



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

## **Μετρήσεις Ποιότητας Ισχύος στο υβριδικό σύστημα του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΛΕΞΙΑ Θ. ΚΟΡΟΝΤΖΗ**

**Επιβλέπων :** Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα , Οκτώβριος 2006





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

## Μετρήσεις Ποιότητας Ισχύος στο υβριδικό σύστημα του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΛΕΞΙΑ Θ. ΚΟΡΟΝΤΖΗ

**Επιβλέπων :** Νικόλαος Χατζηαργυρίου

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή .

.....  
Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ευάγγελος Διαλυνάς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Σταύρος Παπαθανασίου  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα , Οκτώβριος 2006

.....  
ΑΛΕΞΙΑ Θ. ΚΟΡΟΝΤΖΗ

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

Copyright © ΑΛΕΞΙΑ Θ. ΚΟΡΟΝΤΖΗ , 2006

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

Η ποιότητα ισχύος αποτελεί ένα ζήτημα με αυξανόμενο ενδιαφέρον τόσο για τους παραγωγούς ηλεκτρισμού όσο και για τους καταναλωτές. Στην εργασία αυτή αναλύονται οι πιθανές διαταραχές και τα πρότυπα ποιότητας ισχύος. Ακόμη παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων ποιότητας ισχύος που πραγματοποιήθηκαν στο υβριδικό σύστημα του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας .

Συγκεκριμένα , μέσω της πειραματικής διαδικασίας μελετήθηκε η ποιότητα της τάσης που παρέχεται από τις πηγές τάσης του υβριδικού συστήματος, δηλαδή τη μηχανή diesel και τους δύο αντιστροφείς-μπαταριών με σκοπό να διαπιστωθεί η επίδραση της καθεμιάς συσκευής στην αρμονική παραμόρφωση της τάσης και στις διακυμάνσεις της ενεργού τιμής . Επίσης , διερευνήθηκαν η επίδραση που έχουν στην ποιότητα του ρεύματος οι διάφορες συσκευές του υβριδικού καθώς και οι επιπτώσεις που έχει η ποιότητα της τάσης στην ποιότητα του ρεύματος των συσκευών αυτών. Τέλος , μελετήθηκαν τα χαρακτηριστικά εκκίνησης ενός τριφασικού κινητήρα επαγωγής και η επακόλουθη βύθιση της τάσης τροφοδοσίας .

### **Λέξεις κλειδιά :**

ποιότητα ισχύος , αρμονική παραμόρφωση , μηχανή diesel , αντιστροφείας , φωτοβολταϊκή γεννήτρια , εκκίνηση τριφασικού κινητήρα επαγωγής , βύθιση τάσης

## **ABSTRACT**

Power quality has become an issue with constantly increasing interest for both electricity companies and end users . In this thesis, power quality variations and standards are analysed . In addition, results are presented and analyzed from a power quality measurement campaign, conducted in the Center of Renewable Energy Sources .

Specifically , emphasis was placed on the voltage quality that is supplied by the voltage sources of the hybrid system , that is a diesel-generator and two battery-inverters . The purpose of this experimental process was to discover the impact of each unit on voltage harmonic distortion and voltage variations. Furthermore ,it has been done an evaluation on the affect of voltage quality on current quality . Finally , the characteristics of the start-up of a three-phase motor and its consequential voltage sag was studied .

### **Key words :**

Power quality, harmonic distortion , diesel driven generator , inverter , photovoltaic generator , start-up of motor , voltage sag

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστώ τον Δρ. Αριστομένη Νέρη , ηλεκτρολόγο μηχανικό του τομέα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων του Κ.Α.Π.Ε. για την καθοδήγησή του , για το ότι ήταν πάντα πρόθυμος να βοηθήσει στην επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος ανέκυπτε καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής εργασίας , αλλά κυρίως για την πολύ καλή συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής αυτής της εργασίας.

Τέλος, δε θα πρέπει να παραλείψω να ευχαριστήσω τον συμφοιτητή μου Ροδόλφο για τη συμπαράσταση που μου προσέφερε καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές του σε ποικίλα θέματα .

Αλεξία Θ. Κοροντζή

# Περιεχόμενα

---

<b>1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ.....</b>	<b>11</b>
1.1 Εισαγωγή.....	11
1.2 Ορισμός.....	12
1.3 Διαταραχές ποιότητας ισχύος.....	12
1.3.1 Μεταβολές.....	13
1.3.1.1 Αρμονικές.....	13
1.3.1.2 Ενδιάμεσες αρμονικές.....	16
1.3.1.3 Επαναλαμβανόμενες διακυμάνσεις τάσης (flicker).....	16
1.3.1.4 Ασυμμετρία.....	18
1.3.1.5 Συνιστώσα συνεχούς ρεύματος .....	18
1.3.1.6 Μεταβολές συχνότητας.....	19
1.3.2 Γεγονότα.....	19
1.3.2.1 Βύθιση Τάσης.....	19
1.3.2.2 Διακοπή.....	22
1.3.2.3 Υπερτάσεις.....	23
1.3.2.4 Υποτάσεις.....	25
<b>2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ , ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ.....</b>	<b>26</b>
2.1 Μετρήσεις και Μετρητικά Συστήματα Ποιότητας Ισχύος.....	26
2.1.1 Μετρήσεις για την επίλυση προβλήματος Ποιότητας Ισχύος.....	26
2.1.2 Μετρήσεις μεγάλης διάρκειας με μόνιμα εγκατεστημένες μετρητικές συσκευές.....	28
2.2 Πρότυπα και κανονισμοί.....	29
2.2.1 Οργανισμοί που διαμορφώνουν τα πρότυπα.....	29
2.2.2 Πρότυπα μέτρησης.....	30
2.2.3 Πρότυπα προδιαγραφών και ορίων της παρεχόμενης ποιότητας ισχύος.....	32
2.2.3.1 Πρότυπα ποιότητας τάσης.....	32
2.2.3.2 Πρότυπα ποιότητας ρεύματος.....	34
<b>3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>38</b>
3.1 Το σύστημα παραγωγής.....	38
3.2 Σύστημα επίβλεψης και ελέγχου.....	44
3.3 Διασύνδεση επικοινωνίας.....	45
<b>4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΡΓΑΝΟΥ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....</b>	<b>46</b>
4.1 Σημαντικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά.....	48



<b>5. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>50</b>
5.1 Θεωρητική εξήγηση των διαταραχών ποιότητας τάσης που προκαλούνται από μια μηχανή diesel.....	50
5.2 Μετρήσεις που αφορούν τη λειτουργία της μηχανής diesel εν κενώ.....	53
5.3 Αρχές λειτουργίας των αντιστροφών.....	56
5.3.1 Γενικά για τους αντιστροφείς.....	56
5.3.2 Τοπολογία αντιστροφών υβριδικού.....	58
5.3.3 Αρχές της τεχνικής Διαμόρφωσης Εύρους Παλμών(PWM).....	62
5.3.4 Έλεγχος ρεύματος του αντιστροφέα.....	64
5.4 Μετρήσεις που αφορούν τη λειτουργία της παλιάς διάταξης μπαταριών εν κενώ (αντιστροφέας Ansaldo).....	65
5.5 Μετρήσεις που αφορούν τη λειτουργία της νέας διάταξης μπαταριών εν κενώ (αντιστροφέας sunny island).....	67
<b>6 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΡΕΥΜΑΤΟΣ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>69</b>
6.1 Ποιότητα ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα Ansaldo κατά τη φόρτιση μπαταριών από τη μηχανή diesel.....	70
6.2 Ποιότητα ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα Ansaldo κατά τη φόρτιση μπαταριών από το δίκτυο.....	73
6.3 Ποιότητα ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα sunny island κατά τη φόρτιση μπαταριών από τη μηχανή diesel.....	76
6.4 Ποιότητα ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα sunny island κατά τη φόρτιση μπαταριών από το δίκτυο.....	77
6.5 Μετρήσεις που αφορούν τη τροφοδότηση φορτίων από τη νέα διάταξη μπαταριών (αντιστροφέας sunny island).....	79
6.5.1 Μετρήσεις όπου το φορτίο είναι περίπου συμμετρικό στις τρεις φάσεις.....	79
6.5.2 Μετρήσεις ασύμμετρης φόρτισης. Το φορτίο είναι περίπου ίσο στις φάσεις B και C.....	80
6.5.3 Μετρήσεις ασύμμετρης φόρτισης. Φορτίο μόνο στη φάση C.....	81
6.6 Μετρήσεις που αφορούν τη λειτουργία φωτοβολταϊκών ονομαστικής ισχύος 4kW που δίνουν ρεύμα στο δίκτυο.....	83

6.7	Μετρήσεις που αφορούν τη λειτουργία φωτοβολταϊκών ονομαστικής ισχύος 4kW που φορτίζουν τη παλιά διάταξη μπαταριών.....	86
6.8	Μετρήσεις που αφορούν τη λειτουργία φωτοβολταϊκών ονομαστικής ισχύος 1.1kW .....	88
<b>7</b>	<b>ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>90</b>
7.2	Γενικά περί κινητήρων επαγωγής.....	90
7.3	Εκκίνηση ενός κινητήρα 3kW από τη μηχανή diesel.....	95
7.4	Εκκίνηση ενός κινητήρα 3kW από τις μπαταρίες μέσω του αντιστροφέα sunny island.....	97
<b>8</b>	<b>ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΒΔΟΜΑΔΑΣ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>101</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>104</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ

### 1.1 Εισαγωγή

Η ποιότητα ισχύος αποτελεί ένα ζήτημα με συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις εταιρίες παραγωγής ηλεκτρισμού, για τους κατασκευαστές ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και για τους καταναλωτές. Οι κυριότεροι λόγοι που καθιστούν την ποιότητα ισχύος ιδιαίτερος σημαντική είναι οι ακόλουθοι:

- Η αυξανόμενη χρήση συσκευών που εμπεριέχουν ηλεκτρονικά ισχύος και είναι ευαίσθητες αλλά και δημιουργούν διαταραχές.
- ο ανταγωνισμός που επέφερε η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας.
- και οι διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις του συστήματος σε αξιοπιστία.

Τόσο η ποιότητα της τάσης που παρέχεται από το δίκτυο καθώς και η ποιότητα ρεύματος στην οποία επιδρούν οι καταναλωτές συνιστούν παράγοντες που επηρεάζουν την κανονική λειτουργία του συστήματος και έχουν μεγάλη οικονομική σημασία. Οι εταιρίες ηλεκτρισμού σε όλο τον κόσμο καλούνται να αποδείξουν ότι η παρεχόμενη ισχύς ικανοποιεί τις προϋποθέσεις εκείνες που εγγυώνται την λειτουργία των πελατών-φορτίων τους χωρίς προβλήματα. Παράλληλα οι καταναλωτές προσπαθούν να εξασφαλίσουν τις καλύτερες συνθήκες για τα φορτία τους ώστε να περιορίσουν οικονομικές απώλειες που προκαλούνται από προβλήματα στην παροχή ηλεκτρική ισχύος.

Μεγάλος αριθμός μετρητικών συσκευών εγκαθίσταται στο δίκτυο προκειμένου να καταγράψουν τις διάφορες παραμέτρους της ποιότητας ισχύος, ώστε να εντοπισθούν τα προβλήματα και να βρεθούν οι κατάλληλες πληροφορίες για την λύση τους. Τα οφέλη από τις μετρήσεις είναι πολλαπλά καθώς αυξάνουν την γνώση μας για την λειτουργία του συστήματος. Επίσης, συντάσσονται προδιαγραφές από τους αρμόδιους οργανισμούς και λειτουργούν προς το παρόν ως προτεινόμενα όρια. Η πρόβλεψη πάντως είναι ότι στο άμεσο μέλλον θα ισχύσουν ως δεσμευτικοί περιορισμοί για όλους τους εμπλεκόμενους με το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Για να λειτουργεί το ηλεκτρικό σύστημα αδιάκοπα και για να εξασφαλίζεται η βέλτιστη οικονομική λειτουργία του, απαιτείται να ρυθμίζονται συνεχώς παράμετροι όπως είναι η ισχύς, η τάση και η συχνότητα του δικτύου. Τα πιθανά προβλήματα που μπορεί να παρουσιαστούν λόγω κακής ποιότητας ισχύος είναι σημαντικά είτε γιατί συνδέονται με αυξημένο κόστος όπως π.χ. εκκίνηση μονάδων παραγωγής έπειτα από διακοπή, μείωση του χρόνου ζωής του εξοπλισμού, απώλεια εισοδήματος για τους καταναλωτές, είτε ακόμα και με κίνδυνο ανθρώπινων ζωών όταν οι καταναλωτές είναι νοσοκομεία, αεροδρόμια κ.α.[4]

## 1.2 Ορισμός

Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει ένας ορισμός της ποιότητας ισχύος ευρέως διαδεδομένος. Διαφορετικοί άνθρωποι ερμηνεύουν τον όρο λίγο διαφορετικά, από τη δική τους οπτική γωνία. Όσοι ασχολούνται με την προστασία συστημάτων ταυτίζουν την ποιότητα ισχύος με την αξιοπιστία. Όσοι ασχολούνται με τον σχεδιασμό ηλεκτρολογικού εξοπλισμού ταυτίζουν την ποιότητα ισχύος με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της τάσης του δικτύου όταν ο εξοπλισμός λειτουργεί κανονικά. Μία γενικώς αποδεκτή εκδοχή θα μπορούσε να είναι η εξής:

*Η ποιότητα ισχύος αφορά την αλληλεπίδραση ανάμεσα στο ηλεκτρικό δίκτυο και τους πελάτες των εταιριών ηλεκτρισμού. Η αλληλεπίδραση είναι αμφίδρομη: το δίκτυο επηρεάζει τους πελάτες μέσω της παρεχόμενης τάσης, και οι πελάτες επιδρούν στο δίκτυο μέσω του ρεύματος. Οι πελάτες μπορεί να είναι τελικοί καταναλωτές, παραγωγοί ή και τα δύο.[3]*

*Ένα πρόβλημα στην ποιότητα ηλεκτρικής ισχύος υπάρχει, όταν διαταραχθεί η κυματομορφή της τάσης, η κυματομορφή του ρεύματος ή η συχνότητα της τάσης.[2]*

## 1.3 Διαταραχές ποιότητας ισχύος

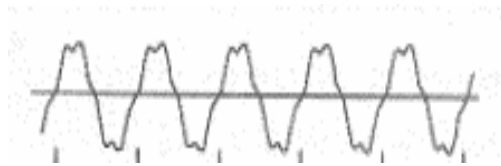
Οι διαταραχές της ποιότητας ισχύος χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: μεταβολές και γεγονότα. Η μεταβολή είναι μια μικρή απόκλιση από την ημιτονοειδή κυματομορφή και συμβαίνει στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας.

Το γεγονός είναι μια μεγάλη απόκλιση, παρατηρείται όταν το μετρούμενο μέγεθος ξεπεράσει κάποιο όριο και συμβαίνει κατά τη διάρκεια μεταβατικών καταστάσεων ή σφαλμάτων.

## 1.3.1 Μεταβολές

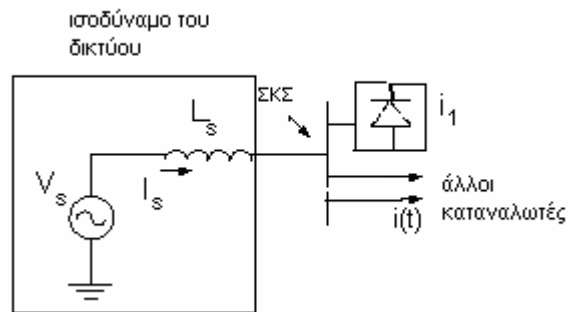
### 1.3.1.1 Αρμονικές

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



Σχήμα 1.1: Κυματομορφή με αρμονική παραμόρφωση.

Μέσω της τάσης και σε συνάρτηση με την ισχύ βραχυκυκλώσεως του δικτύου, οι αρμονικές που παράγονται σε ένα σημείο μεταδίδονται και μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα και σε άλλα φορτία. Όπως φαίνεται και από το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 1.2, λόγω της πεπερασμένης (μη μηδενικής) εσωτερικής σύνθετης αντίστασης του δικτύου, η κυματομορφή της τάσης στο σημείο ζεύξης παραμορφώνεται.



$$i_s(t) = i_1(t) + \sum i(t)$$

Σχήμα 1.2

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

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

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

Η μέτρηση των αρμονικών γίνεται υπολογίζοντας τον μέσο όρο των αρμονικών για κάποιο χρονικό διάστημα ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Ένα μέγεθος που χρησιμοποιείται ευρέως, ως άμεση εικόνα της ποιότητας του δικτύου σε ένα συγκεκριμένο σημείο, είναι η συνολική παραμόρφωση λόγω αρμονικών (Total Harmonic Distortion, THD) τόσο για την τάση όσο και για το ρεύμα και προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} M_h^2}}{M_1} \quad (1.1)$$

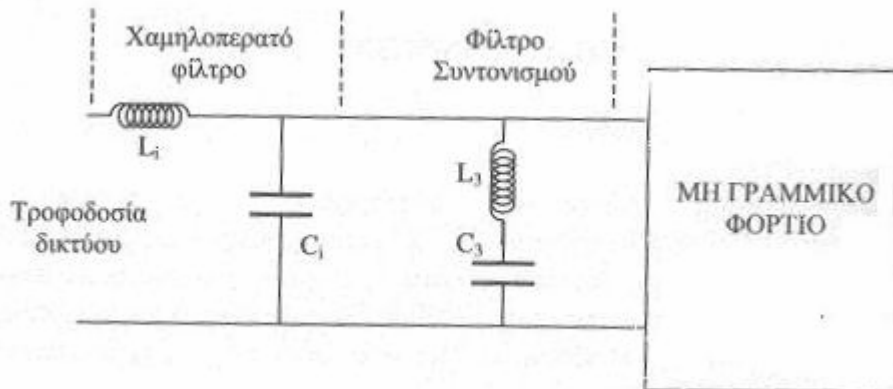
όπου  $M_h$  είναι το πλάτος κάθε αρμονικής και

$M_1$  είναι το πλάτος της αρμονικής συνιστώσας στη θεμελιώδη συχνότητα (50 Hz). [1]

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

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

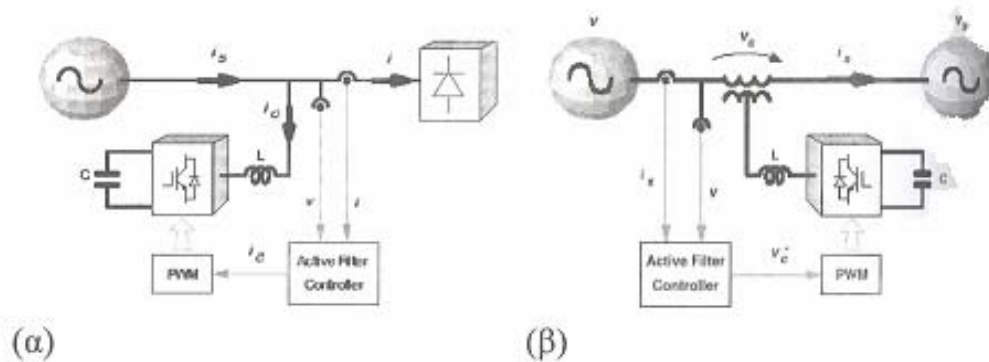
Τα παθητικά φίλτρα είναι συνδυασμός πυκνωτών και πηνίων. Στο σχήμα βλέπουμε ένα σύστημα στο οποίο την είσοδο υπάρχουν δύο ειδών φίλτρα ρεύματος. Το ένα φίλτρο είναι ένα χαμηλοπερατό φίλτρο ρεύματος το οποίο μειώνει όλες τις ανώτερες αρμονικές συνιστώσες χωρίς να μειώνει τη θεμελιώδη συνιστώσα. Επίσης,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



**Σχήμα 1.3: Παθητικά φίλτρα ρεύματος στην είσοδο ενός μη γραμμικού φορτίου**

Τα ενεργά φίλτρα είναι διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος μπορεί να συνδέονται παράλληλα ή σε σειρά με το φορτίο. Τα παράλληλα φίλτρα χρησιμοποιούνται όταν το μη γραμμικό φορτίο συμπεριφέρεται σαν πηγή αρμονικών ρευμάτων, όπως είναι οι μετατροπείς φυσικής μετάβασης με θυρίστορ με μεγάλη dc επαγωγή για συστήματα ηλεκτρικής κίνησης συνεχούς ρεύματος. Τα

ενεργά φίλτρα σειράς χρησιμοποιούνται εκεί που το μη γραμμικό φορτίο θεωρείται πηγή αρμονικής τάσης, όπως είναι η συνήθης περίπτωση των αντιστροφών που έχουν στην είσοδο γέφυρα διόδων και πυκνωτή εξομάλυνσης στο τμήμα συνεχούς ρεύματος.



Σχήμα 1.4: (α) παράλληλο και (β) σειράς ,ενεργό φίλτρο για τον περιορισμό των αρμονικών.

- Χρησιμοποίηση κατάλληλων τεχνικών παλμοδότησης των μετατροπέων όπως είναι για παράδειγμα η τεχνική Ημιτονοειδούς Διαμόρφωσης Εύρους Παλμών (SPWM). [2]

### 1.3.1.2 Ενδιάμεσες αρμονικές

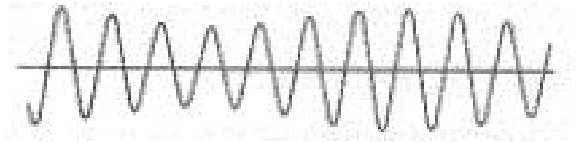
Οι ενδιάμεσες αρμονικές είναι μη ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους και βρίσκονται μεταξύ των αρμονικών. Παράγονται κυρίως από στατούς μετατροπείς συχνότητας (λόγω μη ορθής έναυσης), συσκευές τόξου κ.λ.π.

### 1.3.1.3 Επαναλαμβανόμενες διακυμάνσεις τάσης (flicker)

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



κινητήρων που κινούν φορτία με μεταβαλλόμενη ροπή αντιστάσεως καθώς και στην περίπτωση γεννητριών με μεταβαλλόμενη κινητήρια ροπή, όπως είναι οι ανεμογεννήτριες.



**Σχήμα 1.5: Κυματομορφή με διακύμανση τάσης**

Μέτρο του προκαλούμενου από τις διακυμάνσεις της τάσης flicker είναι οι δείκτες flicker βραχείας διάρκειας,  $P_{st}$  για χρονικό διάστημα παρατήρησης 10 λεπτών, και μακράς διάρκειας  $P_{lt}$  για χρονικό διάστημα παρατήρησης 120 λεπτών (2 ωρών – 12 διαστήματα των 10 min).

Η μέτρηση του  $P_{st}$  γίνεται με τη βοήθεια ειδικού οργάνου, του φλικερόμετρου (flicker-meter), σύμφωνα με το πρότυπο 61000-4-15 της IEC.

Ο δείκτης flicker μακράς διάρκειας,  $P_{lt}$ , και προκύπτει από τις 12 διαδοχικές τιμές του  $P_{st}$  σύμφωνα με τη σχέση

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (P_{st,i})^3} \quad (1.2)$$

Προφανώς, εάν οι διαδοχικές τιμές του  $P_{st}$  είναι ίσες μεταξύ τους, τότε  $P_{st}=P_{lt}$ .

Το προκαλούμενο flicker από τις μεταβολές της τάσης εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

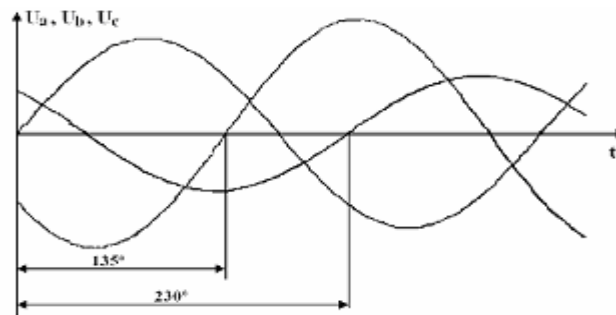
1)Μέγεθος των μεταβολών: Ο δείκτης flicker αυξάνεται ευθέως ανάλογα προς το μέγεθος των μεταβολών της τάσης.

2)Συχνότητα των μεταβολών: Η συχνότητα (ρυθμός επανάληψης) των διαταραχών της τάσης επηρεάζει άμεσα την προκαλούμενη οπτική ενόχληση. Μέγιστη ενόχληση προκαλείται για συχνότητα περί τις 1000 μεταβολές/min. Στην περίπτωση τυχαίας μεταβλητότητας της τάσης, η οποία περιέχει ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, στο flicker συμβάλει η περιοχή συχνοτήτων μεταξύ 1 και 35 Hz.

3)Μορφή των μεταβολών: Η μορφή των μεταβολών της τάσης επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την προκαλούμενη ενόχληση. Γενικά δυσμενέστερες από πλευράς flicker είναι απότομες (βηματικές) μεταβολές. [6]

### 1.3.1.4 Ασυμμετρία

Εαν το πλάτος της κυματομορφής της τάσης στις τρεις φάσεις δεν είναι ίσο τότε υπάρχει ασυμμετρία. Μια μη-συμμετρική τάση μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις συμμετρικές που ονομάζονται θετικής, αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας συνιστώσες. Οι τρεις τάσεις θετικής ακολουθίας έχουν διαφορά φάσης  $120^\circ$  και περιστρέφονται με την αντίθετη φορά του ρολογιού. Το ίδιο συμβαίνει και για τις τάσεις αρνητικής ακολουθίας, αλλά κινούνται με τη φορά του ρολογιού. Οι τάσεις μηδενικής ακολουθίας είναι συμφασικές και δεν περιστρέφονται. [1]



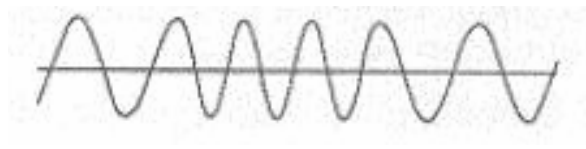
Σχήμα 1.6: κυματομορφές τάσης που παρουσιάζουν ασυμμετρία

### 1.3.1.5 Συνιστώσα συνεχούς ρεύματος

Ορισμένες φορές παρατηρείται σε εναλλασσόμενα δίκτυα μια συνιστώσα συνεχούς ρεύματος ή τάσης. Η έγχυση μιας dc συνιστώσας προκαλείται από ανοιγοκλείσιμο μηχανικών διακοπών ή από τη λειτουργία ηλεκτρονικών ισχύος που συνδέουν και αποσυνδέουν τις διάφορες συσκευές στο δίκτυο. Συνεχές ρεύμα σε δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να έχει βλαβερές συνέπειες, όπως το να κορεστεί ο πυρήνας ενός μετασχηματιστή σε κανονική λειτουργία με αποτέλεσμα να υπάρχει υπερθέρμανση και να μειωθεί η διάρκεια ζωής του. Επίσης, η ύπαρξη συνεχούς ρεύματος μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρολυτική διάβρωση των καλωδίων γείωσης. [1]

### 1.3.1.6 Μεταβολές συχνότητας

Ορίζεται ως η απόκλιση της θεμελιώδους συχνότητας του συστήματος από την καθορισμένη τιμή της (50 Hz). Υπάρχουν μικρές μεταβολές στη συχνότητα καθώς αλλάζει η δυναμική ισορροπία μεταξύ φορτίου και μονάδων παραγωγής. Το μέγεθος και η διάρκεια της εκτροπής της συχνότητας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του φορτίου και το σύστημα ελέγχου των μονάδων παραγωγής. Οι μεταβολές της συχνότητας είναι σπάνιες στα σύγχρονα διασυνδεδεμένα δίκτυα, αλλά είναι πιο πιθανό να συμβούν σε αυτόνομα συστήματα που τροφοδοτούνται από απομονωμένες μονάδες παραγωγής. Μεταβολές συχνότητας συμβαίνουν όταν υπάρχει σοβαρό σφάλμα στο σύστημα μεταφοράς ή όταν αποσυνδεθεί μεγάλο φορτίο ή μονάδα παραγωγής. Οι αποκλίσεις από την ονομαστική συχνότητα μπορούν να προκαλέσουν δυσλειτουργία σε ηλεκτρονικές συσκευές και να επηρεάσουν την ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων. [1]



Σχήμα 1.7: Κυματομορφή με μεταβολή συχνότητας

## 1.3.2 Γεγονότα

### 1.3.2.1 Βύθιση Τάσης

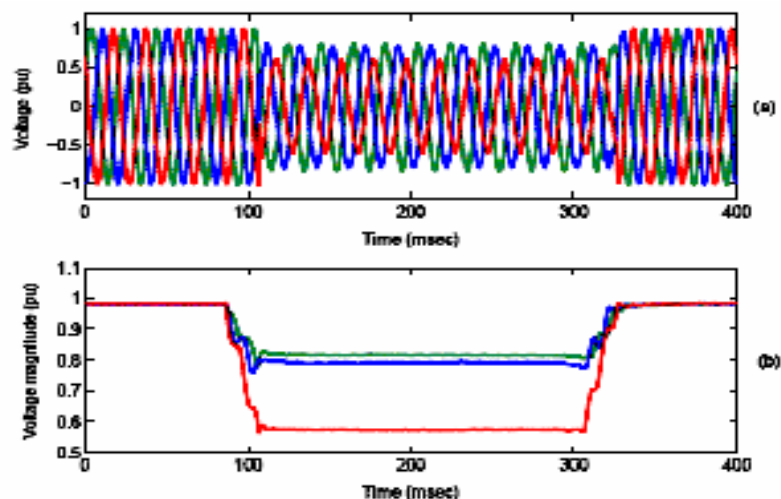
Βύθιση τάσης είναι η μικρής διάρκειας μείωση της ενεργού τιμής της τάσης κυρίως λόγω σφαλμάτων στο δίκτυο ή λόγω της σύνδεσης μεγάλων κινητήρων. Βύθιση της τάσης παρατηρείται επίσης και κατά τη λειτουργία ενός μετασχηματιστή στην περιοχή κορεσμού της καμπύλης λειτουργίας του, λόγω των μεγάλων ασύμμετρων ρευμάτων που προκαλούνται (π.χ. κατά την ενεργοποίηση του).

Το ενδιαφέρον γύρω από τις βυθίσεις τάσεις εστιάζεται κυρίως στα προβλήματα τα οποία δημιουργούν σε μεγάλο αριθμό συσκευών. Ηλεκτρονικοί υπολογιστές, κινητήρες ελεγχόμενης ταχύτητας (adjustable speed drives), συστήματα ελέγχου (PLC) είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα. Κάποιες συσκευές δεν μπορούν να αντέξουν τάση κάτω από 90% της ονομαστικής για 1 ή 2 κύκλους. Πολλές ηλεκτρονικές συσκευές και κινητήρες ελεγχόμενης ταχύτητας δεν λειτουργούν

σωστά για βυθίσεις τάσης κάτω από 70% για περισσότερο από 100 msec. Για τους επαγωγικούς κινητήρες κατά την διάρκεια της πτώσης τάσης μειώνεται ο αριθμός των στροφών τους και τροφοδοτούνται με μεγαλύτερο ρεύμα. Εάν η βύθιση τάσης διαρκέσει αρκετά, τότε ενδέχεται να φτάσουν σε ένα σημείο όπου σταματούν να λειτουργούν (stalling). Οι αλλαγές αυτές στο ρεύμα αλλά και στην ροπή του κινητήρα ενδέχεται να οδηγήσουν σε λειτουργία της προστασίας του και τελικά ο κινητήρας να αποσυνδεθεί. Επίσης, κατά την επαναφορά της τάσης ο κινητήρας καταναλώνει μεγάλα ρεύματα μειώνοντας έτσι την τάση. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σε βιομηχανίες με πολλούς κινητήρες.

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

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



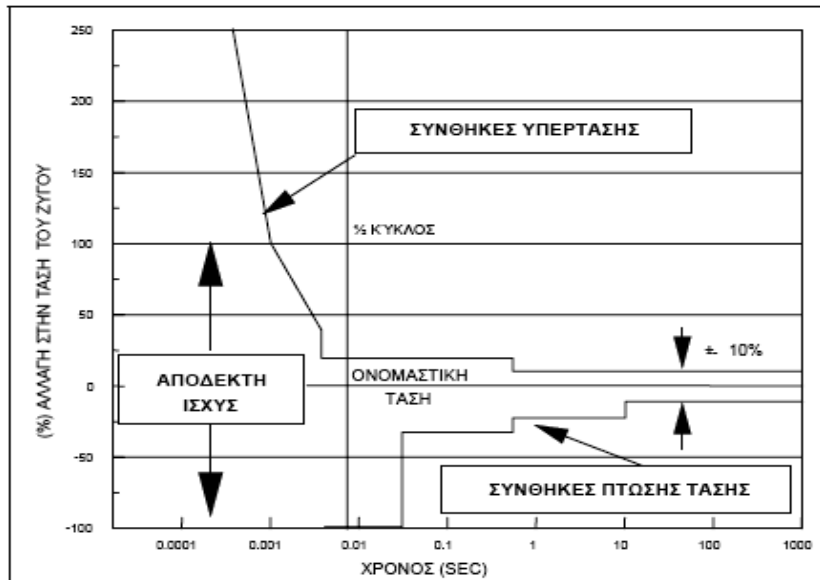
Σχήμα 1.8: (α)κυματομορφές με βύθιση τάσης στις τρεις φάσεις (β) η ενεργός τιμή της τάσης

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

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

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

Σημαντικό επίσης είναι να είναι γνωστή η ικανότητα του φορτίου να συνεχίσει να λειτουργεί σε περίπτωση βύθισης τάσης. Για τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές η καμπύλη της ITIC (Information Technology Industry Council) δείχνει την τυπική αντοχή τους σε κλίμακα μεγέθους-διάρκειας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να εξετασθεί το εάν μια βύθιση τάσης δημιουργεί πρόβλημα ή όχι (Σχήμα 9). Λειτουργία ενός υπολογιστή εκτός των ορίων της καμπύλης οδηγεί σε απώλεια δεδομένων, σε λανθασμένες ενέργειες, απενεργοποίηση της συσκευής ακόμα και καταστροφή στοιχείων του. Όλα τα παραπάνω βέβαια υπόκεινται σε οικονομικούς περιορισμούς και μελέτες πρέπει να εκπονηθούν προκειμένου να αιτιολογηθεί το επιπλέον κόστος.[7]

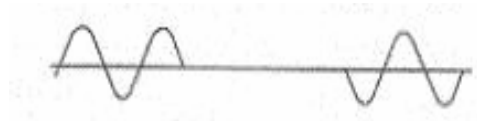


**Σχήμα 1.9.** Παράδειγμα καμπύλης της ITIC (υπό συνθήκες υπέρτασης η συσκευή κινδυνεύει από βλάβη, ενώ υπό συνθήκες μειωμένης τάσης η συσκευή ενδέχεται να σταματήσει να λειτουργεί).

### 1.3.2.2 Διακοπή

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

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



**Σχήμα 1.10:** Κυματομορφή με διακοπή

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

των σφαλμάτων δεν είναι μόνιμα και εξαλείφονται μετά την λειτουργία του συστήματος προστασίας.

Οι διακοπές μπορούν να θεωρηθούν ειδική περίπτωση βυθίσεων τάσης (όπου η τάση γίνεται μηδέν) και όσον αφορά την επίδραση τους στα φορτία ισχύει ότι και για την επίδραση των βυθίσεων τάσης. Μια πρακτική που εφαρμόζεται είναι η ρύθμιση των επανακλειόμενων διακόπτων έτσι ώστε να λειτουργήσουν ταχύτερα από τις ασφάλειες που βρίσκονται σε χαμηλότερα σημεία του δικτύου. Έτσι αυξάνεται η πιθανότητα να εξαλειφθεί το σφάλμα χωρίς να χρειαστεί να λειτουργήσει η ασφάλεια (και να πρέπει τελικά να αντικατασταθεί). Αυτό σημαίνει μια μικρής διάρκειας διακοπή για περισσότερα φορτία αντί για μια μεγάλης διάρκειας διακοπή για τα φορτία εκείνα που τροφοδοτούνται από την γραμμή όπου εμφανίστηκε το σφάλμα. Πάντως, η επιλογή ή όχι μιας τέτοιας πρακτικής συνδέεται άμεσα με το κατά πόσο μια σύντομη διακοπή επηρεάζει μια ευαίσθητη παραγωγική διαδικασία. Εάν για παράδειγμα σε ένα εργοστάσιο μια σύντομη διακοπή σταματά μια διαδικασία η οποία χρειάζεται πολλές ώρες για επανεκκίνηση τότε είναι αδιάφορο το εάν η διακοπή ισχύος είναι μεγάλης ή μικρής διάρκειας. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος για την αποφυγή προβλημάτων από τις διακοπές είναι η εγκατάσταση συστημάτων UPS και ηλεκτροπαραγωγών ζευγών. Βελτίωση από την μεριά του δικτύου μπορεί να επιτευχθεί μειώνοντας αφενός την συχνότητα των σφαλμάτων και αφετέρου μειώνοντας την διάρκεια των διακοπών. Μείωση της διάρκειας των διακοπών μπορεί να γίνει με αξιοποίηση των μοντέρνων συστημάτων προστασίας. Συστήματα τα οποία προβλέπουν την ανταλλαγή πληροφοριών μέσω τηλεπικοινωνιακών συστημάτων αυξάνουν την αποτελεσματικότητα στον εντοπισμό του σφάλματος, επιταχύνουν τους χρόνους προστασίας και μειώνουν τον χρόνο αποκατάστασης σφαλμάτων.[1]

### **1.3.2.3 Υπερτάσεις**

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

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

Διακόπτες ισχύος που διακόπτουν πρόωρα το ρεύμα το οποίο εισέρχεται από αυτούς (όχι στο σημείο όπου το ρεύμα γίνεται μηδέν) προκαλούν μεγάλες υπερτάσεις. Το φαινόμενο μπορεί να εμφανιστεί όταν διακόπτες ισχύος προσπαθούν να διακόψουν μικρά επαγωγικά ρεύματα και ενδέχεται να οφείλεται σε πρόβλημα των επαφών του. Οι υπερτάσεις αυτές είναι τυπικά μικρής διάρκειας αλλά μπορεί να φτάσουν σε μέγεθος 3 φορές την ονομαστική τιμή. Υπερτάσεις μεγαλύτερης διάρκειας εμφανίζονται κατά την διάρκεια μονοφασικών σφαλμάτων σε αγείωτα δίκτυα ή δίκτυα γειωμένα μέσω σύνθετης αντίστασης (voltage swells). Οι υπερτάσεις στην χειρότερη περίπτωση ισούνται με την πολική τάση του δικτύου, εμφανίζονται στις υγιείς φάσεις και διαρκούν όσο διαρκεί το σφάλμα. Υπερτάσεις μικρής διάρκειας αλλά μεγάλου μεγέθους ενδεχομένως να σημειωθούν κατά την σύνδεση πυκνωτών στο δίκτυο. Το μέγεθος τους μπορεί να φτάσει μέχρι και 2 φορές την ονομαστική τάση και αυτό εγκυμονεί κινδύνους για την λειτουργία αλλά και την ασφάλεια ηλεκτρονικών συσκευών. Περιπτώσεις έχουν καταγραφεί όπου εξαιτίας τέτοιων υπερτάσεων σημειώθηκαν βλάβες των ηλεκτρονικών τμημάτων συσκευών όπως αξονικοί τομογράφοι και κινητήρες ελεγχόμενης ταχύτητας. Η σύνδεση πυκνωτή προκαλεί μια ταλάντωση μεταξύ του πυκνωτή που ενεργοποιείται και του συστήματος. Η ταλάντωση αυτή μεταδίδεται στο δίκτυο και διαμέσου των μετασχηματιστών ,φτάνει στους καταναλωτές. Άλλες υπερτάσεις (πχ λόγω κεραυνών), που συνδέονται με υψηλότερες συχνότητες, ανακλώνται στον μετασχηματιστή, ένα μικρό ποσοστό του ρεύματος όμως περνάει στο υπόλοιπο κύκλωμα και δημιουργεί προβλήματα στα φορτία.

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

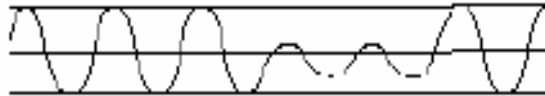




**Σχήμα 1.11: Κυματομορφή με υπέρταση**

#### **1.3.2.4 Υπότασεις**

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



**Σχήμα 1.12: Κυματομορφή με υπόταση**

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>**

### **ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ , ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ**

#### **2.1 Μετρήσεις και Μετρητικά Συστήματα Ποιότητας Ισχύος**

Η ποιότητα ισχύος είναι συνυφασμένη με την έννοια των μετρήσεων. Οι μετρήσεις είναι απαραίτητες για την συλλογή στοιχείων τα οποία είτε θα δώσουν στατιστικά την εικόνα της λειτουργίας του συστήματος είτε θα εντοπίσουν ένα πρόβλημα και θα συνεισφέρουν στην λύση του. Οι μετρήσεις, ανάλογα με τον στόχο τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

- Μετρήσεις για μικρό χρονικό διάστημα στα πλαίσια μελετών για την επίλυση προβλημάτων ποιότητας ισχύος ή σε περίπτωση αλλαγών για την εκτίμηση του αντίκτυπου στην ποιότητα ισχύος του δικτύου (πχ η εγκατάσταση πυκνωτών σε ένα υποσταθμό) και
- Μετρήσεις μεγάλης διάρκειας με μόνιμα εγκαταστημένες μετρητικές συσκευές.

##### **2.1.1 Μετρήσεις για την επίλυση προβλήματος Ποιότητας Ισχύος**

Εάν εμφανισθεί κάποιο πρόβλημα σε κάποιο καταναλωτή, δηλαδή κάποιο φορτίο δεν λειτουργεί κανονικά (για παράδειγμα συχνές διακοπές λειτουργίας ή συχνές ζημιές σε κάποια στοιχεία του) τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα το πρόβλημα να οφείλεται στην ποιότητα ισχύος που παρέχει το δίκτυο από το οποίο τροφοδοτείται το φορτίο. Ακόμα και αν υπάρχει κάποια βλάβη στην ίδια την συσκευή, οι μετρήσεις μπορούν να αποκαλύψουν κάτω από ποιες συνθήκες παρουσιάζεται το πρόβλημα. Η λύση του προβλήματος μπορεί να βρεθεί με την εκπόνηση μελέτης που ξεκινά από την καταγραφή και ανάλυση της ποιότητας ισχύος του ηλεκτρικού συστήματος και καταλήγει στην επιλογή κάποιας μεθόδου βελτίωσης της ή προστασίας του φορτίου αν βέβαια αποδειχθεί από την ανάλυση ότι η αιτία του προβλήματος βρίσκεται στα χαρακτηριστικά της τάσης και του ρεύματος του δικτύου. Πιο αναλυτικά τα βήματα μιας τέτοιας μελέτης είναι:

1. Διεξαγωγή Μετρήσεων: χρησιμοποίηση καταγραφικών μηχανημάτων για συλλογή στοιχείων που αφορούν το πρόβλημα. Το χρονικό διάστημα των μετρήσεων πρέπει να είναι τέτοιο που να επιτρέπει την επαρκή αποτύπωση των φαινομένων που εμφανίζονται στο δίκτυο. Αρκετές φορές μετρήσεις πρέπει να γίνουν σε διάφορα σημεία προκειμένου να εντοπισθεί η πηγή του προβλήματος. Η γνώση των δεδομένων του δικτύου είναι απαραίτητη σε αυτή την φάση προκειμένου να αξιοποιηθούν οι μετρήσεις όσο το δυνατόν περισσότερο.

2. Ανάλυση αποτελεσμάτων : η επεξεργασία των μετρήσεων είναι το επόμενο βήμα. Η ανάλυση όχι μόνο μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό του προβλήματος αλλά και στην απόκτηση των παραμέτρων που χρειάζονται για την λύση του. Η ανάλυση των μετρήσεων μπορεί να συνδυαστεί με την ανάλυση του δικτύου. Προγράμματα προσομοίωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικά όταν αναλυτικές λύσεις δεν επαρκούν για την επακριβή μελέτη του φαινομένου που προκαλεί το πρόβλημα.

3. Διερεύνηση λύσεων: τα μέτρα τα οποία θα ληφθούν για την λύση του προβλήματος πρέπει να εξετασθούν προσεκτικά τόσο από τεχνικής όσο και από οικονομικής απόψεως. Η χρήση προγραμμάτων προσομοίωσης μπορεί και εδώ να φανεί πολύτιμη. Συγκρίνοντας τις παραμέτρους διαφορετικών λύσεων μπορεί να βρεθεί η καλύτερη, για την περίπτωση, αντιμετώπιση του προβλήματος.

4. Μετρήσεις για την αξιολόγηση της λύσης: αν τελικά η προτεινόμενη λύση πραγματοποιηθεί, μετρήσεις πρέπει να γίνουν εκ νέου για να διαπιστωθεί σε ποιο βαθμό η λύση είναι αποτελεσματική. Στην τελική αυτή φάση της μελέτης είναι δυνατό να γίνουν διορθώσεις και να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η λύση του προβλήματος μπορεί να βρίσκεται είτε στην βελτίωση της ποιότητας ισχύος του δικτύου το οποίο τροφοδοτεί το φορτίο είτε με την εγκατάσταση κάποιας συσκευής για την αντιμετώπιση των φαινομένων που δημιουργούν το πρόβλημα. Ορισμένες φορές κάποιες ενέργειες από την μεριά της εταιρίας ηλεκτρισμού μπορούν να οδηγήσουν σε περιορισμό των προβλημάτων, για κάποια όμως προβλήματα είναι δύσκολο να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα από την εταιρία ηλεκτρισμού.

Ενδεχομένως η αιτία να βρίσκεται στο δίκτυο του καταναλωτή που έχει πρόβλημα ή το

πρόβλημα να το προκαλεί άλλος καταναλωτής. Συνεργασία όλων των εμπλεκόμενων πλευρών είναι απαραίτητη για την επιτυχή αντιμετώπιση των προβλημάτων.

### **2.1.2 Μετρήσεις μεγάλης διάρκειας με μόνιμα εγκατεστημένες μετρητικές συσκευές**

Τέτοιες μετρήσεις αφορούν τόσο τις εταιρίες ηλεκτρισμού όσο και μεγάλους καταναλωτές (βιομηχανικούς) και καταναλωτές με ειδικές απαιτήσεις (νοσοκομεία, αεροδρόμια κ.α.). Η διαθέσιμη τεχνολογία προσφέρει μεγάλες δυνατότητες. Καταγραφικές συσκευές μπορούν να τοποθετηθούν και να προσφέρουν διαρκώς πληροφορίες για την ποιότητα ισχύος του δικτύου και τυχόν προβλήματα που προκύπτουν.

Η διενέργεια μετρητικών προγραμμάτων με την εγκατάσταση και λειτουργία μετρητικών συσκευών παρέχει:

Για τις εταιρίες ηλεκτρισμού:

- Καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης προκειμένου να υπάρχει μια βάση για σύγκριση με την πάροδο του χρόνου
- Καλύτερη επικοινωνία με τους πελάτες και πληροφορίες για την λύση προβλημάτων τους

Γενικότερα οι μετρήσεις προσφέρουν:

- Άμεση εποπτεία του δικτύου και των λειτουργιών του (διακόπτες, προστασία, ρύθμιση τάσης)
- Ταχύ εντοπισμό υπαρχόντων προβλημάτων ή προβλημάτων σε εξέλιξη και προληπτική δράση (οργάνωση προληπτικής συντήρησης όχι μόνο στην βάση του χρονικού προγραμματισμού αλλά αξιοποιώντας τις μετρήσεις και τα προβλήματα που αυτές αποκαλύπτουν)
- Εποπτεία κρίσιμων εφαρμογών
- Αξιολόγηση τεχνικών λύσεων και δυνατότητα βελτίωσης τους (πχ ρυθμίσεων προστασίας, χαρακτηριστικά διεσπαρμένης παραγωγής κα)
- Εξοικονόμηση ενέργειας

## 2.2 Πρότυπα και κανονισμοί

Δύο διαφορετικά είδη προτύπων χρειάζονται όταν μετράμε και πιστοποιούμε την ποιότητα ισχύος: πρότυπα για τις μεθόδους μέτρησης και πρότυπα που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της παρεχόμενης τάσης και του ρεύματος .

Στα σύγχρονα όργανα που μετρούν την ποιότητα ισχύος, οι κυματομορφές του ρεύματος και της τάσης υπόκεινται σε δειγματοληψία για να υπολογιστούν στη συνέχεια οι παράμετροι της ποιότητας ισχύος. Δυστυχώς, οι παράμετροι αυτές μπορούν να υπολογιστούν με διαφορετικούς τρόπους, καταλήγοντας σε ελαφρώς διαφορετικά αποτελέσματα. Είναι ,λοιπόν, ιδιαίτερα σημαντικό ,τα όργανα μέτρησης να ακολουθούν τις μεθόδους υπολογισμού που επιβάλλουν τα αναγνωρισμένα πρότυπα, ιδίως όταν πρόκειται να συγκριθούν αποτελέσματα που έχουν προκύψει από διαφορετικά όργανα .

Τα πρότυπα που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της τάσης και του ρεύματος θέτουν τα επιτρεπτά όρια μέσα στα οποία πρέπει να κυμανθούν οι διάφορες διαταραχές της ποιότητας ισχύος. Στο ζήτημα της ποιότητας ισχύος τρεις φορείς εμπλέκονται και πρέπει να συμμορφώνονται με τα όρια των προτύπων : οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας, οι κατασκευαστές ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και οι τελικοί καταναλωτές. Οι παραγωγοί πρέπει να παρέχουν μια ελάχιστη ποιότητα τάσης που να είναι συμβατή με τα όρια των προτύπων. Οι κατασκευαστές εξοπλισμού πρέπει να παράγουν συσκευές ανεκτικές σε ορισμένες διακυμάνσεις της τάσης ,ενώ ταυτόχρονα το ρεύμα που διοχετεύουν προς το δίκτυο να βρίσκεται εντός των καθορισμένων ορίων, με σκοπό να μη "μολύνουν" το δίκτυο διανομής. Οι καταναλωτές πρέπει με τη σειρά τους να απαιτούν ο εξοπλισμός που αγοράζουν και χρησιμοποιούν να συμβαδίζει με τους διεθνείς κανονισμούς.

### 2.2.1 Οργανισμοί που διαμορφώνουν τα πρότυπα

Οι κυριότεροι οργανισμοί (διεθνείς ή Ευρωπαϊκοί ) που διαμορφώνουν τα πρότυπα που αφορούν την ποιότητα ισχύος είναι:

- IEC (International Electrotechnical Commission )
- ISO ( International Organization for Standardization )
- CEN (European Committee for Standardization )
- CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization )
- IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers )

## 2.2.2 Πρότυπα μέτρησης [5]

Τα σημαντικότερα πρότυπα που αναφέρονται στις μεθόδους μέτρησης της ποιότητας ισχύος είναι τα ακόλουθα :

- EN 61000-4-30 : 2003 (IEC 61000-4-30 :2003)

Μέθοδοι Μέτρησης Ποιότητας Ισχύος.

Ορίζει τις μεθόδους μέτρησης και ερμηνείας των αποτελεσμάτων για τις παραμέτρους της ποιότητας ισχύος στα εναλλασσόμενα συστήματα 50/60 Hz . Οι παράμετροι που καθορίζει είναι οι μεταβολές συχνότητας, flicker, βυθίσεις και διακυμάνσεις τάσης, διακοπές, ασυμμετρίες , μεταβατικά φαινόμενα, αρμονικές και ενδιάμεσες αρμονικές τάσης και ρεύματος. Ανάλογα με τον σκοπό των μετρήσεων όλα ή μέρος των παραπάνω φαινομένων μπορεί να μετρηθούν. Το πρότυπο αυτό ορίζει τις μεθόδους μέτρησης αλλά δε θέτει όρια.

Το πρότυπο αυτό έχει ορίσει δύο διαφορετικές κλάσεις ακρίβειας για τα όργανα με τα οποία πραγματοποιούνται οι μετρήσεις , την κλάση A και την κλάση B. Τα όργανα κλάσης A είναι μεγαλύτερης ακρίβειας και χρησιμοποιούνται για συμβατικές μετρήσεις που πιστοποιούν τη συμμόρφωση ή όχι με τα όρια των προτύπων. Τα όργανα κλάσης B χρησιμοποιούνται περισσότερο για στατιστικές έρευνες όπου δεν είναι απαραίτητη πολύ μεγάλη ακρίβεια. Στην κλάση B δεν ορίζονται μέθοδοι υπολογισμού όπως στην κλάση A, αλλά ο κατασκευαστής του κάθε οργάνου πρέπει να αναφέρει λεπτομερώς τη μέθοδο μέτρησης που χρησιμοποιείται.

- EN 61000-4-7 : 2002 (IEC 61000-4-7 :2002)

Γενικός οδηγός για μετρήσεις και χρήση οργάνων που αφορούν αρμονικές και ενδιάμεσες αρμονικές .

Αφορά χρήση οργάνων που έχουν σκοπό να μετρήσουν τις συνιστώσες του φάσματος με συχνότητα έως 9 kHz που υπερτίθενται στη θεμελιώδη συχνότητα του συστήματος. Το πρότυπο διαχωρίζει ανάμεσα σε αρμονικές, ενδιάμεσες αρμονικές και άλλες συνιστώσες του φάσματος και χρησιμοποιείται για μετρήσεις είτε στο δίκτυο είτε σε μεμονωμένες συσκευές του εξοπλισμού.

Για τη μέτρηση αρμονικών χρησιμοποιείται ένα παράθυρο διαστήματος 10 κύκλων. Στο διάστημα αυτό , εφαρμόζεται ο Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier (DFT - Discrete Fourier Transform) και προκύπτει ένα φάσμα συχνοτήτων ανά 5 Hz , δηλαδή ανάμεσα στις

συχνότητες των αρμονικών (ακέραια πολλαπλάσια των 50 Hz) εμφανίζονται εννιά επιπλέον τιμές .

- EN 61000-4-15/A1 : 2003 (IEC 61000-4-15 Ed1.1:2003) και το EN 60868: 1993 (IEC/TR2 60868-am1:1990)

Flicker – Λειτουργικές και σχεδιαστικές προδιαγραφές.

Ορίζουν τις προϋποθέσεις που πρέπει να ισχύουν για να μετρηθεί το flicker και να προσδιοριστεί το σωστό ποσοστιαίο επίπεδο του σε όλες τις διακυμάνσεις κυματομορφών τάσεων.

- EN 61400-21 :2002 (IEC 61400-21:2001)

Μέθοδοι Μέτρησης Ποιότητας Ισχύος.

Περιγράφει τη διαδικασία μετρήσεων για να ποσοτικοποιηθεί η ποιότητα ισχύος ενός δικτύου με συνδεδεμένες σε αυτό αναμογεννήτριες ώστε τελικά να αποτιμηθεί αν ικανοποιούνται ή όχι οι απαιτήσεις της ποιότητας ισχύος.

- IEC/TR 61000-2-8 :2002-11

Βυθίσεις τάσης και μικρής διάρκειας διακοπές στο δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο με στατιστικά αποτελέσματα μετρήσεων.

- IEEE 1159-1995

Προτεινόμενη πρακτική για Καταγραφή Ποιότητας Ισχύος.

- IEEE 1250-1995

Οδηγός για επισκευές σε ευαίσθητες σε στιγμιαίες διακυμάνσεις της τάσης συσκευές.

- IEEE 1453-2004

Προτεινόμενη πρακτική για μετρήσεις και όρια του flicker.

## 2.2.3 Πρότυπα προδιαγραφών και ορίων της παρεχόμενης ποιότητας ισχύος

### 2.2.3.1 Πρότυπα ποιότητας τάσης

Τα σημαντικότερα πρότυπα που προσδιορίζουν τα κύρια χαρακτηριστικά της τάσης που παρέχεται στους καταναλωτές είναι τα ακόλουθα :

- EN 50160 : 1999

Χαρακτηριστικά της τάσης που παρέχεται από το δημόσιο δίκτυο διανομής.

Το πρότυπο αυτό καθορίζει τις μέγιστες τιμές ή μεταβολές των χαρακτηριστικών της τάσης που παρέχει το δίκτυο διανομής χαμηλής και μέσης τάσης στους καταναλωτές, σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου. Εφαρμόζεται μόνο υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, που συμπεριλαμβάνεται ο σωστός χειρισμός των μονάδων προστασίας στην περίπτωση σφάλματος στο δίκτυο. Μη κανονικές συνθήκες όπου δεν εφαρμόζεται το πρότυπο είναι : ακραίες καιρικές συνθήκες και φυσικές καταστροφές, ανάμειξη τρίτων παραγόντων, ενέργειες από δημόσιες αρχές, έλλειψη ενέργειας λόγω εξωτερικών παραγόντων.

Παρακάτω παρατίθεται δύο πίνακες που συνοψίζουν τα όρια της τάσης που οφείλει να παρέχει το δίκτυο στους καταναλωτές, σύμφωνα με το EN 50160.

Χαρακτηριστικά της παρεχόμενης τάσης	Όρια		Παράμετροι μετρήσεων		
	Χαμηλή τάση	Μέση τάση	Βασική ποσότητα	Μέσο χρονικό διάστημα	Διάρκεια παρατήρησης
συχνότητα (συνδεδεσης στο δίκτυο)	50Hz $\pm$ 1% (49.5-50.5 Hz) 50Hz +4%/-6% (47-52 Hz)		μέση τιμή	10 s	1 εβδομάδα
συχνότητα (απομονωμένα συστήματα)	50Hz $\pm$ 2% (49-51 Hz) 50Hz $\pm$ 15% (42.5-57.5 Hz)		μέση τιμή	10 s	1 εβδομάδα
μεταβολές τάσης	$U_N \pm 10\%$	$U_C \pm 10\%$	RMS	10 min	1 εβδομάδα
γρήγορες μεταβολές τάσης	$< 5\% U_N$	$< 4\% U_C$	RMS		1 ημέρα
flicker	$P_{It} \leq 1$				1 εβδομάδα
βυθίσεις (10ms-	ενδεικτικά: 10-1000 το		RMS,		1 χρόνος



<b>1min, <math>U_{RMS}&lt;90\%</math> <math>U_N</math>)</b>	χρόνο, βάθος <60%		διάρκεια		
<b>μικρές διακοπές (&lt;3min, <math>U_{RMS}&lt;1\%</math> <math>U_N</math>)</b>	ενδεικτικά: 10-κάποιες εκατοντάδες το χρόνο, το 70% να διαρκεί <1s		RMS, διάρκεια		1 χρόνος
<b>μεγάλες διακοπές(&gt;3min, <math>U_{RMS}&lt;1\%</math> <math>U_N</math>)</b>	ενδεικτικά: 10-50 το χρόνο		RMS, διάρκεια		1 χρόνος
<b>προσωρινές υπερτάσεις</b>	<1.5kV	<1.7 ή <2kV (ανάλογα τη σύνδεση ουδετέρου)	RMS		
<b>μεταβατικές υπερτάσεις</b>	<6kV, διάρκεια<1μs έως ms		peak		
<b>ασυμμετρία</b>	αναλογία αρνητικής/θετικής συνιστώσας<2%		RMS ανά 10 min		1 εβδομάδα
<b>αρμονική παραμόρφωση</b>	THD (ως 40 <sup>η</sup> αρμονική) < 8%		RMS	10 min	1 εβδομάδα
<b>ενδιάμεσες αρμονικές</b>	Δεν υπάρχουν διευκρινίσεις προς το παρόν				

**Πίνακας 2.1 : Όρια των παραμέτρων της παρεχόμενης τάσης**

<b>Πίνακας 2.2. Επίπεδα συμβατότητας (compatibility levels) των αρμονικών της τάσης δικτύων XT και MT (IEC 61000-3-6)</b>					
Περιττές αρμονικές ≠3k		Περιττές αρμονικές = 3k		Άρτιες αρμονικές	
Τάξη h	Αρμονική τάση (% της ονομαστικής)	Τάξη h	Αρμονική τάση (% της ονομαστικής)	Τάξη h	Αρμονική τάση (% της ονομαστικής)
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				
Ολική Αρμονική Παραμόρφωση, THD: 8 %					

- IEEE 519-1992

Συνιστώμενες πρακτικές και απαιτήσεις για τον έλεγχο των αρμονικών στα ηλεκτρικά συστήματα. Ο οδηγός αυτός βρίσκει εφαρμογή σε όλους τους τύπους μετατροπέων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία και το εμπόριο. Αναφέρεται στα προβλήματα που σχετίζονται με τον έλεγχο αρμονικών και την άεργο αντιστάθμιση των μετατροπέων. Θέτει όρια για διαταραχές στο εναλλασσόμενο δίκτυο διανομής που επιδρούν και σε άλλο εξοπλισμό.

- IEEE P1564

Προτείνει μεθόδους υπολογισμού διαφόρων χρήσιμων δεικτών για τη βύθιση τάσης.

- IEEE 1366-2003

Ο οδηγός προσδιορίζει κάποιους δείκτες και παράγοντες αξιοπιστίας που μπορούν να εφαρμοστούν σε δίκτυα διανομής, υποσταθμούς και κυκλώματα.

### 2.2.3.2 Πρότυπα ποιότητας ρεύματος

Η εξαγωγή ορίων αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος προϋποθέτει γενικά τη γνώση της αρμονικής σύνθετης αντίστασης του δικτύου,  $Z_h$ . Η διαδικασία εκτίμησης της  $Z_h$  είναι γενικά επίπονη και δικαιολογείται μόνο για μεγάλες σχετικά εγκαταστάσεις. Στην περίπτωση των δικτύων XT, λόγω του μεγάλου πλήθους και μικρού κατά κανόνα μεγέθους των συσκευών που συνδέονται σε αυτά, δεν είναι εφικτή η ειδική κατά περίπτωση εξέταση της προκαλούμενης παραμόρφωσης της τάσης. Αντίθετα, για λόγους ευχέρειας εξέτασης οι σχετικοί κανονισμοί IEC έχουν θεσπίσει όρια για τον απ' ευθείας έλεγχο της αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος εξόδου τους (τα οποία προκύπτουν θεωρώντας ένα «πρότυπο» δίκτυο XT και ισχύουν για διατάξεις μικρής μόνο ισχύος). Ειδική ανά περίπτωση εξέταση των επιπτώσεων στην αρμονική παραμόρφωση της τάσης προβλέπεται από τους κανονισμούς για μεγάλες σχετικά συσκευές και διατάξεις. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα πρότυπα ορίων των εκπομπών αρμονικών ρεύματος για εγκαταστάσεις παραγωγής που συνδέονται στα δίκτυα XT, ανάλογα με το μέγεθός τους.[6]

Τα σημαντικότερα πρότυπα που προσδιορίζουν τα κύρια χαρακτηριστικά του ρεύματος συσκευών συνδεδεμένων στη χαμηλή τάση είναι τα ακόλουθα :

- EN 61000-3-2:2000 (IEC 61000-3-2:2000 )

Όρια για αρμονικές εκπομπές του ρεύματος (εφαρμόζεται σε εξοπλισμό με ονομαστικό ρεύμα έως 16 A ανά φάση)

Το πρότυπο κατατάσει τις συσκευές σε 4 Κλάσεις: Η Κλάση A είναι γενικής εφαρμογής και αφορά όλες τις συσκευές, εκτός εκείνων που κατατάσσονται στις άλλες κλάσεις. Η Κλάση B αφορά τα φορητά εργαλεία, η Κλάση Γ τις συσκευές φωτισμού και η Κλάση Δ τις συσκευές των οποίων η ένταση μεταβάλλεται βηματικά, με ορισμένη μορφή που καθορίζεται στο Πρότυπο. Τα όρια της Κλάσεως A είναι τα αυστηρότερα και αφορούν κυρίως τις διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος, μέσω των οποίων γίνεται η σύνδεση των συσκευών με το δίκτυο. Οι απαιτήσεις αυτές συνοψίζονται στον Πίνακα 3, ο οποίος δίνει τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές των αρμονικών του ρεύματος εξόδου.[6]

Πίνακας 2.3. Όρια αρμονικών συνιστωσών του ρεύματος εξόδου για εξοπλισμό ΧΤ με ονομαστικό ρεύμα $\leq 16$ A/φάση			
Περιττές αρμονικές		Άρτιες αρμονικές	
Τάξη <i>H</i>	Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση (A)	Τάξη <i>h</i>	Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση (A)
3	2.30	2	1.08
5	1.14	4	0.43
7	0.77	6	0.30
9	0.40	$8 \leq h \leq 40$	$0.23 \cdot \frac{8}{h}$
11	0.33		
13	0.21		
$15 \leq h \leq 3$	$0.15 \cdot \frac{15}{h}$		

- EN 61000-3-3:1995/A1:2001 (IEC 61000-3-3:1994/ A1:2001 )

Όρια και περιορισμοί των διακυμάνσεων της τάσης και του flicker στη χαμηλή τάση του συστήματος διανομής που προκαλούνται από εξοπλισμό με ονομαστικό ρεύμα έως 16 A ανά φάση.

- EN 61000-3-11:2000 (IEC 61000-3-11:2000 )

Όρια και περιορισμοί των διακυμάνσεων της τάσης και του flicker στη χαμηλή τάση του συστήματος διανομής που προκαλούνται από εξοπλισμό με ονομαστικό ρεύμα έως 75 A ανά φάση.

- IEC/TS 61000-3-4 (1998-10 )

Όρια και περιορισμοί των αρμονικών του ρεύματος στη χαμηλή τάση του συστήματος διανομής που προκαλούνται από εξοπλισμό με ονομαστικό ρεύμα μεγαλύτερο από 16 A.

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 2.4) για σύνδεση εγκαταστάσεων παραγωγής σε σημεία του δικτύου εφαρμόζεται υπό την προϋπόθεση ότι ο λόγος βραχυκύκλωσης είναι μεγαλύτερος ή ίσος του 33 ( $R_k \geq 33$ ). Αν η προϋπόθεση αυτή δεν τηρείται δίνονται άλλοι πίνακες. [6]

<b>Πίνακας 2.4. Όρια αρμονικών συνιστωσών του ρεύματος εξόδου για εξοπλισμό ΧΤ με ονομαστικό ρεύμα μεταξύ 16 και 75 A ανά φάση.</b>			
<b>Τάξη <i>h</i></b>	<b>Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση <math>I_h/I_{In}</math> %</b>	<b>Τάξη <i>h</i></b>	<b>Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση <math>I_h/I_{In}</math> %</b>
3	21.6	21	$\leq 0.6$
5	10.7	23	0.9
7	7.2	25	0.8
9	3.8	27	$\leq 0.6$
11	3.1	29	0.7
13	2	31	0.7
15	0.7	$\geq 33$	$\leq 0.6$
17	1.2	<b>Άρτιες</b>	$\leq 8/h$ ή $\leq 0.6$
19	1.1		

$I_I$ : Θεμελιώδης συνιστώσα ονομαστικού ρεύματος  
 $I_h$ : Αρμονική συνιστώσα τάξης  $h$  του ρεύματος

Για εξοπλισμό που συνδέεται στη χαμηλή τάση και έχει ονομαστικό ρεύμα άνω των 75 A ανά φάση , ισχύουν τα κάτωθι όρια αρμονικών εκπομπών:

<b>Πίνακας 2.5. Ανηγμένα όρια αρμονικών του ρεύματος ανά MVA ισχύος βραχυκύκλωσης του δικτύου, για εξοπλισμό XT ονομαστικού ρεύματος άνω των 75 A ανά φάση</b>	
Τάξη $h$	Όριο αρμονικών του ρεύματος, $L_h$ (A/MVA)
5	2.6
7	1.6
11	1.0
13	0.7
17	0.4
19	0.25
23	0.2
25	0.18
$h$ άρτιος ή $h = 3 \cdot k$ ή $h > 25$	$1/h$

- IEC/TR2 61000-3-5-Ed.1.0

IEC/TR3 61000-3-6 (1996-10 )

Κάνει αποτίμηση των ορίων για φορτία που επιβαρύνουν με διαταραχές το δίκτυο στη μέση και χαμηλή τάση και απαιτείται η συγκατάθεση των αρμόδιων αρχών για να συνδεθούν σε αυτό.

- prEN 50373:2003

Ανεμογεννήτριες – Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το υβριδικό σύστημα του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) κατασκευάστηκε στα πλαίσια διαφόρων Ευρωπαϊκών έργων , για να ερευνηθούν οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να αυξηθεί η διείσδυση της παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά σε μικρά απομονωμένα αυτόνομα δίκτυα , χωρίς να θυσιαστεί η ποιότητα ισχύος που παρέχεται στον τελικό καταναλωτή. Αποτελείται από τρία κύρια μέρη :

1. Το σύστημα παραγωγής.
2. Το σύστημα ελέγχου και επίβλεψης.
3. Τη διασύνδεση επικοινωνίας.

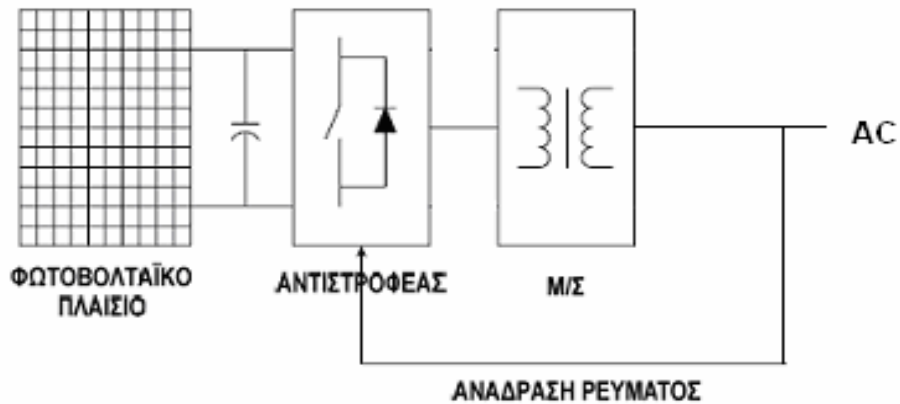
#### 3.1 Το σύστημα παραγωγής

Το σύστημα παραγωγής έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί είτε ως απομονωμένο αυτόνομο δίκτυο είτε να συνδέεται με το δημόσιο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ενός ηλεκτρολογικού πίνακα προστασίας της εγκατάστασης .

Αποτελείται από της εξής μονάδες :

- A. **Δύο φωτοβολταϊκές γεννήτριες** ονομαστικής ισχύος 4.4 kWp και 1.1 kWp που συνδέονται με το υπόλοιπο υβριδικό σύστημα μέσω μονοφασικών αντιστροφών. Η σύνδεση των φωτοβολταϊκών γεννητριών με το υπόλοιπο δίκτυο ελέγχεται από δύο ρελέ που συνδέουν την έξοδο εναλλασσόμενου ρεύματος των αντιστροφών με το δίκτυο. Τα ρελέ οδηγούνται από μια μονάδα ψηφιακής εισόδου/εξόδου του εποπτικού συστήματος ελέγχου. Οι μετρήσεις της ισχύος των φωτοβολταϊκών που εγχέονται στο δίκτυο, η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών κυψελών οδηγούνται σε ανλογικές εισόδους του εποπτικού συστήματος ελέγχου. Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζεται η τοπολογία της φωτοβολταϊκής διάταξης η οποία συνδέεται στη μια φάση του AC δικτύου. Ο αντιστροφέας πηγής τάσης, στον οποίο εφαρμόζουμε και ανάδραση ρεύματος παραλαμβάνει τη DC τάση ,από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και τη μετατρέπει σε AC τάση, συχνότητας 50Hz, την οποία

εφαρμόζει στο μετασχηματιστή που ακολουθεί. Ο μετασχηματιστής εξασφαλίζει ηλεκτρική απομόνωση και προσαρμογή των τάσεων μεταξύ της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και του σταθερού AC δικτύου. Επειδή, λοιπόν ο αντιστροφέας υποβιβάζει την τάση, ο Μ/Σ την ανυψώνει και τη διατηρεί στα επιθυμητά επίπεδα .



**Σχήμα 3.1 Τοπολογία φωτοβολταϊκής διάταξης με παρεμβολή αντιστροφέα.**

Ο έλεγχος ρεύματος του αντιστροφέα επιτυγχάνεται μέσω του βρόχου ανάδρασης ρεύματος, έτσι ώστε το ρεύμα που διοχετεύεται στο δίκτυο να διατηρεί ημιτονοειδή μορφή και να βρίσκεται διαρκώς σε φάση με τη φασική τάση του δικτύου. Τέλος οι αντιστροφείς είναι εφοδιασμένοι με τις απαραίτητες διατάξεις προστασίας (νησιδοποίησης , υπερφόρτισης κλπ).

- B. **Σύγχρονη γεννήτρια diesel** 12 kVA . Διαθέτει ρυθμιστή τάσης και ρυθμιστή συχνότητας. Το σύστημα ρύθμισης συχνότητας του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους μπορεί να λειτουργήσει είτε ισόχρονα είτε με βάση στατικές χαρακτηριστικές συχνότητας-ενεργού ισχύος  $f-P_A$  (droop control).

Οι λειτουργίες που αφορούν τη γεννήτρια και γίνονται από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή του εργαστηρίου είναι το ξεκίνημα της μηχανής, η επιλογή απομονωμένης λειτουργίας και η επιλογή σύνδεσής της με το υπόλοιπο δίκτυο. Τα μεγέθη που αλλάζουν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της μηχανής και παρουσιάζονται στην οθόνη του Η/Υ του εργαστηρίου είναι : η συχνότητα στην έξοδό της , η ηλεκτρική ισχύς σε κάθε φάση και η συνολική ισχύς , η μηχανική ταχύτητα περιστροφής και η κατανάλωση καυσίμου.

### **Γ. Τα φορτία.**

Έχουμε τη δυνατότητα να διαπιστώσουμε τις διαφορετικές επιδόσεις του υβριδικού συστήματος συνδυάζοντας διάφορα φορτία. Τα φορτία ελέγχονται όλα από ρελέ. Οι πληροφορίες που λαμβάνουμε για αυτά είναι η ισχύς που καταναλώνουν τα φορτία , η τάση και η συχνότητα στα άκρα των φορτίων.

### **Δ. Η μονάδα αποθήκευσης ενέργειας.**

Οι μπαταρίες συνδέονται στο υπόλοιπο δίκτυο μέσω ενός μετατροπέα που είναι ειδικά σχεδιασμένος για τη σύνδεση πηγής συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο δίκτυο.

Στο υβριδικό υπάρχουν δυο μετατροπείς με τις αντίστοιχες μπαταρίες τους : ένας τριφασικός μετατροπέας , της εταιρίας Ansaldo , ονομαστικής ισχύος 10 kW και τρεις μονοφασικοί μετατροπείς , sunny island , της εταιρίας SMA ονομαστικής ισχύος 3\*4.5kW που στη διάταξη λειτουργούν ο ένας ως κύριος και οι άλλοι δύο ως υποτελείς (master-slave).

Και οι δύο μετατροπείς είναι τύπου πηγής τάσης και επιτρέπουν τη ροή ισχύος και προς τις δυο κατευθύνσεις. Ο έλεγχος των μετατροπέων βασίζεται στην τεχνική PWM . Υπάρχουν δύο καταστάσεις λειτουργίας :1) Λειτουργία ως πηγή τάσης :συνδέεται στο dc άκρο μιας πηγής τάσης (μπαταριών) και σε ένα τριφασικό φορτίο. Ρυθμίζει την τάση και την συχνότητα εξόδου σύμφωνα με αυτές αναφοράς. Σε αυτή τη περίπτωση , ο μετατροπέας δε μπορεί να ρυθμίσει τον συντελεστή ισχύος που προκύπτει από το φορτίο. 2) Λειτουργία ως πηγή ρεύματος : συνδέεται στο dc άκρο μιας πηγής τάσης (μπαταριών) και στο εναλλασσόμενο άκρο ενός τριφασικού δικτύου.Ρυθμίζει το ρεύμα που εγχέεται ή απορροφάται ακολουθώντας μια εξωτερική τιμή αναφοράς. Μπορεί , επίσης , να χρησιμοποιηθεί σαν αντισταθμιστής του συντελεστή ισχύος ,αν τεθεί μια αναφορά και στο άεργο ρεύμα. Στην πρώτη κατάσταση λειτουργίας ο μετατροπέας διαμορφώνει την τάση του δικτύου , ενώ στη δεύτερη περίπτωση ο μετατροπέας προσπαθεί να συγχρονιστεί με την τάση που διαμορφώνεται είτε από την νηξελογεννήτρια είτε από το δημόσιο δίκτυο.

Για την υλοποίηση του ελέγχου του μετατροπέα Ansaldo από τον υπολογιστή του εργαστηρίου, υπάρχουν οι ακόλουθες επιλογές σημάτων , μέσω του Interbus:

- Ψηφιακά σήματα εισόδου:



**Reset:** επαναφέρει τις αρχικές συνθήκες της προστασίας του μετατροπέα.

**External Protection:** προορίζεται για να σταματά το μετατροπέα σε περίπτωση που έχει ενεργοποιηθεί ο εξωτερικός μηχανισμός προστασίας. Επίσης, χρησιμεύει για την εκφόρτιση των πυκνωτών στην DC πλευρά του αντιστροφέα.

**V/I mode:** Επιλογή κατάστασης λειτουργίας ανάμεσα σε πηγή τάσης ή πηγή ρεύματος.

**Start:** Εάν καμιά προστασία ή ειδοποίηση δεν δίνει σήμα λάθους, το σήμα αυτό δίνει εντολή να ενεργοποιηθεί η εκπομπή παλμών εκκίνησης, η ρύθμιση του βρόχου ελέγχου και τα σήματα αναφοράς.

- Αναλογικά σήματα εισόδου:

**Vac/Id ref :** Στη λειτουργία ως πηγή τάσης, το σήμα αυτό ορίζει την τιμή αναφοράς για την τάση εξόδου του μετατροπέα. Στη λειτουργία ως πηγή ρεύματος, ορίζει την τιμή αναφοράς της ενεργού συνιστώσας του εναλλασσόμενου ρεύματος του μετατροπέα.

**F/Iq ref:** Στη λειτουργία ως πηγή τάσης, το σήμα αυτό ορίζει την τιμή αναφοράς για την συχνότητα της τάσης εξόδου του μετατροπέα. Στη λειτουργία ως πηγή ρεύματος, ορίζει την τιμή αναφοράς της άεργου συνιστώσας του εναλλασσόμενου ρεύματος του μετατροπέα.

- Αναλογικά σήματα εξόδου:

$V_{dc}$  : Η dc τάση των μπαταριών.

Freq: Η συχνότητα του δικτύου.

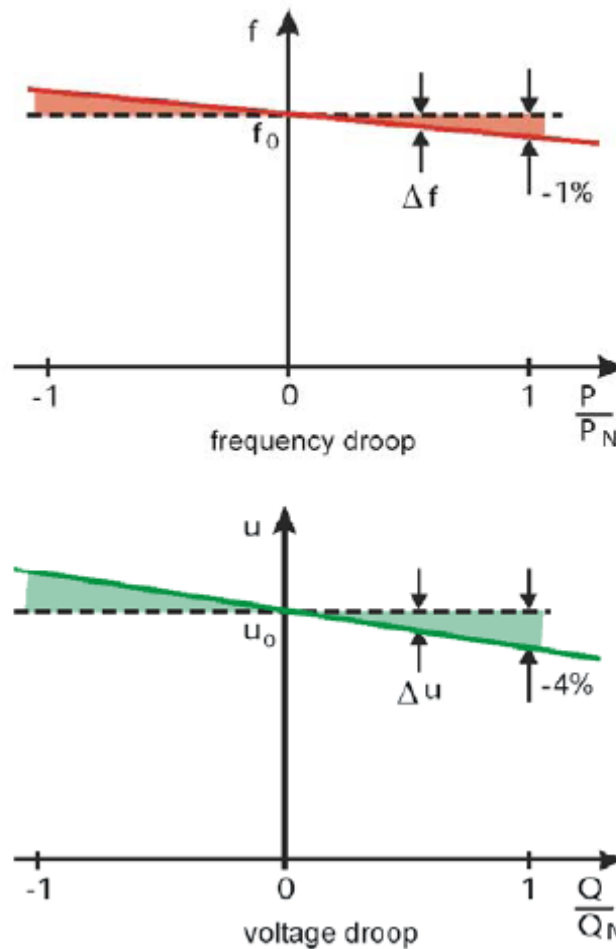
Id: Η ενεργός συνιστώσα του ρεύματος του μετατροπέα.

Iq: Η άεργος συνιστώσα του ρεύματος του μετατροπέα.

Για τον μετατροπέα sunny island υπάρχουν οι εξής δυνατότητες ελέγχου: ξεκίνημα / σταμάτημα της λειτουργίας του, ρύθμιση της ενεργού και άεργου ισχύος (μετακίνηση του σημείου τομής  $f_0$ ,  $U_0$  της χαρακτηριστικής f-P, U-Q με τον άξονα y), επίλογή της λειτουργίας του ως τρεις ανεξάρτητοι μονοφασικοί inverters ή ως ένας τριφασικός σε διάταξη master-slave.

Επίσης, μπορούμε να πάρουμε πληροφορίες για τη λειτουργία του όπως το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών (SOC- State Of Charge), την ενεργό και την άεργο ισχύ του.

Η ρύθμιση της ενεργού και άεργου ισχύος εξαρτάται από τις χαρακτηριστικές ενεργού ισχύος- συχνότητας και άεργου ισχύος-τάσης του αντιστροφέα, αντίστοιχα. Οι χαρακτηριστικές αυτές είναι γνωστές ως “droop καμπύλες” και ενδεικτικά απεικονίζονται στο σχήμα 3.2.



**Σχήμα 3.2 : Χαρακτηριστικές καμπύλες ενεργού ισχύος-συχνότητας και άεργου ισχύος-τάσης του αντιστροφέα**

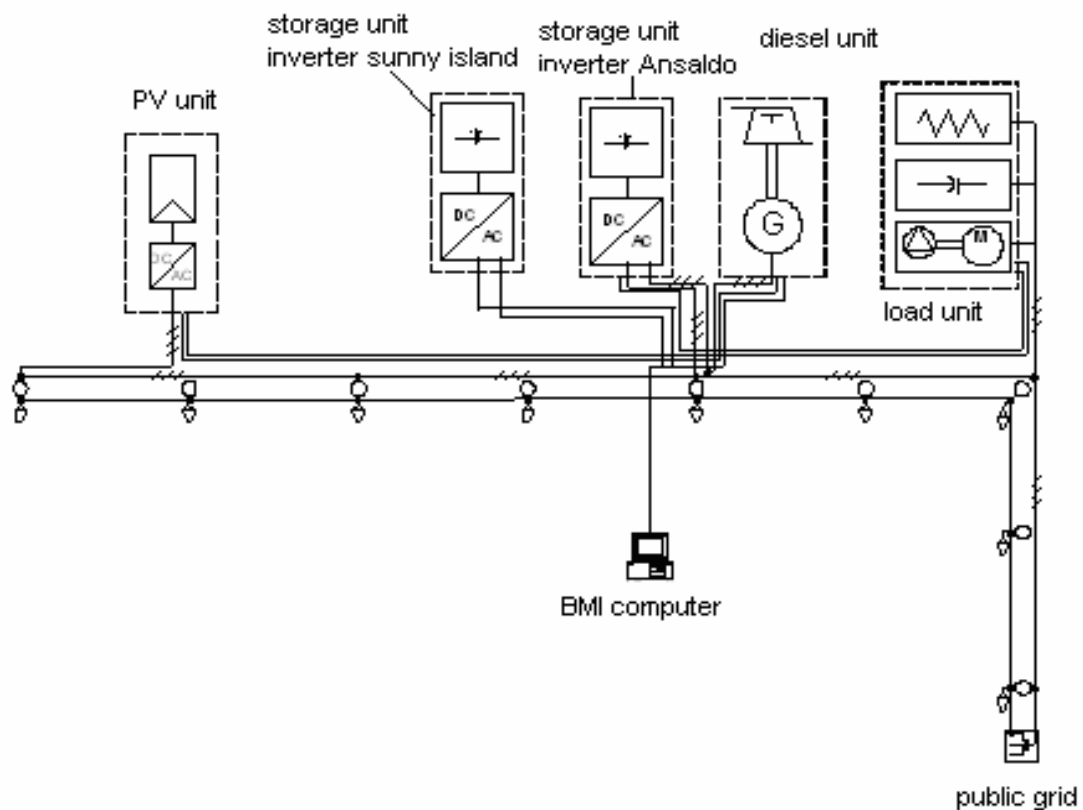
Καθεμία καμπύλη χαρακτηρίζεται από δύο βασικά μεγέθη:

Την “άεργο” συχνότητα και τάση,  $f_0$  and  $u_0$ , που αντιστοιχούν στην τιμή της συχνότητας ή της τάσης όπου μηδενίζεται η ενεργός ή άεργος ισχύς εξόδου.

Την τιμή “droop”, δηλαδή την κλίση  $\Delta f/\Delta P$  και  $\Delta V/\Delta Q$ , που αντιπροσωπεύει τη διαφορά της συχνότητας ή τάσης εξόδου μεταξύ των καταστάσεων όπου η συσκευή λειτουργεί εν κενώ και υπό πλήρες φορτίο.

Όταν ο αντιστροφέας λειτουργεί απομονωμένα ως πηγή τάσης και τροφοδοτεί κάποια φορτία, η συχνότητα και η τάση καθορίζονται αυτόματα από τις droop καμπύλες του, ανάλογα με τη ζήτηση ισχύος των φορτίων. Το εποπτικό σύστημα ελέγχου παρέχει τη δυνατότητα να μεταβάλλονται οι  $f_0$  and  $u_0$  σε πραγματικό χρόνο ανάλογα με τις συνθήκες. Εάν περισσότερες από μια πηγές τάσης λειτουργούν ταυτόχρονα στο σύστημα καμιά μονάδα δε ρυθμίζει αποκλειστικά τη συχνότητα, αλλά όλες συμβάλλουν στην παραγωγή ισχύος αναλόγως με την droop χαρακτηριστική τους. [10]

Στο σχήμα 3.3 παρουσιάζεται ένα αντιπροσωπευτικό διάγραμμα του συστήματος παραγωγής του υβριδικού του Κέντρου Ανανεωσιμων Πηγών Ενέργειας.



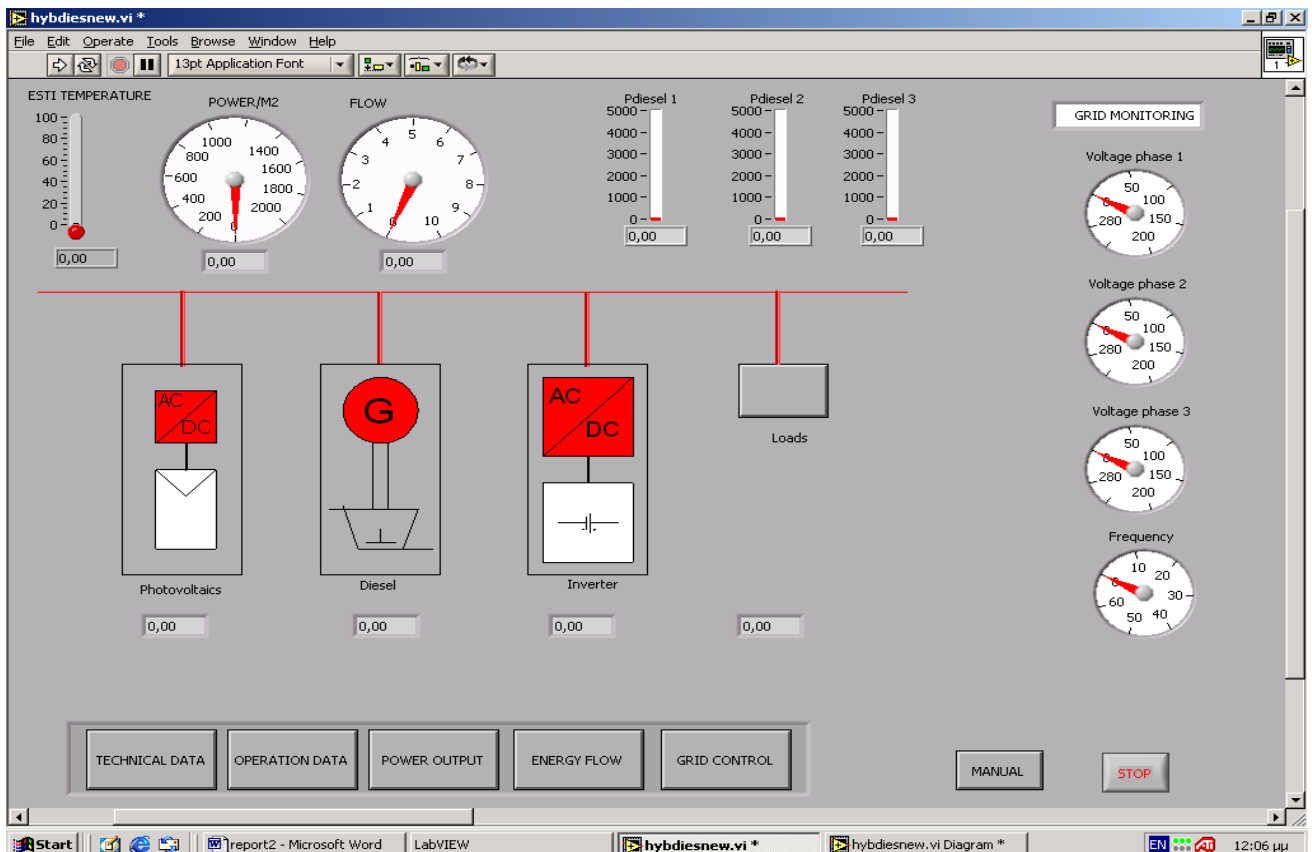
Σχήμα 3.3 : Τοπολογία του συστήματος παραγωγής του υβριδικού

## 3.2 Σύστημα επίβλεψης και ελέγχου

Το σύστημα ελέγχου και επίβλεψης έχει αναπτυχθεί σε περιβάλλον Labview 6.1 και προσφέρει τις ακόλουθες δυνατότητες :

- Καταγραφή των παραμέτρων του δικτύου, δηλαδή συλλογή μετρήσεων και πληροφοριών για τις διάφορες συνιστώσες του υβριδικού αλλά και μετεωρολογικές πληροφορίες .
- Σύνδεση και αποσύνδεση των μονάδων ισχύος και μετάδοση αναλογικών σημάτων ελέγχου.
- Αυτόματη λειτουργία του υβριδικού σύμφωνα με μια προκαθορισμένη στρατηγική.

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η κύρια οθόνη του προγράμματος Labview μεσω της οποίας μπορούμε να χειριστούμε τις συσκευές του υβριδικού και να συλλέξουμε διάφορες πληροφορίες για αυτές .



Σχήμα 3.3 : Κύρια οθόνη επίβλεψης και ελέγχου του υβριδικού.

### 3.3 Διασύνδεση επικοινωνίας

Η διασύνδεση επικοινωνίας μεταξύ των διατάξεων παραγωγής/κατανάλωσης ενέργειας και του συστήματος επίβλεψης και ελέγχου γίνεται μέσω ενός δικτύου Interbus. Το Interbus είναι ένα σειριακό καλωδιακό σύστημα που χρησιμεύει για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ συστημάτων ελέγχου (όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές ή προγραμματιζόμενοι ελεγκτές) και χωροταξικά απομακρυσμένων μονάδων εισόδου/εξόδου των οποίων οι αισθητήρες και οι μηχανισμοί κίνησης είναι συνδεδεμένοι. Το σύστημα του Interbus είναι σχεδιασμένο σαν δακτύλιος δεδομένων. Η πλακέτα ελέγχου είναι η κεντρική συσκευή που ελέγχει τον δακτύλιο δεδομένων. Ανταλλάζει δεδομένα σειριακά ,μέσω του δακτυλίου , με το υπολογιστικό σύστημα και τις συσκευές Interbus. Η ανταλλαγή δεδομένων πραγματοποιείται ταυτοχρόνως και κυκλικά και προς τις δυο κατευθύνσεις (λειτουργία εκπομπής- λήψης). Η πλακέτα ελέγχου πραγματοποιεί τις ακόλουθες εργασίες : έλεγχος του κυκλικού πρωτοκόλλου του Interbus, μεταφορά των δεδομένων εισόδου/εξόδου μεταξύ των συσκευών Interbus και του υπολογιστή, εντοπισμός λαθών (διάγνωση του τύπου και της τοποθεσίας του λάθους, αποστολή μηνύματος λάθους στον υπολογιστή) .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΡΓΑΝΟΥ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις ποιότητας ισχύος στο υβριδικό σύστημα του ΚΑΠΕ είναι το Power Guide 4400 ,της εταιρίας Dranetz .

Το Power Guide 4400 είναι συσκευή καταγραφής και ανάλυσης ηλεκτρικών μεγεθών σχεδιασμένο για μελέτες Ποιότητας Ισχύος. Η συσκευή είναι φορητή με οθόνη αφής και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προβολή και επεξεργασία των μετρήσεων. Τα δεδομένα μεταφέρονται σε υπολογιστή μέσω κάρτα μνήμης (flash card) ή μέσω σειριακής θύρας ή θύρας USB για περαιτέρω επεξεργασία με την βοήθεια του προγράμματος Dranview.



Σχήμα 4.1 : Power Guide 4400 : όργανο καταγραφής των μετρήσεων ποιότητας ισχύος

<p><b>Power Xplorer E 1.4.1</b> (BETA: Oct 20 2008 @ 15:28:10) Oct 21 08</p> <p>MONITORING STATUS: OFF</p> <p>CIRCUIT TYPE: 3 Phase Wye MEMORY CARD: Not inserted FILENAME:  CYCLES SAVED: 0.0 JOURNALS LOGGED: 0</p> <p><b>Scope</b> <b>Meter</b> <b>Harmonics</b> <b>Phasor</b></p> <p><b>Trend</b> <b>Events</b> <b>Reports</b> <b>Preferences</b></p> <p><b>START/SETUP</b></p>	<p><b>Η συσκευή λειτουργεί ως:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>Scope:</b> Παλμογράφος για την προβολή κυματομορφών</li><li>▪ <b>Meter:</b> Μετρητής ηλεκτρικών μεγεθών</li><li>▪ <b>Harmonics:</b> Μετρητής Αρμονικών</li><li>▪ <b>Phasor:</b> Προβολή Διανυσμάτων Τάσης &amp; Έντασης</li><li>▪ <b>Trend:</b> Απεικόνιση μετρήσεων ως προς τον χρόνο</li><li>▪ <b>Events:</b> Απεικόνιση συμβάντων τα οποία κατέγραψε η συσκευή</li><li>▪ <b>Reports:</b> Δημιουργία αναφορών σύμφωνα με τα διεθνή στάνταρ για την Ποιότητα Ισχύος</li></ul>
---	--

**START/SETUP**

Η συσκευή δίνει την δυνατότητα:

- να ρυθμιστεί για μετρήσεις σε καινούργιο κύκλωμα
- να χρησιμοποιηθούν οι ρυθμίσεις του προηγούμενου κύκλωματος
- να χρησιμοποιηθούν ρυθμίσεις αποθηκευμένες στην μνήμη
- να χρησιμοποιηθεί για την προβολή μετρήσεων αποθηκευμένων στην μνήμη

Οι ρυθμίσεις γίνονται αυτόματα ή από τον χρήστη αλλάζοντας τις προεπιλεγμένες τιμές και ενεργοποιώντας τις παραμέτρους τις οποίες επιθυμεί.

**Start Menu**

- Setup new circuit.
- Monitor same circuit.
- Load setup template from card.
- Load data from card.

**Exit**

**Setup new circuit.**

Η συσκευή, αφού συνδεθεί με το κύκλωμα, εντοπίζει:

- Τον τύπο του κυκλώματος (μονοφασικό, 3φασικό κτλ)
- Την ονομαστική συχνότητα του δικτύου
- Ονομαστική τάση και ένταση
- Την διαθέσιμη μνήμη

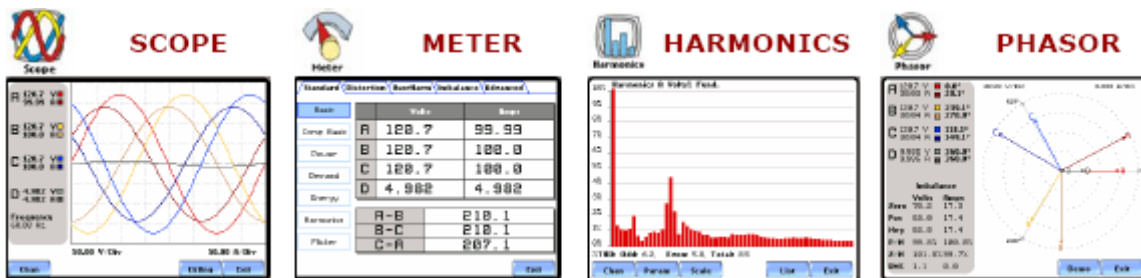
Αν ο χρήστης επιθυμεί να πραγματοποιήσει μετρήσεις χρησιμοποιώντας τις προεπιλεγμένες της συσκευής τότε πρέπει να επιλέξει YES στην απέναντι οθόνη. Για να προχωρήσει σε αλλαγές τότε πρέπει να επιλέξει NO. Οι αυτόματες ρυθμίσεις της συσκευής περιέχονται στο SUMMARY.

**Auto-Config**

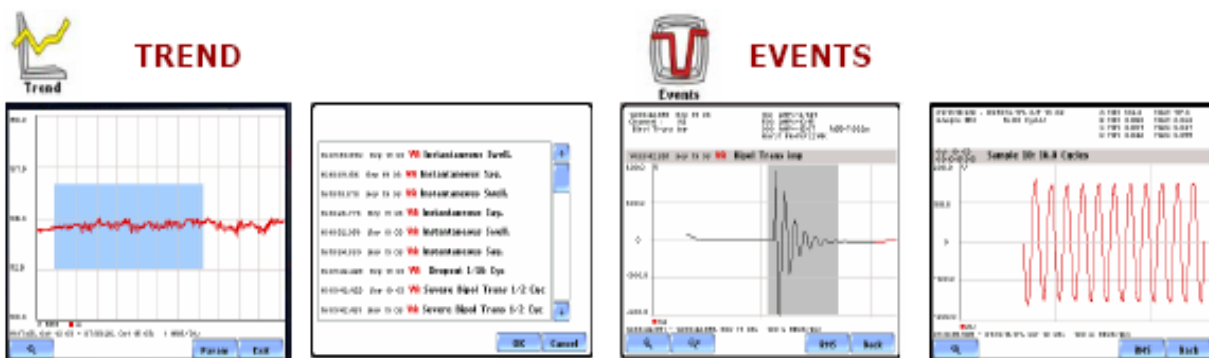
Circuit Type: **3 Phase Wye**  
 Nominal Voltage: **120.00**  
 Nominal Current: **100.00**  
 Nominal Frequency: **60.00**  
 Card Status: **Empty**  
 Free Space: **32.00 MB**

The instrument is now ready for monitoring. Trigger parameters and thresholds are set to monitor power quality. Please review the detected circuit for validity. To start monitoring, press Yes, or if you prefer to manually configure the instrument, press No.

**Summary** **Yes** **No**



Στην λειτουργία του παλμογράφου (SCOPE) ο χρήστης μπορεί να παρακολουθήσει τις κυματομορφές όλων των καναλιών μέτρησης. Με την επιλογή του μετρητή (METER) η συσκευή δίνει τις τιμές των τάσεων και των εντάσεων αλλά και μεγεθών τα οποία υπολογίζονται χρησιμοποιώντας αυτές τις τιμές: Ισχύς, Συντελεστής Ισχύος, Συμμετρικές Συνιστώσες, Δείκτες Διαταραχής (πχ, THD, TID, TIF) κα. Γραφική απεικόνιση αλλά και οι αντίστοιχες αριθμητικές τιμές των αρμονικών προβάλλονται με την επιλογή HARMONICS σύμφωνα με το IEC 61000-4-7. Τα διανύσματα της τάσης και της έντασης προβάλλονται γραφικά με την επιλογή PHASOR.



Με την επιλογή TREND προβάλλονται όλα τα μεγέθη (μετρήσεις και υπολογισμένα μεγέθη) ως προς τον χρόνο. Υπάρχει δυνατότητα για ταυτόχρονη προβολή τεσσάρων παράθυρων με δύο παραμέτρους ανά παράθυρο. Με την επιλογή EVENTS εμφανίζεται η χρονολογική λίστα με όλα τα συμβάντα που έχουν καταγραφεί από την συσκευή. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα από αυτά για να προβάλλει τις κυματομορφές τις οποίες κατέγραψε η συσκευή ανάλογα με τις ρυθμίσεις που επιλέχθηκαν. Μέχρι 4 κυματομορφές μπορούν να προβληθούν ταυτόχρονα.

Επίσης, η συσκευή μπορεί να δημιουργήσει αναφορές με την επιλογή REPORTS. Η αναφορά κατά EN 50160 δίνει άμεσα το κατά πόσο το σύστημα είναι συμβατό με αυτό το standard, ενώ παράλληλα παρέχονται όλες οι σχετικές πληροφορίες.

## 4.1 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

### Μετρητικές Παράμετροι

- ✓ 4 διαφορικές εισοδοι, 1 - 600 Vrms, AC/DC, 256 σημεία ανά κύκλο
- ✓ 4 εισοδοι, 1 - 6000 Arms ανάλογα με τον μετασχηματιστή έντασης, AC/DC, 256 σημεία ανά κύκλο
- ✓ 1 MHz υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας

### Μετρήσεις-Συμβατότητα

- ✓ IEC 61000-4-30, Κλάση A
- ✓ EN50160
- ✓ Ρεύμα εκκίνησης/ηλεκτρίσης



- ✓ Μετρήσεις τάσης σφάλματος
- ✓ Μετρήσεις μεγάλης διάρκειας (min/max/average)
- ✓ Διαρκείς μετρήσεις

### **Σκανδαλισμός για μετρήσεις Ποιότητας Ισχύος**

- ✓ Ανάλυση κύκλο προς κύκλο
- ✓ 256 σημεία ανά κύκλο, βήμα  $\frac{1}{2}$  κύκλου για RMS
- ✓ Μετρήσεις RMS Τάσης και Έντασης (καταγράφονται έως 32 κύκλοι πριν το συμβάν και 10000 κύκλοι μετά)
- ✓ Καταγραφές Κυματομορφής (καταγράφονται έως 32 κύκλοι πριν το συμβάν και 10000 κύκλοι μετά)
- ✓ Καταγραφές διαταραχών χαμηλής και μεσαίας συχνότητας (Τάση και ένταση)
- ✓ Καταγραφές διαταραχών υψηλής συχνότητας (Τάση και ένταση)
- ✓ Υπολογισμός παραμέτρων αρμονικών
- ✓ Δυνατότητα επιλογής συνδυασμών καναλιών για σκανδαλισμό και καταγραφή

### **Διαταραχή/Ισχύς/Ενέργεια**

- ✓ W, VA, VAR, TPF, DPF, Ζήτηση
- ✓ Υπολογισμός παραμέτρων σύμφωνα με το IEEE 1459
- ✓ Αρμονικές και ενδιάμεσες αρμονικές σύμφωνα με IEC 61000-4-7
- ✓ THD/Φάσμα αρμονικών μέχρι την 63η αρμονική
- ✓ THD/Φάσμα ενδιάμεσων αρμονικών μέχρι την 63η αρμονική
- ✓ Μετρήσεις Flicker σύμφωνα με το IEC 61000-4-15 (Pst, Plt)
- ✓ Crest factor, K factor, TIF
- ✓ Ασυμμετρία και συμμετρικές συνιστώσες
- ✓ Διανύσματα και αριθμητικές τιμές [ 7 ]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζεται η ποιότητα της τάσης που παρέχεται από τις πηγές τάσης του υβριδικού συστήματος, δηλαδή τη μηχανή diesel και τους δύο αντιστροφείς-μπαταριών.

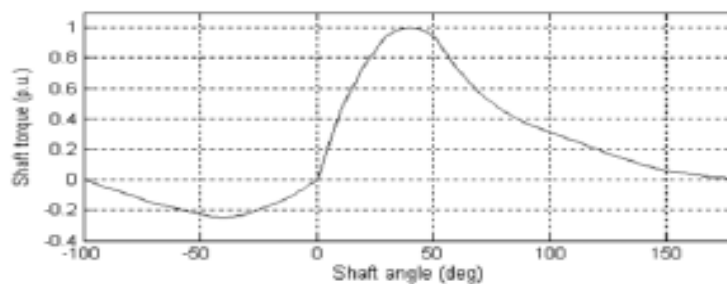
Παρουσιάζονται οι μετρήσεις που αφορούν τη λειτουργία των διατάξεων αυτών εν κενώ, με σκοπό να διαπιστωθεί η επίδραση της καθεμίας συσκευής στην αρμονική παραμόρφωση της τάσης και στις διακυμάνσεις της ενεργού τιμής .

#### **5.1 Θεωρητική εξήγηση των διαταραχών ποιότητας τάσης που προκαλούνται από μια μηχανή diesel**

Είναι γνωστό το γεγονός ότι σε σύγχρονες γεννήτριες που οδηγούνται από κινητήριες μηχανές εσωτερικής καύσης μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα flicker στην τάση. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην παλμική φύση της ροπής του άξονα της μηχανής , η οποία αναπτύσσεται από τη διακριτή διαδικασία εναύσεων στους κυλίνδρους. Το πρόβλημα μπορεί να γίνει χειρότερο και να αυξηθούν οι γρήγορες διακυμάνσεις της τάσης όταν υπάρχουν ασυμμετρίες στη διαδικασία των εναύσεων μεταξύ των κυλίνδρων λόγω κακής ποιότητας του καυσίμου, κακής αναλογίας καυσίμου - αέρα ή ασυμμετρίας στην ανάφλεξη του μείγματος . Οι ασυμμετρίες αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα να αυξάνονται σημαντικά οι αρμονικές χαμηλής συχνότητας στη ροπή του κινητήρα . Οι αρμονικές αυτές παραμορφώνουν το ρεύμα του στάτη και επομένως και την τάση στα άκρα της γεννήτριας , σε βαθμό που εξαρτάται από την αδράνεια στα στρεφόμενα μέρη και την ηλεκτρική απόσβεση μέσω της επίδρασης των τυλιγμάτων απόσβεσης της γεννήτριας . Οι προκύπτουσες διακυμάνσεις της τάσης καθορίζονται από τη σύνθετη αντίσταση του συστήματος, από τον αριθμό και το μέγεθος των γεννητριών που βρίσκονται σε λειτουργία και από τη δράση των Αυτόματων Ρυθμιστών Τάσης (AVRs - Automatic Voltage Regulators), στην περίπτωση των ρυθμιστών που δρουν γρήγορα ( Υπάρχουν δύο περιπτώσεις διέγερσης : α) η διεγέρτρια να είναι

μηχανή και με διάταξη ανόρθωσης να παίρνουμε τη συνεχή τάση και β) η διέγερση να έχει μόνο ηλεκτρονικά ισχύος που ανορθώνουν την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου κι έχουν γρηγορότερη απόκριση) .

Η ροπή του κινητήρα μιας ντηζελογεννήτριας αποτελείται από το άθροισμα των ξεχωριστών ροπών που παράγει κάθε κύλινδρος και η μορφή αυτών φαίνεται στο σχήμα 5.1, με το αρχικό αρνητικό τμήμα να αντιστοιχεί στη φάση συμπίεσης (ένας από τους 4 χρόνους λειτουργίας της μηχανής diesel) .



**Σχήμα 5.1 : Ροπή του άξονα που παράγει ένας μόνο κύλινδρος της μηχανής. [8]**

Σε μια τετράχρονη μηχανή , η διαδικασία έναυσης ενός συγκεκριμένου κυλίνδρου επαναλαμβάνεται κάθε δύο περιστροφές του άξονα , ενώ σε μια δίχρονη μηχανή σε κάθε μία περιστροφή του άξονα. Η ταχύτητα περιστροφής μιας μηχανής diesel με  $p$  πόλους και ηλεκτρική συχνότητα  $f$  δίνεται από τον τύπο :

$$RPM = \frac{60 f}{\left(\frac{p}{2}\right)} \quad (5.1)$$

και η αντίστοιχη περίοδος περιστροφής:

$$T_{REV} = \frac{p}{2f} \quad (5.2)$$

Έτσι η περίοδος μεταξύ διαδοχικών εναύσεων ,  $T_{ps}$  , ενός κυλίνδρου της μηχανής είναι :

$$T_{ps} = \frac{k_c}{2} T_{REV} = \frac{k_c p}{4f} \quad (5.3)$$

και η αντίστοιχη συχνότητα εναύσεων είναι :

$$f_{ps} = \frac{1}{T_{ps}} = \frac{4f}{k_c p} \quad (5.4)$$

όπου  $k_c = 2$  για μια δίχρονη μηχανή και  $k_c = 4$  για μια τετράχρονη μηχανή.

Αν καταφέρουμε να επιτύχουμε απόλυτη συμμετρία στις εναύσεις όλων των κυλίνδρων, η συνολική ροπή του άξονα παρουσιάζει μια βασική συχνότητα διακύμανσης ίση με τη συχνότητα εναύσεως της μηχανής,  $f_F$ , που προκύπτει από τον τύπο :

$$f_F = N_c \cdot f_{ps} = \frac{4fN_c}{k_c p} \quad (5.5)$$

όπου  $N_c$  ο αριθμός των κυλίνδρων,

και η αντίστοιχη περίοδος, δηλαδή ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα σε διαδοχικές εναύσεις των κυλίνδρων είναι :

$$T_F = \frac{1}{f_F} = \frac{T_{ps}}{N_c} = \frac{k_c p}{4fN_c} \quad (5.6)$$

Στην ιδανική λειτουργία (απόλυτα συμμετρική) της μηχανής diesel, το φάσμα ισχύος της ροπής του άξονα θα πρέπει να αποτελείται από αρμονικές συχνότητας πολλαπλασίας της βασικής συχνότητας εναύσεων της μηχανής, δηλαδή :

$$f_h = h \cdot f_p, \quad \text{όπου } h: \text{ ακέραιος} \quad (5.7)$$

Από την άλλη μεριά, αν η ροπές που αναπτύσσονται από τους κυλίνδρους δεν είναι ιδανικές, η ροπή του άξονα παρουσιάζει διακυμάνσεις με τη συχνότητα εναύσεως των κυλίνδρων,  $f_{ps}$ . Σε αυτή την περίπτωση, η βασική συχνότητα της κυματομορφής της ροπής του άξονα γίνεται ίση με την  $f_{ps}$  και η φασματική ανάλυσή της θα περιέχει συνιστώσες στις συχνότητες :

$$f_h = h \cdot f_{ps}, \quad \text{όπου } h: \text{ ακέραιος} \quad (5.8)$$

Σε αυτή τη περίπτωση η συχνότητα εναύσεως  $f_F$  και τα ακέραια πολλαπλάσια της περιλαμβάνονται επίσης στις αρμονικές. Για την ακρίβεια η  $f_F$  είναι η  $N_c^{\text{η}}$  αρμονική της θεμελιώδους συχνότητας  $f_{ps}$ . [8]

## 5.2 Μετρήσεις που αφορούν τη λειτουργία της μηχανής diesel εν κενώ

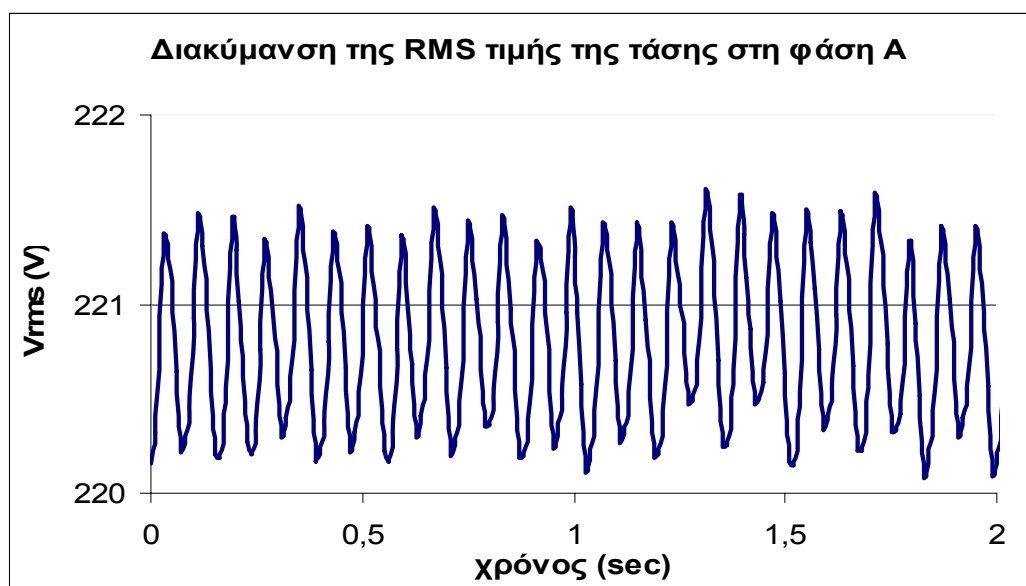
Η προηγούμενη θεωρητική ανάλυση επιβεβαιώνεται πλήρως από τις πειραματικές μετρήσεις, οι οποίες αποδεικνύουν ότι το φασματικό περιεχόμενο της RMS τιμής της τάσης συμπίπτει με τις αναμενόμενες αρμονικές συχνότητες.

Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της μηχανής και οι συχνότητες που προκύπτουν από τους υπολογισμούς των τύπων (5.4) και (5.5) συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα :

αριθμός κυλίνδρων $N_c$	2
αριθμός πόλων	4
αριθμός χρόνων	4
συχνότητα ενάυσεων ενός κυλίνδρου, $f_{ps}$	12.5 Hz
θεμελιώδης συχνότητα ταλάντωσης ροπής κινητήρα, $f_F$	25 Hz

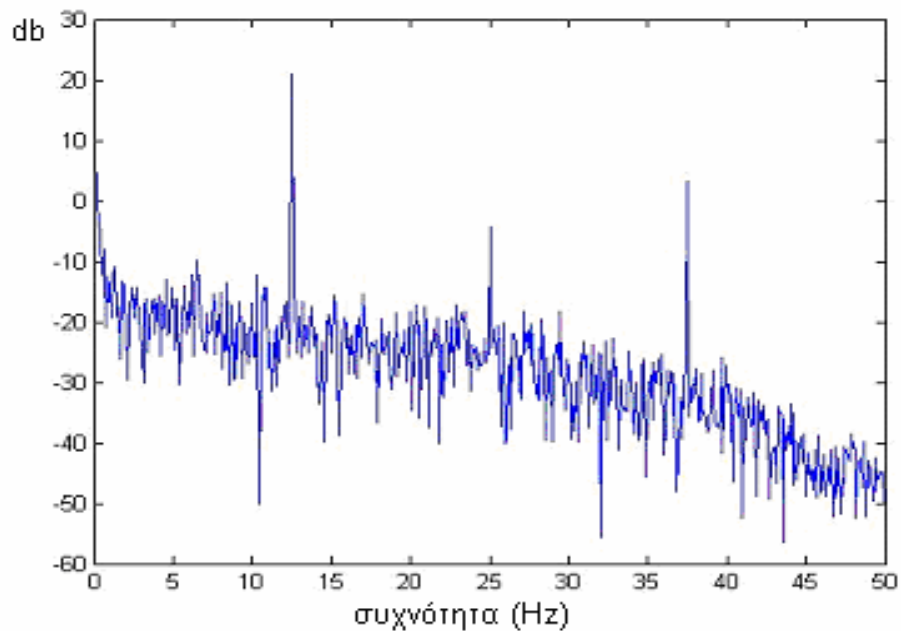
Πίνακας 5.1 : Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της μηχανής diesel

Στο σχήμα 5.2, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων για την RMS τιμή της τάσης στη φάση A της μηχανής diesel λειτουργώντας εν κενώ. Τα δείγματα έχουν ληφθεί ανά 10 msec. Όπως παρατηρούμε, υπάρχει μια γρήγορη μεταβολή της ενεργού τιμής της τάσης με συχνότητα 12.5 Hz.



Σχήμα 5.2

Στο σχήμα 5.3, εμφανίζεται το φασματικό περιεχόμενο της ενεργού τιμής της τάσης της μηχανής σε συνάρτηση με τη συχνότητα.



**Σχήμα 5.3 : Φάσμα ισχύος της τάσης της diesel (db) σε συνάρτηση με την συχνότητα (Hz).**

Παρατηρούμε , λοιπόν, ότι το περιεχόμενο του φάσματος ισχύος εμφανίζεται έντονο στις συχνότητες 12.5 Hz , 25 Hz και 37.5 Hz , δηλαδή στα ακέραια πολλαπλάσια της συχνότητας εναύσεως των κυλίνδρων  $f_{ps}$  και όχι της θεμελιώδους συχνότητας ταλάντωσης ροπής κινητήρα  $f_F$  . Η ύπαρξη της συχνότητας εναύσεως των κυλίνδρων στο φάσμα ισχύος της τάσης δείχνει ότι δεν υπάρχει συμμετρία στις εναύσεις, πιθανώς λόγω της ποιότητας καυσίμου ή της κακής αναλογίας καυσίμου- αέρα .

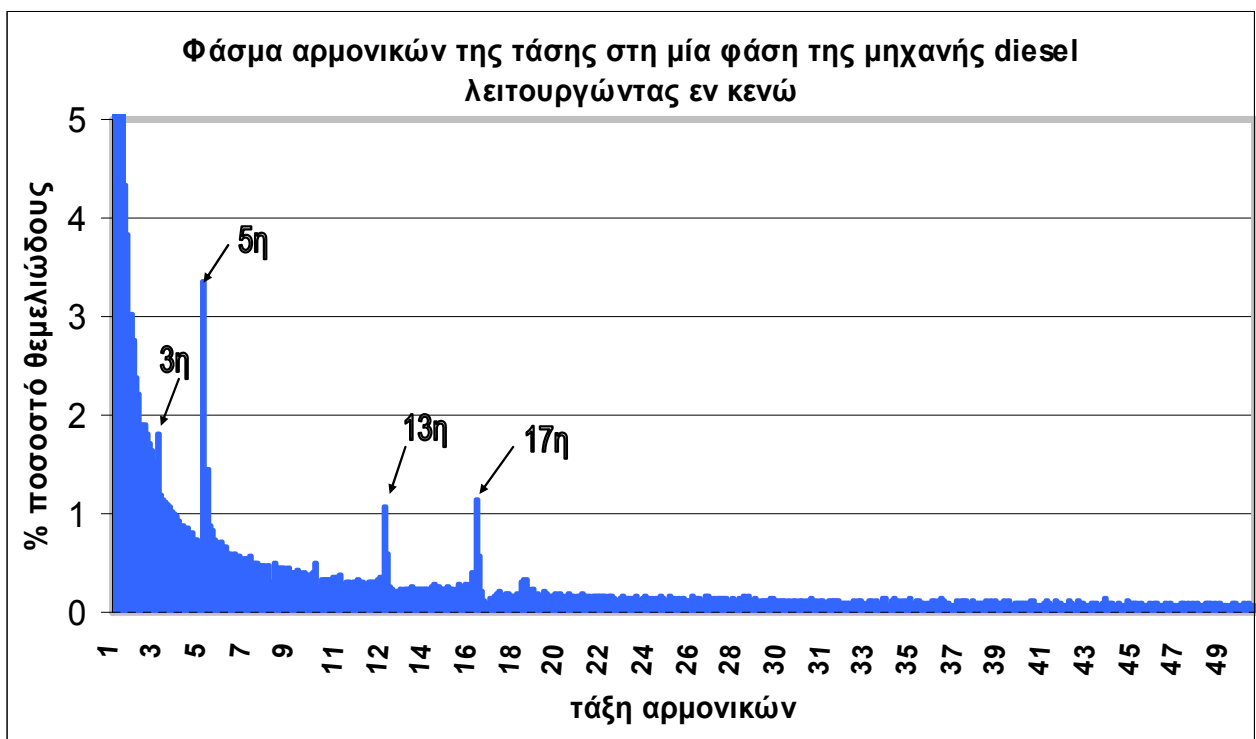
Στη συνέχεια, έγινε μια ανάλυση αρμονικών με το πρόγραμμα matlab. Πήραμε 10 περιόδους , δηλαδή 0.2 sec, με συχνότητα δειγματοληψίας  $f_s= 12.5$  kHz ( $T_s =0.08$  msec) της κυματομορφής της τάσης και εφαρμόσαμε το μετασχηματισμό Fourier (Fast Fourier Transform) . Το φάσμα των αρμονικών που προέκυψε είναι ανά 5 Hz , δηλαδή ανάμεσα στις συχνότητες των αρμονικών (ακέραια πολλαπλάσια των 50 Hz) εμφανίζονται εννιά επιπλέον τιμές ενδιάμεσων αρμονικών .

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής φαίνονται στο σχήμα 5.4.

Παρατηρούμε ότι η αρμονική παραμόρφωση δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική και σαφώς τηρούνται τα όρια του προτύπου EN-50160. Η συνολική αρμονική παραμόρφωση είναι 3.1%, δηλαδή αρκετά μικρότερη από 8% που υπαγορεύουν ως όριο τα διεθνή πρότυπα . Οι σημαντικότερες αρμονικές συνιστώσες είναι η 2<sup>η</sup> (2.2%) , η 3<sup>η</sup> (1.8%) , η 5<sup>η</sup> (3.38%) , η 13<sup>η</sup> (1.07%) και η 17<sup>η</sup> (1.13%) ενώ από την 17<sup>η</sup> συνιστώσα κι έπειτα το πλάτος των αρμονικών σχεδόν εξαλείφεται .

Οι αρμονικές αυτές οφείλονται στο ότι το μαγνητικό πεδίο στο διάκενο της γεννήτριας δεν είναι απόλυτα ημιτονοειδές λόγω κατασκευαστικών χαρακτηριστικών. Τα χαρακτηριστικά αυτά σχετίζονται με τη διανομή και το κλασματικό βήμα του τυλίγματος του τυμπάνου του στάτη.

[15]



Σχήμα 5.4 : Ανάλυση αρμονικών στην κυματομορφή της τάσης που παράγει η γεννήτρια λειτουργώντας εν κενώ.

### 5.3 Αρχές λειτουργίας των αντιστροφών

### 5.3.1 Γενικά για τους αντιστροφείς

Οι αντιστροφείς (inverters) είναι συσκευές αποτελούμενες από ηλεκτρονικά ισχύος και χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση μιας πηγής συνεχούς ρεύματος σε ένα εναλλασσόμενο δίκτυο. Επομένως, έχουν ως είσοδο συνεχές ρεύμα και έξοδο το ελεγχόμενο εναλλασσόμενο ρεύμα.. Οι αντιστροφείς γενικά αποτελούνται από διάφορες βαθμίδες και δυνατότητες μετασχηματισμού ισχύος.

Οι αντιστροφείς διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- i) Στους αντιστροφείς **πηγής τάσεως** (VSI-Voltage Source Inverters) που τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς τάσεως και έχουν έναν πυκνωτή στην είσοδό τους και
- ii) Στους αντιστροφείς **πηγής ρεύματος** (CSI - Current Source Inverters) που τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς ρεύματος και έχουν ένα πηνίο στην είσοδό τους.

Οι αντιστροφείς πηγής τάσεως συμπεριφέρονται ως φυσική πηγή τάσης, κάτι που απαιτείται από τις περισσότερες βιομηχανικές εφαρμογές και γι' αυτό είναι πιο διαδεδομένοι στην πράξη. Οι αντιστροφείς πηγής ρεύματος χρησιμοποιούνται κυρίως σε φωτοβολταϊκές γεννήτριες .

Οι δύο παραπάνω κατηγορίες μπορούν να υποδιαιρεθούν:

- i) Στους μονοφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας,
- ii) Στους μονοφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία γέφυρας
- iii) Στους τριφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία γέφυρας.[9]

Μία άλλη κατηγοριοποίηση των αντιστροφέων με βάση τα διακοπτικά στοιχεία που τους ελέγχουν, είναι :

α) **φυσικής μετάβασης** (line commutated), όπου χρησιμοποιούνται ως διακοπτικά στοιχεία τα θυρίστορ. Τα θυρίστορς του μετατροπέα είναι διακόπτες που μπορούν να ελέγχουν τη λειτουργία και κατ' επέκταση τη συμπεριφορά των μετατροπέων. Η έναυση ενός θυρίστορ είναι δυνατή μόνον όταν εφαρμόζεται σε αυτό θετική τάση και δοθεί ένας παλμός έναυσης . Το θυρίστορ για να μεταβεί από την κατάσταση αγωγής στη κατάσταση θετικής αποκοπής, πρέπει το ρεύμα



ανόδου να γίνει πρακτικά μηδέν ή να εφαρμοστεί μια αρνητική τάση μεταξύ της ανόδου και της καθόδου του θυρίστορ.

Η δημιουργία του βοηθητικού παλμού ρεύματος ή τάσης γίνεται με τη χρησιμοποίηση βοηθητικών κυκλωμάτων, τα οποία ονομάζονται κυκλώματα μετάβασης. Τα κυκλώματα αυτά αποτελούν μέρος του μετατροπέα και χρησιμοποιούνται μόνο για να επιτευχθεί η μετάβαση των διακοπτικών στοιχείων του.

Η συμβατική τεχνολογία των μετατροπέων με θυρίστορς διέπεται από ορισμένα χαρακτηριστικά, που αφορούν διασύνδεση δικτύων εναλλασσόμενου ρεύματος με συνεχές ρεύμα και σε κάποιο βαθμό περιορίζουν την ευρεία χρήση της. Κυριότερα εξ αυτών είναι τα θέματα που παρουσιάζονται στις διασυνδέσεις ενός ισχυρού ηλεκτρικού συστήματος με ένα ασθενές. Σημειώνεται ότι όταν μια διασύνδεση Σ.Ρ. τροφοδοτεί ένα σύστημα Ε.Ρ., του οποίου η τοπική παραγωγή είναι μικρή ή ακόμη και μηδενική σε σχέση με την ισχύ της διασύνδεσης Σ.Ρ., τότε το σύστημα Ε.Ρ. μπορεί να θεωρηθεί ασθενές. Στην περίπτωση αυτή και κατά την διάρκεια σφαλμάτων, το σύστημα Ε.Ρ. μπορεί εύκολα να αποσυγχρονιστεί. Η αδράνεια ενός τέτοιου συστήματος αυξάνεται με την προσθήκη σύγχρονων αντισταθμιστών, οι οποίοι μειώνουν την σύνθετη αντίσταση του συστήματος, παράγουν άεργο ισχύ και γενικά προκαλούν την ελαχιστοποίηση των μεταβολών των τάσεων. Η ύπαρξη των αντισταθμιστών αυτών στην πλευρά του ασθενούς συστήματος επιλύει πολλά θέματα, αλλά καθιστά την λύση δαπανηρή. Έτσι οι εφαρμογές των Αντιστροφικών Φυσικής Μετάβασης αναπτύσσονται κύρια στις διασυνδέσεις μεταξύ ισχυρών ηλεκτρικών δικτύων.

Γενικά, τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι μετατροπείς που υλοποιούνται με θυρίστορ είναι:

- Απαιτήση «μεγάλων» φίλτρων για τον περιορισμό των αρμονικών.
- Απορρόφηση αέργου ισχύος.
- Μεγάλη ευαισθησία στις διακυμάνσεις της τάσης του δικτύου.
- Προηγήθηκαν ιστορικά και είχαν την αποκλειστικότητα. Σήμερα τα συναντάμε σε μεγάλες εφαρμογές (όπως στα HVDC).
- Δεν έχουν τη δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας. Εξαιρούνται οι μετατροπείς εξαναγκασμένης μετάβασης με θυρίστορ και βοηθητικά κυκλώματα.

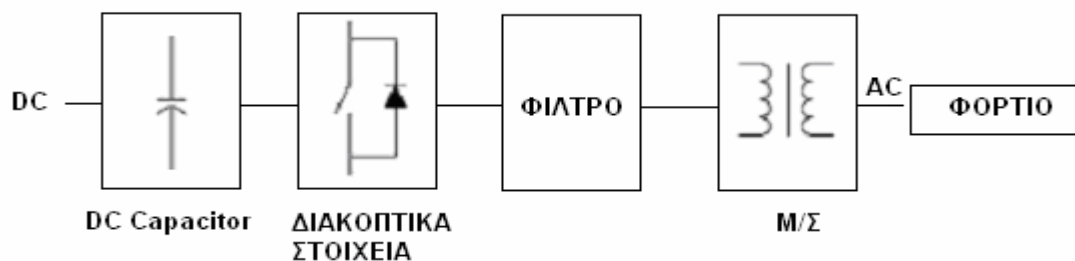
β) **εξαναγκασμένης μετάβασης** , όπου χρησιμοποιούνται ως διακοπτικά στοιχεία διπολικά τρανζίστορ επαφής (BJT) ή διπολικά τρανζίστορ μονωμένης πύλης (Insulated Gate Bipolar Transistors - IGBT) ή MOSFET ή GTO θυρίστορς (Gate Turn Off).

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και τη διαδεδομένη πλέον χρήση των νέων αυτών ηλεκτρονικών διακοπτικών στοιχείων ισχύος και με την εφαρμογή της Διαμόρφωσης Εύρους Παλμών (Pulse Width Modulation - PWM), εξαλείφθηκαν οι περιορισμοί που παρουσιάζουν οι μετατροπείς φυσικής μετάβασης . Η νέα αυτή τεχνολογία έχει δυνατότητα έναυσης και σβέσης του ρεύματος, που διέρχεται από το στοιχείο χωρίς την βοήθεια της εξωτερικής τάσης του δικτύου, παρά μόνο με την βοηθητική τάση ελέγχου του διακοπτικού στοιχείου. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα τροφοδότησης ασθενών ή και παθητικών ηλεκτρικών δικτύων, δηλαδή δικτύων τα οποία έχουν λίγες ή δεν έχουν καθόλου στρεφόμενες μηχανές. Παράλληλα είναι δυνατός ο ανεξάρτητος έλεγχος τόσο της ενεργού όσο και της αέργου ισχύος σ' αυτούς τους μετατροπείς .

Η συχνότητα , σύμφωνα με την οποία ανοίγουν και κλείνουν τα διακοπτικά στοιχεία , δίνεται από το κύκλωμα ελέγχου. Στην πράξη χρησιμοποιούνται διακοπτικές συχνότητες μεταξύ 20 – 500 kHz .

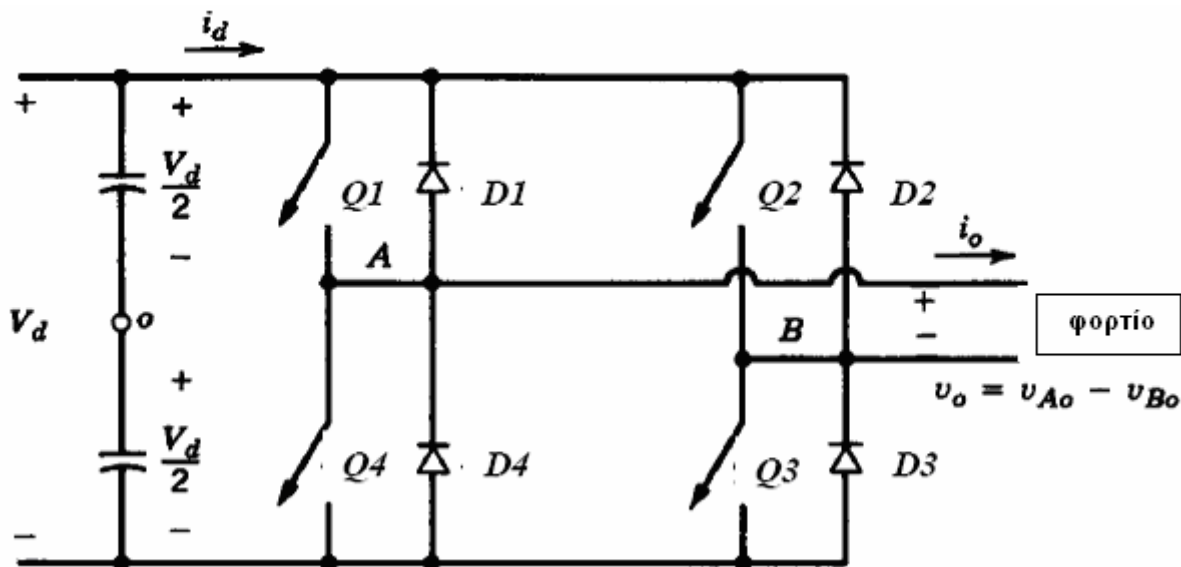
### 5.3.2 Τοπολογία αντιστροφών υβριδικού

Η πιο συνηθισμένη τοπολογία αντιστροφέα είναι αυτή που φαίνεται στο σχήμα 5.5. Ο πυκνωτής χρησιμοποιείται για την εξομάλυνση της τάσης στην πλευρά του συνεχούς ρεύματος . Οι ημιαγωγικοί διακόπτες ισχύος ανοιγοκλείνουν έτσι ώστε να παράγεται εναλλασσόμενη τάση στην έξοδό τους . Το φίλτρο χρησιμοποιείται για να εξαλειφθούν ή έστω για να μειωθούν οι παρασιτικές συνιστώσες της τάσης . Ο μετασχηματιστής εξασφαλίζει ηλεκτρική απομόνωση και προσαρμογή των τάσεων μεταξύ της εξόδου του φίλτρου και του σταθερού AC δικτύου.



Σχήμα 5.5 : Συνήθης τοπολογία inverter.

Στο σχήμα 5.6 παρουσιάζεται το ηλεκτρονικό κύκλωμα του μονοφασικού αντιστροφέα σε συνδεσμολογία γέφυρας . Τέτοιου τύπου είναι οι τρεις μονοφασικοί αντιστροφείς μπαταριών τύπου sunny island καθώς και οι δυο μονοφασικοί αντιστροφείς που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των Φ/Β μονάδων που υπάρχουν στο υβριδικό σύστημα του ΚΑΠΕ .

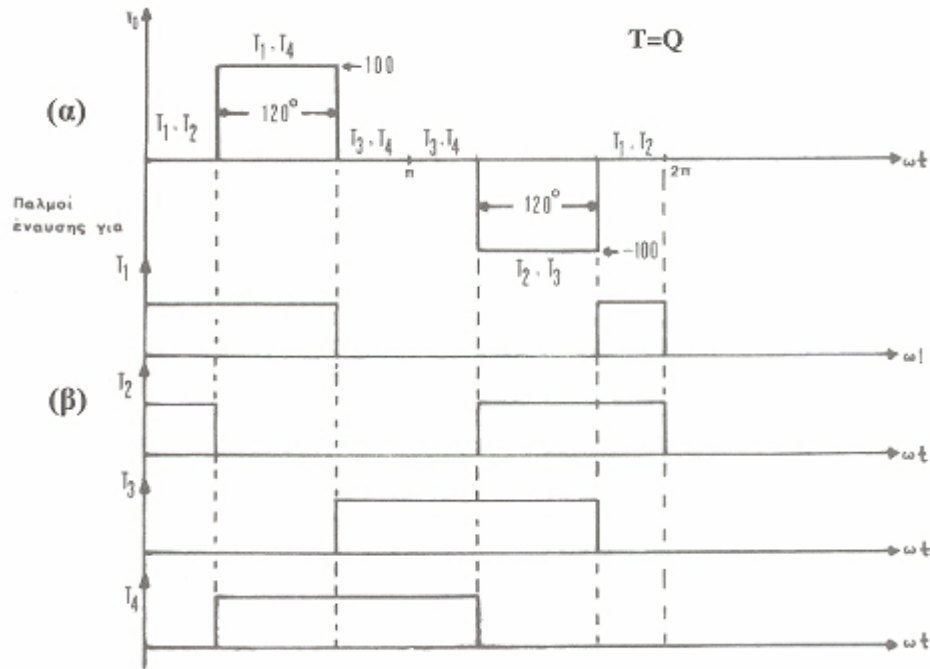


Σχήμα 5.6 :ηλεκτρονικό κύκλωμα μονοφασικού αντιστροφέα συνδεσμολογίας γέφυρας .[2]

Οι ημιαγωγικοί διακόπτες Q μπορεί να είναι τρανζίστορ ισχύος , MOSFET ισχύος , IGBT ή GTO θυρίστορ και λειτουργούν ως διακόπτες που μπορεί να βρίσκονται είτε στην κατάσταση αγωγής είτε στην κατάσταση αποκοπής .Οι δίοδοι ανάδρασης που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις περιπτώσεις, βοηθάνε στην κυκλοφορία της ισχύος αντίδρασης (επαγωγικών ρευμάτων) του φορτίου. Για παράδειγμα , στην περίπτωση που το φορτίο είναι επαγωγικό (το ρεύμα εξόδου έχει αρνητική τιμή), τότε οι δίοδοι ελεύθερης διέλευσης D1,D3 εξαναγκάζονται να άγουν κι έτσι το ρεύμα κυκλοφορεί μέσω του υποκυκλώματος πηγή-D1-φορτίο-D3. Ο αντιστροφέας με αυτό τον τρόπο μπορεί να έχει αμφίπλευρη δυνατότητα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας .

Αρχικά δίνοντας θετικούς παλμούς οδήγησης στις πύλες των ημιαγωγικών διακοπών Q1,Q4 αυτά μεταβαίνουν στην κατάσταση αγωγής με αποτέλεσμα να συνδέουν τη DC τάση εισόδου στα άκρα του φορτίου. Κατά τη φάση αυτή δεν άγουν οι διακόπτες Q2,Q3. Με αυτό το τρόπο, δημιουργείται στα άκρα του φορτίου ένας θετικός παλμός τάσης V Volts και εύρους ίσο με τη χρονική διάρκεια αγωγής των Q1,Q4. Στην συνέχεια αφαιρούμε τους παλμούς οδήγησης από τα

Q1,Q4 και εφαρμόζουμε θετικούς παλμούς ίδιας χρονικής διάρκειας στους διακόπτες Q2,Q3 ,που έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργήσει στα άκρα του φορτίου έναν αρνητικό παλμό τάσης V Volts και εύρους όσο είναι το εύρος του θετικού παλμού. Όταν θέλουμε η τάση στα άκρα του φορτίου να έχει μηδενική τιμή τότε γι' αυτή τη χρονική διάρκεια πρέπει να αναγκάσουμε με παλμούς έναυσης να άγει είτε το ζευγάρι Q1,Q2 είτε το Q3,Q4.



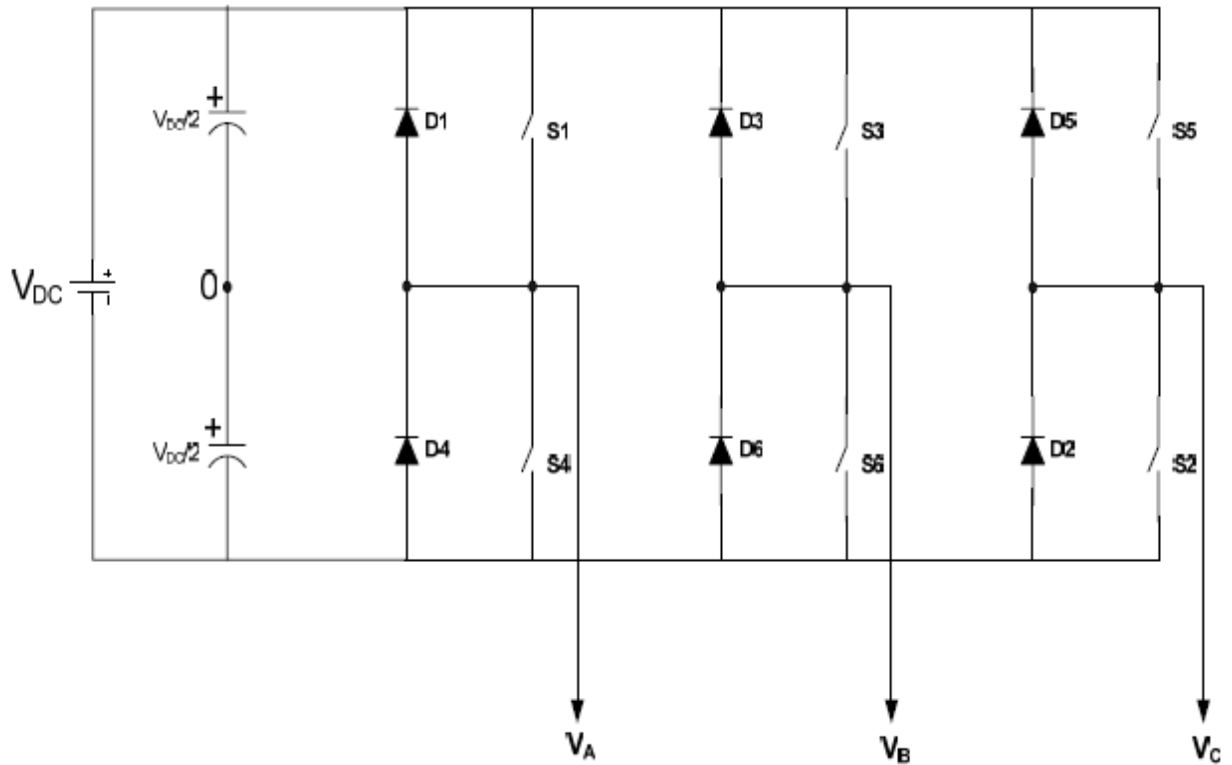
Σχήμα 5.7 : Κυματομορφές αντιστροφέα τετραγωνικής μορφής .

Στο σχήμα 5.7 φαίνονται α) η τάση εξόδου του αντιστροφέα τετραγωνικής μορφής παλμού εύρους  $120^0$  και β) παλμοί οδήγησης έναυσης των MOSFET .

Οι παλμοί οδήγησης των MOSFET είναι της τάξης των 12 V και δημιουργούνται στην πλακέτα του κυκλώματος ελέγχου που είναι ένα από τα τμήματα του αντιστροφέα . Οι παλμοί αυτοί παράγονται από μικροεπεξεργαστές ή από ψηφιακούς επεξεργαστές σήματος .

Εξετάζοντας την κυματομορφή του σχήματος 5.7 διαπιστώνουμε ότι αυξομειώνοντας το εύρος του θετικού και αρνητικού παλμού δ συμμετρικά και ταυτόχρονα , έχουμε τη δυνατότητα αυξομείωσης της RMS τιμής της τάσης εξόδου του αντιστροφέα . Επίσης, αυξομειώνοντας τη περίοδο λειτουργίας του έχουμε τη δυνατότητα αυξομείωσης της συχνότητας της τάσης εξόδου. Καταλήγουμε , λοιπόν, στο συμπέρασμα ότι ο αντιστροφέας έχει τη δυνατότητα παραγωγής εναλλασόμενης τάσης μεταβλητής RMS τιμής και συχνότητας . [2]

Στο σχήμα 5.8 παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός τριφασικού αντιστροφέα .Τέτοιου τύπου είναι ο τριφασικός αντιστροφέας της εταιρίας Ansaldo που υπάρχει στο υβριδικό σύστημα του ΚΑΠΕ . Οι αρχές που διέπουν τη λειτουργία του είναι ανάλογες με αυτές που ισχύουν για τον μονοφασικό αντιστροφέα ,προσαρμοσμένες για τριφασικό κύκλωμα .



Σχήμα 5.8 : ηλεκτρονικό κύκλωμα τριφασικού αντιστροφέα

### 5.3.3 Αρχές λειτουργίας της τεχνικής Διαμόρφωσης Εύρους Παλμών (PWM)

Για να επιτευχθεί ο έλεγχος της τάσης εξόδου του αντιστροφέα του σχήματος 5.6 , το εύρος των παλμών της τάσης εξόδου  $\delta$  πρέπει να μεταβάλλεται σε σχέση με τις διακυμάνσεις της τάσης εισόδου. Η τεχνική με την οποία επιτυγχάνεται ο έλεγχος της τάσης εξόδου μέσω της αυξομείωσης του εύρους των παλμών της τάσης εξόδου ονομάζεται Διαμόρφωση Εύρους Παλμών ( Pulse Width Modulation, PWM).

Με την τεχνική αυτή παράγονται σε επίπεδο κυκλώματος ελέγχου μια ημιτονοειδής κυματομορφή, η οποία ονομάζεται κυματομορφή αναφοράς και μια τριγωνική κυματομορφή , η οποία ονομάζεται κυματομορφή φορέα . Οι δύο κυματομορφές είναι συγχρονισμένες μεταξύ τους και παράγονται από γεννήτριες κυματομορφών. Οι κυματομορφές αυτές παρουσιάζονται στο σχήμα 5.9 (α) όπου

$A_r =$  πλάτος κυματομορφής αναφοράς ,  $A_c =$  πλάτος κυματομορφής φορέα ,

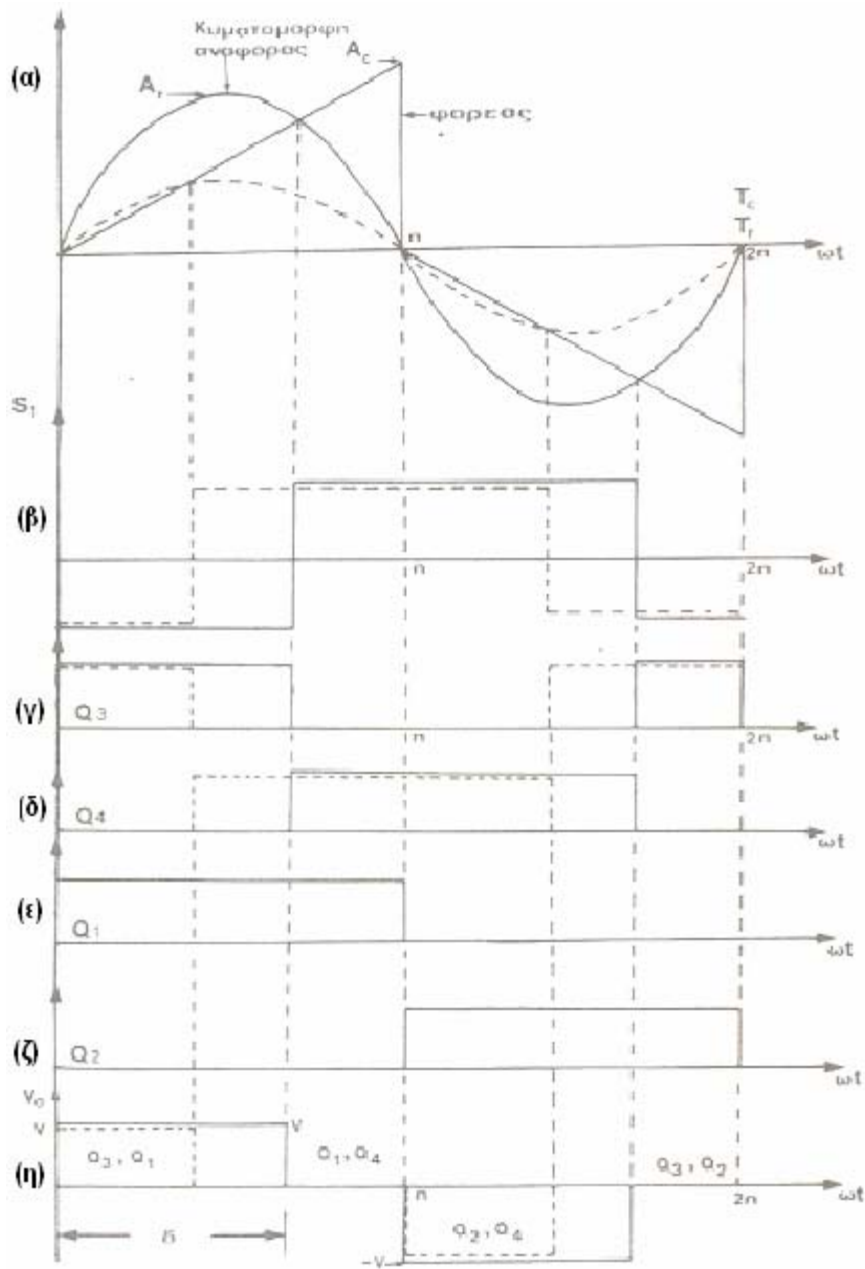
$T_c = \frac{1}{F_c}$  περίοδος κυματομορφής φορέα ,  $T_r = \frac{1}{F_r}$  περίοδος κυματομορφής αναφοράς ,

$M_f = \frac{A_r}{A_c}$  συντελεστής διαμόρφωσης .

Στη συνέχεια , οι δύο παραπάνω κυματομορφές εφαρμόζονται στην είσοδο ενός συγκριτή, η έξοδος του οποίου θα είναι η κυματομορφή που παρουσιάζεται στο σχήμα 5.9 (β). Όπως διαπιστώνεται και από τα σχήματα 5.9 (α) και (β), η κυματομορφή εξόδου του συγκριτή εξαρτάται από τα σημεία τομής των δύο κυματομορφών εισόδου. Στο σχήμα 5.9 (β) παρουσιάζονται δύο διαφορετικές κυματομορφές της τάσης εξόδου του συγκριτή , για δύο διαφορετικές τιμές του πλάτους  $A_r$  της κυματομορφής αναφοράς, κρατώντας το πλάτος  $A_c$  της κυματομορφής φορέα σταθερό. Επομένως αυξομειώνοντας το συντελεστή διαμόρφωσης  $M_f$  (από 0 έως 1), η κυματομορφή της τάσης εξόδου του συγκριτή μεταβάλλεται .

Το αρνητικό μέρος της τάσης εξόδου του συγκριτή, ορίζει τους παλμούς έναυσης του διακόπτη Q3. Αναστρέφοντας τους παλμούς έναυσης του διακόπτη Q3 ορίζονται οι παλμοί έναυσης για το διακόπτη Q4. Οι παλμοί έναυσης των διακοπών Q1 και Q2 παράγονται από την κυματομορφή αναφοράς και παρουσιάζονται αντίστοιχα στα σχήματα 5.9 (ε) και (ζ).

Η τάση εξόδου του αντιστροφέα για τους παραπάνω παλμούς έναυσης παρουσιάζεται στο σχήμα 5.9 (η). Όπως διαπιστώνεται από το σχήμα αυτό, αυξομειώνοντας το συντελεστή διαμόρφωσης  $M_f$  το εύρος των παλμών  $\delta$  της τάσης εξόδου επίσης αυξομειώνεται κι έτσι επιτυγχάνεται ο έλεγχος της τάσης εξόδου.



Σχήμα 5.9 : Κυματομορφές ορισμού της τεχνικής PWM.

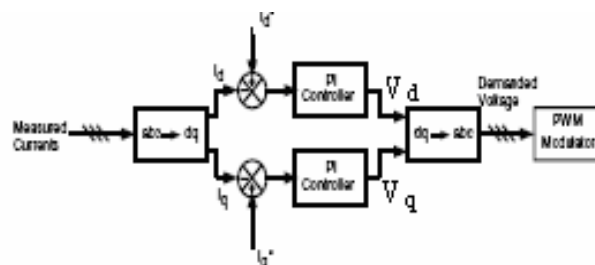
- α) κυματομορφές της αναφοράς και του φορέα .
- β) κυματομορφή της τάσης εξόδου του συγκριτή.
- γ) παλμός έναυσης του διακόπτη Q3.
- δ) παλμός έναυσης του διακόπτη Q4.
- ε) παλμός έναυσης του διακόπτη Q1.
- ζ) παλμός έναυσης του διακόπτη Q2.
- η) τάση εξόδου του αντιστροφέα.

Αν αναπτύξουμε την κυματομορφή της τάσης εξόδου με χρήση των σειρών Fourier , τότε αυτή προκύπτει ως άθροισμα ημιτονοειδών συναρτήσεων, δηλαδή της θεμελιώδους και των αρμονικών συνιστωσών. Εφαρμόζοντας κατάλληλο φίλτρο στην έξοδο του αντιστροφέα που αποκόπτει τις αρμονικές , απομένει ημιτονοειδές ρεύμα εξόδου.

Βέβαια οι αντιστροφείς με τετραγωνικό παλμό εξόδου δεν χρησιμοποιούνται σήμερα λόγω του μεγάλου THD αλλά αναφερθήκαμε σ' αυτούς για να εξηγήσουμε με μεγαλύτερη ευκολία την τεχνική ελέγχου PWM. [9]

### 5.3.4 Έλεγχος του ρεύματος του αντιστροφέα

Για τους περισσότερους τύπους αντιστροφέα το εναλλασσόμενο ρεύμα εξόδου χαρακτηρίζεται από τον βρόχο ανάδρασης που το ελέγχει . Σε ορισμένες περιπτώσεις οι inverters χρησιμοποιούν την τάση του δικτύου με το οποίο είναι συγχρονισμένοι ως κυματομορφή αναφοράς , ενώ σε κάποιες άλλες η κυματομορφή αναφοράς προσδιορίζεται εξωτερικά και παράγεται από τα εσωτερικά κυκλώματα ελέγχου. Παρόλα αυτά, υπάρχει η απαίτηση να ρυθμίζεται το ρεύμα εξόδου ανάλογα με τη ζήτηση ισχύος γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητο το κύκλωμα ρύθμισης του ρεύματος και ελέγχου του αντιστροφέα . Ένα τυπικό παράδειγμα διάταξης ελέγχου αντιστροφέα , που βρίσκει εφαρμογή και στον αντιστροφέα Ansaldo , είναι αυτό του σχήματος 5.10.



Σχήμα 5.10 : Διάταξη ρύθμισης του ρεύματος. [11]

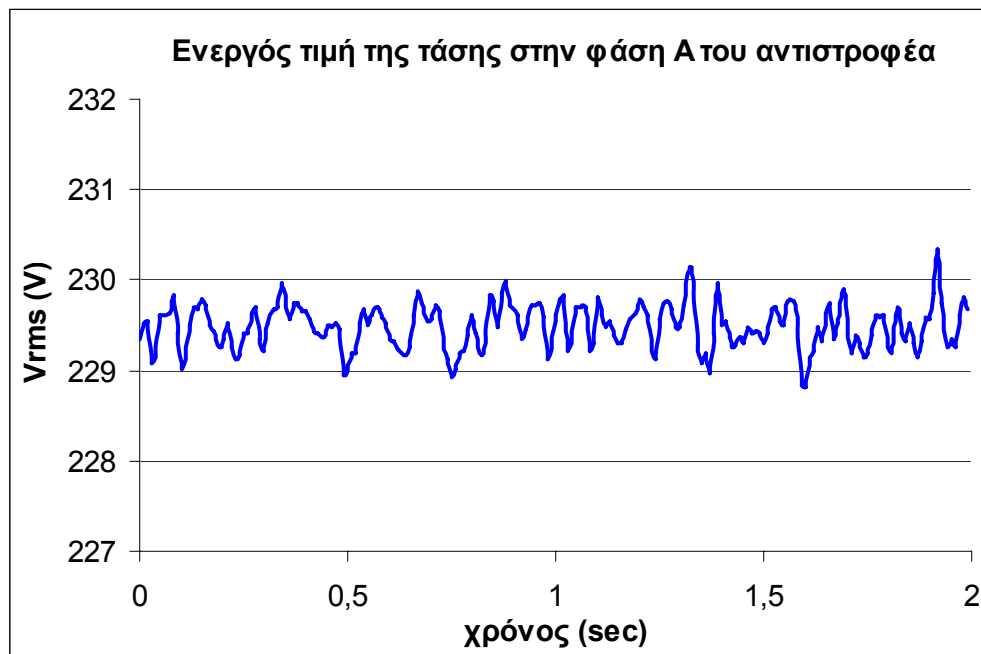
Στην παραπάνω διάταξη ελέγχου ένα σύγχρονο πλαίσιο αναλογικού-ολοκληρωτικού (PI) ρυθμιστή ρεύματος έχει επιλεχθεί για τον έλεγχο του αντιστροφέα . Οι στιγμιαίες τιμές των τριφασικών εναλλασσόμενων ρευμάτων  $i_a$ ,  $i_b$  και  $i_c$  στην έξοδο του αντιστροφέα μετασχηματίζονται σε συνιστώσες ευθέως και εγκάρσιου άξονα ενός σύγχρονου και



στρεφόμενου πλαισίου (50Hz)  $i_d$  και  $i_q$ . Οι ποσότητες αυτές συγκρίνονται με τα σήματα αναφοράς  $i_d^*$  και  $i_q^*$  αντίστοιχα και το σφάλμα που προκύπτει χρησιμοποιείται σαν σήμα οδήγησης σε δύο αναλογικούς-ολοκληρωτικούς (PI) ελεγκτές. Οι δύο PI ελεγκτές ρυθμίζουν τις τάσεις  $V_d$  και  $V_q$  και στη συνέχεια αυτές μετασχηματίζονται στις  $V_a$ ,  $V_b$  και  $V_c$  οι οποίες τελικά τροφοδοτούν τον διαμορφωτή PWM και αποτελούν τα σήματα αναφοράς.

#### 5.4 Μετρήσεις που αφορούν την λειτουργία της παλιάς διάταξης μπαταριών εν κενώ (αντιστροφέας Ansaldo)

Η ενεργός τιμή της τάσης του αντιστροφέα λειτουργώντας εν κενώ, κυμαίνεται μεταξύ περίπου 229V και 230V, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.11. Η διακύμανση αυτή δεν έχει σταθερή συχνότητα ούτε σταθερό πλάτος.



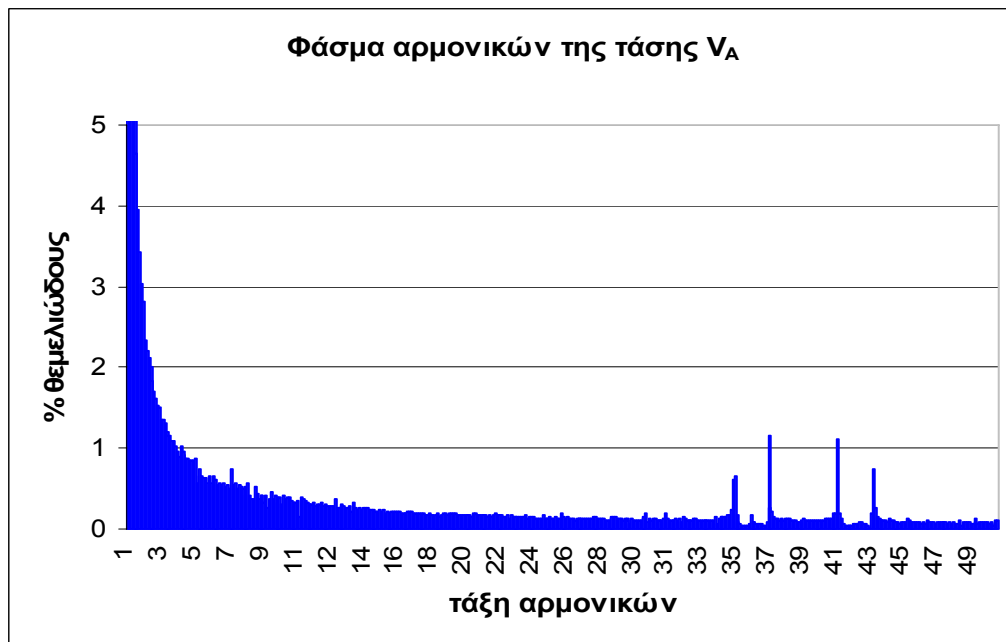
Σχήμα 5.11

Οι PWM μετατροπείς χρησιμοποιούνται για να παράγουν οποιαδήποτε κυματομορφή τάσης ή ρεύματος. Παρόλα αυτά, οι μετατροπείς αυτοί έχουν ορισμένα μειονεκτήματα όπως για παράδειγμα, δημιουργούν διαταραχές λόγω της πολύ υψηλής συχνότητας μετατροπής που

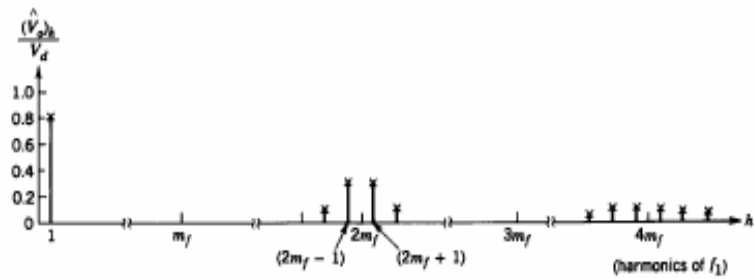
λειτουργούν και μειωμένη απόδοση λόγω των αυξημένων διακοπτικών απωλειών . Οι συνιστώσες υψηλής συχνότητας στο αρμονικό φάσμα της τάσης λόγω της διακοπτικής διαδικασίας θα πρέπει να είναι αναμενόμενες . [12]

Το αρμονικό περιεχόμενο της τάσης εξόδου του αντιστροφέα φαίνεται στο σχήμα 5.12. Γενικά παρουσιάζεται μειωμένη αρμονική παραμόρφωση (THD=1.3% της θεμελιώδους συνιστώσας). Μεγαλύτερο πλάτος έχουν η 2<sup>η</sup> και η 3<sup>η</sup> αρμονική συνιστώσα ,ενώ μετά από τις συχνότητες αυτών το πλάτος των αρμονικών συνεχώς εξαλείφεται . Παρατηρούμε επίσης , ότι αυξημένες παρουσιάζονται οι 36<sup>η</sup> , η 38<sup>η</sup> , η 42<sup>η</sup> και 44<sup>η</sup> αρμονικές . Από τη θεωρία όμως γνωρίζουμε ότι όταν ο έλεγχος του αντιστροφέα είναι PWM , εμφανίζονται αρμονικές στην τάση σε συχνότητες που εξαρτώνται από τον συντελεστή διαμόρφωσης  $m_f = \frac{f_s}{50Hz}$  , με τρόπο που φαίνεται στο

σχήμα 5.13, δηλαδή στις συχνότητες  $f_h = (jm_f \pm k) \cdot 50 \text{ Hz}$  . Για περιττές τιμές του δείκτη j υπάρχουν μόνο άρτιες τιμές του k και για άρτιες τιμές του δείκτη j υπάρχουν μόνο περιττές τιμές του k . Έτσι , μια πιθανή εκδοχή είναι ο αντιστροφέας να έχει διακοπτική συχνότητα  $f_s=2 \text{ kHz}$  , επομένως συντελεστή διαμόρφωσης  $m_f= 40$  και για  $j=1$  οι αναμενόμενες αρμονικές θα είναι της τάξης :  $m_f \pm 2$  και  $m_f \pm 4 = 36^{\text{η}}, 38^{\text{η}}, 42^{\text{η}}, 44^{\text{η}}$  οι οποίες είναι οι ίδιες με αυτές που έδειξαν οι μετρήσεις.



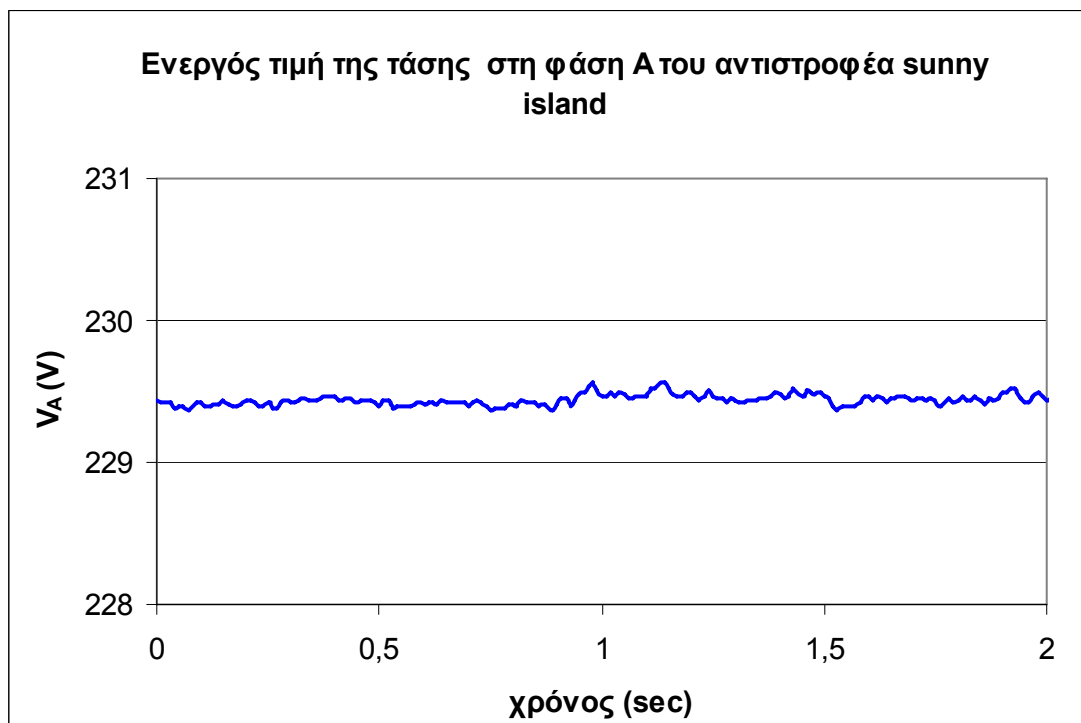
Σχήμα 5.12



Σχήμα 5.13 : Αρμονικές τάσης με έλεγχο PWM.

### 5.5 Μετρήσεις που αφορούν την λειτουργία της νέας διάταξης μπαταριών εν κενώ (αντιστροφέας sunny island)

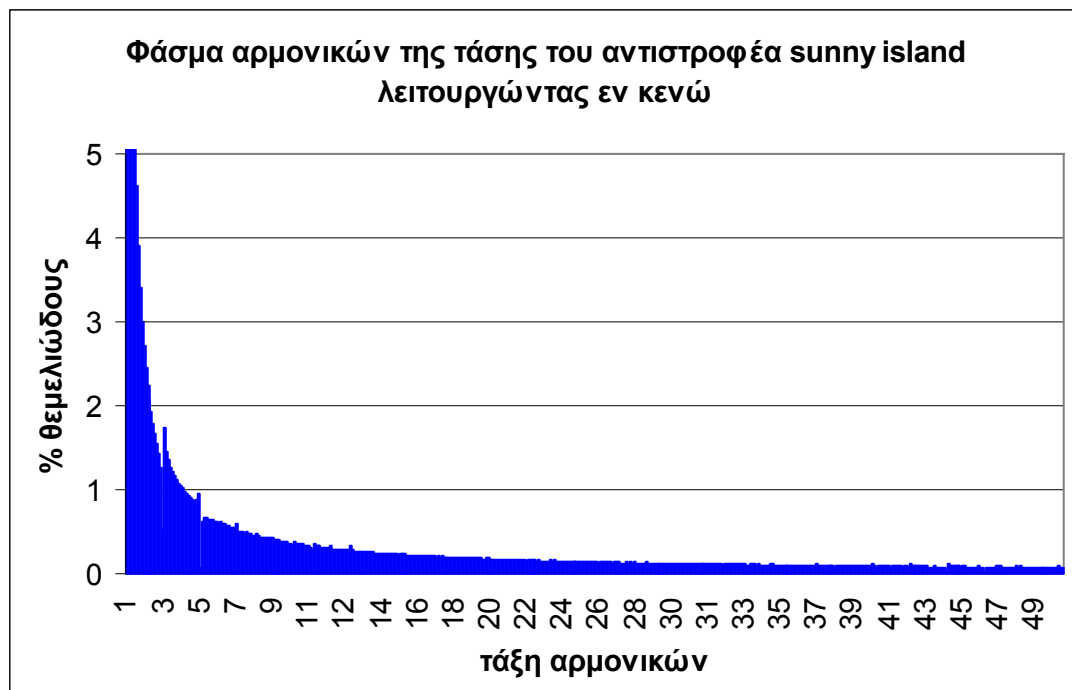
Η ενεργός τιμή της τάσης του αντιστροφέα λειτουργώντας εν κενώ είναι σχεδόν σταθερή και η διακύμανση που παρουσιάζει είναι αμελητέα , όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.11 .



Σχήμα 5.13

Το αρμονικό περιεχόμενο της τάσης εξόδου του αντιστροφέα φαίνεται στο σχήμα 5.14. Γενικά παρουσιάζεται μειωμένη αρμονική παραμόρφωση . Μεγαλύτερο πλάτος έχουν η 2<sup>η</sup>, η 3<sup>η</sup> και η 5<sup>η</sup> αρμονική συνιστώσα ,ενώ μετά από τις συχνότητες αυτών το πλάτος των αρμονικών συνεχώς μειώνεται ,ώσπου περίπου από την 11<sup>η</sup> και μετά σχεδόν εξαλείφεται .

Ο αντιστροφέας αυτός ,παρότι για τον ελεγχό του χρησιμοποιείται η τεχνική PWM , δεν εμφανίζει αρμονικές στην τάση εξόδου του σε συχνότητες που εξαρτώνται από τον συντελεστή διαμόρφωσης  $m_f$  , πιθανώς λόγω των χαρακτηριστικών του φίλτρου στην έξοδό του.



Σχήμα 5.14

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

### ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΡΕΥΜΑΤΟΣ – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε ένα ηλεκτρικό σύστημα υπάρχει πάντα στενή σχέση μεταξύ της τάσης και του ρεύματος . Οι αρμονικές που παράγονται σε ένα σημείο από κάποια συσκευή μεταδίδονται μέσω της σύνθετης αντίστασης του δικτύου, και μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα σε άλλα φορτία αλλά και να παραμορφώσουν την κυματομορφή της τάσης . Από την άλλη πλευρά , η παραμόρφωση της τάσης του δικτύου μπορεί να προκαλέσει αύξηση της αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος . Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε τις μετρήσεις και θα μελετήσουμε την επίδραση που έχουν στην ποιότητα του ρεύματος οι διάφορες συσκευές του υβριδικού καθώς και τις επιπτώσεις που έχει η ποιότητα της τάσης στην ποιότητα του ρεύματος των συσκευών αυτών.

Για την περίπτωση των αντιστροφών που λειτουργούν ως πηγή ρεύματος , η ποιότητα του ρεύματος τους και η ποιότητα της τάσης του συστήματος με το οποίο συνδέονται αλληλεπιδρούν, με τους ακόλουθους τρόπους :

1. Η κυματομορφή του ρεύματος αναφοράς είναι αντίγραφο της τάσης του δικτύου. Έτσι αν η τάση είναι παραμορφωμένη, παραμορφώνεται και η τάση αναφοράς που με τη σειρά της παραμορφώνει το ρεύμα εξόδου του inverter.
2. Η ενεργός τιμή των αρμονικών της τάσης ( $U_n$ ) συνδέεται με τις αρμονικές του ρεύματος ( $I_n$ ) σύμφωνα με τον τύπο :

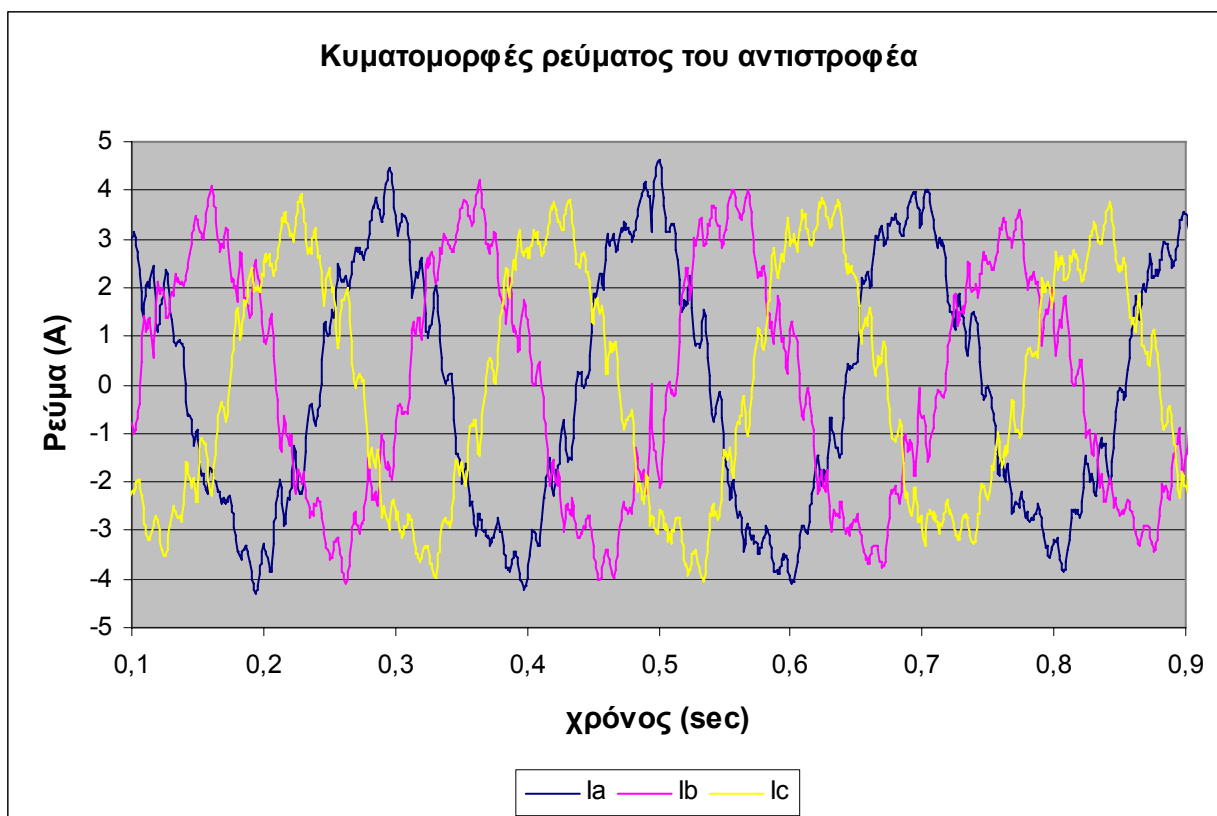
$$U_n = Z_{sn} \cdot I_n \quad (6.1)$$

όπου  $Z_{sn}$  η σύνθετη αντίσταση εξόδου , η οποία εξαρτάται από τη συχνότητα .

3. Ένας αντιστροφέας που χρησιμοποιεί τη τεχνική ελέγχου PWM συνήθως έχει ένα χαμηλοπερατό φίλτρο (που αποτελείται από πηνίο και πυκνωτή) λόγω των αρμονικών που δημιουργούν οι υψηλές διακοπτικές συχνότητες. Κατά τη σύνδεση του inverter στο δίκτυο , υπάρχει πιθανότητα να ενισχυθούν κάποιες αρμονικές υψηλής τάξης, αν η ιδιοσυχνότητα του κυκλώματος που δημιουργείται από το φίλτρο και την μεταβαλλόμενη ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση του δικτύου παροχής στο σημείο σύνδεσης είναι ίδια με αυτή των αρμονικών που παράγονται από τον inverter . [13]

## 6.1 Ποιότητα ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα Ansaldo κατά τη φόρτιση μπαταριών από τη μηχανή diesel

Όπως φαίνεται από το σχήμα 6.1 , η ημιτονοειδής μορφή του ρεύματος παρουσιάζεται σαφώς παραμορφωμένη .

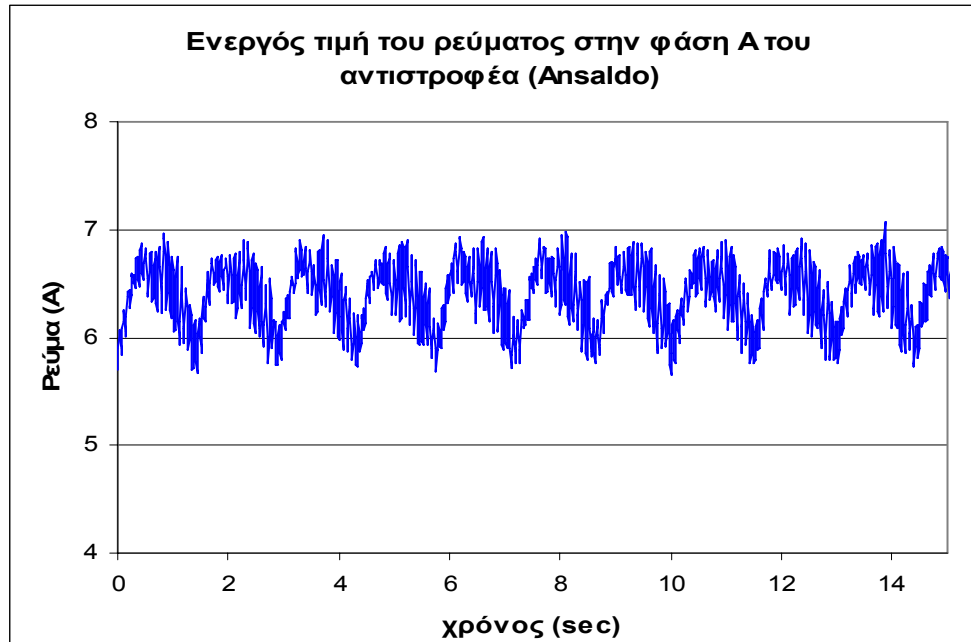


Σχήμα 6.1

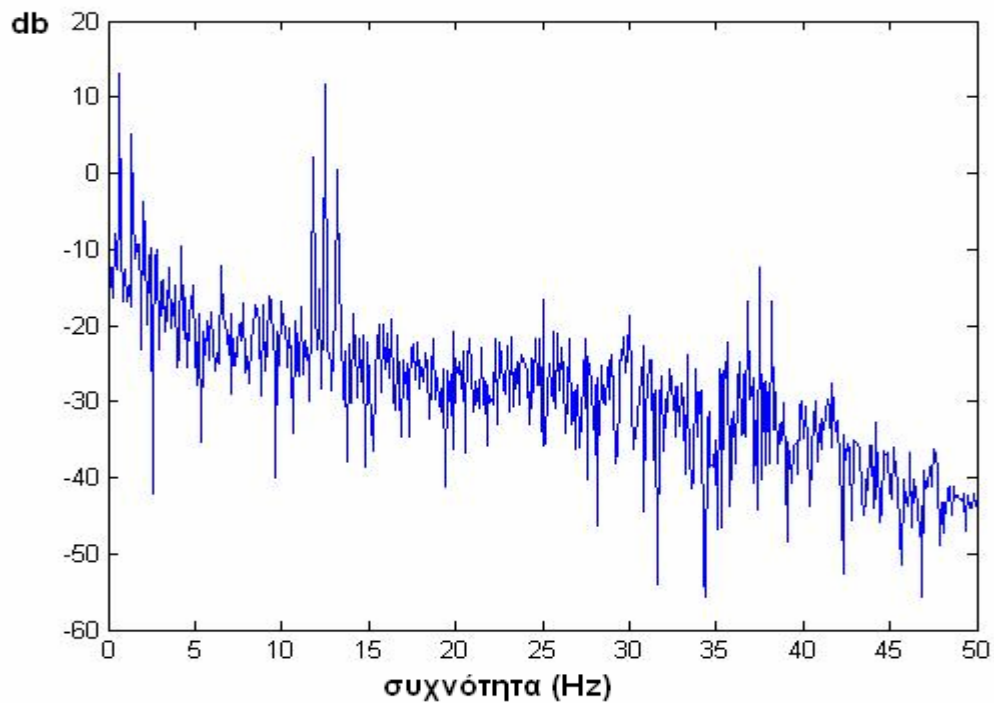
Από το σχήμα 6.2, φαίνεται ότι όταν ο αντιστροφέας λειτουργεί ως πηγή ρεύματος και συγχρονίζεται με την τάση που παράγει η μηχανή diesel , το ρεύμα στην έξοδό του παρουσιάζει μια γρήγορη διακύμανση συχνότητας 12.5 Hz και μια πιο αργή συχνότητας 0.7 Hz . Η γρήγορη διακύμανση των 12.5 Hz οφείλεται στην διακύμανση της τάσης που παράγει η μηχανή diesel . Η αργή ταλάντωση οφείλεται πιθανώς στον τρόπο λειτουργίας των ηλεκτρονικών ισχύος του μετατροπέα .

Όπως διαπιστώνουμε από το σχήμα 6.3 , το φάσμα ισχύος της ενεργού τιμής του ρεύματος του αντιστροφέα παρουσιάζει έντονο περιεχόμενο στις συχνότητες 12.5Hz , 25Hz και 37.5Hz ,

δηλαδή στα ακέραια πολλαπλάσια της συχνότητας εναύσεως των κυλίνδρων  $f_{ps}$  της μηχανής . Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι η τάση με την οποία συγχρονίζεται ο inverter επιδρά στην ποιότητα του ρεύματος εξόδου του.



Σχήμα 6.2



Σχήμα 6.3 :Φάσμα ισχύος της ενεργού τιμής του ρεύματος του αντιστροφέα (db) σε συνάρτηση με την συχνότητα (Hz).



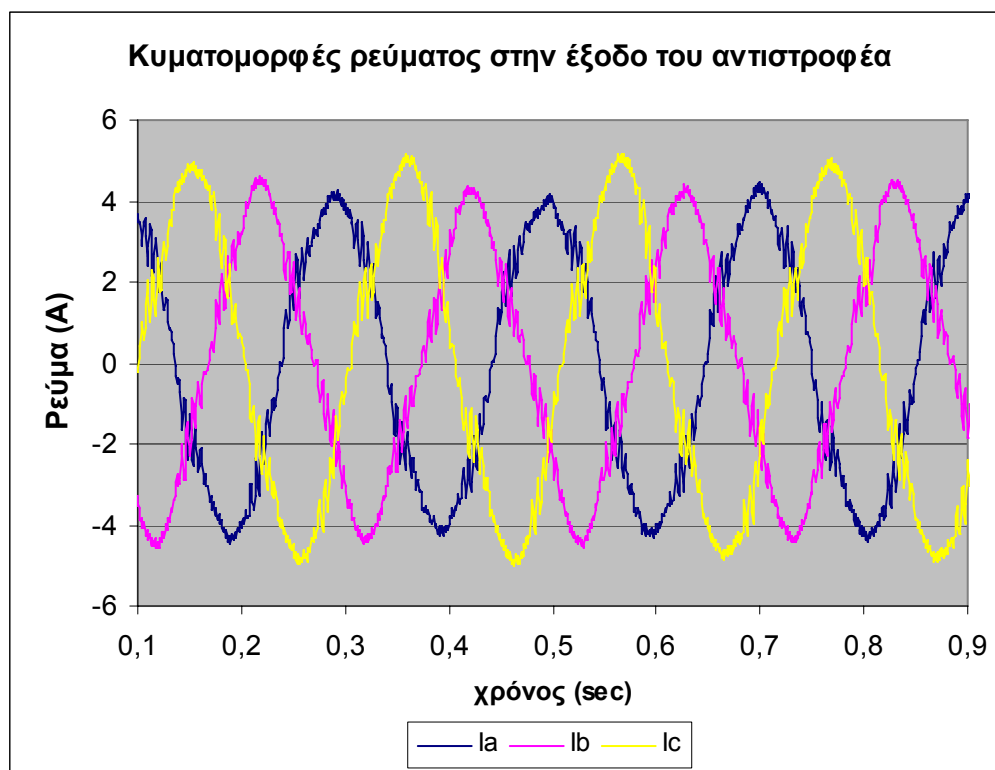
Σχήμα 6.4

Στο σχήμα 6.4 παρουσιάζεται το φάσμα αρμονικών του ρεύματος του αντιστροφέα Ansaldo για τρεις διαφορετικές τιμές του ρεύματος φόρτισης . Υπάρχει αυξημένη αρμονική παραμόρφωση . Οι αρμονικές που εμφανίζονται και στις τρεις περιπτώσεις με το μεγαλύτερο πλάτος είναι η 2<sup>η</sup>, η 5<sup>η</sup> και η 17<sup>η</sup> . Ο αντιστροφέας Ansaldo έχει ονομαστικό ρεύμα μικρότερο από 16 A επομένως οι αρμονικές του ρεύματος του θα συγκριθούν με τα όρια του πίνακα 2.3 , τα οποία ικανοποιούνται για όλες τις αρμονικές και για τις τρεις περιπτώσεις φόρτισης .

Οι αρμονικές αυτές εμφανίζονται έντονα και στην τάση που παράγεται από τη νηξελογεννήτρια . Επομένως , μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι αρμονικές της τάσης περνούν στο ρεύμα και το παραμορφώνουν. Επίσης , παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην αρμονική παραμόρφωση για τις τρεις διαφορετικές τιμές φόρτισης . Το πλάτος των αρμονικών σε απόλυτη τιμή μεγαλώνει ελάχιστα όσο αυξάνεται η ενεργός τιμή του ρεύματος , ενώ ως ποσοστό επί της θεμελιώδους συνιστώσας μειώνεται όσο αυξάνεται η ενεργός τιμή του ρεύματος .



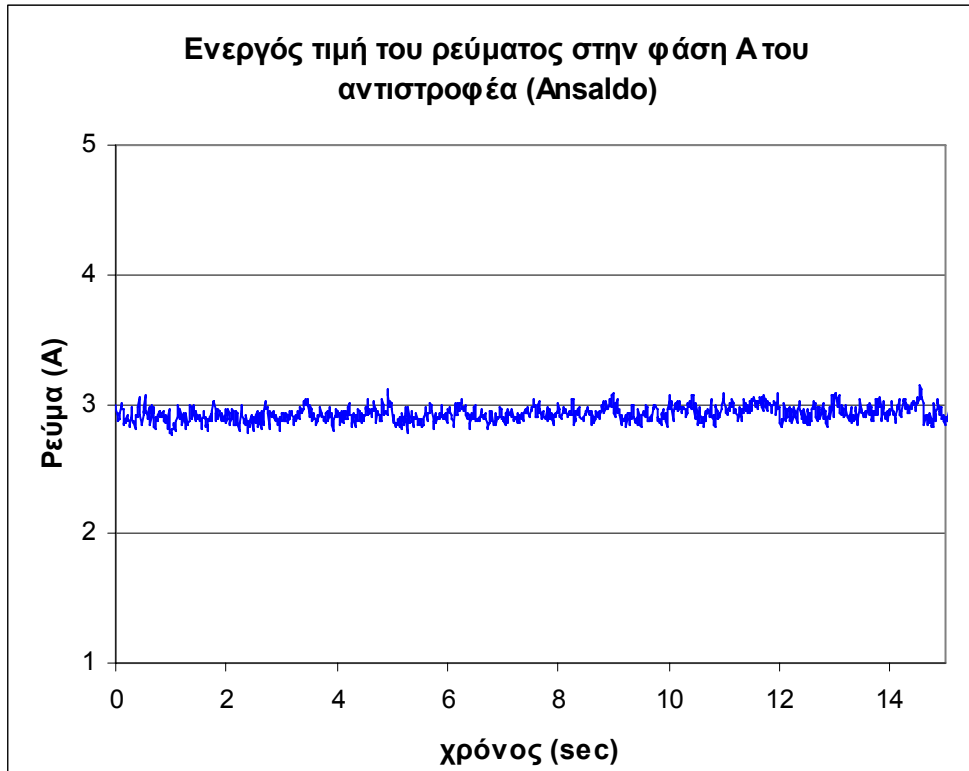
## 6.2 Ποιότητα ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα Ansaldo κατά τη φόρτιση μπαταριών από το δίκτυο



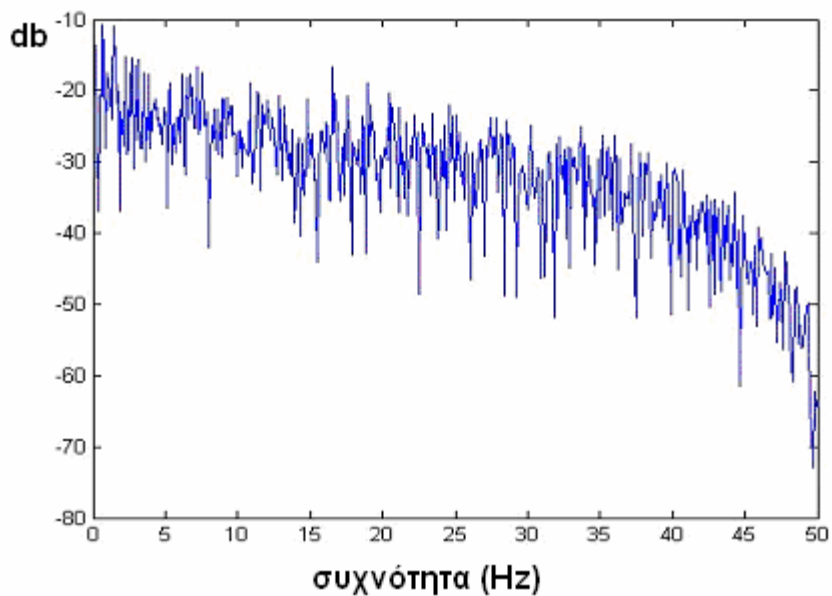
Σχήμα 6.5

Η κυματομορφή του ρεύματος όταν ο αντιστροφέας συνδέεται στο δίκτυο (σχήμα 6.5) παρουσιάζει πολύ μικρότερη παραμόρφωση και πλησιάζει πολύ περισσότερο την ημιτονοειδή μορφή συγκριτικά με την περίπτωση που συνδέεται με τη μηχανή diesel (σχήμα 6.1). Το γεγονός αυτό οφείλεται προφανώς στην καλύτερη ποιότητα της τάσης που παρέχει το δίκτυο από ότι η μηχανή diesel .

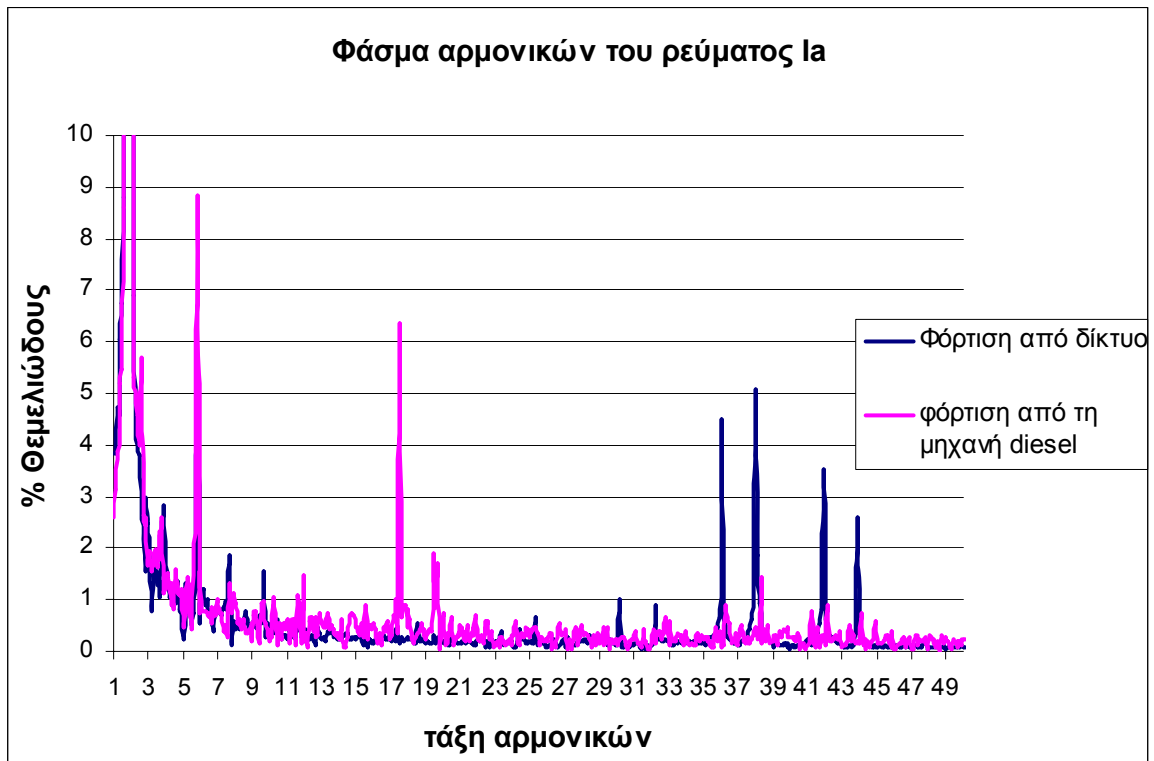
Όπως παρατηρούμε στα σχήματα 6.6 και 6.7 που ακολουθούν , Η ενεργός τιμή του ρεύματος του αντιστροφέα όταν αυτός συνδέεται στο δίκτυο, έχει πολύ μικρότερες διακυμάνσεις από ότι όταν συνδέεται με τη diesel, λόγω της καλύτερης ποιότητας της τάσης. Το φάσμα αρμονικών της ενεργού τιμής του ρεύματος είναι ομοιόμορφο και δεν εμφανίζει έντονο περιεχόμενο σε συγκεκριμένες συχνότητες .



**Σχήμα 6.6**



**Σχήμα 6.7 : Φάσμα ισχύος της ενεργού τιμής του ρεύματος του αντιστροφέα (db) σε συνάρτηση με την συχνότητα (Hz).**



Σχήμα 6.8

Παρατηρώντας το σχήμα 6.8 διαπιστώνουμε την αρμονική παραμόρφωση και για τις δύο περιπτώσεις φόρτισης.

Μεγαλύτερη αρμονική παραμόρφωση παρατηρείται στην περίπτωση φόρτισης από τη μηχανή diesel (THD=8%) από ότι στην περίπτωση φόρτισης από το δίκτυο (THD= 5.8 %).

Εμφανίζονται αρκετά έντονα οι αρμονικές της τάσης της μηχανής, δηλαδή η 5<sup>η</sup> (8.9%) και η 17<sup>η</sup> (6.3%), όμως τα όρια του προτύπου EN 61000-3-2 ικανοποιούνται.

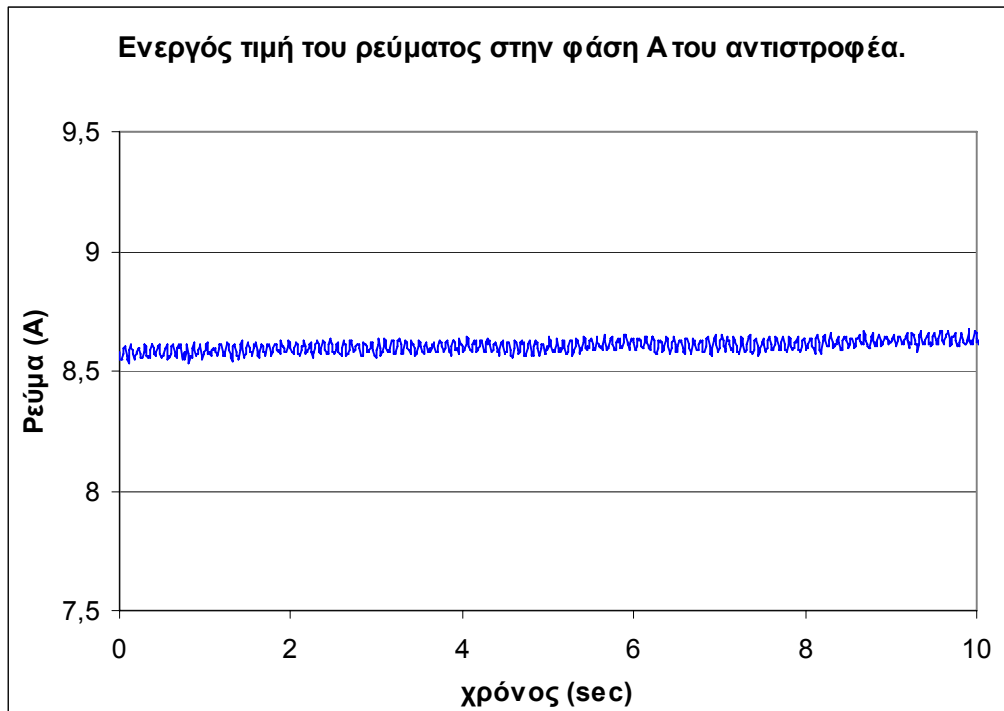
Στην περίπτωση φόρτισης από το δίκτυο, επειδή η ποιότητα της τάσης είναι καλύτερη, εμφανίζονται μειωμένες οι αρμονικές και τα όρια του προτύπου EN 61000-3-2 ικανοποιούνται.

Βέβαια, όταν ο αντιστροφέας συνδέεται στο δίκτυο εμφανίζονται αυξημένες κάποιες αρμονικές υψηλής τάξης όπως η 36<sup>η</sup>, η 38<sup>η</sup>, η 42<sup>η</sup> και η 44<sup>η</sup> που σχετίζονται με τη διακοπτική συχνότητα.

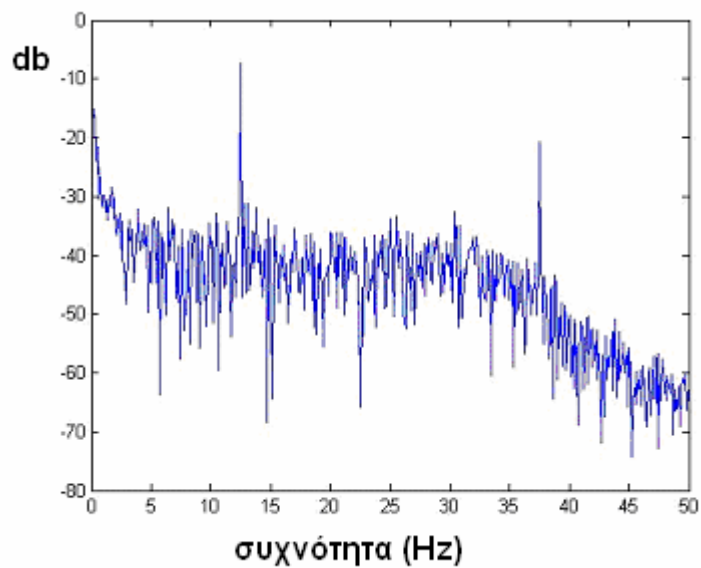
Οι αρμονικές αυτές εμφανίζονται και στην τάση του αντιστροφέα όταν αυτός λειτουργεί εν κενώ.

Το αυξημένο πλάτος των αρμονικών αυτών στην περίπτωση φόρτισης από το δίκτυο οφείλεται πιθανότατα στη μικρότερη σύνθετη αντίσταση του δικτύου όπου συνδέεται ο αντιστροφέας.

### 6.3 Ποιότητα ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα sunny island κατά τη φόρτιση μπαταριών από τη μηχανή diesel



Σχήμα 6.9

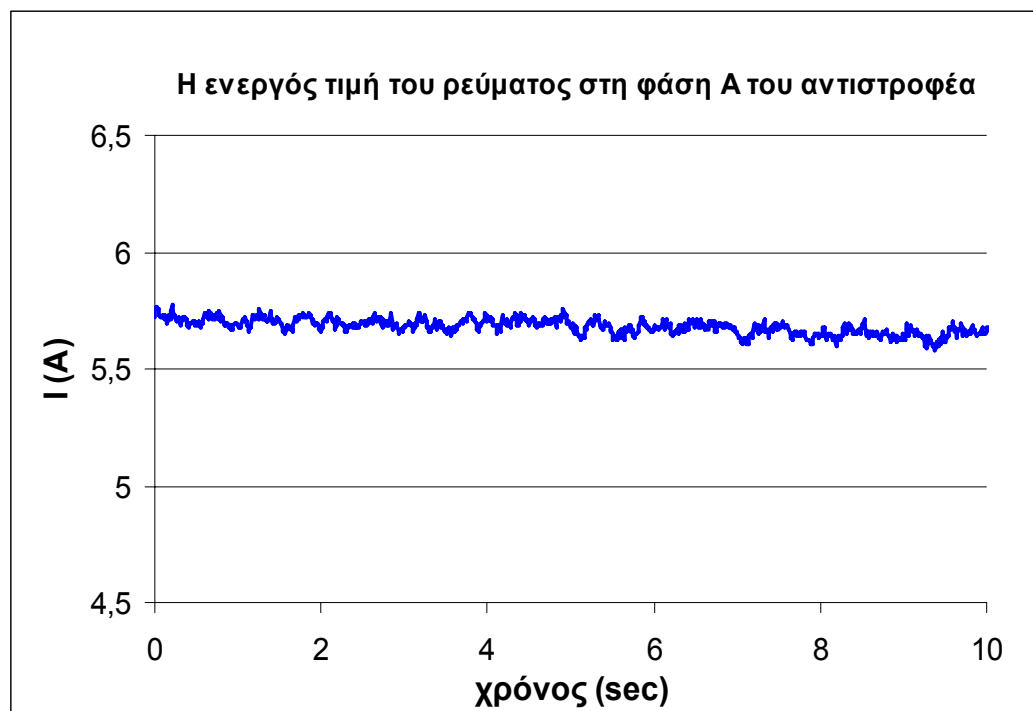


Σχήμα 6.10 : Φάσμα ισχύος της ενεργού τιμής του ρεύματος του αντιστροφέα (db) σε συνάρτηση με την συχνότητα (Hz).

Η ενεργός τιμή του ρεύματος στους αντιστροφείς Sunny Island (σχήμα 6.9), είναι πιο σταθερή από ότι στον αντιστροφέα Ansaldo. Παρουσιάζει γρήγορες διακυμάνσεις, συχνότητας 12.5 Hz και πλάτους 0.05 A . Στο φάσμα αρμονικών της ενεργού τιμής (σχήμα 6.10) είναι ορατές οι συχνότητες ταλάντωσης της ηλεκτρομαγνητικής ροπής/τάσης της diesel ,12.5Hz και 37.5Hz, αλλά είναι λιγότερο σημαντικές από την περίπτωση του αντιστροφέα Ansaldo. Το γεγονός αυτό δεν σχετίζεται με το σημείο λειτουργίας αλλά με την διαφορετική λογική ελέγχου των αντιστροφέων.

#### 6.4 Ποιότητα ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα sunny island κατά τη φόρτιση μπαταριών από το δίκτυο

Η ενεργός τιμή του ρεύματος στους αντιστροφείς Sunny Island (σχήμα 6.11) όταν φορτίζονται από το δίκτυο, είναι αρκετά σταθερή. Οι μικρές διακυμάνσεις που εμφανίζει δεν έχουν συγκεκριμένη συχνότητα και πλάτος .

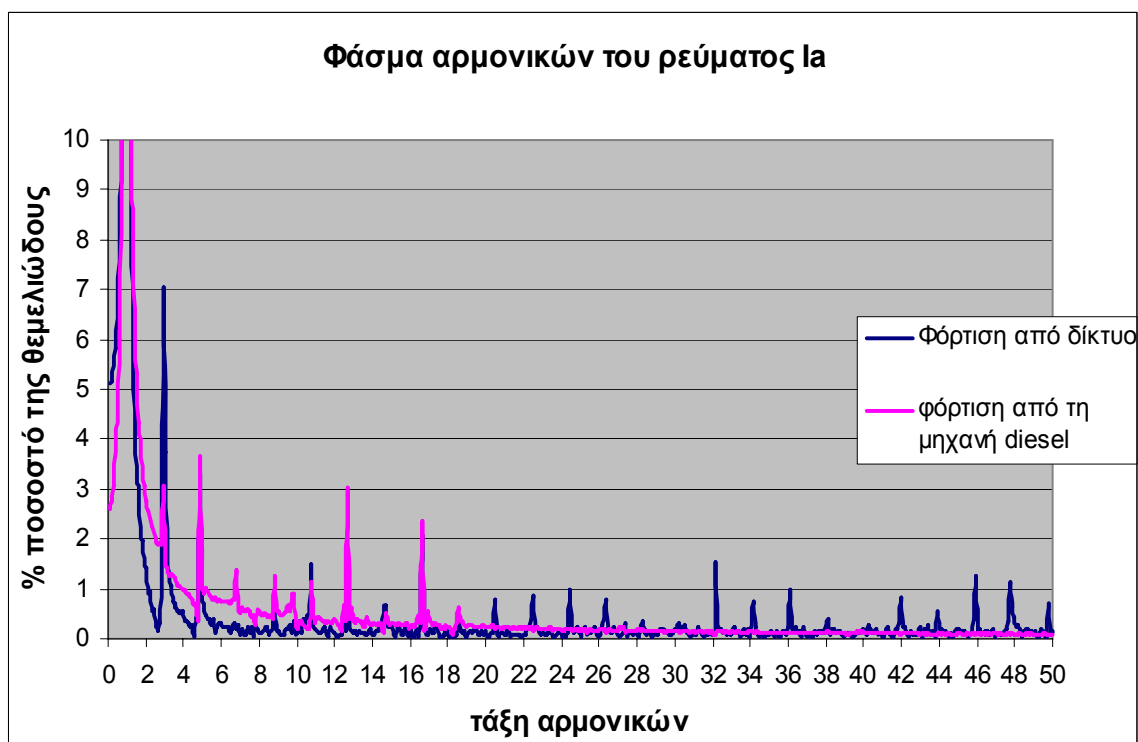


Σχήμα 6.11

Στο σχήμα 6.12 παρατίθενται συγκριτικά τα αρμονικά φάσματα του ρεύματος για φόρτιση των μπαταριών από το δίκτυο και τη γεννήτρια diesel . Ο αντιστροφέας sunny island έχει ονομαστικό ρεύμα  $I_N=20.5A$ , δηλαδή μεγαλύτερο από 16 A επομένως οι αρμονικές του ρεύματος του θα συγκριθούν με τα όρια του πίνακα 2.4. Στην περίπτωση φόρτισης από τη μηχανή diesel ο δείκτης αρμονικής παραμόρφωσης είναι  $THD= 5.5\%$  , ενώ στην περίπτωση φόρτισης από το δίκτυο  $THD= 5.0\%$ .

Στην περίπτωση παροχής τάσης από τη μηχανή diesel εμφανίζονται αρκετά έντονα οι αρμονικές της τάσης της μηχανής, δηλαδή η 2<sup>η</sup> (2.5%), η 3<sup>η</sup> (3%), η 5<sup>η</sup> (3.65%), η 13<sup>η</sup> (3%) και η 17<sup>η</sup> (2.4 %), ενώ από τη συχνότητα της 17<sup>ης</sup> αρμονικής κι έπειτα το πλάτος των αρμονικών σχεδόν εξαλείφεται. Τα όρια του προτύπου IEC 61000-3-4 ξεπερνιούνται κατά ένα μικρό ποσοστό για τις αρμονικές 13<sup>η</sup> (3%>του ορίου 2%) και 17<sup>η</sup> (2.4%>του ορίου 2%),ενώ για όλες τις άλλες τηρούνται .

Στην περίπτωση φόρτισης από το δίκτυο, επειδή η ποιότητα της τάσης είναι καλύτερη, εμφανίζονται μειωμένες οι αρμονικές . Βέβαια , όταν ο αντιστροφέας συνδέεται στο δίκτυο εμφανίζονται αυξημένες οι άρτιες αρμονικές τάξης μεγαλύτερης από 20. Τα όρια του προτύπου EN 61000-3-2 ικανοποιούνται για τις αρμονικές χαμηλής τάξης αλλά όχι και για τις αρμονικές υψηλής τάξης (άρτιες και >20).



Σχήμα 6.12

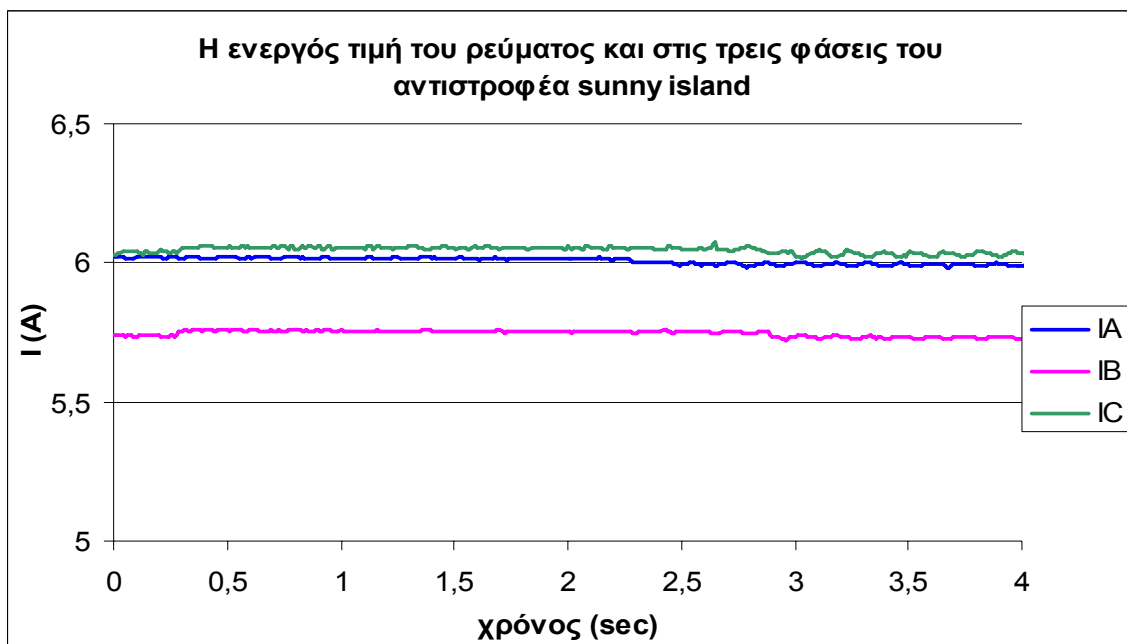
## 6.5 Μετρήσεις που αφορούν τη τροφοδότηση φορτίων από τη νέα διάταξη μπαταριών (αντιστροφέας sunny island)

Έγιναν τρία πειράματα που αφορούσαν την τροφοδότηση φορτίων από τη νέα διάταξη μπαταριών: ένα με περίπου συμμετρικό φορτίο (1.4kW, 1.4kW και 1.35kW) στις τρεις φάσεις, ένα με περίπου ίδια φόρτιση για τις δύο μόνο φάσεις B και C και ένα για φόρτιση μόνο της φάσης C.

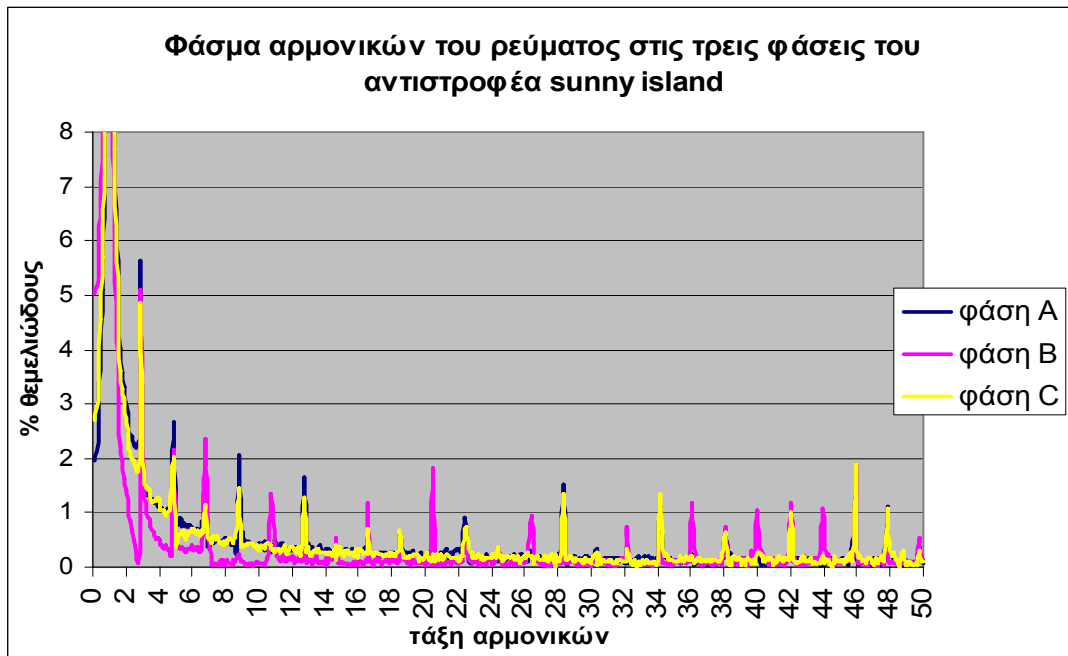
### 6.5.1 Μετρήσεις όπου το φορτίο είναι περίπου συμμετρικό και στις τρεις φάσεις

Στο σχήμα 6.13 φαίνεται η ενεργός τιμή του αντιστροφέα όταν τροφοδοτεί φορτία που είναι διαμοιρασμένα σχεδόν ίσα στις τρεις φάσεις, πρόκειται δηλαδή για συμμετρική φόρτιση.

Παρατηρούμε ότι η τιμή του ρεύματος είναι λίγο διαφορετική για τη φάση B, κι αυτό οφείλεται στο ότι το φορτίο δεν είναι ακριβώς ίσο και για τις τρεις φάσεις αλλά 1.4kΩ, 1.35 kΩ και 1.4kΩ αντίστοιχα. Η ενεργός τιμή του ρεύματος είναι σταθερή και δεν παρουσιάζει αξιοσημείωτες διακυμάνσεις.



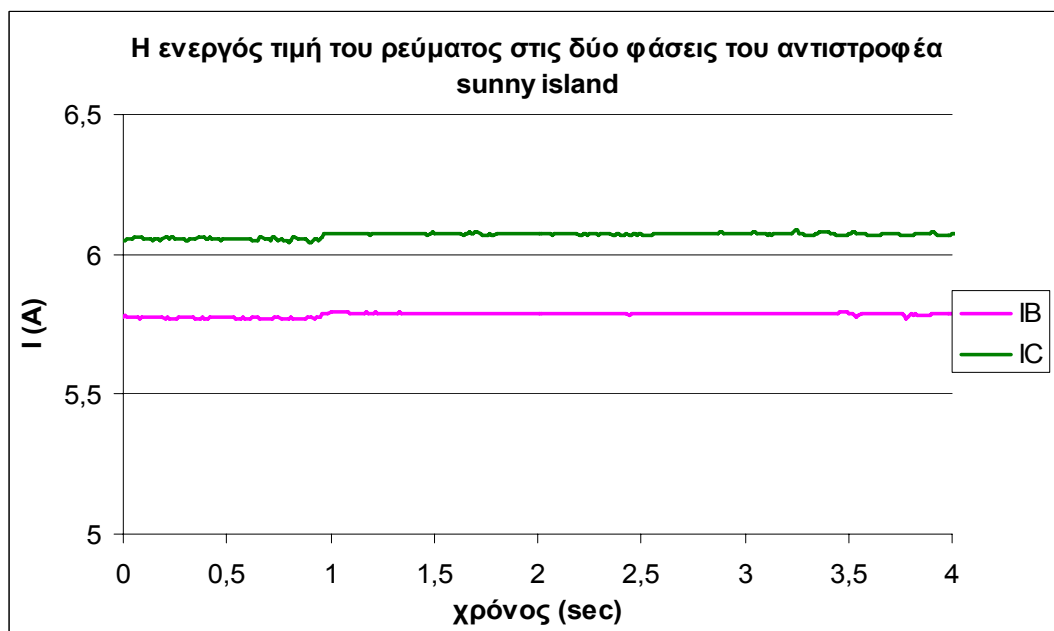
Σχήμα 6.13



Σχήμα 6.14

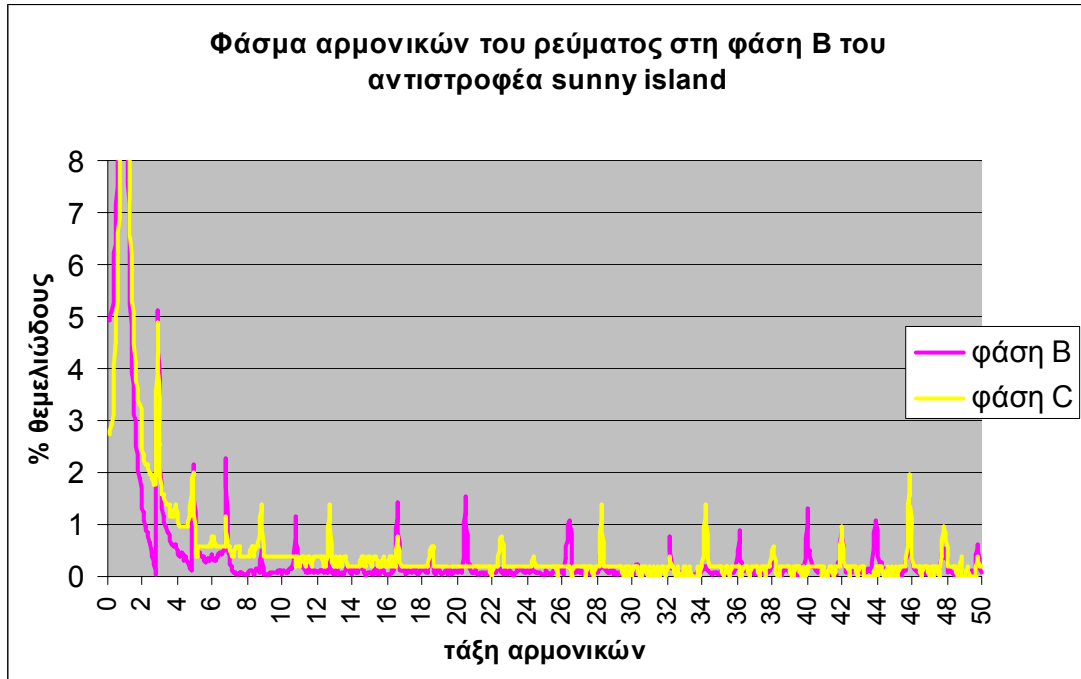
Στο σχήμα 6.14 βλέπουμε ότι οι δύο φάσεις A και C ,που έχουν ακριβώς το ίδιο φορτίο, εμφανίζουν αυξημένη αρμονική παραμόρφωση στις ίδιες συχνότητες ενώ η φάση B σε διαφορετικές .

**6.5.2 Μετρήσεις ασύμμετρης φόρτισης. Το φορτίο είναι περίπου ίσο στις φάσεις B και C**



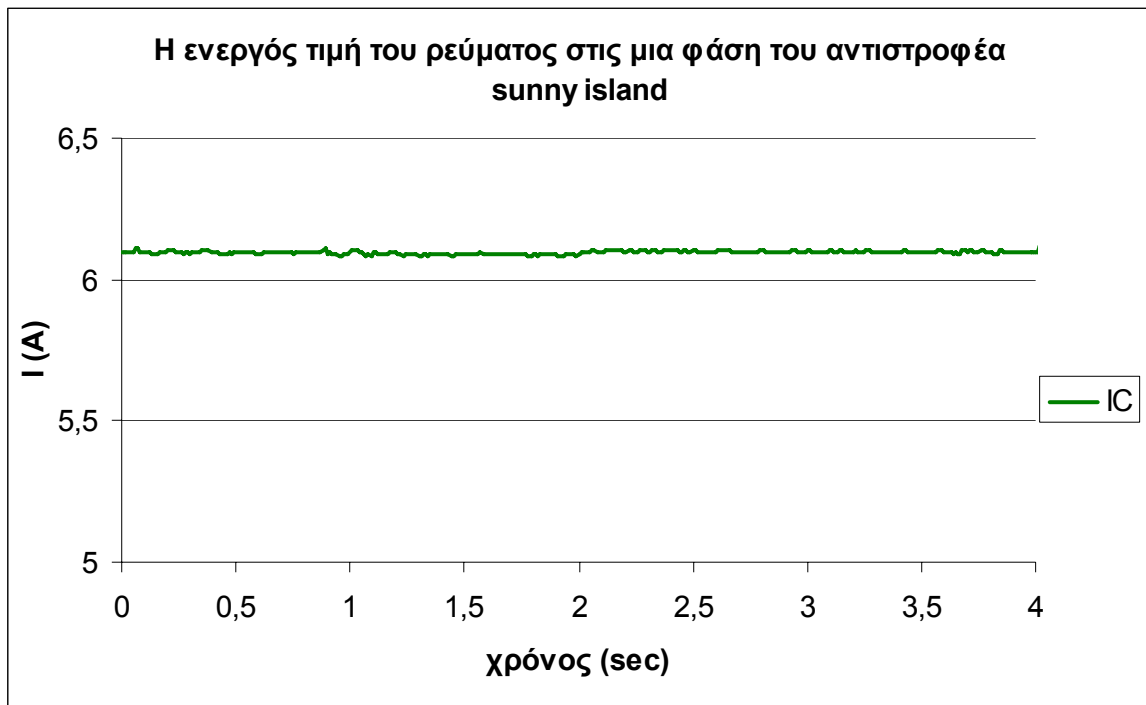
Σχήμα 6.15



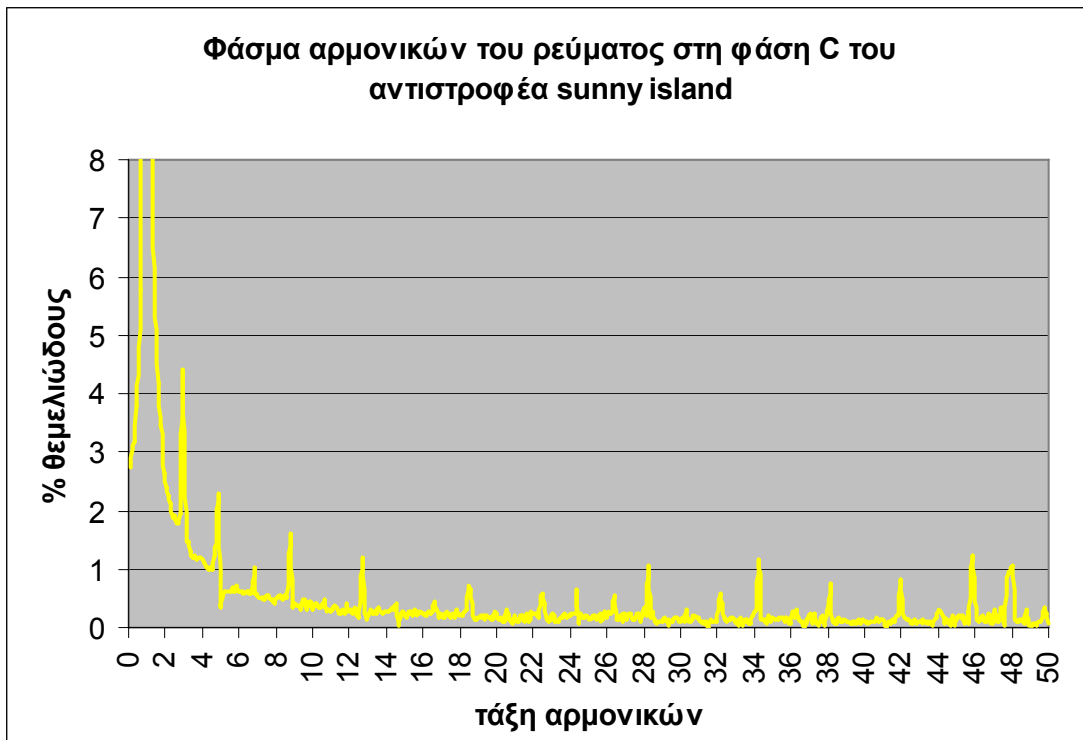


Σχήμα 6.16

6.5.3 Μετρήσεις ασύμμετρης φόρτισης. Φορτίο μόνο στη φάση C.



Σχήμα 6.17



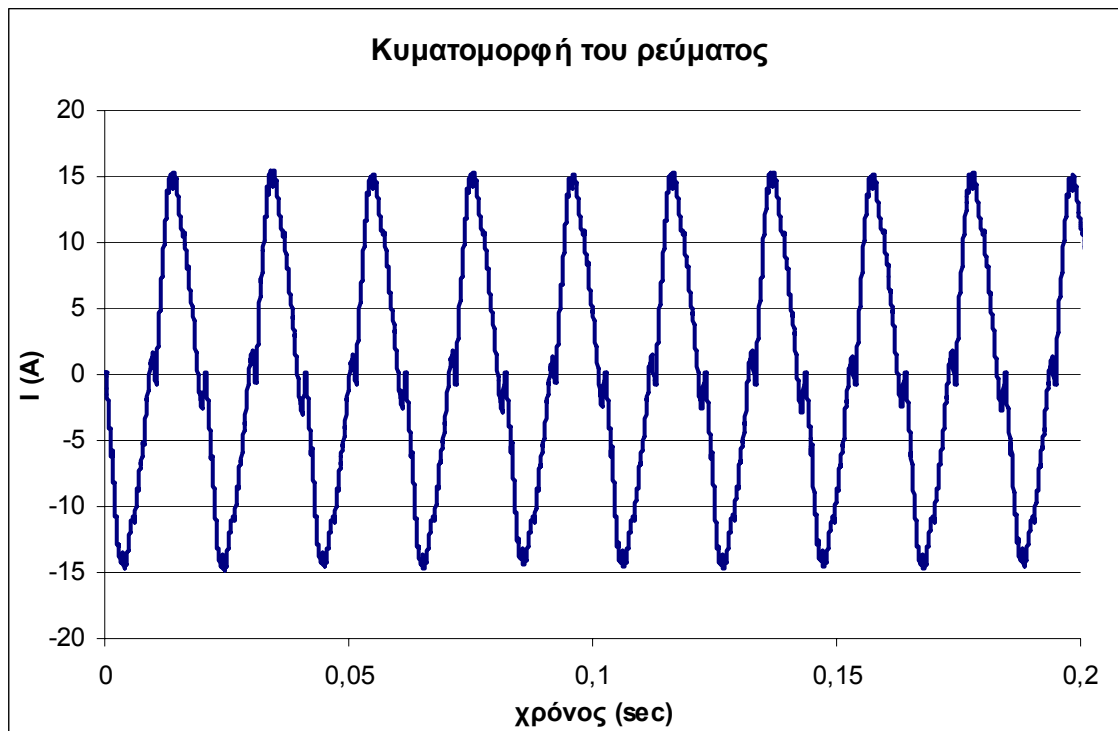
**Σχήμα 6.18**

Συγκρίνοντας τα σχήματα 6.14, 6.16 και 6.18 παρατηρούμε ότι το φάσμα αρμονικών παραμένει το ίδιο για κάθε φάση είτε έχουμε φορτίο στη μία φάση, είτε στις δύο είτε και στις τρεις . Οι ίδιες αρμονικές κάθε φάσης που εμφανίζονται με αυξημένο πλάτος όταν έχουμε συμμετρική φόρτιση , εμφανίζονται κι όταν έχουμε ασύμμετρη φόρτιση .

## 6.6 Μετρήσεις που αφορούν τη λειτουργία φωτοβολταϊκών ονομαστικής ισχύος 4kW που δίνουν ρεύμα στο δίκτυο

Λόγω των ευνοϊκών οικονομικών ευκαιριών που έχουν διαμορφωθεί για τους ιδιώτες επενδυτές, παρουσιάζεται αυξημένη διείσδυση στο δίκτυο διανομής των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και ιδιαίτερα των φωτοβολταϊκών. Το γεγονός αυτό θέτει νέα προβλήματα που αφορούν την ποιότητα ισχύος, την αξιοπιστία και την προστασία του δικτύου.

Παρακάτω παρατίθενται οι μετρήσεις ποιότητας ισχύος μιας φωτοβολταϊκής μονάδας του Κ.Α.Π.Ε 4 kW. Το φωτοβολταϊκό λειτουργεί ως πηγή ρεύματος και συγχρονίζεται με την τάση του δημόσιου δικτύου στο οποίο και διοχετεύει το παραγόμενο ρεύμα.

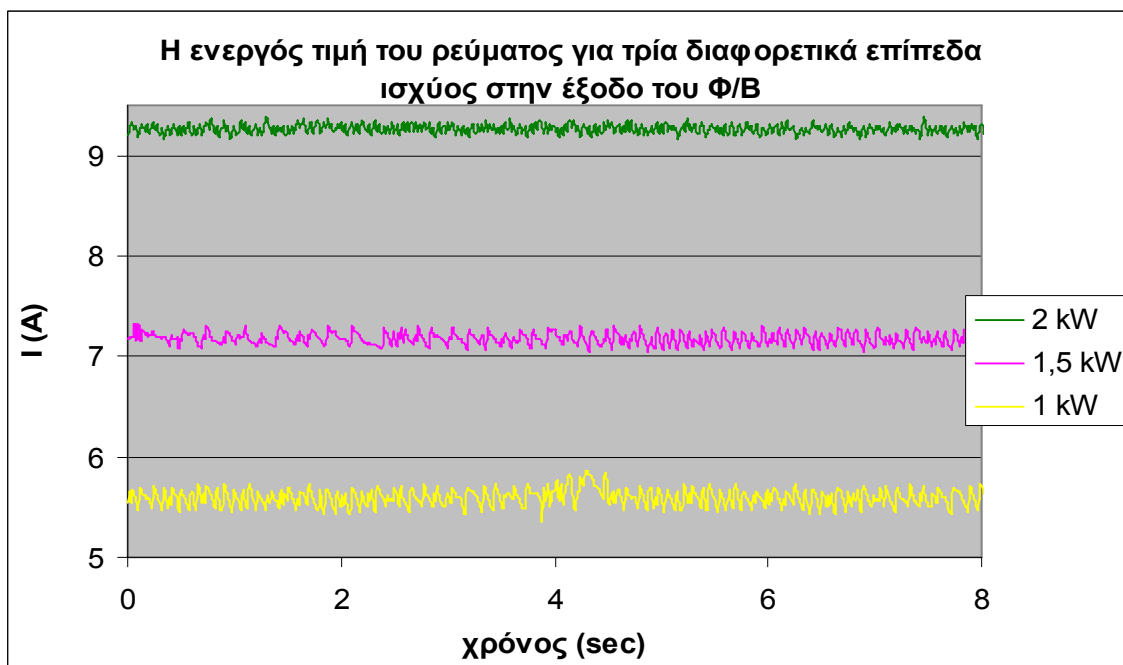


Σχήμα 6.19

Στο σχήμα 6.19 φαίνεται η κυματομορφή του ρεύματος που παράγεται από το φωτοβολταϊκό. Παρατηρούμε μια μικρή παραμόρφωση που έχει τη μορφή εγκοπής στο σημείο που η κυματομορφή του ρεύματος περνάει από το μηδέν (zero-crossing). Η παραμόρφωση αυτή μπορεί να προκαλέσει συντονισμό μεταξύ της χωρητικότητας του φίλτρου του αντιστροφέα και της ισοδύναμης επαγωγής του δικτύου. Η παραμόρφωση αυτή προέρχεται από διαφορετικούς

μηχανισμούς για διαφορετικούς αντιστροφείς αλλά γενικά οφείλεται σε πρακτικούς περιορισμούς της διαμόρφωσης PWM που διακόπτει τη ροή του ρεύματος κοντά στο πέρασμα από το 0. Παρόλα αυτά, τα χαρακτηριστικά αυτά δεν αφορούν όλους τους inverters και μπορούν να αποφευχθούν με τον κατάλληλο έλεγχο αλλά και με επιπλέον κόστος. Όταν ένας μόνο αντιστροφέας λειτουργεί και η εμπέδηση του δικτύου κυμαίνεται στα συνήθη επίπεδα οι αρμονικές του ρεύματος και της τάσης συνήθως δε δημιουργούν μεγάλο πρόβλημα. Μεγαλύτερο πρόβλημα δημιουργείται συνήθως όταν πολλοί inverters λειτουργούν παράλληλα. [16]

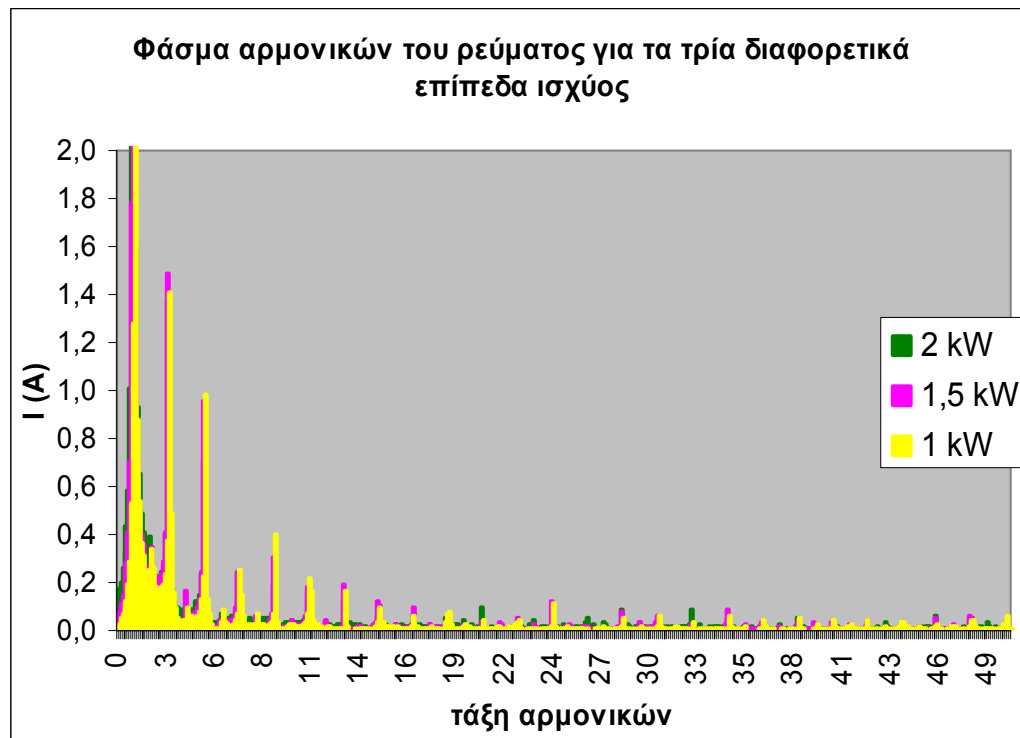
Στο σχήμα 6.20 φαίνεται η ενεργός τιμή του ρεύματος στην έξοδο του φωτοβολταϊκού για χρόνο μέτρησης 8 sec, στις περιπτώσεις που η ροή ισχύος προς το δίκτυο είναι περίπου 2 kW, 1,5 kW και 1 kW. Η ενεργός τιμή του ρεύματος εμφανίζει και για τις τρεις περιπτώσεις μια πολύ μικρή και γρήγορη διακύμανση, πλάτους 0.05 A peak και μη σταθερής συχνότητας. Γενικά η RMS τιμή του ρεύματος παρουσιάζεται σχετικά σταθερή και δεν παρουσιάζει αξιοσημείωτες διακυμάνσεις.



Σχήμα 6.20

Στο σχήμα 6.21 παρουσιάζεται το φάσμα αρμονικών του ρεύματος του στην έξοδο του φωτοβολταϊκού για τρία διαφορετικά επίπεδα ισχύος . Οι αρμονικές που εμφανίζονται και στις τρεις περιπτώσεις με το μεγαλύτερο πλάτος είναι η 3<sup>η</sup>, η 5<sup>η</sup>, η 7<sup>η</sup>, η 9<sup>η</sup> και γενικά οι περιττές αρμονικές .Από τη 15<sup>η</sup> αρμονική κι έπειτα τα φάσμα γίνεται τύπου θορύβου. Η φωτοβολταϊκή μονάδα έχει ονομαστικό ρεύμα μεγαλύτερο από 16 Α επομένως οι αρμονικές του ρεύματος του θα συγκριθούν με τα όρια του πίνακα 2.4 .

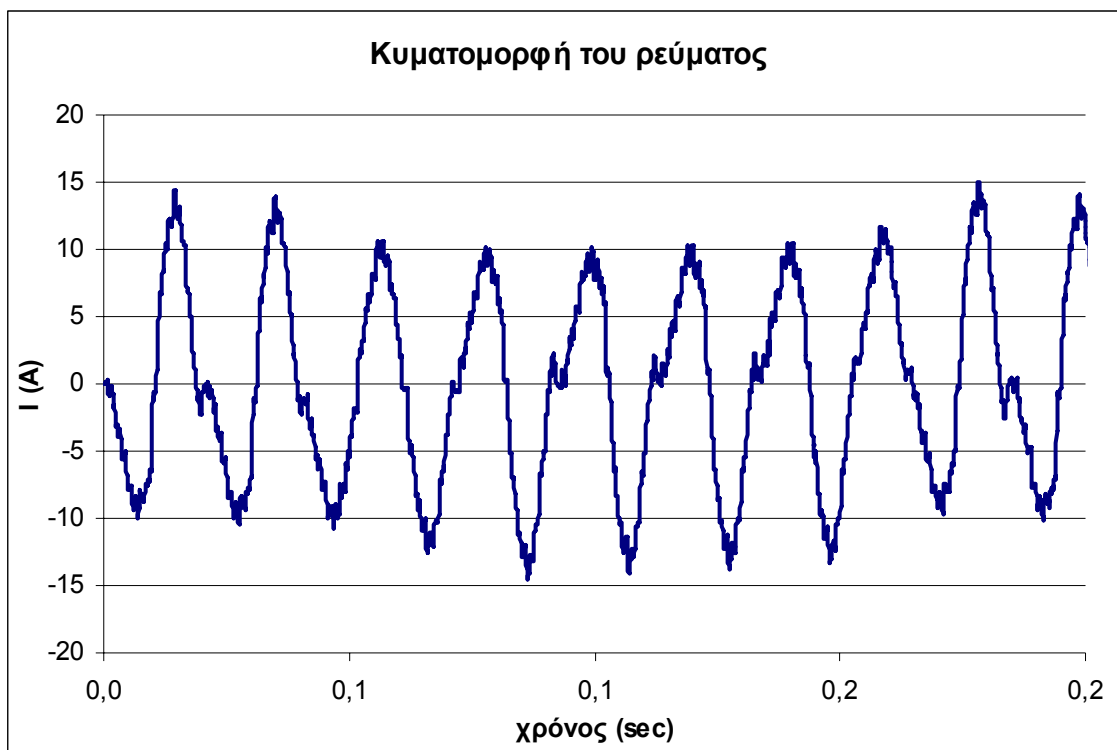
Ακόμη , παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην αρμονική παραμόρφωση για τις τρεις διαφορετικές τιμές φόρτισης . Το πλάτος των αρμονικών σε απόλυτη τιμή μειώνεται ελάχιστα όσο αυξάνεται η ισχύς εξόδου . Επομένως , η ισχύς εξόδου του φωτοβολταϊκού επηρεάζει ελάχιστα την αρμονική παραμόρφωση σε απόλυτη τιμή.



Σχήμα 6.21

## 6.7 Μετρήσεις που αφορούν τη λειτουργία φωτοβολταϊκών ονομαστικής ισχύος 4kW που φορτίζουν τη παλιά διάταξη μπαταριών

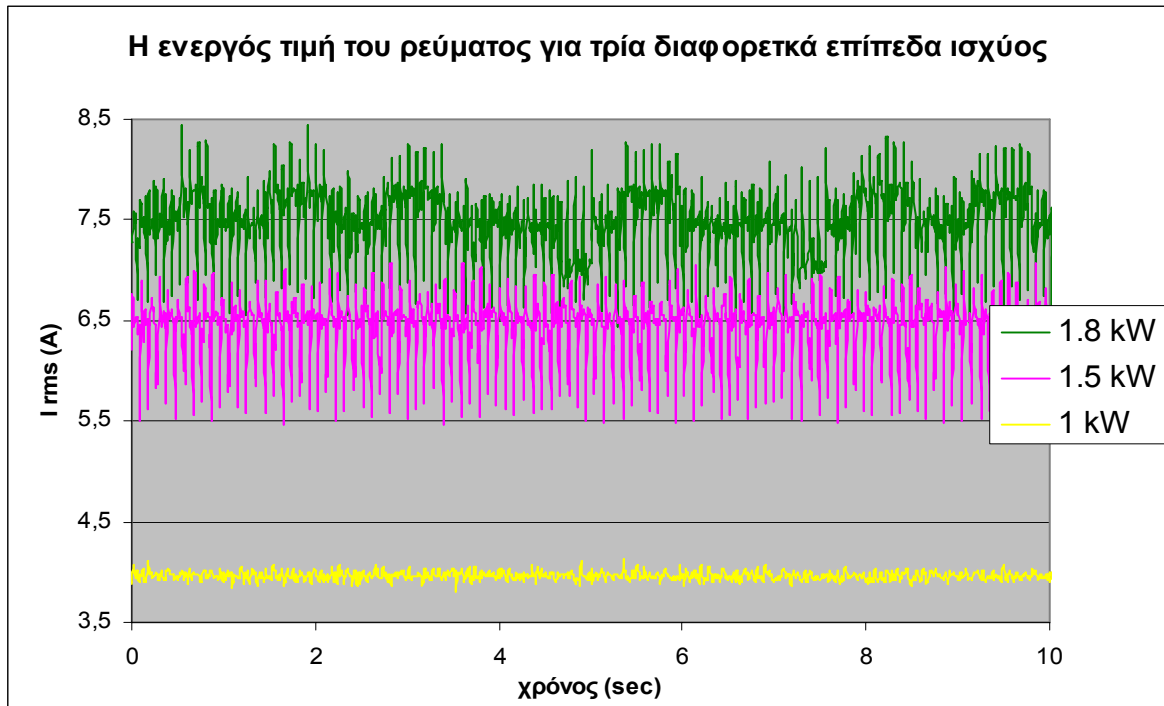
Όπως φαίνεται από το σχήμα 6.22, η κυματομορφή του ρεύματος παρουσιάζει μεγαλύτερο βαθμό παραμόρφωσης συγκριτικά με την περίπτωση που η φωτοβολταϊκή μονάδα δίνει ρεύμα στο δίκτυο. Παρατηρούμε μεγαλύτερη απόκλιση από την ημιτονοειδή μορφή, μεγαλύτερη παραμόρφωση στο πέρασμα από το μηδέν και όχι σταθερό πλάτος peak-to-peak της κυματομορφής. Το γεγονός αυτό συμβαίνει γιατί η τάση του δικτύου είναι καλύτερης ποιότητας από ότι αυτή που παρέχει ο αντιστροφέας Ansaldo στην έξοδό του. Επομένως, η ποιότητα της τάσης με την οποία συγχρονίζεται το Φ/Β παίζει ρόλο στην ποιότητα του ρεύματος και επιβεβαιώνεται για ακόμη μία φορά η θεωρία.



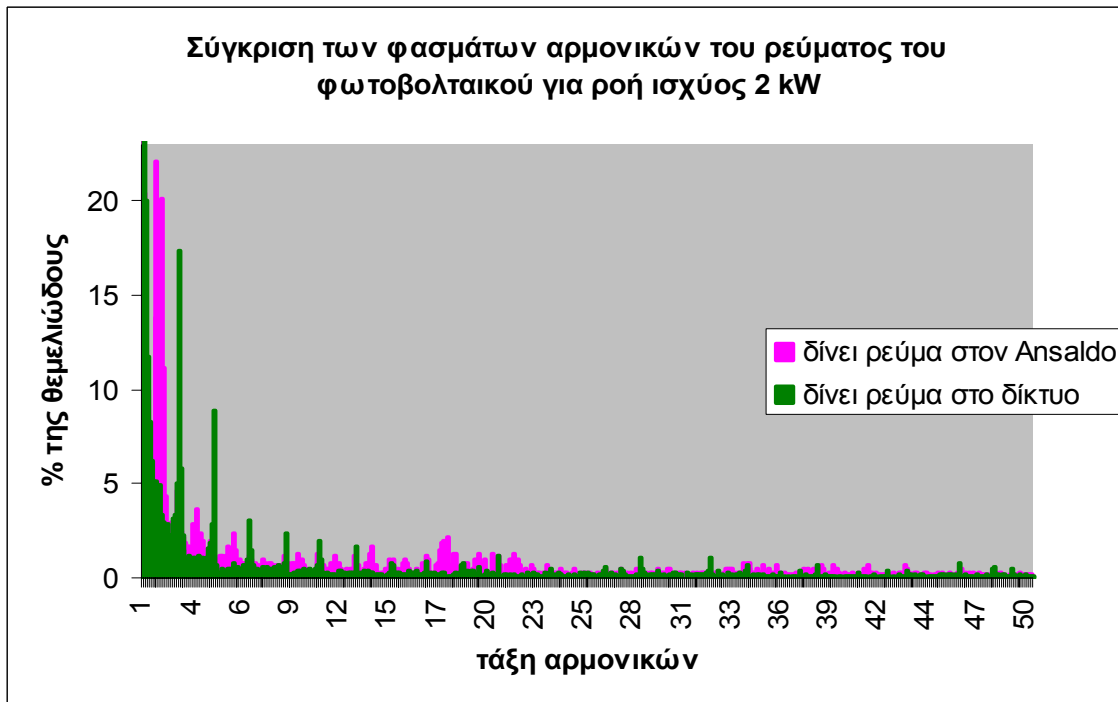
Σχήμα 6.22

Στο σχήμα 6.23 παρουσιάζεται η ενεργός τιμή του ρεύματος στην έξοδο του φωτοβολταϊκού για χρόνο μέτρησης 10 sec, στις περιπτώσεις που η ροή ισχύος προς τις μπαταρίες είναι περίπου 1.8 kW, 1,5 kW και 1 kW. Η ενεργός τιμή του ρεύματος είναι σχετικά σταθερή στην περίπτωση

ροής ισχύος 1kW ,αλλά στις περιπτώσεις 1.5 kW και 1.8 kW εμφανίζει έντονες διακυμάνσεις χωρίς συγκεκριμένο πλάτος και συχνότητα .



Σχήμα 6.23



Σχήμα 6.24

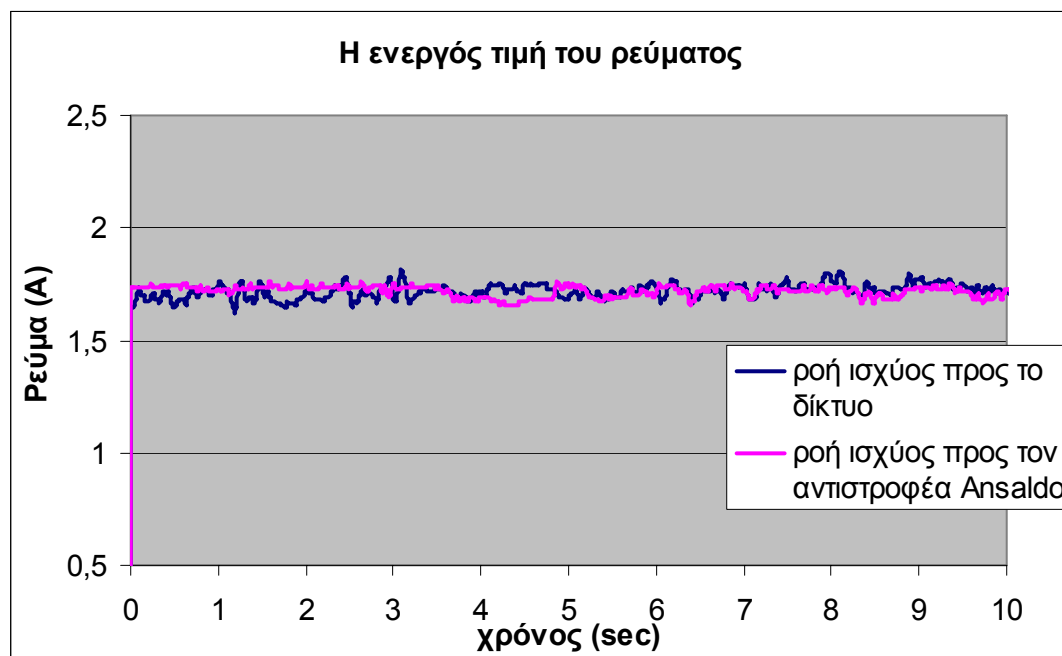
Παρατηρώντας το σχήμα 6.24 διαπιστώνουμε ότι στην περίπτωση που η φωτοβολταϊκή γεννήτρια συνδέεται με τον αντιστροφέα Ansaldo η ένταση του ρεύματος στην έξοδο της έχει μεγαλύτερη αρμονική παραμόρφωση από ότι στην περίπτωση που συνδέεται με το δίκτυο. Το γεγονός αυτό που δείχνουν οι μετρήσεις ήταν αναμενόμενο μιας και η τάση του δικτύου συγκρινόμενη με την τάση του αντιστροφέα Ansaldo περιέχει ασήμαντη αρμονική παραμόρφωση.

Στην περίπτωση που η φωτοβολταϊκή γεννήτρια συνδέεται με τον αντιστροφέα Ansaldo οι αρμονικές που κυριαρχούν είναι η 2<sup>η</sup> και η 4<sup>η</sup>. Αν ενδεικτικά συγκρίνουμε τις προκύπτουσες αρμονικές με τα όρια του προτύπου IEC 61000-3-4 βλέπουμε ότι σε γενικές γραμμές δεν υπερβαίνουν τα όρια (με εξαίρεση τη 2<sup>η</sup> και τη 4<sup>η</sup>).

Στην περίπτωση που η φωτοβολταϊκή γεννήτρια συνδέεται με τον δίκτυο οι αρμονικές που κυριαρχούν είναι η 3<sup>η</sup>, η 5<sup>η</sup> και η 7<sup>η</sup>. Τα όρια του προτύπου IEC 61000-3-4 τηρούνται.

Και στις δύο περιπτώσεις λειτουργίας του Φ/Β από την 20<sup>η</sup> αρμονική κι ύστερα το φάσμα γίνεται τύπου θορύβου.

## 6.8 Μετρήσεις που αφορούν την λειτουργία φωτοβολταϊκών ονομαστικής ισχύος 1.1kW



Σχήμα 6.25



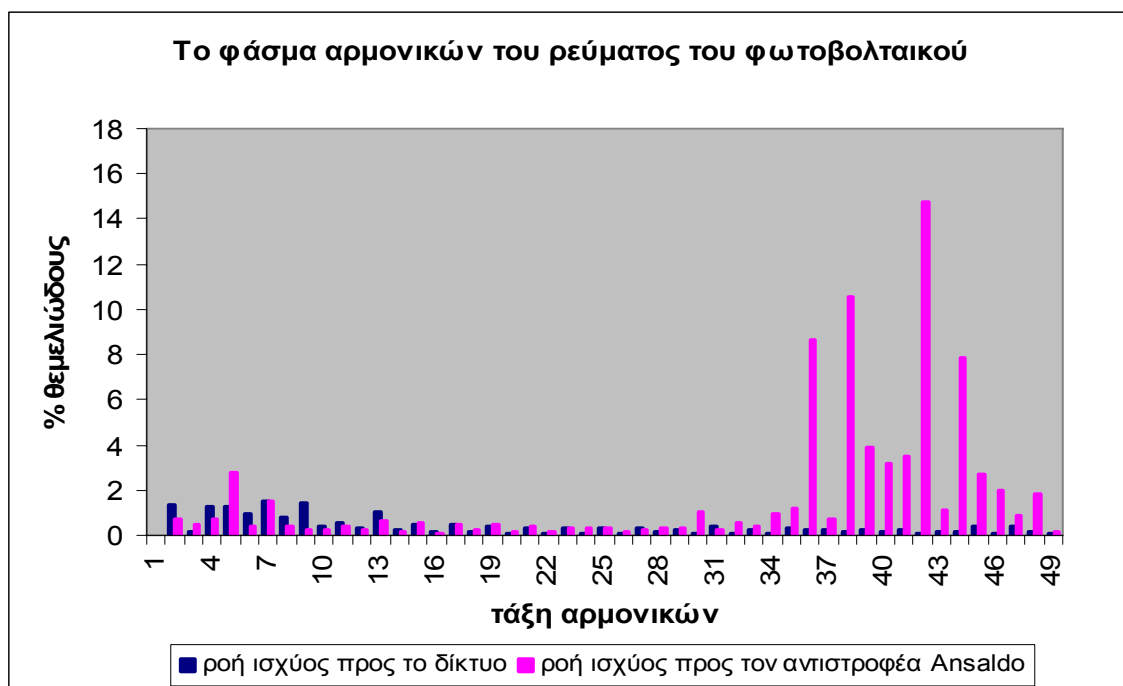
Στο σχήμα 6.25 παρουσιάζεται η ενεργός τιμή του ρεύματος στην έξοδο του φωτοβολταϊκού για χρόνο μέτρησης 10 sec. Η ενεργός τιμή του ρεύματος εμφανίζει κάποιες αμελητέες διακυμάνσεις και μπορεί να θεωρηθεί σταθερή .

Στο σχήμα 6.26 βλέπουμε το φάσμα αρμονικών και για τις δύο περιπτώσεις λειτουργίας της φ/β μονάδας . Ο μονοφασικός αντιστροφέας που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του φ/β έχει ονομαστικό ρεύμα μικρότερο από 16 Α επομένως οι αρμονικές του ρεύματος του θα συγκριθούν με τα όρια του πίνακα 2.3 .

Μεγαλύτερη αρμονική παραμόρφωση παρατηρείται στην περίπτωση φόρτισης της παλιάς διάταξης μπαταριών από ότι στην περίπτωση ροής ισχύος προς το δίκτυο .

Στην περίπτωση ροής ισχύος προς το δίκτυο, επειδή η ποιότητα της τάσης είναι καλύτερη, εμφανίζονται αρκετά μειωμένες οι αρμονικές και τα όρια του προτύπου EN 61000-3-2 ικανοποιούνται.

Όταν το φ/β συνδέεται με τον αντιστροφέα Ansaldo εμφανίζονται αυξημένες κάποιες αρμονικές υψηλής τάξης όπως η 36<sup>η</sup>, η 38<sup>η</sup>, η 42<sup>η</sup> και η 44<sup>η</sup> που σχετίζονται με τη διακοπτική συχνότητα. Οι αρμονικές αυτές εμφανίζονται και στην τάση του αντιστροφέα όταν αυτός λειτουργεί εν κενώ. Άρα , οι αρμονικές της τάσης περνούν στο ρεύμα και το παραμορφώνουν.Για την περίπτωση αυτή τα όρια του προτύπου EN 61000-3-2 ικανοποιούνται με μια πολύ μικρή απόκλιση για τις υψηλόσυχνες αρμονικές.



Σχήμα 6.26

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>

### ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 7.1 Γενικά περί κινητήρων επαγωγής

Ο επαγωγικός κινητήρας είναι ο πιο κοινός τύπος κινητήρα λόγω της απλής κατασκευής του και της ευκολίας που παρουσιάζει στη λειτουργία του. Ο κινητήρας αυτός δεν έχει ξεχωριστό κύκλωμα διέγερσης. Αντίθετα οι τάσεις και τα ρεύματα επάγονται στη διέγερση του σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή. Στην πραγματικότητα ο επαγωγικός κινητήρας είναι ένας στρεφόμενος μετασχηματιστής. Το ισοδύναμο κύκλωμα του είναι όμοιο μ' αυτό του μετασχηματιστή και διαφέρει μόνο στην επίδραση της μεταβλητής ταχύτητας. Ένας επαγωγικός κινητήρας έχει τον ίδιο στατή με ένα σύγχρονο κινητήρα, αλλά ο δρομέας του έχει διαφορετική δομή. Οι τύποι των δρομέων που τοποθετούνται στο εσωτερικό του στατή ενός επαγωγικού κινητήρα είναι οι εξής δυο: ο ένας ονομάζεται δρομέας βραχυκυκλωμένου κλωβού και ο άλλος δακτυλιοφόρος δρομέας .

#### Η Ανάπτυξη της Επαγόμενης Ροπής στους Επαγωγικούς Κινητήρες

Το σχήμα 7.1, δείχνει έναν επαγωγικό κινητήρα βραχυκυκλωμένου κλωβού. Στο στάτη της μηχανής εφαρμόζεται τριφασικό σύστημα τάσεων με αποτέλεσμα οι αγωγοί του στάτη να διαρρέονται από τριφασικό σύστημα ρευμάτων. Αυτά τα ρεύματα παράγουν το πεδίο του στάτη  $B_s$  που περιστρέφεται με αντιωρολογιακή φορά και με ταχύτητα

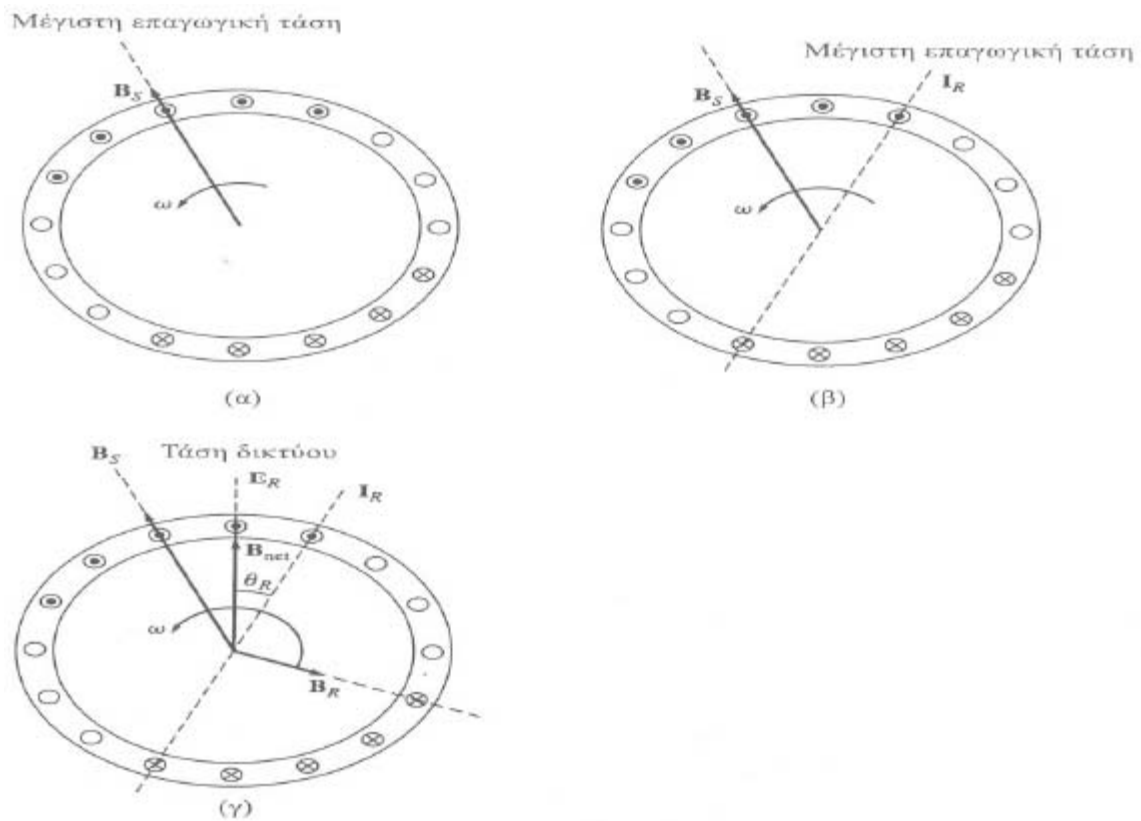
$$n_s = \frac{120f}{P} \quad (7.1)$$

οπου  $f$  είναι η συχνότητα του συστήματος σε Hz και  $P$  ο αριθμός των πόλων της μηχανής. Το μαγνητικό πεδίο  $B_s$  καθώς διέρχεται πάνω από τους αγωγούς του δρομέα επάγει κάποια τάση στα άκρα τους.

Η τάση εξ επαγωγής στα άκρα ενός συγκεκριμένου αγωγού του δρομέα δίνεται από την εξίσωση

$$e_{ind} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l} \quad (7.2)$$

όπου  $v$  είναι η σχετική ταχύτητα των αγωγών του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο,  $B$  η μαγνητική επαγωγή του πεδίου του στάτη και  $l$  το μήκος του αγωγού του δρομέα.



**Σχήμα 7.1** Η ανάπτυξη της επαγόμενης ροπής σ' έναν επαγωγικό κινητήρα, (α) Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη  $B_s$  παράγει την τάση εξ επαγωγής στις ράβδους του δρομέα, (β) Η τάση εξ επαγωγής παράγει κάποιο ρεύμα στο δρομέα που έπεται της τάσης εξαιτίας της αυτεπαγωγής που παρουσιάζει ο δρομέας, (γ) Το ρεύμα του δρομέα παράγει το μαγνητικό πεδίο του δρομέα  $B_R$  που έπεται του ρεύματος κατά  $90^\circ$  και σε συνδυασμό με το  $B_s$  παράγουν την ανθωρολογιακή ροπή στο εσωτερικό της μηχανής.

Η τάση στα άκρα των αγωγών του δρομέα προκαλείται από τη σχετική κίνηση του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο του στάτη. Η σχετική ταχύτητα των αγωγών του επάνω μέρους του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο έχει φορά προς τα δεξιά κι έτσι η τάση που επάγεται στα άκρα αυτών των αγωγών έχει φορά προς το έξω μέρος της σελίδας. Αντίθετα η τάση στους αγωγούς του κάτω μέρους του δρομέα έχει φορά προς τη σελίδα. Αυτό σημαίνει πως το ρεύμα στους πάνω αγωγούς έχει φορά από τη σελίδα προς τα έξω, ενώ στους κάτω αγωγούς έχει φορά προς τη σελίδα. Όμως, επειδή οι αγωγοί του δρομέα συνθέτουν ένα επαγωγικό φορτίο, η μέγιστη

τιμή του ρεύματος του δρομέα καθυστερεί σε σχέση με τη μέγιστη τιμή της τάσης του (Σχημα 7.1β). Το ρεύμα του δρομέα προκαλεί το αντίστοιχο μαγνητικό πεδίο του δρομέα  $B_R$ .

Τελικά, επειδή η επαγόμενη ροπή στη μηχανή δίνεται από τη σχέση

$$T_{ind} = \kappa B_R \times B_s \quad (7.3)$$

και η φορά της είναι αντιωρολογιακή. Αυτό σημαίνει ότι ο δρομέας του κινητήρα επιταχύνεται κατά την αντιωρολογιακή φορά.

Όμως, υπάρχει κάποιο πεπερασμένο πάνω όριο για την ταχύτητα του δρομέα. Αν η ταχύτητα του δρομέα ήταν ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα, δε θα υπήρχε σχετική κίνηση των αγωγών του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο του στάτη και δε θα αναπτυσσόταν τάση εξ επαγωγής στα άκρα τους. Αν η τάση  $e_{ind}$  ήταν μηδενική, οι αγωγοί του δρομέα δε θα διαρρέονταν από ρεύμα και δε θα αναπτυσσόταν μαγνητικό πεδίο στο δρομέα. Όμως, σ' αυτή την περίπτωση η επαγόμενη ροπή θα ήταν μηδενική και θα επακολουθούσε επιβράδυνση του δρομέα λόγω των απωλειών τριβής. Τελικά, ένας επαγωγικός κινητήρας μπορεί να περιστρέφεται με ταχύτητα πολύ κοντά στη σύγχρονη ταχύτητα, αλλά δεν είναι ποτέ δυνατό να περιστρέφεται με ταχύτητα ακριβώς ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα. [17]

### **Εκκίνηση επαγωγικών κινητήρων**

Τα κύρια προβλήματα κατά την εκκίνηση των κινητήρων επαγωγής είναι τα μέτρα της ροπής εκκινήσεως και του ρεύματος εκκινήσεως. Για να εκκινήσει ο δρομέας θα πρέπει η ροπή που αναπτύσσεται στο άξονα να είναι μεγαλύτερη από τη ροπή που επιβάλλεται στον άξονα από το φορτίο. Συχνά απαιτείται μια σημαντική ροπή εκκινήσεως, ίση με την ονομαστική ροπή ή και ακόμη μεγαλύτερη. Εξ άλλου το μέτρο του ρεύματος εκκινήσεως για δεδομένο εξωτερικό δίκτυο δεν πρέπει να υπερβαίνει ορισμένα όρια τα οποία εξαρτώνται από την ικανότητα του δικτύου. Για μεγάλους κινητήρες επαγωγής που λειτουργούν σε δίκτυα χαμηλής ισχύος είναι απαραίτητη η ελάττωση του ρεύματος εκκινήσεως. Όταν ένας κινητήρας επαγωγής συνδεθεί σε δίκτυο διανομής το οποίο τροφοδοτεί επίσης ευαίσθητα φορτία, το υψηλό ρεύμα εκκίνησης του κινητήρα είναι ανεπιθύμητο εφόσον μπορεί να προκαλέσει σημαντική πτώση τάσης και ως εκ τούτου δυσλειτουργία στα ευαίσθητα φορτία. Επίσης, όταν η πτώση τάσης είναι μεγάλη, άλλοι κινητήρες συνδεδεμένοι στο ίδιο δίκτυο μπορεί να σταματήσουν δεδομένου ότι η αναπτυσσόμενη ροπή είναι ανάλογος προς το τετράγωνο της τάσης.

Ιδιαίτερη σημασία έχουν επίσης τα προβλήματα όπως η διάρκεια εκκινήσεως, οι απώλειες στα τυλίγματα και η θέρμανσή τους και το μεταβατικό φαινόμενο κατά την εκκίνηση. Αναφέρεται ότι στην περίπτωση σύνδεσης κινητήρα επαγωγής στην ονομαστική τάση προκύπτει ρεύμα με δύο συνιστώσες: μια περιοδική ημιτονοειδή και μια ομόμορφη (απεριοδική) η οποία αποσβένεται πολύ γρήγορα και γι' αυτό αμελείται. Γι' αυτό ως ρεύμα εκκινήσεως θεωρείται μόνο η περιοδική συνιστώσα. Γενικά ισχύει ότι  $\frac{I_{περ}}{I_{ονομ}} = 4 \text{ έως } 7$ . [15]

Στους κινητήρες με δακτυλιοφόρο δρομέα η εκκίνηση μπορεί να επιτευχθεί με σχετικά μικρά ρεύματα εκκίνησης με τη σύνδεση εξωτερικής αντίστασης στο δρομέα. Αυτή η ξεχωριστή αντίσταση δεν αυξάνει μόνο τη ροπή εκκίνησης, αλλά πα-ράλληλα μειώνει και το ρεύμα εκκίνησης.

Στους κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού το ρεύμα εκκίνησης παίρνει μεγάλο εύρος τιμών και εξαρτάται κυρίως από την ονομαστική ισχύ του κινητήρα και από την ενεργό αντίσταση του δρομέα στις συνθήκες εκκίνησης. Για τον προσδιορισμό του ρεύματος στις συνθήκες εκκίνησης όλοι οι κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού χαρακτηρίζονται με κάποιο κωδικό γράμμα (δεν πρέπει να συγχέεται με το γράμμα που προσδιορίζει την κλάση) που βρίσκεται στις πινακίδες τους. Το κωδικό γράμμα θέτει τα όρια της έντασης του ρεύματος με την οποία μπορεί να λειτουργήσει ο κινητήρας κατά την εκκίνηση.

Τα παραπάνω όρια εκφράζονται με τη φαινόμενη ισχύ εκκίνησης του κινητήρα συναρτήσει της ονομαστικής του ιπποδύναμης.

Ο προσδιορισμός του ρεύματος εκκίνησης ενός επαγωγικού κινητήρα γίνεται με ανάγνωση της ονομαστικής τάσης, της ονομαστικής ιπποδύναμης και του κωδικού γράμματος από την πινακίδα του κινητήρα.

Αν είναι απαραίτητο, το ρεύμα εκκίνησης ενός επαγωγικού κινητήρα μπορεί να μειωθεί με τη χρήση κάποιου κυκλώματος εκκίνησης. Όμως, αν εισαχθεί ένα τέτοιο κύκλωμα, μειώνεται επίσης η ροπή εκκίνησης του κινητήρα.

Ένας τρόπος μείωσης του ρεύματος εκκίνησης είναι η εισαγωγή αυτεπαγωγών ή αντιστάσεων στο δίκτυο ισχύος κατά την εκκίνηση. Άλλος εναλλακτικός τρόπος είναι η μείωση της τάσης εισόδου του κινητήρα κατά την εκκίνηση με την εισαγωγή αυτομετασχηματιστών.

Εδώ πρέπει να γίνει κατανοητό το ότι, ενώ το ρεύμα εκκίνησης μειώνεται ανάλογα με τη μείωση της τάσης εισόδου, η ροπή εκκίνησης μειώνεται με το τετράγωνο της τάσης στα άκρα

του κινητήρα. Έτσι, η ελάττωση του ρεύματος εκκίνησης μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο για ένα συγκεκριμένο ποσοστό, αν ο κινητήρας πρέπει να ξεκινά με κάποιο φορτίο στον άξονα του.

Η ολίσθηση ή η ταχύτητα ενός επαγωγικού κινητήρα, στην οποία εμφανίζεται η μέγιστη ροπή του, είναι δυνατό να μεταβάλλεται με την αντίσταση του δρομέα. Η τιμή αυτής της μέγιστης ροπής είναι ανεξάρτητη από την αντίσταση του δρομέα. Αν η αντίσταση του δρομέα έχει μεγάλη τιμή, η ταχύτητα στην οποία εμφανίζεται η μέγιστη ροπή είναι μικρή, με αποτέλεσμα να είναι αυξημένη η ροπή εκκίνησης του κινητήρα. Όμως, αυτό το πλεονέκτημα μεγάλης ροπής εκκίνησης εξαργυρώνεται με τη φτωχή διακύμανση ταχύτητας στην περιοχή κανονικής λειτουργίας. Από την άλλη μεριά, μια μικρή αντίσταση στο δρομέα μειώνει τη ροπή εκκίνησης και βελτιώνει τη διακύμανση ταχύτητας. Κάθε σχεδίαση επαγωγικού κινητήρα θα πρέπει να είναι ένας συμβιβασμός των δυο παραπάνω αλληλοσυγκρουόμενων απαιτήσεων.

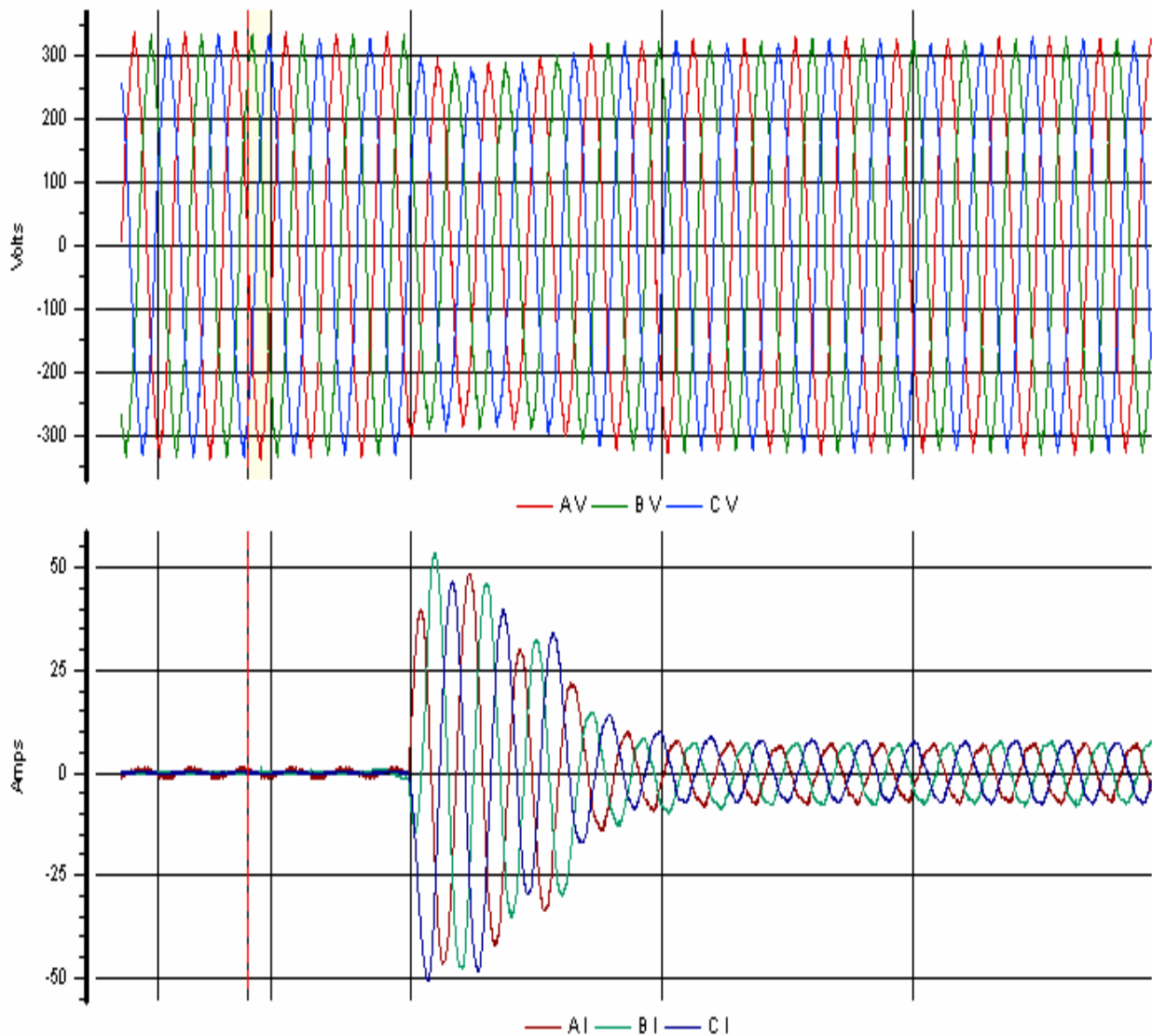
Μια τέτοια συμβιβαστική σχεδίαση επιτυγχάνεται με την εισαγωγή δρομέων με βαθιές εγκοπές ή διπλού κλωβού. Αυτοί οι δρομείς παρουσιάζουν μεγάλη ενεργό αντίσταση στην εκκίνηση και μικρή ενεργό αντίσταση στην κανονική λειτουργία. Μ' αυτόν τον τρόπο ο ίδιος κινητήρας διαθέτει ταυτόχρονα υψηλή ροπή εκκίνησης και ικανοποιητική διακύμανση ταχύτητας. Το ίδιο ακριβώς μπορεί να συμβεί και σ' ένα κινητήρα με δακτυλιοφόρο δρομέα και μεταβλητή αντίσταση στο δρομέα.

Σκοπός των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο υβριδικό σύστημα του Κ.Α.Π.Ε. ήταν η μελέτη των χαρακτηριστικών εκκίνησης (ρεύμα κατά την εκκίνηση – χρόνος εκκίνησης) ενός τριφασικού κινητήρα επαγωγής 3 kW και η διαπίστωση της βύθισης της τάσης τροφοδοσίας . Πραγματοποιήθηκαν δύο πειράματα : α) την τάση τροφοδοσίας την παρείχε η μηχανή diesel και β) την τάση τροφοδοσίας την παρείχαν οι μπαταρίες μέσω του αντιστροφέα sunny island.

## 7.2 Εκκίνηση του κινητήρα 3 kW από τη μηχανή diesel

Ο τριφασικός κινητήρας επαγωγής είναι ονομαστικής ισχύος 3 kW και πρόκειται για μηχανή αφαλάτωσης .

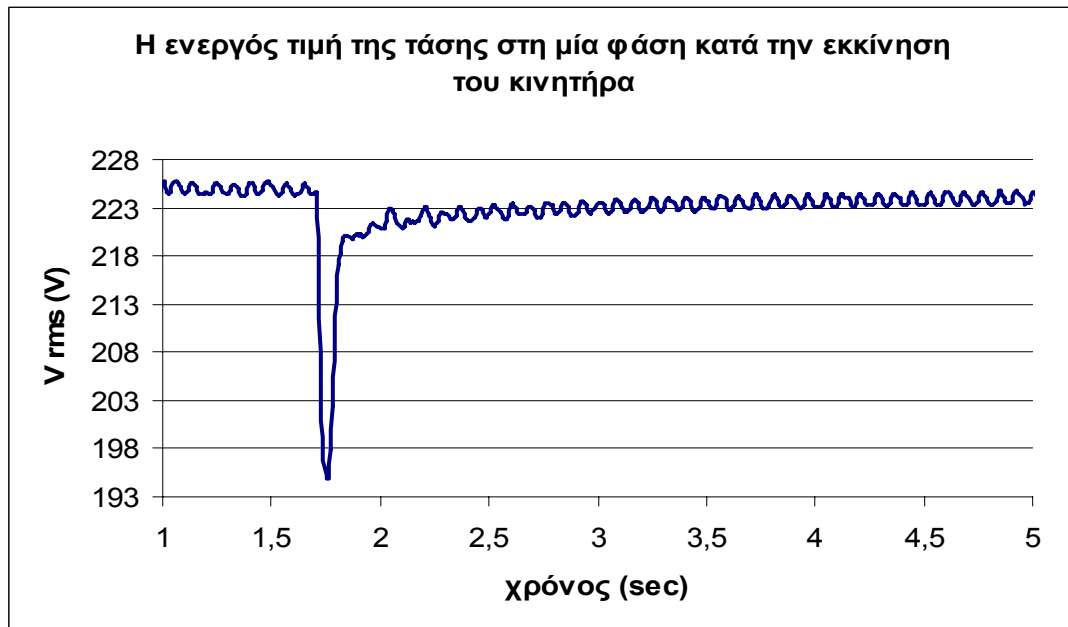
Στο σχήμα 7.2 φαίνονται οι κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος όταν πραγματοποιείται η εκκίνηση του κινητήρα που συνδέεται με τη νηζελογεννήτρια και παρατηρούμε τα αποτελέσματα που είναι η βύθιση της τάσης τροφοδοσίας και το μεγάλο ρεύμα εκκίνησης .



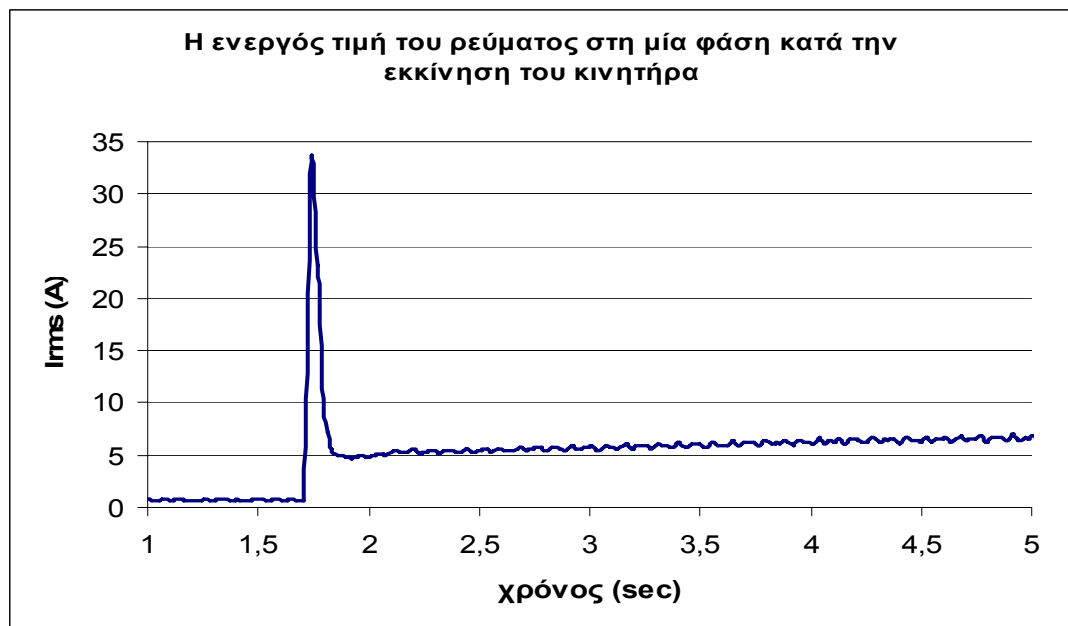
Σχήμα 7.2: Οι κυματομορφές τάσης και ρεύματος συναρτήσει του χρόνου.

Στα σχήματα 7.3 και 7.4 φαίνονται η ενεργός τιμή της τάσης και της έντασης του ρεύματος αντίστοιχα κατά την εκκίνηση του κινητήρα . Όπως αναμενόταν παρατηρούμε τη βύθιση τάσης και την αύξηση του ρεύματος που γίνεται περίπου 7 φορές μεγαλύτερο από το ρεύμα μόνιμης κατάστασης. Η βύθιση τάσης διαρκεί περίπου 0.15 sec και έχει  $d\% = \frac{\Delta U}{U} 100\% = 13\%$

όπου  $\Delta U$  η πτώση τάσης και  $U$  η τάση πριν την εκκίνηση.



Σχήμα 7.3

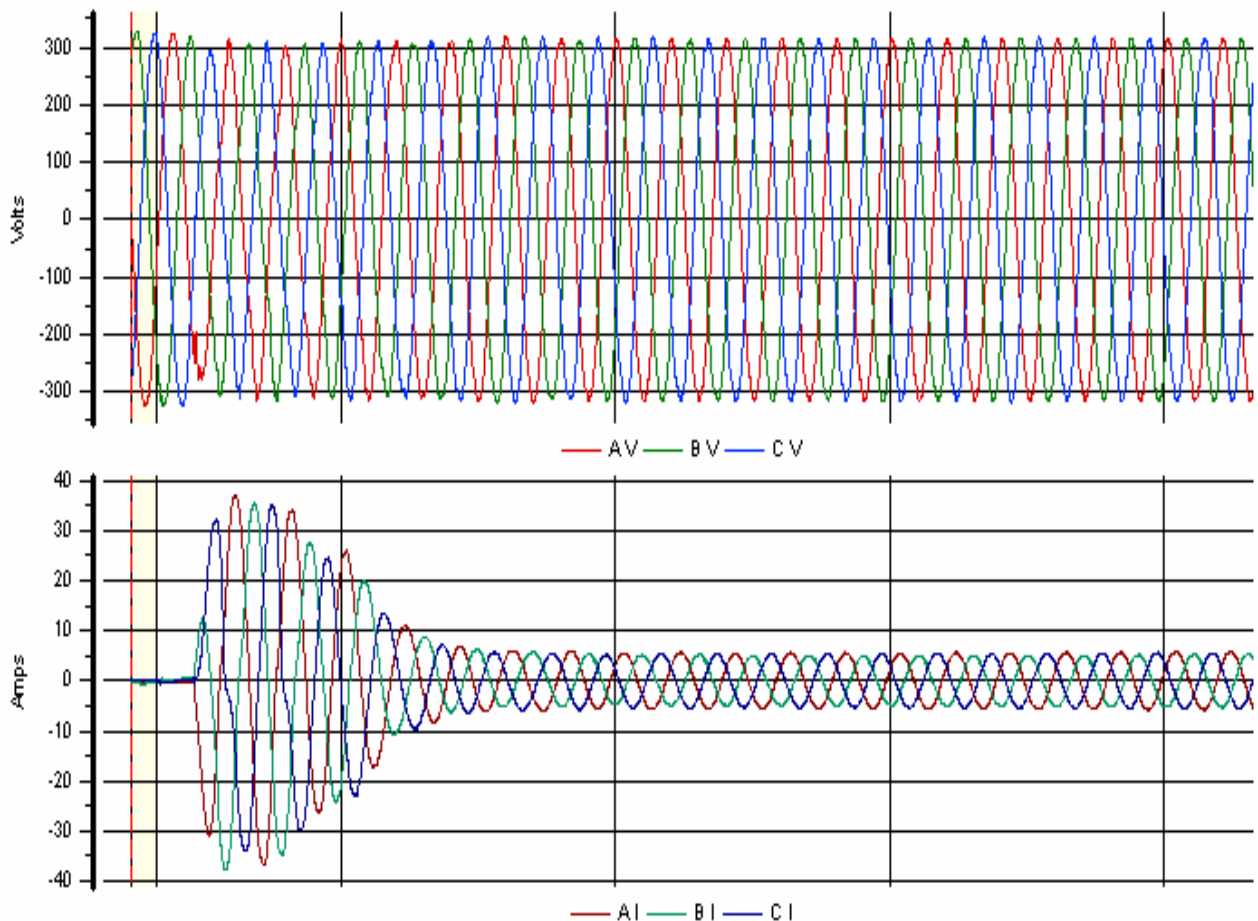


Σχήμα 7.4



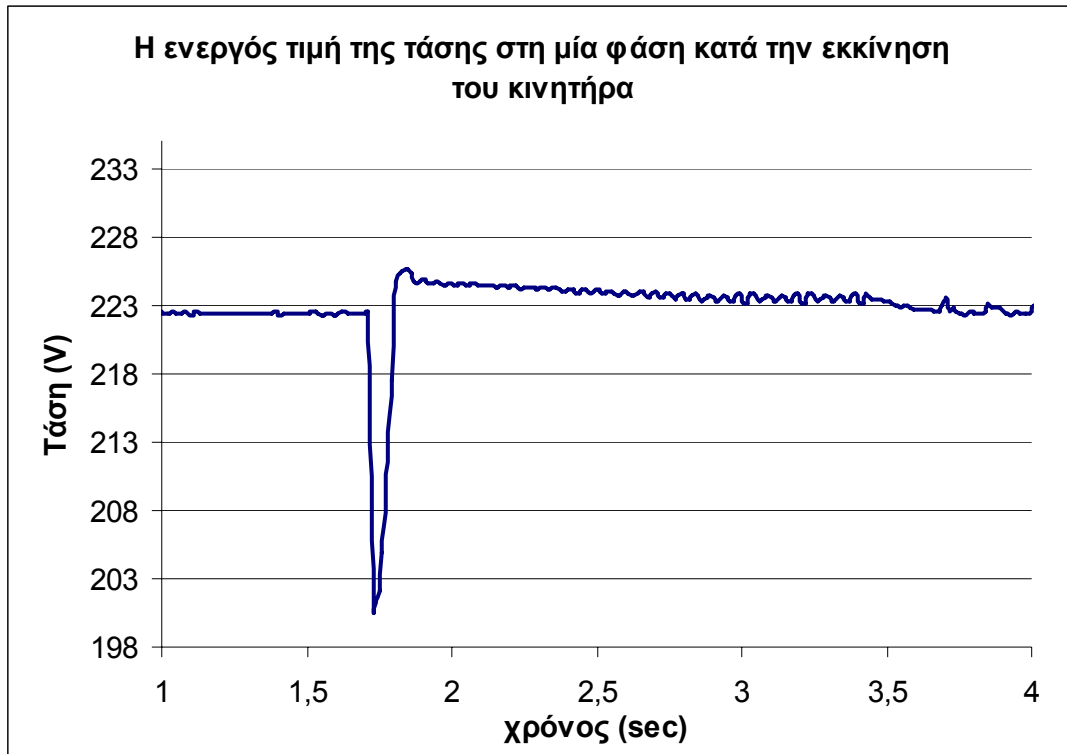
### 7.3 Εκκίνηση του κινητήρα 3 kW από τις μπαταρίες μέσω του αντιστροφέα sunny island

Στο σχήμα 7.5 φαίνονται οι κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος όταν πραγματοποιείται η εκκίνηση του κινητήρα που συνδέεται με τις μπαταρίες μέσω του αντιστροφέα sunny island και γίνονται εμφανείς η βύθιση τάσης και η ανύψωση του ρεύματος κατά το μεταβατικό φαινόμενο.



Σχήμα 7.5: Οι κυματομορφές τάσης και ρεύματος συναρτήσει του χρόνου.

Στα σχήματα 7.6 και 7.7 που ακολουθούν φαίνονται η ενεργός τιμή της τάσης και της έντασης του ρεύματος αντίστοιχα κατά την εκκίνηση του κινητήρα. Όπως αναμενόταν παρατηρούμε βύθιση τάσης και αύξηση του ρεύματος που γίνεται περίπου 5 φορές μεγαλύτερο από το ρεύμα μόνιμης κατάστασης. Η βύθιση τάσης διαρκεί περίπου 0.1 sec και έχει  $d\% = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\% = 11\%$ .

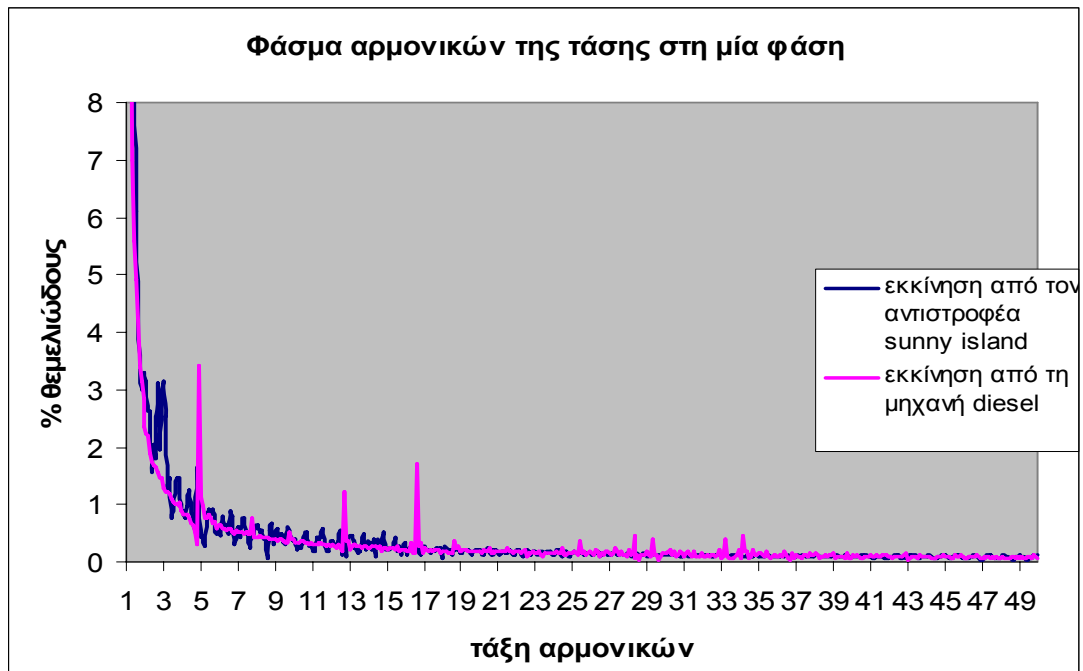


Σχήμα 7.6

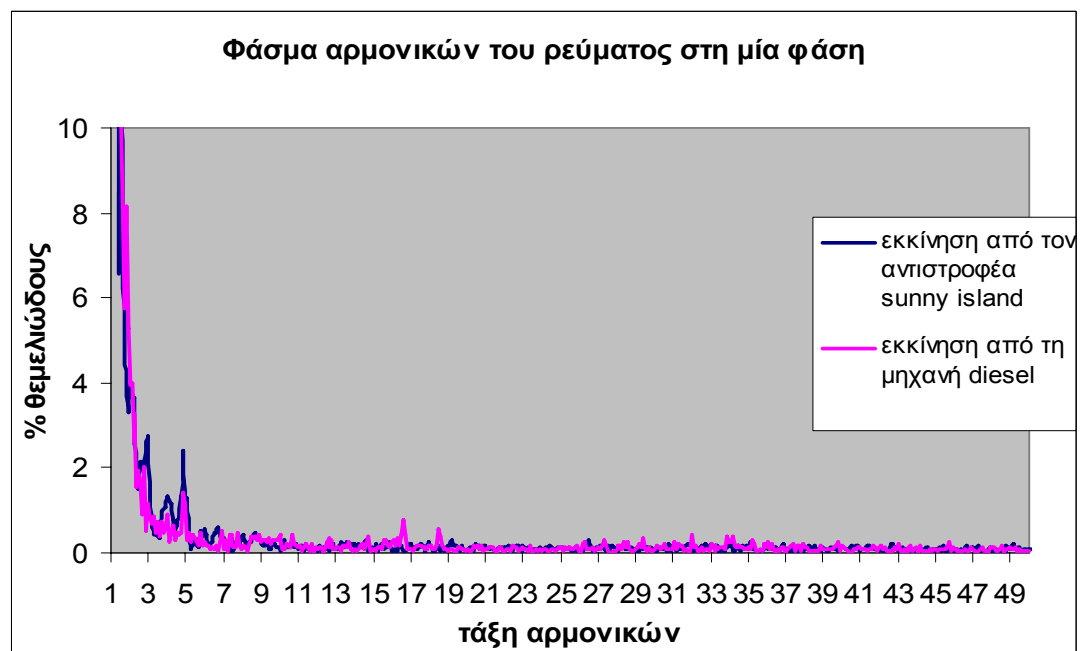


Σχήμα 7.7

Στα σχήματα 7.8 και 7.9 παρουσιάζεται το φάσμα αρμονικών της τάσης και του ρεύματος. Στην περίπτωση σύνδεσης με τη diesel στη τάση κυριαρχούν οι αρμονικές 5<sup>η</sup>, 13<sup>η</sup> και 17<sup>η</sup> όπως και στη λειτουργία της diesel εν κενώ. Στην περίπτωση σύνδεσης με τις μπαταρίες πιο έντονη παρουσιάζεται η 3<sup>η</sup> αρμονική. Το ρεύμα και στις δύο περιπτώσεις εμφανίζει μειωμένη αρμονική παραμόρφωση με λίγο αυξημένες τις αρμονικές τάξης 3 και 5.



Σχήμα 7.8



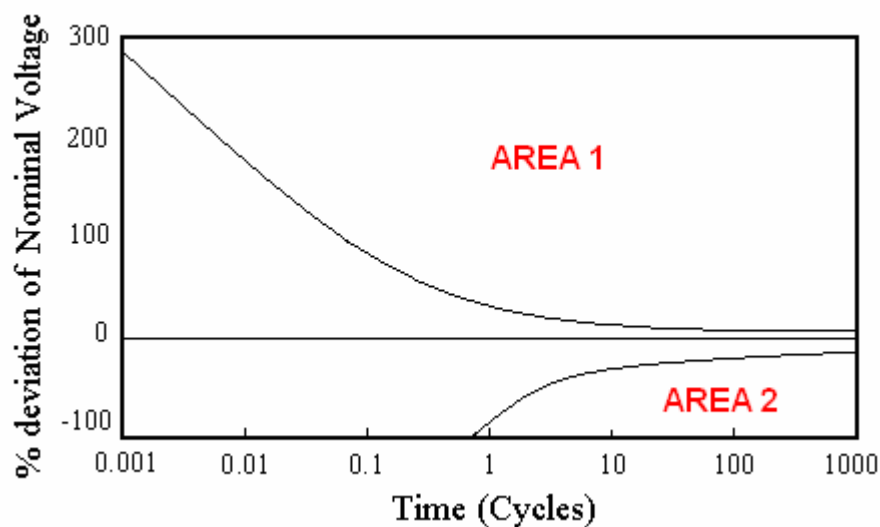
Σχήμα 7.9

Σύμφωνα διάφορες εκτενείς έρευνες ποιότητας ισχύος που έχουν διεξαχθεί, οι βυθίσεις τάσης, οι σύντομες διακοπές, οι υπερτάσεις και οι υποτάσεις είναι οι κύριες διαταραχές ποιότητας ισχύος, που επιδρούν σε εμπορικά, βιομηχανικά και οικιακά ηλεκτρικά φορτία, που καταστρέφουν τον εξοπλισμό και οδηγούν σε μεγάλες οικονομικές απώλειες. [18] Για να διαπιστώσουμε πόσο επιβλαβής είναι μια βύθιση τάσης για τον εξοπλισμό θα πρέπει να τη συγκρίνουμε με τις καμπύλες που συνοδεύουν κάθε ευαίσθητη ηλεκτρική συσκευή που συνδέεται στο δίκτυο και παρέχονται από τους κατασκευαστές. Οι καμπύλες αυτές δείχνουν την τυπική αντοχή της συσκευής σε κλίμακα μεγέθους-διάρκειας της πτώσης τάσης.

Ένα τυπικό παράδειγμα τέτοιας καμπύλης είναι αυτή του σχήματος 7.10 που αφορά υπολογιστές (IEEE 446-1987). Γεγονότα μέσα στις περιοχές 1 και 2 προκαλούν δυσλειτουργία στους υπολογιστές. Η περιοχή 1 αναφέρεται σε υπερτάσεις ενώ η περιοχή 2 σε υποτάσεις. [19]

Για παράδειγμα, η πτώση τάσης που προκαλεί η εκκίνηση του κινητήρα στο υβριδικό σύστημα του Κ.Α.Π.Ε χαρακτηρίζεται από 13% πτώση τάσης 0.15sec διάρκεια, δε βρίσκεται μέσα στην περιοχή 2, οπότε δε θα προκαλούσε δυσλειτουργία σε έναν υπολογιστή που θα μπορούσε να είναι συνδεδεμένος στο ίδιο δίκτυο.

Ανάλογες καμπύλες υπάρχουν για όλους τους τύπους ευαίσθητων σε διαταραχές συσκευών.



Σχήμα 7.10 : IEEE 446-1987 καμπύλη

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>

### ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΒΔΟΜΑΔΑΣ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το κύριο χαρακτηριστικό αυτών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας , συγκρινόμενων με τις συμβατικές πηγές, είναι ότι η ροή ισχύος είναι από τη φύση της στοχαστική διαδικασία, μη ελεγχόμενη και με συνεχείς διακυμάνσεις. Για να διαπιστωθεί , λοιπόν, η ροή ισχύος της φωτοβολταϊκής μονάδας προς το δίκτυο και η επίδρασή της στην τάση του δικτύου έγιναν κάποιες μετρήσεις εβδομάδας , τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται στα παρακάτω σχήματα 8.1, 8.2 και 8.3 . Οι μετρήσεις έχουν ληφθεί ως οι μέσες τιμές 10λέπτου.

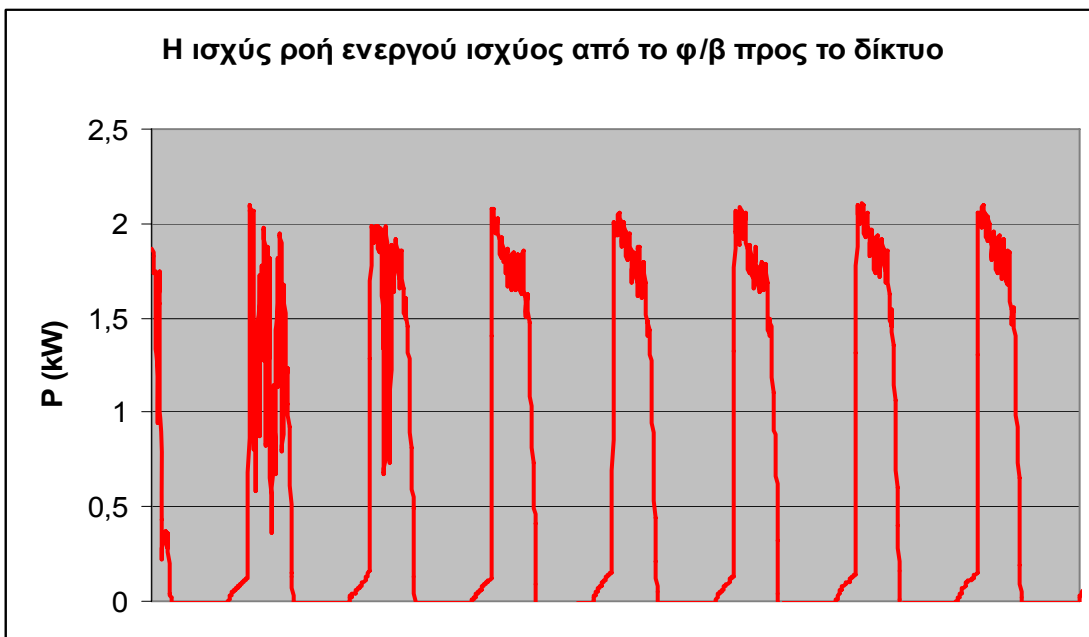
Το όργανο μέτρησης μπορεί με την επιλογή REPORTS κατά EN 50160 να δημιουργήσει μια αναφορά ,η οποία κατέληξε ότι το σύστημα είναι συμβατό με αυτό το πρότυπο .



Σχήμα 8.1



Σχήμα 8.2



Σχήμα 8.3

Συγκρίνοντας τα σχήματα 8.1 και 8.2 βλέπουμε ότι η ενεργός τιμή της τάσης του δικτύου χωρίς τη σύνδεση του φ/β κυμαίνεται από 227 έως 241 V, ενώ μετά τη σύνδεση του φ/β κυμαίνεται

μεταξύ 230 και 242 V. Γενικά με τη σύνδεση του φ/β παρατηρείται μια ανύψωση της τάσης του δικτύου. Το γεγονός αυτό εξηγείται αν λάβουμε υπόψη ότι η διαφορά τάσης μεταξύ 2 άκρων διασυνδετικής γραμμής συνολικής σύνθετης αντίστασης  $R+jX$  δίνεται από τον τύπο

$$\Delta U = \frac{RP + XQ}{V}$$

όπου P η ροή ενεργού ισχύος, Q η ροή αέργου ισχύος και V η τάση του δικτύου. Επίσης, αναφερόμαστε στο δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης, όπου το καλώδιο σύνδεσης έχει  $R > X$ , άρα η διαφορά της τάσης ρυθμίζεται κυρίως από τη ροή ενεργού ισχύος. Επομένως, με τη ροή ενεργού ισχύος από το φ/β προς το δίκτυο οδηγούμαστε σε μια μικρή ανύψωση της τάσης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan , H. Wayne Beaty , “Electrical Power Systems Quality”, Mc Graw-Hill, ISBN-0-07-018031-8.
- [2] Στέφανος Ν. Μανιάς , Αθανάσιος Καλετσάνος , “Βιομηχανικά Ηλεκτρονικά ” , εκδόσεις Συμμεών, Αθήνα 2001.
- [3] Power Quality and DER :an overview of the impact of the different power-quality disturbances on DER and of the impact of DER on the different power-quality disturbances,  
EU-DEEP, FP6 Project: SES6-CT-2003-503516.
- [4] Ph. Feracci, “Power Quality”, Cahier technique no.199, Schneider Electric.
- [5] “Standards and regulations on Power Quality”,  
EU-DEEP, FP6 Project: SES6-CT-2003-503516.
- [6] Τεχνικές Προδιαγραφές για τη Σύνδεση Παραγωγών στα Δίκτυα Διανομής , Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Διεύθυνση Ανάπτυξης και Διαχείρισης Δικτύων , Αθήνα 2004.
- [7] [www.protasis.net.gr](http://www.protasis.net.gr)
- [8] Stavros A. Papathanassiou , Fritz Santjer , “Power Quality Measurements in an Autonomous  
Island Grid with High Wind Penetration”. Accepted for publication in IEEE Trans. on Power Delivery (paper TPWRD-00252-2004).
- [9] Στέφανος Ν. Μανιάς , “Ηλεκτρονικά Ισχύος” , εκδόσεις Συμμεών, Αθήνα 2000.
- [10] “Sunny Island – Installation and Operating Instructions. Bidirectional Battery Inverter SI3300 for stand-alone applications, V.2.1 (preliminary)”. SMA Regelsysteme GmbH.



- [11] SILCOVERT TL Instruction Manual.
- [12] D. P. Manjure and E. B. Makram: “Impact of unbalance on power system harmonics”  
10th International Conference on Harmonics and Quality of Power, IEEE Conf., 6-9 Oct.  
2002, Vol. 1, pp. 328 – 333.
- [13] P.J.M. Heskes, J.H.R. Enslin, “Power Quality behaviour of different Photovoltaic Inverter  
topologies”, this paper was presented at the PCIM-2003 , 24<sup>th</sup> International Conference  
May  
20-23, 2003, Nurnberg, Germany.
- [14] Jean Noël Fiorina, “inverters and harmonics (case studies of non-linear loads)”, Cahier  
technique no.159, first issued september 1993.
- [15] Ι.Α.Τεγόπουλος , “Ηλεκτρικές Μηχανές-μόνιμη κατάσταση”,μέρος Β’, εκδόσεις  
συμμετρία, Αθήνα 1991.
- [16] Andrew Kotsopoulos, Peter J. M. Heskes, Mark J. Jansen, “Zero-Crossing Distortion in  
Grid-Connected PV Inverters”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 52, no.2,  
April 2005.
- [17] Stephen J. Chapman “ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ AC-DC” .
- [18] Shawn McNulty, Bill Howe, “Power Quality Problems and Renewable Energy Solutions”,  
PRIMEN, September 2002.
- [19] Lisa M. Anderson, Kenneth B. Bowes, Northeast Utilities, “The Effect of Power-Line  
Disturbances on Consumer Electronic Equipment”, IEEE Transactions on Power Delivery,  
Vol.5, No. 2, April 1990.