



Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

**“ΑΠΟΦΥΓΗ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΕ
ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
(ANTI-ISLANDING DETECTION)”**

Επιβλέπων Καθηγητής:
Σπουδαστής:

κ. Τσιώλης Σπύρος
Καρράς Απόστολος *ΑΜ:* 31923

Αθήνα

Ιούνιος - 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, τον κ. Τσιώλη Σπύρο, ο οποίος με βοήθησε να διαλέξω ένα θέμα πτυχιακής εργασίας που μου ταίριαζε και που μέσω αυτού, μου δόθηκε η ευκαιρία να γνωρίσω περισσότερο τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Θα ήθελα επίσης να τον ευχαριστήσω γιατί καθ' όλη την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας μου προσέφερε αρκετή βοήθεια με τις γνώσεις του και με καθοδήγησε σωστά για την αποπεράτωσή της. Θα ήταν παράλειψή μου να μην εκφράσω θερμές ευχαριστίες πρωτίστως στην οικογένειά μου, που είναι και θα είναι πάντα αρωγός όλων των προσπαθειών μου, αλλά και στους φίλους μου, που μου έδειξαν αμέριστη συμπαράσταση όλα αυτά τα χρόνια στη σχολή και μαζί περάσαμε πολλές ευχάριστες και δυσάρεστες καταστάσεις.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	i
Περιεχόμενα.....	ii
Λίστα σχημάτων.....	iii
Summary.....	v
Πρόλογος.....	1
1^ο Κεφάλαιο “ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”	1
1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	2
1.2 Μορφές ΑΠΕ.....	3
1.2.1 Ηλιακή (Θερμική Ενέργεια).....	3
1.2.1.1 <i>Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα</i>	3
1.2.1.2 <i>Παθητικά Ηλιακά και Υβριδικά Συστήματα</i>	3
1.2.1.3 <i>Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα</i>	3
1.2.2 Αιολική Ενέργεια.....	4
1.2.3 Υδραυλική (Υδροηλεκτρική) Ενέργεια.....	4
1.2.4 Βιομάζα.....	5
1.2.5 Γεωθερμική Ενέργεια.....	6
1.2.6 Κυματική Ενέργεια.....	7
1.2.6.1 <i>Ενέργεια Από Κύματα</i>	7
1.2.6.2 <i>Ενέργεια Από Παλίρροια</i>	7
1.2.6.3 <i>Θερμική Ενέργεια Από Ωκεανούς</i>	8
1.2.6.4 <i>Ενέργεια Από Θαλάσσια Ρεύματα</i>	8
1.3 Είδη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	9
1.3.1 Αιολική Ενέργεια.....	9
1.3.2 Φωτοβολταϊκά.....	10
1.3.3 Βιοκαύσιμα.....	13
1.3.4 Υδρογόνο.....	14
1.4 Πλεονεκτήματα Και Μειονεκτήματα ΑΠΕ.....	16
1.5 Παγκόσμια Και Πανελλαδική Εφαρμογή ΑΠΕ.....	17
1.5.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα Στην Ελλάδα.....	17
1.5.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα Στον Υπόλοιπο Κόσμο.....	19
2^ο Κεφάλαιο “ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΝΗΣΙΔΑΣ (ISLANDING)”	21
2.1 Κύρια Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	22
2.2 Δομή Ενός Φωτοβολταϊκού Συστήματος.....	23
2.3 Φαινόμενο Νησίδας.....	25
2.3.1 Αίτια Εμφάνισης Φαινομένου.....	25
2.3.2 Λόγοι Αποφυγής Αυτόνομης Λειτουργίας.....	25
2.4 Μέθοδοι Αποφυγής Φαινομένου Νησίδας.....	26
2.4.1 Μέθοδοι Από Την Πλευρά Του Φωτοβολταϊκού Συστήματος.....	27
2.4.1.1 <i>Παθητικές Μέθοδοι</i>	27
2.4.1.2 <i>Ενεργητικές Μέθοδοι</i>	34
2.4.2 Μέθοδοι Από Την Πλευρά Του Δικτύου.....	40
2.4.2.1 <i>Εισαγωγή Φορτίου</i>	40
2.4.2.2 <i>Σύστημα Επικοινωνίας Ανάμεσα Στο Δίκτυο Και Στο Φωτοβολταϊκό Σύστημα</i>	41
3^ο Κεφάλαιο “ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ της ΕΜΠΕΔΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”	43
3.1 Πρώτη Μέθοδος Προσέγγισης Σύνθετης Αντίστασης.....	44
3.2 Δεύτερη Μέθοδος Προσέγγισης Σύνθετης Αντίστασης.....	46

3.3	Τρίτη Μέθοδος Προσέγγισης Της Σύνθετης Αντίστασης.....	50
3.4	Συμπεράσματα.....	58
4^ο	Κεφάλαιο “ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ”.....	59
4.1	Κύκλωμα ισχύος.....	60
4.1.1	Κατηγοριοποίηση και εκλογή του κατάλληλου αντιστροφέα.....	60
4.1.2	Θεωρητική Μελέτη Αντιστροφέα – Επιλογή Διακοπτικών Στοιχείων.....	61
4.1.3	Φίλτρο Εξόδου.....	64
4.1.4	Εξομοίωση Αντιστροφέα.....	66
4.2	Κύκλωμα Οδήγησης Παλμών.....	69
4.3	Κύκλωμα Ελέγχου Φωτοβολταϊκού Συστήματος.....	71
4.3.1	Κύκλωμα Προσαρμογής Ημίτονου.....	71
4.3.2	Λόγοι Διόρθωσης Συντελεστή Ισχύος.....	73
4.3.3	Ο Ελεγκτής PI.....	74
4.3.4	Εξομοίωση Κλειστού Βρόχου.....	81
4.3.5	Μετρητικό Ρεύματος.....	84
	Βιβλιογραφία.....	86

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1	Εγκατεστημένη Φωτοβολταϊκή Ισχύς Παγκοσμίως.....	22
Σχήμα 2.2	3 Τοπολογίες Φ/Β Γεννητριών Για Οικιακά Συστήματα.....	24
Σχήμα 2.3	Κατηγοριοποίηση Μεθόδων Προστασίας.....	26
Σχήμα 2.4	Φ/Β Σύστημα – Μετασχηματιστής Χαμηλής Τάσης Και Ροή Ισχύος.....	27
Σχήμα 2.5	Ανεξέλεγκτη Νησίδα Λειτουργίας.....	29
Σχήμα 2.6	Παράσταση Διαστήματος Αστοχίας Της Μεθόδου.....	30
Σχήμα 2.7	Λειτουργία Μεθόδου Εντοπισμού Διαφοράς Φάσης.....	32
Σχήμα 2.8	Απόκριση Διαφοράς Φάσης Στη Μέθοδο SMS.....	35
Σχήμα 2.9	Απόκριση Συστήματος Σε Αύξηση Διαφοράς Φάσης Τάσης Δικτύου-Ρεύματος Εξόδου.....	35
Σχήμα 2.10	Σύγκριση Παραμορφωμένου Ημίτονου Που Εισάγει Η Μέθοδος Με Το “Καθαρό” Ημίτονο.....	36
Σχήμα 2.11	Λειτουργία Ενεργού Μετατόπισης Συχνότητας.....	37
Σχήμα 2.12	Εισαγωγή Φορτίου Από Το Δίκτυο.....	40
Σχήμα 2.13	Σύστημα Επικοινωνίας Δικτύου- Φ/Β Συστήματος.....	41
Σχήμα 3.1	Σύστημα Δοκιμής Της Μεθόδου.....	44
Σχήμα 3.2	Διαφοροποίηση Αποτελέσματος Ανάλογα Με Την Τεχνική Που Χρησιμοποιείται.....	45
Σχήμα 3.3	Ισοδύναμο Κύκλωμα.....	46
Σχήμα 3.4	Διανυσματικό Διάγραμμα Μεγεθών.....	46
Σχήμα 3.5	Τοπολογία Εντοπισμού Σύνθετης Αντίστασης.....	47
Σχήμα 3.6	Ηλεκτρικό Ισοδύναμο Του Συστήματος Σε Αρμονική Συχνότητα.....	48
Σχήμα 3.7	Διανυσματικό Διάγραμμα Μεγεθών.....	48
Σχήμα 3.8	Απόκλιση Πειραματικών Τιμών (αριστερά) Από Τις Θεωρητικά Υπολογισμένες.....	49
Σχήμα 3.9	Διάταξη Μέτρησης Εμπέδησης.....	50
Σχήμα 3.10	Βηματική Τάση Διαταραχής – Περίοδος 160ms.....	51

Σχήμα 3.11 Μοντέλο 1-Απλοποιημένο Μοντέλο Δικτύου, Λαμβάνοντας Υπόψη Μόνο Την Επαγωγή Του Μετασχηματιστή.....	52
Σχήμα 3.12 Μοντέλο2-Περιλαμβάνει Μετασχηματιστή, Γραμμή Μεταφοράς, Φορτίο	52
Σχήμα 3.13 Μοντέλο 3-Μετασχηματιστής, Γραμμή Μεταφοράς, Φορτίο Και Πυκνωτής Διόρθωσης Του Συντελεστή Ισχύος.....	53
Σχήμα 3.14 Προσέγγιση Εμπέδησης Στο Μοντέλο 1	53
Σχήμα 3.15 Προσέγγιση Εμπέδησης Στο Μοντέλο 2	54
Σχήμα 3.16 Προσέγγιση Εμπέδησης Στο Μοντέλο 3	54
Σχήμα 3.17 Πειραματικό Μοντέλο.....	55
Σχήμα 3.18 Μεταβολή Τάσης Και Ρεύματος	56
Σχήμα 3.19 Σύγκριση Θεωρητικών – Πειραματικών Αποτελεσμάτων Για Μέτρηση Εμπέδησης	56
Σχήμα 4.1 Φ/Β Σύστημα Διασυνδεδεμένο Με Δίκτυο Χ.Τ	59
Σχήμα 4.2 Αντιστροφέας Μισής Γέφυρας.....	60
Σχήμα 4.3 Αντιστροφέας Πλήρους Γέφυρας.....	60
Σχήμα 4.4 Διαμόρφωση Παλμών Κατά Εύρος.....	62
Σχήμα 4.5 Αρμονικό Περιεχόμενο.....	64
Σχήμα 4.6 Μοντέλο Εξομοίωσης Μονοφασικού Αντιστροφέα	66
Σχήμα 4.7 Μοντέλο PWM	66
Σχήμα 4.8 Έξοδος Πλήρους Γέφυρας (Πριν Το Φίλτρο).....	67
Σχήμα 4.9 Αρμονικό Περιεχόμενο Τάσης Εξόδου	67
Σχήμα 4.10 Τάση Δευτερεύοντος Μετασχηματιστή	68
Σχήμα 4.11 Το Ρεύμα Εξόδου Καθυστερεί Της Τάσης Δικτύου	68
Σχήμα 4.12 Τυπική Σύνδεση IR2113	70
Σχήμα 4.13 Διάταξη Οδήγησης Παλμών	70
Σχήμα 4.14 Κύκλωμα Προσαρμογής Σήματος Προς μE	71
Σχήμα 4.15 Εξομοίωση Αθροιστή	72
Σχήμα 4.16 Τροφοδότηση Καταναλωτή Με Μιγαδική Αντίσταση Ζ Μέσω Γραμμής Με Αντίσταση $R_\gamma + jX_\gamma$	73
Σχήμα 4.17 Ελεγκτής PI.....	74
Σχήμα 4.18 Σχηματική Αναπαράσταση Επιλογής Λειτουργίας Σε Ανοιχτό-Κλειστό Βρόχο.....	75
Σχήμα 4.19 P-Ελεγκτής.....	75
Σχήμα 4.20 Εξομοίωση P-Ελεγκτή Με $K_p=4$	76
Σχήμα 4.21 Αφαιρέτης	77
Σχήμα 4.22 Εξομοίωση Αφαιρέτη	77
Σχήμα 4.23 Ολοκληρωτής	78
Σχήμα 4.24 Μεταβατική Συμπεριφορά Ολοκληρωτή Σε Ημιτονοειδή Είσοδο.....	79
Σχήμα 4.25 Απόκριση Μόνιμης Κατάστασης Σε Ημιτονοειδή Είσοδο	79
Σχήμα 4.26 Απόκριση Σε Ημιτονοειδή Είσοδο Χωρίς Την Αντίσταση R_f	79
Σχήμα 4.27 Σύγκριση Τάσης Δικτύου – Ρεύματος Εξόδου Υπό Την Επίδραση Του PI	81
Σχήμα 4.28 Έξοδος Ελεγκτή.....	81
Σχήμα 4.29 Σήμα Προς Το Μικροελεγκτή	82
Σχήμα 4.30 Σύγκριση Τάσης Δικτύου – Ρεύματος Εξόδου. Εισαγωγή PI Στα 10ms.....	82
Σχήμα 4.31 Σύγκριση Τάσης Δικτύου – Ρεύματος Εξόδου. Εισαγωγή PI Στα 15ms.....	83
Σχήμα 4.32 Σήμα Προς μE Όταν Εισαχθεί Ο PI Στα 10ms	83
Σχήμα 4.33 Σήμα Προς μE Όταν Εισαχθεί Ο PI Στα 15ms.....	84
Σχήμα 4.34 Χαρακτηριστικά Συνδεσμολογίας Που Επιλέχθηκε.....	85
Σχήμα 4.35 Διάταξη Μέτρησης Ρεύματος	85

SUMMARY

Due to economical and environmental changes worldwide, in the last few years a trend in power engineering has been towards photovoltaic systems. In this thesis, these interesting systems are described deeply in order to acquire a better understanding. In chapter one, renewable sources of energy are introduced, which are fundamental for p/v systems. Their forms and species are analysed so that the reader has a spherical idea. Indeed, p/v systems compose one of the types of renewable sources of energy. Pros and cons are quoted. In addition, global and Hellenic applications of them are mentioned. Chapter two presents alternative methods of avoiding the islanding phenomenon. After introducing the main principles of p/v systems again, the so called islanding phenomenon is thoroughly explained. What causes it, the avoidance of independent function, the avoidance of the phenomenon itself and its methods, pros and cons of the methods. In chapter three, different methods of impedance of the electricity network are given. After a short introduction, it is explained how the impedance can intercept the islanding phenomenon in numerous ways, such as through an import of disruption or the exploitation of that interference. A third method is to introduce a disruption, record the outcome, process the response of the system and then approach the impedance. Afterwards, the conclusions of the methods mentioned above are presented. The fourth chapter is about the design of the experimental array. It analyses every single part of the items that compose the p/v system. Finally, the conclusion of the essay gives the reader the overall idea of the questioned subject.

Keywords: *solar energy, anti-islanding detection, anti-islanding phenomenon, photovoltaic systems, renewable energy sources, impedance, inverter*

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Λόγω οικονομικών και περιβαλλοντικών αλλαγών παγκοσμίως, τα τελευταία χρόνια η τάση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει στραφεί προς τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Σε αυτήν την πτυχιακή εργασία, τα συστήματα αυτά αναλύονται διεξοδικά με σκοπό την καλύτερη κατανόησή τους. Στο πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οι οποίες είναι θεμελιώδεις για τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Οι ιδιότητες και οι τύποι αναλύονται έτσι ώστε ο αναγνώστης να αποκτήσει μια σφαιρική άποψη για αυτά. Πράγματι, τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν μέρος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους. Επιπρόσθετα, αναφέρονται οι εφαρμογές τους σε παγκόσμιο και ελληνικό επίπεδο. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται εναλλακτικές λύσεις αποφυγής του φαινομένου νησίδας. Μετά την παρουσίαση των βασικών αρχών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, περιγράφεται αναλυτικά το φαινόμενο της νησίδας. Δηλαδή ποιές είναι οι αιτίες εμφάνισής του, η αποφυγή της ανεξάρτητης λειτουργίας, η αποφυγή του ίδιου του φαινομένου και των μεθόδων του, όπως και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεθόδων αυτών. Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται διαφορετικές μέθοδοι της αντίστασης του δικτύου ηλεκτροδότησης. Μετά από μία μικρή εισαγωγή, εξηγείται πως η αντίσταση μπορεί να παρεμποδίσει το φαινόμενο νησίδας με διάφορους τρόπους, όπως μέσω της εισαγωγής διαταραχής ή την εκμετάλλευση της παρεμβολής αυτής. Επίσης, μια τρίτη μέθοδος είναι αυτή της εισαγωγής διαταραχής, καταγραφής των επιπτώσεων, ανάλυσης της αντίδρασης του συστήματος και τέλος προσέγγισης της αντίστασης. Ακόμη, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα των μεθόδων που αναφέρθηκαν. Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στο σχεδιασμό της πειραματικής διάταξης. Αναλύονται όλα τα συστατικά που απαρτίζουν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Τέλος, τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής ερμηνεύουν όλα τα απαραίτητα στοιχεία του θέματος.

Λέξεις κλειδιά: ηλιακή ενέργεια, ανίχνευση φαινομένου νησίδας, φαινόμενο νησίδας, φωτοβολταϊκά συστήματα, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εμπέδηση, αντιστροφείας

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”

Η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και η εξάντληση των συμβατικών, μη ανανεώσιμων καυσίμων αποτελεί αναμφισβήτητα ένα από τα πιο κρίσιμα και μείζονα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει σήμερα ο πλανήτης μας. Το επίκαιρο αυτό θέμα βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος παγκόσμιων οργανισμών, κυβερνήσεων, ερευνητικών κέντρων, των ενδιαφερόμενων παραγωγών και χρηστών ενέργειας αλλά και όλων των ενημερωμένων και προβληματισμένων πολιτών.

Η αναζήτηση της απαραίτητης ενέργειας από τον άνθρωπο, η επάρκεια των αποθηκών και πηγών της, η βέβαιη, αναπόφευκτη και ταχεία εξάντληση κάποιων από αυτές, οι βέλτιστοι τρόποι εκμετάλλευσης και αξιοποίησής της, η εξοικονόμησή της καθώς και η μεγάλη και όλο αυξανόμενη τα τελευταία χρόνια επιβάρυνση του περιβάλλοντος από μηχανισμούς και συστήματα μετατροπής και μεταφοράς της ενέργειας, συνιστούν το περίφημο «Ενεργειακό/Περιβαλλοντικό Πρόβλημα» ή «Ενεργειακή Κρίση». Το φαινόμενο αυτό φαίνεται να έχει πολλές πτυχές. Πρώτα από όλα είναι πρόβλημα ενεργειακό, έχει να κάνει δηλαδή με την αλόγιστη κατανάλωση ενέργειας και με τον κίνδυνο να εξαντληθούν στις επόμενες δεκαετίες τα ενεργειακά διαθέσιμα της γης, με άμεση συνέπεια να διαταραχθεί επικίνδυνα η ισορροπία στο οικοσύστημά της. Επίσης, είναι πρόβλημα πολιτιστικό, αφού συνδέεται με την ικανοποίηση ενός διψασμένου για ενέργεια πολιτισμού, όπως είναι ο σημερινός πολιτισμός. Είναι όμως και πρόβλημα κοινωνικό, γιατί οι ανάγκες σε ενέργεια είναι άνισα κατανεμημένες στον πλανήτη.

Για όλους αυτούς τους λόγους, έχει ξεκινήσει μια παγκόσμια προσπάθεια για τη μείωση των προαναφερθέντων επιπτώσεων με την ορθολογική χρήση της ενέργειας και την εφαρμογή τεχνολογιών εξοικονόμησής της. Οι επιστήμονες λοιπόν έχουν στραφεί προς την αξιοποίηση όλο και περισσότερων Ανανεώσιμων Μορφών Ενέργειας (ΑΠΕ), πέρα από τις συμβατικές μορφές, που δεν είναι άλλες από το πετρέλαιο, τους γαιάνθρακες, το φυσικό αέριο και την πυρηνική ενέργεια. Με αυτόν τον τρόπο προωθείται η εκμετάλλευση ενέργειας φιλική προς το περιβάλλον, συμβάλλοντας έτσι καθοριστικά στην αειφόρο ανάπτυξη και εκεί εναποτίθενται όλες οι ελπίδες της ανθρωπότητας για ένα καλύτερο μέλλον.

1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Τα συμβατικά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο και το κάρβουνο εξαντλούνται. Η ανάγκη για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε) γίνεται όλο και πιο επιτακτική. Οι ήπιες μορφές ενέργειας (ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ή νέες πηγές ενέργειας ή πράσινη ενέργεια) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχάς, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Έτσι οι ΑΠΕ θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη. Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή χρήση του 1979 αλλά και λόγω της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται επί ίσοις όροις παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Επιπλέον, έχει διαπιστωθεί πως ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

1.2 Μορφές ΑΠΕ

Οι κυριότερες μορφές ΑΠΕ είναι ανεξάντλητες και χαμηλής ή μηδενικής οικονομικής αξίας πριν μετατραπούν σε χρήσιμες μορφές (ενέργειας) και είναι οι ακόλουθες:

1.2.1 Ηλιακή (Θερμική Ενέργεια)

«Ο, τι είναι ωραίο προέρχεται από τον Ήλιο, το θεό της αλήθειας και της σύνεσης» (Όμηρος). Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο, ο οποίος μεταφέρει γιγαντιαία ποσά ενέργειας (περίπου $2.1 \cdot 10^{15}$ kWh/μέρα) στη γη σε μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τέτοιες ενέργειες είναι το φως, η φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα, η θερμική ενέργεια και η διάφορες ακτινοβολίες. Αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται τη θερμότητα και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα του ήλιου. Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας διακρίνονται σε:

1.2.1.1 *Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα*

Μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Περιλαμβάνουν τις επιπλέον συσκευές των κτιρίων που έχουν ως στόχο τη συλλογή, την αποθήκευση και τη διανομή θέρμανσης.

1.2.1.2 *Παθητικά Ηλιακά και Υβριδικά Συστήματα*

Αφορούν κατάλληλες αρχιτεκτονικές λύσεις και χρήση κατάλληλων δομικών υλικών για τη μεγιστοποίηση της εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας (συλλογή, αποθήκευση και διανομή) στα κτίρια (σε τοίχους, παράθυρα, πατώματα, κτλ).

1.2.1.3 *Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα*

Μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε άμεσα ηλεκτρική ενέργεια. Τα πλεονεκτήματα είναι αρκετά, καθώς η εν λόγω ενέργεια είναι πάντα διαθέσιμη, προσφέρεται δωρεάν, είναι φιλική προς το περιβάλλον, είναι σχετικά απλή στη δέσμευσή της, τεχνικά και οικονομικά εφικτή ως προς την αξιοποίησή της, εξοικονομεί συμβατικά καύσιμα, παρέχει ικανοποιητική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, έχει τεράστιο οικονομικό όφελος για την εθνική οικονομία,

συναντάται άφθονη στην Ελλάδα και μπορεί να αξιοποιηθεί με τους τρεις προαναφερθέντες τρόπους.

1.2.2 Αιολική Ενέργεια

Είναι η κινητική ενέργεια που παράγεται από τον άνεμο και μετατρέπεται σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια ή/και σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο άνεμος δημιουργείται λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας του αέρα που δημιουργεί διαφορές βαρομετρικής πίεσης μεταξύ παρακείμενων τύπων. Με άλλα λόγια, η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο προκαλεί την κίνηση του ανέμου. Περίπου 2% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη γη μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια, η οποία υπολογίζεται σε 3,6 δις MW, ποσό ενέργειας εξωφρενικά μεγάλο για τις ανάγκες της ανθρωπότητας. Η αιολική ενέργεια έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται πλατιά για ηλεκτροπαραγωγή. Οι χρήσεις της περιλαμβάνουν ακόμη και την άντληση νερού. Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται είναι οι ανεμογεννήτριες που συναντώνται κυρίως στα δημοφιλή πλέον αιολικά πάρκα. Τα πλεονεκτήματά της είναι παρόμοια με αυτά της ηλιακής. Η ενέργεια είναι άφθονη, αποσυγκεντρωμένη και δωρεάν. Είναι επιπρόσθετα φιλική προς το περιβάλλον, αρκετά οικονομική και αποτελεί εναλλακτική λύση για την εξοικονόμηση πετρελαίου. Τέλος, ο εξοπλισμός που απαιτεί είναι απλός στη κατασκευή και στη συντήρηση, έχει μεγάλη διάρκεια ζωής και ενισχύει την ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια.

1.2.3 Υδραυλική (Υδροηλεκτρική) Ενέργεια

Αξιοποιεί τις υδατοπτώσεις, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή/και το μετασχηματισμό της σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια. Αποτελεί την πιο διαδεδομένη μορφή ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Για χιλιάδες χρόνια χρησιμοποιούνταν στους νερόμυλους που άλεθαν το σιτάρι. Σήμερα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η υδραυλική ενέργεια αποτελεί κλάδο των υδατοπτώσεων και συμβάλλει στην αντιμετώπιση της παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας στο 6% και στην παγκόσμια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στο 19%. Η μετατροπή ενέργειας των υδατοπτώσεων με τη χρήση υδραυλικών τουρμπίνων παράγει την υδροηλεκτρική ενέργεια που ταξινομείται σε ενέργειας μεγάλης και μικρής κλίμακας. Η μικρής κλίμακας υδροηλεκτρική ενέργεια δεν επιφέρει τόσο μεγάλες επιπτώσεις στο περιβάλλον όσο η μεγάλης κλίμακας. Οι μεγάλης κλίμακας

υδροηλεκτρικές μονάδες από την άλλη πλευρά απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Τα μικρής κλίμακας συστήματα τοποθετούνται δίπλα σε ποτάμια και κανάλια και έχουν λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Οι υδατοπτώσεις (υδραυλική ενέργεια) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε νερόμυλους, υδροτριβεία, πριονιστήρια, κλωστοϋφαντουργεία και το σημαντικότερο για παραγωγή ρεύματος για κάλυψη προσωπικών αναγκών ή για πώληση σε άλλους καταναλωτές. Πλεονεκτήματά της είναι η μεγάλη απόδοση 80-85% σε σχέση με τις παραδοσιακές πηγές που έχουν 30-35% απόδοση. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι δυνατό να τεθούν σε λειτουργία αμέσως μόλις ζητηθεί επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς (γαιανθράκων και πετρελαίου), που απαιτούν χρόνο προετοιμασίας. Οι πολύ υψηλοί βαθμοί απόδοσης των υδροστροβίλων, που μερικές φορές υπερβαίνουν και το 90% καθώς και η πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής των μικροϋδροηλεκτρικών έργων, που μπορεί να υπερβαίνει και τα 100 έτη, αποτελούν δύο χαρακτηριστικούς δείκτες ενεργειακής αποτελεσματικότητας και τεχνολογικής ωριμότητας των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών. Πρόκειται για μία «καθαρή» και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Μέσω των υδροταμιευτήρων δίνεται η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων, αναψυχή, αθλητισμός.

1.2.4 Βιομάζα

Είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια. Η θέρμανση με ξύλα στο τζάκι αποτελεί ένα παράδειγμα χρήσης της βιομάζας ως ενεργειακής πηγής. Ως βιομάζα, θεωρείται γενικά η οργανική ύλη που μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια. Χρησιμοποιούνται οι υδατάνθρακες των φυτών με σκοπό να αποδεσμευτεί η ενέργεια που δεσμεύτηκε από αυτά κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Εκτός από τα ξύλα, στη βιομάζα συγκαταλέγονται τα αγροτικά υπολείμματα (κλαδιά δέντρων, υπολείμματα ξυλείας, υπολείμματα σιτηρών, το πυρηνόξυλο της ελιάς, κλπ), τα απόβλητα της βιομηχανίας, τα αστικά απόβλητα αλλά και τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά για την παραγωγή ενέργειας. Επίσης, είναι δυνατόν να παράγουμε χρήσιμα καύσιμα (βιοαέριο), από την μετατροπή των στερεών αποβλήτων, των αποβλήτων των ζώων και από τα υγρά απόβλητα. Η βιομάζα αποτελείται κυρίως από ενώσεις, που βασικά στοιχεία έχουν τον άνθρακα και το υδρογόνο. Μπορεί να διαχωριστεί σε δυο μέρη: το πρώτο μέρος είναι η

παραδοσιακή που περιορίζεται σε μικρή κλίμακα και περιλαμβάνει τα καυσόξυλα, το κάρβουνο για οικιακή χρήση, την ήρα του ρυζιού, άλλα φυτικά υπολείμματα και την κοπριά των ζώων. Το δεύτερο μέρος είναι η *σύγχρονη* βιομάζα που απευθύνεται σε μεγάλης κλίμακας χρήσεις και η χρησιμοποίηση της έχει ως σκοπό την υποκατάσταση των συμβατικών πηγών ενέργειας. Περιλαμβάνει ξερά κλαδιά από το δάσος, γεωργικά υπολείμματα, αστικά απόβλητα, το βιοαέριο και βιοκαύσιμα από ενεργειακές καλλιέργειες όπως είναι τα έλαια από τα φυτά ή και φυτά που περιέχουν άμυλο και σάκχαρο. Μέθοδοι επεξεργασίας της βιομάζας είναι η *καύση* που ως προϊόν της έχει την παραγωγή θερμότητας και η *πυρόλυση*, η οποία είναι μια θερμική διαδικασία (450-600 βαθμούς Κελσίου) όπου γίνεται η αποικοδόμηση της βιομάζας με απουσία του οξυγόνου. Στην πυρόλυση, το βιοέλαιο αποτελεί το 70%, το βιοαέριο το 15% και ο ξυλάνθρακας το 15%. Υπάρχει επίσης και η διαδικασία της *αεριοποίησης* της βιομάζας, όπου γίνεται η θερμική αποικοδόμηση στους 750-850 βαθμούς Κελσίου κατά την απουσία οξυγόνου. Τα παραγόμενα προϊόντα είναι το βιοαέριο, η πίσσα και ο ξυλάνθρακας. Όσον αφορά τα υγρά βιοκαύσιμα που προέρχονται από την επεξεργασία της βιομάζας είναι το βιοντίζελ και η βιοαιθανόλη. Το βιοντίζελ παράγεται από φυτικά έλαια κυρίως με μετεστερεοποίηση (ή αλκοόλυση. Είναι η αντικατάσταση της αλκοόλης σε έναν εστέρα από μία άλλη με μια διαδικασία παρόμοια με την υδρόλυση, με τη διαφορά ότι η αλκοόλη χρησιμοποιείται αντί για το νερό). Η βιοαιθανόλη παράγεται κυρίως από την ζύμωση των αμυλούχων και σακχαρούχων συστατικών. Τα πλεονεκτήματα τα οποία χαρακτηρίζουν την βιομάζα ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι η θετική συνεισφορά σχετικά με το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την όξινη βροχή εφόσον με την εκμετάλλευση της δεν παράγονται ρυπογόνα αέρια. Επιπλέον, η προστασία έναντι της διάβρωσης του εδάφους, οι χαμηλές εισροές σε λιπάσματα, η μείωση της χρήσης των φυτοφαρμάκων και η εκμετάλλευση εδαφών χαμηλής γονιμότητας αποτελούν θετικά της στοιχεία.

1.2.5 Γεωθερμική Ενέργεια

Είναι η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα. Η γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα που περιέχεται στο εσωτερικό της γης η οποία προκαλεί διάφορα γεωλογικά φαινόμενα σε παγκόσμια κλίμακα. Η θερμότητα αυτή παράγεται από την ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Η εκμετάλλευση της

γεωθερμικής ενέργειας μπορεί να γίνει άμεσα χρησιμοποιώντας το ζεστό νερό για την θέρμανση κτιρίων. Συγκεκριμένα το ζεστό νερό που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια της γης οδηγείται μέσω σωλήνων στα κτίρια και τις επιχειρήσεις για παροχή θερμότητας. Επίσης η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρισμού. Πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση γεωθερμικής ενέργειας είναι η χαμηλή παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα που έχει ως αποτέλεσμα την αποφυγή στην συνεισφορά της στην δημιουργία όξινης βροχής καθώς και στην αλλαγή του κλίματος. Τέλος, η εκμετάλλευση της απαιτεί τη χρήση μιας μικρής έκτασης γης χωρίς να επιβαρύνει το περιβάλλον με την εκμετάλλευση περιοχών που θα υποβάθμιζαν την ποιότητα του περιβάλλοντος.

1.2.6 Κυματική Ενέργεια

Οι ωκεανοί καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη, και μπορεί να αποτελέσουν μια τεράστια αποθήκη ενέργειας. Η ενέργεια αυτή έχει τη μορφή κινητικής ενέργειας που λαμβάνεται από τα κύματα, τις παλίρροιες, τα θαλάσσια ρεύματα καθώς και τη μορφή θερμικής ενέργειας, που λαμβάνεται από τη μετατροπή της θερμικής ενέργειας των ωκεανών.

1.2.6.1 Ενέργεια Από Κύματα

Η ενέργεια που περικλείουν τα κύματα, η οποία ακόμα αποτελεί αντικείμενο έρευνας και πειραματισμού για τον ικανοποιητικό τρόπο αξιοποίησης της, αποτελεί μια άλλη μορφή ενέργειας, που έμμεσα οφείλεται στον ήλιο. Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος και το μήκος ενός κύματος, τόσο μεγαλύτερα ποσά ενέργειας μεταφέρει. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την εκμετάλλευση των κυμάτων. Η ενέργεια των κυμάτων ανοικτής θάλασσας διατίθεται με τη μορφή εναλλασσόμενων ανοδικών και καθοδικών κινήσεων του νερού. Από τα κύματα κοντά στην ακτή εκμεταλλευόμαστε την προωστική δύναμη του μετώπου του κύματος για την κίνηση στροβιλοκινητήρων νερού ή αέρα. Κύματα που σπάζουν στην ακτή χρησιμοποιούνται για την πλήρωση φραγμάτων για να παραχθεί εν συνεχεία υδροηλεκτρική ενέργεια. Όλες οι μέθοδοι είναι φιλικές προς το περιβάλλον και δεν το επιβαρύνουν.

1.2.6.2 Ενέργεια Από Παλίρροια

Η παλίρροια, δηλαδή το να αποσύρεται η θάλασσα (άμπωτη) και μετά από ορισμένες ώρες να επιστρέφει (πλημμυρίδα), αποτελεί μορφή έμμεσης ηλιακής ενέργειας. Οι παλίρροιες

οφείλονται σε δυνάμεις που δημιουργούνται στις υδάτινες μάζες από το πεδίο βαρύτητας, καθώς και από την περιστροφή της γης. Διαρκούν για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα και έχουν συγκεκριμένη κατεύθυνση. Σήμερα, για λόγους περιβαλλοντικούς και εξοικονόμησης ενέργειας, το ενδιαφέρον γι' αυτή τη μορφή ενέργειας είναι έντονο. Το κόστος των εγκαταστάσεων παλιρροϊκής ενέργειας είναι πολύ μεγάλο. Εντούτοις, μακροπρόθεσμα θεωρείται μια ενδιαφέρουσα επένδυση επειδή οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, όπως επίσης και το γεγονός ότι δεν υπάρχει κόστος καυσίμου και δεν δημιουργούνται καυσαέρια. Τα πλεονεκτήματα είναι ότι για την παραγωγή της ενέργειας δε χρησιμοποιούνται συμβατικές μορφές ενέργειας, συνεπώς δεν επιβαρύνεται το περιβάλλον με εκπομπή αερίων που συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η ενέργεια από παλίρροια θεωρείται επιπρόσθετα μια αρκετά αξιόπιστη μορφή ενέργειας λόγω της προβλεψιμότητάς της σε σύγκριση με την ηλιακή ή την αιολική ενέργεια, οι οποίες εξαρτώνται από την εποχή του χρόνου και τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες.

1.2.6.3 Θερμική Ενέργεια Από Ωκεανούς

Παρατηρούνται εκεί όπου υπάρχουν θαλάσσια ρεύματα από τους πόλους προς τον ισημερινό και όπου ο ήλιος, μεταφέροντας μεγάλα ποσά θερμότητας, θερμαίνει το νερό στην επιφάνεια της θάλασσας μέχρι και 25°C. (Στις τροπικές περιοχές, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ επιφάνειας και βάθους 600 μέτρων, μπορεί να φθάνει τους 20°C. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας μπορεί να γίνει μια εκμεταλλεύσιμη πηγή ενέργειας σε ορισμένες περιοχές του κόσμου.)

1.2.6.4 Ενέργεια Από Θαλάσσια Ρεύματα

Αυτά αποτελούν ένα τεράστιο ενεργειακό δυναμικό, το οποίο όμως για να αξιοποιηθεί, απαιτεί εξελιγμένη τεχνολογία, έρευνα και μελέτη.

1.3 Είδη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Τα είδη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι η Αιολική Ενέργεια, τα Φωτοβολταϊκά, η Βιομάζα και τέλος το Υδρογόνο.

1.3.1 Αιολική Ενέργεια

Όπως έχει αναφερθεί και νωρίτερα, είναι η ενέργεια που παράγει ο κινούμενος (πνέοντας) αέρας. Με τη βοήθεια ανεμογεννητριών, η ενέργεια αυτή μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό. Η σημερινή τεχνολογία βασίζεται σε ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα 2 ή 3 πτερυγίων, με αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ 200 – 400kW. Όταν εντοπιστεί μια ανεμώδης περιοχή – και εφόσον βέβαια έχουν προηγηθεί οι απαραίτητες μετρήσεις και μελέτες – για την αξιοποίηση του αιολικού της δυναμικού, τοποθετούνται μερικές δεκάδες ανεμογεννήτριες, οι οποίες απαρτίζουν ένα αιολικό πάρκο. Η εγκατάσταση κάθε ανεμογεννήτριας διαρκεί 1-3 μέρες. Αρχικά ανυψώνεται ο πύργος και τοποθετείται τμηματικά πάνω στα θεμέλια. Μετά ανυψώνεται η άτρακτος στην κορυφή του πύργου. Στη βάση του πύργου συναρμολογείται ο ρότορας ή δρομέας (οριζοντίου άξονα, πάνω στον οποίο είναι προσαρτημένα τα πτερύγια), ο οποίος αποτελεί το κινητό μέρος της ανεμογεννήτριας. Η άτρακτος περιλαμβάνει το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στη συνέχεια ο ρότορας ανυψώνεται και συνδέεται στην άτρακτο. Τέλος, γίνονται οι απαραίτητες ηλεκτρικές συνδέσεις.

Στα μειονεκτήματα του εν λόγω είδους ενέργειας συγκαταλέγεται και το γεγονός ότι οι ανεμογεννήτριες μπορεί να προκαλέσουν τραυματισμούς ή θανατώσεις πουλιών, κυρίως αποδημητικών γιατί τα ενδημικά «συνηθίζουν» την παρουσία των μηχανών και τις αποφεύγουν. Γι' αυτό καλύτερα να μην κατασκευάζονται αιολικά πάρκα σε δρόμους μετανάστευσης πουλιών. Σε κάθε περίπτωση, πριν τη δημιουργία ενός αιολικού πάρκου ή και οποιασδήποτε εγκατάστασης ΑΠΕ θα πρέπει να έχει προηγηθεί Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ). Πάντως η συχνότητα ατυχημάτων πουλιών σε αιολικά πάρκα είναι πολύ μικρότερη αυτής των ατυχημάτων με αυτοκίνητα. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας και την αυστηρότερη επιλογή του τύπου εγκατάστασης (π.χ. πλωτές πλατφόρμες σε ανοικτή θάλασσα) το παραπάνω πρόβλημα, αλλά και ο θόρυβος από τη λειτουργία των μηχανών, έχουν σχεδόν λυθεί. Ακόμη, αν και το κόστος της έχει μειωθεί δραστικά τα τελευταία χρόνια, δεν παύει να είναι ακόμη σχετικά υψηλό. Επιπρόσθετα, η ισχυρότερη πρόκληση στη χρησιμοποίηση του ανέμου ως πηγή ενέργειας είναι ότι ο άνεμος

είναι περιοδικά διακοπτόμενος και δεν φυσά πάντα όταν ο ηλεκτρισμός απαιτείται. Η αιολική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί (εκτός αν χρησιμοποιηθούν μπαταρίες). Επιπλέον, δεν μπορούν όλοι οι άνεμοι να τιθασευτούν ώστε να καλυφθούν, τη στιγμή που προκύπτουν, οι ανάγκες σε ηλεκτρισμό.

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με μεγάλη ακτογραμμή και τεράστιο πλήθος νησιών. Ως εκ τούτου, οι ισχυροί άνεμοι που πνέουν κυρίως στις νησιωτικές και παράλιες περιοχές προσδίδουν ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στη χώρα. Το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 13,6% του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας. Ενέργειες για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας έχουν γίνει σε ολόκληρη τη χώρα, ενώ στο γεγονός αυτό έχει συμβάλλει και η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις ΑΠΕ, η οποία ενθαρρύνει και επιδοτεί επενδύσεις στις Ήπιες μορφές ενέργειας. Αλλά και σε εθνική κλίμακα, ο νέος αναπτυξιακός νόμος 3299/04, σε συνδυασμό με το νόμο για της ανανεώσιμες πηγές ενέργειας 3468/06, παρέχει ισχυρότατα κίνητρα ακόμα και για επενδύσεις μικρής κλίμακας. Η περιφέρεια της Δυτικής Ελλάδας αν και έχει μικρότερο αιολικό δυναμικό σε σύγκριση με άλλες περιοχές, διαθέτει ένα ισχυρό ηλεκτρικό δίκτυο και το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ύπαρξη ανεμωδών «νησίδων» (λόφοι, υψώματα κλπ. με εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό) την καθιστούν ενδιαφέρουσα για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων. Αιολικά πάρκα υπάρχουν και σε πλήθος νησιών, όπως το Αιολικό Πάρκο «Μανολάτη - Ξερολίμπα» του Δ.Δ. Διλινάτων Δήμου Αργοστολίου στην Κεφαλονιά. Στο ίδιο νησί έχουν ήδη δημιουργηθεί δυο ακόμη αιολικά πάρκα: το Αιολικό Πάρκο "Αγία Δυνατή" του Δήμου Πυλαρέων, και το Αιολικό Πάρκο "Ημεροβίγλι" στα διοικητικά όρια των Δήμων Αργοστολίου και Πυλαρέων. Με τη λειτουργία των τριών αιολικών πάρκων ο Νομός Κεφαλληνίας τροφοδοτεί το δίκτυο ηλεκτροδότησης της χώρας με σύνολο 75,6 MW ηλεκτρικής ισχύος. Επιπλέον, σε διαδικασία αδειοδότησης βρίσκονται πέντε ακόμη μονάδες. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ανάγκες του νησιού σε ηλεκτρική ενέργεια και σε περίοδο αιχμής (Αύγουστος) ανέρχονται σε 50MW. Η αντιστοιχία μεταξύ της ισχύος που αποδίδει η Κεφαλονιά στο δίκτυο και της ισχύος που καταναλώνει είναι εξαιρετικά ενθαρρυντική για την εξάπλωση της αιολικής ενέργειας και σε πολλά ακόμη νησιά της επικράτειας.

1.3.2 Φωτοβολταϊκά

Ανακαλύφθηκαν από τον Γάλλο φυσικό Alexandre Edmund Becquerel το 1839. Τα ηλιακά Φωτοβολταϊκά στοιχεία, γνωστά και ως φωτοβολταϊκά (Φ/Β), αποτελούν μια προσέγγιση

υψηλής τεχνολογίας για την άμεση μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλιακή ενέργεια. Η σημαντικότερη χρήση της ηλιακής ενέργειας είναι ο ηλιακός ηλεκτρισμός. Αυτός ο ηλεκτρισμός παράγεται απευθείας από το ηλιακό φως με τη χρήση φωτοβολταϊκών κυττάρων. Ο όρος «φωτοβολταϊκά» αναφέρεται σε μια ηλεκτρική τάση που προκαλείται από το φως. Τα ηλιακά κύτταρα κατ' αρχάς αναπτύχθηκαν για να δίνουν ισχύ στους δορυφόρους για τα προγράμματα του διαστήματος κατά την διάρκεια της δεκαετίας του '50. Τώρα χρησιμοποιούνται στη γη και κατασκευάζονται από διάφορες εταιρίες σε όλο τον κόσμο. Τα περισσότερα ηλιακά κύτταρα φτιάχνονται από ένα είδος πυριτίου. Καθώς το ηλιακό φως εκπέμπεται στην επιφάνεια του πυριτίου, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από μια διαδικασία που είναι γνωστή ως φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Μεμονωμένα τα ηλιακά κύτταρα μπορούν να συγκριθούν με μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα ράδιο και σε άλλες μικροσυσκευές σε αυτές μόνο που παράγουν χαμηλή τάση συνεχούς ρεύματος.

Μόνα τους τα Φ/Β κύτταρα ή αλλιώς “ηλιακά κύτταρα” ενώνονται ηλεκτρικά για να σχηματίσουν Φ/Β υπομονάδες, που είναι οι οικοδομικοί λίθοι των Φ/Β συστημάτων. Η υπομονάδα είναι η μικρότερη Φ/Β υπομονάδα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει σημαντικό ποσό Φ/Β ενέργειας και κατασκευάστηκε με διαφορετικές ηλεκτρικές αποδόσεις που κυμαίνονται από μερικά watts ως και περισσότερα από 100 watts συνεχούς ρεύματος (DC). Οι υπομονάδες μπορούν να συνδέονται σε Φ/Β διατάξεις για να τροφοδοτούν μία ευρεία ποικιλία ηλεκτρικού εξοπλισμού. Δύο βασικοί τύποι Φ/Β τεχνολογιών που είναι διαθέσιμοι εμπορικά είναι το κρυσταλλικό πυρίτιο και η λεπτή μεμβράνη. Όσον αφορά την τεχνολογία του κρυσταλλικού πυριτίου, κάθε ένα κύτταρο είναι κομμένο σε μεγάλα μονά κρύσταλλα ή σε ράβδους από κρυσταλλικό πυρίτιο. Στην τεχνολογία των Φ/Β του άμορφου πυριτίου, το υλικό των Φ/Β είναι τοποθετημένο σε γυαλί ή σε λεπτό μέταλλο που μηχανικά υποστηρίζει το κύτταρο ή την υπομονάδα. Επιπροσθέτως, στις Φ/Β υπομονάδες, η σύνθεση που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί ένα Φ/Β σύστημα πρέπει να συμπεριλαμβάνει έναν ελεγκτή της φορτιζόμενης μπαταρίας, μπαταρίες, έναν μετατροπέα συνεχούς-εναλλασσόμενης τάσης ή μονάδα προσαρμογής ηλεκτροπαραγωγής PCU (power conditioning unit) (για εναλλακτική-συνεχή φόρτιση), διακόπτες ασφαλείας και ηλεκτρικές ασφάλειες, ηλεκτρικό κύκλωμα εδάφους και ηλεκτρικές συνδέσεις.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα δε χρησιμοποιούν μόνο την άμεση συνιστώσα του φωτός αλλά ταυτόχρονα παράγουν και ηλεκτρική ενέργεια. Επομένως χρησιμοποιούν τόσο τη διάχυτη ακτινοβολία όσο και το άμεσο φως του ήλιου. Όλοι έχουμε συναντήσει φωτοβολταϊκά συστήματα σε μικρούς υπολογιστές και ρολόγια. Εδώ και πολλά χρόνια, χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση μη διασυνδεδεμένων στο ηλεκτρικό δίκτυο

καταναλώσεων. Δορυφόροι, φάροι και απομονωμένα σπίτια χρησιμοποιούν παραδοσιακά τα φωτοβολταϊκά για την ηλεκτροδότησή τους. Στην Ελλάδα, η προοπτική ανάπτυξης και εφαρμογής των Φ/Β συστημάτων είναι τεράστια, λόγω του ιδιαίτερα υψηλού δυναμικού ηλιακής ενέργειας. Η ηλεκτροπαραγωγή από Φωτοβολταϊκά έχει ένα τεράστιο πλεονέκτημα αποδίδει την μέγιστη ισχύ της κατά τη διάρκεια της ημέρας που παρουσιάζεται η μέγιστη ζήτηση. Ανάλογα με τη χρήση του παραγόμενου ρεύματος, τα Φ/Β κατατάσσονται σε:

- ✓ Αυτόνομα συστήματα, η παραγόμενη ενέργεια των οποίων καταναλώνεται επιτόπου και εξολοκλήρου από την παραγωγή στην κατανάλωση.
- ✓ Διασυνδεδεμένα συστήματα, η παραγόμενη ενέργεια των οποίων διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να μεταφερθεί.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- ✓ Τεχνολογία φιλική στο περιβάλλον: δεν προκαλούνται ρύποι από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- ✓ Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει απολύτως τίποτα.
- ✓ Με την κατάλληλη γεωγραφική κατανομή, κοντά στους αντίστοιχους καταναλωτές ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής.
- ✓ Η λειτουργία του συστήματος είναι ολοσχερώς αθόρυβη.
- ✓ Έχουν σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης.
- ✓ Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής: οι κατασκευαστές εγγυώνται τα «κρύσταλλα» για 20-30 χρόνια λειτουργίας.
- ✓ Υπάρχει πάντα η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών.
- ✓ Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι π.χ. η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου.
- ✓ Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές: τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν άριστα τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, ένα μεγάλο πλεονέκτημα του Φ/Β συστήματος είναι ότι μπορεί να διασυνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (διασυνδεδεμένο σύστημα), καταργώντας με τον τρόπο αυτό την ανάγκη για

εφεδρεία και δίνοντας επιπλέον τη δυνατότητα στον χρήστη να πωλήσει τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου.

Ως μειονέκτημα θα μπορούσε να καταλογίσει κανείς στα φωτοβολταϊκά συστήματα το κόστος τους το οποίο, παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις, παραμένει ακόμη αρκετά υψηλό. Μια γενική ενδεικτική τιμή είναι 4000 ευρώ ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (kW) ηλεκτρικής ισχύος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι μια τυπική οικιακή κατανάλωση απαιτεί από 1,5 έως 3,5 κιλοβάτ, το κόστος της εγκατάστασης δεν είναι αμελητέο. Το ποσό αυτό, ωστόσο, μπορεί να αποσβεστεί σε περίπου 5-6 χρόνια και το Φ/Β σύστημα θα συνεχίσει να παράγει δωρεάν ενέργεια για τουλάχιστον άλλα 25 χρόνια. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα είναι πολλά, και το ευρύ κοινό έχει αρχίσει να στρέφεται όλο και πιο πολύ στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στα φωτοβολταϊκά ειδικότερα, για την κάλυψη ή την συμπλήρωση των ενεργειακών του αναγκών.

1.3.3 Βιοκαύσιμα

Ο όρος βιομάζα υποδηλώνει τα πάσης φύσεως υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής πριν ή μετά τη βιομηχανική τους επεξεργασία, καθώς και τα αστικά λύματα και τα απορρίμματα (βιοδιασπώμενα δηλαδή κλάσματα προϊόντων ή αποβλήτων διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων).

Ως βιοκαύσιμο ορίζεται το στερεό, το υγρό ή το αέριο καύσιμο που παράγεται από βιομάζα. Παραδείγματα αποτελούν το βιοντήζελ (πετρέλαιο βιολογικής προέλευσης), βιοαιθανόλη, βιοαέριο, βιομεθανόλη, βιοϋδρογόνο, βιο-ETBE (αιθυλο-τριτοταγής- βουτυλαιθέρας), βιο-MTBE (μεθυλο- τριτοταγής- βουτυλαιθέρας) κ.ά. Ιστορικά τα πρώτα καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο ανήκαν στην κατηγορία των βιοκαυσίμων. Έτσι το ξύλο, το λίπος, τα φυτικά λάδια αλλά και τα αποστάγματα όντας οργανικής προέλευσης εμπίπτουν στην κατηγορία των βιοκαυσίμων. Η μεγάλη ανάγκη σε φθηνά καύσιμα μεγάλου ενεργειακού περιεχομένου μετά την βιομηχανική επανάσταση, η οποία συνεχίζει αυξανόμενη έως σήμερα, ενίσχυσε σημαντικά τη χρήση ορυκτών καυσίμων, άνθρακα αρχικά και πετρελαϊκών παραγώγων αργότερα, σε βάρος των παραδοσιακών βιοκαυσίμων. Τα προβλήματα θέρμανσης του πλανήτη (φαινόμενο του θερμοκηπίου), τα οποία σχετίζονται άμεσα με το περιεχόμενο των καυσίμων σε άνθρακα και το εκπεμπόμενο κατά την καύση διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) έχουν δημιουργήσει κατά τα τελευταία χρόνια ένα

κλίμα στροφής προς βιοκαύσιμα τα οποία καλούνται να υποκαταστήσουν σταδιακά τα συμβατικά καύσιμα.

Οι κυριότερες πηγές βιοκαυσίμων είναι τα γεωργικά και τα δασικά υπολείμματα. Στα πρώτα περιλαμβάνονται τα εκκοκκιστήρια βαμβακιού (φύλλα και άχρηστες ίνες), τα ελαιουργεία (ελαιοπυρήνας), οι βιομηχανίες μεταποίησης φρούτων (πυρήνες), τα σπαστήρια αμυγδάλων (κέλυφος αμυγδάλων), τα πυρηνελαιουργεία (πυρηνόξυλο) και οι οριζόμυλοι (φλοιός ρυζιού). Ακόμη, στις πηγές συγκαταλέγονται και τα ζωικά απόβλητα αλλά και οι ενεργειακές καλλιέργειες (σόργος, αγριαγκινάρα, ελαιοκράμβη και καλάμι).

Η αξιοποίηση της βιοενέργειας έχει θετικά αποτελέσματα αρχικά στο περιβάλλον επειδή συμβάλλει στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ακόμη, στην τοπική ανάπτυξη, γιατί η φύτευση ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί να αποτελέσει λύση στο παγκόσμιο αγροτικό πρόβλημα. Συμβάλλει επίσης στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και ταυτόχρονα συνεισφέρει στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού μειώνοντας τις εισαγωγές καυσίμων.

1.3.4 Υδρογόνο

Το υδρογόνο αποτελεί το 90% του σύμπαντος και είναι το ελαφρύτερο αέριο στην φύση. Στη Γη βρίσκεται κυρίως σε ενώσεις όπως το νερό, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο κ.α. Για να παραχθεί υδρογόνο (να σπάσουν οι ενώσεις που αναφέραμε προηγουμένως) απαιτείται ενέργεια, άρα το υδρογόνο δεν είναι πηγή ενέργειας (μιας και δεν υπάρχει ελεύθερο στη φύση) αλλά είναι φορέας ενέργειας. Αν μάλιστα παραχθεί από καθαρή ενεργειακή πηγή, τότε είναι καθαρός φορέας ενέργειας.

Εκτιμάται ότι το υδρογόνο θα αποτελέσει ένα νέο καύσιμο που θα χρησιμοποιούμε στο μέλλον, τόσο στα σπίτια όσο και στα αυτοκίνητα μας. Έχει το πλεονέκτημα όταν "καίγεται" να μη ρυπαίνει την ατμόσφαιρα, αφού παράγει μόνο θερμότητα και νερό. Το υδρογόνο στο μέλλον θα παράγεται σε μεγάλο ποσοστό από την ηλεκτρόλυση του νερού, δηλαδή μια διαδικασία κατά την οποία το νερό διασπάται με χρήση ηλεκτρικού ρεύματος σε υδρογόνο και οξυγόνο. Επομένως, αφού θα παράγεται από το νερό και η χρήση του θα εκλύει νερό, το υδρογόνο θεωρείται πρακτικά ανεξάντλητο. Η παραγωγή υδρογόνου από νερό απαιτεί ηλεκτρισμό, που ιδανικά μπορεί να προέρχεται από τον άνεμο ή και τον ήλιο, έτσι ώστε να είναι απόλυτα φιλική προς το περιβάλλον. Συγκεκριμένα, το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγει μια ανεμογεννήτρια ή ένα φωτοβολταϊκό μπορεί να τροφοδοτεί μία συσκευή ηλεκτρόλυσης

που διασπά το νερό σε υδρογόνο και οξυγόνο. Στη συνέχεια, το υδρογόνο θα αποθηκεύεται σε κατάλληλες δεξαμενές για να χρησιμοποιηθεί όποτε προκύψει ανάγκη.

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα σχετικά με τις ΑΠΕ είναι η εποχικότητα των φυσικών πόρων (ήλιος, άνεμος) τους οποίους εκμεταλλεύονται. Το εν λόγω πρόβλημα είναι δυνατό να αντιμετωπιστεί μέσω αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας στη μορφή υδρογόνου που θα αποτελέσει τον ενεργειακό φορέα του μέλλοντος. Επιπλέον, το υδρογόνο θα καταστεί το όχημα μέσω του οποίου οι ΑΠΕ θα εισέλθουν και στον τομέα των μεταφορών. Η αναπόφευκτη μελλοντική εξάντληση των ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, κάρβουνο, φυσικό αέριο, κτλ) σε συνδυασμό με την έκλυση ρύπων κατά τη χρήση τους για παραγωγή ενέργειας, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για ένα φορέα ενέργειας που θα είναι ευρέως διαθέσιμος ενώ παράλληλα δε θα ρυπαίνει.

Σήμερα όμως, το υδρογόνο δεν αποτελεί επίλεκτο ενεργειακό φορέα καθώς παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα, όπως το ότι πρέπει να παραχθεί κάνοντας χρήση κάποιας άλλης μορφής ενέργειας. Ακόμη, είναι δύσκολο να αποθηκευτεί σε μορφή με υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, καθιστώντας το έτσι επικίνδυνο.

Το υδρογόνο που παράγεται από τις ΑΠΕ είναι ιδανικό καύσιμο σύμφωνα με τους περιβαλλοντολόγους αφού δεν υπάρχει περιβαλλοντικό κόστος στην παραγωγή και τη χρήση του όταν χρησιμοποιείται αιολική ή ηλιακή ενέργεια.

Στο μέλλον, θα υπάρχουν δύο βασικοί ενεργειακοί φορείς:

- ✓ Ο ηλεκτρισμός, για φωτισμό, επικοινωνίες και πληροφορική.
- ✓ Το υδρογόνο, για αντικατάσταση υγρών και αερίων καυσίμων για θέρμανση και μεταφορές.

1.4 Πλεονεκτήματα Και Μειονεκτήματα ΑΠΕ

Αφού περιγράψαμε εκτενώς παραπάνω τις μορφές ΑΠΕ, είναι καιρός να αναφερθούμε στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτών.

Στα πλεονεκτήματά τους συμπεριλαμβάνονται μεταξύ άλλων:

- ✓ Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- ✓ Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- ✓ Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- ✓ Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- ✓ Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
- ✓ Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

Στον αντίποδα, τα μειονεκτήματα που τους καταλογίζονται είναι:

- ✓ Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- ✓ Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- ✓ Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- ✓ Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.

- ✓ Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

1.5 Παγκόσμια Και Πανελλαδική Εφαρμογή ΑΠΕ

1.5.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα Στην Ελλάδα

Η Ελλάδα διαθέτει ένα αξιοσημείωτο δυναμικό για την ανάπτυξη και εφαρμογή των Φ/Β συστημάτων. Χάρη στη μεγάλη ηλιοφάνεια όλες σχεδόν τις εποχές του έτους, η χρήση Φ/Β συστημάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον, είναι ιδιαίτερα ελκυστική.

Το τελευταίο διάστημα υπάρχει σημαντικό ενδιαφέρον για τη χρήση της ηλιακής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στην Ελλάδα. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρικό ρεύμα γίνεται με την χρήση φωτοβολταϊκών (Φ/Β) συστημάτων. Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ενέργειας με εφαρμογές σε ένα ευρύ φάσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων (οικιακή, βιομηχανική, αστική κ.λπ.). Οι δεσμεύσεις των κυβερνήσεων μετά το Πρωτόκολλο του Κυότο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακος, αλλά και οι αυξημένες τιμές του πετρελαίου τα τελευταία 2-3 χρόνια, οδήγησαν την ΕΕ στη δημιουργία κινήτρων για την ανάπτυξη των ΑΠΕ.

Τα πρώτα κίνητρα ξεκίνησαν το 2001-2 από τη Γερμανία και επεκτάθηκαν τα επόμενα χρόνια και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες (Ισπανία, Ιταλία, Γαλλία, Πορτογαλία, Ελλάδα). Υπάρχει τριπλασιασμός της παγκόσμιας ζήτησης Φ/Β από το 2002 μέχρι το 2005. Τα 1500 MW εγκατεστημένης ισχύος του 2005 με βάση τις πιο συντηρητικές εκτιμήσεις του 2006 αναμενόταν να διπλασιαστούν το 2010. Αξίζει να σημειωθεί ότι το 2005 το 63% των Φ/Β εγκαταστάθηκε εντός ΕΕ με ηγετικό το ρόλο της Γερμανίας. Η ΕΕ ως αγορά Φ/Β αναμένεται ότι θα συνεχίσει να είναι η μεγαλύτερη του κόσμου και στα επόμενα χρόνια. Στο Ευρωπαϊκό Συμβούλιο του Μαΐου του 2007, η ΕΕ ανέλαβε μονομερώς την υποχρέωση να μειώσει κατά 20% τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακος. Στην Ελλάδα με την ψήφιση του Ν. 3468 του 2006 δημιουργήθηκε το πλαίσιο για τη δημιουργία της νέας αγοράς των Φ/Β. Τον Απρίλιο του 2007 παρουσιάστηκε από το Υπουργείο Ανάπτυξης η πρώτη φάση του προγράμματος ανάπτυξης Φ/Β που καταρτίστηκε

από τη ΡΑΕ με ενδεικτικό αρχικό στόχο τα 700 MW (που αναθεωρήθηκε στα 840 MW τον Ιούλιο του 2007) μέχρι το 2020. Η ενεργοποίηση της σχετικής νομοθεσίας και του σχετικού προγράμματος προσέλκυσε μεγάλο αριθμό αιτήσεων για άδειες παραγωγής. Μέχρι τέλος του 2007 και με βάση το πρόγραμμα του Υπουργείου αναμενόταν να δοθούν άδειες μέχρι 250 MW για την Ηπειρωτική Ελλάδα.

Ας δούμε λοιπόν γιατί η δημιουργία Φ/Β μονάδων είναι μία ελκυστική επένδυση στην Ελλάδα:

1. Όπως προαναφέρθηκε η μεγαλύτερη αγορά του κόσμου είναι η Γερμανία. Η βασική παράμετρος για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας με Φ/Β είναι η ηλιοφάνεια. Συγκρίνοντας Ελλάδα και Γερμανία κάποιος μπορεί σαφώς να διαπιστώσει την αυξημένη ενέργεια (κατά 15-20%) που είναι δυνατόν να παραχθεί στην Ελλάδα λόγω της μεγαλύτερης ηλιοφάνειας.
2. Τα Φ/Β έχουν μεγαλύτερη παραγωγή τις μεσημεριανές ώρες, όταν υπάρχει η μεγαλύτερη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Επιπλέον, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη τους καλοκαιρινούς μήνες όταν παρουσιάζεται και η μεγαλύτερη ζήτηση λόγω των κλιματιστικών. Επομένως όχι μόνο δεν είναι ανταγωνιστικές στην παραγωγή της ΔΕΗ, αλλά αντιθέτως εγχέουν ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο όταν υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη και πιθανότητα blackout.
3. Σύμφωνα με τη νέα νομοθεσία για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας που ψηφίστηκε στις 6-6-2006 (Ν. 3468/2006), κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από τον ήλιο και εγχέεται στο δίκτυο της ΔΕΗ, θα ενισχύεται με 0,4-0,5 ευρώ. Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας ισχύει για δέκα (10) έτη και μπορεί να παρατείνεται για δέκα (10), επιπλέον, έτη, μονομερώς, με έγγραφη δήλωση του παραγωγού. Η τιμή αυτή αναπροσαρμόζεται κάθε έτος με βάση τις μεσοσταθμικές αυξήσεις των τιμολογίων της ΔΕΗ ή το 80% του πληθωρισμού.
4. Το Ιούλιο του 2007 υπεγράφη ο Αναπτυξιακός Νόμος ο οποίος προβλέπει επιδότηση της επένδυσης μέχρι 40%.

Οι ανωτέρω λόγοι καθιστούν την επένδυση σε Φ/Β μία από τις ελκυστικότερες σήμερα. Αυτό που πρέπει να ληφθεί υπόψη από τον επενδυτή για να πάρει την τελική απόφαση είναι οι στόχοι και επιδιώξεις του, τα διαθέσιμα κεφάλαιά του, η ικανότητα δανεισμού του, σύγκριση με δυνατότητες επενδύσεων σε άλλους τομείς.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι λαμβάνοντας υπόψη σενάριο το οποίο περιλαμβάνει 25% κάλυψη της επένδυσης από ίδια κεφάλαια, 40% επιδότηση από τον Αναπτυξιακό Νόμο, και 35% δανεισμό είναι δυνατόν να επιτευχθεί απόδοση κεφαλαίων (IRR (Internal Rate of Return)) από 12% μέχρι και 18%. Στο σενάριο αυτό λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα:

- ✓ Δεκαετής δανεισμός.
- ✓ Λειτουργικά έξοδα (επιστασία, συντήρηση, ασφάλιση εξοπλισμού κλπ.).
- ✓ Μια μέση ηλιοφάνεια.
- ✓ Γραφειοκρατικά έξοδα και φορολογία.

Κατά περίπτωση είναι δυνατόν το IRR να ξεπεράσει και το 20% σε περιοχή αυξημένης ηλιοφάνειας, μεγάλου Φ/Β πάρκου (μεγαλύτερο του 1 MW), διαφορετικής σύνθεσης των πηγών χρηματοδότησης (αναλογία ιδίων κεφαλαίων, δανεισμού). Από τη σύνθεση των πηγών χρηματοδότησης εξαρτάται και η περίοδος αποπληρωμής (payback period) της επένδυσης που μπορεί να κυμαίνεται ενδεικτικά από 5-6 έως 12 έτη. Από τα ανωτέρω γίνεται ξεκάθαρο ότι μία επένδυση σε Φ/Β χρειάζεται λεπτομερή ανάλυση των παραμέτρων της καθώς επίσης και του σχετικού επενδυτικού κινδύνου. Σε καμία περίπτωση δεν εγγυάται εύκολο και γρήγορο κέρδος, αλλά αποτελεί μία σοβαρή επένδυση με μακροχρόνια προοπτική και απόδοση.

Το γεγονός ότι το κόστος της επένδυσης που απαιτείται είναι σχετικά υψηλό, σε συνδυασμό με την πολύ ικανοποιητική μεν απόδοση κεφαλαίων, αλλά σε βάθος χρόνου επιστροφή αυτών, καθιστά αναγκαία τη συνεχή και απρόσκοπτη λειτουργία της Φ/Β μονάδας για 20 έτη.

Επομένως, ο μεγαλύτερος επιχειρηματικός κίνδυνος που αναλαμβάνεται από τον επενδυτή είναι ότι το Φ/Β πάρκο θα πρέπει να λειτουργεί χωρίς διακοπή για τουλάχιστον 20 έτη. Το αποτέλεσμα αυτό εξασφαλίζεται μόνο εφόσον επιτευχθεί συνεργασία με αξιόπιστους προμηθευτές που παρέχουν εγγυημένη ελάχιστη απόδοση της παραγωγής του πάρκου για 20 έτη.

1.5.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα Στον Υπόλοιπο Κόσμο

Η ευρωπαϊκή νομοθεσία είναι αντίστοιχη με την ελληνική. Πολλές πόλεις χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν παράσχει ανάλογα κίνητρα για την εγκατάσταση Φ/Β τόσο σε οικιακές όσο και σε εταιρικές εγκαταστάσεις. Πρόσφατα, η πόλη με την μεγαλύτερη ηλιοφάνεια στην Γερμανία, το Φράιμπουργκ (Freiburg im Breisgau) διατηρώντας τον τίτλο της "πράσινης πόλης" ανακοίνωσε την εγκατάσταση Φ/Β σε οικίες και δημόσια κτίρια, ενώ τον Οκτώβριο του 2008 φιλοξενήθηκε το διεθνές συνέδριο για τα Φ/Β. Οι οικιακοί καταναλωτές στην πόλη πωλούν τα ποσά ενέργειας που περισσεύουν στον παροχέα ηλεκτρικής ενέργειας. Παρόμοιες προσπάθειες γίνονται, επίσης, στην Νότια Γαλλία και

στην Ιταλία, καθώς οι περιοχές αυτές πλεονεκτούν από την άποψη ημερήσιας ηλιοφάνειας. Προσδοκείται, ωστόσο, η εγκατάσταση Φ/Β και σε βορειότερες περιοχές, ιδιαίτερα όταν βελτιωθεί ο συντελεστής απόδοσής τους.

Η ενέργεια από φωτοβολταϊκά βρίσκεται καθ' οδόν για να παίξει ένα σημαντικό ρόλο στο μελλοντικό ενεργειακό μείγμα, όπως σημείωσε ο Ευρωπαϊκός Σύνδεσμος Φωτοβολταϊκών (EPIA – European Photovoltaic Industry Association), παρουσιάζοντας τη νέα του έκθεση με άξονα το 2015. Κατά την τελευταία δεκαετία, τα φ/β παρουσίασαν ιδιαίτερη ανάπτυξη συγκριτικά με τις υπόλοιπες ενεργειακές τεχνολογίες, ενώ στα τέλη του 2010 η εγκατεστημένη ισχύς διεθνώς έφτασε τα 40 GW. Η αγορά των φ/β είδε 7,2 νέα GW να προστίθενται το 2009 και ακόμα 16,6 GW το 2010. Με τον τρόπο αυτό, η συγκεκριμένη πηγή ενέργειας πρωταγωνίστησε στη νέα ισχύ στην Ευρώπη. Μάλιστα, σε διεθνές επίπεδο, τα φωτοβολταϊκά παράγουν πλέον 50 τεραβατώρες ηλεκτρισμού ετησίως.

«Οι αριθμοί αυτοί αποκαλύπτουν τις εξαιρετικές προοπτικές των φ/β για να συμβάλουν στο ενεργειακό τοπίο του μέλλοντος. Η σημερινή εγκατεστημένη ισχύς παγκοσμίως παράγει τόση ενέργεια όση καταναλώνουν η Ελλάδα, η Ρουμανία και η Ελβετία μαζί», τόνισε ο πρόεδρος του συνδέσμου, Ίνγκμαρ Βίνχελμ.

Η μεγαλύτερη αύξηση που σημειώθηκε το 2010 οφείλεται κυρίως στην ανάπτυξη της αγοράς της Γερμανίας και της Ιταλίας. Στην περίπτωση της πρώτης, εγκαταστάθηκαν 7,4 GW και στις δεύτερης 2,3 GW. Επίσης, ανάπτυξη σημειώνεται στην Τσεχία, όπου εγκαταστάθηκαν 1,5 GW πέρυσι, αν και δεν αναμένεται να διατηρηθεί η τάση αυτή. Επίσης, η Ιαπωνία και οι ΗΠΑ εγκατέστησαν 990 και 900 MW αντίστοιχα. Η Γαλλία ακολουθεί με 700 MW, η Ισπανία με 370 MW, όπως και το Βέλγιο με 420 MW.

Τα φ/β αποτελούν πλέον σε αρκετές χώρες μια πραγματική εναλλακτική επιλογή για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρισμό. Μάλιστα, σε ορισμένες από αυτές, τα οικιακά και εμπορικά συστήματα αναμένεται να επιτύχουν την ισότητα κόστους (grid parity) μέσα στα επόμενα χρόνια, όπως εκτιμά ο EPIA.

«Η εξέλιξη της αγοράς των φ/β τα τελευταία χρόνια συνδέεται με την εμπιστοσύνη και το όραμα των έξυπνων πολιτικών ηγετών», σημειώνει ο κ. Βίνχελμ. «Οι επαρκείς πολιτικές υποστήριξης που οδηγούσαν τις αγορές μέχρι στιγμής, όπως οι επιδοτούμενες τιμές, πρέπει να συνεχιστούν και να εναρμονιστούν με το μειούμενο κόστος των φ/β. Ο κλάδος επίσης υποστηρίζει τις πολιτικές εκείνες που απλοποιούν την αδειοδοτική διαδικασία και περιορίζουν το κόστος για τους καταναλωτές, εξασφαλίζοντας παράλληλα την ανάπτυξη της αγοράς», πρόσθεσε.

Οι προβλέψεις για το 2015 κάνουν λόγο για εγκατεστημένη ισχύ μεταξύ 130 και 200 GW.

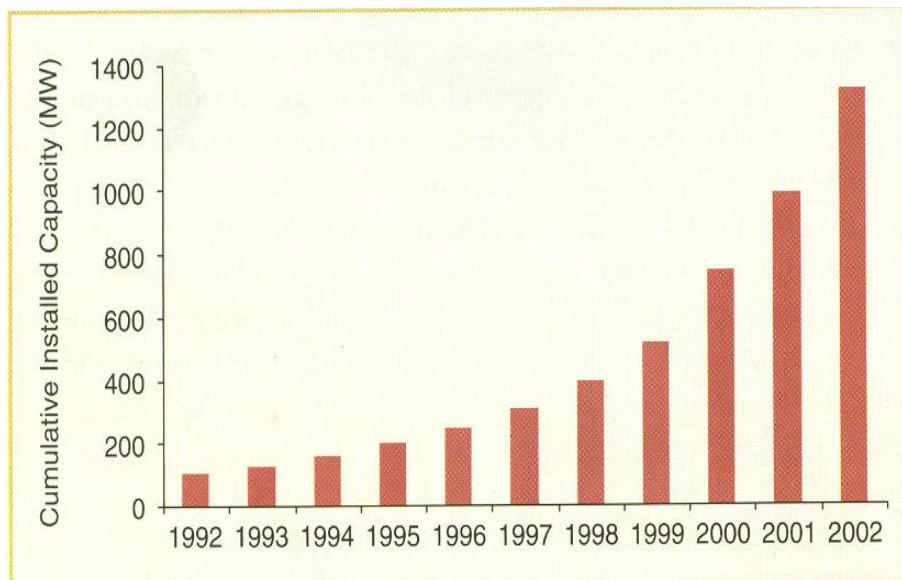
2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΝΗΣΙΔΑΣ (ISLANDING)”

Η προσπάθεια για αποδοτικές πηγές ενέργειας, που είναι φιλικές προς το περιβάλλον, έχουν στρέψει το ενδιαφέρον στις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας. Χαρακτηριστική είναι η υπογραφή του πρωτοκόλλου του Κιότο το Δεκέμβριο του 1997 από τα Ηνωμένα Έθνη το οποίο αποτελεί το πλαίσιο-σύμβαση για την αλλαγή του κλίματος. Για παράδειγμα, το πρωτόκολλο αυτό προβλέπει για την Ελλάδα ότι κατά το έτος 2010, που η ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα έχει φτάσει τις 72 TWh, θα υφίσταται ανάγκη συμμετοχής των μη συμβατικών ενεργειακών πηγών σε επίπεδο τάξης 14 TWh. Αυτή η κάλυψη μπορεί να επέλθει από μικρά κατανεμημένα συστήματα τα οποία είναι εγκατεστημένα σε οικιακό επίπεδο. Ένα τέτοιο σύστημα διασυνδεδεμένο με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να λειτουργεί ως μία αυτόνομη γεννήτρια και να στέλνει άμεσα ενέργεια στο δίκτυο μέσης ή χαμηλής τάσης.

2.1 Κύρια Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μία συνεχώς αυξανόμενη διάδοση των Φ/Β συστημάτων, όπως φαίνεται στο γράφημα του σχήματος.



Σχήμα 2.1 Εγκατεστημένη Φωτοβολταϊκή Ισχύς Παγκοσμίως

Τα κύρια χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων είναι:

- ✓ Χρησιμοποιούν ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή.
- ✓ Εύκολη μέθοδος παραγωγής των φωτοβολταϊκών στοιχείων από πρώτες ύλες που αφθονούν στη φύση.
- ✓ Ικανοποιητική διάρκεια ζωής (τουλάχιστον 10 με 20 χρόνια).
- ✓ Έλλειψη κινούμενων μηχανικών τμημάτων. Έτσι η συντήρηση περιορίζεται στον καθαρισμό του συλλέκτη, την αντικατάσταση σπασμένων τμημάτων, τον έλεγχο των μηχανικών και ηλεκτρικών επαφών και τη συντήρηση της μπαταρίας, αν τυχόν υπάρχει, σε αραιά χρονικά διαστήματα.
- ✓ Δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον, δεν δημιουργούν απόβλητα, άχρηστα παραπροϊόντα και λειτουργούν αθόρυβα.
- ✓ Οι εγκαταστάσεις είναι αρθρωτές και επεκτάσιμες, γεγονός που τους επιτρέπει να ανταποκρίνονται σε μεγάλο εύρος απαιτούμενης ισχύος.
- ✓ Ικανοποιητική αναλογία παραγόμενης ισχύος και βάρους της διάταξης.

2.2 Δομή Ενός Φωτοβολταϊκού Συστήματος

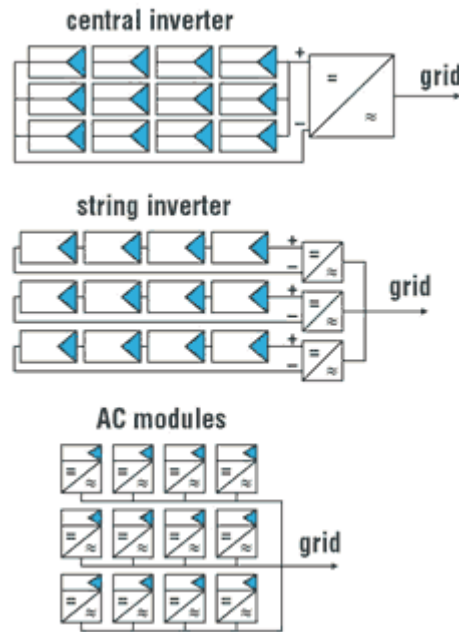
Σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορούν να διακριθούν τα ακόλουθα μέρη:

- ✓ Φωτοβολταϊκά Κύτταρα.
- ✓ Κύκλωμα Ισχύος.
- ✓ Κύκλωμα Παλμοδότησης.
- ✓ Κύκλωμα Ελέγχου Κλειστού Βρόχου.

Τα πρώτα οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα είχαν μια “κεντροκοιμημένη” διάρθρωση. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ήταν κατανεμημένα σε ένα πλήθος κατοικιών και η συνισταμένη συνεχής τάση κατέληγε σε έναν κεντρικό μετατροπέα όπου μετατρέπονταν σε εναλλασσόμενη. Η παραγόμενη ισχύς ήταν μέχρι 10kW. Οι διατάξεις αυτές όμως παρουσίαζαν σημαντικά μειονεκτήματα. Καταλάμβαναν σχετικά μεγάλη επιφάνεια και εμφανίζονταν υψηλές τάσεις και ρεύματα στη διασύνδεση μεταξύ του πλέγματος και του αντιστροφέα, με αποτέλεσμα αναπόφευκτα μεγάλες απώλειες, υψηλό κόστος αγωγών και κίνδυνος ηλεκτροπληξίας. Επίσης, ήταν δύσκολος ο εντοπισμός του σημείου μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος (MPPT-Maximum Power Point Tracker) για το συνολικό σύστημα, με αποτέλεσμα κάποια πλαίσια φωτοβολταϊκών να μην μπορούν να αποδώσουν τη μέγιστη ισχύ.

Για αυτόν το λόγο κινήθηκαν προς άλλους σχηματισμούς αποσκοπώντας σε όσο το δυνατόν μικρότερη παραγόμενη ισχύ από μια μεμονωμένη συστοιχία φωτοβολταϊκών κυττάρων. Μια νεότερη τεχνική που εφαρμόστηκε ήταν η εν σειρά σύνδεση των πάνελ που κατέληγαν σε έναν αντιστροφέα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2. Η παραγόμενη ισχύς σε αυτήν την περίπτωση ήταν 0.5-1kW.

Η σημερινή τεχνολογία που εφαρμόζεται στα οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα είναι γνωστή με την ορολογία “AC-Module” (Σχήμα 2.2). Κάθε μονάδα αποτελείται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο σε σειρά συνδεδεμένο με έναν αντιστροφέα, ο οποίος διασυνδέεται απευθείας στο δίκτυο. Μια τέτοια μονάδα μπορεί να παρέχει από 100 έως 500 Watt. Έτσι γίνεται πιο εύκολη η ανίχνευση και η λειτουργία του συστήματος στο σημείο μέγιστης ισχύος. Ακόμη, η μείωση της ζητούμενης ισχύος από το Φ/Β σύστημα έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση του όγκου για κάθε τέτοια γεννήτρια και ως εκ τούτου την ευκολότερη δυνατότητα εύρεσης θέσης για την τοποθέτησή της.



Σχήμα 2.2 3 Τοπολογίες Φ/Β Γεννητριών Για Οικιακά Συστήματα

Όλα τα παραπάνω συνάγουν στο συμπέρασμα πως έρχεται με ταχύτατους ρυθμούς η στιγμή που σε κάθε οικία θα εγκαθίσταται ένα Φ/Β σύστημα. Όμως, η διείσδυση ενός μεγάλου αριθμού αποκεντρωμένων παραγωγών ενέργειας εγκυμονεί κινδύνους, εάν δεν είναι ικανό το κύριο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας να ασκεί έλεγχο πάνω σε κάθε καταναμημένη γεννήτρια. Σε περίπτωση που χαθεί ο κεντρικός έλεγχος μπορεί ένα τμήμα του δικτύου, το οποίο περιέχει ένα Φ/Β σύστημα και φορτία, να αποτελέσει ένα αυτόνομο τμήμα - μια ανεξέλεγκτη νησίδα (φαινόμενο “νησίδας” – islanding), γεγονός που μπορεί να έχει καταστροφικά αποτελέσματα.

2.3 Φαινόμενο Νησίδας

Είναι η κατάσταση κατά την οποία ένα τμήμα του δικτύου, που περιέχει φορτία και αποκεντρωμένα συστήματα παραγωγής ενέργειας (Α.Σ.Π.Ε), συνεχίζει να λειτουργεί, ενώ έχει απομονωθεί από την κύρια πηγή παροχής ενέργειας (π.χ. δίκτυο ΔΕΗ). Όταν δηλαδή μια μικρή γεννήτρια μπορεί να τροφοδοτεί με ενέργεια ένα τοπικό φορτίο, ανεξάρτητα από τη διακοπή του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, δημιουργείται ένα αυτόνομο δίκτυο - μια αποκομμένη “νησίδα”.

2.3.1 Αίτια Εμφάνισης Φαινομένου

Οι ενέργειες που μπορούν να οδηγήσουν σε αυτήν την ανεπιθύμητη κατάσταση είναι:

- ✓ Ένα σφάλμα που εντοπίστηκε από το δίκτυο και το οποίο οδήγησε στην αποσύνδεση ενός μέρους του, το οποίο όμως δεν έγινε αντιληπτό από το Φ/Β σύστημα.
- ✓ Διακοπή της παροχής ενέργειας από σφάλμα του εξοπλισμού.
- ✓ Διακοπή του δικτύου για λόγους συντήρησης.
- ✓ Διακοπή του ηλεκτρικού συστήματος λόγω εξωγενών περιβαλλοντικών αιτιών.
- ✓ Πιθανό ανθρώπινο λάθος.

2.3.2 Λόγοι Αποφυγής Αυτόνομης Λειτουργίας

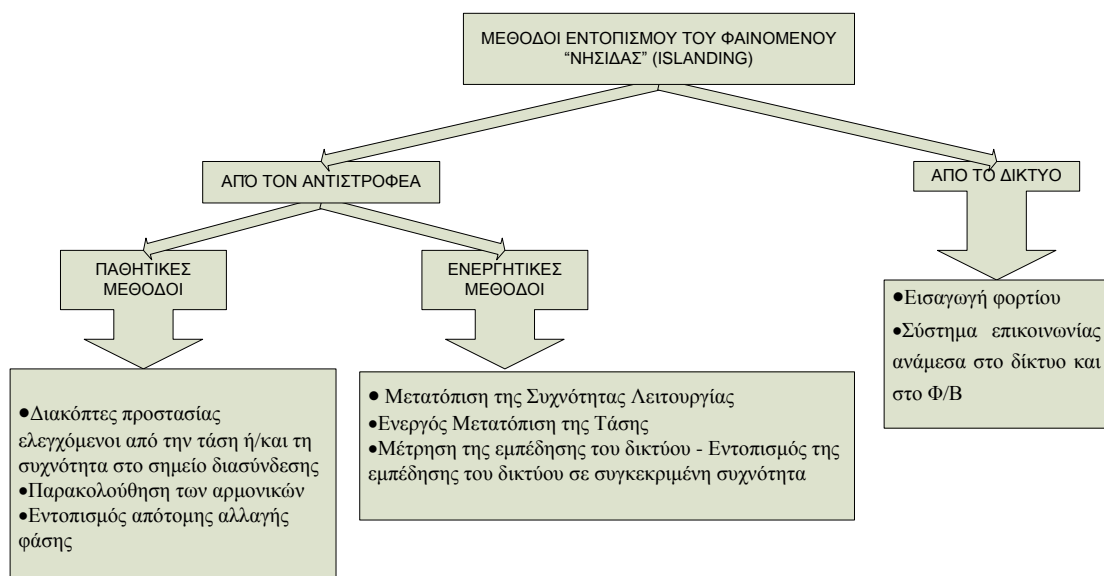
Υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους πρέπει να προστατεύεται ένα αποκεντρωμένο σύστημα παραγωγής ενέργειας από το φαινόμενο “νησίδας”. Η ασφάλεια, η αξιοπιστία και η ποιότητα της παρεχόμενης ενέργειας είναι οι βασικότεροι. Αυτοί οι λόγοι είναι τόσο σοβαροί που δικαιολογούν τη μελέτη του φαινομένου ακόμα και αν, σύμφωνα με μία μελέτη που έγινε στην Ολλανδία, η πιθανότητα να συμβεί είναι πολύ μικρή. Εάν δε θεωρακιστούν κατάλληλα τα αυτόνομα συστήματα είναι πιθανές μια από τις ακόλουθες ενέργειες:

- ✓ Στη νησίδα, που έχει απομείνει εκτός δικτύου, δεν υπάρχει κάποιος κεντρικός έλεγχος της συχνότητας και της τάσης. Επομένως είναι πολύ πιθανό να δημιουργηθούν προβλήματα σε συσκευές ή άλλα φορτία που συνδέονται με το δίκτυο.
- ✓ Ο αυτόνομος παραγωγός ενέργειας μπορεί να βρεθεί ως κατηγορούμενος από καταναλωτές που υπέστησαν βλάβη.

- ✓ Κίνδυνος για το προσωπικό που εκτελεί εργασία στο δίκτυο. Μπορεί να εκτελείται κάποια εργασία σε τμήμα του δικτύου, το οποίο ενώ θεωρείται πως έχει αποκοπεί από οποιαδήποτε πηγή τάσης, συνεχίζει να βρίσκεται υπό τάση. Πρέπει να τονισθεί πως εάν τηρηθούν κατά γράμμα όλες οι απαραίτητες ενέργειες ελέγχου και απομόνωσης πριν τη συντήρηση ή την επισκευή, τότε το φαινόμενο “νησίδας” δεν πρόκειται να αυξήσει την πιθανότητα σωματικών βλαβών.
- ✓ Όταν υπάρχει κάποιο φυσικό σφάλμα, τότε οι διακόπτες προστασίας ανοίγουν και έπειτα από μερικούς κύκλους επανέρχονται στην κανονική θέση λειτουργίας τους (reclosing). Σε αυτήν την περίπτωση, εάν δεν εντοπισθεί η διακοπή με το δίκτυο, η νησίδα θα συνεχίσει να τροφοδοτείται με ενέργεια. Εύλογα, μέχρι να αποκατασταθεί το σφάλμα και ο διακόπτης να επανέλθει στην κατάσταση λειτουργίας είναι πιθανό ο αντιστροφέας να έχει χάσει το συγχρονισμό του με το δίκτυο. Θα υπάρχει μία διαφορά φάσης ανάμεσα στην τάση της νησίδας και του δικτύου, με αποτέλεσμα κατά τη σύνδεσή τους να δημιουργηθεί υπέρταση.

2.4 Μέθοδοι Αποφυγής Φαινομένου Νησίδας

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για την αποφυγή του φαινομένου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε παθητικές και ενεργητικές μεθόδους στην πλευρά του Φ/Β συστήματος και στις μεθόδους που εφαρμόζονται από την πλευρά του δικτύου.



Σχήμα 2.3 Κατηγοριοποίηση Μεθόδων Προστασίας

2.4.1 Μέθοδοι Από Την Πλευρά Του Φωτοβολταϊκού Συστήματος

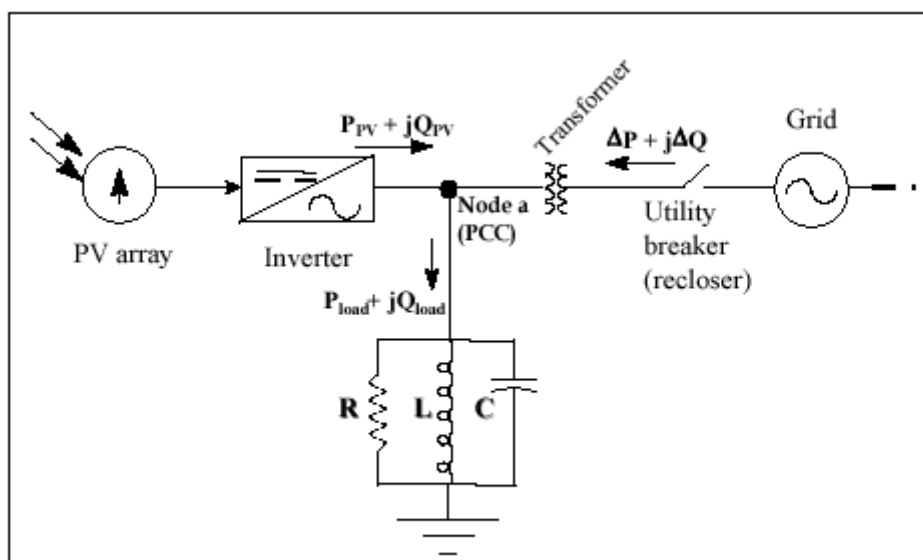
2.4.1.1 Παθητικές Μέθοδοι

Με τον όρο παθητικές χαρακτηρίζονται αυτές οι μέθοδοι που επιτηρούν κάποια μεταβλητή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. συχνότητα ή τάση) στο σημείο σύνδεσης του αντιστροφέα με το δίκτυο. Έχουν καταγραφεί και θα αναλυθούν στη συνέχεια οι ακόλουθες:

- ✓ Διακόπτες προστασίας ελεγχόμενοι από την τάση ή/και τη συχνότητα στο σημείο διασύνδεσης .
- ✓ Παρακολούθηση των αρμονικών.
- ✓ Εντοπισμός απότομης αλλαγής φάσης (Phase Jump Detection).

A. Διακόπτες Προστασίας (Under/Over Voltage, Under/Over Frequency)

Όλα τα διασυνδεδεμένα συστήματα οφείλουν να έχουν μια μέθοδο προστασίας, που θα αποτρέπει τη λειτουργία τους, όταν η τάση ή/και το ρεύμα αποκλίνουν από τις ονομαστικές τους τιμές. (Σημείωση: Αυτές οι “μέθοδοι προστασίας” δεν είναι απαραίτητα ηλεκτρομαγνητικά ρελαί. Αντιθέτως, στις περισσότερες περιπτώσεις είναι συστήματα που έχουν υλοποιηθεί με λογισμικό). Με αυτόν τον τρόπο προστατεύεται ο εξοπλισμός του καταναλωτή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά επιπλέον αποτελεί έναν τρόπο εντοπισμού της λειτουργίας υπό συνθήκες νησίδας. Ας θεωρηθεί η τοπολογία του σχήματος:



Σχήμα 2.4 Φ/Β Σύστημα – Μετασχηματιστής Χαμηλής Τάσης Και Ροή Ισχύος

Ο κόμβος “a” είναι το σημείο κοινής διασύνδεσης του Φ/Β (ή γενικά ενός Α.Σ.Π.Ε. με το δίκτυο). Όταν ο αποζεύκτης είναι κλειστός, δηλαδή το δίκτυο είναι συνδεδεμένο, τότε ενεργός και άεργος ισχύς $P_{PV} + jQ_{PV}$ ρέει από την έξοδο του αντιστροφέα στον κόμβο “a” και ισχύς $P_{load} + jQ_{load}$ ρέει από τον κόμβο “a” στο φορτίο. Συνολικά η ανταλλαγή ενέργειας θα είναι:

$$\begin{array}{l} \Delta P = P_{load} - P_{PV} \\ \Delta Q = Q_{load} - Q_{PV} \end{array}$$

Όταν ανοίξει ο αποζεύκτης, επειδή δεν παρέχεται ενέργεια από το δίκτυο, $\Delta P = 0$. Επομένως από την κατάσταση ισορροπίας μεταβαίνει το σύστημα στην εξής κατάσταση για $\Delta P=0$:

$$\Delta P = P_{load} - P_{PV} \Rightarrow P_{load} = \Delta P + P_{PV} \quad (2.1), \text{ όταν ανοίξει ο διακόπτης :}$$

$$P'_{load} = 0 + P_{PV} \quad (2.2)$$

Η ισχύς ΔP που προέρχεται από το δίκτυο τη χρονική στιγμή που άνοιξε ο αποζεύκτης μπορεί να είναι θετική ή αρνητική ($\Delta P > 0$ ή $\Delta P < 0$).

Συνεπώς η ενεργός ισχύς που μεταβαίνει στο φορτίο μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί κατά το άνοιγμα του διακόπτη. Δηλαδή:

$$P'_{load} > P_{load} \text{ ή } P'_{load} < P_{load}$$

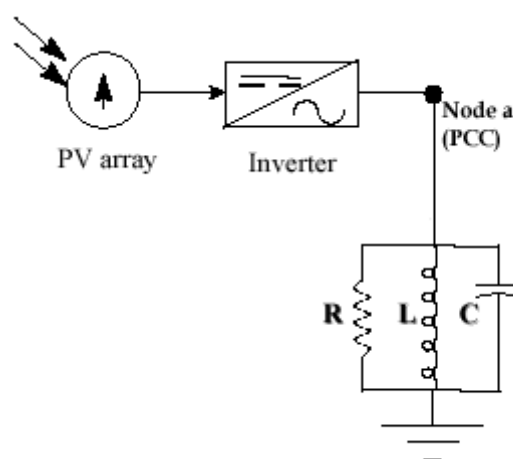
Αν ληφθεί, επίσης, υπ' όψιν ότι $P'_{load} = V_a^2/R$, γίνεται φανερό ότι όταν ανοίξει ο αποζεύκτης, η τάση V_a θα αυξηθεί ή θα μειωθεί αντίστοιχα με την αύξηση ή μείωση της ενεργού ισχύος στο φορτίο (P'_{load}). Συνεπώς η μείωση ή η αύξηση της τάσης στο κοινό σημείο διασύνδεσης αποτελεί ένα δείκτη για το αν συνέβη κάποια μεταβολή στο δίκτυο παροχής ενέργειας. Η μεταβολή της τάσης είναι το κριτήριο επενέργειας του διακόπτη προστασίας από υπέρ-τάση ή υπό-τάση και επιδρά για τη σβέση του Φ/Β συστήματος, όταν ξεπεραστούν κάποια προκαθορισμένα όρια.

Έστω ότι πριν ανοίξει ο αποζεύκτης ήταν τέτοια η κατάσταση ανταλλαγής ενέργειας, ώστε η ενέργεια που απορροφούσε το φορτίο να είναι ίση ακριβώς με την ενέργεια

που παρείχε το φωτοβολταϊκό. Τότε κατά την αποσύνδεση του δικτύου η απορροφούμενη ενεργός ισχύς από το φορτίο δεν θα μεταβληθεί ($P'_{load}=P_{load}$). Επομένως σε αυτήν την περίπτωση δεν θα παρατηρηθεί κάποια μεταβολή της τάσης και το σύστημα ασφαλείας θα αστοχήσει.

Αντίστοιχη λογική χρησιμοποιείται και για τον έλεγχο της μεταβολής της συχνότητας στον κόμβο σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Ο έλεγχος κλειστού βρόχου του αντιστροφέα ρυθμίζει τη φάση του ρεύματος εξόδου σε σχέση με την τάση του δικτύου τείνοντας να κάνει τα δύο μεγέθη συμφασικά. Όταν ανοίξει ο διακόπτης, τότε $\Delta Q = 0$ και συνεπώς $Q'_{PV} = Q_{load}$. Δηλαδή τη στιγμή που ανοίγει ο αποζεύκτης, η άεργος ισχύς που προσδίδεται στο φορτίο αλλάζει στιγμιαία. Με άλλα λόγια, παρατηρείται μια διαφορά φάσης ανάμεσα στο ρεύμα εξόδου και στην τάση του δικτύου. Το σύστημα ελέγχου που είναι προσαρτημένο στον αντιστροφέα θα επιδιώξει να στρέψει το διάνυσμα του ρεύματος, ώστε να επιτευχθεί ο μοναδιαίος συντελεστής ισχύος μεταβάλλοντας τη συχνότητα του ρεύματος εξόδου. Αυτή η μεταβολή στη συχνότητα κατά το άνοιγμα του διακόπτη είναι το κριτήριο εντοπισμού για το ανεπιθύμητο φαινόμενο. Τοποθετούνται επιτηρητές συχνότητας, οι οποίοι όταν αντιληφθούν αύξηση της συχνότητας (OFP – Over Frequency Protection) ή μείωση της συχνότητας (UFP – Under Frequency Protection) κάτω από κάποιο επίπεδο, προκαλούν τη σβέση του αυτόνομου συστήματος.

Το κύκλωμα μετά το άνοιγμα του διακόπτη είναι:



Σχήμα 2.5 Ανεξέλεγκτη Νησίδα Λειτουργίας

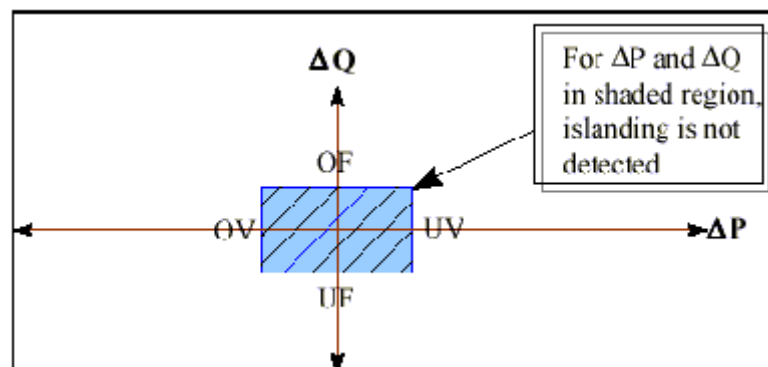
Το ρεύμα που ρέει μέσα σ' αυτόν θα έχει κυκλική συχνότητα ίση με τη συχνότητα συντονισμού $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. Προφανώς, η συχνότητα του ρεύματος εξόδου θα είναι ίση με 50 Hz - ίδια δηλαδή με τη συχνότητα του δικτύου. Το σύστημα που επιβλέπει τη διακύμανση της συχνότητας μπορεί να αστοχήσει στην ακόλουθη περίπτωση. Εάν το παράλληλο RLC φορτίο έχει τέτοιες τιμές, που η συχνότητα συντονισμού του να είναι ίση με 50Hz, τότε κατά το άνοιγμα του διακόπτη δεν θα παρατηρηθεί καμία μεταβολή στη συχνότητα του ρεύματος, μιας και η τιμή που θα αποκτούσε κατά την εσφαλμένη λειτουργία θα ήταν η συχνότητα συντονισμού. Δηλαδή ο επιτηρητής συχνότητας στον κόμβο "a" δεν θα ανιχνεύσει καμία μεταβολή, με αποτέλεσμα να μη γίνεται δυνατό να αποφευχθεί το "islanding".

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ✓ Χαμηλό κόστος.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ✓ Μεγάλη πιθανότητα αστοχίας σε περιπτώσεις ταιριασμένου φορτίου.



Σχήμα 2.6 Παράσταση Διαστήματος Αστοχίας Της Μεθόδου

B. Παρακολούθηση Των Αρμονικών (Detection Of Harmonics – Detection Of Impedance At A Specific Frequency)

Οι μετατροπείς λόγω της διακοπτικής φύσης τους εισάγουν συνήθως ένα μικρό σύνολο αρμονικών. Αυτές οι αρμονικές ρεύματος θα οδεύσουν προς εκείνη τη μεριά που η διάδοσή τους είναι “ευκολότερη”. Δηλαδή προς εκείνη την κατεύθυνση που η σύνθετη αντίσταση είναι μικρότερη.

Στην πειραματική τοπολογία που είναι υπό μελέτη η διοχέτευση των αρμονικών θα γίνει προς το δίκτυο, καθώς η ισοδύναμη αντίσταση του δικτύου είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με την αντίσταση του φορτίου RLC. Έτσι, λοιπόν, όταν ο διακόπτης ανοίξει, αυτές οι μικρές αρμονικές θα περάσουν στο φορτίο.

Το αποτέλεσμα θα είναι να προκαλέσουν μια μεγάλη παραμόρφωση στην τάση V_a , αντίστοιχη της μεγάλης εμπέδησης που έχει το φορτίο.

Επίσης, εάν λάβουμε υπ’ όψιν ότι ο μετασχηματιστής (σχ.1.4) κατά το άνοιγμα του διακόπτη βρίσκεται εντός της νησίδας έχοντας ανοιχτοκυκλωμένο το πρωτεύον (δηλ. και άλλη επαγωγή), αυτό συνεπάγεται ακόμα περισσότερες αρμονικές. Η επιτήρηση συνήθως των αρμονικών τρίτης τάξης του V_a μπορεί να αποτελέσει το κριτήριο επενέργειας.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ✓ Δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη άλλων αντιστροφών.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

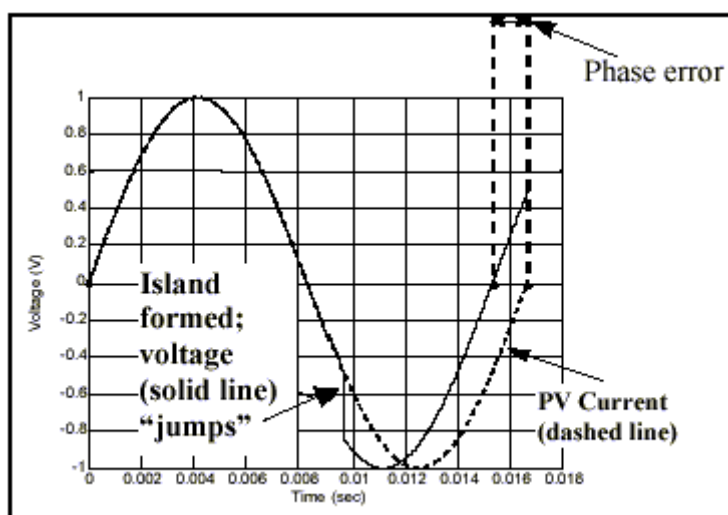
- ✓ Δύσκολο να επιλέξουμε κάποιο κατώφλι επιλογής .
Πιθανόν (σύμφωνα με το report της SANDIA) χρησιμοποιώντας ψηφιακή επεξεργασία σήματος και ταυτοποίηση αρμονικών , όμως αυτές οι τεχνικές θα ανεβάσουν το κόστος ενός μικρού Φ/Β συστήματος. Γι’ αυτόν το λόγο η παραπάνω μέθοδος δεν έχει χρησιμοποιηθεί εμπορικά.
- ✓ Αυτή η μέθοδος μπορεί να αποτύχει, εάν το αρμονικό περιεχόμενο της εξόδου είναι πολύ μικρό.

Γ. Εντοπισμός Απότομης Αλλαγής Φάσης (Phase Jump Detection)

Η μέθοδος αυτή προκαλεί σβήσιμο του αντιστροφέα, εάν συμβεί μια απότομη αλλαγή στη φάση της τάσης V_a . Εφαρμόζεται μόνο σε συσκευές που ο έλεγχος του συντελεστού ισχύος υλοποιείται με “Βρόχο Κλειδώματος Φάσης” (PLL – Phase Locked Loop).

Πιο συγκεκριμένα, εάν ο αντιστροφέας χρησιμοποιεί ένα PLL, τότε για να επιτύχει μοναδιαίο συντελεστή ισχύος συγκρίνει τη φάση του I_{PV} με τη φάση της τερματικής τάσης V_a σε κάθε μηδενισμό της τάσης (διατηρώντας $\Delta\varphi=0$). Όταν συμβεί διακοπή του δικτύου και το V_a μεταπηδήσει σε άλλη συχνότητα, στην επόμενη σύγκριση (στο επόμενο zero-crossing) το PLL θα εντοπίσει μία μη μηδενική διαφορά φάσης.

Εάν η μεταβολή αυτή είναι μεγαλύτερη από μία προκαθορισμένη τιμή, θα δοθεί εντολή για σβέση του συστήματος.



Σχήμα 2.7 Λειτουργία Μεθόδου Εντοπισμού Διαφοράς Φάσης

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ✓ Πολύ εύκολο να κατασκευαστεί εκμεταλλευόμενοι το ήδη υπάρχον σύστημα ελέγχου του αντιστροφέα.
- ✓ Η μέθοδος αυτή δεν επηρεάζει τη μορφή του ρεύματος, συνεπώς δεν μεταβάλλει την ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος του PV.
- ✓ Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου δεν επηρεάζεται από την παρουσία άλλων αντιστροφέων στην ίδια “νησίδα”.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ✓ Δύσκολη η επιλογή κατωφλίων απόφασης για τη σβέση ή όχι του Α.Σ.Π.Ε. Για παράδειγμα, εάν το κατώφλι απόφασης (threshold) είναι μία πολύ μικρή διαφορά φάσης, τότε μπορεί να υπάρξει λανθασμένο συμπέρασμα (π.χ. κατά την εκκίνηση ενός κινητήρα). Είναι πολύ δύσκολο να εντοπίσεις σε μια μεγάλη περιοχή τι είδους φορτία υπάρχουν και ακόμα πιο απίθανο να προβλέψεις τι είδους φορτία θα μούνε στο δίκτυο.
- ✓ Εάν το φορτίο είναι καθαρά ωμικό, δεν θα λειτουργήσει αυτή η μέθοδος, καθώς το ρεύμα και η τάση είναι συνεχώς συμφασικά.

Όπως φαίνεται, δεν είναι δυνατόν να παραλληλισθεί ένα σύστημα με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας στηριζόμενοι αποκλειστικά σε κάποια από τις μεθόδους που προαναφέρθηκαν. Γι'αυτόν το λόγο αναπτύχθηκαν μέθοδοι, οι οποίες αλληλεπιδρούν με το δίκτυο και αποτρέπουν την ανεπιθύμητη αυτόνομη λειτουργία. Στόχος κάθε μιας από τις Ενεργητικές Μεθόδους είναι να εξαλείψουν όσο γίνεται τις ζώνες αστοχίας και να μειώσουν όσο το δυνατόν περισσότερο τους χρόνους επενέργειας. Οι μέγιστοι χρόνοι επενέργειας, καθώς και τα επιτρεπτά όρια λειτουργίας ενός διασυνδεδεμένου συστήματος έχουν καθοριστεί από το IEEE std.929-2000 (παραθέτει τα απαραίτητα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα φωτοβολταϊκό (Φ/Β) σύστημα, ώστε να εξασφαλισθεί η ορθή λειτουργία του κατά την παράλληλη λειτουργία του με το δίκτυο. Έχει διαμορφωθεί με γνώμονα την ασφάλεια του ανθρώπου, την προστασία του εξοπλισμού, την ποιότητα ισχύος και τη λειτουργία του συστήματος ενέργειας. Αναφέρεται κυρίως σε μικρής ισχύος συστήματα (10 kW ή μικρότερη)).

2.4.1.2 Ενεργητικές Μέθοδοι

Ενεργητικές είναι αυτές οι μέθοδοι που προκαλούν κάποια διαταραχή στον κοινό κόμβο σύνδεσης και από το αποτέλεσμα αυτής της διαταραχής γίνεται αντιληπτό, εάν έχει συμβεί η ανεπιθύμητη κατάσταση της νησίδας. Οι μέθοδοι αυτές έχουν ως στόχο τη μεταβολή της συχνότητας $\omega_{\Phi/B}$, του μέτρου του ρεύματος $I_{\Phi/B}$ ή της φάσης $\phi_{\Phi/B}$. (π.χ εάν το σύστημα λειτουργεί ως πηγή ρεύματος: $i_{\Phi/B} = I_{\Phi/B} \sin(\omega_{\Phi/B} t + \phi_{\Phi/B})$). Η μεταβολή ενός εκ των παραπάνω χαρακτηριστικών σε τιμή πέραν της επιτρεπτής θα προκαλέσει την επενέργεια των παθητικών μέσων προστασίας. Δηλαδή στόχος των ενεργητικών μεθόδων είναι να προκαλέσουν αστάθεια στο σύστημα δίνοντας κατά αυτόν το τρόπο λαβή στις Παθητικές Μεθόδους να επιδράσουν και τελικά να σβήσουν το Α.Σ.Π.Ε. Έχουν καταγραφεί οι ακόλουθες:

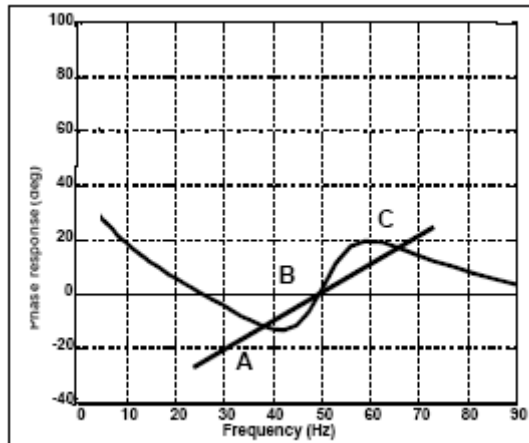
- ✓ Μετατόπιση της Συχνότητας Λειτουργίας (3 παραλλαγές).
- ✓ Ενεργός Μετατόπιση της Τάσης.
- ✓ Μέτρηση της εμπέδησης του δικτύου - Εντοπισμός της εμπέδησης του δικτύου σε συγκεκριμένη συχνότητα.

Α. Μετατόπιση Συχνότητας Λειτουργίας

Η μετατόπιση της συχνότητας λειτουργίας γίνεται σε συνεργασία με το κύκλωμα ελέγχου του αντιστροφέα. Εντοπίστηκαν τρεις βασικές τεχνικές που αναλύονται στη συνέχεια.

ΜΕΘΟΔΟΣ 1: Slip/Slide Mode Frequency Shift – SMS

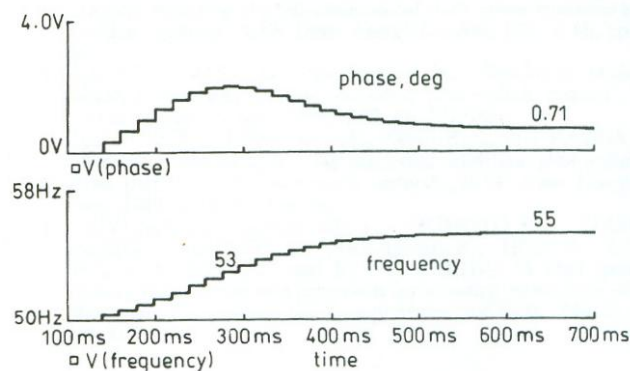
Το τμήμα ελέγχου του αντιστροφέα είναι υπεύθυνο να διατηρεί μηδενική τη διαφορά φάσης ρεύματος εξόδου - τάσης δικτύου. Η “SMS” μέθοδος προσαρμόζεται στον έλεγχο και αποσκοπεί στο να κάνει τη διαφορά φάσης ανάμεσα στο ρεύμα εξόδου και την τάση του δικτύου μία συνάρτηση της απόκλισης της συχνότητας από την ονομαστική. Αυτό υλοποιείται με την εφαρμογή θετικής ανατροφοδότησης στο σύστημα ελέγχου. Η λειτουργία της θετικής ανάδρασης είναι να προσθέτει το σφάλμα στην ήδη υπάρχουσα τιμή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το σύστημα να είναι ασταθές και η απόκριση της διαφοράς φάσης να είναι όπως αυτή του σχήματος:



Σχήμα 2.8 Απόκριση Διαφοράς Φάσης Στη Μέθοδο SMS

Εάν για παράδειγμα το κυρίως δίκτυο αποσυνδεθεί και η μεταβολή προκαλέσει μια μικρή αύξηση στη συχνότητα, θα εμφανιστεί ένα μικρό σφάλμα ανάμεσα στη διαφορά φάσης ρεύματος εξόδου - τάσης δικτύου. Το σύστημα ελέγχου θα εντοπίσει τη διαφορά φάσης και η θετική ανάδραση θα προσθέσει αυτό το σφάλμα, γεγονός που θα προκαλέσει μια ακόμα μεγαλύτερη αύξηση στη συχνότητα.

Η αύξηση συνεχίζει μέχρι που η τιμή της συχνότητας της τάσης εξόδου θα ξεπεράσει την ονομαστική και θα προκαλέσει την ενεργοποίηση των παθητικών μέσων προστασίας. Ομοίως, η μείωση της διαφοράς φάσης θα προκαλέσει μεταβολή της συχνότητας λειτουργίας σε τιμή μικρότερη της ονομαστικής.



Σχήμα 2.9 Απόκριση Συστήματος Σε Αύξηση Διαφοράς Φάσης Τάσης Δικτύου-Ρεύματος Εξόδου

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

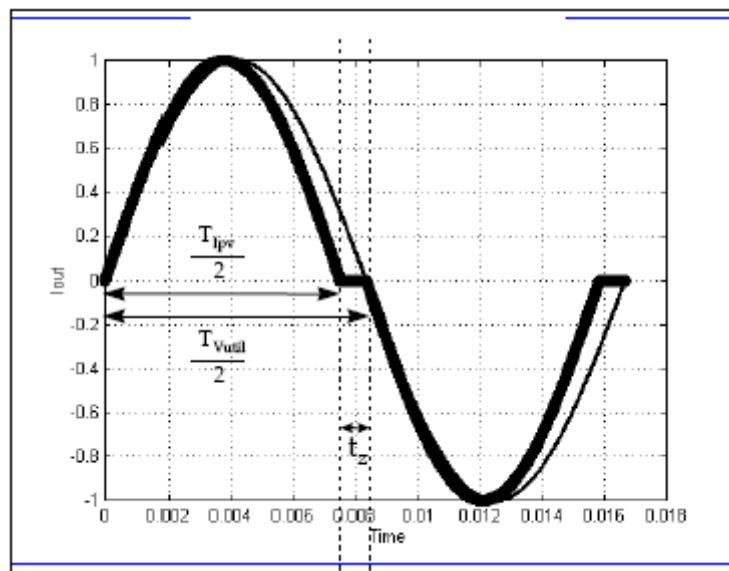
- ✓ Πολύ εύκολο να κατασκευαστεί εκμεταλλευόμενοι το ήδη υπάρχον σύστημα ελέγχου του αντιστροφέα.
- ✓ Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου δεν επηρεάζεται από την παρουσία άλλων αντιστροφέων στην ίδια “νησίδα”.
- ✓ Μικρός χρόνος αντίδρασης.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ✓ Θα πρέπει να επιλεγούν κατάλληλες τιμές για τις παραμέτρους του ελεγκτή που υλοποιεί τη μέθοδο, ώστε η μεταβολή της συχνότητας να είναι ταχεία, αλλά παράλληλα να μην προκαλούν κάποια αστάθεια στο σύστημα.

ΜΕΘΟΔΟΣ 2: Ενεργός Μετατόπιση Συχνότητας (Active Frequency Shift)

Τα συστήματα, που χρησιμοποιούν αυτήν την τεχνική, παράγουν τέτοιο ρεύμα, ώστε η συχνότητά του να είναι ελαφρώς μικρότερη ή μεγαλύτερη από τη συχνότητα του δικτύου. Μία τέτοια μορφή παραμορφωμένου ρεύματος εξόδου σε σύγκριση με την τάση του δικτύου φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:

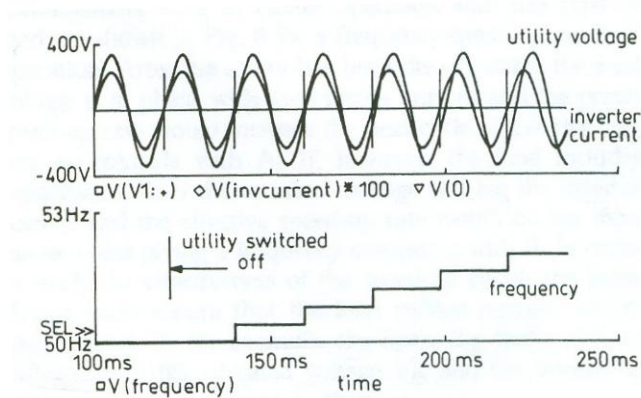


Σχήμα 2.10 Σύγκριση Παραμορφωμένου Ημίτονου Που Εισάγει Η Μέθοδος Με Το “Καθαρό” Ημίτονο

Στο σχήμα ως t_z σημειώνεται ο χρόνος μηδενισμού. Επικρατεί να ορίζεται ως “λόγος τεμαχισμού” (cf -chopping fraction) το πηλίκο $cf = \frac{2t_z}{T_{util}}$. Η παραπάνω τεχνική ενσωματώνεται στο σύστημα ελέγχου, όπως και η προηγούμενη. Μάλιστα, μπορεί να υλοποιηθεί πολύ εύκολα σε συστήματα που πραγματοποιούν τον έλεγχο με μικροεπεξεργαστή, καθώς η διαφοροποίηση θα είναι απλώς η εισαγωγή ενός “νεκρού” χρόνου t_z .

Κατά την παράλληλη λειτουργία του Φ/Β με το δίκτυο η παραμόρφωση του ρεύματος θα είναι αμετάβλητη και δεν είναι ικανή να οδηγήσει το σύστημα σε σβέση, καθώς η αναφορά του συστήματος, που είναι η τάση του δικτύου στον κόμβο διασύνδεσης, είναι αμετάβλητη. Αντιθέτως, όταν το δίκτυο πάψει να υπάρχει, τότε η τάση αναφοράς – η τάση στο σημείο κοινής διασύνδεσης δεν θα είναι καθαρά ημιτονοειδής, αλλά θα είναι η προκαλούμενη τάση από το παραμορφωμένο ρεύμα.

Η παραμορφωμένη τάση θα αποτελέσει την αναφορά για τη γένεση ενός ρεύματος ακόμα πιο πολύ παραμορφωμένου. Με άλλα λόγια, όταν πλέον δεν θα υπάρχει το δίκτυο, η συχνότητα του παραγόμενου ρεύματος (και της τάσης στο σημείο διασύνδεσης) θα αυξάνεται/ μειώνεται μονότονα, όπως φαίνεται στο σχήμα. Η ολίσθηση της συχνότητας λειτουργίας θα αποτελέσει το κριτήριο για τη σβέση του αντιστροφέα.



Σχήμα 2.11 Λειτουργία Ενεργού Μετατόπισης Συχνότητας

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ✓ Εύκολα πραγματοποιείται σε αντιστροφείς που ελέγχονται από μικροεπεξεργαστή.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ✓ Προκαλείται, αν και μικρή, μείωση της ποιότητας της παραγόμενης ισχύος.
- ✓ Θα πρέπει να υπάρχει από κοινού συμφωνία ανάμεσα στους κατασκευαστές στο αν θα προκαλούν αύξηση ή μείωση της συχνότητας. Τυχόν ασυμφωνία μεταξύ δύο ή περισσότερων συστημάτων μπορεί να οδηγήσει σε διατήρηση της διαφοράς φάσης σε επίπεδα μη δυνατού εντοπισμού της δυσλειτουργίας.

Θα πρέπει να σημειωθεί πως υπάρχει μια παραλλαγή της μεθόδου που εισάγει το νεκρό χρόνο ανά προκαθορισμένα διαστήματα. Αυτή η μέθοδος είναι γνωστή ως μέθοδος “Μεταπήδησης συχνότητας” ή “Μέθοδος Ζέβρας” (Frequency Jump – Zebra Method).

ΜΕΘΟΔΟΣ 3: Ενεργός Μετατόπιση Συχνότητας Με Θετική Ανάδραση (Active Frequency Shift With Positive Feedback (SFS – Sandia Frequency Shift))

Μια βελτιωμένη έκδοση της παραπάνω μεθόδου μπορεί να αποτελέσει η μεταβολή του μηδενικού χρόνου t_z σε συνάρτηση με τη διαφορά των συχνοτήτων που εμφανίζεται ανάμεσα στην τάση του δικτύου και στη συχνότητα της τάσης στο σημείο διασύνδεσης. Δηλαδή:

$$f = f_0 + K(f_a - f_{line})$$

Όταν τα δύο συστήματα είναι παραλληλισμένα, η τάση στο σημείο διασύνδεσης θα είναι η τάση του δικτύου. Επομένως $f_a = f_{line}$ και η παραμόρφωση του ρεύματος εξόδου θα είναι αυτή που θα έχει καθοριστεί από τον αρχικό λόγο κατάτμησης cf_0 . Όταν, όμως, πάψουν να είναι παραλληλισμένα τα δύο συστήματα, τότε θα οδηγηθεί σε σβέση το σύστημα, όπως στην προηγούμενη μέθοδο, αλλά λόγω της αυξομείωσης του “νεκρού” χρόνου, αυτό θα συμβεί σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα σε σχέση με την προηγούμενη μέθοδο.

B. Ενεργός Μετατόπιση Τάσης (Sandia Voltage Shift – SVS)

Αποτελεί την τρίτη κατά σειρά συχνότητας μέθοδο που έχει καταγραφεί και εφαρμόζει θετική ανάδραση για να ωθήσει το σύστημα σε σβέση. Σε αυτήν τη μέθοδο όταν συμβεί μια μεταβολή της τάσης στο σημείο διασύνδεσης “a”, το σύστημα θετικής ανάδρασης τείνει να ενισχύσει αυτήν τη μεταβολή της τάσης αυξομειώνοντας αντίστοιχα το ρεύμα εξόδου. Όταν είναι συνδεδεμένο το δίκτυο, αυτό σημαίνει αντίστοιχη μεταβολή της παραγόμενης ενεργού ισχύος. Εάν, όμως, π.χ. μειωθεί η τάση στο σημείο διασύνδεσης και δεν υπάρχει το δίκτυο, η μείωση την οποία θα προκαλέσει το σύστημα ελέγχου στο ρεύμα εξόδου θα έχει ως συνέπεια την περαιτέρω μείωση της τάσης στο σημείο “a”, με αποτέλεσμα κάποια στιγμή να αγγίξει η μεταβολή το όριο δράσης του παθητικού μέσου προστασίας.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ✓ Εύκολα πραγματοποιείται σε αντιστροφείς που ελέγχονται από μικροεπεξεργαστή.
- ✓ Μπορεί να συνεργαστεί με μια από τις μεθόδους που εφαρμόζουν θετική ανάδραση στη συχνότητα και να ενσωματωθούν και οι δύο στο ίδιο σύστημα.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ✓ Οι αυξομειώσεις που προκαλεί η μέθοδος στην παραγόμενη ισχύ έχουν ως αποτέλεσμα το σύστημα να μη λειτουργεί συνεχώς στο σημείο μεγίστης ισχύος.

Γ. Μέτρηση Εμπέδησης Δικτύου – Εντοπισμός Εμπέδησης Δικτύου Σε Συγκεκριμένη Συχνότητα

Η μέτρηση της εμπέδησης του δικτύου κατατάσσεται στις ενεργές μεθόδους από τη στιγμή που εισάγεται κάποια διαταραχή στο σύστημα. Βέβαια, δεν θα ήταν λάθος να κατατασσόταν και στις παθητικές μεθόδους, καθώς δεν τείνει να προκαλέσει κάποια μεταβολή σε μία από τις παραμέτρους της παραγόμενης ισχύος (όπως γινόταν στις προηγούμενες ενεργητικές μεθόδους), αλλά μετρά παθητικά τη μεταβολή της ισοδύναμης εμπέδησης στο σημείο διασύνδεσης.

Η μέτρηση της εμπέδησης αποτέλεσε αντικείμενο λεπτομερούς μελέτης με στόχο την κατασκευή μιας τέτοιας συσκευής. Δυστυχώς, όπως αποδείχθηκε, παρουσιάζει πολλά

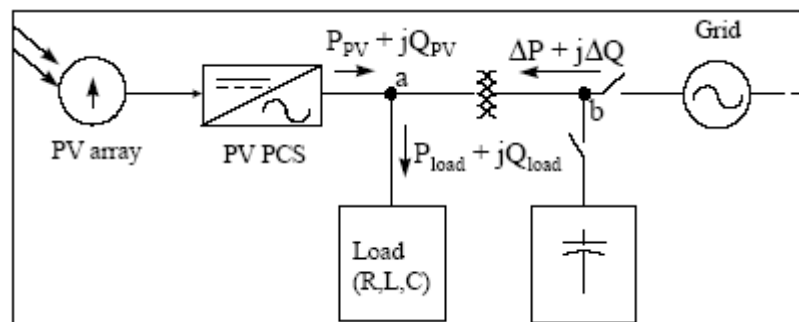
προβλήματα στην εφαρμογή της και τελικά εγκαταλείφθηκε. Η μελέτη αυτής της μεθόδου παρουσιάζεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3.

2.4.2 Μέθοδοι Από Την Πλευρά Του Δικτύου

Για την αντιμετώπιση του φαινομένου νησίδας μπορούν να εφαρμοστούν κάποιες μέθοδοι από την πλευρά του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

2.4.2.1 Εισαγωγή Φορτίου

Σύμφωνα με αυτήν τη μέθοδο, εγκαθίσταται ένας πυκνωτής στην πλευρά του δικτύου, μέσα στο πιθανό κομμάτι που μπορεί να δουλέψει αυτόνομα. (Σημείο “b”). Στην κανονική κατάσταση λειτουργίας ο πυκνωτής είναι αποσυνδεδεμένος. Όταν ο αποζεύκτης του δικτύου ανοίξει, μετά από ένα μικρό χρονικό διάστημα, το οποίο είναι απαραίτητο για τη λειτουργία της μεθόδου, δίνεται εντολή στον πυκνωτή να συνδεθεί. Εάν το τοπικό φορτίο είναι τέτοιο, ώστε να μην μπορεί να εντοπισθεί η έξοδος του δικτύου, η εισαγωγή του πυκνωτή προφανώς θα προκαλέσει αναταραχή στην ισορροπία της αέργου ισχύος ανάμεσα στο Φ/Β και στο τοπικό φορτίο. Αυτό σημαίνει πως η συχνότητα θα μεταβληθεί και θα εντοπιστεί από την παθητική μέθοδο προστασίας. Ο χρόνος, ο οποίος μεσολαβεί μέχρι να συνδεθεί ο πυκνωτής, είναι απαραίτητος, καθώς εάν τύχει το τοπικό φορτίο να είναι τέτοιο, ώστε να μπορεί να συντονισθεί με την εισερχόμενη χωρητικότητα, δεν θα παρατηρηθεί καμία μεταβολή στη συχνότητα.



Σχήμα 2.12 Εισαγωγή Φορτίου Από Το Δίκτυο

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ✓ Σε πολλά σημεία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας έχουν τοποθετηθεί πυκνωτές για την αντιστάθμιση αέργου ισχύος. Αυτό σημαίνει πως υπάρχει ήδη εμπειρία στη

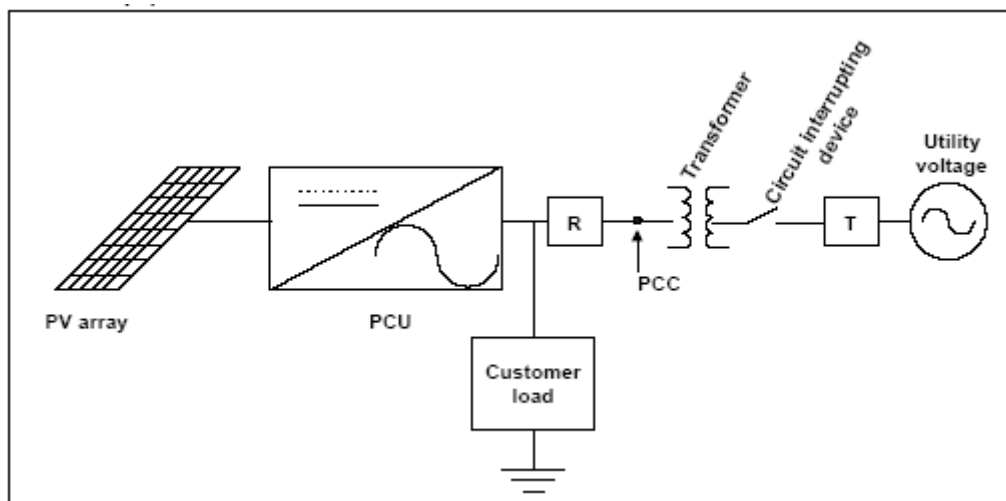
χρησιμοποιήσή τους, καθώς επίσης οι ίδιοι πυκνωτές αντιστάθμισης μπορούν να αποτελέσουν το φορτίο για την υλοποίηση της παραπάνω τεχνικής.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ✓ Κόστος εγκατάστασης. Το όραμα ενός δικτύου με καταναμημένες πηγές ενέργειας ξεκίνησε με στόχο την απλοποίηση του δικτύου, αλλά και τη φθηνή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι φανερό πως η παραπάνω λύση κάνει πιο πολύπλοκο το δίκτυο, αλλά επιπλέον απαιτείται μια πρόσθετη μελέτη και εγκατάσταση πυκνωτών κάθε φορά που ένα νέο σύστημα παραλληλίζεται.
- ✓ Ο χρόνος αντίδρασης είναι πολύ μεγαλύτερος από ότι σε άλλες μεθόδους που προαναφέρθηκαν. Κατά ένα μέρος αυτό οφείλεται στην ταχύτητα αντίδρασης των διακοπών που εισάγουν τον πυκνωτή, κυρίως όμως λόγω του απαραίτητου χρόνου καθυστέρησης που υπάρχει ανάμεσα στην αποσύνδεση του δικτύου και την εισαγωγή του φορτίου.

2.4.2.2 Σύστημα Επικοινωνίας Ανάμεσα Στο Δίκτυο Και Στο Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Η γραμμή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αποτελέσει το μέσο διάδοσης τηλεπικοινωνιακών σημάτων. Εάν εγκατασταθεί ένας πομπός στην πλευρά του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και ένας δέκτης σε κάθε Φ/Β σύστημα, τότε επιτυγχάνεται επικοινωνία μεταξύ τους. Η επικοινωνία θα είναι δυνατή όσο υπάρχει ηλεκτρική συνέχεια.



Σχήμα 2.13 Σύστημα Επικοινωνίας Δικτύου- Φ/Β Συστήματος.

Από τη στιγμή που θα μείνει απομονωμένο ένα κομμάτι του δικτύου, καθώς θα έχει ανοίξει ένας διακόπτης, θα διακοπεί και ο δίαυλος επικοινωνίας. Έτσι, λοιπόν, η κατασκευή ενός συστήματος που θα αποστέλλει συνεχώς ένα σήμα στους κατά τόπους παραγωγούς ενέργειας μπορεί να αποτελέσει το κατώφλι απόφασης διακοπής ή παραλληλισμού με το δίκτυο.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ✓ Δεν μπορεί να επηρεαστεί από το είδος του τοπικού φορτίου.
- ✓ Δεν χρειάζεται συνεργασία με παθητικά μέσα προστασίας.
- ✓ Δεν επηρεάζεται από την παράλληλη λειτουργία και άλλων αυτόνομων συστημάτων.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ✓ Η εγκατάσταση δεκτών σε συστήματα μικρής ισχύος είναι αντισυμβαμική, μιας και ανεβάζει σημαντικά το κόστος τους.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

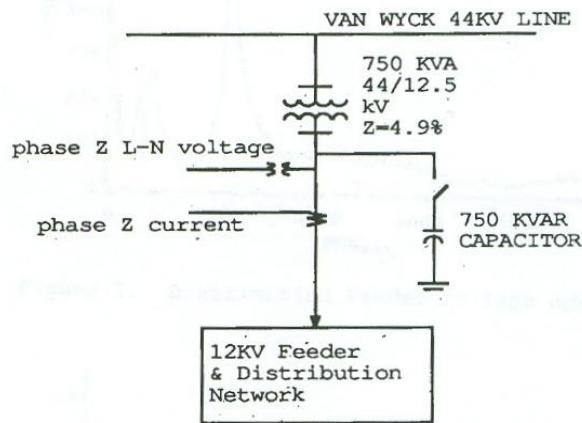
“ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΜΠΕΔΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”

Η μέτρηση της εμπέδησης του δικτύου έχει καταγραφεί ως μία από τις μεθόδους εντοπισμού του φαινομένου “νησίδας”. Το δίκτυο χαμηλής τάσης στο οποίο θα συνδεθεί το σύστημα έχει μια ακτινική δομή. Αυτό σημαίνει πως κάθε γραμμή ξεκινά από ένα ζυγό μέσης τάσης, αυτή με τη σειρά της φτάνει σε ένα τοπικό υποσταθμό που εκεί προκύπτει μία νέα διακλάδωση και μετά από μια σειρά ακτινικών διακλαδώσεων φτάνει το δίκτυο σε έναν τριφασικό ή μονοφασικό καταναλωτή. Σε όλη αυτήν τη διαδρομή έχουν παρεμβληθεί ένα πλήθος στοιχείων ασφαλείας και συντήρησης. Σε ένα πιθανό σφάλμα ή σε εργασίες συντήρησης η ηλεκτρική συνέχεια θα διακοπεί. Η διακοπή αυτή επιδρά άμεσα στην ισοδύναμη αντίσταση που “φαίνεται” από ένα σημείο του δικτύου. Η μεταβολή της σύνθετης αντίστασης μπορεί να αποτελέσει το κριτήριο απόφασης για τον τερματισμό λειτουργίας του Α.Σ.Π.Ε.

Με βάση το γεγονός ότι η μέτρηση της εμπέδησης είναι καταγεγραμμένη ως μια από τις δυνατές μεθόδους εντοπισμού του φαινομένου νησίδας, πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική αναζήτηση των τεχνικών που υπάρχουν για τον εντοπισμό της εμπέδησης του δικτύου από κάποιο σημείο του. Καμία από τις τεχνικές μέτρησης της εμπέδησης που έχουν δημοσιευθεί κατά καιρούς δεν είχαν ως στόχο τον εντοπισμό του φαινομένου αυτού. Η μέτρηση της σύνθετης αντίστασης είχε ως πρωταρχικό σκοπό την ακριβή μοντελοποίηση του συστήματος ενέργειας για την ανάλυση των μεταβατικών καταστάσεων και για τη μελέτη μετάδοσης των αρμονικών. Έτσι, λοιπόν, οι τεχνικές που εντοπίστηκαν παρουσιάζουν αδυναμία να εφαρμοστούν σε ένα σύστημα μικρής ισχύος, για τους λόγους που θα αναφερθούν στη συνέχεια του κεφαλαίου.

3.1 Πρώτη Μέθοδος Προσέγγισης Σύνθετης Αντίστασης

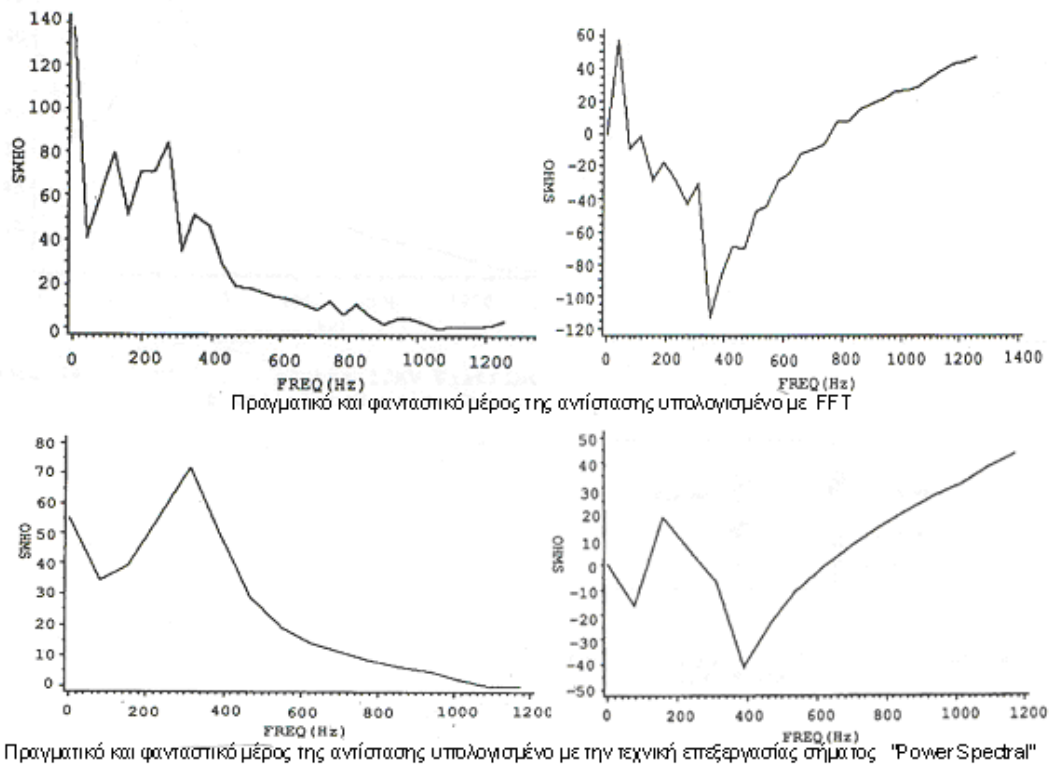
Με στόχο να εντοπιστεί η σύνθετη αντίσταση του δικτύου από κάποιο σημείο του εισάγεται μια διαταραχή. Η διαταραχή προέρχεται από έναν πυκνωτή που εκτελεί μια διακοπτική λειτουργία. Κατά τη διάρκεια της διαταραχής καταγράφονται οι κυματομορφές τάσης και ρεύματος.



Σχήμα 3.1 Σύστημα Δοκιμής Της Μεθόδου

Ο λόγος της καταγεγραμμένης τάσης προς το ρεύμα αποτελεί την ισοδύναμη εμπέδηση του δικτύου. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν εξαρτώνται άμεσα από την τεχνική επεξεργασίας σήματος που θα ακολουθηθεί, αλλά και από την υπολογιστική ισχύ που υπάρχει διαθέσιμη.

Το πόσο πολύ διαφοροποιείται η προσέγγιση ανάλογα με την τεχνική επεξεργασίας σήματος που θα ακολουθηθεί είναι φανερό από τα αποτελέσματα που δημοσιεύονται στην εργασία και φαίνονται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 3.2 Διαφοροποίηση Αποτελέσματος Ανάλογα Με Την Τεχνική Που Χρησιμοποιείται

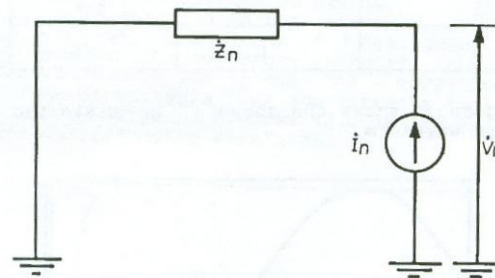
Τα αποτελέσματα, που φαίνονται στην πάνω σειρά του σχήματος 3.2, έχουν προκύψει εφαρμόζοντας γρήγορο μετασχηματισμό Fourier (FFT) στο λόγο τάσης προς ρεύμα. Τα πειραματικά αποτελέσματα στην κάτω σειρά του ίδιου σχήματος έχουν προκύψει από τη χρησιμοποίηση τεχνικών συσχέτισης χρησιμοποιώντας το φάσμα πυκνότητας ισχύος των σημάτων που έχουν καταγραφεί. Είναι εμφανές ότι η καλύτερη, όμως και πιο πολύπλοκη, δεύτερη μέθοδος έχει δώσει μια πιο "ομαλή" συνάρτηση της εμπέδησης στο πεδίο συχνότητας.

Μία μέθοδος με την ίδια ακριβώς λογική περιγράφεται στην εργασία, αλλά για τη μέτρηση εμπέδησης ενός τριφασικού συστήματος. Σε αυτήν την περίπτωση τη διαταραχή την προκαλεί ένας τριφασικός μετασχηματιστής.

3.2 Δεύτερη Μέθοδος Προσέγγισης Σύνθετης Αντίστασης

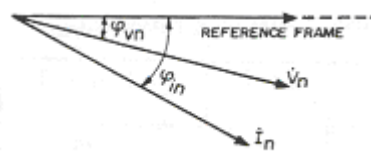
Σε αυτήν τη μέθοδο δεν είναι αναγκαίο να εισαχθεί μια ενόχληση στο δίκτυο, όπως στην προηγούμενη. Αντιθέτως, γίνεται εκμετάλλευση της διαταραχής που εισάγει εκ φύσεως ένας διακοπτικός μετατροπέας συνδεδεμένος με το δίκτυο.

Έστω ότι σε ένα ζυγό είναι συνδεδεμένο ένα φορτίο γένεσης αρμονικών (π.χ ένας αντιστροφέας). Επίσης, ας θεωρηθεί ότι η τάση του ηλεκτρικού δικτύου είναι καθαρά ημιτονοειδής. Το μη γραμμικό φορτίο θα προκαλέσει την έκχυση ενός ποσού αρμονικού ρεύματος, γεγονός που προκαλεί την εμφάνιση μιας ανάλογης ποσότητας αρμονικής τάσης. Αυτό υποδηλώνει ότι εύκολα μπορεί να προσδιοριστεί η “αρμονική” σύνθετη αντίσταση (η αντίσταση στη συχνότητα του αρμονικού ρεύματος) από το λόγο της αρμονικής τάσης προς το αρμονικό ρεύμα. Το ισοδύναμο κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα:



Σχήμα 3.3 Ισοδύναμο Κύκλωμα

Πρακτικά η μέτρηση μπορεί να γίνει με τη βοήθεια ενός ψηφιακού αναλυτή φάσματος (spectrum analyzer). Η σχέση ανάμεσα στα μεγέθη που θα μετρηθούν θα είναι η ακόλουθη:



Σχήμα 3.4 Διανυσματικό Διάγραμμα Μεγεθών

$$\dot{Z}_n = \frac{\dot{V}_n}{\dot{I}_n} = \frac{V_n}{I_n} \angle \varphi_{in} - \varphi_{vn} \text{ όπου,}$$

n : η τάξη της αρμονικής

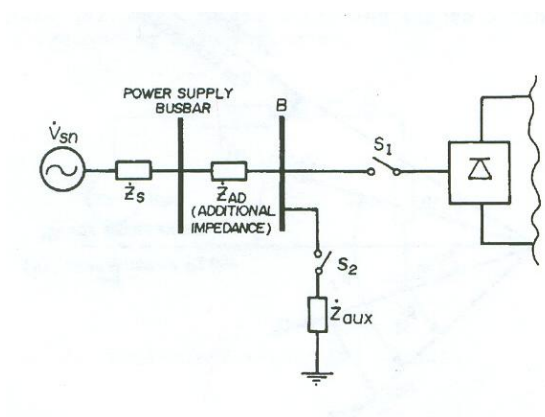
V_n : μέτρο της αρμονικής τάσης

I_n : μέτρο του αρμονικού ρεύματος που προέκυψε

$\varphi_{in}, \varphi_{vn}$: φασικές γωνίες ρεύματος και τάσης

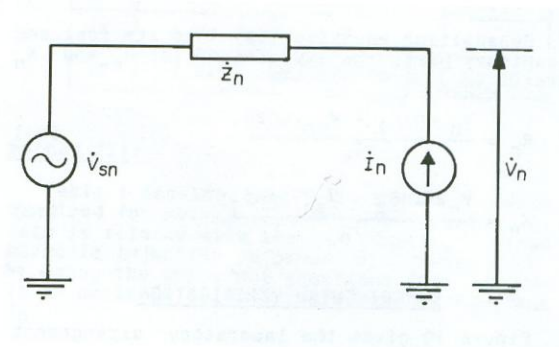
Η παραπάνω μέθοδος εφαρμόζεται μόνο όταν οι ανώτερες αρμονικές παράγονται αποκλειστικά λόγω του μετατροπέα και η τάση του δικτύου είναι απολύτως ημιτονοειδής. Κάτι τέτοιο, όμως, είναι πρακτικά ανέφικτο. Για αυτόν το λόγο μία τροποποιημένη μέθοδος αυτής που περιγράφηκε είναι η ακόλουθη.

Ας θεωρηθεί η τοπολογία του Σχήματος 3.5. Στόχος είναι ο προσδιορισμός της σύνθετης αντίστασης \dot{Z}_s .



Σχήμα 3.5 Τοπολογία Εντοπισμού Σύνθετης Αντίστασης

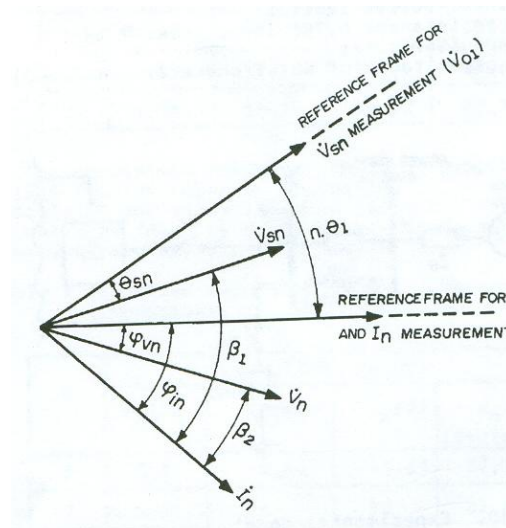
Η πηγή τάσης δεν είναι αμιγώς ημιτονοειδής. Επομένως εμφανίζει μία τάση σε ανώτερη συχνότητα και το ισοδύναμο μοντέλο θα είναι όπως στο Σχήμα 3.6 (σε αντιδιαστολή με το Σχήμα 3.4).



Σχήμα 3.6 Ηλεκτρικό Ισοδύναμο Του Συστήματος Σε Αρμονική Συχνότητα

Οι ενέργειες που ακολουθούνται για τη μέτρηση της εμπέδησης του δικτύου είναι:

1. Μένουν ανοιχτοκυκλωμένοι οι διακόπτες S1 και S2. Καταγράφεται με τη βοήθεια ενός αναλυτή φάσματος (spectrum analyzer) το δiάνυσμα της αρμονικής τάσης, το οποίο μετράται έχοντας σαν δiάνυσμα αναφοράς την τάση \dot{V}_{01} . Η τάση αναφοράς προκύπτει από το σημείο που θα επιλέξει ο χρήστης του Spectrum Analyzer να γίνει “triggering”.
2. Εισάγεται το Z_{aux} του οποίου η τιμή είναι γνωστή. Καταγράφεται η νέα θέση των διανυσμάτων.



Σχήμα 3.7 Διανυσματικό Διάγραμμα Μεγεθών

Θεωρώντας το \dot{I}_n ως το δiάνυσμα αναφοράς από το παραπάνω διανυσματικό διάγραμμα ισχύει:

$$V_n \angle \beta_2 = V_{sn} \angle \beta_1 + (R_n + jX_n) I_n \angle 0^\circ \quad (1) \text{ όπου,}$$

$$\beta_1 = [n \cdot \theta_1 - \theta_{sn} + \varphi_{in}]$$

$$\beta_2 = [\varphi_{in} + \varphi_{vn}]$$

Χωρίζοντας την εξίσωση (1) σε πραγματικό και φανταστικό μέρος προκύπτουν τα δύο μέρη της μιγαδικής αντίστασης του δικτύου:

$$R_n = \frac{V_n \cdot \cos \beta_2 - V_{sn} \cdot \cos \beta_1}{I_n}$$

$$X_n = \frac{V_n \cdot \sin \beta_2 - V_{sn} \cdot \sin \beta_1}{I_n}$$

Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου φαίνεται από τη σύγκριση των πειραματικών τιμών με τις πραγματικές τιμές της ισοδύναμης αντίστασης. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.8, η μέθοδος δίνει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα.

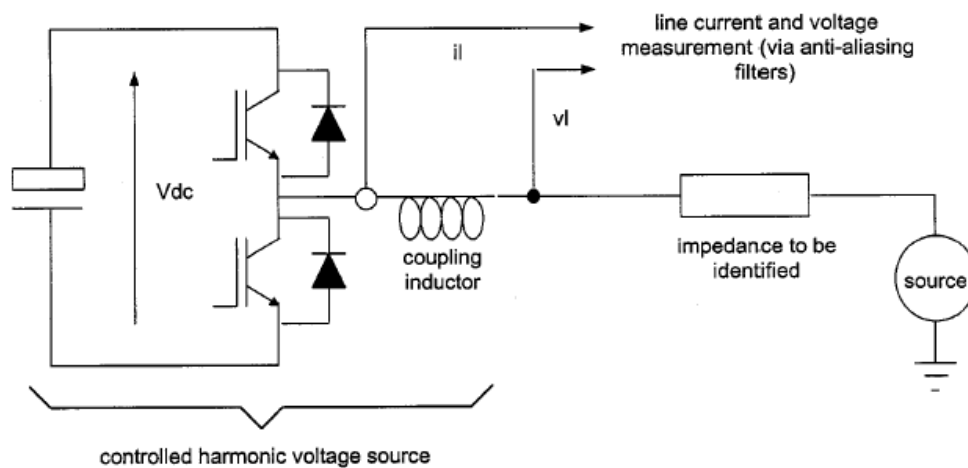
n	R _n (Ω)	X _n (Ω)	Z _n (Ω)	φ _n [degree]	n	R _n (Ω)	X _n (Ω)	Z _n (Ω)	φ _n [degree]
5	0,98	16,84	16,87	89,66	5	0,8	15,65	15,67	87,1
7	1,0	24	24,02	87,79	7	0,8	22	22	87,92
11	1,12	37,70	37,67	88,30	11	0,8	34,5	34,51	88,67
13	0,95	38,70	38,71	88,60	13	0,8	40,7	40,71	88,87
17	1,34	59,18	59,20	88,70	17	0,8	53,21	53,21	89,14

Σχήμα 3.8 Απόκλιση Πειραματικών Τιμών (αριστερά) Από Τις Θεωρητικά Υπολογισμένες

Οι δύο προηγούμενες μέθοδοι εισήγαγαν σε κάποιο χρονικό σημείο ένα παθητικό στοιχείο προκαλώντας κατά αυτόν τον τρόπο μια διαταραχή. Από τη στιγμή που κατασκευάζεται ένα σύστημα ελέγχου πραγματικού χρόνου είναι επόμενο να επιθυμείται η κατασκευή ενός στιβαρού συστήματος του οποίου η συμπεριφορά θα είναι προβλέψιμη και αμετάβλητη. Γι' αυτόν το λόγο απορρίφθηκαν εξ' αρχής ως τρόποι αντιμετώπισης του φαινομένου νησίδια.

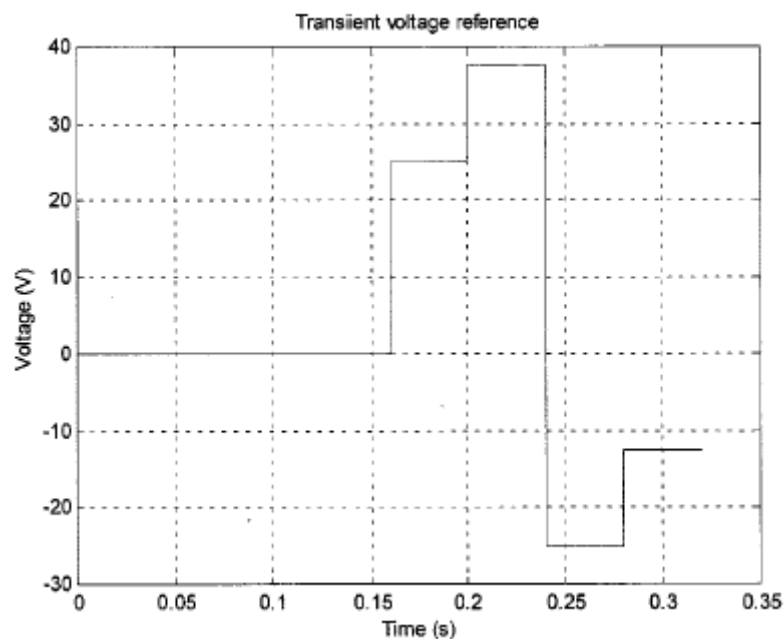
3.3 Τρίτη Μέθοδος Προσέγγισης Της Σύνθετης Αντίστασης

Η μέθοδος, που παρουσιάζεται σε αυτό το σημείο, διατηρεί τη βασική ιδέα σύμφωνα με την οποία εισάγεται μια διαταραχή, καταγράφεται το αποτέλεσμα και αφού γίνει επεξεργασία της απόκρισης, προσεγγίζεται η εμπέδηση. Η μεγαλύτερη διαφοροποίηση είναι ότι η διαταραχή είναι απολύτως ελεγχόμενη. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση ενός μετατροπέα(ξεχωριστή συσκευή – όχι ο μετατροπέας του Φ/Β συστήματος) (Σχήμα 3.9), ο οποίος εισάγει μια μεταβαλλόμενη τάση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ενός πηνίου. Το προκαλούμενο μεταβλητό ρεύμα συσχετίζεται με την τάση που προκάλεσε τη διαταραχή για να προσδιοριστεί η εμπέδηση στο πεδίο του χρόνου.



Σχήμα 3.9 Διάταξη Μέτρησης Εμπέδησης.

Η έξοδος του διακοπτικού μετατροπέα θα είναι μία βηματική τάση όπως στο Σχήμα 3.10. Ανάλογα με την επιθυμητή ανάλυση επιλέγεται και η κατάλληλη περίοδος της βηματικής τάσης. Έτσι, λοιπόν, εάν η περίοδος της βηματική τάσης είναι 160ms, τότε η ανάλυση θα είναι ίση με 6.25Hz και αν η περίοδος είναι 80ms, η ανάλυση θα είναι 12.5Hz. Η επιλογή της περιόδου της διαταραχής έχει αποδειχθεί πως παίζει σημαντικό ρόλο στην εξάλειψη του εισερχόμενου θορύβου και συνεπώς στην ακρίβεια της μέτρησης.

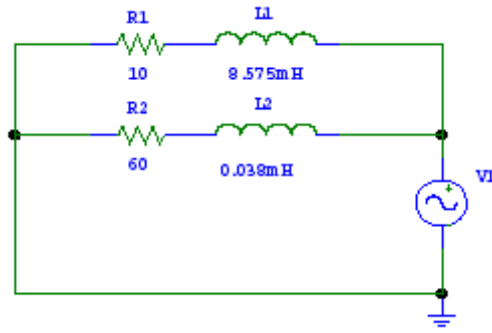


Σχήμα 3.10 Βηματική Τάση Διαταραχής – Περίοδος 160ms

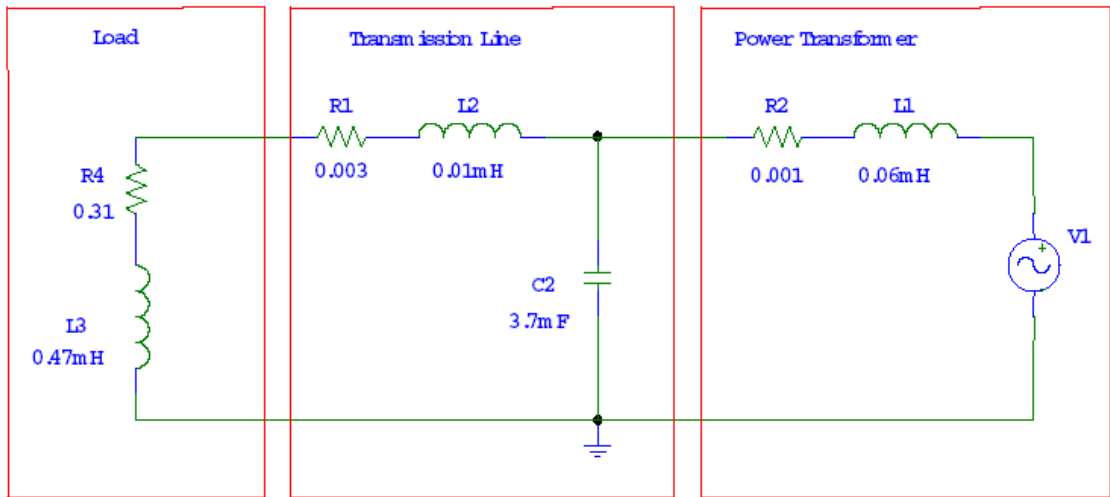
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.10, πριν εισαχθεί στο σύστημα η βηματική τάση, μεσολαβεί ένας χρόνος ηρεμίας κατά τον οποίο καταγράφεται η αρχική κατάσταση. Εάν λοιπόν η περίοδος της μεταβαλλόμενης τάσης είναι 160 ms, για 160ms πριν τη διαταραχή καταγράφονται το ρεύμα και η τάση. Αφαιρώντας μεταξύ τους τα καταγεγραμμένα δείγματα εξαλείφεται οποιαδήποτε μόνιμη κατάσταση εισάγει η κύρια πηγή τάσης (η τάση του δικτύου). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο προσδιορισμός της εμπέδησης να γίνεται με ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια. Αφού ανακτηθούν οι “καθαρές” κυματομορφές τάσης και ρεύματος, εφαρμόζεται σε κάθε μία μετασχηματισμός Fourier και από το λόγο τους προσεγγίζεται η ισοδύναμη εμπέδηση του δικτύου στο πεδίο συχνότητας. Δηλαδή:

$$Z(f) = F(V(t)) / F(I(t))$$

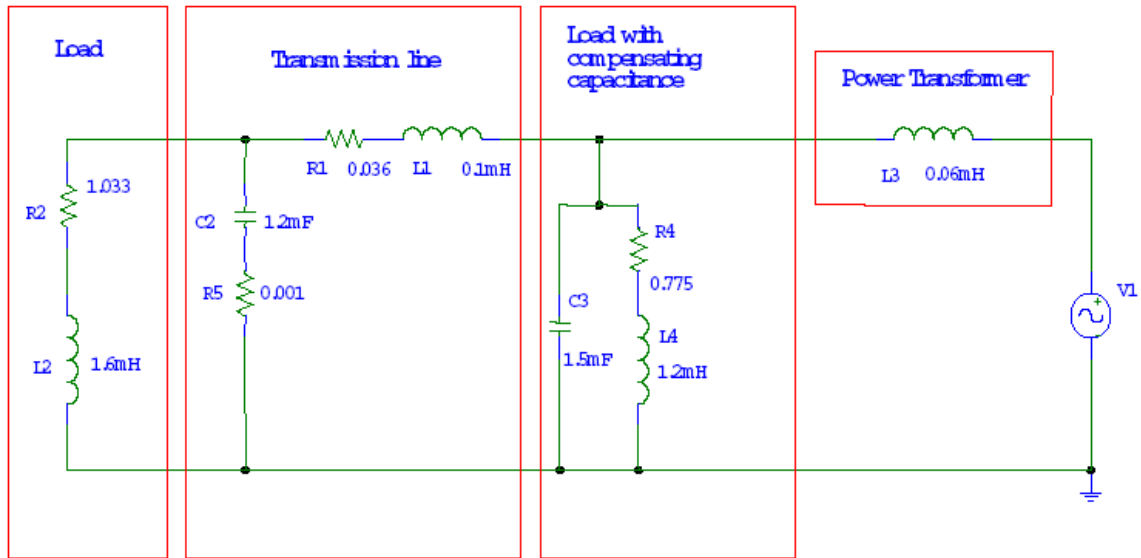
Οι ερευνητές που μελέτησαν αυτήν τη μέθοδο έκαναν εξομοίωση σε τρία διαφορετικά μοντέλα. Το πρώτο είναι ένα απλοποιημένο μοντέλο μετασχηματιστή (Μ/Σ), το οποίο περιλαμβάνει μόνο μία επαγωγή (Σχήμα 3.11). Το δεύτερο μοντέλο αποτελείται από ένα Μ/Σ φαινόμενης ισχύος 1MVA, μία γραμμή μεταφοράς μήκους 3 km και έναν παράλληλο πυκνωτή (Σχήμα 3.12). Το τρίτο μοντέλο παριστά με αρκετά μεγάλη ακρίβεια ένα σύστημα μέσης ισχύος. Αποτελείται από ένα Μ/Σ 1MVA, μία γραμμή μεταφοράς μήκους 3 km και δύο παράλληλα R-L φορτία (Σχήμα 3.13).



Σχήμα 3.11 Μοντέλο 1-Απλοποιημένο Μοντέλο Δικτύου, Λαμβάνοντας Υπόψη Μόνο Την Επαγωγή Του Μετασχηματιστή

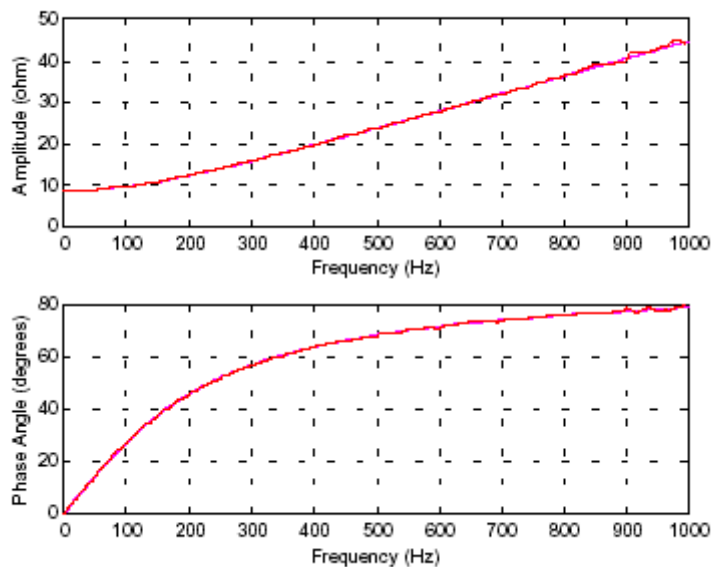


Σχήμα 3.12 Μοντέλο2-Περιλαμβάνει Μετασχηματιστή, Γραμμή Μεταφοράς, Φορτίο

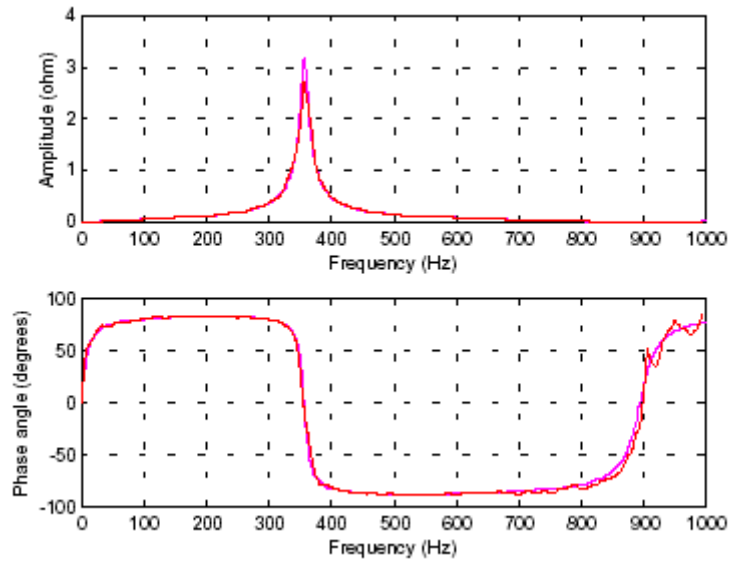


Σχήμα 3.13 Μοντέλο 3-Μετασχηματιστής, Γραμμή Μεταφοράς, Φορτίο Και Πυκνωτής Διόρθωσης Του Συντελεστή Ισχύος

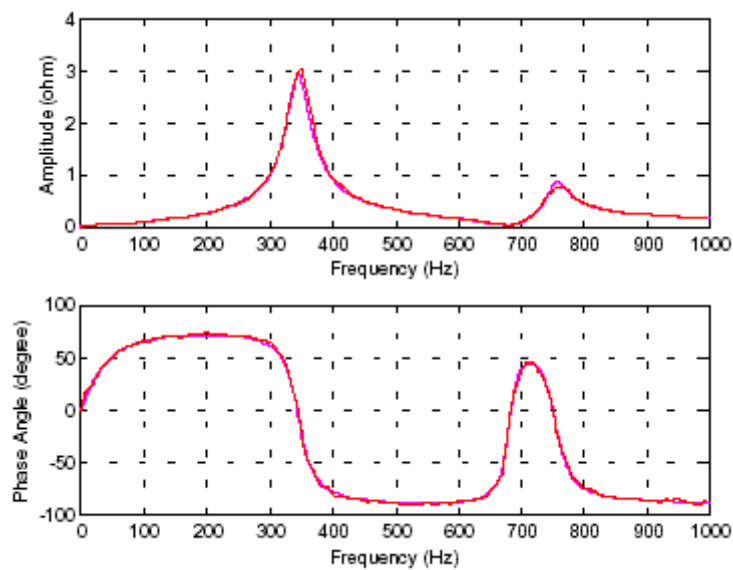
Τα αποτελέσματα των εξομοιώσεων για τα δύο πρώτα μοντέλα ήταν πολύ ικανοποιητικά. Η προσέγγιση, όμως, στο τρίτο μοντέλο δεν ήταν τόσο καλή λόγω του κρουστικού ρεύματος που εμφανίζεται στον παράλληλο πυκνωτή κατά τη βηματική-απότομη μεταβολή της τάσης. Για αυτόν το λόγο εισήγαγαν ένα κατωδιαβατό φίλτρο με συχνότητα αποκοπής ίση με 1kHz, ώστε να εξομαλυνθεί η διαταραχή και να μην είναι πλέον βηματική. Με τη χρήση του φίλτρου η προσέγγιση της εμπέδησης ήταν αρκετά καλή και στα τρία μοντέλα, όπως φαίνεται στα Σχήματα 3.14, 3.15 και 3.16.



Σχήμα 3.14 Προσέγγιση Εμπέδησης Στο Μοντέλο 1



Σχήμα 3.15 Προσέγγιση Εμπέδησης Στο Μοντέλο 2



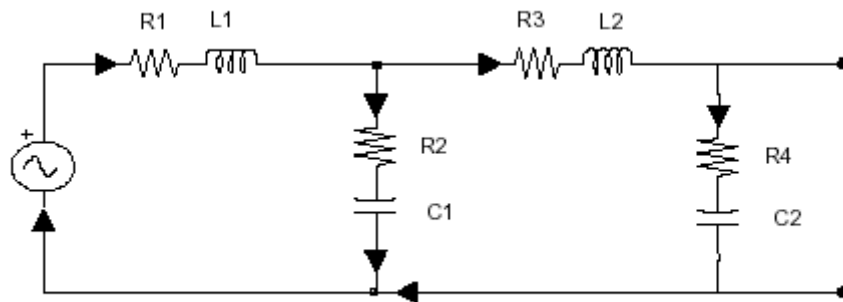
Σχήμα 3.16 Προσέγγιση Εμπέδησης Στο Μοντέλο 3

Το πρόβλημα που εντοπίστηκε είναι ότι προκαλούνται μεγάλες τιμές ρευμάτων λόγω της επιβαλλόμενης διαταραχής. Αυτό έγινε προσπάθεια να αντιμετωπισθεί με τους ακόλουθους τρόπους:

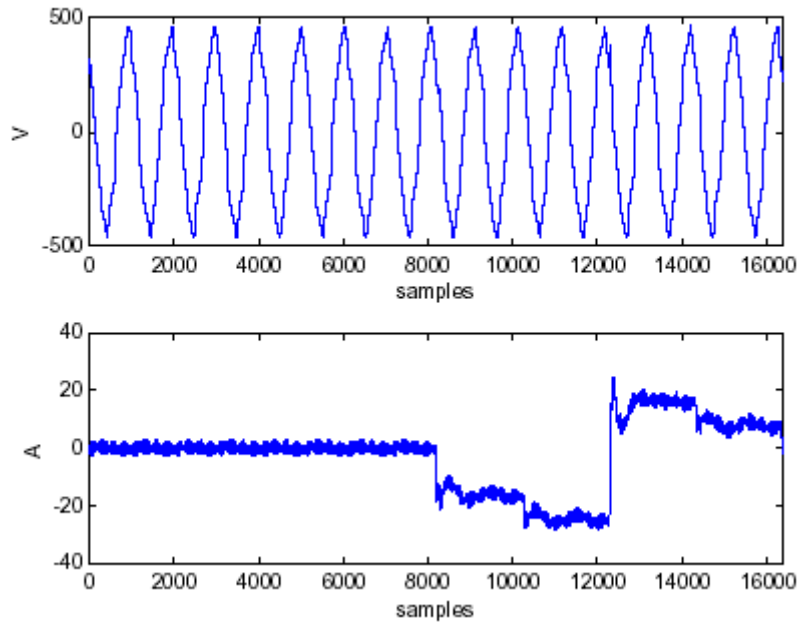
- ✓ Μείωση του πλάτους της βηματικής τάσης.
- ✓ Εισαγωγή ελεγκτή τάσης.

- ✓ Χρησιμοποίηση ενός PID ελεγκτή για ρύθμιση του ρεύματος.
- ✓ Συνδυασμός δύο ελεγκτών: ενός ελεγκτή τάσης ελεγχόμενου από την τάση εξόδου και ενός ελεγκτή ρεύματος ελεγχόμενου από το ρεύμα εξόδου.
- ✓ Η προηγούμενη μέθοδος σε συνδυασμό με μείωση του πλάτους της βηματικής τάσης.

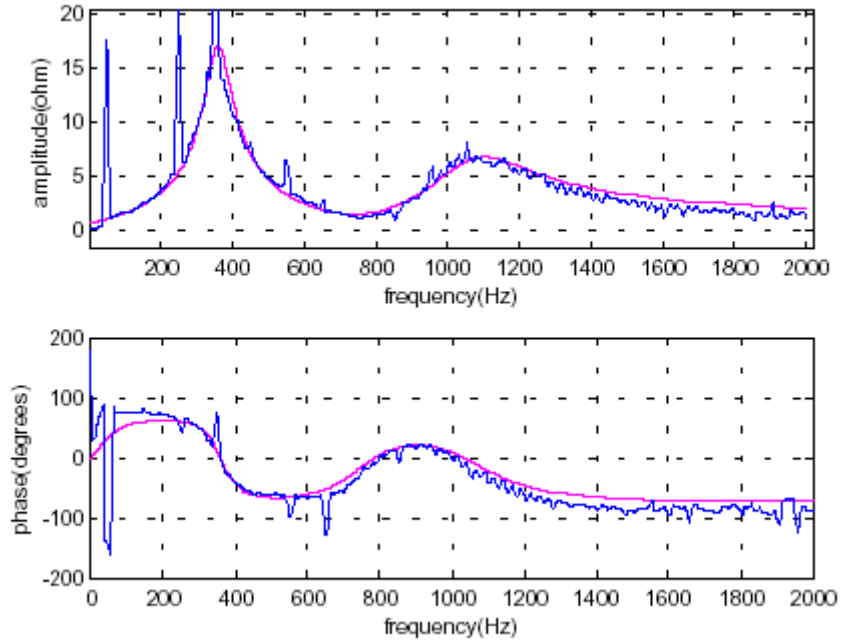
Ως βέλτιστη λύση αποδείχθηκε η τέταρτη. Το πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε για επαλήθευση του συστήματος είναι αυτό του Σχήματος 3.17. Στο Σχήμα 3.18 φαίνονται οι μετρούμενες τιμές της τάσης και του ρεύματος για αυτό το πειραματικό μοντέλο, ενώ στο σχήμα 3.19 η μέτρηση της εμπέδησης και η απόκλισή της από τη θεωρητικά υπολογισμένη.



Σχήμα 3.17 Πειραματικό Μοντέλο



Σχήμα 3.18 Μεταβολή Τάσης Και Ρεύματος



Σχήμα 3.19 Σύγκριση Θεωρητικών – Πειραματικών Αποτελεσμάτων Για Μέτρηση Εμπέδησης

Αξιολόγηση της μεθόδου:

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου σε σχέση με τις προηγούμενες είναι η δυνατότητα ελέγχου που προσφέρεται επί της εισερχόμενης μεταβολής. Η εισαγωγή αυτής της διαταραχής μπορεί να πραγματοποιηθεί όποτε επιθυμείται και το κυριότερο μπορεί να συνεργαστεί με διάφορα συστήματα ελέγχου, τα οποία θα επιβάλλουν το μέγιστο πλάτος της τιμής ρεύματος. Επίσης, απαιτείται πολύ μικρή μεταβατική κατάσταση, με αποτέλεσμα η ανανέωση της τιμής της αντίστασης να γίνεται ανά μικρά χρονικά διαστήματα (π.χ κάθε 320ms). Επιπροσθέτως, έχει και πρακτική εφαρμογή. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μεταφερόμενη συσκευή για τη μέτρηση της σύνθετης αντίστασης του δικτύου στα διάφορα σημεία του. Εναλλακτικά, μπορεί να ενσωματωθεί στη λειτουργία ενός ενεργού φίλτρου για βελτίωση του ελέγχου των ανώτερων αρμονικών.

Δυστυχώς, όμως, ούτε και αυτή η μέθοδος δεν θα μπορούσε να αποτελέσει μέθοδο εντοπισμού του φαινομένου “νησίδας”, μιας και ο ελάχιστος χρόνος ανανέωσης της εμπέδησης μπορεί να είναι 16 κύκλοι λειτουργίας (320 ms), γεγονός που αντιβαίνει με τον χρόνο αντίδρασης που καθορίζεται από το IEEE std.929-2000. Το πρότυπο αυτό ορίζει ως ελάχιστο χρόνο επενέργειας τους 10 κύκλους λειτουργίας. Εάν επιλεγόταν η βηματική τάση να έχει περίοδο 80ms (χάνοντας σε ακρίβεια μέτρησης), τότε η ανανέωση της μέτρησης της εμπέδησης θα γινόταν κάθε 160ms, δηλαδή 8 κύκλοι λειτουργίας. Σε αυτή την περίπτωση ο χρόνος επίδρασης του συστήματος ασφαλείας θα ήταν εντός των ορίων που ορίζει το IEEE Std.929-2000. Επιπλέον, ας μην παραβλεφθεί ότι το φαινόμενο της “νησίδας” εμφανίζεται σε αντιστροφείς μικρής ισχύος. Αυτό σημαίνει πως όχι μόνο θα έκανε πιο πολύπλοκο και ακριβό ένα απλό Φ/Β σύστημα, αλλά ένα μεγάλο μέρος της παραγόμενης ισχύος θα δαπανιόταν στη συσκευή μέτρησης της εμπέδησης.

3.4 Συμπεράσματα

Η ιδέα της δημιουργίας μιας ξεχωριστής συσκευής που θα μπορεί να μετρά την εμπέδηση του δικτύου εγκαταλείφθηκε για τους λόγους που αναφέρθηκαν. Έτσι, λοιπόν, αναζητήθηκε μια άλλη μέθοδος με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που έχουν ως εξής:

- ✓ Να μην προκαλεί διαταραχές στο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- ✓ Να μην είναι ενεργοβόρο, μιας και η παραγόμενη ισχύς κάθε αποκεντρωμένου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι μικρή.
- ✓ Να μπορεί να υλοποιηθεί με τη βοήθεια απλών κυκλωμάτων.

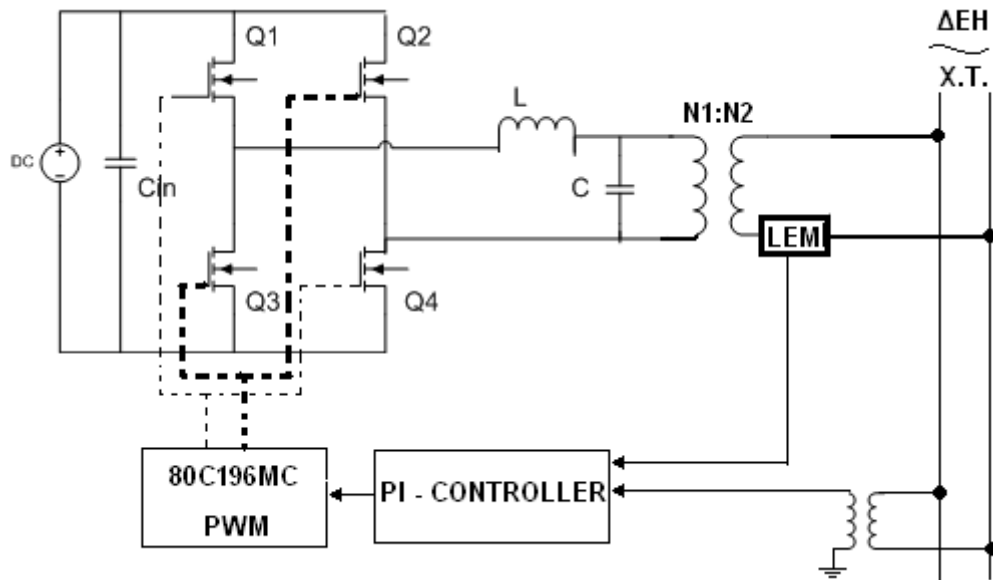
Όπως έχει περιγραφεί στις “Ένεργητικές Μεθόδους Προστασίας”, η μεταβολή μιας παραμέτρου εκ των χαρακτηριστικών της ενέργειας εξόδου (μεταβολή της συχνότητας $\omega_{\Phi/B}$, του μέτρου του ρεύματος $I_{\Phi/B}$ ή της φάσης $\varphi_{\Phi/B}$) γίνεται ενσωματώνοντας ή τροποποιώντας τη μέθοδο ελέγχου κλειστού βρόχου του συστήματος. Για αυτόν το λόγο προχωρήσαμε στη μελέτη ενός αντιστροφέα μικρής ισχύος (module inverter), που θα απαρτίζεται από το κύκλωμα ισχύος, το κύκλωμα παλμοδότησης και το κύκλωμα ελέγχου κλειστού βρόχου. Στο κύκλωμα ελέγχου, τελικά, θα ενσωματωθεί το κύκλωμα που θα διασφαλίσει την ορθή λειτουργία του Φ/Β συστήματος και θα αποτρέψει την ανεξέλεγκτη λειτουργία του.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ”

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η αναλυτική παρουσίαση μετατροπέα ισχύος. Τα μέρη που θα μελετηθούν είναι:

- ✓ Κύκλωμα Ισχύος
- ✓ Κύκλωμα Οδήγησης των Παλμών
- ✓ Κύκλωμα Ελέγχου του Φ/Β συστήματος



Σχήμα 4.1 Φ/Β Σύστημα Διασυνδεδεμένο Με Δίκτυο Χ.Τ

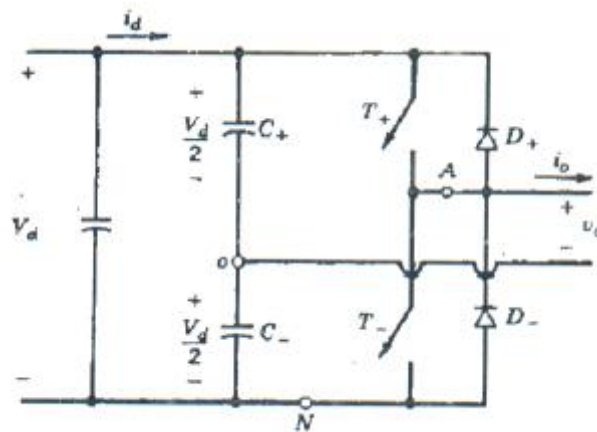
Μια τοπολογία πλήρους γέφυρας θα αποτελέσει το κύκλωμα ισχύος. Το κύκλωμα οδήγησης παλμών θα ενισχύσει τους παλμούς έναυσης των ημιαγωγικών στοιχείων, ενώ παράλληλα θα επιτευχθεί η ηλεκτρική απομόνωση του λογικού κυκλώματος από το κύκλωμα ισχύος. Το κύκλωμα ελέγχου του Φ/Β συστήματος είναι υπεύθυνο, ώστε να “ωθήσει” το ρεύμα εξόδου του αντιστροφέα να γίνει συμφασικό με την τάση του δικτύου.

4.1 Κύκλωμα ισχύος

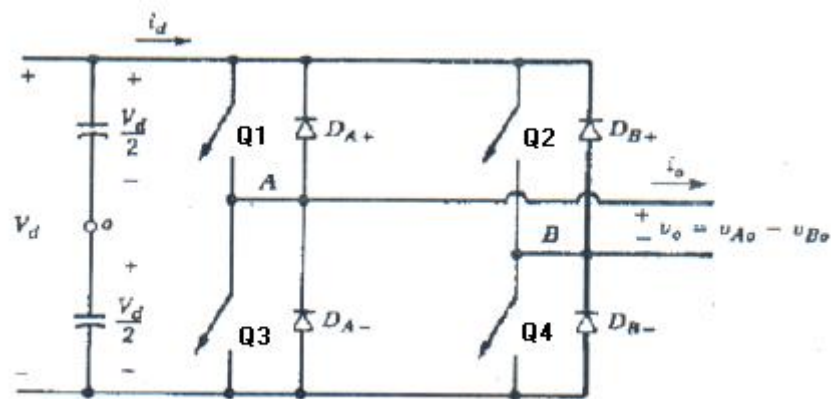
4.1.1 Κατηγοριοποίηση και εκλογή του κατάλληλου αντιστροφέα

Ο αντιστροφέας είναι η συσκευή που έχει την ικανότητα να μετατρέπει ένα συνεχές μέγεθος σε εναλλασσόμενο. Οι αντιστροφείς μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στους μονοφασικούς και στους τριφασικούς. Οι τριφασικοί αντιστροφείς χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές, όπως τριφασικά τροφοδοτικά αδιάλειπτης λειτουργίας (UPS), και σε κινητήρια συστήματα. Η παρούσα εφαρμογή αναφέρεται σε έναν οικιακό παραγωγό-καταναλωτή, οπότε αρκεί η χρήση ενός μονοφασικού αντιστροφέα.

Στην κατηγορία των μονοφασικών αντιστροφέων ανήκουν οι μετατροπείς με μισή και πλήρη γέφυρα (Σχήματα 4.2 και 4.3).



Σχήμα 4.2 Αντιστροφέας Μισής Γέφυρας



Σχήμα 4.3 Αντιστροφέας Πλήρους Γέφυρας

Ο αντιστροφείας πλήρους γέφυρας αποτελείται από δύο αντιστροφείς μισής γέφυρας. Γενικά, προτιμάται περισσότερο η τοπολογία πλήρους γέφυρας, μιας και εκμεταλλεύεται όλη την τάση που εφαρμόζεται στην είσοδο αυτού σε σχέση με τη μισή που εκμεταλλεύεται η τοπολογία ημίσειας γέφυρας. Έτσι, για την ίδια ισχύ απαιτούνται μικρότερες εντάσεις ρεύματος, άρα οι καταπονήσεις των στοιχείων είναι μικρότερες, αλλά απαιτούνται περισσότερα διακοπτικά στοιχεία.

4.1.2 Θεωρητική Μελέτη Αντιστροφέα – Επιλογή Διακοπτικών Στοιχείων

Η πλήρης γέφυρα περιλαμβάνει δύο ομάδες διακοπτικών στοιχείων. Όταν άγει το ένα ζεύγος στοιχείων, δίνει ένα δρόμο διέλευσης στο ρεύμα, ενώ το άλλο ζεύγος βρίσκεται σε κατάσταση αποκοπής. Κάποια στιγμή θα σταματήσουν να άγουν και θα τεθεί σε αγωγή το άλλο ζευγάρι, παρέχοντας διέλευση στο ρεύμα κατά την αντίθετη φορά από ένα νέο δρόμο. Η παραπάνω λειτουργία συνεχίζεται εναλλάξ. Όταν ένα ημιαγωγικό στοιχείο βρίσκεται σε αγωγή, η τάση στα άκρα του θα είναι μηδενική. Αντιθέτως, όταν βρίσκεται σε αποκοπή, η τάση στα άκρα του θα είναι ίση με την τάση εισόδου. Δηλαδή:

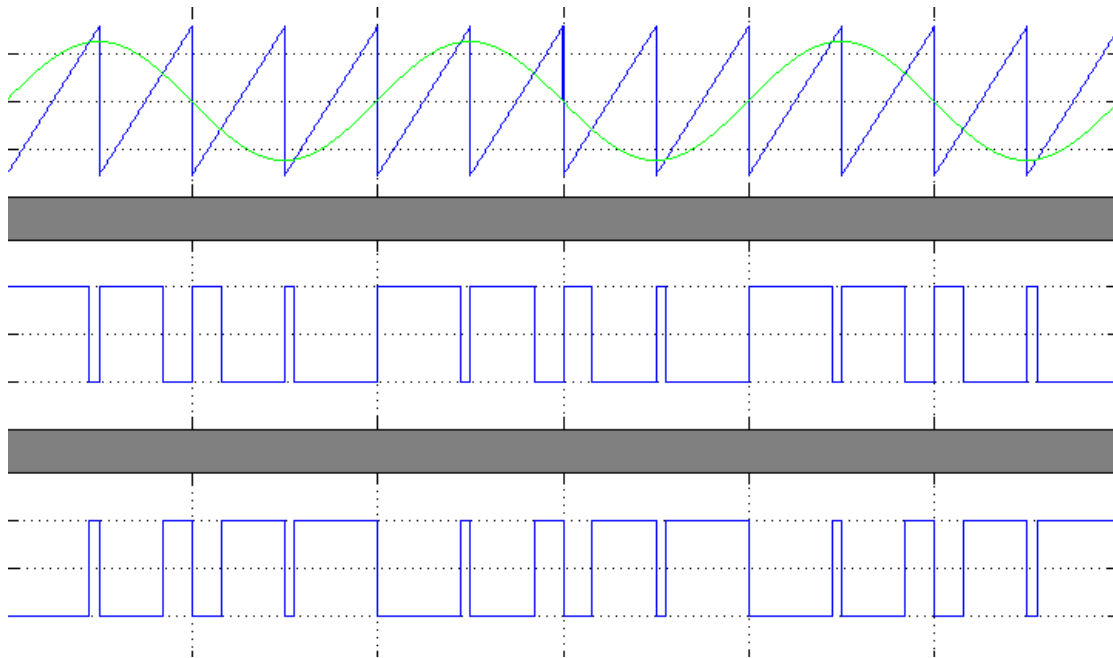
$$\text{Όταν } V_{Q1} = V_{Q4} = 0, \text{ τότε: } V_{Q2} = V_{Q3} = V_{in_dc}$$

και

(4.1)

$$V_{Q2} = V_{Q3} = 0 \Rightarrow V_{Q1} = V_{Q4} = V_{in_dc}$$

Η παλμοδότηση των διακοπτικών στοιχείων θα γίνει με τη μέθοδο “Ημιτονοειδούς Διαμόρφωσης κατά Εύρος των Παλμών – SPWM” με διπολική τάση εξόδου. Σύμφωνα με αυτήν τη μέθοδο οι παλμοί ελέγχου των ημιαγωγικών στοιχείων προκύπτουν από τη σύγκριση ενός ημίτονου με μία τριγωνική κυματομορφή. Η συχνότητα του ημίτονου θα διαμορφώσει τη βασική αρμονική της τάσης εξόδου, οπότε πρέπει να είναι $f_{\sin} = 50\text{Hz}$, ώστε να είναι δυνατός ο παραλληλισμός του συστήματος με το δίκτυο. Η συχνότητα του τριγώνου αποτελεί τη διακοπτική συχνότητα των ημιαγωγικών στοιχείων. Το αποτέλεσμα αυτής της σύγκρισης θα είναι θετικοί παλμοί των οποίων το πλάτος θα μεταβάλλεται, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4, το οποίο προέκυψε από την εξομοίωση. Οι παλμοί αυτοί θα οδηγηθούν στο ένα ζευγάρι διακοπών (Q1,Q2) και οι συμπληρωματικοί στο άλλο (Q2,Q3).



Σχήμα 4.4 Διαμόρφωση Παλμών Κατά Εύρος

Μεταβάλλοντας το πλάτος του ημίτονου διαμόρφωσης σε σχέση με το πλάτος του τριγώνου, με άλλα λόγια αλλάζοντας το συντελεστή διαμόρφωσης πλάτους (amplitude modulation ratio) $m_a = A_{\sin}/A_{\text{tri}}$, αλλάζει και το εύρος των παλμών. Άρα μεταβάλλεται ο χρόνος που άγει το κάθε ζευγάρι διακοπών και κατά συνέπεια αλλάζει και το πλάτος της βασικής αρμονικής της τάσης εξόδου. Η σχέση, η οποία συνδέει την ενεργό τιμή της βασικής αρμονικής της τάσης εξόδου με την τάση στην είσοδο του αντιστροφέα και το λόγο m_a , είναι:

$$V_{out_inv} = \frac{m_a \cdot V_{in_dc}}{\sqrt{2}} \quad (4.2)$$

Η έξοδος του συστήματος για να συνδεθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο θα πρέπει να είναι:

$$V_{out_inv} = V_{\text{δίκτ}} = 220 \text{ Volt} \quad (4.3)$$

Στο σύστημα θα χρησιμοποιηθεί ένας μετασχηματιστής σιδήρου, που θα κάνει την απαραίτητη ανύψωση τάσης, προκειμένου να συνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς αν ο λόγος ανύψωσης είναι $N_1 : N_2 = 1 : 10$, θα πρέπει η έξοδος του κυκλώματος ισχύος να είναι 22 Volt (ενεργός τιμή).

Θεωρώντας πως τα φωτοβολταϊκά πάνελ του συστήματος παρέχουν συνεχώς τάση ίση με 48 Volt, πρέπει να επιλεγθεί κατάλληλος λόγος m_a , ώστε η έξοδος του συστήματος πριν τον Μ/Σ να είναι 22Volt. Το m_a προκύπτει από τον ακόλουθο υπολογισμό:

$$(4.1) \Rightarrow m_a = \frac{22 \cdot \sqrt{2}}{48} \Rightarrow m_a = 0.648 \quad (4.4)$$

Αν γίνει δεκτό ότι $m_a=0.7$, τότε η τάση εξόδου από την (4.2) προκύπτει 237Volt. Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι θα προκαλέσει κάποια πτώση τάσης το φίλτρο εξόδου και ο Μ/Σ, αυτή η τιμή του m_a είναι ικανοποιητική.

Είναι επιθυμητό το σύστημα να παράγει ισχύ ίση με 170Watt. Προσεγγιστικά, λοιπόν, το ρεύμα εξόδου στο πρωτεύον και το δευτερεύον του Μ/Σ είναι:

$$I_{out_sec} = \frac{P_{out}}{V_{δίκτ}} = \frac{170}{220} \Rightarrow$$

$$I_{out_sec} = 772mA \quad (4.5)$$

$$I_{out_pri} = I_{out_sec} \cdot (N_1 : N_2) = 7.72A \quad (4.6)$$

Η συχνότητα λειτουργίας επιλέχθηκε να είναι της τάξης των 50 KHz (το σύστημα που κατασκευάστηκε δοκιμάστηκε και σε χαμηλότερες συχνότητες. Αυτή η τάξη μεγέθους της συχνότητας είναι αποδεκτή για τα μοντέρνα Φ/Β συστήματα και αποτελεί οικονομικά βιώσιμη λύση, μιας και είναι σχετικά μικρός ο όγκος του απαιτούμενου φίλτρου εξόδου, ενώ παράλληλα οι απώλειες αγωγής είναι σε επιτρεπτά όρια. Για αυτήν τη διακοπτική συχνότητα επιλέχθηκαν τα ημιαγωγικά στοιχεία να είναι MOSFET ισχύος (τρανζίστορ μετάλλου-οξειδίου-ημιαγωγού με επίδραση πεδίου).

Για την επιλογή ενός ημιαγωγικού στοιχείου οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν είναι η μέγιστη τάση που δέχεται στα άκρα του και τα θερμικά αποτελέσματα του ρεύματος, δηλαδή η ενεργός τιμή του ρεύματος αγωγής. Από τη σχέση (4.1) φαίνεται ότι το MOSFET ισχύος οφείλει να έχει τάση διάσπασης της τάξης των 48V χωρίς να ληφθούν συντελεστές ασφαλείας. Η δε τιμή της ενεργού έντασης (4.6) είναι της τάξης των 8A. Θα χρησιμοποιηθούν ωστόσο τα διαθέσιμα στο εργαστήριο MOSFET 50N20 με κανάλι τύπου N, που έχουν τάση διάσπασης 50V και επιτρέπουν ροή ρεύματος μέχρι 200 A έχοντας μικρή αντίσταση αγωγής ($R_{ds}=0.05\Omega$).

4.1.3 Φίλτρο Εξόδου

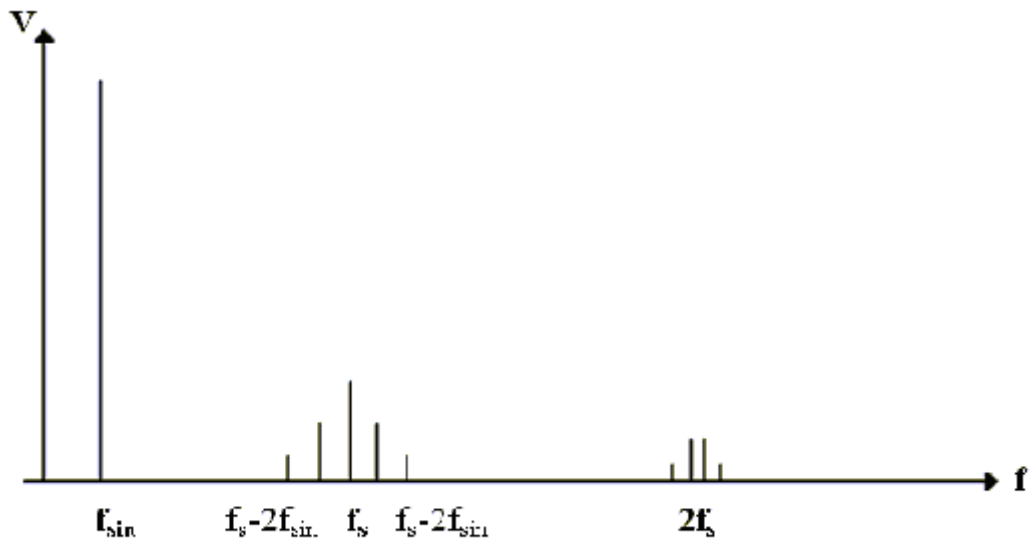
Η τάση εξόδου του αντιστροφέα έχει ένα μεγάλο αρμονικό περιεχόμενο. Οι αρμονικές εμφανίζονται ως πλευρικές ζώνες, με κέντρο τη συχνότητα μετάβασης και τις πολλαπλάσιές της, δηλαδή γύρω από τις αρμονικές $2f_s, 3f_s$, κ.ο.κ. ($f_s = f_{tri}$). Αυτό το γενικό πρότυπο ισχύει για όλες τις τιμές του m_a από 0 έως 1 (γραμμική περιοχή διαμόρφωσης). Πιο συγκεκριμένα, οι ανώτερες αρμονικές εμφανίζονται σε συχνότητες που ακολουθούν τη σχέση:

$$n \cdot f_{tri} \pm k \cdot f_{sin}$$

όπου $n=1,2,3$, και $k=1,3,5,\dots$ εάν n : άρτιος ή

$k=2,4,6,\dots$ εάν n : περιττός

Έτσι, προκύπτει το ακόλουθο φάσμα συχνοτήτων:



Σχήμα 4.5 Αρμονικό Περιεχόμενο

Για την απαλοιφή των ανώτερων αρμονικών απαιτείται ο υπολογισμός και η κατασκευή ενός κατωδιαβατού φίλτρου. Για τον υπολογισμό του γίνεται δεκτός ο πρακτικός κανόνας ότι η συχνότητα συντονισμού f_{LC} πρέπει να είναι περίπου 10 φορές μικρότερη από τη διακοπτική συχνότητα λειτουργίας f_s του μετατροπέα. Επομένως:

$$\left. \begin{aligned} f_{LC} &= \frac{f_s}{10} \\ f_{LC} &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow LC = \frac{100}{4\pi^2 f_s^2}$$

Επειδή $f_s = 50\text{kHz}$, προκύπτει:

$$LC = 1.01424 \cdot 10^{-9} \quad (4.7)$$

Η επιλογή των παθητικών στοιχείων πρέπει να γίνει έτσι, ώστε να υπάρχει στο πηνίο εξόδου μικρή πτώση τάσης και ο πυκνωτής εξόδου να διαρρέεται από μικρή τιμή ρεύματος διαρροής. Το φίλτρο θα μπει αμέσως μετά τον αντιστροφέα και πριν το μετασχηματιστή. Η πτώση τάσης στο πηνίο δίνεται από τη σχέση:

$$V_L = I \cdot X_L = I \cdot \omega L \quad \text{ή} \quad V_L = I \cdot 2\pi \cdot f_{\text{δικτ}} \cdot L \quad (4.8)$$

Το ρεύμα που ρέει στο πηνίο είναι το ρεύμα πρωτεύοντος. Η τάση πρωτεύοντος οφείλει να είναι 22 V. Θεωρώντας ότι το πηνίο θα προκαλέσει μία μικρή πτώση τάσης π.χ. 0.2V, υπολογίζεται από τη σχέση (3.8) η επαγωγή του φίλτρου:

$$(4.8) \Rightarrow L = \frac{0.2}{7.72 \cdot 2\pi \cdot 50} \text{H} \Rightarrow \boxed{L = 8.25 \cdot 10^{-5} \text{H}}$$

Στη σχέση (4.7) βρέθηκε η τιμή του γινομένου LC. Από αυτό το γινόμενο υπολογίζεται η χωρητικότητα:

$$\boxed{C = 1.229 \cdot 10^{-5} \text{F}}$$

Ο πυκνωτής απορροφάει ένα μέρος του ρεύματος εξόδου. Η τιμή του ρεύματος διαρροής είναι:

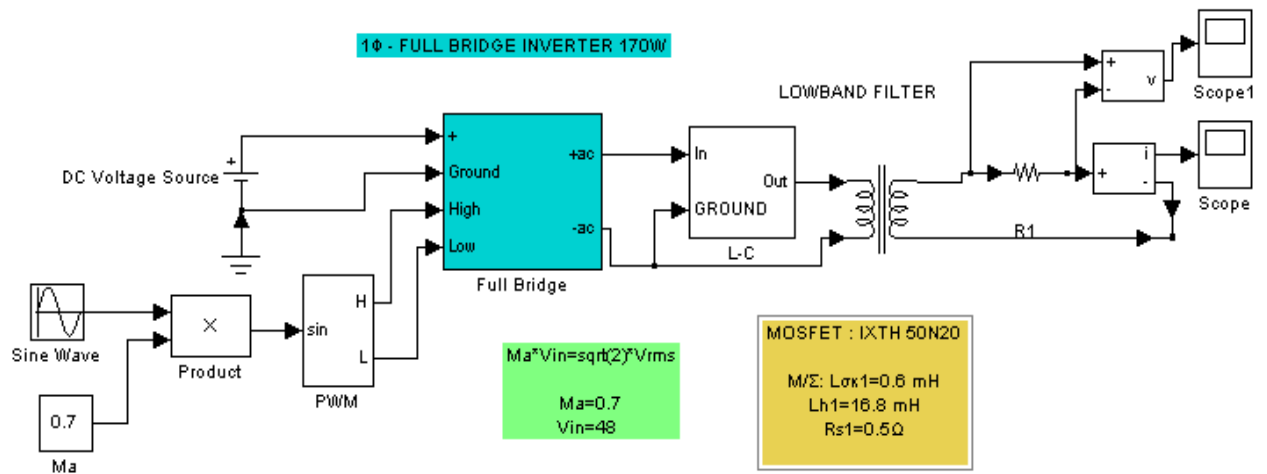
$$I = \frac{V}{X_C} = V \cdot C\omega \Rightarrow I = 22 \cdot 1.223 \cdot 10^{-5} \cdot 2\pi \cdot 50 \Rightarrow$$

$$I = 0.0849\text{A} \ll 7.72\text{A}$$

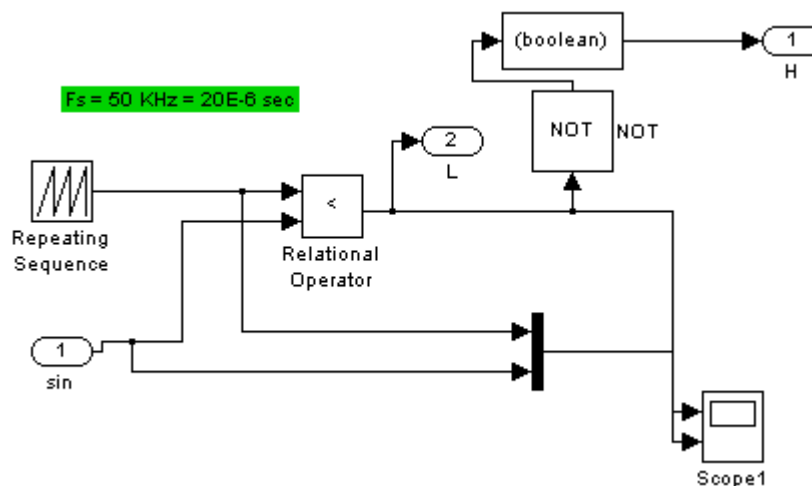
Οπότε οι παραπάνω τιμές των L,C είναι αποδεκτές.

4.1.4 Εξομοίωση Αντιστροφέα

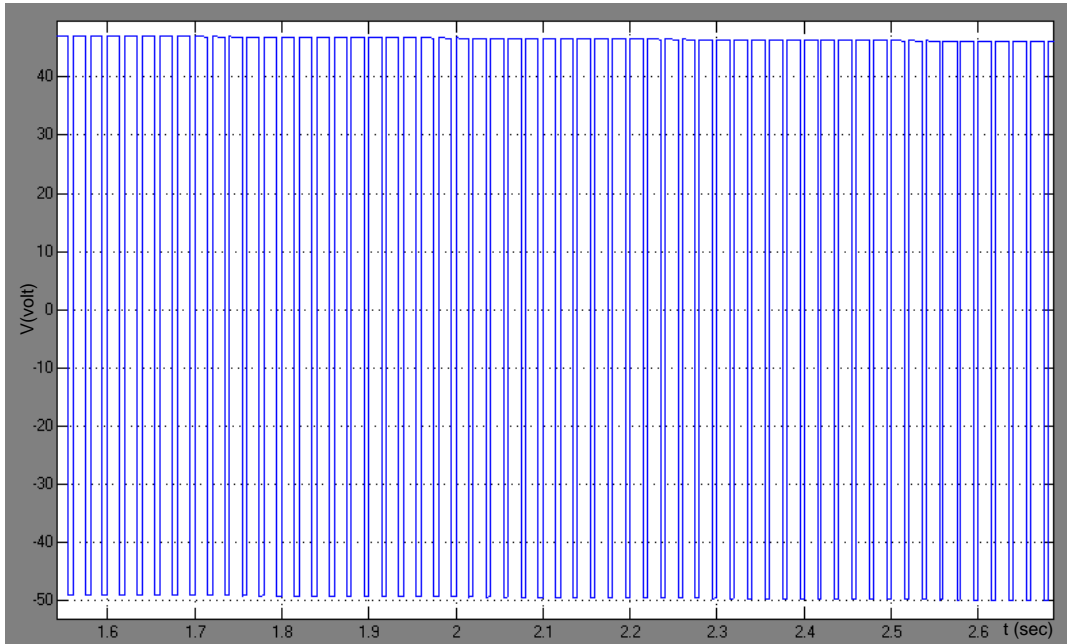
Η θεωρητική μελέτη των παραπάνω τμημάτων ολοκληρώθηκε με εξομοίωση που έγινε με το “Power Systems Toolbox” του λογισμικού MATLAB-SIMULINK. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εξομοίωσης.



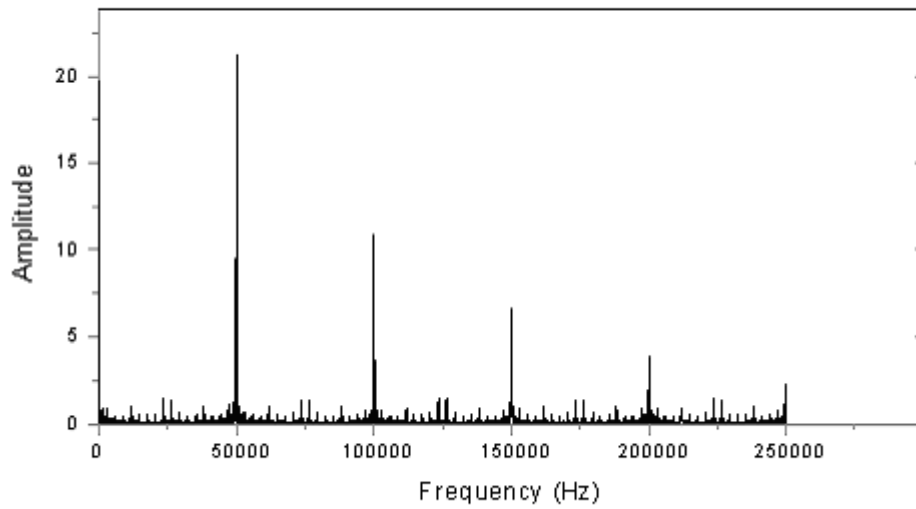
Σχήμα 4.6 Μοντέλο Εξομοίωσης Μονοφασικού Αντιστροφέα



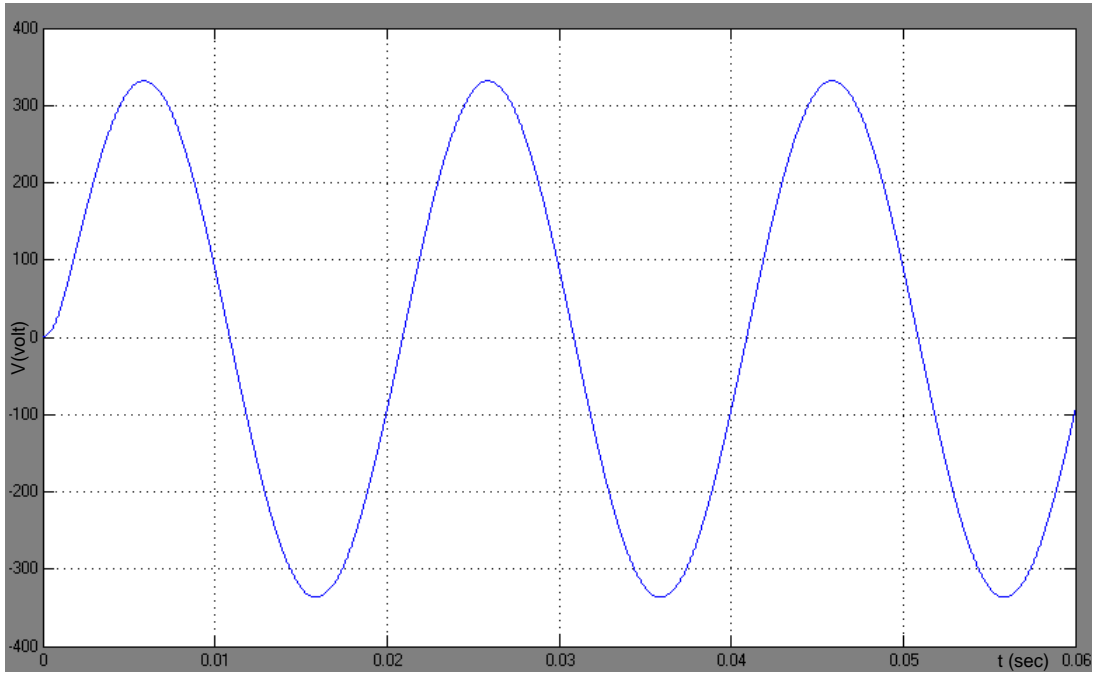
Σχήμα 4.7 Μοντέλο PWM



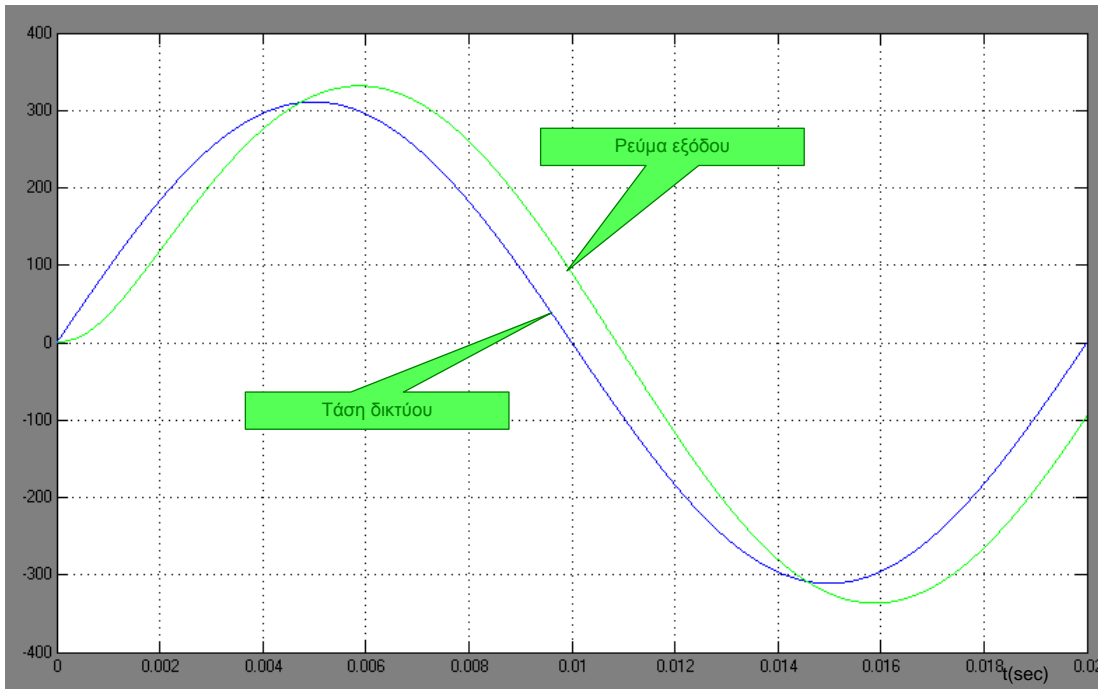
Σχήμα 4.8 Έξοδος Πλήρους Γέφυρας (Πριν Το Φίλτρο)



Σχήμα 4.9 Αρμονικό Περιεχόμενο Τάσης Εξόδου



Σχήμα 4.10 Τάση Δευτερεύοντος Μετασχηματιστή



Σχήμα 4.11 Το Ρεύμα Εξόδου Καθυστερεί Της Τάσης Δικτύου

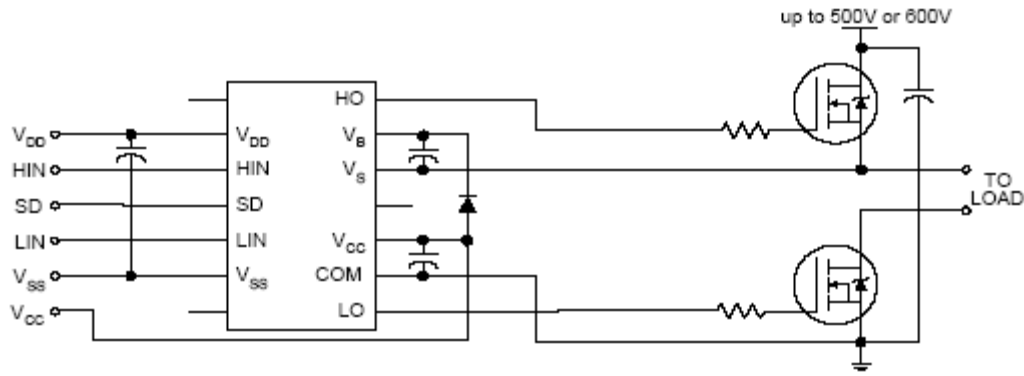
4.2 Κύκλωμα Οδήγησης Παλμών

Η παλμοδότηση, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, θα γίνει με το μικροελεγκτή (μΕ) 80C196MC. Το κύκλωμα, που θα παρεμβληθεί από τη θύρα εξόδου του μΕ μέχρι να φτάσουν οι παλμοί έναυσης στην πύλη των ημιαγωγικών στοιχείων, θα περιγραφεί στη συνέχεια.

Από το μικροεπεξεργαστή θα προκύψει ένα ζευγάρι συμπληρωματικών παλμών με εύρος 5V. Αυτοί περνούν από μία λογική πύλη αντιστροφής (NOT – HC05), η οποία λειτουργεί ως απομονωτής ρεύματος. Στο επόμενο στάδιο ένας φωτοαποζεύκτης (optocoupler 6N137) παρέχει την απομόνωση του λογικού κυκλώματος από το κύκλωμα ισχύος. Οι φωτοαποζεύκτες έχουν την ιδιότητα να αντιστρέφουν τη λογική του σήματος που λαμβάνουν στην είσοδό τους. Αυτός είναι ένας ακόμα λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε το πρώτο στάδιο απομόνωσης να είναι μια πύλη NOT. Μετά τον οπτικό αποζεύκτη το δυναμικό αναφοράς του κυκλώματος είναι το ίδιο με αυτό του κυκλώματος ισχύος, δηλαδή “έχουν κοινή γη”.

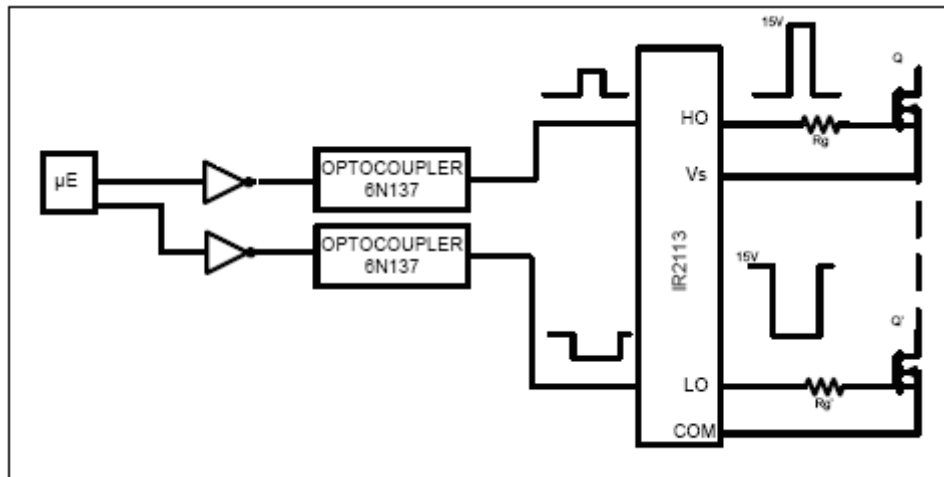
Τα MOSFET είναι στοιχεία ελεγχόμενα από τάση λόγω της κατασκευής της πύλης που συμπεριφέρεται ως πυκνωτής. Τούτο έχει σαν αποτέλεσμα η ισχύς που απαιτείται για τον έλεγχο του στοιχείου να είναι εξαιρετικά χαμηλή. Στην πραγματικότητα το ημιαγωγικό στοιχείο διατηρείται σε κατάσταση αγωγής ή αποκοπής χωρίς πρακτικά να απαιτείται ισχύς από το κύκλωμα παλμοδότησης, ενώ κατά τις μεταβατικές καταστάσεις απαιτείται ένας μικρός παλμός ρεύματος για τη φόρτιση και την εκφόρτιση αυτού του πυκνωτή εισόδου.

Η απαιτούμενη ενέργεια έναυσης παρέχεται από το ολοκληρωμένο IR2113, το οποίο ενισχύει τους παλμούς μετατρέποντάς τους σε παλμούς με εύρος 15V. Αυτή η τάση είναι ικανή να οδηγήσει τα MOSFET. Κάθε ένα IR2113 έχει δύο ανεξάρτητες εξόδους με τις οποίες μπορεί να οδηγήσει μία μισή γέφυρα, δηλαδή δύο ημιαγωγικά στοιχεία που δέχονται συμπληρωματικούς παλμούς. Οι πηγές των δύο MOSFET έχουν διαφορετικό δυναμικό. Ένα βασικό χαρακτηριστικό του IR2113 είναι αυτή η ικανότητα να παλμοδοτεί ένα διακοπτικό στοιχείο του οποίου η πηγή δεν είναι τοποθετημένη στη γη του κυκλώματος (floating ground). Τούτο επιτυγχάνεται με τους πυκνωτές εξόδου που προτείνει ο κατασκευαστής (στα άκρα 2-3 και 5-6 Σχήμα 3.12), οι οποίοι παρέχουν την αναγκαία διαφορά δυναμικού για να οδηγηθούν τα MOSFET σε αγωγή.



Σχήμα 4.12 Τυπική Σύνδεση IR2113

Το κύκλωμα παλμοδότησης των ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος φαίνεται στο σχήμα:



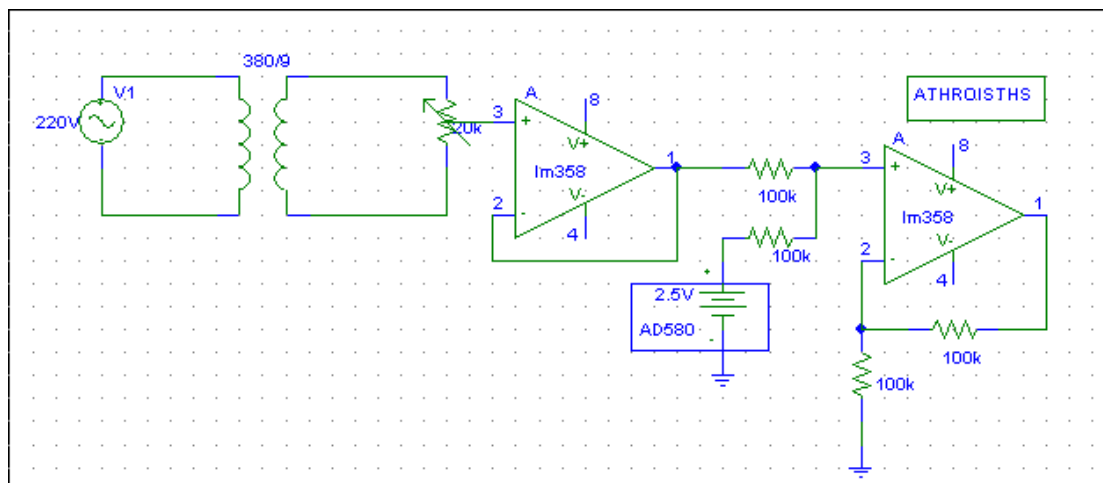
Μία βελτίωση που μπορεί να γίνει στο παραπάνω κύκλωμα είναι να μπει αντιπαράλληλα με την αντίσταση φόρτισης του C_{gs} μία διόδος, η οποία θα παρέχει έναν “εύκολο” δρόμο εκφόρτισης του εσωτερικού πυκνωτή.

4.3 Κύκλωμα Ελέγχου Φωτοβολταϊκού Συστήματος

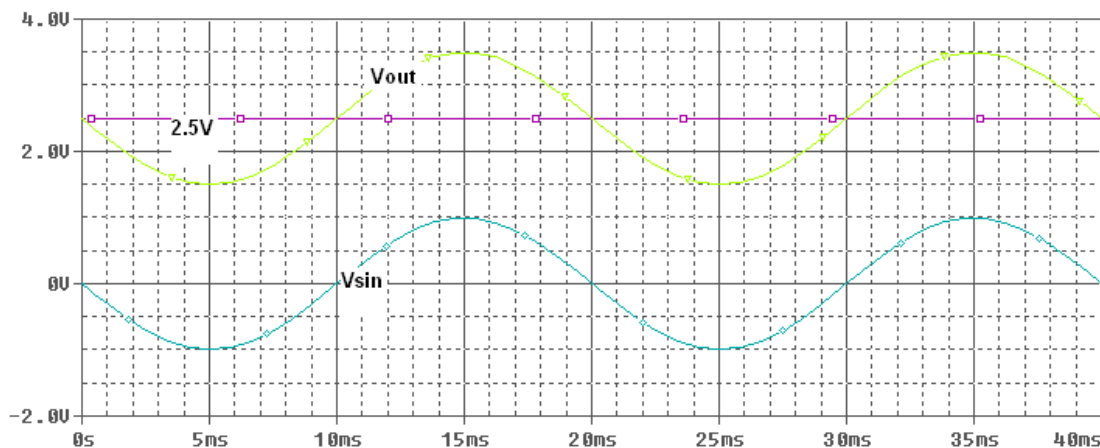
4.3.1 Κύκλωμα Προσαρμογής Ημιτόνου

Για να παραλληλίσουμε το Φ/Β σύστημα με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να τηρούνται δύο βασικές προϋποθέσεις. Η ενεργός τιμή και η συχνότητα της τάσης εξόδου του μετατροπέα οφείλουν να είναι ίσες με τις αντίστοιχες τιμές του δικτύου. Όπως φάνηκε από τα προηγούμενα, η ενεργός τιμή ρυθμίζεται από το λόγο m_a . Σχετικά με τη συχνότητα η ημιτονοειδής τάση που εισάγεται στη μονάδα PWM καθορίζει τη συχνότητα της βασικής αρμονικής της τάσης που παράγεται στον αντιστροφέα.

Το ημίτονο που θα οδηγηθεί στη μονάδα PWM θα προέλθει από υποβιβασμό της τάσης του δικτύου. Η μονάδα PWM θα υλοποιηθεί με τη βοήθεια του μικροελεγκτή (μΕ) 80C196MC της INTEL. Έτσι, λοιπόν, το ημίτονο του δικτύου, αφού υποβιβαστεί, θα εισαχθεί στη μονάδα μετατροπής σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό (A/D unit) του μΕ. Θα πρέπει να σημειωθεί πως τα σήματα που διαχειρίζεται ο μΕ είναι από 0 έως 5 V. Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει να εισαχθεί και μια συνιστώσα συνεχούς τάσης στο ημίτονο αναφοράς πριν οδηγηθεί στο μΕ. Το κύκλωμα που υλοποιεί τα προηγούμενα είναι:



Σχήμα 4.14 Κύκλωμα Προσαρμογής Σήματος Προς μΕ



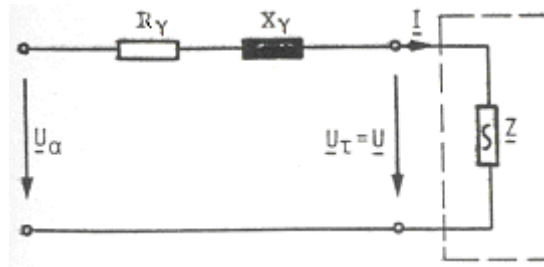
Σχήμα 4.15 Εξομοίωση Αθροιστή

Η ημιτονοειδής τάση του δικτύου υποβιβάζεται σε έναν Μ/Σ 380:9. Στη συνέχεια υπάρχει ένα ποτενσιόμετρο που λειτουργεί ως διαιρέτης τάσης και από αυτό ρυθμίζεται το επιθυμητό πλάτος του ημίτονου. Αφού το σήμα περάσει από έναν τελεστικό ενισχυτή (LM358) με μοναδιαία ανάδραση που λειτουργεί ως απομονωτής, πηγαίνει σε έναν αθροιστή. Εκεί θα προστεθεί στο ημιτονοειδές σήμα μία DC συνιστώσα. Αυτή προέρχεται από το ολοκληρωμένο AD580, το οποίο παρέχει 2.5 V με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.11 (εξομοίωση), το ρεύμα πάνω στην αντίσταση εξόδου έχει μια διαφορά φάσης με την τάση του δικτύου. Μιας και το ρεύμα με την τάση της αντίστασης ταυτίζονται, ενώ η τάση της βασικής αρμονικής με την τάση του δικτύου είναι συμφασικές, εξάγεται το ακόλουθο συμπέρασμα: το φίλτρο εξόδου και ο Μ/Σ εισάγουν καθυστέρηση φάσης στη βασική αρμονική της τάσης. Αυτή η διαφορά φάσης με την τάση του δικτύου έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή αέργου ισχύος.

4.3.2 Λόγοι Διόρθωσης Συντελεστή Ισχύος

Θέλοντας να βελτιωθεί ο συντελεστής ισχύος εισάχθηκε ένας ελεγκτής. Τα πλεονεκτήματα από τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος διαφαίνονται από την ακόλουθη ανάλυση:



Σχήμα 4.16 Τροφοδότηση Καταναλωτή Με Μηγαδική Αντίσταση Z Μέσω Γραμμής Με Αντίσταση $R_\gamma + jX_\gamma$

Έστω ότι υπάρχει το παραπάνω σύστημα. Για δεδομένη ενεργή ισχύ P του καταναλωτή ισχύει ότι

$$P = S \cos \phi = VI \cos \phi$$

η ένταση I είναι $I = \frac{P}{V \cos \phi}$ (4.9) και οι απώλειες ενεργής ισχύος είναι

$$P_\gamma = R_\gamma I^2 = R_\gamma \cdot \frac{P^2}{V^2 \cos^2 \phi}$$

Ο βαθμός απόδοσης της γραμμής είναι

$$\eta = \frac{P}{P + P_\gamma} = \frac{1}{1 + \frac{P_\gamma}{P}}$$

και με τη σχέση (4.9) :

$$\eta = \frac{1}{1 + R_\gamma \cdot \frac{P}{V^2 \cos^2 \phi}}$$

Από τις παραπάνω σχέσεις φαίνονται για δεδομένη τάση και ενεργή ισχύ τα ακόλουθα:

- ✓ Το ρεύμα είναι αντιστρόφως ανάλογο του $\cos \phi$ και οι απώλειες στη γραμμή τροφοδότησης αντιστρόφως ανάλογες του $\cos^2 \phi$.
- ✓ Το ρεύμα και οι απώλειες ελαττώνονται και ο βαθμός απόδοσης αυξάνεται με την αύξηση (βελτίωση) του $\cos \phi$.
- ✓ Το ρεύμα και οι απώλειες αποκτούν την ελάχιστη τιμή τους και ο βαθμός απόδοσης τη μέγιστη τιμή του για $\cos \phi = 1$.

- ✓ Για δεδομένη διατομή γραμμής η βελτίωση του $\cos\phi$ παρέχει τη δυνατότητα αύξησης της μεταφερόμενης ενεργής ισχύος.

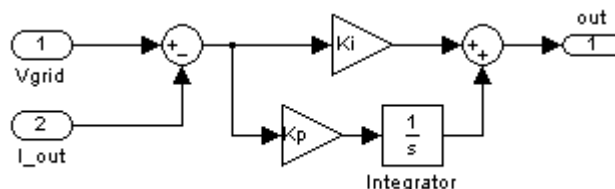
4.3.3 Ο Ελεγκτής PI

Για τους παραπάνω λόγους κρίνεται αναγκαία η διόρθωση του συντελεστή ισχύος του Φ/Β συστήματος. Πιο απλά, πρέπει το ρεύμα εξόδου του συστήματος να γίνει συμφασικό με την τάση του δικτύου. Αυτό θα γίνει ωθώντας τη βασική αρμονική να προηγείται κατά μία διαφορά φάσης ίση με τη καθυστέρηση που θα επιβάλουν το φίλτρο και ο Μ/Σ. Επομένως το ημίτονο αναφοράς που εισάγεται στο μΕ πρέπει να προηγείται της τάσης του δικτύου κατά μία γωνία.

Αυτή τη μετατόπιση θα την κάνει ένας PI ελεγκτής-Σχήμα 4.17 (proportional, integral-ενίσχυσης, ολοκλήρωσης σφάλματος). Ο ρόλος του θα είναι να επιδιώκει συνεχώς να εξαλείψει το σφάλμα που εμφανίζεται μεταξύ της τάσης του δικτύου και του ρεύματος εξόδου. Ο P έλεγχος χρησιμεύει στο να δώσει μία σταθερά απόκριση στο σφάλμα, ενώ ο I έλεγχος υπολογίζει το σφάλμα στο χρόνο και αποκρίνεται ανάλογα. Εάν η στιγμιαία τιμή του ρεύματος είναι μικρότερη από την επιθυμητή, ο ελεγκτής αυξάνει την έξοδό του, καθώς δέχεται στην είσοδο ένα θετικό σφάλμα. Το αντίστροφο συμβαίνει σε αρνητικό σφάλμα. Η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή είναι:

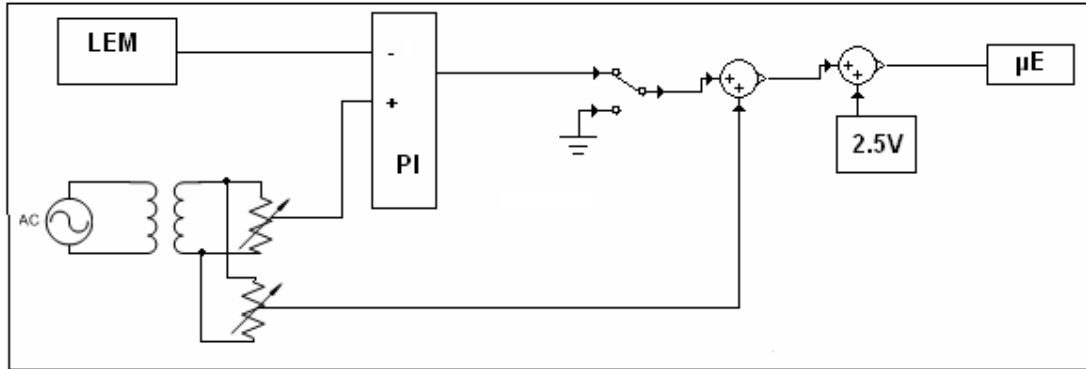
$$H(t) = K_p (V_{\text{δικτ}} - I_{\text{out}}) + K_i \cdot \int (V_{\text{δικτ}} - I_{\text{out}}) dt, \text{ στο πεδίο του χρόνου ή}$$

$$H(s) = (V_{\text{δικτ}} - I_{\text{out}}) \cdot \left(K_p + \frac{K_i}{s} \right), \text{ στο πεδίο συχνότητας}$$



Σχήμα 4.17 Ελεγκτής PI

Η έξοδος του PI αποτελεί τη μεταβολή που πρέπει να επέλθει στο ημίτονο το οποίο οδηγείται στο μΕ. Δηλαδή η έξοδος του PI θα προστεθεί με το ημίτονο αναφοράς και το άθροισμα των δύο σημάτων θα αποτελέσει το νέο σήμα αναφοράς. Η λογική αυτή φαίνεται στο Σχήμα 4.18:



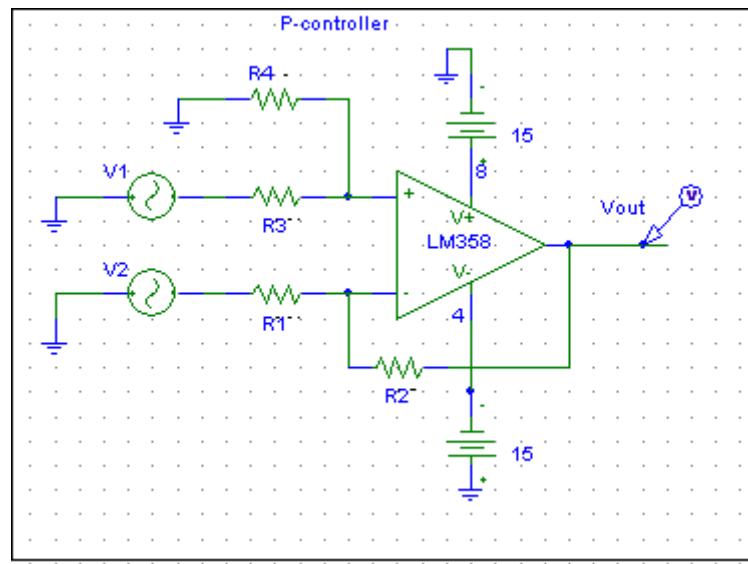
Σχήμα 4.18 Σχηματική Αναπαράσταση Επιλογής Λειτουργίας Σε Ανοιχτό-Κλειστό Βρόχο

Η υλοποίηση του PI έγινε με αναλογικό τρόπο. Τα κυκλώματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- ✓ P-ελεγκτής

Η λειτουργία του P-ελεγκτή είναι:

$$H(t) = K_p (V_1 - V_2) \quad (4.10)$$

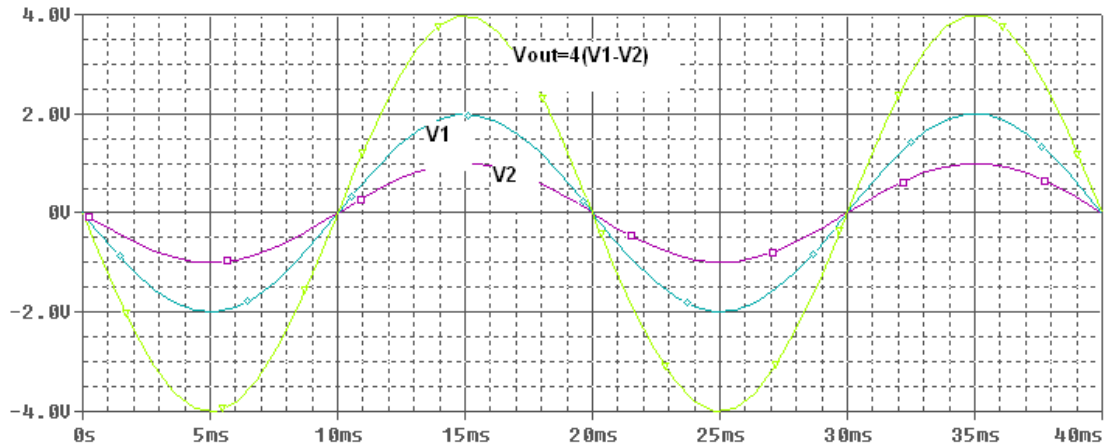


Σχήμα 4.19 P-Ελεγκτής

Η συνάρτηση μεταφοράς του παραπάνω κυκλώματος είναι:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1), \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Θέλοντας να επιτευχθεί κέρδος $K_p=4$ μπορεί να τεθεί $R_2= R_4=100k\Omega$, $R_1= R_3=25k\Omega$. Αν στην έξοδο του παραπάνω κυκλώματος τοποθετηθεί ένας διαιρέτης τάσης, μπορεί να παρθεί οποιαδήποτε υποδιαίρεση του κέρδους που έχει επιλεγθεί.



Σχήμα 4.20 Εξομοίωση P-Ελεγκτή Με $K_p=4$

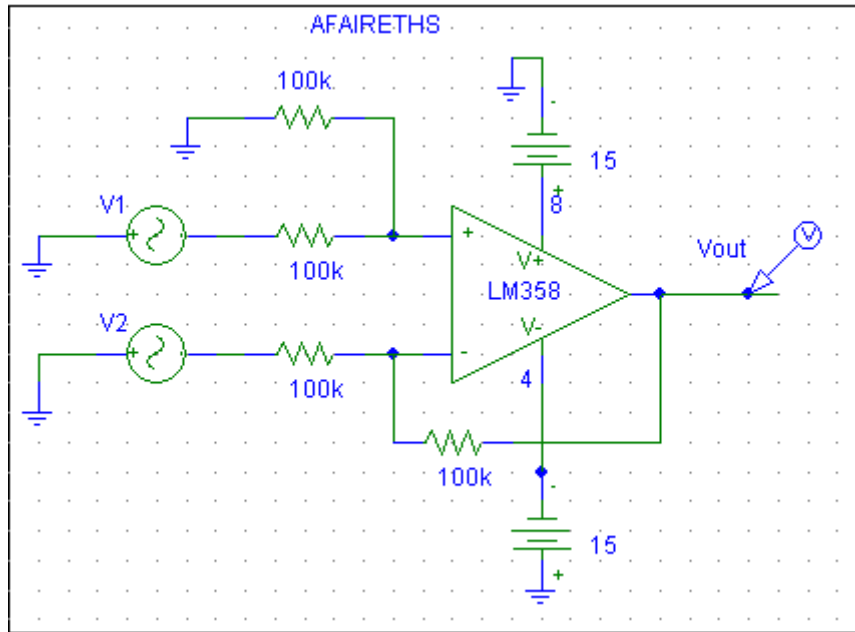
✓ Ολοκληρωτής

Η λειτουργία του I-ελεγκτή είναι:

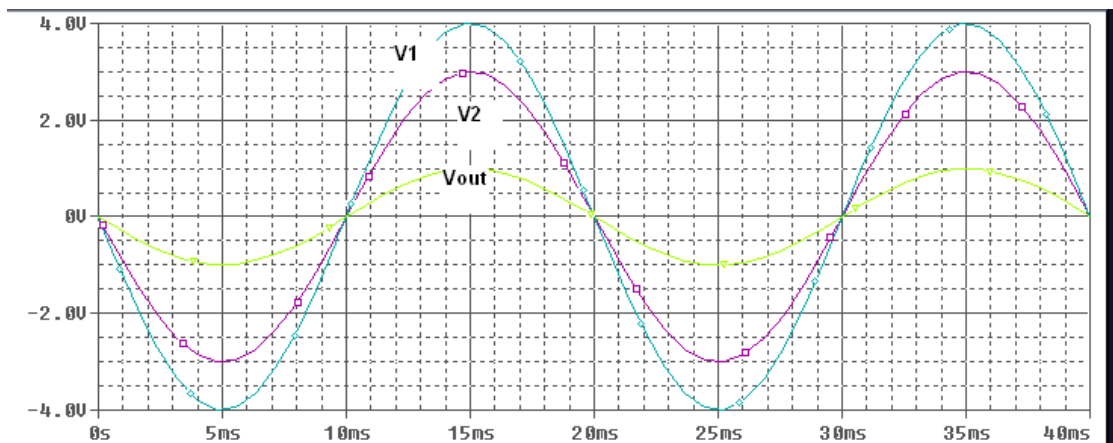
$$H(t) = K_i \cdot \int (V_1 - V_2) dt \quad (4.11)$$

Η παραπάνω πράξη θα πραγματοποιηθεί σε δύο βαθμίδες. Στην αρχή θα γίνει η αφαίρεση των δύο σημάτων και στη συνέχεια θα ολοκληρωθεί η διάφορά τους.

Το κύκλωμα που θα κάνει την αφαίρεση $V_{out} = V_1 - V_2$ είναι:

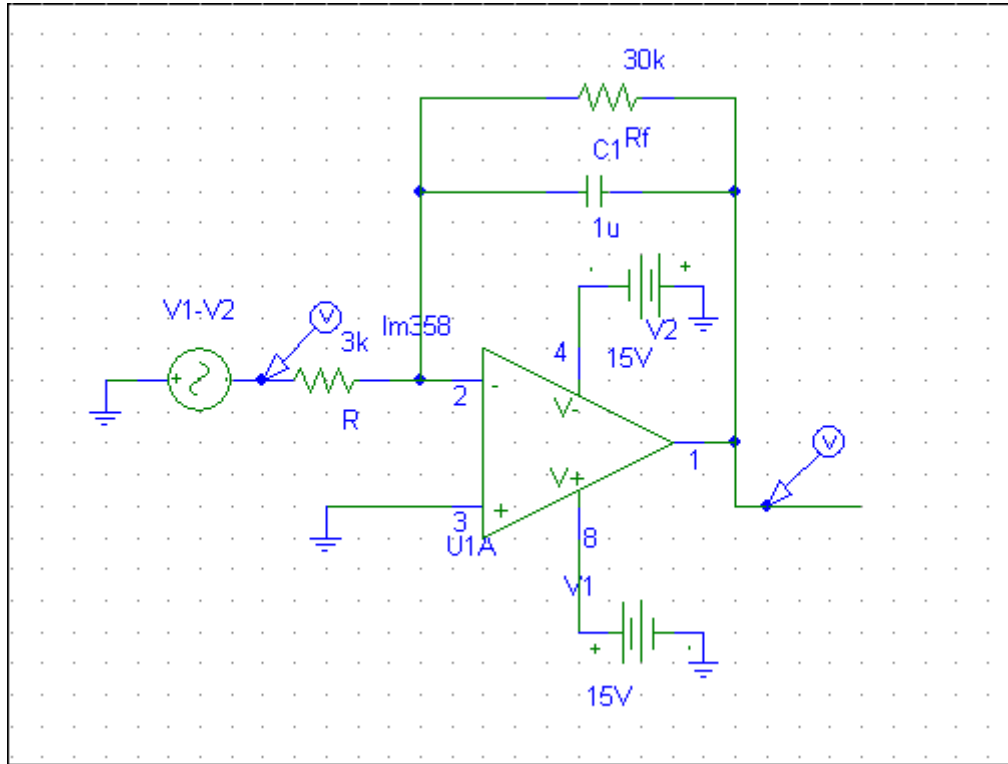


Σχήμα 4.21 Αφαιρέτης



Σχήμα 4.22 Εξομοίωση Αφαιρέτη

Το κύκλωμα που θα ολοκληρώσει τη διαφορά των δύο σημάτων είναι:

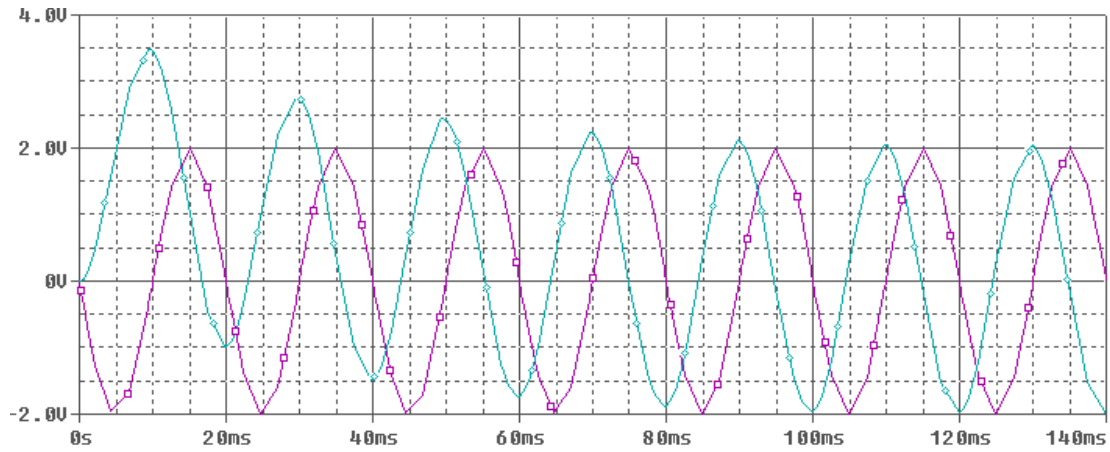


Σχήμα 4.23 Ολοκληρωτής

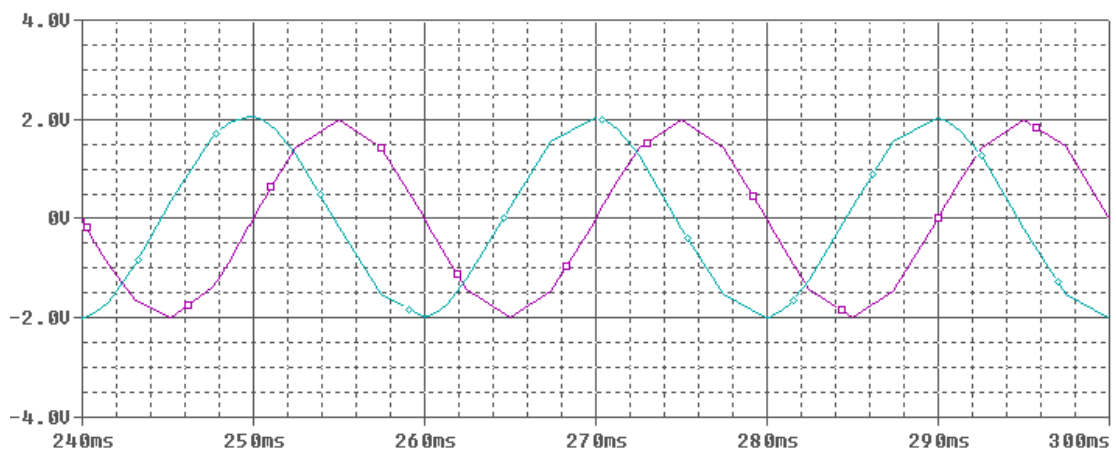
Η συνάρτηση μεταφοράς του παραπάνω κυκλώματος είναι:

$$V_{out} = -\frac{1}{R C} \int (V_1 - V_2) dt \quad (4.12)$$

Όπως φαίνεται από τη σχέση 4.12, η έξοδος του σήματος που ολοκληρώνεται είναι αρνητική. Επομένως στον ολοκληρωτή πρέπει να οδηγηθεί η διαφορά $I_{out} - V_{\text{δικτ.}}$. Με άλλα λόγια, στο θετικό ακροδέκτη του αφαιρέτη θα πάει το ρεύμα εξόδου και στον αρνητικό η υποβαθμισμένη τάση του δικτύου.

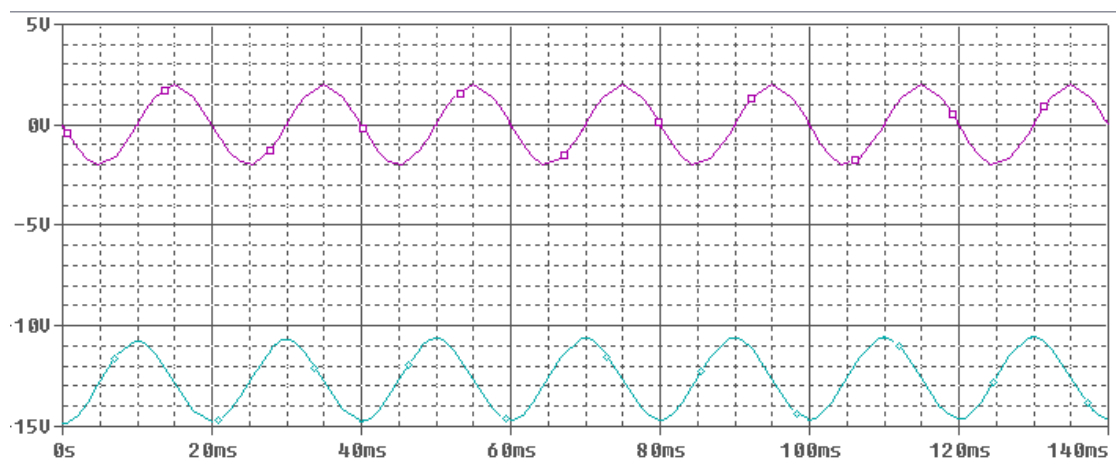


Σχήμα 4.24 Μεταβατική Συμπεριφορά Ολοκληρωτή Σε Ημιτονοειδή Είσοδο



Σχήμα 4.25 Απόκριση Μόνιμης Κατάστασης Σε Ημιτονοειδή Είσοδο

Η αντίσταση που έχει τοποθετηθεί παράλληλα στον πυκνωτή προσφέρει ένα δρόμο εκφόρτισής του. Εάν δεν τοποθετηθεί αυτή η αντίσταση, η έξοδος θα ήταν η εξής:



Σχήμα 4.26 Απόκριση Σε Ημιτονοειδή Είσοδο Χωρίς Την Αντίσταση R_f

Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα το άθροισμα των δύο σημάτων που προέρχονται από τους P και I ελεγκτές να είναι μεγαλύτερο από την τροφοδοσία του τελεστικού που θα κάνει την πράξη της άθροισης. Συνεπώς, δεν θα μπορούσε να δουλέψει το σύστημα.

Ένα λεπτό σημείο είναι η επιλογή των τιμών των στοιχείων. Ο ολοκληρωτής δεν είναι κάτι άλλο από ένα ζωνοπερατό φίλτρο που δίνει διαφορά φάσης 90° . Έτσι, λοιπόν, εάν αλλάξουν οι τιμές των αντιστάσεων και του πυκνωτή, θα αλλάξει και η απόκριση του φίλτρου, συνεπώς παύει να λειτουργεί η παραπάνω τοπολογία ως ολοκληρωτής. Η επιλογή των R, R_f , C πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η συχνότητα του σήματος εισόδου (50Hz) να είναι ανάμεσα στους δύο πόλους που καθορίζουν οι αντιστάσεις R και R_f . Πιο συγκεκριμένα, πρέπει να ισχύει:

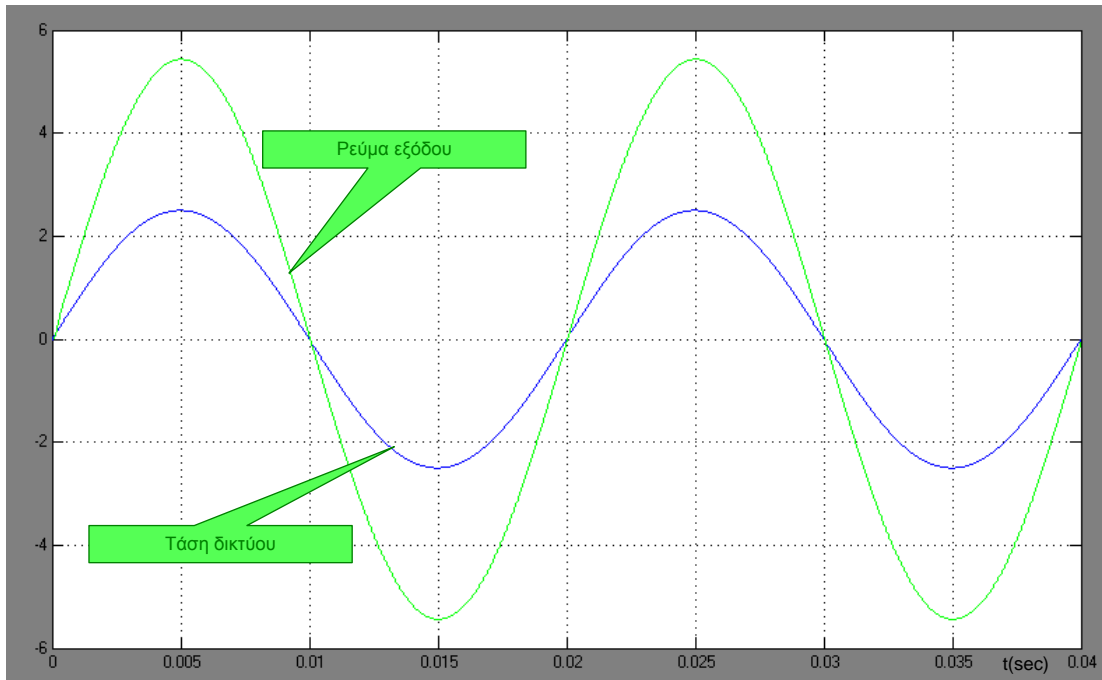
$$f_a < 50\text{Hz} < f_b \text{ όπου,}$$

$$f_a = \frac{1}{2\pi R_f C} \quad \text{και} \quad f_b = \frac{1}{2\pi R C}$$

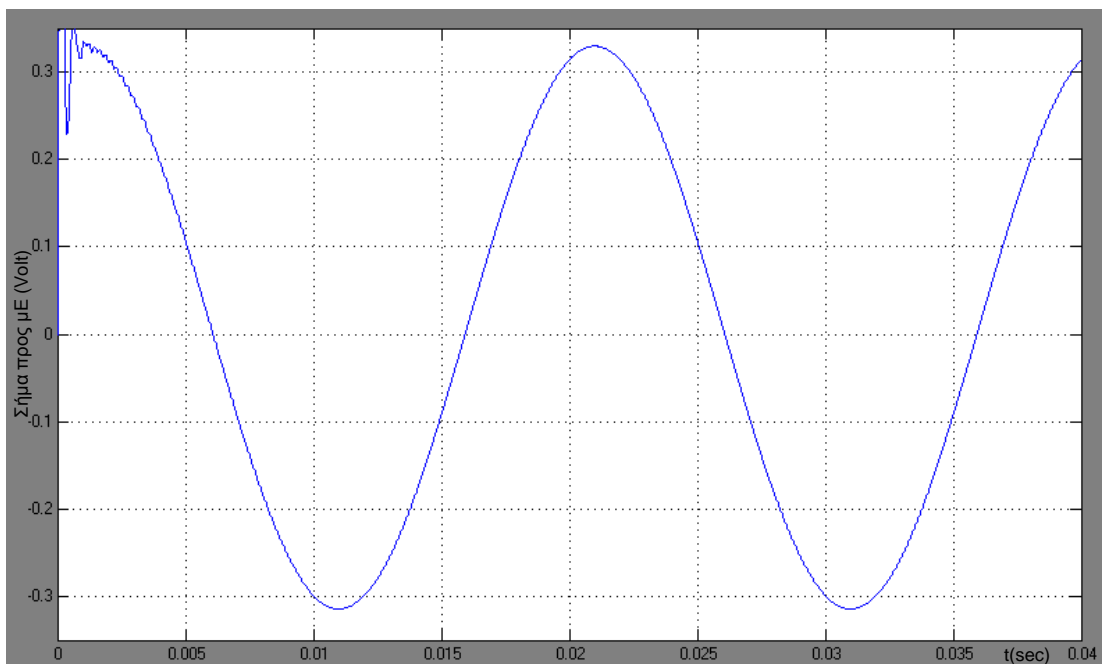
Τέλος, πριν τον τελεστικό ενισχυτή που αθροίζει την έξοδο του PI με το ημίτονο αναφοράς έχει τοποθετηθεί ένας διακόπτης με τον οποίο μπορεί να επιλεγθεί η λειτουργία σε ανοιχτό ή σε κλειστό βρόχο. Η εξομοίωση έδειξε πως δεν είναι δυνατόν να εισαχθεί ο έλεγχος κάποια χρονική στιγμή, ενώ το σύστημα λειτουργεί σε ανοιχτό βρόχο, μιας και τα μεταβατικά φαινόμενα που εμφανίζονται μπορούν να αποβούν καταστροφικά για το σύστημα. Γι' αυτόν το λόγο καλό θα ήταν να επιλεγεί η τοποθέτηση ενός διαιρέτη τάσης που θα λειτουργήσει σαν σταδιακός διακόπτης, με αποτέλεσμα ο PI να εισαχθεί χωρίς να προκληθούν απότομες μεταβάσεις.

4.3.4 Εξομοίωση Κλειστού Βρόχου

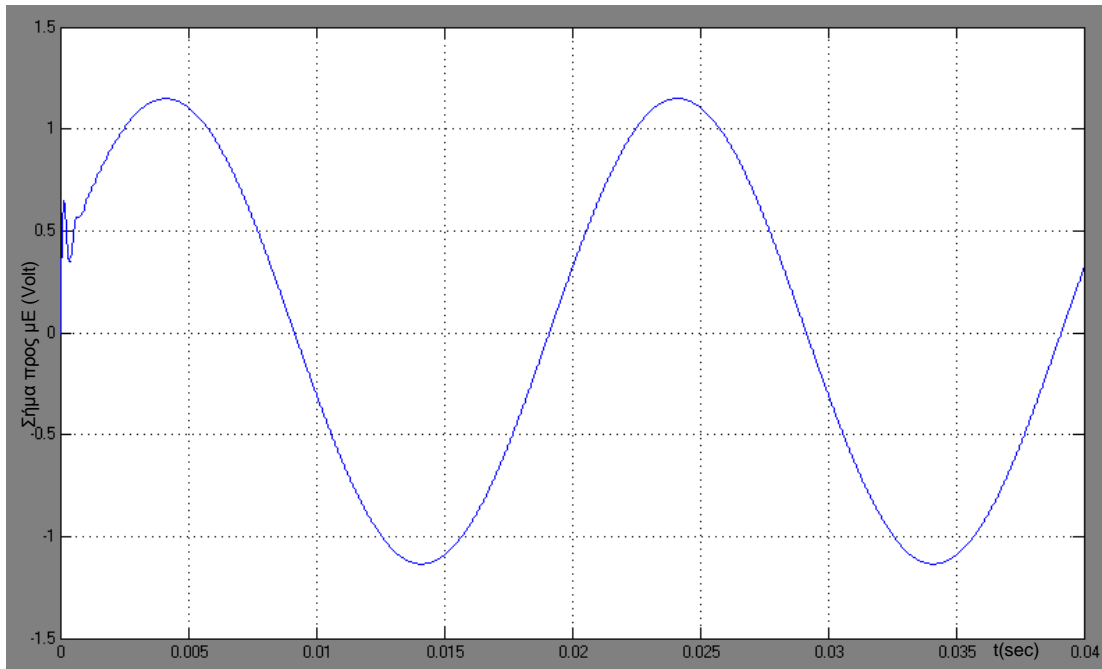
Το σύστημα εξομοιώθηκε στο λογισμικό Simulink. Η επιλογή των σταθερών κέρδους και ολοκλήρωσης επιλέχθηκαν μετά από δοκιμές ίσες με $K_P=4$, $K_I=0.5$ (οι οποίες είναι πολύ κοντά στις τιμές που προκύπτουν σύμφωνα με τη μέθοδο Ziegler-Nichols).



Σχήμα 4.27 Σύγκριση Τάσης Δικτύου – Ρεύματος Εξόδου Υπό Την Επίδραση Του PI

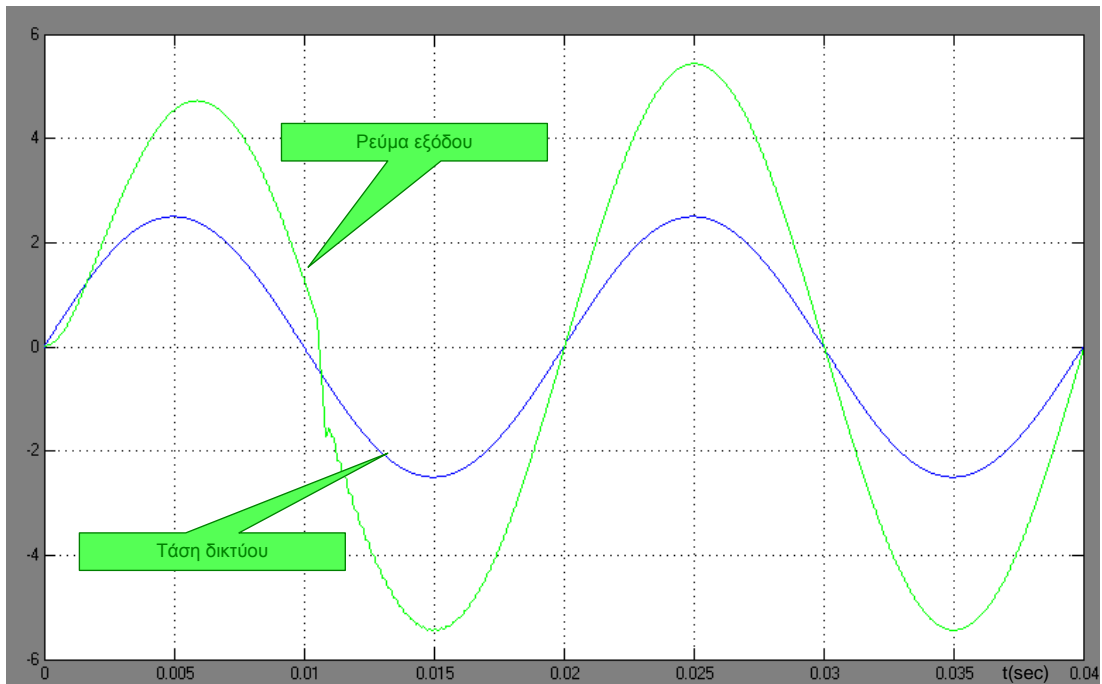


Σχήμα 4.28 Έξοδος Ελεγκτή

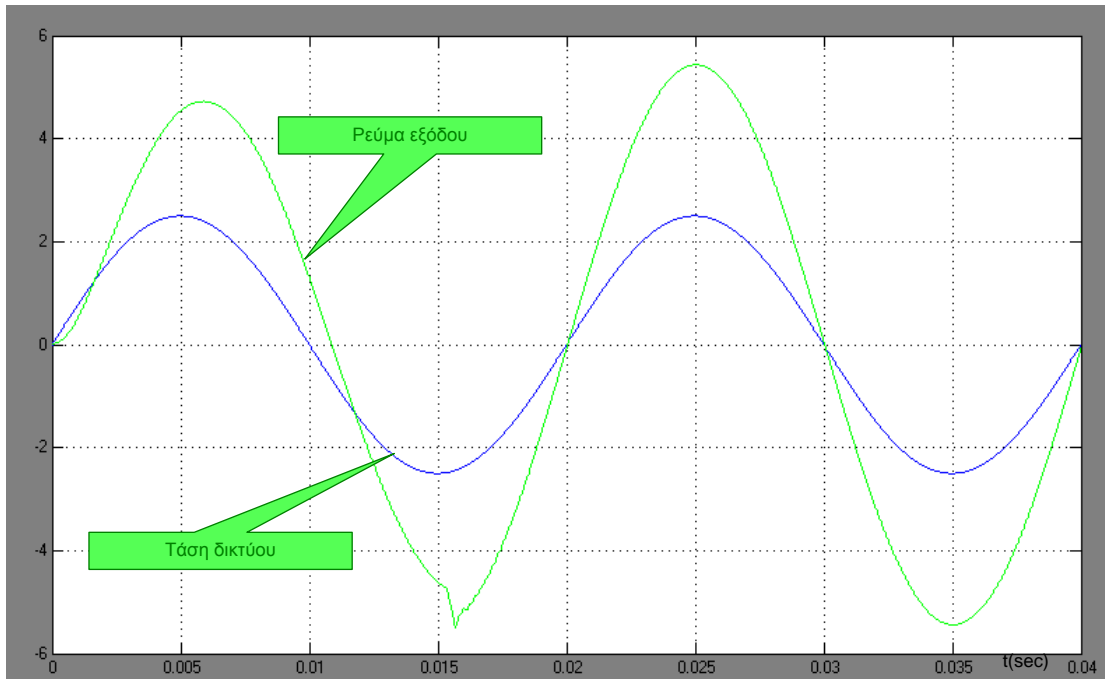


Σχήμα 4.29 Σήμα Προς Το Μικροελεγκτή

Εάν εισαχθεί ο ελεγκτής, ενώ δουλεύει το σύστημα σε πλήρη ισχύ σε ανοιχτό βρόχο, τότε, όπως φαίνεται από το ακόλουθο σχήμα, το σύστημα θα καταφέρει να εκμηδενίσει τη διαφορά φάσης.

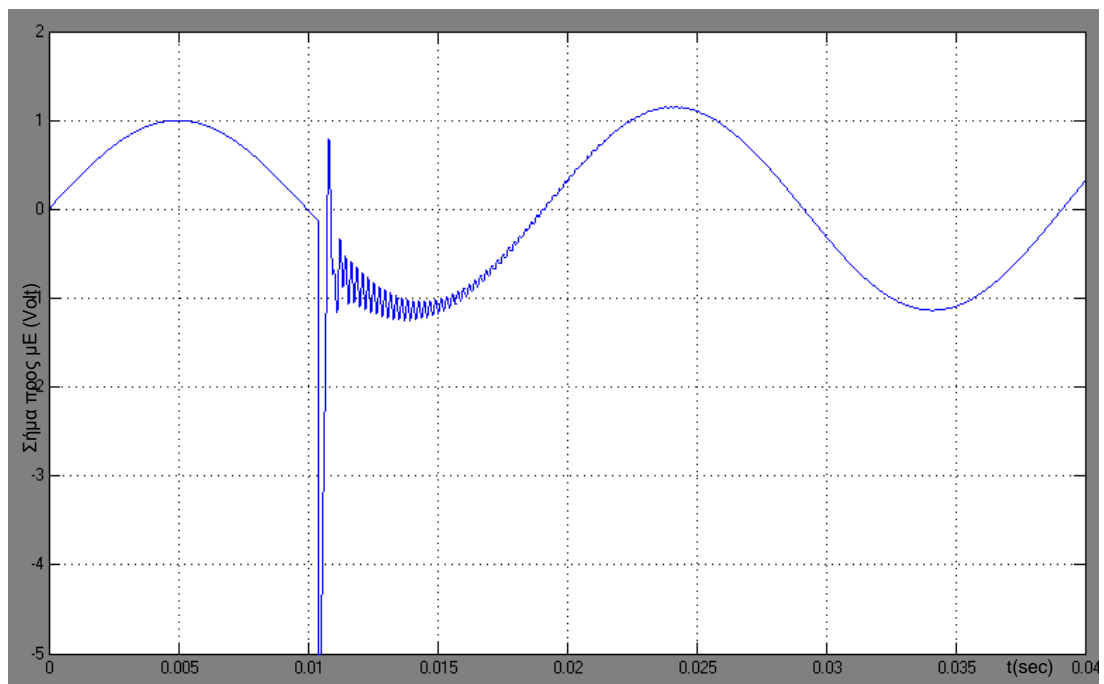


Σχήμα 4.30 Σύγκριση Τάσης Δικτύου – Ρεύματος Εξόδου. Εισαγωγή PI Στα 10ms

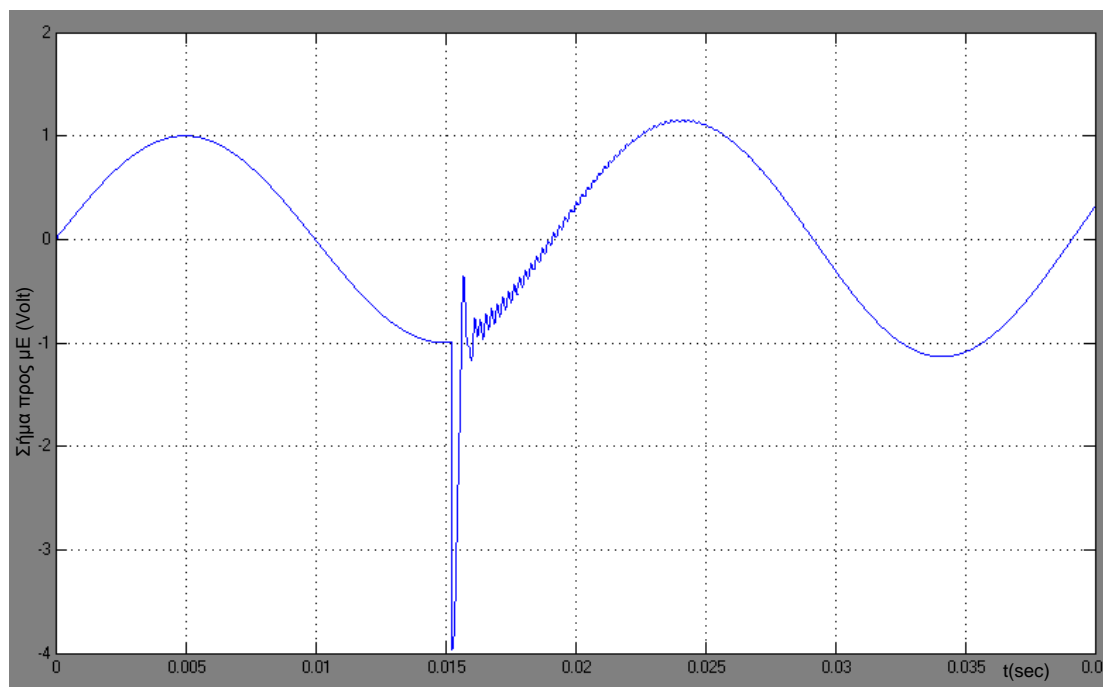


Σχήμα 4.31 Σύγκριση Τάσης Δικτύου – Ρεύματος Εξόδου. Εισαγωγή PI Στα 15ms

Εντοπίζεται, όμως, το ακόλουθο πρόβλημα (Σχήματα 4.33 και 4.34):



Σχήμα 4.32 Σήμα Προς μE Όταν Εισαχθεί Ο PI Στα 10ms



Σχήμα 4.33 Σήμα Προς μE Όταν Εισαχθεί Ο ΡΙ Στα 15ms

Είναι φανερή η έντονη μεταβατική κατάσταση κατά την ακαριαία εισαγωγή του ελεγκτή. Γι'αυτό, όπως ήδη αναφέρθηκε, θα επιβληθεί η σταδιακή επίδρασή του μεταβάλλοντας ένα ποτενσιόμετρο.

4.3.5 Μετρητικό Ρεύματος

Για την υλοποίηση του ελέγχου κατασκευάστηκε μετρητική διάταξη για τη μέτρηση του εναλλασσόμενου ρεύματος στην έξοδο του συστήματος. Επειδή ο έλεγχος βασίζεται στην ολοκλήρωση του σφάλματος, έπρεπε να δοθεί μεγάλη προσοχή στο σχεδιασμό της διάταξης.

Τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά του μετρητικού είναι:

- ✓ Ικανοποιητική ακρίβεια μέτρησης.
- ✓ Ικανοποιητική γραμμικότητα.
- ✓ Μεγάλο εύρος ζώνης.
- ✓ Δυνατότητα μέτρησης θετικών και αρνητικών ρευμάτων.

Το κύκλωμα για τη μέτρηση του ρεύματος βασίστηκε στον αισθητήρα μέτρησης LEM (LA25-NP/SP2). Οι αισθητήρες αυτοί λειτουργούν με βάση το φαινόμενο Hall (Σχήμα 4.36). Από το τεχνικό φυλλάδιο φαίνεται να ικανοποιούνται όλες οι επιθυμητές προδιαγραφές. Το LEM ουσιαστικά λειτουργεί ως μια πηγή ρεύματος που παράγει ένα ρεύμα ανάλογο με αυτό

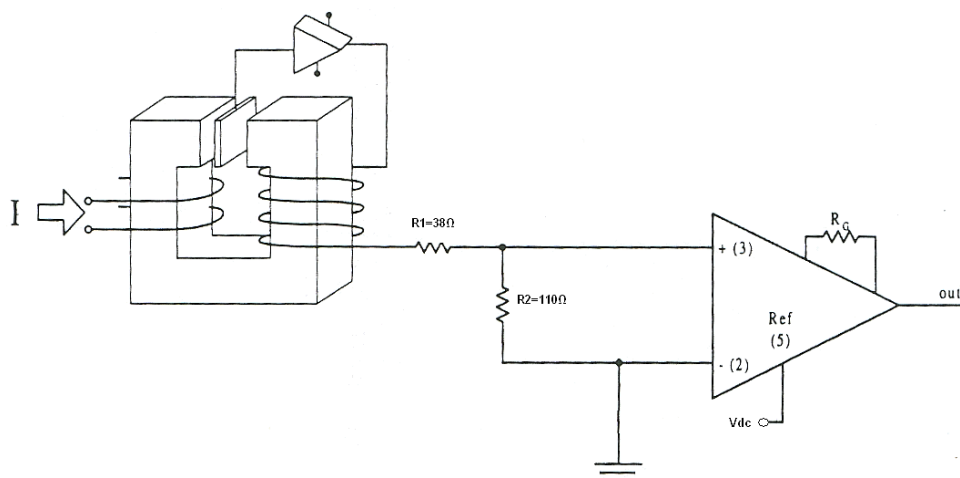
που διαρρέει το πρωτεύον του. Ο λόγος του ρεύματος εξόδου προς το ρεύμα του πρωτεύοντος τυλίγματος καθορίζεται από τη συνδεσμολογία που θα επιλεγεί.

Το σύστημα που κατασκευάστηκε στοχεύει να παρέχει ισχύ 170 Watt, συνεπώς το μέγιστο ρεύμα είναι της τάξης του 1 Ampere (rms). (Σχέση 4.5). Γι'αυτό η συνδεσμολογία που επιλέχθηκε είναι αυτή του Σχήμα 4.35.

Number of primary turns	Primary current		Nominal output current I_{SN} [mA]	Turns ratio K_N	Primary resistance R_p [mΩ]	Primary insertion inductance L_p [μH]	Recommended connections
	nominal I_{FN} [A]	maximum I_p [A]					
5	5	7	25	5:1000	6.3	0.58	

Σχήμα 4.34 Χαρακτηριστικά Συνδεσμολογίας Που Επιλέχθηκε

Το ρεύμα εξόδου του LEM θα οδηγηθεί σε ένα διαιρέτη τάσης από τον οποίο θα προκύψει μία τάση ανάλογη του ρεύματος που μετρήθηκε. Ο λόγος μετασχηματισμού του LEM είναι 5:1000. Επομένως το ρεύμα δευτερεύοντος θα είναι πολύ μικρό (5mA rms, για το μέγιστο ρεύμα). Έτσι, λοιπόν, μετά το διαιρέτη τάσης, υπάρχει ένα στάδιο ενίσχυσης. Για αυτό το στάδιο χρησιμοποιήθηκε το ολοκληρωμένο AD622. Είναι τελεστικός ακριβείας που έχει την ιδιότητα να παρέχει ενίσχυση μέχρι 1000 φορές. Η ενίσχυση επιτυγχάνεται μεταβάλλοντας την τιμή της αντίστασης που συνδέεται στους ακροδέκτες 1 και 8 του ολοκληρωμένου. Το AD622 διαθέτει, επίσης, έναν ακροδέκτη αναφοράς στον οποίο η συνεχής τάση που θα εφαρμοστεί θα αποτελέσει την αναφορά του σήματος εξόδου. Η μετρητική διάταξη φαίνεται στη συνέχεια:



Σχήμα 4.35 Διάταξη Μέτρησης Ρεύματος

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] «Ηπιες Μορφές Ενέργειας»;
el.wikipedia.org
- [2] «Στοιχεία Για Φωτοβολταϊκά»
- [3] ΚΑΠΕ- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ελλάδος
www.cres.gr
- [4] Helapco-Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών
www.helapco.gr
- [5] N.Mohan, T.M. Undeland, “Power Electronics, Converters, Applications and Design”, John Wiley & Sons, 1995.
- [6] I. Khan, J. Tapson, I. de Vriew, “Frequency control of a current-fed inverter for induction heating”, IEEE Proceedings on Industrial Electronics, Vol. 1, No.1, 2000, pp.343-346.
- [7] Fairchild semiconductors, “Induction Heating System Topology Review”, Applications notes, July 2000.
- [8] Κέντρο Ευρωπαϊκής Πληροφόρησης Δυτικής Αθήνας «Πράσινο Και Κοινωνικό Επιχειρείν»;
http://users.sch.gr/tsinasp/portal/uploads/erg_koutelida.pdf
- [9] Εφημερίδα «Η Σημερινή»;
www.simerini.com.cy
- [10] Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, Τομέας Τηλεπικοινωνιών;
- [11] <http://genesis.ee.auth.gr>
- [12] Science Line, Ηλεκτρονικό Περιοδικό Για Τις Σύγχρονες Εξελίξεις Στην Επιστήμη Και Τεχνολογία;
www.scienceline.gr
- [13] Ελληνική Ελεύθερη Εγκυκλοπαίδεια;
www.live-pedia.gr
- [14] WWF – Το κλίμα είναι στο χέρι σου;
<http://climate.wwf.gr>
- [15] Ενδιάμεση Διαχειριστική Αρχή Περιφέρειας ΑΜΘ;
www.eydamth.gr

- [16] International Geothermal Association;
<http://iga.igg.cnr.it>
- [17] <http://www.tech-faq.com>
- [18] Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Εργαστήριο Φυσικής Της Ατμόσφαιρας;
<http://lap.physics.auth.gr>
- [19] Αιολική Ενέργεια;
http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1
- [20] Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Αιολικής Ενέργειας;
<http://www.aenaon.net/gr/content/view/54/29/>
- [21] Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας Και Κλιματικής Αλλαγής, Αιολική Ενέργεια;
<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=287&language=el-GR>
- [22] Αιολική Ενέργεια;
<http://1gym-ag-parask.att.sch.gr/environment/iliako/energy/aioliki/index.htm>
- [23] Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας Και Κλιματικής Αλλαγής, Ηλιακή Ενέργεια Και Φωτοβολταϊκά;
<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=286&language=el-GR>
- [24] Φωτοβολταϊκό Σύστημα;
http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8C_%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1
- [25] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Και Εξοικονόμησης Ενέργειας, Φωτοβολταϊκά Συστήματα;
http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_photovol.htm
- [26] Βιοκαύσιμα;
<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BA%CE%B1%CF%8D%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B1>
- [27] Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας Και Κλιματικής Αλλαγής, Βιομάζα;
<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=288&language=el-GR>
- [28] Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας Και Κλιματικής Αλλαγής, Βιοκαύσιμα;
<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=292>

- [29] Υλικό Για Τις Μορφές Ενέργειας Και Σχετικά Θέματα, Παραγωγή Υδρογόνου Από ΑΠΕ;
<http://energy.pblogs.gr/2007/11/paragwgh-ydrogonoy-apo-ape.html>
- [30] Ήπιες Μορφές Ενέργειας;
http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%89%CF%80%CE%B9%CE%B5%CF%82_%CE%BC%CE%BF%CF%81%CF%86%CE%AD%CF%82_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82
- [31] Ι.Φραγκούλης, “Μελέτη και Κατασκευή Υψίσουχου Μετατροπέα για Διασύνδεση Φωτοβολταϊκού με το Δίκτυο” Διπλωματική Εργασία – Εργαστήριο Ηλεκτρομηχανικής Μετατροπής Ενέργειας, 2003.
- [32] Εθνική Έκθεση για το Επίπεδο Διείσδυσης της Ανανεώσιμης Ενέργειας το Έτος 2010 (ΑΡΘΡΑ 3 ΚΑΙ 6 ΟΔΗΓΙΑΣ 2001/77/ΕΚ), Ελληνική Δημοκρατία Υπουργείο Ανάπτυξης, Γενική Διεύθυνση Ενέργειας.
- [33] W.Bower, M.Ropp, SANDIA REPORT 2002-3591, “Evaluation of Islanding detection Methods for Utility-Interactive Inverters in Photovoltaic Systems”, November 2002.
- [34] G.A.Smith, P.A.Onions, D.G.Infield, “Predicting Islanding Operation of Grid Connected PV Inverters”, IEE Proc.-Electr.Power Appl., Vol.147, No. 1, January 2000, p.1 – 6.
- [35] Α.Πολυχρονιάδου, “Τεχνικό – οικονομική μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων στα κτήρια του Ξενία ” Διατριβή – Περιβαλλοντική Πολιτική Και Διαχείριση Του Τμήματος Περιβάλλοντος .

Αθήνα

Ιούνιος - 2012