



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1591

**Μελέτη Σύνδεσης ΦΒ Σταθμού 4 MW σε Γραμμή
ΜΤ με Υψηλή Διείσδυση ΑΠΕ και ο Αντίκτυπος της
Διεσπαρμένης Παραγωγής στα Δίκτυα Διανομής**

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΖΑΦΕΙΡΑΚΗΣ (6230)

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΣΧΟΙΝΑΣ

ΠΑΤΡΑ – 2018

©2018 - All rights reserved

©2018, Copyright από Ζαφειράκη Νικόλαο

Πρόλογος / Περίληψη

Τα ηλεκτρικά δίκτυα αλλάζουν παγκοσμίως. Τα τελευταία χρόνια η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση και οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν οδηγήσει στη ραγδαία αύξηση της εισχώρησης μικρής ισχύος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα δίκτυα διανομής. Η κεντροποιημένη δομή του κλασικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, όπου τουλάχιστον για ένα αιώνα η ενέργεια παράγεται σε μεγάλες τιμές, συνήθως μακριά από την κατανάλωση και με μονόδρομη τη ροή της ενέργειας αρχίζει να καταρρέει. Η αυξημένη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής αρχίζει να μετατρέπει το παθητικό ηλεκτρικό δίκτυο σε ένα έξυπνο αποκεντρωμένο σύστημα όπου η ενέργεια παράγεται εκεί που καταναλώνετε, είναι διεσπαρμένη σε όλο το δίκτυο και η ροή της ενέργειας είναι αμφίδρομη.

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία θα αναλυθεί αυτό το νέο αποκεντρωμένο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θα αναλυθούν οι διάφορες τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής, τα τεχνικά ζητήματα που εμφανίζονται από την όλο αυξανόμενη διείσδυση μικρής κλίμακας διεσπαρμένης παραγωγής στα ηλεκτρικά δίκτυα, καθώς επίσης διάφοροι μέθοδοι και τεχνολογίες για την επίλυση τους, ούτως ώστε να αυξηθεί το μέγεθος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που μπορεί να φιλοξενήσει το δίκτυο χωρίς τεχνικά προβλήματα.

Εν συνέχεια θα πραγματοποιηθεί η μελέτη ένταξης ενός φωτοβολταϊκού σταθμού 4 MW σε δίκτυο διανομής μέσης τάσης όπου υπάρχει μεγάλη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής. Η μελέτη αυτή θα πραγματοποιηθεί με το κριτήριο τις μη παραβίασης των ορίων ποιότητας ισχύος και των παραμέτρων ασφάλειας του δικτύου. Συγκεκριμένα θα μελετηθεί αν είναι εφικτή η σύνδεση του φωτοβολταϊκού σταθμού σε ένα δίκτυο με υψηλή διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής και αυτό θα κριθεί αρχικά από την επάρκεια των στοιχείων του δικτύου και έπειτα από το αν οι διακυμάνσεις τάσης που προκαλούνται από διάφορα σενάρια είναι εντός επιτρεπτών ορίων. Σε περίπτωση υπέρβασης των επιτρεπτών ορίων θα γίνουν η απαραίτητες τροποποιήσεις για την ενσωμάτωση του σταθμού στη γραμμή. Τέλος θα γίνει μελέτη βραχυκύκλωσης στο σημείο εγκατάστασης για τον καθορισμό των μέσων προστασίας που θα τοποθετηθούν για την προστασία του δικτύου διανομής.

Preface / Abstract

Electric networks are changing worldwide. In recent years, the liberalization of the electricity market, environmental awareness and technological developments have led to a rapid increase in the penetration of low power renewable energy into distribution networks. The centralized structure of the classic electricity system, where for at least a century energy is produced at high prices, usually away from consumption and with one-way flow of energy begins to collapse. Increased penetration of distributed generation begins to turn the passive power grid into an intelligent decentralized system where energy is generated where it's consumed, it is distributed across the grid and the energy flow is bi-directional.

The present dissertation will analyze this new decentralized power generation system, it will analyze the various distributed generation technologies, the technical issues arising from the ever increasing penetration of small-scale distributed generation in the grid, as well as various methods and technologies for solving them in order to increase the size of renewable energy sources that the network can host without technical problems.

Continuing, the integration study of a 4 MW PV plant into a medium voltage distribution network with a large penetration of distributed generation will be carried out. This study will be carried out with the criterion of not violating the power quality limits and network security parameters. In particular, it will be studied whether it is feasible to connect the PV plant to a network with high penetration of distributed generation and this will be judged primarily by the adequacy of the grid elements and whether the voltage fluctuations caused by various scenarios are within permissible limits. If the permissible limits are exceeded, the necessary modifications will be made to integrate the station on the line. Lastly, a short-circuit study at the installation point will be carried out to determine the protection devices to be installed to protect the distribution network.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου Νικόλαο Σχοινά, αρχικά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου την παρούσα πτυχιακή εργασία και εν συνεχεία για την πολύτιμη βοήθειά και στήριξη του όποτε τη χρειάστηκα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, και τους ανθρώπους που με στήριζαν καθόλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Συντομογραφίες

ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
Δ/Α	Διακόπτης Απομόνωσης
ΔΠ	Διεσπαρμένη Παραγωγή
ΕΣΠ	Εικονικός Σταθμός Παραγωγής
ΜΤ	Μέση Τάση
ΜΕΚ	Μηχανή Εσωτερικής Καύσης
ΜΥΗΣ	Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός
ΣΗΕ	Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΣΗΘ	Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού - Θερμότητας
Υ/Σ	Υποσταθμός
ΦΒ	Φωτοβολταικό
ΧΤ	Χαμηλή Τάση

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	9
Εισαγωγή / Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας	9
1.1 Εισαγωγή	9
1.2 Δομή των ΣΗΕ	10
1.2.1 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	10
1.2.2 Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας	11
1.2.3 Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας	11
1.3 Ευστάθεια ΣΗΕ	12
1.5 Ανάλυση Ροών Φορτίου	14
Κεφάλαιο 2	15
Η Έννοια της Διεσπαρμένης Παραγωγής	15
2.1 Εισαγωγή	15
2.2 Ορισμός	15
2.2.1 Φιλικότητα προς το περιβάλλον	16
2.3 Τεχνολογίες Διεσπαρμένης Παραγωγής	17
2.3.1 Ανανεώσιμες Τεχνολογίες	18
2.3.1.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα	18
2.3.1.2 Αιολικά Συστήματα	20
2.3.1.3 Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί	21
2.3.1.4 Βιομάζα	22
2.3.2 Τεχνολογίες Συμβατικών Καυσίμων	22
2.3.2.1 Εμβολοφόρες Μηχανές Εσωτερικής Καύσης	22
2.3.2.2 Αεριοστρόβιλοι	23
2.3.2.3 Μικροτουρμπίνες	24
2.3.2.4 Κυψέλες Καυσίμου	25
2.3.2.5 Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού – Θερμότητας	26
2.3.3 Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας	27
2.4 Πλεονεκτήματα	28
2.5 Μειονεκτήματα	29

Κεφάλαιο 3	31
Ζητήματα Ένταξης ΔΠ στο Δίκτυο	31
3.1 Εισαγωγή	31
3.2 Επίδραση της ΔΠ στα Δίκτυα Διανομής.....	32
3.2.1 Επίδραση στην Διακύμανση Τάσης.....	32
3.2.1.1 Ανάλυση Πτώσης Τάσης σε Δίκτυο Διανομής.....	33
3.2.1.2 Φαινόμενο Ανύψωσης Τάσης.....	35
3.2.2 Επίδραση στην Υπερφόρτωση του Δικτύου.....	35
3.2.3 Επίδραση στη Ποιότητα Ισχύος.....	36
3.2.4 Επίδραση στην Προστασία	37
3.2.4.1 Νησιδοποίηση.....	38
3.3 Καμπύλη Πάπιας (Duck Curve).....	39
Κεφάλαιο 4	41
Μέθοδοι Επίλυσης Ζητημάτων ΔΠ στο Δίκτυο	41
4.1 Εισαγωγή	41
4.2 Τροποποιήσεις στο Ηλεκτρικό Δίκτυο.....	41
4.3 Αντιστροφείς ΔΠ που Παρέχουν Επικουρικές Λειτουργίες	42
4.3.1 Περικοπή Παραγόμενης Ενεργού Ισχύος.....	42
4.3.2 Έλεγχος Παραγωγής ή Απορρόφησης Άεργου Ισχύος.....	43
4.3.3 Δυναμική Υποστήριξη Συχνότητας	43
4.4 Μετασηματιστές Στερεάς Κατάστασης.....	44
4.5 Αποθήκευση Ενέργειας.....	45
4.5.1 Αντλησιοταμίευση.....	46
4.5.2 Συμπύεση Αέρα	48
4.5.3 Μπαταρίες	49
4.5.4 Σφόνδυλοι (Flywheels Energy Storage System)	50
4.5.5 Υπερπυκνωτές (Supercapacitors).....	51
4.5.6 Υπεραγώγιμα Πηνία (Superconducting Magnetic Energy Storage)	53
4.6 Εικονικοί Σταθμοί Παραγωγής Ενέργειας.....	54
4.7 Μικροδίκτυα.....	56
4.8 Έξυπνα Δίκτυα.....	58
Κεφάλαιο 5	60
Μελέτη Ένταξης ΦΒ Σταθμού στο Δίκτυο Διανομής	60

5.1 Εισαγωγή	60
5.2 Σενάριο Μελέτης.....	60
5.2.1 Η Γραμμή Μέσης Τάσης.....	61
5.3 Απλοποίηση Γραμμής με Ομαδοποίηση Φορτίων.....	61
5.4 Μελέτη Εφικτότητας Σύνδεσης	63
5.4.1 Διερεύνηση Επάρκειας Στοιχείων Δικτύου	63
5.4.2 Διερεύνηση για την Προστασία της Γραμμής	63
5.4.3 Μελέτη Βραχυκύκλωσης για Καθορισμό Ρύθμισης του Δ/Α	64
5.4.4 Μελέτη Ροής Φορτίου.....	65
5.4.5 Διερεύνηση Σεναρίου Μέγιστης Ανύψωσης Τάσης	65
5.4.6 Διερεύνηση Σεναρίου Μέγιστης Πτώσης Τάσης	68
5.4.7 Αποτελέσματα Εφικτότητας Σύνδεσης ΦΒ Σταθμού	70
5.5 Μελέτη Βραχυκυκλώσεως για Καθορισμό Μέσου Προστασίας.....	71
Συμπεράσματα.....	72
Παράρτημα/ Υπολογισμοί.....	73
Βιβλιογραφία.....	84

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή / Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.1 Εισαγωγή

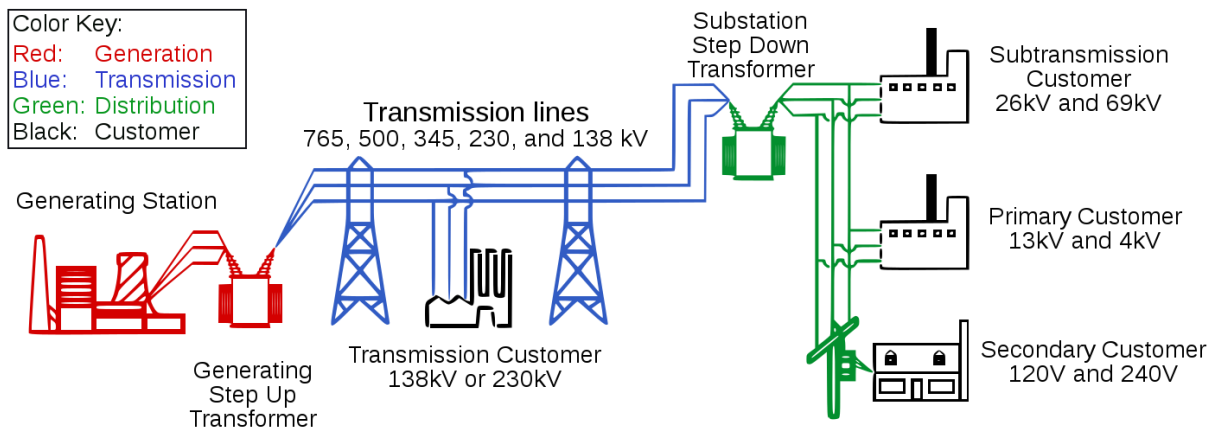
Με τον όρο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) χαρακτηρίζεται το σύνολο των εγκαταστάσεων και μέσων τα οποία χρησιμεύουν στην εξυπηρέτηση των αναγκών ενός συνόλου καταναλωτών σε ηλεκτρική ενέργεια. Σκοπός ενός ΣΗΕ είναι η παραγωγή, η μεταφορά και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στο σύνολο των αντίστοιχων καταναλωτών. Η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας σπάνια πραγματοποιείται στην αρχική της μορφή και συνήθως μετατρέπεται σε πιο αξιοποιήσιμες μορφές ενέργειας, όπως π.χ. η θερμική, η μηχανική και ο φωτισμός. Το πλεονέκτημα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η δυνατότητα της εύκολης μεταφοράς και ελεγκσιμότητας που προσφέρει με σχετικά μεγάλο βαθμό απόδοσης και αξιοπιστίας.

Η ορθή λειτουργία ενός ΣΗΕ προϋποθέτει την τήρηση κάποιων βασικών αρχών και απαιτήσεων:

- Το σύστημα οφείλει να ανταποκρίνεται επαρκώς σε συνεχείς αλλαγές της ζήτησης του φορτίου. Η ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι εύκολα και οικονομικά αποθηκεύσιμη και επομένως η συνεχής προσαρμογή στην κατανάλωση μέσω του ελέγχου της παρεχόμενης ισχύος είναι απαραίτητη.
- Το σύστημα πρέπει να παρέχει ενέργεια με τα ελάχιστα οικονομικά και περιβαλλοντικά κόστη.
- Το σύστημα πρέπει να ικανοποιεί ορισμένους όρους ποιότητας της παρεχόμενης ενέργειας. Η βασικοί παράγοντες που συνιστούν τη ποιότητα είναι η τήρηση των θεσμοθετημένων ορίων διακύμανσης συχνότητας και τάσης καθώς και υψηλή αξιοπιστία τροφοδοτήσεως.

1.2 Δομή των ΣΗΕ

Η παραδοσιακή δομή ενός ΣΗΕ αποτελείται από τρία υποσυστήματα. Το σύστημα Παραγωγής, το σύστημα Μεταφοράς και το σύστημα Διανομής.



Εικόνα 1.1 Δομή Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.2.1 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το Σύστημα Παραγωγής περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι είναι εγκαταστάσεις όπου μια μορφή πρωτογενούς ενέργειας μετατρέπεται σε κινητική και κατόπιν σε ηλεκτρική με την βοήθεια των γεννητριών. Ανάλογα με την μορφή της πρωτογενούς αυτής ενέργειας οι σταθμοί παραγωγής διακρίνονται σε:

- **Θερμοηλεκτρικούς**, όπου η θερμότητα, προερχόμενη από καύση ορυκτών καυσίμων ή πυρηνική σχάση μετατρέπεται με την βοήθεια στροβίλων σε κινητική που οδηγεί μία σύγχρονη γεννήτρια. Ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιούν οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί χωρίζονται περαιτέρω σε ατμοηλεκτρικούς και πυρηνικούς, οι οποίοι χρησιμοποιούν τους ατμοστροβίλους, καθώς και στους πετρελαϊκούς-ντιζελοηλεκτρικούς, που χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) οι οποίες μπορεί να είναι είτε εμβολοφόρες Ντιζελογεννήτριες (Ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη – ΗΖ) είτε αεριοστροβίλοι (gas turbines).
- **Υδροηλεκτρικούς**, όπου η απαραίτητη κινητική ενέργεια προέρχεται από την μετατροπή της δυναμικής ενέργεια του νερού καθώς αυτό διέρχεται μέσα από διάφορους τύπους υδροστροβίλων. Ανάλογα με τον τρόπο ροής του νερού, διακρίνονται σε σταθμούς φυσικής ροής, ρυθμιζόμενης ροής και αντλητικούς.
- **Ανανεώσιμους**, όπου γίνεται χρήση πηγών ενέργειας, οι οποίες βρίσκονται στην φύση σε πρακτικά ανεξάντλητες ποσότητες και καθώς οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας γίνονται περισσότερο από αισθητές, αναμένεται η χρήση τους να αυξηθεί δραματικά τα επόμενα χρόνια. Ανάλογα με την μορφή της πρωτογενούς μορφής οι περισσότερο διαδεδομένες εφαρμογές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στα σημερινά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα

αιολικά πάρκα, όπου χρησιμοποιείται η κινητική ενέργεια του ανέμου με την βοήθεια ανεμογεννητριών και οι σταθμοί που χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια, είτε απευθείας σαν φωτεινή ενέργεια οπότε αναφέρονται ως φωτοβολταϊκά πάρκα, είτε μετατρέποντας την πρώτα σε θερμότητα οπότε ηλιοθερμικοί σταθμοί.

Το σύστημα παραγωγής ενός ΣΗΕ περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής μαζί με τους υποσταθμούς ανύψωσης της τάσης σε Υψηλή Τάση (ΥΤ) για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.

1.2.2 Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το σύστημα μεταφοράς αποτελείται από εγκαταστάσεις ισχύος που αναλαμβάνουν τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς παραγωγής στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης από όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής.

Το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών υψηλής τάσης, τους υποσταθμούς ζεύξεως των δικτύων αυτών, τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διαφόρων τάσεων δικτύου και τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσης σε μέση τάση προς τροφοδότηση των δικτύων διανομής. Με το σύστημα μεταφοράς η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από τους σταθμούς παραγωγής προς τις περιοχές κατανάλωσης. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε υψηλή τάση, διότι αυτό συνεπάγεται μικρότερες απώλειες και συνεπώς οικονομικότερη λειτουργία.

Χρησιμοποιούνται διάφορες τάσεις μεταφοράς αναλόγως της απόστασης και της ποσότητας της ισχύος που πρέπει να μεταφερθεί. Διεθνώς οι εφαρμοζόμενες ονομαστικές τάσεις μεταφοράς σήμερα περιλαμβάνουν τιμές που ξεκινάνε από 66 KV και για πολύ μεγάλες αποστάσεις φτάνουν τα 500 KV ή και τα 750 KV. Πάνω από 230 KV θεωρείται υπερυψηλή τάση.

1.2.3 Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το δίκτυο διανομής παραλαμβάνει την ενέργεια που μεταφέρεται στις μείζονες περιοχές φορτίου μέσω του συστήματος μεταφοράς και τη διανέμει μέσα στην εξυπηρετούμενη περιοχή, φθάνοντας μέχρι τον τελευταίο καταναλωτή.

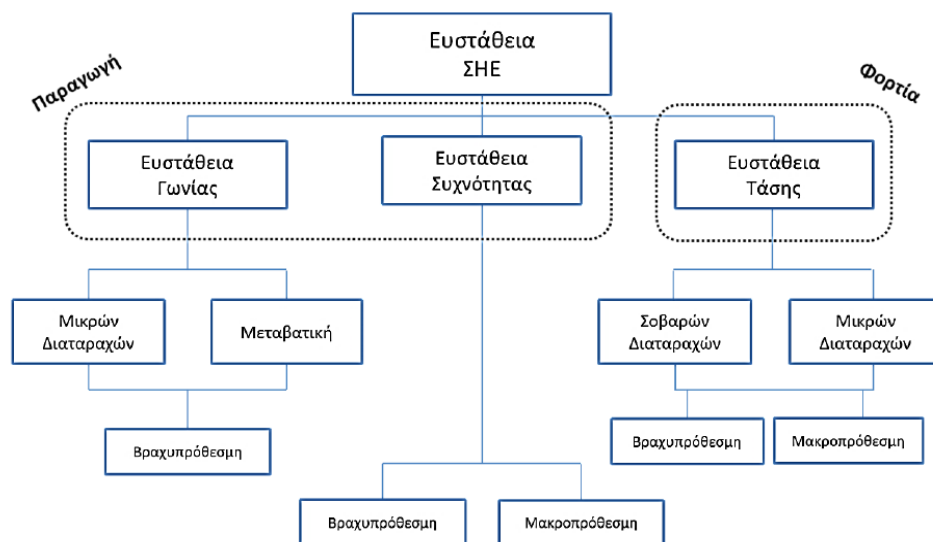
Το δίκτυο διανομής χωρίζεται σε δυο βαθμίδες: την διανομή μέσης τάσης (MT) ή πρωτεύουσα διανομή και την διανομή χαμηλής τάσης (XT) ή δευτερεύουσα διανομή. Η τροφοδότηση του δικτύου διανομής γίνεται από τους υποσταθμούς ΥΤ/MT και τροφοδοτεί τους σταθμούς MT/XT καθώς και τους καταναλωτές Μέσης Τάσης.

Ανάλογα με τον τύπο περιοχής που τροφοδοτούν μπορούν να είναι είτε υπόγεια είτε εναέρια, ενώ λόγω του μεγάλου πλήθους των στοιχείων που διαθέτουν, λειτουργούν ακτινικά χάριν απλότητας της προστασίας και της ροής ενέργειας στα δίκτυα αυτά. Η έννοια του συστήματος διανομής έχει αλλάξει με τα χρόνια. Με τη χρησιμοποίηση όλο και υψηλότερων τάσεων για τη διανομή, πολλά δίκτυα που παλαιότερα έπαιζαν τον ρόλο της μεταφοράς ενέργειας χαρακτηρίζονται πλέον δίκτυα υπομεταφοράς και αποτελούν μέρος των δικτύων διανομής.

1.3 Ευστάθεια ΣΗΕ

Ένα ΣΗΕ χαρακτηρίζεται γενικά ευσταθές, όταν ενώ λειτουργεί σε ορισμένη μόνιμη κατάσταση και αφού υποστεί διαταραχή από οποιαδήποτε αιτία, τείνει να επανέλθει σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, ίδια ή παρόμοια με την αρχική. Ως μόνιμη κατάσταση λειτουργίας ορίζεται μια συνήθης κατάσταση λειτουργίας του συστήματος κατά την οποία εκτελεί τον προορισμό του, δηλαδή παράγει, μεταφέρει και διανέμει σε κάθε στιγμή την ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Τα ΣΗΕ είναι δυναμικά μη γραμμικά συστήματα τα οποία υφίστανται συνεχώς διάφορες μικρές ή σοβαρότερες διαταραχές προερχόμενες από μεταβολές της ζήτησης και της παραγωγής, από διακοπές ή ζεύξεις στοιχείων του συστήματος, καθώς και από βραχυκυκλώματα ή άλλα σφάλματα. Η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς των δικτύων καλύπτει μια μεγάλη περιοχή φαινομένων διαφορετικής φύσεως: ηλεκτρικά, μηχανικά και θερμικά φαινόμενα. Η μεταβατική συμπεριφορά του συστήματος διαρκεί χρονικά από μερικά χιλιοστά του δευτερολέπτου (υπερτάσεις χειρισμών, γραμμών ή καλωδίων) έως πολλά λεπτά (φαινόμενα μεταβολής της συχνότητας και ανταλλαγής ισχύος μεταξύ διασυνδεδεμένων δικτύων ή φαινόμενα τάσεως).



Εικόνα 1.2 Είδη Ευστάθειας

Τα είδη ευστάθειας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις εξής κατηγορίες:

- **Στατική ευστάθεια ή ευστάθεια μικρών διαταραχών.** Αφορά την απόκριση του συστήματος σε αργές και βαθμιαίες (μικρές) διαταραχές. Η στατική ευστάθεια εξαρτάται από το εξεταζόμενο σημείο λειτουργίας, αλλά όχι από τη διαταραχή, που θεωρείται υπερβολικά μικρή κατά την ανάλυση ευστάθειας.

- **Μεταβατική ευστάθεια ή ευστάθεια μεγάλων διαταραχών.** Αναφέρεται στην απόκριση του συστήματος σε μεγάλες (σοβαρές) και απότομες διαταραχές (συνήθεις διαταραχές αυτού του τύπου είναι και τα βραχυκυκλώματα). Η μεταβατική ευστάθεια εξετάζει αν ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι σε θέση να επανέρθει σε κανονική λειτουργία μετά από μια συγκεκριμένη μεγάλη διαταραχή και άρα εξαρτάται από το μέγεθος και το είδος της διαταραχής.

Αναλυτικότερα ανάλογα με τη φύση των εμπλεκόμενων φαινομένων τα είδη αστάθειας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις εξής κατηγορίες.

- **Ευστάθεια γωνίας δρομέα** αναφέρεται στην ικανότητα ενός συνόλου συνδεδεμένων σύγχρονων μηχανών να παραμένουν σε συγχρονισμό μετά από την υποβολή τους σε κάποια διαταραχή. Αστάθεια εμφανίζεται στη μορφή μη αποσβενούμενων ηλεκτρομηχανικών ταλαντώσεων (στατική αστάθεια) ή μονότονης επιτάχυνσης του δρομέα που οδηγεί σε απώλεια συγχρονισμού (μεταβατική αστάθεια). Το χρονικό πλαίσιο της ευστάθειας γωνίας είναι αυτό των ηλεκτρομηχανικών φαινομένων, με διάρκεια μερικών δευτερολέπτων και άρα τα φαινόμενα αστάθειας γωνίας κατατάσσονται στη βραχυπρόθεσμη χρονική κλίμακα.
- **Ευστάθεια συχνότητας** αντιστοιχεί στην ικανότητα του συστήματος να διατηρεί τη συχνότητα κοντά στην ονομαστική τιμή μετά από μια σοβαρή διαταραχή (μεταβατική ευστάθεια). Αστάθεια συχνότητας προκαλείται λόγω αναντιστοιχίας μεταξύ της παραγόμενης και της καταναλισκόμενης ενεργού ισχύος. Σε μεγάλα διασυνδεδεμένα ΣΗΕ, η εμφάνιση αστάθειας συχνότητας είναι πιθανή μόνο σε «νησιδοποιημένα» τμήματα του συστήματος μετά από μεγάλη διαταραχή.
- **Ευστάθεια τάσεως** όπου αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος να διατηρήσει αποδεκτά επίπεδα τάσεων σε όλους τους ζυγούς του, μετά από μια διαταραχή. Αστάθεια τάσης προκαλείται από την αδυναμία του συστήματος να τροφοδοτήσει με την απαιτούμενη ισχύ τα φορτία που είναι ενταγμένα σε αυτό και λαμβάνει χώρα με τη μορφή μικρών (στατική) ή μεγάλων διαταραχών (μεταβατική).

1.5 Ανάλυση Ροών Φορτίου

Με τον όρο ανάλυση ροών φορτίων εννοούμε τον υπολογισμό των τάσεων, των ρευμάτων και των ροών ενεργού ισχύος στα διάφορα σημεία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας κάτω από πραγματικές ή προβλεπόμενες συνθήκες φόρτισης και λειτουργίας. Η ανάλυση των ροών φορτίου χρειάζεται για να προσδιοριστούν οι επιπτώσεις από τις διασυνδέσεις με άλλα συστήματα, την εισαγωγή νέων φορτίων, την εγκατάσταση νέων μονάδων παραγωγής, την κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς κτλ.

Η ροή της ισχύος ή φορτίου στο δίκτυο για την τροφοδότηση της ζήτησεως, αποτελεί την χαρακτηριστικότερη εκδήλωση της μόνιμης κατάστασης λειτουργίας για ένα ΣΗΕ. Επιπλέον, πρέπει να εξασφαλίζεται ότι η συχνότητα και η τάση στους διαφόρους ζυγούς θα βρίσκονται μέσα σε προδιαγεγραμμένα όρια παρά το γεγονός ότι τα φορτία συχνά μεταβάλλονται απρόβλεπτα. Στα δίκτυα που λειτουργούν ακτινικά, η ροή της ισχύος είναι καθορισμένη και δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα. Όμως στα διασυνδεδεμένα δίκτυα μεταφοράς και σε περιπτώσεις όπου η διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής στα δίκτυα διανομής είναι μεγάλη, η κατανομή των ροών ισχύος έχει πολύ μεγάλη τεχνική και οικονομική σημασία. Έτσι, η μελέτη της ροής φορτίου σε ένα σύστημα είναι απαραίτητη για την καθημερινή λειτουργία του, την επέκτασή του, την εγκατάσταση νέων μονάδων παραγωγής καθώς και για τη διασύνδεσή του με άλλα συστήματα.

Προς την κατεύθυνση αυτή, το πρόβλημα των ροών φορτίου συνίσταται στον προσδιορισμό των μεταβλητών του συστήματος (ισχύων, ρευμάτων, τάσεων), σε μια δεδομένη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Η μόνιμη κατάσταση λειτουργίας αντιστοιχεί σε μια ορισμένη εικόνα φορτίων, μια αντίστοιχη εικόνα παραγόμενης ισχύος και αντίστοιχη εικόνα τάσεων και ροών στο δίκτυο. Κάθε διαφορετική εικόνα φορτίων ή ροών, συνιστά μια άλλη κατάσταση λειτουργίας και περιγράφεται από άλλες τιμές μεταβλητών.

Πλέον, η ανάλυση ροών φορτίου γίνεται με τη χρήση υπολογιστών που επιτρέπουν την ανάλυση δικτύων με πολυάριθμους κόμβους και διασυνδέσεις, επιλέγοντας και την επιθυμητή μέθοδο ανάλυσης. Ο στόχος κάθε προγράμματος ανάλυσης ροής φορτίου είναι να παράγει σε μια δεδομένη κατάσταση λειτουργίας τις παρακάτω πληροφορίες:

- Το μέτρο της τάσης και τη φασική γωνία σε κάθε ζυγό.
- Την ενεργό και άεργο ισχύ που ρέει σε κάθε στοιχείο.
- Την άεργο ισχύ φόρτισης κάθε γεννήτριας

Κεφάλαιο 2

Η Έννοια της Διεσπαρμένης Παραγωγής

2.1 Εισαγωγή

Η διεσπαρμένη παραγωγή (Distributed Generation) - (ΔΠ) αποτελεί μια σύγχρονη τάση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά ως ιδέα κάθε άλλο είναι παρά καινούρια. Στο ξεκίνημα τις εμπορικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας η διεσπαρμένη παραγωγή ήταν ο κανόνας και όχι η εξαίρεση. Το 1882 ο Τόμας Έντισον έχτισε το πρώτο εμπορικό ηλεκτρικό του εργοστάσιο το «Pearl Street» και παρείχε ρεύμα συνεχούς τάσης 110 V σε 59 πελάτες στο Μανχάταν. Μέχρι το 1887, υπήρχαν 121 σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής του Έντισον στις ΗΠΑ που παρείχαν με συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα τους καταναλωτές. Αυτά τα πρώιμα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούσαν με καύση άνθρακα και παρείχαν ισχύ σε καταναλωτές που βρίσκονταν σε κοντινές αποστάσεις, ενώ οι διάφορες ηλεκτροδοτούμενες περιοχές δεν ήταν διασυνδεδεμένες μεταξύ τους αλλά σχημάτιζαν ‘νησίδες’.

Η κεντροποιημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατέστη δυνατή όταν αναγνωρίστηκε ότι το εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα θα μπορούσε να μεταφερθεί με σχετικά χαμηλό κόστος και μειωμένες απώλειες ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις, αξιοποιώντας την ικανότητα ανύψωσης τις τάσης μέσω μετασχηματιστών στο σταθμό παραγωγής και στη συνέχεια τη μείωση της τάσης κοντά στα φορτία του πελάτη. Επίσης, οι έννοιες της βελτιωμένης απόδοσης του συστήματος και η αποδοτική αξιοποίηση του ενεργητικού της παραγωγής παρείχε τη πλατφόρμα για τη δημιουργία ενός διασυνδεδεμένου δικτύου ευρείας κλίμακας.

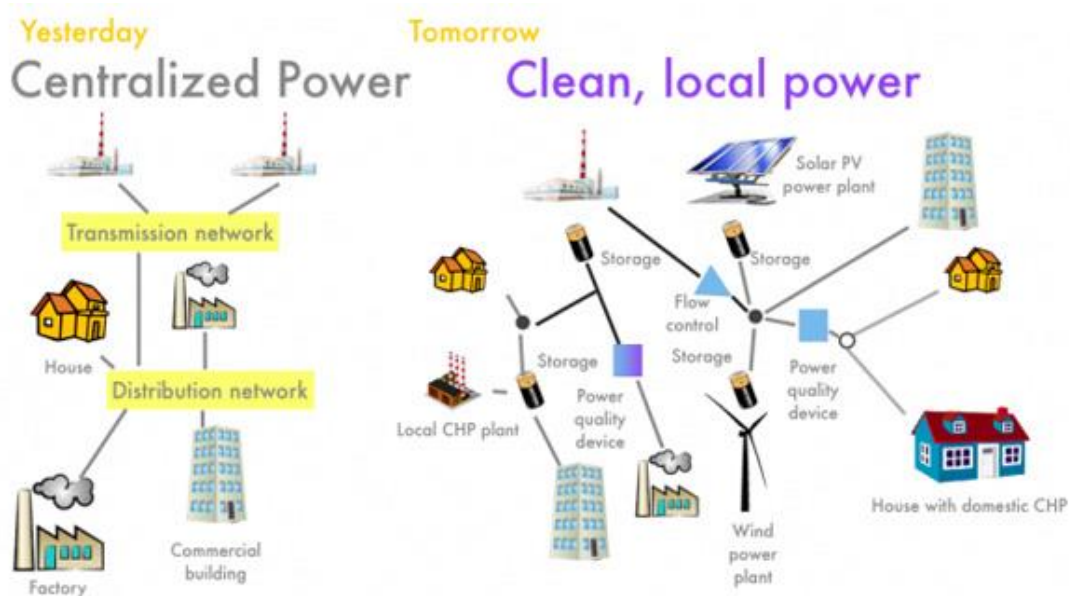
Τα τελευταία χρόνια όμως τα συμβατικά συστήματα παραγωγής ενέργειας αντιμετωπίζουν παγκοσμίως προβλήματα, όπως η σταδιακή εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, η χαμηλή απόδοση και η περιβαλλοντική ρύπανση. Συνάμα οι τεχνολογικές καινοτομίες, οι αλλαγές στο ρυθμιστικό περιβάλλον και η ανησυχία για την κλιματική αλλαγή έχουν δημιουργήσει ένα διαρκώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ευρεία ανάπτυξη τις διεσπαρμένης παραγωγής η οποία διανέμεται στο δίκτυο από μια ποικιλία αποκεντρωμένων τοποθεσιών.

2.2 Ορισμός

Η διεσπαρμένη παραγωγή ορίζεται ως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας, από πολλές μονάδες διεσπαρμένες στο δίκτυο, δηλαδή από μονάδες που βρίσκονται κοντά στο φορτίο και είναι διασυνδεδεμένες με το σύστημα διανομής. Οι μονάδες ΔΠ βρίσκονται κοντά στο φορτίο και δίνουν τη δυνατότητα στους καταναλωτές να παράγουν ένα μέρος ή το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζονται, με αποτέλεσμα να μειώνεται η συνολική ζήτηση. Σε αντίθεση με τη χρήση των μεγάλων συμβατικών μονάδων παραγωγής, που είναι μικρές σε αριθμό και μακριά από τα φορτία, τα συστήματα διεσπαρμένης παραγωγής χρησιμοποιούν πολυάριθμες αλλά μικρές μονάδες που μπορούν να παρέχουν ισχύ με μικρή εξάρτηση από τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής. Η ονομαστική δυνατότητα παροχής ισχύος των μονάδων αυτών κυμαίνεται από μερικά KW έως και 50 MW.

Συνήθως στον ορισμό της ΔΠ, συμπεριλαμβάνονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά, όπως η ύπαρξη και εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας κ.α. Εκτός όμως από τις ΑΠΕ, στη διεσπαρμένη παραγωγή εντάσσονται και άλλες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα. Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι η ΔΠ αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μικρή ή μέση κλίμακα σε διάφορα σημεία του δικτύου ή στο ακραίο τμήμα του δικτύου διανομής από τη πλευρά του καταναλωτή ΧΤ και κατά κανόνα δεν σχεδιάζονται ή ελέγχονται από το κέντρο ελέγχου ενέργειας. Λόγο της πρόσφατης εμφάνισης τις ΔΠ σαν τάση στα ΣΗΕ στη βιβλιογραφία χρησιμοποιείται ένας μεγάλος αριθμός όρων και ορισμών για την περιγραφή της ΔΠ, επίσης συχνά συναντάται και με εναλλακτικούς όρους όπως αποκεντρωμένη, κατανεμημένη, διανεμημένη και διασκορπισμένη παραγωγή.

Σκοπός των μονάδων ΔΠ είναι η παραγωγή ενεργού ισχύος για την κάλυψη των αναγκών γειτονικών στο σημείο σύνδεσής τους καταναλωτών. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, για παράδειγμα όταν η ζήτηση είναι περιορισμένη και η παραγωγή τους αυξημένη, η παραγόμενη ενέργεια, είναι δυνατόν, να εξάγεται στο σύστημα μεταφοράς.



Εικόνα 2.1 Κεντρική και Διεσπαρμένη Παραγωγή

2.2.1 Φιλικότητα προς το περιβάλλον

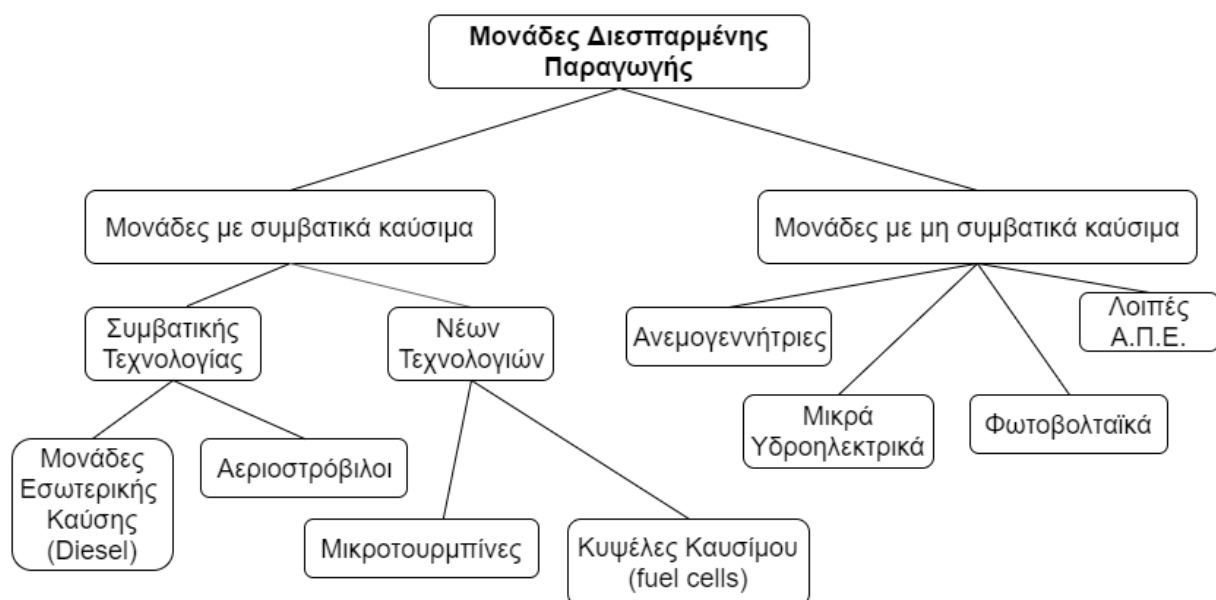
Το κυριότερο όφελος από τη χρήση ΔΠ είναι περιβαλλοντικό. Οι περισσότερες τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής προσφέρουν καθαρότερη και πιο αθόρυβη λειτουργία. Η εκτεταμένη χρήση των ΑΠΕ θα μειώσει την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων και τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, αλλά και επιβλαβείς εκπομπές, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του θείου και του αζώτου (SO_x/NO_x), καθώς οι περισσότερες εναλλακτικές πηγές ενέργειας παράγουν μηδενικούς ή ελάχιστους ρύπους (π.χ. τεχνολογίες που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια και τον άνεμο, κυψέλες καυσίμου κ.α.).

Χρησιμοποιώντας τέτοιες μορφές ενέργειας δίνεται η δυνατότητα σε χώρες που έχουν αναλάβει υποχρεώσεις για μείωση των εκπομπών ρύπων (Πρωτόκολλο του Κιότο, Συμφωνία του Παρισιού κ.α.), να εκπληρώσουν τις υποχρεώσεις αυτές. Παράλληλα, περιορίζεται η χρήση καυσίμων που υπάρχουν σε πεπερασμένες ποσότητες, όπως είναι το πετρέλαιο, που αν συνεχιστεί η κατανάλωσή του με τον ίδιο ρυθμό τα αποθέματα θα τελειώσουν σε μερικά χρόνια. Ακόμα, επειδή η ΔΠ επιτρέπει τη χρήση της θερμικής ενέργειας σε εφαρμογές συμπαραγωγής, αυξάνεται έτσι η συνολική απόδοση του συστήματος διεσπαρμένης παραγωγή παραγωγή σε σχέση με την κεντρική, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την πιο αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας και φορτίου, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην αειφόρο ανάπτυξη.

2.3 Τεχνολογίες Διεσπαρμένης Παραγωγής

Οι τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής αποτελούν συστήματα παραγωγής ενέργειας μικρής κλίμακας, μπορούν να συνδυάζονται με συστήματα αποθήκευσης και τοποθετούνται στον τελικό χρήστη ή κοντά σε αυτόν. Περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών όπως κυψέλες καυσίμου, μικροτουρμπίνες, εμβολοφόρες μηχανές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επίσης διαθέτουν διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος και συσκευές επικοινωνίας και ελέγχου για την αποδοτική λειτουργία των ανεξάρτητων μονάδων παραγωγής και του δικτύου

Στην εικόνα που παρατίθεται φαίνονται οι κυριότερες τεχνολογίες των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Είναι φανερό ότι μπορεί να υπάρχει διαφοροποίηση σε δύο μεγάλες ομάδες. Στις μονάδες που χρησιμοποιούν συμβατικά και μη ανανεώσιμα καύσιμα και στις μονάδες οι οποίες χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή ανανεώσιμα καύσιμα π.χ. βιομάζα.



Εικόνα 2.2 Κατηγορίες Διεσπαρμένης Παραγωγής

2.3.1 Ανανεώσιμες Τεχνολογίες

Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (ή ήπιες μορφές ενέργειας) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές θεωρείται η αιολική ενέργεια, η ηλιακή, η αεροθερμική, η γεωθερμική, η υδροθερμική, η ενέργεια των ωκεανών, η υδροηλεκτρική, καθώς και η ενέργεια που παράγεται από βιομάζα, από τα εκλυόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από αέρια μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και από βιοαέρια.

Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δύο βασικά χαρακτηριστικά τους. Πρώτον, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στην φύση. Δεύτερον, πρόκειται για καθαρές μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον που δεν αποδεδμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα.

Οι περισσότερες ΑΠΕ αποτελούν από τη φύση τους συστήματα διεσπαρμένης παραγωγής, αν και υπάρχουν και εξαιρέσεις, όπως είναι τα υδροηλεκτρικά μεγάλης κλίμακας και τα παράκτια αιολικά πάρκα. Παρακάτω παρατίθενται οι κυριότερες ανανεώσιμες τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής.

2.3.1.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Ο ήλιος είναι η πιο πλούσια και ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Ωστόσο, το πλειοψηφικό ποσοστό της παραμένει ανεκμετάλλευτο. Με απτά αριθμητικά δεδομένα εκτιμάται ότι το ποσό της ηλιακής ενέργειας που φθάνει στην επιφάνεια της γης σε μια ημέρα είναι 10000 με 15000 φορές περισσότερο από τη συνολική παγκόσμια κατανάλωση. Μέσα σε μια ώρα η γη λαμβάνει αρκετή ηλιακή ενέργεια ώστε να καλύψει συνολικά τις ενεργειακές της ανάγκες για ένα περίπου έτος. Η ηλιακή ενέργεια που πέφτει πάνω σε ένα τετραγωνικό μέτρο κάθε χρόνο ισοδυναμεί ενεργειακά με ένα βαρέλι πετρέλαιο, που εν αντιθέσει με τον ήλιο αποτελεί ρυπογόνα και συμβατική πηγή ενέργεια με αποθέματα που διαρκώς μειώνονται.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι μακράν η σημαντικότερη τεχνολογία εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας στη διεσπαρμένη παραγωγή. Τα ΦΒ πλαίσια έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός λεπτού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Αποτελούνται από κατάλληλα επεξεργασμένους δίσκους πυριτίου που βρίσκονται ερμητικά σφραγισμένοι μέσα σε πλαστική ύλη για να προστατεύονται από τις καιρικές συνθήκες και κυρίως την υγρασία. Η μπροστινή όψη του πλαισίου προστατεύεται από ανθεκτικό γυαλί. Η κατασκευή αυτή, που δεν ξεπερνά σε πάχος τα 4 με 5 χιλιοστά του μέτρου, τοποθετείται συνήθως σε πλαίσιο αλουμινίου, όπως στους υαλοπίνακες των κτιρίων.

Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Τα ΦΒ στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ή γεννήτριες (module), τυπικής ισχύος από 20W έως 300W. Οι ΦΒ γεννήτριες συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες (arrays). Ένα τυπικό ΦΒ σύστημα αποτελείται από το ΦΒ πλαίσιο ή την ηλιακή γεννήτρια ρεύματος και τα ηλεκτρονικά ισχύος που διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη ΦΒ συστοιχία. Για αυτόνομα συστήματα υπάρχει επίσης το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες.

Όταν τα ΦΒ πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ποσοστό 14% περίπου της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα, αξιόπιστα και χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις



Εικόνα 2.3 Φωτοβολταϊκό Σύστημα

2.3.1.2 Αιολικά Συστήματα

Η κινητική ενέργεια από την οριζόντια μετατόπιση του αέρα μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των πτερυγίων μιας ανεμογεννήτριας τα οποία είναι συνδεδεμένα σε έναν περιστρεφόμενο άξονα. Η κινητική ενέργεια των πτερυγίων μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας γεννήτριας. Έχουν προταθεί διάφορες τεχνολογίες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της αιολικής. Τελευταία χρησιμοποιούνται ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα αλλά έχουν κάνει την εμφάνισή τους και ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα λόγω της απόδοσής τους σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου. Η χρήση της αιολικής ενέργειας ξεκίνησε με μικρές εγκαταστάσεις, οι οποίες ήταν συνδεδεμένες στην χαμηλή και στην μέση τάση.

Τα συστήματα αιολικής ενέργειας χαρακτηρίζονται ως διεσπαρμένα βάσει των ακόλουθων κριτηρίων:

- **Εγγύτητα προς τον τελικό προορισμό:** ανεμογεννήτριες εγκατεστημένες κοντά στο σημείο τελικής χρήσης με σκοπό την παραγωγή ενέργειας για την κάλυψη τοπικών φορτίων ή την υποστήριξη της λειτουργίας του τοπικού δικτύου
- **Σημείο διασύνδεσης:** ανεμογεννήτριες συνδεδεμένες στην πλευρά του πελάτη του ηλεκτρικού μετρητή ή απευθείας στο τοπικό δίκτυο.

Τα συστήματα αιολικής ενέργειας ΔΠ συνδέονται είτε στην πλευρά του μετρητή του πελάτη για την εξυπηρέτηση τοπικών φορτίων ή απευθείας στο δίκτυο διανομής για την υποστήριξη τοπικών λειτουργιών δικτύου ή αντιστάθμισης κοντινών φορτίων. Αυτή η διάκριση διαφοροποιεί τα τυπικά μικρότερα διεσπαρμένα αιολικά συστήματα από τα αιολικά πάρκα που αποτελούνται από δεκάδες ή εκατοντάδες ανεμογεννητριών πολλών MW που η ενέργεια τους μεταφέρεται μέσω γραμμών μεταφοράς σε υποσταθμούς για μεταγενέστερη παροχή στα φορτία.



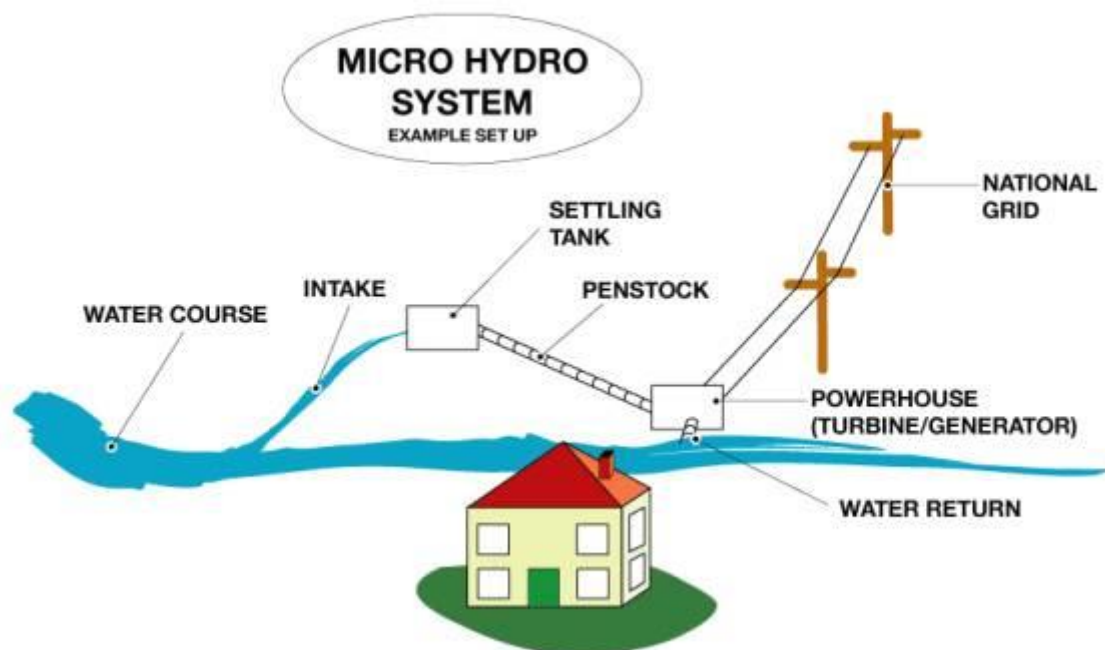
Εικόνα 2.4 Ανεμογεννήτρια Διεσπαρμένης Παραγωγής

2.3.1.3 Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί εκμεταλλεύονται τη δυναμική ενέργεια της μάζας νερού που βρίσκεται σε κάποιο ύψος με σκοπό να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Η δυναμική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε κινητική κατά την πτώση του και στη συνέχεια σε ηλεκτρική καθώς το νερό κινεί έναν υδροστρόβιλο. Παρόλο που η υδραυλική ενέργεια παρέχεται δωρεάν από τη φύση, η κατασκευή μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών απαιτεί σημαντικές δαπάνες και έργα και έχει επίδραση στο περιβάλλον. Οι μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί δεν συγκαταλέγονται στις ΑΠΕ καθώς προκαλούν έντονη περιβαλλοντική αλλοίωση της περιοχής του έργου κυρίως λόγω της κατασκευής μεγάλων φραγμάτων.

Οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ΜΥΗΣ) δεν εμφανίζουν τα αρνητικά χαρακτηριστικά των μεγάλων σταθμών όσο αφορά την περιβαλλοντική επιβάρυνση. Οι μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών, κάτι το οποίο μπορεί να είναι αρκετά δαπανηρό και με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η κατασκευή φραγμάτων επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα καθώς μεταβάλλει ριζικά τη μορφολογία της περιοχής. Ωστόσο ένα καλά σχεδιασμένο μικρό υδροηλεκτρικό έργο μπορεί να ενταχθεί στον περιβάλλοντα χώρο έχοντας ελάχιστη αρνητική επίδραση στο περιβάλλον.

Τα μικρά υδροηλεκτρικά χρησιμοποιούν κυρίως το νερό του ποταμού με μικρή ή καθόλου ανάγκη χρήσης δεξαμενής. Χαρακτηριστικό τους είναι ότι ο χρόνος κατασκευής τους είναι μικρός, είναι συστήματα συνεχούς ροής και σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά συστήματα προσφέρουν τη δυνατότητα συνεχούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επίσης λόγω του μικρότερου μεγέθους τους έχουν το πλεονέκτημα πως μπορούν να κατασκευαστούν πιο κοντά στην κατανάλωση σαν διεσπαρμένη παραγωγή. Για να περιοριστούν οι επιδράσεις στο περιβάλλον από την κατασκευή μεγάλων φραγμάτων τα προγράμματα επιχορηγήσεων καθώς και οι νόμοι για τις ΑΠΕ, ορίζουν ένα μέγιστο μέγεθος για τα όρια των ΜΥΗΣ. Για τη χώρα μας όπως και για την Ευρωπαϊκή επιτροπή Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων το όριο αυτό είναι 10 – 15MW.



Εικόνα 2.5 Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός

2.3.1.4 Βιομάζα

Με τον όρο βιομάζα αποκαλείται οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς, όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, τα υπολείμματα των καλλιεργειών ή τα κτηνοτροφικά απόβλητα, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο, μέσω κατάλληλων θερμοχημικών διεργασιών επεξεργασίας, για την παραγωγή ενέργειας.

Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια (ή σε θερμότητα) με διάφορες διαδικασίες. Η πλειοψηφία της ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα παράγεται χρησιμοποιώντας έναν κύκλο ατμού όπου το υλικό της βιομάζας καίγεται για να δημιουργήσει ατμό σε έναν λέβητα. Ο εξαγόμενος ατμός χρησιμοποιείται έπειτα για να κινήσει ένα ατμοστρόβιλο συνδεδεμένο με μια γεννήτρια. Η βιομάζα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί μαζί με άνθρακα για να παραγάγει ηλεκτρική ενέργεια σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι η πιο οικονομική βραχυπρόθεσμη επιλογή για να εισαγάγει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα και ελαττώνει τις εκπομπές αερίων στις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας από κάρβουνο. Άλλη εναλλακτική λύση είναι να μετατραπεί η στερεά βιομάζα σε ένα αέριο καυσίμων. Το αέριο καυσίμων μπορεί κατόπιν να χρησιμοποιηθεί σε μια εμβολοφόρα μηχανή, σε μία γεννήτρια αεριοστρόβιλων υψηλής αποδοτικότητας ή σε κυψέλες καυσίμου.

Τα κύρια εμπόδια στη διάδοση της χρήση της βιομάζας για την ηλεκτρική παραγωγή είναι το κόστος, η χαμηλή απόδοση μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια και η διαθεσιμότητα σε πρώτη ύλη. Η βιομάζα έχει χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, η οποία κάνει τη μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις δαπανηρή.

2.3.2 Τεχνολογίες Συμβατικών Καυσίμων

Σε αυτήν την κατηγορία εντάσσονται οι εμβολοφόρες μηχανές με κύριο εκπρόσωπο τις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, οι αεριοστροβλικές μονάδες, οι μικροτουρμπίνες, οι ατμολέβητες και οι κυψέλες καυσίμου. Μικροί ατμοστρόβιλοι κυρίως από τοπικές μονάδες συμπαραγωγής και μικροί αεριοστρόβιλοι επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλλά η διεύθυνσή τους αναμένεται να είναι σημαντικά μικρότερη. Οι μονάδες που καταναλώνουν συμβατικά καύσιμα μπορούν να διακριθούν σε Συμβατικής Τεχνολογίας και Νέων τεχνολογιών

2.3.2.1 Εμβολοφόρες Μηχανές Εσωτερικής Καύσης

Οι εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) μετατρέπουν τη θερμότητα από την καύση καυσίμων σε περιστροφική κίνηση που στη συνέχεια οδηγεί μια γεννήτρια. Αντιπροσωπεύουν μια αποδεδειγμένη τεχνολογία με χαμηλό κεφαλαιακό κόστος, μεγάλη γκάμα μεγέθους από λίγα kW έως αρκετά MW, καλή αποδοτικότητα, πιθανή θερμική ή ηλεκτρική συμπαραγωγή στα κτήρια και καλή αξιοπιστία λειτουργίας.

Οι περισσότερες μηχανές χρησιμοποιούν κλάσματα της απόσταξης του πετρελαίου, από βενζίνη για τις μικρότερες, πετρέλαιο diesel για τις λίγο μεγαλύτερες, έως και μαζούτ για μεγέθη που χρησιμοποιούνται για ηλεκτροπαραγωγή σε αυτόνομα νησιά. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει προσπάθειες μετατροπής αυτών των μηχανών για να χρησιμοποιούν

φυσικό αέριο ή προπάνιο ως καύσιμο προκειμένου να μειωθούν οι εκπεμπόμενοι και κυρίως σωματιδιακού χαρακτήρα ρύποι.

Αυτά τα χαρακτηριστικά, συνδυάζοντάς τα με τη δυνατότητα των μηχανών να ξεκινήσουν γρήγορα κατά τη διάρκεια μιας διακοπής λειτουργίας και μη απαιτώντας μεγάλους χώρους εγκατάστασης, τις κάνουν την κύρια επιλογή για έκτακτη ανάγκη ή εφεδρικές παροχές ηλεκτρικού ρεύματος. Τα βασικά εμπόδια στη χρήση ΜΕΚ είναι το υψηλό κόστος συντήρησης και καυσίμων, το οποίο είναι το υψηλότερο μεταξύ των τεχνολογιών ΔΠ, οι υψηλές εκπομπές NO_x (Οξειδίου του Αζώτου), οι οποίες είναι επίσης οι υψηλότερες μεταξύ των τεχνολογιών ΔΠ και ένας υψηλός επιπέδου θόρυβος λειτουργίας.



Εικόνα 2.6 Μηχανή Εσωτερικής Καύσης συζευγμένη με Γεννήτρια

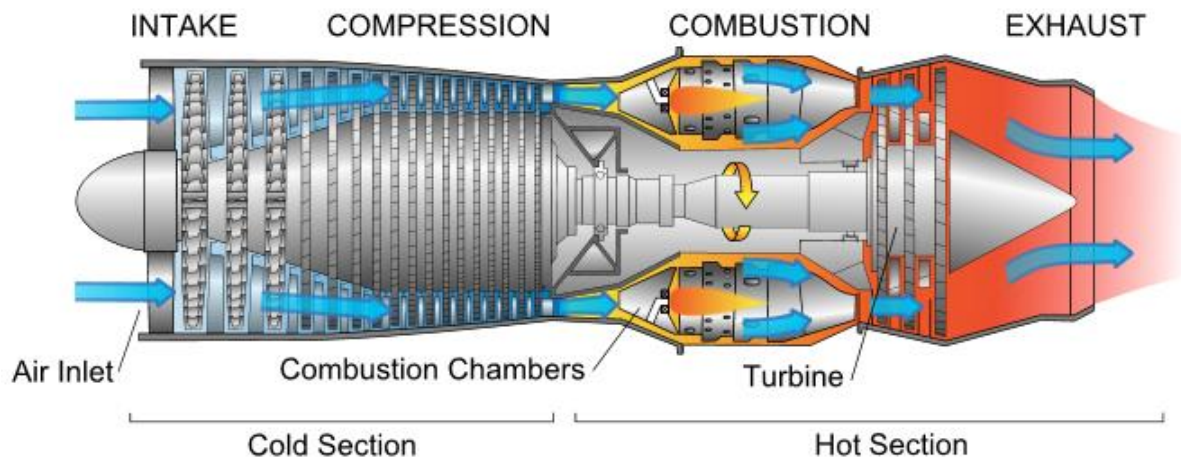
2.3.2.2 Αεριοστρόβιλοι

Οι αεριοστρόβιλοι αποτελούνται από έναν συμπιεστή, έναν καυστήρα και μια γεννήτρια τουρμπίνας που μετατρέπει την περιστροφική ενέργεια σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι αεριοστρόβιλοι όλων των μεγεθών χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία ενέργειας. Παράγουν ισχύ μεταξύ 500 kW και 25 MW για ΔΠ, και χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, πετρέλαιο ή συνδυασμό καυσίμων.

Οι σύγχρονοι αεριοστρόβιλοι έχουν αποδόσεις 20 έως 45% σε πλήρες φορτίο. Μικροί βιομηχανικοί αεριοστρόβιλοι της τάξης των 1 - 20 MW χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού – Θερμότητας (ΣΗΘ). Είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι όταν απαιτείται ατμός υψηλότερης θερμοκρασίας (υψηλότερος από τον ατμό που παράγεται από τις ΜΕΚ). Το κόστος συντήρησης είναι ελαφρώς χαμηλότερο από τις ΜΕΚ. Οι αεριοστρόβιλοι μπορεί να είναι θορυβώδεις αλλά οι εκπομπές NO_x είναι κάπως χαμηλότερες από τις μηχανές καύσης και η οικονομικώς αποδοτική τεχνολογία εκπομπής-ελέγχου NO_x γίνεται εμπορικά διαθέσιμη

Λόγω της βελτιωμένης δυνατότητας συμπαγωγής με μειωμένο βαθμό όχλησης σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης, υπάρχει και αναμένεται να αυξηθεί η διείσδυση αυτού του

τύπου της μονάδας σε βιοτεχνικές – βιομηχανικές εγκαταστάσεις οι οποίες απαιτούν σημαντικότερες ποσότητες θερμότητας από ότι ένα συγκρότημα κατοικιών.



Εικόνα 2.7 Αεριοστρόβιλος

2.3.2.3 Μικροτουρμπίνες

Οι γεννήτριες μικροτουρμπίνων αερίου είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία και θεωρείται πολύ σημαντική για εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος υψηλής πυκνότητας. Οι μονάδες αυτές είναι μικρού μεγέθους, πολύ υψηλής ταχύτητας και συνήθως αποτελούνται από το συμπιεστή, την τουρμπίνα αερίου, τη γεννήτρια και τα ηλεκτρονικά ισχύος για τη σύνδεση τους στο δίκτυο. Οι περισσότερες μικροτουρμπίνες χρησιμοποιούν φυσικό αέριο αλλά η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιθανόλη, είναι επίσης δυνατή. Οι μικροτουρμπίνες είναι στην ουσία μικροί αεριοστρόβιλοι που καταλαμβάνουν όγκο όχι μεγαλύτερο από έναν τηλεφωνικό θάλαμο και παράγουν ισχύ μεταξύ 25 με 500kW. Προήλθαν από τεχνολογίες που υπήρχαν σε μεγάλα φορτηγά και στις τουρμπίνες των αεροσκαφών και παρόλο που κυκλοφορούν ευρέως στην αγορά, γίνονται ακόμα πολλές μελέτες για την περαιτέρω ανάπτυξη τους.

Τα πλεονεκτήματα των μικροτουρμπίνων είναι πολλά. Έχουν σχεδόν αθόρυβη λειτουργία με λίγες δονήσεις, σχετικά μικρό κόστος αρχικής εγκατάστασης, χαμηλά επίπεδα εκπομπής καυσαερίων, θερμικές αποδοτικότητες κυμαινόμενες μεταξύ 5 με 30%, βαθμό ηλεκτρικής απόδοσης της τάξης του 28 με 30%, υψηλές ταχύτητες της τάξης των 60.000 rpm, μικρές ανάγκες συντήρησης και ταυτόχρονα υψηλή αξιοπιστία. Σε περιπτώσεις όπου τα τιμολόγια του αερίου είναι χαμηλά ενώ η ηλεκτρική ενέργεια σχετικά ακριβή που συνήθως είναι και ο κανόνας, καθίσταται πιο οικονομική η χρησιμοποίηση μονάδων μικροτουρμπίνων αντί της ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου. Αντίθετα από τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας, οι μικροτουρμπίνες μπορούν να χρησιμοποιούνται από ιδιώτες αφού εγκαθίστανται εύκολα, έχουν χαμηλές εκπομπές ρύπων και βρίσκονται ακριβώς δίπλα στη ζήτηση της ενέργειας. Τα κύρια μειονεκτήματά τους είναι προς το παρόν το μικρό ιστορικό τους και το υψηλό κόστος τους έναντι των ΜΕΚ.



Εικόνα 2.8 Μικροτουρμπίνες

2.3.2.4 Κυψέλες Καυσίμου

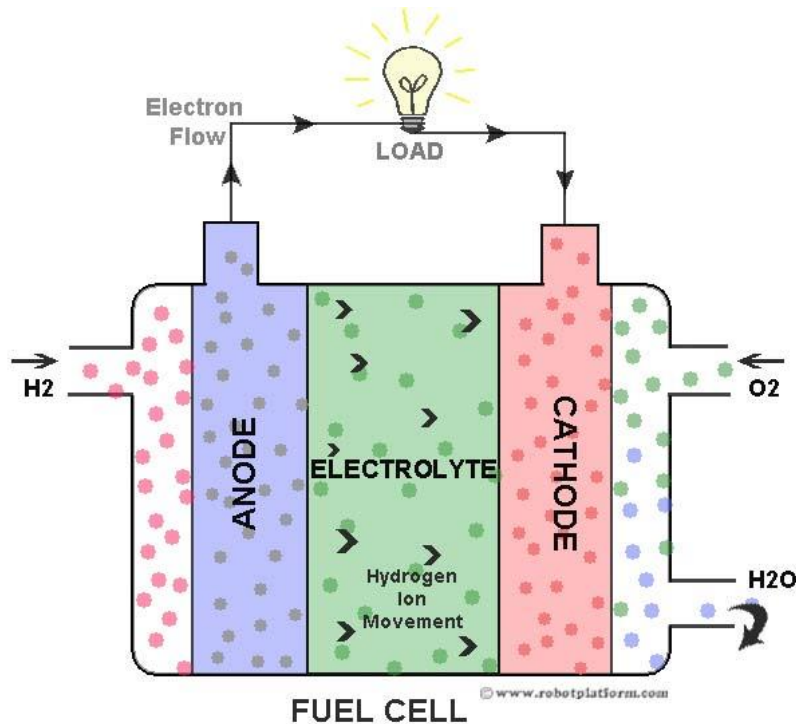
Οι κυψέλες καυσίμου (Fuel Cell) ανήκουν στις νέες τεχνολογίες ΔΠ. Είναι ηλεκτροχημικές συσκευές που μετατρέπουν απ' ευθείας τη χημική ενέργεια καυσίμων σε χρησιμοποιήσιμη ενέργεια (ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα) χωρίς καύση. Αυτό είναι αρκετά διαφορετικό από τις περισσότερες ηλεκτρικές παραγωγικές συσκευές (π.χ. ατμοστρόβιλοι, αεριοστρόβιλοι και μηχανές καύσης) οι οποίες μετατρέπουν αρχικά χημική ενέργεια καυσίμων σε θερμική ενέργεια, έπειτα σε μηχανική ενέργεια και τέλος σε ηλεκτρική ενέργεια.

Μια κυψέλη καυσίμου καταναλώνει υδρογόνο και οξυγόνο και παράγει ηλεκτρική ενέργεια, θερμότητα και νερό. Αποτελείται από δυο ηλεκτρόδια (την άνοδο και την κάθοδο), τα οποία διαχωρίζονται από έναν ηλεκτρολύτη. Ο ηλεκτρολύτης είναι από πολυμερές ή άλλο υλικό, το οποίο επιτρέπει την διέλευση ιόντων, αλλά όχι τη διέλευση των ηλεκτρονίων. Ένα καύσιμο που περιέχει υδρογόνο (π.χ. φυσικό αέριο) εισάγεται από την πλευρά της ανόδου, όπου τα ηλεκτρόνια του υδρογόνου ελευθερώνονται και κινούνται σε ένα εξωτερικό κύκλωμα δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου διαπερνούν τον ηλεκτρολύτη και φτάνουν στην κάθοδο, όπου ενώνονται με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και το οξυγόνο, παράγοντας νερό..

Για να επιταχυνθεί η διαδικασία του ιονισμού του υδρογόνου χρησιμοποιείται ένας καταλύτης υψηλής αγωγιμότητας στα ηλεκτρόδια (π.χ. πλατίνα), χωρίς να επηρεάζει την άνοδο ή την κάθοδο. Ο καταλύτης είναι συνήθως μια σκληρή και πορώδης σκόνη που καλύπτεται από χαρτί άνθρακα ή ύφασμα έτσι ώστε η μέγιστη δυνατή επιφάνεια να είναι εκτεθειμένη στο υδρογόνο ή το οξυγόνο. Όταν το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι καθαρό υδρογόνο, τα μόνα παράγωγα της διεργασίας αυτής είναι ηλεκτρικό ρεύμα, καθαρό νερό και θερμότητα. Τα συστήματα ισχύος με κυψέλες καυσίμου είναι αθόρυβα, καθαρά και

αποδοτικά τοπικά συστήματα παραγωγής ενέργειας, ενώ μπορούν να προσφέρουν μια πηγή θερμικής ενέργειας για τη θέρμανση του χώρου ή του νερού.

Η απόδοση των συστημάτων των κυψελών καυσίμου είναι συνάρτηση του τύπου της κυψέλης και της δυναμικότητάς της. Η ηλεκτρική απόδοση μιας κυψέλης, καθορίζεται από τις αντίστοιχες αποδόσεις των επί μέρους υποσυστημάτων που τη συνθέτουν. Γενικά, παρουσιάζουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης κατά 1/6 έως 1/3 από τις μονάδες εσωτερικής καύσης (ηλεκτρική απόδοση μέχρι και 45% αλλά μικρή απόδοση συμπαραγωγής) με σαφώς μικρότερες εκπομπές ρύπων και πιο αθόρυβη λειτουργία. Η επισκευή τους όμως απαιτεί περισσότερο εξειδικευμένο προσωπικό από εκείνο των παραδοσιακών τεχνολογιών και υπάρχει μεγαλύτερη ευαισθησία στην ποιότητα καυσίμου.



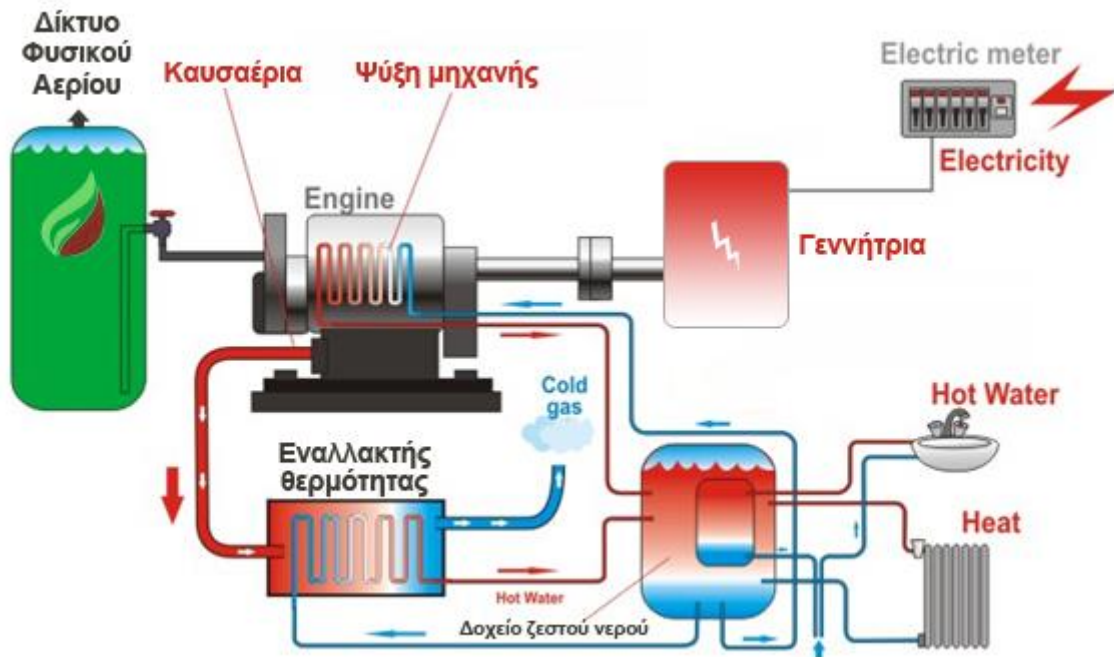
Εικόνα 2.9 Κυψέλη Καυσίμου

2.3.2.5 Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού – Θερμότητας

Μία άλλη έννοια που συναντάται συχνά είναι αυτής της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού – θερμότητας (ΣΗΘ) και αναφέρεται στην ταυτόχρονη παραγωγή και χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Γενικά ένα τμήμα του ηλεκτρισμού χρησιμοποιείται τοπικά και το υπόλοιπο τροφοδοτείται στο δίκτυο. Η θερμότητα από την άλλη μεριά χρησιμοποιείται πάντα τοπικά, καθώς η μεταφορά της είναι ασύμφορη οικονομικά και περιλαμβάνει σχετικά μεγάλες απώλειες. Γενικά το κομμάτι εκείνο της διεσπαρμένης παραγωγής που λειτουργεί με ορυκτά καύσιμα αποτελεί κυρίως εφαρμογές συμπαραγωγής.

Μόνο οι τεχνολογίες ισχύος που παράγουν υπερβολικά μεγάλη ποσότητα θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές ΣΗΘ. Τέτοιες είναι οι κινητήρες εσωτερικής καύσης, οι αεριοστρόβιλοι, οι κυψέλες καυσίμου, οι μικροτουρμπίνες, κ.α. Πρόσθετος εξοπλισμός πρέπει να εγκατασταθεί για να συλλάβει τη θερμότητα και να χρησιμοποιηθεί στη δευτεροβάθμια διαδικασία. Κινητήρες και στρόβιλοι (συμπεριλαμβανομένων και

ορισμένων μικροτουρμπίνων) έχουν χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές συμπαραγωγής. Κάθε τεχνολογία ΔΠ που μπορεί να συλλάβει την απορριπτόμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια εφαρμογή ΣΗΘ. Επειδή η ΣΗΘ εκμεταλλεύεται τη θερμότητα που σε άλλη περίπτωση θα χανόταν κατά τη συμβατική διακριτή παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας, η συνολική απόδοση αυτών των ολοκληρωμένων συστημάτων είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των μεμονωμένων συστημάτων.



Εικόνα 2.10 Σύστημα Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού – Θερμότητας

2.3.3 Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας

Ένας διεσπαρμένος ενεργειακός πόρος δεν περιορίζεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά μπορεί επίσης να περιλαμβάνει και διεσπαρμένες συσκευές αποθήκευσης ενέργειας. Οι εφαρμογές συστημάτων διεσπαρμένης αποθήκευσης ενέργειας περιλαμβάνουν διάφορους τύπους μπαταριών, αντλούμενους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, πεπιεσμένο αέρα κ.α. Περεταίρω ανάλυση θα γίνει στο κεφάλαιο 4.

2.4 Πλεονεκτήματα

Η διεσπαρμένη παραγωγή παρουσιάζει μια σειρά από οφέλη σε τομείς όπως η οικονομία, το περιβάλλον και η λειτουργικότητα του δικτύου.

Οφέλη για το δίκτυο

- Δίνεται η δυνατότητα εξυπηρέτησης μέρους των φορτίων των δικτύων από τοπικές μονάδες ΔΠ με αποτέλεσμα τη μείωση της εισροής ισχύος από το επίπεδο μεταφοράς. Παράλληλα, επιτυγχάνεται αποσυμφόρηση στα συστήματα μεταφοράς αλλά και στα δίκτυα διανομής και ελαχιστοποιείται η πιθανότητα παραβίασης των λειτουργικών ορίων τους. Έτσι επιτυγχάνεται ευκολότερος χειρισμός των δικτύων και καλύτερη συντήρηση του εξοπλισμού τους λόγω μειωμένης καταπόνησης.
- Εκτός από την παροχή ενεργού ισχύος, η ΔΠ μπορεί να προσφέρει στο δίκτυο και ελεγχόμενη άεργο ισχύ, παρέχοντας παρόμοια οφέλη με τις χωρητικότητες αντιστάθμισης, δηλαδή δυνατότητα ρύθμισης των επιπέδων τάσης και κάλυψη των άεργων καταναλώσεων των γραμμών του δικτύου.
- Η σύνδεση μονάδων ΔΠ σε ένα δίκτυο επηρεάζει άμεσα το μέγεθος των απωλειών στις γραμμές του. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από το είδος και τα χαρακτηριστικά του δικτύου αλλά και το είδος και τη θέση σύνδεσης των μονάδων ΔΠ. Έτσι, οι απώλειες ενεργού και άεργου ισχύος ενός δικτύου μπορεί μετά από ενσωμάτωση νέας μονάδας είτε να μειωθούν είτε να αυξηθούν, ανάλογα με τις συνθήκες. Βέβαια, το συγκεκριμένο θέμα έχει προσελκύσει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον με αποτέλεσμα να έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι με τους οποίους υπολογίζονται οι βέλτιστες θέσεις τοποθέτησης μονάδων ΔΠ ώστε όχι μόνο να επιτυγχάνεται μείωση των απωλειών ισχύος, αλλά αυτή να είναι και η μέγιστη δυνατή. Εξασφαλίζεται με τον τρόπο αυτό σημαντικό κέρδος, αφού ως γνωστόν το στάδιο διανομής εμφανίζει το μεγαλύτερο ποσοστό απωλειών ενεργού ισχύος σε σχέση με τα υπόλοιπα λόγω της συγκριτικά μεγαλύτερης τιμής των αντιστάσεων των γραμμών του.
- Οι μονάδες ΔΠ, με τη χρήση μέσων αποθήκευσης της παραγόμενης ισχύος, μπορούν να λειτουργήσουν για παροχή εφεδρείας στο δίκτυο και κάλυψη τοπικών φορτίων σε περιπτώσεις απότομης διακοπής της ηλεκτροδότησης.

Οικονομικά οφέλη

- Οδηγεί σε μείωση του κόστους μειώνοντας τη ζήτηση αιχμής σε μια εγκατάσταση και συνεπώς μειώνει τις χρεώσεις ζήτησης.
- Προσφέρει πιο προβλέψιμο ενεργειακό κόστος (μικρότερο ρίσκο) εισάγοντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Καθυστερεί ή αναβάλλει την ανάγκη για πρόωρη κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς λόγω αύξησης του φορτίου

Λειτουργικά οφέλη

- Προσφέρει μεγαλύτερη αξιοπιστία και καλύτερη ποιότητα ισχύος, ειδικά σε περιοχές όπου οι διακυμάνσεις τάσης είναι συχνές ή όπου η ενέργεια που παρέχεται από το δίκτυο δεν είναι αξιόπιστη.
- Συμβάλλει στη βελτίωση της απόδοσης του εξοπλισμού διεσπαρμένης παραγωγής όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με εξοπλισμό συμπαραγωγής π.χ. θέρμανσης.
- Προσφέρει ενέργεια σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν είναι δυνατό να φτάσουν οι γραμμές διανομής του δικτύου. Τέτοιες περιοχές είναι, για παράδειγμα, πύργοι κεραιών, μικρά απομακρυσμένα χωριά ή πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου στον ωκεανό.
- Μειώνει την υπερφόρτωση των γραμμών διανομής.
- Προσφέρει επίσης κάποια δευτερεύοντα οφέλη όπως η δυνατότητα «black start» (η δυνατότητα μιας μονάδας παραγωγής κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης του συστήματος από «black out» να μεταβεί από απενεργοποιημένη κατάσταση σε κατάσταση λειτουργίας και να αρχίσει να παράγει ενέργεια για να υποβοηθήσει στην εκκίνηση του ηλεκτρικού συστήματος).
- Ενισχύει την ενεργειακή ασφάλεια – εφεδρική ενέργεια.

Οφέλη στην παραγωγή

- Ανταποκρίνεται γρηγορότερα το σύστημα σε νέες απαιτήσεις ισχύος.
- Βασικό χαρακτηριστικό της διεσπαρμένης παραγωγής είναι ότι οι αυξομειώσεις στην εγκατεστημένη ισχύ μπορούν να γίνουν με μικρές προσαυξήσεις, σε πλήρη συμφωνία με τη ζήτηση, σε αντίθεση με την κατασκευή μεγάλων μονάδων παραγωγής.

Οφέλη στο περιβάλλον

- Προσφέρει καθαρότερη, πιο αθόρυβη λειτουργία και μειώνει τις εκπομπές για ορισμένες από τις τεχνολογίες (π.χ. αυτές που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια, τον άνεμο και οι κυψέλες καυσίμου).
- Μειώνει ή αναβάλλει τις αναβαθμίσεις των έργων υποδομής (γραμμές, υποσταθμοί).
- Επιτρέπει την πιο αποτελεσματική οικονομική διαχείριση ενέργειας και φορτίου.

2.5 Μειονεκτήματα

Η εισαγωγή των διεσπαρμένων μονάδων παραγωγής ενέργειας, σε ευρεία κλίμακα, παρόλα αυτά είναι πιθανό να οδηγήσει σε αστάθεια του ενεργειακού προφίλ. Η αμφίδρομη ροή ισχύος και η σύνθετη διαχείριση ενέργειας, που απαιτεί η διεσπαρμένη παραγωγή, μπορούν να εμφανίσουν προβλήματα και να οδηγήσουν σε έντονη διακύμανση της τάσης. Επιπρόσθετα, τα πιθανά βραχυκυκλώματα και υπερφορτίσεις στο δίκτυο προέρχονται, πλέον, από πολλαπλές πηγές, κάθε μία από τις οποίες δεν μπορεί να εντοπίσει, ανεξάρτητη, τα εκάστοτε σφάλματα του δικτύου.

Συνοπτικά, τα μειονεκτήματα της Διασπαρμένης παραγωγής, είναι:

- Το υψηλό κόστος κεφαλαίου ανά kW εγκατεστημένης ισχύος, συγκριτικά με τα μεγάλα κεντρικά εργοστάσια παραγωγής. Επιπλέον, διαφορές υπάρχουν και στα κόστη κεφαλαίου για διαφορετικές τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής που μπορούν να ποικίλλουν από 1000 €/kW έως 20000 €/kW, στις τουρμπίνες καύσης και τις κυψέλες καυσίμου αντίστοιχα.
- Η συνεισφορά στο ρεύμα βραχυκύκλωσης από τη διεσπαρμένη παραγωγή 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.
- Η αρνητική επίπτωση στην ποιότητα ισχύος.
- Σε μερικές περιπτώσεις όπου οι διεσπαρμένες γεννήτριες παραμένουν συνδεδεμένες σε μια ελαττωματική γραμμή, θα μπορούσαν να διατηρήσουν τη γραμμή διεγερμένη και να αποτρέψουν την αυτό-απόσβεση σφαλμάτων με την μορφή τόξου.
- Ένα σημαντικό ζήτημα της διείσδυσης των μονάδων ΔΠ σ' ένα ακτινικό δίκτυο διανομής είναι η αύξηση στα επίπεδα της τάσης. Η επίδραση στο τοπικό επίπεδο της τάσης εκεί που συνδέεται η διεσπαρμένη παραγωγή στο κεντρικό δίκτυο διανομής μπορεί να είναι σημαντική. Τα επίπεδα ανύψωσης τάσης σε ακτινικά συστήματα διανομής είναι ένα από τα κυριότερα ζητήματα σύνδεσης των συστημάτων παραγωγής, ιδίως όταν πρόκειται για συστήματα με ασθενές φορτίο
- Πολλές φορές δεν μπορεί να υπάρξει ακριβής πρόβλεψη για την ικανότητα παραγωγής συγκεκριμένων εγκαταστάσεων παραγωγής, όπως συμβαίνει για παράδειγμα με τα αιολικά πάρκα. Πρέπει να γίνεται μετεωρολογική πρόβλεψη, που δεν μπορεί όμως να προβλέψει ακριβώς την ποσότητα ισχύος που θα είναι δυνατό να παραχθεί. Σε μικρά χρονικά διαστήματα μπορούν να υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις στη δυνατότητα παραγωγής ή ακόμα και απώλεια της παραγωγής εξαιτίας της φύσης ορισμένων πηγών όπως είναι για παράδειγμα ο άνεμος. Έτσι υπάρχει συγκεκριμένο ποσοστό της ζήτησης που μπορεί να καλυφθεί από ανανεώσιμες πηγές, η διείσδυση είναι δηλαδή περιορισμένη και πρέπει να υπάρχει πάντα εφεδρεία συμβατικών μονάδων παραγωγής. Αυτό το πρόβλημα αφορά κυρίως τα αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.
- Καθώς η ισχύς εξόδου των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής εμφανίζει αρκετές δυσκολίες, ως προς την πρόβλεψη της, προκύπτουν επιζήμιες και δυσμενείς συνέπειες στους μετέχοντες σε αυτήν.
- Ο μεγάλος αριθμός μονάδων παραγωγής μπορεί να προκαλέσει, εκτός από τη συνήθη ροή φορτίου από τη μέση τάση στη χαμηλή, επιπλέον ροή φορτίου, από την χαμηλή τάση στο δίκτυο μέσης τάσης. Αυτή η αμφίδρομη ροή φορτίου, απαιτεί διαφορετικά μέσα προστασίας και στα δύο επίπεδα τάσης. Επιπλέον, η σημαντική προσαρμοστικότητα που προσφέρουν οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, προϋποθέτει καλύτερη ανάλυση και μεγαλύτερη προσοχή, όσον αφορά τη διαχείριση και λειτουργία του δικτύου.

Κεφάλαιο 3

Ζητήματα Ένταξης ΔΠ στο Δίκτυο

3.1 Εισαγωγή

Η ενσωμάτωση ενός σταθμού ΔΠ αποτελεί ένα πολύπλοκο ζήτημα που είναι σημαντικά διαφορετικό από την παραδοσιακή διαδικασία ενσωμάτωσης ενός σταθμού κεντρικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στα δίκτυα μεταφοράς. Το γεγονός αυτό οφείλεται στον ίδιο το σχεδιασμό των σημερινών δικτύων διανομής. Τα υπαρκτά δίκτυα διανομής σχεδιάζονται ως παθητικά συστήματα που λειτουργούν ακτινικά.

Με την ολοένα και αυξανόμενη μεγάλης κλίμακας ενσωμάτωση μονάδων ΔΠ στο κεντρικό δίκτυο, έχουν κάνει την εμφάνιση τους σημαντικά τεχνικά προβλήματα που αφορούν κυρίως τους τομείς της ποιότητας ισχύος, της ευστάθειας τάσης, των αρμονικών συνιστωσών, της ευστάθειας της συχνότητας, των συστημάτων προστασίας και των συστημάτων ελέγχου του δικτύου. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να προηγηθεί κατάλληλη μελέτη καθώς και έλεγχος των επιπτώσεων πριν πραγματοποιηθεί η ενσωμάτωση μιας νέας μεγάλου εύρους μονάδας ΔΠ.

Τα τεχνικά προβλήματα που παρουσιάζονται από την έντονη διείσδυση της ΔΠ στο κεντρικό δίκτυο, οφείλονται κυρίως στη φύση της λειτουργίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τυχόν μεγάλη αύξηση στην παραγωγή ισχύος από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής μπορεί να επιφέρει ανισορροπία στο ισοζύγιο προσφοράς-ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, προκαλώντας ανύψωση στην τάση του δικτύου λόγω της αντίστροφης ροής ισχύος στις γραμμές. Επίσης, η περίσσεια ενεργού ισχύος στο δίκτυο θα προκαλέσει αύξηση της συχνότητας λόγω της φύσης της λειτουργίας των σύγχρονων γεννητριών που απαρτίζουν τους συμβατικούς κεντρικούς σταθμούς παραγωγής. Αντίθετα, απρόβλεπτη και έντονη μείωση στην παραγωγή ισχύος από τις μονάδες ΔΠ μπορεί να οδηγήσει σε κατάρρευση της τάσης και μείωση της συχνότητας λόγω της μη επαρκούς ενεργού ισχύος για την κάλυψη της ζήτησης. Τα παραπάνω φαινόμενα συνθέτουν τα προβλήματα αστάθειας τάσης και συχνότητας που ενδέχεται να παρουσιαστούν στο δίκτυο αν η ΔΠ αποτελεί σημαντικό μέρος της συνολικής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Εξίσου σημαντικό πρόβλημα αποτελεί η εισχώρηση αρμονικών συνιστωσών στις κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος του δικτύου από την απαραίτητη χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών ισχύος (ανορθωτές, αντιστροφείς, ΣΡ-ΣΡ μετατροπείς κλπ) κατά τη σύνδεση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Η ύπαρξη των ηλεκτρονικών ισχύος είναι απαραίτητη καθώς η μορφή της τάσης εξόδου των ΑΠΕ δεν πληροί τις προϋποθέσεις για σύνδεση στο δίκτυο. Για παράδειγμα, τα φωτοβολταϊκά παράγουν συνεχή τάση, οι ανεμογεννήτριες παράγουν εναλλασσόμενη τάση μεγάλης διακύμανσης σε πλάτος και συχνότητα κλπ. Χρειάζεται επομένως η εγκατάσταση κατάλληλων ηλεκτρονικών ισχύος στην έξοδο των ΑΠΕ για να κατασκευαστεί μια εναλλασσόμενη τάση ευσταθούς πλάτους και συχνότητας που να είναι κατάλληλη για σύνδεση στο κεντρικό δίκτυο. Το πρόβλημα των αρμονικών συνιστωσών δημιουργείται από τα ηλεκτρονικά ισχύος καθώς αποτελούνται κυρίως από διακοπτικά στοιχεία, τα οποία είναι μη-γραμμικά. Ως αποτέλεσμα, οι

κυματομορφές εξόδου τους περιέχουν αρκετές αρμονικές συνιστώσες που επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα ισχύος του δικτύου. Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου τοποθετούνται φίλτρα εξόδου στα ηλεκτρονικά ισχύος τα οποία έχουν σκοπό να «κόψουν» τις μη επιθυμητές αρμονικές συνιστώσες και να επιτρέπουν τη διέλευση μόνο της θεμελιώδους αρμονικής, που είναι και η επιθυμητή κυματομορφή εξόδου της διάταξης. Ωστόσο, σε αρκετές περιπτώσεις δεν είναι δυνατό τα φίλτρα να κόβουν όλες τις αρμονικές συνιστώσες, αλλά μόνο μιας τάξης και πάνω, με αποτέλεσμα το πρόβλημα να συνεχίζει να υφίσταται, αν και σαφώς περιορισμένο.

Όσον αφορά τα συστήματα προστασίας και ελέγχου του κεντρικού δικτύου, εύκολα αντιλαμβάνεται κανείς ότι η μεγάλης κλίμακας ενσωμάτωση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής κάνει τη λειτουργία αυτών των συστημάτων αρκετά πιο δύσκολη και αναξιόπιστη. Αυτό οφείλεται κυρίως και σε αυτήν την περίπτωση στην στοχαστική συμπεριφορά που παρουσιάζουν οι ΑΠΕ, που αποτελούν τον κύριο κορμό της ΔΠ. Η απρόβλεπτη και έντονα μεταβλητή συμπεριφορά των ΑΠΕ αναγκάζει τον διαχειριστή του δικτύου να προβεί σε επανασχεδιασμό και κατάλληλη ρύθμιση των συστημάτων προστασίας και ελέγχου για να εξασφαλιστεί η ορθή λειτουργία τους. Κάτι τέτοιο φυσικά επιφέρει σημαντικό οικονομικό κόστος και επηρεάζει αρνητικά την αξιοπιστία του δικτύου μέχρι να ολοκληρωθούν οι κατάλληλες τροποποιήσεις σε αυτά τα συστήματα.

3.2 Επίδραση της ΔΠ στα Δίκτυα Διανομής

Η ενσωμάτωση ΔΠ επιφέρει αλλαγές στη λειτουργία του δικτύου διανομής, καθώς το δίκτυο σχεδιάστηκε θεωρώντας μονόδρομη ροή ισχύος και συγκεκριμένα από τον υποσταθμό διανομής προς την κατανάλωση. Οι επιπτώσεις που μπορεί να έχει η ΔΠ εξαρτώνται από τις ιδιότητες του δικτύου διανομής, τις ιδιότητες της ΔΠ ενέργειας και τον τρόπο σύνδεσής της με το δίκτυο. Οι αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να εμφανιστούν είναι:

- Η πιθανότητα των υπερτάσεων αυξάνεται λόγω της παραγωγής και της αντίστροφης ροής ισχύος ειδικά σε απομακρυσμένα τμήματα του δικτύου διανομής.
- Υπερφόρτωση των γραμμών διανομής και των μετασχηματιστών σε περίπτωση υψηλής διείσδυσης ΔΠ σε περιόδους που η κατανάλωση είναι χαμηλή.
- Διαταραχές της ποιότητας ισχύος παραπάνω από το επιτρεπτό όριο για τους καταναλωτές.
- Λανθασμένη λειτουργία των συστημάτων προστασίας, η οποία μπορεί να οφείλεται είτε σε αποτυχία είτε σε ανεπιθύμητη λειτουργία. Επίσης, σημαντική επίπτωση στην προστασία έχει ο αποτυχημένος εντοπισμός νησιδοποίησης.

3.2.1 Επίδραση στην Διακύμανση Τάσης

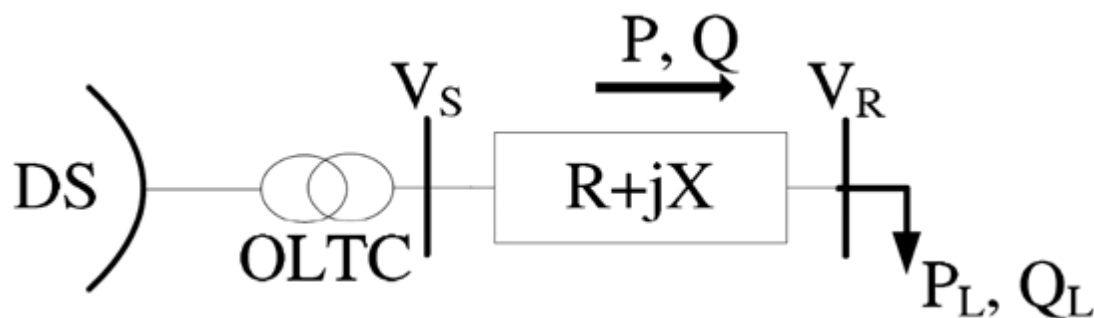
Η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται στους καταναλωτές μέσω των δικτύων διανομής. Οι υπάρχουσες μέθοδοι ελέγχου τάσης στα δίκτυα διανομής είχαν σχεδιαστεί για παθητικά δίκτυα με μονόδρομη ροή ισχύος.

Συγκεκριμένα, τα σύγχρονα συστήματα διανομής έχουν σχεδιαστεί για να αποδέχονται εγχύσεις ρεύματος από το δίκτυο μεταφοράς και στη συνέχεια να το διανέμουν στους πελάτες, η ροή τόσο της πραγματικής όσο και της άεργου ισχύος είναι πάντα από το

υψηλότερο στο χαμηλότερο επίπεδο τάσης. Ωστόσο, με σημαντική διείσδυση των διεσπαρμένων παραγωγών, η ροή της ισχύος μπορεί να αντιστραφεί και το δίκτυο διανομής δεν είναι πλέον ένα παθητικό κύκλωμα που εφοδιάζει τα φορτία αλλά ένα ενεργό σύστημα με τις ροές ισχύος και τις τάσεις να καθορίζονται τόσο από την παραγωγή όσο και από το φορτίο. Ως εκ τούτου, υπάρχουν δραματικές αλλαγές στη φύση των δικτύων διανομής με διεσπαρμένη παραγωγή. Οι συνδέσεις της διεσπαρμένης παραγωγής στα συστήματα διανομής, όπως θα αναλυθεί και στη συνέχεια, προκαλούν αύξηση του επιπέδου της τάσης.

3.2.1.1 Ανάλυση Πτώσης Τάσης σε Δίκτυο Διανομής

Τα περισσότερα δίκτυα διανομής διαμορφώνονται ως παθητικά δίκτυα με ακτινική διάταξη, δηλαδή όλα τα φορτία του δικτύου τροφοδοτούνται από το ένα μόνο άκρο τους. Έτσι, οι κλάδοι του δικτύου δεν συνδέονται μεταξύ τους, αλλά διαδίδονται ακτινικά από την κεντρική τροφοδοσία προς τα υπόλοιπα σημεία του δικτύου. Η ροή της ισχύος, τόσο της πραγματικής P όσο και της άεργου Q , είναι πάντοτε από το υψηλότερο στο χαμηλότερο επίπεδο της τάσης. Συνήθως, ο λόγος της επαγωγικής αντίδρασης προς την αντίσταση X/R για το δίκτυο μεταφοράς είναι ≥ 10 και αυτός του δικτύου διανομής είναι $\leq 0,5$. Αυτές οι υψηλές αντιστάσεις οδηγούν στην πτώση τάσης κατά μήκος της γραμμής από την πρωτεύον υποσταθμό μέχρι το σημείο σύνδεσης του πελάτη. Το μέγεθος της πτώσης τάσης μπορεί να υπολογιστεί από την ανάλυση του συστήματος διανομής δύο ζυγών όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3.1 Μονογραμμικό διάγραμμα γραμμής διανομής 2 ζυγών.

Στην εικόνα 3.1, το DS δηλώνει το σύστημα διανομής, OLTC είναι ο Μ/Σ μεταβλητής λήψης, V_S είναι η τάση στο άκρο αναχώρησης, V_R η τάση στο άκρο άφιξης της γραμμής και τα R και X είναι η αντίσταση και η επαγωγική αντίδραση της γραμμής αντίστοιχα. Επίσης, P και Q είναι η πραγματική και άεργος ισχύς αντίστοιχα που παρέχονται από το σύστημα διανομής (DS) προς τους καταναλωτές, ενώ P_L και Q_L είναι η πραγματική και άεργος ισχύς του φορτίου. Η τάση στο άκρο αναχώρησης ισούται με:

$$V_S = V_R + I(R + jX)$$

όπου I είναι η αναπαράσταση του φάσορα του ρεύματος που ρέει στη γραμμή. Η μιγαδική ισχύς που παρέχεται από το σύστημα διανομής παριστάνεται ως:

$$S = P + jQ = V_S I^*$$

όπου I^* ο συζυγείς μιγαδικός του I . Συνεπώς το ρεύμα που ρέει στη γραμμή μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$I = \frac{P - jQ}{V_S}$$

Αντικαθιστώντας τη σχέση για το I στην αρχική σχέση για την V_S η τάση στο άκρο αναχώρησης μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$V_S = V_R + \frac{P - jQ}{V_S} (R + jX) = V_R + \frac{PR + QX}{V_S} + j \frac{PX - QR}{V_S}$$

Έτσι, η πτώση τάσης πάνω στη γραμμή, δηλαδή η διαφορά της τάσης μεταξύ του άκρου αναχώρησης και άφιξης θα είναι:

$$\Delta V = V_S - V_R = \frac{PR + QX}{V_S} + j \frac{PX - QR}{V_S}$$

Γενικά η γωνία μεταξύ της τάσης στο άκρο αναχώρησης και της τάσης στο άκρο άφιξης είναι πολύ μικρή, σαν αποτέλεσμα η πτώση τάσης είναι περίπου ίση με το πραγματικό μέρος της πτώσης τάσης. συνεπώς μπορούμε να παραλείψουμε το φανταστικό μέρος της εξίσωσης και να είμαστε πάλι αρκετά ακριβείς. Ως εκ τούτου, η παραπάνω εξίσωση μπορεί να προσεγγιστεί ως εξής:

$$\Delta V = \frac{PR + QX}{V_S}$$

Συνήθως η πτώση τάσης πάνω στη γραμμή και τα επιτρεπόμενα όρια διακύμανσης αναφέρονται σαν ποσοστό επί τις εκατό συνεπώς η πάνω σχέση μπορεί να μετατραπεί ως εξής:

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_S} * 100\% = \frac{PR + QX}{V_S} * 100\% \Rightarrow$$

$$\Delta V\% = \frac{PR + QX}{V_S^2} * 100\%$$

3.2.1.2 Φαινόμενο Ανύψωσης Τάσης

Στα συμβατικά δίκτυα διανομής, όπου η ισχύς ρέει από τους υποσταθμούς προς τους καταναλωτές, η υπέρταση δεν αποτελεί σημαντικό πρόβλημα. Αν η τάση στην αρχή της γραμμής διανομής είναι εντός ορίων τότε το ρίσκο υπερτάσεων στα σημεία σύνδεσης των καταναλωτών και του εξοπλισμού είναι πολύ μικρό.

Αντίθετα από τα δίκτυα μεταφοράς, στα δίκτυα διανομής ο λόγος R/X της αντίστασης και της αντίδρασης των γραμμών δεν είναι αμελητέος. Σαν αποτέλεσμα, η πτώση τάσης μεταξύ δύο κόμβων είναι συνάρτηση της ροής ενεργού και άεργου ισχύος. Άρα, η έγχυση ενεργού ισχύος από μια μονάδα ΔΠ στο δίκτυο διανομής μπορεί να αλλάξει το πρόσημο της πτώσης τάσης και έτσι να προκαλέσει την αύξηση της τάσης στο σημείο σύνδεσης της μονάδας ΔΠ. Έτσι, διαταράσσεται το συμβατικό πτωτικό προφίλ της τάσης από τον υποσταθμό προς το τέλος του δικτύου και το δίκτυο κινδυνεύει να βρεθεί σε κατάσταση όπου οι τάσεις κάποιων κόμβων ξεπερνούν το ανώτατο όριο. Όσο μεγαλύτερη είναι η διείσδυση της ΔΠ τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα εμφάνισης υπερτάσεων.

Η αντίθετη ροή ενεργού ισχύος πάνω στη γραμμή διανομής σε συνδυασμό με την ωμική αντίσταση της γραμμής τείνει να αυξήσει την τάση στην θέση της μονάδας ΔΠ. Η έγχυση άεργου ισχύος από τη μονάδα ΔΠ αυξάνει περαιτέρω την τάση, ενώ αντίθετα η απορρόφηση άεργου ισχύος βοηθάει στη μείωση της τάσης που αυξήθηκε από την έγχυση ενεργού ισχύος της μονάδας.

Οι επαγωγικές γεννήτριες παράγουν ενεργό ισχύ και απορροφούν άεργο ισχύ από το δίκτυο. Συνήθως, χρησιμοποιούνται πυκνωτές για να αντισταθμίσουν την άεργο ισχύ που καταναλώνουν οι επαγωγικές γεννήτριες. Οι σύγχρονες γεννήτριες έχουν τη δυνατότητα να παράγουν ή να καταναλώνουν άεργο ισχύ αλλά όταν χρησιμοποιούνται σαν μονάδες ΔΠ συνήθως λειτουργούν υπό σταθερό συντελεστή ισχύος. Τέλος, οι μονάδες που συνδέονται στο δίκτυο μέσω ηλεκτρονικών ισχύος μπορούν τόσο να παράγουν ή να καταναλώνουν άεργο ισχύ. Σαν αποτέλεσμα των παραπάνω, είναι δυνατή πολλές φορές η συμμετοχή των μονάδων ΔΠ στη ρύθμιση της τάσης της μέσω ελέγχου άεργου ισχύος.

3.2.2 Επίδραση στην Υπερφόρτωση του Δικτύου

Η υπερφόρτωση και οι απώλειες ισχύος στο δίκτυο έχουν σχέση με την ενεργό τιμή του ρεύματος που ρέει στη γραμμή διανομής. Η υπερφόρτωση σχετίζεται με τη μέγιστη τιμή του ρεύματος ενώ οι απώλειες εξαρτώνται από διάφορες παραμέτρους, με τη μέγιστη τιμή του ρεύματος να συμβάλλει στις υψηλότερες απώλειες. Για χαμηλή διείσδυση ΔΠ τόσο οι απώλειες όσο και το ρίσκο υπερφόρτωσης είναι χαμηλό ενώ για υψηλή διείσδυση αυξάνεται. Η ΔΠ συνδέεται πιο κοντά στην κατανάλωση σε σχέση με τη συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, η ισχύς μεταφέρεται σε μικρότερη απόσταση, το οποίο μειώνει τις απώλειες μεταφοράς. Επίσης, μειώνεται η ροή ισχύος από το σύστημα μεταφοράς με αποτέλεσμα να μειώνεται ο κίνδυνος υπερφόρτωσης στα υψηλά επίπεδα τάσης. Έτσι, στη γενική περίπτωση, η ΔΠ έχει πλεονεκτήματα όσον αφορά την υπερφόρτωση και τις απώλειες.

Η μεγαλύτερη μείωση των απωλειών επιτυγχάνεται όταν η ΔΠ εγκαθίσταται στα ίδια σημεία με την κατανάλωση, όπως συμβαίνει με τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις στις οροφές κτιρίων και την ΣΗΘ σε οικιακό επίπεδο. Η περαιτέρω αύξηση της ΔΠ σε ένα δίκτυο, μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των απωλειών ακόμα και σε σχέση με τις αρχικές απώλειες πριν την εγκατάσταση ΔΠ λόγω αντίστροφης ροής ισχύος. Ωστόσο, οι αυξημένες απώλειες θα είναι ένα μικρό ποσοστό της φιλικής προς το περιβάλλον ενέργειας που παράχθηκε. Παρόλο που η

ΔΠ επηρεάζει τις απώλειες, δεν θα έπρεπε αυτό να χρησιμοποιηθεί σαν επιχείρημα υπέρ ή κατά της ΔΠ. Η σημασία της ΔΠ έγκειται στην χρήση των ΑΠΕ και στην αύξηση αξιοπιστίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Όποια επίπτωση υπάρχει στις απώλειες θα είναι απλά ένα μικρό ποσοστό της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Οι απώλειες δεν θα αλλάξουν την ενεργειακή ισορροπία ούτε θα επηρεάσουν τις αποφάσεις για τις πολιτικές ενσωμάτωσης των ΔΠ.

Αντίθετα με τις απώλειες ισχύος, η υπερφόρτωση του δικτύου έχει άμεση σχέση με την ικανότητα φιλοξενίας ΔΠ και θέτει ένα άνω όριο ενσωμάτωσης. Από τη στιγμή που το ρεύμα θα ξεπεράσει το ανώτατο όριο θερμικής αντοχής κάποιου στοιχείου του δικτύου, ο εξοπλισμός προστασίας θα δράσει και θα το βγάλει εκτός, αλλιώς το στοιχείο κινδυνεύει να καταστραφεί. Και στις δύο περιπτώσεις θα υπάρξει διακοπή της παροχής ηλεκτρισμού προς τον καταναλωτή.

3.2.3 Επίδραση στη Ποιότητα Ισχύος

Ως ποιότητα ισχύος ορίζεται το σύνολο των φυσικών χαρακτηριστικών της ηλεκτρικής παροχής κάτω από κανονικές συνθήκες τροφοδότησης, που δεν διαταράσσουν ή διακόπτουν τις διαδικασίες παραγωγής/λειτουργίας του καταναλωτή ενέργειας. Εφόσον η ισχύς είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την τάση και το ρεύμα, πρόβλημα στην ποιότητα ισχύος εμφανίζεται όταν διαταραχθεί η κυματομορφή της τάσης, η κυματομορφή του ρεύματος, ή η συχνότητα της τάσης. Οι διαταραχές στην ποιότητα ισχύος λόγω ενσωμάτωσης ΔΠ μπορεί να είναι:

- **Ανισορροπία μεταξύ των τριών φάσεων της τάσης**

Η σύνδεση μεγάλων μονοφασικών γεννητριών ΔΠ ή η κατανομή πολλών μονοφασικών γεννητριών θα οδηγήσει σε ανισορροπία των φάσεων της τάσης. Μονοφασικές γεννήτριες μπορούν να συνδεθούν μόνο στα δίκτυα χαμηλής τάσης κυρίως σε οικιακούς ή σε μικρούς εμπορικούς καταναλωτές.

- **Γρήγορη διακύμανση τάσης (Voltage flicker)**

Γρήγορες διακυμάνσεις της τάσης συχνότητας 1-10 Hz (μπορεί να δημιουργηθούν από την γρήγορη διακύμανση της παραγόμενης ισχύος από μια μονάδα ΔΠ. Ο όρος flicker (τρεμοπαίζιμο) έχει ληφθεί από την ορατή επίδραση της γρήγορης διακύμανσης τάσης στους φωτεινούς λαμπτήρες. Επίσης, διακύμανση στην τάση μπορεί να δημιουργηθεί κατά την εκκίνηση γεννητριών.

- **Έγχυση χαμηλής συχνότητας αρμονικών**

Η ΔΠ δεν παράγει τέλεια ημιτονική κυματομορφή ρευμάτων. Οι αρμονικές συνιστώσες που εγχέονται στο δίκτυο μπορεί να δημιουργήσουν διαταραχές στην κυματομορφή της τάσης. Ωστόσο, η έγχυση αρμονικών από ΔΠ είναι γενικά μικρότερη από την αντίστοιχη του εξοπλισμού των καταναλωτών και του δικτύου, άρα αυτού του τύπου οι διαταραχές είναι σχετικά σπάνιες. Συνεπώς, η ύπαρξη ΔΠ δεν θα επηρεάσει τόσο τις μέχρι τώρα κυρίαρχες αρμονικές των δικτύων διανομής. Όμως, η παρουσία ΔΠ θα οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των άρτιων αρμονικών συνιστωσών, των υψηλότερης τάξης αρμονικών και των δια-αρμονικών. Συνήθως, οι συχνότητες αυτών των αρμονικών χρησιμοποιούνται για επικοινωνία μέσω γραμμών ισχύος (Power Line Communication – PLC), οπότε η ύπαρξη ΔΠ μπορεί να δημιουργήσει παρεμβολές σε αυτές τις επικοινωνίες.

- **Έγχυση υψηλής συχνότητας αρμονικών**

Οι μετατροπείς πηγής τάσης (Voltage Source Converters) αποτελούν πηγή υψίσυχων αρμονικών. Η διακοπτική συχνότητα των μετατροπέων ηλεκτρονικών ισχύς και τα πολλαπλάσιά της (1 kHz και πάνω) διακρίνονται μέσα στο φάσμα συχνοτήτων του ρεύματος. Ένα πρόβλημα που έχει αναφερθεί είναι ότι αυτή η διακοπτική συχνότητα μπορεί να βρεθεί κοντά στη συχνότητα συντονισμού του συστήματος προκαλώντας μεγάλους κυματισμούς της τάσης σε υψηλές συχνότητες. Υψηλή διείσδυση ΔΠ που συνδέονται στο δίκτυο μέσω ηλεκτρονικών ισχύος μπορεί να αυξήσει τις αρμονικές υψηλής τάξης. Το θετικό είναι πως οι διαταραχές υψηλής συχνότητας δεν διαδίδονται μακριά καθώς υπάρχει μεγάλη απόσβεση στις υψηλές συχνότητες. Επίσης, μπορούν εύκολα να φιλτραριστούν. Παρόλα αυτά, η διάδοση και οι επιπτώσεις των υψηλής συχνότητας διαταραχών αποτελούν αχαρτογράφητα νερά.

3.2.4 Επίδραση στην Προστασία

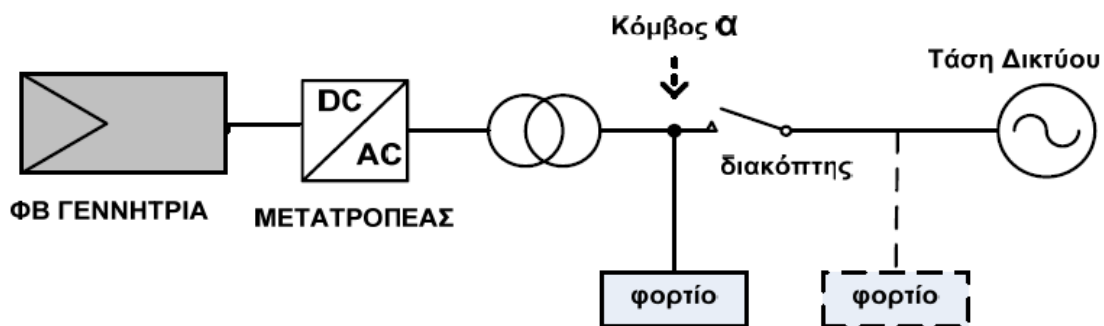
Η επίδραση της ΔΠ στην προστασία του συστήματος εξαρτάται από τη συμβολή των μονάδων στο ρεύμα σφάλματος και άρα από το μέγεθός τους και τον τρόπο σύνδεσής τους στο δίκτυο. Οι σύγχρονες γεννήτριες συνεισφέρουν καθόλη τη διάρκεια του σφάλματος στο ρεύμα βραχυκύκλωσης, οι επαγωγικές γεννήτριες συνεισφέρουν για μια ή δύο περιόδους στην περίπτωση τριφασικού σφάλματος και περισσότερο στα ασύμμετρα, ενώ οι μονάδες που συνδέονται με ηλεκτρονικά ισχύος συνεισφέρουν ελάχιστα ή καθόλου. Περιπτώσεις αποτυχίας και ανεπιθύμητης λειτουργίας του συστήματος προστασίας λόγω ΔΠ είναι:

- Η συμβολή στο ρεύμα βραχυκύκλωσης των γεννητριών μπορεί να οδηγήσει σε συνολικό ρεύμα βραχυκύκλωσης που ξεπερνάει το όριο του εξοπλισμού.
- Η ύπαρξη γεννήτριας κατά μήκος της γραμμής διανομής θα μειώσει το ρεύμα σφάλματος στην αρχή της γραμμής για κάποιο σφάλμα που συμβαίνει μετά τη γεννήτρια. Όταν το ρεύμα βραχυκύκλωσης στην αρχή της γραμμής πέσει κάτω από την τιμή υπερέντασης που ενεργοποιείται ο ηλεκτρονόμος τότε μπορεί να μην λειτουργήσει και να αποτύχει η προστασία.
- Η συμβολή στο ρεύμα βραχυκύκλωσης κάποιων γεννητριών δεν είναι αρκετά μεγάλη ώστε να εντοπιστεί το σφάλμα και να ενεργήσει η προστασία. Αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην περίπτωση μικρών γεννητριών και μονάδων που συνδέονται στο δίκτυο μέσω ηλεκτρονικών ισχύος. Μη εντοπισμός σφάλματος συμβαίνει και στην περίπτωση γεννητριών που συνδέονται μέσω μετασχηματιστή τριγώνου-αστέρα (Δ -Y) όταν συμβαίνει σφάλμα με την γη.
- Η συνεισφορά στο ρεύμα βραχυκύκλωσης μπορεί να προκαλέσει αποσύνδεση γραμμών διανομής χωρίς σφάλμα, στις οποίες συνδέονται μονάδες ΔΠ, λόγω της γρήγορης αντίδρασης των εναέριων γραμμών διανομής μέσης τάσης σε σφάλματα του συστήματος διανομής.

3.2.4.1 Νησιδοποίηση

Μια από τις σημαντικότερες επιπτώσεις της ΔΠ στο σύστημα προστασίας παρατηρείται όταν το δίκτυο επέρχεται σε κατάσταση μη σκόπιμης νησιδοποίησης. Ο όρος νησιδοποίηση αναφέρεται στην κατάσταση όπου μονάδες ΔΠ συνεχίζουν και τροφοδοτούν ηλεκτρικά φορτία τα οποία έχουν αποκοπεί από το ηλεκτρικό δίκτυο. Η μη σκόπιμη νησιδοποίηση ενέχει κινδύνους γιατί:

- Δεν μπορεί να ελεγχθεί η τάση και η συχνότητα του αποκομμένου δικτύου, δηλαδή της νησίδας. Οι διακυμάνσεις συχνότητας μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στον εξοπλισμό και τις γεννήτριες ΔΠ.
- Η νησιδοποίηση εμποδίζει την ομαλή αποκατάσταση του δικτύου.
- Η νησιδοποίηση μπορεί να προκαλέσει κίνδυνο για τους εργαζόμενους.
- Η προστασία του δικτύου διανομής δεν έχει σχεδιαστεί για περιπτώσεις νησιδοποίησης.



Εικόνα 3.3 Κατάσταση Νησιδοποίησης

Η νησιδοποίηση αναφέρεται σε διεσπαρμένα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία είναι διασυνδεδεμένα με το κεντρικό δίκτυο. Όταν το διεσπαρμένο σύστημα συνεχίζει να παρέχει ισχύ σε ένα τμήμα του δικτύου ενώ το τμήμα αυτό έχει αποσυνδεθεί από το κεντρικό δίκτυο τότε λέμε ότι εμφανίζεται το φαινόμενο της νησιδοποίησης. Το διεσπαρμένο σύστημα δηλαδή συμπεριφέρεται σαν μια νησίδα ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτεί το τμήμα του δικτύου στο οποίο παραμένει συνδεδεμένο.

Όταν συμβαίνει το φαινόμενο της νησιδοποίησης τότε εμφανίζονται μια σειρά από αρνητικές επιπτώσεις που έχουν να κάνουν με την ασφάλεια, την αξιοπιστία του δικτύου και την ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος.

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης μπορεί να αποτελέσει θανάσιμο κίνδυνο για το προσωπικό που εργάζεται σε κάποιο τμήμα του δικτύου στο οποίο συμβαίνει νησιδοποίηση. Το προσωπικό μπορεί να δουλεύει στο συγκεκριμένο τμήμα το οποίο έχει αποσυνδεθεί από το κεντρικό δίκτυο αλλά τροφοδοτείται ακόμα από κάποιο διασυνδεδεμένο σύστημα. Τότε δουλεύει υπό τάση και μάλιστα εν αγνοία του, οπότε διατρέχει άμεσο κίνδυνο ηλεκτροπληξίας.

Όταν υπάρχει το φαινόμενο εμφανίζεται σοβαρός κίνδυνος διαταραχών στη συχνότητα και στην τάση και διακύμανσης αυτών εκτός των προβλεπόμενων και προκαθορισμένων ορίων.

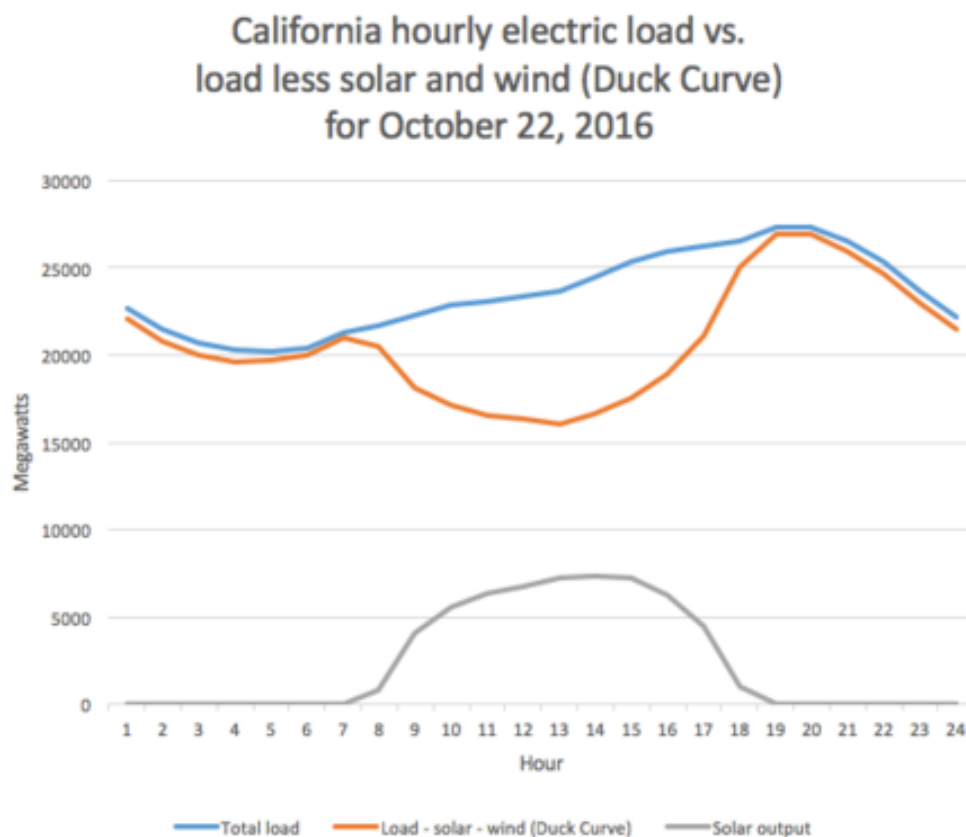
Κάτι τέτοιο μπορεί να είναι καταστροφικό για όποια συσκευή συνεχίζει να τροφοδοτείται από το νησιδοποιημένο τμήμα.

Αν το νησιδοποιημένο τμήμα επανασυνδεθεί εκτός φάσης με το κεντρικό δίκτυο τότε μπορεί να εμφανιστούν διαταραχές στην ίδια τη λειτουργία του δικτύου αλλά και να υπάρξουν καταστροφές στον εξοπλισμό του διασυνδεδεμένου δικτύου ή σε οποιοδήποτε συνδεδεμένο εξοπλισμό.

Για λόγους όπως οι παραπάνω υπάρχει η απαίτηση το φαινόμενο να εντοπίζεται και να παύεται έγκαιρα. Με αυτό το ρόλο επιφορτίζονται οι σύγχρονοι αντιστροφείς ως σημείο διεπαφής του δικτύου με το διεσπαρμένο σύστημα. Ο διαχειριστής του δικτύου απαιτεί από τις διασυνδεδεμένες μονάδες ΔΠ να χρησιμοποιούν αντιστροφείς που είναι εφοδιασμένοι με τα κατάλληλα συστήματα «αντινησιδοποίησης».

3.3 Καμπύλη Πάπιας (Duck Curve)

Εκτός από τις επιδράσεις τις διεσπαρμένης παραγωγής στα δίκτυα διανομής αξίζει να αναφερθεί και μία ανερχόμενη επίπτωση στα ΣΗΕ σαν σύνολο, αυτή της καμπύλη πάπιας. Στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε εμπορική κλίμακα, η καμπύλη πάπιας είναι ένα γράφημα της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια μιας ημέρας που δείχνει την χρονική ανισορροπία μεταξύ της αιχμής της ζήτησης και της παραγωγής ηλιακής ενέργειας. Σε πολλές αγορές ενέργειας, η αιχμή της ζήτησης εμφανίζεται λίγο μετά το ηλιοβασίλεμα, όταν η ηλιακή ενέργεια δεν είναι πλέον διαθέσιμη. Σε συστήματα όπου έχει εγκατασταθεί μια σημαντική ποσότητα ισχύος μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ηλιακής ενέργειας όπως τα φωτοβολταϊκά, η ποσότητα ενέργειας που πρέπει να παραχθεί από τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής παρουσιάζει μια απότομη αύξηση από το ηλιοβασίλεμα μέχρι τις μέσες βραδινές ώρες, δημιουργώντας ένα γράφημα που μοιάζει με σιλουέτα πάπιας. Αυτό οφείλετε στο γεγονός ότι καθώς ελαττώνεται η παραγωγή ενεργείας από τον ήλιο, παράλληλα αυξάνεται η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές. Αυτό μεταφράζεται από τη οπτική γωνία του διαχειριστή του συστήματος σαν μια απότομη αύξηση της ζήτησης ενέργειας από το φορτίο. Καθώς αυξάνεται η εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο τόσο μεγαλύτερη μεταφράζεται αυτή η αύξηση.



Εικόνα 3.2 Καμπύλη Πάπιας

Η αυξημένη εισχώρηση των φωτοβολταϊκών στο ενεργειακό μίγμα παραγωγής δημιουργεί προκλήσεις στους διαχειριστές του συστήματος. Η ανάγκη για απότομη αύξηση της παραγωγής των συμβατικών σταθμών παραγωγής οδηγεί σε τεχνικά και οικονομικά προβλήματα καθώς οι σταθμοί αυτοί παρουσιάζουν μέγιστη απόδοση όταν λειτουργούν υπό σταθερό φορτίο. Ένα ακόμα ζήτημα που μπορεί να παρουσιαστεί σε περιπτώσεις χαμηλού φορτίου είναι η ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά να ξεπερνάει την ζήτηση, αυτό οδηγεί τον διαχειριστή στο να περικόψει την παραγωγή ενέργειας από τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς με συνέπεια να μειώνονται τα περιβαλλοντικά και οικονομικά τους οφέλη.

Η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να διορθώσει αυτά τα προβλήματα εάν μπορεί να εφαρμοστεί. Οι σφόνδυλοι έχουν δείξει ότι παρέχουν εξαιρετική ρύθμιση συχνότητας. Οι μπαταρίες αρκετά μεγάλη κλίμακας μπορούν να βοηθήσουν στην εξομάλυνση της καμπύλης της πάπιας και να αποτρέψουν τις διακυμάνσεις της ζήτησης ενέργειας βοηθώντας στην ευστάθεια του συστήματος και στη διατήρηση του προφίλ τάσης.

Κεφάλαιο 4

Μέθοδοι Επίλυσης Ζητημάτων ΔΠ στο Δίκτυο

4.1 Εισαγωγή

Καθώς αυξάνεται η διείσδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής σε ένα δίκτυο διανομής είναι θέμα χρόνου να φτάσουμε στο σημείο όπου περαιτέρω εισχώρηση μονάδων ΔΠ θα αρχίσει να δημιουργεί διάφορα από τα προβλήματα που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια αναφορά στις μεθόδους και στις τεχνολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν ούτως ώστε να καθιστή εφικτή μεγαλύτερη διείσδυση ΔΠ στο δίκτυο.

4.2 Τροποποιήσεις στο Ηλεκτρικό Δίκτυο

Όσον αφορά το πρόβλημα ανύψωσης τάσης ένας τρόπος αντιμετώπισης του είναι η αναβάθμιση του ηλεκτρικού δικτύου. Τα συμβατικά δίκτυα είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να τροφοδοτούν με ισχύ φορτία σε συγκεκριμένη απόσταση, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τους τη διεσπαρμένη παραγωγή. Με τη διείσδυση όμως των ΑΠΕ και την αντίστροφη ροή ισχύος στο δίκτυο, οι ισορροπίες έχουν αλλάξει. Για να μπορέσει το δίκτυο να ανταπεξέλθει στις αλλαγές, είναι δυνατό να γίνει αναβάθμιση των συστατικών του. Για παράδειγμα μπορεί να γίνει αντικατάσταση των γραμμών με χρήση αγωγών με καλύτερη ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (μικρότερη σύνθετη αντίσταση), είτε και δημιουργία νέων γραμμών. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν Μ/Σ μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος, ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα υπερφόρτισής τους, λόγω των μεγάλων έργων ρευμάτων, και τη ροή μεγάλων ποσοτήτων ισχύος στο δίκτυο. Ακόμα μπορεί να γίνει ενεργητική ρύθμιση της τάσης εγκαθιστώντας στην γραμμή ρυθμιστές τάσης ή αυτόματα ρυθμιζόμενες συστοιχίες πυκνωτών.

- **Αντικατάσταση Καλωδίου Γραμμής.** Με βάση την σχέση που εξάγαμε για την πτώση τάσης στο κεφάλαιο 3, προκύπτει ότι μείωση της αντίστασης R και της αντίδρασης X της γραμμής, δηλαδή της σύνθετης αντίστασης του δικτύου θα επιφέρει μείωση των διακυμάνσεων της τάσης. Συνεπώς, πρόκειται για μία λύση που θα μετριάσει το πρόβλημα σε μεγάλο βαθμό, ωστόσο η εφαρμογή της συνεπάγεται πολύ μεγάλο κόστος, ιδίως αν πρόκειται για την αντικατάσταση γραμμών υπόγειου δικτύου.

- **Αποζεύξιμες Συστοιχίες Πυκνωτών.** Με βάση πάλι την σχέση για την πτώση τάσης, προκύπτει ότι μεταβάλλοντας την άεργο ισχύ μπορούμε να ελέγξουμε την διακύμανση τάσης. Οι Αποζεύξιμες Συστοιχίες Πυκνωτών είναι συστοιχίες πυκνωτών όπου μετρώντας την τάση στο σημείο σύνδεσης τους μπορούν να συνδεθούν ή να αποσυνδεθούν ανάλογα με τα επίπεδα τάσης στο σημείο σύνδεσης τους. Με τον τρόπο αυτό μπορούν ελεγχόμενα να τροφοδοτήσουν με άεργο ισχύ το δίκτυο ελέγχοντας έτσι την διακύμανση τάσης. Το σύστημα αυτό μπορεί να βοηθήσει το δίκτυο μόνο σε περιπτώσεις πτώσης τάσης και όχι ανύψωσης. Παρόλα αυτά η συστοιχίες αυτές καθίστανται πολύ χρήσιμες σε δίκτυα με υψηλής ισχύος διεσπαρμένη φωτοβολταϊκή παραγωγή. Ο λόγος είναι ότι μπορούν να βοηθήσουν στην πτώση τάσης που εμφανίζεται το βράδυ όταν τα φωτοβολταϊκά δεν εξάγουν ενεργεία στο δίκτυο.
- **Ρυθμιστές Τάσης.** Οι Ρυθμιστές Τάσης σε ένα δίκτυο διανομής είναι αυτό-μετασχηματιστές με μεταβλητές λήψεις στην έξοδο τους. Αυτό τους καθιστά ικανούς να ανυψώνουν ή να υποβιβάζουν την τάση στην έξοδο τους, κρατώντας έτσι τα επίπεδα τάσης εντός των επιτρεπτών ορίων. Συνήθως εγκαθίστανται περίπου στα μέσα τις αναχώρησης τις γραμμής και του σημείου όπου υπάρχει πρόβλημα διακύμανσης τάσης. Ο έλεγχος της τάσης γίνεται προσεγγιστικά καθώς ο ρυθμιστής μετράει την τάση στην έξοδο του και βάση αυτής υπολογίζει την τάση στο σημείο ρύθμισης.

4.3 Αντιστροφείς ΔΠ που Παρέχουν Επικουρικές Λειτουργίες

Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί είναι μακράν ο μεγαλύτερος εκπρόσωπος διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο. Αυτοί όπως και άλλες μονάδες ΔΠ χρησιμοποιούν αντιστροφείς για την σύζευξη τους με το δίκτυο ηλεκτρική ενέργειας. Οι αντιστροφείς αυτοί έκτος από το να μετατρέπουν την μορφή τις τάση εξόδου τις μονάδας ΔΠ σε κατάλληλη για παραλληλισμό με το δίκτυο μπορούν να ελεγχτούν με κατάλληλους αλγόριθμους και να παρέχουν επικουρικές λειτουργίες στο δίκτυο. Κάποιες από αυτές θα αναφερθούν παρακάτω.

4.3.1 Περικοπή Παραγόμενης Ενεργού Ισχύος

Στην τεχνική αυτή αξιοποιούνται οι δυνατότητες λειτουργίας των ηλεκτρονικών ισχύος (κυρίως των αντιστροφέων), που βρίσκονται εγκατεστημένοι στην έξοδο των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, για την αντιμετώπιση του φαινομένου ανύψωσης τάσης που προκαλείται από την έντονη διείσδυση της ΔΠ στα δίκτυα διανομής. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος ανύψωσης τάσης, μπορούμε να επιβάλουμε στον αντιστροφέα έλεγχο που θα συνδέει την ενεργό ισχύ με την τάση. Με τον τρόπο αυτό, μόλις η τάση στον αντιστροφέα ξεπεράσει το επιθυμητό όριο, η ενεργός ισχύς περιορίζεται, μεταφέροντας το σημείο λειτουργίας από το σημείο μεγίστης ισχύος σε ένα σημείο πιο κοντά στην τάση ανοιχτοκύκλωσης του ΦΒ πλαισίου. Εάν η τάση στο σημείο κοινής σύνδεσης εξακολουθεί να παραμένει πάνω από το επιτρεπτό όριο, τότε ο αντιστροφέας παύει τη λειτουργία του. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται περικοπή ενεργού ισχύος.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η στρατηγική αυτή περιορισμού της ενεργού ισχύος δεν είναι η καλύτερη δυνατή εφόσον ουσιαστικά περιορίζεται η εκμεταλλεύσιμη ισχύς που παράγουν τα Φ/Β κάτι το οποίο σε ορισμένες περιπτώσεις μεγάλου προβλήματος ανύψωσης τάσης οδηγεί σε σημαντική μείωση της παραγόμενης ισχύος, γεγονός που αδικεί ορισμένους παραγωγούς έναντι άλλων με σημαντικές οικονομικές απώλειες. Εκτός όμως του παραγωγού ζημιώνεται και το ίδιο το δίκτυο το οποίο αντί να εκμεταλλεύεται μία ανανεώσιμη ενέργεια χρειάζεται να παράγει μόνο του την καθορισμένη ενέργεια μέσω κυρίως υδροηλεκτρικών ώστε να καλύψει τα καταναλωτικά του φορτία. Μια λύση θα μπορούσε να είναι η αποθήκευση της ισχύος που έχει περικοπεί όπως θα δούμε παρακάτω.

4.3.2 Έλεγχος Παραγωγής ή Απορρόφησης Άεργου Ισχύος

Η τεχνική αυτή αξιοποιεί τους αντιστροφείς των μονάδων ΔΠ για τον έλεγχο της άεργου ισχύος σε αντίθεση με την τεχνική περικοπής ενεργού ισχύος που ελέγχει την ενεργό ισχύ, όπως περιγράψαμε παραπάνω. Η λογική της βασίζεται στο γεγονός ότι μπορεί να επιτευχθεί ρύθμιση της τάσης μεταβάλλοντας την παραγωγή και την απορρόφηση άεργου ισχύος σε επιλεγμένα σημεία του δικτύου. Στη τεχνική αυτή τα σημεία είναι οι κόμβοι κοινής σύνδεσης των μονάδων ΔΠ με το δίκτυο, και δεν χρειάζεται πρόσθετος εξοπλισμός πέρα από αντιστροφείς που να έχουν τη δυνατότητα ελέγχου της ροής άεργου ισχύος τους.

Ο έλεγχος της άεργου ισχύος γίνεται με τη μεταβολή του συντελεστή ισχύος λειτουργίας του αντιστροφέα, γι' αυτό και η μέθοδος αυτή ονομάζεται συχνά έλεγχος συντελεστή ισχύος. Δουλεύοντας με επαγωγικό συντελεστή ισχύος, ο αντιστροφέας έχει τη δυνατότητα να απορροφήσει άεργο ισχύ, ενώ δουλεύοντας με χωρητικό ΣΙ μπορεί να αποδώσει άεργο ισχύ στο δίκτυο. Με τον τρόπο αυτό συνεισφέρει στη ρύθμιση των τάσεων, απορροφώντας άεργο όταν παρατηρείται ανύψωση της τάσης και παράγοντας άεργο όταν παρατηρείται βύθιση της. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος εφαρμογής της μεθόδου PFC είναι με τη μέτρηση της τάσης στο σημείο κοινής σύνδεσης της μονάδας ΔΠ με το δίκτυο και τη χρησιμοποίηση κατάλληλα επιλεγμένων καμπυλών άεργου ισχύος-τάσης Q-V που υπολογίζουν την απαραίτητη ποσότητα άεργου ισχύος που πρέπει να απορροφηθεί ή να παραχθεί από τον αντιστροφέα.

4.3.3 Δυναμική Υποστήριξη Συχνότητας

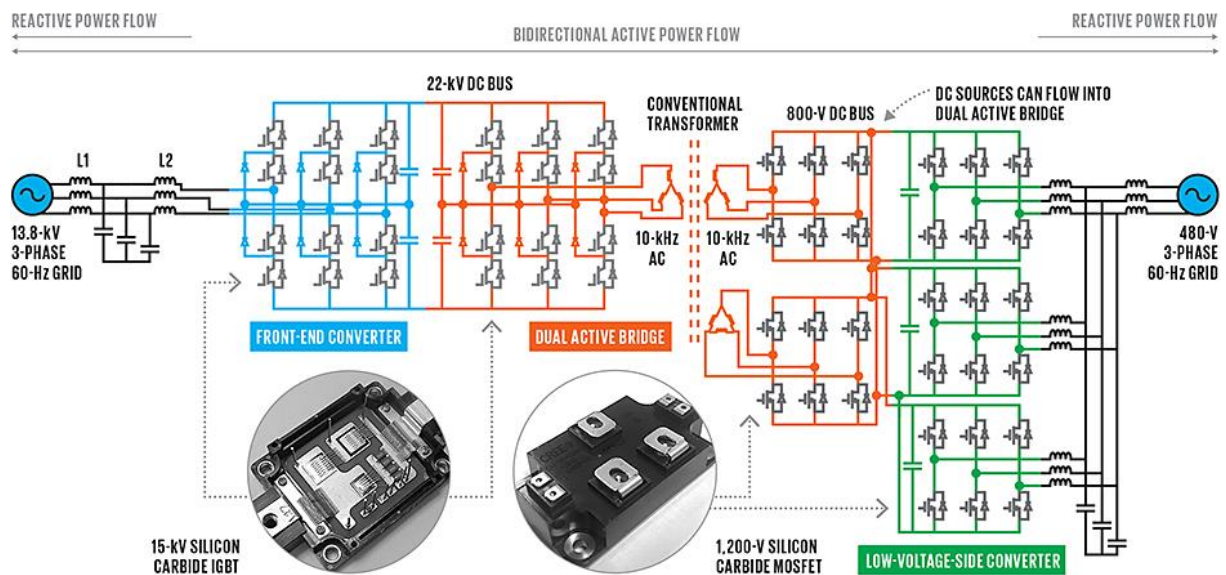
Με την συνεχή και αυξανόμενη ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την σταδιακή μείωση των σύγχρονων ηλεκτρικών γεννητριών, που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εμφανίζεται το φαινόμενο της μείωσης της συνολικής αδράνειας του ΣΗΕ. Μια καινοτόμα στρατηγική ελέγχου η οποία έχει προταθεί τα τελευταία χρόνια είναι χρήση των εικονικών σύγχρονων μηχανών. Η βασική ιδιότητα των εικονικών σύγχρονων μηχανών είναι ότι μπορούν να αντικαταστήσουν όλες τις ιδιότητες και δυνατότητες τις οποίες έχει μια σύγχρονη μηχανή. Τα δυναμικά, στατικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας σύγχρονης μηχανής εκφράζονται μέσα από το μοντέλο της εικονικής μηχανής. Ουσιαστικά, η εικονική σύγχρονη μηχανή είναι ένας τριφασικός αντιστροφέας ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος μπορεί να μιμείται την λειτουργία μιας σύγχρονης μηχανής. Η

χρήση του μοντέλου αυτού μπορεί να γίνει για την διασύνδεση αιολικών ή φωτοβολταϊκών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για να προσδίδουν στο ΣΗΕ την απαιτούμενη εικονική αδράνεια την οποία χρειάζεται για την διατήρηση της ευστάθειας του ΣΗΕ. Πρωταρχικός στόχος της ιδέας αυτής είναι ο έλεγχος της αλληλεπίδρασης της εικονικής σύγχρονης μηχανής με το δίκτυο.

4.4 Μετασηματιστές Στερεάς Κατάστασης

Ο μετασηματιστής στερεάς κατάστασης αποτελείται από έναν μετασηματιστή υψηλής συχνότητας και δύο μετατροπείς ηλεκτρονικών ισχύος στο πρωτεύον και στο δευτερεύον. Αποσκοπεί όχι μόνο να αντικαταστήσει το παραδοσιακό μετασηματιστή, αλλά και να παρέχει επίσης βοηθητικές υπηρεσίες στο δίκτυο, χάρη στην μεγαλύτερη ευελιξία που προσφέρεται από τα ηλεκτρονικά ισχύος. Αποτελείται από υψηλής ισχύος ημιαγωγούς, έναν αποδοτικό μετασηματιστή υψηλής συχνότητας και κυκλώματα ελέγχου. Τα βασικά πλεονεκτήματα του μετασηματιστή ηλεκτρονικών ισχύος είναι η μείωση του βάρους και του μεγέθους, καθώς και η εξάλειψη των μονωτικών λαδιών κάτι που οδηγεί σε μεγαλύτερη περιβαλλοντική προστασία.

Με τους μετασηματιστές στερεάς κατάστασης ο έλεγχος της τάσης και της συχνότητας/γωνίας μπορεί να γίνει από τους αντιστροφείς και στις δύο πλευρές (πρωτεύον-δευτερεύον) και όχι μόνο από τις σύγχρονες μηχανές που συνδέονται στο δίκτυο. Το δίκτυο διανομής δεν διαθέτει συνήθως στρεφόμενες μηχανές και έτσι στην περίπτωση που τροφοδοτείται από μετασηματιστές ηλεκτρονικών ισχύος απόκειται στον έλεγχο του αντιστροφέα να υποκαταστήσει την δυναμική που έχει ένα διασυνδεδεμένο σύστημα με στρεφόμενες μηχανές.



Εικόνα 4.1 Μετασηματιστής Στερεάς Κατάστασης

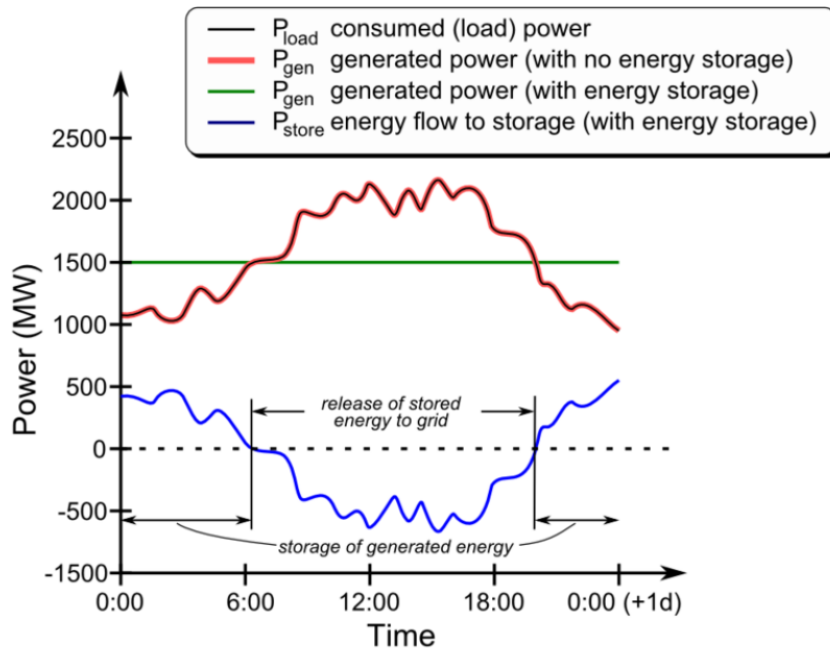
4.5 Αποθήκευση Ενέργειας

Η αποθήκευση ενέργειας έχει τη δυνατότητα να προσφέρει πολυάριθμα οφέλη στο ηλεκτρικό δίκτυο τόσο από λειτουργική όσο και από οικονομική άποψη. Γι αυτό το λόγο πολλές εταιρείες έχουν στρέψει την προσοχή τους στις διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας. Επιπλέον οι αποθηκευτικές μονάδες μεγάλης κλίμακας συμβάλλουν σημαντικά στην αποτελεσματική και πιο αποδοτική λειτουργία του δικτύου. Έτσι, προκύπτουν χαμηλότερες τιμές, λιγότερες εκπομπές αερίων και μεγαλύτερη αξιοπιστία στη διανομή ενέργειας.

Οι συμβατικές πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως οι μονάδες παραγωγής άνθρακα ή φυσικού αερίου, πρέπει να ενεργοποιούνται και να απενεργοποιούνται ακολουθώντας τις διακυμάνσεις της ζήτησης. Όμως αυτές οι μεγάλες μονάδες δεν έχουν την ευελιξία που απαιτείται για την απότομη αυξομείωση της παραγωγής τους. Για το λόγο αυτό η λειτουργία τους περιορίζεται σε ένα ποσοστό της εγκατεστημένης τους ισχύος, ενώ σπάνια λειτουργούν παράγοντας μέγιστη ισχύ. Αυτό σημαίνει ότι η ζητούμενη ενέργεια παράγεται με μεγαλύτερο κόστος, ενώ παράλληλα αυξάνονται και οι εκπομπές αερίων που επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα. Επιπροσθέτως, η αδυναμία των μεγάλων συμβατικών μονάδων παραγωγής να ακολουθήσουν μεγάλες και ξαφνικές αιχμές του φορτίου μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές πτώσεις τάσεως αλλά και μείωση της ποιότητας της ισχύος που παρέχεται στους καταναλωτές.

Με την συνεχώς αυξανόμενη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η αποθήκευση της ενέργειας μπορεί να καταστεί ιδιαίτερα χρήσιμη. Η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές εμπεριέχει μία στοχαστικότητα εξαιτίας της εξάρτησης των πηγών αυτών από τις καιρικές συνθήκες. Με τη χρήση, όμως, μονάδων αποθήκευσης σε συνδυασμό με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρέχεται η δυνατότητα αποθήκευσης της περίσσειας της ενέργειας κατά τις περιόδους μεγάλης παραγωγής. Στη συνέχεια η ενέργεια αυτή αποδίδεται ανάλογα με τη ζήτηση όταν η παραγωγή είναι μειωμένη, όταν δεν έχει ήλιο ή δε φυσάει.

Όμως, η αποθήκευση της ενέργειας από διάφορες πηγές ώστε να χρησιμοποιηθεί αργότερα δεν είναι η μοναδική συμβολή της αποθήκευσης στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Η υιοθέτηση διάφορων τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας συμβάλλει στη ρύθμιση της συχνότητας, δίνει τη δυνατότητα για φθηνότερη και αποδοτικότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αποτελεί αδιάλειπτη πηγή ενέργειας για κρίσιμα φορτία.

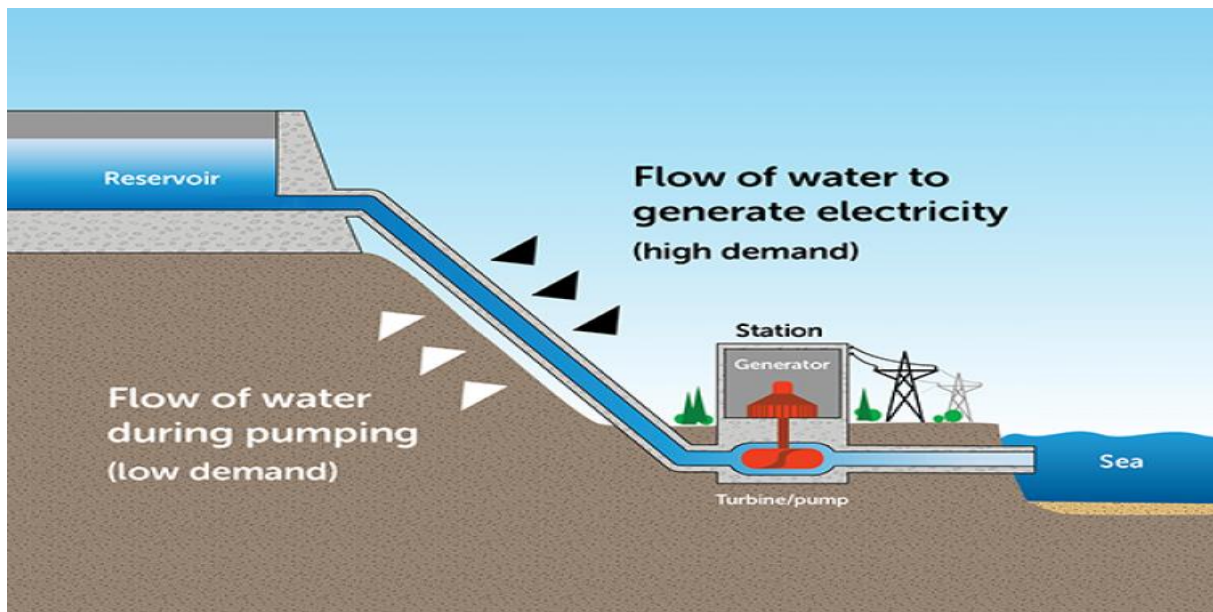


Εικόνα 4.2 Καμπύλες παραγωγής και φορτίου ενός ΣΗΕ με και χωρίς αποθήκευση ενέργειας

4.5.1 Αντλησιοταμίευση

Η αντλησιοταμίευση αποτελεί την πλέον διαδεδομένη μέθοδο για κεντρική αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε επίπεδο δικτύου. Σύμφωνα με έρευνα του EPRI η αντλησιοταμίευση αντιπροσωπεύει παγκοσμίως το 99% της κεντρικής αποθήκευσης ενέργειας σε επίπεδο δικτύου φθάνοντας περίπου τα 127GW σε συνδυασμό ορισμένες φορές με φράγματα νερού.

Είναι μια τεχνολογία που εκμεταλλεύεται την υψομετρική διαφορά δύο δεξαμενών. Κατά το χρονικό διάστημα που η ζήτηση ισχύος είναι χαμηλή και η παραγωγή ενέργειας υψηλή, η περίσσεια ισχύος χρησιμοποιείται ώστε οι κινητήρες να εκκινήσουν τις αντλίες οι οποίες μεταφέρουν νερό από τον κάτω ταμιευτήρα στον πάνω ταμιευτήρα. Έτσι η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται με τη μορφή δυναμικής ενέργειας. Αντίστοιχα κατά τις περιόδους υψηλής ζήτησης η δυναμική ενέργεια μετατρέπεται πάλι σε ηλεκτρική αφού το νερό απελευθερώνεται από τον πάνω προς τον κάτω ταμιευτήρα. Η ποσότητα της ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί εξαρτάται από την υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο δεξαμενών και τον συνολικό όγκο του νερού που αποθηκεύεται. Η ονομαστική ισχύς του συστήματος αντλησιοταμίευσης καθορίζεται από την πίεση του νερού, από το ρυθμό της ροής του διαμέσου των υδροστροβίλων και από την ονομαστική ισχύ αντλιών/υδροστροβίλων και γεννητριών/κινητήρων.



Εικόνα 4.3 Αποθήκευση Ενέργειας με Αντλιοταμίευση

Τα συστήματα αντλιοσταμείωσης παρέχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας μέχρι και της τάξεως των χιλιάδων MW με απόδοση κύκλου 70-85% και χρόνο ζωής πάνω από 40 χρόνια. Η φύση των συστημάτων αυτών τα καθιστά κατάλληλα για εφαρμογές που περιλαμβάνουν ενεργειακή διαχείριση μέσω χρονικής μετατόπισης του φορτίου, ρύθμιση συχνότητας και για εφεδρεία. Εντούτοις λόγω των γεωγραφικών, γεωλογικών και περιβαλλοντικών περιορισμών η μελέτη και κατασκευή συστημάτων αντλιοσταμείωσης είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και απαιτεί επένδυση σημαντικού κεφαλαίου.

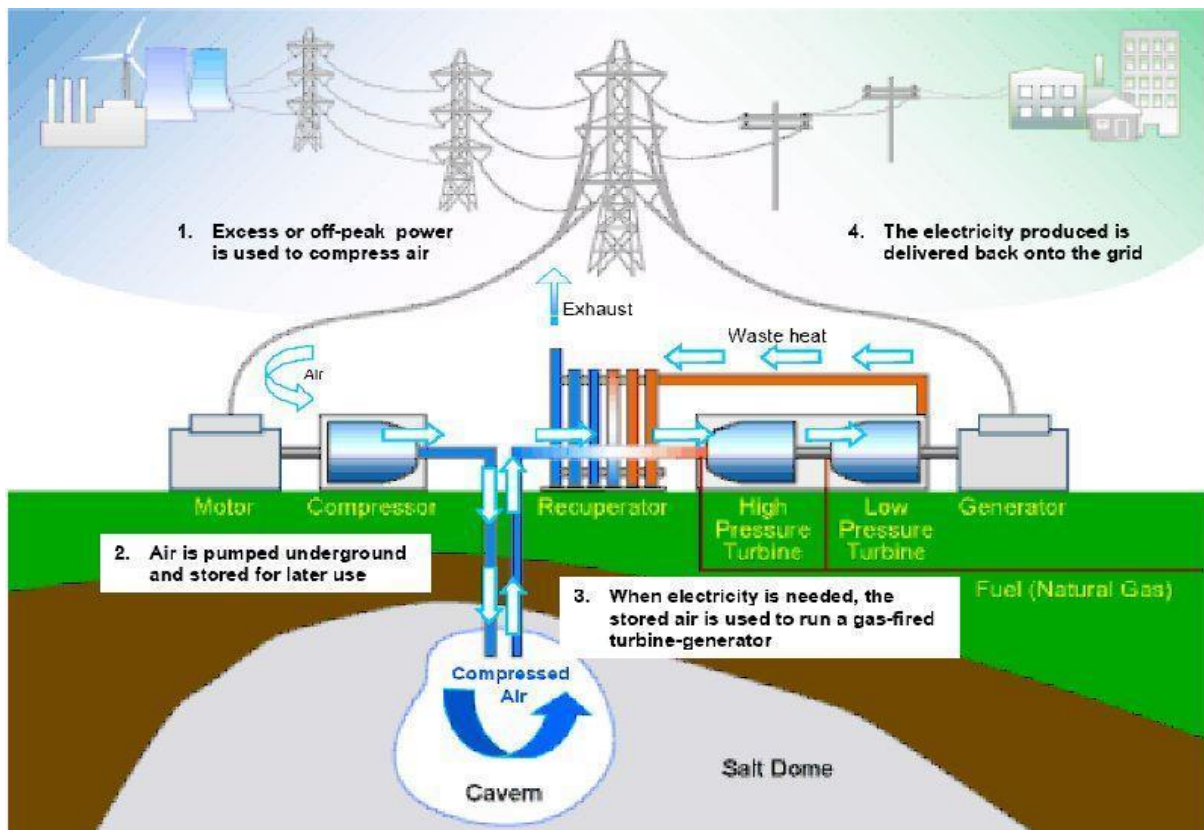
Τα τελευταία χρόνια και με τις τεχνολογικές εξελίξεις σχεδιάζονται ή βρίσκονται ήδη σε λειτουργία συστήματα αντλιοσταμείωσης στα οποία χρησιμοποιούνται ως ταμιευτήρες πλημμυρισμένα φρεάτια ορυχείων, υπόγεια σπήλαια ακόμα και ωκεανοί. Επιπλέον, αναπτύσσονται και συστήματα που συνδυάζουν την αντλιοσταμείωση με την παραγωγή ενέργειας από αιολικά ή φωτοβολταϊκά. Με αυτόν τον τρόπο ενοείται η υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε απομονωμένα δίκτυα ή δίκτυα διανομής. Οι βελτιώσεις που επιδιώκονται κατά την κατασκευή συστημάτων αντλιοσταμείωσης είναι η αύξηση της ταχύτητας του νερού και της χωρητικότητας των ταμιευτήρων. Επίσης κρίνεται χρήσιμη η εγκατάσταση συστημάτων κεντρικής παρακολούθησης και εξελιγμένων συστημάτων ελέγχου.

4.5.2 Συμπύεση Αέρα

Τα συστήματα αποθήκευσης με συμπύεση αέρα (Compress Air Energy Storage) αποτελούν μαζί με την αντλησιοταμίευση τις μόνες τεχνολογίες που έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύσουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας (πάνω από 100MW). Στα συστήματα CAES κατά τις περιόδους χαμηλής ζήτησης η περίσσεια ενέργειας αποθηκεύεται με τη μορφή συμπιεσμένου αέρα είτε σε υπόγεια σπήλαια είτε σε δεξαμενές. Η συμπύεση του αέρα γίνεται μέσω μίας ηλεκτρικής μηχανής (σε λειτουργία κινητήρα) η οποία εκκινεί μία σειρά συμπιεστών. Όταν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν επαρκεί για να καλύψει το φορτίο ο αποθηκευμένος συμπιεσμένος αέρας απελευθερώνεται και θερμαίνεται από μία πηγή θερμότητας, από καύση ορυκτών καυσίμων ή από τη θερμότητα που προέρχεται από τη συμπύεση του αέρα. Στη συνέχεια εισέρχεται σε αεριοστροβίλους που συνδέονται με μία γεννήτρια ώστε να παραχθεί η απαραίτητη ισχύς. Η θερμότητα που εκλύεται από αυτή τη διαδικασία μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί με ένα σύστημα ανάκτησης .

Τα συστήματα CAES είναι συνήθως μεγάλης κλίμακας και μπορούν να προσφέρουν στο δίκτυο χρονική μετατόπιση φορτίου, μείωση της αιχμής του φορτίου αλλά και ρύθμιση συχνότητας και τάσης. Η χρήση τους σε συνδυασμό με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κυρίως με την αιολική ενέργεια, ώστε να ομαλοποιείται η ισχύς που εξάγεται έχει προσελκύει ιδιαίτερο ενδιαφέρον τόσο από τον ακαδημαϊκό όσο και από το βιομηχανικό και εμπορικό χώρο. Επιπλέον οι τυπικές τιμές ονομαστικής ισχύος των CAES κυμαίνονται μεταξύ 50-300MW, ενώ παράλληλα λόγω των χαμηλών απωλειών υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης της ενέργειας για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επιπροσθέτως, σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί και ο γρήγορος χρόνος απόκρισης αυτών των συστημάτων καθώς και ο βαθμός απόδοσής τους που είναι συγκρίσιμος με άλλες τεχνολογίες αποθήκευσης.

Το σημαντικότερο εμπόδιο που δυσχεραίνει την εγκατάσταση και χρήση μονάδων CAES μεγάλης κλίμακας είναι ο εντοπισμός της τοποθεσίας με τα κατάλληλα γεωγραφικά χαρακτηριστικά ώστε να είναι βιώσιμη η επένδυση. Η αποθήκευση της ενέργειας γίνεται συνήθως σε γεωλογικούς σχηματισμούς όπως πετρώδη σπήλαια, σπήλαια άλατος, σε εξαντλημένα κοιτάσματα αερίων και αλατούχους υδροφόρους ορίζοντες.



Εικόνα 4.4 Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας με Συμπίεση Αέρα

4.5.3 Μπαταρίες

Η χρήση επαναφορτιζόμενων μπαταριών για την αποθήκευση ενέργειας είναι ήδη ευρέως διαδεδομένη σε εφαρμογές που σχετίζονται με τη βιομηχανία αλλά και με την καθημερινή ζωή. Ένα σύστημα αποθήκευσης με μπαταρίες αποτελείται από έναν αριθμό ηλεκτροχημικών κυψελών οι οποίες συνδέονται είτε σε σειρά είτε παράλληλα ώστε να παραχθεί η ηλεκτρική ενέργεια με συγκεκριμένη τάση. Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στο εσωτερικό των κυψελών. Η κάθε κυψέλη περιέχει δύο ηλεκτρόδια (άνοδος και κάθοδος) και έναν ηλεκτρολύτη ο οποίος μπορεί να είναι σε στερεή υγρή ή παχύρρευστη μορφή. Η κάθε κυψέλη έχει τη δυνατότητα να μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική και αντίστροφα. Κατά τη εκφόρτιση οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις συμβαίνουν στις ανόδους και τις καθόδους ταυτόχρονα. Στο εξωτερικό κύκλωμα παρέχονται ηλεκτρόνια από τις ανόδους και συλλέγονται από τις καθόδους. Ενώ κατά τη φόρτιση πραγματοποιούνται οι αντίστροφες αντιδράσεις καθώς εφαρμόζεται εξωτερική τάση στα δύο ηλεκτρόδια.

Οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται για πολλούς και διαφορετικούς σκοπούς όπως για τη βελτίωση της ποιότητας ισχύος, για τη διαχείριση της ενέργειας, αλλά και στα συστήματα μεταφοράς. Η κατασκευή των συστημάτων αποθήκευσης με μπαταρίες γίνεται συνήθως σε σύντομο χρονικό διάστημα. Επίσης, οι μπαταρίες μπορούν να τοποθετηθούν, ανάλογα με την εφαρμογή, στο εσωτερικό κτιρίων αλλά και σε ειδικές εγκαταστάσεις όπου απαιτείται.

Επί του παρόντος τα κύρια εμπόδια για την ενσωμάτωση των μπαταριών σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας είναι ο μικρός αριθμός κύκλων και το υψηλό κόστος συντήρησης. Επιπροσθέτως εξαιτίας της τοξικότητας των χημικών που χρησιμοποιούνται πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη βάση στην ανακύκλωση και απόρριψη των χρησιμοποιημένων μπαταριών. Ακόμη σε πολλούς τύπους μπαταριών δεν είναι δυνατή η πλήρης αποφόρτιση διότι η διάρκεια ζωής τους εξαρτάται από το βάθος εκφόρτισης. Οι πιο διαδεδομένες είναι οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος, οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου και οι μπαταρίες ιόντων - λιθίου.

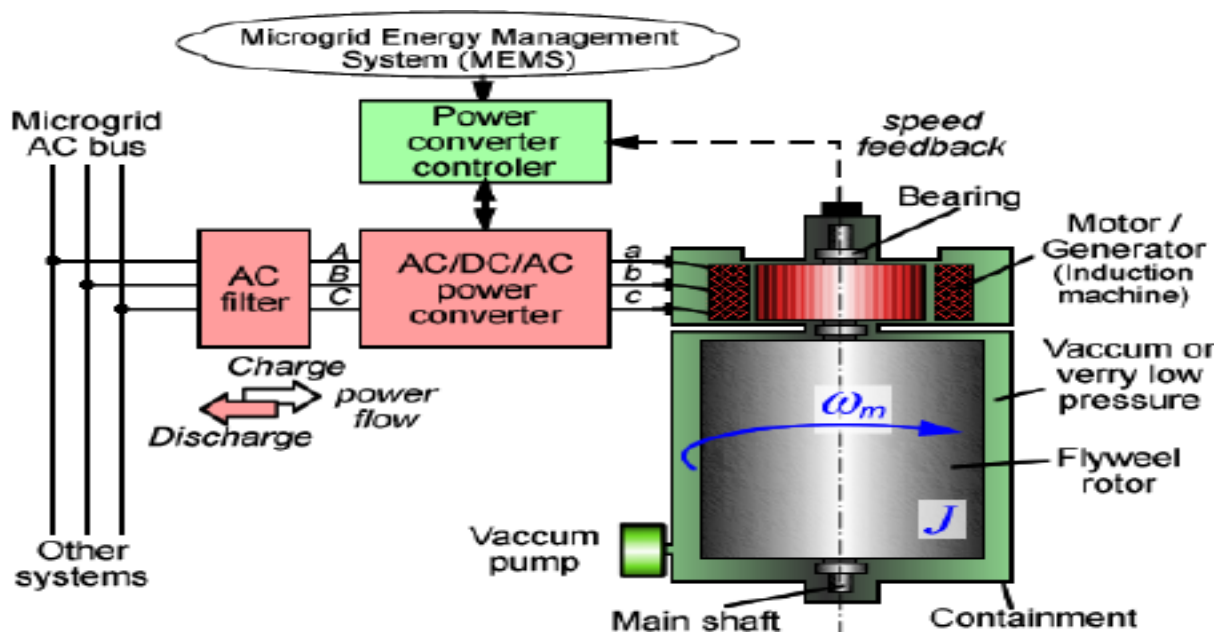


Εικόνα 4.5 Σταθμός Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρίες

4.5.4 Σφόνδυλοι (Flywheels Energy Storage System)

Στα συστήματα αποθήκευσης με σφόνδυλο η ενέργεια αποθηκεύεται με τη μορφή κινητικής ενέργειας μίας περιστρεφόμενης μάζας. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από έναν σφόνδυλο, έναν αριθμό ρουλεμάν, μία μηχανή που λειτουργεί ως κινητήρας και ως γεννήτρια, μία μονάδα ηλεκτρονικών ισχύος και έναν θάλαμο κενού. Ο σφόνδυλος τοποθετείται υπό κενό στο εσωτερικό του θαλάμου, όπου για να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες ενέργειας λόγω τριβών, αιωρείται με τη χρήση μαγνητικών τριβέων. Η μετατροπή της ενέργειας από κινητική σε ηλεκτρική και το αντίστροφο γίνεται μέσω της ηλεκτρικής μηχανής μεταβλητών στροφών, η οποία λειτουργεί είτε ως γεννήτρια αποδεδεσμεύοντας ενέργεια είτε ως κινητήρας αποθηκεύοντας ενέργεια. Η αποθηκευμένη κινητική ενέργεια στο σφόνδυλο είναι ανάλογη της ροπής αδράνειας του, επομένως και της μάζας του, και ανάλογη του τετραγώνου της γωνιακής του ταχύτητας. Για τη βελτιστοποίηση του λόγου ενέργειας-μάζας ο σφόνδυλος πρέπει να στρέφεται με τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα.

Τα συστήματα αποθήκευσης με σφόνδυλο χρησιμοποιούνται για εφαρμογές παροχής ισχύος και ενέργειας για μικρά χρονικά διαστήματα και κυρίως για την παροχή στρεφόμενης εφεδρείας. Ο χρόνος εκφόρτισης αυτών των διατάξεων κυμαίνεται μεταξύ λίγων δευτερολέπτων και μέχρι 15 με 30 λεπτών. Αντίθετα από τις μπαταρίες, τα συστήματα στρεφόμενων μαζών δεν είναι ευαίσθητα στη θερμοκρασία και η απόδοσή τους μπορεί να φθάσει ως και 80-90% χωρίς ιδιαίτερη πτώση της απόδοσής τους με το χρόνο ζωής τους ο οποίος φθάνει τα 15 – 20 χρόνια. Το είδος της λειτουργίας του σφονδύλου, δηλαδή αν απορροφά ενέργεια από το δίκτυο ή αν παρέχει, εξαρτάται από τις στιγμιαίες συνθήκες του δικτύου και καθορίζεται από το διαχειριστή.



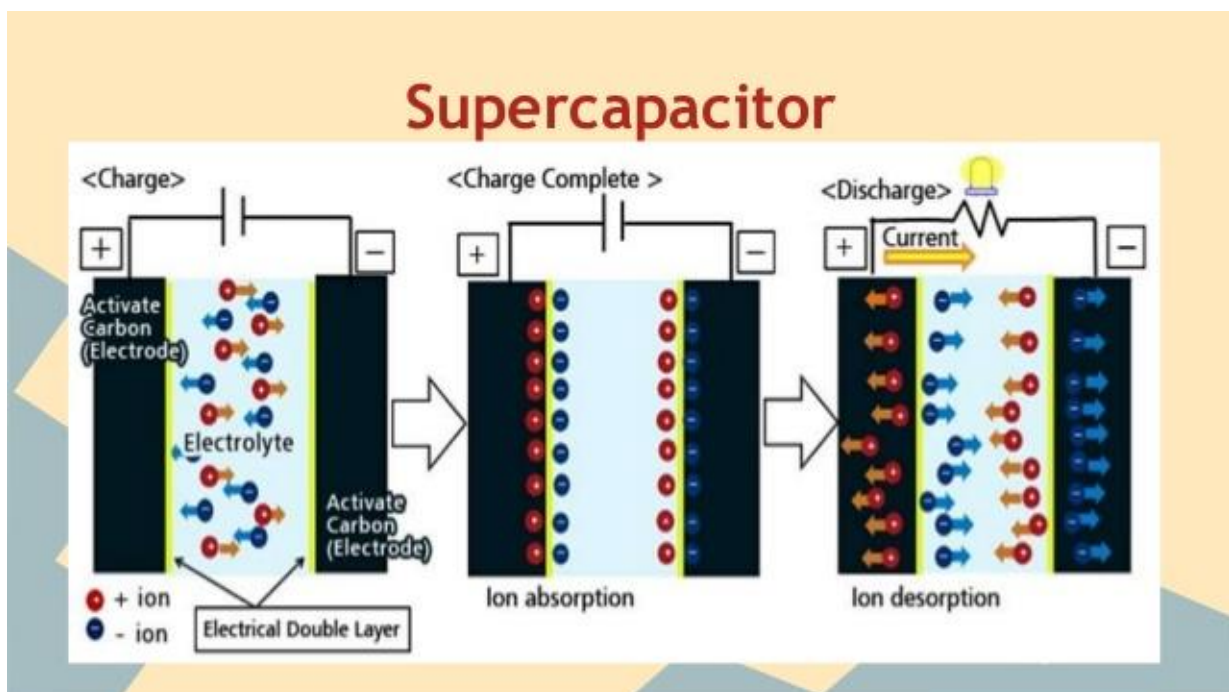
Εικόνα 4.6 Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας με Σφόνδυλο

4.5.5 Υπερπυκνωτές (Supercapacitors)

Οι υπερπυκνωτές είναι πυκνωτές υψηλής χωρητικότητας με τιμές χωρητικότητας πολύ υψηλότερες από άλλους πυκνωτές (αλλά χαμηλότερα όρια τάσης) που γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ ηλεκτρολυτικών πυκνωτών και επαναφορτιζόμενων μπαταριών . Συνήθως αποθηκεύουν 10 έως 100 φορές περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου από τους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές, μπορούν να δέχονται και να εκπέμπουν φορτίο πολύ πιο γρήγορα από τις μπαταρίες και έχουν αντοχή σε πολλούς περισσότερους κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης από τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες . Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούν πολλούς γρήγορους κύκλους φόρτισης - εκφόρτισης αντί μακροπρόθεσμης συμπαγούς αποθήκευσης ενέργειας, μέσα σε αυτοκίνητα, λεωφορεία, τρένα, γεραμούς και ανελκυστήρες, όπου χρησιμοποιούνται για αναγεννητική πέδηση , βραχυπρόθεσμη αποθήκευση ενέργειας και εκρηκτική παροχή ισχύος.

Οι υπερπυκνωτές, ή ηλεκτροχημικοί πυκνωτές διπλής στρώσης αποτελούνται από δύο αγώγιμα ηλεκτρόδια, έναν ηλεκτρολύτη και μία πορώδη διαχωριστική μεμβράνη. Εξαιτίας της δομής τους οι υπερπυκνωτές έχουν χαρακτηριστικά των συμβατικών πυκνωτών αλλά και των ηλεκτροχημικών μπαταριών. Η ενέργεια αποθηκεύεται με τη μορφή ηλεκτροστατικού φορτίου στις επιφάνειες μεταξύ του ηλεκτρολύτη και των δύο αγώγιμων ηλεκτροδίων. Οι πυκνωτές διπλής στρώσης λειτουργούν σε ένα θερμοκρασιακό εύρος από -40°C μέχρι 70°C.

Οι πυκνότητες ισχύος και ενέργειας των υπερπυκνωτών είναι μεταξύ των τιμών των αντίστοιχων χαρακτηριστικών των επαναφορτιζόμενων μπαταριών και των συμβατικών πυκνωτών. Το σημαντικότερα χαρακτηριστικά των υπερπυκνωτών είναι ο μεγάλος αριθμός των κύκλων (>105 κύκλους) και η υψηλή απόδοση ανά κύκλο (~84-97%). Παρά τα πλεονεκτήματά τους οι υπερπυκνωτές χαρακτηρίζονται και από υψηλό ποσοστό ημερήσιας αυτοεκφόρτισης (5-40%) αλλά και σημαντικό κόστος κεφαλαίου ανά μονάδα ενέργειας (€/kWh). Οι εφαρμογές ποιότητας ισχύος στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι υπερπυκνωτές περιλαμβάνουν συσκευές UPS, γεφύρωση της ισχύος με τον εξοπλισμό, ενεργοποίηση βαλβίδων σε εργοστάσια αλλά και εφαρμογές παλμικής ισχύος. Η ανάπτυξη των πυκνωτών διπλής στρώσης επικεντρώνεται κυρίως στη χρήση νέων εξελιγμένων υλικών με σκοπό την αύξηση της χωρητικότητάς τους.

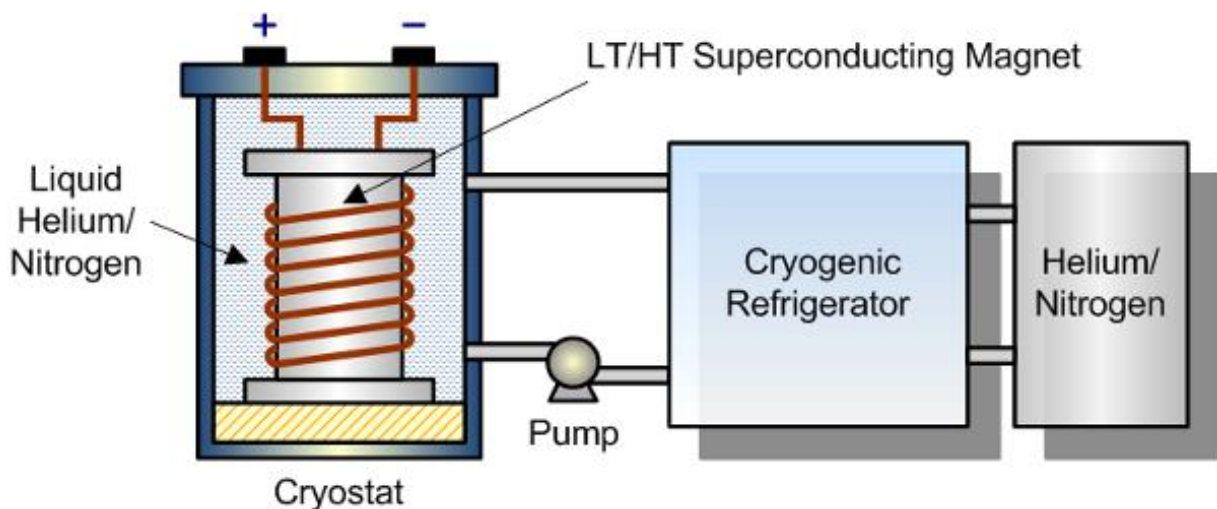


Εικόνα 4.7 Ροή Φορτίων σε Υπερπυκνωτή

4.5.6 Υπεραγωγή Πηνία (Superconducting Magnetic Energy Storage)

Η τεχνολογία SMES είναι η μοναδική τεχνολογία άμεσης αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με τη μορφή ηλεκτρικού ρεύματος. Ένα τυπικό σύστημα SMES αποτελείται από τρία βασικά μέρη: τη μονάδα υπεραγωγού, το κρυογόνο σύστημα ψύξης, το μονωμένο δοχείο και το σύστημα μετατροπής ισχύος. Στα συστήματα υπεραγωγίσιμης μαγνητικής αποθήκευσης η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται σε ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο δημιουργείται από το συνεχές ρεύμα που ρέει στο υπεραγωγίσιμο πηνίο. Το πηνίο έχει ψυχθεί ώστε να πέσει η θερμοκρασία του κάτω από την τιμή της κρίσιμης θερμοκρασίας. Τα υπεραγωγίσιμα υλικά σε τέτοιες θερμοκρασίες, μερικών Kelvin, βρίσκονται στην υπεραγωγίσιμη κατάσταση, παρουσιάζουν μηδενική αντίσταση και η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποθηκευθεί με σχεδόν μηδενικές απώλειες. Τέτοια υλικά είναι ο υδράργυρος το βανάδιο και σε εφαρμογές αποθήκευσης χρησιμοποιείται κυρίως Νιόβιο-Τιτάνιο του οποίου η κρίσιμη θερμοκρασία είναι 9.2K. Κατά τη φάση της εκφόρτισης τα συστήματα SMES απελευθερώνουν την ηλεκτρική ενέργεια μέσω του συστήματος μετατροπής της ισχύος. Η μέγιστη ενέργεια που μπορεί να αποθηκεύσει ένα σύστημα SMES καθορίζεται από την αυτεπαγωγή του πηνίου και το ρεύμα που ρέει σε αυτό.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των συστημάτων υπεραγωγίσιμης μαγνητικής αποθήκευσης είναι η σχετικά υψηλή πυκνότητα ισχύος (~4000W/L), ο μικρός χρόνος απόκρισης (της τάξεως των milliseconds), μικρός χρόνος πλήρους αποφόρτισης (< 1λεπτό), υψηλή απόδοση ανά κύκλο (~95~98%) και μεγάλη διάρκεια ζωής (μέχρι και 30 χρόνια). Σε αντίθεση με τις μπαταρίες, τα συστήματα SMES έχουν τη δυνατότητα σχεδόν πλήρους αποφόρτισης με πολύ περιορισμένη φθορά μετά από την ολοκλήρωση χιλιάδων πλήρων κύκλων.



Εικόνα 4.8 Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας Υπεραγωγίσιμου Πηνίου

4.6 Εικονικοί Σταθμοί Παραγωγής Ενέργειας

Η έως τώρα φιλοσοφία εγκατάστασης της ΔΠ ήταν προσανατολισμένη στη σύνδεση παρά στην ενσωμάτωση της ΔΠ στο δίκτυο. Γενικά, η εγκατάσταση της ΔΠ γινόταν με μία προσέγγιση “fit and forget”, η οποία βασιζόταν σε ένα παλαιού τύπου, παθητικό δίκτυο διανομής. Υπό το καθεστώς αυτό, οι μονάδες ΔΠ δεν είναι “ορατές” στο σύστημα. Έτσι, ενώ μπορούν να αντικαταστήσουν την ενέργεια που παράγεται από κεντρική παραγωγή, δεν μπορούν να αντικαταστήσουν την εγκατεστημένη ισχύ αυτής. Χωρίς ενεργό διαχείριση ή κατάλληλη αναπαράσταση στο σύστημα, οι μονάδες ΔΠ, καθότι γενικά είναι μικρής ισχύος (από μερικά kW έως μερικά MW), δεν είναι σε θέση να παράσχουν επικουρικές υπηρεσίες και να στηρίξουν το σύστημα. Έτσι, η εγκατεστημένη ισχύς της κεντρικής παραγωγής πρέπει να διατηρηθεί για την παροχή των υπηρεσιών αυτών στο σύστημα

Με όλο και μεγαλύτερη πίεση για την αύξηση της διείσδυσης της ΔΠ, αυτή η παθητική προσέγγιση θα οδηγήσει σε αύξηση του κόστους επενδύσεων και λειτουργίας του συστήματος και τελικά θα έχει αρνητική επίδραση στο ρυθμό εγκατάστασης νέων μονάδων ΔΠ. Έχει προταθεί, τα τελευταία χρόνια, ένας εναλλακτικός τρόπος, όπου οι μονάδες ΔΠ (συμπεριλαμβανομένων ελεγχόμενων και μη φορτίων) ενσωματώνονται σε ελεγχόμενους εικονικούς σταθμούς παραγωγής (ΕΣΠ). Με τη δημιουργία αυτών των σταθμών, οι ομάδες μονάδων ΔΠ και φορτίων θα μπορούν να εμφανίζονται στο σύστημα και τις αγορές ως ενιαίες οντότητες και να έχουν επίδραση όμοια με αυτή των συμβατικών σταθμών που συνδέονται στο σύστημα μεταφοράς.

Μέσω της ιδέας του ΕΣΠ:

- Οι μονάδες ΔΠ μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση στις αγορές ενέργειας και να επωφεληθούν από τη διαχείριση του ΕΣΠ και να μεγιστοποιήσουν τις ευκαιρίες εσόδων τους.
- Η λειτουργία του συστήματος μπορεί να επωφεληθεί από τη βέλτιστη χρήση όλης της διαθέσιμης εγκατεστημένης ισχύος και της αυξημένης λειτουργικής αποδοτικότητας.

Ένας συμβατικός σταθμός που συνδέεται στο σύστημα μεταφοράς έχει ένα λειτουργικό προφίλ, το οποίο αποτελείται από τα χαρακτηριστικά της μονάδας. Κάποια από αυτά είναι: το πρόγραμμα παραγωγής, τα όρια της παραγωγής και τα χαρακτηριστικά του κόστους λειτουργίας. Βάσει αυτού του προφίλ, μία μονάδα παραγωγής μπορεί να αλληλεπιδράσει άμεσα με τους υπόλοιπους συμμετέχοντες στην αγορά, για να παράσχει υπηρεσίες και να συνάψει συμβόλαια. Μέσω άμεσης επικοινωνίας με το διαχειριστή του συστήματος μεταφοράς ή μέσω συναλλαγών στην αγορά, ένας συμβατικός σταθμός που συνδέεται στο σύστημα μεταφοράς μπορεί να συνεισφέρει στο σύστημα. Η παραγόμενη ενέργεια και οι επικουρικές υπηρεσίες μπορούν να πωληθούν, μέσω συναλλαγών, στη χονδρική αγορά ή με απευθείας επαφή με παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας.

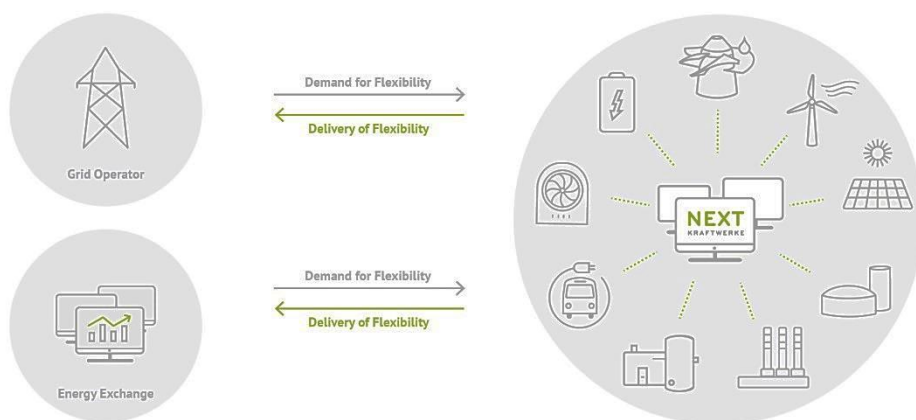
Όταν οι μονάδες ΔΠ λειτουργούν μόνες τους, συνήθως δεν έχουν την απαιτούμενη ισχύ, ελεγχιμότητα και ευελιξία, ώστε να μπορούν να προσφέρουν επικουρικές υπηρεσίες στο σύστημα και να συμμετέχουν στις αγορές. Αυτό μπορεί να συμβαίνει τόσο από τεχνικής

πλευράς, όσο και από πλευράς οικονομικού συμφέροντος. Ωστόσο, με το σχηματισμό ενός ΕΣΠ από διάφορες μονάδες ΔΠ, τα θέματα αυτά αντιμετωπίζονται.

Ο Εικονικός Σταθμός Παραγωγής είναι μία ευέλικτη αναπαράσταση μίας ομάδας μονάδων ΔΠ. Ο ΕΣΠ δε συναθροίζει μόνο την εγκατεστημένη ισχύ των διάφορων μονάδων ΔΠ, αλλά επίσης δημιουργεί ένα ενιαίο λειτουργικό προφίλ από τη σύνθεση των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την κάθε μονάδα ΔΠ και ενσωματώνει χωρικούς (δηλ. του δικτύου) περιορισμούς στην περιγραφή των δυνατοτήτων του συνδυασμού των μονάδων ΔΠ

Πολλά από τα μειονεκτήματα των μεμονωμένων μονάδων ΔΠ αντιμετωπίζονται με τη δημιουργία εικονικών σταθμών παραγωγής. Με αυτόν τον τρόπο, οι ΕΣΠ, όπως και οι κλασικές μονάδες που συνδέονται στο σύστημα μεταφοράς, μπορούν να συμμετάσχουν στις διάφορες αγορές ενέργειας (π.χ. προθεσμιακές αγορές και χρηματιστήριο ενέργειας). Επίσης, είναι σε θέση να παράσχουν επικουρικές υπηρεσίες στο σύστημα μεταφοράς (π.χ. ρύθμιση συχνότητας, ρύθμιση τάσης κτλ) και να στηρίξουν με αυτόν τον τρόπο τη λειτουργία του συστήματος. Εκτός της δυνατότητας στήριξης του συστήματος μεταφοράς, οι ΕΣΠ μπορούν να συμβάλλουν και στην ενεργό διαχείριση των δικτύων διανομής.

Virtual Power Plant



Εικόνα 4.9 Εικονικός Σταθμός Παραγωγής

Επίσης ένας ΕΣΠ στοχεύει στην ομαλή ενσωμάτωση ενός μεγάλου αριθμού μονάδων ανανεώσιμης ενέργειας στα υφιστάμενα ενεργειακά συστήματα. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσφορά ευελιξίας από όλες τις δικτυωμένες μονάδες (π.χ. αύξηση της παραγωγής ενέργειας και κατανάλωση ενέργειας σε σύντομο χρονικό διάστημα για έλεγχο συχνότητας). Επιπλέον, οι έμποροι ενέργειας σε ένα μπορούν να χρησιμοποιούν ζωντανά δεδομένα για την ενίσχυση της πρόβλεψης και της εμπορίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, οι

ΕΣΠ αναλαμβάνουν σταδιακά τον ρόλο των παραδοσιακών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δηλαδή να πωλούν το προϊόν τους στις αγορές χονδρικής και αναλαμβάνουν την ευθύνη για ένα ισορροπημένο δίκτυο.

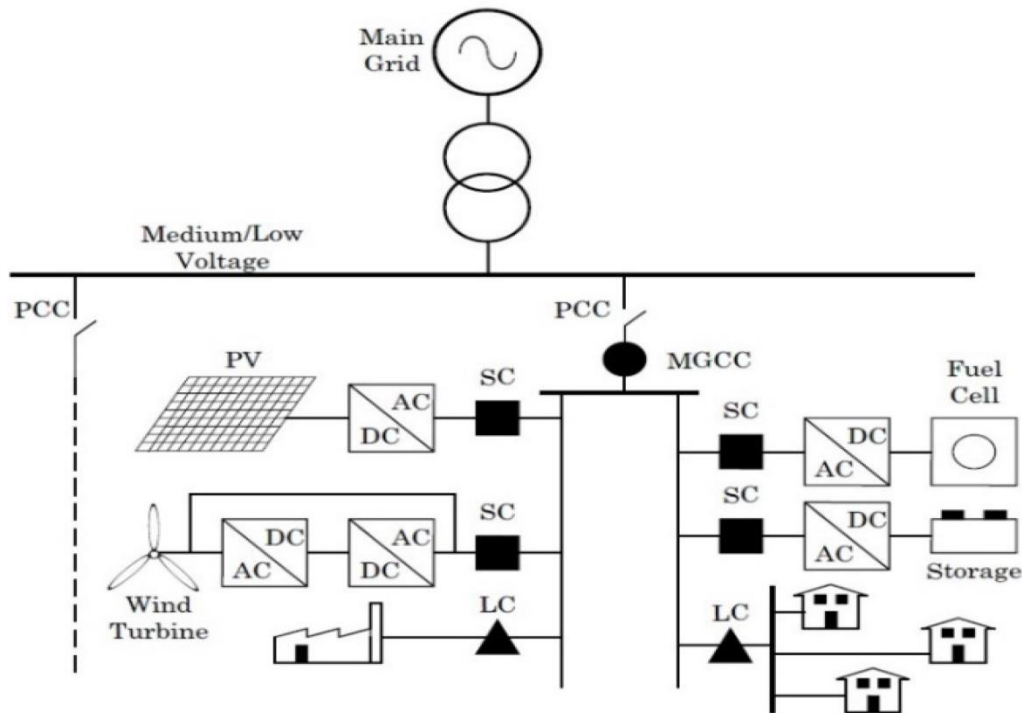
4.7 Μικροδίκτυα

Τα μικροδίκτυα είναι συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας που στο μέλλον αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο. Η ιδέα του μικροδικτύου προκύπτει ως ένας τρόπος να αυξηθεί η σύνδεση ΔΠ στα δίκτυα διανομής και ταυτόχρονα να βελτιωθούν τα πιθανά της οφέλη.

Τα μικροδίκτυα αποτελούνται από μικρές μονάδες παραγωγής σε συνδυασμό με μέσα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και ελεγχόμενα φορτία. Τα παραπάνω λειτουργούν στη χαμηλή ή μέση τάση, είτε συνδεδεμένα με το κεντρικό δίκτυο παραγωγής ισχύος είτε αποσυνδεδεμένα από το κεντρικό δίκτυο σχηματίζοντας μία νησίδα. Ένα μικροδίκτυο είναι ένα τμήμα ενός ηλεκτρικού συστήματος και ενδέχεται να παραμείνει σε λειτουργία μετά το διαχωρισμό από το σύστημα, εάν κάτι τέτοιο έχει προβλεφθεί. Οι περισσότερες μικροπηγές συνδέονται στο δίκτυο μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων οι οποίοι τα τελευταία χρόνια παρουσιάζουν σημαντική εξέλιξη. Ο έλεγχος των ηλεκτρονικών ισχύος είναι υπεύθυνος για τη ρύθμιση της συχνότητας και της τάσης. Υπό κανονικές συνθήκες, τα μικροδίκτυα συμμετέχουν συνδεδεμένα σε λειτουργίες του συστήματος παροχής τροφοδοσίας. Όταν το μικροδίκτυο λειτουργεί σε νησίδα οι δύο κύριες στρατηγικές ελέγχου που μπορούν να γίνουν είναι ο κεντρικός έλεγχος (master control) και ο έλεγχος μέσω droop control.

Ο σχεδιασμός του μικροδικτύου είναι ανεξάρτητος από το κεντρικό δίκτυο, ωστόσο μπορεί να υπάρχει διασύνδεση με αυτό, για ανταλλαγή ενέργειας. Από την πλευρά του δικτύου, ένα μικροδίκτυο αντιμετωπίζεται, τόσο από άποψη αγοράς όσο και από τεχνική άποψη, ως ένα αυτόνομο ελέγξιμο σύστημα μέσα στο σύστημα ενέργειας, το οποίο μπορεί να λειτουργεί ως ένα συγκεντρωμένο φορτίο, ή μια μικρή πηγή παραγωγής ενέργειας, που με τα κατάλληλα οικονομικά κίνητρα είναι δυνατόν να προσφέρει και κάποιες βοηθητικές υπηρεσίες στο δίκτυο διανομής, ιδιαίτερα σε περιόδους αιχμής, παρέχοντας ισχύ και θερμότητα στην τοπική περιοχή, καθώς επίσης και να διαχειρίζεται τα φορτία σε έκτακτες καταστάσεις.

Βασικό γνώρισμα των μικροδικτύων είναι ο συντονισμένος έλεγχος τους, ώστε τελικά να εμφανίζονται στο δίκτυο ως μία ενιαία οντότητα με το δικό της αποκεντρωμένο σύστημα ελέγχου το οποίο δεν επιβαρύνει τα συστήματα ελέγχου του ανάντη ευρισκόμενου δικτύου με τον έλεγχο κάθε μιας μονάδας ξεχωριστά. Ένα άλλο εξίσου βασικό, όσο και πρωτοποριακό, γνώρισμα των μικροδικτύων είναι η δυνατότητα τους να λειτουργούν όχι μόνο διασυνδεδεμένα με το ανάντη δίκτυο, που είναι και η συνήθης λειτουργία τους, αλλά και απομονωμένα (ή νησιδοποιημένα) όταν διακοπεί η διασύνδεση με το κύριο δίκτυο, με οργανωμένο και ελεγχόμενο τρόπο παρέχοντας στους καταναλωτές αυξημένη αξιοπιστία και βελτιωμένα επίπεδα ποιότητα ισχύος. Αυτή η δυνατότητα βεβαίως απαιτεί εξελιγμένες υποδομές προστασίας, ελέγχου και τηλεπικοινωνιών, προκειμένου να είναι σε θέση να απομονώσουν το μικροδίκτυο και να παράσχουν σταθερή, αυτόνομη λειτουργία. Η διαρκής όμως πρόοδος στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και ελεγκτών των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής συμβάλλει ώστε τέτοια λειτουργία να γίνεται ολοένα και περισσότερο εύκολο να επιτευχθεί τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά.



Εικόνα 4.10 Τυπικό Μικροδίκτυο

Από την πλευρά του δικτύου, ένα μικροδίκτυο μπορεί να θεωρηθεί σαν μια ελεγχόμενη οντότητα μέσα στο σύστημα ενέργειας που μπορεί να λειτουργεί όπως ένα συγκεντρωμένο φορτίο, μια μικρή πηγή ενέργειας ή σαν μια βοηθητική υπηρεσία που υποστηρίζει το δίκτυο. Από την πλευρά του καταναλωτή, τα μικροδίκτυα εκπληρώνουν τις ανάγκες τους σε θερμότητα και ηλεκτρισμό, όμοια με τα παραδοσιακά δίκτυα διανομής Μέσης Τάσης, αλλά επιπροσθέτως ενισχύουν και την τοπική αξιοπιστία, μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και βελτιώνουν την ποιότητα ενέργειας υποστηρίζοντας την τάση και μειώνοντας τις βυθίσεις της. Επίσης, δυνητικά, μειώνουν τις τιμές του αποθέματος ενέργειας. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του μικροδικτύου είναι ότι, ενώ υπό ομαλές συνθήκες λειτουργεί διασυνδεδεμένο με το δίκτυο, μπορεί αυτόματα να τεθεί σε απομονωμένη λειτουργία σε περιπτώσεις σφαλμάτων του ανάντη δικτύου. Συνεπώς ένα μικροδίκτυο για το ανάντη ευρισκόμενο δίκτυό του αντιμετωπίζεται, τόσο από άποψης αγοράς, όσο και από τεχνική άποψη σαν ένα ενιαίο φορτίο ή σαν μία ενιαία παραγωγή η οποία με τα κατάλληλα οικονομικά κίνητρα μπορεί να προσφέρει και κάποιες βοηθητικές υπηρεσίες στο δίκτυο διανομής ιδιαίτερα σε περιόδους αιχμής ακόμη και τοπικού επιπέδου. Οι καταναλωτές που βρίσκονται συνδεδεμένοι στο μικροδίκτυο, όχι μόνο μπορούν όπως και πριν να ικανοποιήσουν τις ηλεκτρικές και θερμικές τους ανάγκες, αλλά μπορούν να απολαύσουν υψηλότερα επίπεδα αξιοπιστίας, καλύτερη ποιότητα ισχύος με εξομαλυσμένη καμπύλη τάσης και να επιτύχουν ακόμη και ευνοϊκότερους οικονομικά όρους για την ικανοποίηση των αναγκών τους

4.8 Έξυπνα Δίκτυα

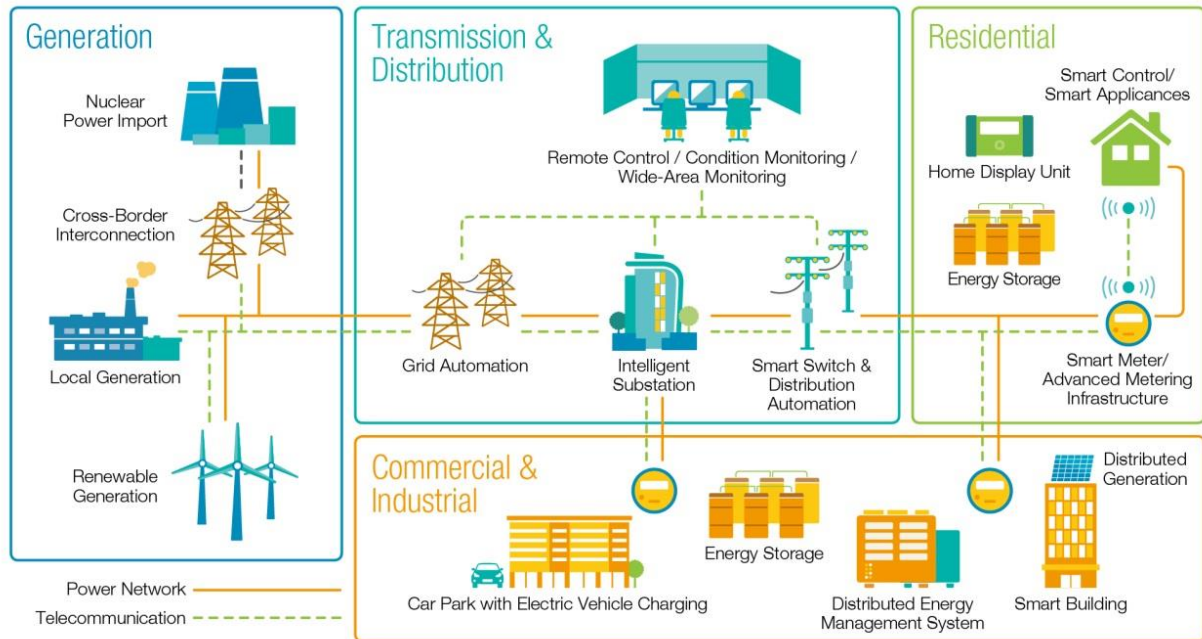
Τα έξυπνα δίκτυα είναι άμεσα συνδεδεμένα με την ταχύτατη διεύθυνση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή και την επακόλουθη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε ασφαλή για τον πλανήτη επίπεδα κατά τις επόμενες δεκαετίες. Ένα έξυπνο δίκτυο συνδυάζει πολλές διεσπαρμένες μονάδες παραγωγής ενέργειας, όπως είναι οι ΑΠΕ και δημιουργούν εικονικούς σταθμούς ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο πολλές μικρές ανανεώσιμες πηγές όπως είναι οι ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά, μονάδες παραγωγής από γεωθερμία και βιομάζα, ενώνονται και παράγουν την ίδια ενέργεια με συμβατικές θερμοηλεκτρικές μονάδες, με μεγαλύτερη όμως αποδοτικότητα, ευελιξία και μηδαμινές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Το έξυπνο δίκτυο ενώνει διεσπαρμένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπαραγωγή και διανέμει την ενέργεια με ένα πολύ αποδοτικό τρόπο, χρησιμοποιώντας προηγμένα συστήματα ελέγχου και επικοινωνίας. Ταυτόχρονα διανέμει την ηλεκτρική ενέργεια με έναν πιο οικονομικό τρόπο, με χαμηλότερη ένταση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και σε συνάρτηση με τις ανάγκες των καταναλωτών. Η μαζική αξιοποίηση των ΑΠΕ, μέσω ενός συστήματος έξυπνων δικτύων, κάνει εφικτή τη σταδιακή απόσυρση των παλιών συμβατικών θερμοηλεκτρικών μονάδων παραγωγής. Η βελτιστοποίηση της διαχείρισης της ενεργειακής προσφοράς και ζήτησης σημαίνει παράλληλα μείωση της πιθανότητας απώλειας φορτίου και μαζική μείωση εκπομπών αερίων. Με την εφαρμογή ενός ιδεατού παγκόσμιου έξυπνου δικτύου, ενέργεια που παράγεται τοπικά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως οπουδήποτε. Προκειμένου να προετοιμαστούμε για ένα ενεργειακό μίγμα με πολύ υψηλά ποσοστά διεύθυνσης ΑΠΕ, θα χρειαστεί να στραφούμε προς ένα διασυνδεδεμένο έξυπνο δίκτυο.

Η ανάγκη ενσωμάτωσης ανανεώσιμης ενέργειας στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένας από τους λόγους του αυξημένου ενδιαφέροντος για τα έξυπνα δίκτυα. Δίνεται πλέον μεγάλη έμφαση στο οικονομικό και περιβαλλοντολογικό όφελος από τις «έξυπνες» επενδύσεις, δηλαδή αυτές που διευκολύνουν την εγκατάσταση των μονάδων ΑΠΕ, μειώνουν το κόστος μεταφοράς και μετατοπίζουν το περιθώριο κέρδους.

Η ενσωμάτωση διεσπαρμένων μονάδων ΑΠΕ σε ένα δίκτυο σχεδιασμένο για τη μεταφορά κεντροποιημένης παράγωγης ηλεκτρισμού συναντά δυσκολίες τόσο σε μηχανικό όσο και σε οικονομικό επίπεδο, καθώς οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι λιγότερο ικανές στο να παράγουν ελεγχόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Πολλές φορές η παραγωγή από ΑΠΕ δε συνάδει με τη μέγιστη ζήτηση, λόγω έλλειψης συνέχειας της παραγωγής από ορισμένες ΑΠΕ, όπως οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά και έτσι η ζήτηση δεν καλύπτει την προσφορά ηλεκτρισμού. Επιπλέον, αν οι ανανεώσιμες πηγές θα μπορούσαν να αλλάξουν τις απαιτήσεις ρύθμισης της τάσης και συχνότητας του δικτύου σε σχέση με την κεντρική παραγωγή ενέργειας.

Το έξυπνο δίκτυο μπορεί να βοηθήσει στο ζήτημα της διακοπής παροχής ανανεώσιμης ενέργειας, στη ρύθμιση της τάσης και συχνότητας και στην αποσταθεροποίηση που προκύπτει από τις κατανεμημένες ΑΠΕ. Αυτό επιτυγχάνεται με τον ψηφιακό έλεγχο, τη χρήση διακοπών και ρελέ που μπορούν να συγχρονίζουν την πηγή ώστε να μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο χωρίς διακοπή. Βέβαια η ασυνέπεια παραγωγής και ζήτησης δεν λύνεται από ένα έξυπνο δίκτυο, αλλά απαιτείται χρήση αποθηκευτικών μέσων ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 4.11 Έξυπνο Δίκτυο

Κεφάλαιο 5

Μελέτη Ένταξης ΦΒ Σταθμού στο Δίκτυο Διανομής

5.1 Εισαγωγή

Η ένταξη ενός σταθμού διεσπαρμένης παραγωγής μπορεί να επιφέρει σημαντικές αλλαγές στην λειτουργία του δικτύου διανομής. Για το λόγο αυτό κάθε καινούργια ένταξη σταθμού στο δίκτυο πρέπει να μελετάτε διεξοδικά ούτως ώστε να μπορεί να διασφαλιστεί ότι η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές του δικτύου μέσης και χαμηλής τάσης θα διανέμετε με τον πλέον αξιόπιστο και ποιοτικό τρόπο.

5.2 Σενάριο Μελέτης

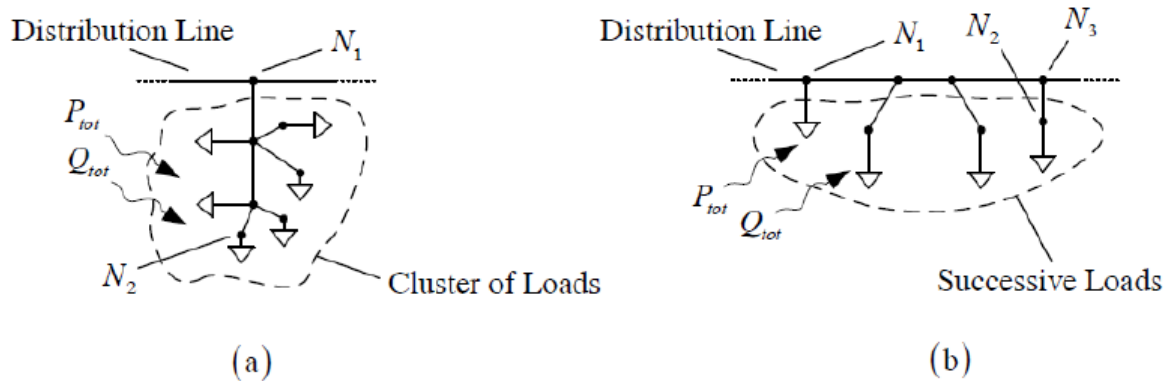
Η μελέτη που θα πραγματοποιηθεί σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει από την σκοπιά του διαχειριστή του συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα ένας παραγωγός υποβάλει αίτηση για εγκατάσταση ΦΒ σταθμού 4MW σε γραμμή διανομής MT. Εμείς θα πρέπει να μελετήσουμε της αλλαγές που θα επιφέρει η σύνδεση του σταθμού στο δίκτυο διανομής, την επάρκεια των στοιχείων της γραμμής από τυχόν υπερφορτώσεις και έπειτα θα αποφανθούμε αν η εγκατάσταση του σταθμού προκαλεί τα προαναφερθέντα προβλήματα του Κεφαλαίου 3 στο δίκτυο διανομής. Αν η εγκατάσταση του σταθμού δεν κρίνεται εφικτή θα πρέπει να ερευνήσουμε τις τροποποιήσεις τις οποίες θα πρέπει να γίνουν στην γραμμή για την επιτυχή εγκατάσταση του σταθμού.

5.2.1 Η Γραμμή Μέσης Τάσης

Η γραμμή που θα γίνει η μελέτη εγκατάστασης του ΦΒ σταθμού βασίζεται σε γραμμή του δικτύου διανομής του ΔΕΔΔΗΕ στην Πελοπόννησο. Το δίκτυο βρίσκεται σε επαρχιακή τοποθεσία και τροφοδοτεί 4 χωριά, 2 μεγάλους καταναλωτές μέσης τάσης και τις αγροτικές εγκαταστάσεις τις γύρω περιοχής. Το δίκτυο είναι ακτινικό με ονομαστική τάση λειτουργίας 20KV και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των μετασχηματιστών ΜΤ/ΧΤ που τροφοδοτούν τα φορτία της γραμμής ανέρχονται σε 11,275 MVA. Επίσης η γραμμή χαρακτηρίζεται και από υψηλή διεύθυνση διεσπαρμένης φωτοβολταϊκής παραγωγής. Το μέγεθός της ανέρχεται σε 3,92 MW, με ένα μεγάλο φωτοβολταϊκό σταθμό 2MW συνδεδεμένο στην μέση τάση και τα υπόλοιπα από φωτοβολταϊκά συνδεδεμένα στο δίκτυο χαμηλής τάσης.

5.3 Απλοποίηση Γραμμής με Ομαδοποίηση Φορτίων

Το λειτουργικό σχέδιο μιας γραμμής διανομής είναι αρκετά πολύπλοκο για να πραγματοποιήσουμε μια μελέτη πάνω σε αυτό, μια συνήθεις πρακτική για να απλουστεύσουμε τη μελέτη ροής φορτίου όταν δουλεύουμε σε μεγάλες και πολύπλοκες γραμμές είναι η ομαδοποίηση φορτίων. Φορτία τα οποία είναι γειτονικά μεταξύ τους και παρακλάδια τα οποία δεν μας ενδιαφέρουν μπορούν να παρουσιαστούν ως ένα ισοδύναμο συγκεντρωμένο φορτίο.



Εικόνα 5.1 Περιπτώσεις Ομαδοποίησης Φορτίων

Εφαρμόζοντας ομαδοποίηση φορτίων στην γραμμή προς μελέτη καταλήγουμε στο παρακάτω μονογραμμικό διάγραμμα.

5.4 Μελέτη Εφικτότητας Σύνδεσης

Για να αποφανθούμε για την εφικτότητα της σύνδεσης θα ξεκινήσουμε από την επάρκεια των στοιχείων της γραμμής και έπειτα θα μελετήσουμε τη μέγιστη διακύμανση τάσης που επικρατεί στο δίκτυο μετά την σύνδεση του σταθμού. Εάν δεν παραβιάζεται κάποια συνθήκη από τα προηγούμενα τότε μπορούμε να εγκαταστήσουμε τον ΦΒ σταθμό.

5.4.1 Διερεύνηση Επάρκειας Στοιχείων Δικτύου

Ξεκινώντας την μελέτη ερχόμαστε αντιμέτωποι με το πρώτο πρόβλημα. Το κοντινότερο σημείο σύνδεσης στο δίκτυο διανομής βρίσκεται στα 100m από το σταθμό και αποτελείται από γραμμή με αγωγό 3X16 mm ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) που έχει μέγιστη επιτρεπόμενη φόρτιση 136 A. Καθώς ο σταθμός θα εξάγει στο δίκτυο 4MW που αντιστοιχούν σε 115.5A ενεργό ρεύμα βλέπουμε ότι είμαστε ήδη πολύ κοντά στα θερμικά όρια της γραμμής και χωρίς μάλιστα να συμπεριλάβουμε και τα άεργα ρεύματα που θα ρέουν για την τροφοδότηση των καταναλωτών πριν και μετά του σημείου σύνδεσης του σταθμού τα όποια όπως είναι λογικό θα συμβάλουν στην αύξηση του συνολικού ρεύματος που θα ρέει από τον αγωγό.

Συνεπώς όπως βλέπουμε κρίνεται αναγκαία η αναβάθμιση των τμημάτων της γραμμής πριν και μετά του σημείου σύνδεσης του σταθμού για να καλύψουμε και τις δύο κατευθύνσεις της ροής ισχύος. Η αναβάθμιση αυτή θα είναι από καλώδιο 3X16mm ACSR σε 3X35mm ACSR όπου το δεύτερο έχει μέγιστη επιτρεπόμενη φόρτιση 224A. Η αναβάθμιση πριν το σημείο σύνδεσης θα γίνει από το στύλο 28 έως το στύλο 42 τις διακλάδωσης 2 και μετά το σημείο σύνδεσης από το στύλο 42 έως το στύλο 50 τις ίδια διακλάδωσης. Η αναβάθμιση αυτή στην ουσία επεκτείνει το κομμάτι με αγωγό 3X35 ACSR της διακλάδωσης 2 μέχρι το στύλο 50 καθώς αυτός τερμάτιζε στο στύλο 28 και έπειτα η διακλάδωση συνέχιζε με 3X16 ACSR. Το συνολικό μήκος της αναβάθμισης ανέρχεται στα 2,17 Km.

5.4.2 Διερεύνηση για την Προστασία της Γραμμής

Όπως βλέπουμε στην αρχή της διακλάδωσης 2 είναι τοποθετημένος Διακόπτης Απομόνωσης (Δ/A) ρυθμισμένος στα 50A στις 3 επαναφορές. Ο σκοπός αυτού του διακόπτη είναι να απομονώσει τη διακλάδωση 2 σε περίπτωση που υπάρξει κάποιο σφάλμα μετά την διακλάδωση κρατώντας έτσι το υπόλοιπο δίκτυο ηλεκτροδοτημένο. Ο τρόπος που το καταφέρνουν αυτοί η διακόπτες είναι με το να “μετράνε” τις επαναφορές που προκαλούνται σε περίπτωση σφάλματος από τον ελαιοδιακόπτη του υποσταθμού υψηλής τάσης ή από τυχόν διακόπτες αυτόματης επαναφοράς εγκατεστημένους στην γραμμή. Η συνθήκη που τους ενεργοποιεί είναι να έχουν επέλθει η επαναφορές στις οποίες είναι ρυθμισμένοι και να διαρρέονται από μεγαλύτερο ρεύμα από αυτό που της ρύθμισης τους.

Καθώς η σύνδεση του ΦΒ σταθμού αλλάζει τις συνθήκες φόρτισης της γραμμής πρέπει να μελετηθεί το νέο μέγιστο ρεύμα φόρτισης που είναι δυνατόν να διαρρέει τον διακόπτη. Θεωρώντας το ακραίο σενάριο της μέγιστης διεσπαρμένης φωτοβολταϊκής παραγωγής και συνάμα της ελάχιστης κατανάλωσης μετά την σύνδεση του σταθμού, βρίσκουμε ότι το μέγιστο ρεύμα αντίστροφης ροής ισχύος που μπορεί να διαρρέει τον διακόπτη ανέρχεται στα 94.6 A. Συνεπώς η σύνδεση του σταθμού επιβάλλει την αλλαγή ρύθμιση του διακόπτη καθώς η μη αλλαγή της ρύθμισης του, δημιουργεί της συνθήκες για ενεργοποίηση του διακόπτη ακόμα και αν το σφάλμα βρίσκεται σε διαφορετικό σημείο του δικτύου και όχι μετά από αυτόν.

5.4.3 Μελέτη Βραχυκύκλωσης για Καθορισμό Ρύθμισης του Δ/Α

Πριν να αλλάξουμε την ρύθμιση του διακόπτη θα πρέπει να κάνουμε μελέτη βραχυκύκλωσης της γραμμής για να δούμε το ελάχιστο δυνατό ρεύμα βραχυκύκλωσης. Είναι πολύ σημαντικό το ρεύμα φόρτισης της γραμμής να μην ξεπερνάει το ρεύμα βραχυκύκλωσης της γιατί σε αυτή τη περίπτωση η ανίχνευση σφαλμάτων κρίνεται πολύ δύσκολη έως αδύνατη.

Η μελέτη βραχυκυκλώσεως είναι μια σημαντική μελέτη που αποσκοπεί στην διερεύνηση των μέγιστων ρευμάτων που μπορεί να επικρατήσουν στην γραμμή ούτως ώστε να μπορούν να ανιχνευτούν και να περιοριστούν με τα κατάλληλα μέσα προστασίας. Στην μελέτη βραχυκυκλώσεως μας ενδιαφέρει το μέγιστο πιθανό ρεύμα βραχυκυκλώσεως για τη προστασία των αγωγών από πιθανή υπέρβαση των θερμικών ορίων τους και το ελάχιστο ρεύμα βραχυκυκλώσεως για την αποφυγή του κινδύνου να ενεργοποιείται ο διακόπτης από μεγάλη ζήτηση ισχύος η τη μη ανίχνευση σφαλμάτων λόγω του ότι το ρεύμα βραχυκυκλώσεως είναι πολύ μικρό και ο διακόπτης το “μπερδεύει” για ρεύμα φορτίου.

Στην παρούσα μελέτη καθώς μας ενδιαφέρει μόνο η ρύθμιση του μέσου προστασίας της διακλάδωσης θα υπολογίσουμε μόνο το ελάχιστο πιθανό ρεύμα βραχυκύκλωσης. Κάνοντας μελέτη βραχυκύκλωσης βρίσκουμε ότι το ελάχιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης μετά το Δ/Α που τυχαίνει να είναι και το ελάχιστο της γραμμής είναι 315,3A. Συνεπώς μπορούμε να αλλάξουμε τη ρύθμιση ρεύματος του διακόπτη σε μεγαλύτερη χωρίς να υπάρχει πρόβλημα με την προστασία. Η απαιτούμενη ρύθμιση είναι η αμέσως μεγαλύτερη τυποποιημένη από το μέγιστο ρεύμα φόρτισης της γραμμής και είναι 112A στις 3 επαναφορές.

5.4.4 Μελέτη Ροής Φορτίου

Όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο 1, μελέτη ροής φορτίου καλείται η εύρεση των μεγεθών που χαρακτηρίζουν την λειτουργία μιας γραμμής, αυτές είναι η τάσεις στους ζυγούς, τα ρεύματα, η ενεργός και άεργος ισχύς που ρέει σε κάθε γραμμή. Λόγο τις μη γραμμικότητας των εξισώσεων των ροών φορτίου ο κανόνας πλέον είναι ο υπολογισμός των μεγεθών της γραμμής να γίνεται μέσω κατάλληλων λογισμικών εξομοίωσης.

Στην παρούσα μελέτη ροής φορτίου διερευνούμε τη μέγιστη διακύμανση τάσης, δηλαδή η μελέτη ροής φορτίου αποσκοπεί στην εύρεση των τάσεων των ζυγών που επικρατούν κάτω από κάποια ακραία σενάρια και κάνοντας κάποιες παραδοχές οι υπολογισμοί θα γίνουν με το χέρι.

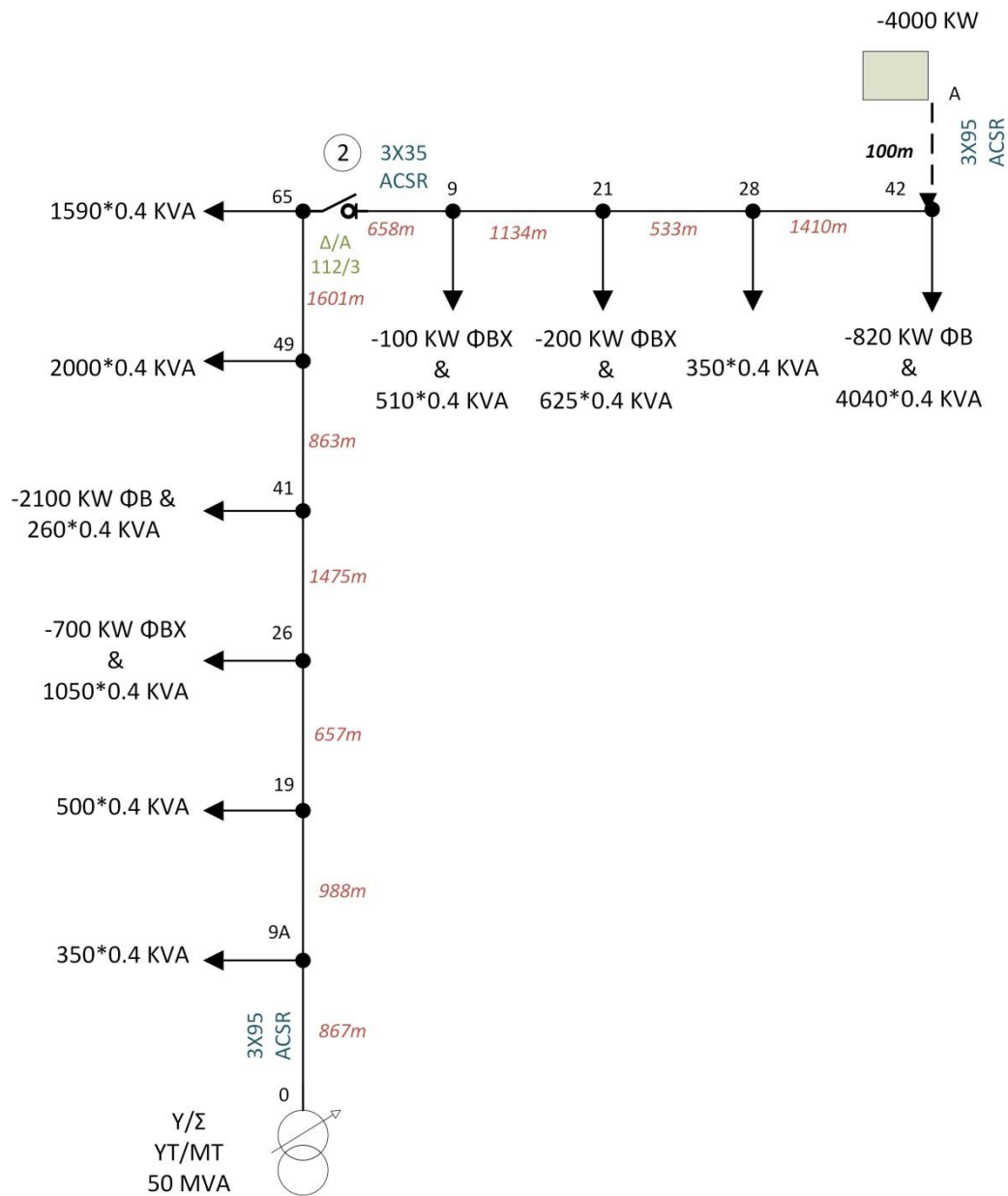
5.4.5 Διερεύνηση Σεναρίου Μεγίστης Ανύψωσης Τάσης

Για να υπολογίσουμε την μέγιστη ανύψωση τάσης που μπορεί να λάβει μέρος στην γραμμή θα πρέπει να θεωρήσουμε ότι η γραμμή λειτουργεί κάτω από κάποιο ακραίο σενάριο. Το σενάριο που μας δίνει την μέγιστη ανύψωση τάσης είναι να έχουμε ελάχιστη κατανάλωση και μέγιστη παραγωγή από διεσπαρμένους σταθμούς. Αυτό το σενάριο μπορεί να συμβεί κάποιο μεσημέρι με έντονη ηλιοφάνεια καθώς τότε μεγιστοποιείται η ΦΒ παραγωγή.

Επειδή η ζήτηση πρακτικά δεν φτάνει ποτέ στο μηδέν, μπορούμε να πούμε ότι στατιστικά η ελάχιστη ζήτηση αντιστοιχεί σε ένα συντελεστή φόρτισης τη γραμμής περίπου στο 40% τις εγκατεστημένης ισχύς των μετασχηματιστών της με συντελεστή ισχύος 0,9. Βέβαια αυτό αλλάζει από γραμμή σε γραμμή και για να είμαστε πιο ακριβείς θα πρέπει να έχουμε στατιστικά στοιχεία για τα ελάχιστα της φόρτισης της γραμμής αλλά στα πλαίσια αυτής τις πτυχιακής θα χρησιμοποιήσουμε τον συντελεστή 0,4. Για την μέγιστη παραγωγή διεσπαρμένης ΦΒ ισχύος θα θεωρήσουμε σαν συντελεστή το 100% τις εγκατεστημένης παραγωγής καθώς το μεσημέρι μιας ηλιόλουστης μέρας η ηλιακή ενέργεια που δέχεται η γη μεγιστοποιείται καθιστώντας το ένα αρκετά πιθανό σενάριο.

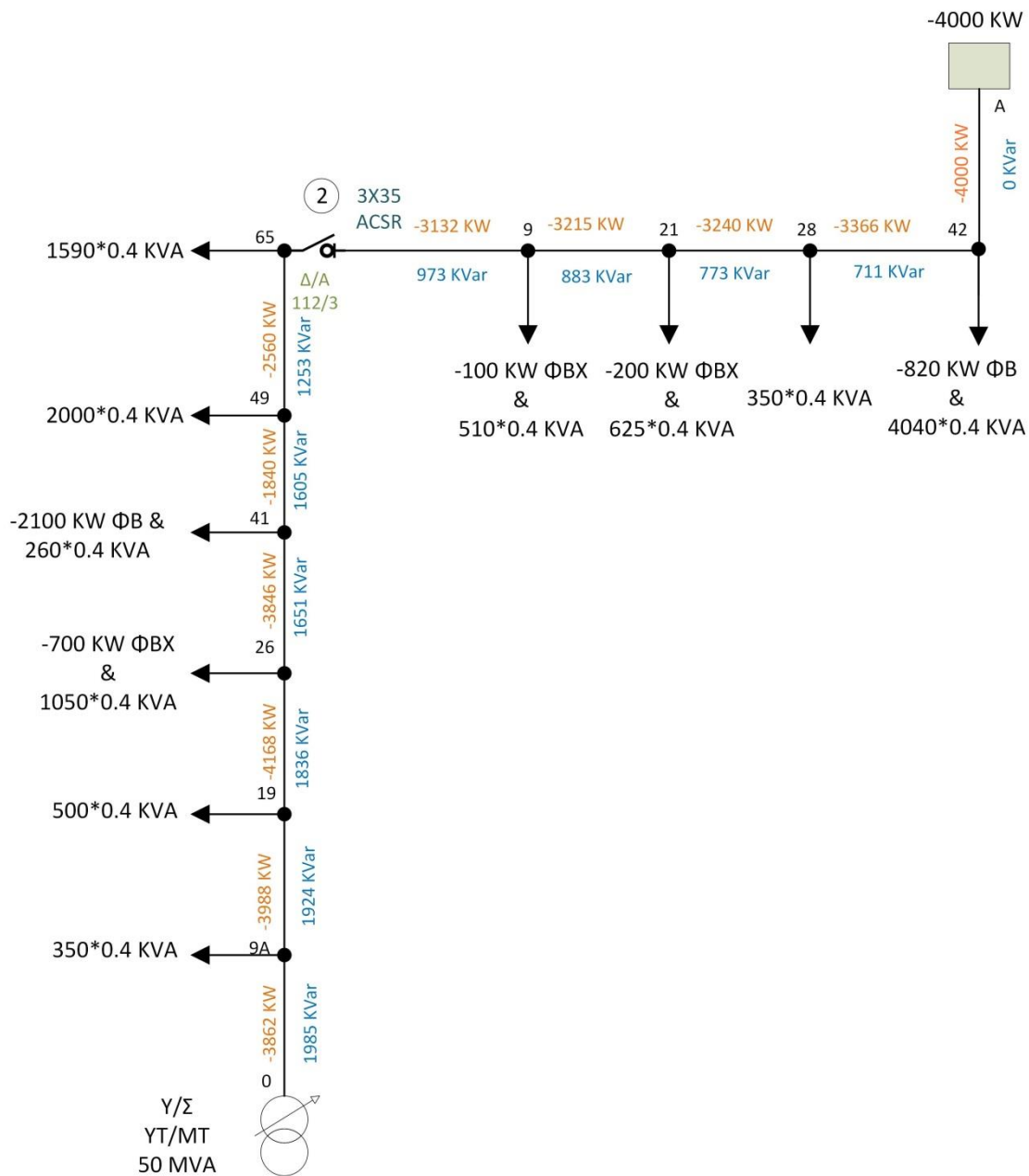
Το σημείο πάνω στη γραμμή που θα επικρατήσει η μέγιστη ανύψωση τάσης είναι στο σημείο σύνδεσης του σταθμού. Όπως ξέρουμε από την σχέση για την πτώση τάσης που εξάγαμε στο κεφάλαιο 3 η αντίστροφη ροή ενεργού ισχύος πάνω σε μία γραμμή προκαλεί ανύψωση τάσης και δεδομένου ότι ο μεγαλύτερος πάροχος ενεργού ισχύος πάνω στη γραμμή είναι ο ΦΒ σταθμός 4MW εκεί θα υπάρχει και η εκδήλωση της μέγιστης ανύψωσης τάσης. Η διασυνδεδετική γραμμή σύνδεσης του σταθμού θεωρούμε ότι θα έχει μήκος 100 μέτρων από το στύλο 42 της διακλάδωσης 2 και αποτελείται από αγωγό 3X95 ACSR.

Καθώς θέλουμε να μελετήσουμε την διακύμανση τάσης από την αναχώρηση της γραμμής έως το σημείο σύνδεσης του ΦΒ σταθμού μπορούμε να απλοποιήσουμε περαιτέρω το μονογραμμικό διάγραμμα ομαδοποιώντας τα φορτία που δεν μας ενδιαφέρουν. Κάνοντας ομαδοποίηση φορτίων καταλήγουμε στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 5.3 Απλοποιημένο Μονογραμμικό Διάγραμμα

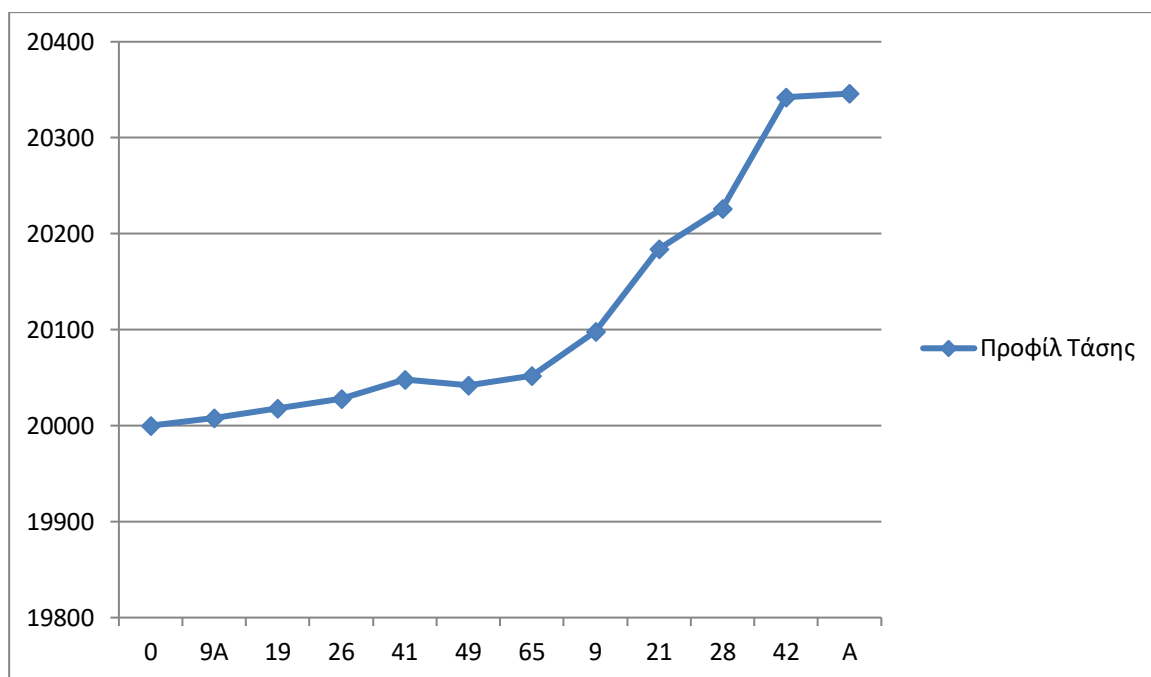
Ιδιαίτερη πρόκληση αποτελεί η κατανομή της ενεργού και της άεργου ισχύος μέσα στο δίκτυο. Δουλεύοντας όμως από το τέλος της γραμμής και προσθαφαιρώντας ενεργές και άεργες ισχύς μπορούμε να υπολογίσουμε τη ροή τις ισχύος σε κάθε τμήμα αγωγού μέσα στο δίκτυο. Η κατανομή τις ισχύς φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 5.4 Κατανομή των Ισχύων στο Δίκτυο

Εφόσον γνωρίζουμε το ποσό της ενεργού και άεργου ισχύος που διαρρέει κάθε αγωγό καθώς και την ωμική και επαγωγική του αντίδραση, χρησιμοποιώντας την σχέση για την πτώση τάσης μπορούμε να υπολογίσουμε την πτώση τάσης σε κάθε τμήμα του διαγράμματος και έπειτα αθροίζοντας όλες αυτές τις μεταβολές να έχουμε τη συνολική μέγιστη ανύψωση τάσης. Σημειωτέων ότι αρνητική μεταβολή τάσης σημαίνει ανύψωση της.

Εφαρμόζοντας τον τύπο σε κάθε τμήμα του δικτύου και αθροίζοντας όλες τις μεταβολές τάσης η μέγιστη ανύψωση τάσης ανέρχεται σε -1,73%. Έχοντας όριο διακύμανσης τάσης στη MT το $\pm 8\%$ της ονομαστικής τάσης βλέπουμε ότι η μέγιστη ανύψωση τάσης είναι εντός ορίων.

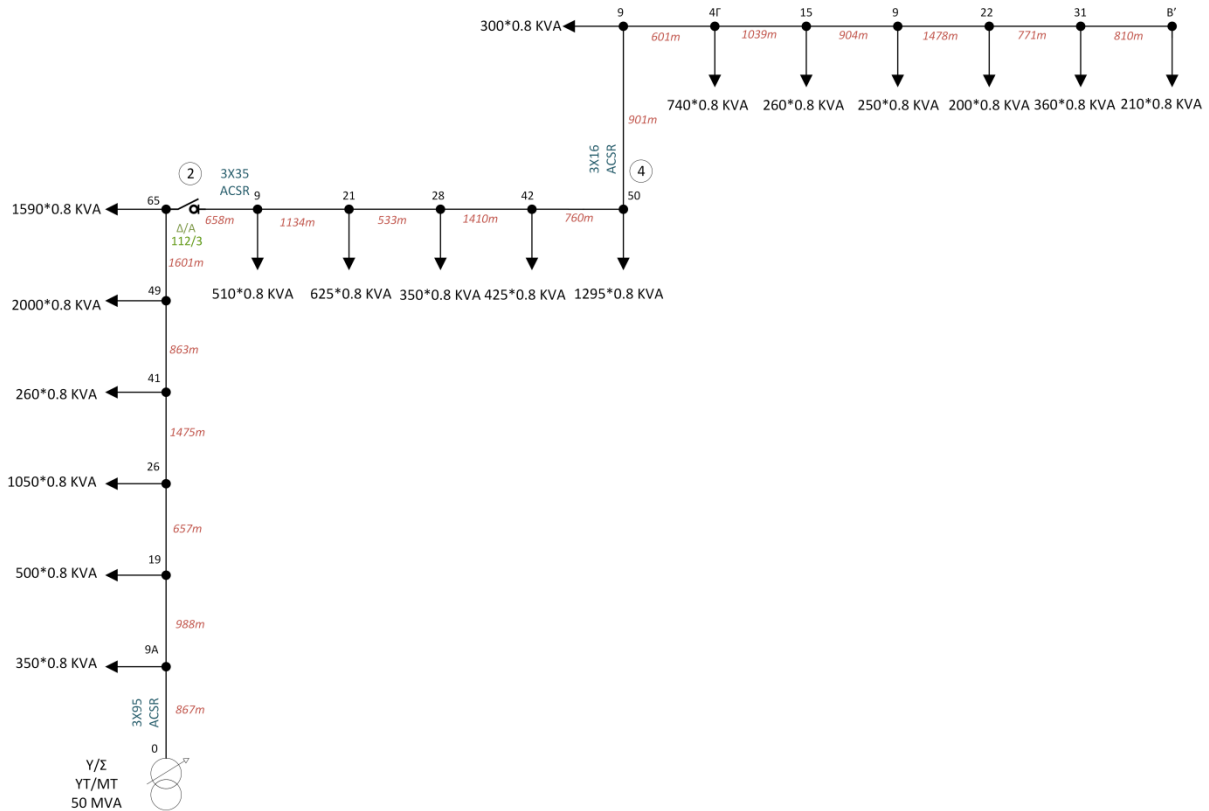


Εικόνα 5.5 Προφίλ Ανύψωσης Τάσης

5.4.6 Διερεύνηση Σεναρίου Μέγιστης Πτώσης Τάσης

Όπως στο σενάριο για τη εύρεση της μέγιστης ανύψωσης τάσης εφαρμόσαμε κάποια ακραία σενάρια έτσι και στη μελέτη μέγιστης πτώση τάσης θα ακολουθήσουμε την ίδια πρακτική. Σε αυτή την περίπτωση το ακραίο σενάριο που μας δίνει την μέγιστη πτώση τάσης προκύπτει από την ελάχιστη παραγωγή από τα διεσπαρμένα ΦΒ και την μέγιστη ζήτηση από τους καταναλωτές. Ένα τέτοιο σενάριο μπορεί να συμβεί σε μια γραμμή με υψηλή φωτοβολταϊκή ισχύ μετά το ηλιοβασίλεμα. Τότε πρακτικά η διεσπαρμένη φωτοβολταϊκή παραγωγή μηδενίζεται και η ζήτηση φτάνει το μέγιστο της ημέρας.

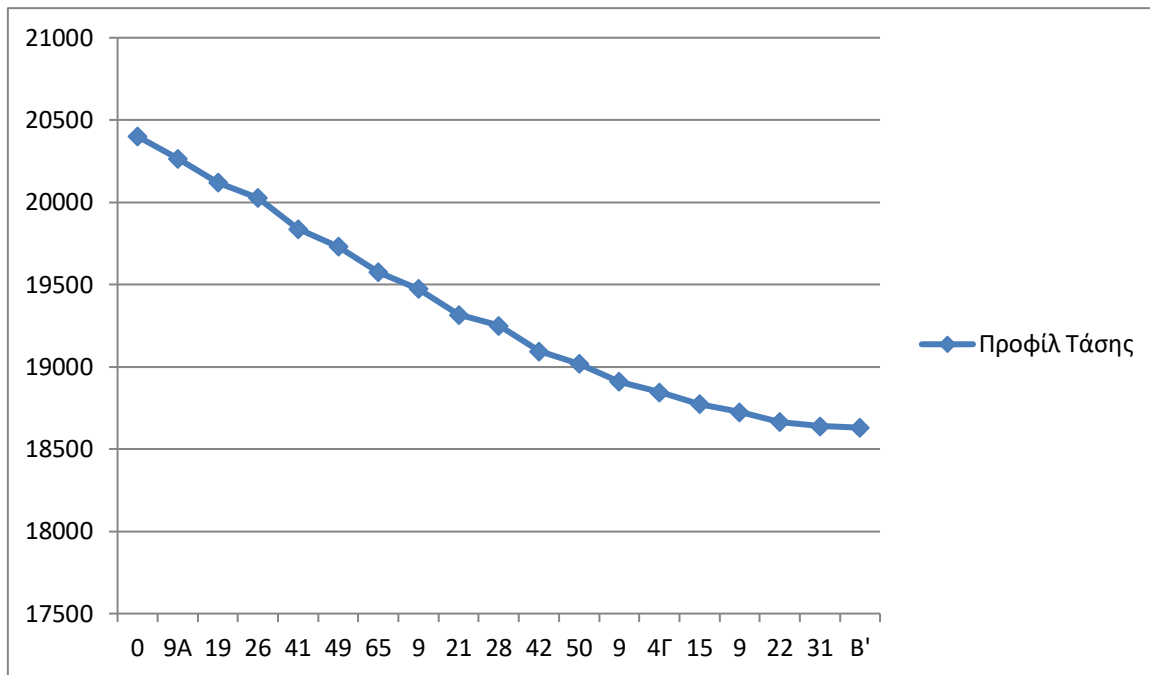
Για την περίπτωση μέγιστης ζήτησης θα χρησιμοποιήσουμε ένα συντελεστή φόρτισης της γραμμής 80% τις εγκατεστημένης ισχύς της (στατιστικά εκεί κυμαίνονται οι μέγιστες φόρτισης μίας γραμμής διανομής) με συντελεστή ισχύος 0,9 και μηδενική διεσπαρμένη ΦΒ παραγωγή καθώς η μελέτη γίνεται αφότου έχει δύσει ο ήλιος. Το σημείο που αναμένουμε να επικρατήσει η μέγιστη πτώση τάσης θα είναι στο τέλος της διακλάδωσης 4 στο στύλο Β' καθώς εκτός του ότι είναι το πιο απομακρυσμένο σημείο από τον υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ η διακλάδωση 4 εμπεριέχει σημαντικό αριθμό φορτίων και έχει τη μεγαλύτερη αντίσταση λόγω του ότι αποτελείται από αγωγό 3X16 ACSR.



Εικόνα 5.6 Απλοποιημένο Μονογραμμικό Διάγραμμα

Εφόσον γνωρίζουμε το ποσό της φαινόμενης ισχύος που διαρρέει κάθε τμήμα αγωγού και το συντελεστή ισχύος, καθώς και την ωμική και επαγωγική του αντίδραση, χρησιμοποιώντας την σχέση για την πτώση τάσης του κεφάλαιου 3 μπορούμε να υπολογίσουμε την πτώση τάσης σε κάθε τμήμα του διαγράμματος και έπειτα αθροίζοντας όλες αυτές τις μεταβολές να έχουμε τη συνολική μέγιστη πτώση τάσης.

Εφαρμόζοντας τον τύπο σε κάθε τμήμα του δικτύου και αθροίζοντας όλες τις μεταβολές τάσης η μέγιστη πτώση τάσης ανέρχεται σε 8.84%. Καθώς το όριο διακύμανσης τάσης στη MT είναι $\pm 8\%$ βλέπουμε ότι η μέγιστη πτώση τάσης είναι φαινομενικά εκτός ορίων. Στην πραγματικότητα όμως η μετασχηματιστές των ΥΣ YT/MT έχουν μεταβλητές λήψεις στο δευτερεύον τους ελέγχοντας δυναμικά έτσι την τάση εξόδου τους ανάλογα με τις συνθήκες φόρτισης της γραμμής. Η τάση εξόδου τους είναι συνήθως μεγαλύτερη από τη ονομαστική τάση των 20KV για την αντιστάθμιση της αναμενόμενης πτώση τάσης στη γραμμή. Η τάση εξόδου του Y/Σ στην αναχώρηση της γραμμής είναι συνήθως στα 20,4 KV. Με βάση τα νέα δεδομένα βλέπουμε ότι η μέγιστη πτώση τάσης είναι 6,84% τις ονομαστικής συνεπώς είναι εντός ορίων.



Εικόνα 5.7 Προφίλ Πτώσης Τάσης

5.4.7 Αποτελέσματα Εφικτότητας Σύνδεσης ΦΒ Σταθμού

Μελετώντας τη γραμμή για την εφικτότητα σύνδεσης του ΦΒ σταθμού είδαμε ότι από άποψη επάρκειας δικτύου το τμήμα του δικτύου στο σημείο σύνδεσης του ΦΒ σταθμού με αγωγό 3X16 ACSR δεν είναι αποδεκτό για να τον δεχτεί οπότε η αντικατάσταση του με 3X35 κρίθηκε αναγκαία. Αλλάζοντας το τμήμα του δικτύου και θεωρώντας εγκατεστημένο τον ΦΒ σταθμό τροποποιήσαμε τη ρύθμιση του διακόπτη απομόνωσης για να λειτουργεί σωστά στις νέες συνθήκες τις γραμμής. Έπειτα μελετήσαμε τις μέγιστη διακύμανση τάση στη γραμμή και είδαμε ότι είναι εντός ορίων. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι με την αναβάθμιση του τμήματος του δικτύου από το στυλό 28 έως το στυλό 42 με 3X35 ACSR η εγκατάσταση του ΦΒ σταθμού κρίνεται εφικτή καθώς δεν επηρεάζει την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος διανομής. Τέλος, ο ΦΒ σταθμός θα συνδεθεί στο δίκτυο διανομής στο στυλό 42 με διασυνδετική γραμμή μήκους 100 μέτρων και θα αποτελείται από αγωγό 3X95 ACSR.

5.5 Μελέτη Βραχυκυκλώσεως για Καθορισμό Μέσου Προστασίας

Αφότου αποφανθήκαμε ότι η σύνδεση του ΦΒ σταθμού κρίνεται εφικτή θα πρέπει να αποφασίσουμε και για τα μέσα προστασίας της γραμμής στο σημείο σύνδεσης. Εφόσον η ισχύς του σταθμού είναι παραπάνω από 800KVA η ασφάλιση του θα γίνει με διακόπτη απομόνωσης. Για την επιλογή ρύθμισης του Δ/Α θα πρέπει να υπολογίσουμε το ελάχιστο πιθανό βραχυκύκλωμα στο σημείο σύνδεσης του σταθμού. Κάνοντας μελέτη βραχυκύκλωσης βρίσκουμε ότι η τιμή αυτή του ρεύματος είναι 564,12 A.

Συνεπώς το μέσο προστασίας που θα συνδεθεί στη διακλάδωση σύνδεσης του σταθμού πρέπει να ξεπερνάει το μέγιστο ρεύμα φόρτισης και να είναι λιγότερο από το ελάχιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης . Έτσι καθώς το μέγιστο ρεύμα φόρτισης του σταθμού είναι 115,5A επιλέγουμε την αμέσως μεγαλύτερη τυποποιημένη τιμή ρύθμισης που είναι τα 160A. Για να έχουμε επιλογική προστασία ο διακόπτης θα ρυθμιστεί να επενεργεί στις 2 επαναφορές καθώς πιο πριν υπάρχει ο Δ/Α της διακλάδωσης 2 που είναι ρυθμισμένος στις 3 επαναφορές. Έτσι σε περίπτωση σφάλματος στο σημείο σύνδεσης του σταθμού ο Δ/Α του θα επενεργεί πιο πρώτα από το Δ/Α τις διακλάδωσης 2.

Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύσαμε μια νέα τάση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυτή της διεσπαρμένης παραγωγής . Η διεσπαρμένη παραγωγή μπορεί να φέρει πολυάριθμα οφέλη στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας αλλά με την παρούσα παθητική φύση των δικτύων διανομής εμφανίζονται συνάμα και τεχνικά ζητήματα που εμποδίζουν την περαιτέρω διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η μετάβαση από ένα παθητικό σε ένα έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο κρίνεται μονόδρομος. Η εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών ελέγχου και αποθήκευση της ενέργειας στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας θα βοηθήσουν στην εξάλειψη των τεχνικών ζητημάτων τις διεσπαρμένης παραγωγής και στην ανάδειξη των πλεονεκτημάτων της.

Στη συνέχεια είδαμε και σε πραγματικό επίπεδο τα ζητήματα και τις προκλήσεις της διεσπαρμένης παραγωγής στα δίκτυα διανομής πραγματοποιώντας μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού σε γραμμή διανομής με υψηλή διείσδυση διεσπαρμένης ισχύος. Πραγματοποιώντας την μελέτη είδαμε ότι ένα δίκτυο διανομής που είχε κατασκευαστεί για μονόδρομη ροή ισχύος με την ενσωμάτωση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής έχει μετατραπεί σε ένα ενεργό δίκτυο με αμφίδρομη ροή ισχύος και υπό τις κατάλληλες συνθήκες εξάγει ενέργεια στο σύστημα της μεταφοράς αλλάζοντας τη φύση του υποσταθμού ΥΤ/ΜΤ από καταναλωτή σε σταθμό παραγωγής ενέργειας. Αυτή η αμφίδρομη ροή ισχύος είδαμε ότι δημιουργεί προκλήσεις στη σωστή λειτουργία των μέσων προστασίας του δικτύου και επίσης στο συμβατικό πτωτικό προφίλ τις τάσης. Το συμβατικό προφίλ τις τάσης δεν υφίσταται πλέον καθώς υπάρχουν περιπτώσεις σε διάφορες συνθήκες η τάση σε διάφορα σημεία μέσα στη γραμμή να είναι μεγαλύτερη από αυτής της αναχώρησης. Και σε αυτή την περίπτωση εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών ελέγχου της τάσης και της ενέργειας όπως για παράδειγμα αυτή της ελέγχου άεργου ισχύος και της αποθήκευσης ενέργειας θα απάλειφε πολλά από αυτά τα ζητήματα.

Παράρτημα/ Υπολογισμοί

Υπολογισμοί για Σενάριο Μέγιστης Φόρτισης της Διακλάδωσης 2

Εφόσον η προσθήκη του σταθμού ελαττώνει εικονικά την κατανάλωση ισχύος από τα φορτία, για την εύρεση της μέγιστης φόρτισης της διακλάδωσης θεωρούμε το ακραίο σενάριο της μέγιστης παραγωγής και της ελάχιστης κατανάλωσης. Σαν ελάχιστη κατανάλωση θα θεωρήσουμε ένα συντελεστή φόρτισης της γραμμής στο 40%, οπότε η κατανάλωση της διακλάδωσης θεωρώντας συντελεστή ισχύος 0,9 ανέρχεται σε:

$$S_{line} = 5525 \text{ KVA}$$

$$S_{line \min} = 5525 * 0.4 = 2210 \text{ KVA}$$

$$P_{line \min} = 2210 * 0.9 = 1989 \text{ KW}$$

$$Q_{line \min} = 2210 * 0.44 = 972.4 \text{ KVar}$$

Σαν μέγιστη παραγωγή θα θεωρήσουμε το 100% της εγκατεστημένης ισχύς της διακλαδώσεως που ανέρχεται σε 5120 KW. Άρα η μέγιστη φόρτιση της γραμμής είναι:

$$P_{gen \max} = 5120 \text{ KW}$$

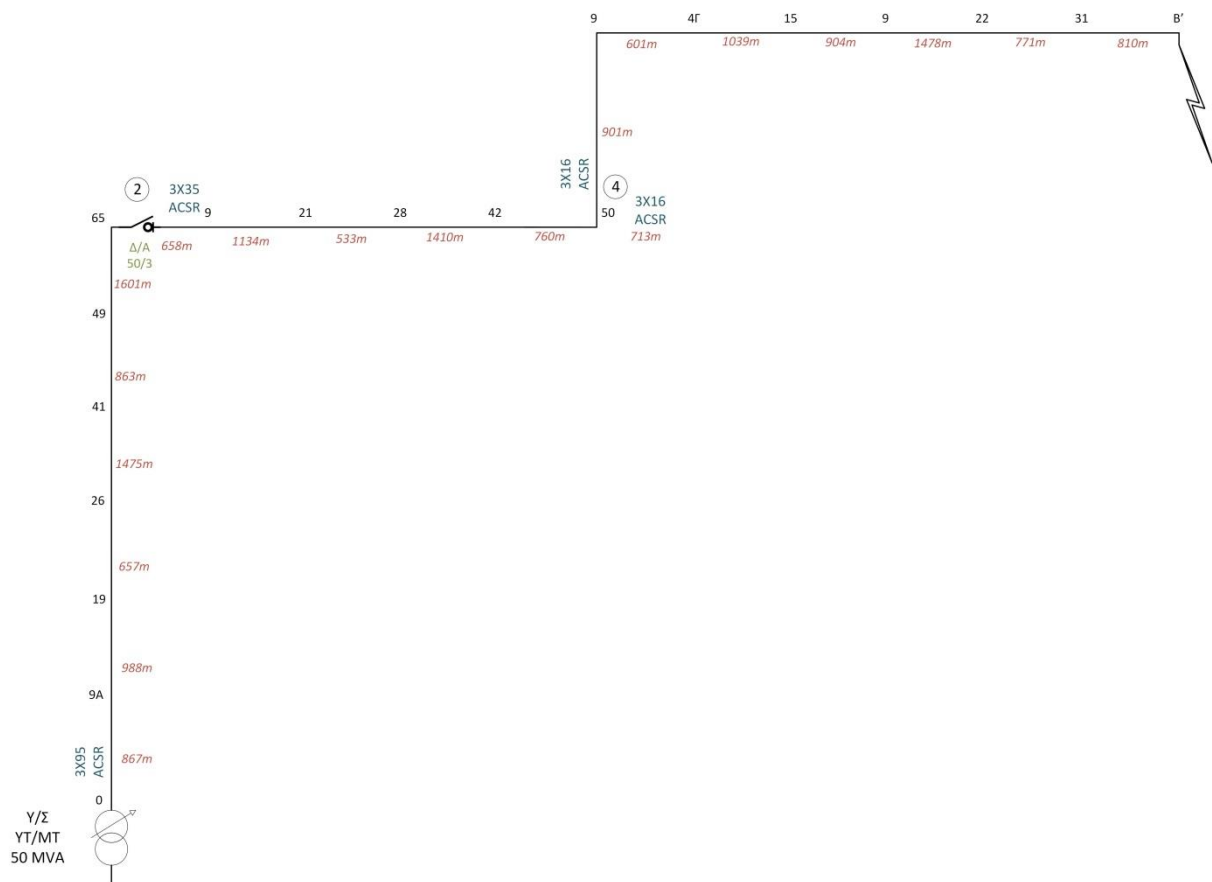
$$S_{line \max} = \sqrt{(P_{gen \max} - P_{line \min})^2 + Q_{line \min}^2} = 3278.5 \text{ KVA}$$

$$I_{line \max} = \frac{S_{line \max}}{\sqrt{3} * U_P} = 94.6 \text{ A}$$

Υπολογισμοί Μελέτης Βραχυκύκλωσης της Γραμμής για Ρύθμιση Δ/Α

Στους παρακάτω υπολογισμούς θέλουμε να υπολογίσουμε το ελάχιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης που μπορεί να διαρρέει τον Δ/Α τις διακλάδωσης 2. Το ελάχιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης σε μία ακτινική γραμμή διανομής εμφανίζεται στο πιο απομακρυσμένο σημείο από τον υποσταθμό από άποψη ηλεκτρικής αντίστασης που συνήθως είναι και το πιο απομακρυσμένο χιλιομετρικά. Επίσης το είδος σφάλματος που μας δίνει το ελάχιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι το μονοφασικό σφάλμα ως προς γη.

Στην γραμμή διανομής που μελετάμε, το ελάχιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης της διακλάδωσης θα εμφανιστεί στο τέλος τις διακλάδωσης 4 στο στύλο Β' μιας και αυτή η διαδρομή μέχρι τον υποσταθμό εμφανίζει την μεγαλύτερη αντίσταση. Για την μελέτη αυτή θεωρούμε ότι τα φωτοβολταϊκά δεν συμβάλουν στο ρεύμα βραχυκύκλωσης καθώς ελέγχονται από ηλεκτρονικά ισχύος τα οποία αποσυνδέουν το σταθμό σε περίπτωση σφάλματος. Επίσης αγνοούμε και το ρεύμα που καταναλώνουν τα φορτία μιας και αυτό μικραίνει πάρα πολύ σε περίπτωση βραχυκυκλώματος τις γραμμής.



Εικόνα: Διαδρομή Ρεύματος Βραχυκύκλωσης

Πίνακας 1.1 Στοιχεία Για τη Μελέτη Βραχυκύκλωσης

Ισχύς Βραχυκύκλωσης Συστήματος ΥΤ (S_{kQ})	250 MVA
Σταθερά R_Q / X_Q	0.1
Ονομαστική Ισχύς Μετασχηματιστή ($S_{M\Sigma}$)	50 MVA
Τάση Βραχυκύκλωσης Μετασχηματιστή (U_k)	15%
Απώλειες Χαλκού Μετασχηματιστή (P_{Cu})	320 KW
Αντίσταση Γείωσης Μετασχηματιστή (Z_{gr})	12Ω
Ονομαστική Τάση Λειτουργίας ΜΤ (U_n)	20KV
Σταθερά Z_0/Z_1 Γραμμής για την Ελλάδα	3,3
Σύνθετη Αντίσταση ανά Km Αγωγού 3X95 ACSR	0.215 + j0.334 Ω
Σύνθετη Αντίσταση ανά Km Αγωγού 3X35 ACSR	0.576 + j0.397 Ω
Σύνθετη Αντίσταση ανά Km Αγωγού 3X16 ACSR	1,268 + j0.422 Ω

$$Z_Q = 1.1 * \frac{U_n^2}{S_{M\Sigma}} = 1.76 \Omega$$

$$X_Q = 0,995 * Z_Q = j1,75 \Omega$$

$$R_Q = 0.1 * X_Q = 0.175 \Omega$$

$$Z_{M\Sigma} = U_k * \frac{U_n}{S_n} = 1.2 \Omega$$

$$R_{M\Sigma} = P_{Cu} * \frac{U_n^2}{S_{M\Sigma}} = 0.051 \Omega$$

$$X_{M\Sigma} = \sqrt{Z_{M\Sigma}^2 - R_{M\Sigma}^2} = j1.19 \Omega$$

$$Z_{line\ 0-65} = (0.215 + j0.334) * 6,441 = 1.39 + j2.15 \Omega$$

$$Z_{line\ 65-50} = (0.576 + j0.397) * 4.501 = 2.59 + j1.78 \Omega$$

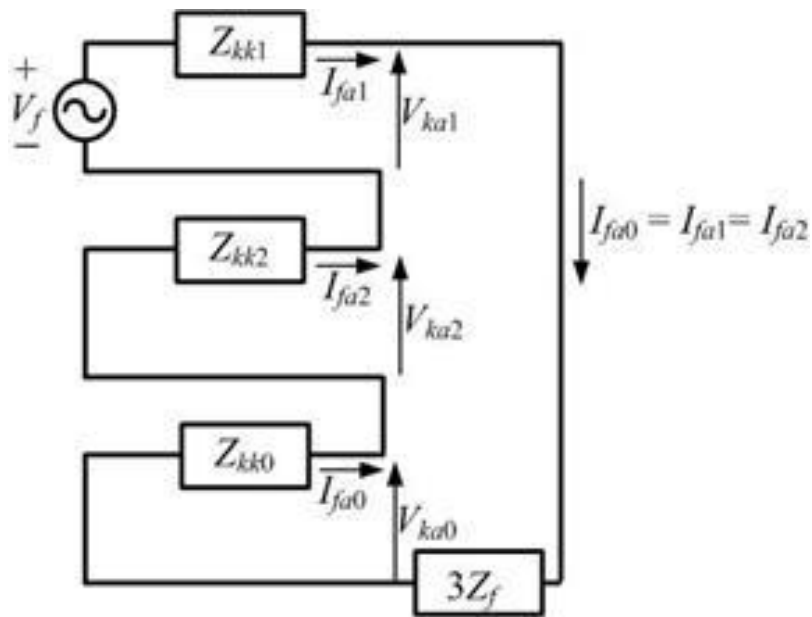
$$Z_{line\ 50-B'} = (1.268 + j0.422) * 6.504 = 8.25 + j2.74 \Omega$$

$$Z_{1 \text{ line } 0-B'} = Z_{\text{line } 0-65} + Z_{\text{line } 65-50} + Z_{\text{line } 50-B'} = 12.23 + j6.67 \Omega$$

$$Z_{0 \text{ line } 0-B'} = Z_{1 \text{ line } 0-B'} * 3.3 = 36.69 + j20 \Omega$$

$$Z_0 = Z_{M\Sigma} + Z_{0 \text{ line } 0-B'} + 3 * Z_{gr} = 76.41 + j23.2 \Omega$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_Q + Z_{M\Sigma} + Z_{1 \text{ line } 0-B'} = 12.46 + j9.61 \Omega$$



Εικόνα : Κύκλωμα Συμμετρικών Συνιστωσών για Μονοφασικό Βραχυκύκλωμα

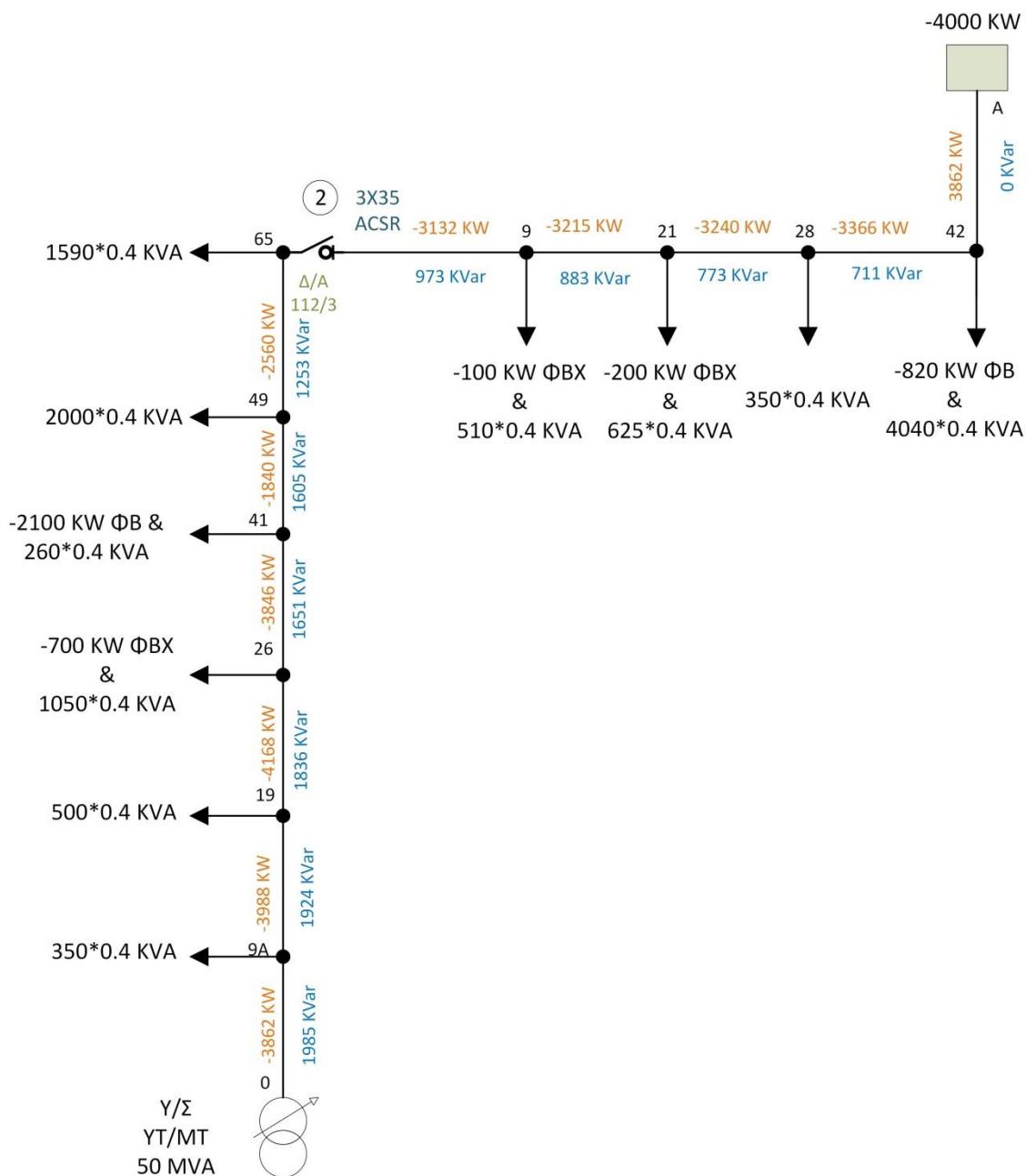
$$I_{k1PB'} = \frac{3 * U_n / \sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = 315.3 \text{ A}$$

Υπολογισμοί Μελέτης Μέγιστης Ανύψωσης Τάσης

Για τους υπολογισμούς της μελέτης ανύψωσης τάσης θα χρησιμοποιήσουμε την σχέση της πτώσης τάσης του κεφάλαιου 3:

$$\Delta V\% = \frac{PR + QX}{V_s^2} * 100\%$$

Εφόσον γνωρίζουμε την ενεργό και την άεργο ισχύ σε κάθε τμήμα του απλοποιημένου μονογραμμικού διαγράμματος μπορούμε να εφαρμόσουμε τη σχέση τμηματικά υπολογίζοντας την ανύψωση τάσης σε κάθε κόμβο και έπειτα να αθροίσουμε τις επιμέρους ανυψώσεις τάσης για τον υπολογισμό της συνολικής μέγιστης.



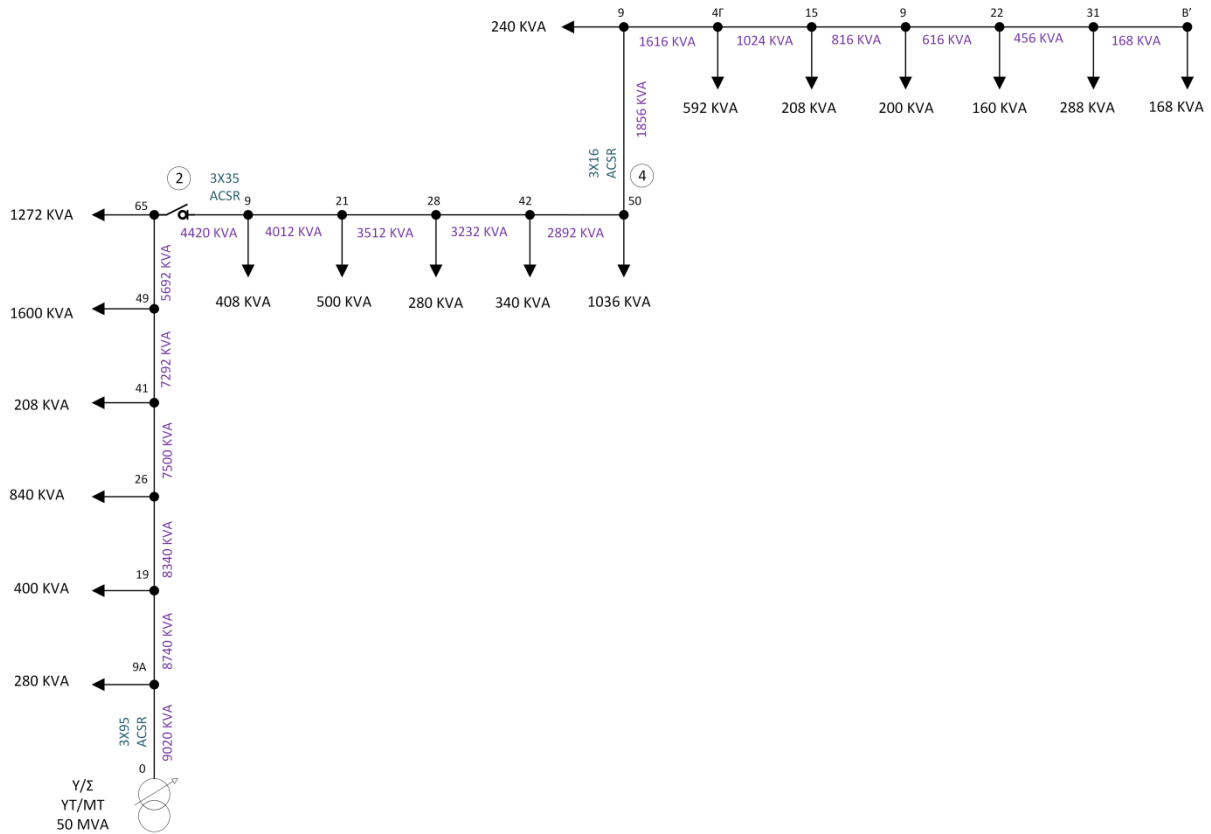
Πίνακας 1.2 Ανυψώσεις Τάσης στα Επιμέρους Τμήματα

$\Delta V\%_{0-9A}$	-0.04%
$\Delta V\%_{9A-19}$	-0.05%
$\Delta V\%_{19-26}$	-0.05%
$\Delta V\%_{26-41}$	-0.1%
$\Delta V\%_{41-49}$	0.03%
$\Delta V\%_{49-65}$	-0.05%
$\Delta V\%_{65-9}$	-0.23%
$\Delta V\%_{9-21}$	-0.43%
$\Delta V\%_{21-28}$	-0.21%
$\Delta V\%_{28-42}$	-0.58%
$\Delta V\%_{42-A}$	-0.02%
$\Delta V\%_{max}$	-1.73%

Από τους υπολογισμούς βλέπουμε ότι η διαφορά της τάσης από την ονομαστική στο σημείο που εξετάζουμε είναι -1,73% θεωρώντας ότι η τάση αναχώρησης της γραμμής είναι 20KV. Από τα παραπάνω βλέπουμε ότι η διαφορά της τάσης σε Volt από την αναχώρηση της γραμμής είναι +346V.

Υπολογισμοί Μελέτης Μέγιστης Πτώσης Τάσης

Όπως και για την μέγιστη ανύψωση τάσης η τακτική για τον υπολογισμό της μέγιστης πτώση είναι η ίδια.



Εικόνα: Απλοποιημένο Διάγραμμα για Μελέτη Μέγιστης Πτώσης Τάσης

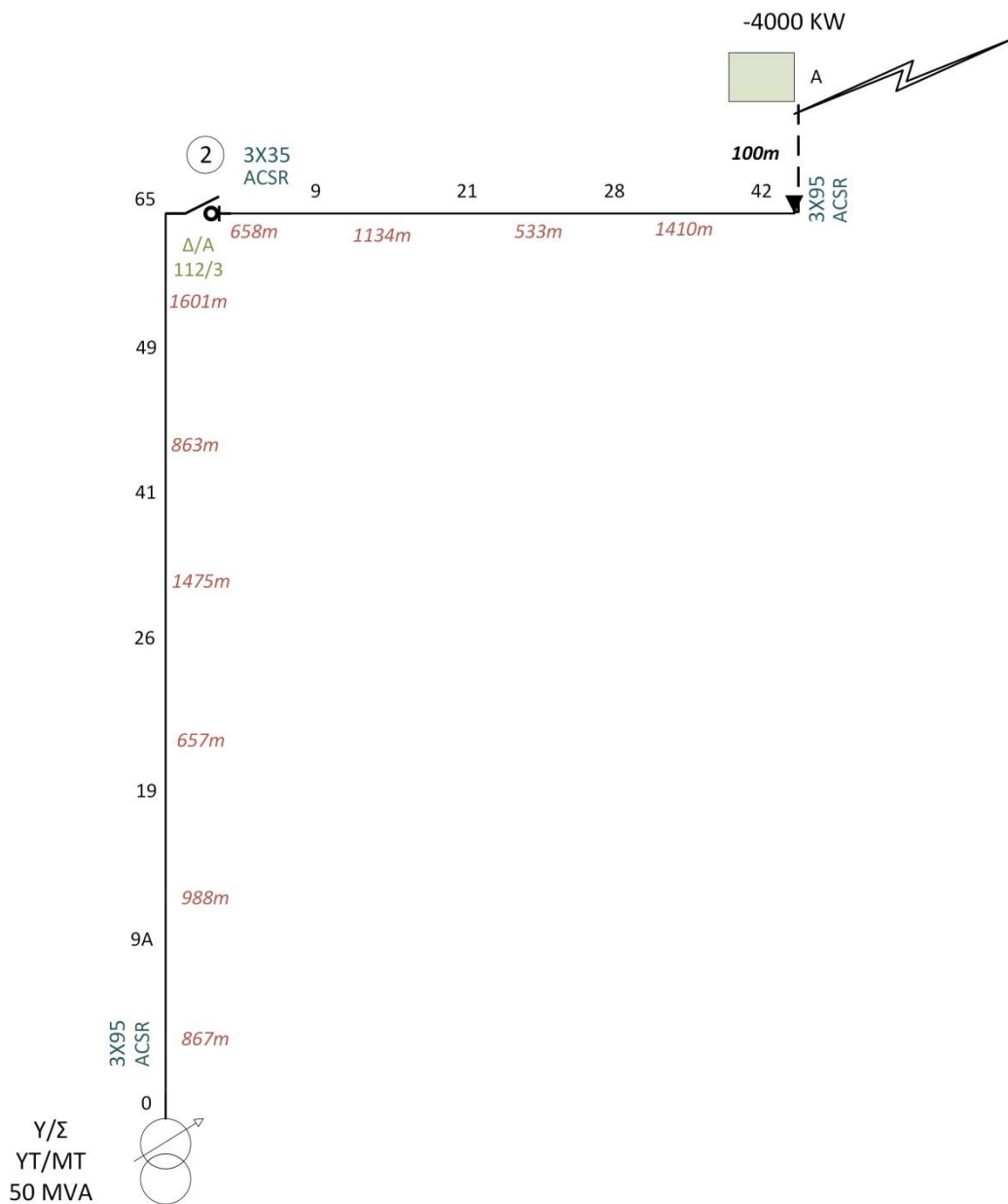
Πίνακας 1.3 Πτώσεις Τάσης στα Επιμέρους Τμήματα

$\Delta V\%_{0-9A}$	0,83%
$\Delta V\%_{9A-19}$	0,92%
$\Delta V\%_{19-26}$	0,58%
$\Delta V\%_{26-41}$	1,18%
$\Delta V\%_{41-49}$	0,67%
$\Delta V\%_{49-65}$	0,97%
$\Delta V\%_{65-9}$	0,63%
$\Delta V\%_{9-21}$	0,99%
$\Delta V\%_{21-28}$	0,41%
$\Delta V\%_{28-42}$	0,98%
$\Delta V\%_{42-50}$	0,47%
$\Delta V\%_{50-9}$	0,69%
$\Delta V\%_{9-4\Gamma}$	0,4%
$\Delta V\%_{4\Gamma-15}$	0,44%
$\Delta V\%_{15-9}$	0,31%
$\Delta V\%_{9-22}$	0,38%
$\Delta V\%_{22-31}$	0,15%
$\Delta V\%_{31-B'}$	0,06%
$\Delta V\%_{max}$	8.84%

Από τους υπολογισμούς βλέπουμε ότι η διαφορά της τάσης από την ονομαστική στο σημείο που εξετάζουμε είναι 8,84% θεωρώντας ότι η τάση αναχώρησης της γραμμής είναι 20KV. Από τα παραπάνω βλέπουμε ότι η διαφορά της τάσης σε Volt από την αναχώρηση της γραμμής είναι -1768V.

Υπολογισμοί Μελέτης Βραχυκυκλώσεως στο Σημείο Σύνδεσης του Σταθμού

Στους παρακάτω υπολογισμούς θέλουμε να υπολογίσουμε το ελάχιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης για τη ρύθμιση του Δ/Α της διακλάδωσης που συνδέει το ΦΒ σταθμό με το δίκτυο. Όπως και στην προηγούμενη μελέτη βραχυκύκλωσης θεωρούμε ότι τα φωτοβολταϊκά δεν συμβάλουν στο ρεύμα βραχυκύκλωσης μιας και ελέγχονται από ηλεκτρονικά ισχύος τα οποία αποσυνδέουν το σταθμό σε περίπτωση σφάλματος και επίσης αγνοούμε το ρεύμα που καταναλώνουν τα φορτία μιας και αυτό μικραίνει πάρα πολύ σε περίπτωση βραχυκυκλώματος τις γραμμές.



Εικόνα: Διαδρομή Ρεύματος Βραχυκύκλωσης

Τα περισσότερα στοιχεία που θα χρειαστούμε σε αυτή τη μελέτη τα έχουμε υπολογίσει στην προηγούμενη μελέτη βραχυκυκλώσεως. Τα στοιχεία που μας λείπουν είναι:

$$Z_{line\ 65-50} = (0.576+j0.397) * 3.741 = 2.15+j1.49\ \Omega$$

$$Z_{line\ 42-A} = (0.215+j0.334) * 4.501 = 0.97+j1.50\ \Omega$$

$$Z_{1\ line\ 0-A} = Z_{line\ 0-65} + Z_{line\ 65-42} + Z_{line\ 42-A} = 3.56+j3.67\ \Omega$$

$$Z_{0\ line\ 0-A} = Z_{1\ line\ 0-A} * 3.3 = 11.75+j12.12\ \Omega$$

$$Z_0 = Z_{M\Sigma} + Z_{0\ line\ 0-A} + 3 * Z_{gr} = 47.80+j13.31\ \Omega$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_Q + Z_{M\Sigma} + Z_{1\ line\ 0-A} = 3.79+j6.61\ \Omega$$

$$I_{k1PB'} = \frac{3 * U_n / \sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = 564.1\ A$$

Πίνακας 1.4 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Εναέριων Δικτύων ΜΤ

Αγωγοί	Όνομαστ. Διατομή	Πραγματική Διατομή	Μέγιστη Επιτρεπόμενη Φόρτιση			R(50°C)	X
			A	MVA στα 20 KV	MVA στα 15 KV		
	<i>mm²</i>	<i>mm²</i>				Ω/Km	Ω/Km
3X16ACSR	16	25	136	4.71	3.53	1.268	0.422
3X35ACSR	35	56	224	7.76	5.82	0.576	0.397
3X95ACSR	95	150	448	15.52	11.64	0.215	0.334
3X16 CU	16	16	115	3.98	2.99	1.274	0.417
3X35 CU	35	35	185	6.41	4.81	0.596	0.393
3X95 CU	95	95	352	12.19	9.15	0.220	0.358
3X50 AL +50 ST	50	50	123	4.26	3.20	0.823	0.150
3X150 AL +50 ST	150	150	241	8.35	6.26	0.266	0.125

Βιβλιογραφία

- [1] Κ. Βουρνά, Γ. Κονταξή, “Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2010.
- [2] Μαρινάκης Παναγιώτης, “Έλεγχόμενη Λειτουργία Γραμμής Διανομής με Μετασηματιστή Ηλεκτρονικών Ισχύος”, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2014
- [3] Αθανάσιος Μπότσης “Προσδιορισμός Κρίσιμων Γραμμών και Ζυγών σε δίκτυο Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας” Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2016
- [4] Μαυρογένου Κυριακή, “Εφαρμογή Πιθανοτικών Εργαλείων στην Εποπτεία και Πρόβλεψη Γραμμής ΜΤ με Μεγάλη Διείσδυση Διεσπαρμένης Παραγωγής”, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2015
- [5] Θεόδωρος Σουξές, “Άεργος Υποστήριξη Συστήματος Μεταφοράς από Διεσπαρμένες Πηγές”, Διπλωματική Εργασία , ΕΜΠ, Αθήνα, 2015
- [6] Βασίλειος Α. Τζώρας, “Βέλτιστη Τοποθέτηση Σταθμών Ταχείας Φόρτισης Με Χρήση Pclonalg Και Βέλτιστης Ροής Φορτίου”, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2014
- [7] Καραγεώργος Ζαχαρίας, “Έλεγχος τάσης σε μικροπαραγωγές (χαρακτηριστική στατισμού Q-V ελεγκτή) με δυνατότητα τροφοδοσίας από ευρύ φάσμα ΣΡ πηγών τάσης” , Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2016
- [8] Ζαχαροπούλου Δήμητρα, “Μέθοδοι περιορισμού των ανυψώσεων τάσης σε δίκτυα διανομής με διεσπαρμένη παραγωγή”, Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2012
- [9] Μαρία Α. Κουλουρά, “Οικονομικά Οφέλη Και Πλεονεκτήματα Των Μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής Σε Δίκτυα Χαμηλής Τάσης”, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2012
- [10] Αλέξανδρος Χ. Γέσιος, “Υβριδικός Αλγόριθμος Ρύθμισης Τάσης σε Ακτινικά Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας με Αυξημένη Διείσδυση Διανεμημένης Παραγωγής” , Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2017
- [11] Σπυρίδων Χ. Αποστολόπουλος, “Αποκεντρωμένη Ρύθμιση Τάσης σε Δίκτυα Διανομής” Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2016
- [12] Γεωργία Θ. Πιερή, “Η Επίδραση των Διαφορετικών Πολιτικών Λειτουργίας στα Μεγέθη ενός Μικροδικτύου με Αυξημένη Διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας”, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2012
- [13] Κοτοπούλη Ευαγγελία, “Προηγμένες Μέθοδοι Ανάλυσης Βασικών Παραμετρικών Δεδομένων Μεγάλων Αιολικών Πάρκων στην Διεσπαρμένη παραγωγή”, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2017
- [14] Γκιάτης Γ. Ανδρέας, “Ρύθμιση τάσης με ΣΑΤΥΦ σε δίκτυα με διεσπαρμένη παραγωγή”, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2015

- [15] Δημήτριος Ο. Σιάγκας, “Βέλτιστη Επαναδιαμόρφωση Τοπολογίας Ενεργών Ακτινικών Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας με Διεσπαρμένη Παραγωγή”, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2016
- [16] Αντώνιος Καρακούσης, “Μετάβαση στο Ευφύες Ηλεκτρικό Δίκτυο και Ανάπτυξη του Ευφύους Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Διπλωματική Εργασία ΕΜΠ, Αθήνα, 2015
- [17] Ηλίας Π. Σαραντάκος, “Η Επιρροή του Φορτίου Εικονικών Σταθμών Παραγωγής στην Πρωτεύουσα Ρύθμιση Φορτίου – Συχνότητας”, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2014
- [18] Αναγνώστου Γεώργιος, “Οικονομικά Οφέλη Από Την Αυξημένη Διείσδυση Μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής στο Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Διπλωματική Εργασία , ΕΜΠ, Αθήνα, 2011
- [19] Ελένη Α. Δαρίδου, “Μελέτη Τοπικών Ελέγχων Ρύθμισης Τάσης σε Δίκτυα Διανομής με Υψηλή Διείσδυση Διεσπαρμένης Παραγωγής”, Διπλωματική Εργασία , ΕΜΠ, Αθήνα, 2017
- [20] Μάριος Μ. Μανιατόπουλος ,”Τοπικός και Συντονισμένος Έλεγχος Τάσης σε Δίκτυα με Διεσπαρμένη Παραγωγή σε Πραγματικό Χρόνο”, Διπλωματική Εργασία , ΕΜΠ, Αθήνα, 2014
- [21] Άγγελος Γ. Τσιανής, “Τεχνικές Ελέγχου Συνθετικής Αδράνειας για Διασυνδεδεμένους Μετατροπείς Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Διπλωματική Εργασία , ΕΜΠ, Αθήνα, 2014
- [22] Νικόλαος Σχοινάς, Σημειώσεις Μαθήματος “Μεταφορά και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας”, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, 2014
- [23] N. A. Schinas, N. A. Vovos, Senior Member, IEEE, and G. B. Giannakopoulos, Senior Member, IEEE, “An Autonomous System Supplied Only by a Pitch-Controlled Variable-Speed Wind Turbine”, IEEE Transactions On Energy Conversion, VOL. 22, NO. 2, June 2007
- [24] N. A. Schinas, N.A.Vovos, Senior Member, IEEE, and G.B.Giannakopoulos, Senior Member, IEEE, “Control of Variable Speed Wind Turbine for Integration to Weak AC Grid”, IEEE ISAP Conference 2003, Lemnos, Greece
- [25] N. Schinas and N. A. Vovos, “Digital Control of a Wind Turbine Supplying an Isolated Load in Cooperation with a Hydro Power Unit”, Wind Engineering Journal, Vol. 32, No. 6, pp. 587-601, 2008.
- [26] N. Schinas, N. A. Vovos and G. B. Giannakopoulos, “Embedded Wind Turbine Generation into AC Weak Distribution Grids”, Wind Engineering Journal, Special issue, Vol. 26, No. 6, pp. 397-409, 2002.
- [27] Miroslav M. Begovic, “Electrical Transmission Systems and Smart Grids”, Springer-Verlag, New York, 2012
- [28] www.deddie.gr
- [29] www.admie.gr
- [30] www.rae.gr
- [31] www.wikipedia.org