



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

## **Εφαρμογή Τεχνολογίας W-BPL σε γραμμή ΜΤ με Φωτοβολταϊκή Παραγωγή**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Μ. ΧΑΤΖΗΣ

**Επιβλέπων:** Παναγιώτης Γ. Κωπτής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2012





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

## Εφαρμογή Τεχνολογίας W-BPL σε γραμμή ΜΤ με Φωτοβολταϊκή Παραγωγή

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Μ. ΧΑΤΖΗΣ

**Επιβλέπων:** Παναγιώτης Γ. Κωπτής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 13<sup>η</sup> Φεβρουαρίου  
2012

.....

.....

.....

Π. Κωπτής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Χ. Καψάλης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Γ. Φικιώρης  
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2012

.....  
ΓΕΩΡΓΙΟΣ Μ. ΧΑΤΖΗΣ

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

Copyright © ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΧΑΤΖΗΣ, 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Παναγιώτη Κωττή για τη συνέπεια και τη συνεργασία του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της ώστε το προϊόν της εργασίας να εμφανισθεί άρτιο από επιστημονικής και εκφραστικής πλευράς. Με το παράδειγμά του και τις προσωπικές του αξίες μου εμφύσησε τη διάθεση για ερευνητική εργασία μεταδίδοντάς μου παράλληλα την επαγγελματική δεοντολογία που πρέπει να χαρακτηρίζει κάθε επιστήμονα.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω θερμότερες ευχαριστίες στον Υποψήφιο Διδάκτορα Πέτρο Παπαϊωάννου για την καθοδήγησή του και τις πολύτιμες παρατηρήσεις του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Οι γνώσεις και το ενδιαφέρον του συνεισέφεραν καθοριστικά στην περάτωση της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου και την ευγνωμοσύνη μου προς την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την αγάπη τους, την αμέριστη συμπαράστασή τους και τη στήριξη κατά τη διάρκεια όλων αυτών των χρόνων, καθώς και για την ενθάρρυνση για τα μελλοντικά μου βήματα.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....</b>	<b>11</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>13</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> ΔΙΑΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>15</b>
1.1 Ορισμός.....	15
1.2 Μετάβαση στη διασπαρμένη παραγωγή .....	16
1.3 Τεχνολογίες διασπαρμένης παραγωγής .....	18
1.4 Επίδραση της διασπαρμένης παραγωγής σε ένα ηλεκτρικό σύστημα .....	19
1.4.1 Τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα της διασπαρμένης παραγωγής .	19
1.4.2 Τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά μειονεκτήματα της διασπαρμένης παραγωγής..	20
1.5 Ζητήματα σύνδεσης διασπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας .....	21
1.5.1 Ορισμοί και βασικές έννοιες .....	21
1.5.2 Γενικές προϋποθέσεις για τη σύνδεση .....	23
1.5.3 Επιπτώσεις στην τάση του δικτύου .....	24
1.5.4 Αντιστάθμιση αέργου ισχύος .....	26
1.5.5 Επάρκεια των στοιχείων του δικτύου – Στάθμη βραχυκύκλωσης.....	26
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> ΤΟ ΕΥΦΥΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.....</b>	<b>29</b>
2.1 Ορισμός.....	29
2.2 Από το σήμερα στο αύριο .....	30
2.2.1 Τα παραδοσιακά δίκτυα .....	30
2.2.2 Τα δίκτυα του μέλλοντος .....	31
2.3 Υλοποίηση ευφυών δικτύων .....	32
2.4 Επικοινωνία ευφυών δικτύων.....	33
2.4.1 Διαθέσιμες τηλεπικοινωνιακές υποδομές για την επικοινωνία των ευφυών δικτύων .....	33
2.4.2 Ευρυζωνική πρόσβαση μέσω δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας .....	35
2.4.3 W – BPL τεχνολογία – κάνει το δίκτυο πραγματικά ευφυές .....	38
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΝΗΣΙΩΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ .....</b>	<b>41</b>
3.1 Γενική τοπολογία αυτόνομου νησιωτικού συστήματος .....	41
3.1.1 Μονάδες παραγωγής σε αυτόνομο νησιωτικό σύστημα .....	42
3.1.2 Γραμμές μεταφοράς σε αυτόνομο νησιωτικό σύστημα.....	42
3.1.3 Ζήτηση φορτίου .....	42
3.1.4 Αντιστάθμιση .....	43

<b>3.2</b>	<b>Δομή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος .....</b>	<b>44</b>
3.2.1	Το σύστημα .....	44
3.2.2	Είδη φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	45
3.2.3	Τρόποι σύνδεσης φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος ..	47
3.2.4	Συσσωρευτές .....	53
3.2.5	Συστήματα ρύθμισης ισχύος .....	54
3.2.6	Ο αντιστροφέας .....	54
<b>3.3</b>	<b>Ζητήματα σύνδεσης φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο ΜΤ.....</b>	<b>55</b>
3.3.1	Διατάξεις ζεύξεις και προστασίας .....	55
3.3.2	Λειτουργικές απαιτήσεις για τη συνεργασία φωτοβολταϊκού συστήματος με το δίκτυο ...	60
<b>3.4</b>	<b>Ο ρόλος του κέντρου ελέγχου ενέργειας σε αυτόνομο νησιωτικό σύστημα με συνδεδεμένη φ/β παραγωγή .....</b>	<b>62</b>
3.4.1	Αρμοδιότητες και υποχρεώσεις του κέντρου ελέγχου ενέργειας.....	62
3.4.2	Σύστημα διαχείρισης πληροφοριών και συναλλαγών .....	63
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ W-BPL ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΝΗΣΙΩΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ .....</b>		<b>65</b>
<b>4.1</b>	<b>Εισαγωγή – Βασικές έννοιες.....</b>	<b>65</b>
<b>4.2</b>	<b>Σύστημα τηλεμετρήσεων ή SCADA .....</b>	<b>65</b>
4.2.1	RTU (Remote Telemetry Unit).....	65
4.2.2	Προγραμματιζόμενοι ελεγκτές PLC .....	67
4.2.3	Πρωτόκολλο επικοινωνίας.....	68
4.2.4	Άλλα μέρη του συστήματος SCADA .....	69
4.2.5	Διάταξη συγκέντρωσης δεδομένων.....	70
<b>4.3</b>	<b>Μετρήσεις σε ΑΝΣ με φωτοβολταϊκή παραγωγή .....</b>	<b>70</b>
4.3.1	Μετρήσεις στα φορτία του ΑΝΣ .....	71
4.3.2	Μετρήσεις στα φωτοβολταϊκά συστήματα του ΑΝΣ.....	72
<b>4.4</b>	<b>Τρόποι μέτρησης και μετάδοσης πληροφορίας .....</b>	<b>73</b>
4.4.1	Τρόποι μέτρησης και μετάδοσης πληροφορίας στο εσωτερικό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.....	73
4.4.2	Τρόποι μέτρησης και μετάδοσης πληροφορίας στο σημείο κοινής σύνδεσης για φορτία και φωτοβολταϊκά συστήματα .....	73
4.4.3	Συγκέντρωση πληροφορίας στο κέντρο ελέγχου ενέργειας .....	74
<b>4.5</b>	<b>Χαρακτηριστικά τηλεπικοινωνιακού δικτύου .....</b>	<b>77</b>
4.5.1	Ποιότητα υπηρεσίας (QoS) για τους διασκορπισμένους χρήστες .....	78
4.5.2	Ποιότητα υπηρεσίας (QoS) για το ηλεκτρικό δίκτυο .....	78
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΤ ΑΝΣ ΜΕ PV ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΜΕ W-BPL ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ .....</b>		<b>81</b>
<b>5.1</b>	<b>Το πρόγραμμα προσομοίωσης MATLAB .....</b>	<b>81</b>



<b>5.2</b>	<b>Περιγραφή δικτύου – Τοπολογία γραμμής – Είσοδοι προσομοίωσης .....</b>	<b>81</b>
5.2.1	Ζυγός αυτόνομου σταθμού παραγωγής.....	81
5.2.2	Φορτία αυτόνομου νησιωτικού συστήματος .....	82
5.2.3	Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	83
<b>5.3</b>	<b>Μαθηματικές εξισώσεις περιγραφής του προβλήματος.....</b>	<b>85</b>
5.3.1	Φαινόμενη ισχύς και συντελεστής ισχύος στο ζυγό ΑΣΠ .....	85
5.3.2	Διακύμανση τάσης στους κόμβους της γραμμής ΜΤ .....	86
5.3.3	Ετήσια ενεργειακή παραγωγή – Συντελεστής χρησιμοποίησης.....	87
<b>5.4</b>	<b>Σενάριο 1<sup>ο</sup>: Γραμμή ΜΤ χωρίς φ/β παραγωγή .....</b>	<b>88</b>
<b>5.5</b>	<b>Σενάριο 2<sup>ο</sup>: Γραμμή ΜΤ με φ/β παραγωγή χωρίς έλεγχο.....</b>	<b>92</b>
5.5.1	Σύνδεση 2 φωτοβολταϊκών συστημάτων στη γραμμή ΜΤ.....	92
5.5.2	Σύνδεση 8 φωτοβολταϊκών συστημάτων στη γραμμή ΜΤ.....	97
<b>5.6</b>	<b>Σενάριο 3<sup>ο</sup>: Γραμμή ΜΤ με φ/β παραγωγή και έλεγχο.....</b>	<b>102</b>
5.6.1	Σύνδεση 2 φωτοβολταϊκών συστημάτων .....	103
5.6.2	Σύνδεση 8 φωτοβολταϊκών συστημάτων .....	108
<b>5.7</b>	<b>Τρόπος εφαρμογής ελέγχου – Δομή τηλεπικοινωνιακού δικτύου W – BPL.....</b>	<b>112</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ .....</b>		<b>115</b>
<b>6.1</b>	<b>Παρουσίαση αποτελεσμάτων .....</b>	<b>115</b>
<b>6.2</b>	<b>Σύγκριση αποτελεσμάτων.....</b>	<b>116</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>		<b>119</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....</b>		<b>121</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....</b>		<b>125</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....</b>		<b>131</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....</b>		<b>133</b>



## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η εφαρμογή ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου, βασισμένο στην τεχνολογία ασύρματης ευρυζωνικής μετάδοσης πληροφορίας μέσω των γραμμών ηλεκτρικής ισχύος (τεχνολογία W-BPL – Wireless Broadband over Power Lines), σε γραμμή μέσης τάσης (MT) με φωτοβολταϊκή παραγωγή ενός αυτόνομου νησιωτικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (HE).

Την τελευταία δεκαετία, οι τεχνολογικές καινοτομίες και οι αλλαγές στο οικονομικό και το ρυθμιστικό περιβάλλον έφεραν στο προσκήνιο τη διασπαρμένη παραγωγή (ΔΠ) HE. Οι μονάδες ΔΠ χρησιμοποιούν κυρίως τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), όπως είναι τα φωτοβολταϊκά και τα αιολικά πάρκα. Η ενσωμάτωση των μονάδων ΔΠ αλλάζει την αρχή λειτουργίας του παραδοσιακού δικτύου HE. Στις μέρες μας αναπτύσσονται τα δίκτυα HE του μέλλοντος, που ονομάζονται και ευφυή δίκτυα (smart grids). Κατά την ανάπτυξη των νέων δικτύων, παρατηρείται ότι η επικοινωνία σε κάθε επίπεδο είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η ανάγκη για μετάδοση πληροφορίας μεταξύ των χρηστών του δικτύου επιβεβαιώνει ότι η πληροφορία επηρεάζει τη σχεδίαση των δικτύων. Η εφαρμογή W-BPL τεχνολογίας στα δίκτυα HE είναι αναδυόμενη και αποτελεί μία επιχειρησιακή και επιχειρηματική δραστηριότητα που τώρα αρχίζει να αναπτύσσεται. Το ίδιο το δίκτυο HE αποκτά τη δυνατότητα αυτοδιαχείρισης και πραγματικού χρόνου παρακολούθησης.

Στην παρούσα διπλωματική μελετάται η δυνατότητα αύξησης της διείσδυσης μονάδων φωτοβολταϊκής παραγωγής, σε γραμμή MT, εφαρμόζοντας κεντρικό έλεγχο με W-BPL τεχνολογία. Ενσωματώνοντας το W-BPL δίκτυο στη γραμμή MT, οι κόμβοι επικοινωνούν σε πραγματικό χρόνο μεταξύ τους και με το κέντρο ελέγχου ενέργειας ανταλλάσοντας πληροφορία και εντολές. Η ανταλλαγή πληροφορίας και εντολών οδηγεί στη βέλτιστη λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων (ΦΣ), αυξάνοντας τη διείσδυση χωρίς να αλλοιώνονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της γραμμής MT.

Στο πρώτο κεφάλαιο της διπλωματικής γίνεται εισαγωγή στη ΔΠ. Αναλύονται οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται και η επίδραση της ΔΠ στο δίκτυο HE. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται τα ευφυή δίκτυα, η μετάβαση από τα παραδοσιακά δίκτυα στα δίκτυα του μέλλοντος και παρουσιάζεται η W-BPL τεχνολογία. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται ένα αυτόνομο νησιωτικό σύστημα (ΑΝΣ) με φωτοβολταϊκή παραγωγή. Αναλύονται τα χαρακτηριστικά του ΑΝΣ και των ΦΣ, τα ζητήματα σύνδεσης των ΦΣ στη γραμμή MT και παρουσιάζεται ο ρόλος του κέντρου ελέγχου ενέργειας. Στο τέταρτο κεφάλαιο εισάγονται οι όροι και τα στοιχεία οργάνωσης του τηλεπικοινωνιακού δικτύου W-BPL που εφαρμόζεται στη γραμμή MT του αυτόνομου νησιωτικού δικτύου. Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται με χρήση του προγράμματος MATLAB η προσομοίωση της γραμμής MT. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τις περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται ή όχι ο έλεγχος μέσω W-BPL τεχνολογίας. Τέλος στο τελευταίο κεφάλαιο αναλύονται τα συμπεράσματα της προσομοίωσης.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Διασπαρμένη Παραγωγή, Ηλεκτρική Ενέργεια, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας, Ευφυές Δίκτυο, BPL, W-BPL, Αυτόνομο Νησιωτικό Σύστημα, Φωτοβολταϊκό Σύστημα, Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας, RTU, SCADA, LAN, WAN, DAC, NOC.



## **Abstract**

The aim of this dissertation is to implement a telecommunication network, based on broadband over power lines transmission network (W-BPL technology – Wireless Broadband over Power Lines), on a medium voltage (MV) line of an autonomous island grid, where photovoltaic generations are connected.

During the last decade, technological innovations and changes in economic and regulatory environment brought to the fore the Distributed Generation (DG). The DG technologies primarily use renewable energy resources (RES), such as solar and wind farms. The integration of DG has changed the operating principle of the traditional power system. Nowadays, the future grids, also called smart grids, have been developed. During the development of the future grids, it has been mentioned that telecommunication is vital at every level. The need to transmit information among users confirms the fact that information plays a determined role in power system design. The implementation of W-BPL technology on power grids is emerging and it becomes an operational and business project that is now beginning to develop. The power system itself becomes able for self-management and real time monitoring.

At this dissertation is studied the possibility of increasing the penetration of PV modules on a MV line, applying centralized control through W-BPL technology. Incorporating the W-BPL network on MV line, nodes are able to communicate in real time between them and with the network operation center (NOC) exchanging information and commands. The exchange of information and commands leads to the optimal operation of PV systems and it increases the penetration without altering the electrical characteristics of the MV line.

In the first section DG is introduced. Technologies that are used as well as the effect of DG on the power system are analyzed. In the second section the smart grids are described and the transition from traditional power grids to the power grids of the future and the W-BPL technology is introduced. An autonomous island power grid with PV production is described in the third section. The characteristics of the autonomous island grid and the PV systems are analyzed. The issues of connecting PV systems on a MV line are also analyzed in the third section and finally the role of the network operation center is presented. In the fourth section the terms and elements of the organization of a W-BPL network are introduced, which will be applied on a MV line of an autonomous island grid. In the fifth section, with the use of MATLAB, a simulation of a MV line with PV systems is carried out. The results are presented for all cases where control through W-BPL technology is applied or not. Finally, in the last section the findings of the simulation are analyzed.

## **KEY WORDS**

Distributed Generation (DG), Electricity, Renewable Energy Sources (RES), Electrical Power Systems, Smart Grid, BPL, W-BPL, Autonomous Island Grid, Photovoltaic System, Network Operation Center (NOC), Remote Telemetry Unit (RTU), DAC, SCADA, LAN, WAN



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## Διασπαρμένη Παραγωγή

### 1.1 Ορισμός

Για τη Διασπαρμένη Παραγωγή (ΔΠ) έχουν δοθεί αρκετοί παραπλήσιοι μεταξύ τους ορισμοί ενώ στη διεθνή βιβλιογραφία απαντώνται με σχεδόν ταυτόσημο νόημα οι όροι Dispersed Generation, Distributed Generation, Decentralized Generation και Embedded Generation. Από τους ορισμούς που έχουν δοθεί, άλλοι επικεντρώνονται στο επίπεδο της τάσης διασύνδεσης, δηλαδή στη μέση τάση (MT) ή χαμηλή τάση (XT), και άλλοι στο μέγεθος ισχύος των μονάδων που συνδέονται. Γενικά, ο όρος ΔΠ μπορεί να ορισθεί ως η παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας (HE) μικρής κλίμακας, σε διάφορα σημεία ενός δικτύου διανομής ή στο ακραίο τμήμα αυτού στην πλευρά του καταναλωτή. Η αναδιάρθρωση των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) καθώς και η ανάπτυξη των τεχνολογιών των σχετικά μικρών σε ισχύ μονάδων παραγωγής οδήγησε στην ανάπτυξη της ΔΠ, δηλαδή της παραγωγής που βρίσκεται πλησιέστερα προς τα κέντρα κατανάλωσης. Επιπλέον, η δυνατότητα εγκατάστασης μικρών μονάδων παραγωγής, ακόμα και για οικιακή χρήση, αυξάνει την αποδοτικότητα της παροχής HE και θέρμανσης ταυτόχρονα. Επίσης, στον ορισμό της ΔΠ συμπεριλαμβάνονται και ορισμένα χαρακτηριστικά, που σχετίζονται με την ύπαρξη και εκμετάλλευση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Η σχεδίαση και η υλοποίηση ενός δικτύου που περιλαμβάνει ΔΠ αποτελούν πολύπλοκο ζήτημα που είναι σημαντικά διαφορετικό από την παραδοσιακή διαδικασία σχεδίασης ενός ΣΗΕ. Η διαφορά αυτή οφείλεται κυρίως στο σχεδιασμό των υπαρχόντων δικτύων διανομής, τα οποία έχουν σχεδιασθεί ως παθητικά συστήματα που λειτουργούν ακτινικά.

Εναλλακτικά, κατά τον Willis [1], μονάδες ΔΠ θεωρούνται οι σχετικά μικρές σε ισχύ μονάδες, οι οποίες μπορούν να παρέχουν HE σε μία οικία, μία επιχείρηση ή μία βιομηχανική – βιοτεχνική εγκατάσταση, χρησιμοποιώντας είτε ΑΠΕ είτε καύσιμα, όπως το φυσικό αέριο ή το ελαφρύ πετρέλαιο Diesel.

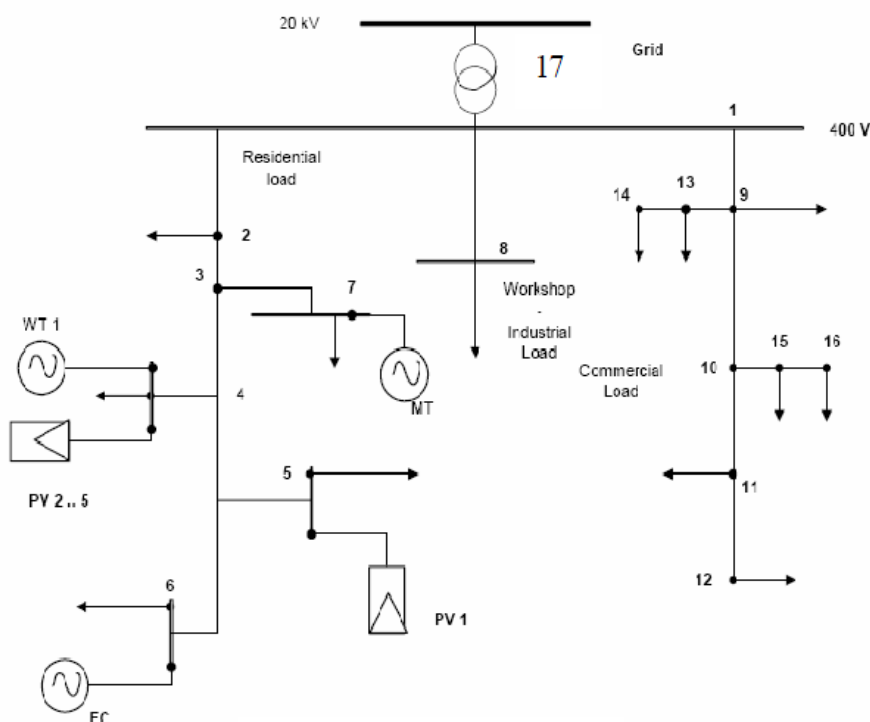
Τέλος, σύμφωνα με το Ινστιτούτο των Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineer Inc, IEEE), η ΔΠ είναι η παραγωγή HE από μονάδες σημαντικά μικρότερες σε ισχύ από τις μονάδες των εργοστασίων παραγωγής HE, ώστε να είναι εφικτή η σύνδεσή τους σχεδόν σε κάθε σημείο ενός ΣΗΕ [2].

Τα γενικότερα χαρακτηριστικά της ΔΠ συνοψίζονται στα εξής:

- Δεν σχεδιάζεται ούτε αναπτύσσεται κατά κεντρικό τρόπο από την εταιρεία HE ή το διαχειριστή του ΣΗΕ.
- Δεν υπάρχει κεντρικός προγραμματισμός λειτουργίας των μονάδων από το διαχειριστή του ΣΗΕ.
- Η ισχύς των μονάδων που εγκαθίστανται δεν υπερβαίνει τα 100 MW αλλά συνήθως είναι της τάξης λίγων εκατοντάδων kW.
- Η ΔΠ συνδέεται στο δίκτυο διανομής και όχι στο δίκτυο μεταφοράς, ανάλογα με το πώς αυτά ορίζονται για κάθε υπό μελέτη σύστημα.

Είναι δύσκολο να δοθεί ενιαίος ορισμός της ΔΠ, καθώς πρέπει να μελετηθούν και αναλυθούν διάφορες παράμετροι, όπως ο σκοπός για τον οποίο γίνεται η παραγωγή, η θέση όπου θα συνδεθεί προς το δίκτυο, το φορτίο λειτουργίας, η περιοχή διανομής, η τεχνολογία που

χρησιμοποιείται, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον, ο τρόπος λειτουργίας, το ιδιοκτησιακό καθεστώς. Ένα ΣΗΕ, όπως αυτό διαμορφώνεται από την παρουσία μονάδων ΔΠ, απεικονίζεται στο Σχήμα 1 – 1.



Σχήμα 1 - 1. Δομή ΣΗΕ παρουσία μονάδων ΔΠ

Πρόκειται για ένα τυπικό δίκτυο ΧΤ, όπου υπάρχουν τρεις αναχωρήσεις / κλάδοι κατανάλωσης. Ο δεξιός κλάδος είναι ένας εμπορικός καταναλωτής, ο μεσαίος ένας βιομηχανικός καταναλωτής και ο αριστερός μία κατοικημένη περιοχή. Στον τελευταίο συνδέονται μονάδες ΔΠ, όπως αιολικά πάρκα (WT), φωτοβολταϊκά (PV) και άλλες πηγές όπως μικροτουρμπίνα (MT) και κυψέλη καυσίμου (FC).

## 1.2 Μετάβαση στη διασπαρμένη παραγωγή

Στο ξεκίνημά του, το 1880, ο ηλεκτρικός τομέας ήταν μία επικερδής οικονομική δραστηριότητα με την ανάπτυξη συστημάτων παραγωγής, διανομής και πώλησης ΗΕ για τις τοπικές κοινωνίες. Η ΔΠ, λοιπόν, αν και αποτελεί μία νέα ιδέα στην οικονομική βιβλιογραφία της αγοράς του ηλεκτρισμού, στην πραγματικότητα δεν είναι νέα ως ιδέα. Όταν η ηλεκτρική παραγωγή βρισκόταν σε αρχικό στάδιο, η ΔΠ ήταν ο κανόνας και όχι η εξαίρεση. Τα πρώτα εργοστάσια παραγωγής παρείχαν ΗΕ σε φορτία – πελάτες που βρίσκονταν σε μικρή απόσταση από αυτά.

Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν τα εθνικά διασυνδεδεμένα ηλεκτρικά συστήματα με αποκορύφωση, στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα, την κατασκευή μεγάλων κεντρικών σταθμών παραγωγής, που παρείχαν οικονομίες κλίμακας, και τη δημιουργία των δικτύων μεταφοράς. Η έντονα αυξανόμενη ζήτηση ΗΕ στις αναπτυσσόμενες οικονομίες ενίσχυσε την ιδέα για την ανάπτυξη ολοένα και μεγαλύτερων κεντρικών σταθμών παραγωγής, υδροηλεκτρικών, θερμικών ή και πυρηνικών. Όμως, η ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του '70, η ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στη δεκαετία του



'80, ο περιορισμός των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων άρχισαν σταδιακά να αλλάζουν τις στρατηγικές στον ηλεκτρικό τομέα.

Τα πρώτα ηλεκτρικά δίκτυα ισχύος ήταν συνεχούς ρεύματος (DC), οπότε η τάση παροχής ήταν σχετικά περιορισμένη, όπως και η απόσταση μεταξύ σταθμού παραγωγής και καταναλωτή. Η εξισορρόπηση ζήτησης και παραγωγής υλοποιείτο μερικώς με τη χρήση τοπικά αποθηκευμένης ενέργειας, όπως για παράδειγμα με τη χρήση συσσωρευτών οι οποίοι είχαν τη δυνατότητα άμεσης ηλεκτρικής σύνδεσης με το DC δίκτυο ισχύος. Έτσι λοιπόν, με την παραγωγή ΗΕ μικρής κλίμακας, έχει επανέλθει και η ανάγκη για μονάδες τοπικής αποθήκευσης ΗΕ.

Με το πέρασμα του χρόνου, τεχνολογικές εξελίξεις, όπως η εμφάνιση των δικτύων ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος, έδωσαν ώθηση στην ανάπτυξη του τομέα μεταφοράς της ΗΕ, επιτρέποντας τη μεταφορά της σε μεγάλες πλέον αποστάσεις. Επιπλέον, σημειώθηκε αύξηση της παραγόμενης ισχύος των εργοστασίων, καθώς και μείωση του κόστους ανά *kW* εγκατεστημένης ισχύος. Κατασκευάστηκαν μαζικά ηλεκτρικά συστήματα που αποτελούνταν από μεγάλα δίκτυα μεταφοράς και διανομής, και μεγάλους σταθμούς παραγωγής ΗΕ. Την τελευταία δεκαετία, οι τεχνολογικές καινοτομίες και οι αλλαγές στο οικονομικό και το ρυθμιστικό περιβάλλον έφεραν στο προσκήνιο τη ΔΠ. Οι πέντε βασικοί λόγοι που συνετέλεσαν σε αυτό είναι:

- Ανάπτυξη των τεχνολογιών ΔΠ.
- Περιορισμοί στην κατασκευή νέων δικτύων μεταφοράς.
- Αυξημένη ζήτηση για παροχή ΗΕ υψηλής αξιοπιστίας.
- Απελευθέρωση της αγοράς ΗΕ.
- Προβληματισμοί για τις κλιματικές επιπτώσεις.

Η ενσωμάτωση των μονάδων ΔΠ αλλάζει την παραδοσιακή αρχή λειτουργίας του ηλεκτρικού δικτύου και δημιουργεί νέα προβλήματα που έχουν σχέση με την ποιότητα ισχύος, την αξιοπιστία και την ασφάλεια του ηλεκτρικού δικτύου. Η ύπαρξη των προβλημάτων αυτών καθιστά τη σύνδεση των μονάδων ΔΠ κάθε άλλο παρά απλή διαδικασία. Αν και διάφορα ρυθμιστικά και επιχειρησιακά ζητήματα έχουν μεγάλη σημασία για την ενσωμάτωση των μονάδων ΔΠ στο ηλεκτρικό δίκτυο, τα τεχνικά προβλήματα είναι συνήθως οι καθοριστικοί παράγοντες που εμποδίζουν την ολοκλήρωση των νέων εγκαταστάσεων. Τα ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν έχουν σχέση με την τάση και το ρεύμα στην έξοδο της εγκατάστασης, την ποιότητα ισχύος και γενικότερα με το σύνολο των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των μονάδων ΔΠ. Συνεπώς, απαιτούνται κατάλληλες τεχνικές διαδικασίες αξιολόγησης που θα διευκολύνουν και θα επιταχύνουν τη σύνδεση μονάδων ΔΠ, χωρίς συμβιβασμούς σε απαιτήσεις λειτουργίας και ασφάλειας του δικτύου. Οι διαδικασίες αξιολόγησης οφείλουν να είναι αντικειμενικές, ευρέως αποδεκτές και εύκολα εφαρμόσιμες.

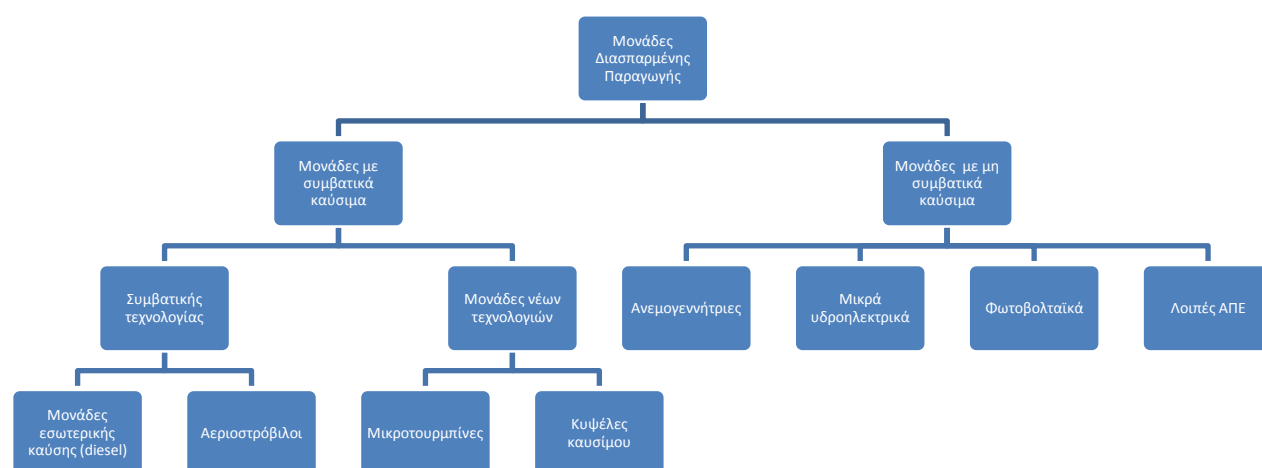
Στην Ελλάδα έχουν εγκατασταθεί αρκετές μονάδες ΔΠ, κυρίως ΑΠΕ, όπως ανεμογεννήτριες, συχνά σε αυτόνομα νησιωτικά δίκτυα, και μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έξαρση στην εγκατάσταση μονάδων φωτοβολταϊκής παραγωγής. Η λειτουργία των μονάδων ΔΠ κατά τη διάρκεια των τελευταίων 15 ετών αυξάνει την εμπειρία σχετικά με την ολοκλήρωση και εφαρμογή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο, κυρίως στη ΜΤ. Η τάση για απελευθέρωση της αγοράς ΗΕ στην Ελλάδα έχει δημιουργήσει σημαντικό ενδιαφέρον για την επένδυση στην ανεξάρτητη ΔΠ. Συνεπώς, απαιτείται σημαντική

αναπροσαρμογή των προδιαγραφών σύνδεσης, οι οποίες έχουν ολοκληρωθεί πρόσφατα από τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ).

### 1.3 Τεχνολογίες διασπαρμένης παραγωγής

Συχνά, ο όρος ΔΠ χρησιμοποιείται για να περιγράψει παραγωγή ΗΕ με εφαρμογή τεχνολογίας ΑΠΕ. Είναι όμως δυνατό για την υλοποίηση της ΔΠ να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε τεχνολογία παραγωγής. Οι περισσότερες ΑΠΕ αποτελούν γενικά και συστήματα ΔΠ, αν και υπάρχουν εξαιρέσεις, όπως είναι τα υδροηλεκτρικά μεγάλης κλίμακας και τα παράκτια αιολικά πάρκα. Εκτός όμως, από τις ΑΠΕ, στη ΔΠ εντάσσονται και άλλες τεχνολογίες, των οποίων η λειτουργία βασίζεται στη χρήση ορυκτών καυσίμων, όπως οι τουρμπίνες και οι μικροτουρμπίνες αερίου, οι εμβολοφόρες μηχανές κ.α. Αξίζει να σημειωθεί ότι το τμήμα της ΔΠ που λειτουργεί με ορυκτά καύσιμα αποτελεί κυρίως εφαρμογές συμπαραγωγής.

Οι κυριότερες τεχνολογίες των μονάδων ΔΠ παρουσιάζονται στο Σχήμα 1 – 2. Είναι φανερό ότι μπορεί να υπάρχει διαφοροποίηση σε δύο μεγάλες ομάδες: στις μονάδες που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα και σε αυτές που μετατρέπουν κάποια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας σε ηλεκτρική. Ο Πίνακας 1 – 1 παρουσιάζει μία σύνοψη της προόδου που έχει συντελεστεί στις διαφόρου τύπου μονάδες παραγωγής που χρησιμοποιούνται ως μονάδες ΔΠ.



Σχήμα 1 - 2. Οι τεχνολογίες των μονάδων ΔΠ

Πίνακας 1 - 1. Εξέλιξη και διαθεσιμότητα των μονάδων ΔΠ

Τεχνολογία	Εμπορικά διαθέσιμη	Αναδύομενη τεχνολογία
Μικροτουρμπίνες	√	√
Αεριοστρόβιλος	√	
Μονάδες Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ)	√	
Μηχανές Stirling		√
Κυψέλες Καυσίμου	√	√
Φωτοβολταϊκά Συστήματα	√	
Ανεμογεννήτριες	√	
Μικρά Υδροηλεκτρικά	√	

Οι κυριότερες ΔΠ τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σήμερα σε οικιστικές περιοχές (residential sector) είναι τα φωτοβολταϊκά (photovoltaic, PV), οι ανεμογεννήτριες μικρής

ισχύος (wind turbine, WT) και οι κυψέλες καυσίμου (fuel cell), αποδίδοντας ισχύ περίπου από 2 έως και 5 kW . Εκτός από τις προαναφερθείσες τεχνολογίες, στον εμπορικό τομέα βρίσκουν εφαρμογή και άλλες όπως οι παλινδρομικές μηχανές, οι μικροστρόβιλοι, οι ντιζελογεννήτριες, οι συμβατικές γεννήτριες άνθρακα, οι γεννήτριες αστικών στερεών αποβλήτων, οι γεννήτριες βιομάζας και τα μικρά υδροηλεκτρικά. Οι ισχείς των εμπορικών ΔΠ τεχνολογιών κυμαίνονται σε μέγεθος από 10 kW, για φωτοβολταϊκά, έως και 1500 kW για την τεχνολογία παραγωγής από βιομάζα. Το κόστος των τεχνολογιών φωτοβολταϊκών, ανεμογεννητριών, κυψελών καυσίμου και μικροστρόβιλων εμφανίζει ισχυρά πτωτική τάση και αναμένεται να έχει μειωθεί μέχρι το 2020 περισσότερο από 50% σε σύγκριση με τις τιμές του 2000.

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται σε παγκόσμιο επίπεδο, μια αυξανόμενη τάση ανάπτυξης των ΑΠΕ, κυρίως λόγω της αυξανόμενης ευαισθητοποίησης στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συμβατικών σταθμών παραγωγής αλλά και λόγω της αυξανόμενης τιμής των ορυκτών καυσίμων. Η τάση αυτή αναμένεται να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των μονάδων ΔΠ.

## **1.4 Επίδραση της διασπαρμένης παραγωγής σε ένα ηλεκτρικό σύστημα**

### **1.4.1 Τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα της διασπαρμένης παραγωγής**

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση μονάδων ΔΠ είναι σημαντικά και πολυάριθμα. Το βασικότερο οικονομικό πλεονέκτημα αφορά τη μείωση του φορτίου αιχμής, συμβάλλοντας έτσι στη διαμόρφωση της καμπύλης ζήτησης. Για παράδειγμα, ένας καταναλωτής μπορεί να χρησιμοποιήσει ανανεώσιμες πηγές ΔΠ για να μειώσει την αιχμή φορτίου του και να πληρώνει λιγότερο. Αν περισσότεροι καταναλωτές πράξουν ή αποφασίσουν το ίδιο, θα μειωθεί το συνολικό φορτίο αιχμής της εταιρείας ΗΕ, με αποτέλεσμα όλοι οι καταναλωτές να μην επιβαρύνονται με το πιθανό κόστος αναβάθμισης της εταιρείας. Επιπλέον, η παραγωγή ΗΕ κοντά στα σημεία κατανάλωσης ελαχιστοποιεί τις απώλειες μεταφοράς, καθώς επίσης και το κόστος μεταφοράς. Επίσης, είναι πρακτικά ευκολότερο να βρεθούν θέσεις εγκατάστασης ΑΠΕ και άλλων μορφών ΔΠ σε σχέση με θέσεις εγκατάστασης μεγάλων, κεντρικών εργοστασίων παραγωγής ΗΕ. Μάλιστα οι μονάδες ΔΠ είναι ευκολότερο και κυρίως ταχύτερο να συνδεθούν στο δίκτυο.

Η ΔΠ παρέχει επίσης πολλά οφέλη σε καταναλωτές που κάνουν χρήση των μονάδων ΔΠ τόσο για θέρμανση όσο και για παραγωγή ΗΕ, μέσω τεχνολογιών συμπαραγωγής. Επιπλέον, σημαντικά είναι τα οφέλη για καταναλωτές που έχουν πρόσβαση σε φθηνά καύσιμα, όπως για παράδειγμα το φυσικό αέριο, αλλά και για εκείνους που ευνοούνται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής όπου ζουν, που αποτελούν κίνητρο για να αξιοποιήσουν τεχνολογίες ΑΠΕ.

Εκτός από τα προφανή οικονομικά οφέλη, προκύπτουν και τα τεχνικά οφέλη που έχουν σχέση με την ποιότητα και την αξιοπιστία χάρη στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ΔΠ. Αρχικά είναι σημαντικό ότι η ΔΠ συμβάλλει στην αποσυμφόρηση των ήδη υπαρχόντων δικτύων. Αξιοσημείωτο, επίσης, είναι ότι οι μονάδες αυτές μπορούν, υπό προϋποθέσεις, να χρησιμοποιηθούν ως μονάδες εφεδρικής ισχύος, σε περίπτωση διακοπής ρεύματος καθώς και σε περιπτώσεις βύθισης τάσης με στόχο να ενισχυθεί η ποιότητα της ισχύος που παρέχεται σε τοπικό επίπεδο. Τα σημαντικότερα, λοιπόν, οφέλη αξιοπιστίας σε τεχνικό επίπεδο που προσφέρουν οι μονάδες ΔΠ είναι

- Υποστήριξη και σταθερότητα στην παροχή τάσης, διότι μειώνουν τις απώλειες και παρέχουν υψηλή ποιότητα τάσης σε τοπικό επίπεδο.
- Αξιοπιστία και εφεδρική παροχή ενεργού και αέργου ισχύος για απρόβλεπτα φαινόμενα.
- Δυνατότητα αυτόνομης εκκίνησης (black start).

Επιπλέον, πολλοί καταναλωτές απαιτούν υψηλότερη ποιότητα ισχύος σε σχέση με τη συνήθη, που προμηθεύεται το μεγαλύτερο μέρος των καταναλωτών, όπως νοσοκομεία, τηλεπικοινωνιακά κέντρα, βιομηχανία ημιαγωγών, εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων, και άλλα. Για τους καταναλωτές αυτούς, η διακοπή ρεύματος ή η βύθιση τάσης μπορεί να έχει πολύ μεγάλες οικονομικές και όχι μόνο συνέπειες. Οι καταναλωτές αυτοί μπορούν με τη χρήση ανανεώσιμης ΔΠ να ικανοποιήσουν τις αυξημένες ανάγκες τους για ποιότητα ισχύος και αδιάλειπτη παροχή.

Εξίσου σημαντικά με τα οικονομικά και τα τεχνικά πλεονεκτήματα που προσφέρει η ΔΠ είναι και τα περιβαλλοντικά. Η εκτεταμένη χρήση των ΑΠΕ θα μειώσει τη χρήση ορυκτών καυσίμων και τις εκπομπές ρύπων, συνεισφέροντας έτσι με ουσιαστικό τρόπο στην προστασία του περιβάλλοντος. Περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από τη μείωση των απωλειών στις γραμμές μεταφοράς λόγω της καλύτερης χωροθέτησης των σταθμών ΔΠ σε σχέση με τη ζήτηση μπορεί να βελτιώσουν ακόμη περισσότερο το περιβαλλοντικό ισοζύγιο της ΔΠ.

#### **1.4.2 Τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά μειονεκτήματα της διασπαρμένης παραγωγής**

Η εισαγωγή των αποκεντρωμένων μονάδων παραγωγής ενέργειας σε ευρεία κλίμακα, εκτός από τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα, χαρακτηρίζεται και από μειονεκτήματα τα οποία, αν αγνοηθούν, μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στη λειτουργία των δικτύων με επακόλουθα αρνητικά οικονομικά και περιβαλλοντικά αποτελέσματα.

Ένα από τα σημαντικότερα οικονομικά ζητήματα που προκύπτουν είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης όπως το υψηλό κόστος κεφαλαίου ανά  $kW$  εγκατεστημένης ισχύος συγκριτικά με τα μεγάλα κεντρικά εργοστάσια παραγωγής

Ένα άλλο πρόβλημα έγκειται στη διακοπτόμενη λειτουργία των ΑΠΕ. Πολλές φορές δεν μπορεί να υπάρξει ακριβής πρόβλεψη για την παραγωγή ΗΕ από εγκαταστάσεις που κάνουν χρήση τεχνολογιών ΑΠΕ διότι εξαρτώνται άμεσα από τις κλιματικές συνθήκες. Πρέπει να γίνεται μετεωρολογική πρόβλεψη, που δεν μπορεί όμως να προβλέψει ακριβώς το μέγεθος της ισχύος που είναι δυνατό να παραχθεί. Σε μικρά χρονικά διαστήματα μπορούν να υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις στη δυνατότητα παραγωγής ή ακόμα και διακοπή της παραγωγής εξαιτίας της διακοπτόμενης φύσης ορισμένων πηγών όπως είναι για παράδειγμα ο άνεμος ή ο ήλιος. Έτσι, υπάρχει συγκεκριμένο ποσοστό της ζήτησης που μπορεί να καλυφθεί από ΑΠΕ. Η μέγιστη διείσδυση είναι δηλαδή περιορισμένη και πρέπει να υπάρχει διαρκής εφεδρεία συμβατικών μονάδων παραγωγής. Αυτό το πρόβλημα αφορά κυρίως τα αυτόνομα ΣΗΕ.

Η όχι καλά υπολογισμένη ή ανεξέλεγκτη διείσδυση μονάδων ΔΠ μπορεί να προκαλέσει τεχνικά προβλήματα και να δημιουργήσει διαταραχές στην ομαλή λειτουργία του δικτύου. Τα προβλήματα αυτά αναλύονται με περισσότερες λεπτομέρειες στην επόμενη ενότητα του κεφαλαίου.

Όσον αφορά τις επιπτώσεις της ΔΠ στο περιβάλλον, οι τεχνολογίες καταναλωμένης παραγωγής περιγράφονται ως περιβαλλοντικά φιλικές σε σχέση με τις αντίστοιχες τεχνολογίες ενός κεντρικού σταθμού παραγωγής ΗΕ.

## 1.5 Ζητήματα σύνδεσης διασπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

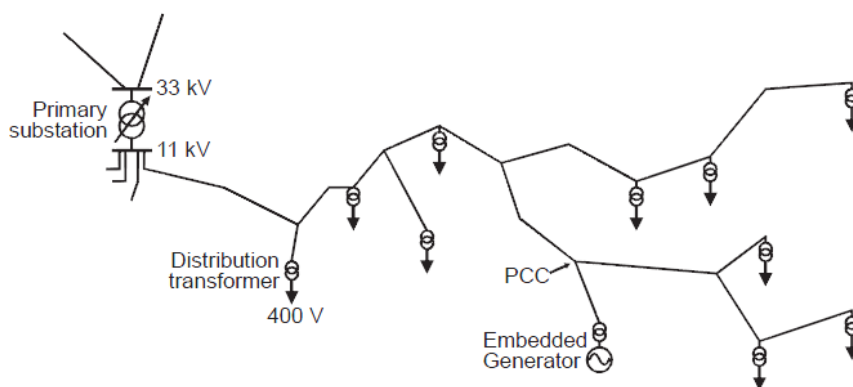
### 1.5.1 Ορισμοί και βασικές έννοιες

Η ΔΠ αλλάζει τη ροή ισχύος σε ένα δίκτυο διανομής και ανατρέπει την παραδοσιακή μονόπλευρη ροή ισχύος από το δίκτυο υψηλής τάσης (ΥΤ) στα δίκτυα ΧΤ και ΜΤ του ΣΗΕ. Σε μερικές περιπτώσεις η ΔΠ μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο χωρίς δυσκολίες. Ενίοτε, όμως, η σύνδεση αυτή μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα. Ωστόσο, πριν αναλυθεί το ζήτημα αυτό, χρειάζεται να ερμηνευθούν ορισμένες βασικές έννοιες.

Καταρχήν, ως εγκατάσταση παραγωγής ορίζεται ένα τμήμα εγκατάστασης στο οποίο υπάρχουν μία ή περισσότερες μονάδες γεννητριών για την παραγωγή ΗΕ, συμπεριλαμβανομένων και των απαιτούμενων για τη λειτουργία τους διατάξεων και συσκευών. Μια ηλεκτρική εγκατάσταση είναι δυνατό να αποτελείται αποκλειστικά από μία εγκατάσταση παραγωγής ή να περιλαμβάνει και φορτία.

Μοναδιαία εγκατάσταση είναι το τμήμα της εγκατάστασης που περιλαμβάνει μία μονάδα γεννήτριας, συμπεριλαμβανομένων και των απαιτούμενων για τη λειτουργία της διατάξεων και συσκευών. Όριο της μοναδιαίας εγκατάστασης είναι το σημείο στο οποίο συνδέεται με άλλη μοναδιαία εγκατάσταση ή με την υπόλοιπη εγκατάσταση ή με το δημόσιο δίκτυο. Η εγκατάσταση παραγωγής είναι δυνατό να είναι μοναδιαία εγκατάσταση.

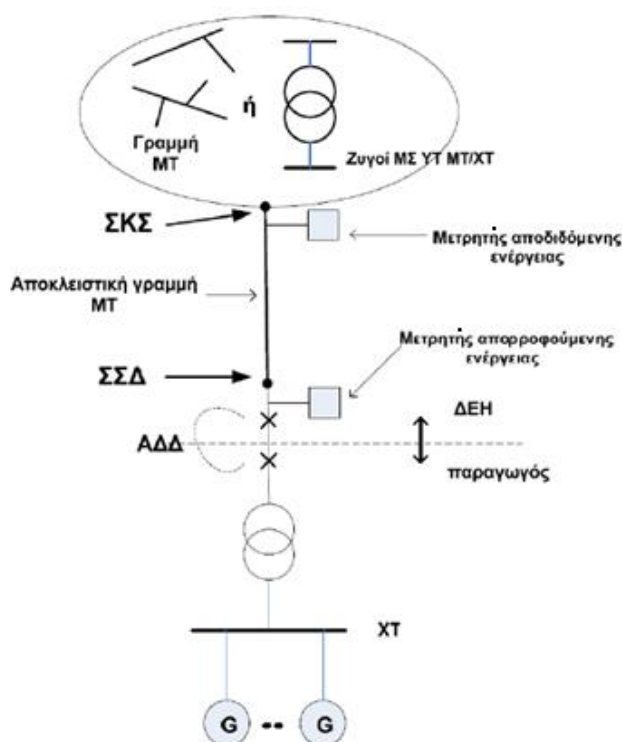
Βασική απαίτηση για τη σύνδεση οποιασδήποτε εγκατάστασης παραγωγής σε ένα ΣΗΕ είναι ότι δεν πρέπει να επηρεάζει δυσμενώς την ποιότητα της ισχύος που παρέχεται στο υπόλοιπο δίκτυο. Συνεπώς, ορίζεται το Σημείο Κοινής Σύνδεσης (ΣΚΣ) ως το πλησιέστερο προς τις εγκαταστάσεις του παραγωγού σημείο του δικτύου στο οποίο συνδέεται ή μπορεί να συνδεθεί μελλοντικά άλλος καταναλωτής ή παραγωγός. Το ΣΚΣ αποτελεί το σημείο αναφοράς για τον προσδιορισμό των επιπτώσεων που προκαλούνται στο δίκτυο λόγω της εγκατάστασης παραγωγής. Το ΣΚΣ συναντάται στη διεθνή βιβλιογραφία ως *point of common coupling* (PCC).



Σχήμα 1 - 3. Παράδειγμα ΔΠ

Επιπλέον, ορίζεται και το Σημείο Σύνδεσης στο Δίκτυο (ΣΣΔ) ως το σημείο του δικτύου ΧΤ ή ΜΤ όπου συνδέονται οι εγκαταστάσεις του παραγωγού και βρίσκεται πάντοτε στην έξοδο των εγκαταστάσεων αυτών. Στο ΣΣΔ εγκαθίσταται η διάταξη μέτρησης της ΗΕ την οποία εγχέουν οι εγκαταστάσεις του παραγωγού στο δίκτυο της ΔΕΗ ή απορροφούν οι εγκαταστάσεις των καταναλωτών από το δίκτυο της ΔΕΗ. Η ΗΕ που αποδίδει ο παραγωγός στο δίκτυο και αυτή που απορροφά ο καταναλωτής από το δίκτυο μεταφέρονται πάντοτε μέσω της ίδιας παροχής.

Γενικά, το ΣΣΔ και το ΣΚΣ μπορεί να είναι διαφορετικά. Για παράδειγμα, στην περίπτωση παραγωγών οι οποίοι συνδέονται μέσω αποκλειστικής γραμμής, το ΣΣΔ βρίσκεται στο πλησιέστερο προς τον παραγωγό άκρο της γραμμής, ενώ ως ΣΚΣ μπορεί να λειτουργεί το άλλο άκρο της γραμμής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 – 4.



*Σχήμα 1 - 4. ΣΣΔ και ΣΚΣ για τοπική περίπτωση σύνδεσης παραγωγού στο δίκτυο ΜΤ*

Τέλος, ορίζεται ο Αυτόματος Διακόπτης Διασύνδεσης (ΑΔΔ). Είναι το στοιχείο εκείνο που επιτρέπει τη ζεύξη ή απομόνωση των εγκαταστάσεων παραγωγής από το δίκτυο. Ο ΑΔΔ ελέγχεται μέσω κατάλληλου εξοπλισμού (πχ ηλεκτρονόμων προστασίας). Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ότι ο ΑΔΔ μπορεί να εμπίπτει είτε στην αρμοδιότητα της ΔΕΗ με έξοδα του παραγωγού, κάτι που συμβαίνει στις περισσότερες περιπτώσεις, είτε στην αρμοδιότητα του παραγωγού με τις ρυθμίσεις που απαιτεί η ΔΕΗ. Στο Σχήμα 1 – 4 αποσαφηνίζονται οι έννοιες του ΣΣΔ και του ΣΚΣ σε περίπτωση διαμόρφωσης σύνδεσης με αποκλειστική γραμμή. Φαίνονται, επίσης, τα όρια ευθύνης παραγωγού και ΔΕΗ.

Είναι αυτονόητο ότι η κύρια προϋπόθεση για τη σύνδεση εγκαταστάσεων παραγωγής στο δίκτυο είναι η επάρκεια των στοιχείων του δικτύου (υποσταθμού, μετασχηματιστών και γραμμών). Όταν οι υφιστάμενες γραμμές δεν επαρκούν ή προκύπτουν ανεπίτρεπτες διαταραχές στην τάση του δικτύου, εξετάζονται κατά σειρά οι ακόλουθες λύσεις:

- Ενίσχυση του υφιστάμενου δικτύου ΜΤ.
- Απευθείας σύνδεση στους ζυγούς ΜΤ του υποσταθμού ΥΤ ή ΜΤ μέσω αποκλειστικής γραμμής.
- Προσθήκη νέου μετασχηματιστή ΥΤ/ ΜΤ και
- Κατασκευή ιδιαίτερου υποσταθμού ΥΤ/ ΜΤ οπότε η σύνδεση πραγματοποιείται απευθείας στο δίκτυο ΥΤ.

Ο τρόπος σύνδεσης συγκεκριμένης εγκατάστασης παραγωγής δεν προκύπτει μονοσήμαντα από την ονομαστική ισχύ της. Δηλαδή σταθμοί παραγωγής της ίδιας ισχύος μπορεί να συνδέονται στο δίκτυο κατά τελείως διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με τα ειδικά τεχνικά χαρακτηριστικά τους, την κατά περίπτωση υφιστάμενη κατάσταση του δικτύου και την προβλεπόμενη ανάπτυξή τους.

Γενικά, η επιλογή του τρόπου σύνδεσης αποτελεί αντικείμενο τεchnοοικονομικής εξέτασης, που λαμβάνει υπόψη το κόστος κεφαλαίου των έργων ενίσχυσης και επέκτασης του δικτύου, τις απώλειες ενέργειας κάθε τρόπου διασύνδεσης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης, αλλά και άλλους παράγοντες (χρόνος και δυνατότητα κατασκευής των έργων, χρηματοδότησή τους κλπ).

Στη συνέχεια, αναφέρονται ορισμένα τεχνικά προβλήματα που δημιουργούνται στα ηλεκτρικά δίκτυα λόγω της σύνδεσης πολλαπλών μονάδων ΔΠ.

### 1.5.2 Γενικές προϋποθέσεις για τη σύνδεση

Όσον αφορά κατασκευαστικά ζητήματα αλλά και ζητήματα σύνδεσης των εγκαταστάσεων ΔΠ ισχύουν κανόνες αντίστοιχοι εκείνων που ισχύουν κατά τη σύνδεση καταναλωτών αντίστοιχης ισχύος.

#### *Τρόπος Σύνδεσης*

Βασική αρχή για την επιλογή του τρόπου σύνδεσης μιας εγκατάστασης ΔΠ είναι ότι αυτή πρέπει να γίνεται με το λιγότερο δυνατό οικονομικό κόστος χωρίς όμως να παραβιάζονται τα όρια διαταραχών και λειτουργίας του δικτύου. Τα όρια αυτά καθορίζονται από τους αντίστοιχους κανονισμούς της ΔΕΗ όπως αντίστοιχα ισχύει και για τις εγκαταστάσεις των καταναλωτών. Γενικά για τις εγκαταστάσεις ΔΠ ενδείκνυται να συνδέονται κατά το δυνατόν εγγύτερα προς τις καταναλώσεις. Έτσι περιορίζονται οι ροές ισχύος επί των γραμμών και των μετασχηματιστών (Μ/Σ) του δικτύου. Επίσης δεν πρέπει να δημιουργούνται καταστάσεις εκτός των επιτρεπόμενων ορίων αλλά αντίθετα να υπάρχει βελτίωση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του δικτύου, όπως είναι η τάση και το ρεύμα, και ελαχιστοποίηση των απωλειών. Βασικό κριτήριο για την επάρκεια του δικτύου και του τρόπου σύνδεσης αποτελεί το μέγεθος της εγκατάστασης καθώς και τα χαρακτηριστικά της περιοχής όπως για παράδειγμα αν είναι κατοικημένη ή όχι, προοπτική σύνδεσης και άλλων εγκαταστάσεων στο μέλλον κλπ. Έτσι, για ισχείς μεγαλύτερες των 100 kW ως 20 MW η εγκατάσταση πρέπει να συνδέεται στο δίκτυο ΜΤ. Η εξέταση για τον προσδιορισμό του ΣΚΣ πρέπει να αρχίζει από το εγγύτερο στην εγκατάσταση σημείο του δικτύου και βαθμιαία να εξετάζεται η δυνατότητα σύνδεσης σε σημεία πλησιέστερα προς τον υποσταθμό (ΥΤ/ΜΤ), δηλαδή σε σημεία με υψηλότερη στάθμη βραχυκύκλωσης. Τέτοιου είδους μελέτη είναι εκτός των ορίων της παρούσας διπλωματικής.

Για ισχείς μέχρι 5 MW πρέπει να εξετάζεται η δυνατότητα σύνδεσης σε υφιστάμενη γραμμή. Εγκαταστάσεις μεγαλύτερης ισχύος, μέχρι 8 MW, μπορεί να συνδέονται με αποκλειστική



γραμμή στους ζυγούς ΜΤ του πλησιέστερου υποσταθμού ΥΤ/ΜΤ. Για εγκαταστάσεις μεγαλύτερης ισχύος, μέχρι 20 MW, πρέπει, αρχικά, να εξετάζεται από τη ΔΕΗ η δυνατότητα σύνδεσης σε υφιστάμενο ή νέο υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ μέσω αποκλειστικού δικτύου. Η εγκατάσταση ιδιαίτερου μετασχηματιστή ΥΤ/ΜΤ (σε υφιστάμενο ή νέο υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ) επιδιώκεται για ισχείς μεγαλύτερες των 10 MW.

#### *Γενικά περί διατάξεων ζεύξης και προστασίας*

Οι βασικές αρχές για τον καθορισμό και την επιλογή των διατάξεων ζεύξης και προστασίας είναι οι ακόλουθες.

Το προσωπικό της ΔΕΗ πρέπει να έχει δυνατότητα εύκολης πρόσβασης και να είναι εξασφαλισμένη η απομόνωση της εγκατάστασης από το δίκτυο, ώστε να είναι δυνατή η ασφαλής και απρόσκοπτη εκτέλεση των εργασιών σε αυτό.

Τα εγκαθιστάμενα μέσα προστασίας πρέπει να εξασφαλίζουν την απομόνωση της εγκατάστασης σε περίπτωση ανωμαλιών στο δίκτυο ώστε, αφενός, να αποφεύγονται βλάβες του εξοπλισμού της εγκατάστασης και, αφετέρου, να εξασφαλίζεται ότι δεν θα δημιουργηθούν καταστάσεις επικίνδυνες για τους λοιπούς χρήστες του δικτύου. Για το σκοπό αυτό πρέπει να εξετάζονται οι λειτουργίες προστασίας έναντι των συνηθέστερων περιπτώσεων ανωμαλίας όπως βραχυκυκλώματα στο εσωτερικό της εγκατάστασης, βραχυκυκλώματα στο δίκτυο κλπ..

### **1.5.3 Επιπτώσεις στην τάση του δικτύου**

#### *Αργές μεταβολές της τάσης*

Η λειτουργία εγκαταστάσεων παραγωγής συνδεδεμένων στο δίκτυο προκαλεί μεταβολή της ροής ισχύος στις γραμμές του δικτύου. Χωρίς την ύπαρξη εγκαταστάσεων παραγωγής, η ισχύς ρέει από τους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής, μέσω των γραμμών μεταφοράς, προς τους καταναλωτές. Όμως λόγω της ύπαρξης των επιπλέον παραγωγών σε διάφορα σημεία του δικτύου η ισχύς ρέει αμφίδρομα. Η μεταβολή της ροής της ισχύος επηρεάζει και την τάση στα διάφορα σημεία του δικτύου, προκαλώντας είτε πτώση τάσης είτε ανύψωση τάσης. Στην ενότητα αυτή εξετάζονται οι αργές μεταβολές της τάσης, δηλαδή μεταβολές της τάσης στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας του ΣΗΕ. Η τιμή του μεγέθους αυτού αντιστοιχεί στη μέση τιμή της τάσης που προκύπτει από ένα σύνολο τιμών για χρονικό διάστημα 10 λεπτών (όπως προβλέπεται στο πρότυπο EN 50160) και μπορεί να οφείλεται σε αντίστοιχες διακυμάνσεις της ισχύος εξόδου των εγκαταστάσεων παραγωγής ή σε μεταβολές του φορτίου του δικτύου. Συχνά, χρησιμοποιείται η εκατοστιαία μεταβολή τάσης  $\varepsilon(\%)$  η οποία εκφράζει τη μεταβολή της τάσης ανηγμένη επί της ονομαστικής τάσης του δικτύου, δηλαδή

$$\varepsilon(\%) = 100 \cdot \frac{\Delta U}{U_n} \quad (1.1)$$

#### *Ταχείες μεταβολές της τάσης*

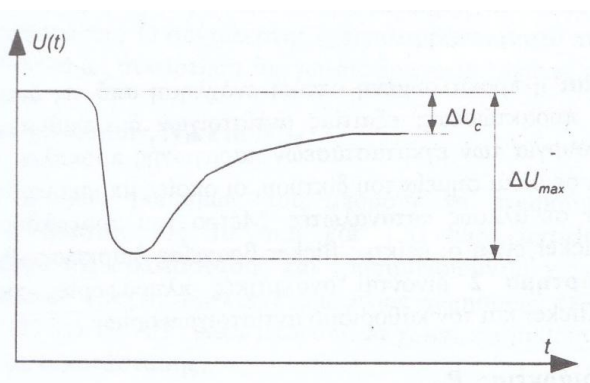
Σύμφωνα με το πρότυπο EN 50160, ταχείες μεταβολές της τάσης είναι οποιεσδήποτε ταχείες μεταβολές της ενεργού (*rms*) τιμής της, οι οποίες συμβαίνουν σε πολύ σύντομα χρονικά διαστήματα, της τάξης των λίγων δευτερολέπτων και, πάντως, οπωσδήποτε εντός διαστήματος μικρότερου των 10 λεπτών. Ταχείες μεταβολές συμβαίνουν λόγω χειρισμών στις εγκαταστάσεις παραγωγής (ζεύξη – απόζευξη, αλλαγή γεννητριών κ.λπ.) ή και εξαιτίας της μεταβλητότητας της ισχύος εξόδου των εγκαταστάσεων.



Στο Σχήμα 1 – 5 παρουσιάζεται ενδεικτικά μία ταχεία μεταβολή της τάσης (π.χ. εξαιτίας χειρισμού ζεύξης γεννήτριας), η οποία χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη μεταβολή,  $\Delta U_{max}$ , και τη μεταβολή μόνιμης κατάστασης,  $\Delta U_c$ . Με βάση τα μεγέθη αυτά, ορίζονται οι αντίστοιχες σχετικές μεταβολές, ανηγμένες στην ονομαστική τάση του δικτύου  $U_n$ :

$$d_{max}(\%) = 100 \cdot \frac{\Delta U_{max}}{U_n} \quad (1.2)$$

$$d_c(\%) = 100 \cdot \frac{\Delta U_c}{U_n} \quad (1.3)$$



Σχήμα 1 - 5. Τυπική μορφή ταχείας μεταβολής της τάσης

#### Flicker

Με τον όρο flicker περιγράφεται η προκαλούμενη οπτική ενόχληση που οφείλεται στις διακυμάνσεις της φωτεινότητας λαμπτήρων πυρακτώσεως που οφείλονται σε αντίστοιχες διακυμάνσεις της τάσης τροφοδοσίας τους. Η λειτουργία των εγκαταστάσεων παραγωγής προκαλεί μεταβολές της τάσης στο ΣΚΣ, καθώς και σε άλλα σημεία του δικτύου, οι οποίες μπορεί να δημιουργήσουν παρενόχληση λόγω flicker και σε άλλους καταναλωτές. Μέτρο του προκαλούμενου από τις διακυμάνσεις της τάσης flicker είναι οι δείκτες flicker βραχείας διάρκειας,  $P_{st}$ , και μακράς διάρκειας  $P_{lt}$ .

#### Δημιουργία αρμονικών

Λόγω της ύπαρξης μη γραμμικών στοιχείων και φορτίων και των εξ αυτών προερχόμενων φαινομένων κορεσμού, η τάση του δικτύου παρουσιάζει απόκλιση από την ιδανική καθαρά ημιτονοειδή μορφή. Το ίδιο συμβαίνει και με τη μορφή του ρεύματος. Η κυματομορφή της τάσης ή του ρεύματος μπορεί να αναλυθεί κατά Fourier σε σειρά ημιτονοειδών συνιστωσών πολλαπλασίων συχνότητας, οι οποίες αποτελούν τις αρμονικές συνιστώσες του εξεταζόμενου μεγέθους (τάσης ή ρεύματος). Η σύνδεση των εγκαταστάσεων στο δίκτυο ΜΤ είναι εφικτή εφόσον η προκαλούμενη από τη λειτουργία τους αρμονική παραμόρφωση της τάσης του δικτύου δεν υπερβαίνει τα ανεκτά όρια. Σε αντίθεση με συνδέσεις επί της ΧΤ, όπου διεθνείς κανονισμοί ορίζουν συγκεκριμένα ανεκτά όρια αρμονικών του ρεύματος, για σύνδεση στη ΜΤ δεν υπάρχει αντίστοιχη τυποποίηση και οι κανονισμοί γενικά συνιστούν την κατά περίπτωση εξέταση.

Έλεγχος των αρμονικών απαιτείται όταν ο προς σύνδεση εξοπλισμός (ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών, φωτοβολταϊκά κ.λπ.) διαθέτει διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος. Στην περίπτωση της σύνδεσης συμβατικών γεννητριών (σύγχρονων ή ασύγχρονων) απευθείας με το δίκτυο, χωρίς παρεμβολή μετατροπέων ισχύος, δεν αναμένονται προβλήματα από δημιουργία αρμονικών, εφόσον η τάση διατηρείται εντός των προβλεπόμενων ορίων. Επίσης,

ενδιαφέρουν οι αρμονικές μόνο κατά την κανονική λειτουργία των εγκαταστάσεων και όχι κατά τις μεταβατικές περιόδους που έχουν διάρκεια λίγων δευτερολέπτων.

#### 1.5.4 Αντιστάθμιση αέργου ισχύος

Ο συντελεστής ισχύος στην έξοδο της εγκατάστασης παραγωγής (ή της συνολικής εγκατάστασης ενός καταναλωτή, που διαθέτει και εγκαταστάσεις παραγωγής) πρέπει να παραμένει εντός των επιτρεπτών ορίων. Συνήθης περιοχή αποδεκτών τιμών του συντελεστή ισχύος είναι μεταξύ 0.95 επαγωγικού και 0.95 χωρητικού.

Δεδομένου ότι η απορρόφηση σημαντικής αέργου ισχύος από μία εγκατάσταση συνεπάγεται αυξημένες απώλειες και πτώση τάσης στο δίκτυο, ενδεχομένως είναι αναγκαία η αντιστάθμιση της καταναλισκόμενης αέργου ισχύος, συνήθως με τη βοήθεια αποξεδυζιμων συστοιχιών πυκνωτών. Η αντιστάθμιση μπορεί να πραγματοποιείται τοπικά για κάθε μεμονωμένη γεννήτρια ή ομάδα γεννητριών, ή/και κεντρικά για το σύνολο της εγκατάστασης. Όταν η ενεργός ισχύς εξόδου της εγκατάστασης παραγωγής παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις (όπως π.χ. στις αιολικές εγκαταστάσεις), είναι συνήθως αναγκαία η αυτόματη ρύθμιση της αντιστάθμισης προκειμένου να διατηρείται ο συντελεστής ισχύος κοντά στην επιθυμητή τιμή. Η αναγκαία αντιστάθμιση γενικά καθορίζεται από το είδος και τον τρόπο λειτουργίας των εγκαταστάσεων αλλά και από τις προκαλούμενες επιπτώσεις στην τάση του δικτύου.

Σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις οι ανάγκες αέργου ισχύος των μετατροπέων ισχύος εξαρτώνται από τον τύπο του μετατροπέα. Μετατροπείς, όπως οι ανορθωτές/αντιστροφείς γέφυρας με thyristors, καταναλώνουν σημαντική άεργο ισχύ και απαιτούν την εγκατάσταση διατάξεων αντιστάθμισης. Οι σύγχρονοι αυτομεταγόμενοι (self – commutated) μετατροπείς (όπως οι μετατροπείς τύπου πηγής τάσης με IGBTs που χρησιμοποιούνται ευρέως σε διατάξεις ΔΠ) παρουσιάζουν ελάχιστες ανάγκες αέργου ισχύος και συνήθως διαθέτουν τη δυνατότητα ρύθμισης του συντελεστή ισχύος στη έξοδό τους εντός μίας περιορισμένης περιοχής (π.χ. 0.95 επαγ. – 0.95 χωρ.).

Κατά τη μελέτη των πυκνωτών αντιστάθμισης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επίπτωσή τους στην αρμονική παραμόρφωση του δικτύου. Συγκεκριμένα, οι εγκάρσιες χωρητικότητες των πυκνωτών σε συνδυασμό με τις επαγωγικές αντιδράσεις του δικτύου, όπως είναι οι σε σειρά αντιδράσεις σκέδασης των Μ/Σ, δημιουργούν συχνότητες συντονισμού οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση της αρμονικής παραμόρφωσης της τάσης.

#### 1.5.5 Επάρκεια των στοιχείων του δικτύου – Στάθμη βραχυκύκλωσης

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής είναι δυνατό να προκαλέσουν υψηλότερα από τα επιτρεπόμενα φορτία σε αγωγούς, μετασχηματιστές και άλλα στοιχεία του δικτύου. Επομένως, είναι απαραίτητος ο επανέλεγχος της δεκτικότητας επιβάρυνσης των προαναφερθέντων στοιχείων, λαμβάνοντας υπόψη και τις συνδεδεμένες εγκαταστάσεις ΔΠ.

Ως βάση υπολογισμού της θερμικής επιβάρυνσης των στοιχείων του δικτύου λαμβάνεται η μέγιστη φαινόμενη ισχύς εξόδου της εγκατάστασης παραγωγής. Όταν η ισχύς αυτή εξαρτάται από το χρονικό διάστημα υπολογισμού της (όπως π.χ. για τις αιολικές εγκαταστάσεις), μπορεί να χρησιμοποιείται η μέγιστη φαινόμενη ισχύς περιόδου 10 λεπτών,  $S_{mCA}$ , αν και προτείνεται η χρήση της μέγιστης ισχύος 1 λεπτού,  $S_{60A}$ , η οποία γενικά είναι υψηλότερη της  $S_{mCA}$ .

Μετά τη σύνδεση μίας μονάδας παραγωγής, το ρεύμα βραχυκύκλωσης του δικτύου αυξάνεται κατά το ρεύμα βραχυκύκλωσης της εγκατάστασης παραγωγής. Η πιθανότητα

εμφάνισης σφάλματος μεγιστοποιείται κοντά στο σημείο σύνδεσης, κυρίως λόγω της συμβολής των εγκαταστάσεων παραγωγής. Όταν δεν είναι γνωστή η ένταση βραχυκύκλωσης της εγκατάστασης παραγωγής, τότε μπορεί να θεωρηθεί ως προσεγγιστική ενεργός τιμή το ακόλουθο πολλαπλάσιο του αθροίσματος των ονομαστικών εντάσεων των συνδεδεμένων γεννητριών:

- Για σύγχρονες γεννήτριες, 8 φορές
- Για ασύγχρονες γεννήτριες, 6 φορές
- Για γεννήτριες με μετατροπείς ισχύος, 1 φορά

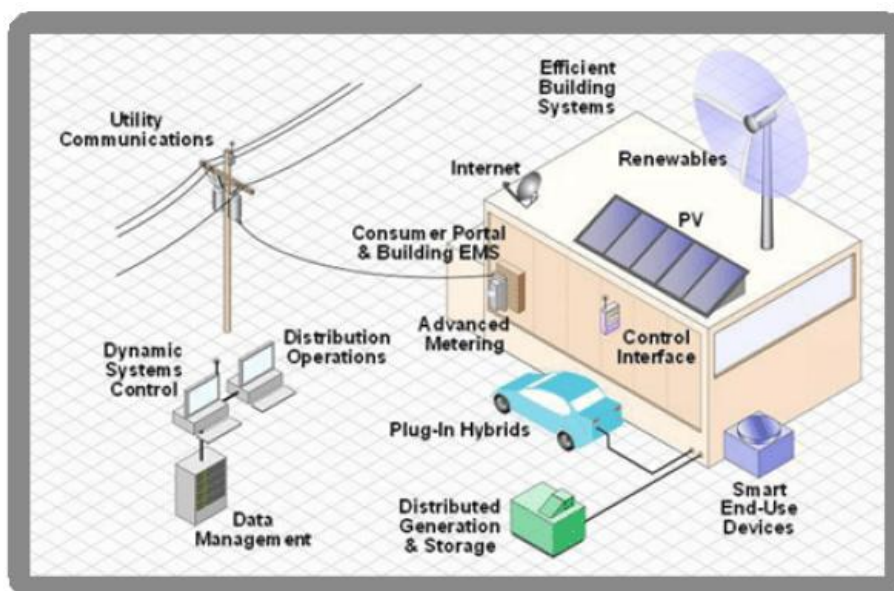
Η ανωτέρω θεώρηση είναι καθαρά προσεγγιστική καθώς αγνοεί τα στοιχεία του δικτύου που παρεμβάλλονται μεταξύ γεννητριών και της θέσης του σφάλματος, τις διαφορετικές φασικές γωνίες των ρευμάτων βραχυκύκλωσης, αλλά και το ότι η συμβολή ορισμένων τύπων γεννητριών αποσβένεται ταχύτατα (π.χ. ασύγχρονες γεννήτριες και μετατροπείς ισχύος με ταχείες προστασίες). Ακριβέστεροι υπολογισμοί είναι δυνατοί με εφαρμογή των σχετικών προτύπων και κανονισμών και με χρήση εξειδικευμένου λογισμικού.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> Το Ευφυές Ηλεκτρικό Δίκτυο

### 2.1 Ορισμός

Τα Ευφυή Ηλεκτρικά Δίκτυα, ή Ευφυή Δίκτυα (ΕΔ), που συναντώνται στη διεθνή βιβλιογραφία με τον όρο Smart Grids, είναι συστήματα στα οποία μικροεπεξεργαστές και αισθητήρες μεταφέρουν πληροφορίες από πραγματικούς ή εικονικούς καταναλωτές σε υπολογιστικές μονάδες, όπου μέσω κατάλληλων αλγορίθμων, ρυθμίζονται οι διασυνδεδεμένες μονάδες παραγωγής ΗΕ. Το ΕΔ μεταφέρει ΗΕ από τους παρόχους στους καταναλωτές χρησιμοποιώντας ψηφιακή τεχνολογία αμφίδρομης επικοινωνίας για τον έλεγχο των διαφόρων τμημάτων του δικτύου. Σκοπός του ΕΔ είναι η εξοικονόμηση ΗΕ, η μείωση του κόστους λειτουργίας, η αύξηση της αξιοπιστίας του δικτύου ΗΕ, η αύξηση της διείσδυσης ΑΠΕ, η βελτίωση της ποιότητας της ΗΕ και η μείωση των τιμολογίων. Οι μονάδες παραγωγής ΗΕ θα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, αλλά και με τους καταναλωτές, σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας τις απώλειες, αυξάνοντας τις αποδόσεις και ωφελώντας το περιβάλλον. Τέτοιου είδους εκσυγχρονισμένα ηλεκτρικά δίκτυα προωθούνται σήμερα από πολλές κυβερνήσεις ανά τον κόσμο με άωτερο στόχο τη διαχείριση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και του φαινομένου της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Τα ΕΔ περιλαμβάνουν ευφυή συστήματα παρακολούθησης που καταγράφουν σε όλο της το εύρος τη ροή ηλεκτρικής ισχύος που πραγματοποιείται στο δίκτυο. Εκτός αυτών, χρησιμοποιούνται επίσης υπεραγωγίμες γραμμές μεταφοράς ισχύος για τη μείωση των απωλειών και για την ενσωμάτωση εναλλακτικών μορφών ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική.



Σχήμα 2 - 1. Ένα παράδειγμα ΕΔ

Ένα παράδειγμα λειτουργίας ενός ΕΔ είναι το εξής: τις ώρες που η ΗΕ αποκτά φθηνή κοστολόγηση μπορεί να δίνεται εντολή για την έναρξη οικιακών συσκευών, όπως τα πλυντήρια, ή εργοστασιακών διεργασιών που μπορούν να λειτουργήσουν σε ακανόνιστες ώρες. Αντίστοιχα σε ώρες αιχμής μπορεί να τερματίζει τη λειτουργία επιλεγμένων ηλεκτρικών συσκευών ώστε να μειώνεται η συνολική ζήτηση. Η τεχνική αυτή ονομάζεται

διαμόρφωση καμπύλης φορτίου. Ένα από τα οφέλη είναι ότι ο καταναλωτής έχει τη δυνατότητα να αποφύγει κάποια επιβάρυνση που αφορά το κόστος, όπως αυτό διαμορφώνεται από την εταιρία παροχής ΗΕ.

Κατά κανόνα οι τεχνολογίες που απαρτίζουν ένα ΕΔ δεν αποτελούν καινοτομίες αλλά στην πλειοψηφία τους έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές παραπλήσιων πεδίων, όπως σε παραγωγικές διαδικασίες, στις τηλεπικοινωνίες κτλ.

Η φιλοσοφία των ΕΔ είναι στενά συνυφασμένη με την έννοια της ΔΠ. Το ΕΔ διευκολύνει την εξοικονόμηση ενέργειας, τη διαχείριση των ροών ισχύος σε πραγματικό χρόνο και την εγκατάσταση μετρητικών λειτουργιών διπλής κατεύθυνσης που απαιτούνται όταν υπάρχει ΔΠ. Παρόλο που τα δίκτυα μεταφοράς είναι ήδη ελέγξιμα σε πραγματικό χρόνο, σε πολλές περιπτώσεις, στις ΗΠΑ και στην ΕΕ, υπακούουν σε παλαιότερες αρχές λειτουργίας και συνεπώς δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις που ανακύπτουν από την ενσωμάτωση διακοπτόμενων πηγών ενέργειας και την βρογχοειδή μεταφορά ενέργειας [8] [9].

Όσον αφορά τους «έξυπνους μετρητές», που έχουν κεντρικό ρόλο στη δομή των ΕΔ, αυτοί αποτελούν αναβαθμισμένους ηλεκτρικούς μετρητές που καταγράφουν την κατανάλωση σε πραγματικό χρόνο και μεταφέρουν τις σχετικές πληροφορίες μέσω του δικτύου για σκοπούς παρακολούθησης και κοστολόγησής της. Μπορούν επίσης να συμβάλουν στη διαμόρφωση της καμπύλης φορτίου.

Σημαντικότερο πρόβλημα στη λειτουργία κάθε ΕΔ είναι η επικοινωνία μεταξύ των απομακρυσμένων κόμβων. Αυτό είναι ιδιαίτερα έντονο στο παράδειγμα των έξυπνων μετρητών. Κάθε μετρητής θα πρέπει να είναι αξιόπιστος και να επιτυγχάνει ασφαλή μεταφορά της πληροφορίας στον κεντρικό ελεγκτή. Λαμβάνοντας υπόψη το εύρος των περιοχών, στις οποίες μπορεί να είναι εγκατεστημένοι οι έξυπνοι μετρητές, το πρόβλημα επικοινωνίας διογκώνεται με εκθετικούς ρυθμούς. Προοπτικές επίλυσης εμφανίζονται μέσα από τον τομέα των τηλεπικοινωνιών, εφαρμόζοντας τεχνολογίες δικτύων κυψέλης, εκπομπών σε εγκεκριμένες συχνότητες, PLC, BPL κτλ. Ρόλο δεν παίζουν μόνο τα μέσα που χρησιμοποιούνται για επικοινωνιακούς σκοπούς αλλά και ο τύπος του δικτύου. Άλλοι τύποι επικοινωνίας, που είναι υπό μελέτη και πιθανά διευκολύνουν, συνδέονται με τη χρήση WiFi και άλλων εφαρμογών σχετιζόμενων με το διαδίκτυο. Παρόλα αυτά, καμία από τις παραπάνω εκδοχές δεν έχει αποδειχθεί βέλτιστη για το σύνολο των εφαρμογών, τουλάχιστον μέχρι στιγμής.

## 2.2 Από το σήμερα στο αύριο

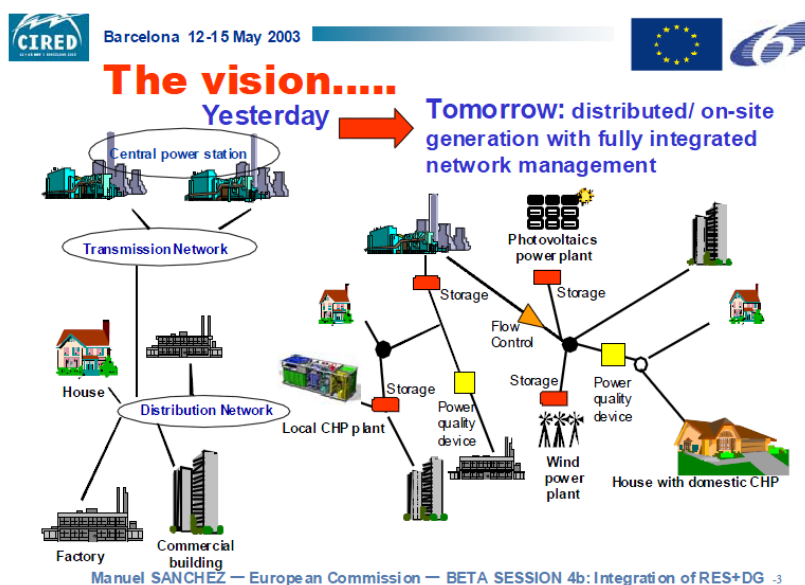
### 2.2.1 Τα παραδοσιακά δίκτυα

Τα δίκτυα ΗΕ αποτελούν εδώ και αρκετές δεκαετίες δίκτυα ζωτικής σημασίας για τους παραγωγούς και τους καταναλωτές. Η βασική αρχή λειτουργίας του παραδοσιακού δικτύου ΗΕ είναι ότι η ισχύς ρέει προς μία κατεύθυνση, από τους μεγάλους σταθμούς παραγωγής ΗΕ, μέσω των συστημάτων μεταφοράς και διανομής, στον τελικό καταναλωτή – πελάτη. Η μεταφορά και διανομή της ΗΕ και ο έλεγχος του δικτύου γίνονται κατά συγκεντρωτικό τρόπο από κεντρικούς σταθμούς, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για μεγάλες περιοχές. Επιπλέον, υπάρχει ελάχιστη ή και μηδενική διαδραστικότητα των καταναλωτών και μηδενική επικοινωνία με τα άκρα του δικτύου.

Τα ηλεκτρικά δίκτυα που εξυπηρετούν μέχρι τώρα τους καταναλωτές έχουν εγκατασταθεί σταδιακά τα τελευταία εκατό χρόνια χωρίς να είναι σε θέση να αφομοιώσουν την απελευθέρωση της αγοράς ΗΕ και τις τεχνολογικές καινοτομίες. Το μοντέλο λειτουργίας της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ΗΕ έχει αρχίσει να αμφισβητείται για τους παρακάτω λόγους:

1. Οι εταιρίες ΗΕ στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες πλέον πρέπει να μετατραπούν από κοινωφελείς και καθετοποιημένους οργανισμούς σε επιχειρήσεις ανταγωνιστικές με διαχωρισμό της παραγωγής, διανομής και μεταφοράς της ΗΕ. Υπό το πρίσμα αυτό είναι απαραίτητη η ριζική αλλαγή της δομής και του τρόπου λειτουργίας των δικτύων.
2. Η ανάγκη για αξιοποίηση ΔΠ με στόχο τη βελτίωση της αποδοτικότητας των δικτύων και την αύξηση της παραγωγής μέσω της συμπαραγωγής ΗΕ.
3. Το μεγάλο εύρος διαφοροποίησης στις απαιτήσεις των καταναλωτών. Τα συμφέροντα των καταναλωτών με αυξημένες ανάγκες αξιοπιστίας αντικρούονται με το κόστος αύξησης της αξιοπιστίας σε καταναλωτές οι οποίοι δεν απαιτούν τέτοια επίπεδα αξιοπιστίας αλλά καλούνται να πληρώσουν το κόστος. Πλέον κάθε ένας καταναλωτής είναι πελάτης που συμμετέχει στην απελευθερωμένη αγορά ΗΕ.
4. Οι αυστηρές απαιτήσεις για παροχή διαρκώς βελτιούμενης ποιότητας ΗΕ.
5. Η ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κγγοτο πρέπει να μειωθεί η χρήση ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται από τους μεγάλους σταθμούς παραγωγής γιατί οι ρύποι που εκπέμπουν είναι αρκετά επιβλαβείς για το περιβάλλον. Συνεπώς, η χρήση τεχνολογιών ΑΠΕ είναι μονόδρομος για την προστασία του περιβάλλοντος και τη βιωσιμότητα των δικτύων ΗΕ.
6. Η ραγδαία ανάπτυξη τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών και πληροφοριακών συστημάτων που καθιστούν ευκολότερο τον αποκεντρωμένο έλεγχο των ΣΗΕ και χαράσσουν νέους δρόμους για τις τεχνικές λειτουργίες των δικτύων διανομής.

## 2.2.2 Τα δίκτυα του μέλλοντος



Σχήμα 2 - 2. Όραμα της Ε.Ε. για την μεταβολή του τοπίου στον τομέα της ενέργειας [8].



Τα δίκτυα του μέλλοντος πρέπει να διασφαλίζουν την ασφαλή και βιώσιμη παροχή ΗΕ, να αξιοποιούν τις νέες τεχνολογίες, να προσαρμόζονται στις αλλαγές της πολιτικής δράσης και της επιχειρηματικής δραστηριότητας και να ενσωματώνουν τεχνολογίες παραγωγής που δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον. Επίσης πρέπει να δώσουν τη δυνατότητα στους καταναλωτές να είναι διαδραστικοί (interactive) με το δίκτυο. Τα πελατοκεντρικά δίκτυα αποτελούν καθοριστικό μελλοντικό στόχο. Οι αναγκαίες αλλαγές θα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη σχεδίαση, υλοποίηση και στον έλεγχο των δικτύων. Τα ηλεκτρικά δίκτυα του μέλλοντος πρέπει να είναι:

- **Αξιόπιστα (reliable)**: να επιτυγχάνουν υψηλή ασφάλεια και ποιότητα της παροχής ΗΕ, ελαχιστοποιώντας την αβεβαιότητα και τους κινδύνους λειτουργίας.
- **Οικονομικά (economic)**: να επιτυγχάνουν αποτελεσματικότερη διαχείριση και αξιοποίηση της ΗΕ και επιτηρήσιμο ελεύθερο ανταγωνισμό και ρύθμιση.
- **Προσαρμόσιμα (flexible)**: να είναι σε θέση να ανταποκριθούν στις ανάγκες και τις προκλήσεις του μέλλοντος.
- **Προσβάσιμα (accessible)**: να επιτρέπουν τη δυνατότητα σύνδεσης σε κάθε είδους παραγωγούς και χρήστες, ιδιαίτερα για ενσωμάτωση ΑΠΕ με ελάχιστη ή και μηδενική περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Στην κατεύθυνση αυτή, ένα σημαντικό ποσοστό της ΗΕ που παράγεται από τις μεγάλες ρυπογόνες μονάδες πρέπει να αντικατασταθεί από τη ΔΠ και τις ΑΠΕ, ενώ η διαχείριση της ζήτησης πρέπει να βελτιστοποιήσει την αξιοποίηση των μονάδων παραγωγής.

### 2.3 Υλοποίηση ευφύων δικτύων

Όπως αναφέρθηκε, στόχος των ΕΔ είναι να συνεισφέρουν στη βιώσιμη ανάπτυξη. Το ΕΔ πρέπει να έχει τη δυνατότητα επικοινωνίας αμφίδρομης κατεύθυνσης καθώς και τη συνεχή πληροφορία προς τον χρήστη. Συνεπώς το δίκτυο ΗΕ καθίσταται διαδραστικό τόσο για τις μονάδες παραγωγής όσο και για τα φορτία.

Σε αυτό το πλαίσιο, οι έξυπνοι μετρητές, τα αυτοματοποιημένα συστήματα διαχείρισης και οι τηλεπικοινωνίες – μαζί με άλλα μέσα επικοινωνίας που ήδη χρησιμοποιούν τα ηλεκτρικά δίκτυα – αποτελούν την πύλη για την πρόσβαση στο δίκτυο του μέλλοντος. Συγκεκριμένα διευκολύνουν την διαχείριση του δικτύου σε πραγματικό χρόνο τόσο σε επίπεδο καταναλωτών, όπως είναι η διαμόρφωση της ζήτησης ισχύος, όσο και σε επίπεδο παραγωγών, όπως είναι ο έλεγχος της ΔΠ.

Τα συστήματα ελέγχου και προστασίας σε ευρεία περιοχή (Wide area monitoring and protection, WAM & WAP) μπορούν να εφαρμοστούν για να διαχειριστούν τυχόν συμφορήσεις στα συστήματα μετάδοσης, με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η ασφάλεια και η αξιοπιστία της λειτουργίας του δικτύου.

Κατά την ανάπτυξη των νέων δικτύων, παρατηρείται ότι η επικοινωνία σε κάθε επίπεδο είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η ανάγκη για μετάδοση πληροφορίας μεταξύ των χρηστών του δικτύου επιβεβαιώνει ότι η πληροφορία επηρεάζει τη σχεδίαση των δικτύων. Οι πιο πρόσφατες τεχνολογίες ενσωματώνονται στο δίκτυο του μέλλοντος, ενώ η προσέγγιση της σχεδίασής του είναι εύκολα προσαρμόσιμη σε περαιτέρω εξελίξεις. Όταν τα έξυπνα δίκτυα τεθούν σε εφαρμογή θα υπάρξει διπλής κατεύθυνσης ροή τόσο πληροφορίας, όσο και ενέργειας μεταξύ των παρόχων και των χρηστών, ενώ η λήψη αποφάσεων και ο έλεγχος θα διασκορπίζονται σε όλους τους κόμβους του δικτύου.





Σχήμα 2 - 3. Το δίκτυο του μέλλοντος

Με βάση όλα τα παραπάνω είναι σημαντικό να τονισθεί ο ρόλος της τεχνολογίας της πληροφορικής και των επικοινωνιών (Information & Communication Technology, ICT), ιδιαίτερα των τηλεπικοινωνιών, στον τομέα της προσαρμογής των δικτύων ΗΕ σε πραγματικού χρόνου ενέργειες καθώς και στη δυνατότητα διαχείρισης του δικτύου, τα οποία δεν μπορούν να υποστηριχθούν επαρκώς από την υπάρχουσα γενιά του διαδικτύου. Παρόλο που το πρωτόκολλο του Διαδικτύου είναι καθολικό, απαιτείται ένας πιο αποδοτικός τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός για ένα διασπαρμένο έλεγχο πραγματικού χρόνου των δικτύων ΗΕ. Η πραγματικού χρόνου απόδοση του Διαδικτύου, ως μέσο επικοινωνίας, είναι γνωστή και είναι πολύ δύσκολο να αξιολογήσει και να κρίνει την απαιτούμενη εξισορρόπηση ισχύος κάθε χρονική στιγμή. Η αυξανόμενη ανάγκη για έλεγχο οδηγεί σε μία δραματική αύξηση διακίνησης πληροφορίας, η οποία προέρχεται από το σύνολο των δεδομένων και εντολών. Η διακίνηση πληροφοριών, σε συνδυασμό με τις ροές ισχύος, συμβάλλουν στην δημιουργία του ΕΔ.

## 2.4 Επικοινωνία ευφυών δικτύων

### 2.4.1 Διαθέσιμες τηλεπικοινωνιακές υποδομές για την επικοινωνία των ευφυών δικτύων

Οι τεχνολογίες των τηλεπικοινωνιών αποτελούν την αναγκαία υποδομή για τη διαμόρφωση και ολοκλήρωση ενός ΕΔ. Οι λειτουργίες και οι εφαρμογές ενός ΕΔ απαιτούν την αμφίδρομη επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο της κεντρικής μονάδας ελέγχου και των ενδεχομένως εκατομμυρίων έξυπνων συσκευών που είναι τοποθετημένες και διασκορπισμένες στο δίκτυο ΗΕ. Ορισμένες βασικές αρχές σχεδιασμού και απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS) είναι οι ακόλουθες:

1. Καθολική παρουσία
2. Επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο
3. Καθορισμένη ταχύτητα μετάδοσης (εύρος ζώνης)

4. Υψηλή διαθεσιμότητα και αξιοπιστία
5. Επεκτασιμότητα
6. Ισχυρή ασφάλεια

Ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο το οποίο πετυχαίνει αυτό το επίπεδο απόδοσης είναι ιδιαίτερα πολύτιμο για την επένδυση στην υλοποίηση ενός ΕΔ.

Ως προς την επίτευξη επικοινωνίας των ΕΔ οι τηλεπικοινωνιακές υποδομές που είναι διαθέσιμες μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται συνήθεις τεχνολογίες τοπικών δικτύων (LAN technologies), για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες σε επίπεδο ΕΔ, στο οποίο υπάρχει υψηλή ανάγκη παραγωγής πληροφορίας στους κόμβους του δικτύου, όπως είναι οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι υποσταθμοί ΥΤ/ΧΤ. Τέτοιες τεχνολογίες είναι η ενσύρματη επικοινωνία Ethernet των τοπικών δικτύων, η WiFi επικοινωνία, BlueTooth / ZigBee ή παρόμοιες τεχνολογίες μικρής ασύρματης εμβέλειας. Στη δεύτερη κατηγορία εντάσσονται τεχνολογίες μητροπολιτικών δικτύων (MAN technologies) για να καλύψουν τις ανάγκες ολόκληρου του δικτύου. Αυτές οι τεχνολογίες επικοινωνιών είναι οι ενσύρματες (οπτικές ίνες ή πιθανή DSL πρόσβαση), οι ασύρματες (GSM, 3G, 4G, Metro WiFi, WiMax), οι δορυφορικές, η δυνατότητα ευρυζωνικής πρόσβασης μέσω ηλεκτρικών γραμμών (Broadband over Power Line, BPL), οι υβριδικές λύσεις όπως είναι η ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση μέσω ηλεκτρικών γραμμών (W – BPL).

Στον Πίνακα 2 – 1 παρουσιάζονται οι διαθέσιμες υποδομές τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών για μητροπολιτικά δίκτυα, καθώς και τα χαρακτηριστικά που έχουν όσο αφορά τη διαθεσιμότητα, την ποιότητα υπηρεσίας (σταθερότητα και αξιοπιστία) και το κόστος.

*Πίνακας 2 - 1. Σύγκριση των τηλεπικοινωνιακών υποδομών για την υλοποίηση ΕΔ*

	Κάλυψη - Διαθεσιμότητα	Ποιότητα υπηρεσίας (QoS)	Κόστος
Οπτικές ίνες	Αστικές περιοχές	Πολύ καλή	Αρκετά υψηλό
GSM / 3G	Αστικές και ορισμένες αγροτικές περιοχές	Μέτρια (χαμηλή αξιοπιστία)	Χαμηλό
4G / WiMax	Αστικές και ορισμένες αγροτικές περιοχές	Καλή	Μέτριο
Δορυφορικές επικοινωνίες	Καθολική	Πολύ καλή	Πολύ υψηλό
Wireless – BPL	Καθολική	Πολύ καλή	Μέτριο

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται αντιληπτό ότι η τεχνολογία BPL, και συγκεκριμένα η ασύρματη τεχνολογία BPL (W – BPL), προσφέρει συγκριτικά με τις υπόλοιπες τεχνολογίες μία ποικιλία λύσεων για την επικοινωνία των ΕΔ. Μπορεί άλλες τεχνολογίες να υπερτερούν σε κάποιους συγκεκριμένους τομείς, ωστόσο η τεχνολογία W – BPL αθροιστικά υπερέρχει λόγω των χαρακτηριστικών που διαθέτει.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου επεξηγείται η λειτουργία της τεχνολογίας BPL καθώς και γιατί αυτή αποτελεί την καταλληλότερη επιλογή για την επικοινωνία των ΕΔ.

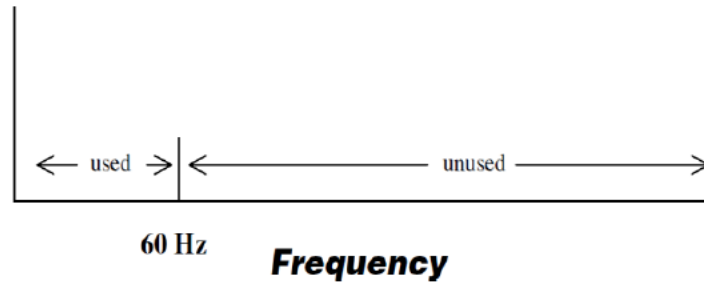
#### 2.4.2 Ευρυζωνική πρόσβαση μέσω δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας

Η ευρυζωνική μετάδοση πληροφορίας μέσω γραμμών ηλεκτρικής ισχύος ή αλλιώς τεχνολογία Broadband over Power Lines (BPL) όπως ονομάζεται (συναντάται και με τους όρους PLC – Powerline Communications, PLT – Powerline Telecommunications, BPLC – Broadband Powerline Communications), είναι μία αναδυόμενη τεχνολογία η οποία παρέχει σύνδεση υψηλής ταχύτητας στο Διαδίκτυο για το γραφείο ή το σπίτι μέσω σύνδεσης στο ηλεκτρικό δίκτυο. Οι γραμμές ηλεκτρικής ισχύος, εκτός από τη μεταφορά και τη διανομή ΗΕ μπορούν ταυτόχρονα να μεταδώσουν πληροφορία με ρυθμό μετάδοσης που μπορεί να υπερβεί, προς το παρόν θεωρητικά, τα 200 Mbps στο φυσικό επίπεδο. Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον γύρω από αυτή την τεχνολογία εστιάζεται στο γεγονός ότι πρακτικά κάθε σπίτι ή γραφείο είναι συνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο και έχει εγκατεστημένες ηλεκτρικές καλωδιώσεις. Έτσι οποιοσδήποτε μηχανισμός που παρέχει τη δυνατότητα να μεταδώσει δεδομένα σε υψηλούς ρυθμούς πάνω από το ηλεκτρικό δίκτυο, έχει τη δυνατότητα να παρέχει μέθοδο πρόσβασης στο Διαδίκτυο πραγματικά από οποιοδήποτε σημείο.

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας ευρυζωνικής πρόσβασης μέσω ηλεκτρικού δικτύου εξυπηρετεί και άλλους σκοπούς [10]. Ενώ η ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο μπορεί να αποτελέσει κύρια εφαρμογή των συστημάτων BPL, το πλήθος των πιθανών εφαρμογών που μπορούν να εξυπηρετηθούν είναι μεγάλο και αποτελεί μία επιχειρησιακή και επιχειρηματική δραστηριότητα που τώρα αρχίζει να αναπτύσσεται. Τα οφέλη από την αναμενόμενη εγκατάσταση των συστημάτων BPL επί του δικτύου MT είναι άμεσα και έμμεσα. Το ίδιο το δίκτυο ΗΕ αποκτά τη δυνατότητα αυτοδιαχείρισης, ενώ παράλληλα οι εταιρίες παροχής ΗΕ μπορούν να λειτουργήσουν και ως πάροχοι ευρυζωνικής πρόσβασης στο Διαδίκτυο σε κάθε είδους χρήστη με ότι αυτό συνεπάγεται.

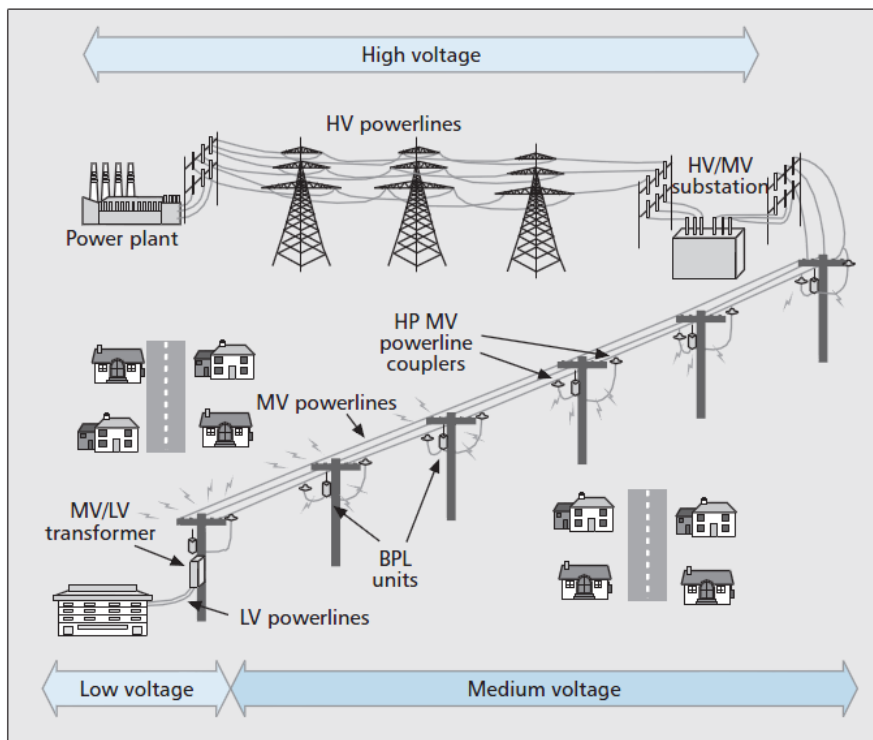
Η δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων πάνω από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά πολλούς τρόπους είναι βασισμένη στην ίδια ιδέα με την οποία οι τηλεφωνικές εταιρίες παρατήρησαν ότι το ζεύγος καλωδίων που έφτανε μέχρι το σπίτι και το γραφείο, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να μεταδώσει δεδομένα επιπλέον της παραδοσιακής υπηρεσίας φωνής. Οι τηλεφωνικές εταιρίες αναγνώρισαν το γεγονός ότι το ζεύγος καλωδίων μπορούσε να υποστηρίξει συχνότητες μέχρι περίπου 1 MHz. Επειδή μία τηλεφωνική συνομιλία χρησιμοποιεί περίπου 4 kHz από το διαθέσιμο εύρος, είναι δυνατή η μετάδοση δεδομένων με διαμόρφωση σε συχνότητες πάνω από αυτές που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση της φωνής. Αυτή η τεχνική, με την οποία η φωνή μεταδίδεται σε συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων, ενώ τα δεδομένα χρησιμοποιώντας διαμόρφωση μεταδίδονται σε διαφορετικό εύρος συχνοτήτων, αναφέρεται ως πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (frequency domain multiplexing – FDM) και χρησιμοποιήθηκε ως βάση για την ανάπτυξη των DSL και καλωδιακών μόντεμ τεχνολογιών.

Κατά παρόμοιο τρόπο η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι στο 60 Hz στη Βόρεια Αμερική και στα 50 Hz στην Ευρώπη και σε πολλές άλλες περιοχές ανά τον κόσμο. Αυτό σημαίνει ότι, παρόμοια με τον τοπικό βρόχο μίας τηλεφωνικής εταιρίας, οι ηλεκτρικές γραμμές έχουν πολλές συχνότητες διαθέσιμες για χρησιμοποίησή τους για άλλους σκοπούς, συμπεριλαμβανομένης και της μετάδοσης δεδομένων. Για παράδειγμα σε μία γραμμή στη Βόρεια Αμερική (όπου επομένως η συχνότητα μετάδοσης του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι τα 60 Hz), οι συχνότητες πάνω από τα 60 Hz είναι αχρησιμοποίητες. Έτσι, η εξέλιξη της μετάδοσης δεδομένων στις αχρησιμοποίητες συχνότητες των ηλεκτρικών γραμμών μεταφοράς βασίζεται στις ίδιες αρχές που επέτρεψαν στην DSL τεχνολογία να παρέχει σε χιλιάδες συνδρομητές πρόσβαση υψηλής ταχύτητας στον παγκόσμιο ιστό.



Σχήμα 2 - 4. Χρησιμοποίηση συχνοτήτων στην ηλεκτρική γραμμή (BPL τεχνολογία)

Η τεχνολογία BPL χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό δίκτυο για επικοινωνιακούς σκοπούς. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που μεταφέρουν το σήμα επικοινωνίας διαδίδονται μέσω των γραμμών MT μαζί με το ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα εύρος συχνοτήτων 1 – 34 MHz. Όταν μεταφέρονται BPL σήματα, τα εναέρια καλώδια MT ακτινοβολούν, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2 – 5.

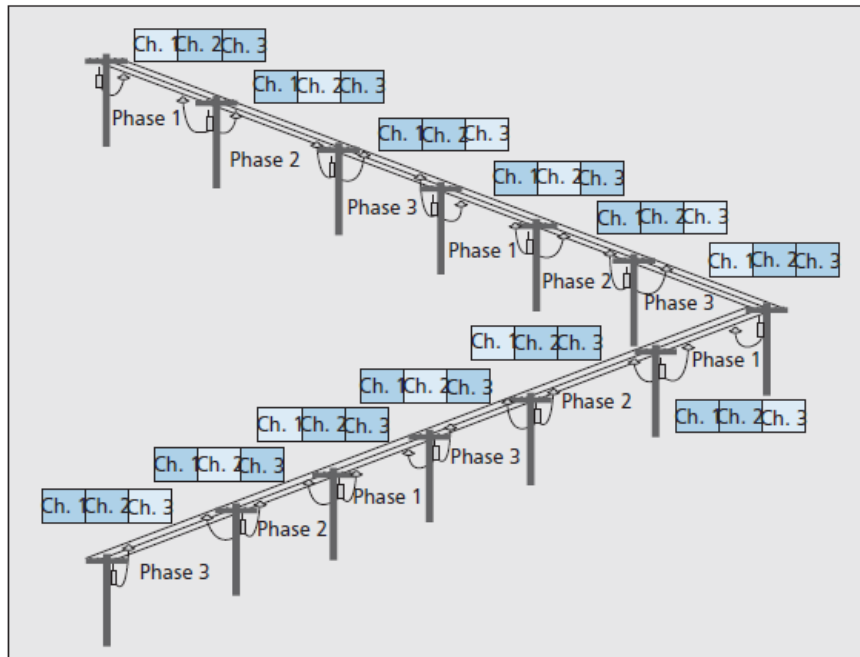


Σχήμα 2 - 5. Ηλεκτρικό δίκτυο με ενσωματωμένη υβριδική W – BPL τεχνολογία.

Ως εκ τούτου, το εύρος συχνοτήτων του BPL υπόκειται σε κανονισμούς που επιβάλλονται από την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα του BPL με άλλες ασύρματες υπηρεσίες. Το βασικό στοιχείο του δικτύου είναι το PLC μόντεμ, το οποίο είναι ενσωματωμένο στην BPL μονάδα. Το PLC μόντεμ διοχετεύει το σήμα στις γραμμές MT μέσω επαγωγικών ζεύξεων, επιτρέποντας έτσι την ταυτόχρονη μετάδοση του BPL σήματος και της ηλεκτρικής ισχύος.

Σε κάθε μονάδα BPL το μεταδιδόμενο σήμα ενισχύεται και αναμεταδίδεται μέσω ενός άλλου αγωγού, διαφορετικής φάσης, ακολουθώντας κυκλική εναλλαγή, για την αποφυγή παρεμβολών με το μη ενισχυμένο αντίγραφο του σήματος, το οποίο εξακολουθεί να μεταδίδεται στην ίδια φάση. Το εύρος συχνοτήτων χωρίζεται σε τρία κανάλια των 10 MHz,

τα οποία και αυτά εναλλάσσονται κυκλικά. Η εναλλαγή της φάσης και του καναλιού φαίνονται στο Σχήμα 2 – 6.



Σχήμα 2 - 6. Εναλλαγή φάσης και κατανομή καναλιών κατά την μετάδοση BPL σήματος κατά μήκος μίας γραμμής MT

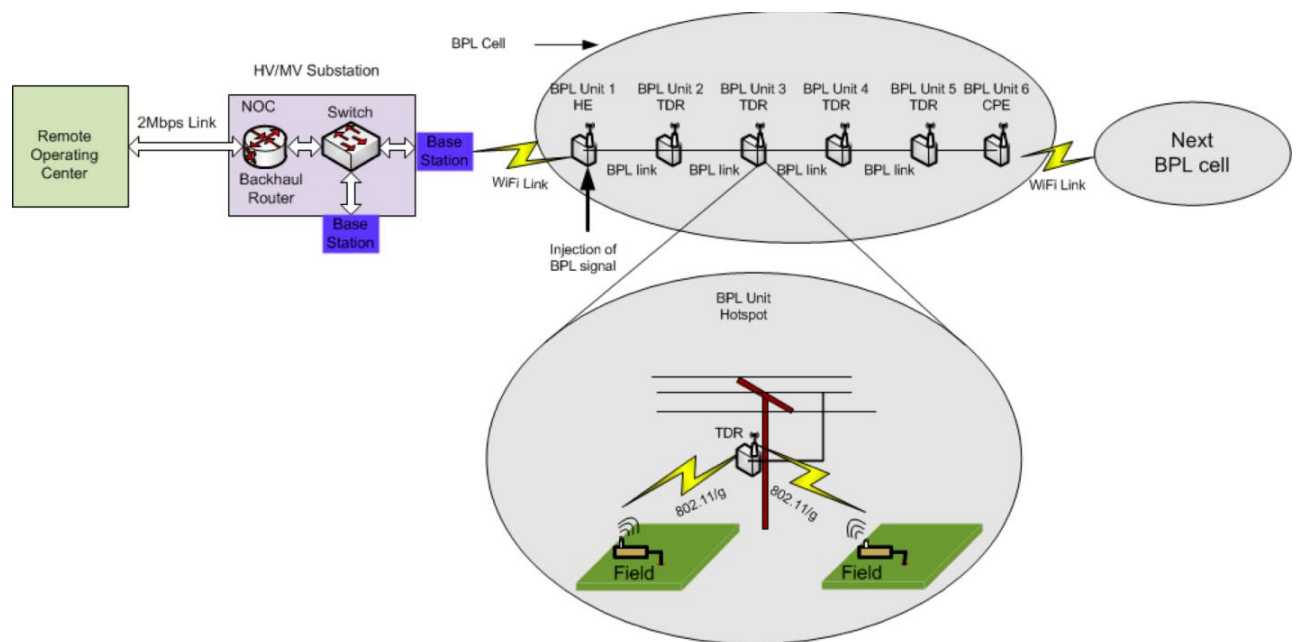
Χρησιμοποιώντας αυτή την κυκλική εναλλαγή ελαχιστοποιείται το φαινόμενο cross talk, το οποίο επηρεάζει τη μετάδοση σημάτων BPL, δεδομένου ότι μόνο μία φάση μεταφέρει ένα BPL σήμα κάθε φορά, και το αναπαραγόμενο αντίγραφο του σήματος δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη πολλαπλών αντιγράφων τα οποία μεταδίδονται μέσω της ίδιας φάσης.

Τα εναέρια καλώδια της MT, τα οποία κατασκευάζονται είτε από χαλκό είτε από αλουμίνιο, υποστηρίζονται από πυλώνες, οι οποίοι τοποθετούνται σε απόσταση 50m ο ένας από τον άλλο. Οι BPL μονάδες τοποθετούνται στους πυλώνες της MT σε απόσταση περίπου 500m, ενώ η ζεύξη των σημάτων γίνεται πάνω στα καλώδια. Οι εγκατεστημένες BPL μονάδες μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως επαναλήπτες (repeaters) είτε ως συγκεντρωτές (aggregators). Ο επαναλήπτης λειτουργεί ως συσκευή πρώτου στρώματος (layer – 1), εκτελώντας λήψη, αναπαραγωγή και έγχυση του BPL σήματος. Ο συγκεντρωτής λειτουργεί ως συσκευή δεύτερου στρώματος (layer – 2), εκτελώντας MAC (medium access control) διεργασίες. Ο συγκεντρωτής ελέγχει την συνολική κίνηση που προκαλείται από τους επαναλήπτες, οι οποίοι συνιστούν το BPL δίκτυο. Ο πρώτος συγκεντρωτής σε κάθε γραμμή MT λειτουργεί ως πύλη για την παραγόμενη W – BPL κίνηση που παράγεται σε κάθε γραμμή MT. Ανεξάρτητα από το ρόλο τους στην τοπολογία του δικτύου, οι BPL μονάδες είναι ικανές να υποστηρίξουν τόσο την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση σε τελικούς χρήστες (end users), όσο και να επιτρέπουν την από σημείο σε σημείο (point – to – point) ασύρματη σύνδεση μεταξύ των συγκεντρωτών και των υπόλοιπων εγκατεστημένων BPL μονάδων σε διάφορα τμήματα του BPL δικτύου, όταν αυτό επιβάλλεται από τις ανάγκες του δικτύου. Επιπλέον αυτές οι δυνατές συνδέσεις παρέχουν τη δυνατότητα βιωσιμότητας του δικτύου σε περίπτωση που κόβονται οι ενσύρματες συνδέσεις, αφού κάθε μονάδα εγγυάται ασύρματη σύνδεση μερικών ωρών, όταν λειτουργεί με μπαταρία.



### 2.4.3 W – BPL τεχνολογία – κάνει το δίκτυο πραγματικά ευφύες

Τα υβριδικά W – BPL δίκτυα συνδυάζουν την καθολική παρουσία του ηλεκτρικού δικτύου με την τεχνολογία WiFi με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός αξιόπιστου, αποδοτικού και οικονομικού τρόπου πρόσβασης στο δίκτυο. Η BPL τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων μέσω των ηλεκτρικών γραμμών, ταυτόχρονα με τη μετάδοση της ΗΕ, προσφέροντας τη δυνατότητα ελέγχου και διαχείρισης του ηλεκτρικού δικτύου, ενώ παράλληλα προσφέρει ευρυζωνικές υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες. Το βασικό πλεονέκτημα της BPL τεχνολογίας είναι ότι το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο ενσωματώνεται σε ένα ήδη υπάρχον δίκτυο, το δίκτυο ΗΕ. Κατά συνέπεια, δεν υπάρχει ανάγκη για την εγκατάσταση νέων ενσύρματων υποδομών. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα επιλογής της πρόσβασης στον τελικό χρήστη, είτε ασύρματα με WiFi, είτε αξιοποιώντας το δίκτυο XT.



Σχήμα 2 - 7. W – BPL δίκτυο

Η BPL τεχνολογία προσφέρει βέλτιστη λύση για την αντιμετώπιση των επικοινωνιακών προκλήσεων που προκύπτουν σε ένα ΕΔ. Αρχικά, η υβριδική W – BPL λύση δίνει τη δυνατότητα παροχής ευρυζωνικών υπηρεσιών σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές, με χαμηλό κόστος εγκατάστασης. Προσφέρει αρκετά υψηλή υπηρεσία και αξιοπιστία, δεδομένου ότι διαθέτει επιπλέον και τη δυνατότητα ασύρματης WiFi λειτουργίας σε περίπτωση σφάλματος των γραμμών ΗΕ. Η τεχνολογία W-BPL είναι αρκετά οικονομική, αφού το συνολικό κόστος συνίσταται στο κόστος εγκατάστασης και στο κόστος λειτουργίας.

Εκτός από τα ανωτέρω οφέλη, ένα BPL δίκτυο προσφέρει μία ακτινογραφία των γραμμών MT. Αυτό οφείλεται στο ότι παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης – ελέγχου των γραμμών σε πραγματικό χρόνο, εντοπίζει πιθανές αστοχίες του ηλεκτρικού δικτύου, μειώνει τις απώλειες μεταφοράς, βελτιώνει την ποιότητα της ΗΕ, κατηγοριοποιεί τα σφάλματα που γίνονται στις γραμμές ανάλογα με το προφίλ θορύβου, συμβάλλοντας έτσι στην πρόβλεψη σφαλμάτων αλλά και στην άμεση επιδιόρθωση των γραμμών μεταφοράς. Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν, συμπεραίνεται ότι οι BPL μονάδες μπορούν να λειτουργήσουν και ως τηλεπικοινωνιακοί κόμβοι αλλά και ως συσκευές πραγματικού ελέγχου του ηλεκτρικού δικτύου.

Τέλος, καθοριστικός είναι ο ρόλος του BPL δικτύου στη μέτρηση και τιμολόγηση της ΗΕ. Προσφέρει την πραγματική παρακολούθηση κατανάλωσης και παραγωγής, την τιμολόγηση πραγματικής κατανάλωσης καθώς και την αντιμετώπιση φαινομένων κλοπής ενέργειας.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### Φωτοβολταϊκή παραγωγή σε αυτόνομο νησιωτικό σύστημα

#### 3.1 Γενική τοπολογία αυτόνομου νησιωτικού συστήματος

Το ελληνικό ΣΗΕ είναι διασυνδεδεμένο με ΣΗΕ γειτονικών χωρών και εξυπηρετεί όλη την ηπειρωτική Ελλάδα και ορισμένα διασυνδεδεμένα με το σύστημα νησιά όπως η Εύβοια. Τα περισσότερα ελληνικά νησιά όμως, τροφοδοτούνται από αυτόνομα ΣΗΕ αφού δεν συνδέονται με το ηπειρωτικό ελληνικό ΣΗΕ. Ένα αυτόνομο ΣΗΕ μπορεί να παρέχει ενέργεια σε ένα μόνο νησί ή σε περισσότερα (δύο έως τέσσερα) που είναι μεταξύ τους διασυνδεδεμένα. Τα Αυτόνομα Νησιωτικά Συστήματα στην Ελλάδα (ΑΝΣ) καταγράφονται στον Πίνακα 3 – 1.

Πίνακας 3 - 1. Αυτόνομα νησιωτικά συστήματα στην Ελλάδα

ΚΡΗΤΗ	ΡΟΔΟΣ – ΧΑΛΚΗ
ΚΩΣ – ΚΑΛΥΜΝΟΣ – ΛΕΡΟΣ – ΛΕΙΨΟΙ	ΚΑΡΠΑΘΟΣ – ΚΑΣΟΣ
ΛΗΜΝΟΣ	ΣΙΦΝΟΣ
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	ΠΑΤΜΟΣ
ΜΗΛΟΣ – ΚΙΜΩΛΟΣ	ΚΥΘΝΟΣ
ΑΜΟΡΓΟΣ	ΑΣΤΥΠΑΛΛΑΙΑ
ΜΥΚΟΝΟΣ	ΣΕΡΙΦΟΣ
ΧΙΟΣ – ΨΑΡΑ	ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ
ΣΥΡΟΣ	ΑΓΙΟΣ ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ
ΙΚΑΡΙΑ	ΑΝΑΦΗ
ΠΑΡΟΣ – ΝΑΞΟΣ – ΙΟΣ	ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ
ΣΑΜΟΣ	ΔΟΝΟΥΣΑ
ΣΚΥΡΟΣ	ΕΡΕΙΚΟΥΣΑ
ΣΥΜΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ
ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ – ΘΗΡΕΣΙΑ	ΟΘΩΝΟΙ

Τα ΑΝΣ χαρακτηρίζονται από απουσία διασυνδέσεων με γειτονικά συστήματα, η οποία οφείλεται σε γεωγραφικούς, οικονομικούς και πολιτικούς λόγους. Για το λόγο αυτό πρέπει να είναι αυτοδύναμα ως προς την απόκριση στη ζήτηση ισχύος με αξιόπιστο και ασφαλή τρόπο. Τα κυριότερα προβλήματα που σχετίζονται με τη λειτουργία των ΑΝΣ είναι:

1. Απαίτηση για υποστήριξη εφεδρικής λειτουργίας. Στα ΑΝΣ τα χαρακτηριστικά των δικτύων και η διακύμανση της ζήτησης (λόγω, π.χ. τουρισμού) δεν επιτρέπουν την πλήρη κατάργηση των σταθμών βάσης που λειτουργούν με συμβατικά καύσιμα και περιορίζουν τη διείσδυση των ΑΠΕ.
2. Υψηλό κόστος στρεφόμενης εφεδρείας ΗΕ (spinning reserve). Κατά τον προγραμματισμό της λειτουργίας των συμβατικών μονάδων παραγωγής τηρείται πάντοτε στρεφόμενη εφεδρεία, δηλαδή η ονομαστική ισχύς των νηζελογεννητριών που βρίσκονται σε λειτουργία είναι μεγαλύτερη από την ισχύ εξόδου τους, ώστε να είναι σε θέση να αποδώσουν πρόσθετη ισχύ, αν αυτό απαιτηθεί. Η συνολική στρεφόμενη εφεδρεία καθορίζεται από την εφεδρεία που τηρείται για την κάλυψη ενδεχόμενης απώλειας ενέργειας από ΔΠ.
3. Μεγάλο μέγεθος μονάδων παραγωγής συγκρινόμενο με το φορτίο του ΑΝΣ.

4. Μεγάλες διακυμάνσεις στη συχνότητα της τάσης και του ρεύματος εξαιτίας της χαμηλής αδράνειας του ΑΝΣ.
5. Μεγάλες διακυμάνσεις στην τιμή της τάσης εξαιτίας της χαμηλής ισχύος βραχυκύκλωσης.
6. Μεγάλη επίδραση των κυμαινόμενων φορτίων στην ποιότητα της παρεχόμενης ΗΕ.
7. Υψηλό κόστος παραγωγής ΗΕ.
8. Συγκέντρωση της παραγωγής σε λίγες εγκαταστάσεις με επιπτώσεις στην ασφάλεια του ΑΝΣ.
9. Οριακή ευστάθεια του συστήματος.
10. Υψηλοί ρυθμοί αύξησης της ζήτησης και αυστηροί περιβαλλοντικοί όροι για την ανάπτυξη νέων έργων παραγωγής και μεταφοράς, ειδικά σε οικονομίες με υψηλή τουριστική ανάπτυξη.

### 3.1.1 Μονάδες παραγωγής σε αυτόνομο νησιωτικό σύστημα

Τα ΑΝΣ τροφοδοτούνται κατά κανόνα από πετρελαϊκές μονάδες (νηξελογεννήτριες) με καύσιμο μαζούτ ή ντήζελ, οι οποίες δεν είναι αποδεκτό να λειτουργούν κάτω από ένα συγκεκριμένο ποσοστό της ονομαστικής τους ισχύος, κυρίως για λόγους φθορών, αυξημένων αναγκών συντήρησης και αντιοικονομικής λειτουργίας των κινητήρων ντήζελ. Συνήθως, η τάση στην έξοδο των μονάδων παραγωγής συνδέεται κατά γραμμικό τρόπο με τη συνολική φαινόμενη ισχύ που απαιτείται από το δίκτυο.

Η διείσδυση των ΑΠΕ στα νησιά υστερεί, με αποτέλεσμα η κάλυψη των αναγκών σε ΗΕ να βασίζεται στο πετρέλαιο. Η μετάβαση από τα σημερινά συμβατικά δίκτυα με κεντρικούς σταθμούς παραγωγής στα μελλοντικά δίκτυα με μεγάλη διείσδυση της ΔΠ, κυρίως ΑΠΕ και συμπαραγωγής ΗΕ και θερμότητας (ΣΗΘ), συνεπάγεται την ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών και τη διατύπωση του κατάλληλου θεσμικού πλαισίου. Η μεγάλη πρόκληση, όμως, είναι η ανάπτυξη τεχνολογιών αποθήκευσης ΗΕ, ηλεκτρονικών ισχύος και τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών (ICT) για τη διαχείριση του δικτύου.

Πέρα από χρήση συμβατικών σταθμών παραγωγής που βασίζονται στην καύση ορυκτών καυσίμων στα ΑΝΣ η παραγωγή ΗΕ γίνεται και με χρήση ΑΠΕ. Οι κύριες τεχνολογίες ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται σε ΑΝΣ είναι κυρίως τα αιολικά πάρκα και οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί, όπου αυτοί υπάρχουν. Συγκεκριμένα, στον Πίνακα 3 – 2 καταγράφονται η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών πάρκων και των φωτοβολταϊκών σταθμών για ορισμένα ΑΝΣ κατά το έτος 2005 [πηγή ΡΑΕ].

### 3.1.2 Γραμμές μεταφοράς σε αυτόνομο νησιωτικό σύστημα

Στα ΑΝΣ η παραγόμενη ισχύς μεταφέρεται από τους σταθμούς παραγωγής μέσω των γραμμών μεταφοράς στους καταναλωτές. Από τους διάφορους υποσταθμούς ΥΤ / ΜΤ ξεκινούν γραμμές ΜΤ, οι οποίες ανήκουν στο δίκτυο διανομής. Το πλήθος των γραμμών αυτών κυμαίνεται από μία έως πέντε, ενώ το μήκος τους είναι της τάξης των δεκάδων χιλιομέτρων. Ένας τύπος γραμμών είναι οι ΑCSR, με διατομές αγωγών εκφρασμένες σε ΜCM (1 ΜCM = 0.5067 mm<sup>2</sup>).

### 3.1.3 Ζήτηση φορτίου

Για την εκπόνηση οποιασδήποτε μελέτης για σχεδίαση και υλοποίηση ενός ΣΗΕ είναι αναγκαία η γνώση της ζήτησης των φορτίων του συστήματος. Η παρακολούθηση και ο προσδιορισμός της ζήτησης με τις υπάρχουσες τεχνολογίες αποτελούν δύσκολη διαδικασία, η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη σχεδίαση του δικτύου. Τα φορτία του συστήματος

μπορεί να είναι οικιακά, εμπορικά ή βιομηχανικά. Μπορούν να είναι συνδεδεμένα απευθείας με το σταθμό παραγωγής ή να βρίσκονται διασκορπισμένα στο ηλεκτρικό σύστημα του νησιού. Με δεδομένη την ενεργό ισχύ ( $P$ ) και το συντελεστή ισχύος ( $\cos\varphi$ ) η άεργος ισχύς ( $Q$ ) προκύπτει

$$Q = P \cdot \tan\varphi \quad (3.1)$$

Πίνακας 3 - 2. Αιολική και φωτοβολταϊκή ισχύς στα ΑΝΣ της Ελλάδος

ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΝΗΣΙΩΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	ΑΙΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (kW) ΔΕΗ	ΑΙΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (kW) ΙΔΙΩΤΩΝ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΙΣΧΥΣ (kW)
ΚΡΗΤΗ	16800	88971.6	105772	489
ΚΩΣ – ΚΑΛΥΜΝΟΣ – ΛΕΡΟΣ – ΛΕΙΨΟΙ	0	8000	8000	0
ΛΗΜΝΟΣ	1140	0	1140	0
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	2025	9825	11850	1
ΜΗΛΟΣ – ΚΙΜΩΛΟΣ	0	2050	2050	0
ΑΜΟΡΓΟΣ	0	0	0	0
ΜΥΚΟΝΟΣ	0	300	300	0
ΧΙΟΣ – ΨΑΡΑ	5500	3050	8550	0
ΣΥΡΟΣ	0	2790	2790	0
ΙΚΑΡΙΑ	385	600	985	0
ΠΑΡΟΣ – ΝΑΞΟΣ – ΙΟΣ	0	1800	1800	
ΣΑΜΟΣ	2925	2950	5875	0
ΣΚΥΡΟΣ	0	0	0	0
ΣΥΜΗ	0	0	0	0
ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ – ΘΗΡΕΣΙΑ	0	0	0	0
ΡΟΔΟΣ – ΧΑΛΚΗ	0	12075	12075	0
ΚΑΡΠΑΘΟΣ – ΚΑΣΟΣ	275	950	1225	0
ΣΙΦΝΟΣ	0	0	0	0
ΠΑΤΜΟΣ	0	0	0	0
ΚΥΘΝΟΣ	500	0	500	0

### 3.1.4 Αντιστάθμιση

Ένα βασικό πρόβλημα στα συστήματα μεταφοράς ΗΕ είναι η διατήρηση της τάσης εντός προβλεπόμενων ορίων που αποτελεί πολύπλοκη διαδικασία, ιδιαίτερα όταν το σύστημα τροφοδοτείται από πολλές πηγές και τροφοδοτεί φορτία σε όλα τα επίπεδα τάσεων (ΧΤ, ΜΤ, ΥΤ) του συστήματος. Επομένως, κρίσιμο σημείο αποτελεί η διατήρηση της τάσης σε όλα τα επίπεδα του συστήματος και όχι μόνο σε ένα. Για το λόγο αυτό, η διατήρηση της τάσης δεν μπορεί να γίνεται μόνο από τις γεννήτριες, που αποτελούν τις πηγές ενεργού και άεργου ισχύος, αλλά πρέπει να γίνεται και με άλλες τεχνολογίες παραγωγής σε περισσότερες θέσεις του δικτύου. Για τη διαδικασία αυτή απαιτείται ειδικός εξοπλισμός, η κατάλληλη επιλογή και χρήση του οποίου έχουν σημαντική επίπτωση στη σχεδίαση και τη λειτουργία του συστήματος. Για τη ρύθμιση ή τον έλεγχο της τάσης χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι και συστήματα όπως συστήματα διέγερσης γεννητριών, συστήματα αλλαγής τάσης των Μ/Σ υπό

φορτίο, Μ/Σ ρύθμισης τάσης, χωρητική αντιστάθμιση σειράς, εγκάρσια επαγωγική αντιστάθμιση γραμμών μεταφοράς, πυκνωτές αντιστάθμισης που εγχέουν ενεργό ισχύ.

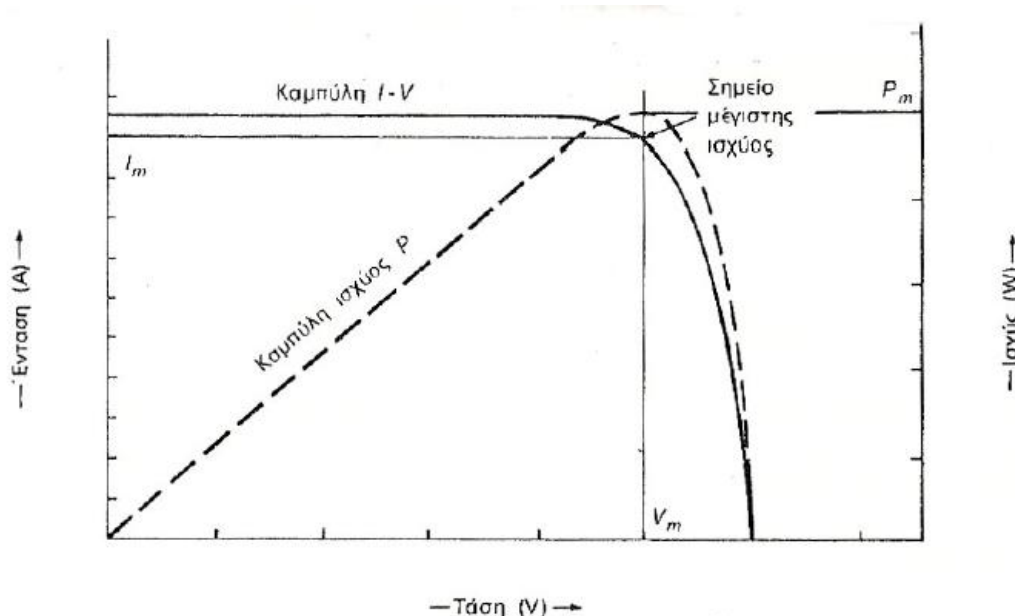
Η αντιστάθμιση της αέργου ισχύος είναι ο αποτελεσματικότερος τρόπος για τη βελτίωση τόσο της ικανότητας μεταφοράς πραγματικής ισχύος όσο και της ευστάθειας της τάσης. Συνηθισμένες μορφές αέργου αντιστάθμισης είναι οι πυκνωτές σε σειρά, οι εγκάρσιοι πυκνωτές ή/και επαγωγές, οι σύγχρονοι αντισταθμιστές και οι στατικοί αντισταθμιστές αέργου ισχύος. Υπάρχουν, ωστόσο, και επιπτώσεις από την κυκλοφορία αέργου ισχύος στο σύστημα. Οι κυριότερες είναι:

- πρόσθετες απώλειες ενεργού ισχύος στις γραμμές και τον εξοπλισμό
- αυξημένη εγκατεστημένη ισχύς γραμμών και εξοπλισμού (επομένως αυξημένες επενδύσεις κεφαλαίων)
- πτώση τάσης από την παραγωγή προς τις θέσεις των φορτίων.

## 3.2 Δομή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος

### 3.2.1 Το σύστημα

Το βασικό δομικό στοιχείο ενός Φωτοβολταϊκού Συστήματος (ΦΣ) είναι το ηλιακό κύτταρο (solar cell). Ένα κύτταρο παράγει μικρή ποσότητα ισχύος που κυμαίνεται από 1 μέχρι 2 W. Για να αυξηθεί η ισχύς στην έξοδο των κυττάρων, τοποθετούνται πολλά κύτταρα μαζί είτε ενώνοντας το θετικό ακροδέκτη του ενός με τον αρνητικό του επόμενου, δηλαδή συνδέοντας τα κύτταρα σε σειρά, οπότε αυξάνεται η τάση, είτε ενώνοντας τους θετικούς ακροδέκτες μεταξύ τους και τους αρνητικούς μεταξύ τους, δηλαδή συνδέοντας τα κύτταρα παράλληλα, οπότε αυξάνεται το ρεύμα. Κατά αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται τα φωτοβολταϊκά (φ/β) πλαίσια (PV modules). Στο Σχήμα 3 – 1 παρουσιάζονται κατά ποιοτική μεταβολή οι χαρακτηριστικές καμπύλες ενός φ/β πλαισίου.



Σχήμα 3 - 1. Ποιοτική μεταβολή τάσης – ρεύματος και τάσης – ισχύος σε ένα φ/β πλαίσιο

Μέσω της συνένωσης πολλών πλαισίων δημιουργούνται μονάδες παραγωγής μεγαλύτερης ισχύος που ονομάζονται συστοιχίες. Επεκτείνοντας τη διαδικασία αυτή μπορεί να επιτευχθεί οποιοδήποτε μέγεθος ηλεκτρικής ισχύος απαιτείται.

Το βασικό στοιχείο που συναντάται στο εμπόριο για τη δημιουργία ΦΣ είναι το φ/β πλαίσιο. Το μέγεθος ενός φ/β πλαισίου χαρακτηρίζεται από την ισχύ που μπορεί να παραγάγει. Συγκεκριμένα, χαρακτηρίζεται με βάση την ισχύ που είναι σε θέση να παραγάγει υπό καθορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας φ/β κυττάρου (25°C) και ακτινοβολίας (1000 W/m<sup>2</sup>) η οποία είναι γνωστή ως **ισχύς αιχμής** (*peak Watt, Wp*). Για παράδειγμα, όταν μια φ/β γεννήτρια δύναται να παράγει 10 Wp, αυτό σημαίνει ότι παράγει 10 W για ηλιακή ακτινοβολία 1000 W/m<sup>2</sup> και θερμοκρασία κυττάρου 25°C. Τα φ/β πλαίσια αποτελούν ένα μέρος του ΦΣ, που σχεδιάζεται για συγκεκριμένες κατά περίπτωση λειτουργίες. Οι διατάξεις που συνυπάρχουν σε ένα φ/β πλαίσιο ή ΦΣ μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- Συσσωρευτές, που χρησιμεύουν για την αποθήκευση ΗΕ και την απόδοσή της όταν αυτό απαιτείται (το βράδυ ή τις νεφοσκεπείς μέρες).
- Αντιστροφείς, που απαιτούνται για την αντιστροφή του συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγεται στο ΦΣ σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC).
- Ρυθμιστές, που διαχειρίζονται την ΗΕ που είναι αποθηκευμένη στο συσσωρευτή και τη διοχετεύουν στο φορτίο.
- Μηχανικές κατασκευές, που απαιτούνται για την εγκατάσταση των φ/β και των λοιπών συσκευών.

Πρακτικά, δεν είναι απαραίτητο να υπάρχουν όλες οι ανωτέρω διατάξεις σε κάθε ΦΣ. Για παράδειγμα, σε ΦΣ συνεχούς ρεύματος δεν χρειάζεται αντιστροφέας. Σε ΦΣ συνδεδεμένα με το δίκτυο δεν είναι απαραίτητος ο συσσωρευτής διότι το δίκτυο χρησιμεύει και για αποθήκευση. Δηλαδή, όταν υπάρχει περίσσεια ΗΕ στο σύστημα φ/β πλαισίων – φορτίου, αυτή διοχετεύεται στο δίκτυο, ενώ σε περίπτωση έλλειψης ΗΕ, η απαιτούμενη ΗΕ λαμβάνεται από το δίκτυο. Ορισμένα ΦΣ περιλαμβάνουν μονάδες που δεν σχετίζονται άμεσα με τα φ/β πλαίσια, όπως, για παράδειγμα, είναι μερικά απομονωμένα συστήματα που διαθέτουν νηξελογεννήτρια για την παροχή ρεύματος όταν εξαντληθεί η ΗΕ των συσσωρευτών.

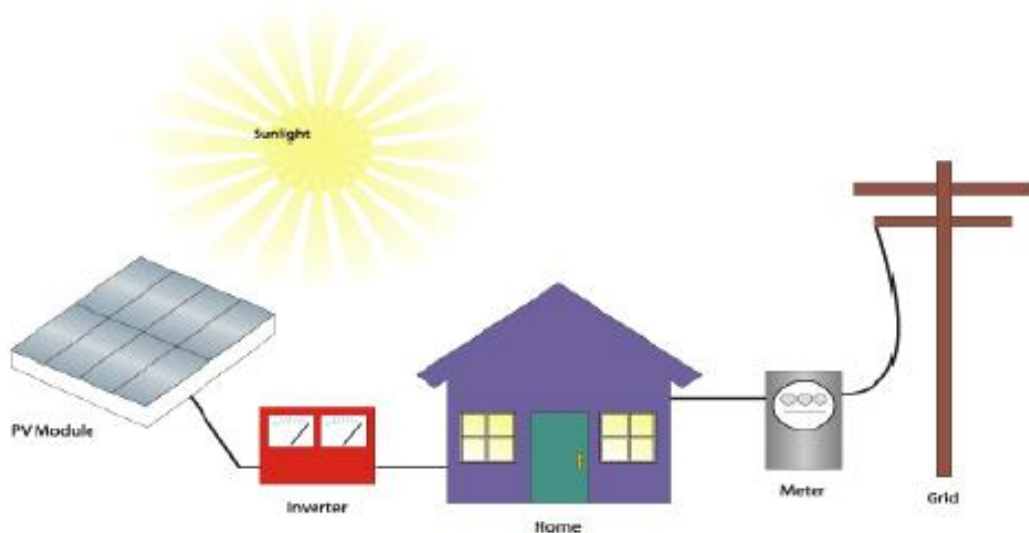
### 3.2.2 Είδη φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα ΦΣ βρίσκουν εφαρμογή σε διάφορες περιπτώσεις. Οι κύριες κατηγορίες ΦΣ είναι:

1. Συστήματα που είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο.
2. Συστήματα που δεν είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο.

#### Φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο

Στα συνδεδεμένα ΦΣ, η φ/β συστοιχία τροφοδοτεί απευθείας με ηλεκτρική ενέργεια το δίκτυο, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3 – 2, οπότε δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη συσσωρευτή.



*Σχήμα 3 - 2. Φωτοβολταϊκό σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο*

Τα ΦΣ που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο κατηγοριοποιούνται σε δύο κατηγορίες:

- Σε συστήματα με κατανεμημένες φ/β συστοιχίες όπου οι συστοιχίες είναι τοποθετημένες στις σκεπές σπιτιών και εμπορικών κέντρων.
- Στις κεντρικές μονάδες παραγωγής ΗΕ όπου οι φ/β συστοιχίες συνδέονται πρώτα με υποσταθμούς και μέσω αυτών με το δίκτυο.

Στην πρώτη κατηγορία ΦΣ συνδεδεμένων στο δίκτυο, ο καταναλωτής – ιδιοκτήτης της συστοιχίας μπορεί να αγοράζει και να πωλεί ΗΕ κάθε χρονική στιγμή. Είναι σε θέση να λαμβάνει την ΗΕ που χρειάζεται από τη συστοιχία και να χρησιμοποιεί το δίκτυο μόνο όταν είναι απαραίτητο (κατά την διάρκεια της νύχτας ή σε πολύ συννεφιασμένες μέρες). Αυτό γίνεται εφικτό με χρήση κατάλληλου αμφίδρομου μετρητή ισχύος (διπλός μετρητής). Όταν η συστοιχία τροφοδοτεί το φορτίο του κτιρίου και προκύπτει περίσσεια ΗΕ την αποδίδει στο δίκτυο. Όταν το φορτίο είναι μεγαλύτερο από την παραγωγή της συστοιχίας η ζήτηση ικανοποιείται με λήψη ΗΕ από το δίκτυο. Έτσι, το δίκτυο δρα ως μονάδα αποθήκευσης για το ΦΣ. Οι τυπικές τιμές για οικιακά ΦΣ κυμαίνονται από 2 μέχρι 4  $kWh$  ενώ για μεγάλα δημόσια κτίρια υπερβαίνουν τα 100 $kWh$  ή και περισσότερο.

Στις κεντρικές μονάδες παραγωγής ΗΕ ανήκουν μεγάλες μονάδες παραγωγής που αποτελούνται από φ/β συστοιχίες. Οι μονάδες αυτές εγκαθίστανται και συνδέονται εύκολα με το δίκτυο, οπότε κατασκευάζονται ταχύτερα από τις συμβατικές. Ακόμα, μπορούν να τοποθετηθούν κοντά στα σημεία του δικτύου όπου υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση ΗΕ με κλιμακώσιμο μέγεθος ανάλογα με τη ζήτηση. Έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν λειτουργούν με καύσιμα, δεν παράγουν καυσαέρια ή απόβλητα και είναι αθόρυβες. Καίτοι έχουν μηδενικά έξοδα καυσίμου, τέτοιου είδους μονάδες δεν είναι ακόμα διαδεδομένες διότι το ανηγμένο κόστος της παραγόμενης ισχύος σε ευρώ/ $W$  παραμένει αυξημένο σε σχέση με τις συμβατικές μονάδες ορυκτών καυσίμων. Για το λόγο αυτό οι εταιρίες παραγωγής ΗΕ δεν τις προτιμούν. Τέλος, πρόβλημα δημιουργεί το ότι η παραγωγή δεν μπορεί να ακολουθήσει τη ζήτηση κατά τη διάρκεια της νύχτας ή όταν δεν έχει ηλιοφάνεια. Τα πλεονεκτήματα των ανωτέρω ΦΣ είναι η προβλεπόμενη μείωση του κόστους παραγωγής ΗΕ και η προστασία του



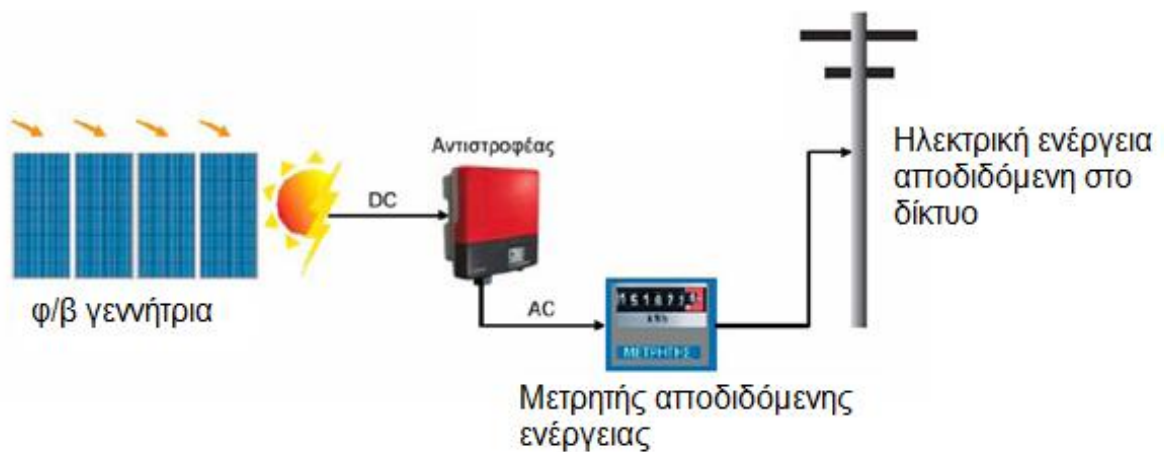
περιβάλλοντος. Με την παραγωγή ΗΕ κοντά στο σημείο ζήτησης μειώνεται η απόσταση που πρέπει να διανύσει το ηλεκτρικό ρεύμα οπότε μειώνονται οι απώλειες ισχύος στο δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να αποφευχθεί ή να μετατεθεί χρονικά η ανάγκη για αναβάθμιση του δικτύου μεταφοράς, αφού σε πολλές περιπτώσεις, οι ώρες αυξημένης ζήτησης ταυτίζονται με τις ώρες του μεσημεριού, όταν η φ/β συστοιχία μπορεί να παράγει μεγάλη ισχύ. Επίσης, γίνεται προσπάθεια μείωσης του κόστους των δομικών υλικών κτιρίων, όπως είναι τα κεραμίδια που φέρουν φύλλα φ/β πλαισίων, ώστε να γίνουν ανταγωνιστικά των συμβατικών δομικών υλικών και να χρησιμοποιηθούν ευρέως.

#### *Φωτοβολταϊκά συστήματα μη συνδεδεμένα με το δίκτυο*

Τα ΦΣ που δεν συνδέονται με το δίκτυο χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει AC δίκτυο, επειδή είτε η εγκατάσταση γραμμής σύνδεσης του ΦΣ και του AC δικτύου έχει μεγάλο κόστος είτε η σύνδεση δεν είναι εφικτή λόγω μεγάλης απόστασης μεταξύ του δικτύου και των μονάδων παραγωγής ΗΕ. Τα ΦΣ αυτά είναι μικρής ισχύος, συνήθως μικρότερης των 10 kWp. Μπορεί να αποτελούνται μόνο από τη φ/β συστοιχία ή να έχουν και συσσωρευτή ή αντλία νερού ή ακόμα και γεννήτρια ορυκτών καυσίμων μικρής ισχύος. Τα ΦΣ που αποτελούνται από μία μόνο φ/β συστοιχία είναι συστήματα που δεν χρειάζονται ΗΕ επιπλέον της παραγόμενης για τη λειτουργία τους. Οι ημέρες με ηλιοφάνεια, που επιτρέπουν στο σύστημα να έχει μεγάλη παραγωγή ισχύος, προκαλούν παράλληλα αυξημένη ανάγκη για ψύξη και εξαερισμό των χώρων. Έτσι, συνδέοντας τη συστοιχία με ανεμιστήρες εξαερισμού βελτιώνονται οι συνθήκες του χώρου. Επιπλέον, η μεγάλη ηλιοφάνεια αυξάνει τις ανάγκες για ύδρευση και άρδευση, οπότε η συστοιχία τροφοδοτεί αντλία για την άντληση νερού από κάποιο χαμηλότερο σημείο και τη μεταφορά του είτε εκεί όπου υπάρχει ανάγκη είτε για αποθήκευση σε κάποιο υψηλότερο σημείο (δεξαμενή). Στη περίπτωση ύπαρξης συσσωρευτή, το ΦΣ παρέχει ΗΕ κατά απαίτηση, ανεξαρτήτως αν έχει ηλιοφάνεια. Οι συσσωρευτές αποθηκεύουν την περίσσεια ΗΕ όταν αυτή υπάρχει και την αποδίδουν στο ΦΣ όταν χρειάζεται. Το μέγεθος της ΗΕ που θα αποδώσει στο ΦΣ εξαρτάται από το μέγεθος και το είδος του συσσωρευτή. Οι συσσωρευτές χρησιμοποιούνται για φωτισμό ή για τροφοδότηση άλλων συσκευών, κυρίως σε τροχόσπιτα και ιστιοφόρα. Όταν υπάρχει και άλλου είδους γεννήτρια, όπως πετρελαίου ή φυσικού αερίου, το σύστημα είναι υβριδικό. Στα συστήματα αυτά η γεννήτρια και η φ/β συστοιχία συνεργάζονται. Το πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι ότι, για να υπάρχει επάρκεια ΗΕ σε περιόδους μικρής ηλιοφάνειας, αντί να εγκατασταθεί φ/β συστοιχία μεγαλύτερης επιφάνειας και συσσωρευτής μεγαλύτερης χωρητικότητας, λαμβάνεται η ισχύς από τη γεννήτρια.

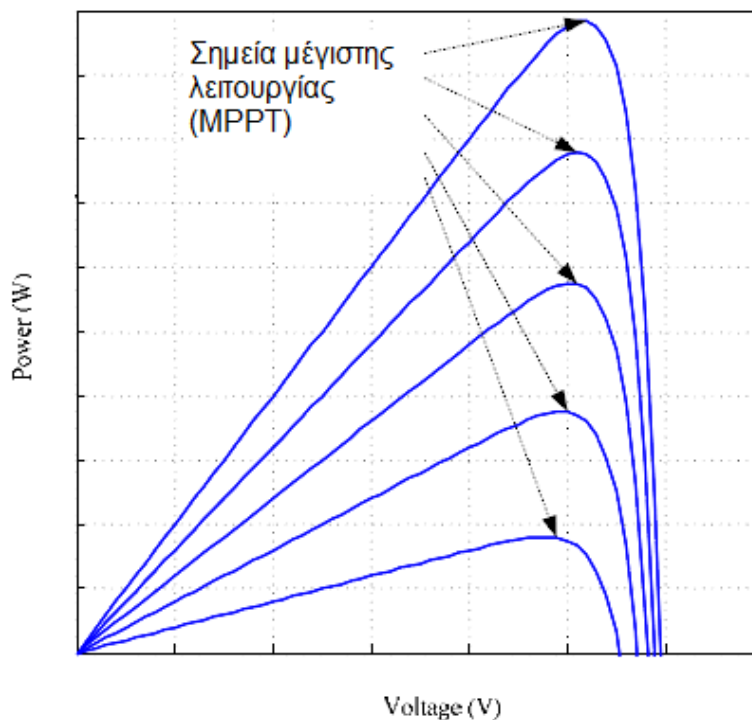
#### **3.2.3 Τρόποι σύνδεσης φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος**

Η ισχύς από τα ΦΣ μπορεί να αποδοθεί είτε στο δίκτυο είτε σε συσσωρευτή. Για να συνδεθεί λοιπόν στο δίκτυο η φ/β γεννήτρια (Σχήμα 3 – 3), η μικρή συνεχής τάση που παράγεται πρέπει να ενισχυθεί σε μια υψηλότερη εναλλασσόμενη τάση, διαδικασία που πραγματοποιείται συνήθως μέσω του **μετατροπέα**.



Σχήμα 3 - 3. Σύστημα φ/β γεννήτριας με αντιστροφέα συνδεδεμένο στο δίκτυο μέσω

Το εκάστοτε σημείο λειτουργίας των φ/β πλαισίων ανήκει στη χαρακτηριστική καμπύλη του πλαισίου  $V - P$ . Επειδή η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος μεταβάλλονται διαρκώς κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι χαρακτηριστικές εξόδου  $V - P$  μετατοπίζονται διαρκώς. Σκοπός είναι τα φ/β πλαίσια να λειτουργούν στο σημείο βέλτιστης ισχύος (Maximum Power Point Tracking – MPPT). Η διαδικασία ανίχνευσης του σημείου βέλτιστης λειτουργίας επιτυγχάνεται μέσω του μετατροπέα. Στο Σχήμα 3 – 4 απεικονίζονται τα σημεία βέλτιστης λειτουργίας σε διαφορετικές καμπύλες  $V - P$ .



Σχήμα 3 - 4. Διαφορετικές καμπύλες τάσης – ισχύος και τα αντίστοιχα σημεία μέγιστης λειτουργίας



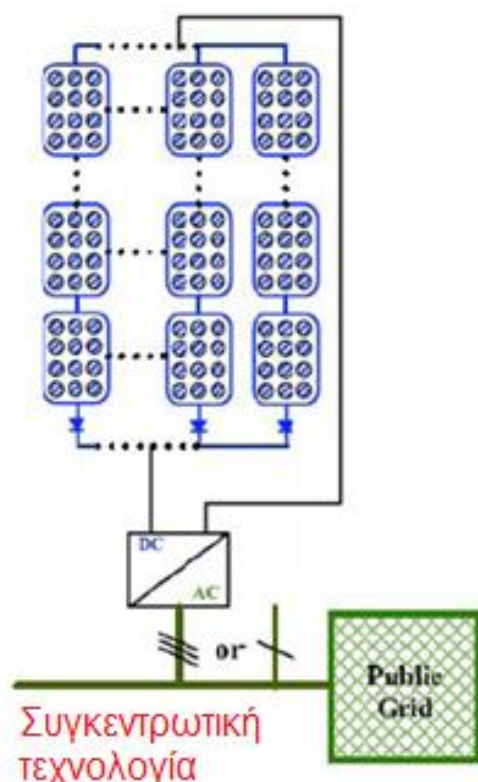
Το πλεονέκτημα της σύνδεσης στο δίκτυο είναι ότι η ισχύς μπορεί να αποθηκευτεί όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι διάφορες τεχνολογίες ΦΣ για τη σύνδεση στο δίκτυο (συνδεδεμένο ΦΣ). Η διαφοροποίηση των τεχνολογικών τάσεων έγκειται, αφενός στον αριθμό των φ/β πλαισίων που συνδέονται ανά ηλεκτρονικό μετατροπέα (επίπεδο ισχύος του μετατροπέα) και αφετέρου στον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους τα φ/β πλαίσια (εν σειρά σύνδεση, παράλληλη σύνδεση ή συνδυασμός αυτών). Οι τεχνολογίες που αναλύονται είναι οι εξής:

1. Η συγκεντρωτική τεχνολογία (centralized technology)
2. Η τεχνολογία αλυσίδας (string technology)
3. Η τεχνολογία πολλαπλών αλυσίδων (multistring technology)
4. Τεχνολογία φ/β πλαισίων εναλλασσόμενου ρεύματος (AC – PV modules)

#### Η συγκεντρωτική τεχνολογία

Η συγκεντρωτική τεχνολογία είναι από τις παλαιότερες που έχουν εφαρμοστεί και αποσκοπεί στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ΗΕ που αποδίδονται στο δίκτυο μέσω ενός μόνο αντιστροφέα ο οποίος συνδέει μεγάλο πλήθος φ/β πλαισίων, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3-5.



Σχήμα 3 - 5. Παράδειγμα συγκεντρωτικής τεχνολογίας

Η παραγωγή ΗΕ πραγματοποιείται από πλέγμα φ/β πλαισίων, που χωρίζονται σε ομάδες σε σειρά, εξασφαλίζοντας έτσι υψηλή τιμή συνεχούς τάσης, χωρίς να απαιτείται επιπλέον ενίσχυση. Οι αλυσίδες αυτές των σε σειρά συνδεδεμένων φ/β πλαισίων συνδέονται

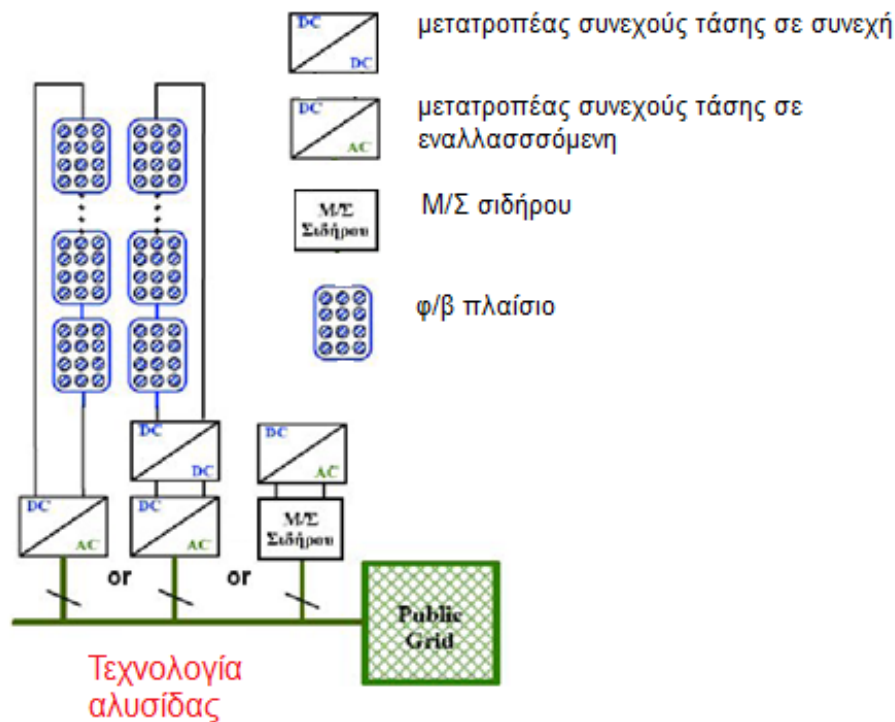
παράλληλα για να επιτευχθεί η απαιτούμενη τιμή έντασης. Χαρακτηριστικό αυτής της τεχνολογίας αποτελεί η χρήση ενός μόνο αντιστροφέα συνεχούς τάσης προς εναλλασσόμενη για έλεγχο και για εντοπισμό του σημείου λειτουργίας μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος (MPPT) καθώς και η χρήση διόδων ισχύος ώστε να αποφευχθεί η λειτουργία ορισμένων σε σειρά ομάδων φ/β πλαισίων ως φορτία λόγω σκίασης. Δηλαδή, λόγω σκίασης κάποια φ/β πλαίσια μπορεί να καταναλώνουν ΗΕ αντί να παράγουν. Οι υψηλές ποσότητες ΗΕ που μπορούν να παραχθούν από ένα μόνο ΦΣ και το ότι δεν είναι απαραίτητη η περαιτέρω ενίσχυση της τάσης του συστήματος είτε με μετατροπέα συνεχούς τάσης είτε με Μ/Σ αποτελούν βασικά πλεονεκτήματα της συγκεντρωτικής τεχνολογίας. Ωστόσο, η τεχνολογία αυτή παρουσιάζει ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα. Η σύνδεση μεταξύ φ/β πλέγματος και αντιστροφέα πραγματοποιείται υπό υψηλές τιμές τάσης, γεγονός που επιβάλλει την εγκατάσταση ειδικών συστημάτων προστασίας και την εφαρμογή ειδικών τεχνικών γείωσης των επιμέρους τμημάτων του ΦΣ, αυξάνοντας έτσι το συνολικό κόστος της εγκατάστασης. Επίσης, στη περίπτωση όπου γίνει μερική ή ολική σκίαση ενός ή περισσότερων κυττάρων ή ολική θραύση ενός κυττάρου, προκύπτουν κύτταρα με ανόμοια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που συνδέονται σε σειρά. Η μη προσαρμογή όμως των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των κυττάρων μιας συστοιχίας επιφέρει απώλειες ισχύος και καταστροφή κάποιου μέρους του ΦΣ. Στη περίπτωση όπου ένα κύτταρο ή ομάδα παράλληλων κυττάρων βρίσκονται υπό σκιά, το ρεύμα εξόδου της συστοιχίας μειώνεται. Το σκιασμένο κύτταρο περιορίζει την ισχύ εξόδου της αλυσίδας αλλά είναι δυνατό και να προκαλέσει το φαινόμενο hotspot, το οποίο οφείλεται στην ανάστροφη πόλωση ενός ή περισσότερων κυττάρων και συνεπάγεται υπερθέρμανσή τους, που μπορεί να είναι καταστροφική για όλη την εγκατάσταση. Όταν μια αλυσίδα από κύτταρα βραχυκυκλωθεί λόγω σκίασης, η τάση στο σκιασμένο κύτταρο προκύπτει αντίθετη προς την τάση στα υπόλοιπα κύτταρα. Το κύτταρο αυτό πολώνεται ανάστροφα και αντί να παράγει καταναλώνει ισχύ. Είναι ενδεχόμενο να καταναλώνεται ισχύς από το σκιασμένο κύτταρο ίση με τη μέγιστη ισχύ που μπορούν να παράγουν τα υπόλοιπα κύτταρα της αλυσίδας. Τέτοια φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας (hotspot) του σκιασμένου κυττάρου με πιθανό αποτέλεσμα θραύση του πλαισίου ή ακόμη και πλήρη καταστροφή του. Για να μειωθεί η επίδραση του φαινομένου hotspot στη λειτουργία της συστοιχίας συνδέονται διάοδοι παράκαμψης για την παράλληλη σύνδεση των σε σειρά ομάδων. Οι διάοδοι ισχύος που χρησιμοποιούνται όμως μειώνουν το βαθμό απόδοσης του ΦΣ λόγω των απωλειών τους. Επίσης, η χρήση κεντρικού αντιστροφέα δεν επιτρέπει σε όλα τα πλαίσια να λειτουργούν στο σημείο μέγιστης ισχύος (MPPT), με αποτέλεσμα να μειώνεται ο συνολικός βαθμός απόδοσης και ο σχεδιασμός τους να μην αφήνει περιθώρια τεχνικών προσαρμογών και επέκτασης. Ο χαμηλός βαθμός απόδοσης και το υψηλό κόστος κατασκευής υπήρξε η αφορμή για την ανάπτυξη άλλων τεχνολογιών.

#### *Η τεχνολογία αλυσίδας*

Στα συστήματα αλυσίδας, που διαδέχτηκαν τη συγκεντρωτική τεχνολογία, κάθε μονάδα αποτελείται από μία αλυσίδα φ/β πλαισίων συνδεδεμένων σε σειρά που συνδέεται με την έξοδο του ΦΣ. Η σύνδεση μπορεί να επιτευχθεί είτε με αντιστροφέα συνεχούς τάσης προς εναλλασσόμενη είτε με χρήση αντιστροφέα συνεχούς τάσης προς συνεχή και στη συνέχεια συνεχούς τάσης προς εναλλασσόμενη είτε με αντιστροφέα συνεχούς τάσης προς εναλλασσόμενη και Μ/Σ σιδήρου.

Η τάση που παράγεται μπορεί να είναι αρκετά υψηλή και να μην απαιτείται ενίσχυσή της. Ο MPPT έλεγχος είναι αποδοτικότερος σε σχέση με αυτόν της συγκεντρωτικής τεχνολογίας, αφού εφαρμόζεται σε μικρότερο αριθμό πλαισίων. Δεν είναι απαραίτητη η εφαρμογή διόδων

ισχύος. Υπάρχει η δυνατότητα επέκτασης της εγκατάστασης με χρήση περισσότερων μονάδων. Οι μικρότερες απώλειες οδηγούν σε υψηλότερο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τη συγκεντρωτική τεχνολογία, οπότε μειώνεται το κόστος κατασκευής λόγω της μαζικής παραγωγής. Βέβαια παραμένουν τα προβλήματα που προκαλεί η υψηλή τάση στα σημεία σύνδεσης καθώς επίσης και ο κίνδυνος εμφάνισης του φαινομένου hotspot. Αν η αλυσίδα αποτελείται από μικρό πλήθος φ/β πλαισίων απαιτούνται περισσότερο σύνθετες τοπολογίες για την ενίσχυση της τάσης που αυξάνουν την τιμή/Watt και μειώνουν τη συνολική απόδοση. Στο Σχήμα 3 – 6 απεικονίζεται η τεχνολογία αλυσίδας.



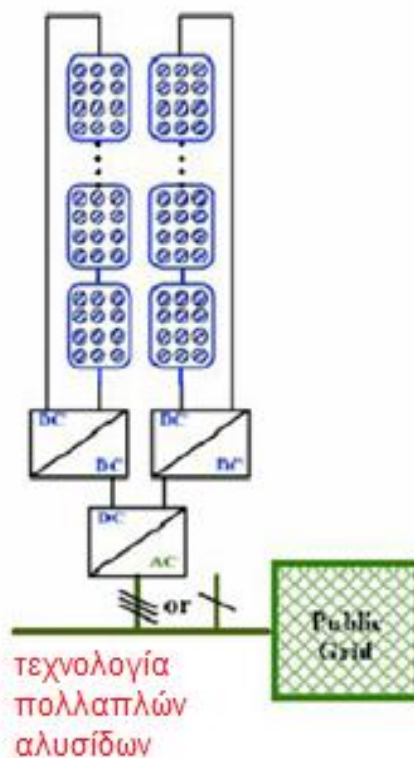
Σχήμα 3 - 6. Τρόπος διασύνδεσης με χρήση τεχνολογίας αλυσίδας

#### Η τεχνολογία πολλαπλών αλυσίδων

Επέκταση της τεχνολογίας αλυσίδας αποτελεί η τεχνολογία πολλαπλών αλυσίδων, κατά την οποία πολλές αλυσίδες φ/β πλαισίων σε σειρά συνδέονται σε κεντρικό αντιστροφέα συνεχούς τάσης προς εναλλασσόμενη μέσω ανεξάρτητων μετατροπέων συνεχούς τάσης σε συνεχή.

Σε σύγκριση με τη συγκεντρωτική τεχνολογία το πλεονέκτημα της τεχνολογία πολλαπλών αλυσίδων είναι ότι κάθε αλυσίδα μπορεί να ελέγχεται ξεχωριστά. Έτσι γίνεται ευκολότερη η επέκταση του συστήματος απλά συνδέοντας στον αντιστροφέα συνεχούς τάσης προς εναλλασσόμενη περισσότερες αλυσίδες φ/β πλαισίων με τους μετατροπέες τους. Προσφέρει, λοιπόν, ανάλογη παραγωγή ΗΕ με αυτήν της συγκεντρωτικής τεχνολογίας περιορίζοντας ταυτόχρονα αρκετά μειονεκτήματα που συναντώνται σε ΦΣ συγκεντρωτικής τεχνολογίας, όπως είναι η χρήση διόδων και οι υψηλές τιμές της τάσης κατά τη σύνδεση του φ/β πλέγματος και του αντιστροφέα. Το μειονέκτημα που εμφανίζει η τεχνολογία πολλαπλών αλυσίδων είναι ότι ο αντιστροφέας δεν μπορεί να δεχθεί αρκετά μεγάλο αριθμό αλυσίδων σε περίπτωση όπου είναι επιθυμητή η επέκταση του ΦΣ. Μπορεί να παρουσιαστεί ο κίνδυνος

ολικής διακοπής της ηλεκτροπαραγωγικής διαδικασίας στην περίπτωση όπου ο αντιστροφέας παρουσιάσει βλάβη. Στο Σχήμα 3 – 7 απεικονίζεται ΦΣ με τεχνολογία πολλαπλών αλυσίδων.



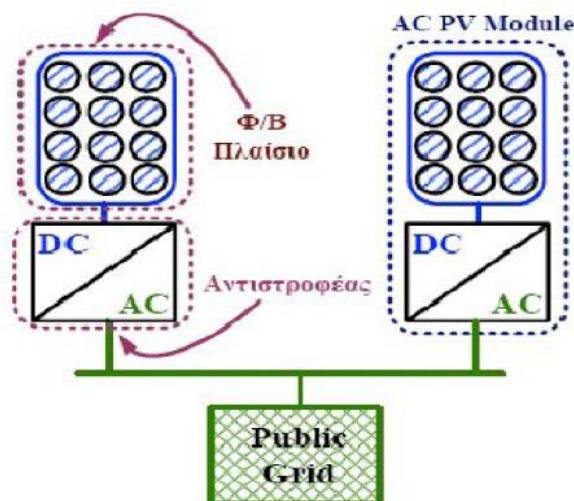
Σχήμα 3 - 7. Φωτοβολταϊκά συστήματα πολλαπλών αλυσίδων

#### Η τεχνολογία φ/β πλαισίων εναλλασσόμενου ρεύματος

Η τεχνολογία των φ/β πλαισίων εναλλασσόμενου ρεύματος είναι η νεότερη στο χώρο των φ/β εφαρμογών, σύμφωνα με την οποία ένα μεγάλο φ/β πλαίσιο συνδέεται σε μετατροπέα συνεχούς τάσης προς εναλλασσόμενη μονοφασική και, στη συνέχεια, συνδέεται απευθείας στο δίκτυο ΧΤ. Η απουσία συνδέσεων τύπου πλέγματος (βλέπε συγκεντρωτική τεχνολογία) ή αλυσίδας μεταξύ φ/β πλαισίων, καθώς και η δυνατότητα καλύτερου ελέγχου κάθε αυτόνομης διάταξης φ/β πλαισίου και αντιστροφέα, οδηγούν σε μεγαλύτερη αποδοτικότητα του ΦΣ. Ο αντιστροφέας μπορεί να είναι ενσωματωμένος είτε στο πίσω μέρος των πλαισίων είτε στο μηχανισμό στήριξης τους.

Σε σχέση με τις τεχνολογίες που αναλύθηκαν προηγουμένως (συγκεντρωτική τεχνολογία, τεχνολογία αλυσίδας και τεχνολογία πολλαπλών αλυσίδων) η τεχνολογία φ/β πλαισίων εναλλασσόμενου ρεύματος παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά: (i) η αντιστοιχία ενός αντιστροφέα ανά πλαίσιο επιτρέπει το βέλτιστο MPPT έλεγχο, (ii) οι τάσεις στα σημεία σύνδεσης είναι αρκετά χαμηλές, (iii) το κόστος κατασκευής είναι μικρό, (iv) δεν απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό για την εγκατάσταση του συστήματος, (v) οι απαιτήσεις επιφανείας ανά μονάδα είναι ελάχιστες, χαρακτηριστικό που τα καθιστά κατάλληλα ακόμα και για αστικές εφαρμογές και (vi) εμφανίζει υψηλότερο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τις προηγούμενες τεχνολογίες. Το μόνο μειονέκτημα είναι ότι πρόκειται για διατάξεις χαμηλής ισχύος. Η τεχνολογία φ/β πλαισίων εναλλασσόμενου ρεύματος δεν είναι ιδιαίτερα

ανεπτυγμένη όσον αφορά το είδος του μετατροπέα που θα δίνει την απαραίτητη τιμή τάσης για τη σύνδεσή τους στο δίκτυο ενώ ταυτόχρονα θα επιτυγχάνεται υψηλή απόδοση. Για τη σύνδεση των φ/β πλαισίων εναλλασσόμενου ρεύματος στο δίκτυο ΜΤ απαιτείται η χρήση μετασχηματιστή (Μ/Σ). Στο Σχήμα 3 – 8 απεικονίζεται η τεχνολογία φ/β πλαισίων εναλλασσόμενου ρεύματος.



Σχήμα 3 - 8. Τεχνολογία φ/β πλαισίων εναλλασσόμενου ρεύματος

### 3.2.4 Συσσωρευτές

Σε ΦΣ απομονωμένα από το δίκτυο, το σύστημα πρέπει να παρέχει την ΗΕ που απαιτείται ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες (νέφωση ή ηλιοφάνεια). Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται συσσωρευτές όπου αποθηκεύεται η περίσσεια ΗΕ. Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενοι τύποι μπαταριών είναι οι μολύβδου-ασβεστίου και μολύβδου-αντιμονίου. Για περιπτώσεις όπου ο συσσωρευτής είναι εκτεθειμένος σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών χρησιμοποιούνται οι συσσωρευτές νικελίου – καδμίου. Λόγω της μεταβλητότητας της ηλιοφάνειας και του φορτίου, οι συσσωρευτές υπόκεινται σε πολλούς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης γεγονός που αλλοιώνει τα χαρακτηριστικά των συσσωρευτών. Συνεπώς, πρέπει από κατασκευαστικής πλευράς να μπορούν να διατηρούν τις ιδιότητές τους για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Το ποσοστό της χωρητικότητας του συσσωρευτή που μπορεί να εκφορτιστεί χωρίς να καταστραφεί ονομάζεται βάθος εκφόρτισης και εξαρτάται από τον τύπο του. Οι συσσωρευτές μολύβδου – ασβεστίου είναι μικρού βάθους εκφόρτισης και αντέχουν 20% εκφόρτιση σε κάθε κύκλο. Οι συσσωρευτές νικελίου – καδμίου είναι μεγάλου βάθους εκφόρτισης και αντέχουν 80% εκφόρτιση σε κάθε κύκλο. Οι συσσωρευτές χρειάζονται αλλαγή κάθε 5 έως 10 έτη ανάλογα με τον αριθμό των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης που πραγματοποιούν. Οι συσσωρευτές παρέχουν αυτονομία στο ΦΣ για διάστημα από μερικές ημέρες έως δύο βδομάδες. Η διάρκεια αυτή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά κάθε ΦΣ, δηλαδή από τη θέση εγκατάστασης και την ύπαρξη ή όχι γεννήτριας. Οι συσσωρευτές χαρακτηρίζονται από την τάση λειτουργίας τους, η οποία συνήθως είναι πολλαπλάσιο των 12V, και από τη χωρητικότητα σε ΗΕ, που μετρείται σε αμπερώρια (Ah). Για παράδειγμα, συσσωρευτής 50Ah, 48V θα αποθηκεύσει υπό ονομαστικές συνθήκες 2400Wh. Εκτός από τη μείωση της απόδοσης που προκαλούν οι συσσωρευτές, χρειάζονται περιοδική συντήρηση (έλεγχος υγρών) και μεγάλο χώρο για αποθήκευση. Ο σωστός υπολογισμός του μεγέθους του



συσσωρευτή ενός ΦΣ είναι καθοριστικός για την επίτευξη μεγάλης διάρκειας ζωής και για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης.

### 3.2.5 Συστήματα ρύθμισης ισχύος

Ηλεκτρονικά συστήματα (βλ. Σχήμα 3 – 9) χρησιμεύουν για τον έλεγχο και τη ρύθμιση της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει η φ/β εγκατάσταση. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται:



Σχήμα 3 - 9. Συστήματα ρύθμισης ισχύος

- Ρυθμιστές φόρτισης μπαταριών για τη ρύθμιση των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης του συσσωρευτή. Όταν ο συσσωρευτής είναι τελείως φορτισμένος, ο ρυθμιστής δεν αφήνει άλλο ρεύμα να εισρεύσει από το φωτοβολταϊκό στοιχείο στο συσσωρευτή. Ομοίως, όταν ο συσσωρευτής έχει φθάσει σε ένα προαποφασισμένο επίπεδο, το οποίο ελέγχεται με μέτρηση της τάσης του συσσωρευτή, ο ελεγκτής δεν επιτρέπει να δώσουν άλλο ρεύμα οι συσσωρευτές πριν επαναφορτιστούν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επιμήκυνση του χρόνου ζωής του συσσωρευτή.
- Ανιχνευτές σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT), δηλαδή μια συσκευή που επεξεργάζεται κατάλληλα το ρεύμα και την τάση εξόδου της φ/β γεννήτριας, ώστε σε κάθε χρονική στιγμή το ΦΣ να απορροφά τη μέγιστη δυνατή ισχύ από τη φ/β γεννήτρια.
- Αντιστροφείς, οι οποίοι μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.

### 3.2.6 Ο αντιστροφέας

Οι αντιστροφείς τάσης είναι ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούνται σε συνδεδεμένα με το δίκτυο ΦΣ αλλά και σε αυτόνομα ΦΣ με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Η σχεδίαση ενός συνδεδεμένου με το δίκτυο ΦΣ αρχίζει με την επιλογή του κατάλληλου αντιστροφέα τάσης. Αυτός καθορίζει την τάση του συνεχούς ρεύματος εξόδου του ΦΣ. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του αντιστροφέα επιλέγονται και οι κατάλληλοι συλλέκτες. Ο αντιστροφέας είναι η δεύτερη σημαντικότερη μονάδα του συστήματος μετά τους συλλέκτες έχοντας ως αντικείμενο είναι να μετατρέπει τη συνεχή τάση στην έξοδο των συλλεκτών σε εναλλασσόμενη τάση συχνότητας 50Hz ή 60Hz. Σε αντίθεση με τους αντιστροφείς των αυτόνομων ΦΣ, αυτοί των συνδεδεμένων πρέπει να αντιδρούν κατά τον ίδιο τρόπο στις μεταβολές των χαρακτηριστικών είτε του δικτύου ηλεκτροδότησης είτε της απόδοσης των συλλεκτών. Αφού όλο το παραγόμενο ρεύμα διέρχεται μέσω του αντιστροφέα τα χαρακτηριστικά του επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος.

Εκτός από την απόδοση ως προς τη μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη, τα ηλεκτρονικά του αντιστροφέα περιλαμβάνουν συστήματα που είναι υπεύθυνα για την ημερήσια λειτουργία του συστήματος. Μεταξύ άλλων, φροντίζουν ώστε η λειτουργία να εκκινεί την κατάλληλη στιγμή το πρωί, όταν οι συλλέκτες παράγουν αρκετή ΗΕ. Ανεπιτυχής έναρξη της λειτουργίας απαιτεί πρόσληψη ΗΕ από το δίκτυο και πρέπει να αποφεύγεται. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το βέλτιστο σημείο λειτουργίας της καμπύλης  $V - I$  μεταβάλλεται ανάλογα με τη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας των συλλεκτών. Ο ευφυής έλεγχος του μετατροπέα περιλαμβάνει παρακολούθηση του σημείου μέγιστης ισχύος και συνεχή ρύθμιση στο βέλτιστο κάθε φορά σημείο λειτουργίας. Επίσης, υπάρχουν ΦΣ που αυτόματα αποσυνδέουν το σύστημα όταν εμφανίζονται ανωμαλίες στο δίκτυο ή στους συλλέκτες, όπως βραχυκυκλώματα.

Σήμερα, τα περισσότερα μοντέλα αντιστροφέν τάσης διαθέτουν συστήματα που επιτρέπουν τη συνεχή μέτρηση της ισχύος, της τάσης, του ρεύματος και άλλων μεγεθών και παραμέτρων του συστήματος. Τα δεδομένα αυτά μπορούν στη συνέχεια να συλλεχθούν και να αναλυθούν με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή (H/Y).

### 3.3 Ζητήματα σύνδεσης φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο ΜΤ

Η σύνδεση μονάδων ΔΠ στο δίκτυο αποτέλεσε το αντικείμενο του πρώτου κεφαλαίου. Ωστόσο, το παρόν κεφάλαιο εξειδικεύεται στα ΦΣ που συνδέονται στο δίκτυο ΜΤ.

#### 3.3.1 Διατάξεις ζεύξεις και προστασίας

##### *Προϋποθέσεις για τις διατάξεις ζεύξεις και προστασίας*

Γενικά, οι διατάξεις ζεύξης και προστασίας πρέπει να εξασφαλίζουν τις ακόλουθες δυνατότητες:

- A. Την δυνατότητα χειροκίνητης ζεύξης ή απόζευξης ολόκληρης της εγκατάστασης ή επιμέρους τμημάτων αυτής από το δίκτυο. Για την επίτευξη του στόχου αυτού αρκεί η διάταξη ζεύξης να διαθέτει κατάλληλο στοιχείο ζεύξης, δηλαδή τουλάχιστον διακόπτη φορτίου.
- B. Την πρόληψη ανώμαλων λειτουργικών καταστάσεων και βλαβών στοιχείων της εγκατάστασης σε περίπτωση διαταραχών του δικτύου (πχ βυθίσεις και επαναφορά της τάσης). Η ύπαρξη της δυνατότητας C εξασφαλίζεται συνήθως μέσω της ατομικής προστασίας κάθε μονάδας.
- C. Την αποφυγή απομονωμένης λειτουργίας της εγκατάστασης ή τμήματος του δικτύου ΗΕ, που περιλαμβάνει την εγκατάσταση, απομονωμένου από το υπόλοιπο ΣΗΕ – αποφυγή δηλαδή νησιδοποιημένης λειτουργίας – ή και μόνης της εγκατάστασης εφόσον δεν προβλέπεται από το σχεδιασμό της. Για το σκοπό αυτό, απαιτείται τουλάχιστον η εγκατάσταση ηλεκτρονόμων ορίων τάσης και συχνότητας στο διακόπτη διασύνδεσης. Οι ηλεκτρονόμοι ορίων τάσης συμβάλλουν και στην απομόνωση της εγκατάστασης από το δίκτυο σε περιπτώσεις σφαλμάτων στην πλευρά του δικτύου, αφού, τότε, παρουσιάζονται σημαντικές αποκλίσεις των διαφόρων τάσεων από τις ονομαστικές τους τιμές. Σε συνδυασμό με την επιτήρηση των ορίων τάσης, οι ηλεκτρονόμοι ορίων συχνότητας χρησιμεύουν κυρίως για την ανίχνευση της νησιδοποίησης, αφού, μετά την αποσύνδεση εμφανίζονται έντονες μεταβολές της συχνότητας. Σε ειδικές περιπτώσεις, ιδίως μεγάλων εγκαταστάσεων, εφόσον κριθεί αναγκαίο μπορεί να είναι σκόπιμη και η εγκατάσταση διαφόρων

τύπων προστασίας που εξασφαλίζουν κατά πλέον αποτελεσματικό τρόπο την απομόνωση της εγκατάστασης σε περίπτωση μόνιμου σφάλματος στο δίκτυο, έστω και για σχετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα. Αυτό αποφασίζεται σε συνεργασία του παραγωγού με την εταιρία ΗΕ.

- D. Τον περιορισμό της άσκοπης αποσύνδεσης της εγκατάστασης από το δίκτυο, η οποία, εκτός από οικονομικές επιπτώσεις στον παραγωγό, μπορεί να προκαλεί προβλήματα ευστάθειας στο ΣΗΕ. Για το σκοπό αυτό απαιτείται η κατάλληλη ρύθμιση ορίων και χρόνων διέγερσης όλων των ανωτέρω ειδών προστασίας για να υπάρχει η ορθή επιλεκτική συνεργασία με μέσα προστασίας του δικτύου προηγούμενης τεχνολογίας.
- E. Την αυτόματη απομόνωση από το δίκτυο ολόκληρης της εγκατάστασης ή τμημάτων αυτής, σε περίπτωση σφάλματος, όπως βραχυκύκλωμα, στοιχείων του δικτύου ή της εγκατάστασης. Για το σκοπό αυτό πρέπει να υπάρχει αυτόματος διακόπτης διασύνδεσης (ΑΔΔ) εφοδιασμένος με κατάλληλες διατάξεις ελέγχου και προστασίας. Αυτές πρέπει ρυθμίζονται έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να συνεργάζονται επιλεκτικά με τα προηγούμενα μέσα προστασίας του δικτύου. Για παράδειγμα, πρέπει να υπάρχει επιλεκτική προστασία από τα διακοπτικά στοιχεία της ΔΕΗ στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ. Η ΔΕΗ προτείνει για το σκοπό αυτό τον εφοδιασμό των αυτόματων διακοπών με κατάλληλους ηλεκτρονόμους υπερέντασης. Κατά κανόνα, το ρεύμα σφάλματος από την πλευρά του δικτύου είναι αρκετά μεγάλο ώστε το άνοιγμα των αντίστοιχων διακοπών να είναι εξασφαλισμένο. Αντίθετα, το ρεύμα σφάλματος από την πλευρά της εγκατάστασης είναι συχνά ανεπαρκές για να εξασφαλίσει το άνοιγμα των διακοπών. Για το λόγο αυτό, η απόξευξή της εγκατάστασης για σφάλματα του δικτύου επιτυγχάνεται συνήθως μέσω του είδους προστασίας που σχετίζεται με τις απαιτήσεις C, D, E. Αυτό έχει σχέση και με προστασία έναντι ασύμμετρων σφαλμάτων.

Η βασική διάταξη προστασίας του σταθμού αποτελείται από σειρά ηλεκτρονόμων (H/N) που επενεργούν απευθείας στον αυτόματο διακόπτη ισχύος στην πλευρά της ΜΤ, οδηγώντας στην απόξευξη του σταθμού από το δίκτυο διανομής μόλις ανιχνευθεί ανεπίτρεπτη τιμή των μετρούμενων μεγεθών. Προβλέπονται οι εξής βασικοί τύποι H/N, που αφορούν τη γραμμή διασύνδεσης του ΦΣ με το δίκτυο διανομής:

- H/N υπερέντασης γραμμής (ανίχνευση υπερφορτίσεως)
- H/N υπερέντασης γης (ανίχνευση σφαλμάτων γης στο ΦΣ)
- H/N ορίων τάσης (ανίχνευση υπότασης, υπέρτασης)
- H/N ορίων συχνότητας (ανίχνευση υποσυχνότητας, υπερσυχνότητας)
- H/N ομοπολικής συνιστώσας τάσης (ανίχνευση σφαλμάτων γης επί της γραμμής σύνδεσης)
- H/N διαφορικής προστασίας τάσης (ανίχνευση μονοφασικών διαταραχών)

### *Ρυθμίσεις προστασίας*

Οι κατωτέρω ρυθμίσεις αφορούν το μέσο προστασίας που επιφορτίζεται με τον ρόλο του ΑΔΔ και καθορίζονται από τη ΔΕΗ με κριτήριο την προστασία του δικτύου από ανώμαλες λειτουργικές καταστάσεις. Οι επιλογές και ρυθμίσεις των μέσων που αφορούν την προστασία της εγκατάστασης ΔΠ καθορίζονται από τον ίδιο τον παραγωγό (Πίνακας 3 – 3).

1. Το σύστημα προστασίας του ΑΔΔ πρέπει να περιλαμβάνει και προστασία ορίων τάσης και συχνότητας, δηλαδή προστασία έναντι υπότασης/υπέρτασης και υποσυχνότητας / υπερσυχνότητας. Η επιτήρηση της τάσης πρέπει να γίνεται και στις



τρεις φάσεις ώστε να ανιχνεύονται ακόμα και μονοφασικές διαταραχές. Η επιτήρηση της συχνότητας αρκεί να γίνεται σε μια μόνο φάση. Στον Πίνακα 3 – 3 που ακολουθεί δίδονται ενδεικτικές περιοχές ρύθμισης των ορίων τάσης και συχνότητας καθώς και τυπικές ρυθμίσεις αυτών. Οι ρυθμίσεις μπορούν να τροποποιούνται με βάση τις εκάστοτε συνθήκες.

*Πίνακας 3 - 3. Ρύθμιση των διατάξεων προστασίας σε σύνδεση με την Μ.Τ.*

Προστασίες της διασύνδεσης με το δίκτυο της ΜΤ					
Τύπος ηλεκτρονόμου	Περιοχή ρύθμισης τιμής διέγερσης	Συνιστώμενη ρύθμιση			
		Τύπου Α		Τύπου Β	
		Τιμή Διέγερσης	Χρονική Καθυστέρηση	Τιμή Διέγερσης	Χρονική Καθυστέρηση
Υπόταση	$0.70 \cdot U_n + 1.00 \cdot U_n$	$0.85 \cdot U_n$	0.8 s	$0.80 \cdot U_n$	1.2 s
Υπέρταση	$1.00 \cdot U_n + 1.15 \cdot U_n$	$1.10 \cdot U_n$	0.8 s	$1.15 \cdot U_n$	1.2 s
Υποσυχνότητα	47 – 50 Hz	49.5 Hz	0.8 s	47.5 Hz	1.2 s
Υπερσυχνότητα	50 – 52 Hz	50.5 Hz	0.8 s	51.5 Hz	1.2 s

2. Για τον καθορισμό επιλογής του ΑΔΔ και τον καθορισμό και ρύθμιση του είδους προστασίας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η απόκριση τους, δηλαδή οι τιμές των μεγεθών εξόδου, στις παρακάτω περιπτώσεις:

  - Για σφάλματα εντός της εγκατάστασης, ο ΑΔΔ πρέπει να ανοίγει πριν από την οριστική θέση εκτός λειτουργίας του προηγούμενου μέσου του δικτύου. Για παράδειγμα, ο ΑΔΔ πρέπει να ανοίξει πριν από το διακόπτη στην αναχώρηση της γραμμής όταν υπάρξει σφάλμα στην εγκατάσταση παραγωγής. Αυτό επιτυγχάνεται με ρύθμιση της χρονικής καθυστέρησης του στοιχείου ελέγχου του ΑΔΔ για προστασία έναντι υπερέντασης βραχυκύκλωσης.
  - Για σφάλματα επί της γραμμής σύνδεσης της εγκατάστασης παραγωγής τα οποία πρέπει με το άνοιγμα του ΑΔΔ να απομονώνονται και από την πλευρά της εγκατάστασης (αναφέρεται κυρίως σε αποκλειστικές γραμμές σύνδεσης).
  - Για σφάλματα σε άλλα σημεία του δικτύου οπότε πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο ανεπιθύμητων επιπτώσεων της προστασίας.
3. Για εγκαταστάσεις των οποίων η ισχύς δεν είναι αρκετά μεγάλη, και, γενικά, για εγκαταστάσεις που συνδέονται σε γραμμές ΜΤ που τροφοδοτούν και καταναλωτές, η σύνδεση της εγκατάστασης παραγωγής δεν επιβάλλει την τροποποίηση των υφιστάμενων ρυθμίσεων προστασίας του δικτύου, αν και πρέπει πάντα να γίνεται σχετικός έλεγχος. Σε περιπτώσεις αποκλειστικών γραμμών σύνδεσης, το είδος προστασίας επιλέγεται με βάση την προστασία της γραμμής σύνδεσης και της εγκατάστασης παραγωγής. Στην Ελλάδα, τουλάχιστον προς το παρόν, το ποσοστό της συνολικής ισχύος της ΔΠ είναι σχετικά μικρό. Έτσι η απόζευξη της ΔΠ, λόγω σφάλματος, όπως βραχυκύκλωμα, ή άλλης διαταραχής της συχνότητας ή της τάσης του δικτύου, δεν έχει ουσιαστική επίπτωση στο δίκτυο. Ωστόσο, η συχνή θέση εκτός

λειτουργίας των εγκαταστάσεων ΔΠ, εκτός των δυσμενών οικονομικών επιπτώσεων για τον παραγωγό, συνεπάγεται αυξημένες καταπονήσεις των μονάδων αλλά και αύξηση του εύρους των διαταραχών του δικτύου. Αντίστοιχα διακρίνονται 2 περιπτώσεις:

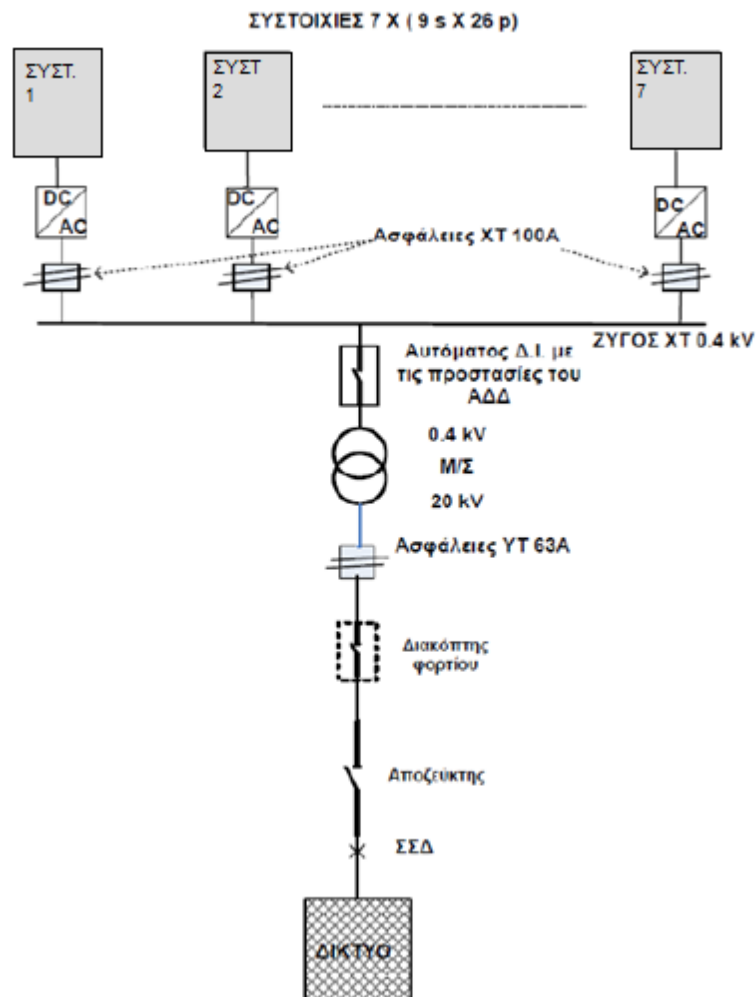
- Εγκαταστάσεις ΔΠ μικρής ισχύος, μέχρι 5MW, που συνδέονται συνήθως σε υφιστάμενες γραμμές για τις οποίες μπορούν να επιλέγονται οι ρυθμίσεις του τύπου Α του Πίνακα 3 – 3 για την προστασία του ΑΔΔ. Τα βασικά χαρακτηριστικά της προστασίας έναντι υπερέντασης του διακόπτη ισχύος (ΔΙ) ΜΤ που είναι εγκατεστημένος στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ, επιδιώκεται να μην τροποποιούνται. Πρέπει, όμως, να εξασφαλίζεται η επιλεκτική συνεργασία του ΑΔΔ με το ΔΙ. Αυτό γίνεται με την εξασφάλιση της συνεργασίας των Η/Ν υπερέντασης του ΑΔΔ και των Η/Ν χρονικής καθυστέρησης (ΧΚ) του ΔΙ της γραμμής ή οποιουδήποτε άλλου μέσου παρεμβάλλεται. Ειδικότερα για την καθυστέρηση ορίων τάσης και συχνότητας προτείνεται η τιμή 0.8 sec για να μην υπάρχει άνοιγμα του ΑΔΔ ακόμα και σε περίπτωση παροδικών σφαλμάτων που αποκαθίστανται με την πρώτη ταχύτατη επαναφορά του ΔΙ. Τροποποιήσεις των ρυθμίσεων μπορούν να γίνουν μετά από αίτημα των παραγωγών. Επίσης, τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των διαφόρων ειδών προστασίας της γραμμής θα πρέπει να τίθενται υπόψη του παραγωγού.
  - Εγκαταστάσεις μεγάλης σχετικά ισχύος (>5MW): Συνδέονται με αποκλειστικές γραμμές ΜΤ ή και μέσω ιδιαίτερου μετασχηματιστή ΥΤ/ΜΤ. Οι προστασίες του ΑΔΣ μπορεί να ρυθμίζονται σε ευρύτερα όρια, όπως τα Τύπου Β στον Πίνακα 3 – 3. Έτσι περιορίζεται, η πιθανότητα απόζευξης της εγκατάστασης λόγω διαταραχών στο σύστημα ή σε άλλες γραμμές του δικτύου. Στις περιπτώσεις αυτές, μπορεί, αλλά γενικά προτείνεται, να τίθενται εκτός, ή να ρυθμίζονται σε πολύ υψηλές τιμές, οι Η/Ν στιγμιαίες λειτουργίας του ΔΙ στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ στην οποία συνδέεται η εγκατάσταση παραγωγής. Οποσδήποτε, όμως, θα εξασφαλίζεται η επιλεκτική συνεργασία των Η/Ν υπερεντάσεως του ΑΔΔ με τους Η/Ν ΧΚ του ΔΙ στην αναχώρηση της Γραμμής. Με τις ανωτέρω ρυθμίσεις επιτυγχάνεται μείωση της συχνότητας των άνευ λόγου αποζεύξεων του ΑΔΔ ή και η μη διακοπή της παραγωγής, εφόσον και οι μηχανές που εγκαθιστά ο παραγωγός έχουν τη δυνατότητα να παραμένουν σε λειτουργία κατά τη διάρκεια αντίστοιχων διαταραχών (και βεβαίως έχουν επιλεγεί αντίστοιχα διευρυμένα όρια και χρόνοι διέγερσης για τους ίδιους τύπους προστασίας των γεννητριών).
4. Για την ανίχνευση της απομονωμένης λειτουργίας μίας εγκατάστασης μπορεί να χρησιμοποιούνται σε ορισμένες περιπτώσεις ειδικοί Η/Ν, οι οποίοι π.χ. ελέγχουν το ρυθμό μεταβολής της τάσης, του φορτίου, της συχνότητας κλπ. Τα μέσα αυτά είναι αποδεκτά μετά από έγκριση από τις αρμόδιες υπηρεσίες της εταιρίας ΗΕ, αλλά δεν μπορούν να υποκαταστήσουν τις βασικές λειτουργίες που εμφανίζονται στον Πίνακα 3 – 3 για την προστασία της διασύνδεσης, χωρίς ειδική εξέταση. Επίσης, σε ειδικές περιπτώσεις εγκαταστάσεων παραγωγής μεγάλου μεγέθους, μπορεί να εφαρμοστεί η αλληλένδεση (transfer trip) του ΑΔΔ της εγκατάστασης με το διακόπτη στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ. Κατά αυτό τον τρόπο, εξασφαλίζεται η άμεση

απόζευξη της εγκατάστασης για οποιαδήποτε διαταραχή προκαλεί το άνοιγμα του διακόπτη της γραμμής και αποκλείεται η ασύγχρονη επανάζευξή του.

- Μετά από λειτουργία απόζευξης του ΑΔΔ, η ζεύξη του μπορεί να γίνεται είτε μετά από συνεννόηση με τη ΔΕΗ, αν υπάρχουν ειδικοί λόγοι, είτε ,σνηθέστερα, αυτόματα. Σε κάθε περίπτωση, η επανάζευξη πρέπει να καθυστερεί μέχρι να επανέλθει η τάση και η συχνότητα του δικτύου εντός της προβλεπόμενης ζώνης κανονικής λειτουργίας, ή και άλλους λόγους. Για την προστασία της εγκατάστασης παραγωγής, συνιστάται να προβλέπεται χρονική καθυστέρηση της τάξης των λεπτών της ώρας μεταξύ της επανόδου του δικτύου σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας και της ζεύξης της εγκατάστασης, ώστε να έχουν ολοκληρωθεί ενδεχόμενοι χειρισμοί στο δίκτυο. Για εγκαταστάσεις με δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας, η ζεύξη αυτή πρέπει να πραγματοποιείται από αυτόματο σύστημα συγχρονισμού ακριβείας.

#### Συνολική επισκόπηση των μέσων προστασίας και ζεύξης μέχρι το Σημείο Κοινής Σύνδεσης

Η εκτίμηση των διατάξεων προστασίας και των ρυθμίσεων τους αφορούν την εξασφάλιση των στοιχείων της εγκατάστασης έναντι υπερεντάσεων του ανωτέρω τύπου. Με βάση τα όσα αναφέρονται στο παρόν κεφάλαιο στο Σχήμα 3 – 10 απεικονίζεται το σύνολο των διατάξεων ζεύξης και προστασίας μέχρι και το ΣΚΣ της εγκατάστασης με το δίκτυο της ΔΕΗ.



Σχήμα 3 - 10. Διατάξεις προστασίας και ζεύξης σε ΦΣ

### 3.3.2 Λειτουργικές απαιτήσεις για τη συνεργασία φωτοβολταϊκού συστήματος με το δίκτυο

Στη συνέχεια περιγράφονται οι κυριότερες από τις λειτουργικές απαιτήσεις που τίθενται για τη σύνδεση φ/β μονάδων στα δίκτυα ΜΤ τόσο από τις ηλεκτρικές εταιρίες όσο και από τους χρήστες.

1. Η φ/β μονάδα πρέπει να μπορεί να παρέχει στο δίκτυο τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να παραχθεί υπό δεδομένη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασία, όταν η ονομαστική τάση του δικτύου  $V_t$  κυμαίνεται εντός των επιτρεπόμενων ορίων, π.χ.  $\pm 5\%$  της ονομαστικής. Εφόσον, ως συνήθως, είναι επιθυμητό η ισχύς να παρέχεται στο δίκτυο με  $\cos\phi = 1$  περίπου, τότε το μέτρο της τάσης εξόδου του ΦΣ πρέπει να είναι μεγαλύτερο και να προηγείται της τάσης του δικτύου, όπως και στην περίπτωση των σύγχρονων γεννητριών. Η απαίτηση αυτή εξασφαλίζεται με τον κατάλληλο έλεγχο του αντιστροφέα, σε συσχετισμό με τα χαρακτηριστικά της φ/β γεννήτριας
2. Εφόσον η τάση του δικτύου διατηρείται εκτός των επιτρεπόμενων ορίων επί περισσότερο από συγκεκριμένο επιτρεπτό χρονικό διάστημα, π.χ. άνω του  $\pm 10\%$  της ονομαστικής επί 1 sec, η εγκατάσταση αποσυνδέεται συνήθως από το δίκτυο για λόγους ασφαλείας. Πρέπει, επίσης να λαμβάνεται υπόψη το ενδεχόμενο της ταχείας επαναφοράς της τάσεως μετά από διακοπή ή άλλες μη ομαλές συνθήκες. Τα αντίστοιχα ισχύουν στην περίπτωση όπου και η συχνότητα της τάσης υπερβεί τις επιτρεπτές τιμές και αποκλίνει από την ονομαστική τιμή της, π.χ. πέραν του  $\pm 1\%$  για περισσότερο από 1 sec.
3. Όπως όλες οι συσκευές που περιλαμβάνουν ηλεκτρονικά ισχύος, δεν πρέπει να προκαλούν αρμονικές εντάσεις και να δημιουργούν ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, πέραν ορισμένων ορίων.
4. Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος εντός της εγκατάστασης, θα πρέπει να αποσυνδέεται από το δίκτυο. Αυτό επίσης εξασφαλίζεται συχνά από τους κατασκευαστές και για διαρροή ρεύματος (π.χ. άνω των 30 mA).
5. Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος στο δίκτυο, πρέπει η φ/β μονάδα να αποσυνδέεται. Δεδομένου, όμως, ότι και ένα πλήρες βραχυκύκλωμα στο δίκτυο δεν συνεπάγεται υπερεντάσεις ικανές να προκαλέσουν τη λειτουργία απλών προστασιών υπερέντασης, η απομόνωση πρέπει να βασίζεται στην έλλειψη τάσης ή την ανίχνευση των μεταβολών της αντίστασης του δικτύου. Επίσης, είναι προφανώς ανεπιθύμητο το να προβλέπεται η αυτόματη επανασύνδεση, μετά την αποκατάσταση της ομαλής λειτουργίας του δικτύου, εφόσον αυτό είναι αποδεκτό από την εταιρία ΗΕ.
6. Σε περιπτώσεις απομόνωσης τμήματος του δικτύου χωρίς να έχει προηγηθεί βραχυκύκλωμα σε αυτό (π.χ. για την εκτέλεση εργασιών), υπάρχει το ακραίο, αλλά πιθανό ενδεχόμενο, να παραμείνει το τμήμα αυτό τροφοδοτούμενο μόνο από τις συνδεδεμένες φ/β εγκαταστάσεις με τάση και συχνότητα εντός των ανεκτών ορίων (islanding – νησιδοποίηση). Αυτό μπορεί να συμβεί όταν στο τμήμα που απομονώθηκε η παραγόμενη από τις φ/β γεννήτριες ισχύς ισούται με την καταναλισκόμενη ισχύ συν τις απώλειες. Και στην περίπτωση αυτή, πρέπει προφανώς να προκαλείται η αυτόματη απομόνωση της εγκατάστασης για λόγους ασφαλείας του προσωπικού του δικτύου, δεδομένου ότι δεν είναι ευχερής η χειροκίνητη απομόνωση, ιδίως όταν υπάρχουν πολλές εγκαταστάσεις. Ένα τρόπος για την ανίχνευση τέτοιων καταστάσεων που εφαρμόζεται στην πράξη είναι η διαφοροποίηση (π.χ. κατά 1 Hz) της συχνότητας των αντιστροφέων από αυτή του

δικτύου διανομής, οπότε το σύστημα θα απομονωθεί μετά τη διακοπή του δικτύου, λόγω μειωμένης συχνότητας.

Τα ανωτέρω ζητήματα είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την συνεργασία ενός ΦΣ με το δίκτυο της ΜΤ. Στην συνέχεια, τίθενται οι εξισώσεις υπολογισμού της διακύμανσης τάσης στους κόμβους της γραμμής και του συντελεστή ισχύος στο ζυγό ΜΤ. Τα μεγέθη ανήκουν στην κατηγορία μεγεθών που αποτελούν κριτήρια για την ομαλή λειτουργία της γραμμής ΜΤ στην οποία έχουν συνδεθεί μονάδες ΔΠ.

### Διακύμανση Τάσης

Η διακύμανση τάσης σε κάθε κόμβο δίδεται από τη σχέση

$$\varepsilon(\%) = \frac{100}{V_n^2} (R_k \cdot P + X_k \cdot Q) \quad (3.2)$$

όπου  $\tilde{Z}_k = R_k + jX_k$  η ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση της υπό μελέτη γραμμής, και  $P, Q$  η ροή ενεργού και αέργου ισχύος στη γραμμή αντίστοιχα. Τα μεγέθη αυτά δίδονται από τις σχέσεις

$$P = P_{DG} - P_L \quad (3.3)$$

$$Q = Q_{DG} - Q_L \quad (3.4)$$

όπου  $P_{DG}, Q_{DG}$  η ενεργός και η αέργος ισχύς των φ/β μονάδων αντίστοιχα και  $P_L, Q_L$  η ενεργός και η αέργος ισχύς των φορτίων αντίστοιχα. Το πρόσημο του  $Q_{DG}$  εξαρτάται από το Σ.Ι.

Αν το όριο για τη διακύμανση της τάσης είναι  $\varepsilon_{max}$ , ισχύουν

$$\begin{aligned} \left| \frac{100}{V_n^2} (R_k \cdot P + X_k \cdot Q) \right| &\leq \varepsilon_{max} \Leftrightarrow \\ \left| \frac{100}{V_n^2} (R_k \cdot (P_{DG} - P_L) + X_k \cdot (Q_{DG} - Q_L)) \right| &\leq \varepsilon_{max} \Leftrightarrow \\ \left| \frac{100}{V_n^2} (R_k \cdot (P_{PV} - P_L) + X_k \cdot (Q_{PV} - Q_L)) \right| &\leq \varepsilon_{max} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Από την τελευταία σχέση είναι δυνατή η ρύθμιση των εξής μεγεθών των μονάδων ΔΠ – ΦΣ:

- Της συνολικής ενεργού ισχύος (αφαιρώντας – προσθέτοντας μονάδες)
- Η ρύθμιση της αέργου ισχύος και κατ' επέκταση του ΣΙ κάθε φ/β πάρκου, υπό την προϋπόθεση ότι η ενεργός ισχύς δεν αλλάζει.

### Συντελεστής ισχύος στο ζυγό ΜΤ

Η διατήρηση ενός κατά το δυνατό σταθερού συντελεστή ισχύος του δικτύου είναι σημαντική για τη λειτουργία των γεννητριών, των οποίων ο συντελεστής ισχύος κυμαίνεται εντός ορισμένων ορίων.

Στην περίπτωση αυτή είναι επιθυμητό ΣΙ στο ζυγό ΜΤ να λειτουργεί εντός ορίων. Τα μεγέθη που ενδιαφέρουν είναι τα ακόλουθα:

$$P = P_{DG} - P_L \quad (3.6)$$

$$Q = Q_{DG} - Q_L \quad (3.7)$$

$$pf = \frac{P_{DG} - P_L}{\sqrt{(P_{DG} - P_L)^2 + (Q_{DG} - Q_L)^2}} \quad (3.8)$$

Εφόσον στο δίκτυο εγγέεται άεργος ισχύς  $Q_c$  από μηχανισμούς αντιστάθμισης τόσο στους υπολογισμούς της διακύμανσης τάσης όσο και του συντελεστή ισχύος στον υπολογισμό της συνολικής αέργου ισχύος  $Q$  υπεισέρχεται και το  $Q_c$

### 3.4 Ο ρόλος του κέντρου ελέγχου ενέργειας σε αυτόνομο νησιωτικό σύστημα με συνδεδεμένη φ/β παραγωγή

Μέχρι τώρα η σχεδίαση των ΣΗΕ γινόταν λαμβάνοντας υπόψη τα χειρότερα σενάρια λειτουργίας και σφαλμάτων του δικτύου. Κατά συνέπεια, οι προδιαγραφές λειτουργίας ήταν πολύ αυστηρές. Ωστόσο αυτός ο τρόπος σχεδίασης δεν είναι καθόλου αποδοτικός και ευέλικτος, αφού δεν αντιστοιχεί στην κατάσταση μέσης λειτουργίας αλλά διαμορφώνεται από τις ακραίες καταστάσεις.

Η δυνατότητα παρακολούθησης του δικτύου σε πραγματικό χρόνο θα καταστήσει το δίκτυο αρκετά ευέλικτο και προσαρμόσιμο σε απότομες αλλαγές της λειτουργίας του. Επιπλέον, θα δοθεί η δυνατότητα άμεσου ελέγχου για την αντιμετώπιση προβλημάτων σε ακραίες καταστάσεις. Αυτή η δυνατότητα θα επιτρέψει στο δίκτυο να είναι περισσότερο ευέλικτο κατά τη λειτουργία του, χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η ασφάλειά του.

Το κέντρο ελέγχου ενέργειας είναι ένα σύστημα υλικού (hardware) και λογισμικού (software) το οποίο αποσκοπεί στην παρακολούθηση, την ανάλυση, τον έλεγχο και τη λειτουργία του συστήματος παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ΗΕ.

#### 3.4.1 Αρμοδιότητες και υποχρεώσεις του κέντρου ελέγχου ενέργειας

Στην περίπτωση των ΑΝΣ βασική υποχρέωση του κέντρου ελέγχου ενέργειας είναι η διασφάλιση της αξιόπιστης λειτουργίας των ηλεκτρικών ΑΝΣ και της εφαρμογής του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγράμματος (ΗΕΠ). Βασικές αρμοδιότητες του κέντρου ελέγχου ενέργειας αποτελούν:

- Η ένταξη (δηλαδή ο χρόνος παραλληλισμού ή αποσύνδεσης) και η κατανομή φορτίου (δηλαδή ο καθορισμός της φόρτισης) των μονάδων παραγωγής, με τις οποίες επιδιώκεται η ασφαλής και κατά το δυνατόν οικονομικότερη λειτουργία κάθε ηλεκτρικού ΑΝΣ. Οι ενέργειες αυτές γίνονται αντίστοιχα προς τα χαρακτηριστικά και το είδος των μονάδων καθώς και τις δυνατότητες του δικτύου, λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη και τα οριζόμενα από τις σχετικές νομοθετικές ρυθμίσεις και τις υφιστάμενες συμβατικές υποχρεώσεις.
- Ο έλεγχος της καλής λειτουργίας, του δικτύου που έχει χαρακτήρα μεταφοράς, με την παρακολούθηση της ροής ενεργού και αέργου ισχύος ώστε να αποφεύγεται η υπερφόρτωση των στοιχείων του δικτύου (γραμμές μεταφοράς, φορτία, μονάδες παραγωγής) και παράλληλα να επιτυγχάνεται η διατήρηση της τάσης εντός των επιτρεπομένων ορίων σε όλα τα σημεία του δικτύου μεταφοράς, ιδιαίτερα στα σημεία σύνδεσης δικτύου ΜΤ και εγκαταστάσεων παραγωγών και μεγάλων καταναλωτών. Εκτός από τα δίκτυα ΥΤ που τροφοδοτούν τους Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ, ως δίκτυα που έχουν “χαρακτήρα μεταφοράς” χαρακτηρίζονται και οι γραμμές ΜΤ που διασυνδέουν σταθμούς ελεγχόμενης ή και μερικά ελεγχόμενης παραγωγής, οι οποίες γραμμές επηρεάζουν σημαντικά τη λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος στο σύνολό του.

- Η διαχείριση της παραγωγής στα ΑΝΣ, δηλαδή στους κάθε τύπου σταθμούς παραγωγής καθώς και η διασφάλιση της επάρκειας ισχύος και της αξιόπιστης λειτουργίας των ηλεκτρικών ΑΝΣ.

### 3.4.2 Σύστημα διαχείρισης πληροφοριών και συναλλαγών

Το κέντρο ελέγχου ενέργειας του ΑΝΣ επιλέγει, εγκαθιστά, λειτουργεί και συντηρεί το σύστημα διαχείρισης πληροφοριών και συναλλαγών ΗΕ, το οποίο περιλαμβάνει κυρίως τις ακόλουθες λειτουργίες:

1. Τις βάσεις δεδομένων
2. Το σύστημα πρόβλεψης φορτίου και παραγωγής.
3. Το σύστημα επικοινωνιών με τους συμμετέχοντες στον ΗΕΠ.
4. Το σύστημα υποβολής δηλώσεων και προσφορών έγχυσης.
5. Το σύστημα επίλυσης του ΗΕΠ και της κατανομής φορτίου.

Το σύστημα διαχείρισης πληροφοριών πρέπει να είναι σύμφωνο με τις αρχές της σύγχρονης συναλλακτικής πρακτικής και να βασίζεται σε σύγχρονη δόκιμη τεχνολογία ώστε να εξασφαλίζει αδιάλειπτη λειτουργία και υψηλή αξιοπιστία. Οι βάσεις δεδομένων πρέπει να προστατεύονται από ειδικό σύστημα ώστε να αποκλείεται η πρόσβαση μη εξουσιοδοτημένων προσώπων ή η διαγραφή πληροφοριών. Επίσης, το σύστημα διαχείρισης πρέπει να διαθέτει εφεδρικό σύστημα, το οποίο θα τίθεται σε λειτουργία σε περίπτωση προσωρινής διακοπής ή δυσλειτουργίας του κύριου συστήματος. Το εφεδρικό σύστημα πρέπει να λειτουργεί ανεξάρτητα από το κύριο ηλεκτρονικό σύστημα, να διαθέτει κατάλληλο σύστημα ασφάλειας και να συγχρονίζεται με το κύριο σύστημα ως προς την ασφάλεια και πληρότητα των πληροφοριών.

Το σύστημα διαχείρισης επιλέγεται από το κέντρο ελέγχου ενέργειας του ΑΝΣ, ανάλογα με τις ανάγκες των κεντρικών υπηρεσιών και τις τοπικές συνθήκες των νησιωτικών συστημάτων. Η προμήθεια και εγκατάσταση ειδικού λογισμικού ή η χρησιμοποίηση των συνήθων εργαλείων επαφίεται στη κρίση του διαχειριστή ΑΝΣ. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να είναι εξασφαλισμένη η αξιοπιστία.





## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Υλοποίηση W-BPL δικτύου σε αυτόνομο νησιωτικό σύστημα με φωτοβολταϊκή παραγωγή**

### **4.1 Εισαγωγή – Βασικές έννοιες**

Η διαχείριση των δικτύων διανομής ΗΕ απαιτεί την ύπαρξη ενός ευέλικτου και αξιόπιστου δικτύου τηλεπικοινωνιών που θα χρησιμοποιείται κυρίως από τις εταιρίες ΗΕ αλλά και από τους καταναλωτές ως πληροφοριακό σύστημα και σύστημα ελέγχου. Επιπλέον, πρέπει να διαθέτει τη δυνατότητα να παρακολουθεί τις μεταβαλλόμενες ανάγκες και να βελτιώνει τους υπολογιστικούς πόρους, δικτύου, δεδομένων, ελέγχου και παρακολούθησης για το δίκτυο.

Στην παρούσα διπλωματική εξετάζεται η ανάπτυξη ενός W-BPL τηλεπικοινωνιακού δικτύου, τόσο για τη μετάδοση πληροφορίας, όσο και για τον έλεγχο σε ένα δίκτυο διανομής ενός ΑΝΣ στο οποίο συνδέονται φ/β μονάδες. Για τη διαχείριση του δικτύου απαιτείται ένα σύστημα τηλεμετρήσεων καθώς και ένα σύστημα μετάδοσης της πληροφορίας στο κέντρο ελέγχου της ΗΕ το οποίο επιστρέφει στους διασκορπισμένους κόμβους σήματα και εντολές ελέγχου. Οι βασικές συνιστώσες του τηλεπικοινωνιακού δικτύου αυτού αναλύονται ακολούθως.

Υπό τον όρο RTU (Remote Telemetry Unit) αναφέρονται οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα ΗΕ, που εγκαθίστανται σε απομακρυσμένα σημεία του δικτύου με σκοπό την αποστολή / λήψη πληροφοριών και εντολών. Τηλεμέτρηση (Telemetry) είναι η αποστολή μετρήσεων και σημάτων ελέγχου από RTU σε RTU ή από και προς πολλαπλά RTU. Ένα σύστημα SCADA (Supervision, Control And Data Acquisition) συλλέγει τις πληροφορίες από τα RTU. Το σύστημα SCADA διαθέτει κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή που επικοινωνεί με ένα ή περισσότερα RTU. Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται ένα γενικό σύστημα τηλεμετρήσεων (ή αλλιώς SCADA) και αναλύονται τα επιμέρους χαρακτηριστικά του. Στη συνέχεια, αναφέρονται οι ειδικές μετρήσεις που ενδιαφέρουν ένα ΑΝΣ με φ/β παραγωγή, ενώ αναλύονται οι τρόποι μετάδοσης και μέτρησης των μετρήσεων αυτών. Τέλος, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά του τηλεπικοινωνιακού δικτύου που υλοποιείται.

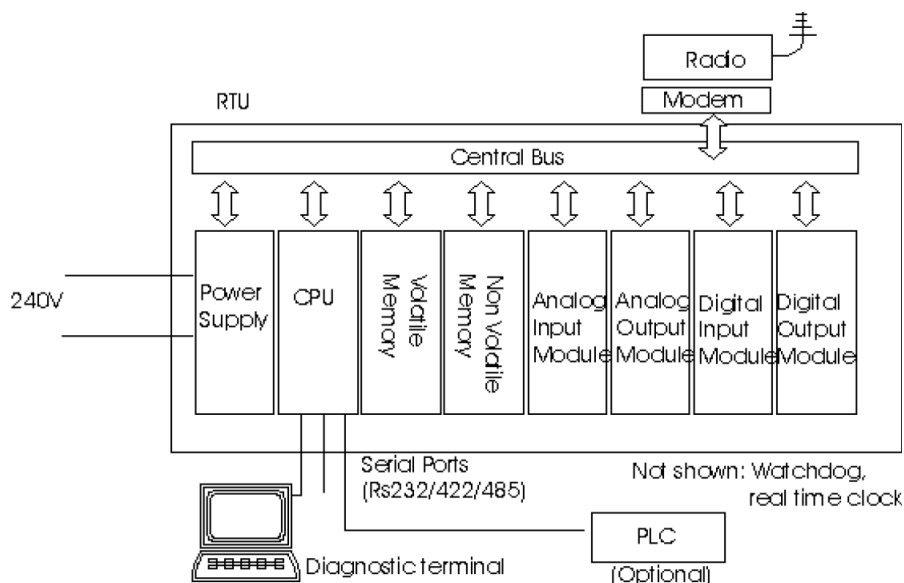
### **4.2 Σύστημα τηλεμετρήσεων ή SCADA**

Ένα σύστημα τηλεμετρήσεων ή SCADA αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Ένα κεντρικό υπολογιστικό σταθμό.
- Γραμμές επικοινωνίας (radio, broadband, καλωδιακή, τηλεφωνική).
- RTU που κωδικοποιούν και αποκωδικοποιούν σήματα που προκύπτουν από τα μετρούμενα μεγέθη.
- Σύστημα ελέγχου.

#### **4.2.1 RTU (Remote Telemetry Unit)**

Το RTU μετατρέπει εισερχόμενα σήματα από τα μετρούμενα μεγέθη, όπως θερμοκρασία, ακτινοβολία, τάσεις / ρεύματα, επαφές, παλμούς κ.α. σε σήματα που μπορούν να μεταδοθούν κατά ενσύρματο (cable) ή ασύρματο (radio) τρόπο. Επίσης, το RTU μετατρέπει σήματα που προέρχονται από άλλο RTU ή από ένα κεντρικό Η/Υ σε σήματα ελέγχου της λειτουργίας των Η/Ν, της κλίσης των φ/β μονάδων ως προς τη θέση του ήλιου κ.α.



Σχήμα 4 - 1. Σχηματικό διάγραμμα RTU

Αντίστοιχα προς τον τρόπο που λειτουργούν υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες συστημάτων SCADA:

- ✓ Mode-A συστήματα: κλήση (dialing) του RTU.
- ✓ Mode-B συστήματα: συνεχής σάρωσης (polling) του RTU μέσω H/Y.
- ✓ Mode-C συστήματα: αποστέλλονται μετρήσεις και μεταδίδονται εντολές από RTU σε RTU (πολυπλεξία σήματος).

Ένα Mode – A RTU συστήματα χρησιμοποιεί το δημόσιο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας και μπορεί να επικοινωνεί είτε φωνητικά είτε σε γλώσσες συμβατές με H/Y. Η Mode – A λειτουργία δεν είναι κατάλληλη για εφαρμογές όπου απαιτείται συνεχής επικοινωνία με το RTU. Τα πλεονεκτήματα των συστημάτων αυτών είναι:

- Χαμηλό κόστος επικοινωνίας (μόνο το κόστος κάθε κλήσης και της σύνδεσης στην τηλεφωνική υποδοχή)
- Προσπέλαση οποιουδήποτε σημείου του δικτύου από οπουδήποτε υπάρχει δυνατότητα τηλεφωνικής σύνδεσης.
- Δεν απαιτείται πρόσθετος εξοπλισμός και μπορεί να γίνει προσπέλαση από συνδυασμό H/Y και modem

Τα Mode – B συστήματα RTU επικοινωνούν συνεχώς με ένα κεντρικό σταθμό (συνήθως ένα H/Y). Τα πλεονεκτήματά τους είναι:

- Συνεχής επιτήρηση όλων των απομακρυσμένων σημείων του συστήματος από μία κεντρική θέση.
- Ταχεία ενημέρωση του κεντρικού σταθμού για τις εισερχόμενες πληροφορίες.
- Ταχεία ανταπόκριση του κεντρικού σταθμού σε εισερχόμενες εντολές.

Μέσω της λειτουργίας Mode – B, τα RTU συνδέονται μέσω ευρυζωνικής τεχνολογίας (Broadband) εξασφαλίζοντας την παρακολούθηση και ανταπόκριση σε πραγματικό χρόνο.

Τα Mode – C συστήματα RTU χρησιμοποιούνται όπου απαιτείται ταχεία, οικονομική και αξιόπιστη μεταφορά μετρήσεων και ψηφιακών σημάτων από μία θέση σε μία ή περισσότερες θέσεις. Δύο ή περισσότερα RTU ή πολυπλεκτικοί (MUX) πομποί / δέκτες επικοινωνούν συνεχώς μεταξύ τους κατά ενσύρματο ή ασύρματο τρόπο με γλώσσες συμβατές με H/Y, μεταβιβάζοντας αναλογική και ψηφιακή πληροφορία από τα κυκλώματα εξόδου ενός RTU ή MUX στα κυκλώματα εισόδου ενός άλλου RTU ή MUX. Το κυριότερο πλεονέκτημα αυτού του τρόπου λειτουργίας είναι το χαμηλό κόστος επικοινωνιών καθώς πολλαπλά σήματα μπορούν να μεταδοθούν μέσω μίας μόνο ζεύξης.

Το RTU συνδέεται με τις γραμμές επικοινωνίας μέσω ενός ενσωματωμένου modem και με τους αισθητήρες και ενεργοποιητές μέσω κυκλωμάτων εισόδου / εξόδου (I/O). Τα κυκλώματα εισόδου / εξόδου ταξινομούνται ως εξής:

- Αναλογικές εισοδοί (Analog Inputs, A/I): Το RTU λαμβάνει από αισθητήρες πληροφορίες σχετικές με τη θερμοκρασία, ακτινοβολία, θέση των φ/β πλαισίων, ρεύματα και τάσεις κλπ. Αυτός ο τύπος πληροφορίας καλείται αναλογικός καθώς τα ηλεκτρικά σήματα που λαμβάνει το RTU είναι ανάλογα των μετρούμενων φυσικών μεγεθών και προέρχονται από μετατροπείς (transducers)
- Ψηφιακές εισοδοί (Digital Inputs, D/I): Το RTU μπορεί να λαμβάνει και να δίνει πληροφορία αν ένα φ/β πλαίσιο παράγει ή όχι, αν ένας διακόπτης είναι ανοικτός ή κλειστός κλπ. Ο τύπος αυτός πληροφορίας καλείται ψηφιακός διότι έχει δύο μόνο καταστάσεις ON ή OFF.
- Παλμικές εισοδοί (Pulse Inputs, P/I): Μετρήσεις ροής, HE κλπ αποστέλλουν παλμούς στο RTU. Κάθε παλμός αντιστοιχεί σε μία μοναδιαία τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Αυτοί οι παλμοί αθροίζονται (accumulated) από το RTU και το συνολικό άθροισμα που αντιστοιχεί στη συνολική τιμή του μετρούμενου μεγέθους απεικονίζεται από το RTU.
- Αναλογικές εξοδοί (Analog Outputs, A/O): σήμα εντολής θέσης των φ/β πλαισίων, ένα αναλογικό σήμα θέσης σε ένα PLC ή ένα σήμα σε ένα καταγραφικό, απαιτούν όπως το RTU δώσει στην έξοδό του ένα μεταβλητό ρεύμα ανάλογο της εντολής από τον κεντρικό H/Y ή της αναλογικής εισόδου από κάποιο άλλο RTU.
- Ψηφιακές εξοδοί (Digital Outputs, D/O): εντολές από το RTU για άνοιγμα ή κλείσιμο κάποιων φ/β πλαισίων, άνοιγμα ή κλείσιμο διακοπών ισχύος απαιτούν ψηφιακές εξόδους προερχόμενες είτε από κεντρικό H/Y είτε από εισόδους άλλων RTUs.
- Παλμικές Έξοδοι (Pulse Outputs, P/O): Παλμοσειρές αποστέλλονται από ένα σημείο σε ένα άλλο κατά τη λειτουργία mode – C. Το RTU με κάποιο πρόγραμμα επιτρέπει στα ψηφιακά κυκλώματα εξόδου να δώσουν παλμούς ακριβώς αντίστοιχους με τους παλμούς εισόδου του RTU σε κάποιο άλλο άκρο.

#### 4.2.2 Προγραμματιζόμενοι ελεγκτές PLC

Το PLC (Programmable Logic Controller) έχει γίνει αναπόσπαστο τμήμα των συστημάτων ελέγχου, μικρού και μεγάλου μεγέθους. Στην απλούστερη εκδοχή του αντικαθιστά συστήματα H/N, ενώ σε περισσότερο σύνθετη μορφή εκτελεί διάφορες λειτουργίες αναλογικού και ψηφιακού ελέγχου, σε συνεργασία με άλλα PLC, σε ένα διασπαρμένο σύστημα ελέγχου. Ένας προγραμματιζόμενος ελεγκτής είναι ένα ψηφιακό ηλεκτρονικό σύστημα, σχεδιασμένο για χρήση σε βιομηχανικό περιβάλλον, το οποίο χρησιμοποιεί μία προγραμματιζόμενη μνήμη για την αποθήκευση εντολών ώστε να επιτελούνται διάφορες λειτουργίες, όπως λογικές, χρονικές, μετρητικές και αριθμητικές πράξεις, και να ελέγχονται μέσω αναλογικών / ψηφιακών μονάδων διάφορες μηχανές ή διαδικασίες.

Οι προγραμματιζόμενοι ελεγκτές είναι συνδεδεμένοι σε διάφορα σημεία της παραγωγής, από όπου μέσω αισθητήρων και μεταλλακτών λαμβάνουν στις εισόδους τους σήματα (ψηφιακά ή αναλογικά). Η κεντρική μονάδα (CPU) επεξεργάζεται τα σήματα αυτά σύμφωνα με τις αποθηκευμένες εντολές στη μνήμη, εκτελεί λογικές και αριθμητικές πράξεις, και μεταβιβάζει τα αποτελέσματα των λογικών επεξεργασιών (RLO) στις αντίστοιχες εξόδους του ελεγκτή. Κατά αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται συνεχής έλεγχος και παρακολούθηση της πορείας της παραγωγής, αλλά και παρέχεται η δυνατότητα πρόβλεψης για την αντιμετώπιση βλαβών ή σφαλμάτων.

Με βάση τα προηγούμενα, τα RTU χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία και την αποστολή μετρήσεων και εντολών από και προς τα απομακρυσμένα σημεία, ενώ τα PLC χρησιμοποιούνται για τοπικό έλεγχο. Τα RTU επιτυγχάνουν πολύ καλή επικοινωνία μέσω ενσωματωμένων modems, δεν έχουν καμία απαίτηση προγραμματισμού, ξεκινούν αυτόματα μόλις τεθούν υπό τάση, ενώ το κόστος ανά σημείο I/O ενός RTU είναι μικρότερο ενός PLC. Από την άλλη πλευρά τα PLC δεν επιτυγχάνουν καλή επικοινωνία, καθώς είναι προσανατολισμένα κυρίως στον έλεγχο των διαδικασιών. Χρειάζονται εξωτερικά modems και ειδικό προγραμματισμό για να επικοινωνήσουν. Πλεονέκτημά τους είναι ότι προγραμματίζονται ώστε να ελέγχουν κατά αυτόματο τρόπο πολύπλοκες διαδικασίες.

Από τα ανωτέρω γίνεται σαφές ότι η συνεργασία των RTU και PLC προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, κυρίως όταν απαιτείται αυτόματος έλεγχος όπου συνδέεται ένα PLC στο RTU. Στο PLC ανατίθεται να λαμβάνει ψηφιακά και / ή αναλογικά σήματα από το RTU στα «επιθυμητά σημεία» λειτουργίας (set points). Συνεπώς, το RTU χρησιμοποιείται για αναφορές (reporting), για αποστολή εντολών σε απομακρυσμένα σημεία (remote commands) και, γενικότερα, για επικοινωνιακούς σκοπούς ενώ το PLC χρησιμοποιείται για τοπικό έλεγχο στα διάφορα σημεία του δικτύου ΗΕ.

#### 4.2.3 Πρωτόκολλο επικοινωνίας

Πρωτόκολλο είναι η γλώσσα επικοινωνίας των RTU, PLC και H/Y και άλλων συσκευών μεταξύ τους. Όλα τα RTU επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ενσωματωμένων modems, είτε με το γνωστό κώδικα ASCII είτε με άλλα βιομηχανικά πρωτόκολλα, όπως το MODBUS, το PROFIBUS, κ.α. Επίσης, μπορούν να εξοπλίζονται με θύρα RS – 232 για επικοινωνία με άλλες συσκευές μέσω θύρας RS – 232. Ο κώδικας ASCII χρησιμοποιείται πρακτικά από κάθε H/Y και είναι το συνηθέστερο πρωτόκολλο. Οι ASCII ακολουθίες χαρακτήρων προγραμματίζονται, διαβάζονται και τυπώνονται εύκολα. Το μήνυμα σάρωσης (polling message) του RTU αποτελείται απλώς από το όνομά του, το δε RTU πληροφορεί για τη δομή του και εκθέτει όλες τις αναλογικές, ψηφιακές και παλμικές εισόδους και εξόδους.

Τα MODBUS και PROFIBUS είναι πρωτόκολλα για PLC και RTU ειδικά σχεδιασμένα για βιομηχανικό αυτοματισμό. Παρέχουν τη δυνατότητα στο χρήστη να αποφασίσει για κάθε αναλογική ή ψηφιακή ένδειξη.

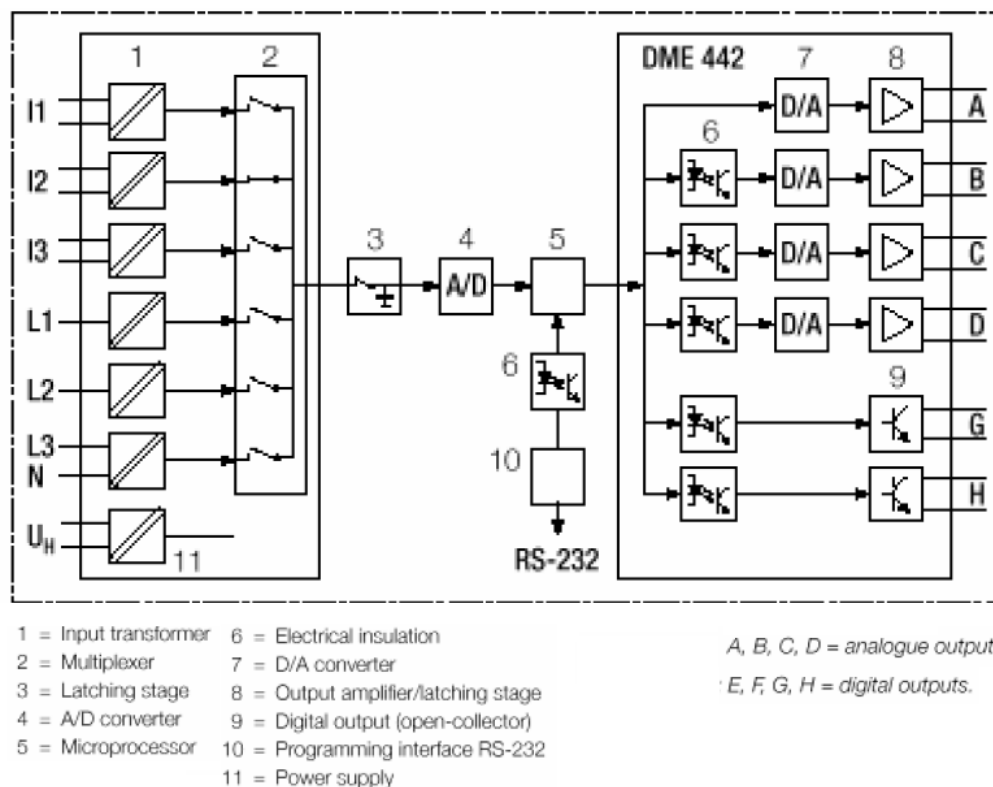
Η ταχύτητα επικοινωνίας των RTU μετρείται σε baud. Ο όρος baud στις τηλεπικοινωνίες αποτελεί τη μονάδα μέτρησης του ρυθμού μετάδοσης συμβόλων. Είναι συνώνυμος με τον όρο σύμβολα ανά δευτερόλεπτο. Τα RTU, τα οποία έχουν ενσωματωμένα modems, επικοινωνούν συνήθως στα 1200 baud [Bell – 202 standard]. Τα RTU με θύρα RS – 232 μπορούν να ρυθμιστούν εργοστασιακά μεταξύ 1200 και 9600 baud. Η επικοινωνία γίνεται συνήθως με περιττή ισοτιμία (even parity) με 7 data bits και 1 stop bit, κατά την οποία υπάρχει ένα bit (parity bit) για να επιβεβαιώσει ότι το πλήθος των bits σε ένα σύνολο από bits

είναι περιττό. Το parity bit τίθεται 1 όταν το σύνολο των 1 σε συγκεκριμένη ακολουθία από bits (χωρίς να περιλαμβάνεται το parity bit) είναι άρτιο και 0 όταν το σύνολο των bits είναι περιττό. Το parity bit χρησιμοποιείται ως η απλούστερη μορφή εντοπισμού λαθών σε μία ακολουθία συμβόλων. Το RTU μπορεί να επικοινωνήσει και χωρίς έλεγχο ισοτιμίας με 8 data bits και 1 stop bit. Τα RTU μπορούν να προγραμματιστούν ώστε να επικοινωνούν σε ASCII, MODBUS και PROFIBUS.

#### 4.2.4 Άλλα μέρη του συστήματος SCADA

##### Μετατροπέας (Transducer)

Ο μετατροπέας (Transducer) είναι συσκευή η οποία μετρεί διάφορες μεταβλητές ενός ΣΗΕ, όπως το ρεύμα, η τάση, η ενεργός ισχύς, η άεργος ισχύς, η φαινόμενη ισχύς, ο συντελεστή ισχύος ( $\cos\phi$ ) και η συχνότητα. Επίσης, είναι εξοπλισμένος με σειριακή θύρα RS – 232, όπου μπορεί να συνδεθεί ένας Η/Υ για προγραμματισμό πολλαπλών λειτουργιών.



Σχήμα 4 - 2. Block διάγραμμα μετατροπέα

##### Πολυπλέκτης (Multiplexer)

Όταν αναλογικά και ψηφιακά σήματα που προέρχονται από μέτρηση και έλεγχο πρέπει να διακινηθούν μεταξύ δύο σημείων, χρησιμοποιούνται αντίστοιχα ζεύγη καλωδίων. Για μεγάλες αποστάσεις ή πολλά σήματα, το κόστος γίνεται απαγορευτικό. Μία αξιόπιστη λύση είναι η πολυπλεξία (multiplexing) αναλογικών και ψηφιακών σημάτων. Ο πολυπλέκτης αντικαθιστά την ύπαρξη πολλών ζευγών καλωδίων ή ζεύξεων από το ένα σημείο του δικτύου στο άλλο.

Πολυπλεξία μπορεί να γίνει και με RTU (back – to – back σε Mode – C). Το ένα RTU λειτουργεί ως κύριο (master), σαρώνοντας συνεχώς το δευτερεύον (far end slave) RTU. Το

βασικό πλεονέκτημα είναι ότι τα σήματα πολυπλέκονται αμφίδρομα, δηλαδή ο ρόλος λειτουργίας των RTU που περιγράφηκε ανωτέρω αλλάζει, ανάλογα με το αν έχουμε uplink ή downlink ζεύξη.

### Modems

Τα modems χρησιμοποιούνται για να μετατρέπουν πληροφορία από RTU, κεντρικούς Η/Υ και PLC σε διαμορφωμένα (MO – dulated) και αποδιαμορφωμένα (DEM – odulated) σήματα, τα οποία μπορούν να μεταδοθούν μέσω ραδιοκυμάτων ή καλωδίων. Τα modems που χρησιμοποιούνται στα RTU και PLC είναι τετράκλινα, δηλαδή ένα καλώδιο αποτελείται από τέσσερις ίνες, Continuous Transmission Modems (CTM), και η ταχύτητα επικοινωνίας είναι στα 1200 baud. Υπάρχουν δύο κατηγορίες modem:

- Παθητικά (Passive) modems: χρησιμοποιούνται με PLC και Η/Υ που μπορούν να διαχειριστούν τη γραμμή RS – 232 RTS (ready to send, radio press to talk). Τα περισσότερα PLC όπως τα συμβατά με το πρωτόκολλο MODBUS, και τα περισσότερα κεντρικά συστήματα λογισμικού μπορούν να επεξεργαστούν σήμα RTS (Request to Send).
- Ενεργά (Active buffered) modem: διαθέτουν μικροϋπολογιστή για να επικοινωνεί με συσκευές οι οποίες δεν διαχειρίζονται σήμα RTS. Προγραμματίζεται να ανιχνεύει την αρχή και το τέλος της ακολουθίας μηνυμάτων, να αποθηκεύει και να καθυστερεί τη μετάδοση και να παράγει σήμα RTS.

#### 4.2.5 Διάταξη συγκέντρωσης δεδομένων

Η διάταξη συγκέντρωσης δεδομένων (Data Acquisition and Control, DAC) είναι μία διάταξη η οποία επικοινωνεί συνεχώς με τα RTU, αποτελώντας μία εσωτερική βάση δεδομένων του RTU (RTU Data Base – RDB) στην οποία μπορούν να υποβληθούν αιτήσεις από οποιονδήποτε κεντρικό Η/Υ. Η διάταξη DAC συλλέγει τις πληροφορίες από επιμέρους RTU και επικοινωνεί σε πραγματικό χρόνο με κεντρικό Η/Υ και άλλες DAC διατάξεις σε άλλα σημεία του δικτύου. Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ένα μεγάλο RTU. Η ύπαρξη πολύ ισχυρών προσωπικών Η/Υ και κατάλληλου λογισμικού έχει αλλάξει δραστικά τον τρόπο με τον οποίο κτίζονται συστήματα RTU και SCADA. Δεν απαιτούνται πλέον ακριβά πακέτα SCADA και μπορούν να επεκταθούν στο δίκτυο HE χωρίς περιορισμούς. Τα DAC παρέχουν το εμπρόσθιο τμήμα το οποίο επιτρέπει σε δεδομένα από ένα μεγάλο αριθμό RTU να τροφοδοτήσουν οποιαδήποτε βάση δεδομένων

Το DAC χειρίζεται όλες τις διαδικασίες του μέσω δύο σειριακών θυρών επικοινωνίας:

- Η μία θύρα συνδέεται σε ένα modem, το οποίο με τη σειρά του συνδέεται με τις γραμμές επικοινωνιών και με τα απομακρυσμένα (far end) RTU.
- Η άλλη θύρα (RS – 232) είναι υψηλής ταχύτητας και συνδέεται με τον κεντρικό υπολογιστικό σταθμό. Δια της θύρας αυτής διαχειρίζεται ο κεντρικός υπολογιστικός σταθμός την κεντρική βάση δεδομένων RDB της DAC διάταξης.

### 4.3 Μετρήσεις σε ΑΝΣ με φωτοβολταϊκή παραγωγή

Προκειμένου να υλοποιηθεί ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο βασισμένο στην W-BPL τεχνολογία πρέπει αρχικά να αναλυθούν οι ανάγκες του δικτύου αυτού. Δηλαδή πρέπει να προσδιορισθούν τα μεγέθη που ενδιαφέρουν και διαμορφώνουν τα τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά του δικτύου, όπως τους ρυθμούς μετάδοσης, τον όγκο της μεταδιδόμενης πληροφορίας, τη διαθεσιμότητα, την καθυστέρηση των μεταδιδόμενων πακέτων κ.α.



Στην περίπτωση ενός ΑΝΣ με φ/β παραγωγή τα μεγέθη αυτά μπορούν να μετρηθούν σε τρεις περιοχές ενδιαφέροντος, συγκεκριμένα στα φορτία του ΣΗΕ, στα ΦΣ και τέλος στα σημεία σύνδεσης των φορτίων και των παραγωγών με το δίκτυο (ΣΚΣ). Επίσης, για τη σχεδίαση του τηλεπικοινωνιακού δικτύου ενδιαφέρει η συνεισφορά των ανωτέρω στοιχείων στη συμπεριφορά του δικτύου ΗΕ. Για παράδειγμα, η παραγωγή και η κατανάλωση ενεργού ισχύος από τα ΦΣ και τα φορτία αντίστοιχα επηρεάζουν τη λειτουργία του δικτύου ΗΕ, επομένως, η ενεργός ισχύς είναι ένα μέγεθος που απαιτεί συνεχή μέτρηση από το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο.

#### 4.3.1 Μετρήσεις στα φορτία του ΑΝΣ

Αν και τα φορτία δεν αποτελούν αντικείμενο μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας, η συνεισφορά τους στη συμπεριφορά και τη μελέτη του δικτύου ΗΕ είναι σημαντική. Έτσι, λοιπόν, το ενδιαφέρον της μελέτης εστιάζεται στο ΣΚΣ του φορτίου με το δίκτυο. Τα σημεία αυτά στις γραμμές ΜΤ μπορούν να είναι είτε φορτία ΜΤ (οικιακά, βιομηχανικά, εμπορικά) είτε ζυγοί ΧΤ από όπου ξεκινούν γραμμές ΧΤ. Τα μεγέθη που ενδιαφέρουν κυρίως είναι η ζήτηση, η καταναλισκόμενη ενεργός και άεργος ισχύς, τα επίπεδα τάσης και ρεύματος και ο συντελεστής ισχύος.

Στα παραδοσιακά δίκτυα ΗΕ είναι αναγκαίο να προηγούνται μελέτες πρόβλεψης της ζήτησης των φορτίων ανά υποσταθμό (Υ/Σ) για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών για κάποια εξεταζόμενη χρονική περίοδο στο μέλλον. Στο πρώτο στάδιο συγκεντρώνονται οι ανά Υ/Σ προβλέψεις. Οι προβλέψεις αυτές στηρίζονται στη γενική οικονομική ανάπτυξη της περιοχής και σε ιστορικά στοιχεία σχετικά με την εξέλιξη του φορτίου της περιοχής. Κατ' αυτό τον τρόπο, καθορίζονται οι ανάγκες κατασκευής νέων Υ/Σ για την κάλυψη των αυξημένων φορτίων κάθε περιοχής. Στο δεύτερο στάδιο γίνεται η πρόβλεψη της εξέλιξης της συνολικής ζήτησης, ανεξάρτητα των τοπικών προβλέψεων ανά Υ/Σ, με διαδικασίες και μελέτες ανάλογες με αυτές που πραγματοποιούνται στους Υ/Σ. Στις μελέτες αυτές, πέραν των γενικών πληροφοριών από τους διαφόρους κρατικούς φορείς σχετικά με την οικονομική ανάπτυξη των νησιών της χώρας, λαμβάνονται υπόψη οι αναμενόμενες αλλαγές στις καταναλωτικές συνήθειες (π.χ. αυξημένη χρήση κλιματιστικών συσκευών) λόγω βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου του πληθυσμού, καθώς και διάφορες άλλες παράμετροι, όπως το εισόδημα των κατοίκων των νησιών, πολιτικές αποφάσεις που επηρεάζουν την κατανάλωση (π.χ. εξοικονόμηση ενέργειας) κλπ.

Για την εκπόνηση των μελετών πρόβλεψης της ζήτησης χρησιμοποιούνται μαθηματικά στατιστικά μοντέλα που εξάγονται με βάση τα ιστορικά στοιχεία και το σύνολο των διαθέσιμων πληροφοριών. Ειδικά για την πρόβλεψη των αιχμών φορτίου που εμφανίζονται κατά τους θερινούς μήνες, λαμβάνεται, επίσης, υπόψη η έντονη εξάρτησή τους από τη θερμοκρασία, με χρήση μοντέλων φορτίου – θερμοκρασίας.

Στην εξέλιξη της συνολικής ζήτησης πρέπει να ανταποκρίνεται και η ανάπτυξη του συστήματος παραγωγής ώστε να καλύπτεται η ζήτηση αυτή. Έτσι, η εξέλιξη του συνολικού φορτίου των νησιών, όπως προβλέπεται από το κέντρο ελέγχου ενέργειας, λαμβάνεται ως βάση για την προσαρμογή των ανά Υ/Σ φορτίων.

Στα δίκτυα ΗΕ του μέλλοντος η πρόβλεψη δεν είναι υποχρεωτική, αφού παρέχεται η δυνατότητα παρακολούθησης της ζήτησης σε πραγματικό χρόνο (real – time). Δηλαδή είναι δυνατή η μέτρηση των μεγεθών που ενδιαφέρουν στα φορτία και η προσαρμογή της παραγωγής ανάλογα με την κατανάλωση. Επομένως, οι μετρήσεις των μεγεθών μπορούν να

γίνονται ανά λεπτό, τέταρτο, ώρα, ανάλογα με τις ανάγκες της περιοχής και τις συνθήκες που επικρατούν. Τέλος, χρειάζεται να γίνονται μετρήσεις και στους έξυπνους μετρητές (smart meters), οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την τιμολόγηση της ΗΕ.

#### 4.3.2 Μετρήσεις στα φωτοβολταϊκά συστήματα του ΑΝΣ

Στην περίπτωση των ΦΣ το ενδιαφέρον εστιάζεται σε δύο περιοχές μετρήσεων. Στην πρώτη περιοχή μετρώνται μεγέθη που αφορούν την ομαλή και ασφαλή λειτουργία στο εσωτερικό του ΦΣ. Δηλαδή τα μεγέθη που χρειάζεται να μετρώνται ενδιαφέρουν άμεσα τον παραγωγό – ιδιοκτήτη του ΦΣ. Η δεύτερη περιοχή ενδιαφέροντος αφορά την επίδραση της μονάδας παραγωγής στη λειτουργία του δικτύου, και συγκεκριμένα της γραμμής ΜΤ. Δηλαδή ενδιαφέρουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά στην έξοδο του ΦΣ στο ΣΚΣ με το δίκτυο.

##### *Μετρήσεις στο εσωτερικό του πάρκου*

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι μετρήσεις στο εσωτερικό του ΦΣ αφορούν την ομαλή και ασφαλή λειτουργία του. Ο όρος ομαλή και ασφαλή λειτουργία αναφέρεται στην απόδοση των φ/β πλαισίων, την απόδοση των αντιστροφών, την αντιμετώπιση των σφαλμάτων, τη συνολική απόδοση του σταθμού παραγωγής, την ποιότητα της τάσης και του ρεύματος εξόδου, τη συνολική ισχύ εξόδου. Επιπλέον, η ασφάλεια σχετίζεται με την απομόνωση του ΦΣ από εξωτερικούς παράγοντες (ανθρώπινους, φυσικούς κλπ) και την άμεση παρακολούθηση των στοιχείων του σε πραγματικό χρόνο.

Με βάση τα ανωτέρω απαιτείται ένα σύστημα μετρήσεων ορισμένων χαρακτηριστικών εισόδου και εξόδου του ΦΣ. Αρχικά ενδιαφέρει η μέτρηση των μεγεθών της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στην περιοχή όπου είναι εγκατεστημένα τα φ/β πλαίσια. Τα μεγέθη αυτά αποτελούν τις εισόδους του ΦΣ για την παραγωγή ΗΕ. Επομένως, η συνεχής μέτρηση των μεγεθών αυτών είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η λήψη μετρήσεων θα μπορούσε να είναι ανά δεκάλεπτο, ημίωρο ή και ανά ώρα.

Πυρήνα των ΦΣ αποτελούν οι αντιστροφείς. Οι αντιστροφείς παρέχουν ένα σύνολο πληροφοριών που είναι αντιπροσωπευτικό της καλής λειτουργίας του ΦΣ. Συγκεκριμένα, στους αντιστροφείς μπορούν να μετρηθούν τα μεγέθη εισόδου, όπως η συνεχής τάση, το συνεχές ρεύμα που αποτελούν τις εξόδους των φ/β πλαισίων και τα μεγέθη εξόδου, όπως η εναλλασσόμενη τάση και το εναλλασσόμενο ρεύμα, η ενεργός, η άεργος και η φαινόμενη ισχύς, ο συντελεστής ισχύος, οι αρμονικές. Έτσι, λοιπόν, μπορεί να μετρείται έμμεσα η απόδοση των φ/β πλαισίων και των αντιστροφών και να εντοπίζονται σημεία όπου ενδεχομένως προκαλούνται σφάλματα, όπως βραχυκυκλώματα.

Εκτός όμως από τις καιρικές συνθήκες και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται άμεσα με τη λειτουργία του ΦΣ, σημαντικά είναι και τα μεγέθη που πρέπει να μετρώνται για λόγους ασφαλείας. Συγκεκριμένα, επισημαίνεται ότι το ΦΣ μπορεί για λόγους ασφαλείας να διαθέτει συναγερμό και κάμερες ασφαλείας, οπότε προκύπτει η ανάγκη για μετάδοση εικόνας και ήχου στο ΦΣ κατά τη διάρκεια όλου του εικοσιτετραώρου.

##### *Μετρήσεις στο ΣΚΣ με το δίκτυο*

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά στην έξοδο του ΦΣ ενδιαφέρουν άμεσα το κέντρο ελέγχου ενέργειας γιατί επηρεάζουν τη λειτουργία του δικτύου διανομής ΜΤ. Το σύνολο των μεγεθών αυτών επιδρά και στη λειτουργία των άλλων εμπλεκομένων στο δίκτυο, είτε είναι καταναλωτές είτε παραγωγοί. Τα αντίστοιχα μεγέθη που ενδιαφέρουν είναι τα εξής:

- Η συνολική παραγόμενη ενεργός ισχύς που αποδίδεται στο δίκτυο.



- Η συνολική άεργος ισχύς του σταθμού παραγωγής. Ο σταθμός μπορεί να παράγει ή να καταναλώνει άεργο ισχύ.
- Ο συντελεστής ισχύος του σταθμού παραγωγής καθώς και τα όρια λειτουργίας του.
- Τα επίπεδα τάσης (διακύμανση τάσης) και ρεύματος στο ΣΚΣ.
- Οι θέσεις των διακοπών.

Τα ανωτέρω μεγέθη είναι σημαντικά, οπότε η τακτική ενημέρωση του κέντρου ελέγχου ενέργειας για τις τιμές τους καθιστά την ύπαρξη ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου επιτακτική.

#### 4.4 Τρόποι μέτρησης και μετάδοσης πληροφορίας

Στην προηγούμενη ενότητα αναφέρθηκαν οι μετρήσεις που ενδιαφέρουν τόσο τους παραγωγούς όσο και το κέντρο ελέγχου ενέργειας. Στην ενότητα αυτή περιγράφονται οι τρόποι μέτρησης και μετάδοσης της πληροφορίας.

##### 4.4.1 Τρόποι μέτρησης και μετάδοσης πληροφορίας στο εσωτερικό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος

Στο εσωτερικό ενός ΦΣ τα σημεία τηλεπικοινωνιακού ενδιαφέροντος είναι οι αντιστροφείς, οι αισθητήρες καιρικών συνθηκών καθώς και τα συστήματα συναγερμού και ασφαλείας. Δηλαδή σε επίπεδο παραγωγής υπάρχει μία κατανεμημένη αρχιτεκτονική επεξεργασίας στο εσωτερικό του ΦΣ. Ο κορμός μίας τέτοιας αρχιτεκτονικής δομής είναι ένα τοπικό δίκτυο Ethernet ή ένα κατανεμημένο σύστημα δεδομένων με οπτικές ίνες (fiber distributed data interchange - FDDI), ή ένα δίκτυο BPL επί της XT. Η ακτίνα κάλυψης είναι μικρή, της τάξης των εκατοντάδων μέτρων ( $d < 500\text{m}$ ).

Το τοπικό δίκτυο (LAN) ανταλλάσσει δεδομένα κατά δυναμικό τρόπο και ενημερώνει την κατανεμημένη βάση δεδομένων σε όλους τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους. Τα RTU που είναι κατανεμημένα στο εσωτερικό του ΦΣ ανταλλάσσουν πληροφορίες και εντολές μέσω του LAN δικτύου μεταξύ τους και με τον κεντρικό κόμβο DAC. Οι κόμβοι που απαρτίζουν το LAN επιτελούν τις ακόλουθες λειτουργίες:

- ✓ Επεξεργασία εφαρμογών – τοπικό έλεγχο.
- ✓ Λήψη και αποστολή δεδομένων.
- ✓ Επικοινωνία με το διαχειριστή του ΦΣ (user interface).

Οι πληροφορίες από όλους τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους στο εσωτερικό του ΦΣ συγκεντρώνονται σε ένα κεντρικό κόμβο, τον κόμβο DAC, που αποτελεί το ΣΚΣ του ΦΣ με το δίκτυο MT.

##### 4.4.2 Τρόποι μέτρησης και μετάδοσης πληροφορίας στο σημείο κοινής σύνδεσης για φορτία και φωτοβολταϊκά συστήματα

Στο ΣΚΣ των φορτίων και των ΦΣ συγκεντρώνονται μέσω του LAN δικτύου οι πληροφορίες που αφορούν τις τοπικές μετρήσεις αλλά και οι μετρήσεις που αφορούν τη συμπεριφορά της συνδεδεμένης μονάδας με το δίκτυο MT. Τα ΣΚΣ, λοιπόν, αποτελούν τους κόμβους DAC (Data Acquisition and Control). Οι κόμβοι DAC επικοινωνούν μεταξύ τους και με βοηθητικά συστήματα ελέγχου μέσω ενός WAN δικτύου. Έχουν ταχεία ανταπόκριση και υψηλή απόδοση. Από τους κόμβους DAC αποστέλλονται οι μετρήσεις (uplink) σε κεντρικό σημείο (NOC) μέσω W – BPL τεχνολογίας και λαμβάνουν εντολές και αποφάσεις από το κέντρο ελέγχου ενέργειας (downlink) κάνοντας χρήση της ίδιας τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας και του ίδιου μέσου μετάδοσης. Ο κόμβος NOC επιτελεί παρακολούθηση και έλεγχο.

Κάθε παραγωγός οφείλει να εγκαθιστά στις εγκαταστάσεις του τερματικές μονάδες τηλεμέτρησης, μετάδοσης εντολών και δεδομένων RTU. Οφείλει να παρέχει σήματα και ενδείξεις σχετικά με την κατάσταση του εξοπλισμού των εγκαταστάσεών του, όπως απαιτεί το κέντρο ελέγχου ενέργειας. Το ίδιο ισχύει και για τους μεγάλους καταναλωτές. Ενδεικτικά, οι χρήστες του δικτύου ΗΕ οφείλουν να παρέχουν τα ακόλουθα σήματα και ενδείξεις, ήτοι: θέση «εντός» ή «εκτός» των διακοπών ισχύος, τάση στους ζυγούς, ενεργό και άεργο ισχύ, κλπ. Οι παραγωγοί ΗΕ επιπλέον πρέπει να παρέχουν σήματα σχετικά με την παραγωγή της μονάδας (MW, MVAR), τάση εξόδου, θέση διακόπτη διασύνδεσης, κλπ. Συγχρόνως, πρέπει να υπάρχει δυνατότητα λήψης εντολών, για παράδειγμα για τον καθορισμό της ισχύος παραγωγής, τη θέση κάποιας μονάδας εκτός λειτουργίας, κλπ. Τέλος, τόσο για τους παραγωγούς ΗΕ όσο και για τους καταναλωτές εγκαθίστανται και οι έξυπνοι μετρητές, οι οποίοι ανταλλάσσουν σήματα πληροφορίας για σκοπούς τιμολόγησης των καταναλωτών και κοστολόγησης της παραγωγής.

#### 4.4.3 Συγκέντρωση πληροφορίας στο κέντρο ελέγχου ενέργειας

Το κέντρο ελέγχου ΗΕ αποκτά τα δεδομένα από τους διασκορπισμένους κόμβους του δικτύου. Σε κάθε Υποσταθμό εγκαθίσταται εξοπλισμός RTU. Η διαδικασία συγκέντρωσης δεδομένων περιγράφεται ως εξής:

- Τα σήματα και τα δεδομένα του κάθε Υποσταθμού συλλέγονται από τις κατά τόπους τηλετερματικές μονάδες.
- Κωδικοποιούνται και αποστέλλονται μέσω του δικτύου W – BPL στο κέντρο ελέγχου ΗΕ.
- Φυλάσσονται σε βάση δεδομένων.
- Παρουσιάζονται σε κατανοητή μορφή σε τερματικές οθόνες των σταθμών εργασίας του ΣΗΕ.
- Τα δεδομένα μετατρέπονται από το λογισμικό εφαρμογών σε χρήσιμες πληροφορίες προς αξιοποίηση τόσο για τον προγραμματισμό της λειτουργίας του ΣΗΕ όσο για τις μελέτες ανάπτυξής του.

Το δίκτυο ΗΕ λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι μέσω του τηλεπικοινωνιακού δικτύου το κέντρο ελέγχου ενέργειας είναι σε θέση κάθε χρονική στιγμή να γνωρίζει με κάθε δυνατή λεπτομέρεια την κατάσταση του ΣΗΕ. Ενδεικτικά, έχει πληροφόρηση για τα ακόλουθα: κατάσταση λειτουργίας διακοπών (ανοικτοί/κλειστοί), φόρτιση γραμμών, επίπεδα τάσης στους ζυγούς, επίπεδα παραγωγής από όλες τις μονάδες, κατάσταση εξοπλισμού, θερμοκρασία στους χώρους των Υποσταθμών, επίπεδα θερμοκρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας και υγρασίας σε διάφορες περιοχές κλπ.

Τα διάφορα σήματα διαχωρίζονται από το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο ανάλογα με τη σοβαρότητα και το είδος τους και δίνονται είτε ως προειδοποιήσεις είτε ως συναγερμοί στους διαχειριστές του κέντρου ελέγχου ενέργειας οπτικά (σε καταλόγους συμβάντων) και ακουστικά (προειδοποιητικοί συναγερμοί). Κατά αυτό τον τρόπο παρέχεται στο κέντρο ελέγχου ενέργειας η δυνατότητα να λαμβάνουν λεπτομερή γνώση εγκαίρως των διαφόρων περιστατικών στο δίκτυο ΗΕ όπως:

- λειτουργία αυτόματων διακοπών και λόγος που προκάλεσε τη λειτουργία αυτή
- λειτουργία προστασίας γραμμών και εξοπλισμού
- υπερφορτίσεις γραμμών και καλωδίων
- υπερτάσεις στους ζυγούς

- βλάβες σε εξοπλισμό
- υπερθέρμανση εξοπλισμού (π.χ. μετασχηματιστών)
- απώλεια μονάδων παραγωγής
- οποιαδήποτε άλλη ανωμαλία στο δίκτυο

Με τη λήψη ενός προειδοποιητικού σήματος το κέντρο ελέγχου ενέργειας αξιολογεί την κατάσταση που αντιστοιχεί στο λαμβανόμενο σήμα και προβαίνει στις δέουσες διορθωτικές ενέργειες όπου χρειάζεται. Επιπλέον, όλα τα περιστατικά εκτυπώνονται σε ειδικούς εκτυπωτές και φυλάσσονται και σε ηλεκτρονική μορφή για να μπορούν να ανακαλούνται σε μεταγενέστερο στάδιο.

Εκτός από την απόκτηση δεδομένων, το σύστημα παρέχει και τη δυνατότητα τηλεχειρισμού, δηλαδή αποστολής εντολών από το κέντρο ελέγχου ενέργειας σε εξοπλισμό που είναι εγκατεστημένος στους Υποσταθμούς. Μέσω των τηλεχειρισμών, το κέντρο ελέγχου ενέργειας δύναται να επεμβαίνει διορθωτικά όπου και όπως χρειάζεται και να ανταποκρίνεται αποτελεσματικά και αποδοτικά σε βλάβες και διαταραχές του δικτύου ΗΕ, χωρίς να απαιτείται, όπως στο παρελθόν, χρονοβόρα επί τόπου επίσκεψη ειδικευμένου προσωπικού. Παραδείγματα εντολών που αποστέλλονται από το κέντρο ελέγχου είναι:

- Άνοιγμα/κλείσιμο αυτόματων διακοπών.
- Αυξομείωση θέσης ρυθμιστών τάσης των Μ/Σ.
- Αλλαγή τρόπου λειτουργίας εξοπλισμού.
- Ρύθμιση συντελεστή ισχύος.
- Προσαρμογή της παραγωγής.

Η απόκτηση δεδομένων και ο τηλεχειρισμός εξοπλισμού αποτελούν το πρώτο μέρος λειτουργίας του κέντρου ελέγχου ενέργειας. Η διαδικασία ελέγχου και η αποστολή εντολών αποτελούν το δεύτερο και εξίσου σημαντικό μέρος λειτουργίας του κέντρου ελέγχου ενέργειας.

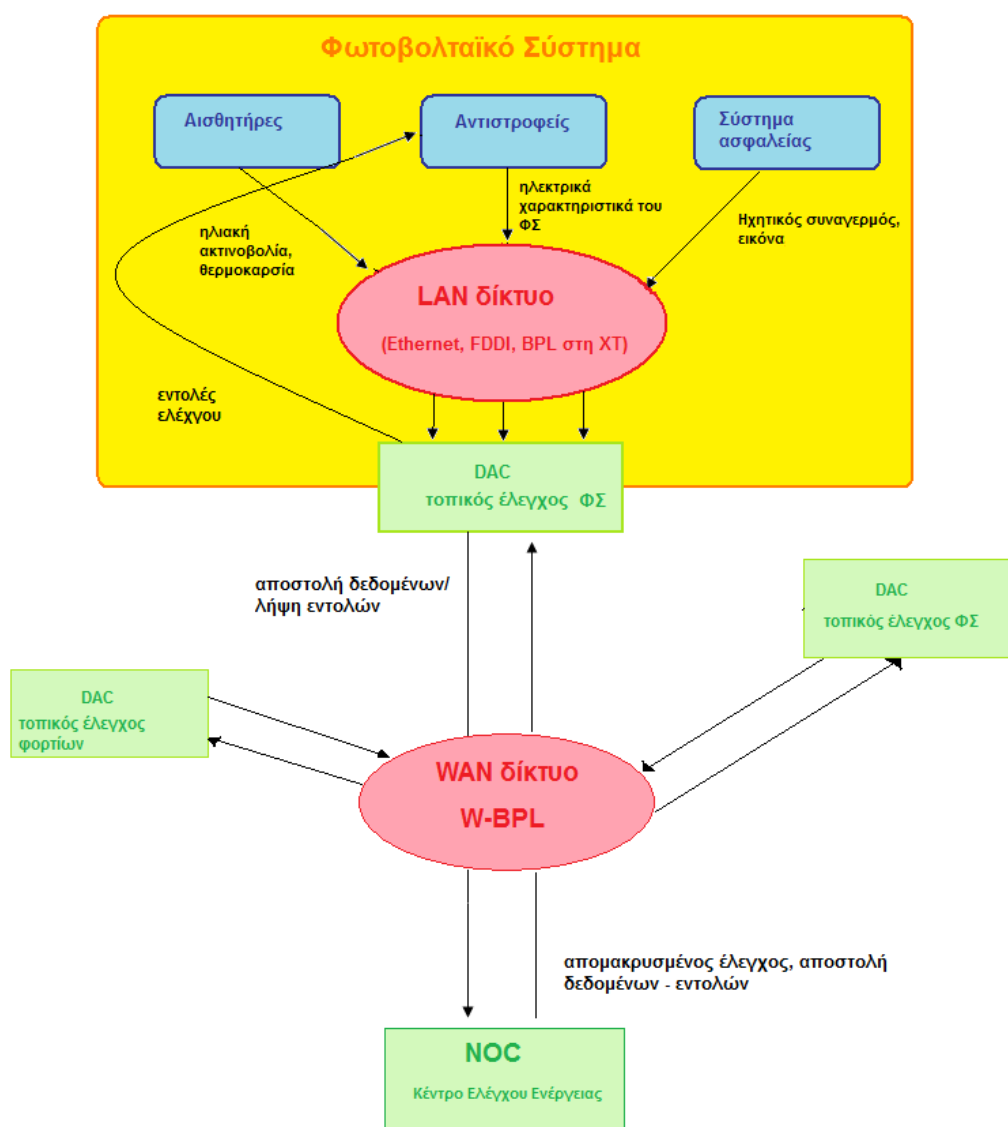
Το κέντρο ελέγχου ενέργειας αποτελείται βασικά από πολλές εφαρμογές λογισμικού, οι οποίες λαμβάνουν τα δεδομένα που χρειάζονται για να λειτουργήσουν μέσω της διαδικασίας απόκτησης δεδομένων που περιγράφηκε προηγουμένως. Κάθε εφαρμογή λογισμικού εξυπηρετεί συγκεκριμένο σκοπό με απώτερο στόχο όλων την ασφαλέστερη και οικονομικότερη λειτουργία και διαχείριση της παραγωγής και του δικτύου μεταφοράς και διανομής ΗΕ. Ακολουθώντας, περιγράφονται συντόμως οι κύριες εφαρμογές που επιτελεί το κέντρο ελέγχου ενέργειας.

- *Πρόβλεψη Φορτίου*  
Η εφαρμογή αυτή χρησιμοποιεί δεδομένα της ηλεκτρικής ζήτησης και παραμέτρων καιρικών συνθηκών της προηγούμενης ημέρας και πραγματοποιεί πρόβλεψη για τη διακύμανση της ζήτησης ΗΕ για την επόμενη ημέρα.
- *Βέλτιστη Δέσμευση Μονάδων Παραγωγής*  
Χρησιμοποιώντας την πρόβλεψη της επόμενης ημέρας, η εφαρμογή αυτή εισηγείται το βέλτιστο συνδυασμό των μονάδων παραγωγής που πρέπει να διασυνδεθούν στο σύστημα για να καλύψουν τη ζήτηση με τον οικονομικότερο τρόπο.
- *Βέλτιστη Κατανομή Φορτίου*  
Η εφαρμογή αυτή προτείνει το επίπεδο ενέργειας που πρέπει να παράγει κάθε μονάδα παραγωγής που είναι διασυνδεδεμένη στο σύστημα, ώστε να ελαχιστοποιείται η

κατανάλωση καυσίμου και τα λοιπά λειτουργικά κόστη και, συνεπώς, το κόστος παραγωγής.

- *Ανάλυση Συμπεριφοράς Συστήματος μετά από απώλεια εξοπλισμού*  
Οι απώλειες εξοπλισμού (δικτύων μεταφοράς, Μ/Σ κλπ) σε ΣΗΕ λόγω βλαβών ή αποσύνδεσης εξοπλισμού κατά τις προγραμματισμένες εργασίες συντήρησης του δικτύου είναι αναπόφευκτες. Η εφαρμογή αυτή προσομοιώνει τέτοιες απώλειες και πληροφορεί το κέντρο ελέγχου ενέργειας για πιθανά επακόλουθα. Με αυτό τον τρόπο, το κέντρο ελέγχου ενέργειας είναι σε θέση να προγραμματίζει εκ των προτέρων τις ενέργειές του, σε περιπτώσεις απωλειών/αποσύνδεσης εξοπλισμού.

Το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο που περιγράφηκε στην ενότητα αυτή απεικονίζεται στο Σχήμα 4-3. Στο σχήμα απεικονίζονται δύο κόμβοι DAC ΦΣ και ένας κόμβος DAC φορτίου του ΑΝΣ οι οποίοι συνδέονται μέσω W – BPL τεχνολογίας με το κέντρο ελέγχου ενέργειας. Το πλήθος των DAC κόμβων είναι τυχαίο. Επίσης απεικονίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο στο εσωτερικό του ΦΣ.



Σχήμα 4 - 3. Τηλεπικοινωνιακό δίκτυο μετάδοσης πληροφορίας σε ΑΝΣ με φ/β παραγωγή

## 4.5 Χαρακτηριστικά τηλεπικοινωνιακού δικτύου

Με βάση τα όσα περιγράφηκαν και αναλύθηκαν στο παρόν κεφάλαιο διαπιστώνεται ότι η ύπαρξη ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου για την επικοινωνία των κόμβων του ηλεκτρικού δικτύου, δηλαδή των παραγωγών, των καταναλωτών και του κέντρου ελέγχου, είναι μεγάλης σημασίας. Όλοι οι κόμβοι του τηλεπικοινωνιακού δικτύου ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους. Επιπλέον, το κέντρο ελέγχου ενέργειας δίνει εντολές προς τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου. Η ανταλλαγή πληροφορίας από όλους τους κόμβους, και εντολών από το κέντρο ελέγχου ενέργειας διαμορφώνουν τα χαρακτηριστικά του τηλεπικοινωνιακού δικτύου. Οι τηλεπικοινωνιακές ανάγκες καθώς και ο όγκος της μεταδιδόμενης πληροφορίας διαφέρουν από κόμβο σε κόμβο. Επομένως διακρίνονται δύο περιοχές τηλεπικοινωνιακού ενδιαφέροντος σε όλη την έκταση του δικτύου, οι οποίες εξυπηρετούν διαφορετικές ανάγκες. Στην πρώτη περιοχή ενδιαφέροντος εντάσσονται οι επιμέρους διατάξεις των διασκορπισμένων κόμβων του δικτύου, παραγωγών και καταναλωτών – φορτίων, ενώ η δεύτερη περιοχή αποτελεί υπερσύνολο της πρώτης αφού εκτός από την κάλυψη των αναγκών σε τοπικό επίπεδο των ανωτέρω κόμβων πρέπει να διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ αυτών και του κέντρου ελέγχου ενέργειας.

Τα τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν κυρίως είναι ο ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας, η διαθεσιμότητα του δικτύου και η καθυστέρηση μετάδοσης των τηλεπικοινωνιακών πακέτων. Ο ρυθμός μετάδοσης εξαρτάται από τον όγκο των προς μετάδοση δεδομένων. Η καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων εξαρτάται από τη σημασία της πληροφορίας που μεταφέρουν τα πακέτα. Υπάρχουν πακέτα που μεταφέρουν μικρής σημασίας πληροφορία και μπορούν να υποστούν καθυστέρηση κατά τη μετάδοσή τους (delay tolerant). Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν πακέτα υψηλής σημασίας, όπου κατά τη μετάδοσή τους δεν πρέπει να παρατηρούνται φαινόμενα καθυστέρησης (no delay tolerant).

Τέλος, η διαθεσιμότητα πρέπει να είναι καθολική τόσο ως προς το χρόνο όσο και ως προς την έκταση. Η διαθεσιμότητα ως προς το χρόνο απαιτεί κάθε κόμβος να έχει πρόσβαση στο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο για μεγάλο ποσοστό του χρόνου, ενώ η διαθεσιμότητα ως προς την έκταση απαιτεί το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο να είναι ικανό να καλύπτει τις ανάγκες όλων των κόμβων ταυτόχρονα για μεγάλο ποσοστό του χρόνου. Γενικά, η διαθεσιμότητα μετρείται σε ποσοστό του χρόνου όπου το δίκτυο λειτουργεί ομαλά (ενδεικτικές τιμές, για παράδειγμα, είναι 99.99% ή 99.9% του χρόνου) ή με τα αντίστροφα ποσοστά, που ονομάζονται πιθανότητες αποκοπής (0.01% ή 0.1% αντίστοιχα).

Το W-BPL δίκτυο προσφέρει υψηλή διαθεσιμότητα διότι στην ουσία παρέχει δύο ανεξάρτητους τρόπους επικοινωνίας, τη BPL τεχνολογία μέσω του δικτύου ΗΕ και, εναλλακτικά, ασύρματη πρόσβαση σε περίπτωση βλάβης του δικτύου ΗΕ. Ο τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός (DAC, W-BPL μονάδες κ.λπ.) πρέπει να έχει προδιαγραφές που να μπορούν να υποστηρίξουν τη μεγαλύτερη δυνατή διαθεσιμότητα που απαιτείται μεταξύ των διαφόρων κλάσεων λειτουργίας του τηλεπικοινωνιακού δικτύου.

Στις ενότητες που ακολουθούν αναφέρονται οι τάξεις μεγέθους στις τιμές των ανωτέρω τηλεπικοινωνιακών χαρακτηριστικών. Στο τέλος του πέμπτου κεφαλαίου παρουσιάζεται ένα προσεγγιστικό – υποθετικό παράδειγμα απ' όπου προκύπτουν οι τάξεις μεγέθους των χαρακτηριστικών αυτών.

#### 4.5.1 Ποιότητα υπηρεσίας (QoS) για τους διασκορπισμένους χρήστες

Σε επίπεδο διασκορπισμένων κόμβων οι ρυθμοί μετάδοσης ποικίλλουν ανάλογα με τον όγκο της διακινούμενης πληροφορίας. Αν η πληροφορία αφορά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του δικτύου (ενεργό ή άεργο ισχύ, επίπεδα τάσης και ρεύματος, συντελεστή ισχύος κλπ), οι ρυθμοί μετάδοσης που απαιτούνται είναι σχετικά μικροί. Συγκεκριμένα, μία μέτρηση ανά λεπτό των μεγεθών αυτών είναι αρκετά ικανοποιητική για τις ανάγκες των κόμβων του δικτύου. Συνεπώς, οι ρυθμοί μετάδοσης για πληροφορίες αυτού του είδους είναι της τάξης των εκατοντάδων bps ανά κόμβο. Σε περίπτωση όμως ταχείας μεταβολής των προαναφερθέντων μεγεθών είναι αναγκαία η άμεση ενημέρωση των υπόλοιπων κόμβων και αποστολή δεδομένων προς και από αυτούς. Επομένως, δεν χρειάζονται υπηρεσίες συνεχούς σύνδεσης με το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο παρά μόνο σε περίπτωση απότομων μεταβολών (AD-HOC δίκτυο).

Σε περίπτωση τιμολόγησης, για παράδειγμα μέσω λειτουργίας έξυπνων μετρητών, απαιτείται η ανάγκη κρυπτογράφησης για θέματα ασφαλείας. Κατά συνέπεια, χρειάζεται συνεχής σύνδεση με το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο και μετάδοση αυτού του είδους της πληροφορίας, καίτοι ο όγκος των δεδομένων είναι σχετικά μικρός. Και σε αυτή την περίπτωση το δίκτυο χαρακτηρίζεται ως AD-HOC δίκτυο.

Όμως, εκτός από τη μετάδοση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών, χρειάζεται και μετάδοση δεδομένων για θέματα παρακολούθησης και ασφάλειας, όπως στην περίπτωση λειτουργίας καμερών ασφαλείας. Σε περίπτωση μετάδοσης ήχου και εικόνας απαιτούνται υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης της τάξης εκατοντάδων Kbps, για παράδειγμα, 512 Kbps ή ακόμα και ρυθμοί μετάδοσης της τάξης των Mbps.

Από την άλλη πλευρά, θέματα διαθεσιμότητας του δικτύου και καθυστέρησης πακέτων σε επίπεδο διασκορπισμένων κόμβων είναι μικρότερης σημασίας. Συνοψίζοντας, στον Πίνακα 4 – 1 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του τηλεπικοινωνιακού δικτύου για την εξυπηρέτηση των αναγκών των διασκορπισμένων κόμβων (παραγωγοί – καταναλωτές).

*Πίνακας 4 - 1. Χαρακτηριστικά Τηλ/κού Δικτύου σε επίπεδο Διασκορπισμένων Χρηστών*

Χαρακτηριστικά	Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS)
Ρυθμός Μετάδοσης	Υψηλή
Διαθεσιμότητα (availability)	Μέτρια
Καθυστέρηση Πακέτων (delay tolerance)	Μέτρια
Ασφάλεια (surveillance & security)	Υψηλή

#### 4.5.2 Ποιότητα υπηρεσίας (QoS) για το ηλεκτρικό δίκτυο

Σε επίπεδο ηλεκτρικού δικτύου ενδιαφέρει κυρίως η μετάδοση των ηλεκτρικών μεγεθών (ενεργός και άεργος ισχύς, επίπεδα τάσης και ρεύματος, συντελεστής ισχύος, θέση διακοπών κ.α.) από τα διάφορα σημεία του δικτύου προς άλλα σημεία και προς το κέντρο ελέγχου ενέργειας. Οι αντίστοιχοι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων είναι μικροί της τάξης των εκατοντάδων bps ανά κόμβο, αφού δεν χρειάζεται συνεχής σύνδεση, παρά μόνο όταν υπάρχουν απότομες μεταβολές στα μετρούμενα μεγέθη. Σε περίπτωση απότομων μεταβολών πρέπει να γίνεται άμεση σύνδεση και μετάδοση πληροφορίας (AD-HOC δίκτυο).

Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, στη μόνιμη κατάσταση, οι ρυθμοί μετάδοσης πληροφορίας είναι χαμηλοί, της τάξης εκατοντάδων bps ανά κόμβο και μερικά Kbps για όλο το δίκτυο HE, αφού ο όγκος δεδομένων δεν είναι μεγάλος και τα σήματα αποστέλλονται, αναλύονται και παρουσιάζονται στο κέντρο ελέγχου (uplink επικοινωνία) ανά χρονικά διαστήματα της τάξης των 10 min. Ο όγκος δεδομένων είναι μικρός γιατί δεν υπάρχει η ανάγκη για μετάδοση εικόνας και ήχου. Επίσης, η καθυστέρηση στη μετάδοση πακέτων δεν δημιουργεί προβλήματα.

Αντίθετα όταν συμβαίνουν μεταβατικά φαινόμενα και κατά τη διάρκειά τους, όπως σφάλματα, βραχυκυκλώματα, αποσύνδεση – σύνδεση μονάδων παραγωγής, αποσύνδεση – σύνδεση φορτίων, απαιτείται συνεχής σύνδεση των κόμβων με το δίκτυο ώστε το ηλεκτρικό δίκτυο να προσαρμοστεί στην καινούργια κατάσταση λειτουργίας. Οι ρυθμοί μετάδοσης είναι της ίδιας τάξης μεγέθους σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση. Επιπλέον, ο όγκος δεδομένων είναι ίδιος με αυτόν στη μόνιμη κατάσταση, αφού και πάλι δεν υπάρχει ανάγκη για μετάδοση ήχου και εικόνας. Η περίπτωση αυτή διαφοροποιείται στην ανάγκη για downlink επικοινωνία. Η χρήση του τηλεπικοινωνιακού δικτύου θα γίνεται αρκετά πιο συχνά σε σχέση με την περίπτωση της μόνιμης κατάστασης λειτουργίας (π.χ. ανά μερικά sec αντί ανά 10 min), ενώ στην περίπτωση αυτή είναι κρίσιμο να υπάρχει χαμηλή καθυστέρηση πακέτων για την αποφυγή φαινομένων συμφόρησης και υψηλή διαθεσιμότητα του τηλεπικοινωνιακού δικτύου, ώστε να επιτευχθεί ο έλεγχος μέσω των εντολών από το κέντρο ελέγχου HE και να επανέλθει το δίκτυο HE στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Στον Πίνακα 4 – 2 παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του τηλεπικοινωνιακού δικτύου που ενδιαφέρουν τη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου.

*Πίνακας 4 - 2. Χαρακτηριστικά Τηλ/κού Δικτύου σε επίπεδο Ηλεκτρικού Δικτύου*

Χαρακτηριστικά	Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS)
Ρυθμός Μετάδοσης	Χαμηλή
Διαθεσιμότητα (availability)	Πολύ υψηλή
Καθυστέρηση Πακέτων (delay tolerance)	Πολύ χαμηλή
Ασφάλεια (surveillance & security)	Χαμηλή

Τέλος, εκτός από τη μετάδοση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών, χρειάζεται και μετάδοση δεδομένων για θέματα παρακολούθησης και ασφάλειας, όπως στην περίπτωση λειτουργίας καμερών ασφαλείας. Σε περίπτωση μετάδοσης ήχου και εικόνας απαιτούνται υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης της τάξης εκατοντάδων Kbps, για παράδειγμα, 512 Kbps ή ακόμα και ρυθμοί μετάδοσης της τάξης των Mbps.





## Κεφάλαιο 5: Προσομοίωση Γραμμής MT ANΣ με PV παραγωγή και κεντρικό έλεγχο με W-BPL τεχνολογία

### 5.1 Το πρόγραμμα προσομοίωσης MATLAB

Το MATLAB είναι ένα διαδραστικό σύστημα που επιτρέπει τη λύση πολλών τεχνικών προβλημάτων υπολογισμού, ιδίως εκείνων που διατυπώνονται υπό τη μορφή πινάκων και διανυσμάτων, σε κλάσμα του χρόνου που θα χρειαζόταν για να γραφεί ένα πρόγραμμα σε κάποια μονοδιάστατη μη διαδραστική γλώσσα όπως η C ή η Fortran. Η υψηλής απόδοσης γλώσσα που χρησιμοποιεί το MATLAB ενσωματώνει τον υπολογισμό, την απεικόνιση και τον προγραμματισμό σε ένα εύχρηστο περιβάλλον, όπου τα προβλήματα και οι λύσεις εκφράζονται σε οικεία μαθηματική σημειογραφία. Το όνομα MATLAB προέρχεται από τη φράση Matrix Laboratory και αρχικά δημιουργήθηκε για να παρέχει εύκολη πρόσβαση στο λογισμικό μητρών (πινάκων – matrix) το οποίο είχε αναπτυχθεί σε project των LINPACK και EISPACK. Σήμερα, το MATLAB περιλαμβάνει τις βιβλιοθήκες LAPACK και BLAS ενσωματώνοντας έτσι την τεχνολογία αιχμής στο λογισμικό μητρών.

Κατά τα τελευταία έτη το MATLAB έχει εξελιχθεί με τη συμβολή πολλών χρηστών. Στην πανεπιστημιακή κοινότητα είναι το πρότυπο εκπαιδευτικό εργαλείο τόσο για εισαγωγικά όσο και για προχωρημένα μαθήματα μαθηματικών και μηχανικής. Στη βιομηχανία, το MATLAB αποτελεί εργαλείο επιλογής όταν πρόκειται για έρευνα υψηλής παραγωγικότητας, ανάπτυξης, και ανάλυσης. Επιπλέον, το MATLAB διαθέτει μια οικογένεια από συγκεκριμένες εφαρμογές λύσεων που ονομάζονται εργαλειοθήκες. Το σημαντικό για τους περισσότερους χρήστες του MATLAB είναι το ότι οι εργαλειοθήκες επιτρέπουν τη γνωριμία και την εφαρμογή εξειδικευμένης τεχνολογίας. Οι εργαλειοθήκες είναι ολοκληρωμένες συλλογές συναρτήσεων του MATLAB που επεκτείνουν το περιβάλλον του, για την επίλυση κάποιων ειδικών κατηγοριών προβλημάτων. Μπορούν να προσαρτηθούν στο περιβάλλον του προγράμματος MATLAB εργαλειοθήκες και εντολές για επεξεργασία σήματος, συστήματα ελέγχου, νευρωνικά δίκτυα, ασαφή λογική, για προσομοίωση και πολλούς άλλους τομείς.

### 5.2 Περιγραφή δικτύου - Τοπολογία γραμμής - Είσοδοι προσομοίωσης

Το πρόβλημα που προσομοιώνεται στην παρούσα διπλωματική εργασία αφορά μία γραμμή MT 15 kV σε ANΣ, η οποία αναχωρεί από τους ζυγούς του Αυτόνομου Σταθμού Παραγωγής (ΑΣΠ). Οι υπόλοιπες γραμμές του δικτύου αντιμετωπίζονται ως φορτία, συγκεντρωμένα στους ζυγούς. Η σύνθετη αντίσταση ανά μονάδα μήκους των γραμμών ACSR – 95 που χρησιμοποιούνται είναι:

$$Z_0 = R + jX = 0.22 + j0.33 \Omega/km \quad (5.1)$$

#### 5.2.1 Ζυγός αυτόνομου σταθμού παραγωγής

Η τάση στο ζυγό του ΑΣΠ  $V_0$  ρυθμίζεται από τις γεννήτριες του σταθμού ώστε να μεταβάλλεται γραμμικά από την ελάχιστη τιμή των 15.3 kV (η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε ποσοστό  $15.3/15 * 100\% = 102\%$ ) έως τη μέγιστη τιμή των 16.05 kV (η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε ποσοστό  $16.05/15 * 100\% = 107\%$ ), ανάλογα προς τη συνολική φαινόμενη ισχύ  $S_{tot}$  που παράγεται από τις γεννήτριες ( $V_0 = V_{min}$  όταν  $S_{tot} = S_{min}$  και  $V_0 = V_{max}$  όταν  $S_{tot} = S_{max}$ ). Η σχέση μεταξύ  $V_0$  και  $S_{tot}$  είναι

$$V_0 = aS_{tot} + b \quad (5.2)$$

### 5.2.2 Φορτία αυτόνομου νησιωτικού συστήματος

Τα φορτία του συστήματος μπορεί να είναι οικιακά, εμπορικά ή βιομηχανικά. Μπορούν να είναι συνδεδεμένα απευθείας προς το σταθμό παραγωγής ή να βρίσκονται διασκορπισμένα στο ηλεκτρικό δίκτυο του νησιού. Τα ονομαστικά χαρακτηριστικά των φορτίων, τα οποία συμβολίζονται με το δείκτη  $n$ , είναι

$$P_{load_n} = \begin{cases} 15 \text{ MW, για συγκεντρωμένα φορτία} \\ 1.2 \text{ MW, για διασκορπισμένα φορτία} \end{cases} \quad (5.3)$$

ενώ ο συντελεστής ισχύος είναι

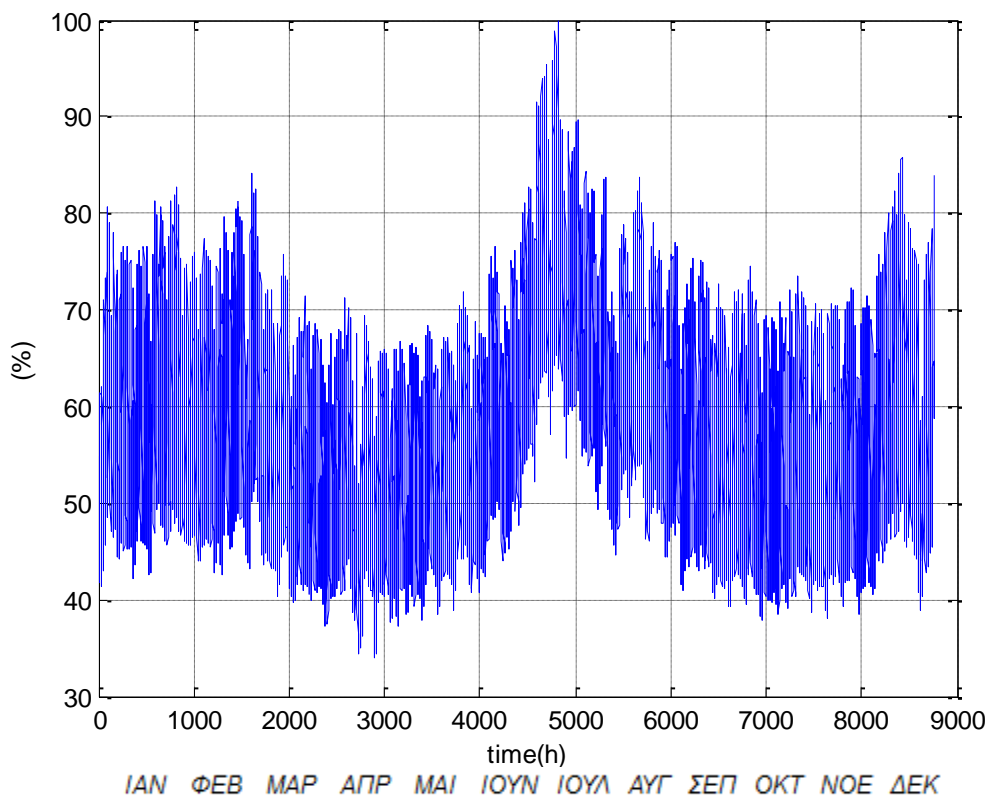
$$\Sigma. I. = pf_{load} = \cos\varphi = 0.85 \text{ επαγωγικός} \quad (5.4)$$

Η ενεργός ισχύς που απορροφά το κάθε φορτίο σε ένα κόμβο  $i$  τη χρονική στιγμή  $t$  προκύπτει από το γινόμενο της ζήτησης HE και της ονομαστικής τιμής του φορτίου του κόμβου  $i$ :

$$P_{load}(i, t) = -P_{load_n}(i) \cdot Demand(t) \quad (5.5)$$

όπου το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει απορρόφηση ισχύος.

Η ετήσια ζήτηση φορτίου σε ένα ANΣ ως συνάρτηση του χρόνου απεικονίζεται στο Σχήμα 5 – 1.



Σχήμα 5 - 1. Ετήσια ζήτηση HE σε νησιωτικό δίκτυο [πηγή ΔΕΣΜΗΕ]

Οι τιμές της ζήτησης είναι ποσοστά επί τις εκατό, δηλαδή από τον πίνακα που χρησιμοποιήθηκε ως πηγή από το ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας) βρέθηκε η μέγιστη τιμή που αντιστοιχεί στο 100% και οι υπόλοιπες

τιμές προέκυψαν από τη διαίρεση με τη μέγιστη τιμή πολλαπλασιασμένες με το 100%. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στο χρόνο. Η μεταβολή της ζήτησης και των μεγεθών που πρόκειται να απεικονισθούν στη συνέχεια πραγματοποιούνται ανά ώρα του έτους. Ωστόσο, ο οριζόντιος άξονας έχει αντιστοιχισθεί και σε μήνες του έτους.

Με βάση το Σχήμα 5 – 1, τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρείται αύξηση της ζήτησης ΗΕ λόγω των αναγκών των καταναλωτών. Η αύξηση της ζήτησης ΗΕ μπορεί να οφείλεται πέραν της τουριστικής δραστηριότητας και στην αυξημένη χρήση κλιματιστικών κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, τα οποία καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ΗΕ. Τους υπόλοιπους μήνες η ζήτηση κυμαίνεται περίπου στα ίδια ποσοστά.

Εκτός από την ενεργό ισχύ, ενδιαφέρει και η άεργος ισχύς που καταναλώνουν τα φορτία. Η άεργος ισχύς που απορροφά το φορτίο σε ένα κόμβο  $i$  τη χρονική στιγμή  $t$  προκύπτει από τη σχέση

$$Q_{load}(i, t) = P_{load}(i, t) \cdot \tan\varphi \quad (5.6)$$

Η άεργος ισχύς των φορτίων έχει αρνητικό πρόσημο, αφού ο Σ.Ι. είναι επαγωγικός, δηλαδή απορροφάται ισχύς από το δίκτυο.

### 5.2.3 Φωτοβολταϊκά συστήματα

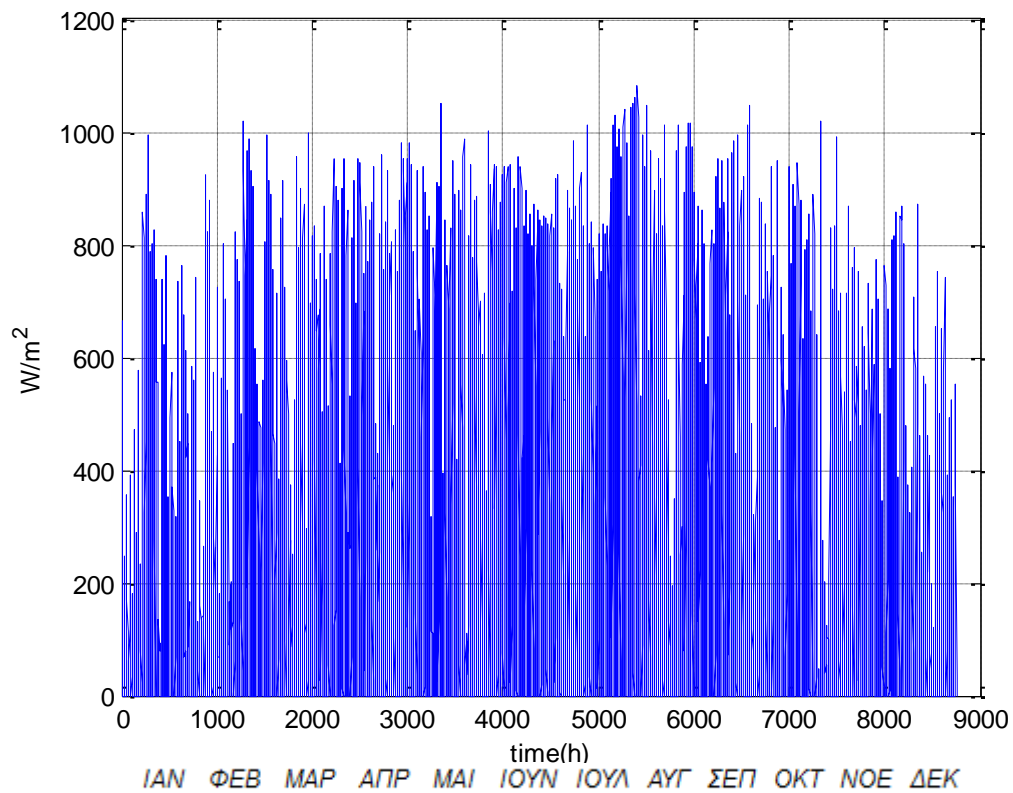
Στο δίκτυο του νησιού πρόκειται να συνδεθούν ΦΣ ονομαστικής ισχύος  $P_{PV_n} = 0.5 \text{ MW}$ , των οποίων ο ονομαστικός συντελεστής ισχύος λειτουργίας είναι 1, δηλαδή  $pf_{PV} = 1$ . Οι εξισώσεις που ισχύουν για ένα ΦΣ το οποίο είναι συνδεδεμένο σε ένα κόμβο  $i$  της γραμμής ΜΤ προκύπτουν ως ακολούθως

#### Μεγέθη εισόδου του ΦΣ:

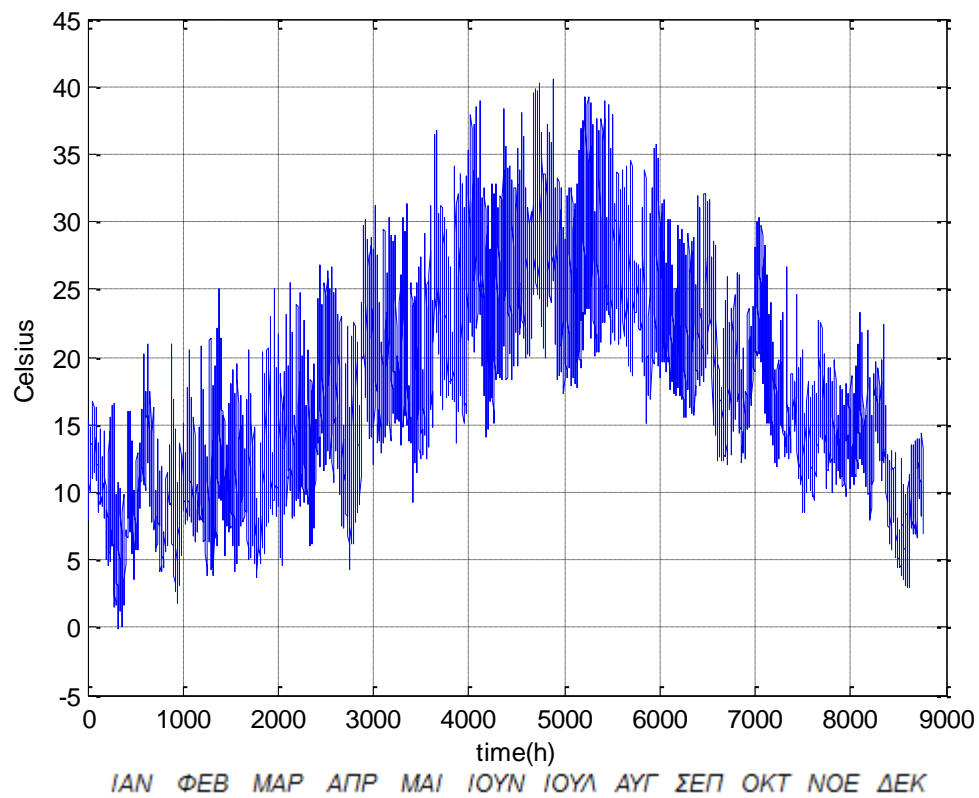
Ένα ΦΣ περιγράφεται μέσω των εξής χαρακτηριστικών:

- Συνολική επιφάνεια panels  $A$  ( $m^2$ )
- Βαθμός απόδοσης panel σε STC  $\eta_{STC}$  (%)
- Θερμοκρασία NOCT των panels  $T_{NOCT}$  ( $^{\circ}C$ )
- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας  $G(t)$  ( $W/m^2$ )
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_{amb}(t)$  ( $^{\circ}C$ )

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας  $G(t)$  και η θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_{amb}(t)$  μεταβάλλονται με το χρόνο σύμφωνα με τα Σχήματα 5–2 και 5–3, αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας λαμβάνει υψηλές τιμές την καλοκαιρινή περίοδο. Επίσης, την περίοδο αυτή η ηλιακή ακτινοβολία είναι εντονότερη γεγονός που οφείλεται στην έντονη ηλιοφάνεια. Αντίστοιχα, και η θερμοκρασία περιβάλλοντος λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της τους καλοκαιρινούς μήνες σύμφωνα με το Σχήμα 5 – 3.



Σχήμα 5 - 2. Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας σε περιοχή του κεντρικού Αιγαίου για περίοδο ενός έτους



Σχήμα 5 - 3. Θερμοκρασία περιβάλλοντος σε περιοχή του κεντρικού Αιγαίου για περίοδο ενός έτους

### Μεγέθη εξόδου του ΦΣ στον κόμβο $i$ τη χρονική στιγμή $t$ :

Με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, το ΦΣ αποδίδει φαινόμενη ισχύ στο δίκτυο  $S_{ac}(i, t)$ . Η αντίστοιχη ενεργός ισχύς που αποδίδει το ΦΣ υπολογίζεται από τη σχέση

$$P_{PV}(i, t) = S_{ac}(i, t) * pf_{PV} \quad (5.7)$$

ενώ η άεργος ισχύς που αποδίδει το ΦΣ υπολογίζεται από τη σχέση

$$Q_{PV}(i, t) = P_{PV}(i, t) * \tan(\cos^{-1} pf_{PV}) \quad (5.8)$$

Η ενεργός ισχύς έχει θετικό πρόσημο, αφού εγχέεται στο δίκτυο, ενώ το πρόσημο της άεργου ισχύος εξαρτάται από την τιμή του Σ.Ι., δηλαδή είναι θετικό για χωρητικό  $pf_{PV}$  και αρνητικό για επαγωγικό  $pf_{PV}$ .

Οι εξισώσεις που συνδέουν τις εισόδους με τις εξόδους είναι:

$$S_{ac}(i, t) = A \cdot n_{STC} \cdot (1 - \Delta_{nG}(t) - \Delta_{nT}(t)) \cdot G(t) \quad (5.9)$$

Η μεταβολή της απόδοσης λόγω ακτινοβολίας  $\Delta_{nG}(t)$  δίνεται από τη σχέση

$$\Delta_{nG}(t) = -0.04 \cdot \ln(G(t)/1000) \quad (5.10)$$

Η πραγματική θερμοκρασία του panel για δεδομένη ηλιακή ακτινοβολία και θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_{panel}(t)$  προκύπτει

$$T_{panel}(t) = T_{amb}(t) + \left(\frac{G(t)}{800}\right) (T_{NOCT} - 20) \quad (5.11)$$

Η μεταβολή της απόδοσης λόγω θερμοκρασίας  $\Delta_{nT}(t)$  είναι

$$\Delta_{nT}(t) = -0.0045 \cdot (25 - T_{panel}(t)) \quad (5.12)$$

Τυπικές Τιμές:

- ✓ Επιφάνεια για ΦΣ 0.5 MW  $A = 3500 \text{ m}^2$
- ✓ Βαθμός απόδοσης panel σε STC  $n_{STC} = 14.5\%$
- ✓ Θερμοκρασία NOCT των panel  $T_{NOCT} = 45^\circ\text{C}$
- ✓ Η ακτινοβολία  $G(t)$  κυμαίνεται από 0 έως  $1100 \text{ W/m}^2$
- ✓ Η θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_{amb}(t)$  κυμαίνεται από 0 έως  $45^\circ\text{C}$

## 5.3 Μαθηματικές εξισώσεις περιγραφής του προβλήματος

Τα δύο κύρια κριτήρια με βάση τα οποία εξετάζεται στη διπλωματική εργασία η ομαλή λειτουργία μίας γραμμής MT είναι ο συνολικός συντελεστής ισχύος  $pf_{total}$  στο ζυγό ΑΣΠ, ο οποίος πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατό πλησιέστερα στη τιμή 1, και η διακύμανση τάσης στους κόμβους της γραμμής, η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει τα προβλεπόμενα όρια.

### 5.3.1 Φαινόμενη ισχύς και συντελεστής ισχύος στο ζυγό ΑΣΠ

Η συνολική φαινόμενη ισχύς και ο συντελεστής ισχύος στο ζυγό ΑΣΠ τη χρονική στιγμή  $t$  δίνονται από τις σχέσεις

$$S_{total}(t) = \sqrt{\left(P_{PV_{total}}(t) + P_{load_{total}}(t)\right)^2 + \left(Q_{PV_{total}}(t) + Q_{load_{total}}(t)\right)^2} \quad (5.13)$$

$$pf_{total}(t) = \text{abs}\left[\frac{P_{PV_{total}}(t) + P_{load_{total}}(t)}{S_{total}(t)}\right] \cdot \text{sign}[Q_{PV_{total}}(t) + Q_{load_{total}}(t)] \quad (5.14)$$

όπου  $P_{PV_{total}}(t)$  η συνολική παραγόμενη ισχύς από τα φωτοβολταϊκά και  $P_{load_{total}}(t)$  η συνολική καταναλισκόμενη ισχύς από τα φορτία του ΑΝΣ, η οποία είναι αρνητική λόγω απορρόφησης ΗΕ. Αντίστοιχα,  $Q_{PV_{total}}(t)$  είναι η συνολική άεργος ισχύς που απορροφάται ή παράγεται από τα φωτοβολταϊκά (και εξαρτάται από με την τιμή του  $pf_{PV}$ , ο οποίος διαμορφώνει και το πρόσημό της) και  $Q_{load_{total}}(t)$  η συνολική άεργος ισχύς που απορροφάται από τα φορτία και έχει αρνητικό πρόσημο. Δηλαδή ισχύουν οι σχέσεις

$$P_{PV_{total}}(t) = \sum_{i=0}^{nodes} P_{PV}(i, t) \quad (5.14)$$

$$Q_{PV_{total}}(t) = \sum_{i=0}^{nodes} Q_{PV}(i, t) \quad (5.15)$$

$$P_{load_{total}}(t) = \sum_{i=0}^{nodes} P_{load}(i, t) \quad (5.16)$$

$$Q_{load_{total}}(t) = \sum_{i=0}^{nodes} Q_{load}(i, t) \quad (5.17)$$

Όταν δεν υπάρχει φ/β παραγωγή ή, γενικότερα, ΔΠ, από τις σχέσεις (5.13) και (5.14) προκύπτουν

$$S_{total}(t) = \sqrt{\left(P_{load_{total}}(t)\right)^2 + \left(+Q_{load_{total}}(t)\right)^2} \quad (5.18)$$

$$pf_{total}(t) = \text{abs}\left[\frac{P_{load_{total}}(t)}{S_{total}(t)}\right] \cdot \text{sign}\left(Q_{load_{total}}(t)\right) \Rightarrow$$

$$pf_{total}(t) = -\text{abs}\left(\frac{P_{load_{total}}(t)}{S_{load_{total}}(t)}\right) = pf_{load} = -0.85 = 0.85 \text{ επαγ.} \quad (5.19)$$

Προκειμένου να αυξηθεί η τιμή του συντελεστή ισχύος ώστε να πλησιάσει την τιμή 1, αποδίδεται στο ζυγό ΑΣΠ άεργος ισχύς αντιστάθμισης  $Q_c$  η τιμή της οποίας υπολογίστηκε 1.758 Mvar για μηδενική PV παραγωγή. Οι σχέσεις που δίνουν τη συνολική φαινόμενη ισχύ και το συντελεστή ισχύος γράφονται

$$S_{total}(t) = \sqrt{\left(P_{PV_{total}}(t) + P_{load_{total}}(t)\right)^2 + \left(Q_{PV_{total}}(t) + Q_{load_{total}}(t) + Q_c\right)^2} \quad (5.20)$$

$$pf_{total}(t) = \text{abs}\left[\frac{P_{PV_{total}}(t) + P_{load_{total}}(t)}{S_{total}(t)}\right] \cdot \text{sign}[Q_{PV_{total}}(t) + Q_{load_{total}}(t) + Q_c] \quad (5.21)$$

### 5.3.2 Διακύμανση τάσης στους κόμβους της γραμμής MT

Η τιμή της τάσης στους κόμβους της γραμμής δεν πρέπει να εξέρχεται των προβλεπόμενων ορίων για τους λόγους που αναλύθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια. Συγκεκριμένα, η τάση πρέπει να παραμένει εντός ορίων, τα οποία είναι  $\pm 5\%$  της ονομαστικής της τιμής. Στην ιδανική περίπτωση, όπου δεν υπάρχουν προβλήματα διακύμανσης τάσης, σε όλους τους κόμβους του ΑΝΣ η τάση έχει την ονομαστική της τιμή, δηλαδή 15 kV. Επειδή, όμως, κάτι τέτοιο είναι πρακτικά αδύνατο ορίζονται τα αντίστοιχα όρια διακύμανσης της τάσης. Το

κάτω όριο είναι 14.25 kV, που αντιστοιχεί σε ποσοστό 95%, και το άνω όριο είναι 15.75 kV, το οποίο αντιστοιχεί σε ποσοστό 105%.

Η διαδικασία υπολογισμού της τάσης περιγράφεται ακολούθως. Αρχικά ο κόμβος του ΑΣΠ αντιστοιχεί το δείκτη  $i = 0$ . Η τάση στο ζυγό του ΑΣΠ  $V_0(t)$  είναι γνωστή για κάθε χρονική στιγμή  $t$ . Επίσης, γνωστές είναι και οι τιμές της ενεργού και αέργου ισχύος για τον κόμβο του ΑΣΠ, που προκύπτουν από τις σχέσεις

$$P_0(t) = P_{PV_{total}}(t) + P_{load_{total}}(t) \quad (5.22)$$

$$Q_0(t) = Q_{PV_{total}}(t) + Q_c + Q_{load_{total}}(t) \quad (5.23)$$

Οι ανωτέρω σχέσεις είναι αλγεβρικές.

Η τάση σε κάθε κόμβο  $i$  της γραμμής τη χρονική στιγμή  $t$  υπολογίζεται σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις

$$V(i, t) = V(i - 1, t) + \varepsilon(i, t)(\%) \quad (5.24)$$

$$\varepsilon(i, t)(\%) = \frac{100}{V_n^2} (R(i) \cdot P(i, t) + X(i) \cdot Q(i, t)) \quad (5.25)$$

όπου  $V_n = 15$  kV και για  $i = 0$  ισχύει

$$V(0, t) = V_0(t) \quad (5.26)$$

$$P(0, t) = P_0(t) \quad (5.27)$$

$$Q(0, t) = Q_0(t) \quad (5.28)$$

Η σύνθετη αντίσταση  $\tilde{Z}(i) = R(i) + jX(i)$  υπολογίζεται μέσω των τιμών

$$R(i) = 0.22 \frac{\Omega}{\text{km}} * (\text{απόσταση σε km των κόμβων } i \text{ και } i - 1) \quad (5.29)$$

$$X(i) = 0.33 \frac{\Omega}{\text{km}} * (\text{απόσταση σε km των κόμβων } i \text{ και } i - 1) \quad (5.30)$$

Τα μεγέθη  $P(i, t)$  και  $Q(i, t)$  που αντιστοιχούν σε κάθε κόμβο  $i$  τη χρονική στιγμή  $t$  προκύπτουν αντίστοιχα από τις ακόλουθες αλγεβρικές σχέσεις

$$P(i, t) = P(i - 1, t) - P_{PV}(i - 1, t) - P_{load}(i - 1, t) \quad (5.31)$$

$$Q(i, t) = Q(i - 1, t) - Q_{PV}(i - 1, t) - Q_{load}(i - 1, t) \quad (5.32)$$

Όλα τα ανωτέρω μεγέθη αποτιμώνται ανά ώρα του έτους. Επίσης, τα διαγράμματα που αντιστοιχούν σε αυτά απεικονίζουν την ωριαία μεταβολή τους για διάρκεια ενός έτους. Αναφέρεται ότι ένα έτος έχει 8760 ώρες. Από τηλεπικοινωνιακή σκοπιά, η πληροφορία που αφορά τα ανωτέρω μεγέθη αποστέλλεται και μεταδίδεται ανά ώρα του έτους. Συνεπώς, ανά ώρα συγκεντρώνεται οι πληροφορίες στο κέντρο ελέγχου και ανά ώρα στέλνονται οι εντολές στους κόμβους του δικτύου.

### 5.3.3 Ετήσια ενεργειακή παραγωγή – Συντελεστής χρησιμοποίησης

Στην περίπτωση όπου υπάρχει φ/β παραγωγή σε ΑΝΣ, ενδιαφέρουν και δύο ακόμη μεγέθη, η ετήσια ενεργειακή παραγωγή σε MWh των ΦΣ που είναι συνδεδεμένα στο ΑΝΣ και ο

συντελεστής χρησιμοποίησης (capacity factor). Η ετήσια ενεργειακή παραγωγή δίνεται από τη σχέση

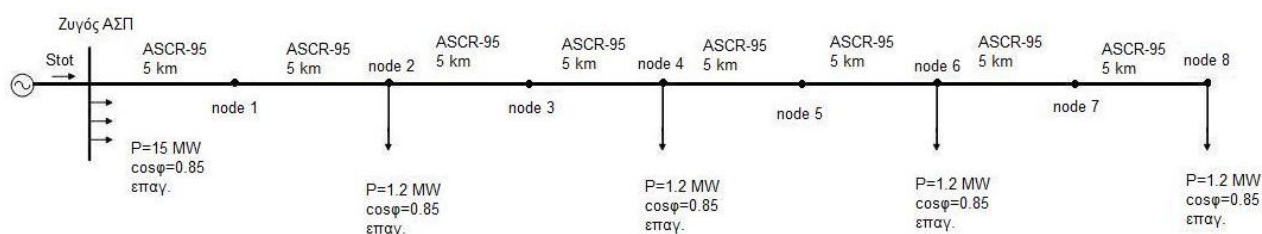
$$E_{PV} = \sum_{t=1}^{8760} P_{PV_{total}}(t) \quad (5.33)$$

Ο όρος  $P_{PV_{total}}(t)$  αντιστοιχεί στη συνολικά παραγόμενη ισχύ ανά ώρα των ΦΣ. Με δεδομένη την ετήσια ενεργειακή παραγωγή των ΦΣ που συνδέονται στο ΑΝΣ, ο συντελεστής χρησιμοποίησης ή συντελεστής εκμετάλλευσης ορίζεται ως το πηλίκο της ΗΕ που παράγεται προς αυτή που θα μπορούσε να παραχθεί αν τα ΦΣ λειτουργούσαν υπό ονομαστική ισχύ, δηλαδή

$$CF = \frac{E_{PV}}{8760 \cdot P_{PV_n}} \quad (5.34)$$

#### 5.4 Σενάριο 1ο: Γραμμή MT χωρίς φ/β παραγωγή

Στο πρώτο σενάριο της προσομοίωσης δεν έχουμε υπάρχουν ΦΣ συνδεδεμένα στη γραμμή MT. Η γραμμή απεικονίζεται στο Σχήμα 5 – 4 και περιγράφεται στον Πίνακα 5 – 1 ως εξής:



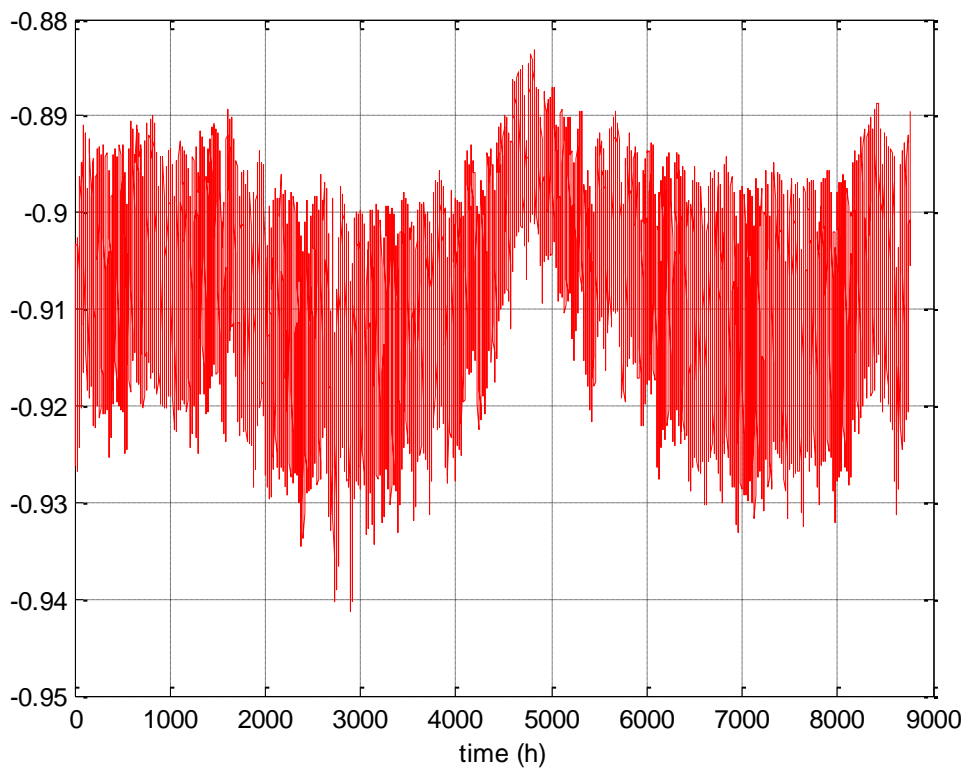
Σχήμα 5 - 4. Γραμμή MT χωρίς ΦΣ

Πίνακας 5 - 1. Χαρακτηριστικά Γραμμής MT χωρίς ΦΣ

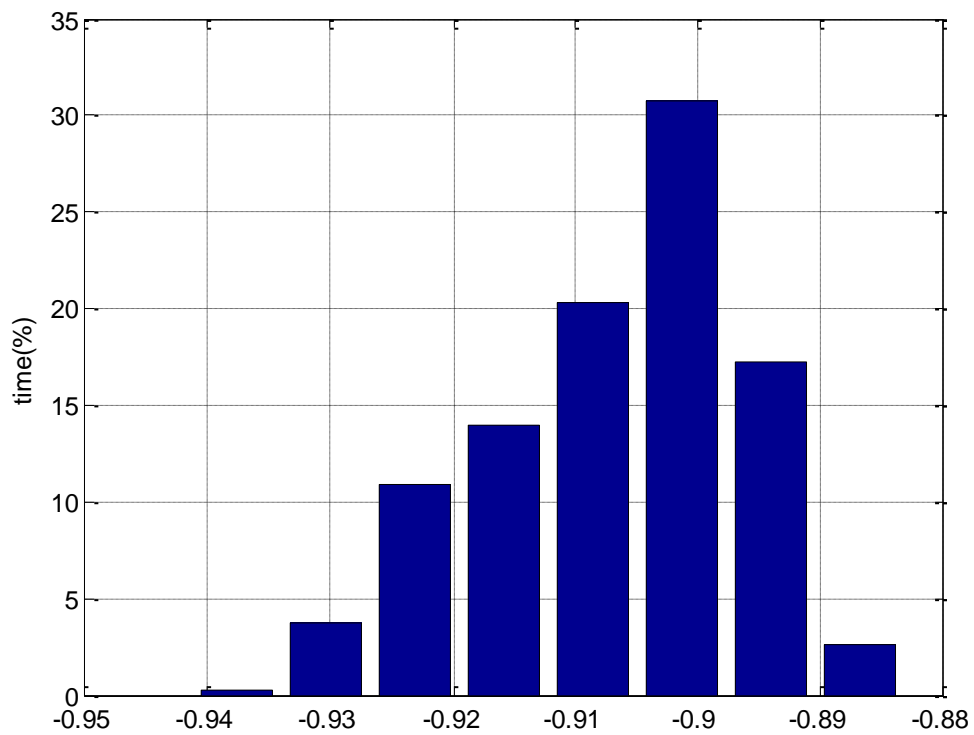
Κόμβοι	Απόσταση (km)	Παραγόμενη Ονομαστική Ισχύς (MW)	Καταναλισκόμενη Ονομαστική Ισχύς (MW)	Σ.Ι. παραγωγής	Σ.Ι. κατανάλωσης
0	0	0	-15	-	0.85 επαγ.
1	5	0	0	-	0.85 επαγ.
2	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
3	5	0	0	-	0.85 επαγ.
4	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
5	5	0	0	-	0.85 επαγ.
6	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
7	5	0	0	-	0.85 επαγ.
8	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα του κεφαλαίου, στο ζυγό του ΑΣΠ τοποθετείται συστοιχία αντιστάθμισης αέργου ισχύος  $Q_c$ , η τιμή της οποίας υπολογίστηκε σε 1.758 Mvar. Σε αυτό το σενάριο δεν συνδέονται ΦΣ στη γραμμή MT. Η γραμμή MT αποτελείται μόνο από φορτία. Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν τα μεγέθη που ενδιαφέρουν χωρίς την ύπαρξη μονάδων ΔΠ. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το συνολικό συντελεστή ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ απεικονίζονται στο Σχήμα 5 – 5 και στο Σχήμα 5 – 6.





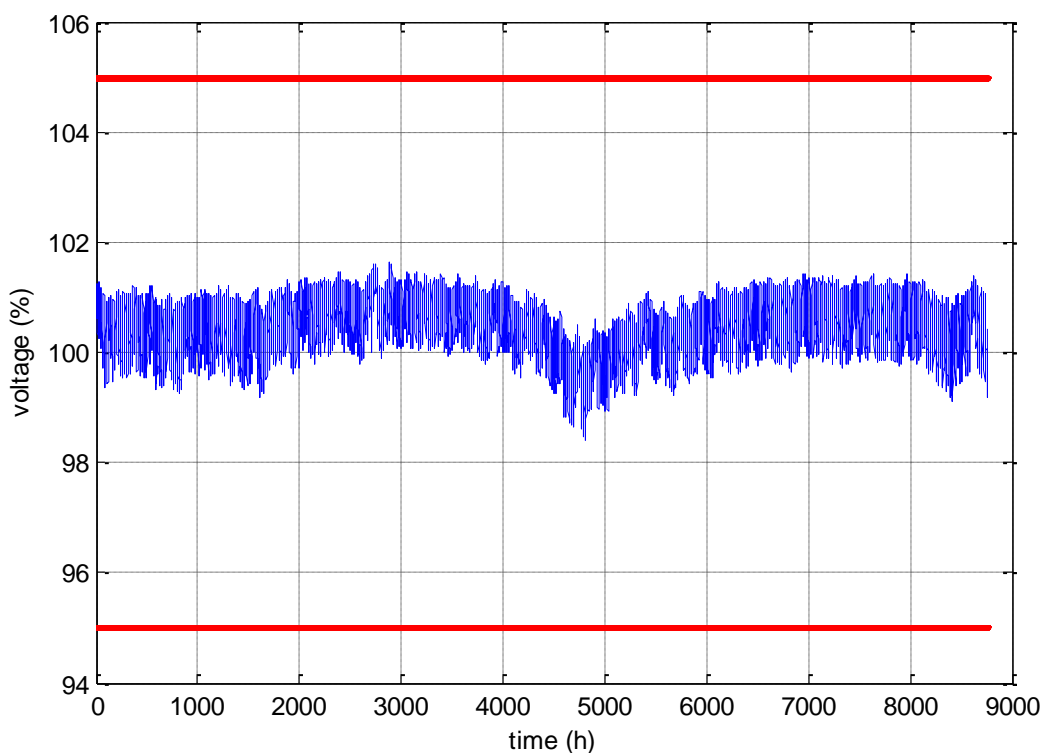
*Σχήμα 5 - 5. Συντελεστής ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ σε γραμμή ΜΤ χωρίς ΦΣ*



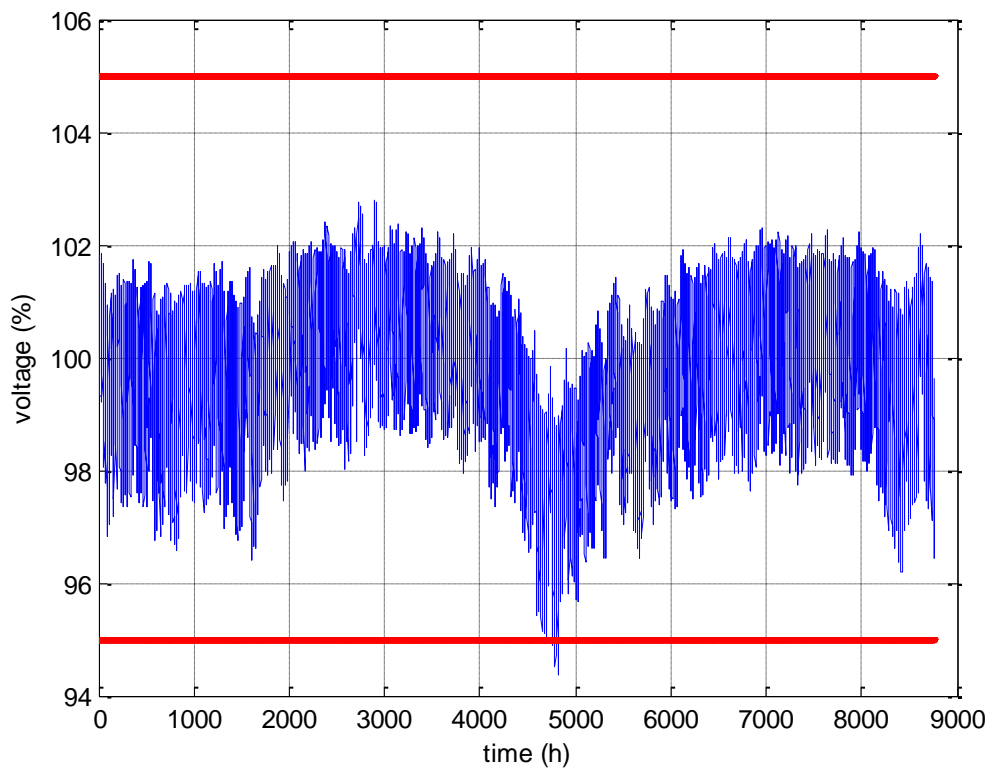
*Σχήμα 5 - 6. Ποσοστά τιμών συντελεστή ισχύος στο ζυγό ΑΣΠ σε γραμμή ΜΤ χωρίς ΦΣ*

Το Σχήμα 5 – 5 απεικονίζει την ετήσια μεταβολή του συντελεστή ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ και το Σχήμα 5 – 6 τα ποσοστά εμφάνισης τιμών του στη διάρκεια ενός έτους. Από το Σχήμα 5 – 5 προκύπτει ότι ο συντελεστής ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ,  $pf_{total}(t)$ , κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.8832 επαγ. και 0.9413 επαγ. Σύμφωνα με το Σχήμα 5 – 6, η τιμή του  $pf_{total}(t)$  διαμορφώνεται γύρω από την τιμή 0.90 επαγωγικό, αφού για ποσοστό 70% του συνολικού χρόνου ο συντελεστής ισχύος κυμαίνεται στο διάστημα τιμών [0.91 επαγ. – 0.89 επαγ.] με μέση τιμή 0.9068 επαγωγική.

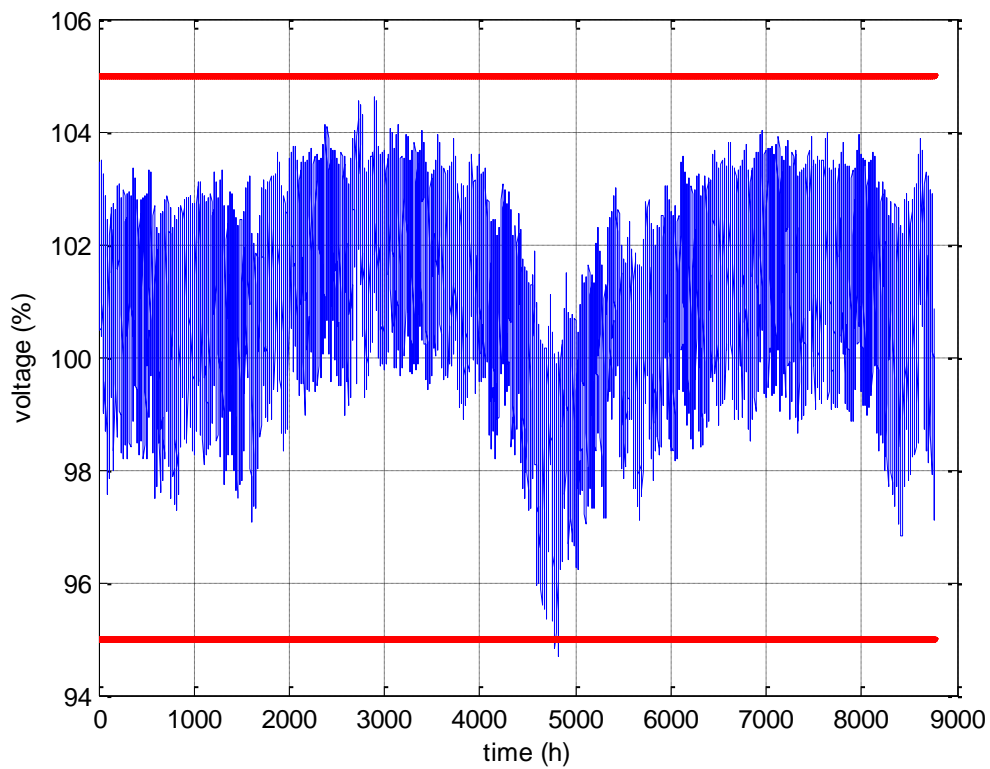
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη διακύμανση της τάσης. Ενδεικτικά, απεικονίζεται η μεταβολή της τάσης συναρτήσει του χρόνου για ορισμένους κόμβους κατά τη διάρκεια ενός έτους. Τέλος, στο Σχήμα 5 – 10 ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στους κόμβους του δικτύου και απεικονίζονται τα ποσοστά του χρόνου στη διάρκεια ενός έτους κατά τα οποία η τάση στους κόμβους της γραμμής ΜΤ κυμαίνεται εκτός των προβλεπόμενων ορίων.



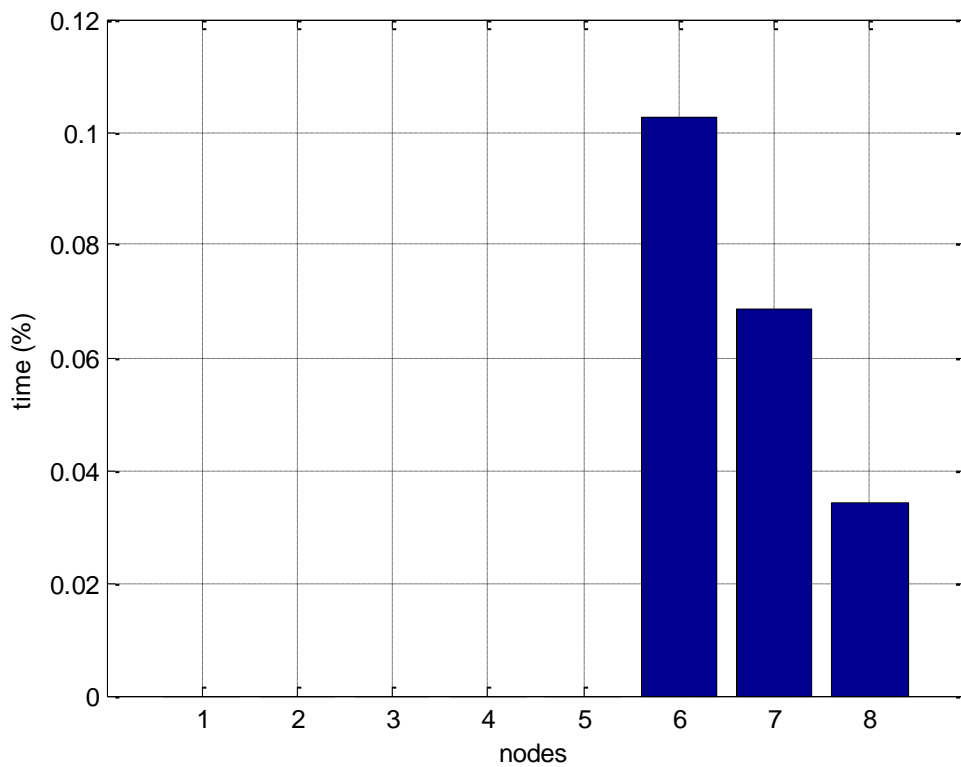
*Σχήμα 5 - 7. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 3 της γραμμής ΜΤ χωρίς ΦΣ*



*Σχήμα 5 - 8. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 6 της γραμμής MT χωρίς ΦΣ*



*Σχήμα 5 - 9. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 της γραμμής MT χωρίς ΦΣ*



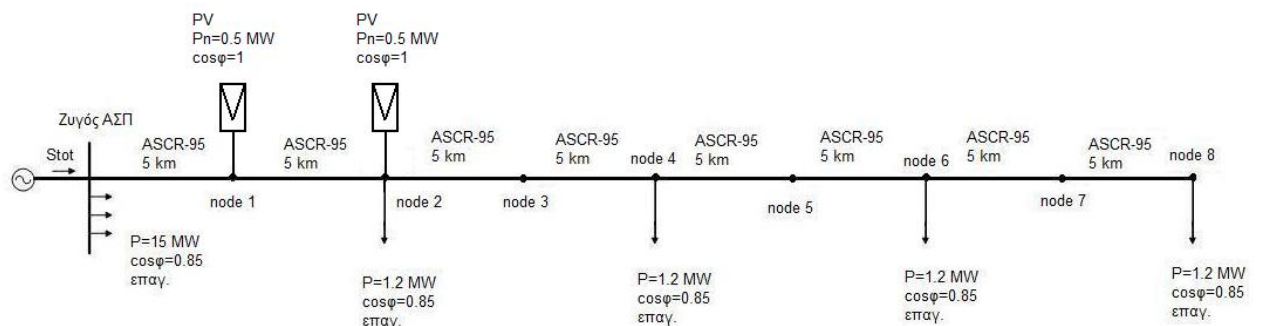
Σχήμα 5 - 10. Ποσοστά του χρόνου όπου η τάση στους κόμβους της γραμμής MT κυμαίνεται εκτός ορίων χωρίς ΦΣ

Παρατηρείται ότι στους κόμβους 0, 1, 2, 3, 4, 5 η τάση δεν υπερβαίνει τα όρια, ενώ στους κόμβους 6, 7, 8 τα υπερβαίνει για ελάχιστο χρονικό διάστημα, το οποίο θα μπορούσε να θεωρηθεί και αμελητέο.

## 5.5 Σενάριο 2ο: Γραμμή MT με φ/β παραγωγή χωρίς έλεγχο

### 5.5.1 Σύνδεση 2 φωτοβολταϊκών συστημάτων στη γραμμή MT

Στο σενάριο της προσομοίωσης αυτό συνδέονται στους κόμβους 1 και 2 της γραμμής MT δύο ΦΣ των 0.5 MW. Η γραμμή MT τάσης περιγράφεται λειτουργικά στο Σχήμα 5 – 11 και στον Πίνακα 5 – 2.



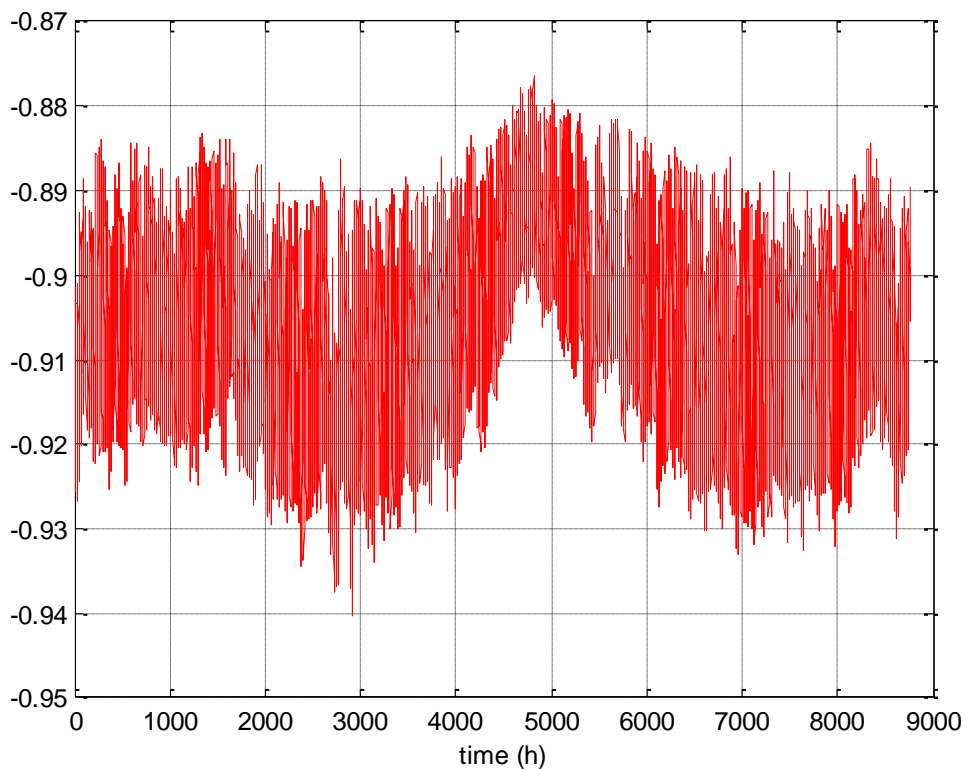
Σχήμα 5 - 11. Γραμμή MT με 2 ΦΣ στους κόμβους 1 και 2

Πίνακας 5 - 2. Γραμμή MT με 2 ΦΣ στους κόμβους 1 και 2

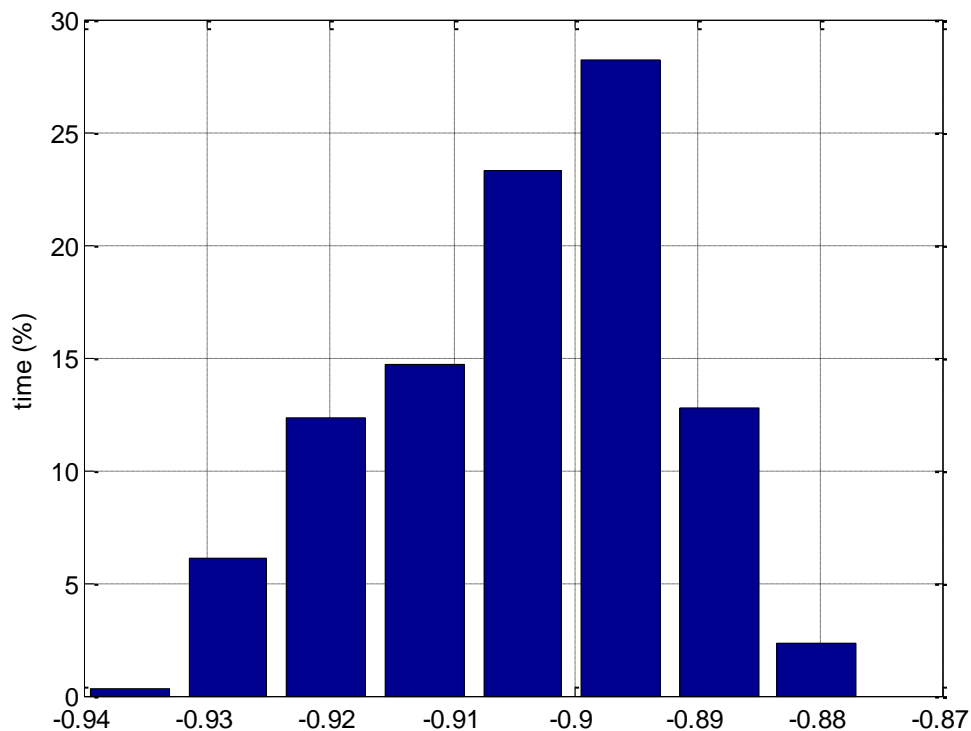
Κόμβοι	Απόσταση (km)	Παραγόμενη Ονομαστική Ισχύς (MW)	Καταναλισκόμενη Ονομαστική Ισχύς (MW)	Σ.Ι. παραγωγής	Σ.Ι. κατανάλωσης
0	0	0	-15	-	0.85 επαγ.
1	5	0.5	0	1	0.85 επαγ.
2	5	0.5	-1.2	1	0.85 επαγ.
3	5	0	0	-	0.85 επαγ.
4	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
5	5	0	0	-	0.85 επαγ.
6	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
7	5	0	0	-	0.85 επαγ.
8	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.

Και στην περίπτωση αυτή η τιμή της αντιστάθμισης αέργου ισχύος προκύπτει  $Q_c = 1.758 \text{ Mvar}$ . Στο σημείο αυτό, εξετάζεται πώς η σύνδεση των δύο ΦΣ επιδρά στα χαρακτηριστικά της γραμμής MT.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το συνολικό συντελεστή ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ απεικονίζονται στα Σχήματα 5 – 12 και 5 – 13.



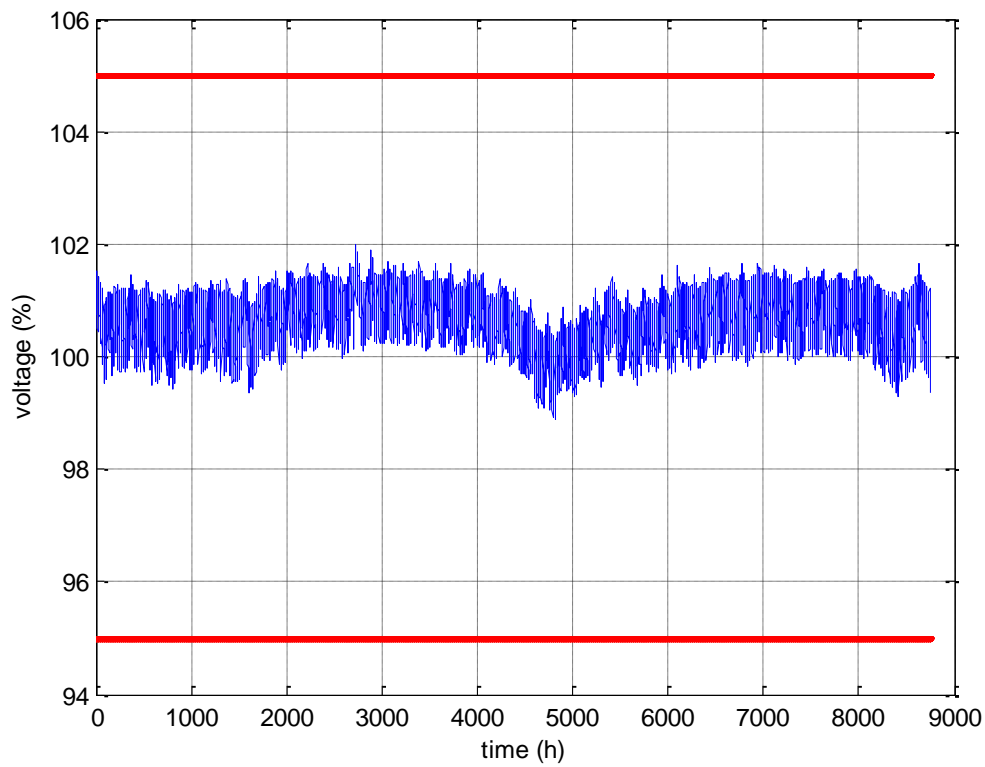
Σχήμα 5 - 12. Συντελεστής ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ σε γραμμή MT με 2 ΦΣ



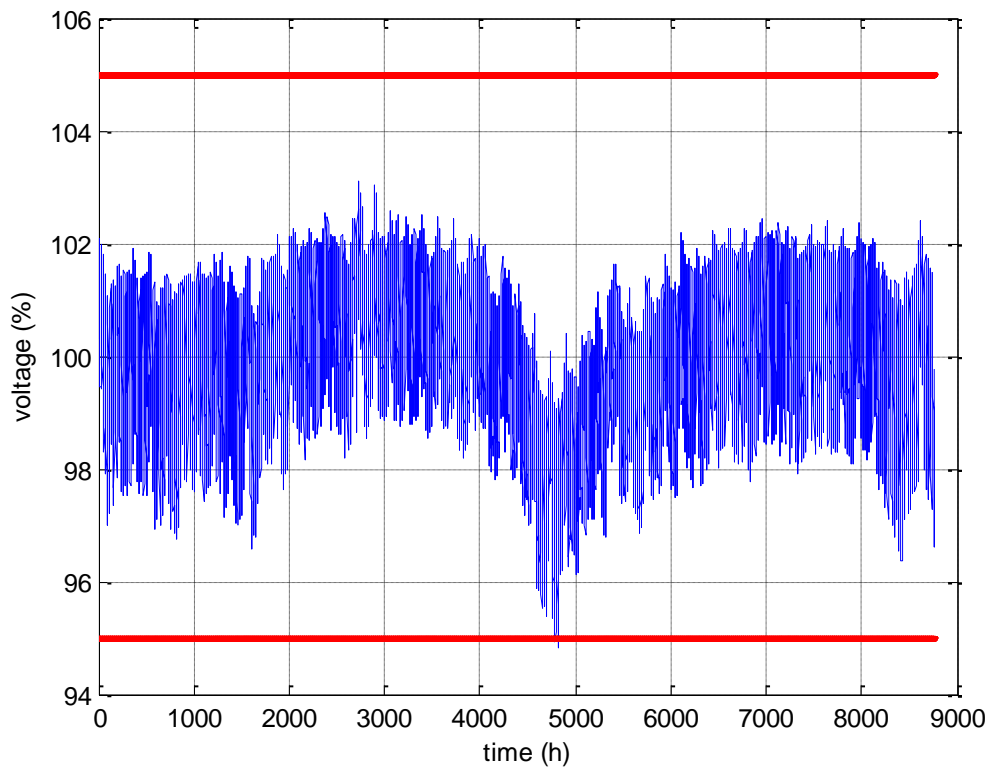
Σχήμα 5 - 13. Ποσοστά τιμών συντελεστή ισχύος στο ζυγό ΑΣΠ σε γραμμή ΜΤ με 2 ΦΣ

Από το Σχήμα 5 – 12 προκύπτει ότι ο Σ.Ι. στον ζυγό του ΑΣΠ,  $pf_{total}(t)$ , κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.8764 επαγ. και 0.9404 επαγ., δηλαδή αυξήθηκε το εύρος τιμών του. Σύμφωνα με το Σχήμα 5 – 13 η τιμή του  $pf_{total}(t)$  παρουσιάζει μεγαλύτερη διακύμανση τιμών, γεγονός που οφείλεται στην εγχεόμενη ενεργό ισχύ που παράγουν τα ΦΣ, δεδομένου ότι η άεργος ισχύς τους είναι μηδενική (συντελεστής ισχύος παραγωγής έχει τιμή 1,  $pf_{PV}=1$ ). Η μέση τιμή του Σ.Ι. είναι 0.9042 επαγωγική.

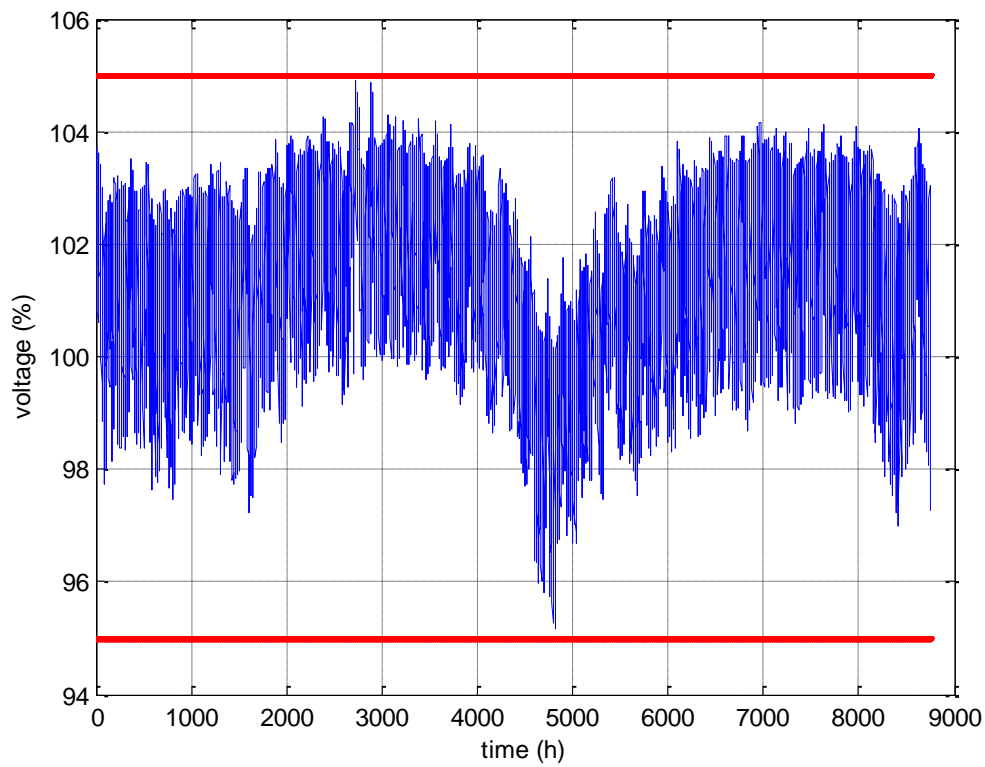
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη διακύμανση της τάσης. Ενδεικτικά, παρουσιάζεται και στην περίπτωση αυτή η τάση συναρτήσει του χρόνου για ορισμένους κόμβους. Στο Σχήμα 5 – 17 απεικονίζονται τα ποσοστά του χρόνου κατά τα οποία η τάση κάθε κόμβου κυμαίνεται εκτός των προβλεπόμενων ορίων.



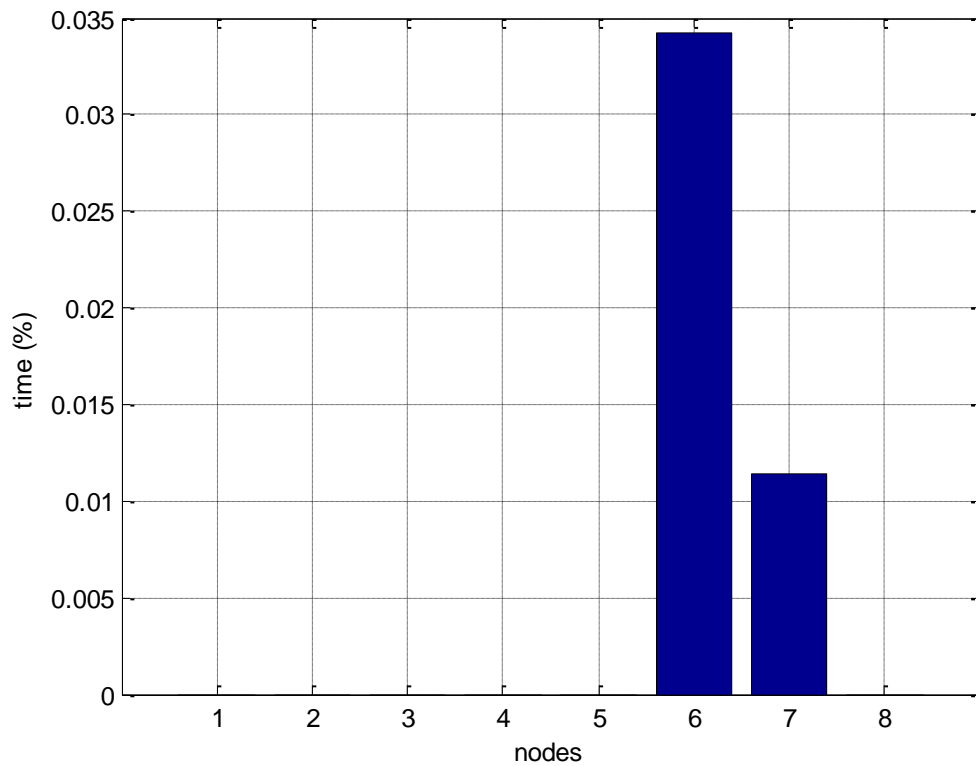
*Σχήμα 5 - 14. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 3 της γραμμής MT με 2 ΦΣ*



*Σχήμα 5 - 15. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 6 της γραμμής MT με 2 ΦΣ*



Σχήμα 5 - 16. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 της γραμμής MT με 2 ΦΣ



Σχήμα 5 - 17. Ποσοστά του χρόνου όπου η τάση στους κόμβους της γραμμής MT κοιμίνεται εκτός ορίων με 2 ΦΣ



Παρατηρείται ότι στους κόμβους 0, 1, 2, 3, 4, 5 και 8 η τάση παραμένει εντός των ορίων, ενώ στους κόμβους 6, 7 βρίσκεται εκτός των ορίων για ελάχιστο χρονικό διάστημα, το οποίο θα μπορούσε να θεωρηθεί και αμελητέο. Επίσης, υπάρχει βελτίωση στα επίπεδα διακύμανσης της τάσης σε σχέση με την περίπτωση όπου δεν συνδέονται ΦΣ με τη γραμμή ΜΤ, γεγονός που οφείλεται και πάλι στην εγγερόμενη ισχύ που παράγουν τα ΦΣ.

Συνεπώς, συγκρίνοντας με την περίπτωση όπου δεν υπάρχουν ΦΣ, και θεωρώντας ότι το χρονικό διάστημα όπου η διακύμανση τάσης βρίσκεται εκτός ορίων είναι αμελητέο, προκύπτει ότι η φ/β παραγωγή χειροτερεύει το συντελεστή ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ.

Η ετήσια ενεργειακή παραγωγή των ΦΣ είναι

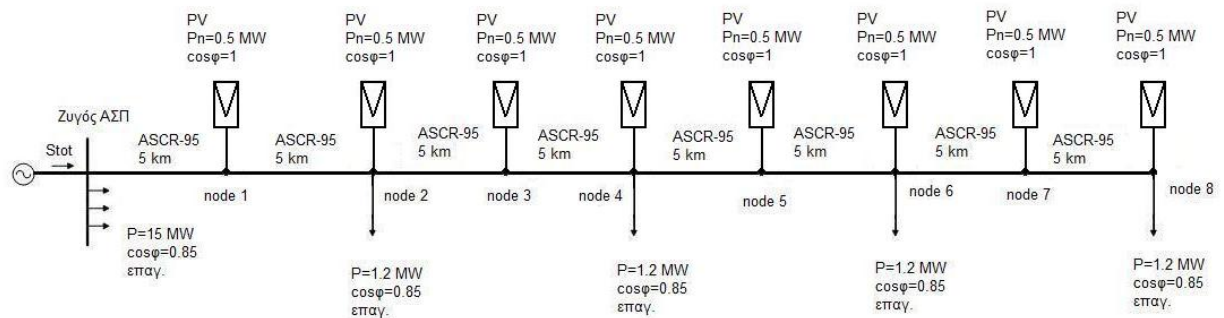
$$E_{PV} = \sum_{t=1}^{8760} P_{PV\ total}(t) = 1.6128 \cdot 10^3 MWh$$

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης σε ετήσια βάση είναι

$$CF = \frac{E_{PV}}{8760 \cdot P_{PV\ nom}} = \frac{1.6128 \cdot 10^3 MWh}{8760 \cdot 2 \cdot 0.5 MW} = 0.1841 \text{ ή } 18.41\%$$

### 5.5.2 Σύνδεση 8 φωτοβολταϊκών συστημάτων στη γραμμή ΜΤ

Σε αυτό το σενάριο της προσομοίωσης συνδέονται οκτώ ΦΣ με ονομαστική ισχύ 0.5 MW στη γραμμή ΜΤ όπως περιγράφεται στο Σχήμα 5 – 18 και στον Πίνακα 5 – 3.



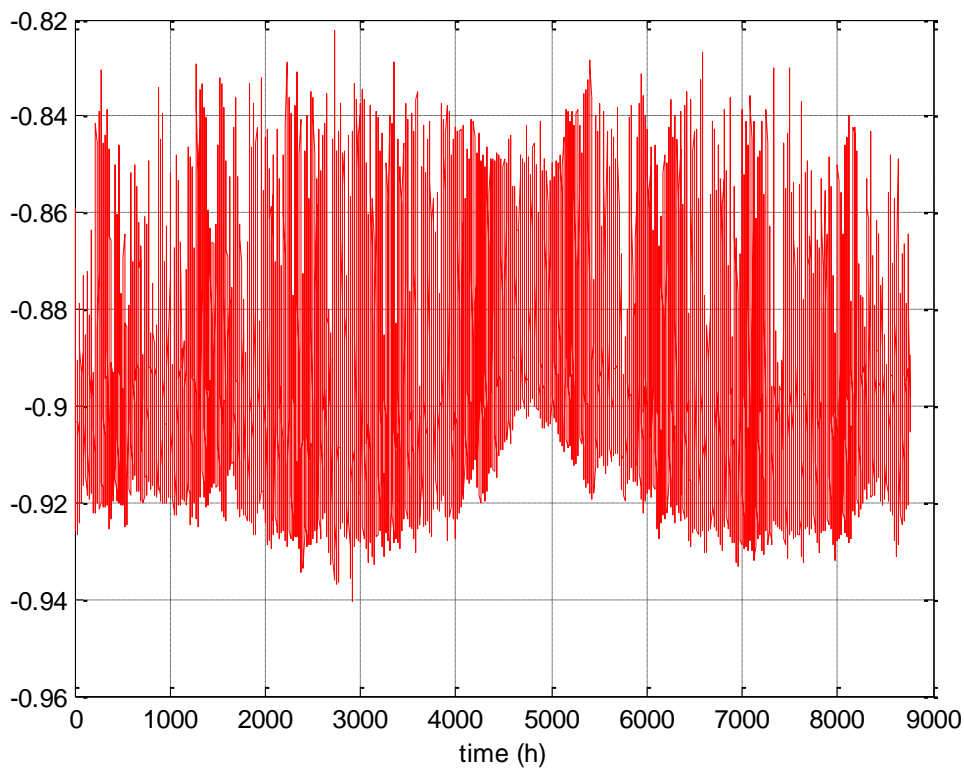
Σχήμα 5 - 18. Γραμμή ΜΤ με 8 ΦΣ

Στην περίπτωση αυτή εξετάζεται πώς η σύνδεση των ΦΣ επιδρά στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της γραμμής ΜΤ. Τα ΦΣ τοποθετούνται σε όλους τους δυνατούς ζυγούς της γραμμής ΜΤ.

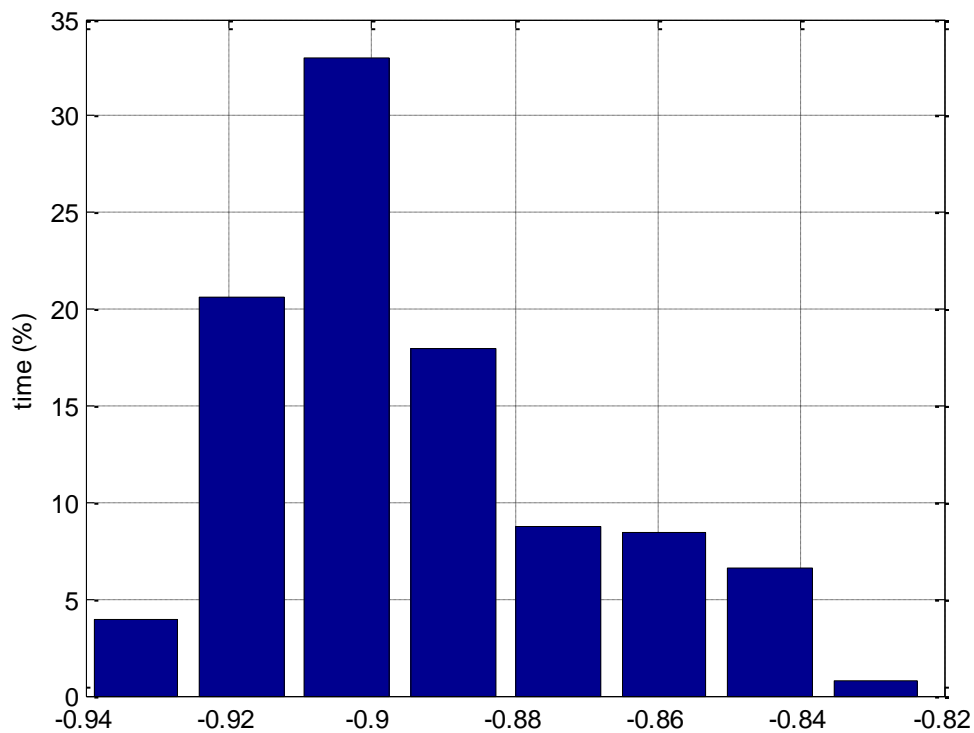
Πίνακας 5 - 3. Γραμμή ΜΤ με 8 ΦΣ

Κόμβοι	Απόσταση (km)	Παραγόμενη Ονομαστική Ισχύς (MW)	Καταναλισκόμενη Ονομαστική Ισχύς (MW)	Σ.Ι. παραγωγής	Σ.Ι. κατανάλωσης
0	0	0	-15	-	0.85 επαγ.
1	5	0.5	0	1	0.85 επαγ.
2	5	0.5	-1.2	1	0.85 επαγ.
3	5	0.5	0	1	0.85 επαγ.
4	5	0.5	-1.2	1	0.85 επαγ.
5	5	0.5	0	1	0.85 επαγ.
6	5	0.5	-1.2	1	0.85 επαγ.
7	5	0.5	0	1	0.85 επαγ.
8	5	0.5	-1.2	1	0.85 επαγ.

Η τιμή της αντιστάθμισης αέργου ισχύος είναι  $Q_c = 1.758 \text{ Mvar}$  ενώ τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το συντελεστή ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα



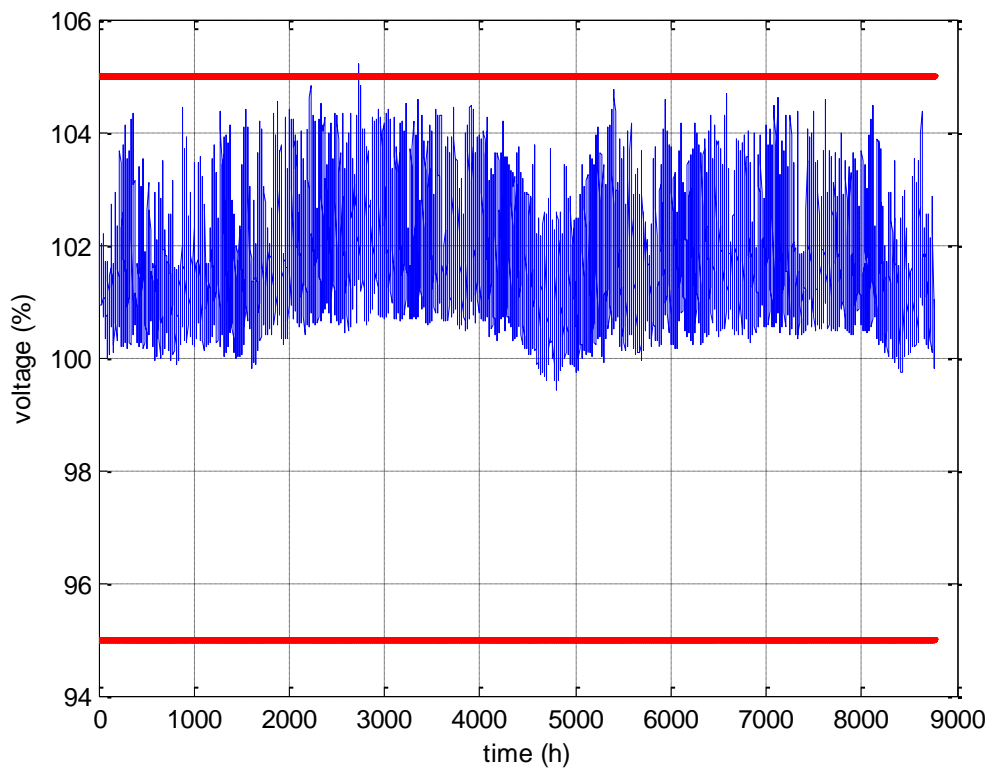
Σχήμα 5 - 19. Συντελεστής ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ σε γραμμή ΜΤ με 8 ΦΣ



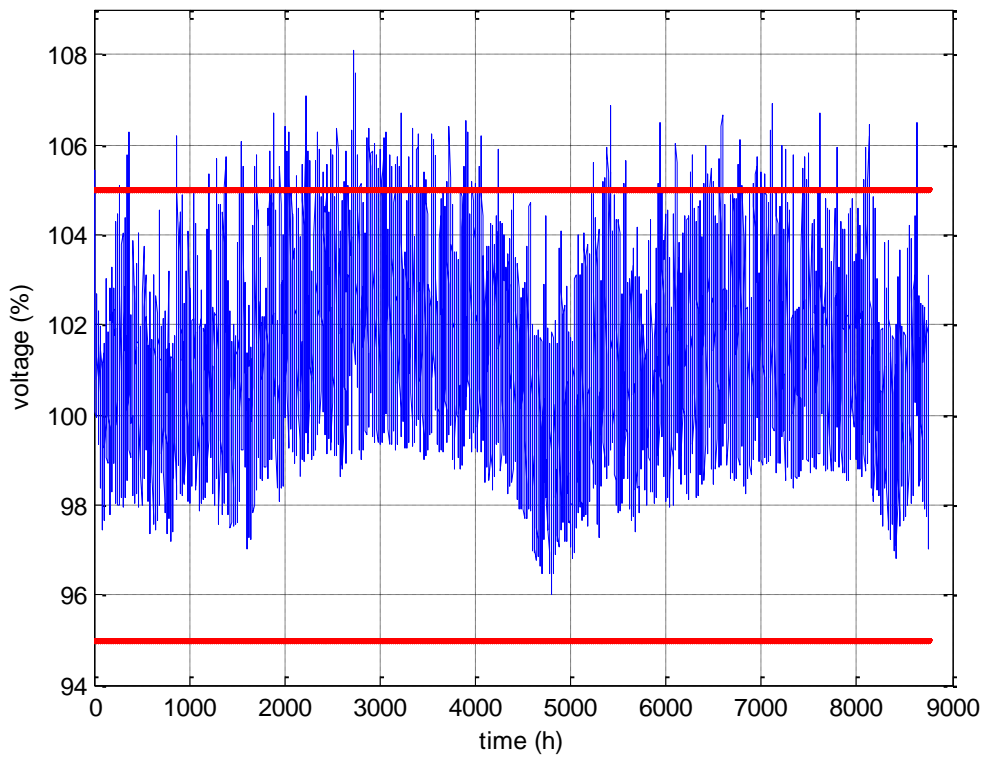
Σχήμα 5 - 20. Ποσοστά τιμών συντελεστή ισχύος στο ζυγό ΑΣΠ σε γραμμή ΜΤ με 8 ΦΣ

Από το Σχήμα 5 – 19 προκύπτει ότι ο Σ.Ι. στο ζυγό του ΑΣΠ,  $pf_{total}(t)$ , κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.8222 επαγ. και 0.9404 επαγ, δηλαδή αυξήθηκε το εύρος τιμών του. Σύμφωνα με το Σχήμα 5 – 20 η τιμή του  $pf_{total}(t)$  εμφανίζει μεγαλύτερη διακύμανση τιμών, γεγονός που οφείλεται στην εγχεόμενη ενεργό ισχύ που παράγουν τα ΦΣ, δεδομένου ότι η άεργος ισχύς τους είναι μηδενική (Σ.Ι. παραγωγής=1). Η μέση τιμή του Σ.Ι. είναι 0.8942 επαγωγικός.

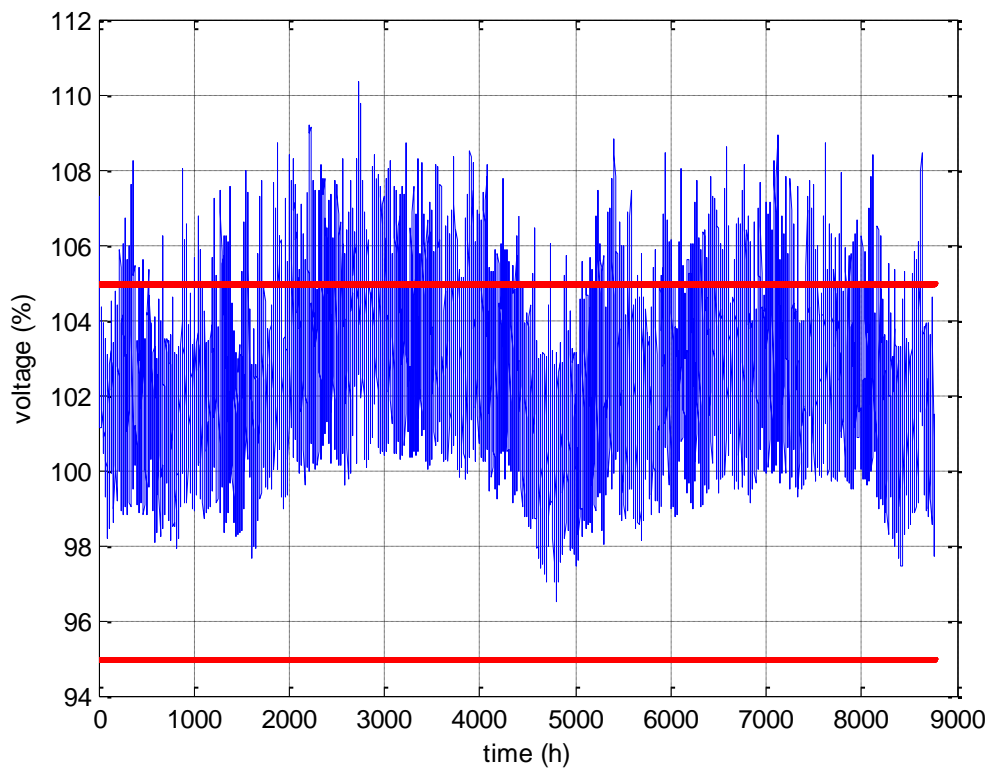
Ακολούθως παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη διακύμανση τάσης. Ενδεικτικά, παρουσιάζεται και στην περίπτωση αυτή η διακύμανση της τάσης συναρτήσει του χρόνου για ορισμένους κόμβους. Στο Σχήμα 5 – 24 απεικονίζονται τα ποσοστά του χρόνου κατά τα οποία η τάση κάθε κόμβου κυμαίνεται εκτός των προβλεπόμενων ορίων.



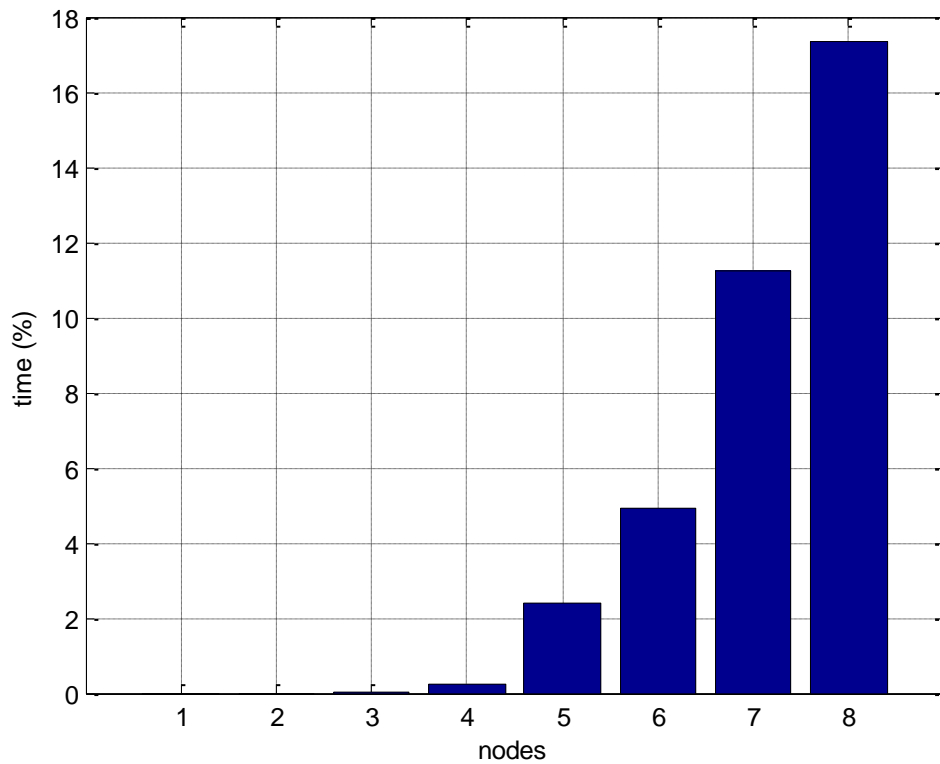
*Σχήμα 5 - 21. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 3 της γραμμής ΜΤ με 8 ΦΣ*



*Σχήμα 5 - 22. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 6 της γραμμής ΜΤ με 8 ΦΣ*



Σχήμα 5 - 23. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 της γραμμής MT με 8 ΦΣ



Σχήμα 5 - 24. Ποσοστά του χρόνου όπου η τάση στους κόμβους της γραμμής MT κομαίνεται εκτός ορίων με 8 ΦΣ

Η τάση στους ζυγούς της γραμμής κυμαίνεται εκτός των ορίων στους κόμβους 3, 4, 5, 6, 7, 8. Σύμφωνα με τα σχήματα 5 – 21 έως 5 – 23 η τάση υπερβαίνει κατά πολύ το όριο 105%, ενώ με βάση το σχήμα 5 – 24 τα ποσοστά του χρόνου όπου η τάση βρίσκεται εκτός ορίων είναι αρκετά μεγάλα.

Γενικά, η αύξηση της φ/β παραγωγής έχει ως αποτέλεσμα τη χειροτέρευση του Σ.Ι. στο ζυγό του ΑΣΠ, αυξάνοντας το εύρος τιμών του και την διακύμανση τιμών. Επιπλέον, η διακύμανση της τάσης στους κόμβους της γραμμής ΜΤ υπερβαίνει τα όρια για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Η ετήσια ενεργειακή παραγωγή των ΦΣ είναι

$$E_{PV} = \sum_{t=1}^{8760} P_{PV_{total}}(t) = 6.4511 \cdot 10^3 MWh$$

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης σε ετήσια βάση είναι

$$CF = \frac{E_{PV}}{8760 \cdot P_{PV_{nom}}} = \frac{6.4511 \cdot 10^3 MWh}{8760 \cdot 8 \cdot 0.5 MW} = 0.1841 \text{ ή } 18.41\%$$

## 5.6 Σενάριο 3ο: Γραμμή ΜΤ με φ/β παραγωγή και έλεγχο

Με βάση τα προηγούμενα σενάρια της προσομοίωσης προκύπτουν δύο προβλήματα προς αντιμετώπιση. Το πρώτο αφορά το συντελεστή ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ, ο οποίος πρέπει να εμφανίζει ελάχιστη διακύμανση περί την τιμή 1. Το δεύτερο πρόβλημα αφορά τα επίπεδα τάσης στους κόμβους της γραμμής ΜΤ τα οποία πρέπει να διακυμαίνονται εντός των προβλεπόμενων ορίων, δηλαδή μεταξύ του εύρους 95% έως 105%.

Με βάση τις μαθηματικές εξισώσεις που δόθηκαν προηγουμένως, ένας τρόπος ελέγχου των ανωτέρω μεγεθών είναι η ταυτόχρονη ρύθμιση της ισχύος αντιστάθμισης και του συντελεστή ισχύος της παραγωγής, ο οποίος είναι ο ίδιος για όλα τα ΦΣ. Η αύξηση της ισχύος αντιστάθμισης,  $Q_c$  μειώνει τη συνολική άεργο ισχύ στο ζυγό του ΑΣΠ  $Q_0(t) = Q_{PV_{total}}(t) + Q_c + Q_{load_{total}}(t)$ , αφού καλύπτει την άεργο ισχύ που απορροφάται από τη γραμμή και, κατά συνέπεια, αυξάνει την τιμή του Σ.Ι. στο ζυγό του ΑΣΠ, του οποίου η τιμή δίνεται από τη σχέση (5.21).

Ωστόσο, αύξηση της  $Q_c$  συνεπάγεται αύξηση και της τάσης στους κόμβους της γραμμής ΜΤ. Προκειμένου να μειωθεί η διακύμανση της τάσης στους κόμβους της γραμμής ΜΤ, ρυθμίζονται ταυτόχρονα η άεργος ισχύς  $Q_c$  και ο Σ.Ι. της παραγωγής,  $pf_{PV}$ , ο οποίος έχει αρχική τιμή 1. Οι τιμές του  $pf_{PV}$  είναι επαγωγικές, δηλαδή τα ΦΣ απορροφούν άεργο ισχύ ώστε να μη χειροτερεύουν τα επίπεδα της τάσης στους κόμβους αλλά, αντίθετα, να τα επαναφέρουν εντός των ορίων. Η σχέση που δίνει την πτώση τάση είναι η (5.25).

Στην ιδανική περίπτωση, είναι επιθυμητό οι όροι στο εσωτερικό της παρένθεσης στη σχέση (5.25) να αλληλοεξουδετερώνονται. Όμως, αυτό είναι πρακτικά ανέφικτο. Ωστόσο, αν τα μεγέθη της παρένθεσης στη σχέση (5.25) έχουν διαφορετικό πρόσημο ή αν το άθροισμά τους

είναι σχετικά μικρό, ο όρος εντός της παρένθεσης είναι επίσης μικρός. Κατ' επέκταση η τιμή του ε(%) είναι και αυτή μικρή.

Ο έλεγχος που προτείνεται στη Διπλωματική εργασία δεν προσπαθεί να λύσει κατά βέλτιστο τρόπο το ενεργειακό πρόβλημα. Η διαδικασία που προτείνεται βασίζεται σε κεντρικό και όχι τοπικό έλεγχο διότι ο αλγόριθμος απαιτεί πληροφορία από όλα τα σημεία του δικτύου, η οποία μπορεί να συγκεντρώνεται στο κέντρο ελέγχου HE μέσω του τηλεπικοινωνιακού δικτύου W-BPL. Ο τοπικός έλεγχος θα ρύθμιζε τοπικά σε κάθε κόμβο τις αντίστοιχες παραμέτρους, ώστε να επιτευχθεί το ζητούμενο αποτέλεσμα, χωρίς να είναι απαραίτητο να βρίσκεται ο κόμβος σε επικοινωνία με τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου. Αντίθετα, ο κεντρικός έλεγχος βασίζεται στο δίκτυο W-BPL. Τοποθετούνται DAC μονάδες στους κόμβους του δικτύου, οι οποίες αποτελούνται από RTU μονάδες που αποστέλλουν την απαιτούμενη πληροφορία. Οι μετρήσεις συγκεντρώνονται στο NOC (Network Operation Center) κόμβο, ο οποίος εκτελεί τον αλγόριθμο ελέγχου, υπολογίζει τα ζητούμενα μεγέθη και αποστέλλει τις κατάλληλες εντολές στους κόμβους χρησιμοποιώντας W-BPL τεχνολογία. Στους ελεγχόμενους κόμβους υπάρχουν κατάλληλοι ηλεκτρονόμοι για την πραγματοποίηση των εντολών και την τροποποίηση των μεγεθών. Με κεντρικό έλεγχο αναμένονται καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την ομαλή λειτουργία των ΦΣ διότι επιτυγχάνεται παρακολούθηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των κόμβων της γραμμής MT σε πραγματικό χρόνο και άμεση αποστολή εντολών προς αυτούς για έλεγχο. Οι εντολές που αποστέλλονται αποτελούν μία λύση για τη βελτίωση των ηλεκτρικών μεγεθών όλων και όχι μεμονωμένων κόμβων. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός κόμβου εξαρτώνται από αυτά των υπολοίπων. Επομένως, οι κόμβοι πρέπει να βρίσκονται σε συνεχή επικοινωνία μεταξύ τους και με τον κόμβο NOC, γεγονός που επιτυγχάνεται με τη W-BPL τεχνολογία.

Στη συνέχεια παρατίθεται ο αλγόριθμος ελέγχου.

```
pf_PV=1; % αρχικοποιείται ο συντελεστής ισχύος στην τιμή 1, ωμικός
Q_c=Q_int; % αρχικοποιείται η ισχύς Q_c στην τιμή Q_int
```

#### **Επανάλαβε**

εξισώσεις προβλήματος

**Αν** [(η τάση δεν είναι εντός ορίων) και ( ο pf\_PV έχει περιθώρια μείωσης)]

Μείωσε τον pf\_PV κατά το βήμα μείωσής του

**τέλος**

**Αν** [(ο pf\_total δεν είναι εντός ορίων) και ( η Q\_c έχει περιθώρια αύξησης)]

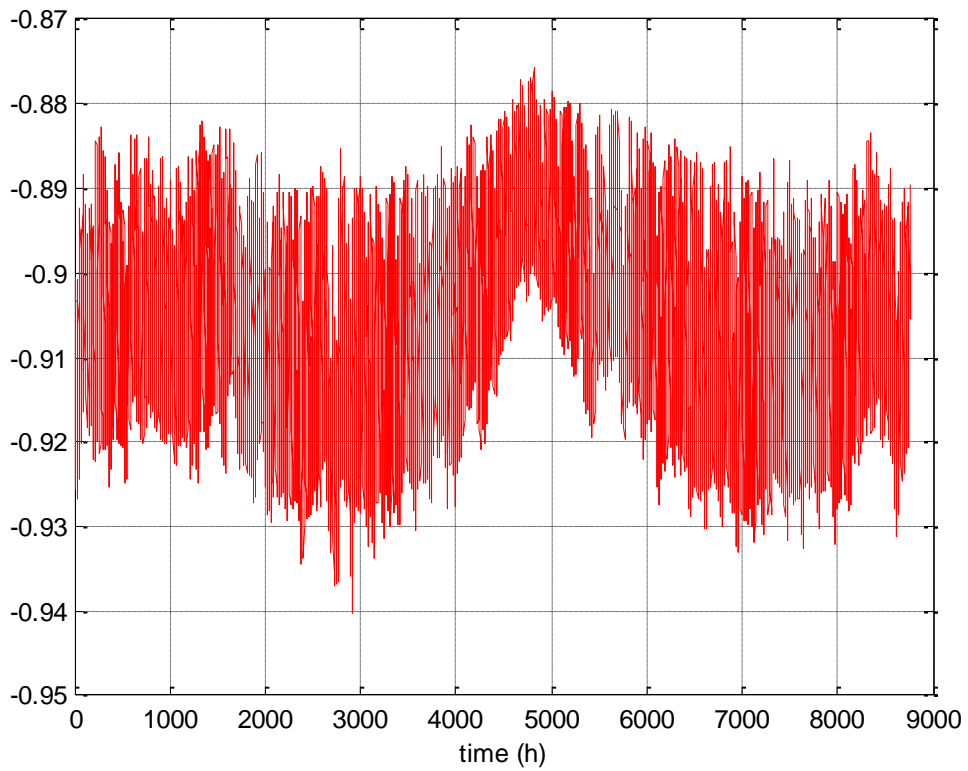
Αύξησε την Q\_c κατά το βήμα αύξησής της

**τέλος**

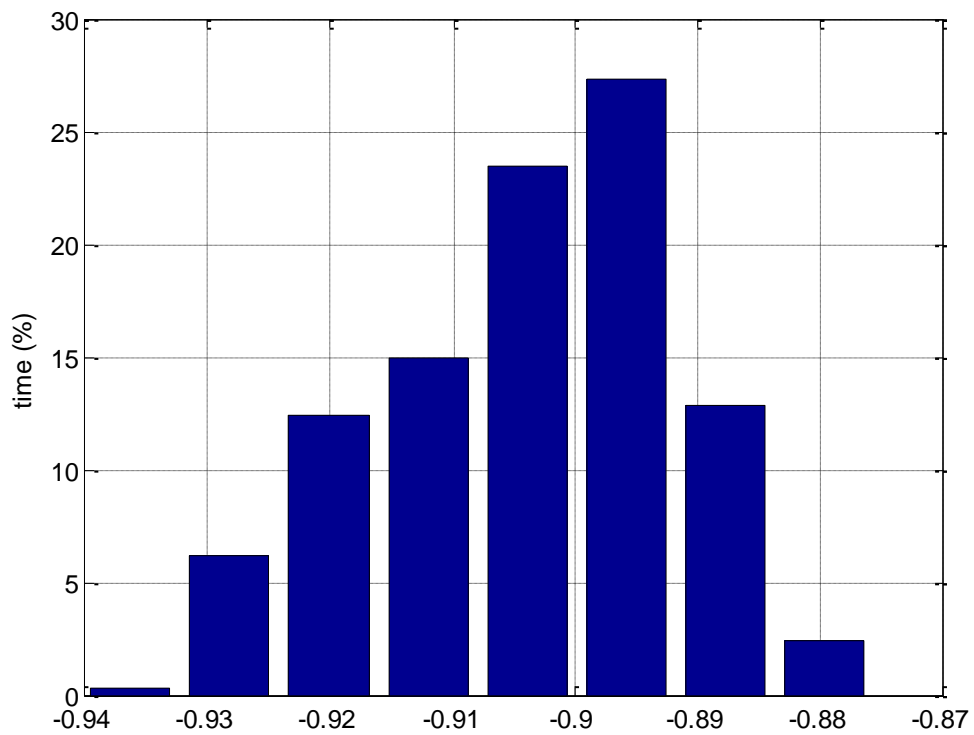
**μέχρι** {[ ( η τάση να είναι εντός ορίων) και (ο pf\_total να είναι εντός ορίων)] ή [(ο pf\_PV να μην έχει περιθώρια μείωσης) ή ( η Q\_c να μην έχει περιθώρια αύξησης)]}

### **5.6.1 Σύνδεση 2 φωτοβολταϊκών συστημάτων**

Η τοπολογία του δικτύου στην περίπτωση αυτή είναι ίδια με αυτή της ενότητας 5.5.1. με τη διαφορά ότι εφαρμόζεται ο αλγόριθμος ελέγχου. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το Σ.Ι. στο ζυγό του ΑΣΠ απεικονίζονται στα ακόλουθα 2 σχήματα



Σχήμα 5 - 25. Συντελεστής ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ σε γραμμή ΜΤ με 2 ΦΣ και έλεγχο

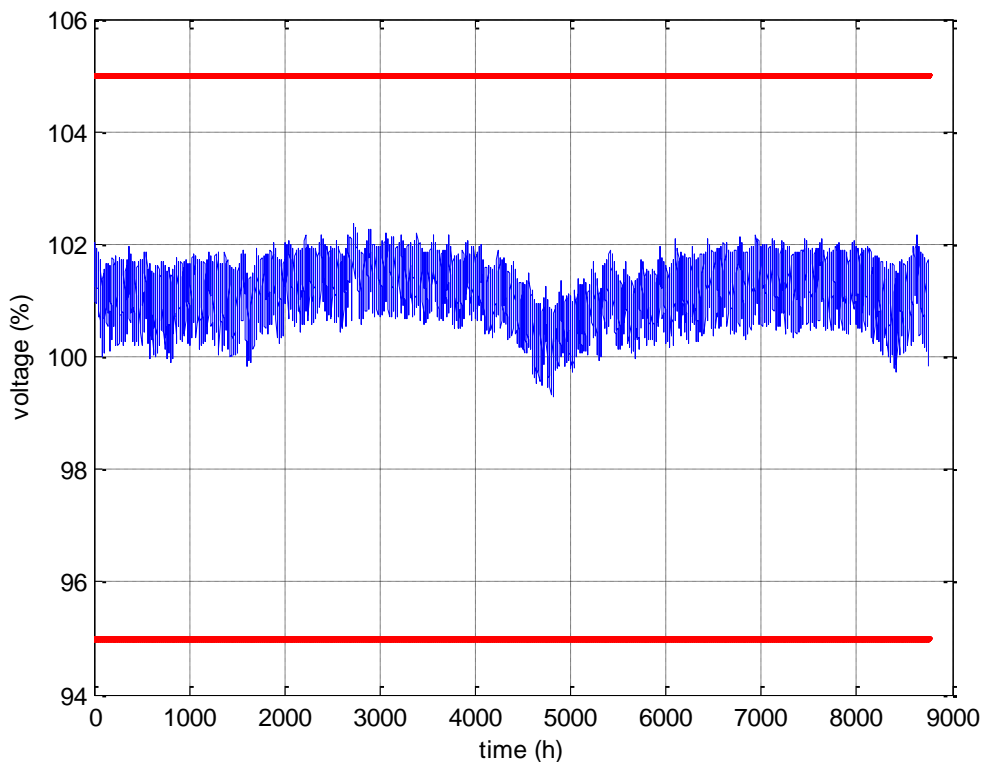


Σχήμα 5 - 26. Ποσοστά τιμών συντελεστή ισχύος στο ζυγό ΑΣΠ σε γραμμή ΜΤ με 2 ΦΣ και έλεγχο

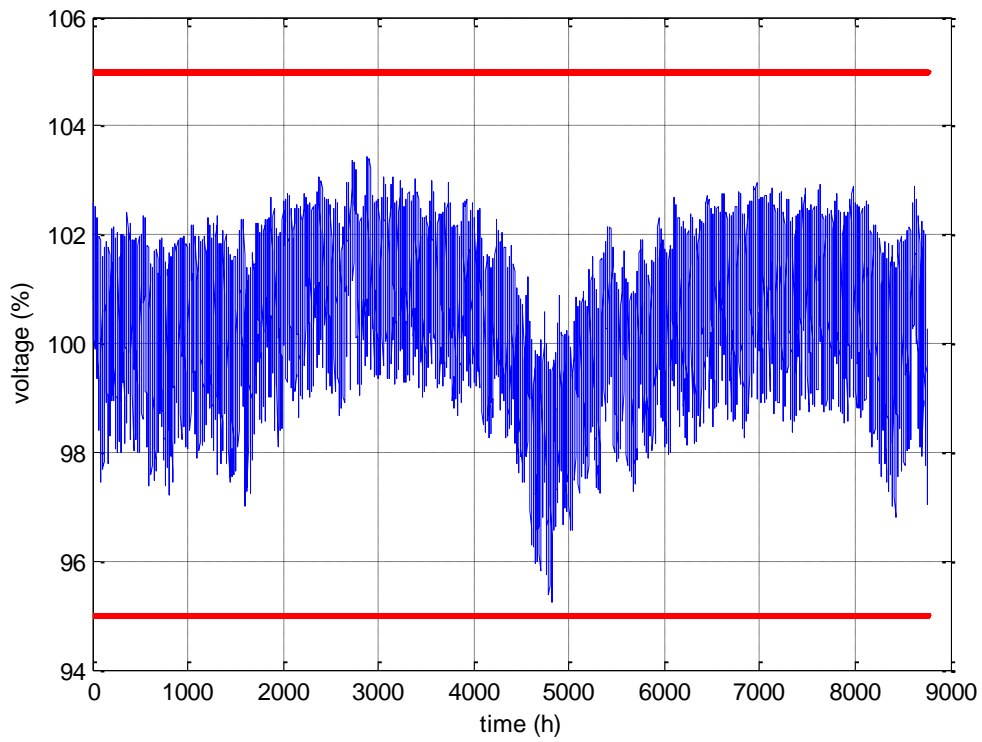


Από το Σχήμα 5 – 25 προκύπτει ότι ο Σ.Ι. στο ζυγό του ΑΣΠ,  $pf_{total}(t)$ , κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.8757 επαγ. και 0.9404 επαγ. Σύμφωνα με το Σχήμα 5 – 26 η τιμή του  $pf_{total}(t)$  εμφανίζει σχεδόν την ίδια συμπεριφορά με αυτήν της ενότητας 5.5.1., γεγονός που οφείλεται στο ότι σε εκείνη την περίπτωση η γραμμή ΜΤ λειτουργούσε ομαλά, δηλαδή οι τιμές ήταν ως επί το πλείστον εντός των ορίων. Η μέση τιμή του Σ.Ι. είναι 0.9039 επαγωγικός.

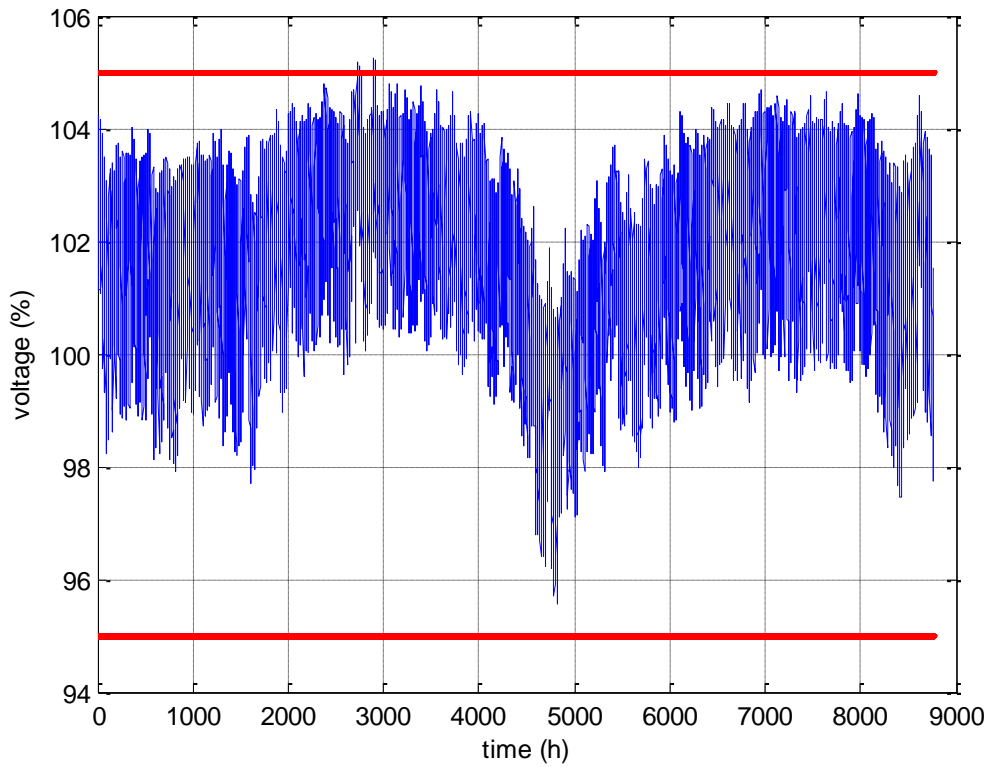
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη διακύμανση τάσης παρουσιάζονται ακολούθως. Ενδεικτικά, και στην περίπτωση αυτή παρουσιάζεται η τάση συναρτήσεως του χρόνου για ορισμένους κόμβους. Στο Σχήμα 5 – 30 απεικονίζονται τα ποσοστά του χρόνου κατά τα οποία η τάση κάθε κόμβου κυμαίνεται εκτός των προβλεπόμενων ορίων.



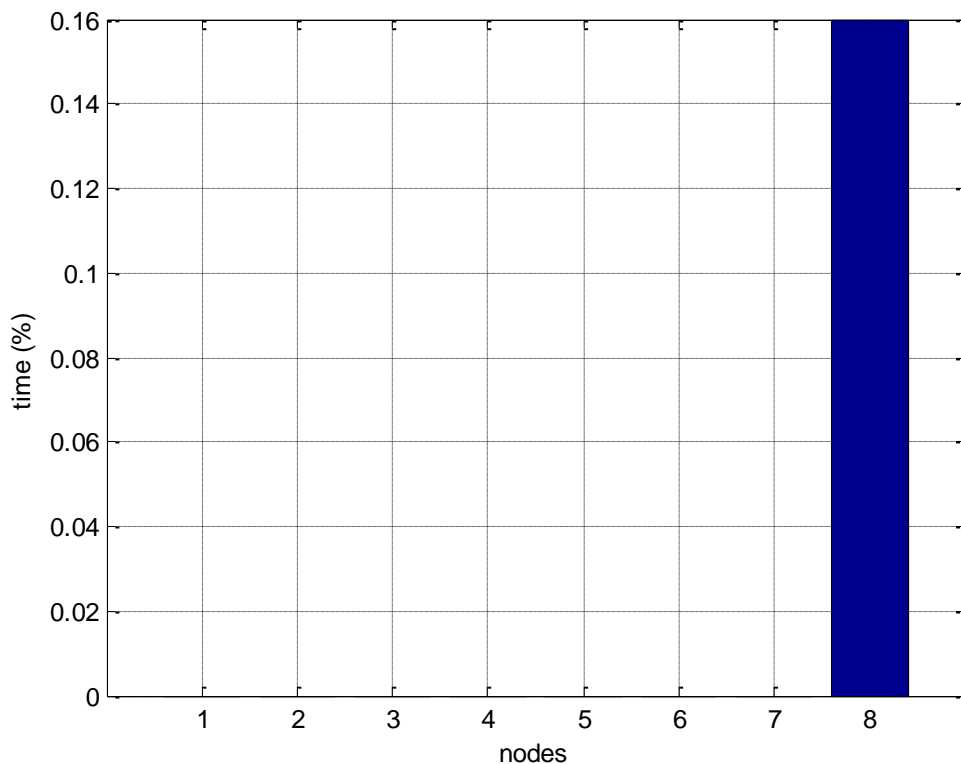
*Σχήμα 5 - 27. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 3 της γραμμής ΜΤ με 2 ΦΣ και έλεγχο*



*Σχήμα 5 - 28. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 6 της γραμμής ΜΤ με 2 ΦΣ και έλεγχο*



*Σχήμα 5 - 29. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 της γραμμής ΜΤ με 2 ΦΣ και έλεγχο*



Σχήμα 5 - 30. Ποσοστά του χρόνου όπου η τάση στους κόμβους της γραμμής MT κυμαίνεται εκτός ορίων με 2 ΦΣ και έλεγχο

Από το Σχήμα 5 – 30 καθίσταται φανερό ότι οι κόμβοι 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 βρίσκονται εντός ορίων ενώ ο κόμβος 8 είναι εκτός. Γενικά, συγκρίνοντας τα διαγράμματα με την περίπτωση όπου υπάρχουν 2 ΦΣ χωρίς έλεγχο, η τάση σε όλους τους κόμβους βελτιώνεται, εκτός από τον κόμβο 8 που κυμαίνεται εκτός ορίων για ένα μικρό χρονικό διάστημα.

Συνεπώς, μέσω του ελέγχου επιτεύχθηκε βελτίωση της διακύμανσης της τάσης σχεδόν σε όλους τους κόμβους, χωρίς να αλλάξει αισθητά ο Σ.Ι. του κόμβου του ΑΣΠ.

Η ετήσια ενεργειακή παραγωγή των ΦΣ είναι

$$E_{PV} = \sum_{t=1}^{8760} P_{PV\ total}(t) = 1.6107 \cdot 10^3 MWh$$

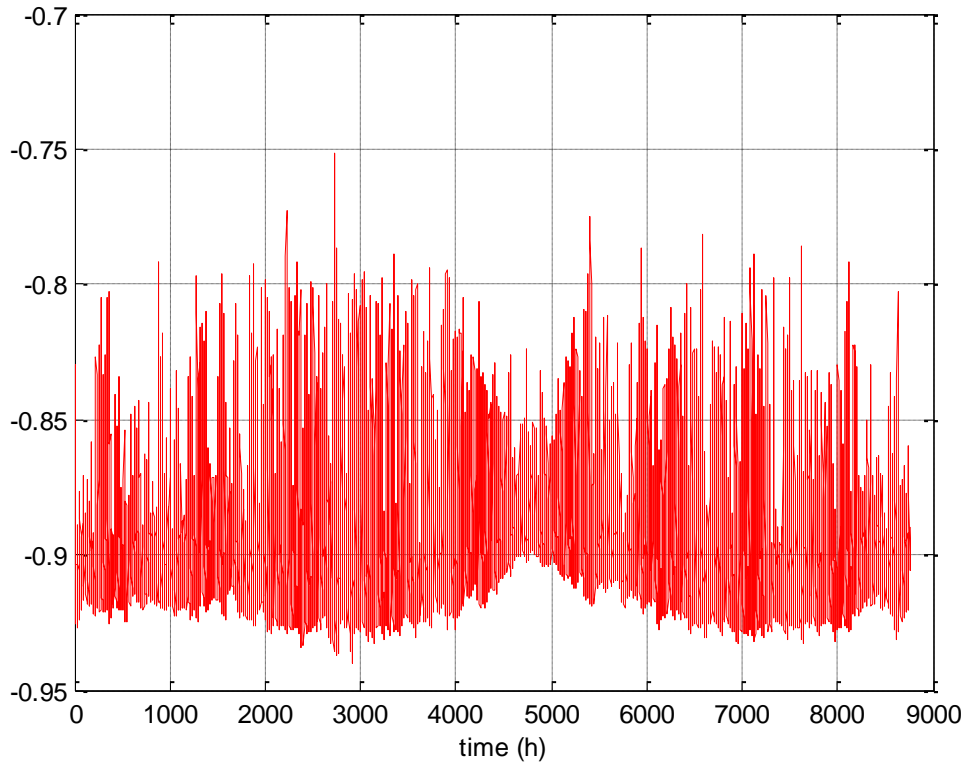
Ο συντελεστής χρησιμοποίησης είναι

$$CF = \frac{E_{PV}}{8760 \cdot P_{PV\ nom}} = \frac{1.6107 \cdot 10^3 MWh}{8760 \cdot 2 \cdot 0.5 MW} = 0.1839 \text{ ή } 18.39\%$$

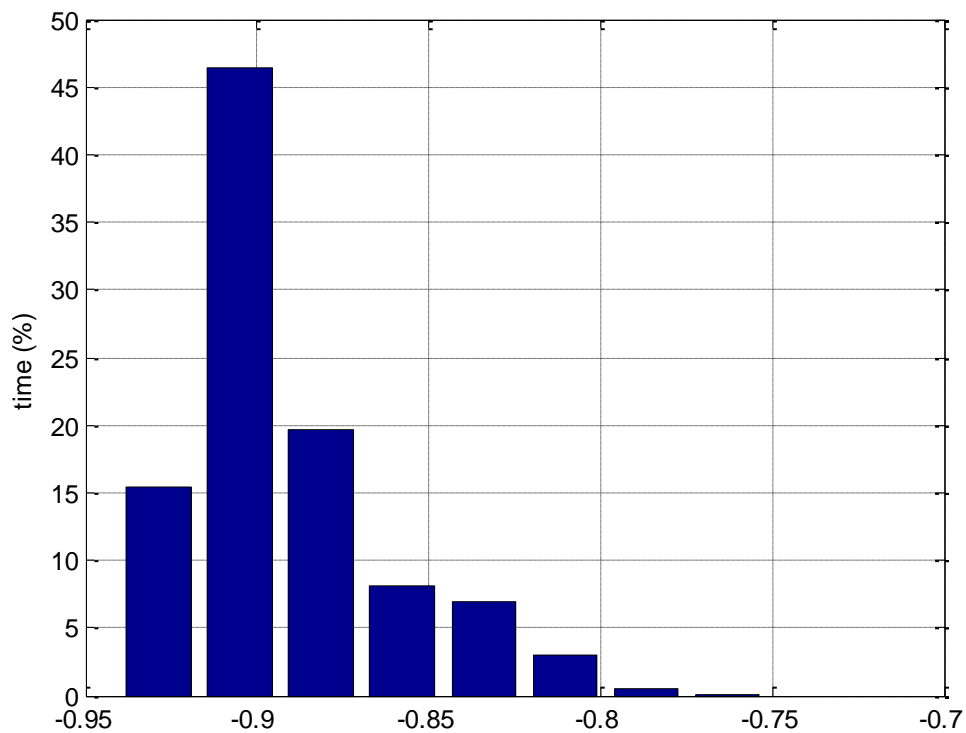
Η ετήσια ενεργειακή παραγωγή και ο συντελεστής χρησιμοποίησης μειώνονται διότι ορισμένα χρονικά διαστήματα τα ΦΣ δεν λειτουργούν με μοναδιαίο Σ.Ι., οπότε μειώνεται η ισχύς εξόδου τους.

### 5.6.2 Σύνδεση 8 φωτοβολταϊκών συστημάτων

Η τοπολογία του δικτύου στην περίπτωση αυτή είναι ίδια με αυτή της ενότητας 5.5.2. Η διαφορά είναι ότι στην παρούσα περίπτωση εφαρμόζεται το σχήμα κεντρικού ελέγχου με χρήση της τεχνολογίας W-BPL. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το Σ.Ι. στο ζυγό του ΑΣΠ απεικονίζονται στα ακόλουθα 2 διαγράμματα



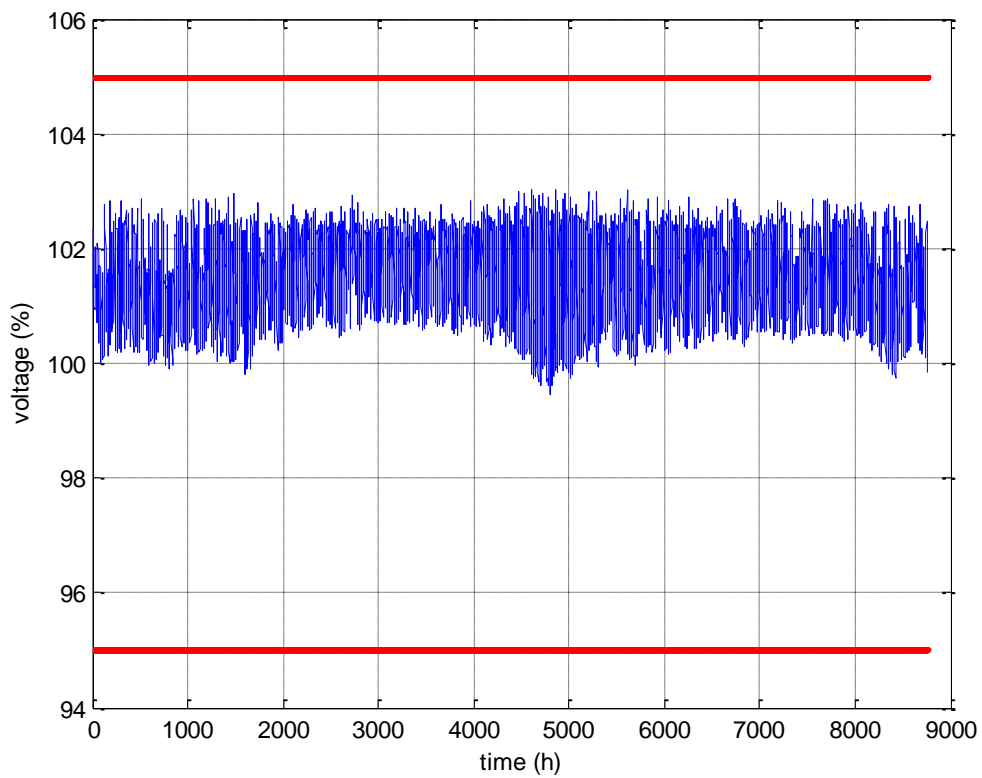
*Σχήμα 5 - 31. Συντελεστής ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ σε γραμμή ΜΤ με 8 ΦΣ και έλεγχο*



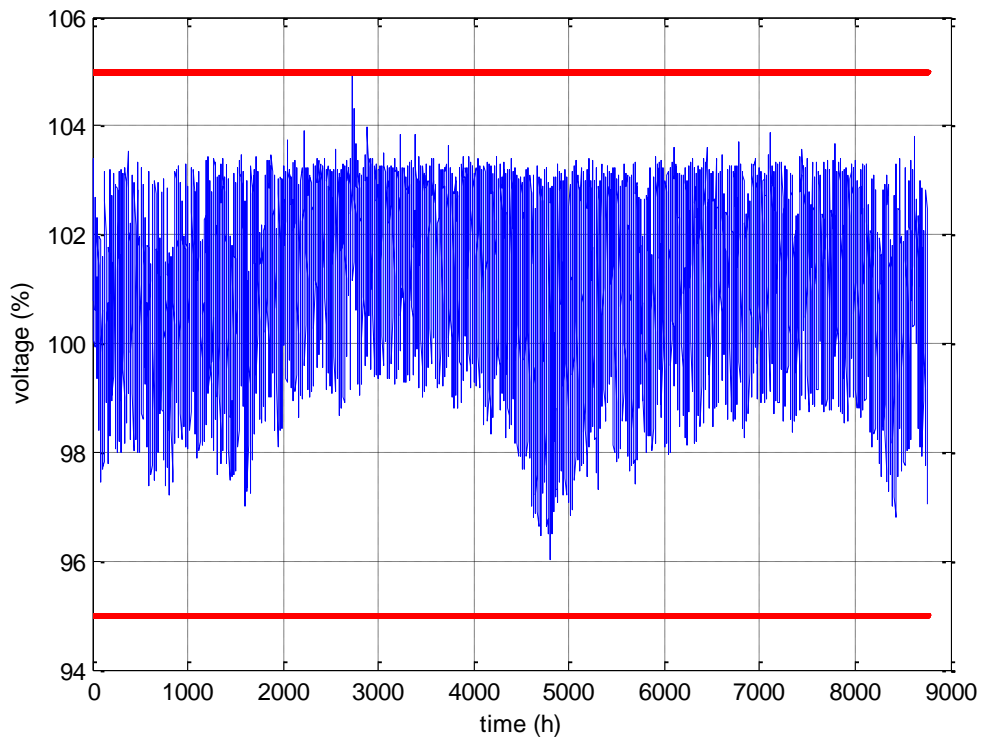
Σχήμα 5 - 32. Ποσοστά τιμών συντελεστή ισχύος στο ζυγό ΑΣΠ σε γραμμή ΜΤ με 8 ΦΣ και έλεγχο

Από το Σχήμα 5 – 31 προκύπτει ότι ο Σ.Ι. στο ζυγό του ΑΣΠ,  $pf_{total}(t)$ , κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.7512 επαγ. και 0.9404 επαγ. Σύμφωνα με το Σχήμα 5 – 32, η τιμή του  $pf_{total}(t)$  συγκεντρώνεται γύρω από την τιμή 0.9 επαγωγική. Η μέση τιμή του Σ.Ι. είναι 0.8906 επαγωγική.

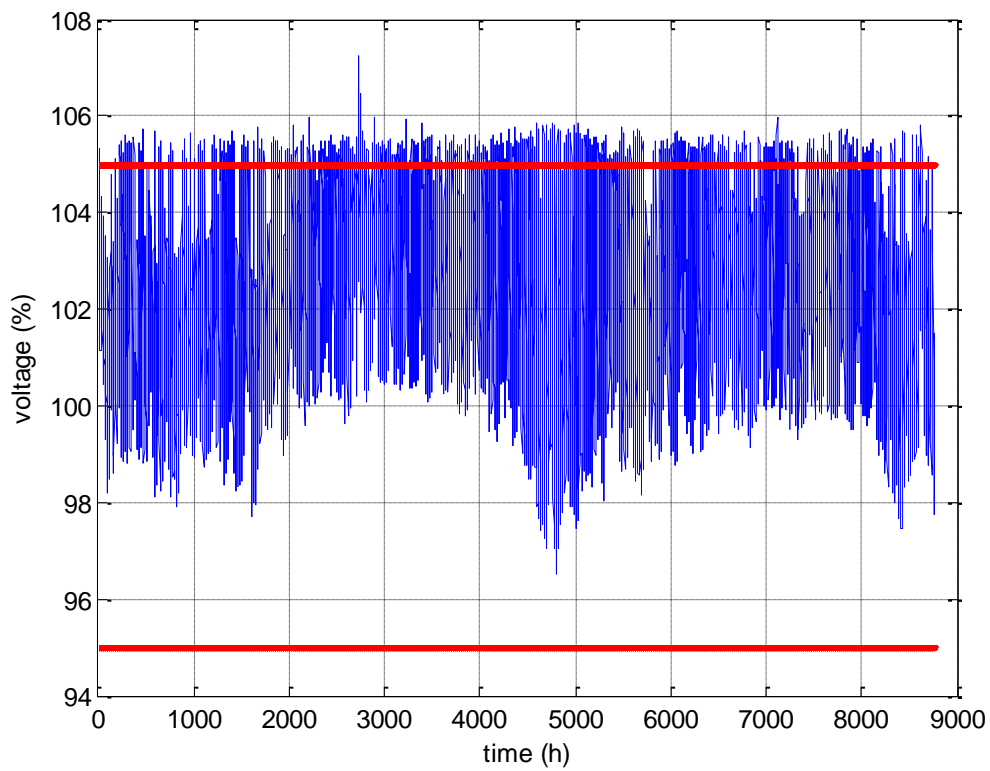
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη διακύμανση της τάσης παρουσιάζονται ακολούθως. Ενδεικτικά, και στην περίπτωση αυτή παρουσιάζεται η διακύμανση της τάσης συναρτήσει του χρόνου για ορισμένους κόμβους. Στο Σχήμα 5 – 36 απεικονίζονται τα ποσοστά του χρόνου κατά τα οποία η τάση κάθε κόμβου κυμαίνεται εκτός των προβλεπόμενων ορίων.



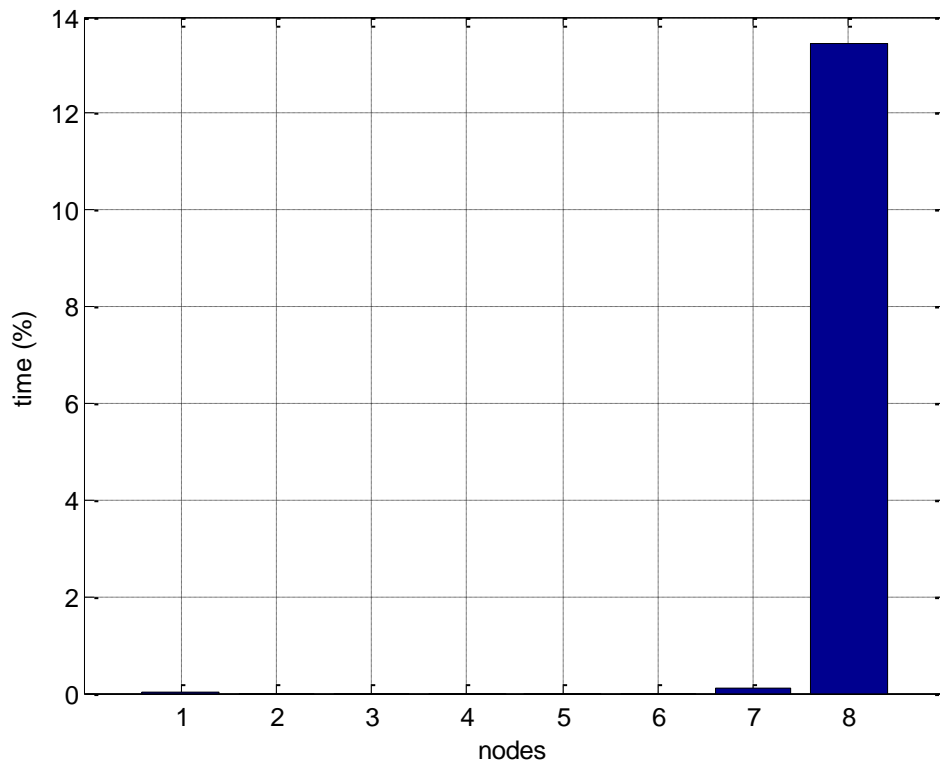
*Σχήμα 5 - 33. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 3 της γραμμής ΜΤ με 8 ΦΣ και έλεγχο*



*Σχήμα 5 - 34. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 6 της γραμμής ΜΤ με 8 ΦΣ και έλεγχο*



Σχήμα 5 - 35. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 της γραμμής MT με 8 ΦΣ και έλεγχο



Σχήμα 5 - 36. Ποσοστά του χρόνου όπου η τάση στους κόμβους της γραμμής MT κομαίνεται εκτός ορίων με 8 ΦΣ και έλεγχο

Από το Σχήμα 5 – 36 προκύπτει ότι οι κόμβοι 2, 3, 4, 5, 6 βρίσκονται εντός ορίων, ενώ οι 1, 7, 8 είναι εκτός. Γενικά, συγκρίνοντας τα σχήματα 5-36 και 5-24, η τάση σε όλους τους κόμβους βελτιώνεται, αισθητά σε σχέση με την περίπτωση όπου δεν εφαρμόστηκε έλεγχος.

Η ετήσια ενεργειακή παραγωγή των ΦΣ είναι

$$E_{PV} = \sum_{t=1}^{8760} P_{PV\ total}(t) = 5.9415 \cdot 10^3 MWh$$

ενώ ο συντελεστής χρησιμοποίησης είναι

$$CF = \frac{E_{PV}}{8760 \cdot P_{PV\ nom}} = \frac{5.9415 \cdot 10^3 MWh}{8760 \cdot 8 \cdot 0.5 MW} = 0.1696 \text{ ή } 16.96\%$$

Η ετήσια ενεργειακή παραγωγή και ο συντελεστής χρησιμοποίησης μειώνονται σε σχέση με την περίπτωση όπου δεν εφαρμόζεται έλεγχος, διότι για κάποια χρονικά διαστήματα τα ΦΣ δεν λειτουργούν με μοναδιαίο Σ.Ι., με αποτέλεσμα να μειώνεται η ισχύς εξόδου τους.

## 5.7 Τρόπος εφαρμογής ελέγχου - Δομή τηλεπικοινωνιακού δικτύου W – BPL

Ο κεντρικός έλεγχος της υπό εξέταση γραμμής ΜΤ βασίζεται στην τεχνολογία W – BPL με εφαρμογή της οποίας μεταφέρεται πληροφορία και μεταδίδονται εντολές. Στη συνέχεια, περιγράφεται η δομή του τηλεπικοινωνιακού δικτύου W – BPL.

Αρχικά, σε κάθε κόμβο ενδιαφέροντος εγκαθίστανται μονάδες DAC, οι οποίες αποτελούνται από ένα σύνολο μονάδων RTU. Οι κόμβοι ενδιαφέροντος είναι τα ΣΚΣ των φορτίων και των ΦΣ. Συγκεκριμένα, είναι τα ΣΚΣ των 5 φορτίων της γραμμής ΜΤ, δηλαδή το συγκεντρωμένο φορτίο με ονομαστική ισχύ 15 MW στο ζυγό του ΑΣΠ και τα διασκορπισμένα φορτία ονομαστικής ισχύος 1.2 MW στους κόμβους 2, 4, 6 και 8, και τα ΦΣ που συνδέονται με τη γραμμή ΜΤ στους κόμβους 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 και 8. Τα μεγέθη που μετρούν τα RTU στην περίπτωση των φορτίων είναι η καταναλισκόμενη ενεργός ισχύς  $P_{load}(i,t)$ , η καταναλισκόμενη άεργος ισχύς  $Q_{load}(i,t)$  και η τάση  $V$  στο ΣΚΣ των φορτίων με τη γραμμή ΜΤ. Στην περίπτωση των ΦΣ τα RTU μετρούν την ηλιακή ακτινοβολία  $G(t)$ , τη θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_{amb}(t)$ , την παραγόμενη ενεργό ισχύ των ΦΣ  $P_{PV}(i,t)$ , την άεργο ισχύ  $Q_{PV}(i,t)$  και την τάση στο ΣΚΣ των ΦΣ με τη γραμμή ΜΤ. Επιπλέον, μεγέθη που θα μπορούσαν να μετρηθούν είναι το ρεύμα εξόδου κάθε μονάδας είτε είναι παραγωγή είτε κατανάλωση, οι αρμονικές παραμόρφωσης του ρεύματος και της τάσης στα ΣΚΣ των φορτίων και των ΦΣ αντίστοιχα, οι απώλειες στη γραμμή ΜΤ και άλλα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της γραμμής ΜΤ, τα οποία, όμως, δεν ενδιαφέρουν την παρούσα εργασία.

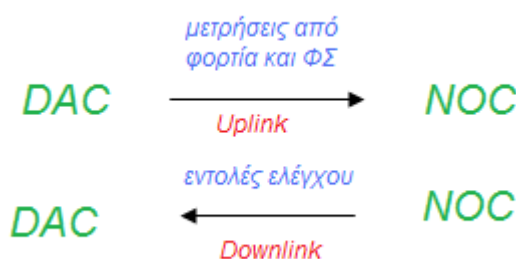
Οι μετρήσεις που περιγράφηκαν ανωτέρω και μετρήθηκαν από τις RTU μονάδες συγκεντρώνονται στον κόμβο DAC του φορτίου ή του ΦΣ. Ο κόμβος DAC πρακτικά ταυτίζεται με τη θέση του ΣΚΣ σε κάθε περίπτωση. Οι κόμβοι DAC αποστέλλουν την πληροφορία μέσω τεχνολογίας W – BPL στον κόμβο NOC, που ταυτίζεται με το ζυγό του ΑΣΠ και αποτελεί το κέντρο ελέγχου HE. Στο NOC υπάρχουν τα κατάλληλα υπολογιστικά συστήματα με τα κατάλληλα προγράμματα λογισμικού όπου συγκεντρώνονται και υφίστανται επεξεργασία όλες οι μετρήσεις από τα DAC. Στον κόμβο NOC υπολογίζεται η τιμή του συνολικού συντελεστή ισχύος της γραμμής ΜΤ  $pf_{total}(t)$ . Επίσης, στα λειτουργικά συστήματα που διαθέτει εκτελείται ο αλγόριθμος ελέγχου και υπολογίζονται τα μεγέθη



εξόδου, δηλαδή η ισχύς αντιστάθμισης  $Q_c$  και ο συντελεστής ισχύος των ΦΣ  $pf_{PV}$ . Η τιμή του μεγέθους  $Q_c$  εφαρμόζεται στο ζυγό του ΑΣΠ, ενώ η τιμή του  $pf_{PV}$  πρέπει να εφαρμοστεί σε κόμβους της γραμμής όπου συνδέονται ΦΣ. Η νέα τιμή του  $pf_{PV}$  αποστέλλεται μέσω του W-BPL δικτύου ως εντολή στα DAC των ΦΣ.

Συνεπώς, απαιτείται αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του κεντρικού κόμβου NOC και των διασκορπισμένων κόμβων DAC, η οποία υλοποιείται εφαρμόζοντας την τεχνολογία W-BPL στη γραμμή MT. Οι κόμβοι DAC αποστέλλουν την πληροφορία από τα φορτία και τα ΦΣ στο NOC και το NOC αποστέλλει τις εντολές ελέγχου στα DAC, οι οποίες εφαρμόζονται στους H/N και τους διακόπτες των ΦΣ. Η διακίνηση πληροφορίας και εντολών απεικονίζεται στο Σχήμα 5 – 37.

Το DAC μπορεί να είναι ενσωματωμένο στη W-BPL μονάδα, οπότε απαιτείται μία W-BPL μονάδα ανά κόμβο. Για μεγαλύτερη ευελιξία μπορούν να εγκατασταθούν ανεξάρτητα τα DAC και οι W-BPL μονάδες, που θα επικοινωνούν με ασύρματη τεχνολογία WiFi.



Σχήμα 5 - 37. Διακίνηση πληροφορίας και εντολών

Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, στη μόνιμη κατάσταση, οι ρυθμοί μετάδοσης πληροφορίας είναι χαμηλοί, της τάξης εκατοντάδων bps ανά κόμβο και μερικά Kbps για όλο το δίκτυο HE, αφού ο όγκος δεδομένων δεν είναι μεγάλος και τα σήματα αποστέλλονται, αναλύονται και παρουσιάζονται στο κέντρο ελέγχου (uplink επικοινωνία) ανά χρονικά διαστήματα της τάξης της 1 ώρας. Ο όγκος δεδομένων είναι μικρός γιατί δεν υπάρχει η ανάγκη για μετάδοση εικόνας και ήχου. Επίσης, η καθυστέρηση στη μετάδοση πακέτων δεν δημιουργεί προβλήματα.

Αντίθετα όταν συμβαίνουν μεταβατικά φαινόμενα και κατά τη διάρκειά τους, όπως σφάλματα, βραχυκυκλώματα, αποσύνδεση – σύνδεση μονάδων παραγωγής, αποσύνδεση – σύνδεση φορτίων, απαιτείται συνεχής σύνδεση των κόμβων με το δίκτυο ώστε το ηλεκτρικό δίκτυο να προσαρμοστεί στην καινούργια κατάσταση λειτουργίας. Οι ρυθμοί μετάδοσης είναι της ίδιας τάξης μεγέθους σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση. Επιπλέον, ο όγκος δεδομένων είναι ίδιος με αυτόν στη μόνιμη κατάσταση, αφού και πάλι δεν υπάρχει ανάγκη για μετάδοση ήχου και εικόνας. Η περίπτωση αυτή διαφοροποιείται στην ανάγκη για downlink επικοινωνία. Η χρήση του τηλεπικοινωνιακού δικτύου θα γίνεται αρκετά πιο συχνά σε σχέση με την περίπτωση της μόνιμης κατάστασης λειτουργίας (π.χ. ανά μερικά sec), ενώ στην περίπτωση αυτή είναι κρίσιμο να υπάρχει χαμηλή καθυστέρηση πακέτων για την αποφυγή φαινομένων συμφόρησης και υψηλή διαθεσιμότητα του τηλεπικοινωνιακού δικτύου, ώστε να επιτευχθεί ο έλεγχος μέσω των εντολών από το κέντρο ελέγχου HE και να επανέλθει το δίκτυο HE στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα προσεγγιστικό – υποθετικό παράδειγμα για τον προσδιορισμό των τηλεπικοινωνιακών χαρακτηριστικών του W-BPL δικτύου.

Αρχικά, τα μεγέθη που μετρώνται από κάθε κόμβο φορτίου και παραγωγής είναι τα ακόλουθα:

- Ενεργός ισχύς
- Άεργος ισχύς
- Τάση εξόδου
- Ρεύμα εξόδου
- Αρμονική παραμόρφωση

Επειδή πρόκειται για τριφασικό δίκτυο σε κάθε μέτρηση αντιστοιχούν  $3 \times 5 = 15$  αριθμητικά μεγέθη. Επιπλέον, θεωρείται ότι 4 bytes ανά μέγεθος αρκούν για την απαιτούμενη ακρίβεια, επομένως κάθε μέτρηση αντιστοιχεί σε  $15 \times 4 = 60$  bytes. Έστω ότι το στρώμα δικτύου εισάγει επιβάρυνση λόγω επικεφαλίδας 100% (header overhead) λόγω του μικρού μεγέθους του πακέτου (αλλά 60 bytes). Επομένως, μέχρι τώρα το προς μετάδοση πακέτο πληροφορίας αποτελείται από 120 bytes. Μαζί με πιθανά overheads κρυπτογράφησης, ελέγχου λαθών και στρώματος ζεύξης δεδομένων προκύπτει ένα πακέτο μετάδοσης μερικών εκατοντάδων bytes. Συνεπώς, μία ζεύξη του 1 Kbps μπορεί να μεταδώσει αυτό το πακέτο δεδομένων στο NOC σε χρόνο μικρότερο από 1 sec, καθυστέρηση που είναι απολύτως ανεκτή για την εφαρμογή που περιγράφεται στην παρούσα εργασία, δεδομένου ότι ο αλγόριθμος ελέγχου λειτουργεί σε χρόνους τάξης μεγέθους λεπτών. Ακόμη και στη δυσμενέστερη περίπτωση, όπου όλοι οι κόμβοι στέλνουν τα δεδομένα τους ταυτόχρονα στο NOC, μία γραμμή MT με 5 έως 15 κόμβους απαιτεί ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο που μπορεί να υποστηρίξει συνολική κίνηση 5 έως 15 Kbps. Η ταυτόχρονη επικοινωνία χρειάζεται όταν οι κόμβοι βρίσκονται εκτός ορίων λειτουργίας και πρέπει να επικοινωνήσουν με το NOC προκειμένου να εφαρμοσθεί ο αλγόριθμος ελέγχου. Τα ανωτέρω αφορούν την uplink ζεύξη.

Στην downlink ζεύξη η πληροφορία είναι ίδιας τάξης μεγέθους σε σχέση με την uplink, αφού η εντολή από το NOC προς τους κόμβους για ρύθμιση του συντελεστή ισχύος των φωτοβολταϊκών κάλλιστα περιέχεται σε ένα πακέτο των 60 bytes. Επίσης, κατά την downlink ζεύξη παρατηρούνται οι ίδιες απαιτήσεις σε καθυστέρηση.

Τέλος, στο συγκεκριμένο παράδειγμα θεωρείται ότι στη γραμμή MT έχουν συνδεθεί περισσότερα ΦΣ από ότι θα μπορούσε να υποστηρίξει η γραμμή απουσία του συστήματος ελέγχου και κατ' επέκταση η μη λειτουργία του συστήματος ελέγχου οδηγεί στην ύπαρξη σοβαρών προβλημάτων στο δίκτυο HE. Επομένως, η πιο κρίσιμη απαίτηση του τηλεπικοινωνιακού δικτύου, που είναι απαραίτητο για τη λειτουργία του συστήματος ελέγχου, αποτελεί η υψηλή διαθεσιμότητα. Στο Σχήμα 5-24 ο δυσμενέστερος κόμβος βρίσκεται, απουσία ελέγχου, εκτός ορίων για ποσοστό 18% του χρόνου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, θεωρώντας διαθεσιμότητα 99% του τηλεπικοινωνιακού δικτύου, η πιθανότητα να τεθεί το δίκτυο HE εκτός ορίων λόγω της μη λειτουργίας του τηλεπικοινωνιακού δικτύου είναι  $0.18 \times 0.01 = 1.8 \cdot 10^{-3}$ . Η πιθανότητα αυτή θεωρείται αξιοσημείωτη. Επομένως, η υψηλή διαθεσιμότητα που παρέχει το W-BPL δίκτυο καθιστά την παρούσα τεχνολογία αρκετά αξιόπιστη για την υλοποίηση του τηλεπικοινωνιακού δικτύου.

## Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα προσομοίωσης

### 6.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Στο πρώτο σενάριο της προσομοίωσης η γραμμή MT αποτελείται μόνο από φορτία, που είναι είτε διασκορπισμένα στους κόμβους της γραμμής είτε συγκεντρωμένα στο ζυγό του ΑΣΠ. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στην περίπτωση αυτή παρουσιάζουν τη γραμμή MT να λειτουργεί με συντελεστή ισχύος 0.9068 επαγ. και διακύμανση της τάσης στους κόμβους που δεν υπερβαίνει τα όρια. Τα συμπεράσματα αυτά εξήχθησαν από τα σχήματα 5 – 5 έως 5 – 10.

Η σύνδεση ΦΣ διαταράσσει την ομαλή λειτουργία της γραμμής MT. Συγκεκριμένα, μεταβάλλει τη διακύμανση τάσης στους κόμβους της γραμμής και το συντελεστή ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ. Η εγχεόμενη ισχύς των ΦΣ προκαλεί ανύψωση και εντονότερη διακύμανση της τάσης στους κόμβους της γραμμής, καθώς και χειροτέρευση του συντελεστή ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ.

Με βάση τα σχήματα 5 – 12 έως 5 – 17, στην περίπτωση σύνδεσης 2 ΦΣ δεν είναι τόσο εμφανή τα προβλήματα. Συγκεκριμένα, παρατηρείται χειροτέρευση του συντελεστή ισχύος και βελτίωση της διακύμανσης της τάσης σε σχέση με το σενάριο όπου δεν συνδέονταν ΦΣ στη γραμμή MT. Όταν συνδέονται 2 ΦΣ, ο συντελεστής ισχύος παρουσιάζει μέση τιμή 0.9042 επαγ. ενώ και η διακύμανση της τάσης υπερβαίνει τα όρια για σχετικά μικρά ποσοστά του χρόνου στους κόμβους 6 και 7.

Στην περίπτωση, όμως, σύνδεσης 8 ΦΣ τα προβλήματα είναι εμφανή σύμφωνα με τα σχήματα 5–19 έως 5-24. Ο συντελεστής ισχύος είναι 0.8942 επαγωγικός και η τάση υπερβαίνει τα όρια για μεγάλα ποσοστά του χρόνου στους κόμβους 3, 4, 5, 6, 7 και 8.

Η ενσωμάτωση τεχνολογίας W – BPL στη γραμμή MT αποσκοπεί στη βελτίωση των χαρακτηριστικών της γραμμής αποφεύγοντας την αποσύνδεση ΦΣ. Η βελτίωση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών επιτυγχάνεται με κεντρικό έλεγχο που έχει τη δυνατότητα παρακολούθησης των κόμβων της γραμμής MT σε πραγματικό χρόνο. Ο κεντρικός έλεγχος απαιτεί την ύπαρξη τηλεπικοινωνιακού δικτύου για την επικοινωνία των κόμβων της γραμμής τόσο μεταξύ τους όσο και με το κέντρο ελέγχου ενέργειας. Οι απομακρυσμένοι κόμβοι χρησιμοποιούν το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο για τη μετάδοση των μεγεθών που απαιτούνται για την εκτέλεση του αλγορίθμου (ενεργός ισχύς, άεργος ισχύς, τάση). Ο κόμβος NOC χρησιμοποιεί το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο για τη μετάδοση εντολών προς τους υπόλοιπους κόμβους. Η W-BPL τεχνολογία διαθέτει τα χαρακτηριστικά ώστε να εκτελέσει αξιόπιστα τη μετάδοση της απαραίτητης πληροφορίας και να καταστήσει δυνατό τον κεντρικό έλεγχο.

Με κεντρικό έλεγχο επιτυγχάνεται βελτίωση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών της γραμμής MT στην οποία συνδέονται ΦΣ. Στην περίπτωση των 2 ΦΣ η γραμμή λειτουργεί με συντελεστή ισχύος 0.9039 επαγωγικό ενώ η τάση υπερβαίνει τα όρια στον κόμβο 8 σύμφωνα με τα σχήματα 5-25 έως 5-30. Στην περίπτωση των 8 ΦΣ ο συντελεστής ισχύος είναι 0.8906 επαγωγικός ενώ η τάση υπερβαίνει τα όρια στους κόμβους 1, 7 και 8 με βάση τα σχήματα 5-31 έως 5-36.

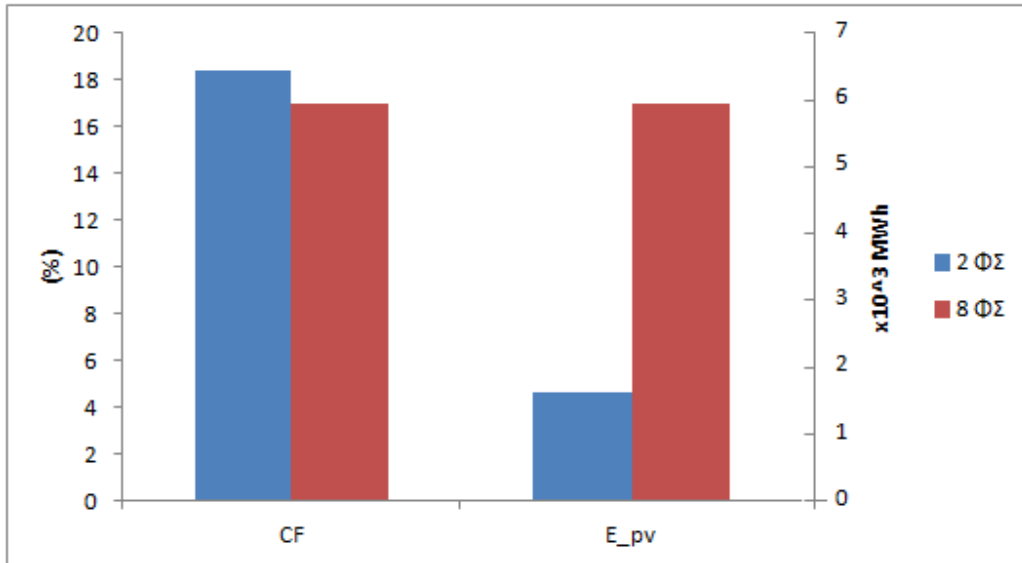
## 6.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Αρχικά συγκρίνεται η περίπτωση που συνδέονται 2 ΦΣ συνδεδεμένα στη γραμμή ΜΤ. Στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει έλεγχος ο συντελεστής ισχύος είναι 0.9042 επαγ. ενώ με έλεγχο 0.9039 επαγωγικό. Οι δύο τιμές είναι πολύ κοντά. Συνεπώς, ο έλεγχος δεν βελτιώνει αισθητά το συντελεστή ισχύος. Ωστόσο, διατηρεί τα ίδια επίπεδα τιμών. Η βελτίωση έγκειται στη διακύμανση της τάσης στους περισσότερους κόμβους της γραμμής ΜΤ. Όταν συνδέονται 2 ΦΣ χωρίς έλεγχο η ετήσια ενεργειακή παραγωγή τους είναι  $E_{PV} = 1.6128 \cdot 10^3 MWh$  και ο συντελεστής χρησιμοποίησης  $CF=0.1841$  ή 18.41%. Όταν εφαρμόζεται έλεγχος η ετήσια ενεργειακή παραγωγή είναι  $E_{PV} = 1.6107 \cdot 10^3 MWh$  και ο συντελεστής χρησιμοποίησης  $CF = 0.1839$  ή 18.39%. Παρατηρείται ότι ο έλεγχος μειώνει την ετήσια ενεργειακή παραγωγή των ΦΣ και το συντελεστή χρησιμοποίησης, αφού διαφοροποιεί το συντελεστή ισχύος των ΦΣ από την τιμή 1, επομένως τα ΦΣ δεν παράγουν μόνο ενεργό ισχύ αλλά και άεργο. Οι ανωτέρω μεταβολές δεν είναι αξιοσημείωτες, επομένως ο έλεγχος δεν έχει εφαρμογή στην περίπτωση των 2 ΦΣ.

Στη συνέχεια συγκρίνεται η περίπτωση σύνδεσης 8 ΦΣ στη γραμμή ΜΤ. Στο σενάριο χωρίς έλεγχο ο συντελεστής ισχύος είναι 0.8942 επαγωγικός, ενώ στο σενάριο ελέγχου έχει τιμή 0.8906. Και σε αυτή την περίπτωση ο συντελεστής ισχύος διατηρείται στα ίδια επίπεδα τιμών. Η διακύμανση της τάσης βελτιώνεται αισθητά σε όλους τους κόμβους της γραμμής ΜΤ. Στην περίπτωση χωρίς έλεγχο η ετήσια ενεργειακή παραγωγή των ΦΣ είναι  $E_{PV} = 6.4511 \cdot 10^3 MWh$  και ο συντελεστής χρησιμοποίησης σε ετήσια βάση  $CF = 0.1841$  ή 18.41%, ενώ στην περίπτωση ελέγχου τα αντίστοιχα μεγέθη είναι  $E_{PV} = 5.9415 \cdot 10^3 MWh$  και  $CF = 0.1696$  ή 16.96%. Και στην περίπτωση αυτή παρατηρείται ότι ο έλεγχος μειώνει την ετήσια ενεργειακή παραγωγή των ΦΣ και το συντελεστή χρησιμοποίησης, αφού διαφοροποιεί το συντελεστή ισχύος των ΦΣ από την τιμή 1, επομένως τα ΦΣ δεν παράγουν μόνο ενεργό ισχύ αλλά και άεργο. Οι ανωτέρω μεταβολές είναι αξιοσημείωτες. Το ισοζύγιο (trade off) σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι μπορεί να μειώνεται η παραγωγή και ο βαθμός χρησιμοποίησης των ΦΣ αλλά για μεγαλύτερα ποσοστά του χρόνου οι κόμβοι λειτουργούν εντός ορίων.

Από τα ανωτέρω αποτελέσματα, διαπιστώνεται ότι ο έλεγχος βελτιώνει τα χαρακτηριστικά της γραμμής ΜΤ μειώνοντας όμως την ετήσια ενεργειακή παραγωγή και το συντελεστή χρησιμοποίησης.

Η σύγκριση, όμως, που έχει αξία είναι μεταξύ της περίπτωσης 2 ΦΣ χωρίς έλεγχο και της περίπτωσης 8 ΦΣ με έλεγχο, διότι και στις δύο περιπτώσεις η γραμμή ΜΤ δεν υπερβαίνει τα όρια λειτουργίας. Στην περίπτωση των 2 ΦΣ η ετήσια ενεργειακή παραγωγή είναι  $1.6128 \cdot 10^3 MWh$  και ο συντελεστής χρησιμοποίησης  $CF=0.1841$  ή 18.41%, ενώ στην περίπτωση 8 ΦΣ με έλεγχο τα μεγέθη είναι  $E_{PV} = 5.9415 \cdot 10^3 MWh$  και  $CF = 0.1696$  ή 16.96% αντίστοιχα. Συνεπώς, με έλεγχο επιτυγχάνεται η ομαλή λειτουργία της γραμμής ΜΤ με ταυτόχρονη αύξηση της διείσδυσης ΦΣ, αφού συνδέονται στη γραμμή ΜΤ 8 ΦΣ αντί για 2 ΦΣ, παραμένοντας εντός ορίων. Το ισοζύγιο (trade off) σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι παράγεται περισσότερη ενέργεια από ΑΠΕ, χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα στη λειτουργία του δικτύου ΗΕ, όμως το κάθε ΦΣ λειτουργεί με ελαφρώς χαμηλότερο βαθμό χρησιμοποίησης.



Σχήμα 6- 1. Σύγκριση 2 ΦΣ και 8 ΦΣ με έλεγχο

Ωστόσο, παραμένουν ορισμένα θέματα προς μελέτη και έρευνα. Αρχικά δεν επιτυγχάνεται πλήρης βελτίωση της διακύμανσης της τάσης. Δηλαδή ορισμένες χρονικές στιγμές η τάση, ακόμα και με την εφαρμογή ελέγχου, βρίσκεται εκτός ορίων. Επίσης, ο συνολικός συντελεστής ισχύος δεν βελτιώνεται αισθητά με την εφαρμογή του ελέγχου που περιγράφεται μέσω της τεχνολογίας W-BPL. Εναλλακτικό τρόπο ελέγχου θα μπορούσε να αποτελέσει η ρύθμιση της παραγωγής επεμβαίνοντας στη λειτουργία των φ/β πλαισίων, θέτοντας εκτός κάποια φ/β πλαίσια ή μειώνοντας το ποσοστό παραγωγής του ΦΣ.

Έτσι, λοιπόν, ο κεντρικός έλεγχος που επιτυγχάνεται μέσω της τεχνολογίας W-BPL αυξάνει τη διείσδυση μονάδων ΔΠ στο δίκτυο ΗΕ. Επομένως, η τεχνολογία αυτή αποτελεί αξιόπιστη λύση για την ενσωμάτωση μονάδων ΔΠ στο δίκτυο ΗΕ. Με την τεχνολογία W-BPL το δίκτυο ΗΕ γίνεται ευφύες, αφού παρέχει τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων του δικτύου, αυξάνει τη διείσδυση μονάδων ΔΠ και βελτιώνει τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του δικτύου.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] H.Lee Willis, Walter G.Scott, “Distributed Power Generation, Planning and Evaluation”, Marcel Dekker
- [2] Dondi, P, Bayoumi, D, Haederli, C, Julian, D, Suter, M, ”Network integration of distributed power generation”. J. of Power Sources 106, 1–9,2002
- [3] Μηνιαίο Δελτίο Α.Π.Ε., Συνοπτικό Πληροφοριακό Δελτίο (Απρίλιος 2008),ΔΕΣΜΗΕ Α.Ε, Διαθέσιμο [http://www.desmie.gr/content/index.asp?parent\\_id=42&cat\\_id=861&lang=1](http://www.desmie.gr/content/index.asp?parent_id=42&cat_id=861&lang=1)
- [4]. Υπουργείο Ανάπτυξης. [www.ypan.gr](http://www.ypan.gr).
- [5] Αντώνιος Τσικαλάκης, “Συμβολή στον προγραμματισμό λειτουργίας Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας με μεγάλη διείσδυση διεσπαρμένης και ανανεώσιμης παραγωγής και συσκευών αποθήκευσης”, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούλιος 2008.
- [6] Σταύρος Παπαθανασίου, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα, 2008.
- [7] Leon Freris, David Infield, “Renewable Energy in Power Systems”, Wiley
- [8]. European SmartGrids Technology Platform. [www.smartgrids.eu/documents/vision.pdf](http://www.smartgrids.eu/documents/vision.pdf).
- [9]. The Energy Lab (NETL). [www.netl.doe.gov/smartgrid/](http://www.netl.doe.gov/smartgrid/).
- [10] Λαζαρόπουλος, Α., 2010. Ευρυζωνική Μετάδοση Σημάτων μέσω Γραμμών Μέσης Τάσης: Μοντέλα Διάδοσης – Χωρητικότητα. Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- [11] G. Held, 2006. Understanding Broadband over Power Line Boca Raton, Auerbach Publications, FL, USA.
- [12] H. Hrasnica, A. Haidine, R. Lehnert, 2004. Broadband Powerline Communications Networks: Network Design, Wiley, Chichester, West Sussex, UK.
- [13] IEEE Communications Society, 2010. IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications. ΙΑΔΔ Std 1901, New York.
- [14] Sarafi, A. M., Tsiropoulos, G. I., Cottis, P. G., 2009. Hybrid wireless-broadband over power lines: A promising broadband solution in rural areas. IEEE Communications Magazine, 47(11), 140-147.
- [15] Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, “Οδηγός για τη σύνδεση Φωτοβολταϊκών Σταθμών στο Δίκτυο XT, 2006
- [16] Κ. Καγκαράκη Καθηγητή Ε.Μ. Πολυτεχνείου, ‘Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία.’ Εκδόσεις Συμμετρία Αθήνα 1992
- [17] Ι.Ε.Φραγκιαδάκης, “Φωτοβολταϊκά Συστήματα”, 2006

[18] [www.sma-hellas.com](http://www.sma-hellas.com)

[19] G.N. Korres, P. Katsikas, "Real-Time Monitoring of Network Topology through Analog Measurements", Paper No. 170, CD-Rom Proceedings of the IEEE Power Tech 2001 Conference, Porto, Portugal, Sept. 10-13, 2001 (6 pages).

[20] Γ.Ν. Κορρές, Π. Ι. Κάτσικας, Γ.Κ. Κονταξής, " Γενικευμένο μοντέλο αναπαράστασης Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας σε πραγματικό χρόνο", Πρακτικά Συνόδου CIGRE, Αθήνα, 27-28 Νοεμβρίου 2003, pp. 193-202.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Σε αυτό το παράρτημα παρατίθεται ο κώδικας, σε περιβάλλον MATLAB, για την περίπτωση γραμμής MT με φ/β παραγωγή χωρίς έλεγχο. Οι είσοδοι του προγράμματος είναι τιμές ακτινοβολίας, θερμοκρασίας και ζήτησης ΗΕ από τα αντίστοιχα αρχεία EXCEL. Πρόκειται για το σενάριο όπου έχουμε 8 ΦΣ συνδεδεμένα με τη γραμμή MT, δηλαδή αφορά την ενότητα 5.5.2.

```
function P_AC= PV_equation( A, G, T_amb )
%PV_EQUATION Summary of this function goes here
%Detailed explanation goes here
n_STC=0.145;
T_NOCT=45;
if G==0
    P_AC=0;
else
    Delta_nG=-0.04*log(G/1000);
    T_panel=T_amb+(G/800)*(T_NOCT-20);
    Delta_nT=-0.0045*(25-T_panel);
    P_AC=A*n_STC*(1-Delta_nG-Delta_nT)*G;
end

clear all;

%% Inputs
A=xlsread('demand.xls');
k=1;
for i=1:1:365
    for j=1:1:24
        Demand(k)=A(i,j)/9868;
        k=k+1;
    end
end

Irradiation=xlsread('island.meteo.xls','B:B');
Temperature=xlsread('island.meteo.xls','C:C');
time=1:1:8760;

%% System topology
Vn=15; % ονομαστική τάση στην πλευρά χαμηλής τάσης σε kV
Z_per_km=0.22+0.33i; % Γραμμή ACSR-95 Ohm/km
Q_c=1.758; % πυκνωτής αντιστάθμισης στον κόμβο 0 σε MVar

%% Περιγραφή των κόμβων της γραμμής MT
PV=[0 3500 3500 3500 3500 3500 3500 3500 3500];pf_DG=1; % Είναι
εκφρασμένο σε m^2 γιατί εκφράζει την επιφάνεια A
Load=[15 0 1.2 0 1.2 0 1.2 0 1.2]; pf_load=-0.85; % Είναι εκφρασμένο
σε MW και ο ΣI είναι επαγωγικός
line=[5 5 5 5 5 5 5 5]; % σε km

%% Main Program
nodes=length(PV); % το πλήθος των κόμβων
Z(1)=0;
for i=2:1:nodes
    Z(i)=line(i-1)*Z_per_km;
end
```

```

for t=1:1:length(time)
    sum1=0;sum2=0;sum3=0;sum4=0;
    for i=1:1:nodes
        S_DG(i,t)=(PV_equation(PV(i), Irradiation(t),
Temperature(t)))/1000000; % Η ισχύς εξόδου του PV είναι σε MVA
        P_DG(i,t)=S_DG(i,t)*abs(pf_DG);
        sum1=sum1+P_DG(i,t);
        Q_DG(i,t)=sign(pf_DG)*P_DG(i,t)*tan(acos(abs(pf_DG))); % η
άεργος ισχύς των PV σε VAR
        sum2=sum2+Q_DG(i,t);
        P_load(i,t)=-1*Load(i)*Demand(t); % το φορτίο είναι σε MW
        sum3=sum3+P_load(i,t);
        Q_load(i,t)=sign(pf_load)*abs(P_load(i,t))*
*tan(acos(abs(pf_load))); % η άεργος ισχύς του φορτίου σε MVAR
        sum4=sum4+Q_load(i,t);
    end

    %% Υπολογισμός του Σ.Ι.
    P_DG_total(t)=sum1;
    Q_DG_total(t)=sum2;
    P_load_total(t)=sum3;
    Q_load_total(t)=sum4;
    S_total(t)=sqrt((P_DG_total(t)+P_load_total(t))^2+
(Q_c+Q_DG_total(t)+Q_load_total(t))^2);
    pf_node0(t)=abs((P_DG_total(t)+P_load_total(t))/S_total(t))*
*sign(Q_c+Q_DG_total(t)+Q_load_total(t)); % συνολικός συντελεστής
ισχύος στο node 0

end

%Η τάση στο ζυγό του ΑΣΠ είναι γραμμική με τη συνολική S
a=(107-102)/(max(S_total)-min(S_total));
b=102-a*min(S_total);

%% Υπολογισμός διακύμανσης τάσης
for t=1:1:length(time)
    V(1,t)=a*S_total(t)+b;
    P(1,t)=P_DG_total(t)+P_load_total(t);
    Q(1,t)=Q_DG_total(t)+Q_load_total(t)+Q_c;
    for i=2:1:nodes
        P(i,t)=P(i-1,t)-P_DG(i-1,t)-P_load(i-1,t);
        Q(i,t)=Q(i-1,t)-Q_DG(i-1,t)-Q_load(i-1,t);
        V(i,t)=V(i-1,t)+100/((Vn)^2)*(real(Z(i))*
*P(i,t)+imag(Z(i))*Q(i,t));
        e1(i,t)=100/((Vn)^2)*(real(Z(i))*P(i,t)+imag(Z(i))*Q(i,t));
    end
end

end

%% Graphs
figure;
plot(time,pf_node0(time),'r');grid;xlabel('time (h)');
for i=1:1:nodes
    figure;
    plot(time,V(i,time),time,105,'r-',time,95,'r-');grid;
    xlabel('time (h)'); ylabel('voltage');
end

%% Statistics
% Power Factor
vima=(max(pf_node0)-min(pf_node0))/8;

```

```

for i=1:1:8
    ps_0(i)=0;
end

for t=1:1:length(time)
    if (min(pf_node0)<pf_node0(t) &&
pf_node0(t)<(min(pf_node0)+vima))
        ps_0(1)=ps_0(1)+1;
    elseif ((min(pf_node0)+vima)<=pf_node0(t) &&
pf_node0(t)<(min(pf_node0)+2*vima))
        ps_0(2)=ps_0(2)+1;
    elseif ((min(pf_node0)+2*vima)<=pf_node0(t) &&
pf_node0(t)<(min(pf_node0)+3*vima))
        ps_0(3)=ps_0(3)+1;
    elseif ((min(pf_node0)+3*vima)<=pf_node0(t) &&
pf_node0(t)<(min(pf_node0)+4*vima))
        ps_0(4)=ps_0(4)+1;
    elseif ((min(pf_node0)+4*vima)<=pf_node0(t) &&
pf_node0(t)<(min(pf_node0)+5*vima))
        ps_0(5)=ps_0(5)+1;
    elseif ((min(pf_node0)+5*vima)<=pf_node0(t) &&
pf_node0(t)<(min(pf_node0)+6*vima))
        ps_0(6)=ps_0(6)+1;
    elseif ((min(pf_node0)+6*vima)<=pf_node0(t) &&
pf_node0(t)<(min(pf_node0)+7*vima))
        ps_0(7)=ps_0(7)+1;
    else
        ps_0(8)=ps_0(8)+1;
    end
end
for i =1:1:8
    ps_0(i)=ps_0(i)/8760*100;
end
x=( (min(pf_node0)+min(pf_node0)+vima)/2):vima:( (max(pf_node0)+
+max(pf_node0)-vima)/2);
figure;
bar(x,ps_0);grid;ylabel('time (%)');
% Διακύμανση Τάσης
for i=1:1:(nodes-1)
    ps_1(i)=0;
end
for t=1:1:length(time)
    for i=1:1:(nodes-1)
        if (V((i+1),t)>105 || V(i+1,t)<95)
            ps_1(i)=ps_1(i)+1;
        end
    end
end
end

for i=1:1:(nodes-1)
    ps_1(i)=ps_1(i)/8760*100;
end
figure; bar(ps_1);grid;ylabel('time (%)');xlabel('nodes');

%% Capacity factor & Energy_per_year
E_PV_per_Year=0;
for t=1:1:length(time)
    E_PV_per_Year=E_PV_per_Year+P_DG_total(t);% είναι εκφρασμένο σε
MWh
end
% Capacity Factor

```

```

num=0;
for i=1:1:nodes
    if (PV(i)~=0)
        num=num+1;
    end
end
CF=(E_PV_per_Year)/(num*0.5*8760);
disp(E_PV_per_Year)
disp(CF)

```

Στο τμήμα του κώδικα με την ονομασία *Περιγραφή των κόμβων της γραμμής MT* υπάρχει η δυνατότητα, αλλάζοντας τις τιμές και το μήκος των διανυσμάτων PV, Load και line, να προσομοιαστεί οποιοδήποτε σενάριο χωρίς έλεγχο για γραμμή MT με φ/β παραγωγή. Για παράδειγμα, οι αντίστοιχες εντολές για το σενάριο που περιγράφεται στην ενότητα 5.5.1 παρουσιάζονται ακολούθως

```

%% Περιγραφή των κόμβων της γραμμής MT
PV=[0 3500 3500 0 0 0 0 0 0];pf_DG=1; % Είναι εκφρασμένο σε m^2 γιατί
εκφράζει την επιφάνεια A
Load=[15 0 1.2 0 1.2 0 1.2 0 1.2]; pf_load=-0.85; % Είναι εκφρασμένο
σε MW και ο ΣΙ είναι επαγωγικός
line=[5 5 5 5 5 5 5 5]; % σε km

```

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Για την περίπτωση γραμμής MT με φ/β παραγωγή, στην οποία εφαρμόζεται κεντρικός έλεγχος μέσω του W-BPL δικτύου, χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση ο παρακάτω κώδικας. Οι είσοδοι του προγράμματος είναι τιμές ακτινοβολίας, θερμοκρασίας και ζήτησης HE από τα αντίστοιχα αρχεία EXCEL. Πρόκειται για το σενάριο όπου έχουμε 8 ΦΣ συνδεδεμένα με τη γραμμή MT, δηλαδή αφορά την ενότητα 5.6.2

```
function P_AC= PV_equation( A, G, T_amb )
%PV_EQUATION Summary of this function goes here
%Detailed explanation goes here
n_STC=0.145;
T_NOCT=45;
if G==0
    P_AC=0;
else
    Delta_nG=-0.04*log(G/1000);
    T_panel=T_amb+(G/800)*(T_NOCT-20);
    Delta_nT=-0.0045*(25-T_panel);
    P_AC=A*n_STC*(1-Delta_nG-Delta_nT)*G;
end

clear all;

%% Inputs
A=xlsread('demand.xls');
k=1;
for i=1:1:365
    for j=1:1:24
        Demand(k)=A(i,j)/9868;
        k=k+1;
    end
end
Irradiation=xlsread('island.meteo.xls','B:B');
Temperature=xlsread('island.meteo.xls','C:C');
time=1:1:8760;

%% System topology
Vn=15; % ονομαστική τάση στην πλευρά χαμηλής τάσης σε kV
Z_per_km=0.22+0.33i; % Γραμμή ACSR-95 Ohm/km
Q_int=1.758;

%% Περιγραφή των κόμβων της γραμμής MT
PV=[0 3500 3500 3500 3500 3500 3500 3500]; % Είναι εκφρασμένο σε
m^2 γιατί εκφράζει την επιφάνεια A
Load=[15 0 1.2 0 1.2 0 1.2 0 1.2]; pf_load=-0.85; % Είναι εκφρασμένο
σε MW και ο ΣΙ είναι επαγωγικός
line=[5 5 5 5 5 5 5 5]; % σε km

%% Main Program
nodes=length(PV); % το πλήθος των κόμβων
Z(1)=0;
for i=2:1:nodes
    Z(i)=line(i-1)*Z_per_km;
end
a=0.3256; b=100.3276;
```

```

for t=1:1:length(time)
    %% Αρχικοποίηση
    pf_DG(t)=-0.999;Q_c(t)=Q_int;flag=true;
    sum1=0;sum2=0;sum3=0;sum4=0;
    for i=1:1:nodes
        S_DG(i,t)=(PV_equation(PV(i), Irradiation(t),
Temperature(t)))/1000000; % Η ισχύς εξόδου του PV είναι σε MVA
        P_DG(i,t)=S_DG(i,t)*abs(pf_DG(t));
        sum1=sum1+P_DG(i,t);
        Q_DG(i,t)=sign(pf_DG(t))*P_DG(i,t)*tan(acos(abs(pf_DG(t))));
    % η άεργος ισχύς των PV σε VAR
        sum2=sum2+Q_DG(i,t);
        P_load(i,t)=-1*Load(i)*Demand(t); % το φορτίο είναι σε MW
        sum3=sum3+P_load(i,t);
        Q_load(i,t)=sign(pf_load)*abs(P_load(i,t))*
*tan(acos(abs(pf_load))); % η άεργος ισχύς του φορτίου σε MVAR
        sum4=sum4+Q_load(i,t);
    end
    % Υπολογισμός του Σ.Ι.
    P_DG_total(t)=sum1;
    Q_DG_total(t)=sum2;
    P_load_total(t)=sum3;
    Q_load_total(t)=sum4;
    S_total(t)=sqrt((P_DG_total(t)+P_load_total(t))^2+(Q_c(t)+
+Q_DG_total(t)+Q_load_total(t))^2);
    pf_node0(t)=abs((P_DG_total(t)+P_load_total(t))/S_total(t))*
*sign(Q_c(t)+Q_DG_total(t)+Q_load_total(t)); % συνολικός συντελεστής
ισχύς στο node 0
    %Υπολογισμός διακύμανσης τάσης
    V(1,t)=a*S_total(t)+b;
    P(1,t)=P_DG_total(t)+P_load_total(t);
    Q(1,t)=Q_DG_total(t)+Q_load_total(t)+Q_c(t);
    for i=2:1:nodes
        P(i,t)=P(i-1,t)-P_DG(i-1,t)-P_load(i-1,t);
        Q(i,t)=Q(i-1,t)-Q_DG(i-1,t)-Q_load(i-1,t);
        V(i,t)=V(i-1,t)+100/((Vn)^2)*(real(Z(i))*P(i,t)+imag(Z(i))*
*Q(i,t));
        e1(i,t)=100/((Vn)^2)*(real(Z(i))*P(i,t)+imag(Z(i))*Q(i,t));
        if V(i,t)>105
            flag=false;
        end
    end
    end
    %% system control of Power factor and Q_c(t)
    while (((flag==false) || pf_node0(t)>-0.87) && (pf_DG(t)<-0.90 &&
Q_c(t)<(2*Q_int)))
        if ((flag==false) && (pf_DG(t)<-0.90))
            pf_DG(t)=0.96*pf_DG(t);
        end
        if ((pf_node0(t)>-0.87) && (Q_c(t)<(2*Q_int)))
            Q_c(t)=1.05*Q_c(t);
        end
        flag=true;
        sum1=0;sum2=0;sum3=0;sum4=0;
        for i=1:1:nodes
            S_DG(i,t)=(PV_equation(PV(i), Irradiation(t),
Temperature(t)))/1000000; % Η ισχύς εξόδου του PV είναι σε MVA
            P_DG(i,t)=S_DG(i,t)*abs(pf_DG(t));
            sum1=sum1+P_DG(i,t);
            Q_DG(i,t)=sign(pf_DG(t))*P_DG(i,t)*
*tan(acos(abs(pf_DG(t)))); % η άεργος ισχύς των PV σε VAR
            sum2=sum2+Q_DG(i,t);

```

```

        P_load(i,t)=-1*Load(i)*Demand(t); % το φορτίο είναι σε
MW
        sum3=sum3+P_load(i,t);
        Q_load(i,t)=sign(pf_load)*abs(P_load(i,t))*
*tan(acos(abs(pf_load))); % η άεργος ισχύς του φορτίου σε MVAR
        sum4=sum4+Q_load(i,t);
    end
    % Υπολογισμός του Σ.Ι.
    P_DG_total(t)=sum1;
    Q_DG_total(t)=sum2;
    P_load_total(t)=sum3;
    Q_load_total(t)=sum4;
    S_total(t)=sqrt((P_DG_total(t)+P_load_total(t))^2+
+ (Q_c(t)+Q_DG_total(t)+Q_load_total(t))^2);
    pf_node0(t)=abs((P_DG_total(t)+P_load_total(t))/S_total(t))*
*sign(Q_c(t)+Q_DG_total(t)+Q_load_total(t)); % συνολικός συντελεστής
ισχύος στο node 0
    %Υπολογισμός διακύμανσης τάσης
    V(1,t)=a*S_total(t)+b;
    P(1,t)=P_DG_total(t)+P_load_total(t);
    Q(1,t)=Q_DG_total(t)+Q_load_total(t)+Q_c(t);
    for i=2:1:nodes
        P(i,t)=P(i-1,t)-P_DG(i-1,t)-P_load(i-1,t);
        Q(i,t)=Q(i-1,t)-Q_DG(i-1,t)-Q_load(i-1,t);
        V(i,t)=V(i-1,t)+100/((Vn)^2)*(real(Z(i))*
*P(i,t)+imag(Z(i))*Q(i,t));
        e1(i,t)=100/((Vn)^2)*(real(Z(i))*P(i,t)+imag(Z(i))*
*Q(i,t));
        if V(i,t)>105
            flag=false;
        end
    end
end
end
end

%% Graphs
figure;
plot(time,pf_node0(time),'r');grid;xlabel('time (h)');
for i=1:1:nodes
    figure;
    plot(time,V(i,time),time,105,'r-',time,95,'r-');grid;
    xlabel('time (h)'); ylabel('voltage');
end

%% Statistics
% Power Factor
vima=(max(pf_node0)-min(pf_node0))/8;
for i=1:1:8
    ps_0(i)=0;
end

for t=1:1:length(time)
    if (min(pf_node0)<pf_node0(t) &&
pf_node0(t)<(min(pf_node0)+vima))
        ps_0(1)=ps_0(1)+1;
    elseif ((min(pf_node0)+vima)<=pf_node0(t) &&
pf_node0(t)<(min(pf_node0)+2*vima))
        ps_0(2)=ps_0(2)+1;
    elseif ((min(pf_node0)+2*vima)<=pf_node0(t) &&
pf_node0(t)<(min(pf_node0)+3*vima))
        ps_0(3)=ps_0(3)+1;
    end
end

```

```

elseif ((min(pf_node0)+3*vima)<=pf_node0(t) &&
pf_node0(t)<(min(pf_node0)+4*vima))
    ps_0(4)=ps_0(4)+1;
elseif ((min(pf_node0)+4*vima)<=pf_node0(t) &&
pf_node0(t)<(min(pf_node0)+5*vima))
    ps_0(5)=ps_0(5)+1;
elseif ((min(pf_node0)+5*vima)<=pf_node0(t) &&
pf_node0(t)<(min(pf_node0)+6*vima))
    ps_0(6)=ps_0(6)+1;
elseif ((min(pf_node0)+6*vima)<=pf_node0(t) &&
pf_node0(t)<(min(pf_node0)+7*vima))
    ps_0(7)=ps_0(7)+1;
else
    ps_0(8)=ps_0(8)+1;
end
end
for i =1:1:8
    ps_0(i)=ps_0(i)/8760*100;
end
x=( (min(pf_node0)+min(pf_node0)+vima)/2):vima:( (max(pf_node0)+max(pf_
node0)-vima)/2);
figure;
bar(x,ps_0);grid;ylabel('time (%)');
% Διακύμανση Τάσης
for i=1:1:(nodes-1)
    ps_1(i)=0;
end
for t=1:1:length(time)
    for i=1:1:(nodes-1)
        if (V((i+1),t)>105 || V(i+1,t)<95)
            ps_1(i)=ps_1(i)+1;
        end
    end
end
end

for i=1:1:(nodes-1)
    ps_1(i)=ps_1(i)/8760*100;
end
figure; bar(ps_1);grid;ylabel('time (%)');xlabel('nodes');

%% Capacity factor & Energy_per_year
E_PV_per_Year=0;
for t=1:1:length(time)
    E_PV_per_Year=E_PV_per_Year+P_DG_total(t);% είναι εκφρασμένο σε
MWh
end
% Capacity Factor
num=0;
for i=1:1:nodes
    if (PV(i)~=0)
        num=num+1;
    end
end
end
CF=(E_PV_per_Year)/(num*0.5*8760);
disp(E_PV_per_Year)
disp(CF)

```

Στο τμήμα του κώδικα με την ονομασία *Περιγραφή των κόμβων της γραμμής MT* υπάρχει η δυνατότητα, αλλάζοντας τις τιμές και το μήκος των διανυσμάτων PV, Load και line, να προσομοιαστεί οποιοδήποτε σενάριο με έλεγχο για γραμμή MT με φ/β παραγωγή.



Για παράδειγμα, οι αντίστοιχες εντολές για το σενάριο που περιγράφεται στην ενότητα 5.6.1 παρουσιάζονται ακολούθως

```
%% Περιγραφή των κόμβων της γραμμής ΜΤ  
PV=[0 3500 3500 0 0 0 0 0 0]; % Είναι εκφρασμένο σε m^2 γιατί  
εκφράζει την επιφάνεια A  
Load=[15 0 1.2 0 1.2 0 1.2 0 1.2]; pf_load=-0.85; % Είναι εκφρασμένο  
σε MW και ο ΣΙ είναι επαγωγικός  
line=[5 5 5 5 5 5 5 5]; % σε km
```



## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1 - 1. Δομή ΣΗΕ παρουσία μονάδων ΔΠ.....	16
Σχήμα 1 - 2. Οι τεχνολογίες των μονάδων ΔΠ.....	18
Σχήμα 1 - 3. Παράδειγμα ΔΠ.....	21
Σχήμα 1 - 4. ΣΣΔ και ΣΚΣ για τυπική περίπτωση σύνδεσης παραγωγού στο δίκτυο ΜΤ.....	22
Σχήμα 1 - 5. Τυπική μορφή ταχείας μεταβολής της τάσης .....	25
Σχήμα 2 - 1. Ένα παράδειγμα ΕΔ.....	29
Σχήμα 2 - 2. Όραμα της Ε.Ε. για την μεταβολή του τοπίου στον τομέα της ενέργειας [8].....	31
Σχήμα 2 - 3. Το δίκτυο του μέλλοντος.....	33
Σχήμα 2 - 4. Χρησιμοποίηση συχνοτήτων στην ηλεκτρική γραμμή (BPL τεχνολογία) .....	36
Σχήμα 2 - 5. Ηλεκτρικό δίκτυο με ενσωματωμένη υβριδική W – BPL τεχνολογία. ....	36
Σχήμα 2 - 6. Εναλλαγή φάσης και κατανομή καναλιών κατά την μετάδοση BPL σήματος κατά μήκος μίας γραμμής ΜΤ.....	37
Σχήμα 2 - 7. W – BPL δίκτυο.....	38
Σχήμα 3 - 1. Ποιοτική μεταβολή τάσης – ρεύματος και τάσης – ισχύος σε ένα φ/β πλαίσιο .	44
Σχήμα 3 - 2. Φωτοβολταϊκό σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο .....	46
Σχήμα 3 - 3. Σύστημα φ/β γεννήτριας με αντιστροφή συνδεδεμένο στο δίκτυο μέσω .....	48
Σχήμα 3 - 4. Διαφορετικές καμπύλες τάσης – ισχύος και τα αντίστοιχα σημεία μέγιστης λειτουργίας.....	48
Σχήμα 3 - 5. Παράδειγμα συγκεντρωτικής τεχνολογίας .....	49
Σχήμα 3 - 6. Τρόπος διασύνδεσης με χρήση τεχνολογίας αλυσίδας.....	51
Σχήμα 3 - 7. Φωτοβολταϊκά συστήματα πολλαπλών αλυσίδων.....	52
Σχήμα 3 - 8. Τεχνολογία φ/β πλαισίων εναλλασσόμενου ρεύματος.....	53
Σχήμα 3 - 9. Συστήματα ρύθμισης ισχύος.....	54
Σχήμα 3 - 10. Διατάξεις προστασίας και ζεύξης σε ΦΣ.....	59
Σχήμα 4 - 1. Σχηματικό διάγραμμα RTU.....	66
Σχήμα 4 - 2. Block διάγραμμα μετατροπέα.....	69
Σχήμα 4 - 3. Τηλεπικοινωνιακό δίκτυο μετάδοσης πληροφορίας σε ΑΝΣ με φ/β παραγωγή	76
Σχήμα 5 - 1. Ετήσια ζήτηση ΗΕ σε νησιωτικό δίκτυο [πηγή ΔΕΣΜΗΕ] .....	82
Σχήμα 5 - 2. Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας σε περιοχή του κεντρικού Αιγαίου για περίοδο ενός έτους.....	84
Σχήμα 5 - 3. Θερμοκρασία περιβάλλοντος σε περιοχή του κεντρικού Αιγαίου για περίοδο ενός έτους.....	84
Σχήμα 5 - 4. Γραμμή ΜΤ χωρίς ΦΣ .....	88
Σχήμα 5 - 5. Συντελεστής ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ σε γραμμή ΜΤ χωρίς ΦΣ .....	89
Σχήμα 5 - 6. Ποσοστά τιμών συντελεστή ισχύος στο ζυγό ΑΣΠ σε γραμμή ΜΤ χωρίς ΦΣ... ..	89
Σχήμα 5 - 7. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 3 της γραμμής ΜΤ χωρίς ΦΣ.....	90
Σχήμα 5 - 8. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 6 της γραμμής ΜΤ χωρίς ΦΣ.....	91
Σχήμα 5 - 9. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 της γραμμής ΜΤ χωρίς ΦΣ.....	91

Σχήμα 5 - 10. Ποσοστά του χρόνου όπου η τάση στους κόμβους της γραμμής MT κυμαίνεται εκτός ορίων χωρίς ΦΣ .....	92
Σχήμα 5 - 11. Γραμμή MT με 2 ΦΣ στους κόμβους 1 και 2 .....	92
Σχήμα 5 - 12. Συντελεστής ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ σε γραμμή MT με 2 ΦΣ.....	93
Σχήμα 5 - 13. Ποσοστά τιμών συντελεστή ισχύος στο ζυγό ΑΣΠ σε γραμμή MT με 2 ΦΣ... ..	94
Σχήμα 5 - 14. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 3 της γραμμής MT με 2 ΦΣ.....	95
Σχήμα 5 - 15. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 6 της γραμμής MT με 2 ΦΣ.....	95
Σχήμα 5 - 16. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 της γραμμής MT με 2 ΦΣ.....	96
Σχήμα 5 - 17. Ποσοστά του χρόνου όπου η τάση στους κόμβους της γραμμής MT κυμαίνεται εκτός ορίων με 2 ΦΣ.....	96
Σχήμα 5 - 18. Γραμμή MT με 8 ΦΣ .....	97
Σχήμα 5 - 19. Συντελεστής ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ σε γραμμή MT με 8 ΦΣ.....	98
Σχήμα 5 - 20. Ποσοστά τιμών συντελεστή ισχύος στο ζυγό ΑΣΠ σε γραμμή MT με 8 ΦΣ... ..	99
Σχήμα 5 - 21. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 3 της γραμμής MT με 8 ΦΣ.....	100
Σχήμα 5 - 22. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 6 της γραμμής MT με 8 ΦΣ.....	100
Σχήμα 5 - 23. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 της γραμμής MT με 8 ΦΣ.....	101
Σχήμα 5 - 24. Ποσοστά του χρόνου όπου η τάση στους κόμβους της γραμμής MT κυμαίνεται εκτός ορίων με 8 ΦΣ.....	101
Σχήμα 5 - 25. Συντελεστής ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ σε γραμμή MT με 2 ΦΣ και έλεγχο. ....	104
Σχήμα 5 - 26. Ποσοστά τιμών συντελεστή ισχύος στο ζυγό ΑΣΠ σε γραμμή MT με 2 ΦΣ και έλεγχο .....	104
Σχήμα 5 - 27. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 3 της γραμμής MT με 2 ΦΣ και έλεγχο. ....	105
Σχήμα 5 - 28. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 6 της γραμμής MT με 2 ΦΣ και έλεγχο. ....	106
Σχήμα 5 - 29. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 της γραμμής MT με 2 ΦΣ και έλεγχο. ....	106
Σχήμα 5 - 30. Ποσοστά του χρόνου όπου η τάση στους κόμβους της γραμμής MT κυμαίνεται εκτός ορίων με 2 ΦΣ και έλεγχο.....	107
Σχήμα 5 - 31. Συντελεστής ισχύος στο ζυγό του ΑΣΠ σε γραμμή MT με 8 ΦΣ και έλεγχο. ....	108
Σχήμα 5 - 32. Ποσοστά τιμών συντελεστή ισχύος στο ζυγό ΑΣΠ σε γραμμή MT με 8 ΦΣ και έλεγχο .....	109
Σχήμα 5 - 33. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 3 της γραμμής MT με 8 ΦΣ και έλεγχο. ....	110
Σχήμα 5 - 34. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 6 της γραμμής MT με 8 ΦΣ και έλεγχο. ....	110
Σχήμα 5 - 35. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 της γραμμής MT με 8 ΦΣ και έλεγχο. ....	111
Σχήμα 5 - 36. Ποσοστά του χρόνου όπου η τάση στους κόμβους της γραμμής MT κυμαίνεται εκτός ορίων με 8 ΦΣ και έλεγχο.....	111
Σχήμα 5 - 37. Διακίνηση πληροφορίας και εντολών.....	113
Σχήμα 6- 1. Σύγκριση 2 ΦΣ και 8 ΦΣ με έλεγχο.....	117

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 - 1. Εξέλιξη και διαθεσιμότητα των μονάδων ΔΠ.....	18
Πίνακας 2 - 1. Σύγκριση των τηλεπικοινωνιακών υποδομών για την υλοποίηση ΕΔ .....	34
Πίνακας 3 - 1. Αυτόνομα νησιωτικά συστήματα στην Ελλάδα .....	41
Πίνακας 3 - 2. Αιολική και φωτοβολταϊκή ισχύς στα ΑΝΣ της Ελλάδος.....	43
Πίνακας 3 - 3. Ρύθμιση των διατάξεων προστασίας σε σύνδεση με την Μ.Τ. ....	57
Πίνακας 4 - 1. Χαρακτηριστικά Τηλ/κού Δικτύου σε επίπεδο Διασκορπισμένων Χρηστών .	78
Πίνακας 4 - 2. Χαρακτηριστικά Τηλ/κού Δικτύου σε επίπεδο Ηλεκτρικού Δικτύου .....	79
Πίνακας 5 - 1. Χαρακτηριστικά Γραμμής ΜΤ χωρίς ΦΣ.....	88
Πίνακας 5 - 2. Γραμμή ΜΤ με 2 ΦΣ στους κόμβους 1 και 2 .....	93
Πίνακας 5 - 3. Γραμμή ΜΤ με 8 ΦΣ .....	98