπου

\mathbf{M}_i το διάνυσμα απόφασης όπως προκύπτει από την ασαφοποίηση των δεδομένων του i -οστού κριτηρίου απόφασης για κάθε υποψήφια θέση.
 \mathbf{i} το i -οστό κριτήριο απόφασης. Το \mathbf{i} μπορεί να πάρει τιμές από το 1 έως το 8. Οι τιμές είναι αντίστοιχες με τον τρόπο που παρουσιάστηκαν οι διαταραχές – κριτήρια απόφασης στα προηγούμενα υποκεφάλαια.

1. 1^ο Κριτήριο Απόφασης – Μόνιμη Διακοπή

³ Σχέσεις από (4.9) έως και (4.32)

2. 2^ο Κριτήριο Απόφασης – Παροδική Διακοπή
3. 3^ο Κριτήριο Απόφασης – Μεταβολή στην Συχνότητα
4. 4^ο Κριτήριο Απόφασης – Βυθίσεις
5. 5^ο Κριτήριο Απόφασης – Φλίκερ
6. 6^ο Κριτήριο Απόφασης – Ασυμμετρία Φάσεων
7. 7^ο Κριτήριο Απόφασης – Αρμονικές
8. 8^ο Κριτήριο Απόφασης – Υπόταση /Υπέρταση

di η διαταραχή για την οποία γίνεται λόγος. Για κάθε τιμή του **i** από 1 – 8 το **di** θα παριστάνει την αντίστοιχη διαταραχή, όπως δίνεται και αμέσως από κάτω:

1. **i** (**i**nterruption)
2. **m** (**m**omentary interruption)
3. **f** (**f**requency variation)
4. **d** (**d**ip)
5. **fl** (**fl**icker)
6. **as** (**a**symmetry or angle unbalance)
7. **h** (**h**armonic)
8. **uo** (**u**ndervoltage /**o**vervoltage)

syn_{ia} είναι οι συντελεστές που προτάθηκαν στο 4.2. με αυτή ακριβώς τη μορφή. Το **i** υποδηλώνει το κριτήριο απόφασης και το **a** υποδηλώνει την κατηγορία καταναλωτών.

Το διάνυσμα **M_i** είναι 3X1, αφού υπάρχουν τρεις διαφορετικές κατηγορίες καταναλωτών.

Με τον τρόπο αυτό έγινε δυνατή η ασαφοποίηση των δεδομένων για κάθε διαταραχή και για κάθε καταναλωτή με την ανάδειξη του πίνακα **M**. Ο πίνακας **M** αποτελεί τον πίνακα απόφασης για κάθε υποψήφια θέση:

$$[M] = [M_1 M_2 M_3 M_4 M_5 M_6 M_7 M_8] \quad (4.34)$$

ή σε απλή μορφή

$$[M] = [M_i] \quad \text{με} \quad i=1,2,\dots,8 \quad (4.35)$$

όπου **M_i** το διάνυσμα απόφασης όπως δίνεται στην 4.9.

Ο πίνακας **[M]** έχει συνεπώς διαστάσεις 8X3 σαν αποτέλεσμα των 8 κριτηρίων απόφασης και των 3 ομάδων καταναλωτών.

Σύμφωνα με την πολυκριτηριακή ανάλυση όπως προτείνεται στα [63], [64] και εφαρμόστηκε και στο διδακτορικό του από τον Σκίκο [40], ο τρόπος που γίνεται ο συνδυασμός των διαφορετικών διαταραχών προσδιορίζει και την τελική τιμή ένταξης της υποψήφιας θέσης στο σύνολο «πολύ καλή ποιότητα ισχύος». Η τελευταία προκύπτει από τον τελεστή σύνθεσης που έχει την γενική μορφή:

$$\mu_A(\mathbf{s}) = \min^4 \left(((\mu_1(i))^{\text{syn1a}})^{w_1}, ((\mu_2(m))^{\text{syn2a}})^{w_2}, ((\mu_3(d))^{\text{syn3a}})^{w_3}, ((\mu_4(f))^{\text{syn4a}})^{w_4}, \right. \\ \left. ((\mu_5(fl))^{\text{synfla}})^{w_5}, ((\mu_6(as))^{\text{syn6a}})^{w_6}, ((\mu_7(h))^{\text{syn7a}})^{w_7}, ((\mu_8(uo))^{\text{syn8a}})^{w_8} \right) \quad (4.36)$$

όπου

$\mu_A(\mathbf{s})$ η τελική τιμή ένταξης της υποψήφιας θέσης, \mathbf{s} , στο ασαφές σύνολο «πολύ καλή ποιότητα ισχύος»

$\mu_1(i)$, $\mu_2(m)$, $\mu_3(d)$, $\mu_4(f)$, $\mu_5(fl)$, $\mu_6(as)$, $\mu_7(h)$, $\mu_8(uo)$ οι τιμές ένταξης των υποψήφιων θέσεων όπως προκύπτει από την ασαφοποίηση των δεδομένων για κάθε χαρακτηριστικό

$w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7, w_8$ οι τελεστές βαρύτητας οι οποίοι εκφράζουν την σημασία την οποία έχει το κάθε κριτήριο στην τελική απόφαση

$\text{syn}_{1a}, \text{syn}_{2a}, \text{syn}_{3a}, \text{syn}_{4a}, \text{syn}_{5a}, \text{syn}_{6a}, \text{syn}_{7a}, \text{syn}_{8a}$ οι τιμές του τελεστή συνεισφοράς ανάλογα με την κατηγορία του καταναλωτή

Η σχέση 4.36 όπως παρατηρείται αποτελεί την τιμή ένταξης της υποψήφιας θέσης στο σύνολο για κάθε κατηγορία καταναλωτών χωριστά. Δηλαδή έχει διαφορετική τιμή για κάθε κατηγορία καταναλωτών χωριστά.

Η παραπάνω σχέση γράφεται συνοπτικά στην μορφή:

$$FSI_a = \inf_i [M_i]^{w_i} \quad (4.37)$$

όπου

FSI^5 ο Ασαφής Δείκτης Αξιολόγησης των υποψηφίων θέσεων (FSI, Fuzzy Site Index)

\inf το ελάχιστο στοιχείο του πίνακα απόφασης $[M]$

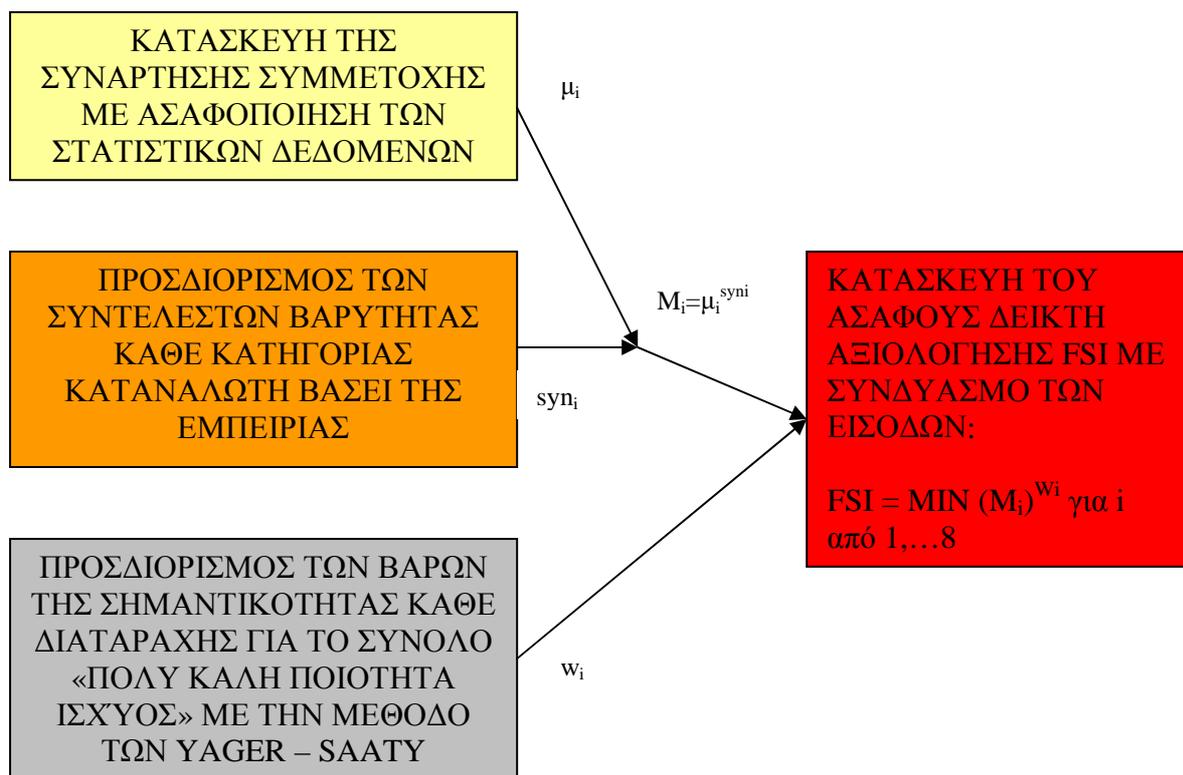
όπως αυτός μετασχηματίζεται από τους συντελεστές βαρύτητας w_i ,

$i = 1, 2, \dots, 8$ για κάθε κριτήριο απόφασης

Ο Ασαφής Δείκτης Αξιολόγησης εκφράζει την τιμή ένταξης κάθε υποψήφιας θέσης στο σύνολο «πολύ καλή ποιότητα ισχύος». Συνεπώς, όσο μεγαλύτερη η τιμή του δείκτη, τόσο καλύτερη είναι η υποψήφια θέση από πλευράς ποιότητας ισχύος για την συγκεκριμένη ομάδα καταναλωτών. Στην συνέχεια της εργασίας ο ασαφής δείκτης αξιολόγησης αναφέρεται με τα αρχικά FSI, τα προκύπτουν από την αγγλική απόδοση του όρου.

⁴ Η συνάρτηση \min επιλέχθηκε ως η αυστηρότερη συνάρτηση συνδυασμού διαφορετικών εισόδων για ένα αποτέλεσμα και πάντα επιλέγει την χειρότερη τιμή [85]. Θα ήταν δυνατό να επιλεγεί και άλλη συνάρτηση που να κάνει παρόμοιους υπολογισμούς. Η συγκεκριμένη κρίθηκε απλή και αξιόπιστη.

⁵ Στην περίπτωση που κρινόταν απαραίτητη η παρουσία μόνο μιας συνάρτησης για όλους τους καταναλωτές, με το σκεπτικό: ποιο δίκτυο έχει καλύτερη ποιότητα για οποιονδήποτε από τους καταναλωτές, τότε θα γινόταν χρήση της μεθόδου του Zadeh $\max - \min$, όπως έγινε και στην περίπτωση του Σκίκου [40]



Σχήμα 4.13.: Διαδικασία κατασκευής του Ασαφούς Δείκτη Αξιολόγησης FSI

Ο υπολογισμός των συντελεστών βαρύτητας w_i , γίνεται με την μέθοδο **Yager-Saaty** ([61] [63] [64]) όπως την χρησιμοποίησε και ο Σκίκος στο [40], η οποία παρουσιάζεται εν συντομία στο παράρτημα Δ.

Η μέθοδος αυτή υπαγορεύει τον προσδιορισμό ενός πίνακα τιμών και συγκεκριμένα τον πίνακα κατάταξης των κριτηρίων απόφασης. Για την κατασκευή αυτού σημαντικό στοιχείο αποτελεί η κατάταξη των κριτηρίων απόφασης ως προς την σημασία που έχουν στην τελική απόφαση. Στην συγκεκριμένη περίπτωση⁶ η κατάταξη γίνεται αυτόματα μέσω των τιμών που προτείνουν οι καταναλωτές. Οι βαθμολογίες δίνονται στον πίνακα 3.2. **Η τιμή που χρησιμοποιείται στον πίνακα κατάταξης είναι ο μέσος όρος των τιμών που προτείνονται για κάθε διαταραχή.** Θα μπορούσε αυτές οι τιμές να ελέγχονται και να προτείνεται κάποια αλλαγή⁷. Θέλοντας όμως να δοθεί έμφαση στην γνώμη των καταναλωτών, όπως αποτυπώθηκε στο ερωτηματολόγιο, οι τιμές παραμένουν όπως τις πρότειναν. Ο έλεγχος θεωρείται πως είναι ικανοποιητικός τόσο από την διαμόρφωση της συνάρτησης συμμετοχής, όσο και από την πρόταση των συντελεστών στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Η κατάταξη επομένως είναι υποκειμενική και

⁶ Στην γενική περίπτωση η κατάταξη γίνεται εμπειρικά από τον μελετητή και διατηρείται σταθερή και αυτό που αλλάζει είναι οι τιμές κατάταξης. Εν προκειμένω η κατάταξη έγινε αυτόματα από τις τιμές που πρότειναν οι καταναλωτές.

⁷ Συγκεκριμένα αρχικό σκεπτικό ήταν οι τιμές αυτές να συνηπολογίζονται με κάποια τιμή που προτάθηκε εμπειρικά και η τελική τιμή να είχε την παρέμβαση του μελετητή. Εν προκειμένω κρίθηκε σωστότερη η λύση να δοθεί αποκλειστικά από τους ειδικούς.

μπορεί να διαφέρει από μελετητή σε μελετητή ως προς τους συντελεστές βαρύτητας του κάθε κριτηρίου. Σημαντικό είναι μόνο να διατηρείται η σειρά με την οποία αυτά ταξινομούνται. Αυτό για να προκύπτουν συγκρίσιμα αποτελέσματα.⁸

Η σειρά ταξινόμησης προκύπτει από τον πίνακα 3.2 και κατατάσσοντας σαν σημαντικότερο το χαρακτηριστικό με το μεγαλύτερο μέσο όρο. Αυτό σημαίνει:

1. Μόνιμη Διακοπή
2. Βυθίσεις Τάσεως
3. Παροδική Διακοπή
4. Υπόταση/Υπέρταση
5. Φλίκερ
6. Αρμονικές
7. Ασυμμετρία τάσης
8. Μεταβολή στην Συχνότητα

Ο πίνακας κατάταξης των κριτηρίων απόφασης έχει την ακόλουθη μορφή:

$$[K] = \begin{pmatrix} K_1/K_1 & K_1/K_2 & K_1/K_3 & K_1/K_4 & K_1/K_5 & K_1/K_6 & K_1/K_7 & K_1/K_8 \\ K_2/K_1 & K_2/K_2 & K_2/K_3 & K_2/K_4 & K_2/K_5 & K_2/K_6 & K_2/K_7 & K_2/K_8 \\ K_3/K_1 & K_3/K_2 & K_3/K_3 & K_3/K_4 & K_3/K_5 & K_3/K_6 & K_3/K_7 & K_3/K_8 \\ K_4/K_1 & K_4/K_2 & K_4/K_3 & K_4/K_4 & K_4/K_5 & K_4/K_6 & K_4/K_7 & K_4/K_8 \\ K_5/K_1 & K_5/K_2 & K_5/K_3 & K_5/K_4 & K_5/K_5 & K_5/K_6 & K_5/K_7 & K_5/K_8 \\ K_6/K_1 & K_6/K_2 & K_6/K_3 & K_6/K_4 & K_6/K_5 & K_6/K_6 & K_6/K_7 & K_6/K_8 \\ K_7/K_1 & K_7/K_2 & K_7/K_3 & K_7/K_4 & K_7/K_5 & K_7/K_6 & K_7/K_7 & K_7/K_8 \\ K_8/K_1 & K_8/K_2 & K_8/K_3 & K_8/K_4 & K_8/K_5 & K_8/K_6 & K_8/K_7 & K_8/K_8 \end{pmatrix} \quad (4.38)$$

όπου

K_i / K_j είναι ο συντελεστής βαρύτητας του i κριτηρίου ως προς το j κριτήριο απόφασης με $(i,j) = 1, \dots, 8$.

K_i είναι η ο μέσος όρος του i – οστού κριτηρίου όπως προκύπτει από τον πίνακα 3.2.

Επομένως ο πίνακας θα έχει τη παρακάτω μορφή:

$$[K] = \begin{pmatrix} 1 & 6,62/5,65 & 6,62/1,46 & 6,62/6,19 & 6,62/3,62 & 6,62/2,42 & 6,62/3,08 & 6,62/5,04 \\ 5,65/6,62 & 1 & 5,65/1,46 & 5,65/6,19 & 5,65/3,62 & 5,65/2,42 & 5,65/3,08 & 5,65/5,04 \\ 1,46/6,62 & 1,46/5,65 & 1 & 1,46/6,19 & 1,46/3,62 & 1,46/2,42 & 1,46/3,08 & 1,46/5,04 \\ 6,19/6,62 & 6,19/5,65 & 6,19/1,46 & 1 & 6,19/3,62 & 6,19/2,42 & 6,19/3,08 & 6,19/5,04 \\ 3,62/6,62 & 3,62/5,65 & 3,62/1,46 & 3,62/6,19 & 1 & 3,62/2,42 & 3,62/3,08 & 3,62/5,04 \\ 2,42/6,62 & 2,42/5,65 & 2,42/1,46 & 2,42/6,19 & 2,42/3,62 & 1 & 2,42/3,08 & 2,42/5,04 \\ 3,08/6,62 & 3,08/5,65 & 3,08/1,46 & 3,08/6,19 & 3,08/3,62 & 3,08/2,42 & 1 & 3,08/5,04 \\ 5,04/6,62 & 5,04/5,65 & 5,04/1,46 & 5,04/6,19 & 5,04/3,62 & 5,04/2,42 & 5,04/3,08 & 1 \end{pmatrix} \quad (4.39)$$

⁸ Αν όμως θεωρηθεί πως η σειρά είναι διαφορετική πρέπει να τροποποιηθεί.

⁹ Η τιμή αυτή προέκυψε ως ο μέσος όρος των υποτάσεων και των υπερτάσεων που ήταν εκ των πραγμάτων κοντά. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως η συγκεκριμένη μέθοδος παραμένει εντός των ορίων που τέθηκαν από τους Yager – Saaty, παρά το γεγονός πως οι τιμές δεν έχουν τόσο μεγάλες διαφορές. Αυτό θεωρήθηκε σκόπιμο για την ορθότερη εκτίμηση των αποτελεσμάτων. Οι όποιες διαφορές έχουν ληφθεί υπόψη και στον πίνακα 4.10 που έγινε ανάλυση της σοβαρότητας των αποτελεσμάτων. Επομένως τα αποτελέσματα είναι προσαρμοσμένα στα καινούργια δεδομένα.

Το επόμενο βήμα της μεθόδου είναι ο υπολογισμός της μέγιστης πραγματικής ιδιοτιμής του πίνακα [K], δηλαδή της επίλυσης της εξίσωσης:

$$|K - \lambda I| = 0$$

όπου I είναι ο μοναδιαίος πίνακας 8X8.

Χρησιμοποιώντας την σχέση 3.15, προκύπτει ο πίνακας:

$$\begin{vmatrix} 1-\lambda & 6,62/5,65 & 6,62/1,46 & 6,62/6,19 & 6,62/3,62 & 6,62/2,42 & 6,62/3,08 & 6,62/5,04 \\ 5,65/6,62 & 1-\lambda & 5,65/1,46 & 5,65/6,19 & 5,65/3,62 & 5,65/2,42 & 5,65/3,08 & 5,65/5,04 \\ 1,46/6,62 & 1,46/5,65 & 1-\lambda & 1,46/6,19 & 1,46/3,62 & 1,46/2,42 & 1,46/3,08 & 1,46/5,04 \\ 6,19/6,62 & 6,19/5,65 & 6,19/1,46 & 1-\lambda & 6,19/3,62 & 6,19/2,42 & 6,19/3,08 & 6,19/5,04 \\ 3,62/6,62 & 3,62/5,65 & 3,62/1,46 & 3,62/6,19 & 1-\lambda & 3,62/2,42 & 3,62/3,08 & 3,62/5,04 \\ 2,42/6,62 & 2,42/5,65 & 2,42/1,46 & 2,42/6,19 & 2,42/3,62 & 1-\lambda & 2,42/3,08 & 2,42/5,04 \\ 3,08/6,62 & 3,08/5,65 & 3,08/1,46 & 3,08/6,19 & 3,08/3,62 & 3,08/2,42 & 1-\lambda & 3,08/5,04 \\ 5,04/6,62 & 5,04/5,65 & 5,04/1,46 & 5,04/6,19 & 5,04/3,62 & 5,04/2,42 & 5,04/3,08 & 1-\lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (4.40)$$

Η παραπάνω ορίζουσα επιλύθηκε με την χρήση του Matlab και η μέγιστη πραγματική ιδιοτιμή που υπολογίστηκε είναι:

$$\lambda_{\max} = 8 \quad (4.42)$$

και το ιδιοδιάνυσμα A, του οποίου τα στοιχεία a_i ικανοποιούν την μοναδιαία νόρμα:

$$\sum_{i=1}^8 a_i = 1 \quad (4.43)$$

είναι:

$$A = \begin{vmatrix} 0,193027 \\ 0,164976 \\ 0,042631 \\ 0,180705 \\ 0,105507 \\ 0,070721 \\ 0,089778 \\ 0,152654 \end{vmatrix} \quad (4.44)$$

Οι τελικοί τελεστές βαρύτητας w_i της μεθόδου Yager – Saaty, υπολογίζονται από την σχέση:

$$[W] = N [A] \quad (4.45)$$

όπου

N είναι ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων απόφασης, που στην προκειμένη περίπτωση είναι N=8.

Κατά συνέπεια οι συντελεστές βαρύτητας w_i , είναι:

$$W = \begin{pmatrix} 1,54422 \\ 1,319812 \\ 0,341051 \\ 1,445639 \\ 0,844055 \\ 0,565765 \\ 0,718227 \\ 1,221231 \end{pmatrix} \quad (4.46)$$

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω τιμές στις σχέσεις 4.36 και 4.37 προκύπτει η τελική μορφή του Ασαφούς Δείκτη Αξιολόγησης των υποψηφίων θέσεων για κάθε κατηγορία καταναλωτών:

Για οικιακούς καταναλωτές:

$$FSI_r = \min((\mu_1)^1)^{1.544}, ((\mu_2)^{0.8})^{1.32}, ((\mu_3)^{0.9})^{0.341}, ((\mu_4)^{0.6})^{1.446}, ((\mu_5)^{0.9})^{0.844}, ((\mu_6)^{0.1})^{0.566}, ((\mu_7)^{0.3})^{0.718}, ((\mu_8)^{0.6})^{1.221} \quad (4.47)$$

Για εμπορικούς καταναλωτές:

$$FSI_c = \min((\mu_1)^1)^{1.544}, ((\mu_2)^{0.9})^{1.32}, ((\mu_3)^{0.8})^{0.341}, ((\mu_4)^{0.9})^{1.446}, ((\mu_5)^{0.9})^{0.844}, ((\mu_6)^{0.4})^{0.566}, ((\mu_7)^{0.7})^{0.718}, ((\mu_8)^{0.8})^{1.221} \quad (4.48)$$

Για βιομηχανικούς καταναλωτές:

$$FSI_i = \min((\mu_1)^1)^{1.544}, ((\mu_2)^1)^{1.32}, ((\mu_3)^1)^{0.341}, ((\mu_4)^1)^{1.446}, ((\mu_5)^1)^{0.844}, ((\mu_6)^1)^{0.566}, ((\mu_7)^1)^{0.718}, ((\mu_8)^1)^{1.221} \quad (4.49)$$

Οι συναρτήσεις (4.47) – (4.49) μοντελοποιούνται στο Excel (παράρτημα Ε) και αναλόγως τις τιμές των εισόδων δίνουν μία τιμή για τον Ασαφή Δείκτη Αξιολόγησης του δικτύου. Αυτό που απομένει είναι η εκτίμηση της τιμής που προκύπτει. Στον αμέσως παρακάτω πίνακα ακολουθεί μία εμπειρική προσέγγιση για την σοβαρότητα των τιμών του δείκτη. Οι τιμές αυτές δοκιμάζονται με απλές τιμές των εισόδων για γνωστά αποτελέσματα και δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Ασαφής Δείκτης Αξιολόγησης	Λεκτική αξιολόγηση δικτύου
1.0	Ιδανική ποιότητα ισχύος
0.9 – 1.0	Πολύ καλή ποιότητα ισχύος
0.75 – 0.9	Καλή ποιότητα ισχύος
0.6 – 0.75	Μέτρια ποιότητα ισχύος
0.5 – 0.6	Κακή ποιότητα ισχύος
4.0 – 0.5	Πολύ κακή ποιότητα ισχύος
0.0 – 4.0	Απαράδεκτο ποιοτικά

Πίνακας 4.10.: Λεκτικός χαρακτηρισμός της τιμής του Ασαφούς Δείκτη Αξιολόγησης σε σχέση με την ποιότητα ισχύος ενός δικτύου

4.3.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Στις σχέσεις (4.47) – (4.49) ορίστηκαν οι δείκτες αξιολόγησης για κάθε κατηγορία καταναλωτών. Απομένει όμως η επιβεβαίωση της ισχύος του τύπου. Η υλοποίηση των συστημάτων αυτών πραγματοποιήθηκε στο Excel της Microsoft. Ο τρόπος και η λογική φαίνονται στο παράρτημα Ε.

Για να πραγματοποιηθούν οι δοκιμές προσομοίωσης του μοντέλου σωστότερο θα ήταν να γίνει χρήση πραγματικών δεδομένων. Όμως όπως αναφέρθηκε εκτενώς στο 3^ο κεφάλαιο δεδομένα δεν υπάρχουν. Ο τρόπος που γίνονται σήμερα οι μετρήσεις δεν δίνει την δυνατότητα αποθήκευσης των δεδομένων και στατιστική καταγραφή αυτών. Για τον λόγο αυτό θα γίνει μία εμπειρική προσέγγιση των διαταραχών που μπορεί να συμβούν σε 4 διαφορετικές περιοχές αιτιολογώντας την επιλογή αυτή. Τέλος παρουσιάζεται τα όρια του ιδανικού δικτύου για τα δεδομένα του μοντέλου.

ΙΔΑΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Ιδανικότερο όλων θα ήταν προφανώς να μην παρατηρηθεί καμία μεταβολή. Αυτό όμως συνάμα είναι και ανέφικτο. Στόχος εδώ είναι να προσεγγίσουμε τα όρια διατηρώντας την ποιότητα του δικτύου σε ιδανικά επίπεδα. Όπως εύκολα παρατηρείται ένα μικρό ποσοστό ή πλήθος διαταραχών μπορούν να συμβούν χωρίς καμία επίδραση στην ποιότητα ισχύος. Για την ακρίβεια είναι αναμενόμενο να συμβούν και έχουν ληφθεί και τα κατάλληλα μέτρα. Θεωρώντας αυτές τις οριακές τιμές προκύπτει το σύστημα που παραμένει παρά τις διαταραχές σε ιδανικά επίπεδα. Οι τιμές αυτές δίνονται σε μορφή πίνακα:

Διαταραχή (μορφή δεδομένων)		Δεδομένα
Μόνιμες διακοπές (0 –...)		10
Παροδικές διακοπές (0 –...)		10
Μεταβολή στη συχνότητα (%)	Διασυνδεδεμένα	99.5
	Απομονωμένα	95
Βυθίσεις (0 –...)		10
Φλίκερ (%)		95
Ασυμμετρία Φάσεων (%)		95
Αρμονικές (%)	Δείγματα	95
	THD	1
Υποτάσεις / Υπερτάσεις (%)		95

Πίνακας 4.11.: Δεδομένα εισόδου οριακά ιδανικού δικτύου

Με τιμές οι οποίες δεν υπερβαίνουν, στην περίπτωση πλήθους και THD, και δεν είναι μικρότερες, στην περίπτωση ποσοστών, των παραπάνω τιμών θα διατηρούν το σύστημα σε ιδανικά επίπεδα. Πρέπει όμως να γίνει σαφές ότι έστω

και μία από τις συναρτήσεις να πάψει να είναι 1, τότε και το δίκτυο παύει να είναι ιδανικό¹⁰.

Κατ' επέκταση αρκεί μία μόνο από τις διαταραχές να είναι απαράδεκτη¹¹ για να είναι όλο το σύστημα απαράδεκτο. Κάποιος θα μπορούσε να θεωρήσει ότι το συγκεκριμένο δεν είναι απολύτως σωστό. Όμως αυτό δεν ισχύει. Ο σωστότερος χαρακτηρισμός είναι πως το σύστημα είναι αυστηρό. Γιατί σκεφτείτε πόσο καλό θα μπορούσε να είναι ένα δίκτυο που σε όλα τα χαρακτηριστικά είναι κανονικό, αλλά στο δίκτυο αυτό παρουσιάζονται 100 μόνιμες διακοπές τον χρόνο¹².

ΣΕ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (ΕΝΤΟΣ ΠΟΛΕΩΣ)

Σε αυτή τη περίπτωση τα φορτία που είναι συνδεδεμένα στο κοντινό δίκτυο είναι κυρίως εμπορικοί και οικιακοί καταναλωτές. Επομένως αυτό που αναμένεται είναι η ύπαρξη αρμονικών, λόγω των συσκευών νέας τεχνολογίας και υπερτάσεις ή υποτάσεις σε σχέση με την θέση της περιοχής σε σχέση με το κεντρικό σύστημα παραγωγής. Προφανώς οι διακοπές είναι μέσα στο πρόγραμμα. Έντονη είναι και η ασυμμετρία των φάσεων λόγω των πολλών μονοφασικών καταναλωτών. Τα παραπάνω φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Διαταραχή (μορφή δεδομένων)		Δεδομένα
Μόνιμες διακοπές (0 –...)		11
Παροδικές διακοπές (0 –...)		21
Μεταβολή στη συχνότητα (%)		98
Βυθίσεις (0 –...)		35
Φλίκερ (%)		98
Ασυμμετρία Φάσεων (%)		89
Αρμονικές (%)	Δείγματα	88
	THD	?
Υποτάσεις / Υπερτάσεις (%)		94

Πίνακας 4.12.: Δεδομένα εισόδου για δίκτυο εντός αστικής περιοχής

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τον Ασαφή Δείκτη Αξιολόγησης από το μοντέλο που προτάθηκε είναι:

Καταναλωτές	Ασαφής Δείκτης Αξιολόγησης
Οικιακοί	0.8698
Εμπορικοί	0.8548
Βιομηχανικοί	0.8304

Πίνακας 4.13.: Ασαφής δείκτης αξιολόγησης για αστική περιοχή

¹⁰ Αυτό έχει να κάνει με τον τρόπο που λειτουργεί η συνάρτηση που χρησιμοποιείται για τον συνδυασμό των επιδράσεων. Αυτή είναι η min και έτσι πάντα θα επιλέγεται η αυστηρότερη λύση.

¹¹ Απαράδεκτη σημαίνει η συνάρτηση συμμετοχής της να είναι το μηδέν. Δηλαδή να μην προσφέρει τίποτα στο σύνολο «πολύ καλή ποιότητα ισχύος»

¹² Είναι προφανές πως αν συμβαίνουν τόσες διακοπές το σύστημα θα είναι ασταθές και ούτε και τα άλλα χαρακτηριστικά θα είναι καλά όμως η τιμή εδώ παρατίθεται για την στήριξη των λεγόμενων

Τα αποτελέσματα παρατηρούμε πως είναι αρκετά ικανοποιητικά. Αυτό είναι και το αναμενόμενο. Εντός των αστικών περιοχών υπάρχει στις περισσότερες των περιπτώσεων ο καλύτερος προστατευτικός εξοπλισμός από πλευράς δικτύου. Από την άλλη το γεγονός και μόνο πως το δίκτυο είναι υπόγειο αποτελεί λόγο μειωμένων παροδικών και μόνιμων διακοπών. Ενώ το ίδιο συμβαίνει και για βυθίσεις. Επομένως παρατηρείται πως το δίκτυο χαρακτηρίζεται ως αρκετά καλό και το μοντέλο προσεγγίζει ικανοποιητικά την ποιότητα του δικτύου για την συγκεκριμένη περίπτωση.

ΣΕ ΠΡΟΑΣΤΙΑΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (ΕΚΤΟΣ ΠΟΛΕΩΣ)

Σε αυτή τη περίπτωση τα φορτία που είναι συνδεδεμένα στο κοντινό δίκτυο είναι κυρίως εμπορικοί, οικιακοί καταναλωτές και κάποιες μικρές βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Αυτό που αναμένεται είναι η ύπαρξη αρμονικών, λόγω των συσκευών νέας τεχνολογίας και υπερτάσεις ή υποτάσεις σε σχέση με την θέση της περιοχής σε σχέση με το κεντρικό σύστημα παραγωγής. Και σε αυτή την περίπτωση οι διακοπές είναι μέσα στο πρόγραμμα, ενώ αυξάνεται κίόλας ο αριθμός τους λόγω του εναέριου δικτύου. Η ασυμμετρία των φάσεων είναι μειωμένη λόγω και των βιομηχανικών καταναλωτών που είναι τριφασικοί και της μεγαλύτερης προσοχής που δίνεται από αυτούς και για αυτούς. Τα παραπάνω φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Διαταραχή (μορφή δεδομένων)		Δεδομένα
Μόνιμες διακοπές (0 –...)		14
Παροδικές διακοπές (0 –...)		27
Μεταβολή στη συχνότητα (%)		98
Βυθίσεις (0 –...)		42
Φλίκερ (%)		95
Ασυμμετρία Φάσεων (%)		92
Αρμονικές (%)	Δείγματα	91
	THD	?
Υποτάσεις / Υπερτάσεις (%)		92

Πίνακας 4.14.: Δεδομένα εισόδου για δίκτυο εντός προαστιακής περιοχής

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τον Ασαφή Δείκτη Αξιολόγησης από το μοντέλο που προτάθηκε είναι:

Καταναλωτές	Ασαφής Δείκτης Αξιολόγησης
Οικιακοί	0.7992
Εμπορικοί	0.7771
Βιομηχανικοί	0.7557

Πίνακας 4.15.: Ασαφής δείκτης αξιολόγησης για προαστιακή περιοχή

Τα αποτελέσματα παρατηρούμε πως είναι ικανοποιητικά. Αυτό είναι και το αναμενόμενο. Σε προαστιακές περιοχές το δίκτυο είναι πιο εκτεθειμένο από ότι

σε αστικές όμως βρίσκεται ακόμα κοντά στους σταθμούς Υψηλής Τάσης και είναι εύκολη η ρύθμιση λάθους. Στις διαταραχές επικρατούν οι μόνιμες και παροδικές διακοπές που διαμορφώνουν και τον δείκτη. Επομένως παρατηρείται πως το δίκτυο χαρακτηρίζεται ως καλό και το μοντέλο προσεγγίζει ικανοποιητικά την ποιότητα του δικτύου και για την συγκεκριμένη περίπτωση.

ΣΕ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟ ΔΙΚΤΥΟ

Τα απομονωμένα δίκτυα δεν διαφέρουν στο είδος των φορτίων από τα διασυνδεδεμένα δίκτυα. Διαφέρουν στο μέγεθος αυτών και κατ' επέκταση στην σταθερότητα του δικτύου. Πάντως δεν έχουν πολλούς βιομηχανικούς καταναλωτές, αφού και αυτοί προσπαθούν να αποφύγουν τις ανεπιθύμητες συνέπειες ενός κακού ποιοτικά δικτύου. Επομένως αυτό που αναμένεται είναι η ύπαρξη αρμονικών, λόγω των συσκευών νέας τεχνολογίας και υπερτάσεις ή υποτάσεις σε σχέση με την θέση της περιοχής σε σχέση με το κεντρικό σύστημα παραγωγής. Προφανώς οι διακοπές είναι μέσα στο πρόγραμμα και μάλιστα σε μεγαλύτερο μέγεθος από ένα αστικό δίκτυο, αφού τα απομονωμένα συστήματα στα νησιά είναι κυρίως εναέρια. Τα παραπάνω φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Διαταραχή (μορφή δεδομένων)		Δεδομένα
Μόνιμες διακοπές (0 –...)		15
Παροδικές διακοπές (0 –...)		31
Μεταβολή στη συχνότητα (%)		90
Βυθίσεις (0 –...)		50
Φλίκερ (%)		98
Ασυμμετρία Φάσεων (%)		91
Αρμονικές (%)	Δείγματα	90
	THD	?
Υποτάσεις / Υπερτάσεις (%)		91

Πίνακας 4.16.: Δεδομένα εισόδου για απομονωμένο δίκτυο

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τον Ασαφή Δείκτη Αξιολόγησης από το μοντέλο που προτάθηκε είναι:

Καταναλωτές	Ασαφής Δείκτης Αξιολόγησης
Οικιακοί	0.7524
Εμπορικοί	0.7261
Βιομηχανικοί	0.6847

Πίνακας 4.17.: Ασαφής δείκτης αξιολόγησης για απομονωμένο δίκτυο

Στην περίπτωση αυτή γίνεται σαφές πως τα αποτελέσματα είναι χειρότερα από τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις. Αυτό ήταν αναμενόμενο. Πάντως παρατηρείται πως με εξαίρεση τους βιομηχανικούς καταναλωτές, ο δείκτης δεν είναι αποθαρρυντικός για εγκατάσταση. Αυτό είναι που συμβαίνει και στην πραγματικότητα. Έτσι και σε αυτή τη περίπτωση το μοντέλο ανταποκρίνεται ικανοποιητικά. Για τους βιομηχανικούς καταναλωτές ο δείκτης είναι μέτριος και

αυτό σημαίνει πως πρέπει να εγκαταστήσουν σημαντικό προστατευτικό εξοπλισμό για την σωστότερη λειτουργία των συσκευών τους.

ΚΟΝΤΑ ΣΕ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ

Τα αιολικά πάρκα βρίσκονται κυρίως σε επαρχιακές περιοχές. Καταναλωτές που είναι συνδεδεμένοι κοντά στο Σημείο Κοινής Σύνδεσης των αιολικών πάρκων με το δίκτυο, θα είναι καταναλωτές που στεγάζονται στην περιφέρεια. Επομένως εκτός των προβλημάτων που παρατηρήθηκαν για προαστιακές τοποθεσίες, στην περίπτωση αυτή θα αντιμετωπίζονται και προβλήματα που οφείλονται στην ένταξη των ΑΠΕ στο δίκτυο. Πάντα συνυπολογίζονται και τα θετικά που μπορεί να προσφέρει η κοντινή σύνδεση με έναν παραγωγό. Για τους λόγους αυτούς οι παροδικές και οι μόνιμες διακοπές είναι ελαφρώς μειωμένες σε σχέση με το προαστιακό (εναέριο) δίκτυο ([14]), αλλά αντιθέτως είναι ελαφρώς αυξημένα τα ποσοστά εμφάνισης φλίκερ και αρμονικών. Τέλος ελαφρώς αυξημένο είναι και το πλήθος των βυθίσεων¹³. Για τους λόγους αυτούς οι τιμές που προτείνονται είναι¹⁴:

Διαταραχή (μορφή δεδομένων)		Δεδομένα
Μόνιμες διακοπές (0 –...)		13
Παροδικές διακοπές (0 –...)		22
Μεταβολή στη συχνότητα (%)		98
Βυθίσεις (0 –...)		41
Φλίκερ (%)		92
Ασυμμετρία Φάσεων (%)		90
Αρμονικές (%)	Δείγματα	?
	THD	3
Υποτάσεις / Υπερτάσεις (%)		92

Πίνακας 4.18.: Δεδομένα εισόδου για δίκτυο σε περιοχή με ΑΠ

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τον Ασαφή Δείκτη Αξιολόγησης από το μοντέλο που προτάθηκε είναι:

Καταναλωτές	Ασαφής Δείκτης Αξιολόγησης
Οικιακοί	0.8492
Εμπορικοί	0.8041
Βιομηχανικοί	0.7615

Πίνακας 4.19.: Ασαφής δείκτης αξιολόγησης για περιοχή κοντά σε ΑΠ

Τα αποτελέσματα παρατηρούμε πως είναι αρκετά ικανοποιητικά. Όλοι οι καταναλωτές έχουν καλή ποιότητα ισχύος και μόνο οι βιομηχανικοί

¹³ Κατά την είσοδο μιας Ανεμογεννήτριας στο δίκτυο υπάρχει μια πτώση τάσης που οφείλεται στην ισχύ που απαιτείται για την εκκίνηση της.

¹⁴ Επειδή οι παραγωγοί από ΑΠΕ, υποχρεούνται να διατηρούν κάποια όρια στο σημείο ένταξης τους στο δίκτυο και ως επί το πλείστον το πραγματοποιούν, ενδέχεται αυτά τα όρια που δίνονται να είναι πολύ μικρότερα. Εδώ για λόγους καθαρά παρατήρησης προτείνονται οι μέσες τιμές και ίσως και λίγο χειρότερες.

προσεγγίζουν το όριο της μέτριας ποιότητας. Επομένως παρατηρείται πως το δίκτυο χαρακτηρίζεται ως αρκετά καλό και το μοντέλο προσεγγίζει ικανοποιητικά την ποιότητα του δικτύου για την συγκεκριμένη περίπτωση.

ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΝΤΑ ΣΕ ΜΕΓΑΛΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Σε τέτοιες περιοχές με μεγάλο βιομηχανικό φορτίο την μερίδα του λέοντος στις διαταραχές την αναλαμβάνει ο βιομηχανικός καταναλωτής. Παρόλα αυτά και οι υπόλοιποι συνυπολογίζονται στην διαμόρφωση αυτών. Για την περίπτωση αυτή οι τιμές των διαταραχών που προτείνονται είναι:

Διαταραχή (μορφή δεδομένων)		Δεδομένα
Μόνιμες διακοπές (0 –...)		12
Παροδικές διακοπές (0 –...)		21
Μεταβολή στη συχνότητα (%)		98
Βυθίσεις (0 –...)		55
Φλίκερ (%)		89
Ασυμμετρία Φάσεων (%)		94
Αρμονικές (%)	Δείγματα	?
	THD	3.5
Υποτάσεις / Υπερτάσεις (%)		92

Πίνακας 4.20.: Δεδομένα εισόδου για δίκτυο σε περιοχή με μεγάλη βιομηχανία

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τον Ασαφή Δείκτη Αξιολόγησης από το μοντέλο που προτάθηκε είναι:

Καταναλωτές	Ασαφής Δείκτης Αξιολόγησης
Οικιακοί	0.8492
Εμπορικοί	0.8041
Βιομηχανικοί	0.7615

Πίνακας 4.21.: Ασαφής δείκτης αξιολόγησης για περιοχή κοντά με μεγάλη βιομηχανία

Τα αποτελέσματα παρατηρούμε πως είναι αρκετά ικανοποιητικά. Όλοι οι καταναλωτές έχουν καλή ποιότητα ισχύος και μόνο οι βιομηχανικοί προσεγγίζουν το όριο της μέτριας ποιότητας. Επομένως παρατηρείται πως το δίκτυο χαρακτηρίζεται ως αρκετά καλό και το μοντέλο προσεγγίζει ικανοποιητικά την ποιότητα του δικτύου για την συγκεκριμένη περίπτωση. Όπως αναμένονταν οι οικιακοί καταναλωτές δεν επηρεάζονται και τόσο από τις διακυμάνσεις. Λίγο περισσότερο, όχι όμως πολύ, επηρεάζονται οι εμπορικοί λόγω της διαφορετικής φύσης των φορτίων. Οι βιομηχανικοί καταναλωτές, όπως συμβαίνει ήδη με τους περισσότερους, πρέπει να λαμβάνουν μέτρα προστασίας του εξοπλισμού τους.

Γενικά παρατηρήθηκε πως το μοντέλο που προτείνεται δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα και προσεγγίζει ικανοποιητικά την ποιότητα ενός δικτύου με τις όποιες ιδιαιτερότητες. Παρότι λοιπόν το δίκτυο στηρίζεται κυρίως στην εμπειρία μπορεί να θεωρηθεί πως εκ του αποτελέσματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί αν είναι γνωστά τα στατιστικά στοιχεία για τις διαταραχές. Οι απαντήσεις θα είναι μέσα στα πλαίσια του αναμενόμενου και του επιτρεπτού. Οπότε και συνίσταται και για χρήση σε δίκτυα όχι γνωστής μορφολογίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

—

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία, μελετήθηκε το πρόβλημα της αξιολόγησης της ποιότητας ισχύος δικτύων, υπό το πρίσμα της θεωρίας των ασαφών συνόλων (fuzzy sets) και της εφαρμογής τους στη λήψη αποφάσεων (decision making).

Στο πλαίσιο αυτής της μελέτης έγινε μία πολύ σοβαρή αναζήτηση και καταγραφή των αιτιών δημιουργίας των διαταραχών στην ποιότητα ισχύος, των επιπτώσεων τους στον εξοπλισμό των καταναλωτών και στους τρόπους αντιμετώπισης τους (κεφάλαιο 2). Επίσης σημαντική θεωρούνται και τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων. Η ανάλυση αυτών κρίνεται πολύ χρήσιμη για περαιτέρω συζήτηση γύρω από το θέμα της ποιότητας ισχύος και τις επιπτώσεις του και επίσης κρίνεται επιτακτική η καλύτερη ενημέρωση των καταναλωτών (κεφαλαίο 3).

Η προτεινόμενη μεθοδολογία παρουσιάστηκε διεξοδικά στο 4^ο κεφάλαιο. Χρησιμοποιεί οκτώ κριτήρια απόφασης, τα οποία χαρακτηρίζουν γλωσσικά το κατά πόσο μια υποψήφια θέση πληροί τις ιδιότητες εκείνες που την κάνουν κατάλληλη ποιοτικά. Η ασάφεια που εισάγεται μέσω των γλωσσικών αυτών κανόνων αίρεται με τον καθορισμό των ασαφών συναρτήσεων συμμετοχής (fuzzy membership function). Οι συναρτήσεις αυτές εκφράζουν μαθηματικά το βαθμό συμμετοχής ή την τιμή ένταξης (membership value), της υποψήφιας θέσης στο σύνολο «πολύ καλή θέση», όπως αυτό διατυπώνεται από καθένα από τα 8 κριτήρια απόφασης.

Για τον καθορισμό των συναρτήσεων συμμετοχής, χρησιμοποιούνται a priori (προκαθορισμένα) ασαφή σύνολα, τα οποία δείχνουν τις τιμές ένταξης ορισμένων κρίσιμων τιμών της ασαφούς μεταβλητής (fuzzy variable) του κριτηρίου απόφασης. Τα ασαφή σύνολα αυτά, προέρχονται από μια διαδικασία εκμάθησης, δηλαδή ουσιαστικά από την εμπειρία και την γνώση κατά την διαδικασία επιλογής υποψήφιων θέσεων και εκφράζουν μαθηματικά την αξιολόγηση που αναμένεται από έναν έμπειρο μελετητή για το σύνολο των υποψήφιων θέσεων. Πιο συγκεκριμένα η γνώση αποκτήθηκε από την μελέτη των φαινομένων τόσο στην εγχώρια όσο και στην διεθνή βιβλιογραφία, όπως παρουσιάζεται και στο 2^ο κεφάλαιο. Η εμπειρία προέρχεται τόσο από συζητήσεις με ειδικούς επί των θεμάτων, αλλά κυρίως από τις απαντήσεις των καταναλωτών στο ερωτηματολόγιο που συντάχθηκε και τα αποτελέσματα του οποίου αναλύονται στο 3^ο κεφάλαιο.

Οι τιμές συμμετοχής που προέρχονται από την ασαφοποίηση των κριτηρίων απόφασης, συνδέονται μέσω μιας ειδικής μορφής του τελεστή τομής που συχνά χρησιμοποιείται στην θεωρία λήψης αποφάσεων. Ο τελεστής αυτός λαμβάνει υπόψη την βαρύτητα με την οποία υπεισέρχεται το κάθε κριτήριο στη λήψη της τελικής απόφασης. Η μέθοδος που ακολουθείται στον υπολογισμό των συντελεστών είναι των Yager – Saaty, μέσω των ιδιοτιμών του πίνακα ταξινόμησης της βαρύτητας των κριτηρίων. Το αποτέλεσμα της μεθόδου είναι οι τιμές των συντελεστών βαρύτητας, ως δυνάμεις στις οποίες υψώνεται η τιμή συμμετοχής του κάθε κριτηρίου, πριν την εφαρμογή του τελεστή ελαχίστου και του υπολογισμού του ασαφούς δείκτη αξιολόγησης (Fuzzy Site Index, FSI) των υποψήφιων περιοχών.

Ο δείκτης αυτός κατηγοριοποιείται και πάλι λεκτικά (αποασαφοποιείται) δίνοντας μία εκτίμηση της ποιότητας ισχύος στο μετρούμενο δίκτυο. σημαντικό παραμένει να αναφερθεί πως ο τρόπος που εισάγονται τα δεδομένα στο σύστημα, έχει την μορφή στατιστικών δεδομένων επί των μετρούμενων δειγμάτων.

5.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα διπλωματική εργασία μπορούν να εξαχθούν πολλά και σημαντικά συμπεράσματα. Μπορούν, δε, να ομαδοποιηθούν σε δύο κατηγορίες:

- a) Από την μελέτη και ανάλυση των ερωτηματολογίων
- b) Από τα αποτελέσματα που δίνει η μέθοδος που αναπτύχθηκε.

Όσον αφορά την πρώτη κατηγορία έγινε φανερό ότι υπάρχει σοβαρή έλλειψη ενημέρωσης γύρω από τις διαταραχές στην ποιότητα ισχύος και τις επιπτώσεις που μπορεί να έχουν στον ηλεκτρικό εξοπλισμό. Γνωστές παραμένουν κυρίως μόνο οι διακοπές και οι βυθίσεις, λόγω και της ορατής απώλειας στην παραγωγή που προκαλούν. Επίσης γνωστές είναι και οι αρμονικές. Παραμένουν όμως άγνωστες πολλές και σημαντικές διαταραχές όπως οι μεταβατικές υπερτάσεις (transients).

Παρατηρήθηκε ότι σε μεγάλο πλήθος των καταναλωτών δεν υπάρχει σοβαρός προστατευτικός εξοπλισμός κατά των διαταραχών, όπως και δεν υπάρχουν σοβαρά μετρητικά όργανα για να καταγράψουν τα ενδεχόμενα προβλήματα που μπορεί να δημιουργηθούν. Οι εξοπλισμοί αυτοί συνήθως είναι αρκετά ακριβοί, όμως στις περισσότερες των περιπτώσεων μπορούν να αποτελέσουν αιτία αποφυγής καταστροφών και τραυματισμών. (εξαιρούνται οι μεγάλοι καταναλωτές)

Από την πλευρά των καταναλωτών φαίνεται πως αγνοούνται οι διαταραχές που εισάγουν στο δίκτυο. Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί θεωρούν αρκετό τον έλεγχο του συντελεστή ισχύος για την επίλυση των προβλημάτων στην ποιότητα ισχύος.

Για την δεύτερη κατηγορία είναι πολύ σημαντικό που γίνεται προσπάθεια να συμπεριληφθούν οι περισσότερες μεταβολές στην διαμόρφωση ενός δείκτη της ποιότητας ισχύος. Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές προσπάθειες να διατυπωθεί ένας δείκτης για την ποιότητα ισχύος. Επομένως υπάρχει προηγούμενο προς αυτήν την κατεύθυνση. Μέχρι τώρα όμως παρατηρούνταν, πως επιλέγονταν κυρίως οι βυθίσεις και οι διακοπές, των οποίων τα αποτελέσματα είναι άμεσα ορατά στην παραγωγική διαδικασία. Όμως και οι υπόλοιπες διαταραχές αποτελούν σοβαρό κομμάτι στην διαμόρφωση της ποιότητας ισχύος.

Στη μέθοδο που προτείνεται, επιχειρείται να συμπεριληφθούν όσο το δυνατό περισσότερες διαταραχές. Βασίστηκε στην γνώση που παρέχεται από την διεθνή βιβλιογραφία και από την εμπειρία. Ο συνδυασμός αυτός δημιούργησε ένα μοντέλο που μπορεί και ανταποκρίνεται στις αλλαγές. Δηλαδή αν η υπάρχουσα γνώση μεταβληθεί το μοντέλο με τον τρόπο που είναι διαμορφωμένο μπορεί να προσαρμοστεί στις καινούργιες συνθήκες. Αυτό αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα γιατί δίνει την δυνατότητα επεκτασιμότητας του μοντέλου.

Οι εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν έδειξαν πως το σύστημα μπορεί να απεικονίσει ικανοποιητικά την ποιότητα ισχύος ενός δικτύου.

Το σημαντικό είναι πως πραγματοποιήθηκε μία προσπάθεια βαθμολόγησης των δικτύων ανάλογα με την ποιότητα ισχύος τους. Το σημαντικότερο ακόμα είναι πως στην προσπάθεια αυτή χρησιμοποιήθηκε το μεγαλύτερο πλήθος διαταραχών της ποιότητας ισχύος. Για να είναι απόλυτα ορθό το σύστημα κρίνεται απαραίτητη η στήριξη του με στατιστικά δεδομένα για τις διάφορες διαταραχές. Αν υπήρχαν αυτά τα δεδομένα, το feedback από αυτή τη γνώση, θα μπορούσε να βελτιώσει πολύ το σύστημα και οι τιμές του δείκτη να προσεγγίζουν τις πραγματικές.

Σημασία τέλος έχει πως είτε με την ανάπτυξη του συστήματος είτε με την μελέτη των διαταραχών που πραγματοποιήθηκε, δημιουργήθηκε το τοπίο εκείνο για καλύτερη μελλοντική παρατήρηση και μελέτη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] “ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΜΟΣ Ι ΜΟΝΙΜΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ”, ΒΑΣΙΛΗΣ Κ. ΠΑΠΑΔΙΑΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗ Ε.Μ.Π., ΑΘΗΝΑ 1985
- [2] “ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”, Μ.Π. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΑΘΗΝΑ 1997
- [3] “ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”, ΜΙΧ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π., ΑΘΗΝΑ 2004
- [4] “ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ”, Μ.Π. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ, ΑΘΗΝΑ 1997
- [5] “ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”, ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΔΙΑΛΥΝΑΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ, ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1996
- [6] “ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ”, ΣΤΕΦΑΝΟΣ Ν.ΜΑΝΙΑΣ Καθηγητής Ε.Μ.Π. , ΤΟΜΟΣ ΠΡΩΤΟΣ ΠΕΜΠΤΗ ΕΚΔΟΣΗ
- [7] “ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΜΕΡΟΣ Β’ ΜΟΝΙΜΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ”, Ι.Α. ΤΕΓΟΠΟΥΛΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π., ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ ΑΘΗΝΑ 1991
- [8] ΒΟΚΑΣ ΓΙΩΡΓΟΣ, ΓΑΖΙΔΕΛΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ, ΚΑΤΣΙΚΑΡΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ, ΜΑΡΓΙΩΛΗΣ ΚΩΣΤΑΣ, ΠΕΠΟΝΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ, “ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ”, *ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ*, ΑΘΗΝΑ 1993
- [9] “POWER HARMONICS ANALYSER AND POWER QUALITY ANALYSER, MODERN POWER QUALITY MEASUREMENTS TECHNIQUES”, NORTHERN DESIGN (ELECTRONICS) LTD
- [10] ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΡΛΕΣ Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ, “ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ”, ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ,
- [11] M.H.J.Bollen, “ What is Power Quality?”, *Electric Power Systems Research* 66 (2003) 5-14
- [12] G.T.Heydt, “Power Quality Engineering”, *IEEE Power Engineering Review*, SEPTEMBER 2001
- [13] Mark McGranaghan, Bill Roettger, “Economic Evaluation of Power Quality”, *IEEE Power Engineering Review*, February 2002
- [14] Tom A.Short, Senior Member, IEEE, Arshad Mansoor, Senior Member, IEEE, Wes Sunderman, Member, IEEE, and Ashok Sunderman, IEEE, “Site Variation and Prediction of Power Quality”, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY VOL. 18, NO. 4, OCTOBER 2003*

- [15] G.-J Lee, G.T. Heydt, “An interactive-dynamic mechanism conceptualizing the cost and benefit of electric power quality”, *Electrical Power Systems Research* 69 (2004) 69-75
- [16] H.M.S.C. Herath, Student Member, IEEE, Victor J. Gosbell, Member, IEEE, and Sarath Perera, Member, IEEE, “Power Quality (PQ) Survey Reporting: Discrete Disturbance Limits”, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY*, VOL. 20 , NO. 2 APRIL 2005
- [17] ROBERT ELLIS AND BOB GUIRDY, “POWER QUALITY CONCERNS AND SOLUTIONS, Investigating power issues on a 2,500-hp pipeline booster station adjustable frequency drive”, *IEEE INDUSTRY APPLICATIONS MAGAZINE*, NOV/DEC 2005
- [18] “Power Quality Knowledge-Based Services”, *2006 Annual Portfolio EPRI*, 1997
- [19] A.Capasso, R.Lamedica, A.Prudenzi, “Experimental characterization of personal computers harmonic impact on power quality”, *Computer Standards & Interfaces* 21 (1999) 321-333
- [20] Ambra Sannino, Jan Svensson, Tomas Larsson, “Power-electronic solutions to power quality problems, a Review”, *Electric Power Systems Research* 66 (2003) 71-82
- [21] Mark McGranaghan, “Dealing with Voltage Sags in Your Facility”, *EPRI Solutions*, February 2006
- [22] JillVaughan-Brich, “Rise of Residential Surge Protection”, *Siemens and Automation*, December 2005
- [23] Alok Thapar, Student Member, Tapan Kumar Saha, Senior Member, and Zhao Yang Dong, Member, IEEE, “ INVESTIGATION OF POWER QUALITY CATEGORISATION AND SIMULATING IT’S IMPACT ON SENSITIVE ELECTRONIC EQUIPMENT”, *Power Engineering Society General Meeting, 2004. IEEE Volume , Issue , 6-10 , June 2004*
- [24] Denzil Merrill, “Central vs Distributed Power Infrastructure”, *MGE UPS Systems, Inc., December 2005*
- [25] Bradford M. Nacke, Member, IEEE, and Randall L. Schalke, Senior Member, IEEE, “ The Importance of Power Quality Management in the Pulp and Paper Industry”, *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS*, VOL.38, NO. 3, MAY/JUNE 2002
- [26] Stavros A.Papathanasiou, Member, IEEE, and Fritz Santjer, “Power-Quality Measurements in an Autonomous Island Grid With High Wind Penetration”, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY*, VOL. 21 , NO. 1, JANUARY 2006

- [27] Oscar C. Montero-Hernandez, Member, IEEE, and Prasad N. Enjeti, Fellow, IEEE, IEEE, “A Fast Detection Algorithm Suitable for Mitigation of Numerous Power Quality Disturbances”, *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL.41, NO. 6, NOVEMBER/DECEMBER 2005*
- [28] N.A. Kasmias, S.A. Papathanassiou, “Voltage Disturbances created by the Connection of Synchronous Generators to the Grid”. *Proc. MedPower 2004*, Nov. 2004, Lemessos.,
- [29] Σ.Παπαθανασίου, Γ. Τσιτίλος, Γ. Αντωνόπουλος, Δ. Στραυρόπουλος, “ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΝΔΕΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ”,
- [30] M.P. Papadopoulos, S.A. Papathanassiou, N.G. Boulaxis, S.T. Tentzeraki, “VOLTAGE QUALITY CHANGE BY GRID-CONNECTED WIND TURBINES”, *Proceedings of EWEC'99*, March 1999, Nice, France
- [31] Stavros A. Papathanassiou, Nikos G. Boulaxis, “Power limitations and energy yield evaluation for wind farms operating in island systems”, *Renewable Energy xx (2005) 1-23*
- [32] W.R. Anis Ibrahim, M.M. Morcos, D.G.Kreis, “An Adaptive Neuro-Fuzzy Intelligent Tool And Expert System For Power Quality Analysis – Part I: An Introduction”, *Power Engineering Society Summer Meeting, 1999. IEEE Volume 1, Issue , 18-22 July 1999*
- [33] M.A. Farahat and B.M. Al-Shammari, “POWER SYSTEM RELIABILITY EVALUATION AND QUALITY ASSESMENT BY FUZZY LOGIC TECHNIQS”
- [34] Aloisio de Oliveira, Ronan Marcelo Martins, Walkyria Krysthie A. Goncalves “Expert System for Power Quality Improvement”, 2000 IEEE
- [35] Wael R. Anis Ibrahim, Student Member, IEEE, and Medhat M.Morcos, Senior Member, IEEE, “A Power Quality Perspective to System Operational Diagnosis Using Fuzzy Logic and Adaptive Techniques”, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 18, NO. 3, July 2003*
- [36] Wael R. Anis Ibrahim, Student Member, IEEE, and Medhat M.Morcos, Senior Member, IEEE, “An Adaptive Fuzzy Technique for Learning Power Quality Signature Waveforms”, *IEEE Power Engineering Review*, January 2001
- [37] Ho Jae Lee, Jin Bae Park, Young Hoon Joo, “ Robust load-frequency control for uncertain nonlinear power systems: A fuzzy logic approach”, *Elsevier Science Direct*, January 2006
- [38] B.D. Bonatto, T. Niimura, H.W. Dommel “A Fuzzy Logic Application To Represent Load Sensitivity To Voltags Sags”, IEEE 1998

- [39] Wael R. Anis Ibrahim, Student Member, IEEE, and Medhat M. Morcos, Senior Member, IEEE, “Artificial Intelligence and Advanced Mathematical Tools for Power Quality Applications: A Survey”, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY*, VOL. 17, NO. 2, APRIL 2002
- [40] ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΚΙΚΟΣ, “ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΕΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΩΝ ΑΣΑΦΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ”, *ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΜΠ*, ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 1993
- [41] Bradford Roberts, P.E., Member, I.E.E.E., “Power Quality Solutions Alternatives For Low and Medium Voltage Continuous Process Loads”, *Rural Electric Power Conference, 2002. 2002 IEEE*, 2002
- [42] N. Dizdravevic, M. Majstrovic, Member IEEE, and S. Zutobradic, Member, IEEE, “Power quality in a distribution Network after wind power plant connection”, *Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES*, New York October
- [43] T H Ortmeyer, T Hiyama, H Solehfar, “ Power Quality effects of distribution system faults”, *Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES*, New York October
- [44] Shameen Ahmaad Lone, Mairaj Ud-Din Mufti, “Power quality improvement of a stand alone power system subjected o various disturbances”, *Power Engineering Journal Volume 15*, Issue 2, Apr 2001
- [45] Ben Byman, Member IEEE, Rudolf Schnorr von Corolsfeld, Member IEEE, and John Van Gorp, “ Using Distributed Power Quality Monitoring for Better Electrical System Management”, *Pulp and Paper Industry Technical Conference*, 1998
- [46] Jose C. Oliveira, Anderson L. A., Vilaca Aloisio de Oliveira, Olivio C. N. Souto, Antonio Marcio, Paulo F. Ribeiro, “A practical Case of Power Quality Study”, *Harmonics And Quality of Power, 1998. Proceedings. 8th International Conference on Volume 1*, Issue , 14-18 Oct 1998
- [47] Kenneth E. Nicholson, Richard L. Doughty, Gregory Miranda and Frank D. Pulaski, “Cost Effective Power Management Systems”, *Petroleum and Chemical Industry Conference, 1998. Industry Applications Society 45th Annual Volume* , Issue , 28-30 Sep 1998
- [48] J.Wang, Non Member, S.Chen, Senior Member, IEEE, T.T. Lie, Senior Member, IEEE, “Estimating Economic Impacts on Voltage Sags”, *Power System Technology, 2004. PowerCon 2004. 2004 International Conference on Volume 1*, Issue , 21-24 Nov. 2004
- [49] R. Ghandehari and A. Jalilian Iran University of Science and Technology (IUST), “ECONOMICAL IMPACTS OF POWER QUALITY IN POWER

- SYSTEMS”, *Universities Power Engineering Conference, 2004. UPEC 2004. 39th International Volume 2*, Issue , 6-8 Sept. 2004.
- [50] Chengyon Zhao, Xia Zhao, Xiufang Jia, School of Electrical Engineering North China Electric Power University, “System Innovation for Solving Power Quality Problems Based on Environmental Economic”, *Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES Volume* , 10-13 Oct. 2004
- [51] J. W. Marangon Lima, J. P. E. S. Tonure, E.B. de Carvahho, “Quality Regulation Based on Yardstick Competition”, *Power Tech Proceedings, 2001 IEEE Porto Volume 1* , 2001
- [52] H.R.P.M. de Oliveira, C.E.C. Figueiredo, AES Sul N.C. de Jesus, E.L. Batista, UNIJUI and M.L.B. Martinez, UNIFEI, “Analysis of Power Quality Problems in Low-Voltage Circuits”, *Harmonics and Quality of Power, 2004. 11th International Conference on Volume* , 12-15 Sept. 2004
- [53] Victor J. Gosbell, Member IEEE, Alex Baitch, Senior Member IEEE, and Mathias H.J. Bollen, Senior Member IEEE, “The Reporting of Distribution Power Quality Surveys”, *Quality and Security of Electric Power Delivery Systems, 2003. International Symposium Volume* , 8-10 Oct. 2003
- [54] Haizhen Wang, Don O. Koval, Wilsun Xu, “Canadian Rural Power Quality Statistical Characteristics”, *Electrical and Computer Engineering, 2003. IEEE CCECE 2003. Canadian Conference on Volume 1*, 4-7 May 2003
- [55] F.J. Salem, Member, IEEE, R.A. Simms, Member, IEEE, “Power Quality From A Utility Perspective”, *Harmonics and Quality of Power, 2000. Proceedings. Ninth International Conference on Volume 3*, 2000
- [56] G. Carpinelli, Member IEEE, A. Russo, Member IEEE, P. Garamia, Member IEEE, P. Verde, Member IEEE, “Some Consideration on Single Site and System Probabilistic Harmonic Indices for Distribution Networks”, *Power Engineering Society General Meeting, 2003, IEEE Volume 2*, Issue , 13-17 July 2003
- [57] R. Lamedica, G. Esposito, E. Tironi, D. Zaninelli, A. Prudenzi, “A Survey on Power Quality Cost in industrial customers”, *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, vol. 2*, 2001
- [58] M. Sullivan, M. Sheehan, “Observed Changes in Residential and Commercial customer interruption costs in the Pacific Northwest between 1989 and 1999”, *Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE Volume 4*, Issue , 2000
- [59] N.C. Koskolos, S.M. Megaloconomos, E.N. Dialynas, “Assessment of power interruption costs for the industrial customers in Greece”, *Harmonics And Quality of Power, 1998. Proceedings. 8th International Conference on Volume 2*, Issue , 14-18 Oct 1998

- [60] Heine P., Pohjanheimo P., Lethtonen M., Lakervic E., “A method for estimating the frequency and the cost of voltage sags”, *Power Systems, IEEE Transactions on Volume 17*, Issue 2, May 2002
- [61] P.Y. Ekel, L.D.B. Terra, Member IEEE, M.F.D. Junges, “Methods of Multicriteria Decision Making in Fuzzy Environment and Their Applications to Transmission and Distribution Problems”, *Transmission and Distribution Conference, 1999 IEEE Volume 2*, Issue , 11-16 Apr 1999
- [62] Zon-Yau Lee, Gwo-Hshiung Tzevos, Hsiao-Chang Yu, “Fuzzy MCDM Approach for IC Company’s Strategy in the Semiconductor Industry”, *Management of Engineering and Technology, 2001. PICMET apos;01. Portland International Conference on Volume 1*, Issue , 2001
- [63] Robert Fuller, Christer Carlsson, “Fuzzy multicriteria decision making: Recent development”, *Fuzzy Sets and Systems*, 78(1996)
- [64] “Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems”, Hans Zimmermann, 1986
- [65] P.K. Dash, S.K Panda, A.C. Liew, B. Mishra, R.K. Jena, “A new approach to monitoring electric power quality”, *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on Volume 53*, Issue 2, April 2004
- [66] Jiansheng Huang, Michael Negnevitsky, Member, IEEE, and D. Thong Nguyen, Member, IEEE, “A Neural-Fuzzy Classifier for Recognition of Power Quality Disturbances”, *Power Delivery, IEEE Transactions on Volume 17*, Issue 2, Apr 2002
- [67] Yuan Liaoa, Jong-Beom Leem, “A fuzzy-expert system for classifying power quality disturbances”, *Electricity Distribution, 2001. Part 1: Contributions. CIRED. 16th International Conference and Exhibition on (IEE Conf. Publ No. 482) Volume 2*, Issue , 2001
- [68] Ltang Cai, Student Member, IEEE, and Hongkun Chen, “Fuzzy Studies on Power Quality-Part II : Monitoring and Management”, *Harmonics and Quality of Power, 2002. 10th International Conference on Volume 2*, Issue , 6-9 Oct. 2002
- [69] P.K. Dasha, R.K. Jena, M.M.A. Salama, “Power quality monitoring using an integrated Fourier linear combiner and fuzzy expert system”, *Power Delivery, IEEE Transactions on Volume 15*, Issue 2, Apr 2000
- [70] Yong-June Shin, Member, IEEE, Edward J. Powers, Life Fellow, IEEE, Mack Grady, Fellow, Senior Member, IEEE, “ Power Quality Indices for Transient Disturbances”, *Power Delivery, IEEE Transactions on Volume 21*, Issue 1, Jan. 2006
- [71] Hong-Tzer Yang Chiung-Chou Liao Jian-Fu Chen Wen-Yeau Chang, “A Fuzzy Petri-Net Expert System for Power Quality Classification Using Wavelet

- Transform”, *Electric Power Engineering, 1999. PowerTech Budapest 99. International Conference on Volume* , 1999
- [72] Syazlina Mohamad Nawi, Julaina Johari, and Farid Abidin, “A Fuzzy Logic Application for Identification of Harmonics Disturbances Sources”, *SoutheastCon, 2005. Proceedings. IEEE Volume* , Issue , 8-10 April 2005
- [73] Yuan Liaoa, Jong-Beom Leeb, “A fuzzy-expert system for classifying power quality disturbances”, *Electrical Power and Energy Systems 26 (2004) 199–205*
- [74] Jiansheng Huang, Michael Negnevitsky, Member, IEEE, and D. Thong Nguyen, Member, IEEE, “A Neural-Fuzzy Classifier for Recognition of Power Quality Disturbances”, *Power Delivery, IEEE Transactions on Volume 17*, Issue 2, Apr 2002
- [75] Wael R. Anis Ibrahim, Student Member, IEEE, and Medhat M. Morcos, Senior Member, IEEE, “A Power Quality Perspective to System Operational Diagnosis Using Fuzzy Logic and Adaptive Techniques”, *Power Delivery, IEEE Transactions on Volume 18*, Issue 3, July 2003
- [76] W.R. Anis Ibrahim, M.M. Morcos, “An Adaptive Fuzzy Technique for Learning Power-Quality Signature Waveforms”, *Power Engineering Review, IEEE Volume 21*, Issue 1, Jan 2001
- [77] Ltang Cai, Student Member, IEEE, and Hongkun Chen, “Fuzzy Studies on Power Quality-Part II : Monitoring and Management”, *Harmonics and Quality of Power, 2002. 10th International Conference on Volume 2*, Issue , 6-9 Oct. 2002
- [78] Liang Cai, Student Member, IEEE, and Hongkun Chen, “Fuzzy Studies on Power Quality-Part I : Index and Evaluation”, *Harmonics and Quality of Power, 2002. 10th International Conference on Volume 2*, Issue , 6-9 Oct. 2002
- [79] Vic Gosbel, Sarath Perera, Vic Smith, “Power Factor Correction and its Pitfalls, Technical Notes, Integral Energy”, *Power Quality Centre, technical Notes No. 2 of University of Wollongong*, May 1999
- [80] Vic Gosbel, Sarath Perera, Vic Smith, “Voltage Sag Measurement and Characterisation”, *Technical Notes, no. 4, Integral Energy, Power Quality Centre, University of Wollongong*, June 2001
- [81] Vic Gosbel, Sarath Perera, Vic Smith, “Harmonic Distortion in the Electric Supply system”, *Technical Notes, no. 3, Integral Energy, Power Quality Center, University of Wollongong*, March 2000
- [82] Vic Gosbel, Sarath Perera, Vic Smith, “Voltage Unbalance”, *Technical Notes, no. 6, Integral Energy, Power Quality Center, University of Wollongong*, October 2002

- [83] Vic Gosbel, Sarath Perera, Vic Smith, “Understanding Power Quality”, *Technical Notes, no. 1, Integral Energy, Power Quality Center, University of Wollongong*, June 1998
- [84] Vic Gosbel, Sarath Perera, Vic Smith, “Transient overvoltages on the electricity supply network – Classification causes and propagation”, *Technical Notes, no. 8, Integral Energy, Power Quality Center, University of Wollongong*, April 2005
- [85] “Υπολογιστική Νοημοσύνη, Τόμος Α”, Σ. Τζαφέστα, καθηγητής ΕΜΠ, Αθήνα 2002
- [86] “Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Έλεγχος Συχνότητας και Τάσεως”, Β.Κ. Παπαδιά, καθηγητής ΕΜΠ, Κ. Βουρνά, Επίκ. Καθηγητής ΕΜΠ, Αθήνα 1991
- [87] Vic Gosbel, Sarath Perera, Vic Smith, “Voltage Fluctuation in the Electric Supply System”, *Technical Notes, no. 7, Integral Energy, Power Quality Center, University of Wollongong*, August 2003

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

CENELEC EN50160

EN50160:1999 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΔΗΜΟΣΙΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Τα διεθνή πρότυπα που ενδιαφέρονται για την ποιότητα ισχύος είναι είτε βασικά είτε γενικά στάνταρ ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και δημοσιεύονται από την IEC (IEC 61000-x-x series) και από την IEEE (1159, 1433, 519, 1564, 1453). Τα περισσότερα από αυτά τα EMC (Electromagnetic Compatibility) στάνταρ είναι προτάσεις περισσότερο και λειτουργούν σαν προτροπή χωρίς κάποιο νομικό πλαίσιο. Μερικά από αυτά, IEC 61000-3-2 και IEC 61000-3-3 για παράδειγμα, είναι εισηγμένα στην νομοθεσία της ευρωπαϊκής ένωσης. Υπάρχει μία πληθώρα στάνταρ προϊόντων τα οποία οριοθετούν την επίδραση που θα πρέπει να έχει κάποιο συγκεκριμένο προϊόν ή μια σειρά τέτοιων προϊόντων στο σύστημα παροχής και στον εξοπλισμό. Παρόλα αυτά, το CENELEC EN50160 είναι το στάνταρ εκείνο που χρησιμοποιείται κατά τους υπολογισμούς της ποιότητας ισχύος.

A.0. Σκοπός

Το στάνταρ CENELEC EN50160 “Χαρακτηριστικά του ηλεκτρισμού που παρέχεται από το δημόσιο σύστημα διανομής” είναι ένα στάνταρ που ορίζει τα χαρακτηριστικά της τάσης των συστημάτων διανομής μέσης και χαμηλής τάσης. Χρησιμοποιείται για ως βάση για διαπραγμάτευση υπογραφής συμβολαίων μεταξύ της εταιρίας Σ.Η.Ε. και του καταναλωτή στην Ευρωπαϊκή Ένωση καθώς και για συμβόλαια μικρών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Πρωτοδημοσιεύτηκε το 1994 και δευτερεύοντος με μικρές αλλαγές το 1999, το στάνταρ αυτό είναι υποχρεωτικό στην Ευρωπαϊκή Ένωση και θα πρέπει να έχει γίνει υποχρεωτικό για όλες τις χώρες μέλη της Ε.Ε. μέχρι το 2003.

Το EN50160 δεν είναι ένα EMC στάνταρ. Είναι ένα στάνταρ που βασίζεται στα προϊόντα και ορίζει την ποιότητα της ενός προϊόντος (παρεχόμενου ηλεκτρισμού) με όρους χαρακτηριστικών τάσης στους ζυγούς των συστημάτων παροχής ισχύος.

Αυτό το στάνταρ μπορεί μερικώς ή εξ ολοκλήρου να αντικατασταθεί από ένα συμβόλαιο μεταξύ παραγωγού και καταναλωτή. Εξαιτίας του υψηλού κόστους της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε αραιοκατοικημένες περιοχές, ο παραγωγός και ο καταναλωτής μπορούν να συμφωνήσουν από κοινού για χαμηλότερο επίπεδο ποιότητας δημιουργώντας προϋποθέσεις για φτηνότερη παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Είναι στην περίπτωση αυτή ευθύνη του καταναλωτή να προσδιορίσει το μέγεθος των επιπτώσεων των αυξημένων διαταραχών στο συνδεδεμένο εξοπλισμό.

A.1. Εμβέλεια

Το στάνταρ EN50160 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν προσδιορισμός των μεγίστων επιπέδων διαταραχών της ποιότητας ισχύος που αναμένεται οπουδήποτε στα συστήματα XT και MT κατά την διάρκεια διακυμάνσεων κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο.

Το στάνταρ δεν είναι εφαρμόσιμο για συμβάντα πέραν της δυνατότητας ελέγχου του παροχέα του συστήματος (πηγή: οδηγός εφαρμογής EN50160 – CENELEC BTTF-68-6):

ο Εξαιρετικά άσχημα καιρικές καταστάσεις και άλλες φυσικές καταστροφές

- Καταιγίδες, ιδιάζουσες δεινότητας, εδαφικές καθιζήσεις, σεισμοί, χιονοστιβάδες, πλημμύρες, μεγάλη περίοδος έντονης υγρασίας και ξηρασίας
- ο Παρέμβαση τρίτων
 - Σαμποτάζ, βανδαλισμός
- ο Παρεμβατικές ενέργειες δημόσιων αρχών
 - Περιορισμοί που επιβάλλονται από την κυβέρνηση για λόγους δημόσιας ασφάλειας
- ο Βιομηχανικές δραστηριότητες
 - Σύμπτυξη εργαστηρίων, απεργίες
- ο Λόγοι ανωτέρω βίας
 - Μεγάλης κλίμακας ατυχήματα
- ο Διακοπές της ισχύος που οφείλονται σε εξωτερικά αίτια
 - Περιορισμός της ενέργειας ή διακοπή της εθνικό δίκτυο μεταφοράς

A.2. Χαρακτηριστικά της παρεχόμενης τάσης

Με σκοπό να επιβεβαιωθεί ότι οι διαταραχές παραμένουν εντός επιτρεπτά όρια, τα αποτελέσματα των μετρήσεων της ποιότητας ισχύος πρέπει να υπολογίζονται βασισμένα στα όρια που ορίζονται από τα στάνταρτ.

Η διαπραγματεύση με τα στάνταρτ της ποιότητας ισχύος χαρακτηρίζουν τις διακυμάνσεις των τάσεων με δύο διαφορετικούς τρόπους:

- Με περιγραφικούς δείκτες
- Με στατιστικά ληφθείσες τιμές

Τα χαρακτηριστικά της ποιότητας εξηγούνται με περισσότερη λεπτομέρεια στο δεύτερο κεφάλαιο.

Όλα τα όρια και οι δείκτες που παρουσιάζονται παρακάτω ορίζονται μόνο για συνθήκες κανονικής λειτουργίας.

Περιγραφικοί δείκτες χρησιμοποιούνται για τα συμβάντα ποιότητας ισχύος που έχουν αρκετά τυχαία φύση, μπορούν να κυμαίνονται στον χρόνο και εξαρτώνται πάρα πολύ από την τοπολογία του συστήματος. Αυτά τα συμβάντα παρατηρούνται **περιστασιακά**. Δεν μπορούν να τους αποδοθούν όρια και μόνο προσεγγιστικές εικόνες μπορούν να δοθούν. Αυτή η προσέγγιση είναι εφαρμόσιμη για περιγραφές:

- **Απότομες (ταχείες) μεταβολές της τάσης**
- **Βυθίσεις της τάσης**
- **Παροδικές υπερτάσεις**
- **Σύντομες διακοπές**
- **Μόνιμες διακοπές**
- **Μεταβατικές υπερτάσεις**

Μία δεύτερη κατηγορία που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του φαινομένου μπορεί να μετρηθεί για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

- **Συχνότητα συστήματος**
- **Πλάτος της παρεχόμενης τάσης**
- **Διακυμάνσεις της παρεχόμενης τάσης**
- **Σοβαρότητα του flicker**
- **Ασυμμετρία της παρεχόμενης τάσης**
- **Αρμονική τάση**
- **Τάση ενδιάμεσων αρμονικών**
- **Mains signaling voltage**

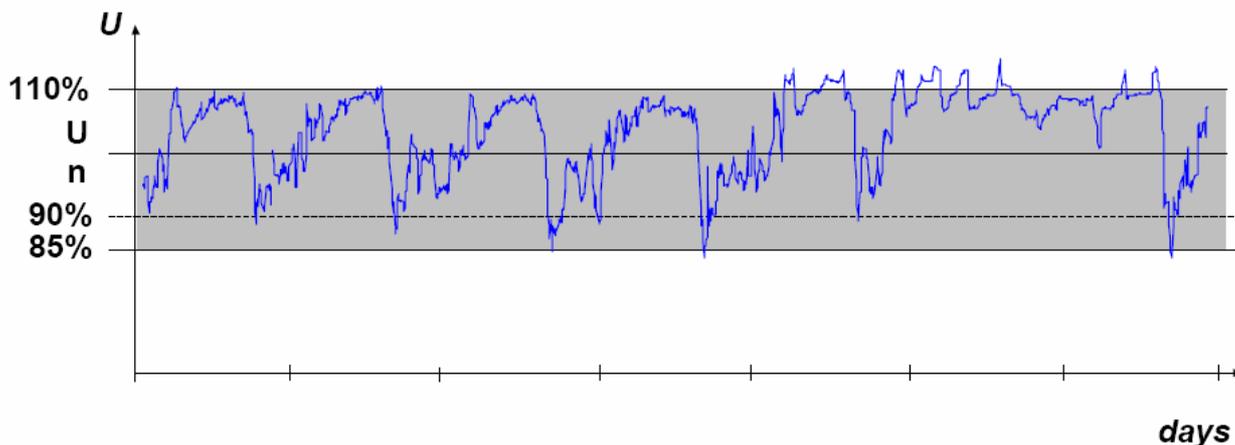
Σημείωση: οι μετρήσεις των ενδιάμεσων αρμονικών ορίζονται, αλλά οι τιμές των ορίων είναι ακόμα υπό συζήτηση.

Ένα παράδειγμα βασισμένο στο κριτήριο για τις διακυμάνσεις της παρεχόμενης τάσης (EN50160:1999, 2.3) φαίνεται παρακάτω.

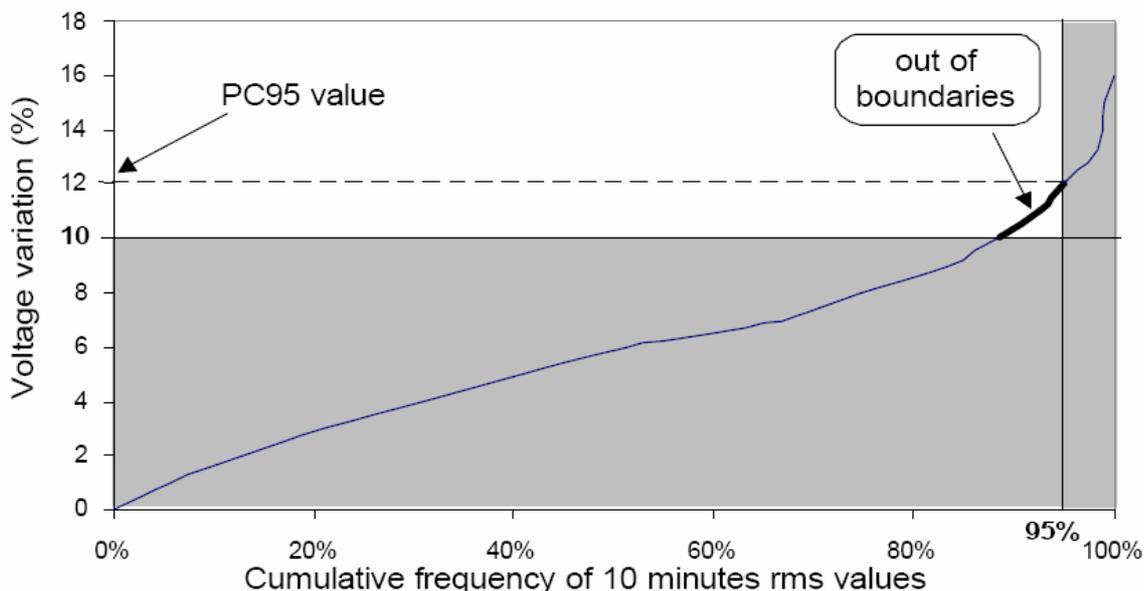
Κριτήριο: “κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, εξαιρουμένου καταστάσεις που προκύπτουν από λάθη και διακοπές τάσης.

- a) Κατά την διάρκεια μιας εβδομάδας 95% των 10λεπτων μέσων όρων της ενεργούς τιμής της παρεχόμενης τάσης θα πρέπει να είναι εντός του εύρους τιμών $U_n \pm 10\%$, όπου U_n είναι η ονομαστική τάση.
- b) Όλες οι τιμές των 10λεπτων μέσων όρων της ενεργούς τιμής της παρεχόμενης τάσης πρέπει να είναι εντός του εύρους $U_n +10\%$ / -15% .

Το παραπάνω παράδειγμα αναπαρίσταται στις παρακάτω εικόνες 19 και 20, στις οποίες οι γκρι περιοχές αντιπροσωπεύουν την επιτρεπόμενη τιμή διακύμανσης της τάσης.



Σχήμα Α1.1. : Καταγραφή της διακύμανσης της τάσης στην διάρκεια κάποιων ημερών. Παρατίθεται με τα όρια του +10% /-15% της ονομαστικής



Σχήμα A1.2. : Το 95% των μέσων μετρήσεων ενεργού τιμής ανά 10λέπτο

Πριν συνεχίσουμε με την διερεύνηση των διαταραχών ανά κατηγορία πρέπει να προσδιορίσουμε αρχικά τον τρόπο που γίνονται οι μετρήσεις πάνω στις οποίες και θα εξετάσουμε τα όρια και δεύτερον να προσδιορίσουμε για την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων την μέθοδο της αθροιστικής πιθανότητας.

Διάστημα ολοκλήρωσης (integrating interval): για να αποκτήσει κανείς επαρκείς πληροφορίες για την συμπεριφορά ενός δικτύου, πρέπει τα συμβάντα που έχουν να κάνουν με την ποιότητα ισχύος, και περιγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, να καταγραφούν για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Στην διεθνή βιβλιογραφία το διάστημα της μίας εβδομάδας θεωρείται σαν το ελάχιστο όριο όπου μπορούν να παρατηρηθούν όλα τα φαινόμενα διαφορετικών καταστάσεων σε ένα δίκτυο.

Δεν είναι δύσκολο κανείς να αντιληφθεί ότι σε αυτό το διάστημα ο όγκος των δεδομένων που πρέπει να αναλυθούν είναι τεράστιος. Για παράδειγμα η αποτίμηση μίας βύθισης βασίζεται σε τιμή της τάσης της τάξης των 10ms. Αυτό σημαίνει ότι τέτοιες τιμές για μία μόνο φάση είναι περίπου 60.480.000 για μία μόνο εβδομάδα. Αρμονικές, flicker και τριφασικές μετρήσεις απλώς αυξάνουν το μέγεθος των δεδομένων. Για να επιτευχθεί λοιπόν αποτελεσματικότητα τα δεδομένα πρέπει να συγκεντρωθούν (συμπιεστούν αλλά χωρίς απώλεια γνώσης).

Συγκέντρωση των δεδομένων επιτυγχάνεται με την μέθοδο της **ολοκλήρωσης (integrating)** των δεδομένων πάνω σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο γνωστή και σαν **διάστημα ολοκλήρωσης (integrating interval)**. Υπάρχουν τρεις τιμές οι οποίες εμπλέκονται σε κάθε διάστημα ολοκλήρωσης : **ο μέσος όρος, η ελάχιστη και η μέγιστη** τιμή των μετρήσεων σε αυτή την τιμή. Στο τέλος κάθε διαστήματος ολοκλήρωσης κάθε εγγραφή (μέσος όρος, μέγιστο, ελάχιστο) αποθηκεύεται στην μνήμη των οργάνων και μετά το πέρας των μετρήσεων, τα δεδομένα περνάνε από το μηχανήματα σε ένα PC. Η διάρκεια του διαστήματος ολοκλήρωσης μπορεί να κυμαίνεται από μερικά δευτερόλεπτα έως και 15 λεπτά, αλλά σαν στάνταρτ τιμή όταν έχουμε να κάνουμε με την ποιότητα ισχύος παίρνουμε το διάστημα των 10 λεπτών.

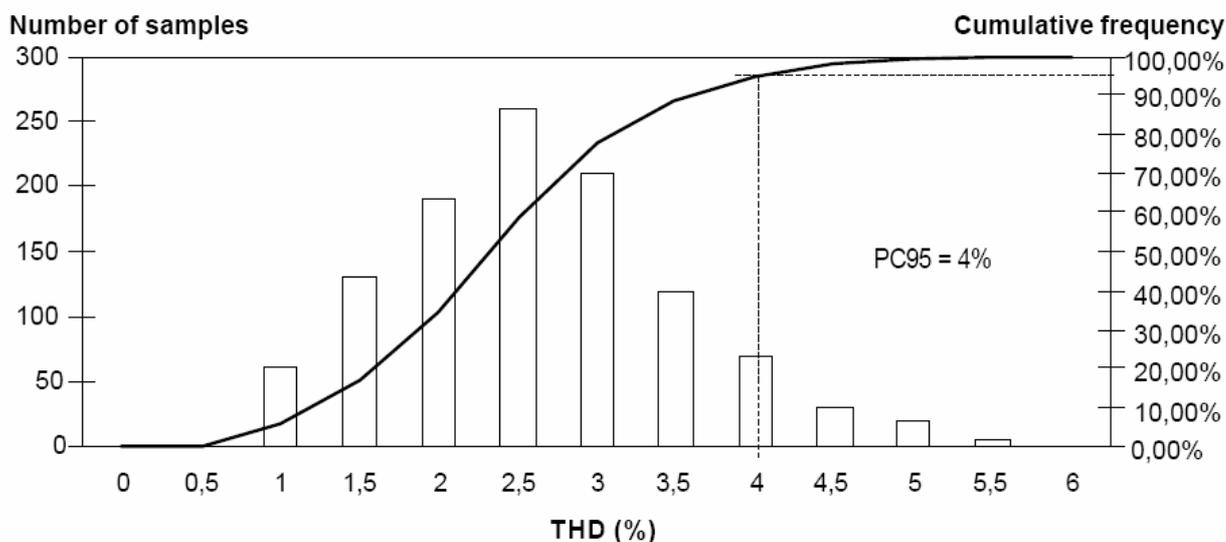
Αθροιστική συχνότητα (cumulative frequency): όταν χρησιμοποιείται ο μέσος όρος με την μέθοδο των διαστημάτων ολοκλήρωσης το μέγεθος των δεδομένων που αποθηκεύονται είναι εμφανώς μειωμένο σε σχέση με πριν. Παρόλα αυτά, υπάρχουν ακόμα 1008 δεκάλεπτα διαστήματα στην διάρκεια μιας εβδομάδας και 3024 τιμές (μέσος, ελάχιστος, μέγιστος) αποθηκεύονται για κάθε ενεργοποιημένο κανάλι εγγραφής. Επιπρόσθετη λοιπόν συγκέντρωση δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί στον υπολογιστή αφού φορτώσει τα δεδομένα από τα όργανα καταγραφής. Τα «στατιστικά δεδομένα των στατιστικών δεδομένων» πραγματοποιούνται για δύο λόγους:

- Εξαιτίας της στοχαστικής φύσης (τυχειότητας) των διακυμάνσεων της τάσης, μερικά γεγονότα στα αποτελέσματα των μετρήσεων για την ποιότητα ισχύος μπορούν καλύτερα να χαρακτηριστούν με στατιστικές ερμηνείες από ότι με μέσους όρους και άκρα
- Αποτελέσματα μιας ολόκληρης σειράς μετρήσεων μπορεί να απεικονιστεί με μία απλή και μόνο τιμή

Η αθροιστική συχνότητα είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον στατιστικό υπολογισμό των μετρούμενων τιμών.

Στο σχήμα 18 που ακολουθεί φαίνεται ένα ιστόγραμμα της καταγεγραμμένης THD τιμής τάσης. Η αθροιστική συχνότητα (συνεχής γραμμή) χρησιμοποιείται σαν κριτήριο στο EN50160 στάνταρτ. Οι τιμές στον άξονα των x ονομάζονται *bins* και παρουσιάζουν τον αριθμό των περιόδων ολοκλήρωσης. Για παράδειγμα, το bin 2 έχει μία τιμή 190 πράγμα που σημαίνει ότι 190 μέσες τιμές των 10 λεπτών του THD της τάσης είναι μεταξύ 2.25 και 2.75.

Μία άλλη τιμή που αναπαρίσταται στο ιστόγραμμα καλείται CP95 και είναι το επί τοις εκατό ποσοστό των εγγραφών που είναι μεγαλύτερες από το 95% των δειγμάτων σε μία περίοδο μέτρησης. Ο CP95 μιας συγκεκριμένης μέτρησης χρησιμοποιείται για επικύρωση πάνω στα ήδη ορισμένα όρια των στάνταρτ.



Σχήμα A1.3. : Αθροιστική συχνότητα

Πάμε τώρα να δούμε τα όρια που ορίζονται από το παραπάνω στάνταρτ για κάθε μία από τις διαταραχές που προαναφέραμε αναλυτικότερα.

A.2.1. Ισχύς

Η ονομαστική ισχύς του συστήματος παροχής τάσης είναι τα 50 Hz. Το χρονικό διάστημα που πραγματοποιείται η μέτρηση είναι 10 δευτερόλεπτα.

Τα όρια για συστήματα MT και XT συνδεδεμένα στο εθνικό δίκτυο είναι:

- Το 95% των μετρούμενων τιμών συχνότητας στα διαστήματα ολοκλήρωσης (integrating intervals) για χρονική διάρκεια πάνω από ένα χρόνο πρέπει να είναι εντός του $\pm 1\%$ (49.5...50.5Hz)
- Όλες οι τιμές σε ένα διάστημα ολοκλήρωσης πρέπει να είναι εντός των $+4\%$ / -6% (47...52Hz)

Όρια για απομονωμένα συστήματα MT και XT (νησιά)

- Το 95% των τιμών στα διαστήματα ολοκλήρωσης, που καταγράφηκαν κατά την περίοδο μιας εβδομάδας, πρέπει να είναι εντός των $\pm 2\%$ (49...51Hz)
- Όλες οι μετρημένες τιμές των διαστημάτων ολοκλήρωσης, που καταγράφηκαν στο διάστημα μιας εβδομάδας πρέπει να είναι εντός των $\pm 15\%$ (42.5...57.5Hz)

A.2.2. Διακυμάνσεις της παρεχόμενης τάσης

Η ονομαστική τάση για XT συστήματα είναι τα 230V φασική τάση για σύστημα με 4 καλώδια και 230V πολική τάση για συστήματα με 3 καλώδια.

Η ονομαστική τάση για MT συστήματα ισούται με την *συμφωνημένη τάση* (declared voltage).

Το διάστημα ολοκλήρωσης για τις μετρήσεις στις διακυμάνσεις των τάσεων είναι τα 10 λεπτά.

Τα όρια για τα συστήματα XT είναι:

- Το 95% των τιμών στα διαστήματα ολοκλήρωσης, που καταγράφηκαν κατά την περίοδο μιας εβδομάδας, πρέπει να είναι εντός των $\pm 10\% U_n$
- Όλες οι μετρημένες τιμές των διαστημάτων ολοκλήρωσης, που καταγράφηκαν στο διάστημα μιας εβδομάδας πρέπει να είναι εντός των $+10\% / -15\% U_n$

Τα όρια για τα συστήματα MT είναι:

- Το 95% των τιμών στα διαστήματα ολοκλήρωσης, που καταγράφηκαν κατά την περίοδο μιας εβδομάδας, πρέπει να είναι εντός των $\pm 10\% U_n$

A.2.3. Ταχείες μεταβολές της τάσης

Η παρουσία απότομων μεταβολών στην τάση σε ένα σύστημα αποτιμάται με την χρήση *περιγραφικών δεικτών*.

Συστήματα XT:

- Το όριο του 5% της U_n δεν ξεπερνιέται γενικά, όμως περιστασιακά κάποιες μικρότερες αλλαγές, μέχρι 10% της U_n ημερησίως, μπορεί να παρατηρηθούν

Συστήματα MT:

- Το όριο του 4% της U_c (declared voltage) δεν ξεπερνιέται γενικά, όμως περιστασιακά κάποιες μικρότερες αλλαγές, μέχρι 6% της U_c ημερησίως, μπορεί να παρατηρηθούν

A.2.4. Βυθίσεις στην παρεχόμενη τάση

Η παρουσία βυθίσεων στην παρεχόμενη τάση ενός συστήματος αποτιμάται με την χρήση *περιγραφικών δεικτών*.

Για συστήματα και XT και MT:

- Ο αναμενόμενος αριθμός των βυθίσεων μπορεί να κυμαίνεται από μερικές δεκάδες μέχρι και κάποιες χιλιάδες στο διάστημα ενός χρόνου. Η πλειοψηφία των βυθίσεων έχει μία διάρκεια μικρότερη από 1s και το βάθος τους μικρότερο από 60%. Σε μερικές περιοχές βυθίσεις με βάθος 10%-15% μπορεί να συμβούν πολύ συχνά.

A.2.5. Παροδικές υπερτάσεις στην παρεχόμενη τάση

Οι παροδικές υπερτάσεις του παρεχόμενου συστήματος όπως ορίζονται στο EN50160 είναι «temporary power frequency overvoltages».

Η παρουσία τέτοιων υπερτάσεων στο σύστημα μπορούν να αποτιμηθούν από περιγραφικούς δείκτες.

Συστήματα XT:

- Σφάλμα σε ένα upstream Μ/Σ μπορεί να προκαλέσει υπέρταση που γενικά δεν ξεπερνάει το 1.5 kV στην χαμηλή τάση

Συστήματα MT:

- Σφάλμα μπορεί να προκαλέσει υπέρταση μέχρι και το 1.7 της U_c σε ένα σύστημα με solid γείωση και μέχρι και διπλάσια σε σύστημα με απομονωμένη ή *resonant* γείωση.

A.2.6. Διακοπές της παρεχόμενης τάσης τροφοδοσίας

Διακοπές τάσης συμβαίνουν όταν η παρεχόμενη τάση πέσει κάτω από το κατώφλι της διακοπής, αυτό σημαίνει 1% της ονομαστικής όταν η μέτρηση γίνεται σε συσχετισμό με το EN50160.

Σύντομες διακοπές είναι διακοπές που διαρκούν λιγότερο από 3 λεπτά.

Μόνιμες διακοπές είναι διακοπές που υπερβαίνουν τα 3 λεπτά.

Η παρουσία μία σύντομης ή μιας μόνιμης διακοπής σε ένα σύστημα αποτιμάται από περιγραφικούς δείκτες.

Συστήματα XT και MT:

- Ο αναμενόμενος αριθμός παροδικών διακοπών μπορεί να ποικίλει από μερικές δεκάδες μέχρι μερικές εκατοντάδες κατά την διάρκεια ενός έτους. Περίπου 70% των παροδικών διακοπών έχουν διάρκεια μικρότερη του ενός δευτερολέπτου.
- Ο αναμενόμενος αριθμός των μόνιμων διακοπών μπορεί να ποικίλει από λιγότερες από 10 μέχρι και 50 κατά την διάρκεια ενός έτους.

Σημείωση: προαποφασισμένες διακοπές εξαιρούνται από τον αριθμό των αναμενόμενων διακοπών γιατί ανακοινώνονται εκ των προτέρων.

A.2.7. Σοβαρότητα του flicker

Ο δείκτης Flicker σύντομης διάρκειας (P_{st}) υπολογίζεται πάνω σε ένα διάστημα ολοκλήρωσης των 10 λεπτών.

Όρια για συστήματα XT και MT:

- Ο δείκτης flicker μακράς διάρκειας (P_{1h}) πρέπει να μην ξεπερνάει την τιμή της μονάδας για 95% του διαστήματος της μιας εβδομάδας.

A.2.8. Ασυμμετρία παρεχόμενης τάσης

Το διάστημα ολοκλήρωσης για την μέτρηση της ασυμμετρίας τάσης είναι 10 λεπτά.

Όρια για τα συστήματα XT είναι:

- Το 95% των τιμών των διαστημάτων ολοκλήρωσης δεν πρέπει να ξεπερνούν το 2% κατά την διάρκεια μιας εβδομάδας. Σε μερικές περιοχές, 3% ασυμμετρίας της τάσης παρατηρείται.

A.2.9. Μεταβατικές υπερτάσεις

Η παρουσία ταχείας αλλαγής στην τάση μεταξύ του αγωγού του καλωδίου και της γης σε ένα σύστημα αποτιμάται από περιγραφικούς δείκτες.

Συστήματα XT:

- Μεταβατικές υπερτάσεις γενικά δεν ξεπερνούν την τιμή των 6kV.

Συστήματα MT:

(δεν υπάρχουν δεικτοδοτημένες τιμές)

A.2.10. Αρμονική τάση

Το διάστημα ολοκλήρωσης για μετρήσεις αρμονικών τάσεων είναι 10 λεπτά.

Όρια για τα συστήματα ΧΤ και ΜΤ:

- Η τάση κάθε αρμονικής πρέπει να είναι ίδια ή μικρότερη με την τιμή για τις αρμονικές στον πίνακα 4, για 95% των διαστημάτων ολοκλήρωσης σε μίας εβδομάδα.
- Ο THDU πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος με το 8% για τα 95% των διαστημάτων ολοκλήρωσης σε διάρκεια μιας εβδομάδας.

A.2.11. Ενδιάμεσων αρμονικών τάσης

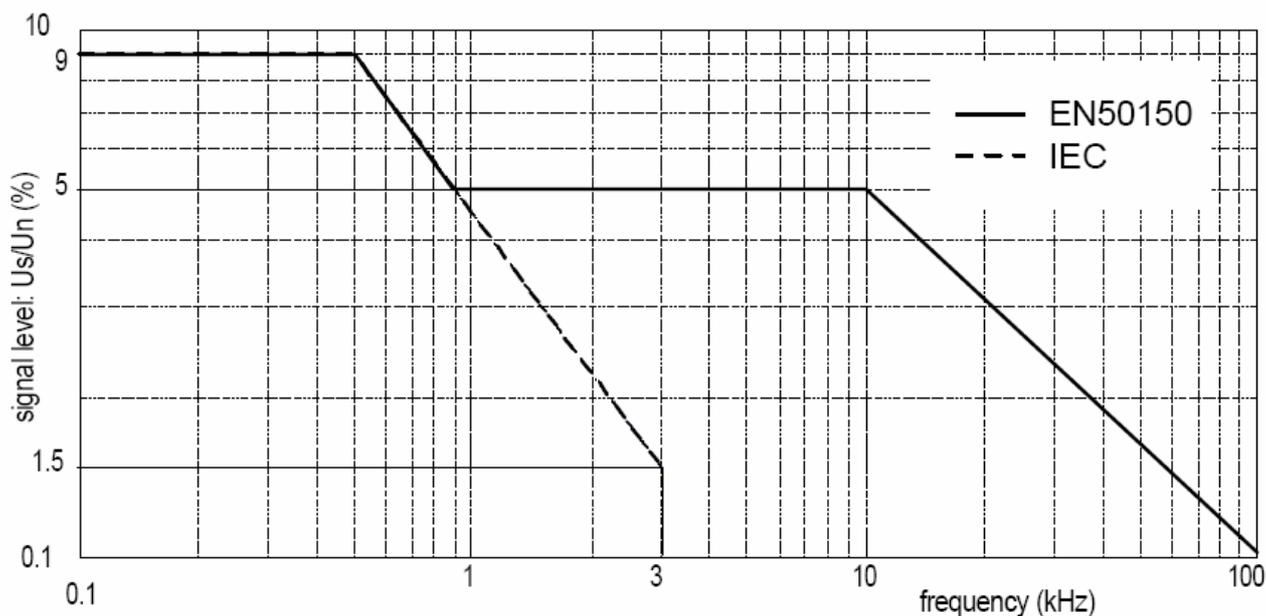
Όρια για τις ενδιάμεσες αρμονικές είναι υπό συζήτηση.

A.2.12. Βασικά Σήματα

Το διάστημα των βασικών σημάτων της ασυμμετρίας παρεχόμενης τάσης είναι 3 δεύτερα.

Τα όρια για μέση και χαμηλή τάση είναι:

- 99% των διαστημάτων ολοκλήρωσης εντός μίας εβδομάδας πρέπει να έχουν τιμές ενεργού τιμής του σήματος της τάσης χαμηλότερη από τις καμπύλες του σχήματος Α1.4.



Σχήμα Α1.4. : Όρια του σήματος της τάσης

Ο πίνακας Α1.1. παρουσιάζει τα όρια που ορίζονται από το στάνταρτ EN50160. Αν δεν καθορίζεται συγκεκριμένα για πιο επίπεδο της τάσης είναι το συγκεκριμένο όριο τότε ισχύει και για την μέση και την χαμηλή τάση.

Characteristic	nominal value	ip	variation min/max	meas. period	note
Power frequency	50Hz	10s	-1% / +1% @ 99.5% of a year -6% / +4% @ 100% of a year	1 week	
	50Hz	10s	-2%/+2% @ 95% of a week -15%/+15% @ 100 % of a time	1 week	for systems isolated systems
Magnitude of supply voltage	LV: 230V MV: Uc				until 2003 LV Un may be according national HD 472 S1
Supply voltage variation	LV: Un	10min	-10% / +10% @ 95% of a week -15% / +10% @ 100% of a week	1 week	
	MV: Uc	10min	-10% / +10% @ 95% of a week	1 week	
Rapid voltage changes	LV: Un		generally $\pm 5\%$ max $\pm 10\%$ several time a day	1 day	indicative
	MV: Uc		generally $\pm 4\%$ max $\pm 6\%$ several time a day		
Flicker severity			P _{lit} < 1 @ 95% of a week	1 week	P _{st} is not used
Supply voltage dips	LV		10-1000 / year, <1s, depth < 60% caused by large loads	1 year	indicative depth% of Un (Uc)
	MV		10-1000 / year, <1s, depth < 60% caused by large loads and faults		
Short interruptions			10 to several hundreds , 70% < 1s	1 year	indicative; duration < 3 min
Long interruptions			10-50	1 year	indicative; prearranged are not counted in
Temporary overvoltages	LV MV		<1.5 kV rms up to 5s < 2.0 Uc; failures < 3 Uc; ferroresonance		indicative
Transient overvoltages	LV MV		< 6 kV		indicative
Supply voltage unbalance		10min	<2% @ 95% of the week, occasionally up to 3%	1 week	
Harmonics		10min	table 4 @ 95% of the week	1 week	
Inter-harmonics		10min	limits under consideration	1 week	
Mains signalling		3s	less then EN50160 curve on figure 16 @ 99% of a day	1 day	

Πίνακας Α1.1. : Όρια των χαρακτηριστικών της παρεχόμενης τάσης σύμφωνα με EN50160

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στο παράρτημα Β παρατείνονται σε μορφή εικόνων ο τρόπος που συντάχθηκαν οι συναρτήσεις συμμετοχής και το ασαφές σύστημα. Για τις συναρτήσεις συμμετοχής οι είσοδοι για κάθε κριτήριο χωριστά προέρχεται (με μια διασύνδεση) από τις τιμές που πληκτρολογεί ο χρήστης στο αντίστοιχο παράθυρο του ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ. Σε κάθε κριτήριο δίνεται η μορφή της συνάρτησης συμμετοχής. Ο τρόπος υλοποίησης της είναι στο background κάθε κελιού που δείχνει την τιμή της συνάρτησης (τελευταία τιμή κάθε κριτηρίου πριν την διατύπωση του επόμενου). Για την υλοποίηση έγινε χρήση των συναρτήσεων που παρέχει το EXCEL και πραγματοποιήθηκε πιστή απεικόνιση της συνάρτησης που δίνεται.

Όσον αφορά το ασαφές ΣΥΣΤΗΜΑ αρχικά δίνεται ο πίνακας των συντελεστών για κάθε διαταραχή ανά κατηγορία καταναλωτή όπως προτάθηκε στο 4^ο κεφάλαιο. Στην συνέχεια δίνονται οι ιδιοτιμές και τα ιδιοδιανύσματα όπως προκύπτουν από την επεξεργασία της συνάρτησης (4.40), που προκύπτει από τις τιμές που προτείνουν οι καταναλωτές για κάθε διαταραχή (πίνακας 3.2). Η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε στο matlab. Με την μέθοδο των Yager – Saaty προκύπτουν και τα βάρη που δίνονται ακριβώς δίπλα.

Με χρήση αυτών των τιμών σε κάθε κελί που φαίνεται αμέσως από κάτω γίνεται υλοποίηση της συνάρτησης που προτείνεται στις 4.47 – 4.49.

Αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ο τρόπος που δίνεται η είσοδος για τις αρμονικές. Στην συγκεκριμένη περίπτωση έγινε η εκτίμηση ότι ο THD δεν είναι πάνω από 20% και τα ποσοστά των δειγμάτων αποκλείεται να πέσουν κάτω του 20%. Οποότε αν η είσοδος είναι μικρότερη θεωρείται πως έγινε είσοδος για THD, ενώ αν είναι μεγαλύτερη η είσοδος επιλέγεται για ποσοστό δειγμάτων.

ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΟΠΩΣ ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟ EXCEL

ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ

1ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗ - ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ

1ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ :

$X_1 =$

12

ΤΙΜΗ ΠΟΥ ΠΛΗΚΤΡΟΛΟΓΕΙΤΑΙ
ΩΣ ΕΙΣΟΔΟΣ ΑΠΟΤΟΥΣ
ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ

$\mu_1(i) =$	{	$\begin{matrix} 1 & 0 < i < 10 \\ 1 - (1/30) * (i - 10) & 10 < i < 40 \\ 0 & i > 40 \end{matrix}$
--------------	---	---

$\mu_1(i) =$	0,933333333
--------------	-------------

2ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ - ΠΑΡΟΔΙΚΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ

2ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ :

$X_2 =$

21

ΤΙΜΗ ΠΟΥ ΠΛΗΚΤΡΟΛΟΓΕΙΤΑΙ
ΩΣ ΕΙΣΟΔΟΣ ΑΠΟΤΟΥΣ
ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ

$\mu_2(m) =$	{	$\begin{matrix} 1 & 0 < m < 10 \\ 1 - (0.5/40) * (m - 10) & 10 < m < 50 \\ 0.5 - (0.5/250) * (m - 50) & 50 < m < 300 \\ 0 & m > 300 \end{matrix}$
--------------	---	---

$\mu_2(m) =$	0,87625
--------------	---------

ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΟΠΩΣ ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟ EXCEL

3ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ - ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

3ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ :

X3 =

98

ΤΙΜΗ ΠΟΥ ΠΛΗΚΤΡΟΛΟΓΕΙΤΑΙ
ΩΣ ΕΙΣΟΔΟΣ ΑΠΟΤΟΥΣ
ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ

μ31(f) =	{	0	0 < f < 80
		(1/19,5)*(f-80)	80 < f < 99,5
		1	f > 99,5

μ32(f) =	{	0	0 < f < 80
		(1/15)*(f-80)	80 < f < 95
		1	f > 95

μ31(f) = 0,923076923

μ32(f) = 1

4ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ - ΒΥΘΙΣΕΙΣ

4ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ :

X4 =

55

ΤΙΜΗ ΠΟΥ ΠΛΗΚΤΡΟΛΟΓΕΙΤΑΙ
ΩΣ ΕΙΣΟΔΟΣ ΑΠΟΤΟΥΣ
ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ

μ4(d) =	{	1	0 < d < 10
		1-(0,6/190)*(d-10)	10 < d < 200
		0,4-(0,4/800)*(d-200)	200 < d < 1000
		0	d > 1000

μ4(d) = 0,857894737

ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΟΠΩΣ ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟ EXCEL

5ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ - ΦΛΙΚΕΡ

5ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ :

X5 =

89

ΤΙΜΗ ΠΟΥ ΠΛΗΚΤΡΟΛΟΓΕΙΤΑΙ
ΩΣ ΕΙΣΟΔΟΣ ΑΠΟΤΟΥΣ
ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ

μ5(fl) =	{	0	0 < fl < 50
		(1/45)*(fl-50)	50 < fl < 95
		1	95 < fl < 100

μ5(fl) = 0,866666667

6ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ - ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ ΦΑΣΕΩΝ

6ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ :

X6 =

94

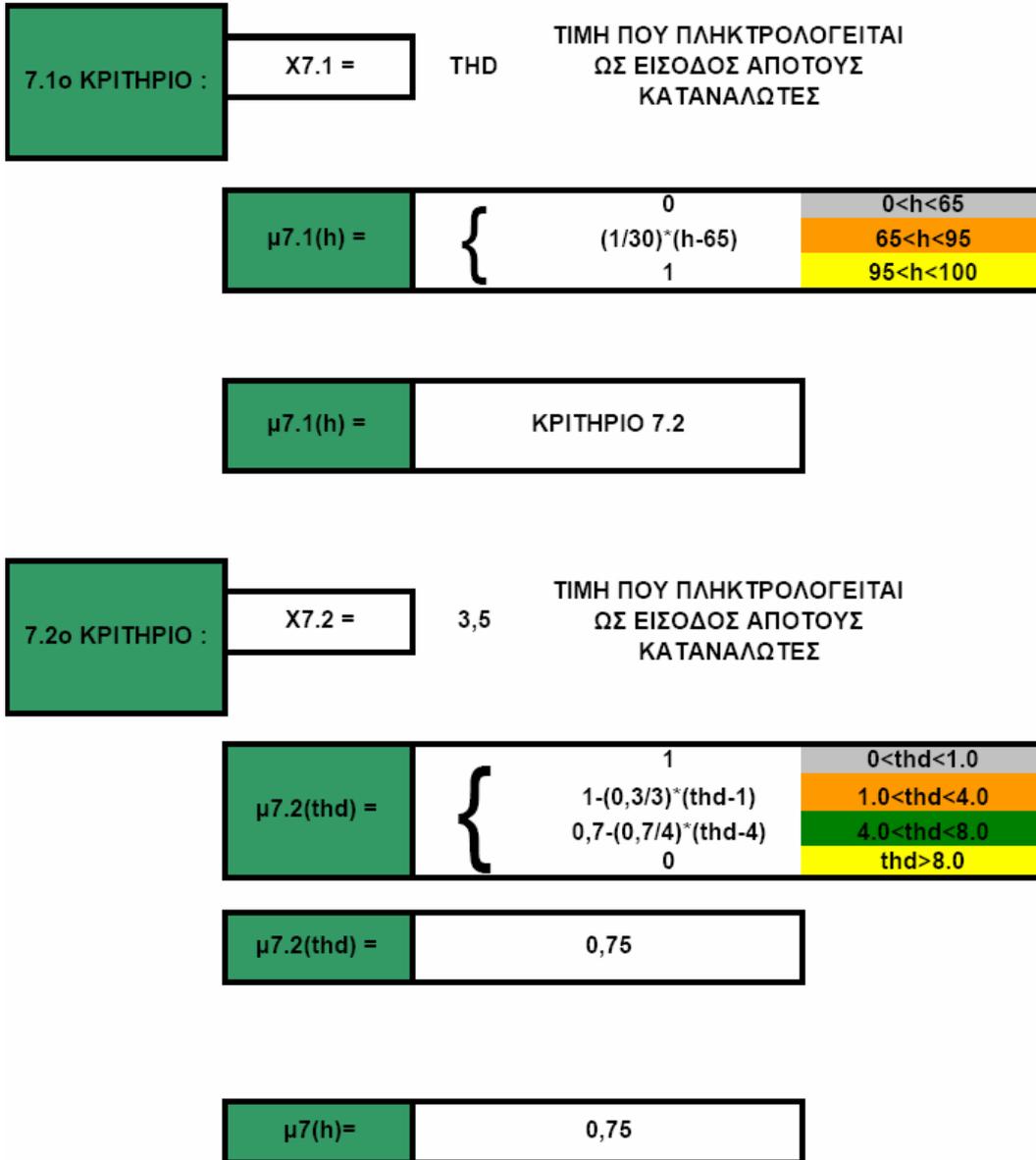
ΤΙΜΗ ΠΟΥ ΠΛΗΚΤΡΟΛΟΓΕΙΤΑΙ
ΩΣ ΕΙΣΟΔΟΣ ΑΠΟΤΟΥΣ
ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ

μ6(a) =	{	0	0 < a < 70
		(1/25)*(a-70)	70 < a < 95
		1	a > 95

μ6(a) = 0,96

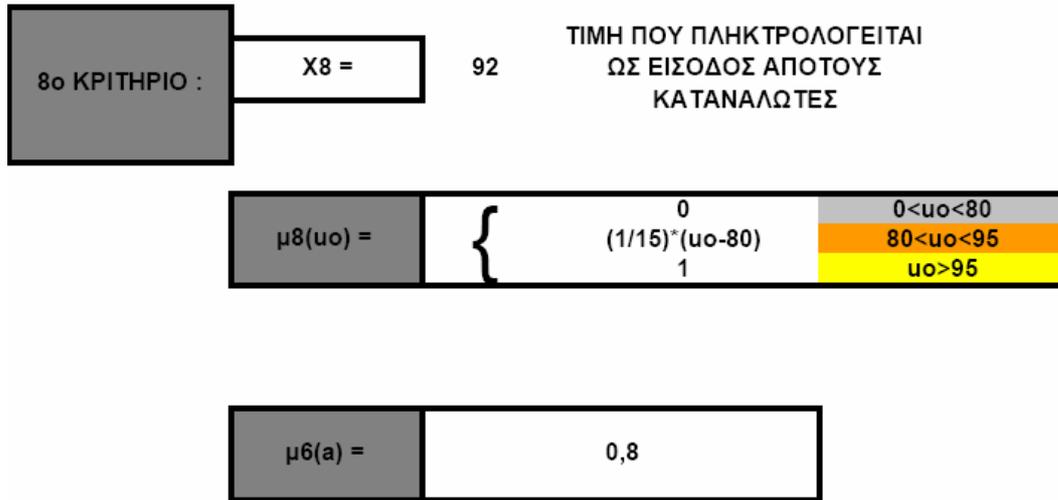
ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΟΠΩΣ ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟ EXCEL

7ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ - ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ



ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΟΠΩΣ ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟ EXCEL

8ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΦΑΣΗΣ - ΥΠΟΤΑΣΕΙΣ/ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΕΙΚΤΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ			
ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ		
	ΟΙΚΙΑΚΟΙ	ΕΜΠΟΡΙΚΟΙ	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ
ΜΟΝΙΜΗ ΔΙΑΚΟΠΗ	1	1	1
ΠΑΡΟΔΙΚΗ ΔΙΑΚΟΠΗ	0,8	0,9	1
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	0,9	0,9	1
ΒΥΘΙΣΕΙΣ	0,6	0,8	1
ΦΛΙΚΕΡ	0,9	0,9	1
ΑΣΣΥΜΕΤΡΙΑ ΦΑΣΕΩΝ	0,1	0,4	1
ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ	0,3	0,7	1
ΥΠΟΤΑΣΗ/ΥΠΕΡΤΑΣΗ	0,6	0,8	1

ΙΔΙΟΔΙΑΝΥΣΜΑ	ΙΔΙΟΤΙΜΗ	ΑΝΟΙΓΜΕΝΕΣ ΣΤΗΝ	ΒΑΡΗ
0,5044	8	0,193027439	w1 = 1,5442195
0,4311		0,164976465	w2 = 1,3198117
0,1114		0,042631357	w3 = 0,3410509
0,4722		0,18070491	w4 = 1,4456393
0,2757		0,105506869	w5 = 0,844055
0,1848		0,0707206	w6 = 0,5657648
0,2346		0,089778424	w7 = 0,7182274
0,3989		0,152653936	w8 = 1,2212315
2,6131		1	

ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ	
ΜΟΝΙΜΗ ΔΙΑΚΟΠΗ	ΑΠΟ 0 ΚΑΙ ΠΑΝΩ	12
ΠΑΡΟΔΙΚΗ ΔΙΑΚΟΠΗ	ΑΠΟ 0 ΚΑΙ ΠΑΝΩ	21
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	ΑΠΟ 0 ΕΩΣ 100%	98
ΒΥΘΙΣΕΙΣ	ΑΠΟ 0 ΚΑΙ ΠΑΝΩ	55
ΦΛΙΚΕΡ	ΑΠΟ 0 ΕΩΣ 100%	89
ΑΣΣΥΜΕΤΡΙΑ ΦΑΣΕΩΝ	ΑΠΟ 0 ΕΩΣ 100%	94
ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ	ΑΠΟ 0 ΕΩΣ 100% ή από 0% έως 20% για THD	3,5
ΥΠΟΤΑΣΗ/ΥΠΕΡΤΑΣΗ	ΑΠΟ 0 ΕΩΣ 100%	92

ΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΑΥΤΟ ΠΛΗΚΤΡΟΛΟΓΟΥΜΕ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

ΑΣΑΦΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ				
ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ	ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ
1ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ	0,933333333			
2ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ	0,87625			
3.1ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ	0,923076923	0,849161439	0,849161439	ΟΙΚΙΑΚΟΙ
3.2ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ	1			
4ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ	0,857894737			
5ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ	0,866666667	0,804119053	0,804119053	ΕΜΠΟΡΙΚΟΙ
6ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ	0,96			
7ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ	0,75			
8ο ΚΡΙΤΗΡΙΟ	0,8	0,761465867	0,761465867	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

***ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΓΙΑ ΤΟΝ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ
ΤΩΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ***

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ**ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ**

για την ποιότητα ηλεκτρικής ισχύος

1. Είστε καταναλωτής

 χαμηλής τάσης, μέσης τάσης, υψηλής τάσης

2. Τι είδους φορτία έχετε εγκατεστημένα στην επιχείρησή σας και ποιο το ποσοστό τους στο συνολικό εγκατεστημένο φορτίο;

ίου	Ποσοστό στο συνολικό εγκατεστημένο φορτίο			
κίνησης	0-25%	25%-50%	50%-75%	75%-100%
ές & εξοπλισμός πληροφορικής				
υγκροτήματα				
(π.χ. φούρνους, συγί				
.....)				

3. Συνολική εγκατεστημένη ισχύς: kVA

Συμπεφωνημένη ισχύς :kVA

Συντελεστής ισχύος:

NAI OXI

4. Έχετε ποτέ αναγκαστεί να βγείτε εκτός ορίων της συμπεφωνημένης ισχύος;

NAI OXI

5. Υπάρχει τρόπος διαφορετικής τροφοδότησης των εγκαταστάσεών σας(π.χ. με δεύτερη γραμμή)

6. Έχετε παρατηρήσει κάποια από τις παρακάτω διαταραχές στην ηλεκτρική σας εγκατάσταση που να οφείλεται στο δίκτυο στο οποίο είστε συνδεδεμένος

 6.1 Μόνιμη διακοπή της τάσης τροφοδοσίας (για χρονικό διάστημα >2min) (Outage) 6.2 Παροδική διακοπή (για δέκατα του δευτερολέπτου έως 2 min) (Momentary Interruption) 6.3 Βύθιση τάσεως (για διάρκεια μιας ημιπεριόδου έως 1 λεπτό) (Sag) 6.4 Παροδική υπέρταση (για χρόνο μιας ημιπεριόδου έως 1 λεπτό) (Swell) 6.5 Υποτάσεις (μείωση τάσης κάτω από το 90% για διάρκεια μεγαλύτερη από 1 λεπτό) (undervoltages) 6.6 Υπερτάσεις (αύξηση τάσης πάνω από το 110% για διάρκεια μεγαλύτερη από 1 λεπτό) (overvoltages) 6.7 Αιχμές (Notching) 6.8 Θόρυβος (Noise) 6.9 Αρμονικές (Harmonics) 6.10 Μεταβατικά φαινόμενα (ταλαντούμενα ή παλμικά) (Transients oscillatory or impulsive) 6.11 Ανυψώσεις της τάσης ουδετέρου 6.12 Διακυμάνσεις της τάσης (flicker, voltage fluctuation) 6.13 Ασυμμετρία τάσης (Voltage unbalance) 6.14 Απόκλιση της συχνότητας από την ονομαστική της τιμή (power frequency variations)

7. Πόσο συχνά παρατηρήθηκαν οι παραπάνω διαταραχές:

8. Τι εξοπλισμό καταγραφής και ελέγχου διαθέτετε;

.....

9. Οι ανωτέρω διαταραχές έγιναν αντιληπτές ως εξής:

- Με μετρητικό όργανο οι διαταραχές (π.χ. 6.1, 6.5 κ.λπ.)
 Με προβλήματα λειτουργίας φορτίων.....
 Με προβλήματα λειτουργίας ηλεκτρονικών συσκευών & συστημάτων
 Από καταγραφές τρίτων (π.χ. ΔΕΗ, ΔΕΣΜΗΕ κ.λπ.).....
 Με άλλο τρόπο (περιγράψτε)

10. Τι προβλήματα έχουν προκληθεί στα φορτία σας και στην παραγωγική διαδικασία γενικότερα από τις παραπάνω διαταραχές. (Αναφέρετε ποια διαταραχή ήταν υπεύθυνη για κάθε πρόβλημα, αν τη γνωρίζετε)

.....

11. Πως θα βαθμολογούσατε με βάση την εμπειρία σας τις διαταραχές που έχετε παρατηρήσει ανάλογα με το ποια προκάλεσε μεγαλύτερη υλική ή οπτική ζημία

1: Δεν παρατηρήθηκε, 2: Μηδενικό πρόβλημα, 3-4: Μικρό πρόβλημα, 5-7: Μεσαίο πρόβλημα, 8-9: Σοβαρό πρόβλημα, 10: Ανεπανόρθωτο

Διαταραχή	Βαθμός
Μόνιμη διακοπή	
Παροδική διακοπή	
Βύθιση τάσεως	
Παροδική υπέρταση	
Υποτάσεις	
Υπερτάσεις	
Αιγμές	
Θόρυβος	
Αρμονικές	
Παρεμβολές	
Ανυψώσεις της τάσης ουδετέρου	
Διακυμάνσεις της τάσης	
Ασυμμετρία τάσης	
Απόκλιση συχνότητας	

12. Έχετε ενημερώσει σχετικά με τις διαταραχές και τις επιπτώσεις τους την ΔΕΗ ΝΑΙ ΟΧΙ

13. Η ΔΕΗ προσφέρθηκε να βοηθήσει για την εξάλειψη ή μείωση των επιπτώσεων ΝΑΙ ΟΧΙ

Με ποιους τρόπους:.....

ΝΑΙ ΟΧΙ

Είχε αποτελέσματα;

14. Εσείς σαν καταναλωτής πήρατε κάποια μέτρα για να μειώσετε τις επιπτώσεις των προβλημάτων που τυχόν παρουσιάστηκαν, και αν ναι τότε ποια είναι αυτά;

.....

15. Έχετε λάβει κάποια μέτρα για να μην επηρεάζει ο εξοπλισμός σας την ποιότητα ισχύος του δικτύου και ποια είναι αυτά;

.....

16. Σας έχει κάνει ποτέ σύσταση η ΔΕΗ ή ο ΔΕΣΜΗΕ για τα προβλήματα ποιότητας ισχύος που εισάγεται στο δίκτυο;

ΝΑΙ ΟΧΙ

17. Πιστεύετε ότι πρέπει η ΔΕΗ να κάνει μία βαθμολόγηση του κάθε καταναλωτή ανάλογα με τα φορτία που έχει ο καθένας, για να είναι με αυτό τον τρόπο πιο εύκολη η ενίσχυση του κάθε δικτύου με τις ιδιομορφίες που παρουσιάζει;

ΝΑΙ ΟΧΙ

18. Συμφωνείτε με την άποψη ότι η βαθμολογία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σαν μέτρο επιβάρυνσης του εκάστοτε καταναλωτή, ώστε να χρησιμοποιηθεί για επένδυση στον τομέα της βελτίωσης της ποιότητας ισχύος του δικτύου που συνδέεται ο καθένας; (π.χ. αν η εταιρία σας δεν δημιουργεί κάποιο πρόβλημα στο δίκτυο, αλλά είναι αναγκασμένη να υποστεί τις διαταραχές που εισάγει κάποια γειτονική βιομηχανία γιατί να πρέπει να πληρωθεί εξ αδιαιρέτου, με πιθανή αύξηση της τιμής του παγίου σύνδεσης ή της kWh, το ποσό για βελτίωση της ποιότητας της ισχύος)

ΝΑΙ ΟΧΙ

19. Θα είσασταν πρόθυμος να πληρώσετε ακριβότερο τιμολόγιο αν σας δίνονταν εγγυήσεις για την ποιότητα της παροχέμονης ισχύος;

ΝΑΙ ΟΧΙ

20. Πιστεύετε ότι αν υπήρχε κάποια βαθμονόμηση του εκάστοτε δικτύου στο οποίο θα επιθυμούσατε να συνδεθείτε, θα αποτελούσε κριτήριο η βαθμολογία του και αυτό θα ήταν ικανό να σας κάνει να επιλέξετε άλλη περιοχή με καλύτερο ποιοτικά δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας;

ΝΑΙ ΟΧΙ

Σας ευχαριστούμε για την συμμετοχή σας που θα μας βοηθήσει πάρα πολύ στην διεκπεραίωση της εργασίας και στην αντικειμενικότερη αντιμετώπιση του προβλήματος της παρεχόμενης ποιότητας ισχύος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΩΝ ΑΣΑΦΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΘΕΩΡΙΑΣ ΑΣΑΦΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ**Δ.1. ΟΡΙΣΜΟΣ**

Η θεωρία των ασαφών συνόλων (fuzzy set theory) θεμελιώθηκε και μελετήθηκε αρχικά από τον L.Zadeh το 1965 [87] και στην συνέχεια εφαρμόστηκε με επιτυχία σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών από διάφορους άλλους αναλυτές [10-79].

Η βασική καινοτομία της θεωρίας είναι η παράσταση των στοιχείων ενός συνόλου με το βαθμό συμμετοχής τους στο σύνολο αυτό (membership value), σε αντιδιαστολή με την κλασική θεωρία των συνόλων σύμφωνα με την οποία ένα αντικείμενο ανήκει ή δεν ανήκει σε ένα σύνολο, χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα μερικής σε κάποιο βαθμό συμμετοχής ή ένταξης. Το κίνητρο για την ανάπτυξη της θεωρίας οφείλεται στο ότι συχνά στην πράξη δεν έχουμε καλά προσδιορισμένα όρια του συνόλου αντικειμένων στον οποίο εφαρμόζεται ο κλασικός ορισμός του συνόλου. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται ο ακόλουθος ορισμός:

Έστω E ένα σύνολο αναφοράς και έστω x ένα στοιχείο αυτού. Τότε το υποσύνολο A του συνόλου E θα ονομάζεται “ασαφές” αν τα στοιχεία του είναι διατεταγμένα σε ζεύγη της μορφής:

$$\{(x/\mu_A(x))\}, \forall x \in E \quad (\Delta.1)$$

όπου η χαρακτηριστική συνάρτηση συμμετοχής, ή απλώς συνάρτηση συμμετοχής (membership function), $\mu_A(x)$, δηλώνει τον βαθμό με τον οποίο το στοιχείο x εντάσσεται στο ασαφές υποσύνολο A .

Αν η συνάρτηση συμμετοχής $\mu_A(x)$, η οποία λαμβάνει τιμές στο διάστημα $M=[0,1]$, έχει τιμές σε κάποιο υποσύνολο B του M , τότε και το στοιχείο x παίρνει τιμές μέσα στο ίδιο υποσύνολο, μέσω της συνάρτησης συμμετοχής $\mu_A(x)$.

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό για ένα ασαφές σύνολο, υπάρχουν οι εξής καταστάσεις για ένα στοιχείο x :

- Να μην ανήκει καθόλου στο υποσύνολο A , $\mu_A(x) = 0$
- Να ανήκει πολύ λίγο στο υποσύνολο A , $\mu_A(x) \rightarrow 0$
- Να ανήκει κατά ένα μέρος στο υποσύνολο A , $0 < \mu_A(x) < 1$
- Να ανήκει κατά ένα μεγάλο μέρος στο υποσύνολο A , $\mu_A(x) \rightarrow 1$
- Να ανήκει ολοκληρωτικά στο υποσύνολο A , $\mu_A(x) = 1$,

Δηλαδή το x έχει την δυνατότητα (possibility) να πάρει οποιαδήποτε τιμή διάστημα $[0,1]$, εκτός αν υπάρχει περιορισμός στο επιτρεπτό διάστημα τιμών όπως ήδη αναφέρθηκε. Στην περίπτωση αυτή έχουμε ένα a -cut ασαφές σύνολο, όπου το a είναι

το άνω επιτρεπτό όριο τιμών του διαστήματος $[0,a]$ ή το κάτω όριο τιμών του διαστήματος $[a,1]$, ανάλογα με τον περιορισμό που έχει τεθεί.

Δ.2. Ιδιότητες των ασαφών συνόλων

Οι βασικότερες ιδιότητες των ασαφών συνόλων και κυρίως αυτές που βρίσκουν συχνότερη εφαρμογή παρουσιάζονται στην παρούσα παράγραφο.

1. Έγκλιση

Έστω ένα σύνολο αναφοράς E και δύο ασαφή υποσύνολα του A και B . έστω επίσης M ένα σύνολο μέσα από το οποίο λαμβάνει τιμές η συνάρτηση συμμετοχής. Το ασαφές σύνολο A θα εγκλείσει (περιέχεται) στο ασαφές υποσύνολο B , αν και μόνο αν ισχύει η σχέση:

$$\forall x \in E, \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad (\Delta.2)$$

ή από την σχέση $A \subseteq B$

Συνήθως λαμβάνεται $M=[0,1]$, εκτός αν ορίζεται διαφορετικά, όπως στην περίπτωση των α -cut ασαφών συνόλων.

2. Ισότητα

Δύο ασαφή υποσύνολα A και B είναι ίσα, τότε και μόνο τότε αν ισχύει η σχέση:

$$\forall x \in E, \mu_A(x) = \mu_B(x) \quad (\Delta.3)$$

η οποία υποδηλώνεται ως $A = B$

3. Συμπλήρωμα

Τα δύο ασαφή σύνολα θα είναι συμπληρωματικά αν και μόνο αν ισχύει η σχέση:

$$\mu_B(x) = 1 - \mu_A(x), \forall x \in E \quad (\Delta.4)$$

η ιδιότητα αυτή διατυπώνεται ως:

$$A = \bar{B} \quad \text{ή} \quad B = \bar{A}$$

4. Τομή

Η τομή δύο ασαφών υποσυνόλων είναι το ασαφές υποσύνολο εκείνο που περιέχει τα κοινά στοιχεία των υποσυνόλων.

Μαθηματικά ισχύει η σχέση:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)), \forall x \in E \quad (\Delta.5)$$

η σχέση διατυπώνεται και ως: $A \cap B$

5. Ένωση

Η ένωση ασαφών υποσυνόλων A και B είναι το ασαφές υποσύνολο εκείνο που περιέχει τα κοινά και μη κοινά στοιχεία των υποσυνόλων, δηλαδή το μικρότερο ασαφές υποσύνολο που περιέχει και το B και το A υποσύνολο. Ισχύει η σχέση:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)), \forall x \in E \quad (\Delta.6)$$

ή απλά $A \cup B$

6. Διαζευκτικό Άθροισμα

Το διαζευκτικό άθροισμα δύο ασαφών υποσυνόλων εκφράζεται από την σχέση:

$$\mu_{A+B}(x) = \max\{\min(\mu_A(x), \mu_B(x)), \max(\mu_A(x), \mu_B(x))\}, \forall x \in E \quad (\Delta.7)$$

ή συνοπτικά:

$$A + B = (A \cap B) \cup (A \cup B)$$

7. Διαφορά

Η διαφορά δύο ασαφών υποσυνόλων A, B ορίζεται από την σχέση:

$$\mu_{A-B}(x) = \min(\mu_A(x), (1 - \mu_B(x))), \forall x \in E \quad (\Delta.8)$$

ή απλά:

$$A - B = A \cap \bar{B}$$

8. Ασαφείς σχέσεις (fuzzy relations)

Οι ασαφείς σχέσεις αποτελούν μια γενίκευση των παραπάνω ιδιοτήτων σε ένα πλήθος συνόλων αναφοράς.

Συγκεκριμένα, έστω X_1, X_2, \dots, X_n τα υποσύνολα αναφοράς του υποσυνόλου E. Τότε μια ασαφής σχέση (fuzzy relation), R, n-στοιχείων στο $X_1 \otimes X_2 \otimes X_3 \otimes \dots \otimes X_n$ είναι ένα υποσύνολο του συνόλου $X_1 \otimes X_2 \otimes X_3 \otimes \dots \otimes X_n$, δηλαδή του καρτεσιανού γινομένου των n-συνόλων αναφοράς. Για απλοποίηση του παραπάνω γενικού ορισμού, θεωρούμε δύο δυαδικές ασαφείς σχέσεις:

\tilde{R} , στο $X \otimes Y$
και

\tilde{S} , στο $Y \otimes Z$

Η ασαφής σύνθεση τους (fuzzy composition) υπολογίζεται από την σχέση:

$$\mu_{R \otimes S}(x, y) = \sup_{y \in Y, \forall x \in X, \forall z \in Z} \min(\mu_R(x, y), \mu_S(y, z)) \quad (\Delta.9)$$

Στην περίπτωση που αντί ασαφούς σχέσεως \tilde{S} έχουμε ασαφές σύνολο A , τότε η ασαφής σχέση διατυπώνεται ως εξής:

$$\mu_{A \otimes R}(y) = \sup_{x \in X} \min(\mu_A(x), \mu_R(x, y)), \forall y \in Y \quad (\Delta.10)$$

Η τελευταία σχέση εκφράζει μαθηματικά τον ασαφή κανόνα:

Εάν P_1 και P_2 , τότε P_3

με $P_1: x=a$, $P_2: y=f(x)$. οι υποθέσεις

και $P_3: y=f(x)$, τα συμπεράσματα.

Δ.3. Πολυκριτηριακή Λήψη αποφάσεων σε ασαφές περιβάλλον

Στην παράγραφο αυτή γίνεται συνοπτική παρουσίαση της εφαρμογής των ασαφών συνόλων στη λήψη απόφασης. Έστω X ένα σύνολο από n αντικείμενα ή εναλλακτικές ενέργειες και g_1, g_2, \dots, g_m οι m συναρτήσεις ή κριτήρια απόφασης που πρέπει να πληρούν τα αντικείμενα ή οι ενέργειες. Το σύνολο των καλών αντικειμένων σε συνάρτηση με το i στοιχείο του συνόλου X είναι το μέγιστο σύνολο G_i των g_i κριτηρίων. Στην περίπτωση που έχουμε ίδιο συντελεστή βαρύτητας για κάθε κριτήριο απόφασης, το σύνολο D των βέλτιστων αντικειμένων ή εναλλακτικών δίνεται από την σχέση [61-64]:

$$D = \bigcap_{i=1}^m G_i \quad (\Delta.11)$$

Το παραπάνω υποσύνολο είναι απαισιόδοξο (pessimistic). Αν δεχτούμε την περίπτωση αισιόδοξης απόφασης (optimistic) τότε ισχύει:

$$D = \bigcup_{i=1}^m G_i \quad (\Delta.12)$$

Σε περίπτωση που τα κριτήρια μπορούν να αλληλοσυμπεστούν (compensated criteria) ή όταν είναι εξαρτημένα μεταξύ τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ο γεωμετρικός ή ο αριθμητικός μέσος:

$$\mu_D = \prod_{i=1}^m (\mu_{G_i})^i \quad (\Delta.13)$$

$$\mu_D = \sum_{i=1}^m w_i \cdot \mu_{G_i} \quad (\Delta.14)$$

$$\text{με } \sum_{i=1}^m w_i = 1$$

όπου

μ_D η συνάρτηση συμμετοχής για το σύνολο των βέλτιστων αποφάσεων D
 μ_{G_i} η συνάρτηση συμμετοχής για i κριτήριο απόφασης
 i_i, w_i συντελεστές βαρύτητας για το i κριτήριο απόφασης.

Στην περίπτωση που θέλουμε η απόφαση να μην είναι επηρεάσιμη από ακραίες τιμές των κριτηρίων απόφασης χρησιμοποιούμε το σχήμα του Sugeno [64]:

$$\mu_D(x_j) = \max_{k=1, \dots, m} \min(\mu_{G_{ik}}(x_j), f(M_{ik})) \quad (\Delta.15)$$

όπου

x_j η j απόφαση ή εναλλακτική ενέργεια ή αντικείμενο
 $f(M_{ik})$ η συνάρτηση συμμετοχής που εκφράζει το βαθμό σημαντικότητας του κάθε υποσυνόλου κριτηρίων
 $M_{ik} = \{i_k, \dots, i_m\}$. Η συνάρτηση αυτή είναι εμπειρική και λειτουργεί ως φίλτρο για τα χρησιμοποιούμενα κριτήρια απόφασης.

Συχνά στην πράξη παρουσιάζεται το πρόβλημα λήψης απόφασης, χρησιμοποιώντας κριτήρια, ανεξάρτητα μεταξύ τους, τα οποία έχουν διαφορετική βαρύτητα στην τελική απόφαση. Οι συντελεστές βαρύτητας υπολογίζονται από την μέθοδο των Yager – Saaty. Το σύνολο των βέλτιστων αντικειμένων ή αποφάσεων υπολογίζεται από την σχέση:

$$D_{opt} = \bigcap_{i=1}^m G_i^{w_i} \quad (\Delta.16)$$

όπου

w_i ο συντελεστής βαρύτητας για το i κριτήριο απόφασης.

Η βέλτιστη απόφαση είναι εκείνη για την οποία:

$$\mu_{D_{opt}}(x_{opt}) = \max_{i=1, \dots, n} \{\mu_D(x_i)\} \quad (\Delta.17)$$

Η μέθοδος Yager – Saaty είναι η ακόλουθη:

- 1) Καθορίζουμε με σύγκριση ανά δύο των κριτηρίων, τη σχετική σημασία, ή βαρύτητα τους, a_i .
- 2) Σχηματίζεται έτσι ο πίνακας ταξινόμησης των κριτηρίων, M , της μορφής:

$$M = \begin{bmatrix} a_1/a_1 & a_1/a_2 & \cdots & a_1/a_n \\ a_2/a_1 & a_2/a_2 & \cdots & a_2/a_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_n/a_1 & a_n/a_2 & \cdots & a_n/a_n \end{bmatrix} \quad (\Delta.18)$$

όπου τα a_i/a_j , $i=1, \dots, n$ και $j=1, \dots, n$ λαμβάνουν τις ακόλουθες τιμές:

Πίνακας Δ.1: Τιμές συντελεστών a_i/a_j βαρύτητας του κριτηρίου i προς το κριτήριο j

Συντελεστές a_i/a_j	Ορισμός
1	Ίσης σημασίας κριτήρια
3	Ασθενής υπεροχή του ενός έναντι του άλλου
5	Ισχυρή υπεροχή
7	Πολύ ισχυρή υπεροχή
9	Απόλυτη υπεροχή
2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές, συνήθως σαν συνδυασμός απόψεων για την σημασία των κριτηρίων

- 3) Λύνεται η εξίσωση $|M-\lambda I| = 0$, δηλαδή βρίσκονται οι πραγματικές ιδιοτιμές του πίνακα M . επιλέγεται η λ_{max} (μέγιστη πραγματική ιδιοτιμή) και υπολογίζεται το ιδιοδιάνυσμα A για το οποίο ισχύει η μοναδιαία νόρμα:

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad (\Delta.19)$$

- 4) Οι συντελεστές βαρύτητας για κάθε κριτήριο υπολογίζονται από την σχέση:

$$w_i = n a_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (\Delta.20)$$

όπου n είναι ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων, τα οποία έχουν διαφορετική βαρύτητα στην τελική απόφαση.

Οι τιμές αυτών των συντελεστών βαρύτητας είναι που χρησιμοποιούνται στην σχέση Δ.16 ενώ η βέλτιστη απόφαση ή εναλλακτική ενέργεια είναι της σχέσης Δ.17. Η εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου έχει γίνει στην παρούσα εργασία και συγκεκριμένα στο 4^ο κεφάλαιο (με κάποιες παραδοχές που επεξηγούνται), για την αξιολόγηση της ποιότητας ισχύος δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας.

