



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

Ευφυή συστήματα ελέγχου: Εφαρμογή σε Μικροδίκτυα

Intelligent systems for Microgrid network control

Διπλωματική Εργασία

Κωνσταντίνος Α. Παναγιωτόπουλος

Επιβλέποντες Καθηγητές

Σταμούλης Γεώργιος
Καθηγητής

Μπαργιώτας Δημήτριος
Καθηγητής

Βόλος 2015

Copyright © Konstantinos Panagiotopoulos, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό.

Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Στην οικογένεια μου

Ευχαριστίες

Φτάνοντας στο τέλος των προπτυχιακών μου σπουδών θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους στάθηκαν δίπλα μου τόσο σε ακαδημαϊκό όσο και σε προσωπικό επίπεδο.

Πάνω από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που παρά τις οποιεσδήποτε δυσκολίες πάντα βρίσκονταν στο πλευρό μου για να με στηρίξει και να με βοηθήσει με κάθε δυνατό τρόπο.

Τον αδερφό μου το Γιάννη που τόσα χρόνια με ανέχτηκε σαν συγγάτοικό του, με όσες χαρές και προβλήματα συνεπάγεται αυτό.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου τον καθηγητή, κ. Μπαργιώτα Δημήτριο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση σε όλη την πορεία της εργασίας. Χωρίς την υπομονή, την υποστήριξη του αλλά και τις ατελείωτες ώρες που επένδυσε στην αντιμετώπιση των προβλημάτων δεν θα είχε ολοκληρωθεί η διπλωματική εργασία.

Νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τον κ. Σταμούλη Γεώργιο για τις γνώσεις που μου προσέφερε όλα αυτά τα χρόνια όπως επίσης για την τιμή που μου έκανε να είναι ο επιβλέπων καθηγητής της διπλωματικής μου.

Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Όλγα που με τη στήριξη και τη βοήθειά της κατάφερα να φέρω εις πέρας αυτή την εργασία.

Τέλος ευχαριστώ όλους τους φίλους μου οι οποίοι πίστεψαν σε εμένα και με υποστήριξαν. Για τις ατελείωτες ώρες διαβάσματος, τις χαρές και τις λύπες που περάσαμε μαζί.

Κωνσταντίνος Παναγιωτόπουλος
Βόλος, 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική αφορά στην προσομοίωση ενός Μικροδικτύου με τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται. Παρουσιάζεται ένα μοντέλο διασυνδεδεμένο στο Κεντρικό Δίκτυο, αποτελούμενο από μία φωτοβολταϊκή μονάδα, μια ανεμογεννήτρια, LC φίλτρα και ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος.

Η μοντελοποίηση έγινε με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή στο λογισμικό 'Simulink' από το οποίο εξάγαμε και μελετήσαμε τα αποτελέσματα των γραφικών παραστάσεων.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στη κατανομημένη παραγωγή. Αναφέρεται ο ορισμός της, μερικά ιστορικά στοιχεία και οι λόγοι που οδηγούν στην ανάπτυξή της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα χαρακτηριστικά του Μικροδικτύου. Η θέση εγκατάστασης, η διασύνδεση με το κεντρικό δίκτυο και οι επιπτώσεις σύνδεσής του. Ακόμη, αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Μικροδικτύων.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται οι τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας σε ένα Μικροδίκτυο. Αναλύονται περισσότερο οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δηλαδή οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που θα χρησιμοποιηθούν στο Μικροδίκτυο που θα μοντελοποιηθεί.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος και κυρίως των AC-DC και DC-AC οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η προσομοίωση και η ανάλυση των χαρακτηριστικών του Φ/Β πάνελ που πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται προσομοίωση και ανάλυση των χαρακτηριστικών της Α/Γ (PMSG) που θα χρησιμοποιηθεί στο Μικροδίκτυο.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζεται το συνολικό μοντέλο του Μικροδικτύου όπως αυτό θα προσομοιωθεί στο Simulink.

Τέλος στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται η προσομοίωση του Μικροδικτύου στο λογισμικό Simulink και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της λειτουργίας του σύμφωνα με κάποια σενάρια που επιλέξαμε και ο αντίστοιχος σχολιασμός τους.

Λέξεις Κλειδιά: κατανομημένη παραγωγή, Μικροδίκτυο, διασυνδεδεμένο, αυτόνομο, φορτίο, ανεμογεννήτρια, φωτοβολταϊκό, ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος, μοντελοποίηση, προσομοίωση, Κεντρικό Δίκτυο, Simulink.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Κατανεμημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	3
1.3 Τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας στην ΚΠ.....	5
1.4 Κατηγοριοποίηση των μονάδων παραγωγής.....	6
1.5 Πλεονεκτήματα ΚΠ.....	7
1.6 Μειονεκτήματα ΚΠ.....	7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ

2.1 Εισαγωγή - Ορισμός.....	8
2.2 Θέση Εγκατάστασης.....	9
2.3 Διασύνδεση με το δίκτυο.....	9
2.3.1 Δίκτυα Διανομής και Μεταφοράς.....	10
2.3.2 Προδιαγραφές Σύνδεσης – Εξοπλισμός.....	10
2.3.3 Επιδράσεις του Μικροδικτύου στην διασύνδεση με το κεντρικό δίκτυο.....	11
2.3.4 Μεταβολή της Τάσης.....	11
2.3.5 Ποιότητα Ισχύος.....	12
2.3.6 Επιπτώσεις γεννητριών στο δίκτυο.....	12
2.4 Διαχείριση των μεταβατικών φαινομένων.....	12
2.5 Διαφοροποιήσεις σε σχέση με το σημείο σύνδεσης.....	13
2.6 Χαρακτηριστικά Λειτουργίας.....	13
2.6.1 Ανεξαρτητοποίηση Μονάδων(“Peer to Peer”)	13
2.6.2 Άμεση Διασύνδεση Μονάδων(“Plug n’ Play”)	14
2.7 Πλεονεκτήματα Μικροδικτύου.....	14
2.8 Μειονεκτήματα Μικροδικτύου.....	15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

3.1 Φωτοβολταϊκά.....	16
3.1.1 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο.....	16
3.1.2 Λειτουργία των Φ/Β Κυττάρων.....	16
3.1.3 Συνιστώσες μιας Φ/Β Συστοιχίας.....	17
3.1.4 Ισοδύναμο Κύκλωμα.....	18
3.1.5 Χαρακτηριστική Καμπύλη V-I.....	19
3.1.6 Έλεγχος και Ανίχνευση Σημείου Μέγιστης Απόδοσης.....	20
3.2 Ανεμογεννήτριες – Αιολική ενέργεια.....	23
3.2.1 Αιολική Ενέργεια.....	23
3.2.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά.....	24
3.2.3 Κατηγορίες ανεμογεννητριών.....	26
3.2.4 Τύποι ανεμογεννητριών.....	28
3.2.5 Ισχύς Ανέμου – Ανεμογεννήτριας.....	30
3.3 Κύτταρα καυσίμου (Fuel Cells).....	32
3.4 Λοιπές Μονάδες Παραγωγής.....	34
3.4.1 Βιομάζα.....	34
3.4.2 Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (Diesel).....	34
3.5 Μονάδες Αποθήκευσης.....	35
3.5.1 Συσσωρευτές.....	35
3.5.2 Χαρακτηριστικά Μεγέθη.....	38
3.5.3 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Χωρητικότητα.....	38
3.5.4 Τύποι Συσσωρευτών.....	38
3.5.5 Άλλες Μονάδες Αποθήκευσης.....	39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΙΣΧΥΟΣ	
4.1 Ηλεκτρονικοί Μετατροπείς Ισχύος Μικροδικτύων.....	41
4.2 Αντιστροφείς Φωτοβολταϊκών.....	41
4.2.1 Μετατροπείς (converters) DC - DC, DC - AC και AC - DC.....	41
4.3 Διπολικά τρανζίστορ με μονωμένη πύλη (IGBT).....	43
4.4 Αντιστροφείς Ανεμογεννητριών.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ	
5.1 Το Φωτοβολταϊκό Πάνελ.....	47
5.2 Προσδιορισμός των τιμών της εξίσωσης του Φ/Β.....	48
5.3 Υλοποίηση του μοντέλου Sunpower SPR-305 (Φ/Β πάνελ) στο Simulink.....	49
5.4 MPPT Controller.....	53
5.5 Χαρακτηριστικές καμπύλες Φ/Β στο Simulink.....	54
5.6 Σενάρια Προσομοίωσης.....	55
5.6.1 Σύνδεση σε DC φορτίο.....	55
5.6.2 Σύνδεση σε AC φορτίο.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	
6.1 Το Μοντέλο της Ανεμογεννήτριας.....	59
6.2 Χαρακτηριστικές εξισώσεις Α/Γ.....	60
6.3 Σενάρια Προσομοίωσης.....	62
6.3.1 Σύνδεση Α/Γ σε φορτίο DC.....	62
6.3.2 Σύνδεση Α/Γ σε φορτίο AC.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ	
7.1 Το Μοντέλο του Μικροδικτύου.....	67
7.2 Μονάδες Παραγωγής.....	68
7.2.1 PMSG Α/Γ.....	68
7.2.2 PV Array.....	69
7.3 Το Κεντρικό Δίκτυο.....	71
7.4 Συσκευές ελέγχου Μικροδικτύου.....	71
7.4.1 Rectifier (Τριφασικός ανορθωτής γέφυρας με διόδους).....	71
7.4.2 DC-AC Τριφασικός αντιστροφέας IGBT.....	73
7.5 Μετασχηματιστής Ισχύος.....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	
8.1 Η Φ/Β συστοιχία ως μονάδα παραγωγής του Μικροδικτύου.....	77
8.2 Η Α/Γ ως μονάδα παραγωγής του Μικροδικτύου.....	84
8.3 Το ολοκληρωμένο μοντέλο του Μικροδικτύου.....	87

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Αξιολογώντας τις ανάγκες του ανθρώπου και των κοινωνιών σήμερα, αναπτυγμένων και αναπτυσσόμενων, αναμφίβολα θα κατατάσσαμε την ενέργεια στις πιο σημαντικές μαζί με αυτές της διατροφής και της υγείας. Η ηλεκτρική ενέργεια πιο συγκεκριμένα αποκτά ολοένα και μεγαλύτερο μερίδιο στην παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση με ρυθμούς μάλιστα συνεχώς αυξανόμενους. Η παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από 4 τρις KWh όπου ήταν το 1970, έφτασε τις 13 τρις KWh το 2000, ενώ αναμένεται να ξεπεράσει τις 19 τρις KWh το έτος 2015.

Ωστόσο, οι ραγδαίες κλιματικές αλλαγές, τα καταστροφικά καιρικά φαινόμενα, η μόλυνση του περιβάλλοντος, του αέρα, των υδάτων, του εδάφους δεν απειλούν πλέον μεμονωμένες περιοχές αλλά αρχίζουν να γίνονται ορατές ακόμη και στους κατοίκους των ανεπτυγμένων χωρών. Η άνοδος της θερμοκρασίας παγκοσμίως, οφειλόμενη εν μέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, γίνεται πλέον συνείδηση ότι αποτελεί παγκόσμιο πρόβλημα που απαιτεί μακροχρόνιες στρατηγικές αντιμετώπισης. Και αυτό γιατί έχει αρχίσει να γίνεται πλέον φανερό ότι το οικονομικό και κοινωνικό κόστος που προκαλείται από την άνοδο της θερμοκρασίας και τη μόλυνση του περιβάλλοντος είναι πολύ μεγαλύτερο από το κόστος για την αναζήτηση στρατηγικών αντιμετώπισης αυτού του φαινομένου. Ήδη αρκετές περιοχές του πλανήτη είναι εκείνες οι οποίες πλήττονται από φαινόμενα τα οποία προέρχονται από την αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ οι πληθυσμοί τους αναγκάζονται να μεταναστεύσουν για αναζήτηση βιώσιμων τόπων.

Η ανησυχία εντείνεται ακόμη περισσότερο καθώς νέες μελέτες έρχονται να συνδέσουν την μείωση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στη γη, με την ύπαρξη στην ατμόσφαιρα των αερίων του θερμοκηπίου. Συγκεκριμένα παρατηρείται μείωση της προσπίπτουσας στη γη ηλιακής ακτινοβολίας της τάξεως του 3% ανά δεκαετία, πράγμα που μεταφράζεται σε συνολική μείωση κατά 15%, σε σχέση με τη δεκαετία του '50. Η μείωση της φωτεινότητας και της θερμότητας των ηλιακών ακτίνων ενισχύεται τόσο από την ύπαρξη μεγάλων μαζών αερίων του θερμοκηπίου, όσο και από τις πυκνότερες και μεγαλύτερης διάρκειας νεφώσεις στις διάφορες περιοχές του πλανήτη. Η μεταβολή αυτή ενδέχεται να έχει περαιτέρω αρνητικές επιπτώσεις τόσο στην ίδια την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, όσο και στην διαδικασία της φωτοσύνθεσης, άρα συνολικά στην γλωρίδα και στην αγροτική παραγωγή. Η παγκόσμια κοινότητα, ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών, προκειμένου να αντιμετωπίσει αυτά τα σοβαρά προβλήματα, θέσπισε ήδη από το 1992 το πρωτόκολλο του Κιότο, μια συμφωνία μεταξύ των κρατών που προσπαθεί να μειώσει την εκπομπή των αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Συγχρόνως έχει γίνει πλέον κατανοητό ότι οι συμβατικές πηγές ενέργειας κάποια στιγμή θα εξαντληθούν με αποτέλεσμα να τίθεται στην επιστημονική κοινότητα ο προβληματισμός της δημιουργίας τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Προς αυτή την κατεύθυνση συνέβαλαν και οι ενεργειακές κρίσεις των δεκαετιών του '70 και του '80, οι οποίες έκαναν επιτακτική την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απεξάρτηση των βιομηχανικών χωρών από το πετρέλαιο.

Έτσι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτέλεσαν μονόδρομο, δηλαδή την ενέργεια από πηγές που είναι πρακτικά ανεξάντλητες, όπως τον ήλιο, τον αέρα, τις υδατοπτώσεις και τη θερμότητα από τη γη.

Εντάθηκε εξάλλου και το ενδιαφέρον για την παραγωγή καυσίμων από εναλλακτικές φυσικές πηγές όπως το φυτικό λάδι και την αιθανόλη (βιοντίζελ), τα απόβλητα και τα σκουπίδια (βιοαέριο και το υδρογόνο). Παράλληλα προέκυψε η αναζήτηση πρακτικών και τεχνολογιών που θα συμβάλλουν στην εξοικονόμηση της ενέργειας.

Πέρα από το γεγονός ότι η καύση των πρώτων υλών προκαλεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου, τα σημερινά ενεργειακά μοντέλα κλονίστηκαν και από κάποιους άλλους παράγοντες. Πρωταρχικής σημασίας είναι το γεγονός ότι η πίεση για την απεξάρτηση από την πυρηνική ενέργεια, μια μορφή ενέργειας που μέχρι σήμερα αποτελεί βασικό πυλώνα πολλών ενεργειακών συστημάτων, οδήγησε προς αυτή την κατεύθυνση. Το σύνολο σχεδόν των πιο μεγάλων και ισχυρών κρατών (ΗΠΑ, Γαλλία, Γερμανία, Ρωσία, Ιαπωνία) παράγει ένα μεγάλο ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας από τα πυρηνικά καύσιμα. Τα ατυχήματα στο Three Mile Island (1979) και στο Τσερνομπίλ (1986) ήταν αυτά που δυνάμωσαν την παγκόσμια ανησυχία για την πυρηνική ενέργεια και έκαναν και τους πιο δύσπιστους να αμφισβητούν τη χρήση της. Οι κυβερνήσεις, ήδη από τη δεκαετία του 1970, άρχισαν να πιέζονται για να σταματήσουν τη δημιουργία νέων πυρηνικών εργοστασίων ηλεκτροπαραγωγής, ενώ σήμερα πλέον, δεδομένη θεωρείται η θέληση των πολιτών για κλείσιμο πολλών από τα ήδη υπάρχοντα εργοστάσια.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν για την Ευρώπη η Γερμανία και η Σουηδία. Στην Γερμανία, με ένα ποσοστό 29% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας να προέρχεται από πυρηνικά εργοστάσια (22 GW εγκατεστημένης ισχύος) το 2000 αποφασίστηκε το σταδιακό κλείσιμο των πυρηνικών εργοστασίων μέχρι το 2020, ενώ στη Σουηδία με το 45% της ηλεκτρικής ενέργειας να προέρχεται από πυρηνικά εργοστάσια, μετά από δημοψήφισμα αποφασίστηκε επίσης το σταδιακό κλείσιμο αυτών. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, οι οποίες προσπαθώντας να καλύψουν την ραγδαία αύξηση στη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας, σχεδιάζουν τη δημιουργία εργοστασίων πυρηνικής ενέργειας. Τα πράγματα βέβαια γίνονται περισσότερο πολύπλοκα με την πυρηνική ενέργεια, αφού οι υποστηρικτές της προτάσσουν ως βασικό πλεονέκτημα το γεγονός ότι τα πυρηνικά εργοστάσια δεν εκπέμπουν ρύπους που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Ενώ λοιπόν το ενεργειακό αυτό τοπίο επιζητά άμεσες λύσεις, η σχετικά πρόσφατη τεχνογνωσία των ανανεώσιμων πηγών (μόνο λίγες δεκαετίες εφαρμογής) δεν επιτρέπει την κάλυψη μεγάλου μέρους των ενεργειακών απαιτήσεων από αυτές. Σήμερα τα ποσοστά διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα ενεργειακά συστήματα κυμαίνονται από 1-30% με συνεχώς αυξητικές βέβαια τάσεις. Εξαιρέση αποτελεί η Ισλανδία η οποία πρόσφατα ανακηρύχθηκε το πρώτο κράτος που παράγει το 100% της ηλεκτρικής του ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (κυρίως γεωθερμία και υδροηλεκτρικά). Έτσι, παράλληλα με την στροφή στις ανανεώσιμες πηγές, αναζητούνται συνεχώς λύσεις που θα κάνουν τις συμβατικές πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποδοτικότερες και φιλικότερες προς το περιβάλλον. Βασικότερα στοιχεία αυτών των εξελίξεων αποτελούν τα αποδοτικά συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP), οι γεννήτριες φυσικού αερίου, οι μικρο στρόβιλοι και οι κυψέλες καυσίμου.

Εκτός όμως από το πρόβλημα της παραγωγής που πρέπει να επιλυθεί άμεσα, ίσης βαρύτητας είναι και το ζήτημα της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Αναζητούνται λοιπόν διαρκώς νέες τεχνολογίες που μπορούν να συμβάλλουν στην εξοικονόμηση της ενέργειας και την αύξηση της απόδοσης των ηλεκτρικών συσκευών. Από τους ηλεκτρικούς λαμπτήρες μέχρι τους ηλιακούς συλλέκτες ζεστού νερού, μια σειρά εφαρμογών και τεχνολογιών μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην μείωση της ηλεκτρικής ζήτησης, γεγονός που εξάλλου είναι πολύ πιο θεμελιώδες από την ίδια την παραγωγή της ενέργειας.

Γιατί με άλλα λόγια, δεν έχει και μεγάλη αξία η αναζήτηση νέων πηγών ενέργειας και η κατασκευή συνεχώς περισσότερων σταθμών για την παραγωγή ενέργειας που σπαταλάται άσκοπα.

Παρατίθεται παρακάτω ο πίνακας με την παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση ανά τομέα, στον οποίο εύκολα παρατηρούμε ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι χαμηλά στη λίστα του.

	1971	1997	2010	2020	1997-2020*
Total Final Consumption	3 627	5 808	7 525	9 117	2.0
Coal	620	635	693	757	0.8
Oil	1 888	2 823	3 708	4 493	2.0
Gas	608	1 044	1 338	1 606	1.9
Electricity	377	987	1 423	1 846	2.8
Heat	68	232	244	273	0.7
Renewables	66	87	118	142	2.2

Πίνακας 1: Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση ανά τομέα.
[Πηγή: World Energy Outlook 2000, International Energy Agency]

Παρότι έχει πρωταρχική σημασία η εξοικονόμηση της ηλεκτρικής ενέργειας για τους κατοίκους των ανεπτυγμένων χωρών, που εκτός από επιβεβλημένη είναι και εύκολα υλοποιήσιμη, για κάποιους άλλους ανθρώπους αυτό που προέχει είναι ο εξηλεκτρισμός.

Μεγάλα ποσοστά πληθυσμού σε χώρες του τρίτου κόσμου στερούνται ακόμη και σήμερα την πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια, γεγονός που συντελεί μεταξύ άλλων και στην χαμηλή ποιότητα ζωής. Πέρα από τα οφέλη που έχει ο ηηλεκτρισμός για την υγεία, την μόρφωση και την παραγωγικότητα, όσο κι αν ακούγεται παράξενο ο εξηλεκτρισμός μπορεί να συμβάλει και στο θέμα του υπερπληθυσμού. Μελέτες δείχνουν ότι η ύπαρξη ηλεκτρικού μπορεί να συμβάλει κατά ένα ποσοστό 9% στη μείωση των γεννήσεων στις χώρες του τρίτου κόσμου.

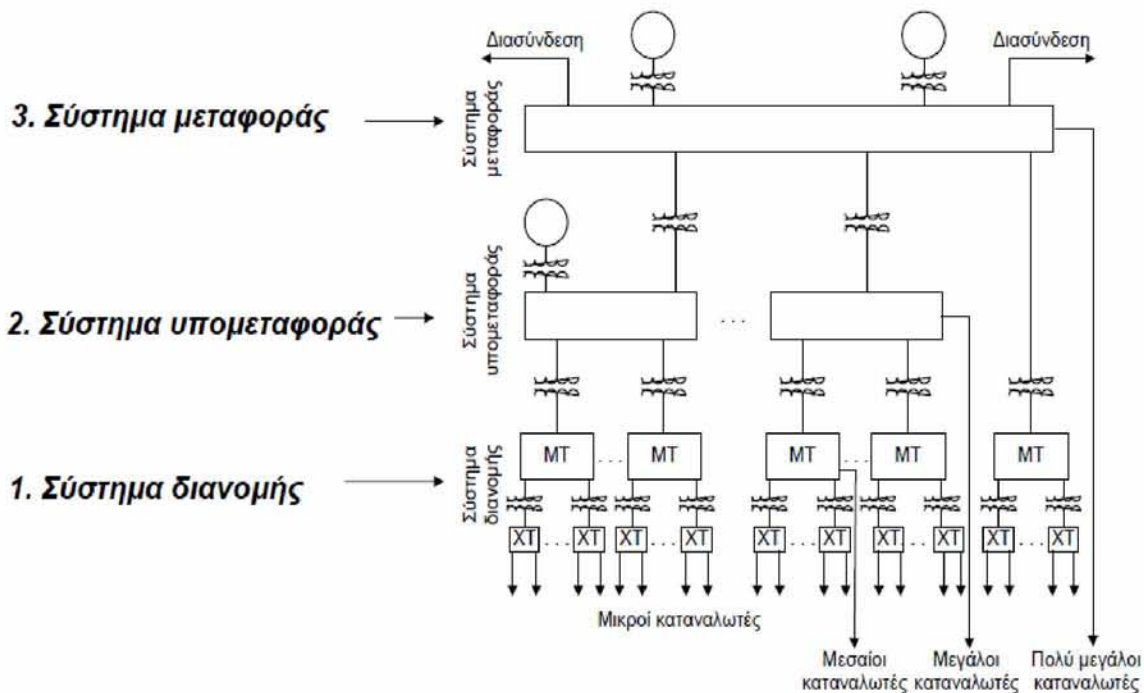
1.2 Κατανεμημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η πλειοψηφία των ηλεκτρικών δικτύων ανά τον κόσμο δομήθηκε όλες τις προηγούμενες δεκαετίες, πάνω στην διαπίστωση ότι το κόστος της παραγόμενης ενέργειας μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους των σταθμών παραγωγής ενέργειας. Η διαπίστωση αυτή ήταν καθοριστικός παράγοντας για την δομή των ηλεκτρικών δικτύων, καθώς βασικότερα κριτήρια για την ηλεκτροπαραγωγή ήταν το κόστος και η απόδοση. Έτσι οι νέοι θερμικοί σταθμοί, είτε αυτοί χρησιμοποιούσαν λιγνίτη ή πετρέλαιο, είτε πυρηνικά καύσιμα, κατασκευάζονταν με όλο και μεγαλύτερη ισχύ ώστε να μειωθεί το κόστος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το γεγονός αυτό παραγκώνιζε άλλους παράγοντες που βρίσκονται σε άμεση σχέση με το μέγεθος και την τοποθεσία των ηλεκτρικών σταθμών παραγωγής όπως το περιβαλλοντικό κόστος και την εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας.

Απόρροια αυτής της κατάστασης ήταν γιγαντοποίηση των θερμικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με την κατασκευή ολοένα και μεγαλύτερων δικτύων μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας με γραμμές υψηλής και πολύ υψηλής τάσης (μέχρι και 700KV).

Μέχρι και σήμερα λοιπόν, ένα τυπικό ηλεκτρικό δίκτυο βασίζεται στην συγκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (από λίγους και μεγάλης ισχύος σταθμούς), την μεταφορά της σε αστικά κέντρα με γραμμές υψηλής τάσης και στη συνέχεια τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας με γραμμές μέσης και χαμηλής τάσης. Το μοντέλο αυτό άρχισε να αμφισβητείται σταδιακά από τη δεκαετία του 1980, καθώς νέα δεδομένα έπρεπε να ληφθούν υπ' όψη.

Στο Σχήμα 1 απεικονίζεται το σύστημα μεταφοράς ενέργειας ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα.



Σχήμα 1: Δομή Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας
[Πηγή: Γαβριήλ Γιαννόπουλος ΣΗΕ Πανεπιστήμιο Πατρών]

Μέχρι σήμερα πρωταρχικός παράγοντας καθορισμού της περιοχής εγκατάστασης ενός μεγάλου εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ήταν από τη μια η εύκολη μεταφορά της πρώτης ύλης που θα χρησιμοποιεί, και από την άλλη η εύκολη απόρριψη της παραγόμενης θερμότητας. Η πρακτική αυτή θεωρείται όχι μόνο σπάταλη, αλλά και επιζήμια για το περιβάλλον.

Αυτό διότι έτσι κι αλλιώς η απόδοση των θερμικών εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρή (το πολύ 30% έως 35% σε μονάδες συνδυασμένου κύκλου), καθώς το μεγαλύτερο μέρος της πρωτογενούς ενέργειας (1/2 έως και 3/4 αυτής) χάνεται υπό μορφή θερμότητας (ζεστό νερό ή υδρατμός).

Οι μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας έχουν το πλεονέκτημα να διοχετεύουν την εκλυόμενη θερμότητα για βιομηχανική χρήση ή οικιακή θέρμανση, αξιοποιώντας έτσι πλήρως την καύσιμη ύλη. Η πρακτική αυτή θεωρείται πολύ φιλικότερη για το περιβάλλον, αφενός γιατί η παραγόμενη θερμότητα δεν πηγαίνει χαμένη αλλά χρησιμοποιείται για θέρμανση, η οποία υπό άλλες συνθήκες θα απαιτούσε κατανάλωση καυσίμων για να παραχθεί και αφετέρου διότι αποφεύγεται η έκλυση θερμού νερού σε ποτάμια ή θάλασσες, επηρεάζοντας έτσι αρνητικά τα οικοσυστήματα. Αντίθετα όμως με τον ηλεκτρισμό, η θερμότητα δεν μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις, πράγμα που καθιστά την συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας δυνατή μόνο κοντά στο σημείο παραγωγής.

Η κατανεμημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (ΚΠ) αποτελεί μια μορφή επίλυσης αυτού του προβλήματος. Σε αντιδιαστολή με τη συγκεντρωμένη παραγωγή από λίγους και γιγάντιους θερμικούς σταθμούς, ικανούς να τροφοδοτήσουν με ζεστό νερό μόνο την περιοχή που βρίσκονται, η διανεμημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες συμπαραγωγής θα ήταν ικανή να τροφοδοτήσει τόσο με ηλεκτρισμό όσο και με ζεστό νερό για θέρμανση πολύ μεγαλύτερο ποσοστό πληθυσμού καθώς και βιομηχανικές μονάδες [1].

Παράλληλα με την παροχή ζεστού νερού εκεί όπου απαιτείται, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κοντά στο σημείο κατανάλωσης μειώνει σημαντικά τις απώλειες που συνεπάγεται η μεταφορά της σε μεγάλες αποστάσεις. Επακόλουθο αυτού είναι και η αποσυμφόρηση των ηλεκτρικών γραμμών μεταφοράς και διανομής, των μετασχηματιστών καθώς και η επιβράδυνση μεγάλων επενδύσεων στα ηλεκτρικά δίκτυα (προσθήκη νέου εξοπλισμού για κάλυψη νέων φορτίων), αφού η ζήτηση καλύπτεται εν μέρει από την τοπικά παραγόμενη ενέργεια. Η μείωση του κόστους από την

αποσυμφόρηση αυτή μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντική, εφόσον μειώνονται σημαντικά οι αστοχίες των διατάξεων διανομής λόγω υπερφόρτισης, άρα και η συντήρηση του δικτύου. Αξίζει να σκεφτεί κανείς το αυξημένο ποσοστό βλαβών στις διατάξεις των δικτύων διανομής μέσης και χαμηλής τάσης σε περιόδους μεγάλης ζήτησης, π.χ. το καλοκαίρι στα αστικά κέντρα.

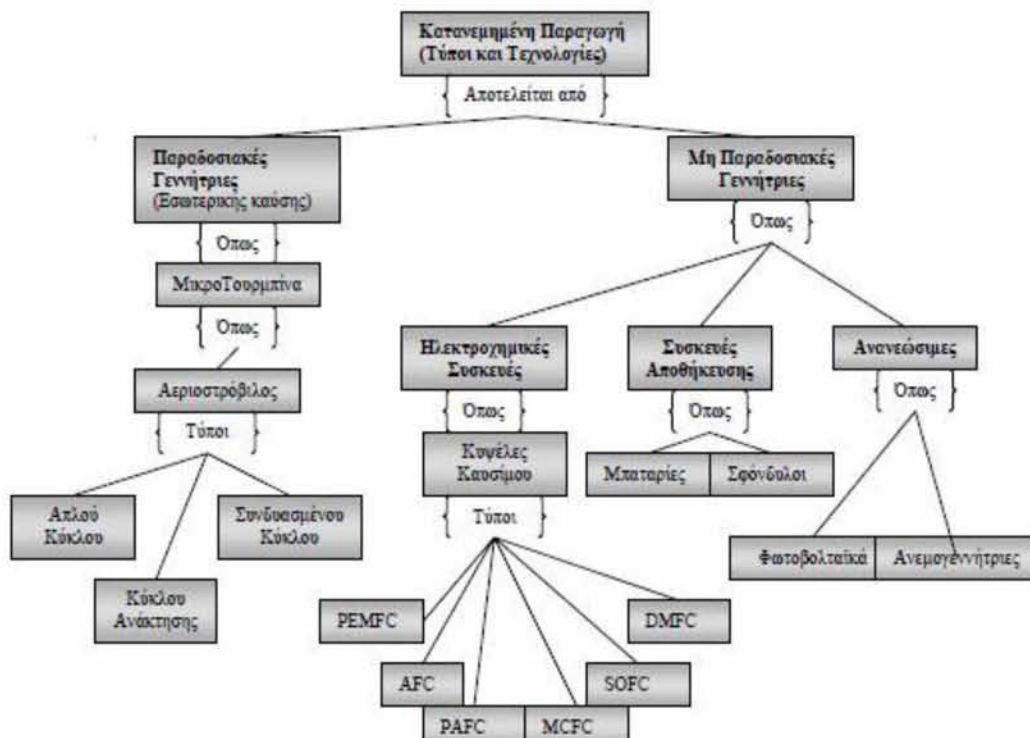
1.3 Τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας στην ΚΠ

Στην κατανεμημένη παραγωγή δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός όσον αφορά την τεχνολογία η οποία θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Ποικίλει πολύ καθώς σχεδόν κάθε υπάρχουσα τεχνολογία είναι εφαρμόσιμη (συμβατική αλλά και καινοτόμος). Μπορούν να προσδιοριστούν τρεις βασικές κατηγορίες:

- Κατανεμημένη Παραγωγή από συνεργασία συμβατικών πηγών με ΑΠΕ όπως συνδυασμοί μικρών υδροηλεκτρικών, φωτοβολταϊκών, ανεμογεννητριών, μηχανών diesel, ηλιοθερμικών συστημάτων, κυψελών καυσίμου και μπαταριών
- Κατανεμημένη Παραγωγή από μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας
- Κατανεμημένη Παραγωγή από ΑΠΕ όπως ήλιος, άνεμος, βιομάζα, υδατοπτώσεις, ενέργεια ωκεανού και γεωθερμική ενέργεια. Η κατηγορία αυτή είναι και η περισσότερο φιλική προς το περιβάλλον.

Το σχεδιάγραμμα στην επόμενη σελίδα δίνει μια συνοπτική εικόνα για τις προαναφερθείσες τεχνολογίες.

Εκτενέστερη αναφορά για τις βασικότερες ευρέως χρησιμοποιούμενες διατάξεις παραγωγής γίνεται σε επόμενο κεφάλαιο. Στο σχήμα που ακολουθεί συνοψίζονται σε ένα διάγραμμα οι τύποι των στοιχείων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας από τις οποίες αποτελείται η Κατανεμημένη Παραγωγή.



Σχήμα 2: Τύποι και Τεχνολογίες κατανεμημένης παραγωγής.

1.4 Κατηγοριοποίηση των μονάδων παραγωγής

Η ισχύς μιας μονάδας παραγωγής που μπορεί να συνδεθεί σε ένα δίκτυο εξαρτάται από το μέγεθος και την χωρητικότητα του δικτύου διανομής.

Συνεπώς, δεν μπορεί να καταστεί σαφής ορισμός της ισχύος που εγκαθίσταται, διότι η χωρητικότητα είναι ανάλογη του επιπέδου της τάσης λειτουργίας. Ο σχεδιασμός του κάθε συστήματος διανομής είναι ξεχωριστός και επομένως δεν μπορεί να δοθεί ένα σαφές όριο στις μονάδες παραγωγής που μπορούν να συνδεθούν σε αυτό [2]. Σε ένα σύστημα το οποίο λειτουργεί σε επίπεδο τάσης 110 kV δεν είναι δυνατόν να συνδεθούν μονάδες παραγωγής ισχύος, μεγαλύτερες από 150 MW, πράγμα το οποίο θέτει ένα περιορισμό στο μέγεθος των μονάδων που μπορεί να θεωρηθούν καταναμημένης παραγωγής. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατή η εγκατάσταση μεγάλων μονάδων καταναμημένης παραγωγής.

Παρόλα αυτά έχει διατυπωθεί μία διεθνής σύμβαση η οποία κάνει ένα διαχωρισμό της καταναμημένης παραγωγής σύμφωνα με το μέγεθος των μονάδων παραγωγής. Κατά τον τρόπο αυτό οι μονάδες καταναμημένης παραγωγής κατατάσσονται στις παρακάτω ομάδες ανάλογα με την παραγόμενη ισχύ που είναι σε θέση να προσφέρουν:

- Πολύ Μικρής κλίμακας: Από 1 W έως 5 kW
- Μικρής κλίμακας: Από 5kW έως 5 MW
- Μεσαίας κλίμακας: Από 5 MW έως 50 MW
- Μεγάλης κλίμακας: Από 50 MW έως 300 MW

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται κάποια ενδεικτικά στοιχεία ισχύος για τις διάφορες διατάξεις παραγωγής ενέργειας [3]:

	Τεχνολογία	Τυπικά μεγέθη
Ορυκτά καύσιμα	Αεριοστρόβιλος συνδυασμένου κύκλου	35-450 MW
	Μηχανή εσωτερικής καύσης	5 kW-10MW
	Γεννήτρια καύσης	1-250MW
	Μικρο-Τουρμπίνα	35kW-1MW
	Πολύ μικρό υδροηλεκτρικό	25-kW-1MW
Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	Μικρό υδροηλεκτρικό	1-100MW
	Ανεμογεννήτρια	200W-3MW
	Φωτοβολταϊκή συστοιχία	20W-100kW
	Ηλιακό θερμικό, κεντρικός δέκτης	1-10MW
	Ηλιακό θερμικό, σύστημα Lutz	10-80MW
	Βιομάζα (αεριοποίηση)	100kW-20MW
	Κυψέλη φωσφορικού οξέος	200kW-2MW
	Κυψέλη τηγμένου άνθρακα	250kW-2MW
	Κυψέλη καυσίμου ανταλλαγής πρωτονίου	1kW-250kW
	Κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου	250kW-5MW
	Γεωθερμική	5-100MW
	Ωκεανική ενέργεια	100kW-1MW
	Μηχανή Stirling	2-10kW
	Συσσωρευτές	500kW-5MW

Πίνακας 2: Τυπικά μεγέθη ισχύος για τις διάφορες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας.

1.5 Πλεονεκτήματα ΚΠ

Υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον από τους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας στην Κατανομημένη Παραγωγή, γιατί την βλέπουν ως ένα εργαλείο που μπορεί να τους βοηθήσει στο να πληρώσουν θέσεις στην απελευθερωμένη αγορά. Η διείσδυση της ΚΠ έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη δυνατότητα επιλογής και εξυπηρέτησης για τον πελάτη. Παρότι είναι δελεαστική η μείωση των εκπομπών σε CO₂, οι μονάδες ΚΠ υιοθετούνται κυρίως λόγω εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Εν κατακλείδι, η παραγωγή ρεύματος στην τοποθεσία κατανάλωσης ενδέχεται να επιφέρει μειώσεις κόστους στη μεταφορά και τη διανομή έως και 30% του κόστους του ρεύματος.

Η ΚΠ εξάλλου μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία σημαντικών περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων συμπεριλαμβανομένης και της μείωσης της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων και της μείωσης των εκπομπών σε CO₂. Στη μεγαλύτερη γκάμα των περιπτώσεων, εφόσον αναφέρεται ο όρος ΚΠ, ο ίδιος εμπεριέχει και τη συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού, ανεβάζοντας έτσι τη συνολική απόδοση των μηχανών. Η ΚΠ παρουσιάζει επίσης θετικές επιπτώσεις, ακόμη και όταν δεν είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο. Οι εκτός δικτύου ΚΠ με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καταφέρνουν να διεκπεραιώσουν τη διαχείριση κάποιων απομακρυσμένων φορτίων ή να καθυστερήσουν την επέκταση του δικτύου από πιθανά μελλοντικά φορτία στο δίκτυο. Σχετικά άλλωστε με τις θέσεις εργασίας εκτιμάται ότι οι επενδύσεις σε ΚΠ ενδέχεται να δημιουργήσουν πενταπλάσιες θέσεις εργασίας σε αναλογία με τους συμβατικούς κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής.

Η ΚΠ είναι κατάλληλη στο να προσφέρει ηλεκτρισμό εκεί ακριβώς όπου υπάρχει ανάγκη. Κατά συνέπεια, μπορεί να δημιουργηθούν νέα δεδομένα στην παραγωγή, μεταφορά και διανομή και να αρθεί η αναγκαιότητα της δημιουργίας νέων κεντρικών σταθμών. Οι μικρότερες μονάδες ΚΠ μπορούν επίσης να μειώσουν την ζήτηση αιχμής, να μειώσουν τις απώλειες μεταφοράς και να βελτιώσουν την ποιότητα των υπηρεσιών σε απομακρυσμένες περιοχές. Επίσης, σε περιοχές όπου είναι δύσκολη η υποστήριξη της τάσης του δικτύου, η ΚΠ μπορεί να συνεισφέρει, καθώς η σύνδεση ενός σταθμού ΚΠ, οδηγεί γενικά σε άνοδο της τάσης του δικτύου.

1.6 Μειονεκτήματα ΚΠ

Χρειάζεται βέβαια ιδιαίτερη μέριμνα για την αντιμετώπιση των οικονομικών και περιβαλλοντικών μειονεκτημάτων της ΚΠ με προτεραιότητα στη διαμόρφωση ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού των αρνητικών επιπτώσεων, οι οποίες όμως εφόσον υπάρξει ορθολογιστική πολιτική μπορεί να εξομαλυνθούν ή και να εξαλειφθούν. Πιο συγκεκριμένα, οι τεχνολογίες ΚΠ παρουσιάζουν ένα μεικτό περιβαλλοντικό προφίλ. Τεχνολογίες που χρησιμοποιούν ΑΠΕ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θεωρούνται 'καθαρές', ενώ αυτές που χρησιμοποιούν στερεά καύσιμα επιβαρύνουν άμεσα το ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Επιπλέον, η εγγύτητα στο φορτίο, ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της ΚΠ, μπορεί να λειτουργήσει και ως τροχοπέδη για αυτή. Αυτό συμβαίνει διότι με τον συγκεκριμένο τρόπο μεταφέρεται η ρυπογόνα πηγή μέσα στις πόλεις, με αποτέλεσμα την περαιτέρω επιβάρυνση του αστικού χώρου. Κατά συνέπεια η διαθεσιμότητα επομένως των ενεργειακών πόρων (ανανεώσιμων και μη) σε μία περιοχή και η ελαχιστοποίηση του κόστους των έργων θα διαμορφώσουν την τεχνολογία παραγωγής και την αντίστοιχη περιβαλλοντική υποβάθμιση.

Σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες, η αξιοπιστία των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλή, λόγω αυστηρών τεχνικών προδιαγραφών. Αυτό μπορεί να αλλάξει σε μια απελευθερωμένη αγορά, διότι υψηλή αξιοπιστία συνεπάγεται μεγάλο αρχικό κόστος επένδυσης και υψηλά έξοδα συντήρησης και λειτουργίας. Συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι το σημαντικότερο είναι το υψηλό κόστος κεφαλαίου ανά kW εγκατεστημένης ισχύος συγκριτικά με τα μεγάλα κεντρικά εργοστάσια παραγωγής.

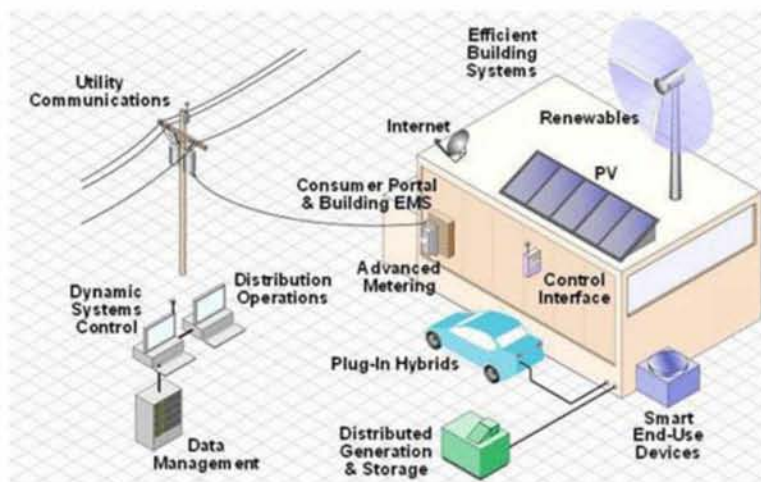
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ

2.1 Εισαγωγή - Ορισμός

Ως Μικροδίκτυο ορίζεται ένα υποσύστημα του κεντρικού δικτύου το οποίο έχει συνδεθεί σε ένα σημείο με το κεντρικό δίκτυο διανομής, και περιλαμβάνει μονάδες παραγωγής, φορτία και στοιχεία αποθήκευσης της ενέργειας, ενώ μπορεί και λειτουργεί είτε συνδεδεμένο με το δημόσιο δίκτυο, είτε αυτόνομα.

Υπάρχουν σε διάφορα σημεία του κόσμου πολλά μέρη του πληθυσμού τα οποία στερούνται την πρόσβαση στο δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο, ενώ οι ενεργειακές ανάγκες ενός άλλου σημαντικού κομματιού αυξάνονται ραγδαία, με αποτέλεσμα την ανάγκη για επέκταση των συστημάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και την κατασκευή νέων σταθμών παραγωγής. Με την ένταξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στην παραγωγή ενέργειας έγινε και πιο επίκαιρος ο όρος Μικροδίκτυα (Microgrid/ Mini-grid). Η Μικρο-παραγωγή, όπως ονομάζεται η παραγωγή αυτού του είδους, δεν είναι μια νέα έννοια στην ηλεκτρική παραγωγή και διανομή ενέργειας. Αναφέρεται στην παραγωγή ενέργειας που κυμαίνεται στην κλίμακα των μερικών εκατοντάδων kW. Έτσι, τα Μικροδίκτυα είναι μια καινούργια έννοια η οποία δημιουργήθηκε από την συνεχή ανάγκη και ζήτηση ενέργειας και την αδυναμία των υπάρχοντων δικτύων να αντεπεξέλθουν αξιόπιστα σε αυτές τις απαιτήσεις. Τα Μικροδίκτυα αποτελούν, στην ουσία, μικρογραφίες του δημόσιου δικτύου και συμβάλλουν στην καταναλωμένη παραγωγή, παρέχοντας την δυνατότητα σε απομονωμένους καταναλωτές να έχουν αδιάλειπτη, τοπική ηλεκτρική παροχή.



Σχήμα 3: Δομή ενός Μικροδικτύου.

Το γεγονός ότι για την παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τα βάζει στο επίκεντρο των εξελίξεων στον συγκεκριμένο τομέα, τόσο της ερευνητικής όσο και της εμπορικής δραστηριότητας.

Οι κατηγορίες των μονάδων που μπορούν να διαχωριστούν σε ένα Μικροδίκτυο είναι οι εξής: μονάδες παραγωγής ενέργειας, μονάδες αποθήκευσης ενέργειας και μονάδες κατανάλωσης ενέργειας - φορτία.

Δεδομένου όμως πως οι μονάδες παραγωγής του Μικροδικτύου παράγουν συνεχή τάση και ρεύμα,

με τα μεγέθη αυτά να παράγονται συχνά και με μεταβαλλόμενο/ασταθή ρυθμό, γίνεται ευθύς αντιληπτό πως κυρίαρχο ρόλο σε ένα Μικροδίκτυο παίζουν οι αντιστροφείς (inverters). Οι συσκευές αυτές είναι υπεύθυνες για την μετατροπή ρεύματος και τάσης στην τελική a/c τους μορφή, που είναι εκμεταλλεύσιμη από το δίκτυο και τον καταναλωτή.

Οι μονάδες παραγωγής μπορούν να είναι είτε κλασσικής παραγωγής, είτε από ήπιες μορφές ενέργειας, δίνοντας πολλές δυνατότητες και μεγάλη ευχέρεια επιλογών ανάλογα με τους φυσικούς πόρους της τοποθεσίας που γίνεται η εγκατάσταση. Οι μονάδες κατανάλωσης - φορτία δεν είναι ακριβώς ίδια με τα φορτία που υπάρχουν στα ηλεκτρικά δίκτυα. Τα Μικροδίκτυα εξυπηρετούν καταναλώσεις που χρειάζονται αδιάλειπτη λειτουργία και εξασφαλίζουν τη συνεχή τους τροφοδοσία με υψηλή ποιότητα ισχύος.

Σημαντικό ρόλο σε ένα Μικροδίκτυο έχουν οι μονάδες αποθήκευσης οι οποίες εξασφαλίζουν την αυτονομία του Μικροδικτύου. Οι μονάδες αυτές μπορούν να είναι είτε συσσωρευτές είτε καύσιμα που έχουν αποθηκευτεί με τη βοήθεια των μονάδων παραγωγής κατά την λειτουργία τους π.χ. υδρογόνο.

Τυπικές πηγές ενός Μικροδικτύου είναι οι γεννήτριες ντίζελ ή φυσικού αερίου, συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού (γεννήτριες, μικροστρόβιλοι), οι ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά, οι κυψέλες καυσίμου, οι γεωθερμικοί και οι ηλιοθερμικοί σταθμοί, τα μικρά υδροηλεκτρικά, οι μονάδες που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη βιομάζα, βιοντίζελ ή οποιαδήποτε άλλη πηγή ενέργειας. Αυτά είναι που θα αναλυθούν στην επόμενη παραγραφο.

Μια συνδυασμένη χρήση των νέων τεχνολογιών συμπαραγωγής και ανανεώσιμων πηγών, θα μπορούσε ίσως να κάνει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στο Μικροδίκτυο ανταγωνιστική αυτής των κεντρικών δικτύων. Η αξιόπιστη λειτουργία ενός Μικροδικτύου, συνεπάγεται εκτός από την κάλυψη των απαιτήσεων ενεργού και άεργου ισχύος, και τη συνεχή ρύθμιση της τάσης και της συχνότητας αυτού. Παράλληλα θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις διατάξεις προστασίας από σφάλματα, βραχυκυκλώματα ή διαρροές.

2.2 Θέση Εγκατάστασης

Ένα Μικροδίκτυο μπορεί να εγκατασταθεί εκεί όπου υπάρχει διαθέσιμη μια από τις παραπάνω φυσικές πηγές ενέργειας και να καλύπτει τις καταναλώσεις της περιοχής που εγκαθίσταται. Η κλίμακα του Μικροδικτύου ποικίλει, από μια οικία που χρησιμοποιεί ένα υβριδικό σύστημα φωτοβολταϊκών και γεννήτριας ντίζελ ή βιοκαυσίμων, ένα νοσοκομείο που χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού, μέχρι και μια πόλη που τροφοδοτείται από σταθμούς βιομάζας, γεννήτριες ντίζελ και αιολικά πάρκα.

Η θέση των μονάδων παραγωγής στα Μικροδίκτυα είναι συνήθως κοντά στην κατανάλωση, πράγμα που ελαχιστοποιεί το κόστος μεταφοράς και διανομής καθώς και τις απώλειες, αυξάνοντας έτσι την συνολική απόδοση του συστήματος. Εκτός από την άποψη της απόστασης η θέση των μονάδων παραγωγής δηλώνει και την σχέση με την τάση, που είναι η χαμηλή τάση του δικτύου και τάση των καταναλωτών.

2.3 Διασύνδεση με το δίκτυο

Ένα Μικροδίκτυο μπορεί να έχει δυνατότητα διασύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Σε μια τέτοια παράλληλη λειτουργία είναι εφικτή η ανταλλαγή ενέργειας. Έχουμε παροχή πλεονάζουσας ενέργειας σε αυτό, όταν η ισχύς του φορτίου είναι μικρότερη από την παραγωγή και απορρόφηση ενέργειας, όταν οι μονάδες του Μικροδικτύου δεν επαρκούν να καλύψουν τη ζήτηση ισχύος. Ακόμη, σε περίπτωση μόνιμα διασυνδεδεμένης λειτουργίας είναι δυνατή η αξιόπιστη τροφοδότηση του Μικροδικτύου από τις δικές του μονάδες σε περίπτωση κατάρρευσης του κεντρικού δικτύου.

Δεδομένης της μικρής ισχύος των περισσότερων μονάδων ενός Μικροδικτύου, η παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι προτιμότερο να γίνεται στην χαμηλή τάση καθώς δεν απαιτείται η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Το μέγεθος δηλαδή των

μονάδων παραγωγής είναι ουσιαστικά αυτό που καθορίζει την στάθμη λειτουργίας. Το μέγεθός του συνολικότερα, μονάδων παραγωγής και φορτίων, καθορίζει εξάλλου και τον τρόπο διασύνδεσης του με άλλα Μικροδίκτυα ή με το κεντρικό δίκτυο, στην μέση ή στην χαμηλή τάση. Προφανώς μεγάλη ισχύς απαιτεί διασύνδεση στη μέση τάση, που σημαίνει και αύξηση απωλειών. Στην περίπτωση παράλληλης λειτουργίας με το κεντρικό δίκτυο, αυτό που πρωτίστως επιδιώκεται είναι να μην προκαλεί το Μικροδίκτυο προβλήματα. Η ποιότητα της τάσης πρέπει να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του δικτύου και η απορροφούμενη ενέργεια να μην ξεπερνά τις απαιτήσεις ενός τυπικού καταναλωτή.

Από μια άλλη οπτική γωνία, ένα Μικροδίκτυο μπορεί να συμπεριφερθεί στο κεντρικό δίκτυο. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να συμβαίνει αν το Μικροδίκτυο ρυθμιζόταν ώστε να μπορεί να υποστηρίξει το κεντρικό δίκτυο, π.χ. να παρέχει ή να απορροφά ενεργό ή άεργο ισχύ όταν απαιτείται, ακόμη και σε μικρά χρονικά διαστήματα. Στην δεύτερη αυτή περίπτωση απαιτείται προφανώς και μια μορφή επικοινωνίας μεταξύ των κέντρων ελέγχου Μικροδικτύου και κεντρικού δικτύου [5]. Στην συνέχεια, θα πρέπει να γίνει μια σύντομη αναφορά στις διαφορές χαρακτηριστικών ανάμεσα στα δίκτυα διανομής και μεταφοράς. Έτσι, θα μπορέσουμε να παρατηρήσουμε πιο σφαιρικά την επίδραση της ενός Μικροδικτύου στα υπάρχοντα δίκτυα.

2.3.1 Δίκτυα Διανομής και Μεταφοράς

Είναι σημαντικό να εξετάσουμε τα χαρακτηριστικά των δικτύων διανομής και μεταφοράς από τεχνική πλευρά καθώς εμφανίζουν ουσιαστικές διαφορές μεταξύ τους.

Πρώτον, τα δίκτυα διανομής έχουν σχεδιαστεί για διαφορετικό σκοπό από αυτά της μεταφοράς, με κύρια διαφορά ότι τα συστήματα διανομής δεν έχουν προβλέψει για τη σύνδεση τους με μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, η σύνδεση της κατανεμημένης παραγωγής οδηγεί σε αλλαγή της τιμής του ρεύματος σφάλματος, ως εκ τούτου, ενδέχεται να απαιτηθεί επανασχεδιασμός του τοπικού συστήματος προστασίας από σφάλματα.

Επιπλέον, τα δίκτυα διανομής είναι συνήθως ακτινικά (ή βροχοειδή που λειτουργούν ακτινικά) και όχι διασυνδεδεμένα, δηλαδή η ροή ενέργειας στα δίκτυα αυτά είναι συνήθως προς μία διεύθυνση, οπότε με τη σύνδεση μονάδων παραγωγής ενός Μικροδικτύου η ροή ισχύος αλλάζει.

Δεύτερον, οι γραμμές υψηλής τάσης, π.χ. γραμμές μεταφοράς, έχουν χαμηλή αντίσταση σε σύγκριση με τους αγωγούς χαμηλής τάσης των δικτύων διανομής. Στις γραμμές μεταφοράς η επίδραση της αντίστασης καλωδίου (R) στην πτώση τάσης είναι μικρή, αφού το μέγεθός της είναι εν γένει λιγότερο από την αντίδραση (X), δηλαδή $X / R > 5$. Ως εκ τούτου, η αντίδραση είναι η πιο σημαντική παράμετρος στην πτώση τάσης και τις απώλειες των αγωγών.

Στα συστήματα διανομής, ωστόσο, η αντίσταση στις γραμμές είναι συχνά μεγαλύτερη ή τουλάχιστον παρόμοια με την αυτεπαγωγή. Οπότε η αντίσταση της γραμμής διανομής προκαλεί σημαντική πτώση τάσης κατά μήκος των γραμμών διανομής και συνεπώς παρουσιάζονται αυξημένες οι απώλειες γραμμής. Η σύνδεση της κατανεμημένης παραγωγής μπορεί επομένως να έχει σημαντική επιρροή στο τοπικό επίπεδο τάσης.

Τρίτον, η χαμηλή τάση στα άκρα των συστημάτων διανομής δεν είναι συνήθως συνδεδεμένη με τα συστήματα επιτήρησης και ελέγχου δεδομένων (SCADA), συνεπώς η συλλογή δεδομένων που απαιτούνται για τον τοπικό έλεγχο του συστήματος διανομής, όπως και των μονάδων παραγωγής του Μικροδικτύου είναι αρκετά δύσκολη. Η πολυπλοκότητα συλλογής δεδομένων για τον έλεγχο του συστήματος σε ανταγωνιστικές αγορές αυξάνεται λόγω του γεγονότος ότι οι ανεξάρτητοι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούν τις μονάδες τους, σύμφωνα με τα μηνύματα των τιμών της αγοράς, που δεν αντιστοιχούν απαραίτητα στις απαιτήσεις των συστημάτων ελέγχου στις τοπικές περιοχές παραγωγής και διανομής.

2.3.2 Προδιαγραφές Σύνδεσης – Εξοπλισμός

Η τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και η σύνδεση του Μικροδικτύου με το δίκτυο μπορεί να διαφέρει σημαντικά από την παραδοσιακή κεντρική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι

μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούν σύγχρονες γεννήτριες, ικανές να ελέγχουν την απόδοση έργου ισχύος στο σύστημα. Οι μεγάλες μονάδες κατανεμημένης παραγωγής επίσης, αξιοποιώντας φυσικό αέριο, για παράδειγμα, κάνουν χρήση σύγχρονων γεννητριών. Οι μεσαίου, αλλά ιδιαίτερα οι μικρού μεγέθους μονάδες κατανεμημένης παραγωγής, συχνά χρησιμοποιούν ασύγχρονες γεννήτριες (επίσης γνωστές ως επαγωγικές γεννήτριες), δεδομένου ότι είναι σημαντικά φθηνότερες από τις σύγχρονες γεννήτριες.

Οι ασύγχρονες γεννήτριες ωστόσο, έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά λειτουργίας από τις σύγχρονες. Για παράδειγμα, μια απευθείας διασυνδεδεμένη ασύγχρονη γεννήτρια δεν είναι σε θέση για την παροχή έργου ισχύος αλλά απαιτεί έργο ισχύ από το δίκτυο κατά τη διάρκεια της εκκίνησης της διαδικασίας και εν λειτουργία. Διαφορετικές τεχνικές επιλογές υπάρχουν για να ξεπεραστούν τα μειονεκτήματα της διασύνδεσης ασύγχρονης γεννήτριας, από μονάδες κατανεμημένης παραγωγής, όπως πυκνωτές και ηλεκτρονικά ισχύος. Και τέλος, οι πολύ μικρές μονάδες, όπως τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, οι μπαταρίες, οι κυψέλες καυσίμου πρέπει να συνδεθούν μέσω διεπαφής (μετατροπέας) με το δίκτυο, καθώς αυτά τα μικροσυστήματα παράγουν συνεχές ρεύμα.

Τα σύγχρονα ηλεκτρονικά ισχύος προσφέρουν διαφορετικές λύσεις για τη μετατροπή του ρεύματος από συνεχές σε εναλλασσόμενο και την παραγωγή ενεργούς / έργου ισχύος με την απαιτούμενη συχνότητα. Οι μετατροπείς αυτοί είναι ικανοί να επιτύχουν επίσης κάποιες μορφές ελέγχου αφού μπορεί να χρησιμοποιηθούν για έλεγχο της τάσης στο δίκτυο διανομής, για παράδειγμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ένα πρόβλημα που μπορεί να προκύψει είναι ότι οι μετατροπείς αλληλεπιδρούν μέσω του δικτύου διανομής πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε διακυμάνσεις στην παροχή ρεύματος ή σε ταλαντώσεις στα δίκτυα διανομής. Ωστόσο, τέτοιες περιπτώσεις φαίνεται να είναι πολύ σπάνιες.

2.3.3 Επιδράσεις του Μικροδικτύου στην διασύνδεση με το κεντρικό δίκτυο

Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις επιδράσεις από την επικείμενη διασπαρμένη παραγωγή ενέργειας.

Οι επιδράσεις εν συντομία συνοψίζονται στις εξής παρακάτω:

- Αλλαγές στο επίπεδο της τάσης των δικτύων
- Ποιότητα της παραγόμενης ισχύος
- Μεταβολή των ρευμάτων από σφάλματα του δικτύου - αλλαγή του επιπέδου βραχυκύκλωσης.
- Τροποποίηση των μηχανισμών προστασίας του δικτύου.
- Αύξηση των παραγόμενων αρμονικών στο δίκτυο από τους ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος.
- Επιπτώσεις στην ευστάθεια του συστήματος

2.3.4 Μεταβολή της Τάσης

Έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνικές για την διατήρηση της τάσεως στα επιθυμητά όρια.

- Κυρίως ρυθμίζεται ο λόγος μέσης / χαμηλής τάσης του μετασχηματιστή του υποσταθμού ώστε να διατηρείται η τάση στα επιθυμητά όρια.
- Η αντίστροφη ροή ισχύος και η προκαλούμενη ανύψωση της τάσης μπορεί

να περιοριστεί είτε αναστρέφοντας την ροή άεργου ισχύος χρησιμοποιώντας ασύγχρονες γεννήτριες ή υποδιεγείροντας τις σύγχρονες γεννήτριες.

- Σε πολλά δίκτυα χρησιμοποιούνται εξελιγμένες τεχνικές ελέγχου της τάσης μέσω ρύθμισης των λήψεων του αυτομετασχηματιστή σύμφωνα με την εκτίμηση της πτώσης τάσης από μετρήσεις του ρεύματος.
- Ανάγκη να καθιερωθούν στοχαστικά όρια για την διακύμανση της τάσης, όπως π.χ. γίνεται στο πρότυπο EN 50160.

2.3.5 Ποιότητα Ισχύος

Για τον χαρακτηρισμό της ποιότητας της ισχύος λαμβάνονται υπόψη κυρίως δυο παράγοντες:

- Οι μεταβατικές διακυμάνσεις της τάσης.
- Η παρουσία αρμονικών στο δίκτυο.

Ένα σημαντικό ζήτημα για την ποιότητα ισχύος είναι οι απότομες αλλαγές της τάσης που ορίζονται ως μειώσεις της τάσης (από 10% έως και το 90% της ονομαστικής τιμής) σε χρονικά διαστήματα μεταξύ μισού κύκλου μέχρι και αρκετών λεπτών.

Εάν κατά την ζεύξη/ απόζευξη των γεννητριών επιτρέπεται η ανταλλαγή μεγάλων ρευμάτων με το δίκτυο, τότε μπορεί να εμφανιστούν μεταβατικές διαταραχές στην τάση του δικτύου. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να περιοριστούν με την χρήση κατάλληλων ηλεκτρονικών διατάξεων και σωστό συγχρονισμό των σύγχρονων γεννητριών κατά την ζεύξη τους με το σύστημα.

2.3.6 Επιπτώσεις γεννητριών στο δίκτυο

Μερικές από τις σχετικές επιπτώσεις στη λειτουργία του συστήματος, λόγω της ύπαρξης διεσπαρμένων γεννητριών στο δίκτυο είναι:

- Η συνεισφορά στο ρεύμα βραχυκύκλωσης από τις διεσπαρμένες γεννήτριες θα μπορούσε να προκαλέσει την αποσύνδεση υγιών γραμμών στις οποίες συνδέονται διεσπαρμένες γεννήτριες λόγω της γρήγορης αντίδρασης των υπέργειων γραμμών μέσης τάσης σε σφάλματα του δικτύου.
- Σε μερικές περιπτώσεις όπου οι διεσπαρμένες γεννήτριες παραμένουν συνδεδεμένες σε μια ελαττωματική γραμμή, θα μπορούσαν να διατηρήσουν τη γραμμή διεγερμένη και να αποτρέψουν την αυτοαπόσβεση σφαλμάτων με την μορφή τόξου.
- Μπορεί να γίνει αυτόματη επανάζευξη της γραμμής ενώ οι γεννήτριες έχουν χάσει το συγχρονισμό τους με το δίκτυο, με ενδεχόμενες καταστροφικές συνέπειες για τις γεννήτριες.

2.4 Διαχείριση των μεταβατικών φαινομένων

Νέες τεχνολογίες υπόσχονται πολλά στην διαχείριση των μεταβατικών φαινομένων. Για την κάλυψη υψηλών αιχμών ζήτησης, όπως για παράδειγμα τα κλιματιστικά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (ένα πρόβλημα που συναντάμε πολύ συχνά στην χώρα μας) και την αποθήκευση ενέργειας που περισσεύει, ένα Μικροδίκτυο ιδιαίτερα όταν βρίσκεται σε απομονωμένη λειτουργία, μπορεί να χρησιμοποιεί ενέργεια που αποθηκεύεται σε υπερπυκνωτές, μηχανές υψηλής στρεφόμενης αδράνειας (flywheels), συσσωρευτές, ή με τη μορφή δυναμικής ενέργειας μέσω συμπιεστών αέρα.

Η τελευταία δε τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί σε περιοχές όπου αιολικά ή ηλιακά πάρκα βρίσκονται κοντά σε θάλασσα ή λίμνη, οπότε και αποθηκεύουν την περισσευούμενη ενέργεια που παράγουν, αντλώντας νερό σε ταμειυτήρες υψηλότερης στάθμης. Στη συνέχεια όταν χρειάζεται ενέργεια οι κινητήρες άντλησης χρησιμοποιούνται ως γεννήτριες, παρέχοντας ισχύ στο Μικροδίκτυο. Πρέπει να τονιστεί ότι ένας πολύπλοκος έλεγχος ενός τέτοιου συστήματος με την παρούσα διαθέσιμη τεχνολογία απαιτεί την χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος, για τη διασύνδεση των περισσότερων πηγών ενέργειας του Μικροδικτύου με τους ζυγούς.

Είτε η παραγόμενη ισχύς είναι διαρκώς μεταβαλλόμενη όπως στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών, είτε ελεγχόμενη όπως των υδροηλεκτρικών σταθμών και των πετρελαιογεννητριών, η διοχέτευση αυτής μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων κάνει εφικτό τον έλεγχο των πιο σημαντικών μεγεθών αυτής, δηλαδή της τάσης και της συχνότητας, μέσω της ροής ενεργού και άεργου ισχύος.

Έτσι το βασικότερο στοιχείο ενός Μικροδικτύου είναι συνήθως ένας ηλεκτρονικός αντιστροφέας ισχύος, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένα. Αυτό μπορεί να γίνεται είτε με την οδήγηση μιας ελεγχόμενης γεννήτριας, είτε με την διαχείριση συσσωρευτών ή μικροστροβίλων, είτε με τον έλεγχο των ηλεκτρονικών ισχύος των άλλων μικρομονάδων παραγωγής ενέργειας.

2.5 Διαφοροποιήσεις σε σχέση με το σημείο σύνδεσης

Ο τρόπος που τα μικροδίκτυα συνδέονται στο δίκτυο διανομής διαφοροποιείται. Στο μικροδίκτυο δημιουργείται ουσιαστικά μια μικρογραφία του δικτύου στη χαμηλή τάση, διαφοροποιήσεις όμως υπάρχουν για το αν το ίδιο είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο στη μέση τάση ή στη χαμηλή, σε μια ή περισσότερες θέσεις. Στο σημείο αυτό χρειάζεται να αναφερθεί ότι τα μικροδίκτυα μπορούν να μην έχουν και κανένα σημείο σύνδεσης με το κυρίως δίκτυο, είτε επειδή έχει επιλεγεί να λειτουργούν αυτόνομα για να παρέχουν στις καταναλώσεις τους αξιόπιστη και υψηλής ποιότητας παροχή, είτε γιατί έχουν οδηγηθεί στην αυτόνομη λειτουργία από κάποια διαταραχή του δικτύου.

Η διαφοροποίηση αυτή, ουσιαστικά, συνδέεται και με το μέγεθος της ισχύος των μονάδων παραγωγής. Ανάλογα λοιπόν και με το μέγεθος του Μικροδικτύου αυτό θα είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο διανομής είτε στην χαμηλή είτε στην μέση τάση.

Μικρές παραγωγικές μονάδες σε συνδυασμό με ορισμένα φορτία, π.χ. ένα σύστημα παραγωγής που θα τροφοδοτεί ένα νοσοκομείο, και λειτουργεί όπως ένα μικροδίκτυο, θα είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο της χαμηλής τάσης.

Αντίθετα, στη μέση τάση συνδέονται τα συστήματα μεγαλύτερου μεγέθους. Οι μονάδες παραγωγής μαζί με τα φορτία σχηματίζουν ένα δίκτυο χαμηλής τάσης, αποτελώντας σαν σύνολο το Μικροδίκτυο, και συνδέονται στη μέση τάση που τα βλέπει σαν κάτι ενιαίο, μια ανεξάρτητη οντότητα. Με παρόμοιο τρόπο υπάρχουν Μικροδίκτυα στο δίκτυο μέσης τάσης που συνδέονται στο δίκτυο στην υψηλή τάση. Υπάρχουν και αναφορές που θεωρούν βαθμίδες στο Μικροδίκτυο. Η ανώτερη βαθμίδα είναι το σημείο σύνδεσης στην υψηλή τάση, ενώ η κατώτερη βαθμίδα είναι αυτή της χαμηλής, που "υπακούει" στις απαιτήσεις των ανώτερων βαθμίδων του δικτύου.

2.6 Χαρακτηριστικά Λειτουργίας

2.6.1 Ανεξαρτητοποίηση Μονάδων("Peer to Peer")

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των μικροδικτύων, που αξίζει αναφοράς, είναι η δυνατότητα των μονάδων να λειτουργούν ανεξάρτητα η μια της άλλης. Έχουν δηλαδή ομότιμη συμμετοχή στο εκάστοτε δίκτυο. Αυτό ονομάζεται και "peer to peer", φράση που προέρχεται από την ορολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται ότι δεν υπάρχουν μονάδες όπως ένας κεντρικός ελεγκτής ή μια κεντρική μονάδα αποθήκευσης που να έχουν κρίσιμο ρόλο στην λειτουργία του μικροδικτύου. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το μικροδίκτυο μπορεί να λειτουργεί

ανεξάρτητα από τις μονάδες που είναι συνδεδεμένες ή ακόμα πιο σημαντικά, την απώλεια ορισμένων εξ αυτών. Έτσι το βάρος/ευθύνη της σταθερής λειτουργίας του μικροδικτύου δεν πέφτει πάνω σε μια «κεντρική» μονάδα με τις άλλες να έχουν ρόλο υποστήριξης, αλλά διαμοιράζεται εξίσου, με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλές μονάδες οδηγί χωρίς να χρειάζονται επιπλέον τρόποι επικοινωνίας [3].

2.6.2 Άμεση Διασύνδεση Μονάδων(“Plug n’ Play”)

Το μικροδίκτυο έχει την δυνατότητα να μην χρειάζεται επαναπροσδιορισμό των ελέγχων του σε περίπτωση που προστεθεί/αφαιρεθεί κάποια από τις μονάδες του(παραγωγής ή αποθήκευσης ή κάποιο φορτίο). Έτσι οι μονάδες μπορούν να συνδέονται/αποσυνδέονται άφοβα σε οποιοδήποτε σημείο του μικροδικτύου. Εδώ χρειάζεται να επισημάνουμε ότι πρωταγωνιστικό ρόλο στην λειτουργία “plug n’ play” παίζουν οι μετατροπείς που διαθέτει το μικροδίκτυο. Η κάθε μονάδα και ο έλεγχός της θα πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκρίνεται στις αλλαγές του συστήματος, είτε των χαρακτηριστικών του δικτύου, είτε του φορτίου, χωρίς να απαιτεί την συγκέντρωση δεδομένων από άλλα φορτία ή μονάδες παραγωγής [4].

Τα δύο τελευταία χαρακτηριστικά που αναφέραμε προσφέρουν στα μικροδίκτυα το πλεονέκτημα της εύκολης και άμεσης επέκτασής τους ενώ ταυτόχρονα μπορούν να προσαρμόζονται στις εκάστοτε καταστάσεις ζήτησης και τροφοδοσίας. Έτσι, με μικρό κόστος και μηδαμινές απώλειες στον τομέα της σταθερότητας και ασφάλειας, μπορούν να προστεθούν φορτία και μονάδες παραγωγής όσο οι ανάγκες το απαιτούν.

2.7 Πλεονεκτήματα Μικροδικτύου

Εν συντομία παρουσιάζουμε τα σημαντικότερα οφέλη ενός μικροδικτύου:

- Απόδοση ενέργειας: Η συνολική απόδοση της ενέργειας αυξάνεται με τις εφαρμογές συμπαραγωγής, που αποτελούν βασικό χαρακτηριστικό των μικροδικτύων. Έτσι, ενώ μέχρι τη δημιουργία των μικροδικτύων είχαμε μεγάλη κεντρική παραγωγή ισχύος και τοπική παραγωγή θερμότητας, με την δημιουργία των μικροδικτύων τόσο η παραγωγή ισχύος όσο και θερμότητας γίνεται τοπικά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η κατανάλωση της ενέργειας που βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα να μειώνεται κατά το 1/3.
- Ελαχιστοποίηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας
- Αυξημένη αξιοπιστία και προσαρμοστικότητα του συστήματος ενέργειας
- Υψηλή μείωση των απωλειών από μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας, αφού η παραγωγή γίνεται τοπικά
- Οφέλη για το δίκτυο όπως δυνατότητα τοπικής παραγωγής, ελέγχου τάσης και συχνότητας
- Σε περιόδους αιχμής φορτίου αποτρέπει την κατάρρευση μειώνοντας το φορτίο του δικτύου
- Το μικροδίκτυο μπορεί να ενεργήσει για να μετριάσει το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για τους χρήστες της, δημιουργώντας το σύνολο ή μέρος του ζητούμενου φορτίου

Και στον περιβαλλοντικό τομέα:

- Σημαντική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα
- Τα μικροδίκτυα ενισχύουν την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας(ΑΠΕ)
- Οι επιπτώσεις από την χρήση μεγάλων γεωγραφικών εκτάσεων(για εγκαταστάσεις κτλ) αποφεύγονται

2.8 Μειονεκτήματα Μικροδικτύου

Όπως κάθε νέα τεχνολογία, έτσι και το μικροδίκτυο έχει ορισμένα μειονεκτήματα, τα οποία ωστόσο δεν είναι σε καμία περίπτωση ικανά να το επισκιάσουν. Αυτά είναι:

- Η τάση, η συχνότητα και η ισχύς της ποιότητας είναι τρεις κύριες παράμετροι που πρέπει να εξεταστούν και να ελέγχονται σε αποδεκτά επίπεδα, ενώ παράλληλα διατηρείται το ισοζύγιο ενέργειας και ισχύος
- Η ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να αποθηκεύεται σε συστοιχίες μπαταριών, με αποτέλεσμα να απαιτείται αρκετός χώρος αλλά και συντήρηση
- Ο επανασυγχρονισμός με το κεντρικό δίκτυο παρουσιάζει δυσκολία
- Η τοποθέτηση αξιόπιστων διατάξεων προστασίας αποτελεί μια εκ των σημαντικότερων προκλήσεων σε ότι αφορά την λειτουργία ενός μικροδικτύου
- Θέματα όπως η αναμονή φορτίου και η ακριβής μέτρηση της ενέργειας (παραγόμενης και λαμβανόμενης από το δίκτυο) ίσως σταθούν εμπόδια στην ανάπτυξη των μικροδικτύων αρχικά
- Πρότυπα διασύνδεσης πρέπει να αναπτυχθούν για να εξασφαλιστεί η συνοχή. (Ωστόσο το IEEE P1547, ένα πρότυπο που προτείνεται από το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών καταλήγει στην πλήρωση αυτού του κενού)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

3.1 Φωτοβολταϊκά

3.1.1 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Με τα φωτοβολταϊκά η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Το φαινόμενο στο οποίο στηρίζεται η λειτουργία τους, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Ο Γάλλος φυσικός Edmont Becquerel (1839) είναι εκείνος που παρατήρησε την ανάπτυξη τάσεως μεταξύ δυο ηλεκτροδίων μέσα σε ηλεκτρολύτη, όταν ηλιακό φως πέσει σε ένα από αυτά. Φωτοβολταϊκό φαινόμενο ονομάζεται η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση. Το ηλιακό φως είναι ουσιαστικά μικρά πακέτα ενέργειας που λέγονται φωτόνια. Τα φωτόνια περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος. Το γαλάζιο χρώμα ή το υπεριώδες π.χ. έχουν περισσότερη ενέργεια από το κόκκινο ή το υπέρυθρο. Όταν λοιπόν τα φωτόνια προσκρούσουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο (που είναι ουσιαστικά ένας “ημιαγωγός”), άλλα ανακλώνται, άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται από το φωτοβολταϊκό. Τα φωτόνια που απορροφώνται από το φωτοβολταϊκό παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Τα φωτόνια αυτά αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού να μετακινηθούν σε άλλη θέση και ως γνωστόν ο ηλεκτρισμός δεν είναι τίποτε άλλο παρά κίνηση ηλεκτρονίων. Σ’ αυτή την απλή αρχή της φυσικής λοιπόν βασίζεται μια από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού στις μέρες μας.

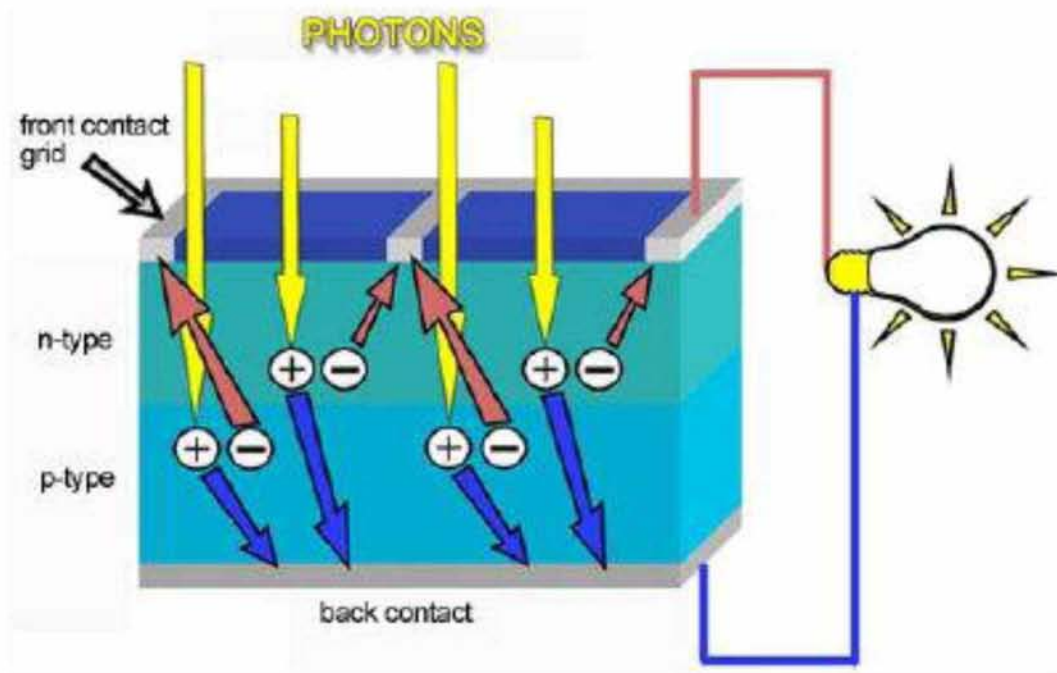
3.1.2 Λειτουργία των Φ/Β Κυττάρων

Τα ηλιακά κύτταρα παρασκευάζονται κυρίως από πυρίτιο και χρησιμοποιούνται διάφορα είδη κυττάρων. Τα κύτταρα πυριτίου μπορούν να διαχωριστούν σε τρία είδη: τα πολυκρυσταλλικά, τα μονοκρυσταλλικά και του άμορφου πυριτίου.

Τα ηλιακά κύτταρα είναι δίοδοι ημιαγωγού με τη μορφή ενός δίσκου που δέχεται ηλιακή ακτινοβολία. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο, παράγοντας έτσι ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές).

Ένα μέρος από τους φορείς αυτούς διαχωρίζεται με την επίδραση του ενσωματωμένου πεδίου της διόδου και εκτρέπεται προς τα εμπρός (τα ελεύθερα e^-) ή προς τα πίσω (οι οπές h^+). Οι υπόλοιποι φορείς επανασυνδέονται και εξαφανίζονται. Επίσης ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται στην επιφάνεια του στοιχείου, ενώ ένα άλλο μέρος της διέρχεται από το στοιχείο χωρίς να απορροφηθεί, μέχρι να συναντήσει το πίσω ηλεκτρόδιο. Δημιουργείται έτσι όσο διαρκεί η ακτινοβολία, μια περίσσεια από ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές) πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συγκεντρώσεις ισορροπίας.

Έτσι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p , με αποτέλεσμα να δημιουργείται διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Έτσι, η διάταξη αποτελεί μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, που διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση του ηλιακού φωτός πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου (Σχήμα 4).



Σχήμα 4: Εκδήλωση φωτοβολταϊκού φαινομένου σε ηλιακό στοιχείο

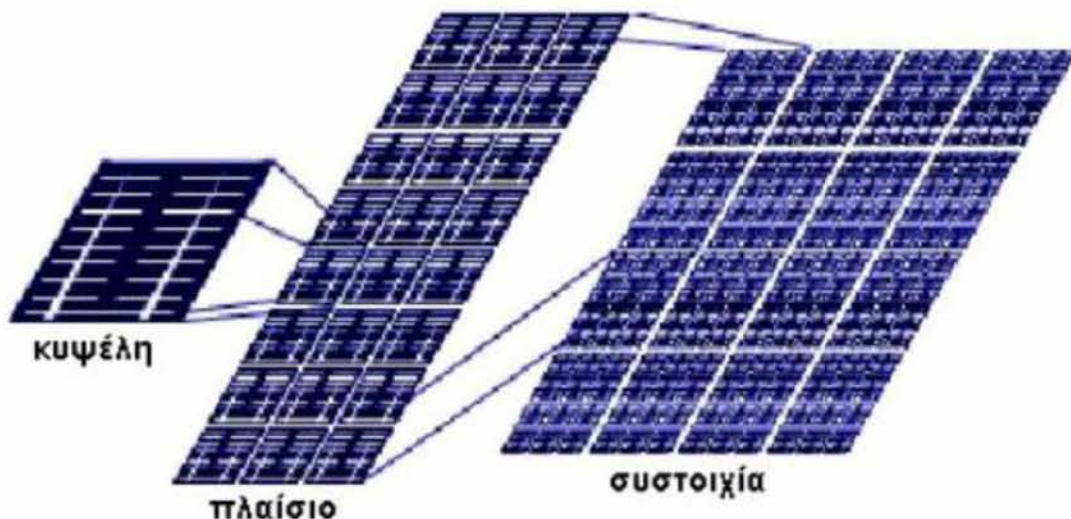
Αυτή η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η αποδοτική λειτουργία των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στην πρακτική εκμετάλλευση του παραπάνω φαινομένου. Εκτός από τις προσμίξεις των τμημάτων p και n μίας ομοένωσης, δηλαδή υλικού από το ίδιο βασικά ημιαγωγό, το ενσωματωμένο ηλεκτροστατικό πεδίο, που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την πραγματοποίηση ενός ηλιακού στοιχείου, αλλά και κάθε φωτοβολταϊκής διάταξης, μπορεί να προέρχεται επίσης και από διόδους άλλων ειδών. Όπως για παράδειγμα από διόδους ετεροενώσεων p-n διαφορετικών στοιχείων ή από διόδους Schottky.

3.1.3 Συνιστώσες μιας Φ/Β Συστοιχίας

• **Φωτοβολταϊκά πλαίσια (συστοιχία):** Ο όρος συστοιχία αναφέρεται συνήθως στις συνιστώσες που εξετάζονται σε αυτό το χωρίο, συγκεκριμένα αφορά όλα τα πλαίσια ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, την καλωδίωση και τις διόδους τους, καθώς και τη βάση της συστοιχίας.

Οι κυψέλες ομαδοποιούνται σε πλαίσια και τα πλαίσια συναθροίζονται για να διαμορφώσουν μια συστοιχία. Ανάλογα με την εφαρμογή η συστοιχία μπορεί να αποτελείται από μία κυψέλη ένα πλαίσιο, ή πολλά πλαίσια.

• **Η κυψέλη:** Μια τυπική ηλιακή κυψέλη μονοκρυσταλλικού πυριτίου έχει βαθύ μπλε χρώμα και ζυγίζει λιγότερο από 10 gr. Το μήκος και το πλάτος της είναι περίπου 10 cm ανάλογα με τον κατασκευαστή. Προκειμένου να παραχθεί αξιοποιήσιμη ωφέλιμη ισχύς, οι κυψέλες συνδέονται μεταξύ τους ηλεκτρικά σε σειρά ή παράλληλα, ενώ μερικές φορές κόβονται σε μικρότερα τεμάχια. Η κοπή των κυψελών γίνεται για δύο κυρίως λόγους. Ο πρώτος είναι για αύξηση της τάσης. Αν απαιτείται μόνο μικρό ρεύμα σε υψηλή τάση, τότε τεμαχίζοντας τις κυψέλες στη μέση και με την καλωδίωσή τους σε σειρά μπορεί να δημιουργηθεί ένα μικρό πλαίσιο. Κάθε τεμάχιο θα παράγει την ίδια τάση με ολόκληρη την κυψέλη, αλλά με μικρότερο ρεύμα. Ο άλλος λόγος για την κοπή των κυψελών είναι για να επιτευχθεί αύξηση της πυκνότητας της συσκευασίας τους.



Σχήμα 5: Συνιστώσες μιας Φ/Β συστοιχίας

•**Συνδεσμολογία:** Οι κυψέλες συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους για να συστήσουν μια διάταξη που συχνά ονομάζεται συνδεσμολογία. Οι κυψέλες διασυνδέονται με συγκόλληση των ακροδεκτών τους από την κορυφή της μίας στη βάση της επόμενης. Αυτό γίνεται εν γένει εργοστασιακά με ειδικές μηχανές.

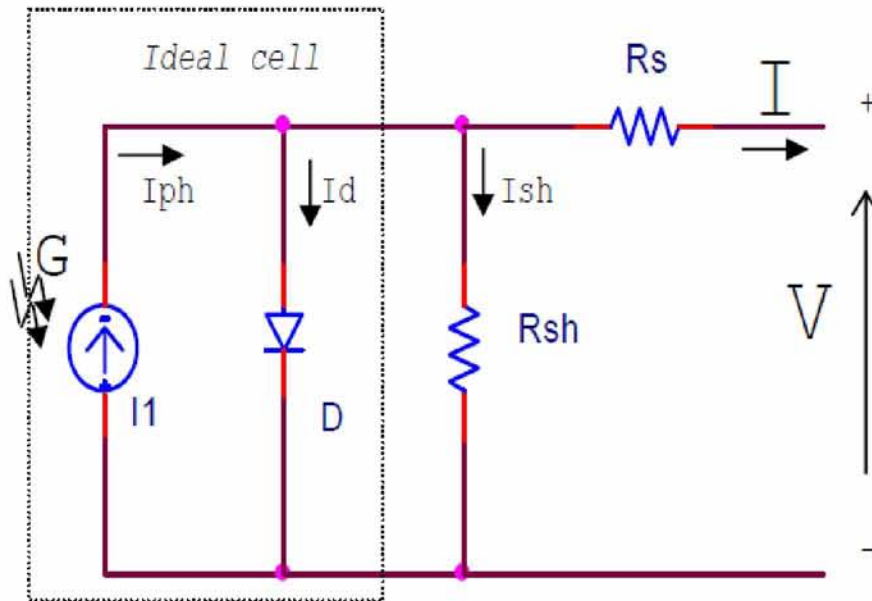
Αρκετά σημαντικό είναι να μην υπάρχουν φθορές στις κυψέλες κατά τη διεργασία, να είναι ανθεκτικές οι συνδέσεις και να τηρείται το κατάλληλο διάστημα μεταξύ των κυψελών. Αν οι κυψέλες ακουμπούν μεταξύ τους ίσως υπάρξει πρόβλημα ηλεκτρικών βραχυκυκλωμάτων, καθώς επίσης και προβλήματα σκίασης, ενώ αυξάνεται η πιθανότητα ραγίσματός τους. Τα υπερβολικά μεγάλα κενά μεταξύ των κυψελών δημιουργούν σπατάλη πολύτιμης επιφάνειας.

•**Πλαίσιο:** Οι ηλιακές κυψέλες συνδέονται συνήθως σε σειρά δημιουργώντας το σύνολο που ονομάζεται πλαίσιο. Αξίζει να σημειώσουμε ότι το Φ/Β πλαίσιο είναι η μικρότερη αυτοτελή μονάδα σε μια συστοιχία, δηλαδή μια ομάδα κυψελών που συνδεθεί μεταξύ τους και στη συνέχεια έχουν τοποθετηθεί σε ένα κέλυφος ως αυτόνομη μονάδα. Ο αριθμός των κυψελών ενός πλαισίου καθορίζεται συνήθως από τις ανάγκες του συστήματος σε τάση και οι περισσότεροι κατασκευαστές παράγουν πλαίσια τα οποία διαστασιολογούνται συνήθως σύμφωνα με τις τάσεις των χρησιμοποιούμενων συσσωρευτών. Ένα τυπικό πλαίσιο, που είναι επιθυμητό να φορτίσει μια μπαταρία 12V, έχει 33 ως 36 κυψέλες (πρέπει να εξασφαλίζει πάνω από 12V ώστε να φορτίσει τη μπαταρία). Σημειώνεται ότι η λέξη πλαίσιο μπορεί να αναφέρεται είτε σε ένα μόνο πλαίσιο είτε σε ένα σύνολο πλαισίων.

3.1.4 Ισοδύναμο Κύκλωμα

Το ισοδύναμο κύκλωμα για ένα μη ιδανικό στοιχείο είναι αυτό του σχήματος. Το κύκλωμα περιλαμβάνει τι αντιστάσεις R_s (series resistance) που παρεμβάλλεται στην κίνηση των φορέων μέσα στον ημιαγωγό (κυρίως στο εμπρός επιφανειακό στρώμα του) και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια.

Ακόμα επειδή η αντίσταση διαμέσου της διόδου δεν έχει άπειρη τιμή, αφού λόγω επίσης κατασκευαστικών ελαττωμάτων τα οποία δεν αποφεύγονται εύκολα, γίνονται διαρροές ρεύματος, το ισοδύναμο κύκλωμα περιέχει και την παράλληλη αντίσταση R_{sh} η οποία ισούται με το αντίστροφο της αγωγιμότητας G_s (Shunt resistance- Shunt conductance).



Σχήμα 6: Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα που περιλαμβάνει τις αντιστάσεις σειράς R_s και την παράλληλη R_{sh} .

Η παρακάτω έκφραση περιγράφει την ηλεκτρική συμπεριφορά και είναι αυτή η οποία περιγράφει την σχέση μεταξύ τάσης και ρεύματος που παρέχει το φωτοβολταϊκό πάνελ.

$$I = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{(V + I \cdot R_s) q}{k \cdot T \cdot N_s}} - 1 \right) - \frac{(V + I \cdot R_s)}{R_{sh}}$$

Είναι μία μη γραμμική μαθηματική εξίσωση με τις εξής παραμέτρους:

N_s : Number of cells in series

I_{ph} : Current produced by the photoelectric effect

I_s : Diode reverse saturation current

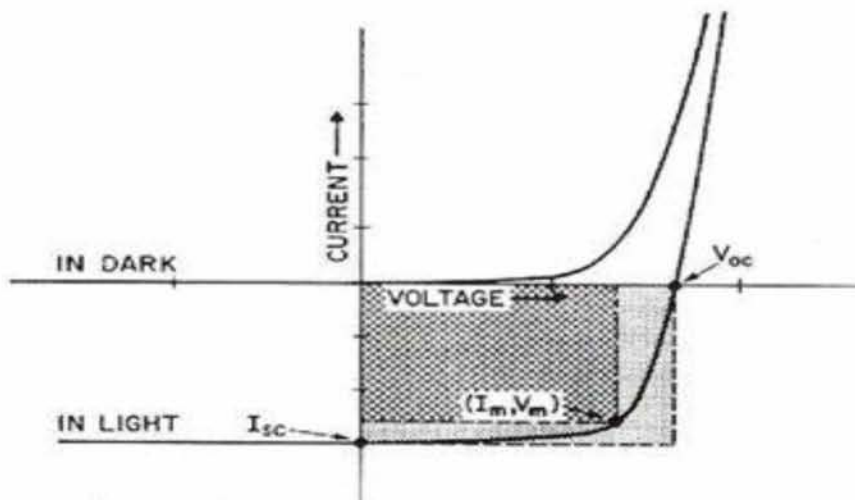
R_s : Inherent resistances in series

R_{sh} : Inherent resistances in parallel

Q : The electron charge,

k : Boltzmann's constant

T : Temperature (Kelvin)

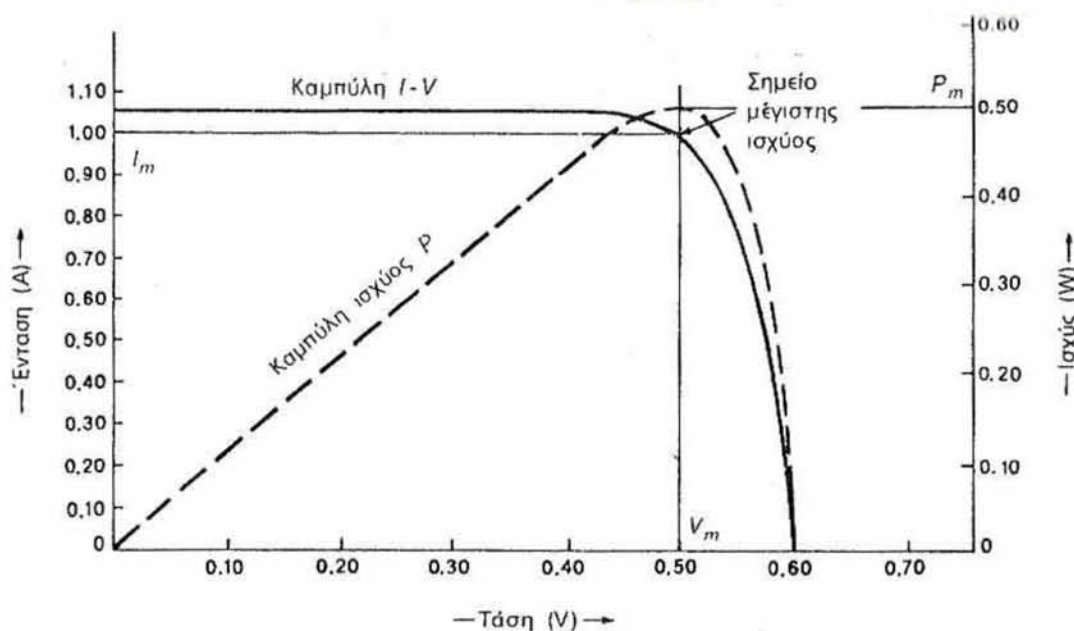


Σχήμα 7: Καμπύλη I-V

3.1.5 Χαρακτηριστική Καμπύλη V-I

Ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά. Δηλαδή σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές (συσσωρευτές, ξηρά στοιχεία, ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, μεγάλα δίκτυα διανομής), οι οποίες διατηρούν περίπου σταθερή τάση στην περιοχή της κανονικής τους λειτουργίας, η τάση των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταβάλλεται ριζικά (και μη γραμμικά) σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η ακτινοβολία που δέχονται παραμένει σταθερή.

Στην κατάσταση βραχυκυκλώματος, η ένταση του ρεύματος παίρνει τη μέγιστη τιμή I_{sc} , ενώ η τάση θα μηδενιστεί. Αντίθετα, όταν η τιμή της αντίστασης τείνει στο άπειρο, δηλαδή στην κατάσταση ανοιχτού κυκλώματος, μηδενίζεται η ένταση του ρεύματος αλλά η τάση παίρνει την τιμή V_{oc} . Επομένως, στη βραχυκυκλωμένη και στην ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση η ηλεκτρική ισχύς που παράγει το στοιχείο ($P=IV$) είναι μηδενική, αφού αντίστοιχα είναι μηδενική η τάση, στην πρώτη περίπτωση, και η ένταση του ρεύματος στη δεύτερη περίπτωση (Σχήμα 8).



Σχήμα 8: Καμπύλες I-V και ισχύος για ένα φωτοβολταϊκό.

Η διακεκομμένη καμπύλη ισχύος σχηματίζεται με το γινόμενο των μεγεθών I,V

Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά μεταβαλλόμενες τιμές της αντίστασης του κυκλώματος, ανάμεσα στις παραπάνω ακραίες καταστάσεις, η τάση και η ένταση του ρεύματος παίρνουν ενδιάμεσες τιμές, από μηδέν (όπου $V=0$) μέχρι άπειρη (όπου $I=0$). Παράλληλα μεταβάλλεται ομαλά και η ισχύς που παράγει το στοιχείο, με μέγιστη P_m σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης V_m και έντασης I_m .

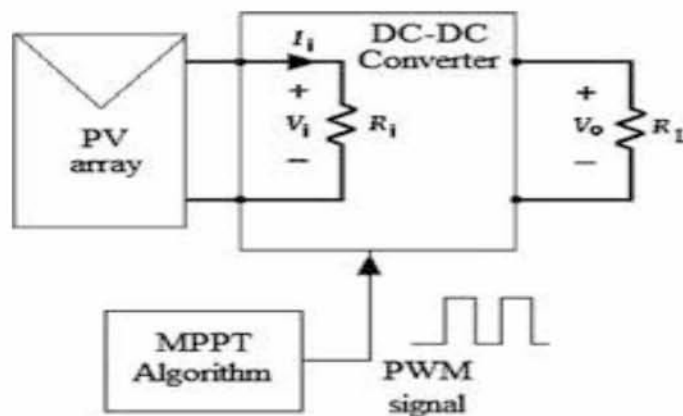
Το ζεύγος αυτό καθορίζει, σε σχέση με το ζεύγος των τιμών V_{oc} , I_{sc} , τον συντελεστή απόδοσης του στοιχείου. Επομένως είναι πολύ σημαντικό η αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτείται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο να έχει κατάλληλη τιμή, ώστε στις συγκεκριμένες συνθήκες ακτινοβολίας να παράγεται από το στοιχείο η μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική ισχύς.

3.1.6 Έλεγχος και Ανίχνευση Σημείου Μέγιστης Απόδοσης

Η τεχνολογία της ανίχνευσης της μέγιστης ισχύος άρχισε να χρησιμοποιείται σχετικά πρόσφατα στις εφαρμογές των φωτοβολταϊκών και αποτελεί πλέον χαρακτηριστικό κάθε καλού αντιστροφέα για σύνδεση με το δίκτυο ή φορτιστή συσσωρευτών. Η λογική πίσω από τη λειτουργία τους είναι η

εξής: Παρακολουθώντας συνεχώς τις τιμές τάσης και έντασης εξόδου των φωτοβολταϊκών γεννητριών, προκαλούν ανά τακτά χρονικά διαστήματα μια διαταραχή της τάσης εξόδου. Αν διαπιστωθεί ότι με την ανύψωση της τάσης, αυξάνεται η ισχύς που παρέχει η γεννήτρια τότε αυξάνουν την τάση προς τα πάνω ώσπου να έρθει μια ισορροπία. Αυτό είναι και το σημείο μέγιστης λειτουργίας. Όπως προαναφέρθηκε στην εξέταση των φωτοβολταϊκών στοιχείων, η ένταση που παράγεται από ένα Φ/Β στοιχείο, δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται αντίστροφα απ' ότι μεταβάλλεται η τάση. Για κάποιο συγκεκριμένο ζεύγος τάσης - έντασης, το στοιχείο δίνει τη μέγιστη ισχύ του. Ωστόσο επειδή κάθε στιγμή η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο στοιχείο δεν είναι σταθερή, ομοίως δεν είναι σταθερή και η τάση εξόδου του. Είναι λοιπόν επιθυμητό για κάθε στιγμή το φωτοβολταϊκό στοιχείο να μην παράγει την τάση και την ένταση όπως αυτά καθορίζονται από την αντίσταση του κυκλώματος που υπάρχει στα άκρα του, αλλά να δίνει στην έξοδο αυτό το ζεύγος τάσης - έντασης που μεγιστοποιεί την ισχύ του.

Αυτό επιτυγχάνεται με ένα κύκλωμα DC/DC μετατροπέα ανύψωσης- υποβιβασμού τάσης, στα άκρα της ηλεκτρονικής συσκευής στην οποία εισέρχεται η ισχύς του φωτοβολταϊκού. Ένα απλοποιημένο σχεδιάγραμμα DC/DC μετατροπέα που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό της μέγιστης ισχύς εξόδου της Φ/Β γεννήτριας φαίνεται στο Σχήμα 9.



Σχήμα 9: DC/DC Converter για εντοπισμό του MPPT

Η παραγόμενη ισχύς από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι $P = VI$. Όταν η λειτουργία του στοιχείου μετατοπιστεί σε διαφορετικό σημείο της καμπύλης V-I λόγω μεταβολής στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία ή μεταβολή του φορτίου, τότε η τάση μεταβάλλεται κατά dV και η ένταση κατά dI . Τότε η παραγόμενη ισχύς είναι:

$$P + dP = VI = (V+dV)(I+dI)$$

Αγνοώντας τους όρους 2ης τάξης έχουμε:

$$dP = dV * I + dI * V$$

Όπως γίνεται φανερό απ' την καμπύλη ισχύος του φωτοβολταϊκού, ο όρος dP (η κλίση δηλαδή της καμπύλης ισχύος) είναι μηδέν στο σημείο μέγιστης ισχύος.

Στο σημείο αυτό (maximum power point) λοιπόν η άνωθεν εξίσωση γίνεται:

$$0 = dV * I + dI * V$$

$$dV/dI = - V/I$$

Στην εξίσωση αυτή, ο πρώτος όρος εκφράζει την δυναμική αντίσταση της πηγής (Z_d) ενώ ο δεύτερος την στατική αντίσταση (Z_s). Με βάση αυτή την εξίσωση υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι για την εύρεση του σημείου μέγιστης ισχύος [7]:

A) Μία διαταραχή ρεύματος εισάγεται περιοδικά στην φωτοβολταϊκή πηγή ενώ μετρούνται η δυναμική αντίσταση αυτής Z_d και η στατική αντίσταση Z_s . Η τάση λειτουργίας αυξάνεται ή μειώνεται μέχρι να ικανοποιηθεί η εξίσωση του σημείου μέγιστης ισχύος, δηλαδή

$$Z_d = -Z_s$$

B) Μια δεύτερη μέθοδος ελέγχου είναι να αυξάνεται η τάση όσο ισχύει η συνθήκη:

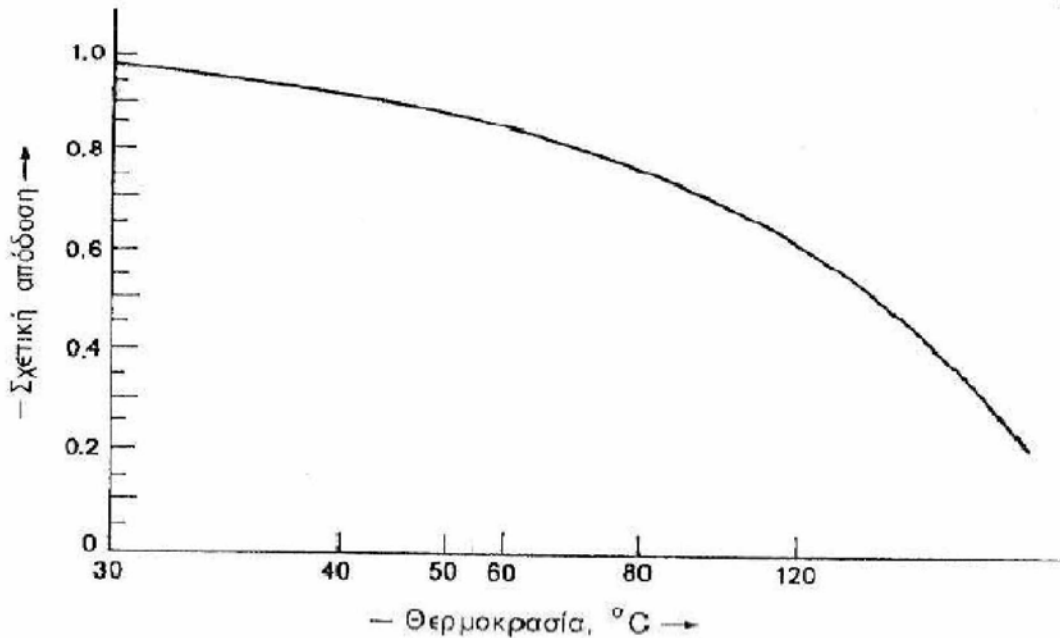
$$dP/dV > 0$$

δηλαδή η ισχύς αυξάνεται με αύξηση της τάσης. Σε αντίθετη περίπτωση η τάση μειώνεται. Η τάση σταθεροποιείται όταν μηδενίζεται σχεδόν αυτός ο ρυθμός μεταβολής.

Γ) Μια τρίτη κάνει χρήση του γεγονότος ότι στα περισσότερα φωτοβολταϊκά στοιχεία ο λόγος τάσης στη μέγιστη ισχύ προς τάση ανοιχτοκύκλωσης είναι σταθερός, δηλαδή:

$$V_{mp}/V_{oc} = K = \text{σταθερός}$$

(περίπου 0,72 για τα στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου).



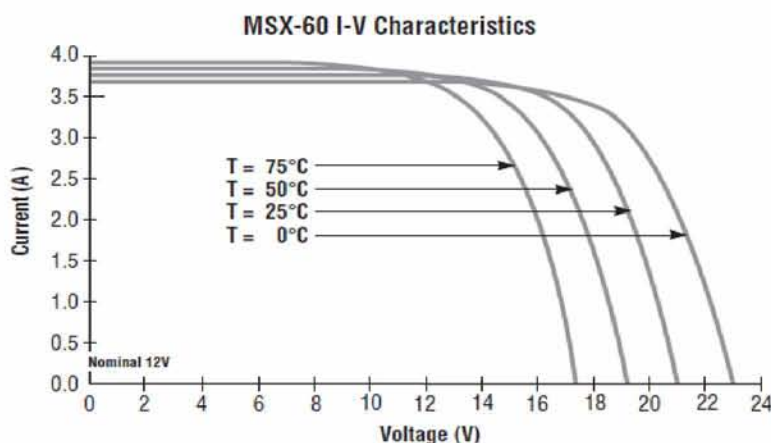
Σχήμα 10: Τυπική απόκλιση της μεταβολής της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους. Η κλίμακα του άξονα των y δίνει το ποσοστό της απόδοσης του στοιχείου σε σχέση με την απόδοση του στη συμβατική θερμοκρασία 20°C. Η κλίμακα της θερμοκρασίας στον άξονα των τετμημένων είναι λογαριθμική.

Αν ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου με μια συμβατική θερμοκρασία είναι η ,

η τιμή του σε διαφορετική θερμοκρασία θ θα είναι:

$$n_{\theta} = n \times \sigma_{\theta}$$

Όπου σ_{θ} , είναι ένας αδιάστατος συντελεστής της θερμοκρασιακής διόρθωσης της απόδοσης. Στη συμβατική θερμοκρασία, ο σ_{θ} είναι ίσος με τη μονάδα, και μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας, για τα συνηθισμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου.



Σχήμα 11: Διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών καμπυλών I-V του Φ/Β όταν έχουμε αλλαγή της θερμοκρασίας σε Φ/Β πάνελ MSX-60 [8].

□ **Καθαριότητα:** Είναι προφανές ότι για να έχουμε μέγιστη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, είναι απαραίτητο η επιφάνεια των συλλεκτών να είναι καθαρή από σκόνη και άλλες επικαθίσεις. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στο Μικροδίκτυο, επικαλύπτονται από ειδικά αντι-ανακλαστικά υλικά για να αποφεύγεται η αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας. Παρομοίως το προστατευτικό τζάμι που καλύπτει τα στοιχεία, είναι φτιαγμένο για να επιτρέπει καλύτερη μετάδοση του φωτός.

3.2 Ανεμογεννήτριες – Αιολική Ενέργεια

3.2.1 Αιολική Ενέργεια

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου.

Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται "ήπια μορφή ενέργειας" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές όπως συνηθίζεται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους. Η αιολική ενέργεια είναι από τις μορφές εκείνες που ο άνθρωπος εκμεταλλεύτηκε πριν χιλιάδες χρόνια. Μέχρι και τις αρχές του 20ου αιώνα, το αιολικό δυναμικό χρησιμοποιούταν στους αλευρόμυλους και για άντληση νερού. Με τη βιομηχανοποίηση, η ευμετάβλητη αιολική ενέργεια, παραχώρησε τη θέση της στις μηχανές που λειτουργούσαν με ορυκτά καύσιμα, ή στο ηλεκτρικό δίκτυο το οποίο παρήγαγε πιο σταθερή ισχύ. Στις αρχές του 1970, με τη πρώτη πετρελαϊκή κρίση, η αιολική ενέργεια επανέκαμψε. Αυτή τη φορά όμως, η εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού στράφηκε αποκλειστικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

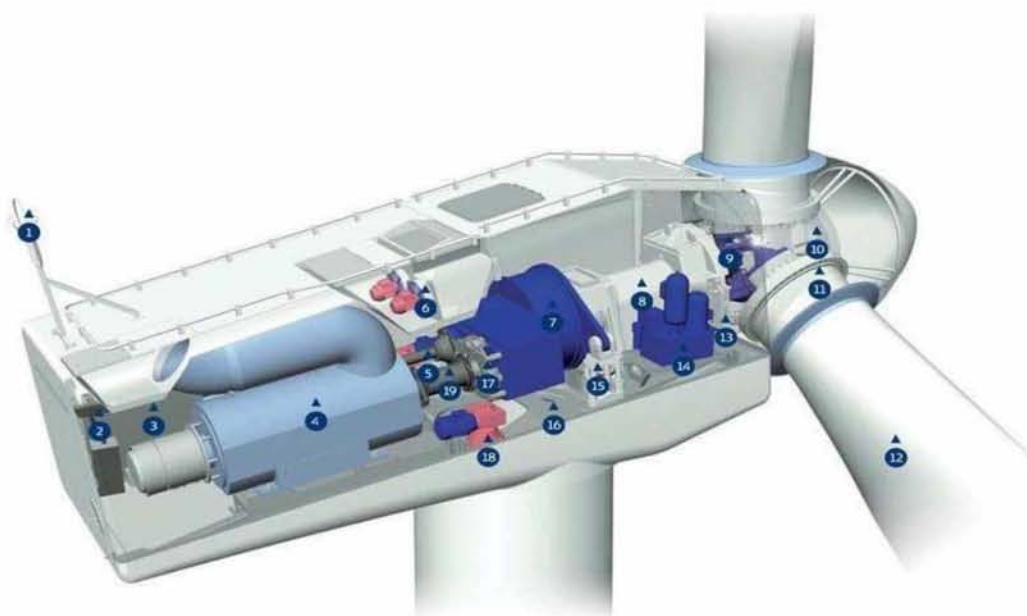
Οι πρώτες ανεμογεννήτριες είχαν ήδη αναπτυχθεί στις αρχές του 20ου αιώνα, και σταδιακά μέχρι τη δεκαετία του 1970 η τεχνολογία είχε κάνει άλματα προόδου. Από τη δεκαετία του 1990 και

έπειτα, η αιολική ενέργεια ήταν η σημαντικότερη από τις αιεφόρες ενεργειακές πηγές. Από τότε, η παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας διπλασιάζεται κάθε τρία χρόνια.

Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας έπεσε στο 1/6 από τις αρχές του 1980 και πιστεύεται ότι θα συνεχίσει με παρόμοιους ρυθμούς. Αξιοσημείωτη είναι η ανάπτυξη της τεχνολογίας στις ανεμογεννήτριες. Στα τέλη του 1980, η κορυφαία τεχνολογία έφτανε τα 300kW με διάμετρο πτερύγιων 30 μέτρα. Από τα τέλη του 1990 πλέον, είναι διαθέσιμες ανεμογεννήτριες ισχύος 1500kW με διάμετρο πτερύγιων 70 μέτρα, ενώ έχουν εγκατασταθεί ανεμογεννήτριες ισχύος μέχρι 3.5 MW. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι περισσότερο από το 73% της παγκόσμιας παραγωγής αιολικής ενέργειας, προέρχεται από πέντε κράτη: ΗΠΑ, Κίνα, Ισπανία, Γερμανία και Ινδία. Συνάγεται έτσι το συμπέρασμα, ότι οι γνώσεις στο συγκεκριμένο γνωστικό ζήτημα προέρχονται κυρίως από τις παραπάνω περιοχές. Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών απαιτεί ένα μεγάλο πεδίο επιστημονικής βάσης που στηρίζεται κυρίως στην αεροδυναμική, τη δυναμική κατασκευών, τη μηχανολογία και την ηλεκτρολογία [9].

Μελέτες έχουν δείξει ότι το αιολικό δυναμικό είναι πρακτικά απεριόριστο (υπάρχουν βέβαια περιορισμοί χώρου, πρόσβασης κλπ). Τα αποτελέσματα μελετών για την αιολική ενέργεια, εξαρτώνται από την ποιότητα των διαθέσιμων δεδομένων καθώς και από τις υποθέσεις για την τεχνολογία και το διαθέσιμο χώρο. Τέτοιες μελέτες μπορούν να παρέχουν μια προσέγγιση του συνολικού αιολικού δυναμικού. Επιπλέον, πρέπει να επισημανθεί ότι το αιολικό δυναμικό μπορεί να ποικίλει για διαφορετικές περιοχές. Σημαντικό ωστόσο ζήτημα, είναι οι μακροπρόθεσμες μεταβολές του αιολικού δυναμικού. Οι έρευνες έχουν δείξει, ότι η μεταβολή της μέσης ισχύος από τη μια εικοσαετή περίοδο στην επόμενη, έχει μια σταθερή απόκλιση της τάξης του 10% ή λιγότερο. Επομένως, η αβεβαιότητα του αιολικού δυναμικού δεν είναι σημαντική σε σχέση με το χρόνο ζωής μιας ανεμογεννήτριας.

3.2.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ανεμογεννητριών



Σχήμα 12: Εσωτερικό ατράκτου Α/Γ

1	Υπερηχητικός αισθητήρας ανέμου (ανεμόπτερο)
2	Γερανός (υπηρεσίας)
3	VMP ελεγκτής με μετατροπέα
4	Γεννήτρια
5	Κύλινδρος (pitch cylinder)
6	Ψήκτρες νερού και λαδιού
7	Κιβώτιο ταχυτήτων
8	Κύριος άξονας
9	Σύστημα ρύθμισης γωνίας βήματος (pitch system)
10	Πλήμνη
11	Βάση πτερυγίου
12	Πτερύγιο
13	Σύστημα κλειδώματος δρομέα
14	Υδραυλική μονάδα
15	Βραχίονας στρέψης (torque arm)
16	Βάση μηχανής
17	Μηχανικό δισκόφρενο
18	Μηχανισμός προσανατολισμού της ατράκτου (yaw gear)
19	Συμπλέκτης

Πίνακας 3: Σημείων εσωτερικού ατράκτου Α/Γ

Η τριπτέρυγη ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα του σχήματος έχει τα πτερύγια της μηχανικά προσαρμοσμένα σε ένα εξάρτημα, την πλήμνη. Η πλήμνη συνδέεται με τον άξονα χαμηλών στροφών ο οποίος είναι ο άξονας του ρότορα του ανεμοκινητήρα. Ένα τμήμα της κινητικής ενέργειας του ανέμου δεσμεύεται από τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας και μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια η οποία περιστρέφει τον άξονα χαμηλών στροφών. Ο άξονας χαμηλών στροφών μεταδίδει την περιστροφική αυτή κίνηση στο κιβώτιο ταχυτήτων. Αυτό μέσω ενός πολλαπλασιαστή στροφών την μεταφέρει πολλαπλασιασμένη σύμφωνα με την αναλογία του κιβωτίου σε έναν άλλο άξονα υψηλών ταχυτήτων που περιστρέφει τον δρομέα της γεννήτριας. Η περιστροφή του δρομέα της επαγωγικής μηχανής παράγει ηλεκτρική τάση εξ επαγωγής. Έτσι διαδοχικά η μηχανική ισχύς μετατρέπεται σε ηλεκτρική με σκοπό να αποδοθεί στο δίκτυο. Η ύπαρξη ενός μετασχηματιστή είναι απαραίτητη έτσι ώστε να παρέχεται από την γεννήτρια στο σημείο σύνδεσης η τάση στην επιθυμητή τιμή.

Στο σχήμα βλέπουμε πέραν των βασικών στοιχείων που περιγράψαμε και άλλα βοηθητικά στοιχεία που χωρίς αυτά η λειτουργία της ανεμογεννήτριας δεν θα ήταν εφικτή. Μερικά από αυτά είναι:

- Το **Σύστημα ρύθμισης γωνίας βήματος** γνωστό στην διεθνή βιβλιογραφία και ως «pitch control». Το σύστημα αυτό δίνει την δυνατότητα στα πτερύγια να περιστρέφονται γύρω από τον άξονα τους και να μεταβάλλεται έτσι το βήμα πτερύγωσης.
- Το **Σύστημα προσανατολισμού της ατράκτου ή κατευθυντήριο σύστημα** είναι σημαντικό στοιχείο μόνο για τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα και είναι αυτό που εξασφαλίζει ότι η διεύθυνση του ρότορα θα ευθυγραμμίζεται με αυτήν του ανέμου ώστε να μεγιστοποιείται η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Το σύστημα για να το επιτύχει αυτό κάνει χρήση ή ουραίου πτερυγίου ή δυναμικής αντίστασης (DRAG) των πτερυγίων ή με κάποιο αυτοτροφοδοτούμενο μηχανικό σύστημα που έχει σαν αισθητήριο κάποιον ανεμοδείκτη.
- Το **Σύστημα ελέγχου ταχύτητας** είναι αυτό που διατηρεί την ταχύτητα στα απαιτούμενα

όρια λειτουργίας ώστε να έχουμε προστασία της ανεμογεννήτριας από υπερβολικές ταχύτητες. Οι συνήθεις ανεμογεννήτριες σχεδιάζονται για να λειτουργούν στην περιοχή 10-25 m.p.h (miles per hour), ενώ για ταχύτητες ανέμου 25-40 m.p.h περιορίζουν την έξοδο τους στην ονομαστική τιμή. Για ταχύτητες μεγαλύτερες των 40 m.p.h σταματάει η λειτουργία τους.

- Το **Σύστημα πέδης – μηχανικό δισκόφρενο** είναι αυτό που αναλαμβάνει να φρενάρει την ανεμογεννήτρια σε περίπτωση που αυτό χρειάζεται και εφαρμόζεται στον κύριο άξονα της γεννήτριας.
- Ο **Αισθητήρας ανέμου – Ανεμόμετρο και Ανεμοδείκτης** είναι όργανα για την μέτρηση της ταχύτητας και τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης του ανέμου.
- Οι **Ψήκτρες λαδιού και νερού** χρησιμεύουν για την ψύξη της γεννήτριας με την απαγωγή της θερμότητας μέσω του λαδιού και του νερού.
- Ο **Πύργος στήριξης** είναι η μεταλλική κυλινδρική κατασκευή που χρησιμοποιείται για να στηρίζουμε την ανεμογεννήτρια σε κάποιο συγκεκριμένο ύψος. Η επιλογή του βέλτιστου ύψους ποικίλει από θέση σε θέση και εξαρτάται από το μέγεθος της ανεμογεννήτριας.

Επίσης η ταχύτητα του ανέμου εξαρτάται από το ύψος σύμφωνα με την σχέση:

$$V_0/V = (H_0 / H)^n$$

- $\eta=0.16$, για επίπεδη επιφάνεια ή θάλασσα.
- $\eta=0.28$, για επιφάνεια με δένδρα ή περιοχές με χαμηλές κατασκευές.
- $\eta=0.4$, για αστικές περιοχές με μεγάλα κτίρια.

Όπου το H_0 είναι το ύψος αναφοράς (συνήθως 10 m), το V_0 η αντίστοιχη ταχύτητα του ανέμου, το H το ύψος που θέλουμε και V η αντίστοιχη ταχύτητα και ο συντελεστής η είναι αδιάστατος

3.2.3 Κατηγορίες ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου καθώς και σύμφωνα με τον τύπο της γεννήτριας, τον έλεγχο της και τη δυνατότητα τους για μεταβλητή ταχύτητα.

Ως προς την πρώτη κατηγορία υπάρχουν δύο ειδών:

- **Οριζόντιου άξονα**, στους οποίους ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι παράλληλος προς την κατεύθυνση του ανέμου.



Σχήμα 13: Ανεμογεννήτρια Οριζόντιου Άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν συνήθως δυο ή τρία πτερύγια, ή και πολλά περισσότερα. Οι ανεμογεννήτριες με πολλά πτερύγια, μοιάζουν με ένα συμπαγή δίσκο που αποτελείται από συμπαγή πτερύγια και αποκαλούνται high- solidity συσκευές (hs). Τέτοιες ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται στην άντληση νερού κλπ. Όταν αντίθετα η περιοχή σάρωσης είναι κενή λόγω ύπαρξης δύο ή τριών πτερυγίων τότε οι συσκευές αναφέρονται ως low- solidity devices (ls). Οι τελευταίες αποτελούν και τη πιο συνηθισμένη περίπτωση ανεμογεννητριών σήμερα. Οι δρομείς τους έχουν δύο ή τρία πτερύγια, και έχουν δυνατότητα παραγωγής έως 1MW ισχύος. Οι ανεμογεννήτριες με τρία πτερύγια έχουν κυριαρχήσει στην αγορά. Από την άλλη, οι ανεμογεννήτριες με δυο πτερύγια έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι ελαφρύτερες, με αποτέλεσμα να είναι ευκολότερη η διαδικασία κατασκευής τους, άρα και φθηνότερη. Γενικότερα όμως, ο τρίπτερος δρομέας είναι κατά 5% αποδοτικότερος από τον δίπτερο, ενώ τα φορτία που ενεργούν σε κάθε πτερύγιο είναι μικρότερα. Αντίθετα, ο μονόπτερος είναι ο φθηνότερος από όλους, έχει 10% μικρότερη απόδοση από τον δίπτερο, αλλά έχει θορυβώδη λειτουργία και η ζυγοστάθμισή του παρουσιάζει σοβαρό πρόβλημα.



Σχήμα 14: Ανεμογεννήτρια Κάθετου Άξονα

- Κάθετου άξονα, στις οποίες ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος στην επιφάνεια της γης και

κάθετος στη ροή του ανέμου.

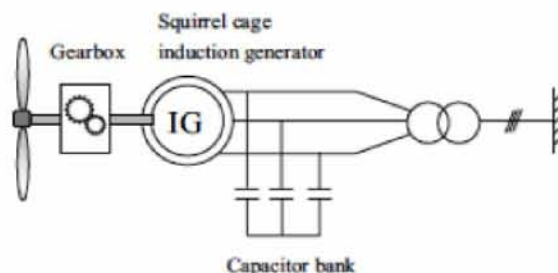
Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα, είναι κατασκευαστικά απλούστερες από τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, διότι δεν απαιτούν περύγιο ή σύστημα αυτοματισμού για τον προσανατολισμό του δρομέα στη διεύθυνση πνοής του ανέμου και επιπλέον το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας του δρομέα σε άλλη μορφή ενέργειας βρίσκεται στο έδαφος, στη βάση της ανεμογεννήτριας.

Συνεπώς, τα έξοδα αυτοματισμού, συντήρησης ή επισκευών είναι σαφώς μικρότερα σε σύγκριση με την ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα. Λόγω όμως των ιδιόμορφων περυγίων είναι πολύ δύσκολη η κατασκευή τους αλλά και η μεταφορά τους στο σημείο εγκατάστασης. Προς το παρόν πάντως οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα δεν είναι οικονομικά ανταγωνιστικές των ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.

3.2.4 Τύποι ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες επίσης μπορούν να χωριστούν με βάση την ταχύτητα περιστροφής σε σταθερής ταχύτητας και σε μεταβλητής ταχύτητας. Για τις ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας χρησιμοποιούνται η επαγωγική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού και η σύγχρονη γεννήτρια κυλινδρικού δρομέα όπου στην πλειοψηφία προτιμάται η επαγωγική γεννήτρια. Έτσι ανεξάρτητα από την ταχύτητα του ανέμου η ταχύτητα του δρομέα της συγκεκριμένης διάταξης παραμένει σταθερή και καθορίζεται από την συχνότητα του δικτύου και τη σχέση μετάδοσης της κίνησης στο κιβώτιο ταχυτήτων. Γενικά, οι σταθερής ταχύτητας γεννήτριες χαρακτηρίζονται από απλές και αξιόπιστες συσκευές για τα ηλεκτρικά μέρη. Για την αντιστάθμιση όμως της άεργης ισχύος χρησιμοποιούνται παράλληλα με την διάταξη κιβώτια πυκνωτών ώστε να βελτιώνουμε το συντελεστή ισχύος στο σημείο κοινής σύνδεσης με το δίκτυο.

Επειδή οι συγκεκριμένες διατάξεις υπόκεινται σε υψηλές μηχανικές καταπονήσεις συνδέουμε την γεννήτρια με το δίκτυο μέσω ενός soft-starter ώστε να έχουμε ομαλή εκκίνηση και να μειώσουμε την αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Μια ανεμογεννήτρια με σταθερή ταχύτητα είναι η επαγωγική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού, που είναι συνδεδεμένη κατ' ευθείαν στο δίκτυο μέσω μετασχηματιστή. Επειδή, ως γνωστόν, οι επαγωγικές γεννήτριες απαιτούν άεργη ισχύ για τη μαγνήτιση τους, συνδέονται στους ακροδέκτες τους συστοιχίες πυκνωτών για αντιστάθμιση. Επίσης, η σύνδεση με το δίκτυο μπορεί να πραγματοποιηθεί ομαλά μέσω ενός soft - starter. Λόγω της σταθερής ταχύτητας, οι διακυμάνσεις του ανέμου οδηγούν σε μηχανικές καταπονήσεις (διακυμάνσεις στη ροπή) που με τη σειρά τους οδηγούν σε διακυμάνσεις της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος [10].



Σχήμα 15: Α/Γ σταθερής ταχύτητας

Σε περίπτωση ασθενούς δικτύου, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε διακυμάνσεις της τάσης του σημείου κοινής σύνδεσης (PCC). Τα μειονεκτήματα της λοιπόν είναι ότι, δεν υποστηρίζει έλεγχο ταχύτητας για βελτιστοποίηση της παραγόμενης από τον άνεμο ενέργειας, απαιτεί ισχυρό δίκτυο για να μη δημιουργεί έντονες διακυμάνσεις τάσης και πρέπει η κατασκευή της να αντέχει σε μεγάλες μηχανικές καταπονήσεις. Σημαντικό πλεονέκτημα της, ωστόσο, είναι το χαμηλό κόστος.

Στις ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας αυτό που επιτυγχάνεται με τις συγκεκριμένες διατάξεις είναι η λειτουργία της γεννήτριας με τέτοιο τρόπο ώστε ο ρότορας να την ακολουθεί σε κάθε μεταβολή του ανέμου και να λειτουργεί συνεχώς με τον μέγιστο αεροδυναμικό συντελεστή. Έτσι πετυχαίνεται η γεννήτρια να λειτουργεί στη βέλτιστη αεροδυναμική καμπύλη. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η λύση των προβλημάτων που εμφανίζουν οι ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας όπως: η μείωση των καταπονήσεων στα μηχανικά μέρη της ανεμογεννήτριας και η βελτίωση της ποιότητας της παραγόμενης ισχύος. Όμως αν συνδεθεί απευθείας η γεννήτρια στο δίκτυο σημαίνει ότι η ταχύτητα του δρομέα θα καθορίζεται από την συχνότητα του δικτύου, έτσι δεν γίνεται ο ρότορας να ακολουθεί την ταχύτητα του ανέμου. Για να επιτευχθεί η απομόνωση της γεννήτριας με το δίκτυο τη συνδέουμε με αυτό μέσω ενός μετατροπέα.

Βέβαια, αυτό συνεπάγεται με αυξημένο κόστος της όλης διάταξης αλλά και μίας μεγαλύτερης πολυπλοκότητας όσον αφορά τον έλεγχο της. Ωστόσο η εισαγωγή της μεταβλητής ταχύτητας στις ανεμογεννήτριες αυξάνει τον αριθμό των εφαρμοζόμενων τύπου γεννητριών και περαιτέρω εισάγει αρκετούς βαθμούς ελευθερίας στο συνδυασμό τύπου γεννήτριας και ισχύ μετατροπέα [11].

Οι γενικές κατηγορίες γεννητριών που χρησιμοποιούν σε ανεμογεννήτριες είναι οι εξής:

• Ασύγχρονες (επαγωγικές) γεννήτριες:

- Επαγωγική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού (SCIG).
- Επαγωγική γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα (WRIG).
- Επαγωγικές γεννήτριες διπλής τροφοδοσίας (DFIG).
- Επαγωγικές γεννήτριες με ηλεκτρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση (OSIG).

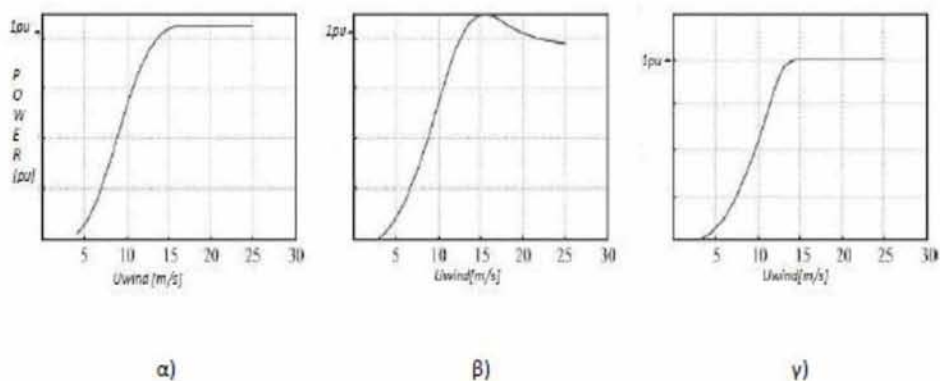
• Σύγχρονες γεννήτριες:

- Σύγχρονη γεννήτριας δακτυλιοφόρου δρομέα (WRSF).
- Σύγχρονη γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη (PMSG).

Όσον αναφορά το διαχωρισμό των ανεμογεννητριών αναλόγως με την ρύθμιση της αποσπώμενης από τον άνεμο ισχύς υπάρχουν τρεις μέθοδοι που είναι γνωστοί ως: pitch control, passive stall control και active stall control [12]. Το pitch control ή όπως ονομάζεται ως έλεγχος βήματος έλικας είναι η πιο γνωστή τεχνική ελέγχου της αεροδυναμικής ισχύος. Το χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου τρόπου ελέγχου είναι η δυνατότητα της περιστροφής των πτερυγίων γύρω από τον διαμήκη άξονα τους. Με αυτό τον τρόπο η διάταξη έχει τη δυνατότητα να ρυθμίζει την αποσπώμενη από τον άνεμο ισχύ και να λειτουργεί συνεχώς με το βέλτιστο αεροδυναμικό συντελεστή. Σημαντικό πλεονέκτημα της είναι ότι στην περιοχή υψηλών ταχυτήτων του ανέμου με κατάλληλη περιστροφή των πτερυγίων έξω από τον άνεμο έχει τη δυνατότητα να μείωση την αποσπώμενη ισχύ. Εν αντιθέσει στις χαμηλές ταχύτητες ανέμου κάνει την αντίστροφη διαδικασία ώστε να αποσπάσει τη μέγιστη δυνατή ισχύ του ανέμου. Το κύριο μειονέκτημά της είναι το αυξημένο κόστος της εγκατάστασης και η δυσκολία του ελέγχου της. Το passive stall ή όπως ονομάζεται ως έλεγχος αεροδυναμικής ανύψωσης, είναι ένας απλούστερος μηχανισμός ελέγχου της αεροδυναμικής ισχύος.

Στη συγκεκριμένη διάταξη τα πτερύγια είναι τοποθετημένα επάνω στην πλήμνη σε μια σταθερή γωνία σε αντίθεση με το pitch control. Η τιμή της γωνίας είναι τέτοια ώστε στην ονομαστική ταχύτητα ανέμου να έχουμε την μέγιστη ισχύ εξόδου. Σημαντικό πλεονέκτημα της διάταξης είναι ότι, αποφεύγει τα κινούμενα μέρη και τον σύνθετο έλεγχο. Από την άλλη όμως, αντιπροσωπεύει ένα πολύ σύνθετο πρόβλημα αεροδυναμικού σχεδιασμού. Εν αντιθέσει με το pitch control παρουσιάζει δυσκολίες κατά την εκκίνηση και μειωμένη ισχύ στις υψηλές ταχύτητες του ανέμου (Σχήμα 16).

Η active stall τεχνική έχει αρχίσει να εφαρμόζεται συχνά στις καινούργιες ανεμογεννήτριες και ειδικά στις ανεμογεννήτριες μεγάλης ισχύος. Η τεχνική αυτή συνδυάζει γνωρίσματα και των άλλων δύο τεχνικών που αναφέρθηκαν (pitch control, passive stall control). Συγκεκριμένα στις χαμηλές ταχύτητες ανέμου ρυθμίζει ακριβώς τα πτερύγιά της για να έχει τη μέγιστη αποσπώμενη ισχύ από αυτούς όπως ακριβώς λειτουργούμε στο pitch control. Ενώ στις υψηλές ταχύτητες περιστρέφει αντίθετα τα πτερύγια της από πριν ώστε να αυξάνει την επιφάνεια πρόσπτωσης του ανέμου και να έχει τη δυνατότητα μεγαλύτερης αποσπώμενης ισχύος. Επίσης, με την active stall έχουμε πολύ γρήγορο αεροδυναμικό φρενάρισμα και εύκολες εκκινήσεις (Σχήμα 16).



Σχήμα 16: Ενδεικτικές καμπόλες ισχύος: α) pitch control, β) passive stall control, γ) active stall control [10].

3.2.5 Ισχύς Ανέμου – Ανεμογεννήτριας

Ο άνεμος ορίζεται ως η κίνηση μάζας ατμοσφαιρικού αέρα που οφείλεται στις διαφορετικές και μεταβαλλόμενες ατμοσφαιρικές συνθήκες, στην διαφορά θερμοκρασίας από έναν τόπο σε άλλο και έχει ορισμένη κατεύθυνση και δύναμη. Άρα, και σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό είναι λογικό όχι μόνο να διαθέτει κινητική ενέργεια αλλά παράλληλα να έχει και ισχύ, την οποία μπορεί να δεσμεύσει και να εκμεταλλευτεί κατάλληλα μια αιολική μηχανή.

Θεωρώντας λοιπόν ότι ο άνεμος περνάει κάθετα από μια επιφάνεια A (οποιοδήποτε σχήματος), πάχους χ τότε εύκολα υπολογίζεται ότι η μάζα αέρα, πυκνότητας ρ , είναι:

$$M = \rho \cdot A \cdot \chi$$

Επίσης, ως αναφορά την κινητική ενέργεια ισχύει ότι: $KE = 1/2 \cdot m \cdot V_w^2$

όπου V_w είναι η μέση ταχύτητα της αέρια μάζας M . Άρα από τις δύο παραπάνω εξισώσεις προκύπτει ότι η κινητική ενέργεια της αέριας μάζας (για $m = M$) θα είναι:

$$KE = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot \chi \cdot V_w^2$$

Ακόμα για την κινητική ενέργεια ανα μονάδα χρόνου προκύπτει ότι:

$$\frac{d(KE)}{dt} = P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_w^2 \cdot \frac{dx}{dt}$$

Όπου: $dx/dt = Vw$

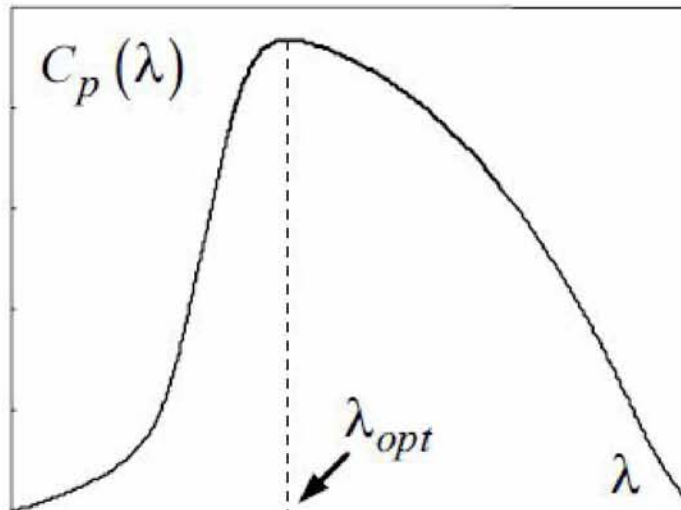
Έτσι προκύπτει η ολική ισχύς του ανέμου:

$$P_w = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 * C_p$$

Η παραπάνω εξίσωση, είναι η βασική εξίσωση για τον υπολογισμό ισχύος και αιολικής ενέργειας και επιπλέον δικαιολογεί γιατί η ταχύτητα του ανέμου σε μια περιοχή είναι κρίσιμο μέγεθος για την εγκατάσταση ή όχι μιας αιολικής μηχανής. Ο όρος C_p στην παραπάνω εξίσωση ονομάζεται συντελεστής ισχύος. Ο συντελεστής αυτός αποδεικνύεται ότι εξαρτάται από το λόγο, της γραμμικής ταχύτητας του ακροπτερυγίου προς την ταχύτητα του ανέμου. Ο παραπάνω λόγος συμβολίζεται στην βιβλιογραφία με λ και δίνεται στην παρακάτω σχέση:

$$\lambda = \omega * R / u$$

Όπου R η ακτίνα των πτερυγίων.



Σχήμα 17: Καμπύλη αεροδυναμικού συντελεστή

Αν η ανεμογεννήτρια είναι οριζοντίου άξονα και η διάμετρος του πτερυγίου είναι D , τότε το A είναι:

$$A = \pi/4 * D^2$$

Αν η απόδοση του δρομέα είναι C_p , τότε η μηχανική ισχύς που λαμβάνει ο δρομέας είναι:

$$P_m = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 * C_p$$

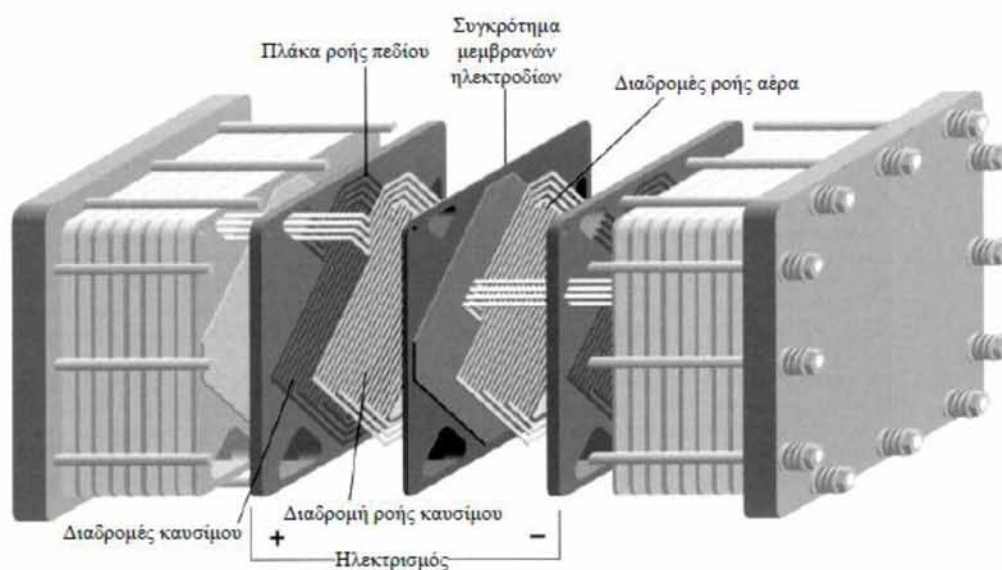
Τελικά το ποσοστό της μηχανικής ισχύς που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ είναι P_e , το οποίο εξαρτάται από το συνολικό βαθμό απόδοσης της ανεμογεννήτριας η_t :

$$P_e = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 * C_p * \eta_t$$

3.3 Κύτταρα καυσίμου (Fuel Cells)

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χαρακτηριστούν σαν κέντρα ενός συστήματος το οποίο χρησιμοποιεί το υδρογόνο ως καύσιμο. Είναι αυτές οι οποίες αναλαμβάνουν τη μετατροπή του

καυσίμου σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Η έννοια της κατάλυσης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη λειτουργία μιας κυψέλης καυσίμου, όπως θα δούμε παρακάτω και η έρευνα για τη βελτίωση των αποδόσεων γίνεται κυρίως σε αυτόν τον τομέα, τομέας εξ ορισμού μελετώμενος στην κλίμακα του νανομέτρου. Η κυψέλη καυσίμου αποτελεί ένα μηχανισμό για την ηλεκτροχημική μετατροπή της ενέργειας μετατρέποντας υδρογόνο και οξυγόνο σε νερό, παράγοντας ταυτόχρονα με τη διαδικασία αυτή, ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ο ηλεκτρισμός παράγεται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος. Η πρώτη κυψέλη φτιάχτηκε από τον Sir William Grove, το 1839. Ωστόσο η συστηματική έρευνα πάνω σε αυτές άρχισε μόλις τη δεκαετία του '60, όταν η NASA χρησιμοποίησε κυψέλες καυσίμου στα διαστημικά σκάφη των προγραμμάτων ως φθηνότερη λύση από την ηλιακή ενέργεια. Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να ταξινομηθούν βάση του τύπου του ηλεκτρολύτη τον οποίο χρησιμοποιούν. Το πιο γνωστό είδος είναι η κυψέλη καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίου (PEM).



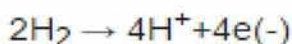
Σχήμα 18: Συστοιχία κυττάρων καυσίμου. Η μια πλευρά της πλάκας ηλεκτροδίου χρησιμεύει σαν άνοδος για το ένα κύτταρο, ενώ η άλλη σαν κάθοδος του διπλανού κυττάρου.

Δύο ηλεκτρόδια, τα οποία διαχωρίζονται από μία μεμβράνη, η οποία έχει το ρόλο του ηλεκτρολύτη. Μεταξύ αυτής της πολυμερισμένης μεμβράνης και των ηλεκτροδίων υπάρχει ένα στρώμα καταλύτη. Αργότερα θα μελετήσουμε τα μέρη μιας κυψέλης αναλυτικότερα. Συνοπτικά, η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρισμού περιγράφεται από τα παρακάτω επιμέρους στάδια [13]. Το υδρογόνο τροφοδοτεί την άνοδο της κυψέλης, το αρνητικό ηλεκτρόδιο, το οποίο ερχόμενο σε επαφή με τον καταλύτη διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρόνια. Η άνοδος και ο καταλύτης είναι τέτοιας κατασκευής ώστε η διάχυση των ατόμων του υδρογόνου να γίνεται με ομογενή τρόπο. Τα ηλεκτρόνια τα οποία απελευθερώθηκαν, μεταφέρονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς την κάθοδο δημιουργώντας ηλεκτρισμό, αφού η μεμβράνη αποτρέπει τη διέλευση τους μέσω αυτής. Για αυτό το λόγο άνοδος και καταλύτης διαλέγονται αγωγά υλικά. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου (στην ουσία αναφερόμαστε σε μεμονωμένα πρωτόνια) διαπερνούν τη μεμβράνη και ενώνονται με το οξυγόνο το οποίο τροφοδοτεί την κάθοδο, το θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, και παράγεται νερό. Όπως και πριν, την ομογενή διάχυση του οξυγόνου στον καταλύτη εξασφαλίζει η κατασκευή του ηλεκτροδίου. Ο καταλύτης αναλαμβάνει την επιτάχυνση της δημιουργίας του νερού από τα συστατικά του. Στο σχηματισμό του νερού συμμετέχουν εκτός των μορίων του οξυγόνου και των ιόντων του

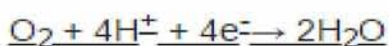
υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύτηκαν μέσω του εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος στην κάθοδο, στην αρχή της διαδικασίας. Τα δύο στρώματα (στηριζόμενου) καταλύτη χρησιμεύουν στην αύξηση της ταχύτητας των αντιδράσεων διάσπασης του μορίου του υδρογόνου και της ένωσης υδρογόνου οξυγόνου για τη δημιουργία νερού, στην άνοδο και στην κάθοδο αντίστοιχα. Συνήθως αποτελείται από ένα πολύ λεπτό στρώμα λευκόχρυσου (Pt) πάνω σε επιφάνεια άνθρακα. Το στρώμα αυτό είναι και το μέρος του καταλύτη το οποίο βρίσκεται σε επαφή με τη μεμβράνη. Ο καταλύτης είναι τραχύς και πορώδης ώστε να μεγιστοποιεί η εκτεθειμένη επιφάνεια του.

Οι χημικές αντιδράσεις οι οποίες χαρακτηρίζουν τα παραπάνω βήματα, συνοψίζονται παρακάτω:

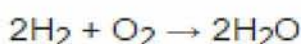
Στην άνοδο:



Στην κάθοδο:



Ολική αντίδραση:



Από τις αντιδράσεις σε μία απλή κυψέλη καυσίμου παράγει περίπου στα 0,7 Volts. Προκειμένου να παραχθούν μεγαλύτερες (και πρακτικά αξιοποιήσιμες) τάσεις, χρησιμοποιούνται περισσότερες κυψέλες σε σειρά (fuel cell stack). Η απόδοση μιας κυψέλης καυσίμου δεν είναι 100% κι επομένως η θεωρητική τάση των 1,16 V δε συναντάται. Αντίθετα μια συνηθισμένη τιμή τάσης εξόδου ισούται περίπου με 0,7V. Ωστόσο επειδή αυτή η τάση είναι μικρή και επομένως ακατάλληλη για τις περισσότερες πιθανές εφαρμογές της, γίνεται χρήση παραπάνω από μιας κυψέλης συνδεδεμένες μεταξύ τους σε σειρά, δημιουργώντας αυτό το οποίο ονομάζουμε στήλη κυψέλης καυσίμου (fuel cell stack). Ανάλογα με τη χρήση όπου προορίζεται η κυψέλη η στήλη μπορεί να αποτελείται από μερικές έως και εκατοντάδες κυψέλες. Ειδικά σε περιπτώσεις όπου απαιτείται εκτός από μεγάλη τάση και μεγάλη ισχύ χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία στήλες σε σειρά. Προκειμένου να μειωθεί ο συνολικός όγκος και βάρος της στήλης γίνεται χρήση αντί δύο πλακών καθορισμού της ροής των αερίων, μίας. Αυτή η πλάκα έχει δύο περιοχές με κανάλια μεταφοράς, μια σε κάθε μεριά της η οποία αναλαμβάνει τη μεταφορά και διαφορετικού αερίου (υδρογόνου ή αέρα) και ονομάζεται διπολική πλάκα (bipolar plate). Στα άκρα της κυψέλης βρίσκονται δύο απλές πλάκες. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στο αδιαπέραστο από αέρια της στήλης διότι σε αντίθετη περίπτωση υδρογόνο και αέρας θα ενώνονταν άμεσα χωρίς την παραγωγή εκμεταλλεύσιμου ρεύματος. Η διπολική πλάκα πρέπει επίσης να είναι αγωγίμη ώστε το ρεύμα να μπορεί να κινηθεί από τη μία κυψέλη στην επόμενη. Τέλος να αναφέρουμε ότι υπάρχουν τριών ειδών τεχνολογίες για τις κυψέλες καυσίμων και διακρίνονται ανάλογα με τον ηλεκτρολύτη τους. Μερικοί από τους διαφορετικούς τύπους ηλεκτρολυτών περιλαμβάνουν το φωσφορικό οξύ (PAFC), το λιωμένο ανθρακικό άλας (MCFC), το στερεό οξείδιο (SOFC) και την μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC).

3.4 Λοιπές Μονάδες Παραγωγής

3.4.1 Βιομάζα

Με τον όρο βιομάζα αποκαλείται οποιοδήποτε υλικό που παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς

(όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Το καύσιμο βιομάζας είναι γνωστό στην Ελλάδα κι ως πέλετ. [14]

Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση. Η ενέργεια της βιομάζας (βιοενέργεια ή πράσινη ενέργεια) είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, είναι το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα, που είναι άφθονα στη φύση.

Βασικό πλεονέκτημα της βιομάζας είναι ότι είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και ότι παρέχει ενέργεια αποθηκευμένη με χημική μορφή. Η αξιοποίηση της μπορεί να γίνει με μετατροπή της σε μεγάλη ποικιλία προϊόντων, με διάφορες μεθόδους και τη χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας. Σαν πλεονέκτημά της καταγράφεται και το ότι κατά την παραγωγή και την μετατροπή της δεν δημιουργούνται οικολογικά και περιβαλλοντολογικά προβλήματα.

Από την άλλη, σαν μορφή ενέργειας η βιομάζα χαρακτηρίζεται από πολυμορφία, χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο, σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, λόγω χαμηλής πυκνότητας και/ή υψηλής περιεκτικότητας σε νερό, εποχικότητα, μεγάλη διασπορά, κλπ. Τα χαρακτηριστικά αυτά συνεπάγονται πρόσθετες, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, δυσκολίες στη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευσή της. Σαν συνέπεια το κόστος μετατροπής της σε πιο εύχρηστες μορφές ενέργειας παραμένει υψηλό.

3.4.2 Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (Diesel)

Μηχανή εσωτερικής καύσης ή κινητήρας εσωτερικής καύσης αποκαλείται η θερμική μηχανή στην οποία η καύση του καυσίμου γίνεται στο εσωτερικό σώμα της ίδιας της μηχανής, εξ ου και η ονομασία της, σε αντίθεση με την ατμομηχανή (όπου η καύση γίνεται εκτός, στο λέβητα).

Οι μηχανές αυτές έχει καθιερωθεί να αναφέρονται ως MEK. Ως MEK θεωρούνται γενικά οι αεριομηχανές, οι βενζινομηχανές, οι πετρελαιομηχανές και οι αεριοστροβίλοι. Γενικά στις MEK, "εργαζόμενη ουσία" είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας σε αντίθεση με τις ατμομηχανές που είναι ο ατμός. Σύμφωνα με ένα γενικό ορισμό, ο κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι μια θερμική μηχανή στην οποία καίγεται ένα καύσιμο παρουσία αέρα μέσα σε ένα θάλαμο (θάλαμος καύσης) και από την εξώθερμη αντίδραση του καυσίμου με τον οξειδωτή (θερμική καύση ελεύθερης φλόγας σε αέρια κατάσταση), που είναι το οξυγόνο του αέρα, δημιουργώντας θερμά αέρια [15].

Στον κινητήρα εσωτερικής καύσης η εκτόνωση της πίεσης των αερίων που παράγονται ασκεί δύναμη στο κινητό μέρος του κινητήρα, όπως στα έμβολα ή στα πτερύγια.

Ανάλογα με την ισχύ που αποδίδουν ανά κύλινδρο χαρακτηρίζονται σε:

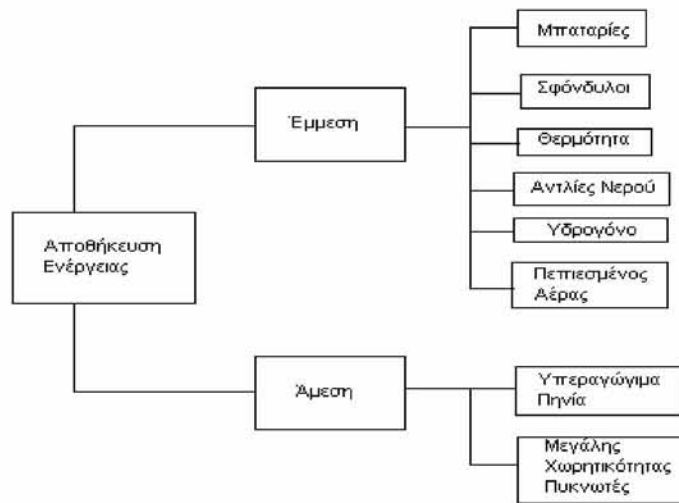
- Μικρής ισχύος 25 έως 200 ίππους
- Μικρής ισχύος που αποδίδουν πάνω από 200 ίππους και
- Μεγάλης ισχύος

3.5 Μονάδες Αποθήκευσης

3.5.1 Συσσωρευτές

Οι μονάδες αποθήκευσης παίζουν σημαντικό ρόλο στο Μικροδίκτυο ειδικά στην αυτόνομη λειτουργία του όπου υποκαθιστούν τις μονάδες παραγωγής. Η ενέργεια αποθηκεύεται είτε με

έμμεσο είτε με άμεσο τρόπο όπως φαίνεται στο Σχήμα 19:



Σχήμα 19: Μονάδες Αποθήκευσης

Οι συσκευές άμεσης αποθήκευσης έχουν καλύτερες αποδόσεις λόγω των λιγότερων μετατροπών ενέργειας και απαιτούνται λιγότερες συσκευές. Ανάλογα το είδους των εφαρμογών και της ισχύος απαιτείται καθώς και του χρόνου αποκατάστασης του ηλεκτρικού δικτύου εξετάζονται:

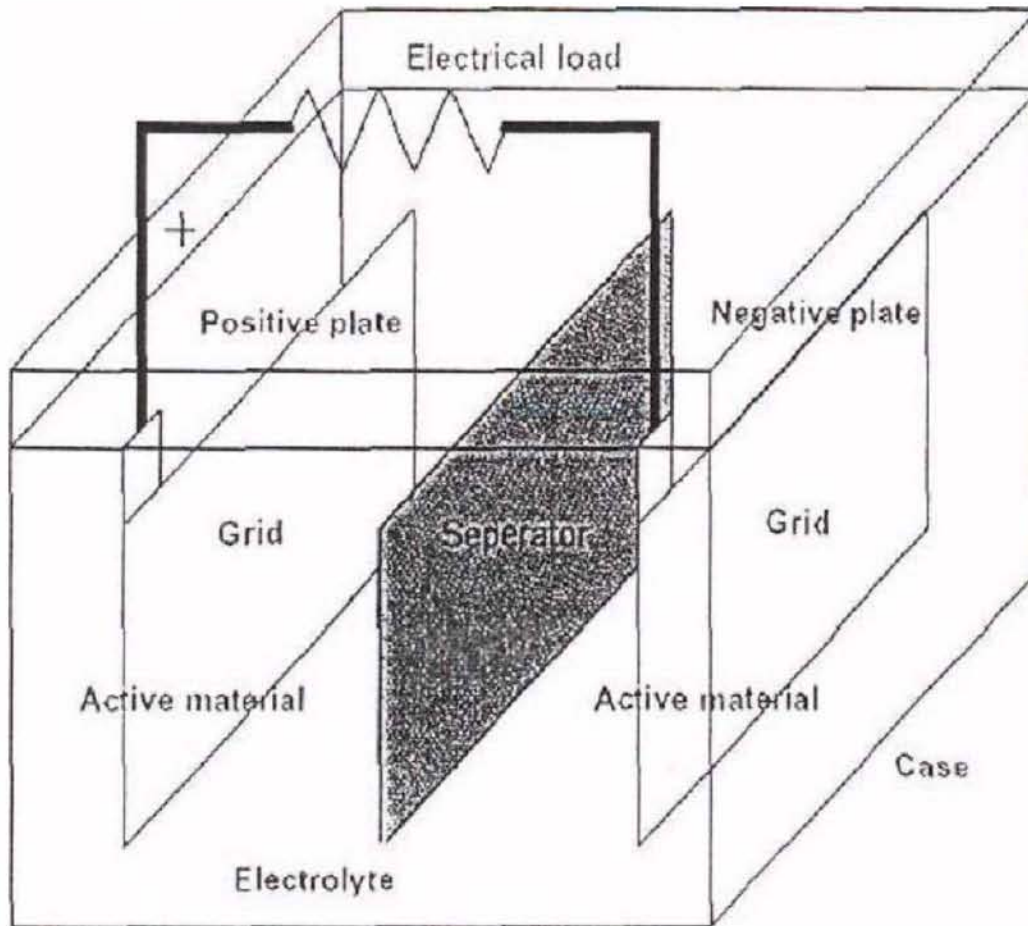
ο χρόνος φόρτισης, η απόδοση, ο χρόνος ζωής, οι θερμοκρασίες λειτουργίας, η συντήρηση και η φιλικότητα στο περιβάλλον.

	Μέγιστα επίπεδα ισχύος	Χρόνος εκφόρτισης	Χρόνος Απόκρισης	Απόδοσης	Χρόνος ζωής
Lead Acid	20MW	6-8 ώρες	<5msec	0,85	5 χρόνια
Σφόνδυλοι	750kW/1650kW	1ώρα/3-120sec	<20msec	0.9/0.93	20 χρόνια
Πυκνωτές Μεγάλης Χωρητικότητας	100kW	10 sec	<5msec	0,9	10.000κύκλοι
Υπεραγώγιμα Πηνία	6-100MW	1sec-5ώρες	<5msec	0,95	30 χρόνια
Πεπιεσμένος Αέρας	220M	μέρες	Sec-min	0.79	30 χρόνια
Αντλίες Νερού	4.000MW	~12 ώρες	min	0.87	30 χρόνια

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά Μονάδων Αποθήκευσης

Κύρια μονάδα αποθήκευσης στα Μικροδίκτυα αποτελούν οι μπαταρίες. Οι μπαταρίες είναι συσκευές που αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια με ηλεκτροχημική μορφή. Η κατασκευή των δευτερογενών συσσωρευτών είναι μία βαριά βιομηχανική διαδικασία που περιλαμβάνει τη χρήση επικίνδυνων και τοξικών ουσιών. Η διαδικασία αυτή είναι συνήθως μαζική και συνδυάζει πλήθος

σειριακών και παραλλήλων επεξεργασιών. Αν και η διαδικασία κατασκευής ποικίλει από κατασκευαστή σε κατασκευαστή, ωστόσο ορισμένα χαρακτηριστικά είναι κοινά σε όλες σχεδόν τις μπαταρίες. Δομική μονάδα του συσσωρευτή είναι το στοιχείο (cell) και μία εποπτική παρουσίαση της μονάδας αυτής δίνεται παρακάτω (Σχήμα 20):



Σχήμα 20: Δομή στοιχείου ενός συσσωρευτή.

Το στοιχείο είναι η βασική ηλεκτροχημική μονάδα της μπαταρίας, συνίσταται από μία θετική και μία αρνητική πλάκα που είναι βυθισμένες σε ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη και περικλείονται σε ένα δοχείο. Με τη βοήθεια του παραπάνω σχήματος θα γίνει μία περιγραφή των συστατικών μερών του στοιχείου ώστε να γίνεται στη συνέχεια, πιο εύκολα και κατανοητά η αναφορά σε σχετικά θέματα.

Ενεργό Υλικό (Active Material): Το ενεργό υλικό από τη θετική και την αρνητική πλάκα είναι ένας συνδυασμός υλικών τα οποία, είναι οι βασικοί συντελεστές της ηλεκτροχημικής αντίδρασης μέσα στην κυψελίδα. Η ποσότητα του ενεργού υλικού σε μία μπαταρία είναι ανάλογη της χωρητικότητας της. Σε μία τυπική μπαταρία μολύβδου, το ενεργό υλικό είναι συνδυασμός διοξειδίου του μολύβδου (PbO_2) στη θετική πλάκα με μεταλλικό πορώδη μόλυβδο (Pb) στην αρνητική, που αντιδρούν σε διάλυμα θεικού οξέος (H_2SO_4) κατά τη λειτουργία της μπαταρίας.

Ηλεκτρολύτης: Ο ηλεκτρολύτης είναι το αγωγίμο μέσο που επιτρέπει τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της ιοντικής ανταλλαγής ή της ανταλλαγής ηλεκτρονίων, επάνω στις πλάκες της κυψελίδας. Στις μπαταρίες μολύβδου είναι διάλυμα θεικού οξέος (H_2SO_4) σε υγρή μορφή ή σε μορφή gel, ενώ στις μπαταρίες νικελίου (Ni) είναι διάλυμα υδροξειδίου του καλίου (KOH). Σε περιπτώσεις σαν

τη δική μας, που ο ηλεκτρολύτης είναι υγρό διάλυμα, συχνά απαιτείται η αναπλήρωση νερού λόγω του φαινομένου της εξαέρωσης.

Πλέγμα (Grid): Σε μία μπαταρία μολύβδου, το πλέγμα συνήθως είναι ένα πλαίσιο από κράμα μολύβδου το οποίο υποστηρίζει το ενεργό υλικό επάνω στις πλάκες και είναι αγωγός ηλεκτρικού ρεύματος. Υλικά κράματος όπως το αντιμόνιο (Sb) ή το ασβέστιο (Ca) συχνά χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν τη μηχανική αντοχή των πλακών και έχουν χαρακτηριστική επίδραση στις επιδόσεις της μπαταρίας. Οι συσσωρευτές του συστήματος έχουν μικρή πρόσμιξη αντιμονίου ($Sb < 3\%$) στα θετικά ηλεκτρόδια, με αποτέλεσμα να μπορούν να λειτουργούν διατηρούμενοι σε άριστη κατάσταση συνεχώς για 3 χρόνια σε λειτουργία ετοιμότητας όταν τις διαπερνάει ρεύμα 2,23 V/cell και βρίσκονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C.

Πλάκες (Plates): Οι πλάκες, που συνίστανται από το πλέγμα και από το ενεργό υλικό, είναι το βασικό στοιχείο της μπαταρίας και συνήθως αναφέρονται ως ηλεκτρόδια. Γενικά, υπάρχει ένα πλήθος αρνητικών και θετικών πλακών, συνδεδεμένων παράλληλα, μέσα σε μία κυψελίδα. Το πάχος τους και η σχέσεις των επιφανειών μεταξύ των αρνητικών και των θετικών πλακών, έχουν καθοριστική επίδραση στα χαρακτηριστικά της μπαταρίας.

Διαχωριστής (Separator): Ο διαχωριστής είναι ένα πορώδες απομονωτικό μέσο μεταξύ των πλακών της μπαταρίας που εμποδίζει την αγωγή επαφή μεταξύ θετικού και αρνητικού ηλεκτροδίου. Σε πολλές περιπτώσεις ο διαχωριστής εφαρμόζεται σαν φάκελος και περικλείει ολόκληρο το ηλεκτρόδιο, εμποδίζοντας τη δημιουργία βραχυκυκλώματος, λόγω των διαχεόμενων υλικών στο κάτω μέρος των πλακών.

Πόλοι ή Τερματικοί Πόλοι (Terminal Poles): Οι πόλοι είναι οι εξωτερικές θετικές ή αρνητικές, ηλεκτρικές συνδέσεις της μπαταρίας. Ένα φορτίο ή ένα φωτοβολταϊκό σύστημα συνδέεται με τη μπαταρία μέσω των πόλων.

Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές είναι ουσιαστικά μετατροπείς χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική, και συνήθως έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν αυτή τη μετατροπή και προς την αντίθετη κατεύθυνση παρέχοντας με άμεσο τρόπο τη δυνατότητα συσσώρευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι κατά την ηλεκτροχημική αυτή διαδικασία ηλεκτρόνια αφαιρούνται από το ενεργό υλικό του ενός ηλεκτροδίου μια αντίδραση που ονομάζεται οξείδωση (oxidation) και ηλεκτρόνια προστίθενται στο ενεργό υλικό του άλλου ηλεκτροδίου η διεργασία αυτή ονομάζεται και αναγωγή (reduction). Η δυνατότητα να αποταμιεύουν ενέργεια ανά πάσα στιγμή ή όχι είναι αυτή που χωρίζει τους συσσωρευτές στις δύο κυριότερες κατηγορίες.

Στην κατηγορία των πρωτογενών (primary) συσσωρευτών ανήκουν αυτοί που έχουν αποθηκευμένη χημική ενέργεια την οποία και μπορούν να την αποδώσουν ως ηλεκτρική, δεν μπορούν όμως να επαναφορτιστούν.

Οι τυπικές μπαταρίες λιθίου που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικές συσκευές ευρείας κατανάλωσης ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία και επειδή δεν μπορούν να επαναφορτιστούν δεν είναι λειτουργικές στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Αυτές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τέτοια συστήματα ανήκουν στην κατηγορία των δευτερευόντων (secondary) συσσωρευτών. Η δυνατότητα τους να επαναφορτίζονται είναι αυτή που τους κάνει κατάλληλους για φωτοβολταϊκά συστήματα και ο πιο συνηθισμένος τύπος τους είναι οι μπαταρίες μολύβδου-οξέως.

3.5.2 Χαρακτηριστικά Μεγέθη

Το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που αποθηκεύεται σε ένα συσσωρευτή μετρείται σε Watt-hours

(Wh ή kilowatt-hours kWh) ενώ το ποσό της χωρητικότητας σε Ampere-hours (Ah).

Ενεργειακή απόδοση = Ενέργεια που προσδίδεται κατά τη φόρτιση / ενέργεια που απαιτείται για πλήρη φόρτιση

Απόδοση φόρτισης = Ah εκφόρτισης / Ah για πλήρη φόρτιση

DOD (depth of discharge) είναι το ποσοστό της χωρητικότητας που έχει αφαιρεθεί από μία πλήρως φορτισμένη μπαταρία, ενώ αντίθετα SOC (state of charge) είναι το ποσοστό της χωρητικότητας που έχει απομείνει.

Έτσι δοσμένου του DOD, το SOC θα δίνεται από τον τύπο:

$$\text{SOC} = 100 - \text{DOD}$$

3.5.3 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Χωρητικότητα

Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας δεν είναι σταθερή. Η ονομαστική χωρητικότητα ορίζεται ως ο αριθμός των μέγιστων Αμπερώριων που μπορεί μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία να αποδώσει κάτω από ορισμένες συνθήκες.

Οι συνθήκες αυτές είναι:

A) Το ρεύμα ή αντίστοιχα ο ρυθμός με τον οποίο πραγματοποιείται η εκφόρτιση.

B) Η θερμοκρασία της μπαταρίας.

Γ) Η τελική τάση στην οποία η μπαταρία εκφορτίζεται (End Voltage).

3.5.4 Τύποι Συσσωρευτών

Σήμερα, υπάρχει μεγάλη ποικιλία επαναφορτιζόμενων μπαταριών διαθέσιμων εμπορικά και πολύ περισσότερες στη φάση σχεδιασμού. Ακολουθεί ένας συνοπτικός κατάλογος συστημάτων των κύριων τύπων μπαταριών που έχουν χρησιμοποιηθεί ή έχουν προταθεί για τις εφαρμογές ενεργειακής αποθήκευσης.

Οι μπαταρίες οξειδίων μολύβδου είναι χαρακτηριστικά ανέξοδες και μπορούν να παραχθούν για μεγάλες δυναμικότητες που απαιτούνται συχνά για ενεργειακή αποθήκευση.

Οι μπαταρίες Νικελίου καδμίου (Ni-Cd) έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής σε στάσιμες εφαρμογές και είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές σε κακή μεταχείριση. Το κόστος τους είναι μάλλον ψηλό και αυτό περιορίζει τις εφαρμογές.

Οι μπαταρίες Nickel - metal Hydride (NiMH) αποτελούν μια νέα τεχνολογία που χρησιμοποιείται τελευταία ευρέως σε φορητές εφαρμογές. Πρόσφατα έχουν δαπανηθεί πολλά χρήματα για την εξέλιξη των τεχνολογιών για ηλεκτρικά οχήματα. Το βασικό πλεονέκτημα των NiMH απέναντι στις

Ni-Cd είναι η μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα.

□ Το θειικό νάτριο (NaS) είναι μια τεχνολογία που λειτουργεί σε υψηλές θερμοκρασίες σχεδόν 300°C κάτι που επιβάλλει μεγάλες απαιτήσεις για λειτουργία και συντήρηση. Τα NaS έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, υψηλή αποδοτικότητα φόρτισης-εκφόρτισης, μακροχρόνια διάρκεια ζωής και είναι φιλικά προς το περιβάλλον.

□ Οι μπαταρίες λιθίου (Li-Ion) είναι ο νεότερος τύπος και μπαταριών και είναι πολύ διαφορετικός από τους άλλους. Είναι μη υδατικοί και η χημεία τους είναι απλά η μετάβαση των ιόντων λιθίου από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο μέσω ενός οργανικού ηλεκτρολύτη, που παρεμβάλλεται στη μικροδομή των ηλεκτροδίων.

3.5.5 Άλλες Μονάδες Αποθήκευσης

□ Μηχανές υψηλής στρεφόμενης αδράνειας – Flywheel

Οι μηχανές υψηλής στρεφόμενης αδράνειας (ή σφόνδυλοι) είναι ταχέως περιστρεφόμενοι δίσκοι ή κύλινδροι που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση κινητικής ενέργειας, που μετατρέπεται εύκολα σε ηλεκτρική με τη σύζευξη τους σε μια γεννήτρια. Η πρόσφατη ανάπτυξη της υπεραγωγίμης έδρασης, ελαττώνει την τριβή, που υπήρχε στα έδρανα στήριξης του σφονδύλου, με αποτέλεσμα να μπορεί να αποθηκευτεί ενέργεια της τάξης των 10kWh. Η υπεραγωγίμη έδραση αποτελείται από έναν μόνιμο μαγνήτη, αιωρούμενο πάνω από μια σταθερή θέση, πάνω από ένα υπεραγωγό. Οι σφόνδυλοι, που εκμεταλλεύονται την υπεραγωγίμη έδραση βασίζονται στη ιδιότητα των υπεραγωγών να αποκλείουν την δίοδο της μαγνητικής ροής από το εσωτερικό τους, δρώντας σαν διαμαγνητικά υλικά. Σε έναν υπεραγωγό εμφανίζεται βόρειος πόλος όταν πλησιάζουμε τον βόρειο πόλο κάποιου μόνιμου μαγνήτη. Κατ' επέκταση αναπτύσσεται μια απωστική δύναμη μεταξύ του μόνιμου μαγνήτη και του υπεραγωγού, που αυξάνεται όσο μικραίνει η απόστασή τους. Έτσι δημιουργείται μια ευσταθής κατάσταση αιώρησης κατά τη διεύθυνση μαγνήτισης.

Για να επιτύχουμε ευστάθεια και στην άλλη κάθετη διεύθυνση ο υπεραγωγός δημιουργεί κοιλότητα μέσα στην οποία εισέρχεται ο μόνιμος μαγνήτης. Όσο η κατανομή της μαγνητικής ροής δεν αλλάζει στον υπεραγωγό, η περιστροφή του μόνιμου μαγνήτη δεν συναντά αντίσταση.

Έχουν εύρος ισχύος από 40kW έως 1,6MW, για 5 δευτερόλεπτα μέχρι 120 δευτερόλεπτα. Τέλος όταν συνδυάζονται με γεννήτριες μπορούν και ικανοποιούν τις ανάγκες αιχμής ενός Μικροδικτύου και τις διακυμάνσεις που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα παρεχόμενης ενέργειας.

□ Πυκνωτές Μεγάλης Χωρητικότητας – Super Capacitor

Είναι μεγάλης χωρητικότητας ηλεκτροχημικές συσκευές οι οποίες αποθηκεύουν ενέργεια με ηλεκτροστατικό τρόπο. Αποτελούνται από δυο ηλεκτρόδια που τοποθετούνται πολύ κοντά. Η αποθηκευμένη ενέργεια εξαρτάται από τις διαστάσεις της επιφάνειάς τους. Η αποθηκευμένη ενέργεια εμφανίζεται σαν ένα συνεχές πεδίο και απαιτείται ένας μετατροπέας για την διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης. Έχουν μεγάλο βάθος εκφόρτισης και μπορούν να αντεπεξέλθουν πολύ γρήγορα όταν υπάρχει εναλλαγή φορτίου σε ένα Μικροδίκτυο. Αυτό γιατί μπορούν να ανταποδώσουν σημαντική ποσότητα ενέργειας σε μικρό χρόνο.

Οι τιμές χωρητικότητάς τους είναι των εκατοντάδων Farad, αρκετές φορές μεγαλύτερες από τις συμβατικές μπαταρίες. Η απόδοσή τους είναι της τάξης του 85% με 98% σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και υγρασίας. Υπάρχουν στο εμπόριο συσκευές της τάξης των 2 MVA και με δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας της τάξης των 400kJ.

Οι πυκνωτές μεγάλης χωρητικότητας είναι ιδανικοί για εφαρμογές με κυψέλες καυσίμου γιατί μπορούν και δρουν συμπληρωματικά. Οι κυψέλες καυσίμου λειτουργούν κατά συνεχή τρόπο παρέχοντας αδιάλειπτα ενέργεια, ενώ οι πυκνωτές μπορούν και καλύπτουν τις αιχμές ενέργειας.

□ Υπεραγώγιμα πηνία

Η μαγνητική ενέργεια αποθηκευμένη σε υπεραγώγιμα πηνία χρησιμοποιείται όταν χρειαζόμαστε μεγάλη ισχύ (της τάξης των MW) σε μικρό χρονικό διάστημα της τάξης των μερικών δευτερολέπτων. Η ενέργεια αποθηκεύεται σε έναν ηλεκτρομαγνήτη, που δημιουργείται από τη ροή συνεχούς ρεύματος σε ένα πηνίο από υπεραγώγιμα υλικά. Η φόρτιση και εκφόρτιση του πηνίου επιτυγχάνεται με ελεγχόμενους μετατροπείς ισχύος. Για να διατηρηθεί το πηνίο σε υπεραγώγιμη κατάσταση εμβαπτίζεται σε υγρό ήλιο στην θερμοκρασία των 4.2° K (-269° C), σε ένα κρυογεννητικό δοχείο με μόνωση κενού. Η τεχνική ανάπτυξη βελτίωσε τον έλεγχο της κρυογεννητικής και τα έκανε πιο ανταγωνιστικά στη μαζική παραγωγή σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα πλεονεκτήματά τους. Η δυναμική τους απόδοση είναι εξαιρετική, έχοντας πολύ μικρούς χρόνους ανταπόκρισης (ms). Τα υπεραγώγιμα πηνία είναι περισσότερο κατάλληλα για εφαρμογές που η αποθηκευμένη ενέργεια απαιτείται για μερικά δευτερόλεπτα, με απαιτήσεις ισχύος 1 - 2 MW.

□ Πεπιεσμένος Αέρας – Αντλίες – Υδρογόνο

Η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί στην μορφή πεπιεσμένου αέρα, αποθήκευσης νερού μέσω αντλιών ή παραγωγής υδρογόνου για τη χρήση σε κυψέλες καυσίμου. Ο πεπιεσμένος αέρας αποθηκεύεται και μετά χρησιμοποιείται μέσω ενός στροβίλου για την παραγωγή ενέργειας με ηλεκτρομηχανική μετατροπή. Με παρόμοιο έμμεσο τρόπο μπορεί να αποθηκεύεται νερό στην περίσσεια ενέργειας και μετά χρησιμοποιείται σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Το νερό αντλείται σε ταμειυτήρες υψηλότερης στάθμης και όταν χρειάζεται ενέργεια, οι κινητήρες άντλησης χρησιμοποιούνται ως γεννήτριες, παρέχοντας ισχύ στο μικροδίκτυο. Τέλος η ενέργεια μπορεί να είναι αποθηκευμένη στη μορφή καυσίμου για χρήση σε κυψέλες καυσίμου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΙΣΧΥΟΣ

4.1 Ηλεκτρονικοί Μετατροπείς Ισχύος Μικροδικτύων

Έναν από τους βασικότερους ρόλους στη λειτουργία του Μικροδικτύου βασίζεται στους ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος. Η χρήση των μετατροπέων ισχύος αφορά στην μετατροπή του συνεχούς ρεύματος και της τάσης σε εναλλασσόμενο (DC-AC) καθώς και την μετατροπή συνεχούς σε συνεχές (DC-DC). Ανάλογα με τον έλεγχο που χρησιμοποιείται στους μετατροπείς ώστε να διατηρούνται τα χαρακτηριστικά των δικτύων τόσο στο κύριο δίκτυο (δημόσιο δίκτυο) όσο και στην αυτόνομη χρήση (island mode), διακρίνονται οι εξής κατηγορίες μονάδων και μετατροπέων:

- Μονάδες που διαμορφώνουν το δίκτυο (grid forming units).
- Μονάδες υποστήριξης δικτύου (grid supporting unit).
- Μονάδες που είναι σε παραλληλία με το δίκτυο (grid parallel unit).

Οι μονάδες που διαμορφώνουν το δίκτυο ελέγχουν την τάση και τη συχνότητα δημιουργώντας εξισορρόπηση μεταξύ ισχύος παραγωγής και ζήτησης. Συνήθως η μονάδα που έχει αυτό το ρόλο είναι κάποια γεννήτρια ή ο αντιστροφέας των συσσωρευτών. Μονάδες υποστήριξης είναι οι μονάδες που η ενεργός και η άεργος ισχύς τους καθορίζεται από τις χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης και συχνότητας. Τέλος οι μονάδες σε παραλληλία με το δίκτυο οι μονάδες που περιλαμβάνουν τα φορτία καθώς και μη ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής ή μετατροπής.

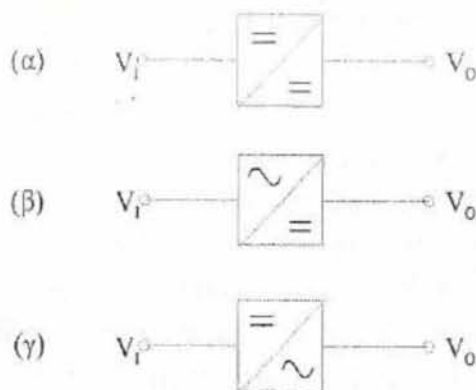
4.2 Αντιστροφείς Φωτοβολταϊκών

Η διαχείριση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τη Φ/Β συστοιχία, απαιτεί την παρεμβολή κατάλληλων ηλεκτρονικών συσκευών, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της μεταφοράς της ενέργειας κατά τον οικονομικότερο τρόπο καθώς και την προστασία του συσσωρευτή (αν υπάρχει στο Μικροδίκτυο). Από λειτουργικής πλευράς δύο είναι οι βασικές ηλεκτρονικές διατάξεις: Ο ελεγκτής διαδικασίας φόρτισης - εκφόρτισης (charge controller) και οι μετατροπείς τάσεως.

4.2.1 Μετατροπείς (converters) DC - DC, DC - AC και AC - DC

Πρόκειται για ηλεκτρονικές διατάξεις μετατροπής

- α) συνεχούς ρεύματος σε συνεχές (DC - DC converter), οποιασδήποτε τάσης
- β) συνεχόμενου ρεύματος σε εναλλασσόμενο (DC - AC converter) οποιοδήποτε πλάτους και
- γ) εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή (AC - DC converter)



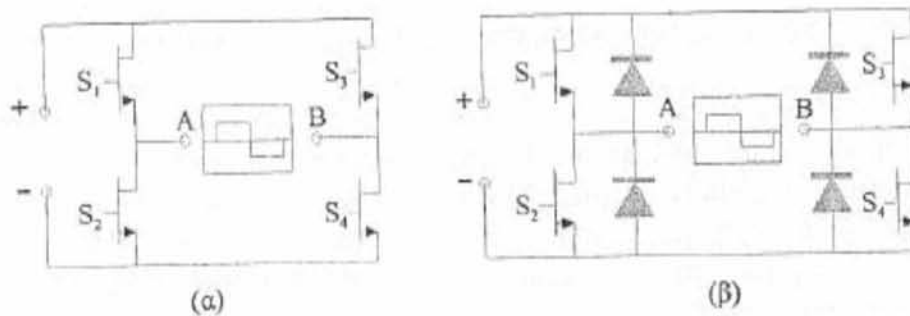
Σχήμα 21: Συμβολικές παραστάσεις των τριών τύπων μετατροπέων (α) συνεχούς τάσεως σε συνεχή, (β) εναλλασσόμενης σε συνεχή και (γ) συνεχούς σε εναλλασσόμενη. Το σχήμα δείχνει τις συμβολικές ηλεκτρολογικές παραστάσεις των τριών τύπων μετατροπέων

Αν έχουμε ένα μετατροπέα, αυτός μπορεί να αποτελεί χωριστή μονάδα ή να αποτελεί τμήμα ελεγκτή φόρτισης αν είναι μόνος του είτε σε συνδυασμό με άλλους τύπους αντίστοιχα. Στην περίπτωση μας η λειτουργία του είναι να προσαρμόζει την τάση του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με την τάση του συστήματος αποθήκευσης έτσι ώστε να εκμεταλλευτούμε στο έπακρο την διαθέσιμη ΦΒ ηλεκτρική ενέργεια. Η παραπάνω διαδικασία θυμίζει αυτή της μετατροπής του εναλλασσόμενου ρεύματος σε εναλλασσόμενο διαφορετικού πλάτους μέσω μετασχηματιστή, όπου η παρουσία του δεν είναι απαραίτητη στην περίπτωση του μετατροπέα και η οποία βασίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής. Εκεί, το κύκλωμα εξόδου είναι ηλεκτροστατικά μονωμένο από το κύκλωμα εισόδου. **A)** Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε συνεχή (DC - DC). Με τη χρήση υψίσυχων διακοπτικών κυκλωμάτων, τα οποία μετατρέπουν συνεχή τάση σε συνεχή, μεγαλύτερης ή μικρότερης τιμής ανάλογα με τις απαιτήσεις, επιτυγχάνουμε τη μετατροπή μιας συνεχής τάσης V_1 , σε συνεχή V_0 . Με την παραπάνω μονάδα έχουμε και μείωση των καταναλώσεων στη γραμμή μεταφοράς από τον χώρο της παραγωγής, στο χώρο της αποθήκευσης. Όπως γνωρίζουμε, τα ΦΒ πλαίσια συνδέονται σε σειρά και παράλληλα αν υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις, ώστε η παραγόμενη σε αυτά ηλεκτρική ενέργεια να μεταφέρεται με την υψηλότερη δυνατή τάση σε επιτρεπτά όρια, με αποτέλεσμα να έχουμε χαμηλό ρεύμα στη γραμμή μεταφοράς και αντίστοιχα χαμηλές απώλειες μεταφοράς ενέργειας. Οι τάσεις εξόδου μεγαλύτερες των 600 V, δεν επιτρέπονται. Όταν ο μετατροπέας βρίσκεται στο χώρο των συσσωρευτών, προσαρμόζει την τάση της συστοιχίας, στην τάση του συσσωρευτή. Έτσι έχουμε πλήρης εκμετάλλευση της ενέργειας και επιπροσθέτως δεν δημιουργούνται συνθήκες υπέρτασης του συσσωρευτή. Στα συστήματα αυτά έχουμε απόδοση συνήθως μεταξύ 85% και 95%. Η διάταξη παρακολούθησης σημείου μέγιστης ισχύος όπως ονομάζεται, είναι στην ουσία ένας μικροελεγκτής, ο οποίος ενσωματώνεται στη παραπάνω διάταξη, ελέγχοντας και επιβάλλοντας την προσαρμογή του σημείου λειτουργίας του συστήματος παραγωγής ενέργειας με το σημείο μέγιστης ισχύος το οποίο το καθορίζουν οι επικρατούσες συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

B) Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε εναλλασσόμενη (DC - AC). Το εναλλασσόμενο ρεύμα έχει επικρατήσει σε κάθε είδους οικιακές χρήσεις και εφαρμογές, καθώς και στη βιομηχανία.

Τρεις είναι οι τρόποι με τους οποίους μπορούμε να μετατρέψουμε το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο: **α)** Με συνδυασμό κινητήρα συνεχούς ρεύματος με γεννήτρια εναλλασσόμενου **β)** Με χρήση μηχανικού ή ηλεκτρονικού διακοπτικού συστήματος μαζί με μετασχηματιστή **γ)** Με τον καθαρά ηλεκτρονικό μετατροπέα. Ο μετατροπέας χρησιμοποιείται ευρέως σε περιπτώσεις που

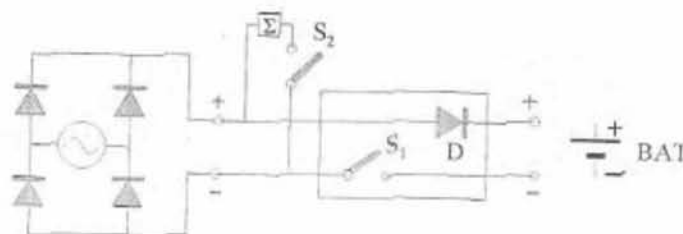
διαθέτουμε πηγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσεως και χρήσης εναλλασσόμενης όπως στις Φ/Β εφαρμογές οικιακής χρήσεως. Η συνδυασμένη λειτουργία των ηλεκτρονικών του διακοπών έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σειράς τετραγωνικών παλμών διαδοχικά ορθών και ανεστραμμένων [16].



Σχήμα 22: (α) Βασική αρχή λειτουργίας του inverter. S1, S2, S3, S4 = διακοπτικά στοιχεία. Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο επιτυγχάνεται με κλείσιμο – άνοιγμα των διακοπτικών στοιχείων, ανά δύο χιαστί (1,4 και 2,3). Όσο τα S1, S4 είναι αγώγιμα και τα S2, S3 σε αποκοπή, τα σημεία A και B έχουν πρόσημα – και + αντίστοιχα.

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η εναλλασσόμενη τετραγωνική τάση (κέντρο διαγράμματος). Στο προηγούμενο κύκλωμα προστίθεται, σε κάθε διακοπτικό στοιχείο, από μία διόδος, ώστε να αποκόπτεται η επιστρεφόμενη ισχύς από μη ωμικά φορτία κατανάλωσης. Η απόδοσή τους είναι αρκετά υψηλή, από 93% - 96%, η οποία εξαρτάται από το ποσοστό του πλήρους φορτίου που τροφοδοτεί. Η υψηλή αυτή απόδοση απαιτείται όχι μόνο όταν τροφοδοτείται το πλήρες φορτίο αλλά και όταν αυτό είναι μειωμένο. Γενικά το χαρακτηριστικό ενός μετατροπέα είναι η υψηλή απόδοση ακόμα και όταν το φορτίο είναι μόνο 10% του πλήρους.

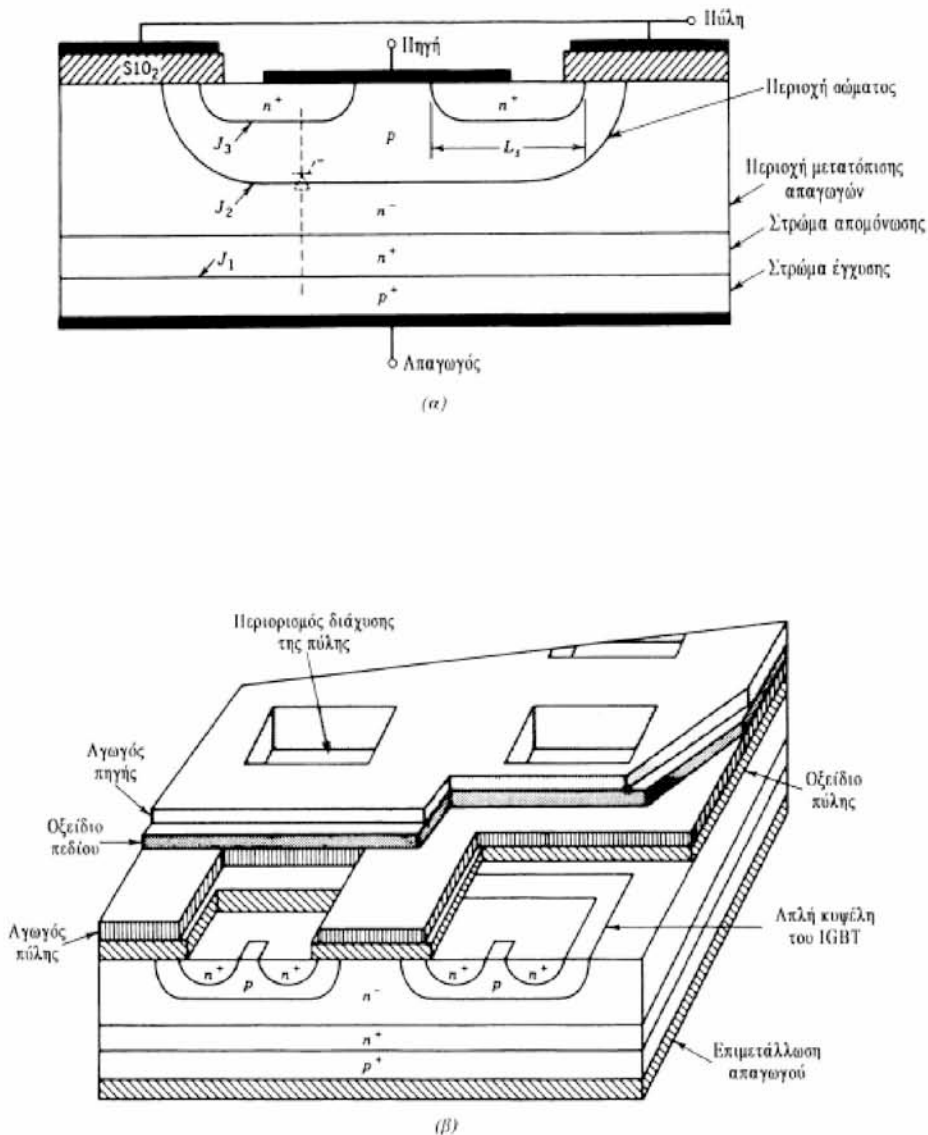
Γ) Μετατροπέας εναλλασσομένου ρεύματος σε συνεχές. Η διάταξη αυτή συνδυάζει ένα σύστημα ανόρθωσης της παρεχόμενης από την ενεργειακή πηγή, ηλεκτρικής τάσης, μονοφασικής ή τριφασικής μορφής, χωρίς την παρεμβολή μετασχηματιστή, με μια διάταξη μετατροπής συνεχούς ρεύματος σε συνεχές. Η διάταξη αυτή περιλαμβάνει μια ανορθωτική μονάδα σε συνδυασμό με ένα μετατροπέα DC – DC όπως φαίνεται στο Σχήμα 23:



Σχήμα 23: Το αριστερό τμήμα του διαγράμματος είναι απλά ένας ανορθωτής με διόδους σε διάταξη γέφυρας, για τη μετατροπή του εναλλασσομένου ρεύματος σε συνεχές. Το δεξιό τμήμα είναι ένας DC – DC inverter για τη μετατροπή της συνεχούς τάσεως σε συνεχή, διαφορετικής τιμής. S1, S2, διακοπτικά συστήματα, D = διόδος αντεπιστροφής. Σ = ελεγχόμενο στοιχείο στο οποίο εκλύεται το επί πλέον φορτίο.

4.3 Διπολικά τρανζίστορ με μονωμένη πύλη (IGBT)

Το βασικότερο στοιχείο μιας διάταξης μετατροπέα ή αντιστροφέα ισχύος είναι τα τρανζίστορς τα οποία χρησιμοποιούνται για την μετατροπή της τάσης εισόδου από τις πηγές, είτε σε άλλης στάθμης συνεχή τιμή (DC/DC) είτε σε εναλλασσόμενη (DC/AC). Η μετατροπή αυτή στηρίζεται στις διακοπτικές ικανότητες των ντρανζίστορ ισχύος. Διάφοροι τύποι τρανζίστορ χρησιμοποιούνται ανάλογα με τις απαιτήσεις των εφαρμογών. Τα IGBT αποτελούν ένα συνδυασμό των MOSFET ισχύος και των διπολικών τρανζίστορ επαφής (BJT), δηλαδή τις ταχείες μεταβάσεις από την κατάσταση αποκοπής σε κατάσταση αγωγιμότητας των πρώτων και τις μικρές απώλειες κατά την αποκοπή μεγάλων τάσεων των δεύτερων.



Σχήμα 24: Κατακόρυφη τομή και προοπτική άποψη ενός IGBT.

Τυπικοί χρόνοι μετάβασης από κατάσταση αποκοπής σε κατάσταση αγωγιμότητας είναι της τάξεως του 1μsec, ενώ για την μετάβαση αυτή δεν απαιτείται παρά μόνο μια μικρή τάση της τάξεως των 2-3 Volt στην πύλη. Τα IGBT μπορούν να διαχειριστούν μεγάλες τάσεις και ρεύματα που σήμερα φτάνουν τα 1700 volt και τα 1200A.

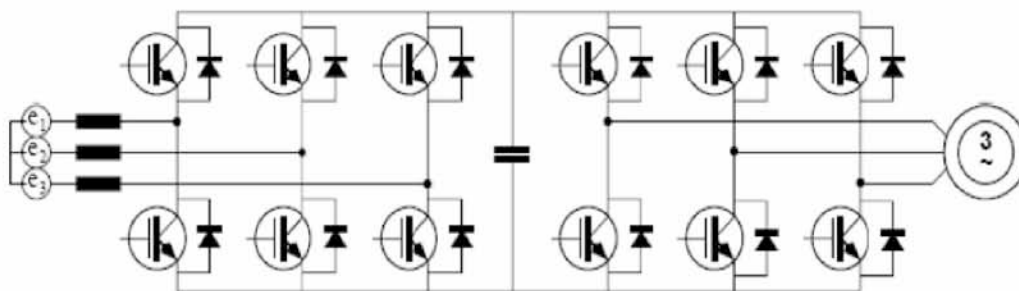
Στο IGBT ο έλεγχος της ροής ρεύματος μεταξύ πηγής (source) και απαγωγού (drain) γίνεται από την πύλη (gate). Ο ακροδέκτης της πηγής είναι κοινός μεταξύ της εισόδου και της εξόδου. Για την μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη τα IGBT χρησιμοποιούνται ως διακόπτες, παράγοντας παλμούς τάσης μεταβλητής διάρκειας ώστε να σχηματιστεί στην έξοδο της γέφυρας η ημιτονοειδής κυματομορφή. Στο πιο κάτω σχήμα φαίνονται οι χαρακτηριστικές ρεύματος τάσης καθώς και το κυκλωματικό σύμβολο του IGBT.

4.4 Αντιστροφείς Ανεμογεννητριών

Αντίστοιχα και στις ανεμογεννήτριες οι τοπολογίες διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος τις ανεμογεννήτριας που χρησιμοποιείται στο σύστημα. Οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται είναι με [17]:

- **Γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη:** έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζονται ρεύμα εξωτερικής διέγερσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας ανορθωτής γέφυρας συνδεδεμένος στους τερματικούς ακροδέκτες της γεννήτριας. Οι τοπολογίες που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- **Γέφυρα με thyristor:** έχει το μειονέκτημα ότι απαιτείται ένας ενεργός αντισταθμιστής για την άεργο ζήτηση και για την αρμονική παραμόρφωση.
- **Αντιστροφείς πηγής τάσης:** χρησιμοποιώντας την μέθοδο διαμόρφωσης του εύρους των παλμών (Pulse Width Modulation).
- **Αντιστροφείς πηγής τάσης με ένα επιπλέον στάδιο DC-DC ενδιάμεσα:** έχει πολλά πλεονεκτήματα και το βασικότερο πλεονέκτημα είναι η διατήρηση της συνεχούς τάση στην είσοδο του μετατροπέα και έτσι δεν απαιτείται να ελέγχει ο μετατροπέας την τάση εισόδου του.
- **Back-to-back PWM:** συνηθισμένη είναι η χρήση ενός ανορθωτή έξι στοιχείων και στη συνέχεια ενός αντιστροφέα. Και οι δυο μετατροπείς αυτοί είναι με εξαναγκασμένη μετάβαση, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



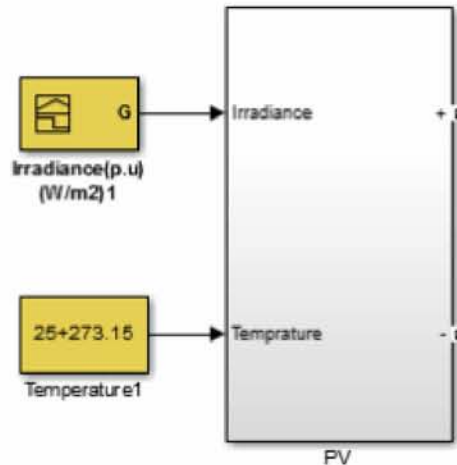
Σχήμα 25: Τοπολογία back-to-back για ανεμογεννήτριες

- **Επαγωγικές γεννήτριες:** η τοπολογία που χρησιμοποιείται είναι η εξής:
 - **Back-to-back PWM:** όπως περιγράφηκε παραπάνω για τις γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη, μονό που αλλάζει ο τρόπος που γίνεται ο έλεγχος.
 - **Επαγωγικές γεννήτριες διπλού τυλίγματος:** χρησιμοποιούνται κυρίως για εφαρμογές και παραγωγή της τάξεως των MW. Βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι μπορούν και να λειτουργούν σε συνθήκες μεγαλύτερες από τις ονομαστικές χωρίς να υπερθερμαίνονται. Οι βασικές τοπολογίες που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:
 - **Kramer Drive:** αποτελείται από έναν ανορθωτή διόδων από την πλευρά του ρότορα και έναν μετατροπέα οδηγούμενο από το δίκτυο από την πλευρά του δικτύου. Με αυτό τον τρόπο η ισχύς ολίσθησης μετατρέπεται σε μηχανική ισχύ. Η τοπολογία των διόδων μπορεί να αντικατασταθεί με μετατροπέα με thyristor.
 - **Back-to-back PWM:** όπως περιγράφηκε παραπάνω για τις γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη, μονό που αλλάζει ο τρόπος που γίνεται ο έλεγχος.
- **Σύγχρονες γεννήτριες:** η τοπολογία που χρησιμοποιείται είναι η εξής:
 - **Back-to-back PWM:** όπως περιγράφηκε παραπάνω για τις γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη, μονό που αλλάζει ο τρόπος που γίνεται ο έλεγχος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ

5.1 Το Φωτοβολταϊκό Πάνελ



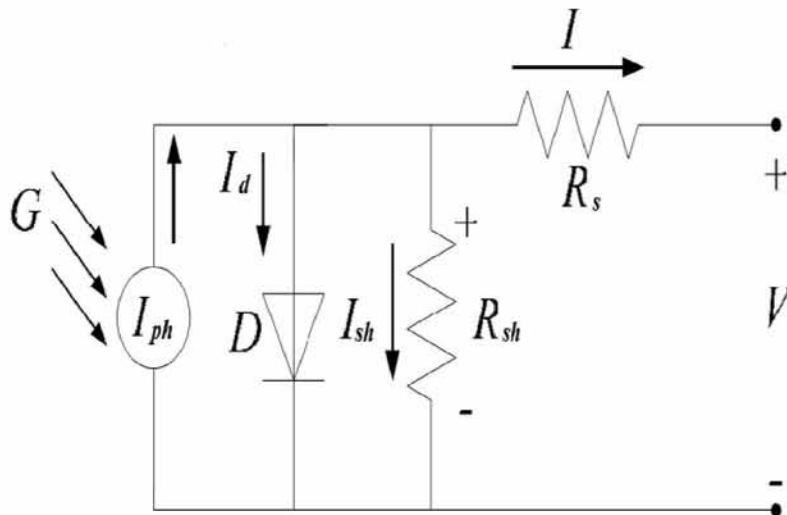
Σχήμα 26: Αναπαράσταση του Φ/Β στο Simulink

Το απλούστερο ισοδύναμο κύκλωμα ενός ηλιακού κυττάρου είναι μία πηγή ρεύματος παράλληλη σε μία δίοδο. Το ρεύμα που παρέχει η πηγή ρεύματος είναι ανάλογο με την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο φωτοβολταϊκό κύτταρο. Η δίοδος καθορίζει την I- V χαρακτηριστική του ηλιακού κυττάρου. Επίσης πρέπει να γνωρίζουμε ότι κατά τη διάρκεια του σκότους, τα ηλιακά κύτταρα λειτουργούν σαν δίοδοι.

Στην παρούσα διπλωματική το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε περιγράφεται από την μαθηματική εξίσωση:

$$I = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{V + I * R_s}{k * T * N_s}} - 1 \right) - \frac{V + I * R_{sh}}{R_p}$$

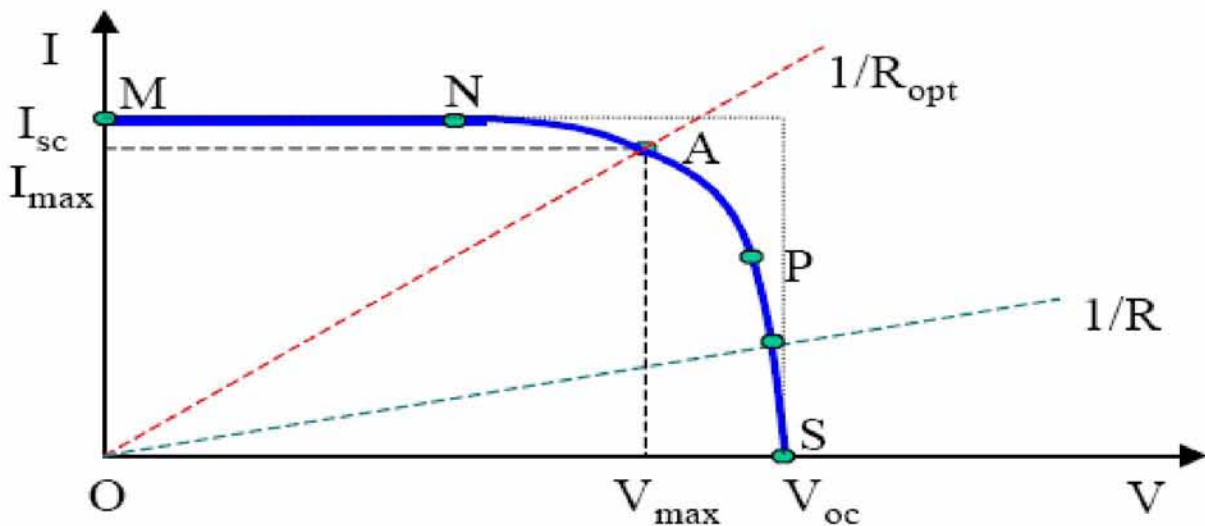
και το ισοδύναμο κύκλωμα φαίνεται στο Σχήμα 27:



Σχήμα 27: Ηλεκτρικό Ισοδύναμο του ηλιακού κυττάρου

Το μοντέλο περιέχει μία πηγή ρεύματος I_{ph} (φωτόρευμα), μία δίοδο, μια αντίσταση εν παραλλήλω R_{sh} και μία αντίσταση σειράς R_s .

Η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης ενός Φ/B που δέχεται συγκεκριμένη ακτινοβολία και έχει σταθερή θερμοκρασία παρουσιάζεται στο Σχήμα 28.



Σχήμα 28: Χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης

5.2 Προσδιορισμός των τιμών της εξίσωσης του Φ/B

Όλες οι σταθερές των εξισώσεων καθορίζονται από τα φυλλάδια (datasheets) των κατασκευαστών των φωτοβολταϊκών πλαισίων και μετά την μέτρηση των I-V χαρακτηριστικών τους. Στην παρούσα

διπλωματική χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο SunPower SPR-305-WHT των 305 Watt για να καθοριστούν οι σταθερές των παραπάνω εξισώσεων. Το ρεύμα I_{ph} είναι ευθέως ανάλογο με την ακτινοβολία G (W/m^2). Όταν το ηλιακό κύτταρο είναι βραχυκυκλωμένο, το ρεύμα που διαρρέει την δίοδο είναι αμελητέο. Επομένως το I_{ph} είναι ίσο με το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} . Για το SPR-305 $I_{sc} = 5.96$ A για 1 Sun (συνήθως 1 Sun = $1000 W/m^2$) και $T = 25$ °C.

Επίσης μια εκτίμηση πρέπει να γίνει και για τον συντελεστή ποιότητας n . Στη βιβλιογραφία έχει διατυπωθεί ότι η τιμή του κυμαίνεται ανάμεσα στο 1 και στο 2 και βρίσκεται κοντά στο 1 για μεγάλα ρεύματα και πλησιάζει προς το 2 για μικρά ρεύματα. Η τιμή $n = 1.3$ έχει προταθεί για κανονικές συνθήκες, και είναι αυτή που χρησιμοποιείται στην παρούσα διπλωματική.

Η εν σειρά αντίσταση έχει μεγάλη επίδραση στην κλίση της I-V καμπύλης στο σημείο $V = V_{oc}$.

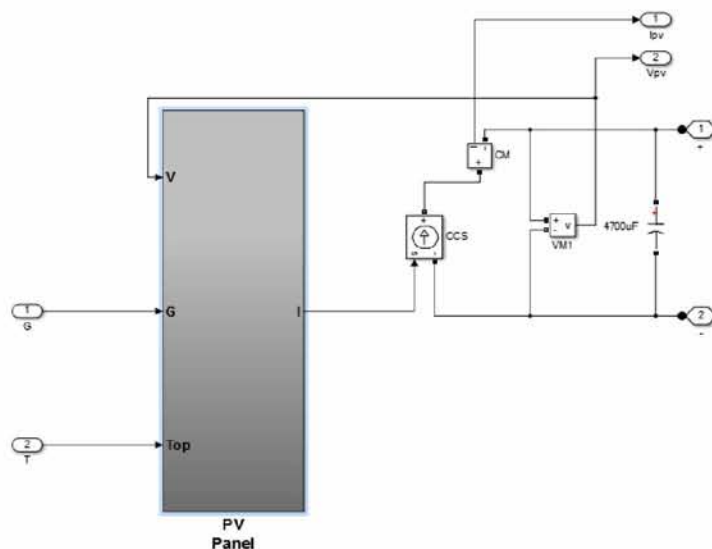
Βάσει φυλλαδίου κατασκευαστή για SPR-305 η εν σειρά αντίσταση παίρνει την τιμή $R_s = 0.038$ Ω. Το SPR-305 WHT, ένα τυπικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο των 305 Watt, αποτελείται από 96 πολυκρυσταλλικά κύτταρα συνδεδεμένα σε σειρά. Τα βασικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον Πίνακα 5 όπως αυτός αναγράφεται στο φυλλάδιο του κατασκευαστή:

Electrical Data		
Measured at Standard Test Conditions (STC): irradiance of $1000 W/m^2$, air mass 1.5 g, and cell temperature 25 °C		
Peak Power (+/-5%)	P_{max}	305 W
Rated Voltage	V_{mp}	54.7 V
Rated Current	I_{mp}	5.58 A
Open Circuit Voltage	V_{oc}	64.2 V
Short Circuit Current	I_{sc}	5.96 A
Maximum System Voltage	IEC, UL	1000 V, 600 V
Temperature Coefficients		
	Power	-0.38% / °C
	Voltage (V_{oc})	-176.6 mV/°C
	Current (I_{sc})	3.5 mA/°C

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικές τιμές του Φ/Β πάνελ SPR-305 WHT, όπως αυτές αναγράφονται στο φυλλάδιο του κατασκευαστή.

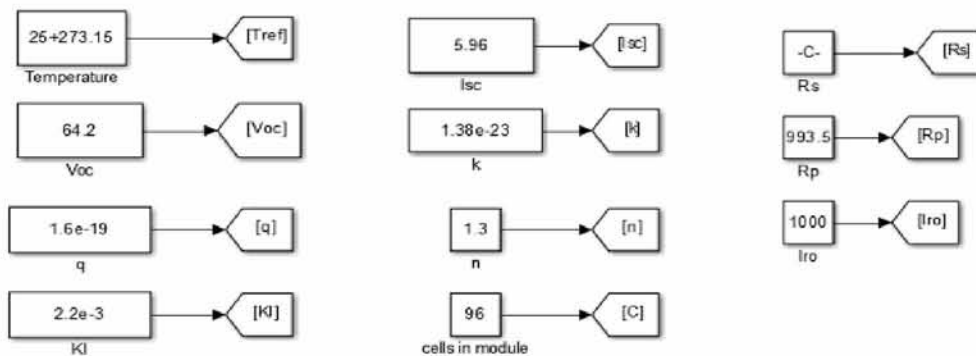
5.3 Υλοποίηση του μοντέλου Sunpower SPR-305 (Φ/Β πάνελ) στο Simulink

Όπως προκύπτει μετά από σχεδιασμό και υλοποίηση στο Simulink, το μοντέλο του Φ/Β φαίνεται στο Σχήμα 29:



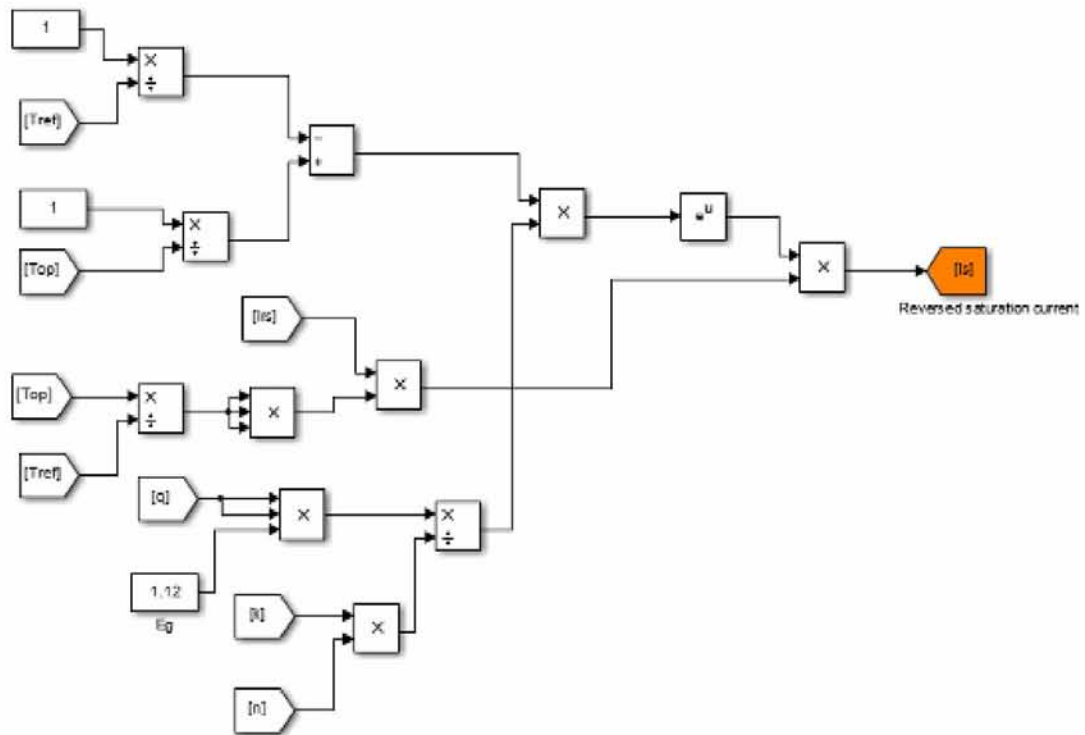
Σχήμα 29: Μπλοκ διάγραμμα φωτοβολταϊκού με εισόδους

Οι σταθερές που χρησιμοποιήθηκαν στις μαθηματικές εξισώσεις φαίνονται παρακάτω σαν εισόδοι (blocks) στα μοντέλα του Simulink στο Σχήμα 30:



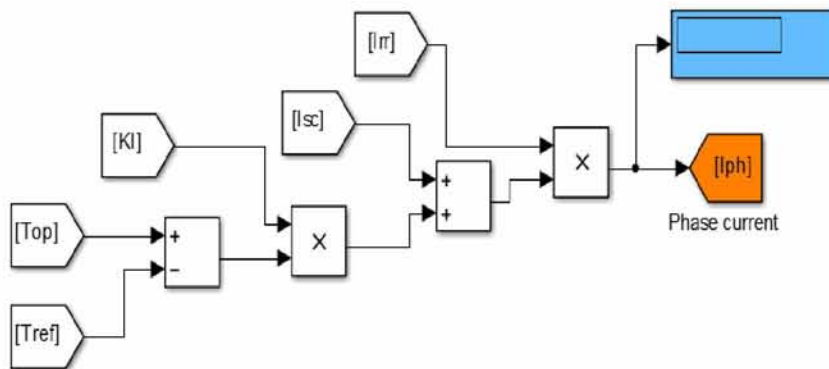
Σχήμα 30: Blocks εισόδου τιμών στα μαθηματικά μοντέλα του Simulink

Ακολουθεί ανάλυση των επιμέρους εξισώσεων της μαθηματικής εξίσωσης που χρησιμοποιήθηκε. Πιο αναλυτικά, στο Σχήμα 31 βλέπουμε μοντέλου του ρεύματος I_s (Reversed Saturation):



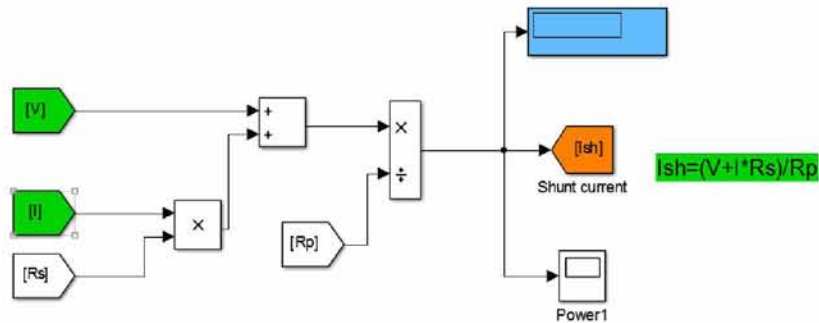
Σχήμα 31: Μαθηματικό μοντέλο ρεύματος I_s (Reversed Saturation Current)

Το μοντέλο που περιγράφεται στο Σχήμα 32 αφορά στο ρεύμα I_{ph} , δηλαδή το ρεύμα που δημιουργείται από την ανάκλαση του φωτός:



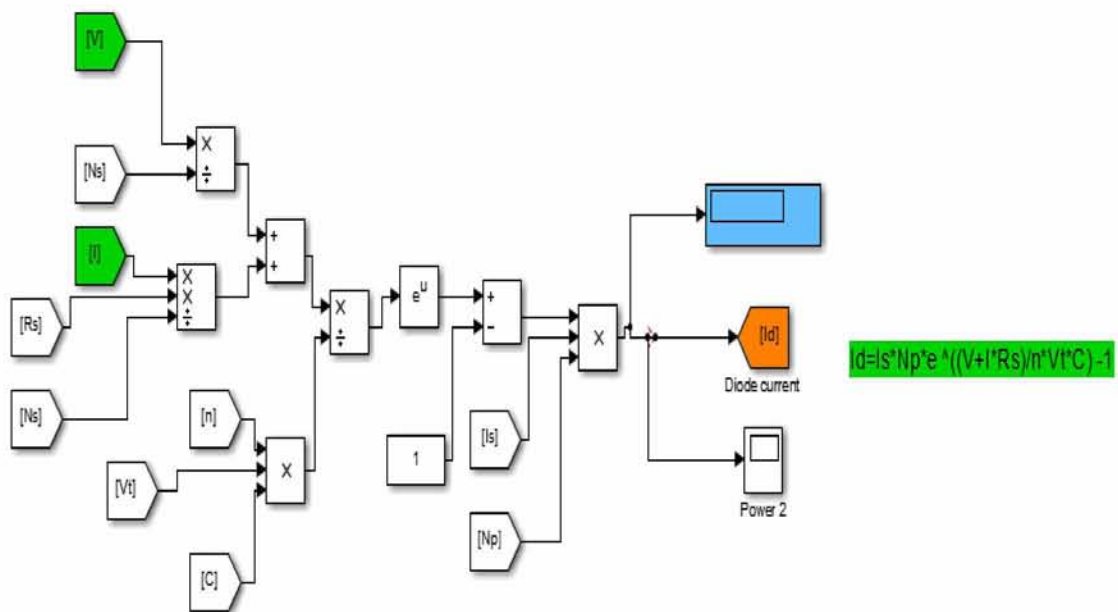
Σχήμα 32: Μαθηματικό μοντέλο ρεύματος I_{ph} (Phase Current)

Το ρεύμα που διαρρέει την Shunt αντίσταση, δηλαδή την παράλληλη Rsh αντίσταση αναφέρεται ως Ish στο Σχήμα 33:



Σχήμα 33: Μαθηματικό μοντέλο ρεύματος Ish (Shunt Current)

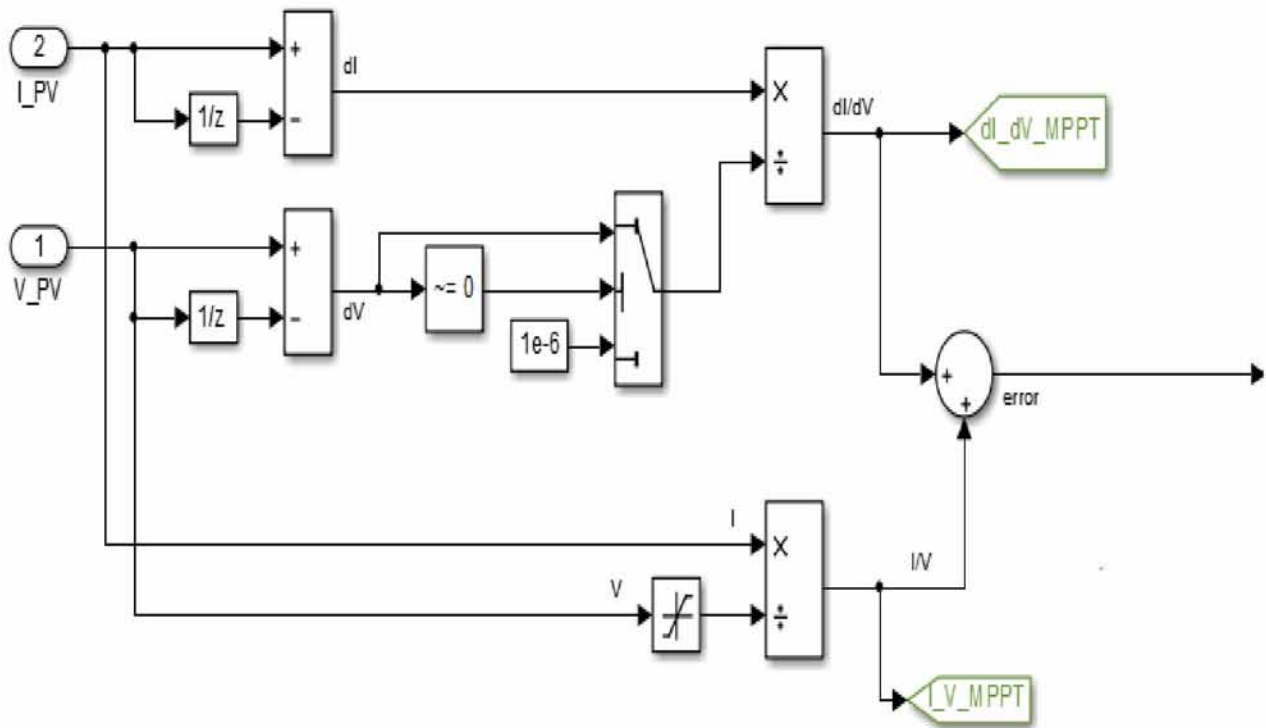
Το ρεύμα διόδου I_d το οποίο ισούται με την μαθηματική εξίσωση $I_d = (V + I * R_s) / R_{sh}$ περιγράφεται από το παρακάτω μαθηματικό μοντέλο του Σχήματος 34:



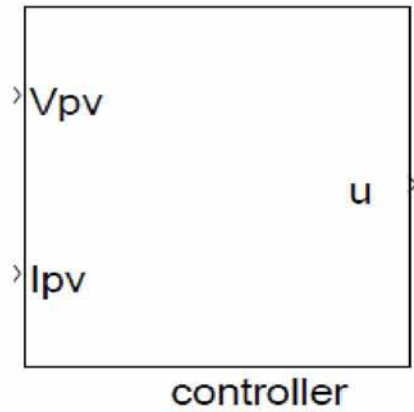
Σχήμα 34: Μαθηματικό μοντέλο ρεύματος Id (Diode Current)

5.4 MPPT Controller

Εχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι ανίχνευσης του σημείου απόδοσης μέγιστης ισχύος για τα φωτοβολταϊκά συστήματα με σκοπό την μεγιστοποίηση της ηλεκτρικής ισχύος που παράγουν. Αυτές οι μέθοδοι διαφέρουν σε διάφορα σημεία: απλότητα, ταχύτητα σύγκλισης, χρήση αναλογικών ή ψηφιακών τεχνικών, απαίτηση χρήσης αισθητήρων, κόστος και άλλα. Στην παρούσα διπλωματική προτάθηκε η μέθοδος Διαταραχής και Παρατήρησης (Perturb and Observe Method). Η μέθοδος P&O λειτουργεί μεταβάλλοντας περιοδικά (αυξάνοντας ή ελαττώνοντας) την τάση ή το ρεύμα του Φ/Β πλαισίου και συγκρίνει στη συνέχεια την ηλεκτρική ισχύ που παράγει με αυτή του προηγούμενου κύκλου. Εάν με τη μεταβολή της τάσης η παρεχόμενη ισχύς αυξάνεται (dP/dV), το σύστημα ελέγχου συνεχίζει να μεταβάλλει το σημείο λειτουργίας προς την ίδια κατεύθυνση. Διαφορετικά το σύστημα ελέγχου μεταβάλλει το σημείο λειτουργίας προς την αντίθετη κατεύθυνση. Ο ελεγκτής που χρησιμοποιεί τη μέθοδο Perturb and Observe έχει ως εισόδους την τάση και το ρεύμα του φωτοβολταϊκού πλαισίου και ως έξοδο τη θέση του διακόπτη του DC/DC μετατροπέα ισχύος. Ο έλεγχος όμως με MPPT control είναι χρήσιμος σε απότομες αλλαγές παραμέτρων εισόδου, κάτι που επιλέχθηκε να μη γίνει. Ακολουθούν οι εικόνες των εισόδων και των εξόδων του ελεγκτή καθώς επίσης και ο τρόπος που υλοποιήθηκε στο Simulink.



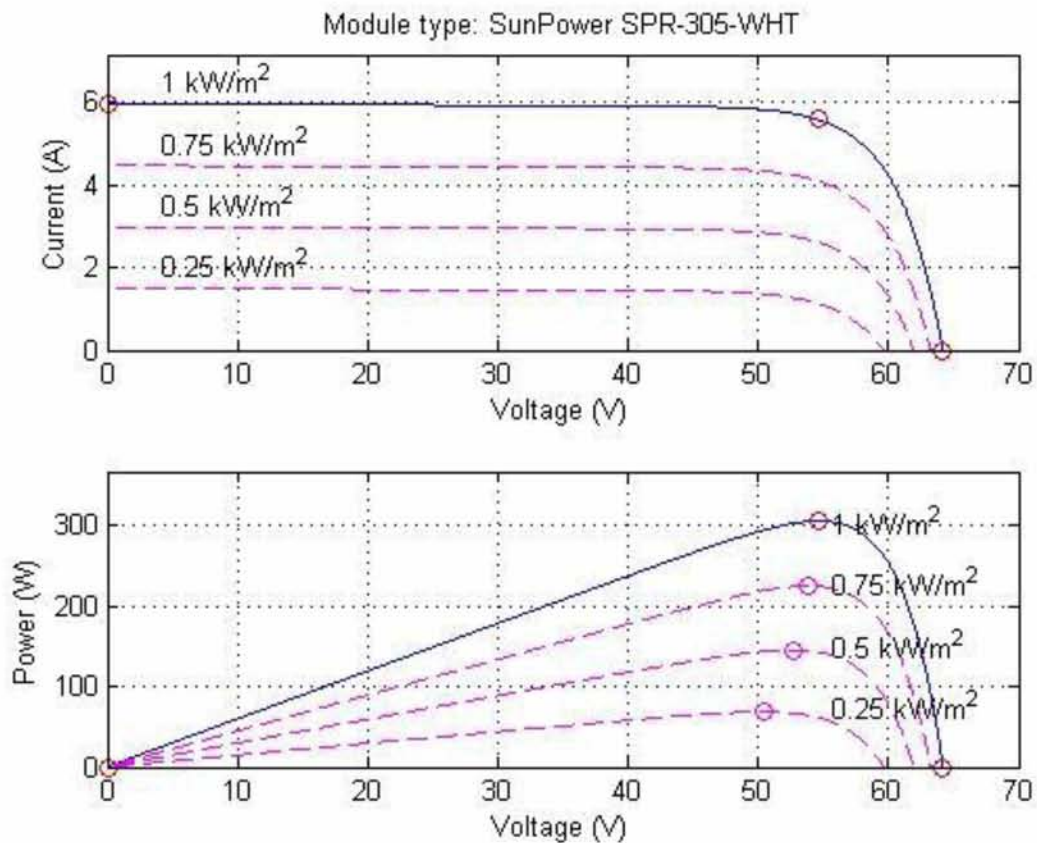
Σχήμα 35: Μοντέλο προσομοίωσης MPPT controller στο Simulink



Σχήμα 36: Είσοδοι και έξοδοι του ελεγκτή που χρησιμοποιεί τη μέθοδο P&O

5.5 Χαρακτηριστικές καμπύλες Φ/B στο Simulink

Ακολουθεί η γραφική παράσταση των χαρακτηριστικών καμπυλών I-V και P-V του πάνελ SunPower SPR-305WHT χωρίς φορτίο για τις τιμές 1000, 750, 500 και 250 W/m² ακτινοβολίας και



την θερμοκρασία του περιβάλλοντος στους 25 βαθμούς Κελσίου (Σχήμα 37):

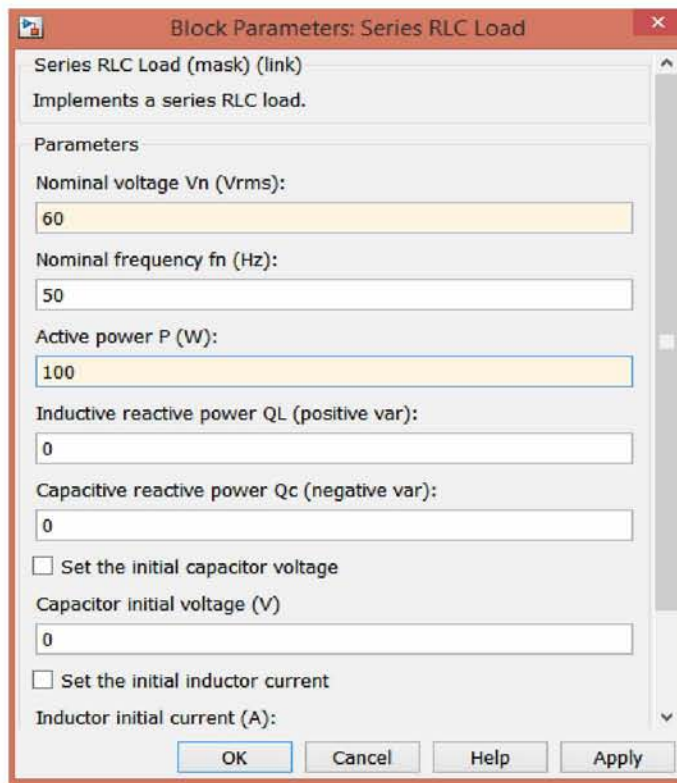
Σχήμα 37: Χαρακτηριστικές καμπύλες I-V και P-V για διαφορετικές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας στο Φ/B πάνελ SunPower SPR-305 -WHT

5.6 Σενάρια Προσομοίωσης

Ακολουθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σεναρίων σύνδεσης σε AC και DC φορτίο των Φ/Β πάνελ.

5.6.1 Σύνδεση σε DC φορτίο

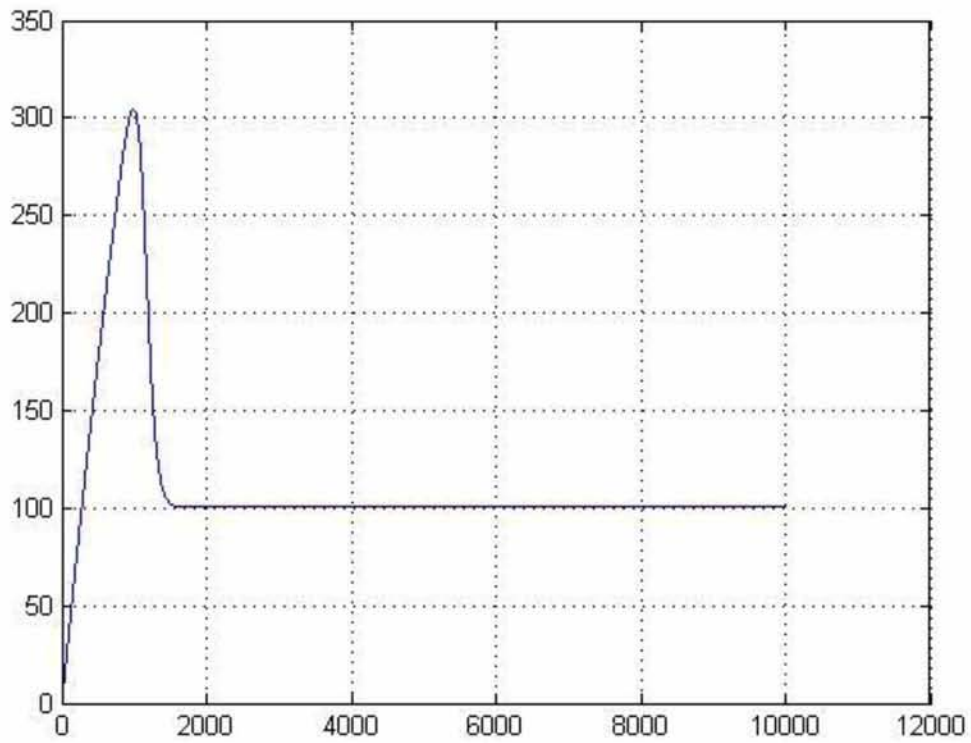
Ρυθμίζουμε το φορτίο DC το οποίο θα ακολουθεί το πάνελ μας σε μια εν σειρά αντίσταση:



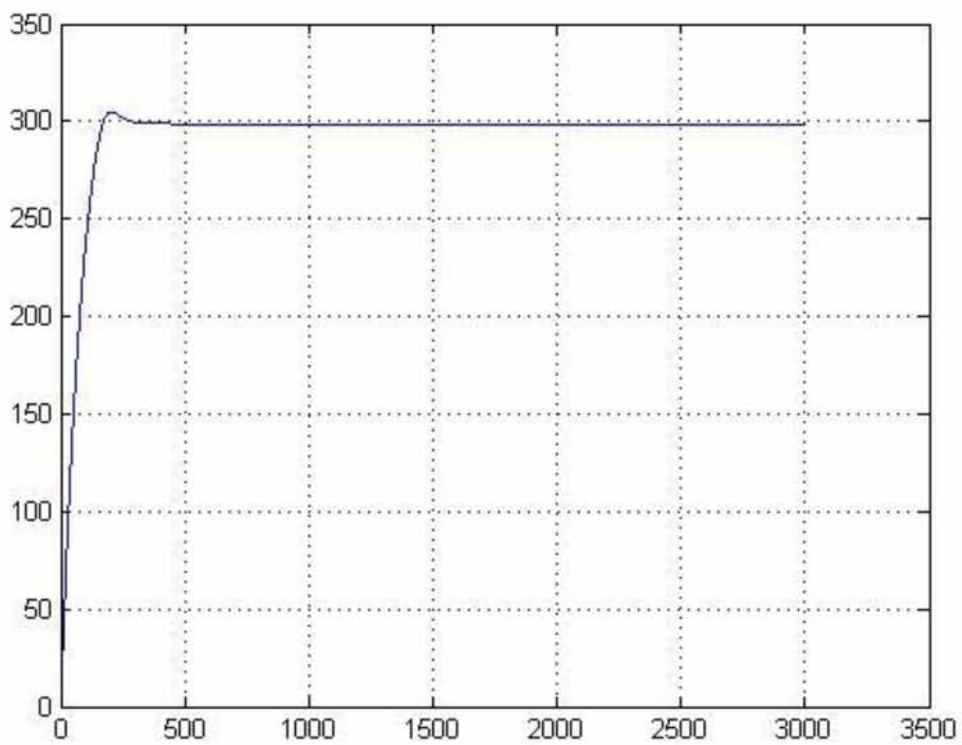
Σχήμα 38: Ρύθμιση παραμέτρων του Load DC φορτίου (αντίσταση R) στο Simulink

Οι επιθυμητές τιμές ανάλυσης είναι τα 100 και τα 300 Watt.

Στα 100 watt το πάνελ φτάνει οριακά στη μέγιστη ισχύ του, και στην steady-state κατάσταση καλύπτει το φορτίο ζήτησης των 100 watt όπως φαίνεται και στο Σχήμα 39. Όταν το load φορτίο είναι στα 300 watt δηλαδή οριακά στην τιμή την οποία το πάνελ αποδίδει τη μέγιστη ισχύ του, στην transient ανάλυση η ισχύς απόδοσης του πάνελ φτάνει τα 305 Watt και στην steady-state κατάσταση σταθεροποιείται στα 292 Watt δηλαδή οριακά στην τιμή ζήτησης του φορτίου όπως φαίνεται στο Σχήμα 40:



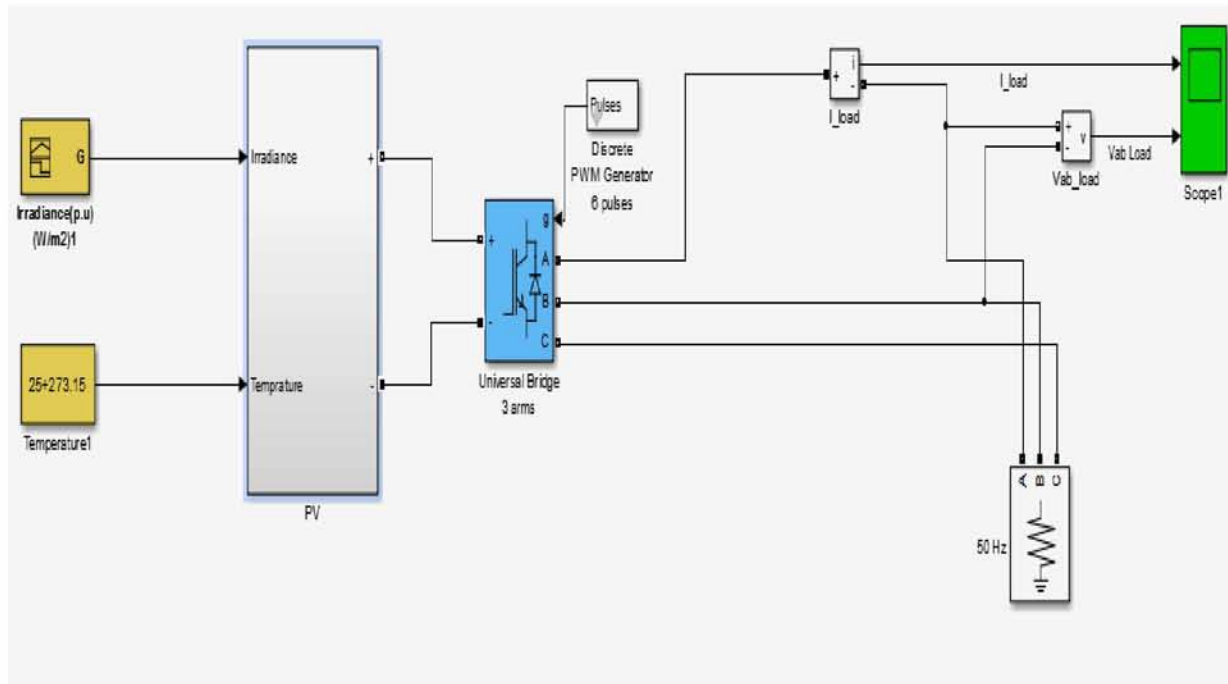
Σχήμα 39: Γραφική παράσταση DC φορτίου 100 Watt στο Φ/Β SPR-305



Σχήμα 40: Γραφική παράσταση DC φορτίου 300 Watt στο Φ/Β SPR-305

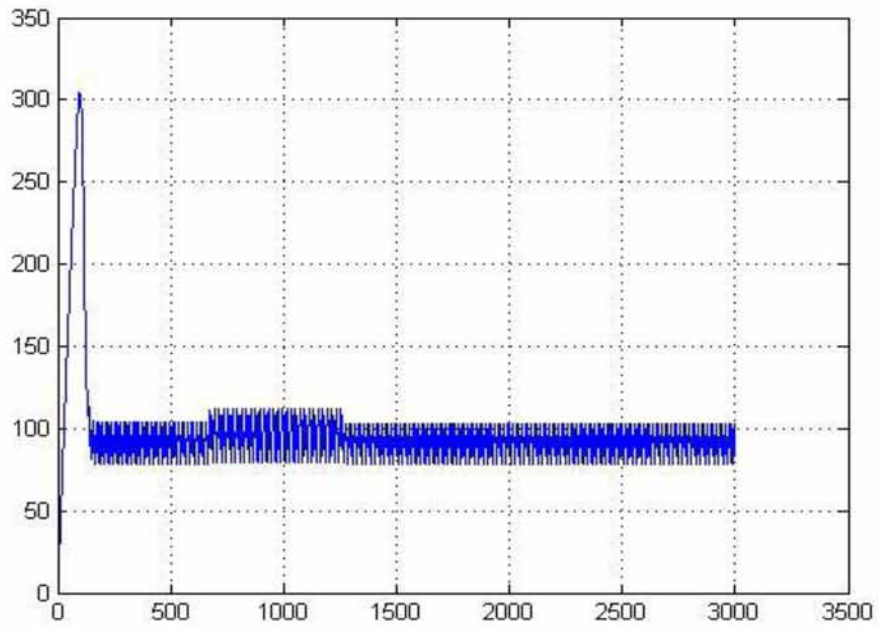
5.6.2 Σύνδεση σε AC φορτίο

Το μοντέλο του πάνελ συνδεδεμένο σε ένα AC φορτίο περιγράφεται από ένα μοντέλο το οποίο περιέχει τον IGBT αντιστροφέα DC-AC παρουσιάζεται στο Σχήμα 42:

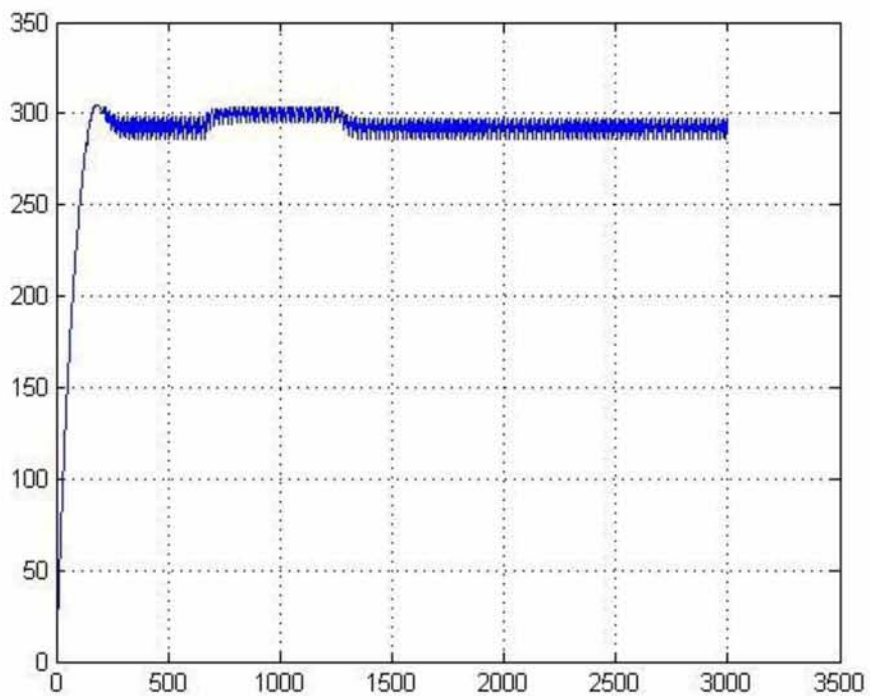


Σχήμα 42: Μοντέλο Φ/Β πάνελ SPR-305-WHT συνδεδεμένο μέσω IGBT αντιστροφέα σε φορτίο AC

Αντίστοιχα και για AC φορτίο, επιθυμητές τιμές ανάλυσης επιλέχθηκαν τα 100 και 300 Watt. Στην περίπτωση των 100 Watt το πάνελ είχε τη γραφική παράσταση ισχύος του Σχήματος 43. Ενώ στην περίπτωση των 300 Watt τη γραφική παράσταση του Σχήματος 44. Τέλος όταν επιλέξαμε μια αρκετά μεγάλη τιμή σε σχέση με τη μέγιστη τιμή απόδοσης του πάνελ, το φωτοβολταϊκό μας δεν απέδωσε ούτε οριακά τη μέγιστη τιμή του.



Σχήμα 43: Γραφική παράσταση AC φορτίου 100 Watt στο Φ/B SPR-305



Σχήμα 44: Γραφική παράσταση AC φορτίου 300 Watt στο Φ/B SPR-305

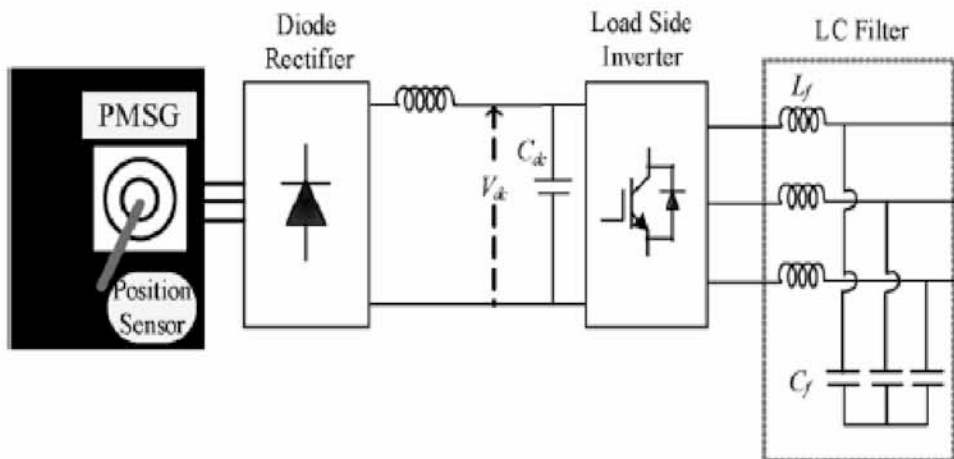
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

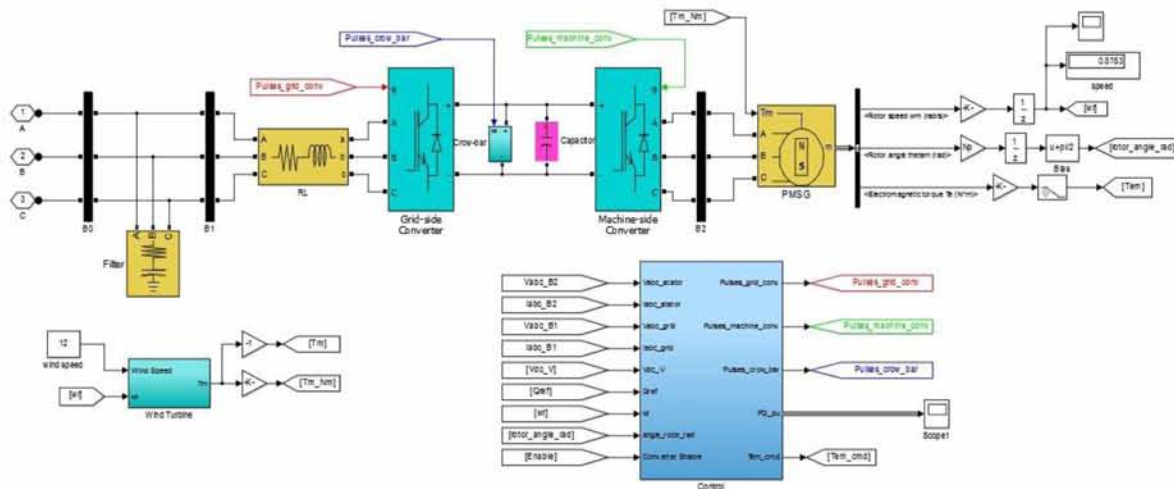
6.1 Το Μοντέλο της Ανεμογεννήτριας

Στις εφαρμογές της αιολικής ενέργειας, ανεμογεννήτριες διάφορων ταχυτήτων είναι γνωστές λόγω της ικανότητάς τους να εγκλωβίζουν περισσότερη ενέργεια από τον άνεμο χρησιμοποιώντας τον MPPT αλγόριθμο και βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα.

Στις μέρες μας, οι DFIG γεννήτριες είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες γεννήτριες σε συστήματα Α/Γ. Στην περίπτωση των DFIG ωστόσο, υπάρχει η ανάγκη να χρησιμοποιηθεί ένα κουτί ταχυτήτων το οποίο θα συγχρονίζει την ταχύτητα του ρότορα και της τουρμπίνας. Το κουτί ταχυτήτων όμως αρκετές φορές υποφέρει από σφάλματα και χρειάζεται συντήρηση. Η αξιοπιστία των Α/Γ έτσι, μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά χρησιμοποιώντας μια σύγχρονη γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη (PMSG). Πολλά ερευνητικά άρθρα προτείνουν τη χρήση σύγχρονων γεννητριών μόνιμου μαγνήτη (PMSG) σε ανεμογεννήτριες διότι είναι αυτοδιεγειρούμενες, έχουν υψηλό συντελεστή ισχύος και λειτουργούν σε υψηλή απόδοση. Ο στάτης των γεννητριών μόνιμου μαγνήτη αποτελείται από συμβατικό τριφασικό τύλιγμα και ο δρομέας τους από ένα σύστημα πόλων μαγνήτη το οποίο μπορεί να είναι έκτυπο ή κύλινδροι. Τέλος οι ανεμογεννήτριες με σύγχρονες γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη μπορούν να παράγουν ισχύ σε οποιαδήποτε ταχύτητα και επομένως να δουλέψουν σε μεταβλητές ταχύτητες.



Σχήμα 45: Μπλοκ διάγραμμα εξόδου της Α/Γ



Σχήμα 46: Μοντέλο εσωτερικού Α/Γ με σύγχρονη γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη στο Simulink

6.2 Χαρακτηριστικές εξισώσεις Α/Γ

Όπως περιγράψαμε και στο κεφάλαιο 3, η κινητική ενέργεια δίνεται από τη σχέση:

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$

M = Μάζα του αέρα

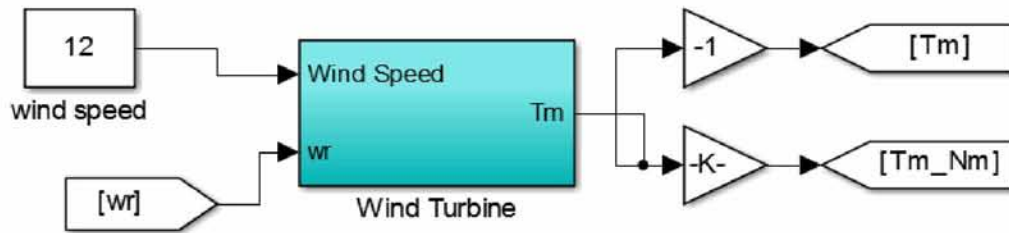
V = Ταχύτητα του ανέμου

p = Πυκνότητα του αέρα

s = Η επιφάνεια που καλύπτεται από την τουρμπίνα

Η ισχύς του ανέμου δίνεται από τη σχέση:

$$P = E = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} p S v^3$$



Σχήμα 47: Μπλοκ τουρμπίνας στο Simulink (Wind Turbine Mask)

Η αεροδυναμική ισχύς της Α/Γ (P_m) δίνεται από τη σχέση:

$$P_m = 0.5 C_p (\lambda, \beta) \rho A_v^3$$

Όπου ρ η πυκνότητα του αέρα και A η

V = Ταχύτητα του ανέμου

C_p = Συντελεστής ισχύος

β = Pitch angle

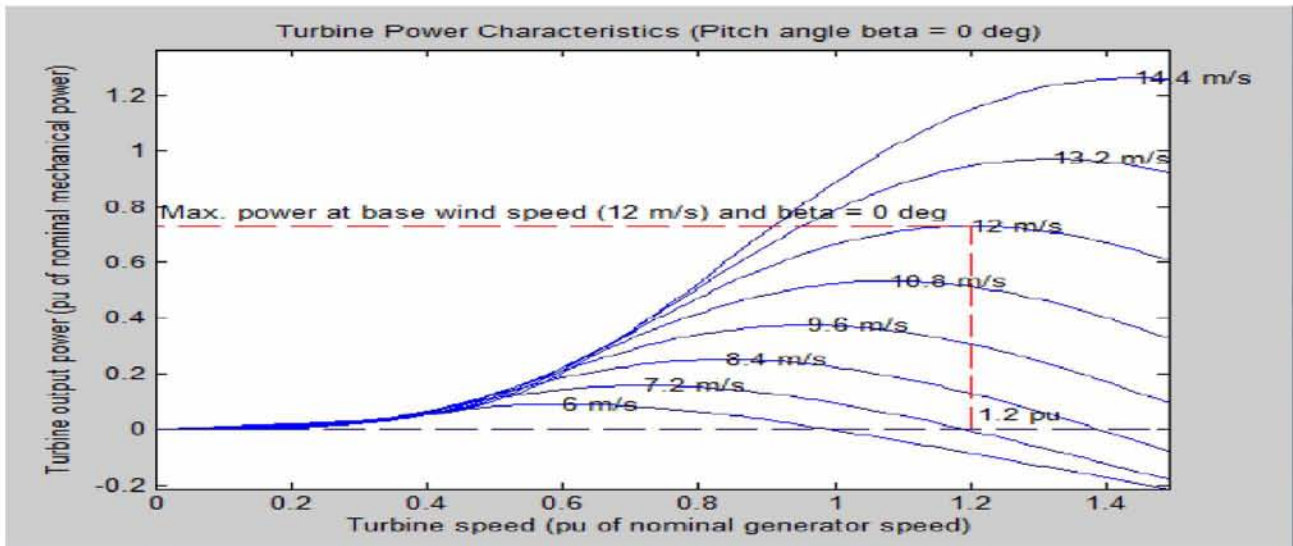
λ = Tip speed ratio $\lambda = R \cdot \omega_m / V$

ω_m = Η ταχύτητα του ρότορα

Για τον συντελεστή ισχύος της Α/Γ ισχύει:

$$C_p (\lambda, \beta) = C_1 \left(\frac{C_2}{\lambda_i} - C_3 \beta - C_4 \right) e^{\frac{-C_5}{\lambda_i}} + C_6 \lambda$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \left[\frac{1}{\lambda + 0.089} - \frac{0.035}{\beta^2 + 1} \right]$$

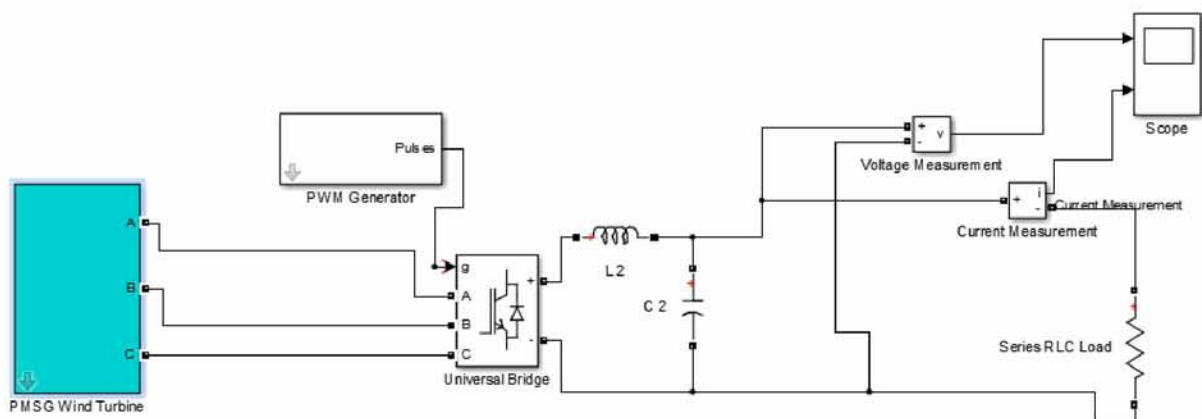


Σχήμα 48: Χαρακτηριστικές καμπύλες ισχύος γεννήτριας

6.3 Σενάρια Προσομοίωσης

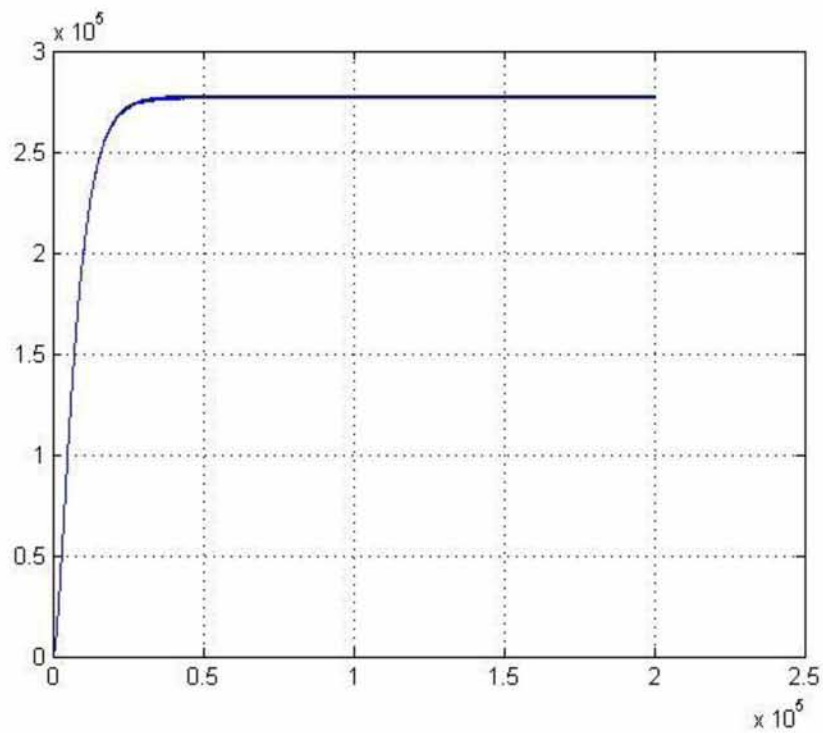
6.3.1 Σύνδεση A/Γ σε φορτίο DC

Στο Σχήμα 49 φαίνεται το μοντέλο της PMSG A/Γ (575 L-L Voltage) συνδεδεμένο μέσω ενός IGBT και του LC φίλτρου, στο DC φορτίο.

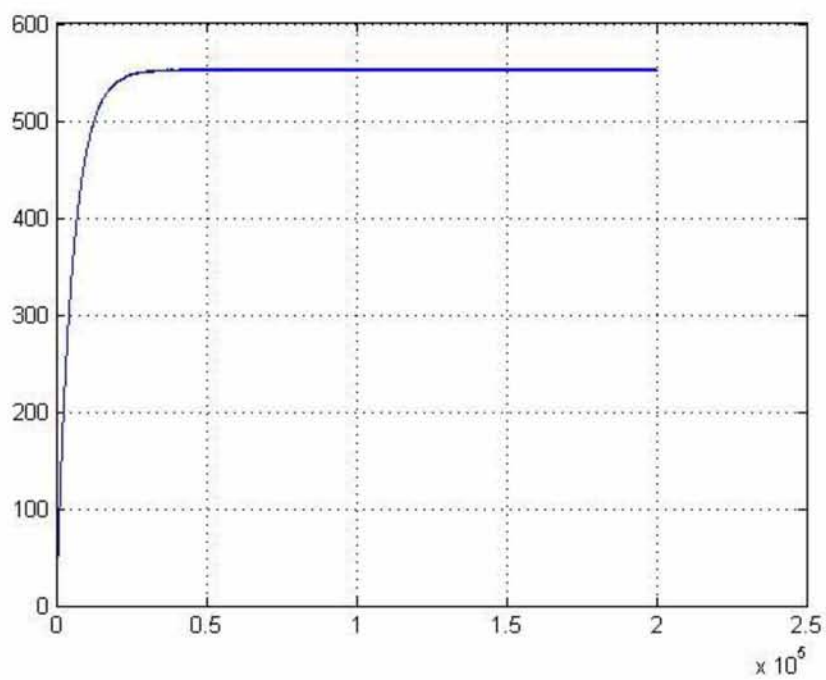


Σχήμα 49: Μοντέλο A/Γ PMSG συνδεδεμένο σε DC φορτίο

Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των V_{load} και P_{load} του DC φορτίου (αντίσταση) των 300 Kwatt (Σχήμα 50 και 51).

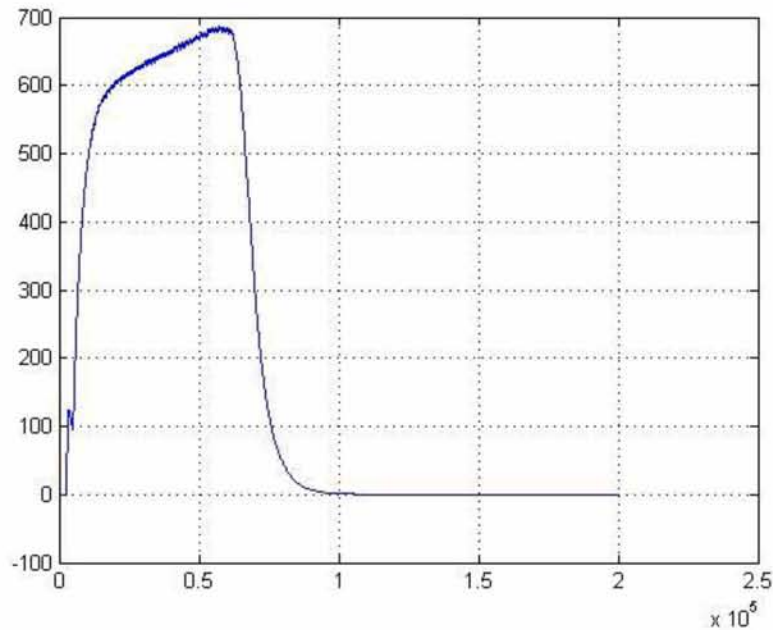


Σχήμα 50: Γραφική απεικόνιση ισχύος εξόδου A/Γ σε DC φορτίο



Σχήμα 51: Γραφική απεικόνιση τάσης εξόδου A/Γ σε DC φορτίο

Με την είσοδο αρκετά μεγάλης τιμής ανέμου (40 m/s) αυτό που παρατηρήθηκε είναι μια αναμενόμενη μεγάλη απόκριση της τάσης εξόδου της A/Γ, και στην συνέχεια μηδενισμός της τάσης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 52:

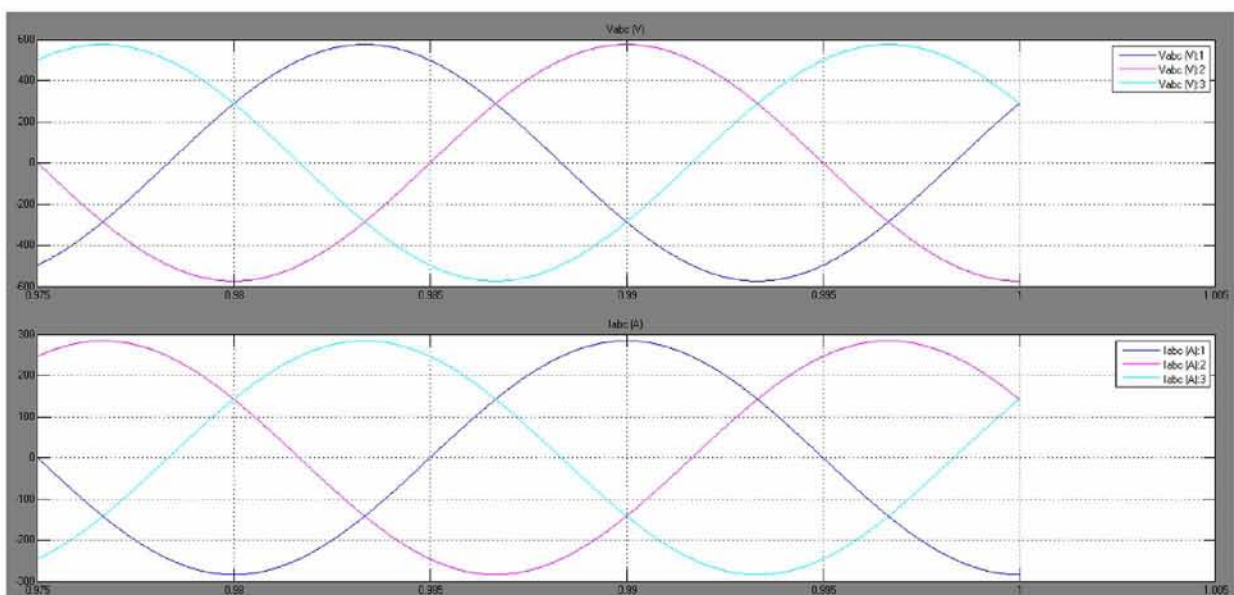


Σχήμα 52: Γραφική απεικόνιση ισχύος εξόδου Α/Γ σε DC φορτίο

Όμοια συμπεριφορά θα παρατηρούσαμε και από τη γραφική παράσταση ισχύος οποιουδήποτε φορτίου. Αυτή η συμπεριφορά της Α/Γ σε τόσο μεγάλες τιμές ανέμου, εκτός του ορίου των αποδεκτών (ταχύτητα περίπου μεγαλύτερη των 25 m/s), οφείλεται στη λειτουργία το ελεγκτή ο οποίος σταματάει τη λειτουργία της ώστε να μην υπερθερμανθούν τα πτερύγια της ή/και να σπάσουν.

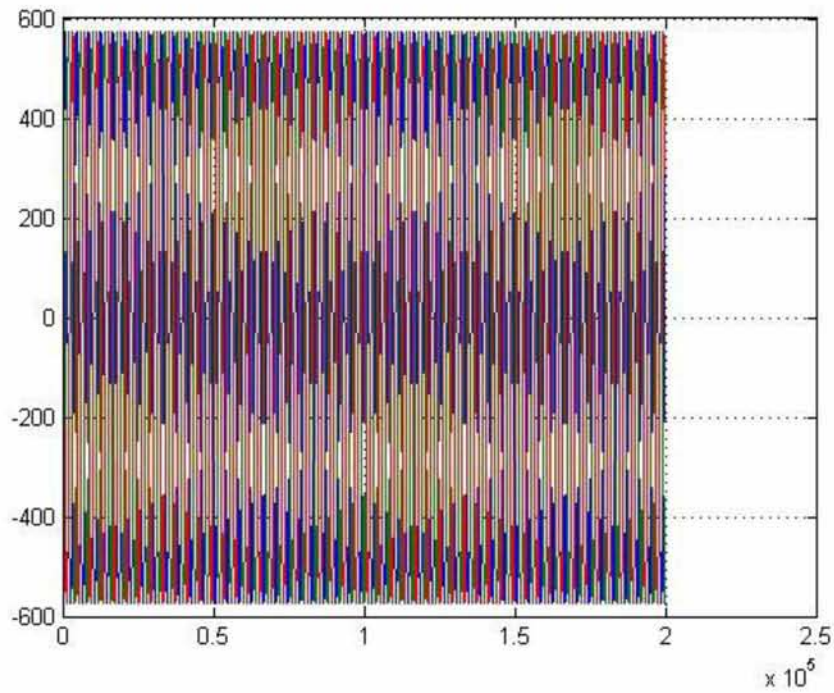
6.3.2 Σύνδεση Α/Γ σε φορτίο AC

Το επόμενο σενάριο που θα μελετηθεί, είναι αυτό της σύνδεσης της Α/Γ σε φορτίο AC των 100 και 300 kWatt καθώς και το επαγωγικό φορτίο των 200 kVar. Η φασική τιμή τάσης έχει καθοριστεί στα 575 Volt.

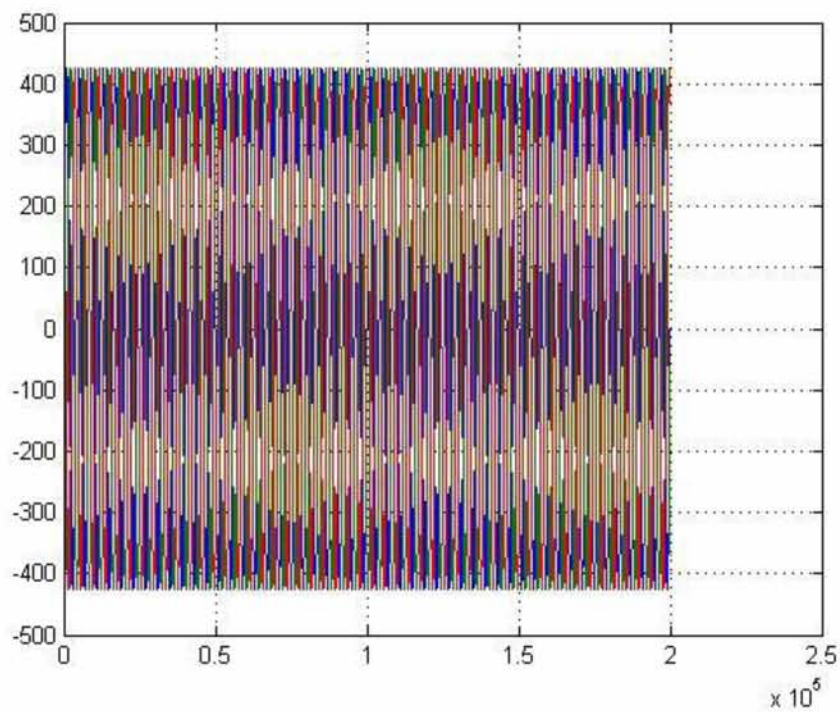


Σχήμα 53: Στιγμαίσιες τιμές τάσης και ρεύματος σε επαγωγικό φορτίο 200 kVar

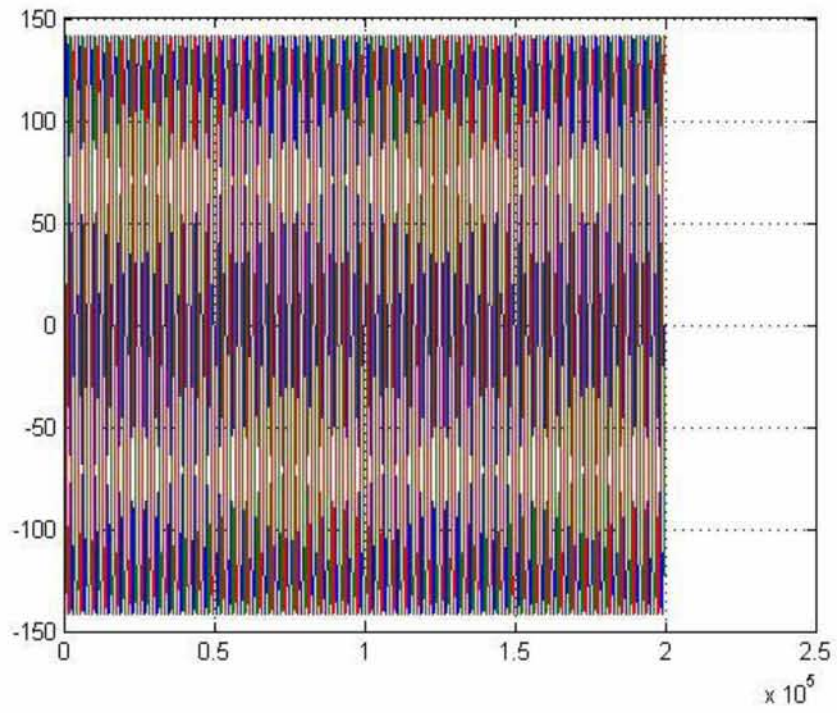
Αυτό που παρατηρούμε στις γραφικές παραστάσεις του Σχήματος 53, είναι ότι το ρεύμα υστερεί της τάσης σε ένα επαγωγικό φορτίο. ($I = I \cos\varphi - j I \sin \varphi$, το $-j\varphi$ είναι αυτό που το καθορίζει).



Σχήμα 54: Γραφική απεικόνιση τάσης εξόδου της Α/Τ σε φορτίο AC 300 kWatt



Σχήμα 55: Γραφική απεικόνιση ρεύματος εξόδου της Α/Τ σε φορτίο AC 300 kWatt



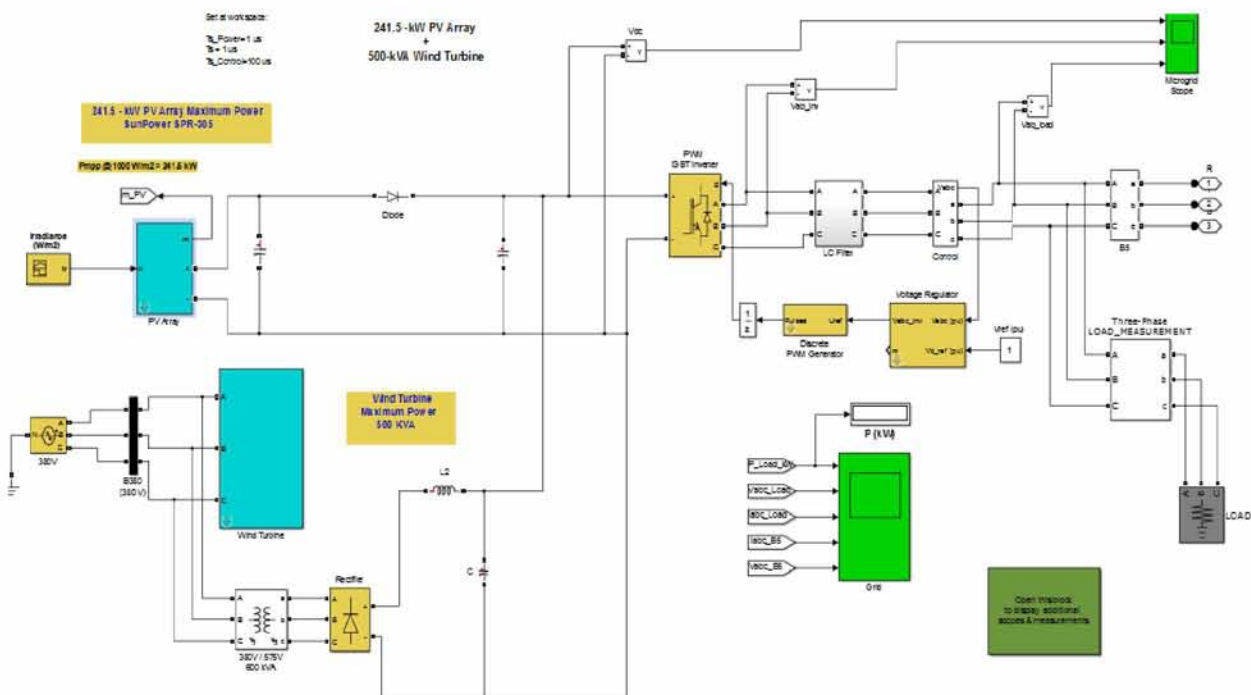
Σχήμα 56: Γραφική απεικόνιση ρεύματος εξόδου της ΑΓ σε φορτίο AC 100 kWatt

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

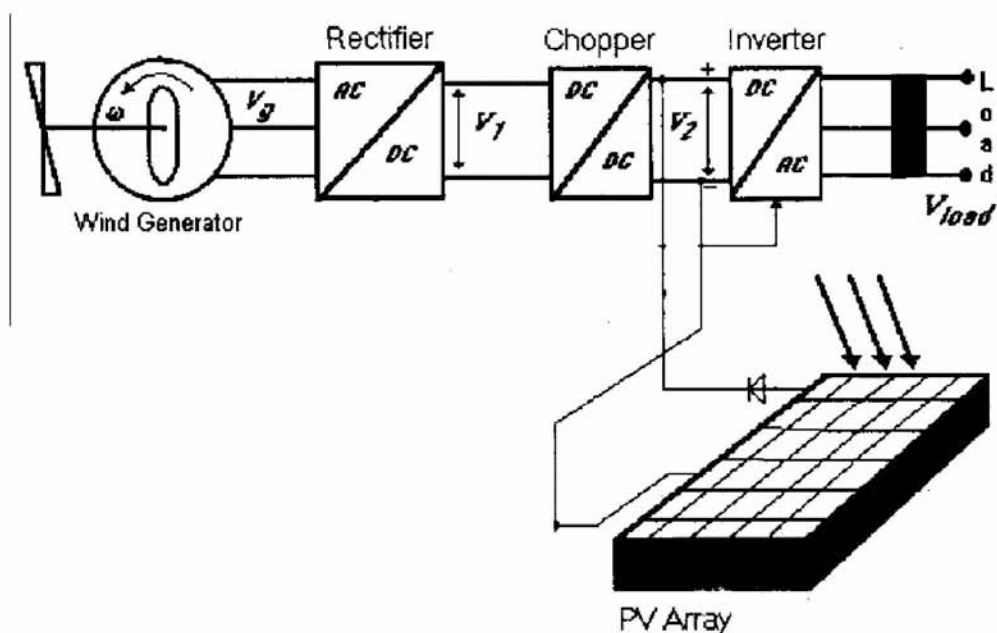
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

7.1 Το Μοντέλο του Μικροδικτύου

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται συνοπτικά το μοντέλο του Μικροδικτύου όπως αυτό αναπτύχθηκε στο Matlab/Simulink. Οι όποιες τροποποιήσεις και προσθήκες έγιναν για τη μετέπειτα διασύνδεση της με το δίκτυο/φορτίο αναλύονται εκτενέστερα εδώ. Τα κυριότερα υποσυστήματα (blocks ή subsystems) του μοντέλου του, μαζί με τις εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω. Στο Σχήμα 57 παρουσιάζουμε το μοντέλο του Μικροδικτύου στο Simulink και στο Σχήμα 58 ακολουθεί το μπλοκ διάγραμμά του.



Σχήμα 57: Το μοντέλο του Μικροδικτύου στο Simulink



Σχήμα 58: Μπλοκ διάγραμμα Μικροδικτύου

Το Μικροδίκτυο μπορεί να λειτουργήσει στη XT και στη MT του δικτύου διανομής και συνδεδεμένο τόσο σε DC όσο και σε AC φορτίο. Επίσης είναι εφικτό να λειτουργεί αυτόνομα (island mode) ικανοποιώντας όμως ένα φορτίο χωρίς μεγάλες αυξομειώσεις και με την υποστήριξη συσσωρευτών. Κάποιες φορές άλλωστε, η απομονωμένη λειτουργία είναι σκόπιμη, όταν υπάρχουν συχνά σφάλματα στο Κεντρικό Δίκτυο ή όταν η τάση του Κεντρικού Δικτύου είναι χαμηλής ποιότητας. Στο συγκεκριμένο μοντέλο η Α/Γ (μέγιστης απόδοσης 500 KVA) έχει μία σταθερή τιμή τάσης με αυξομειώσεις στη τιμή ρεύματος αναλόγως του φορτίου ζήτησης. Η τιμή τάσης ανορθώνεται στα 575 V μέσω ενός ΜΣ δύο τυλιγμάτων και στη συνέχεια βρίσκεται τον ανορθωτή (Rectifier) και μετατρέπεται σε DC.

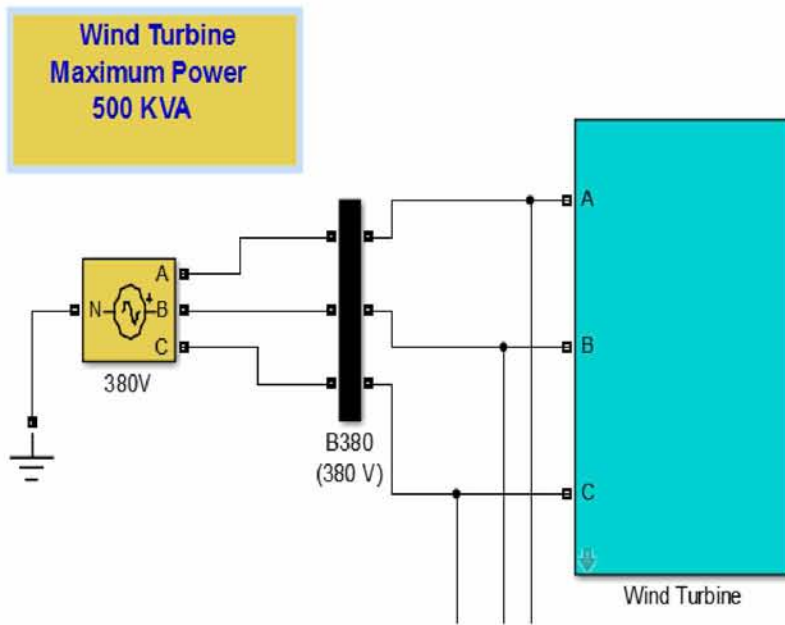
Μέσω ενός LC φίλτρου οδηγείται σε ένα κοινό bus με την Φ/Β συστοιχία η οποία παράγει DC τάση, και τείνει στα σταθεροποιηθεί στη steady-state τιμή 785 V. Το DC αυτό φορτίζεται σε ένα IGBT inverter. Ο IGBT inverter ρυθμίζει την τάση εξόδου του, βάσει ενός voltage regulator του οποίου ο τρόπος λειτουργίας θα αναλυθεί παρακάτω. Έτσι η πολική τάση κυμαίνεται πλέον στη τιμή των 380 V (RMS) (αντίστοιχη αυτής του Κεντρικού Δικτύου), αφού προηγουμένως περάσει ένα LC φίλτρο το οποίο αφαιρεί τις αρμονικές. Το τελευταίο στοιχείο που παρουσιάζεται στο Μικροδίκτυο είναι το φορτίο το οποίο συνδέεται και με το ΚΔ.

7.2 Μονάδες Παραγωγής

Όπως προαναφέρθηκε στα προηγούμενα δύο κεφάλαια και όπως παρατηρούμε στο σχήμα παραπάνω, οι μονάδες παραγωγής του Μικροδικτύου μας είναι μια PMSG ανεμογεννήτρια και μια φωτοβολταϊκή συστοιχία.

7.2.1 PMSG Α/Γ

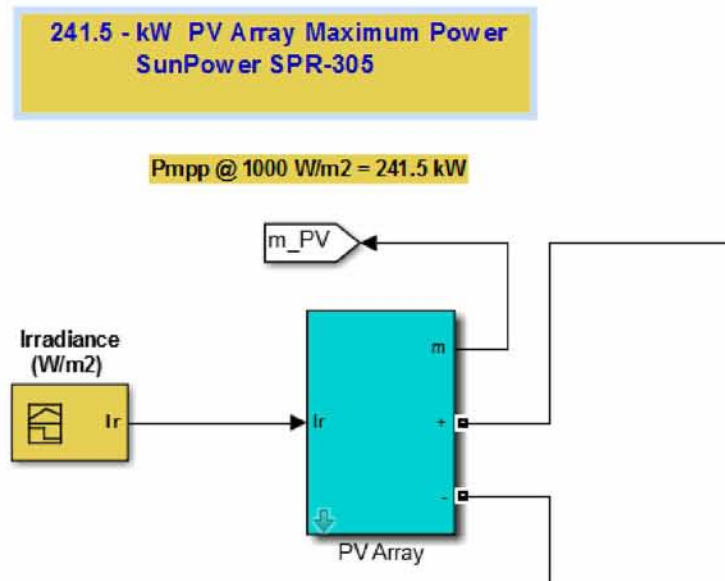
Η PMSG Α/Γ που χρησιμοποιήσαμε, έχει L-L τάση εξόδου 380 V και μέγιστη απόδοση 500 KVA. Συνδέθηκε με μία three-phase-voltage-source η οποία λειτουργεί ως σταθεροποιητής τάσης σε μορφή swing όσον αφορά τη ροή του φορτίου και μέσω ενός κοινού bus τροφοδοτεί στο Μικροδίκτυο.



Σχήμα 59: Μοντέλο Α/Γ συνδεδεμένη με ένα σταθεροποιητή τάσης σε κοινό bus

7.2.2 PV Array

Η φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελείται αποτελείται 66 παράλληλες συστοιχίες των 13 στοιχείων συνδεδεμένα σε σειρά. Η είσοδος της συστοιχίας είναι η ηλιακή ακτινοβολία και επιλέχθηκε στα 1000 W/m^2 .

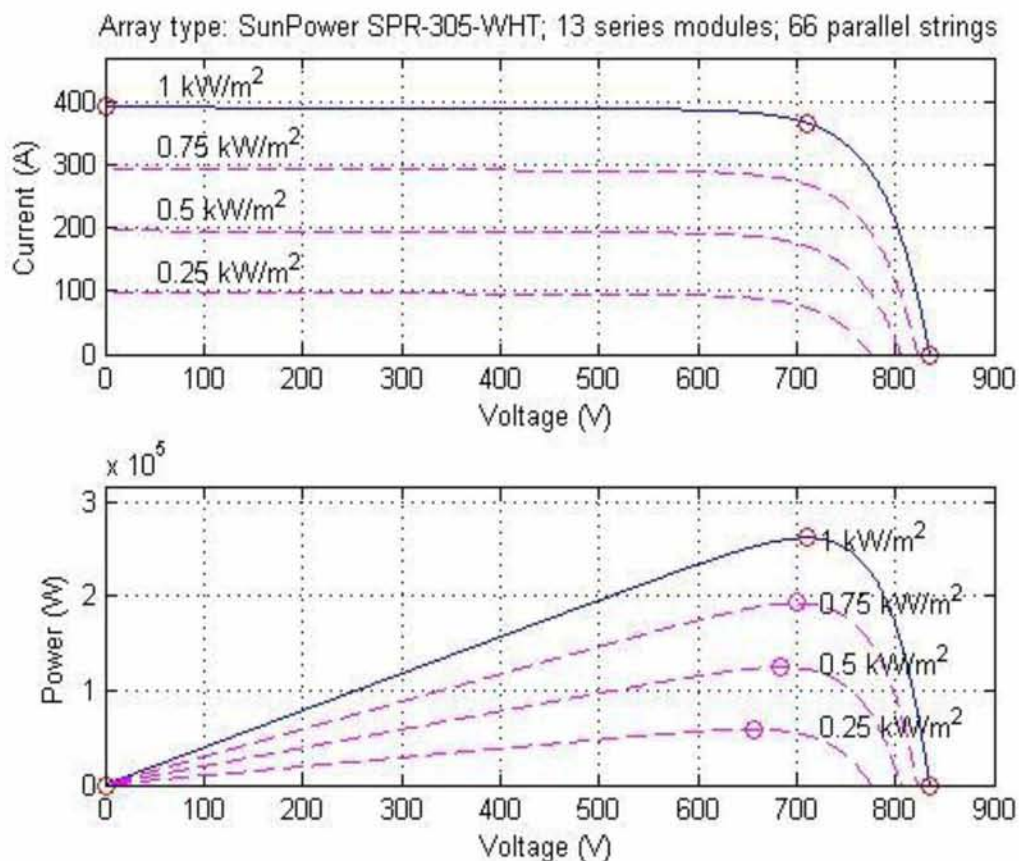


Σχήμα 60: Μοντέλο φωτοβολταϊκής συστοιχίας

Το μοντέλο που επιλέξαμε είναι το SunPower SPR-305 με τις παραμέτρους που αναφέραμε στο κεφάλαιο 5.

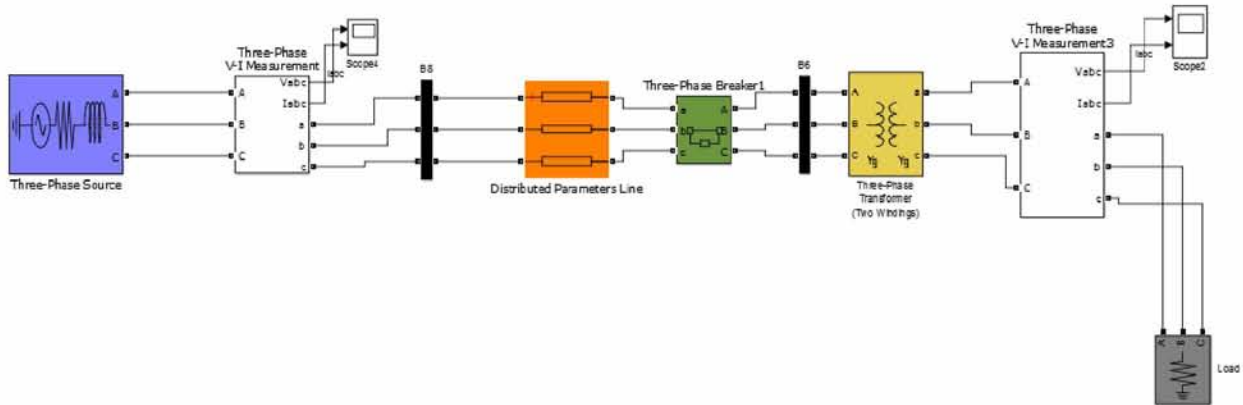
Parameters	
Module type:	SunPower SPR-305-WHT
Number of cells per module	96
Number of series-connected modules per string	13
Number of parallel strings	66
Module specifications under STC [Voc, Isc, Vmp, Imp]	[64.2 5.96 54.7 5.58]
Model parameters for 1 module [Rs, Rp, Isat, Iph, Qd]	[0.037998 993.51 1.1753e-08 5.9602 1.3]

Σχήμα 60: Ρύθμιση παραμετρών Φ/Β συστοιχίας στο Simulink



Σχήμα 61: Γραφικές παραστάσεις P-V και V-I της Φ/Β συστοιχίας

7.3 Το Κεντρικό Δίκτυο



Σχήμα 62: Το μοντέλο του Κεντρικού Δικτύου στο Simulink

Ο ρόλος της σύνδεσης του ΚΔ με το Μικροδίκτυο είναι διττός. Στην περίπτωση που οι μονάδες παραγωγής δεν μπορούν να καλύψουν το φορτίο ζήτησης, το ΚΔ γίνεται μονάδα παραγωγής και προσφέρει ενέργεια στο Μικροδίκτυο. Αντίστοιχα όταν οι μονάδες παραγωγής προσφέρουν περισσότερη ισχύ από τη ζητούμενη (χαμηλή τιμή φορτίου ζήτησης), το ΚΔ απορροφά την περισσευούμενη ενέργεια.

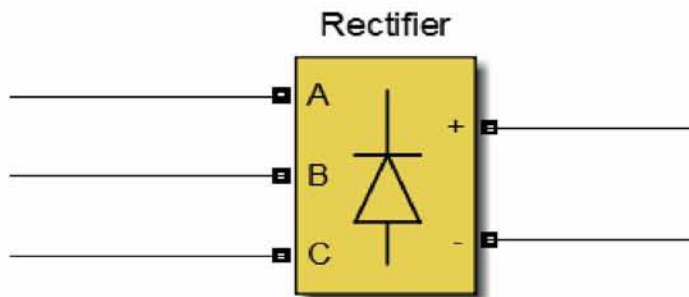
Το ΚΔ αποτελείται από μία three-phase-voltage source, ονομαστικής τιμής τάσης 25 kV/50 Hz, η οποία όσον αφορά τη ροή του φορτίου, είναι τύπου swing. Έτσι επιτρέπουμε στο δίκτυο να ανεβοκατεβάζει την παραγωγή ισχύος. Η σύνδεση της κεντρικής παραγωγής ενέργειας με το Μικροδίκτυο γίνεται μέσω καλωδίων μήκους 100 km. Παρόλο που η γραμμή μεταφοράς δεν είναι τόσο μεγάλη, παρατηρείται μια μικρή πτώση τάσης κατά 1.08 φορές την ονομαστική τάση του δικτύου. Τέλος το κεντρικό σύστημα διανομής πριν συνδεθεί στο Μικροδίκτυο αποτελείται από ένα ΜΣ, ο οποίος έχει ονομαστική ισχύ 600 kVA και μετατρέπει την τάση από 25kV στα 380 V.

7.4 Συσκευές ελέγχου Μικροδικτύου

Οι κύριες εφαρμογές των συσκευών ελέγχου στο Μικροδίκτυο, αφορούν στη μετατροπή της τάσης AC/DC και DC/AC.

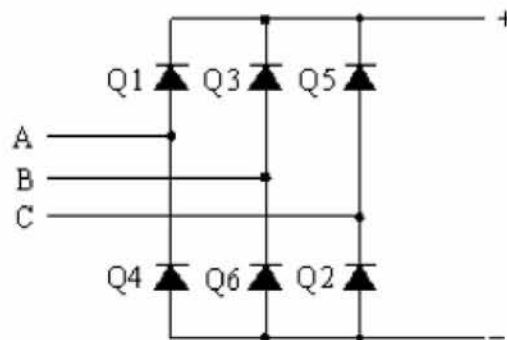
7.4.1 Rectifier (Τριφασικός ανορθωτής γέφυρας με διόδους)

Ο Rectifier (ανορθωτής), αναλαμβάνει τη μετατροπή από AC σε DC της εξόδου της A/Γ, και έτσι ελέγχει μόνιμα την τάση στα επιθυμητά επίπεδα προκειμένου να συνδεθεί στο DC bus (Σχήμα 63).



Σχήμα 63: Το block του Rectifier στο Simulink

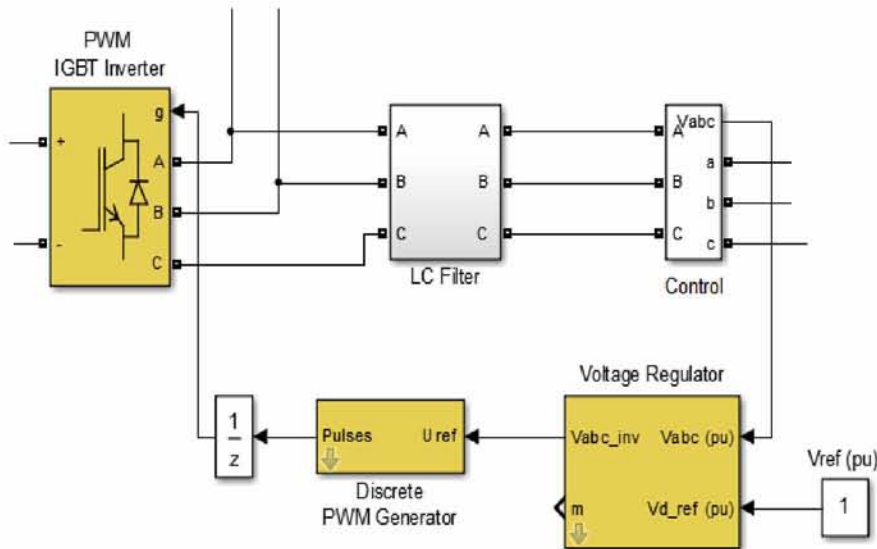
Μπορούμε να παρομοιάσουμε τον μετατροπέα γέφυρας σαν τρεις μονοφασικούς μετατροπείς απλής ανόρθωσης συνδεδεμένους στη σειρά όπως φαίνεται στο Σχήμα 64. Οι D1,3,5 απαρτίζουν το θετικό μετατροπέα απλής ανόρθωσης (positive half-wave converter), ο οποίος λειτουργεί με το συνήθη τρόπο. Επομένως, η διάδος με τη θετικότερη τάση στην άνοδο άγει, παράγοντας μια θετική τάση στο σημείο P σε σχέση με την γείωση. Οι D2,4,6 αποτελούν τον αρνητικό μετατροπέα απλής ανόρθωσης με την διαφορά να είναι ότι η πολικότητα των τάσεων είναι αντεστραμμένη. Έτσι άγει η διάδος με την αρνητικότερη κάθοδο.



Σχήμα 64: Ισοδύναμο κύκλωμα μετατροπέα γέφυρας με διόδους

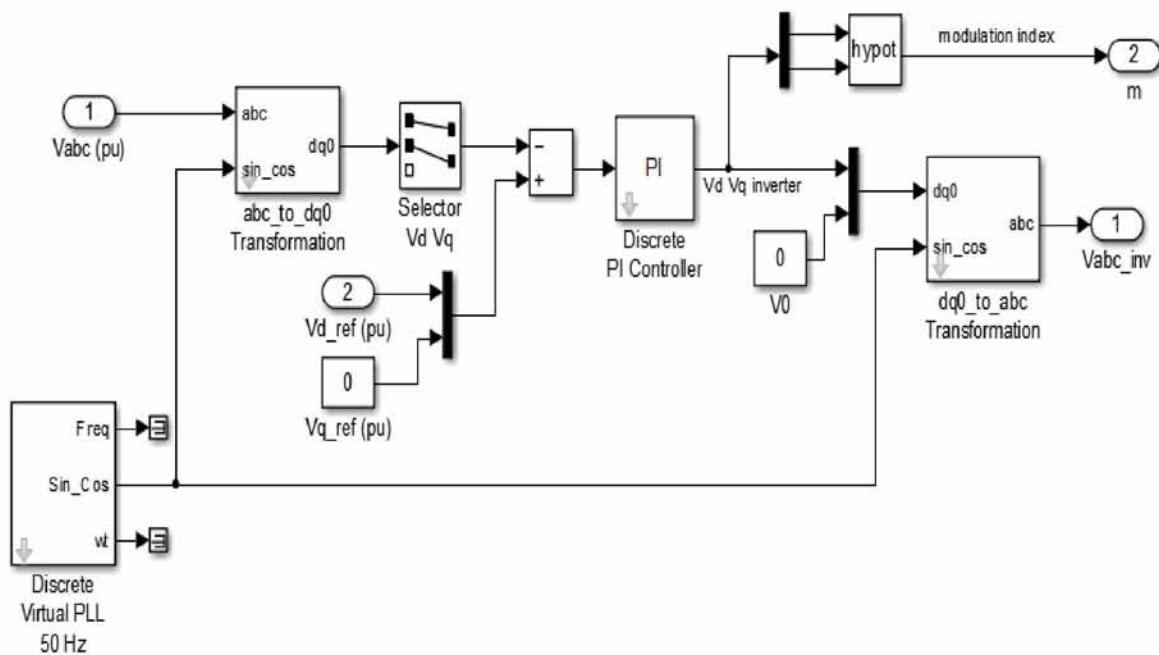
7.4.2 DC-AC Τριφασικός αντιστροφέας IGBT

Η συνολική διάταξη του, εκτός από τον τριφασικό αντιστροφέα (Σχήμα 65), περιλαμβάνει το παθητικό L-C φίλτρο εξόδου και τον έλεγχο (inverter controller). Χρησιμοποιείται ένα Pulse-Width-Modulator (PWM), για να παραχθεί τελικά τριφασική ημιτονοειδής τάση στο φορτίο.



Σχήμα 65: Μοντέλο IGBT inverter με έλεγχο για την επιθυμητή τάση αναφοράς

Ο έλεγχος για την παραγωγή της τάσης αναφοράς (V_{abc_inv}) του αντιστροφέα παρουσιάζεται στο Σχήμα 66. Η πραγματική τάση (V_{abc}) μετασχηματίζεται σε dq0 διάνυσμα και επιλέγονται μόνο τα dq διανύσματα, τα οποία συγκρίνονται με τις επιθυμητές τάσεις (V_{d_ref} και V_{q_ref}) και εισάγονται σε ένα PI ελεγκτή. Για το abc/dq0 μετασχηματισμό Park είναι απαραίτητες οι θεμελιώδης κυματομορφές των τάσεων [18]. Αυτές παράγονται από το Discrete Virtual PLL 50Hz, το οποίο αναπαριστά μια πραγματική συσκευή συγχρονισμού PLL. Στο ελεγμένο πλέον διάνυσμα dq της τάσης του inverter προστίθεται το μηδενικό διάνυσμα παριστάνοντας την ομοπολική συνιστώσα. Εδώ γίνεται η θεώρηση ότι το φορτίο είναι συμμετρικό. Η τάση αναφοράς πριν εισέλθει στην PWM διαμόρφωση μετασχηματίζεται πάλι σε abc τριφασικό σύστημα. Η έξοδος m είναι η τιμή του συντελεστή διαμόρφωσης πλάτους.

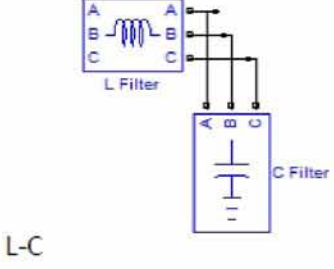


Σχήμα 66: Έλεγχος για την παραγωγή τάσης αναφοράς

Τύπος ελέγχου	P-Q με έλεγχο της τάσης
Μέθοδος μετάβασης	PWM
Συχνότητα μετάβασης f_s (Hz)	2000
Αναλογικός όρος k_p	0.4
Ολοκληρωτικός όρος k_i	500

Πίνακας 6: Παράμετροι ελέγχου του αντιστροφέα

Οι αρμονικές που παράγονται από τον inverter και πολλαπλασιάζονται με 2kHz, φιλτράρονται από το LC φίλτρο. Όπως αναμένουμε οπότε η τιμή τάσης στο φορτίο είναι 537 V (380 V RMS). Το φίλτρο που προσομοιώθηκε είναι ένα L-C φίλτρο. Από τη βιβλιογραφία βρέθηκε ότι τυπικές τιμές άεργου ισχύος που δίνει ένα φίλτρο σε τέτοιες εφαρμογές κυμαίνονται στα 4kVA. Υπολογίστηκε η τιμή της χωρητικότητας στα 753.8 μ F και η συχνότητα αποκοπής επιλέχθηκε στα 130Hz, ανάμεσα στη θεμελιώδη συχνότητα των 50Hz και στη συχνότητα μετάβασης των 2000Hz. Έτσι, η αυτεπαγωγή του πηνίου L διαμορφώθηκε στα 2mH περίπου (τιμή που μετρήθηκε σε φαινόμενο συντονισμού ώστε $\omega L = 1/\omega C$). Το πηνίο σε αυτό το φίλτρο προκαλεί μεγάλη πτώση στην τάση εξόδου του αντιστροφέα. Το ζήτημα αυτό λύθηκε με την αναφορά της τάσης ελέγχου μετά το φίλτρο.

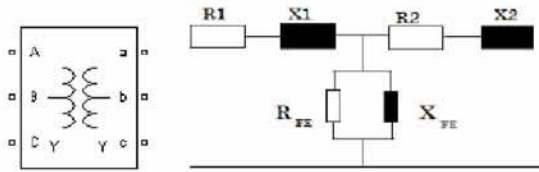
Τύπος φίλτρου	
Αυτεπαγωγή πηνίου L (mH)	2
Χωρητικότητα πυκνωτή C(μF)	753.8
Συχνότητα αποκοπής f_c (Hz)	130

Πίνακας 7: Παράμετροι παθητικού φίλτρου στην έξοδο του αντιστροφέα

7.5 Μετασηματιστής Ισχύος

Ο μετασηματιστής ο οποίος χρησιμοποιείται είναι 2 τυλιγμάτων και ουσιαστικά αποτελείται από 3 μονοφασικούς μετασηματιστές. Η ονομαστική ισχύς του επιλέχθηκε 500 kVA διότι είναι η μέγιστη ισχύ που μπορεί να παρέχει η Α/Γ. Στο μετασηματιστή αμελήθηκαν οι απώλειες υστέρησης και έτσι η λειτουργία του ήταν γραμμική. Για τη συνδεσμολογία του επιλέχθηκε για λόγους απλότητας η y/Yg . Οι ονομαστικές τιμές των τάσεων στις 2 πλευρές επιλέχθηκαν από τις ονομαστικές τάσεις εξόδου της Α/Γ και την επιθυμητή τιμή εισόδου στον Rectifier 380 V και 575 V.

Οι τυπικές τιμές για την αντίσταση και αντίδραση του κλάδου μαγνήτισης κυμαίνονται $R_{FE}=50-200\mu\Omega$ και $X_{FE}=10-40\mu\Omega$ [19]. Η τιμή των απωλειών μαγνήτισης ενός τέτοιου μετασηματιστή είναι έχει επαγωγικό συντελεστή $L = 0.153$ H και η αντίσταση $R=48.133$ Ω. Η αντίδραση επιλέχθηκε ίση με $X_{FE} = 40\mu\Omega$ επειδή τέτοια τιμή συναντάται σε τέτοιου είδους μετασηματιστές, αλλά και για να μειώσουμε το σφάλμα ελέγχου αφού στην τιμή της σύνθετης αντίστασης αμελήθηκαν οι εγκάρσιοι κλάδοι. Συγκεντρωτικά στον πίνακα που ακολουθεί:



Block σχήμα και μονοφασικό ισοδύναμο μετασχηματιστή

Συνδεσμολογία	Y/Yg	
Ονομαστική φαινόμενη ισχύς S(kVA)	500	
Ονομαστική συχνότητα f (Hz)	50	
Σύστημα αναφοράς	S.I	p.u.
Πολική ενεργός τάση πρωτεύοντος V ₁	380 [V]	1
Αντίσταση πρωτεύοντος τυλίγματος R ₁	0.00096267 [Ω]*	0.0033333
Επαγωγικός συντελεστής πρωτεύοντος τυλίγματος L ₁	1.5321e-5* [H]	0.016666
Πολική ενεργός τάση πρωτεύοντος V ₂	575 [V]	1
Αντίσταση πρωτεύοντος τυλίγματος R ₂	0.0022042 [Ω]**	0.0033334
Επαγωγικός συντελεστής πρωτεύοντος τυλίγματος L ₂	3.5079e-5** [H]	0.016666
Αντίσταση κλάδου μαγνήτισης R _m	48134 [Ω]*	166.7
Επαγωγικός συντελεστής κλάδου μαγνήτισης R _m	0.15321 [H]*	166.6
* τα μεγέθη είναι ανηγμένα στην πλευρά του πρωτεύοντος		
** τα μεγέθη είναι ανηγμένα στην πλευρά του δευτερεύοντος		

Πίνακας 8: Παράμετροι του μετασχηματιστή ισχύος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

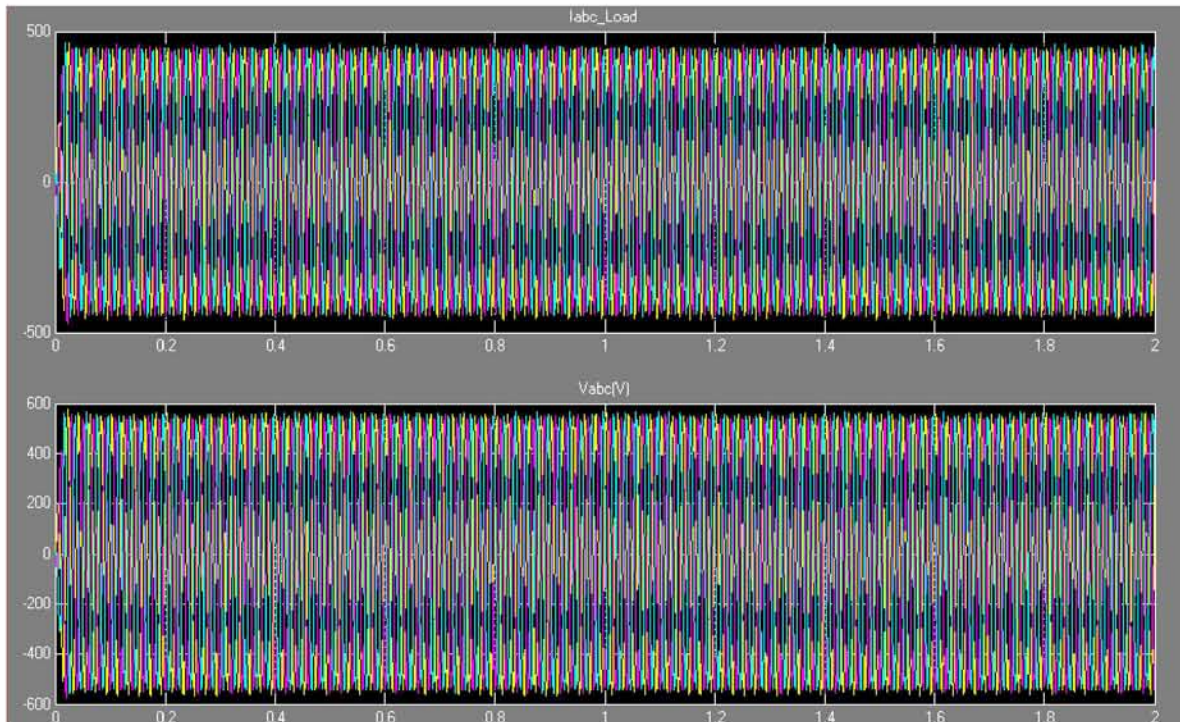
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Το φορτία που προσομοιώνονται είναι συνδεδεμένα σε διάταξη γειωμένου αστέρα (**3Φ – Y grounded**).

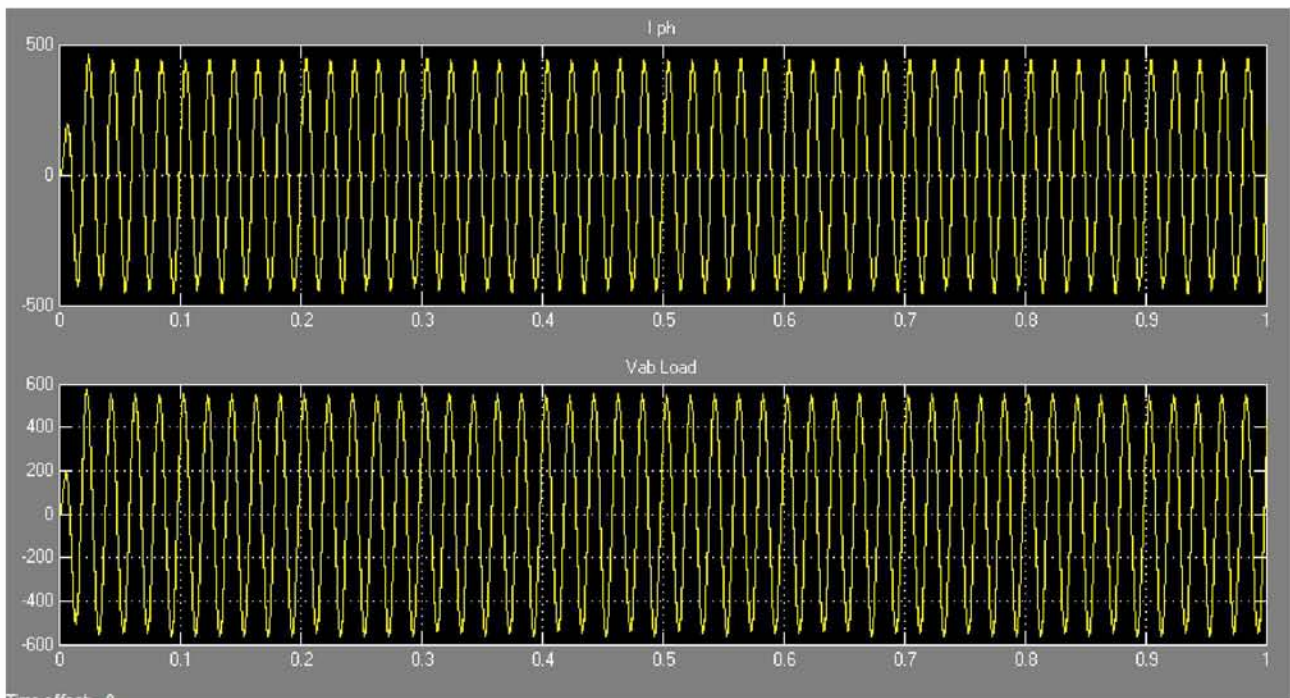
8.1 Η Φ/Β συστοιχία ως μονάδα παραγωγής του Μικροδικτύου

1^ο Σενάριο: Αυτόνομη λειτουργία - 200 kWatt φορτίο

Στην πειραματική διάταξη αυτής της παραγράφου, προσομοιώθηκε η αυτόνομη και διασυνδεδεμένη λειτουργία του Μικροδικτύου υπό την ύπαρξη μόνο της Φ/Β συστοιχίας ως μονάδα παραγωγής. Στις καμπύλες τάσης και ρεύματος του φορτίου του 1ου σεναρίου, παρατηρείται ότι η τάση ακολουθεί την peak πολική τιμή 537 V, δηλαδή 380 V (RMS) και το ρεύμα καλύπτει την τιμή ζήτησης του φορτίου κοντά στα 580 A τιμή (Σχήμα 67). Το Σχήμα 68 παρουσιάζει την πολική τάση V_{ab} και το ρεύμα I_{ph} του φορτίου μιας φάσης.

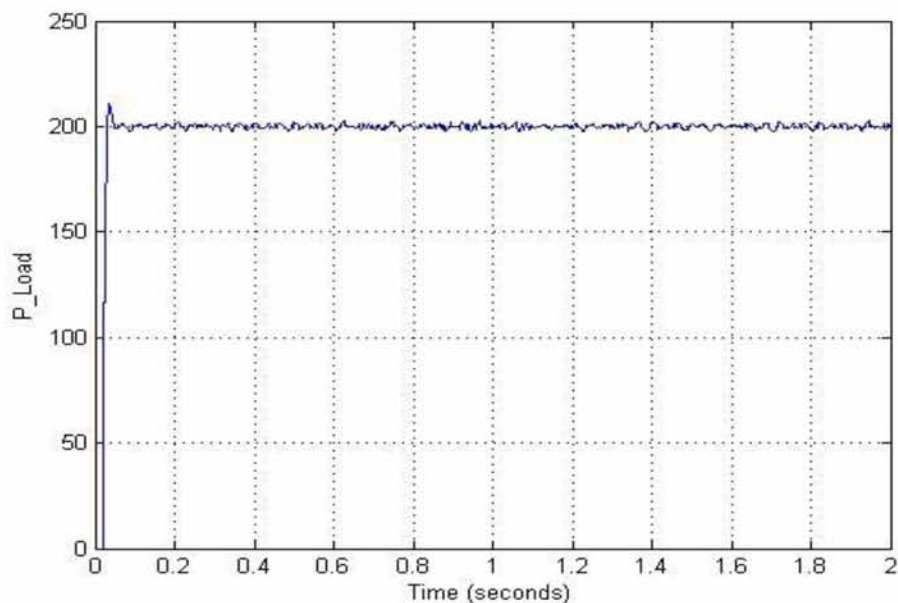


Σχήμα 67: Γραφική παράσταση πολικής τάσης και ρεύματος εξόδου Μικροδικτύου (8.1 Ιου σεναρίου)

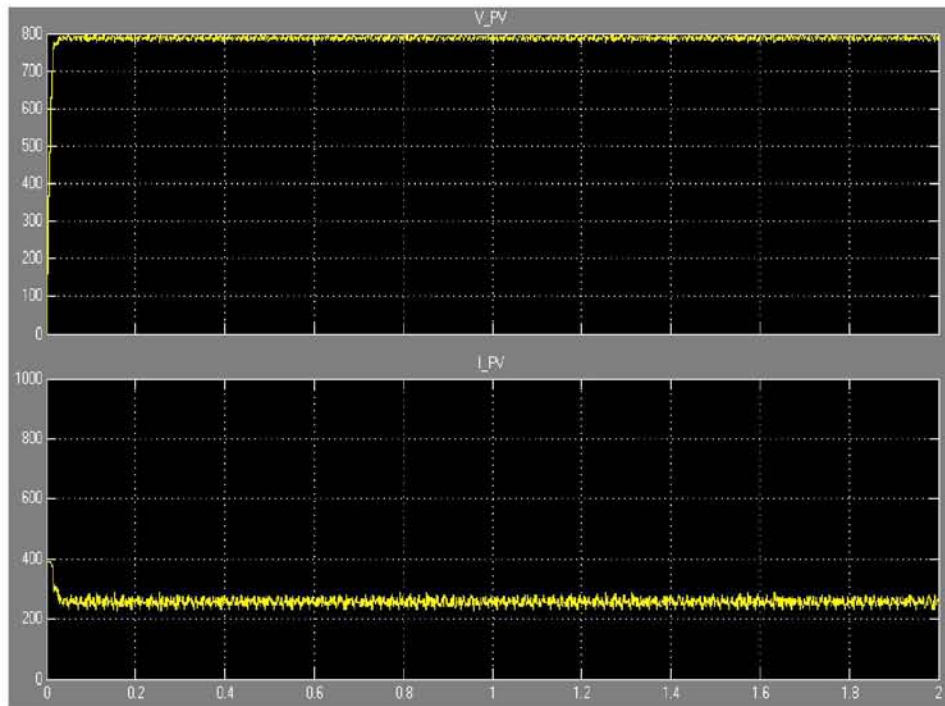


Σχήμα 68: Γραφική παράσταση πολικής τάσης και ρεύματος μιας φάσης στο φορτίο του Μικροδικτύου (8.1 Ιου σεναρίου)

Όσον αφορά την τιμή της ισχύος του φορτίου, υπάρχουν κάποιες μικρές αυξομειώσεις της τιμής της οι οποίες όμως ακολουθούν την τιμή του φορτίου ζήτησης, τα 200 kWatt. Η καμπύλη της ισχύος του φορτίου, της DC τάσης και του ρεύματος φαίνονται στα Σχήματα 69 και 70.



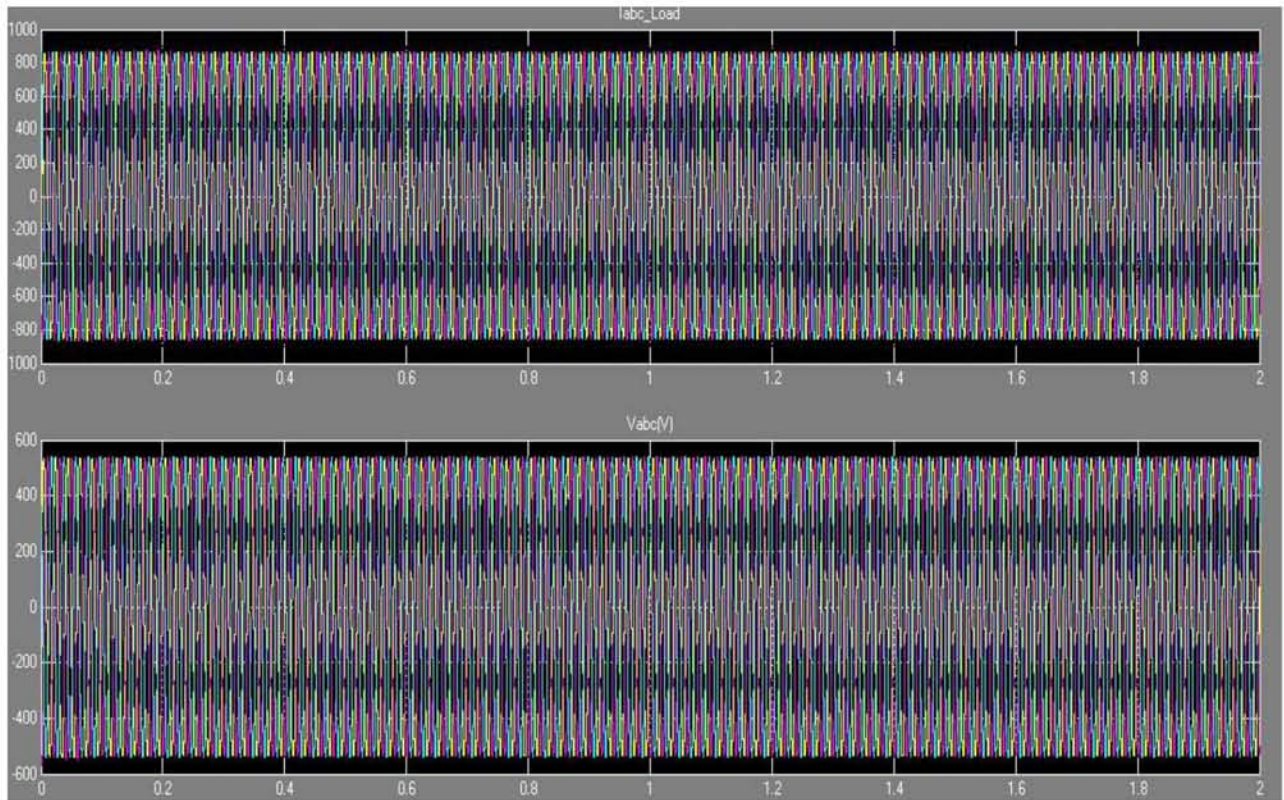
Σχήμα 69: Γραφική παράσταση φορτίου Μικροδικτύου (8.1 Ιου σεναρίου)



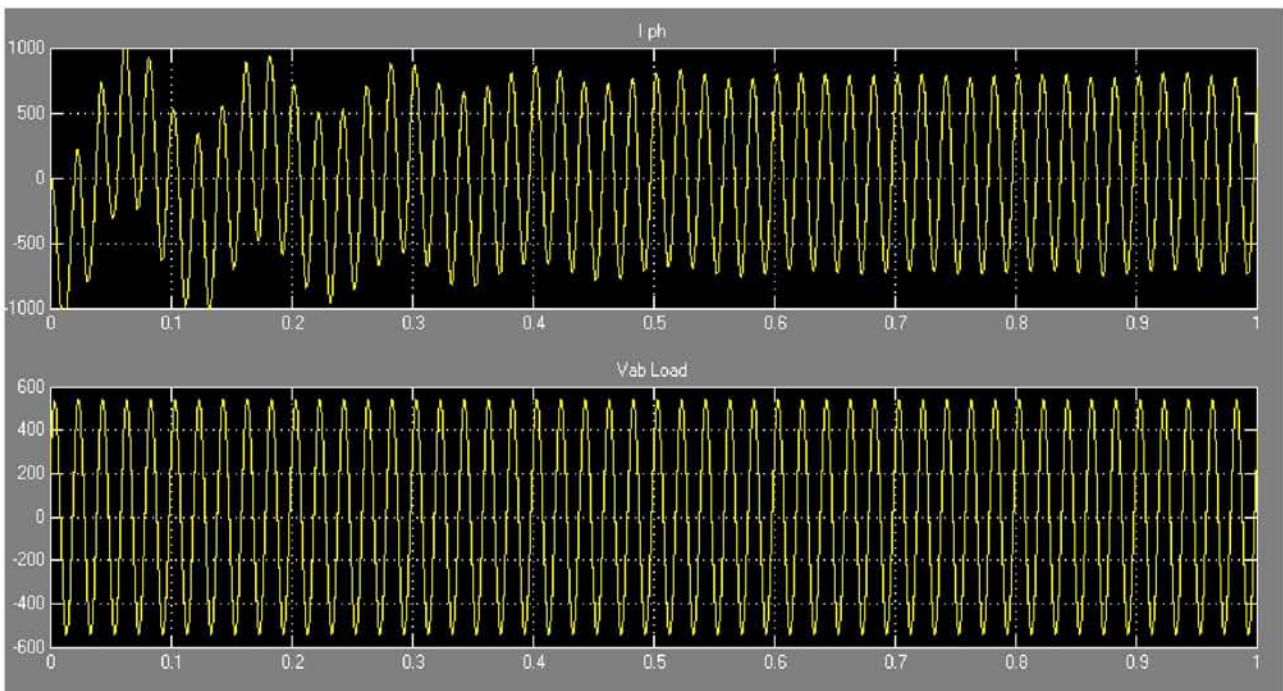
Σχήμα 70: Γραφική παράσταση τάσης και ρεύματος εξόδου Φ/Β συστοιχίας (8.1 Ιου σεναρίου)

2^ο Σενάριο: Διασυνδεδεμένη λειτουργία - 400 kWatt φορτίο

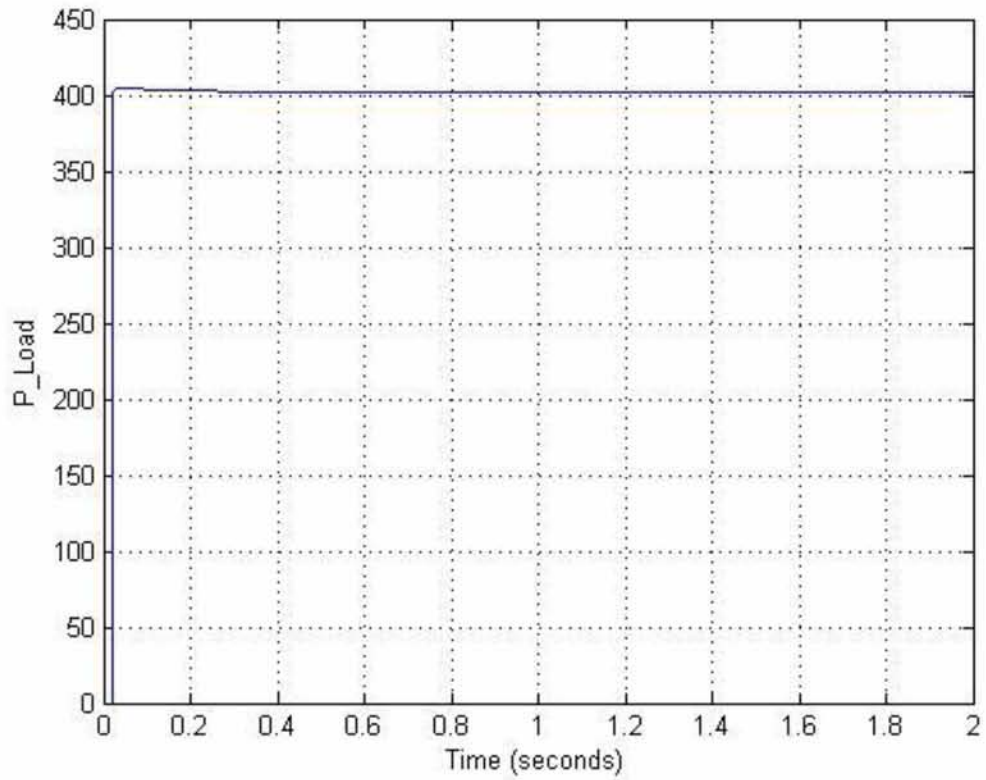
Στη διασυνδεδεμένη λειτουργία του Μικροδικτύου στο Κεντρικό Δίκτυο, επιλέξαμε το φορτίο ζήτησης των 400 kWatt. Με αυτόν τον τρόπο θέλουμε να ελέγξουμε τη λειτουργία του Κεντρικού Δικτύου στην επιπλέον παροχή ισχύος στην οποία δεν μπορεί να ανταποκριθεί η φωτοβολταϊκή συστοιχία και εν γένει το Μικροδίκτυο. Στο Σχήμα 71 φαίνονται οι peak τιμή πολιικής τάσης και ρεύματος, και στο Σχήμα 72 η πολιική τιμή της τάσης και ρεύματος μιας φάσης στο φορτίο. Ακολουθεί η γραφική παράσταση της ισχύος στο φορτίο ζήτησης, στην οποία μετά το μεταβατικό στάδιο μέχρι τα 0.1 sec φαίνεται ότι το Κεντρικό Δίκτυο σταθεροποιεί την καμπύλη στα 400 kWatt (Σχήμα 73). Στην τελευταία γραφική παράσταση του 2ου σεναρίου φαίνεται το ρεύμα και η τάση εξόδου της Φ/Β συστοιχίας (Σχήμα 74).



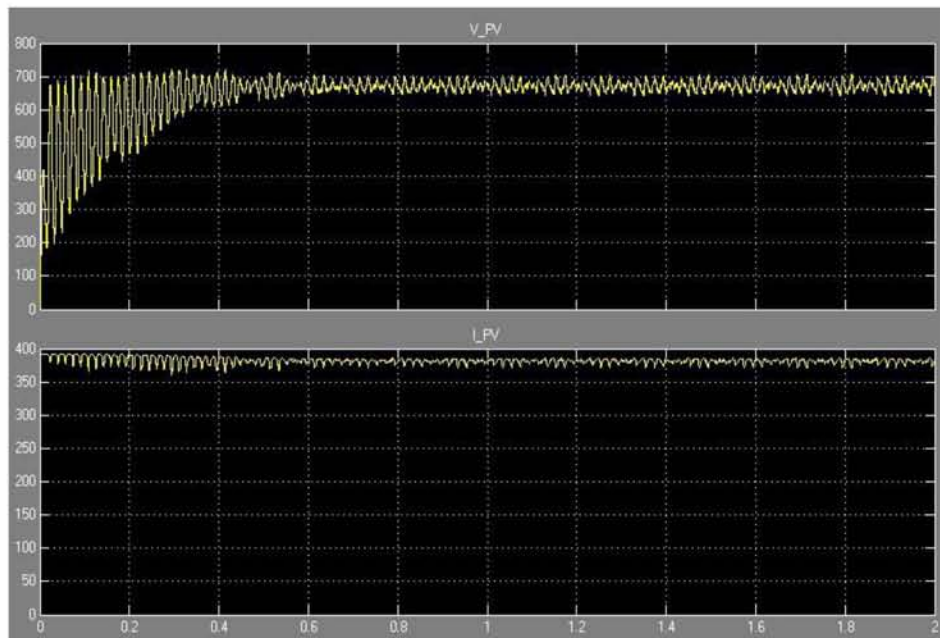
Σχήμα 71: Γραφική παράσταση πολικής τάσης και ρεύματος εξόδου Μικροδικτύου (8.1 2ου σεναρίου)



Σχήμα 72: Γραφική παράσταση πολικής τάσης και ρεύματος μιας φάσης εξόδου Μικροδικτύου (8.1 2ου σεναρίου)



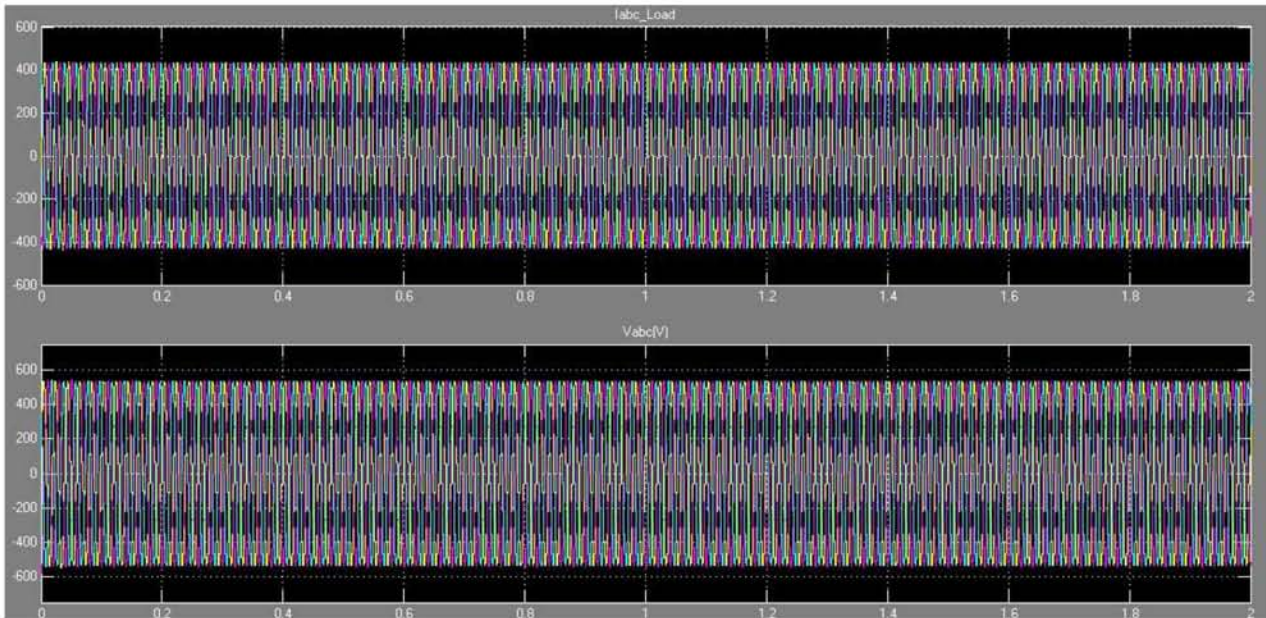
Σχήμα 73: Γραφική παράσταση ισχύος Μικροδικτύου (8.1 2ου σεναρίου)



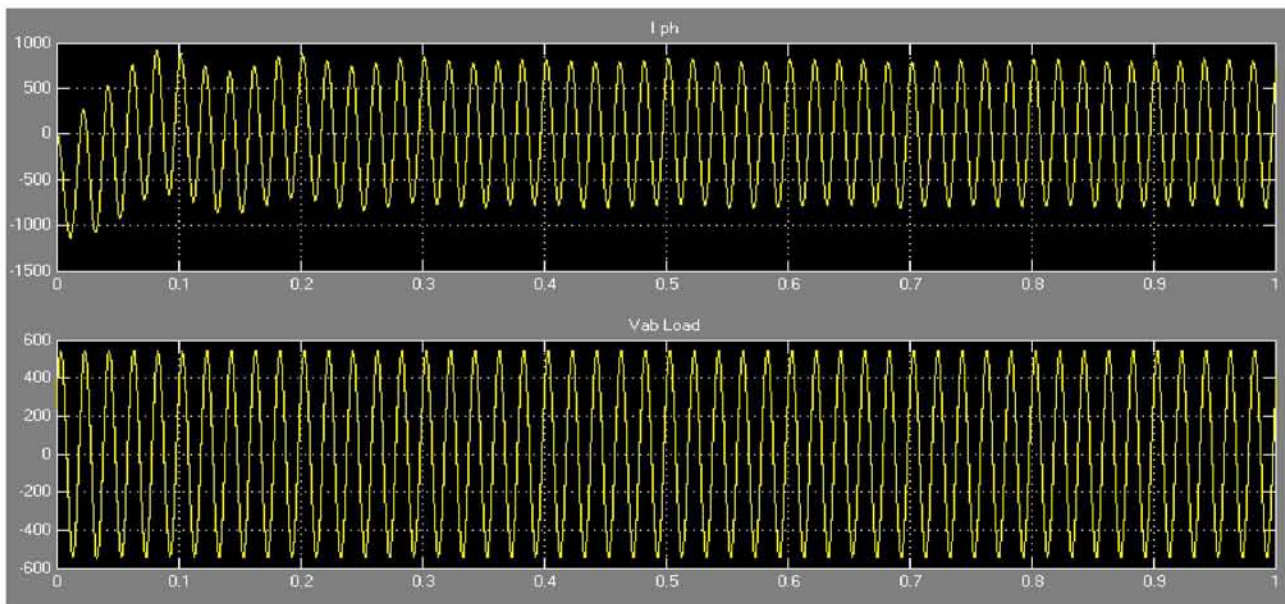
Σχήμα 74: Γραφική παράσταση τάση και ρεύματος εξόδου Φ/Β συστοιχίας (8.1 2ου σεναρίου)

3^ο Σενάριο: Διασυνδεδεμένη λειτουργία - 200 kWatt φορτίο

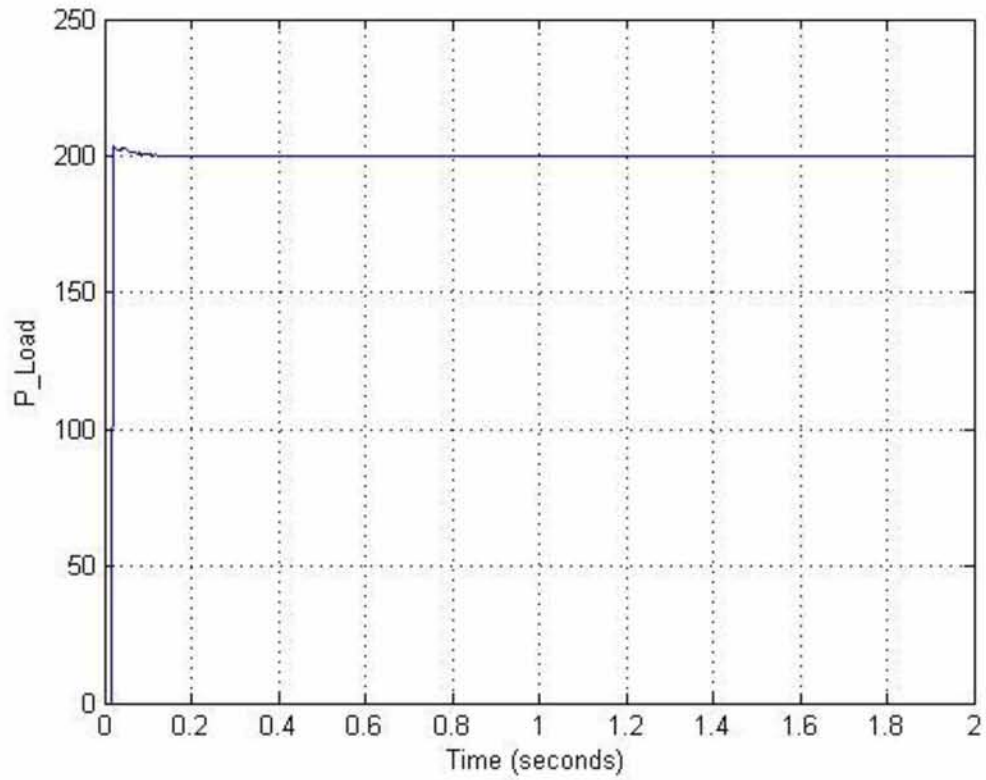
Ακολουθεί το 3ο σενάριο της διασυνδεδεμένης λειτουργίας με το ΚΔ σε φορτίο 200 kWatt. Η καμπύλη της react πολικής τάσης και ρεύματος στο φορτίο φαίνονται στο Σχήμα 75 και στο Σχήμα 76 της των αντίστοιχων φασικών τιμών. Τέλος παρουσιάζεται στο Σχήμα 77 η γραφική παράσταση της ισχύος και στο Σχήμα 78 η τάση και το ρεύμα εξόδου της Φ/Β συστοιχίας.



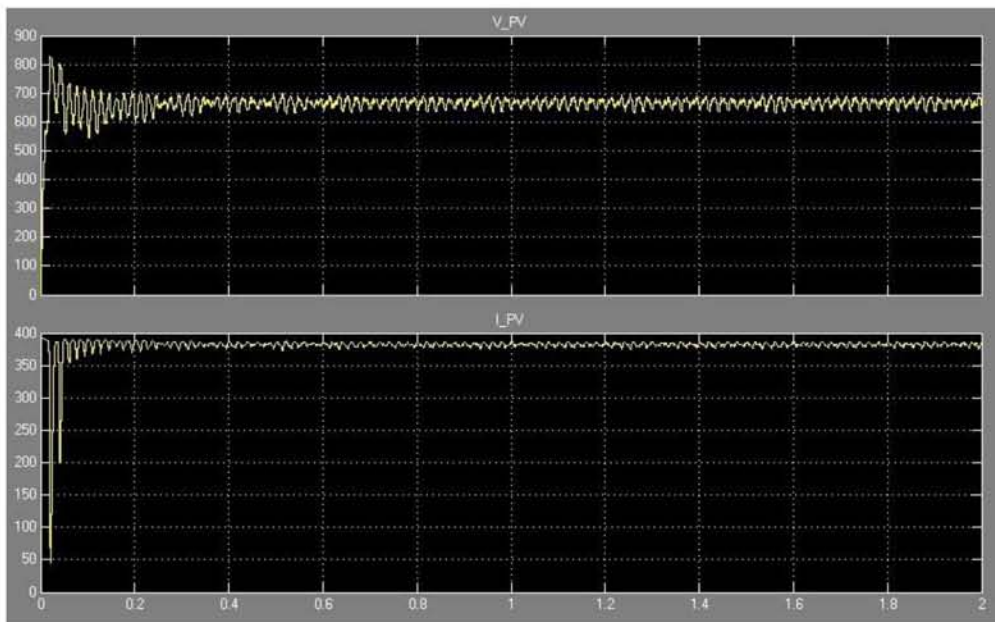
Σχήμα 75: Γραφική παράσταση πολικής τάσης και ρεύματος εξόδου Μικροδικτύου (8.1 3ου σεναρίου)



Σχήμα 76: Γραφική παράσταση πολικής τάσης και ρεύματος εξόδου μιας φάσης Μικροδικτύου (8.1 3ου σεναρίου)



Σχήμα 77: Γραφική παράσταση ισχύος Μικροδικτύου (8.1 3ου σεναρίου)

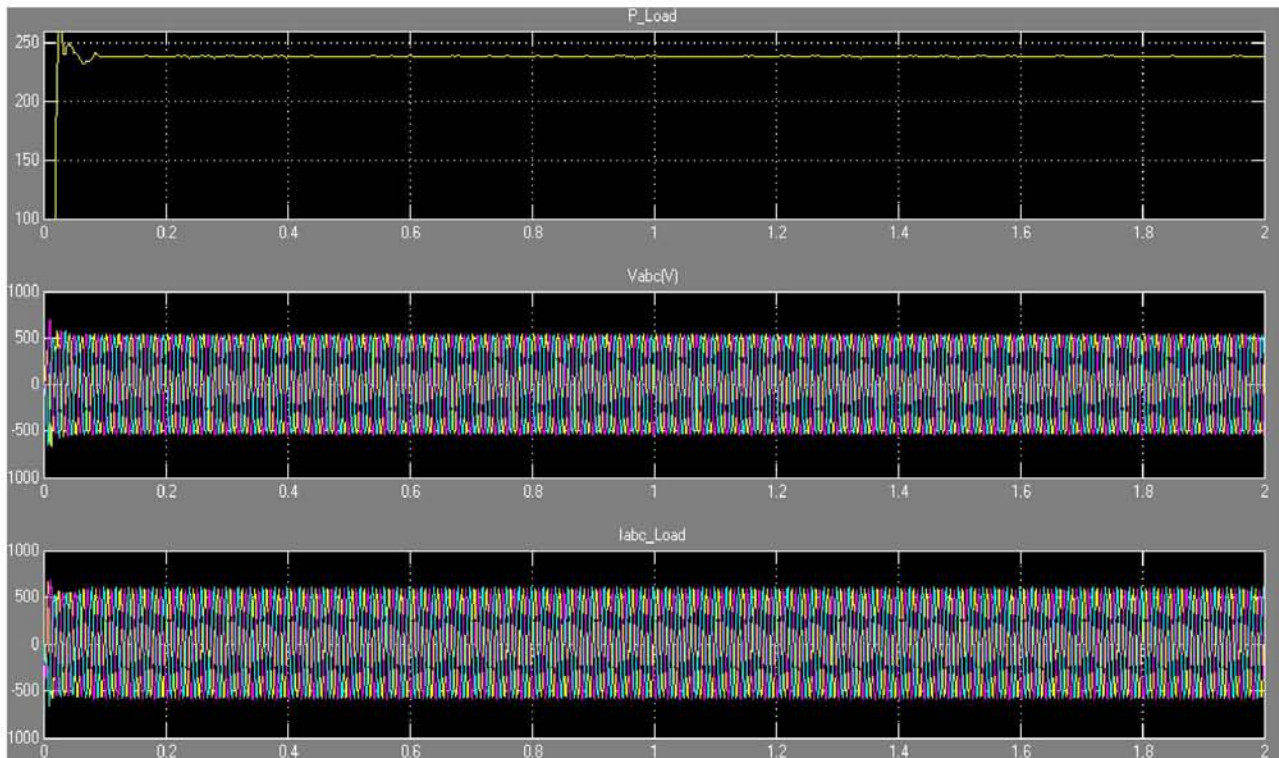


Σχήμα 78: Γραφική παράσταση τάσης και ρεύματος εξόδου Φ/Β συστοιχίας (8.1 3ου σεναρίου)

8.2 Η Α/Γ ως μονάδα παραγωγής του Μικροδικτύου

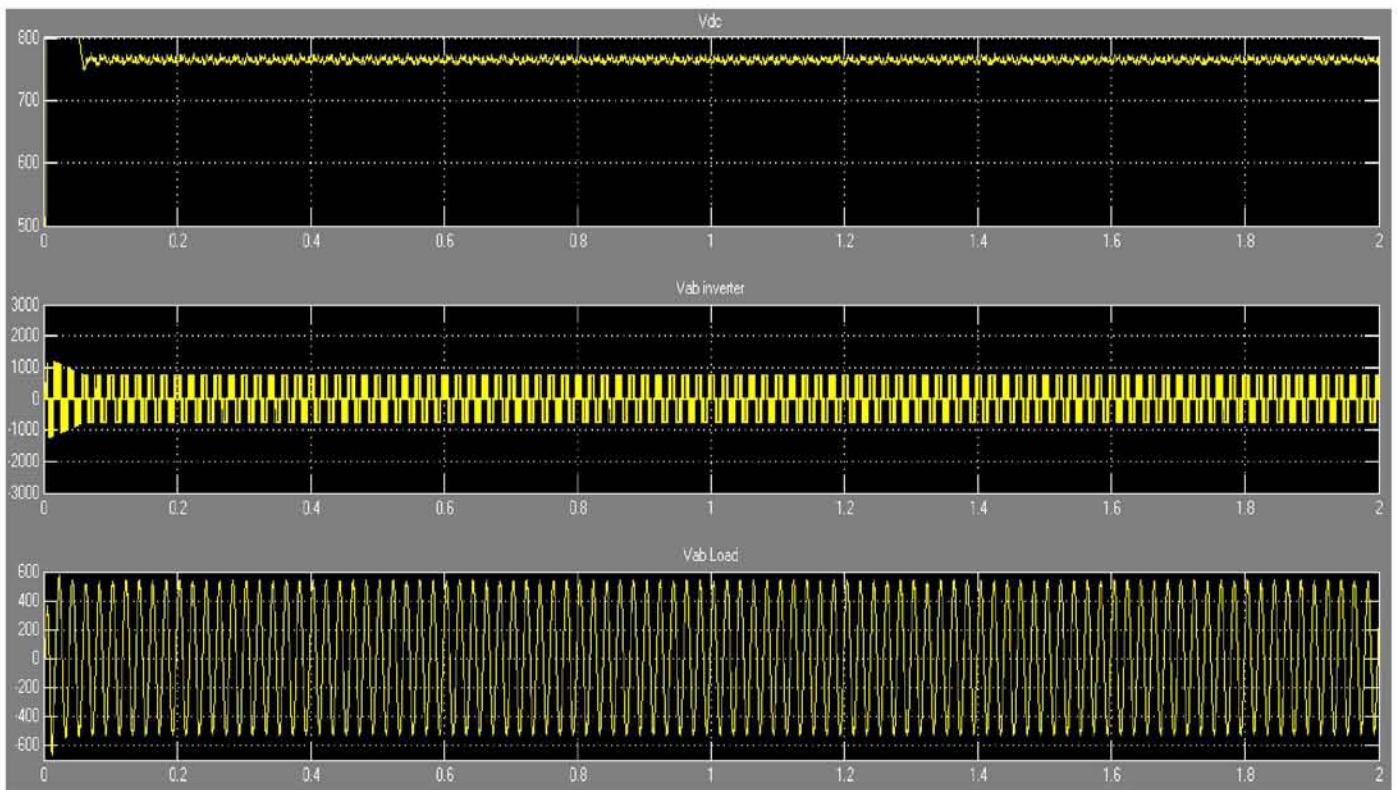
1^ο Σενάριο: Αυτόνομη λειτουργία - 250 kWatt φορτίο

Σε αυτό το σενάριο το Μικροδίκτυο χρησιμοποιεί ως μονάδα παραγωγής την Α/Γ. Το φορτίο ζήτησης έχει οριστεί στα 250 kWatt. Στις γραφικές παραστάσεις του Σχήματος 79 φαίνεται V_{abc} τάση του φορτίου, το ρεύμα I_{abc} καθώς και η καμπύλη ισχύος στο φορτίο το οποίο εν τέλει οριακά καλύπτεται κοντά στα 245 kWatt.



Σχήμα 79: Γραφική παράσταση τάσης, ρεύματος και ισχύος εξόδου Μικροδικτύου (8.2 Ιου σεναρίου)

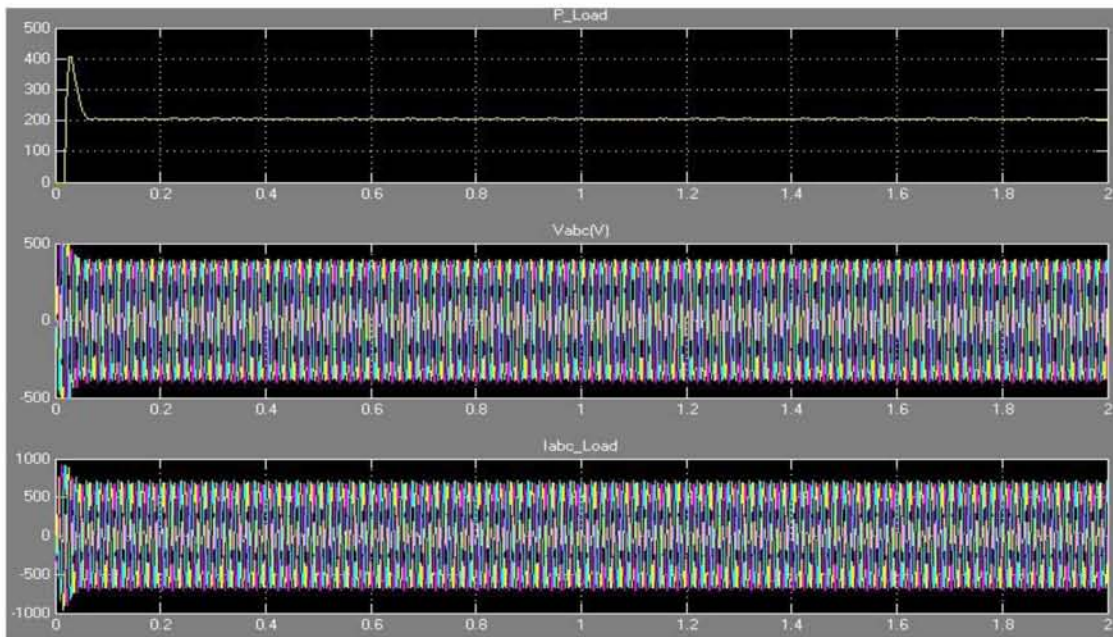
Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τρεις γραφικές παραστάσεις τάσεων στο Σχήμα 80. Η πρώτη αφορά στην τάση V_{dc} στο DC bus μετά τον ανορθωτή (Rectifier). Στη δεύτερη φαίνεται η τάση $V_{ab_inverter}$, δηλαδή η τάση phase-to-phase μετά τον IGBT inverter. Η τελευταία καμπύλη παρουσιάζει την φασική τάση του φορτίου (V_{ab_Load}).



Σχήμα 80: Γραφική παράσταση DC τάσης, τάσης εξόδου στον αντιστροφέα και πολικής τάσης του φορτίου (8.2 Ιου σεναρίου)

2^ο Σενάριο: Αυτόνομη λειτουργία - 400 kWatt φορτίο

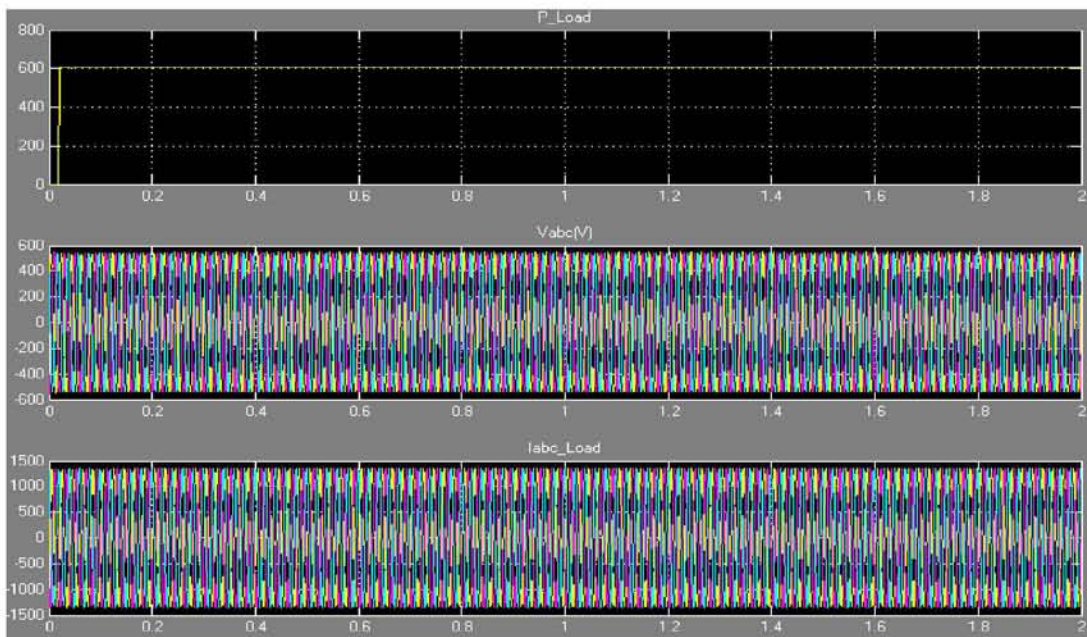
Στην αυτόνομη λειτουργία και σε τιμή φορτίου κοντά στην ονομαστική τιμή της Α/Γ, παρατηρείται πτώση τάσης στην peak τιμή των 390 V. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην ικανοποιείται το φορτίο των 400 kWatt και η κάλυψη του φορτίου φτάνει στα 205 kWatt (Σχήμα 81).



Σχήμα 81: Γραφική παράσταση τάσης, ρεύματος και ισχύος εξόδου Μικροδικτύου (8.2 2ου σεναρίου)

3^ο Σενάριο: Διασυνδεδεμένη λειτουργία - 600 kWatt φορτίο

Στο σενάριο αυτό ορίστηκε φορτίο ονομαστικής τιμής 600 kWatt. Η τιμή της peak τάσης ακολουθεί την αναμενόμενη 537 V (380 V RMS) και η καμπύλη της ισχύος ακολουθεί την τιμή ζήτησης (Σχήμα 83).

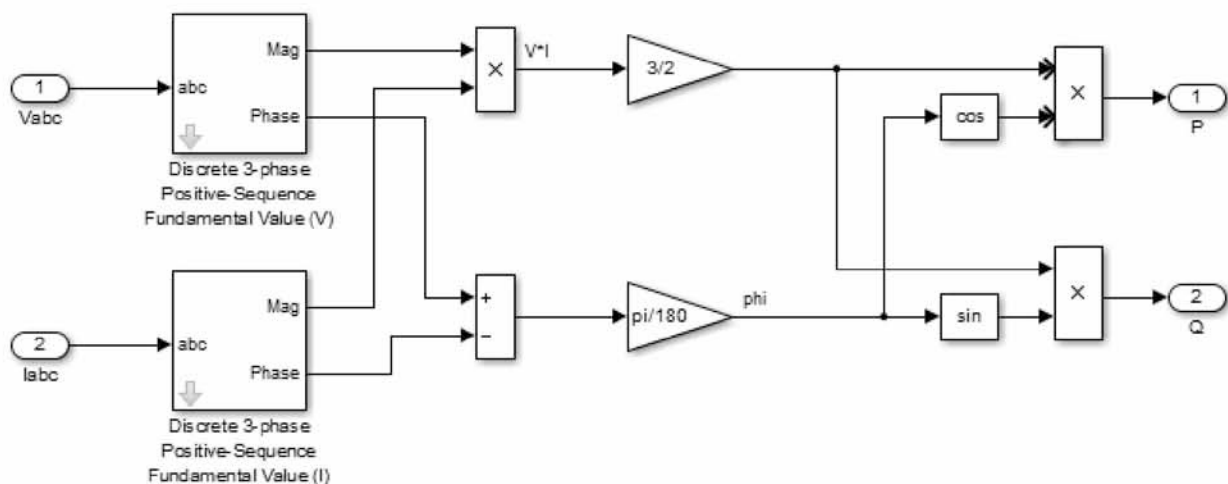


Σχήμα 83: Γραφική παράσταση τάσης, ρεύματος και ισχύος εξόδου Μικροδικτύου (8.2 3ου σεναρίου)

8.3 Το ολοκληρωμένο μοντέλο του Μικροδικτύου

Σε αυτή την παράγραφο θα αναλυθούν τα σενάρια του μοντέλου του Μικροδικτύου στην τελική του μορφή. Θα εξετάσουμε τα φορτία γειωμένου αστέρα ονομαστικής τιμής 700 kWatt και 300 kWatt - 185 kVar και 588 kWatt - 364 kVar.

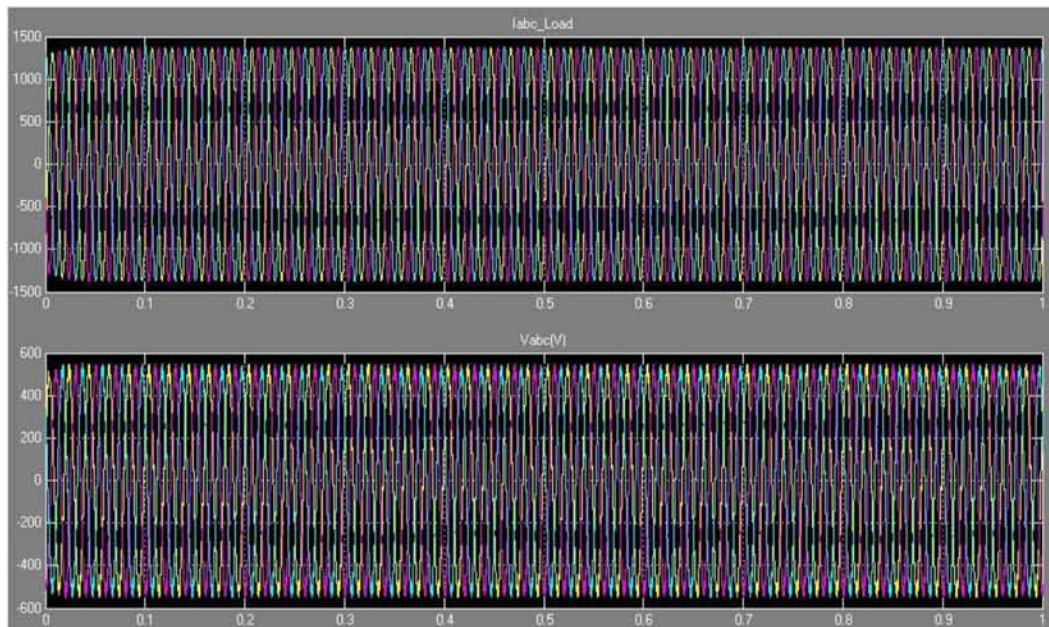
Η μέτρηση της πραγματικής και άεργου ισχύος (P-Q) έγινε χρησιμοποιώντας το block που δημιουργήσαμε στο Simulink 3-phase positive sequence. Το matlab μετράει την ισχύ σε μη συμμετρικά κυκλώματα. Όταν ένα κύκλωμα είναι μη συμμετρικό, μετράμε τρεις συνιστώσες σε κάθε φάση τις $V_{positive}$, $V_{negative}$, V_0 (μη μηδενικές). Όταν είναι συμμετρικό, οι τιμές $V_{negative}$ και V_0 είναι μηδενικές οπότε υπάρχει μόνο η $V_{positive}$ την οποία μετράμε στο παρακάτω διάγραμμα.



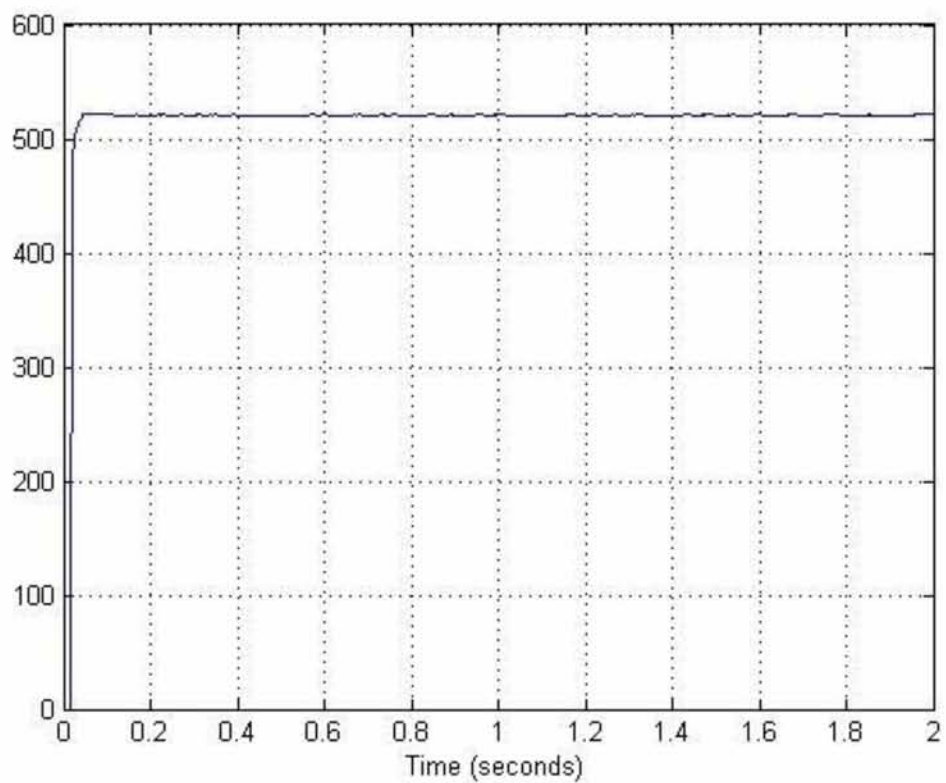
Σχήμα 84: Μοντέλο υπολογισμού ισχύος (P-Q) στο Simulink

1^ο Σενάριο: Διασυνδεδεμένη λειτουργία - 550 kWatt - 340 kVar φορτίο

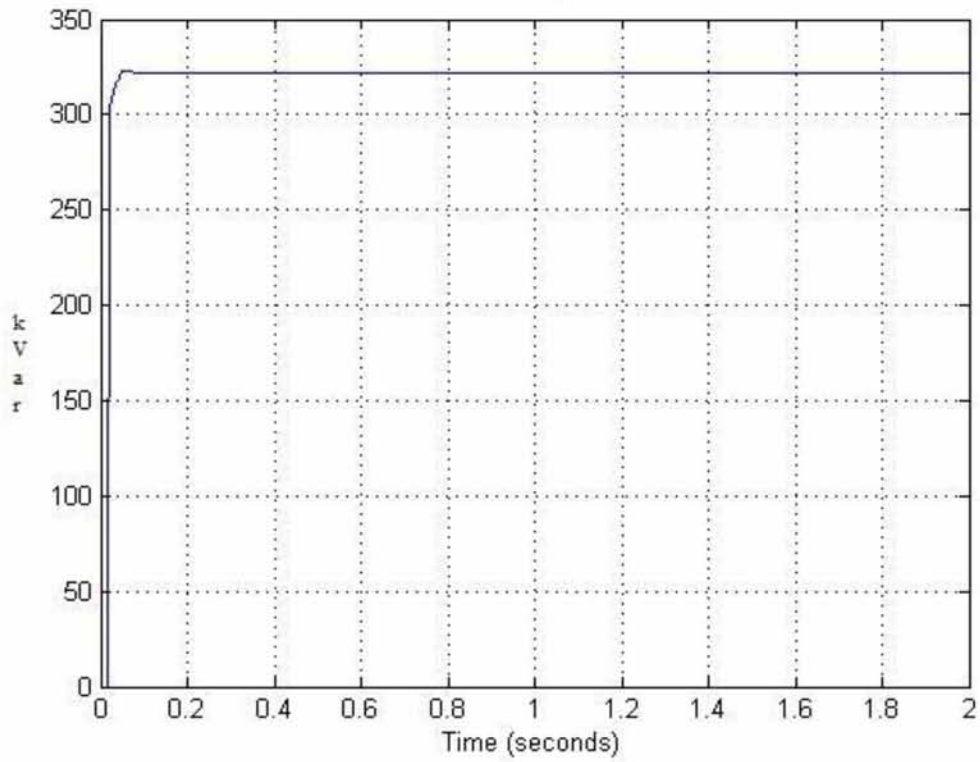
Σε αυτό το σενάριο έχουμε συνδέσει το Μικροδίκτυο σε φορτίο ισχύος 550 kWatt και 340 kVar. Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 85 φαίνονται οι καμπύλες της πολικής peak τιμής τάσης και ρεύματος των τριών φάσεων εξόδου στο φορτίο. Ακολουθούν οι καμπύλες πραγματικής και άεργου ισχύος (Σχήμα 86 και Σχήμα 87). Η τελευταία γραφική του 1ου σεναρίου παριστάνει τις καμπύλες της τάσης και του ρεύματος στην έξοδο της γεννήτριας του Κεντρικού δικτύου (Σχήμα 88). Στη γραφική παράσταση της πραγματικής και της άεργου ισχύος (Σχήμα 86 και 87) παρατηρούμε ότι το φορτίο ζήτησης καλύπτεται οριακά.



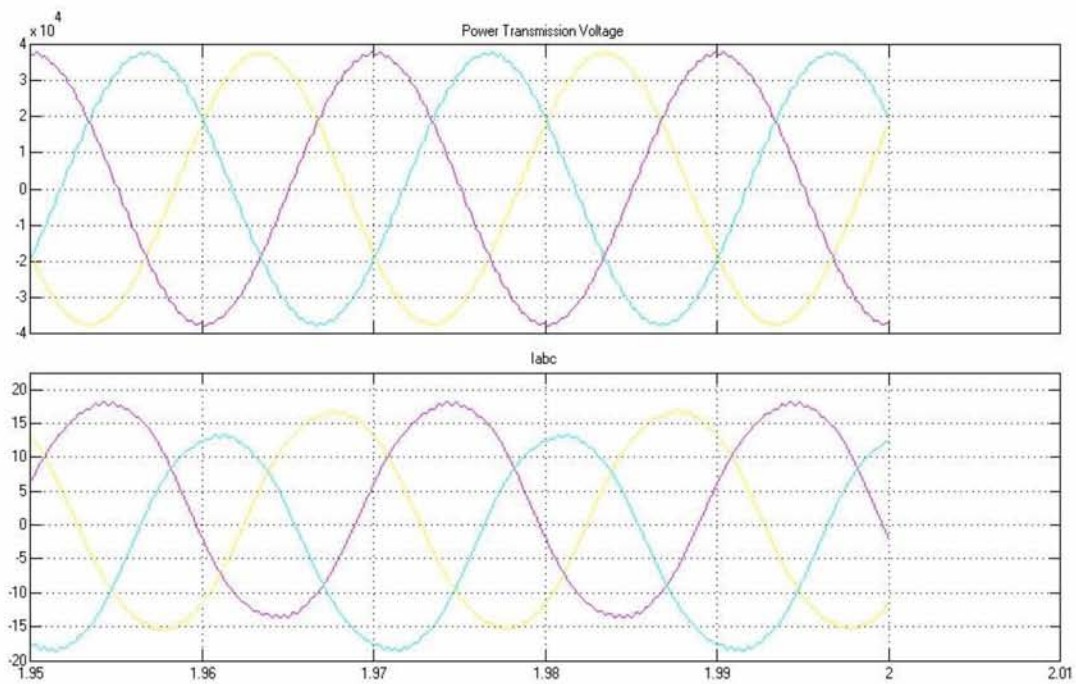
Σχήμα 85: Γραφική παράσταση πολικής τάσης και ρεύματος εξόδου Μικροδικτύου (8.3 1ου σεναρίου)



Σχήμα 86: Γραφική παράσταση πραγματικής ισχύος Μικροδικτύου (8.3 1ου σεναρίου)



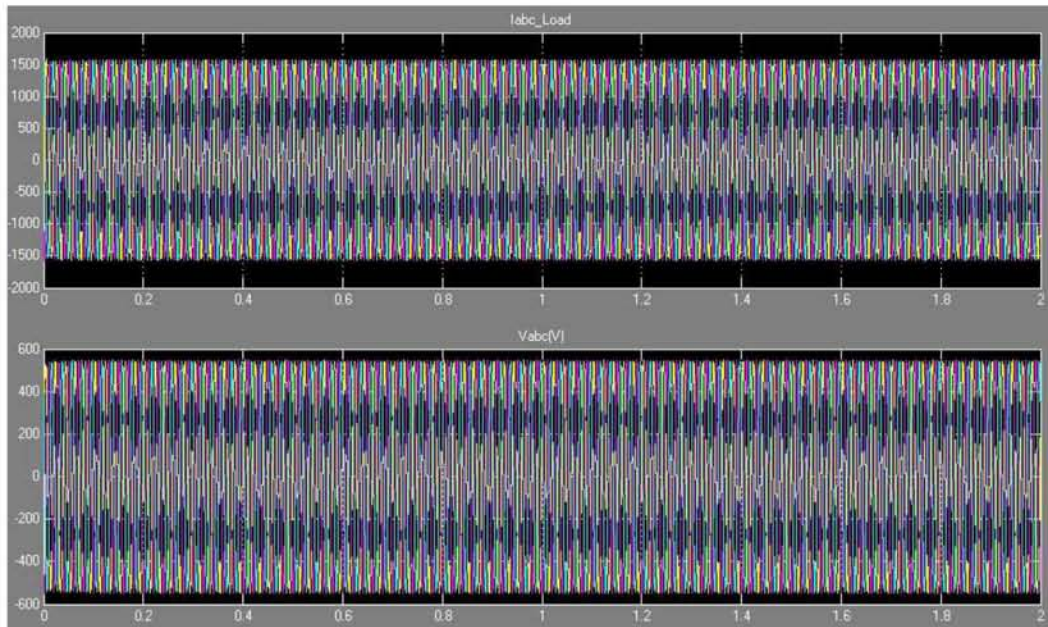
Σχήμα 87: Γραφική παράσταση άεργου ισχύος Μικροδικτύου (8.3 Ιου σεναρίου)



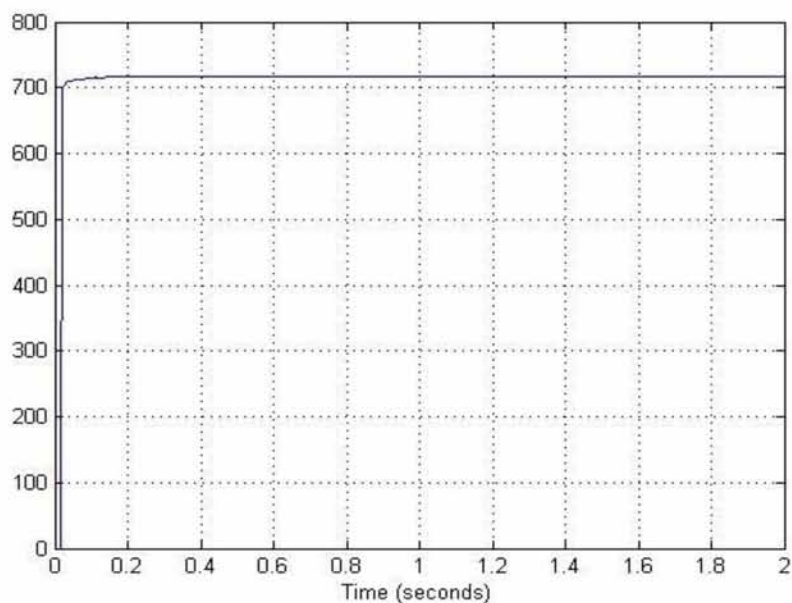
Σχήμα 88: Γραφική παράσταση πολικής τάσης και ρεύματος γεννήτριας του ΚΔ (8.3 Ιου σεναρίου)

2^ο Σενάριο: Διασυνδεδεμένη λειτουργία - 700 kWatt

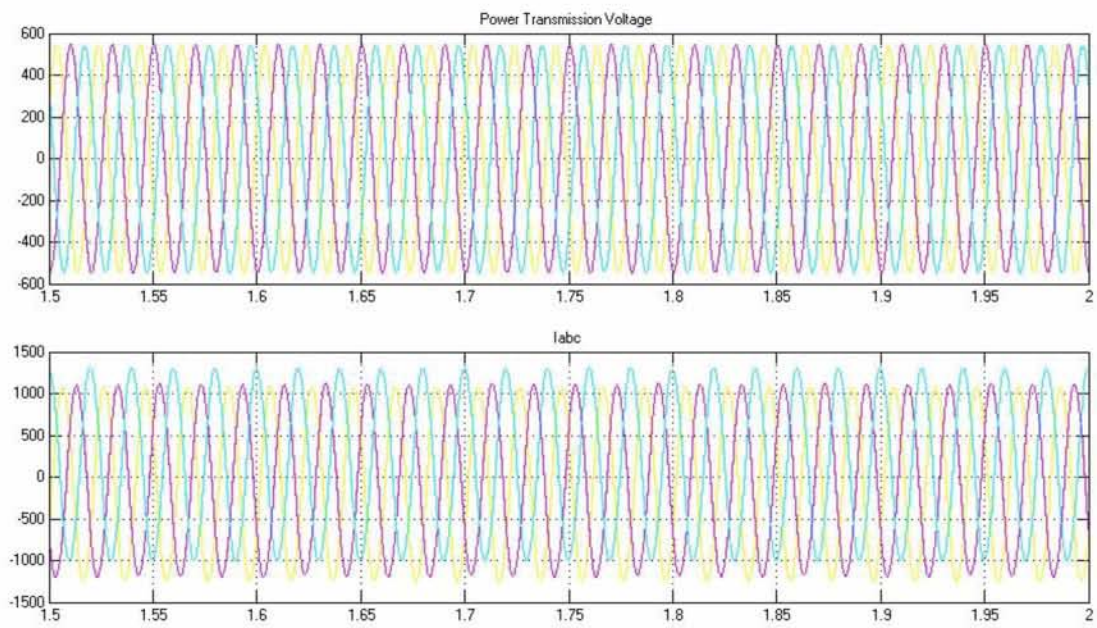
Στο 2ο σενάριο το Μικροδίκτυο έχει συνδεθεί σε φορτίο πραγματικής μόνο ισχύος 700 kWatt. Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 89 φαίνονται οι καμπύλες της πολικής peak τιμής τάσης και ρεύματος των τριών φάσεων εξόδου στο φορτίο. Ακολουθούν οι καμπύλες πραγματικής ισχύος (Σχήμα 90) και οι καμπύλες της τάσης και του ρεύματος στην έξοδο της γεννήτριας του Κεντρικού δικτύου (Σχήμα 91).



Σχήμα 89: Γραφική παράσταση πολικής τάσης και ρεύματος εξόδου Μικροδικτύου (8.3 2ου σεναρίου)



Σχήμα 90: Γραφική παράσταση πολικής τάσης και ρεύματος εξόδου Μικροδικτύου (8.3 2ου σεναρίου)



Σχήμα 91: Γραφική παράσταση πολικής τάσης και ρεύματος γεννήτριας του ΚΔ (8.3 2ου σεναρίου)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Στην διπλωματική εργασία για την κάλυψη ηλεκτρικού φορτίου χρησιμοποιήθηκε ως μονάδες παραγωγής μια φωτοβολταϊκή συστοιχία και μια ανεμογεννήτρια τύπου PMSG. Με σκοπό την εξομάλυνση της εξόδου από τις παραπάνω μονάδες με σκοπό τη διασύνδεσή τους με το Κεντρικό Δίκτυο, έγινε χρήση LC φίλτρων και ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος.

Οι δύο παραπάνω μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με τη διασύνδεσή τους στο Κεντρικό Δίκτυο αποτελούν τη βάση ενός Μικροδικτύου. Το Κεντρικό Δίκτυο είναι απαραίτητο στην κάλυψη φορτίων, ιδιαίτερα αν υπάρχουν αυξομειώσεις παραγωγής από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως το φωτοβολταϊκό και η ανεμογεννήτρια ή μεταβολές φορτίου. Το Κεντρικό Δίκτυο σε αυτή την περίπτωση δρα ως slack bus.

Αξίζει να αναφερθεί ότι το συγκεκριμένο μοντέλο αναπτύχθηκε βήμα-βήμα κάνοντας χρήση του προγράμματος Matlab/Simulink.

Τα βασικά σενάρια κάλυψης του φορτίου που παρουσιάστηκαν στην παρούσα διπλωματική είναι:

- α) Κάλυψη φορτίου από την Φ/Β μονάδα (αυτόνομα και διασυνδεδεμένη στο Κεντρικό Δίκτυο)
- β) Κάλυψη φορτίου από την ανεμογεννήτρια (αυτόνομα και διασυνδεδεμένη στο Κεντρικό Δίκτυο)
- γ) Κάλυψη φορτίου από το Μικροδίκτυο (Φ/Β και Α/Γ διασυνδεδεμένα στο Κεντρικό Δίκτυο)

Στην πλειονότητα των περιπτώσεων το φορτίο καλυπτόταν ικανοποιητικά. Σε αρκετές από τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν υπήρχε αδυναμία πλήρους κάλυψης του φορτίου εξαιτίας χαμηλών τάσεων στην πλευρά του φορτίου, οι οποίες πιθανότατα οφείλονται στην μη ορθή ρύθμιση των παραμέτρων των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν από το matlab. Από τη σωστή ρύθμιση αυτών των παραμέτρων εξαρτάται σε ένα βαθμό και η αποτελεσματικότητα του προσομοιωμένου δικτύου. Ίσως τελικά και αυτός να ήταν ο λόγος για τον οποίο σε ορισμένες προσομοιώσεις να μην είχαμε τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Περαιτέρω μελέτη του θέματος θα μπορούσε να περιλαμβάνει την προσομοίωση ενός Μικροδικτύου με μια ανεμογεννήτρια διαφορετικού τύπου της οποίας η έξοδο θα εξαρτάται από την είσοδο (άνεμος), η/και μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας με μεταβλητή είσοδο (ηλιοφάνειας και θερμοκρασίας) σε συνδυασμό με το Κεντρικό Δίκτυο η με τη χρήση ενός συσσωρευτή για τη δημιουργία ενός υβριδικού δικτύου. Τέλος θα μπορούσαν να μελετηθούν περιπτώσεις προσομοίωσης μεταβλητού φορτίου .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ackerman T., Andersson G., Soder L.. distributed generation: a definition, Electric Power Systems Research 57, 2001
- Αναστασία Σαφγιάννη, Διείσδυση μονάδων κατανεμημένης παραγωγής σε σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Beyene A., Energy efficiency and industrial classification. Energy Engineering, 2005
- Robert H. Lasseter, Paolo Piagi, Microgrid: A Conceptual Solution, PESC'04 Aachen, Germany 20-25 June 2004
- Ελένη Κεμενέ, Ανάλυση και σχεδιασμός επιδεικτικού μικροδικτύου, 2010.
- Sunpower SPR-305-WHT-U (305W) Solar Panel data Sheet
- Sera, D., Kerekes, T. και Teodorescu, R. Teaching Maximum Power Point Trackers Using a Photovoltaic Array Model with Graphical User Interfac, 2006
- Solarex data sheet , <http://www.solarex.com/>
- EWEA (European Wind energy Association). Wind energy- the facts. Wind Power Technology, 2003
- F. D. Bianchi, H. Battista and R. J. Mantz, "Wind Turbine Control Systems", Springer 2007
- M. P. Kazmierkowski, R. Krishnan and F. Blaabjerg, "Control in PowerElectronics – Selected Problems", Academic Press 2002
- Θωμάς Ε. Ναλμπάντης, "Σχεδιασμός Συστήματος Ελέγχου Ανεμογεννήτριας Μεταβλητών Στροφών με Επαγωγική Γεννήτρια Διπλής Τροφοδότησης", Θεσσαλονίκη 2013, πηγή: Βιβλιοθήκη Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών ΑΠΘ
- Thomas Ackerman et al, "Wind Power in Power Systems", John Wiley and Sons 2005
- http://el.wikipedia.org/wiki/Κυψέλη_Καυσίμου
- <http://el.wikipedia.org/wiki/Βιομάζα>
- http://el.wikipedia.org/wiki/Μηχανή_εσωτερικής_καύσης
- J. Myrzik, M. Calais, "String and Module Integrated Inverters for Single Phase Grid Connected PV Systems", IEEE PowerTech Conference, 2003
- G. Smith, "Electrical Control Methods for Wind Turbines", Wind Engineering Vol. 13 No.2, 1989
- Γ.Β.Γιαννακόπουλος, Ν.Α.Βοβός "Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας" Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
- S.J.Chapman : Ηλεκτρικές Μηχανές AC-DC, 3η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2003.
- Jinghua Zhong, "PID Controller Tuning : A Short Tutorial", Mechanical Engineering, Purdue University, Spring 2006.

