Επίδραση Σημαντικής Εγκατεστημένης Ισχύος Φωτοβολταϊκών Σε Υποσταθμό Υψηλής/Μέσης Τάσης

Νικόλαος Λαποκωνσταντάκης

Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών

27 Ιουνίου 2011

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή:

1. Καθ. Σταυρακάκης Γεώργιος (Επιβλέπων)

2. Καθ. Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος

3. Δρ. Τσικαλάκης Αντώνιος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Σταυρακάκη Γεώργιο. Επίσης ευχαριστώ θερμά τον κ. Τσικαλάκη Αντώνιο, για την αμέριστη βοήθειά του και την πολύτιμη καθοδήγησή του κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για την αποτροπή των κλιματικών αλλαγών που απειλούν σήμερα τον πλανήτη ,παρατηρείται η στροφή προς τις καθαρές πηγές ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια είναι μια από αυτές.Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση του αριθμού των Φ/Β συστημάτων που συνδέονται στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.Η διείσδυση των Φ/Β μπορεί να επηρεάσει την λειτουργία των δικτύων διανομής , και επιπλέον μπορεί να έχει αντίκτυπο στο περιβάλλον,την οικονομία και την κοινωνία. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται οι επιπτώσεις των Φ/Β στα δίκτυα διανομής,το περιβάλλον και την οικονομία.

Σχετικά με τα δίκτυα διανομής,αναλύονται η ανύψωση τάσης στο δίκτυο, οι μειώσεις των απωλειών του Μ/Σ και οι μειώσεις των φορτίσεων των γραμμών και των απωλειών των γραμμών.Επιπλέον παρουσιάζεται η συμβολή των Φ/Β στην μείωση εκπομπής ρύπων και στην μείωση καταναλωσης καυσίμου από τις μονάδες παραγωγής.

Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή **23**

2 Ηλιακή ενέργεια και αξιοποίησή της **24**

2.1 Εισαγωγή [1] 24

2.2 Κίνηση του Ήλιου [1] 24

2.2.1 Βασικοί ορισμοί 25

2.3 Ηλιακή ακτινοβολία [1] 27

2.3.1 Βασικοί ορισμοί 27

2.3.2 Συστήματα αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας 27

2.4 Φωτοβολταϊκά Συστήματα [15] 28

2.4.1 Εισαγωγή 28

2.4.2 Δομή και λειτουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων 29

2.4.3 Κυκλωματικό ισοδύναμο 29

2.4.4 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων [2] 30

2.4.4.1 Κατηγοριοποίηση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία με βάση το υλικό που χρησιμοποιείται 31

2.4.5 Φωτοβολταϊκά πλαίσια και συνδεσμολογίες [15] 34

2.4.6 Χαρακτηριστική I-V Φωτοβολταϊκού Πλαισίου και παράγοντες επίδρασης της απόδοσης του Φ/Β στοιχείου [15] 36

2.4.7 Τρόποι στήριξης των συλλεκτών και προσανατολισμός τους [15] 37

2.4.8 Βασικά χαρακτηριστικά Φ/Β συστημάτων [3] 40

2.4.9 Τα πλεονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων [3] 40

2.5 Αντιστροφείς [4],[5] 41

2.5.1 Εισαγωγή 41

2.5.2 Χαρακτηριστικά του Αντιστροφέα 43

2.5.3 Κατηγορίες αντιστροφέων 44

2.6 Προστασίες στα Φ/Β συστήματα [14] 45

2.6.1 Εξοπλισμός για την προστασία Φ/Β συστημάτων 45

2.7 Τα Φ/Β στην Ελλάδα 47

3 Επιπτώσεις διείσδυσης φωτοβολταϊκών συστημάτων από σχετική βιβλιογραφία 49

3.1 Εισαγωγή 49

3.2 Επιπτώσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα σε δίκτυα διανομής 49

3.2.1 Εισαγωγή 49

3.2.2 Επιπτώσεις στους μετασχηματιστές ενός υποσταθμού 49

3.2.3 Επιπτώσεις στο σύστημα διανομής 50

3.2.4 Διακύμανση τάσης στα σημεία σύνδεσης (voltage fluctuation) [18] 50

3.2.5 Ανύψωση τάσης στο δίκτυο(voltage rise) [18] 51

3.3 Περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη της ηλιακής ενέργειας 51

3.3.1 Περιβάλλον 51

3.3.1.1 Μείωση της εκπομπής ρύπων 51

3.3.2 Οικονομικά οφέλη 52

3.3.2.1 Μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα [6] 52

3.3.2.2 Μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας [6] 52

3.3.3 Κοινωνικά οφέλη 53

3.3.3.1 Διαφοροποίηση της συμπεριφοράς του παραγωγού-καταναλωτή [20] 53

3.3.3.2 Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας [7] 53

4 Μεθοδολογία Ανάλυσης 55

4.1 Ανάλυση ροής φορτίου [16] 55

4.1.1 Εισαγωγή 55

4.1.2 Παράσταση στοιχείων εξοπλισμού ΣΗΕ 57

4.1.2.1 Παράσταση Γραμμών Μεταφοράς 57

4.1.2.2 Παράσταση γεννητριών 58

4.1.2.3 Παράσταση Εγκάρσιων Πυκνωτών και Αυτεπαγωγών 58

4.1.2.4 Παράσταση μετασχηματιστών 59

4.1.2.5 Παράσταση Φορτίων 59

4.1.3 Εξισώσεις ροών φορτίου 60

4.1.3.1 Εξισώσεις Ισχύος 62

4.1.3.2 Χρήση αγωγιμοτήτων 62

4.1.3.3 Παρατηρήσεις 63

4.1.4 Θεμελίωση ανάλυσης ροής φορτίου 63

4.1.4.1 Θεμελίωση του προβλήματος ροών φορτίου 63

4.1.4.2 Διάνυσμα κατάστασης και εξισώσεις 65

4.1.4.3 Μεταβλητές συστήματος - θέση του προβλήματος 66

4.1.5 Υπολογισμός ροών και απωλειών - έλεγχος σφαλμάτων 67

4.1.6 Ψηφιακές μέθοδοι επίλυσης για τη ροή φορτίου 68

4.1.6.1 Εφαρμογή της μεθόδου Newton - Raphson στην επίλυση του προβλήματος ροής φορτίου . . . 68
4.2 Εισαγωγή στο Λογισμικό Power World [8] . . . 71
4.2.1 Διαθέσιμα προγράμματα . . . 71
4.2.2 Powerworld Simulator . . . 71
4.2.3 Εισαγωγή στοιχείων / κατασκευή του συστήματος (edit mode) . . . 73
4.2.3.1 Ζυγός . . . 73
4.2.3.2 Γεννήτρια . . . 75
4.2.3.3 Γραμμή μεταφοράς . . . 77
4.2.3.4 Μετασχηματιστής . . . 80
4.2.3.5 Ζυγός φορτίου . . . 81
4.2.3.6 Εγκάρσια Αντιστάθμιση αέργου ισχύος . . . 83
4.2.3.7 Σύστημα αλλαγής τάσης υπό φορτίο . . . 85
4.2.3.8 Σύνοψη edit mode . . . 85
4.2.3.9 Προσθήκη πληροφοριών και κειμένων . . . 86
4.2.4 Επίλυση του δικτύου run mode . . . 88
4.2.5 Απεικόνιση της ροής ισχύος . . . 89
4.3 Μεθοδολογία υπολογισμού εξοικονόμησης καυσίμου και οικονομικού οφέλους [17] 90

5 Εφαρμογή Μεθοδολογίας 94
5.1 Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας Κρήτης [9] . . . 94
5.1.1 Εισαγωγή [10] . . . 94
5.1.2 Συμβατικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας . . . 95
5.1.3 Υποσταθμοί . . . 96
5.1.4 Γραμμές Μεταφοράς . . . 98
5.1.5 Δεδομένα ζήτησης φορτίου . . . 98
5.1.6 Στοιχεία για τις μονάδες ΑΠΕ . . . 99
5.1.7 Φωτοβολταϊκά . . . 99
5.1.8 Αιολικά πάρκα . . . 103
5.1.9 Λοιπές Μονάδες ΑΠΕ . . . 104
5.2 Ιεράπετρα . . . 105
5.2.1 Δίκτυο της Ιεράπετρας . . . 105
5.2.1.1 Εισαγωγή . . . 105
5.2.1.2 Υποσταθμός ΥΤ/ΜΤ . . . 105
5.2.1.3 Γραμμές Διανομής . . . 107
5.2.1.4 Γενικά . . . 107
5.2.1.5 Στοιχεία γραμμών δικτύου Ιεράπετρας . . . 108
5.2.1.6 Φορτία . . . 115

5.2.1.7 Πυκνωτές 118
5.2.1.8 Σύστημα αλλαγής τάσης υπό φορτίο 118
5.2.2 Φωτοβολταϊκά στην περιοχή της Ιεράπετρας 120
5.2.2.1 Παραγωγή φωτοβολταϊκών και κατανάλωση ενέργειας στην περιοχή της Ιεράπετρας 120

6 Αποτελέσματα της εργασίας 127

6.1 Εισαγωγή 127
6.2 Γενική επίπτωση Φ/Β 129
6.2.1 Εισαγωγή 129
6.2.2 Επίδραση των φωτοβολταϊκών στη μείωση της αιχμής ζήτησης 129
6.2.3 Επίδραση των φωτοβολταϊκών στη μείωση απωλειών μετασχηματιστή . . . 132
6.3 Εξειδικευμένη επίπτωση Φ/Β σε χαρακτηριστικές ημέρες 135
6.3.1 Ημέρα μέγιστης καλοκαιρινής ζήτησης 135
6.3.1.1 Δεδομένα 135
6.3.1.2 Επιπτώσεις στο δίκτυο της Ιεράπετρας 137
6.3.1.2.1 Μεταβολή της τάσης 137
6.3.1.2.2 Μεταβολή των απωλειών 142
6.3.1.2.3 Επιπτώσεις στις φορτίσεις των γραμμών και στη ζήτηση του δικτύου της Ιεράπετρας 143
6.3.1.3 Επιπτώσεις στο σύστημα της Κρήτης 144
6.3.1.4 Οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις 144
6.3.1.4.1 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β αγνοώντας τις απώλειες 144
6.3.1.4.2 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β στον υποσταθμό 144
6.3.1.4.3 Περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής από Φ/Β 145
6.3.2 Ημέρα μέγιστης χειμερινής ζήτησης 147
6.3.2.1 Δεδομένα 147
6.3.2.2 Επιπτώσεις στο δίκτυο της Ιεράπετρας 148
6.3.2.2.1 Μεταβολή της τάσης 148
6.3.2.2.2 Μεταβολή των απωλειών 153

6.3.2.2.3 Επιπτώσεις στη ζήτηση του δικτύου της Ιεράπετρας 154
6.3.2.3 Επιπτώσεις στο σύστημα της Κρήτης 154
6.3.2.4 Οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις 155
6.3.2.4.1 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β αγνοώντας τις απώλειες 155
6.3.2.4.2 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β στον υποσταθμό 155
6.3.2.4.3 Περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής από Φ/Β 156
6.3.3 Ημέρα μέγιστης διείσδυσης από φωτοβολταϊκά κατά το μήνα Απρίλιο . . . 157
6.3.3.1 Δεδομένα 157
6.3.3.2 Επιπτώσεις στο δίκτυο της Ιεράπετρας 159
6.3.3.2.1 Μεταβολή της τάσης 159
6.3.3.2.2 Μεταβολή των απωλειών 163
6.3.3.2.3 Επιπτώσεις στις φορτίσεις των γραμμών και στη ζήτηση του δικτύου της Ιεράπετρας 164
6.3.3.3 Επιπτώσεις στο σύστημα της Κρήτης 165
6.3.3.4 Οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις 165
6.3.3.4.1 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β αγνοώντας τις απώλειες 165
6.3.3.4.2 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β στον υποσταθμό 165
6.3.3.4.3 Περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής από Φ/Β 166
6.3.4 Ημέρα μέγιστης παραγωγής από φωτοβολταϊκά την περίοδο του καλοκαιριού 168
6.3.4.1 Δεδομένα 168
6.3.4.2 Επιπτώσεις στο δίκτυο της Ιεράπετρας 170
6.3.4.2.1 Μεταβολή της τάσης 170
6.3.4.2.2 Μεταβολή των απωλειών 174
6.3.4.2.3 Επιπτώσεις στις φορτίσεις των γραμμών και στη ζήτηση του δικτύου της Ιεράπετρας 175

6.3.4.3 Επιπτώσεις στο σύστημα της Κρήτης 176
6.3.4.3.1 Οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις 176
6.3.4.3.1.1 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β αγνοώντας τις απώλειες 176
6.3.4.3.1.2 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β στον υποσταθμό 176
6.3.4.3.1.3 Περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής από Φ/Β 177
6.4 Εξειδικευμένη επίπτωση Φ/Β σε χαρακτηριστικές ώρες 179
6.4.1 Εισαγωγή 179
6.4.2 Ώρα μέγιστης καλοκαιρινής ζήτησης πριν την εγκατάσταση Φ/Β 179
6.4.2.1 Οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις 181
6.4.2.1.1 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β αγνοώντας τις απώλειες 181
6.4.2.1.2 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β στον υποσταθμό 181
6.4.2.1.3 Περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής από Φ/Β 182
6.4.3 Ώρα μέγιστης καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β 183
6.4.3.1 Οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις 184
6.4.3.1.1 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β αγνοώντας τις απώλειες 184
6.4.3.1.2 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β στον υποσταθμό 185
6.4.3.1.3 Περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής από Φ/Β 186
6.4.4 Ώρα μέγιστης καλοκαιρινής διείσδυσης Φ/Β 186
6.4.4.1 Οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις 188
6.4.4.1.1 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β αγνοώντας τις απώλειες 188
6.4.4.1.2 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β στον υποσταθμό 189
6.4.4.1.3 Περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής από Φ/Β 189
6.4.5 Ώρα μέγιστης διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο 190
6.4.5.1 Οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις 192

6.4.5.1.1 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β αγνοώντας τις απώλειες 192
6.4.5.1.2 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β στον υποσταθμό 193
6.4.5.1.3 Περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής από Φ/Β 193

7 Συμπεράσματα **195**
7.1 Επιπτώσεις στην τάση του δικτύου 195
7.2 Επιπτώσεις στις απώλειες του δικτύου 196
7.3 Επίδραση στη φόρτιση των γραμμών 198
7.4 Οικονομική ωφέλεια 198
7.5 Μείωση ρύπων 199
7.6 Επίδραση στη λειτουργία των σταθμών παραγωγής 201
7.7 Συνοψίζοντας 205

Βιβλιογραφία **208**

Κατάλογος Σχημάτων

2.1 Ηλιακή Ακτινοβολία 25
2.2 Ορισμός απόκλισης δ 26
2.3 Εφαρμογές Ηλιακής Ενέργειας 28
2.4 Απλό Ισοδύναμο Κύκλωμα Φ/Β Στοιχείου 30
2.5 Αναλυτικό Ισοδύναμο Κύκλωμα Φ/Β Στοιχείου 30
2.6 Αναλυτικό Ισοδύναμο Κύκλωμα Φ/Β Στοιχείου 35
2.7 Φ/Β Συστοιχία 36
2.8 Χαρακτηριστική I-V και Καμπύλη Ισχύος Φ/Β Πλαισίου 37
2.9 Φ/Β σταθερού άξονα 38
2.10 Φ/Β με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από κατακόρυφο άξονα 39
2.11 Φ/Β με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από δυο άξονες 40
2.12 Τυπική διάταξη αντιστροφέα 42
2.13 Ευρωπαϊκός Βαθμός Απόδοσης 43
2.14 Σύνδεση Φωτοβολταϊκού συστήματος με τον καταναλωτή 47

3.1 Θέσεις πλήρους απασχόλησης στα φωτοβολταϊκά το 2020 (3 σενάρια διείσδυσης στο ενεργειακό ισοζύγιο) 54

4.1 Ονομαστικό ισοδύναμο κύκλωμα Π γραμμής μεταφοράς 57
4.2 Παράσταση γεννήτριας 58
4.3 Παράσταση εγκάρσιου στοιχείου 59
4.4 Παράσταση Μ/Σ σε ονομαστική σχέση μετασχηματισμού 59
4.5 Παράσταση φορτίων 60
4.6 Παράσταση γενικευμένου ζυγού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας 61
4.7 Χαρακτηριστικά ηλεκτρικά μεγέθη ζυγού 64
4.8 Η τοποθέτηση ενός ζυγού στην επιφάνεια εργασίας 74
4.9 Τα χαρακτηριστικά του μενού ζυγός (bus) 75
4.10 Το περιβάλλον εργασίας μετά την τοποθέτηση γεννήτριας 76
4.11 Το μενού γεννήτρια 76
4.12 Η προσθήκη διασυνδετικής γραμμής μεταξύ 2 ζυγών 77

4.13 Το μενού προσαρμογής των ιδιοτήτων μίας γραμμής μεταφοράς 78
4.14 Τυπική εικόνα αν τα στοιχεία δίνονται ανά μονάδα μήκους 79
4.15 Το μενού για την προσθήκη ενημερωτικής "πίτας" στη γραμμή μεταφοράς 80
4.16 Η προσθήκη Μετασχηματιστή 80
4.17 Τα διάφορα στοιχεία που πρέπει να συμπληρωθούν για έναν Μετασχηματιστή . . 81
4.18 Το δίκτυο μετά από την προσθήκη ενός φορτίου 82
4.19 Η διεπαφή για τη μεταβολή του φορτίου 83
4.20 Το δίκτυο μας μετά από την προσθήκη ενός πυκνωτή 84
4.21 Τα στοιχεία της εγκάρσιας αντιστάθμισης 84
4.22 Σύστημα αλλαγής τάσης υπό φορτίο 85
4.23 Η μεταφορά/μετατόπιση στο περιβάλλον εργασίας 86
4.24 Η εισαγωγή πληροφοριών γύρω από έναν ζυγό 87
4.25 Η δυνατότητα προσθήκης πληροφοριών γύρω από ζυγό γεννήτριας 87
4.26 Απεικόνιση της ροής ισχύος 88
4.27 Η δυνατότητα προσθήκης animation για να δούμε τη ροή ισχύος 89
4.28 Ο εφαρμοζόμενος αλγόριθμος στην περίπτωση αναλυτικής διαθέσιμης χρονοσειράς παραγωγής μονάδων συστήματος. 91

5.1 Χάρτης ηλεκτρικού συστήματος Κρήτης 95
5.2 Καμπύλη διάρκειας φορτίου της Κρήτης 99
5.3 Χωροθέτηση αδειοδοτημένων Φ/Β συστημάτων 100
5.4 Δίκτυο μεταφοράς Ν.Λασιθίου και συνδέσεις Υ/Σ Ιεράπετρας 104
5.5 Μονογραμμικό διάγραμμα του υποσταθμού ΥΤ/ΜΤ της Ιεράπετρας 106
5.6 Μηνιαία ζήτηση στην Ιεράπετρα και ποσοστό αντιστοίχισης φορτίου Ιεράπετρας και φορτίου Κρήτης 107
5.7 Περιοχές που τροφοδοτούνται από τη γραμμή διανομής ΓΔ 22 109
5.8 Περιοχές που τροφοδοτούνται από τη γραμμή διανομής ΓΔ 23 109
5.9 Περιοχές που τροφοδοτούνται από τη γραμμή διανομής ΓΔ 25 110
5.10 Περιοχές που τροφοδοτούνται από τη γραμμή διανομής ΓΔ 26 110
5.11 Περιοχές που τροφοδοτούνται από τη γραμμή διανομής ΓΔ 27 111
5.12 Δίκτυο Διανομής Μέσης τάσης Υποσταθμού Ιεράπετρας 112
5.13 Συμπυκνωμένο Δίκτυο Διανομής Μέσης τάσης Υποσταθμού Ιεράπετρας 114
5.14 Ωριαία μεταβολή ζήτησης ,(α) αγροτικού φορτίου,(β) βιομηχανικού φορτίου,(γ) εμπορικού φορτίου,(δ) οικιακού φορτίου,(ε) τουριστικού φορτίου,για την περίοδο του χειμώνα 117
5.15 Ωριαία μεταβολή ζήτησης ,(α) αγροτικού φορτίου,(β) βιομηχανικού φορτίου,(γ) εμπορικού φορτίου,(δ) οικιακού φορτίου,(ε) τουριστικού φορτίου,για την περίοδο του καλοκαιριού 118

5.16 Χωροθέτηση αδειοδοτημένων φωτοβολταϊκών στο νομό Λασιθίου 122
5.17 Μηνιαία παραγωγή φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας 123
5.18 Μηνιαία ζήτηση,παραγωγή και διείσδυση φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας 123
5.19 Ωριαία ζήτηση και παραγωγή φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας 124
5.20 Ωριαία διείσδυση φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας 124
5.21 Καμπύλη διάρκειας διείσδυσης φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας . . . 125

6.1 Εικόνα δικτύου Ιεράπετρας 128
6.2 Αιχμή ανά μήνα πριν και μετά την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας 131
6.3 Ποσοστό μεταβολής της αιχμής ανά μήνα στην περιοχή της Ιεράπετρας 132
6.4 Μέση ωριαία τιμή απωλειών ανά μήνα του Μ/Σ 1 του υποσταθμού της Ιεράπετρας 133
6.5 Μέση ωριαία τιμή απωλειών ανά μήνα του Μ/Σ 2 του υποσταθμού της Ιεράπετρας 133
6.6 Μέσο ωριαίο ποσοστό μείωσης απωλειών ανά μήνα του Μ/Σ 1 του υποσταθμού . 134
6.7 Μέσο ωριαίο ποσοστό μείωσης απωλειών ανά μήνα του Μ/Σ 2 του υποσταθμού . 134
6.8 Ωριαία ζήτηση (MW) δικτύου Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης 136
6.9 Ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MW) από φωτοβολταϊκά στην περιοχή της Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης 136
6.10 Ωριαία μεταβολή ζήτησης (α) αγροτικού φορτίου,(β) βιομηχανικού φορτίου,(γ) εμπορικού φορτίου,(δ) οικιακού φορτίου,(ε) τουριστικού φορτίου,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης 137
6.11 Ελάχιστη τάση ανά ζυγό,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής ζήτησης 138
6.12 Μεταβολή τάσης στο ζυγό 6,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης 138
6.13 Μεταβολή τάσης στο ζυγό 12,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης 139
6.14 Μέγιστη (%) ωριαία ανύψωση τάσης στο δίκτυο της Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης 140
6.15 Απώλειες ενεργού ισχύος (MW) για την ημέρα μέγιστης καλοκαιρινής ζήτησης στην περιοχή της Ιεράπετρας 142
6.16 Ωριαία ζήτηση (MW) δικτύου Ιεράπετρας,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης 147
6.17 Ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MW) από φωτοβολταϊκά στην περιοχή της Ιεράπετρας,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης 148
6.18 Ωριαία μεταβολή ζήτησης (α) αγροτικού φορτίου,(β) βιομηχανικού φορτίου,(γ) εμπορικού φορτίου,(δ) οικιακού φορτίου,(ε) τουριστικού φορτίου,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης 148
6.19 Απεικόνιση ελάχιστης τάσης (pu) ανά ζυγό και περίπτωση για την ημέρα μέγιστης χειμερινής ζήτησης στην περιοχή της Ιεράπετρας 149

6.20 Μεταβολή τάσης (pu) στο ζυγό 6,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης 150
6.21 Μεταβολή τάσης (pu) στο ζυγό 12,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης 150
6.22 Μέγιστη (%) ωριαία ανύψωση τάσης στο δίκτυο της Ιεράπετρας,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης 151
6.23 Απώλειες ενεργού ισχύος (MW) για την ημέρα μέγιστης χειμερινής ζήτησης στην περιοχή της Ιεράπετρας 153
6.24 Ωριαία ζήτηση (MW) δικτύου Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου 157
6.25 Ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MW) από φωτοβολταϊκά στην περιοχή της Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου 158
6.26 Ωριαία μεταβολή ζήτησης (α) αγροτικού φορτίου,(β) βιομηχανικού φορτίου,(γ) εμπορικού φορτίου,(δ) οικιακού φορτίου,(ε) τουριστικού φορτίου,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου 158
6.27 Απεικόνιση ελάχιστης τάσης (pu) ανά ζυγό και περίπτωση στην περιοχή της Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου 159
6.28 Μεταβολή τάσης (pu) στο ζυγό 6,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου160
6.29 Τάση (pu) στο ζυγό 12,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου . . . 160
6.30 Μέγιστη (%) ωριαία ανύψωση τάσης στο δίκτυο της Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου 161
6.31 Απώλειες ενεργού ισχύος (MW) για την ημέρα του Απριλίου με τη μέγιστη ωριαία διείσδυση στην περιοχή της Ιεράπετρας 163
6.32 Ωριαία ζήτηση (MW) δικτύου Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής 168
6.33 Ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MW) από φωτοβολταϊκά στην περιοχή της Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής 169
6.34 Ωριαία μεταβολή ζήτησης (α) αγροτικού φορτίου,(β) βιομηχανικού φορτίου,(γ) εμπορικού φορτίου,(δ) οικιακού φορτίου,(ε) τουριστικού φορτίου,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής 169
6.35 Απεικόνιση ελάχιστης τάσης (pu) ανά ζυγό και περίπτωση για την καλοκαιρινή μέρα με τη μέγιστη παραγωγή από φωτοβολταϊκά στην περιοχή της Ιεράπετρας 170
6.36 Μεταβολή τάσης (pu) στο ζυγό 6,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής . 171
6.37 Μεταβολή τάσης (pu) στο ζυγό 12,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής 171
6.38 Μέγιστη (%) ωριαία ανύψωση τάσης στο δίκτυο της Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής 172
6.39 Απώλειες ενεργού ισχύος (MW) για την καλοκαιρινή ημέρα με τη μέγιστη παραγωγή στην περιοχή της Ιεράπετρας 174

7.1 Μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια εξοικονόμηση χρημάτων € 198

7.2 Μέγιστη και ελάχιστη ωριαία εξοικονόμηση χρημάτων € 199
7.3 Μέγιστη και ελάχιστη αξία μιας μεγαβατώρας που παράγεται (€/MWh) 199
7.4 Μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια μείωση εκπομπής CO_2 (tn) 200
7.5 Μέγιστη και ελάχιστη ωριαία μείωση εκπομπής CO_2 (tn) 200
7.6 Μέγιστη και ελάχιστη μείωση εκπομπής CO_2 ανά μεγαβατώρα που παράγεται (kg/MWh) 201
7.7 Μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια μείωση κατανάλωσης καυσίμου diesel (lt) 202
7.8 Μέγιστη ωριαία μείωση κατανάλωσης καυσίμου diesel (lt) 202
7.9 Μέγιστη μείωση κατανάλωσης καυσίμου diesel ανά μεγαβατώρα που παράγεται (lt/MWh) 203
7.10 Μέγιστη ημερήσια μείωση κατανάλωσης μαζούτ (kg) 203
7.11 Μέγιστη ωριαία μείωση κατανάλωσης μαζούτ (kg) 204
7.12 Μέγιστη μείωση κατανάλωσης μαζούτ ανά μεγαβατώρα που παράγεται (kg/MWh) 204
7.13 Μέγιστη ημερήσια μείωση απωλειών (MWh) 206
7.14 Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (MW) 206
7.15 Μέγιστη μείωση κατανάλωσης μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh) 206
7.16 Μέγιστη μείωση κατανάλωσης καυσίμου diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh) 207

Κατάλογος Πινάκων

2.1 Στοιχεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β του ελληνικού μη διασυνδεδεμένου συστήματος για το μήνα Απρίλιο 48
2.2 Στοιχεία ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά για το μήνα Απρίλιο 48

5.1 Χαρακτηριστικά μονάδων παραγωγής του συστήματος της Κρήτης 97
5.2 Χαρακτηριστικά υποσταθμών του συστήματος της Κρήτης 98
5.3 Σύνοψη μονάδων ΑΠΕ στο ΣΗΕ Κρήτης 99
5.4 Αδειοδοτημένη ισχύς Φ/Β στην Κρήτη ανά νομό 100
5.5 Κατανομή αδειοδοτημένων Φ/Β ανά δήμο του νομού Χανίων 101
5.6 Κατανομή αδειοδοτημένων Φ/Β ανά δήμο του νομού Ρεθύμνου 101
5.7 Κατανομή αδειοδοτημένων Φ/Β ανά δήμο του νομού Ηρακλείου 102
5.8 Κατανομή αδειοδοτημένων Φ/Β ανά δήμο του νομού Λασιθίου 103
5.9 Εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β ανά νομό Κρήτης 103
5.10 Χαρακτηριστικά τύπων γραμμών διανομής της Ιεράπετρας 108
5.11 Χαρακτηριστικά γραμμών μεταφοράς δικτύου Ιεράπετρας 113
5.12 Θερμικά όρια γραμμών μεταφοράς 115
5.13 Χαρακτηριστικά γραμμών μεταφοράς συμπυκνωμένου δικτύου Ιεράπετρας 115
5.14 Κατανομή φορτίων Ιεράπετρας 116
5.15 Κατανομή φορτίων Ιεράπετρας για το συμπυκνωμένο δίκτυο 116
5.16 Συντελεστής ισχύος ανά τύπο φορτίου 117
5.17 Εγκατεστημένη ισχύς πυκνωτών (MVar) της ΔΕΗ ανά ζυγό και περίοδο του έτους 118
5.18 Μεταβολή του tap του μετασχηματιστή ανά ώρα και περίπτωση 119
5.19 Μέση ημερήσια ακτινοβολία και θερμοκρασία στην περιοχή της Ιεράπετρας 120
5.20 Ετήσια παραγωγή φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας 120
5.21 Ισχύς φωτοβολταϊκών στους διάφορους Καποδιστριακούς δήμους στην περιοχή της Ιεράπετρας 121
5.22 Εγκατεστημένη ισχύς ανά ζυγό του δικτύου της Ιεράπετρας 121
5.23 Μέγιστη ωριαία διείσδυση φωτοβολταϊκών ανά μήνα στην περιοχή της Ιεράπετρας 126

5.24 Μέγιστη ημερήσια διείσδυση φωτοβολταϊκών ανά μήνα στην περιοχή της Ιεράπετρας 126

6.1 Μέγιστη ωριαία ζήτηση του Υ/Σ πριν την εγκατάσταση Φ/Β σε διαφορετικές περιόδους του χρόνου(χειμώνας,καλοκαίρι) και σε διαφορετικές περιόδους της μέρας (μεσημέρι,βράδυ) για την περιοχή της Ιεράπετρας 129
6.2 Ελάχιστη ωριαία ζήτηση του Υ/Σ πριν την εγκατάσταση Φ/Β σε διαφορετικές περιόδους του χρόνου(χειμώνας,καλοκαίρι) και σε διαφορετικές περιόδους της μέρας (μεσημέρι,βράδυ) για την περιοχή της Ιεράπετρας 129
6.3 Μέγιστη ωριαία ζήτηση του Υ/Σ μετά την εγκατάσταση Φ/Β σε διαφορετικές περιόδους του χρόνου(χειμώνας,καλοκαίρι) και σε διαφορετικές περιόδους της μέρας (μεσημέρι,βράδυ) για την περιοχή της Ιεράπετρας 130
6.4 Ελάχιστη ωριαία ζήτηση του Υ/Σ μετά την εγκατάσταση Φ/Β σε διαφορετικές περιόδους του χρόνου(χειμώνας,καλοκαίρι) και σε διαφορετικές περιόδους της μέρας (μεσημέρι,βράδυ) για την περιοχή της Ιεράπετρας 130
6.5 Συγκεντρωτικά στοιχεία για τη καλοκαιρινή μέρα με τη μέγιστη ημερήσια ζήτηση του δικτύου της Ιεράπετρας 135
6.6 Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης 141
6.7 Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης 141
6.8 Μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης 142
6.9 Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης 143
6.10 Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης 143
6.11 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης 144
6.12 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης 144
6.13 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό 145
6.14 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό . . 145

6.15 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β 145
6.16 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β 146
6.17 Συγκεντρωτικά στοιχεία για τη χειμερινή μέρα με τη μέγιστη ημερήσια ζήτηση του δικτύου της Ιεράπετρας 147
6.18 Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης 152
6.19 Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης 152
6.20 Μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης 153
6.21 Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης 154
6.22 Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης . 154
6.23 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας χειμερινής ζήτησης 155
6.24 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας χειμερινής ζήτησης 155
6.25 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας χειμερινής ζήτησης,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό . . . 156
6.26 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας χειμερινής ζήτησης,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β 156
6.27 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας χειμερινής ζήτησης,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β 156
6.28 Συγκεντρωτικά στοιχεία για τη μέρα του Απριλίου με τη μέγιστη διείσδυση στην περιοχή της Ιεράπετρας 157
6.29 Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου 162
6.30 Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου 162
6.31 Μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου 163

6.32 Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου 164
6.33 Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου164
6.34 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης κατά το μήνα Απρίλιο . . 165
6.35 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης κατά το μήνα Απρίλιο 165
6.36 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης κατά το μήνα Απρίλιο,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό 166
6.37 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης κατά το μήνα Απρίλιο,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό 166
6.38 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης κατά το μήνα Απρίλιο,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β 166
6.39 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης κατά το μήνα Απρίλιο,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β 167
6.40 Συγκεντρωτικά στοιχεία για τη καλοκαιρινή μέρα με τη μέγιστη παραγωγή από φωτοβολταϊκά στην περιοχή της Ιεράπετρας 168
6.41 Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής 173
6.42 Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής 173
6.43 Μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής 174
6.44 Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής 175
6.45 Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής . . 175
6.46 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής 176
6.47 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής 176

6.48 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό 177
6.49 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό 177
6.50 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β 177
6.51 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β 178
6.52 Ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης . . . 180
6.53 Ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης 180
6.54 Ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης 180
6.55 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης πριν την εγκατάσταση Φ/Β 181
6.56 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης πριν την εγκατάσταση Φ/Β 181
6.57 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης πριν την εγκατάσταση Φ/Β,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό 181
6.58 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης πριν την εγκατάσταση Φ/Β,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό 182
6.59 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης πριν την εγκατάσταση Φ/Β,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β 182
6.60 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης πριν την εγκατάσταση Φ/Β,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β 182
6.61 Ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β 183
6.62 Ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β 184

6.63 Ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β 184
6.64 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β 185
6.65 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β 185
6.66 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό 185
6.67 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό 186
6.68 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β 186
6.69 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β 186
6.70 Ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης . . 187
6.71 Ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης 188
6.72 Ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης . . . 188
6.73 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης Φ/Β 188
6.74 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης Φ/Β 189
6.75 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης Φ/Β,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό 189
6.76 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης Φ/Β,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό189
6.77 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση κατανάλωσης καυσίμου των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης Φ/Β,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β 190

6.78 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης Φ/Β,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β 190
6.79 Ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο 191
6.80 Ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο 191
6.81 Ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο 192
6.82 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο 192
6.83 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο 192
6.84 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό 193
6.85 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό 193
6.86 Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β 193
6.87 Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β 194

7.1 Μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης (%) ανά περίπτωση 196
7.2 Μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης (%) ανά ζυγό,MW παραγωγής και περίπτωση . . 196
7.3 Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και παραγόμενο MW από τα Φ/Β των αντίστοιχων γραμμών (MW/MW) 197
7.4 Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β στις αντίστοιχες γραμμές (kW/kW) 197

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται γενικές έννοιες σχετικά με την ηλιακή ενέργεια και τα φωτοβολταϊκά.
Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι επιπτώσεις των Φ/Β έπειτα από βιβλιογραφική αναζήτηση σε διάφορα επίπεδα, κοινωνικά, περιβαλλοντικά, οικονομικά.
Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μέθοδος επίλυσης της ανάλυσης ροής φορτίου, το λογισμικό που την επιλύει και η μέθοδος για την εξαγωγή των οικονομικών επιπτώσεων.
Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης και του συστήματος διανομής της περιοχής της Ιεράπετρας,της νοτιότερης πόλης της Ελλάδας με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια στην Ελλάδα ,που είναι τα συστήματα παρατήρησης.
Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα.
Από τα σχετικά αποτελέσματα γίνεται φανερή η συνεισφορά των Φ/Β στην ανύψωση της τάσης του δικτύου,τη μείωση των απωλειών,την μείωση εκπομπής ρύπων από τις μονάδες παραγωγής, και στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου από τις μονάδες.Τα οφέλη γίνονται σημαντικά μεγαλύτερα αν τα Φ/Β είναι διασκορπισμένα στο δίκτυο διανομής του Υ/Σ.

Κεφάλαιο 2

Ηλιακή ενέργεια και αξιοποίησή της

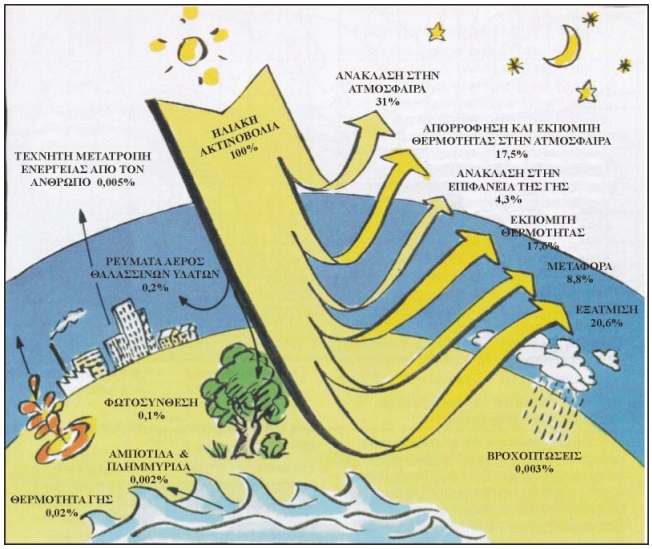
2.1 Εισαγωγή [1]

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της.
Από την ενέργεια η οποία φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας:

- Το 31 % ανακλάται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της γης
- Το 47 % φθάνει μέχρι την επιφάνεια της γης
- Το 23 % συμβάλει στην δημιουργία των ανέμων, των κυμάτων και γενικά ρυθμίζει το κλίμα
- Οι ωκεανοί απορροφούν το 33 % της ενέργειας που φθάνει στην επιφάνεια της γης
- Η ξηρά απορροφά το 14 % της ενέργειας που φθάνει στην επιφάνεια της γης
- Το 0.1 % της ηλιακής ενέργειας απορροφάται από τα φυτά

2.2 Κίνηση του Ήλιου [1]

Συχνά είναι αναγκαία η γνώση της κίνησης του ήλιου για τους υπολογισμούς που σχετίζονται με την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας.



Σχήμα 2.1: Ηλιακή Ακτινοβολία

2.2.1 Βασικοί ορισμοί

- **Απόκλιση δ** του ηλίου ορίζεται η γωνία ανάμεσα στην ευθεία ήλιου-γης και την προβολή της στο επίπεδο του ισημερινού
  - Η μέγιστη τιμή της, κατά το θερινό ηλιοστάσιο, είναι: 23.45^o
  - Η ελάχιστη τιμή της, κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο, είναι: -23.45^o

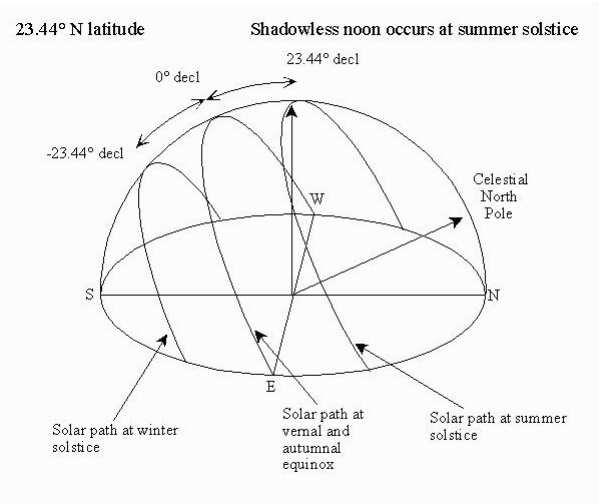
$$\delta = 23.45 sin \frac{360(284+n)}{365} \tag{2.1}$$

  όπου n , η ημέρα του έτους

- **Γεωγραφικό πλάτος του τόπου φ**

$$-90^o \leq \phi \leq 90^o \tag{2.2}$$

- **Γωνία ζενίθ** θ_Z ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ήλιου
- **Κλίση β** ορίζεται η κλίση της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο
- **Αζιμούθιο γ** ορίζεται η γωνία που σχηματίζει η προβολή του κάθετου διανύσματος της επιφάνειας στο οριζόντιο επίπεδο με τον άξονα Βορράς - Νότος
  - Για νότιο προσανατολισμό $\gamma = 0$
  - Για γωνίες δυτικά $\gamma > 0$



Σχήμα 2.2: Ορισμός απόκλισης δ

- Για γωνίες ανατολικά $\gamma < 0$

- **Ωριαία γωνία ω** είναι η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονά της με ρυθμό 15° ανά ώρα

$$\omega = \pm 0.25 * (\text{λεπτά από το ηλιακό μεσημέρι}) \tag{2.3}$$

και

  - έχει θετική τιμή για μμ ώρες
  - αρνητική τιμή για πμ ώρες.
  - στο ηλιακό μεσημέρι $\omega = 0$

- **Γωνία πρόσπτωσης ϑ** είναι η γωνία που σχηματίζει η ευθεία όρασης του ήλιου με την κατακόρυφο

  - Γενικός τύπος

$$cos\theta = sin\delta * sin\phi * cos\beta - sin\delta * cos\phi * sin\beta * cos\gamma + cos\delta * cos\phi * cos\beta * cos\omega + cos\delta * sin\phi * sin\beta * cos\gamma * cos\omega + cos\delta * sin\beta * sin\gamma * sin\omega \tag{2.4}$$

  - Κατακόρυφες επιφάνειες ($b = 90^o$)

$$cos\theta = -sin\delta * cos\phi * cos\gamma + cos\delta * sin\phi * cos\gamma * cos\omega + cos\delta * sin\gamma * sin\omega \tag{2.5}$$

  - Οριζόντιες επιφάνειες ($b = 0^o$)

$$cos\theta_z = sin\delta * sin\phi + cos\delta * cos\phi * cos\omega \tag{2.6}$$

– Για κεκλιμένες επιφάνειες στο βόρειο ημισφαίριο στραμμένες προς το νότο (γ=0)

$$cos\theta = sin\delta * sin(\phi - \beta) + cos\delta * cos(\phi - \beta) * cos\omega \tag{2.7}$$

– **Ωριαία γωνία δύσης** ω_s

$$cos\omega_s = -\frac{sin\phi * sin\delta}{cos\phi * cos\delta} = -tan\phi * tan\delta \tag{2.8}$$

2.3 Ηλιακή ακτινοβολία [1]

2.3.1 Βασικοί ορισμοί

- **Άμεση ηλιακή ακτινοβολία** είναι η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα
- **Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία** είναι η ηλιακή ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα
- **Ολική ηλιακή ακτινοβολία** είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε μία επιφάνεια
- **Πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας** είναι ο ρυθμός με τον οποίο η ενέργεια που ακτινοβολείται πέφτει σε μία επιφάνεια, ανά μονάδα επιφάνειας
- **Πυκνότητα ενέργειας ακτινοβολίας** είναι η προσπίπτουσα σε μία επιφάνεια ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας και υπολογίζεται με την ολοκλήρωση της πυκνότητας ισχύος σε κάποιο χρονικό διάστημα

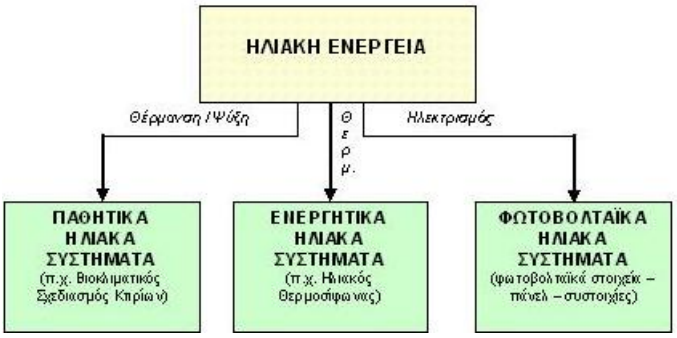
2.3.2 Συστήματα αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

- **Παθητικά Ηλιακά Συστήματα:**Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι δομικά στοιχεία του κτιρίου, που, αξιοποιώντας τους νόμους μεταφοράς θερμότητας, συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν σε μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα συνδυάζονται και με τεχνικές φυσικού φωτισμού καθώς και παθητικά συστήματα και τεχνικές για το φυσικό δροσισμό των κτιρίων το καλοκαίρι. Μπορούν δε να εφαρμοστούν τόσο σε καινούργια, όσο και σε ήδη υπάρχοντα κτίρια.

- **Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα:**Τα ενεργητικά ή θερμικά ηλιακά συστήματα αποτελούν μηχανολογικά συστήματα που συλλέγουν, την ηλιακή ενέργεια, τη μετατρέπουν σε θερμότητα, την αποθηκεύουν και τη διανέμουν, χρησιμοποιώντας είτε κάποιο υγρό είτε αέρα ως ρευστό μεταφοράς της θερμότητας. Χρησιμοποιούνται για θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, για τη θέρμανση και ψύξη χώρων, για βιομηχανικές διεργασίες, για αφαλάτωση, για διάφορες αγροτικές εφαρμογές, για θέρμανση του νερού σε πισίνες κ.λ.π. Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι οι γνωστοί σε όλους μας ηλιακοί θερμοσίφωνες.

- **Φωτοβολταϊκά Συστήματα:**Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β) μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, λύνοντας έτσι το πρόβλημα της ηλεκτροδότησης περιοχών που είναι δύσκολο να πάρουν ρεύμα από το ηλεκτρικό δίκτυο (απομονωμένα σπίτια, φάροι, κ.α.). Μικροί υπολογιστές και ρολόγια χρησιμοποιούν τα Φ/Β για την λειτουργία τους.



Σχήμα 2.3: Εφαρμογές Ηλιακής Ενέργειας

2.4 Φωτοβολταϊκά Συστήματα [15]

2.4.1 Εισαγωγή

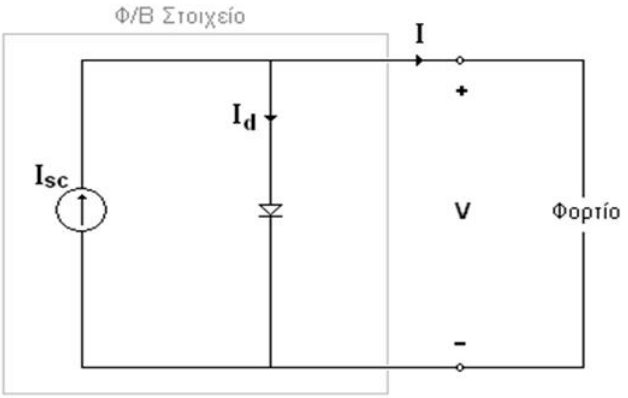
Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είναι αρκετά διαδεδομένη κυρίως με εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα βασίζονται στην άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό, με τη χρήση τεχνολογίας ημιαγώγιμων υλικών τα οποία ενεργοποιούνται στο φάσμα του ηλιακού φωτός. Τέτοια συστήματα χαρακτηρίζονται ως ηλιακοί συσσωρευτές και η λειτουργία τους είναι φιλική προς το περιβάλλον, ενώ η διάρκεια ζωής τους φθάνει τα 25 χρόνια.

2.4.2 Δομή και λειτουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων

Η δομή και η λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων ή ηλιακών κυψελών βασίζεται στους ημιαγωγούς, οι οποίοι συνδέονται σε ζεύγη αρνητικής και θετικής φόρτισης (p-n),ώστε να διαμορφώσουν μεγάλης επιφάνειας ηλεκτροδιόδους. Η ορθή κατασκευή της ηλεκτροδιόδου αποτελεί βασική προϋπόθεση της επιτυχούς λειτουργίας της φωτοβολταϊκής κυψέλης ως ημιαγωγού.
Με την πρόσπτωση του ηλιακού φωτός στην επιφάνεια του ημιαγωγού τύπου n απελευθερώνονται ηλεκτρόνια, τα οποία συλλέγονται με τη βοήθεια ηλεκτροδίου εφαρμοσμένου στην άνω επιφάνειά του. Στην κάτω επιφάνεια της ηλιακής κυψέλης είναι προσαρμοσμένος ένας ημιαγωγός τύπου p, στον οποίο οδηγούνται τα ηλεκτρόνια μέσω ηλεκτρικού κυκλώματος. Η οπίσθια επιφάνεια της κυψέλης αποτελεί ένα ενιαίο ηλεκτρόδιο, όπως και η εμπρόσθια, η οποία όμως επιπρόσθετα καλύπτεται από στρώση διαφανούς απορροφητικού υλικού για τον περιορισμό της ανακλαστικότητας, καθώς και από διαφανές προστατευτικό υλικό, συνήθως τζάμι ή συνθετικό.
Το ηλεκτρόδιο της εμπρόσθιας επιφάνειας έχει οπωσδήποτε μορφή πλέγματος ή σχάρας, ώστε να μην περιορίζεται η πρόσπτωση του φωτός στην επιφάνεια του ημιαγωγού, ενώ το ηλεκτρόδιο της οπίσθιας επιφάνειας μπορεί να είναι παρόμοιο, αν είναι επιθυμητή η διέλευση φωτός διαμέσου της κυψέλης ή να έχει μορφή συνεχούς λεπτού μεταλλικού φύλλου. Τα ηλεκτρόδια καλύπτουν ολόκληρη την επιφάνεια του ημιαγωγού.

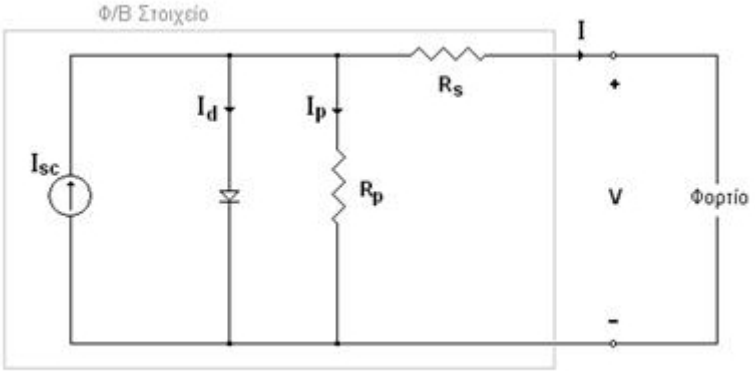
2.4.3 Κυκλωματικό ισοδύναμο

Το κυκλωματικό ισοδύναμο ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου (Φ/Β) αποτελείται από μία δίοδο συνδεδεμένη παράλληλα με μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, η ένταση της οποίας είναι ανάλογη της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.



Σχήμα 2.4: Απλό Ισοδύναμο Κύκλωμα Φ/Β Στοιχείου

Γενικά, τα Φ/Β στοιχεία περιγράφονται από δύο χαρακτηριστικά ηλεκτρικά μεγέθη, όπως η τάση ανοικτοκύκλωσης V_{oc} και το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc}.Η ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης μπορεί να θεωρηθεί ανάλογη της ηλιακής ακτινοβολίας.
Στο αναλυτικό κυκλωματικό ισοδύναμο υπάρχει μία παράλληλη αντίσταση, η οποία ονομάζεται αντίσταση διαρροής R_p,και μία αντίσταση εν σειρά R_s .



Σχήμα 2.5: Αναλυτικό Ισοδύναμο Κύκλωμα Φ/Β Στοιχείου

2.4.4 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων [2]

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για την κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.

- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.

- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125 ^{o}C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.

2.4.4.1 Κατηγοριοποίηση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία με βάση το υλικό που χρησιμοποιείται

- Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si)

  Το πάχος τους είναι γύρω στα 0.3 χιλιοστά. Η απόδοση τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18 % για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24.7 %. Το μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέση απόδοσης/επιφάνειας ή ¨ενεργειακής πυκνότητασ¨. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone).Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι της SunPower με απόδοση πλαισίου 18.5 %. Είναι μάλιστα το μοναδικό που έχει τις μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πάνελ αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.

- Φωτοβολταϊκά κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)

  Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι΄ αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταικά κελιά.Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20 % ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται

με αποδόσεις από 13 έως και 15 % για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ). Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ΄ ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification),η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου (¨χύτευση¨), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.

- Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)

  Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αναπτύσσεται από την Evergreen Solar.Προσφέρει έως και 50 % μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις ' παραδοσιακές τεχνικές ' κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου.Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%.

- Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών επιστρώσεων(thin film)

  – Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός ($CuInSe_2$ ήCIS,με προσθήκη γάλλιου CIGS)

    Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτων φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11%.Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γάλλιου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.

  – Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)

    Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη.Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%.Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά Φ/Β, όταν υπάρχει

διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά).Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσων αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.

– Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)

Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%.Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Σημαντικότερος κατασκευαστής για φωτοβολταϊκά στοιχεία CdTe είναι η First Solar . Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει η έλλειψη του Τελλουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι η ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).

– Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσενικό δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες.Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29 %. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

- Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία

  Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών

  - HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer)

    Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.Κατασκευάζεται από την Sanyo Solar . Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Αλλα πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό φωτοβολταϊκό είναι και κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

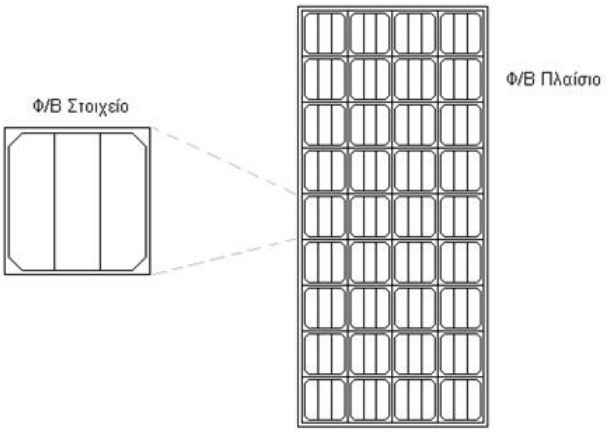
- Άλλες τεχνολογίες

  Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Κάποιες από τις τεχνολογίες στα φωτοβολταϊκά στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους είναι:

  - Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (nc-Si)
  - Οργανικά/Πολυμερή στοιχεία

2.4.5 Φωτοβολταϊκά πλαίσια και συνδεσμολογίες [15]

Οι μικρές τιμές τάσεων και ρευμάτων των φωτοβολταϊκών στοιχείων δημιουργούν την ανάγκη σύνθεσης τους σε μεγαλύτερα συμπλέγματα, τα οποία ονομάζονται Φ/Β πλαίσια, προκειμένου να αποδίδουν εκμεταλλεύσιμα ηλεκτρικά μεγέθη.

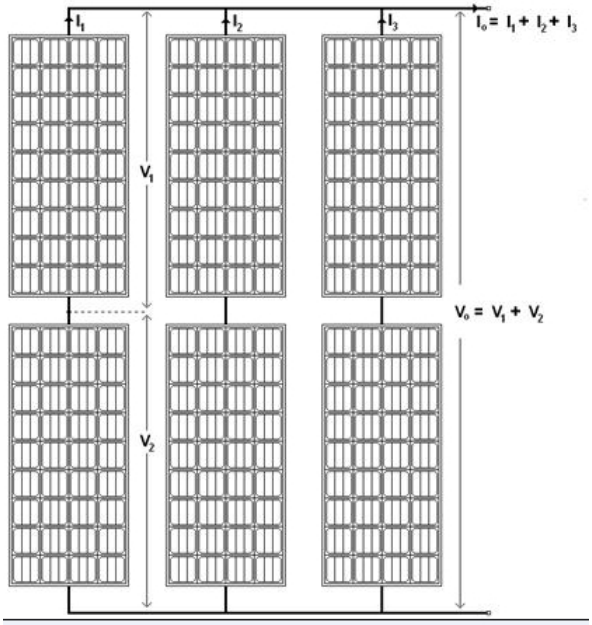


Σχήμα 2.6: Αναλυτικό Ισοδύναμο Κύκλωμα Φ/Β Στοιχείου

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να συνδεθούν σε σειρά και παράλληλα , ανάλογα με τον επιδιωκόμενο σκοπό , κατά τρόπο ανάλογο της σύνδεσης των ηλεκτρικών πηγών. Η σύνδεση σε σειρά N , καθ΄ όλα όμοιων Φ/Β στοιχείων (σύνδεση του θετικού ηλεκτροδίου του ενός Φ/Β στοιχείου με το αρνητικό του επόμενου),οδηγεί σε σύστημα με ανάλογα πολλαπλάσια τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{toc} = N * V_{oc}). Το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισούται με το αντίστοιχο του ενός (I_{tsc} = I_{sc}).

Η παράλληλη σύνδεση N όμοιων Φ/Β στοιχείων (σύνδεση των θετικών ηλεκτροδίων των Φ/Β στοιχείων,όλων μαζί.Ομοίως,για τα αρνητικά ηλεκτρόδια) δίδει ένα σύνολο με την ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{toc} = V_{oc})) ,ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσής του ισούται με N φορές το ρεύμα βραχυκύκλωσης εκάστου (I_{tsc} = N * I_{sc})).Αν τα συνδεόμενα Φ/Β στοιχεία έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά (I_{sc} και V_{oc}) ,τότε η συνολική διάταξη των N στοιχείων παρουσιάζει σημαντική απόκλιση από τις προηγούμενες τιμές.

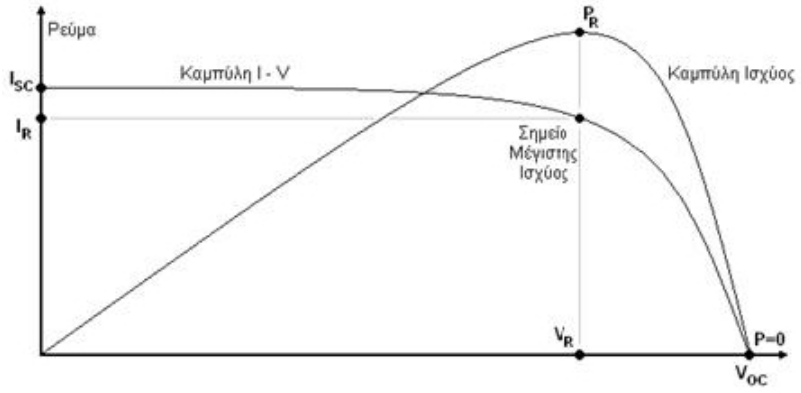
Προκειμένου να επιτευχθούν ακόμη υψηλότερες τιμές τάσης και ρεύματος, και προφανώς υψηλότερη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ, τα Φ/Β πλαίσια συνδέονται με την σειρά τους σε μεγαλύτερης μονάδες, η οποίες ονομάζονται Φ/Β συστοιχίες.



Σχήμα 2.7: Φ/Β Συστοιχία

2.4.6 Χαρακτηριστική I-V Φωτοβολταϊκού Πλαισίου και παράγοντες επίδρασης της απόδοσης του Φ/Β στοιχείου [15]

Ανάμεσα στις δύο ακραίες καταστάσεις λειτουργίας, όπως η ανοικτοκύκλωση και η βραχυκύκλωση, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο παρέχει ηλεκτρική ισχύ P, η οποία δίνεται από το γινόμενο της αποδιδόμενης τάσης V και του διαρρέοντος ρεύματος I. Όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα, οι μέγιστες τιμές τάσης και ρεύματος αντίστοιχα είναι η τάση ανοικτοκύκλωσης V_{oc} και το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc}. Στο ίδιο διάγραμμα, απεικονίζεται και η καμπύλη της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος P του πλαισίου, με υψηλότερη τιμή P_m στο «γόνατο» της καμπύλης, ως αποτέλεσμα του γινομένου της τάσης V_m και του ρεύματος I_m .



Σχήμα 2.8: Χαρακτηριστική I-V και Καμπύλη Ισχύος Φ/Β Πλαισίου

Η μορφή της χαρακτηριστικής I-V είναι άμεσα συνδεδεμένη με την **ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας**. Εκτός όμως από την τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας, σημαντική παράμετρος επιρροής της συμπεριφοράς ενός Φ/Β πλαισίου και κατά συνέπεια της χαρακτηριστικής του, είναι η **θερμοκρασία**.Γενικότερα, τα Φ/Β πλαίσια παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας επίδρασης της απόδοσης ενός Φ/Β πλαισίου είναι οι **συνθήκες σκίασης**. Η έξοδος του πλαισίου μπορεί να μειωθεί δραματικά, ακόμα και όταν μόνο ένα από το σύνολο των στοιχείων είναι υπό σκιά.
Το πρόβλημα της ανεπιθύμητης πτώσης τάσης στα εκάστοτε σκιασμένα στοιχεία ενός Φ/Β πλαισίου, αντιμετωπίζεται με την προσθήκη **διόδων παράκαμψης**, συνδεδεμένων παράλληλα με κάθε στοιχείο

2.4.7 Τρόποι στήριξης των συλλεκτών και προσανατολισμός τους [15]

Διακρίνουμε δυο διαφορετικούς τρόπους στήριξης συλλεκτών : **σταθερής στήριξης** και **συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ηλίου** με διάταξη που ονομάζεται **ηλιοτρόπιο (tracker)**

- Στήριξη του συλλέκτη με σταθερή γωνία κλίσης

  Η απουσία κινητών μερών κατά τη στήριξη της συστοιχίας,προσδίδει στη διάταξη επαρκή μηχανική αντοχή, ιδιαίτερα μάλιστα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι.Στατικές συλλεκτικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται επίσης ενσωματωμένες σε κτίρια.
  Για το βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του φωτοβολταϊκού πλαισίου για τη μέγιστη παραγωγή καθ΄ όλη τη διάρκεια του έτους είναι ίση με τη γεωγραφικό πλάτος του τόπου και η

αζιμούθια γωνία είναι περίπου μηδέν μοίρες (κατεύθυνση προς νότο). Αξίζει να σημειωθεί πως στην Ελλάδα η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης, επιτυγχάνεται για Νότιο προσανατολισμό και κλίση περί των 30 μοιρών.

Σχήμα 2.9: Φ/Β σταθερού άξονα

- Στήριξη με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από ένα άξονα

Η συστοιχία περιστρέφεται με κατάλληλο μηχανισμό,γύρω από ένα άξονα,στο τέλος δε της ημέρας,ο συλλέκτης επιστρέφει σε θέση αναμονής,συνήθως στο νοτιά.Το πρωί με την ανατολή του ηλίου,στρέφεται,έτσι ώστε ο ήλιος να αποδίδει το μέγιστο της διαθέσιμης ενέργειας.Διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

  – Η περιστροφή γίνεται ως προς κατακόρυφο άξονα,έτσι ώστε ο ήλιος να βρίσκεται στο κατακόρυφο επίπεδο που περιέχει την κάθετη στο συλλέκτη.

Σχήμα 2.10: Φ/Β με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από κατακόρυφο άξονα

- Η συστοιχία έχει τη δυνατότητα στροφής γύρω από άξονα xx' , με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.Έτσι κατά τη διάρκεια της ημέρας,ο ήλιος βρίσκεται συνεχώς στο επίπεδο που είναι κάθετο συλλέκτη και περιέχει τον άξονα xx' .

- Στήριξη με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από δυο άξονες

Η παρακολούθηση του ήλιου με περιστροφή γύρω από δυο άξονες επιτυγχάνεται μέσω δυο, συνήθως διαδοχικών,κινήσεων του συλλέκτη με τη βοήθεια μιας διάταξης που ονομάζεται **ηλιοτρόπιο (tracker)** .Ο συλλέκτης προσανατολίζεται συνεχώς προς τον ήλιο,έτσι ώστε οι ακτίνες του ηλίου να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνειά του.Μειονέκτημα μιας τέτοιας διάταξης παρακολούθησης του ηλίου,δυο αξόνων,είναι η οικονομική επιβάρυνση για την κατασκευή των μηχανολογικών και ηλεκτρονικών τμημάτων της καθώς και η έκθεση της συστοιχίας στον κίνδυνο καταστροφής εξαιτίας ισχυρού ανέμου.

Σχήμα 2.11: Φ/Β με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από δυο άξονες

2.4.8 Βασικά χαρακτηριστικά Φ/Β συστημάτων [3]

- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα
- Είναι εύχρηστα. Σε μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες
- Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις και δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον
- Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειασ(υβριδικά συστήματα)
- Μπορούν να επεκταθούν ανά πάσα στιγμή για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών
- Έχουν αθόρυβη λειτουργία και μηδενικές εκπομπές ρύπων
- Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής

2.4.9 Τα πλεονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων [3]

- Υψηλή Αξιοπιστία - μεγάλη διάρκεια ζωής : Η αρχική τους κατασκευή ήταν για χρήση στο διάστημα όπου οι επισκευές είναι δαπανηρές έως ακατόρθωτες. Οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες σήμερα τροφοδοτούν με ρεύμα σχεδόν όλους τους δορυφόρους.

- Μηδενικό κόστος λειτουργίας : Χρησιμοποιούν το φως του ήλιου για να παράγουν ηλεκτρισμό. Δεν καταναλώνουν πρώτες ύλες.
- Δεν απαιτείται συντήρηση : Τα Φωτοβολταϊκά συστήματα δεν έχουν κινούμενα μέρη έτσι δεν χρειάζονται καθόλου συντήρηση κατά την λειτουργία τους.
- Δεν μολύνουν το περιβάλλον : Δεν παράγουν υποπροϊόντα ούτε χρειάζονται καύσιμα για να λειτουργήσουν. Επίσης δεν προκαλούν ηχορύπανση αφού η λειτουργία τους είναι εντελώς αθόρυβη.Επίσης κατασκευάζονται από ανακυκλώσιμα υλικά (γυαλί, αλουμίνιο, πυρίτιο) συνεπώς είναι περιβαλλοντικά καθαρά.
- Ευελιξία : Τα φωτοβολταϊκά συστήματα τοποθετούνται ανάλογα με τις απαιτήσεις σε ενέργεια. Σε περίπτωση που οι ανάγκες αυξηθούν πολύ εύκολα το σύστημα αναβαθμίζεται για να καλύψει ενεργειακά την νέα ζήτηση.
- Αυτονομία : Παρέχουν πλήρη ενεργειακή αυτονομία. Έτσι μπορούν να τοποθετηθούν σε δύσβατες περιοχές, σε πλωτές εξέδρες και γενικά όπου το δίκτυο της ΔΕΗ είναι οικονομικά ασύμφορο να φτάσει.

2.5 Αντιστροφείς [4],[5]

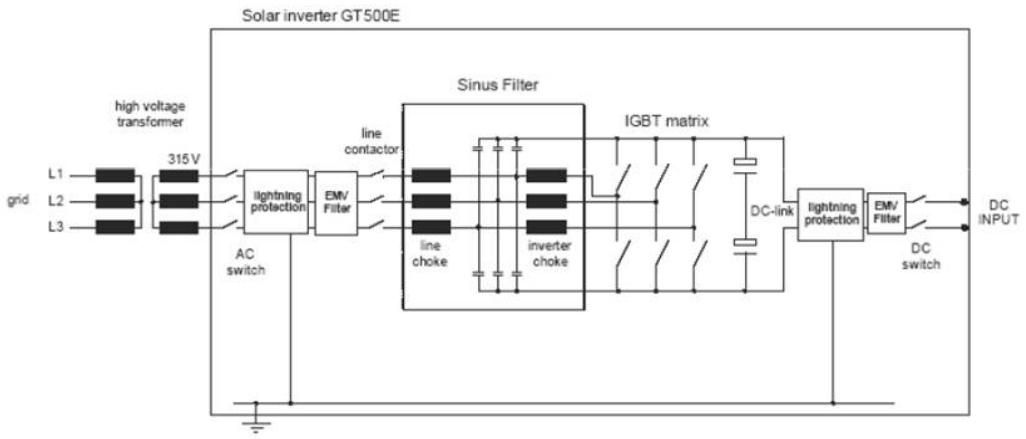
2.5.1 Εισαγωγή

Οι αντιστροφείς μετατρέπουν την συνεχή τάση (dc) που παράγεται από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια σε εναλλασσόμενη (ac) τάση και διαιρούνται σε δύο κατηγορίες:

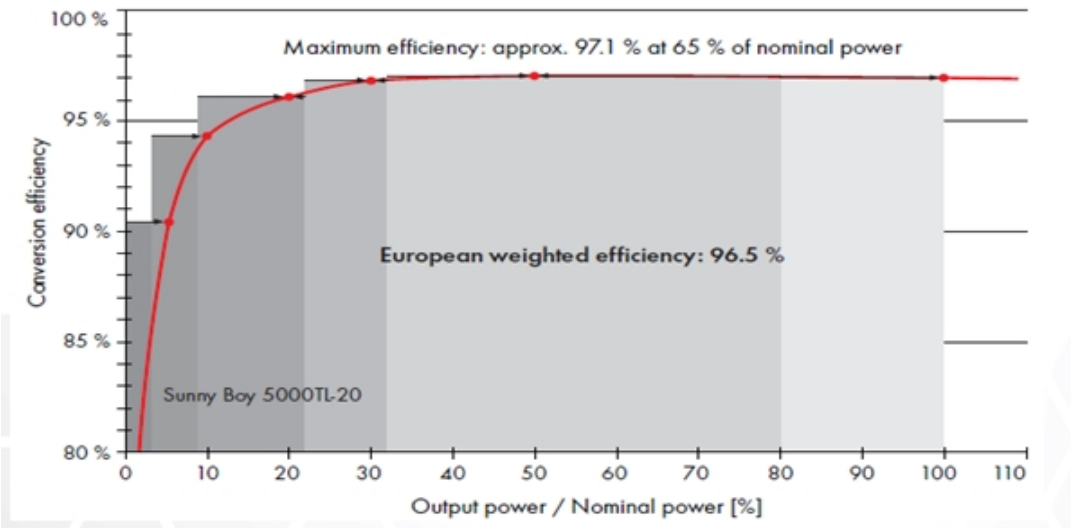
- αντιστροφείς αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων
- αντιστροφείς συνδεδεμένοι στο δίκτυο

Οι δύο κατηγορίες αντιστροφέων έχουν πολλές ομοιότητες αλλά η διαφορά τους έγκειται στο κύκλωμα ελέγχου. Ο αντιστροφέας ενός αυτόνομου συστήματος λειτουργεί ανεξάρτητα από το ηλεκτρικό δίκτυο και θα πρέπει να εξασφαλίζει σταθερή τάση και συχνότητα στα φορτία. Οι αντιστροφείς που συνδέονται στο δίκτυο θα πρέπει να προσαρμόσουν την εναλλασσόμενη τάση στη συχνότητα και το επίπεδο τάσης του δικτύου.
Και στα δύο συστήματα σημαντικός παράγοντας είναι ο βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα (θα πρέπει να εξασφαλίζεται βαθμός απόδοσης πάνω από 0,8) καθώς συνδέεται άμεσα με το κόστος του συνολικού συστήματος άρα και με το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Στόχος μας λοιπόν είναι η επίτευξη υψηλού βαθμού απόδοσης του αντιστροφέα που συνεπάγεται ελαχιστοποίηση του κόστους της παραγόμενης κιλοβατώρας από φωτοβολταϊκή γεννήτρια, έτσι ώστε να μπορεί να συγκριθεί με το αντίστοιχο κόστος από συμβατικές πηγές ενέργειας.Η σύγκριση για τους αντιστροφείς γίνεται με βάση τον Ευρωπαϊκό Βαθμό Απόδοσης.Ο Ευρωπαϊκός Βαθμός

Απόδοσης αξιολογεί τη συμπεριφορά ενός αντιστροφέα σε διάφορα συγκεκριμένα σημεία της καμπύλης απόδοσής του. Η τιμή του συντελεστή αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση δύο αντιστροφέων. Οι συνηθισμένες τιμές πλέον υπερβαίνουν το 90% και σε κάποιες περιπτώσεις μεγαλύτερων μετατροπέων αγγίζουν το 97% - 98%. Γενικά συνίσταται το μέγεθος του αντιστροφέα να είναι στο 95 - 110% της ονομαστικής ισχύος του Φ/Β. Η υπολειτουργία του θα οδηγεί σε χαμηλό βαθμό απόδοσης ενώ η πολύ χαμηλή ισχύς σε σχέση με την εγκαταστημένη ισχύ του Φ/Β θα οδηγεί σε μη εκμετάλλευση της παραγωγής του Φ/Β.
Η εικόνα 2.13 δείχνει το συντελεστή απόδοσης βάσει του ποσοστού παραγόμενης ισχύος προς ονομαστική ισχύ.



Σχήμα 2.12: Τυπική διάταξη αντιστροφέα



Σχήμα 2.13: Ευρωπαϊκός Βαθμός Απόδοσης

2.5.2 Χαρακτηριστικά του Αντιστροφέα

Σε ολοκληρωμένα πακέτα κατασκευαστών,ένας αντιστροφέας ενδέχεται :

- να έχει ενσωματωμένο μετασχηματιστή
- να έχει τη δυνατότητα εύρεσης σημείου μέγιστης παραγόμενης ισχύος (Maximum Power Point Tracker)

  Το σημείο αυτό δεν είναι σταθερό καθώς αλλάζει τόσο με την ηλιακή ακτινοβολία όσο και με τη θερμοκρασία. Από τη στιγμή λοιπόν που η τάση και το ρεύμα της φωτοβολταϊκής συστοιχίας μεταβάλλονται με τις καιρικές συνθήκες ο αντιστροφέας θα πρέπει να μετακινεί το σημείο λειτουργίας του έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή απορρόφηση ισχύος από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος, του Ανιχνευτή του Σημείου Μέγιστης Ισχύος.
- να προσφέρει γαλβανική απομόνωση
- να συμπεριλαμβάνει ρυθμιστή φόρτισης

  Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι μια απλή ηλεκτρονική συσκευή που φροντίζει για τη σωστή φόρτιση των συσσωρευτών (μπαταριών) του φωτοβολταϊκού συστήματος.Ελέγχει τη διαδικασία φόρτισης και σταματά τη φόρτιση όταν διαπιστώσει ότι η μπαταρία έχει φορτιστεί πλήρως. Αλλιώς θα υπήρχε ο σοβαρός κίνδυνος να καταστραφεί η μπαταρία.Επειδή οι μπαταρίες έχουν την τάση να αποφορτίζονται σταδιακά ακόμα κι αν δεν τροφοδοτούν με ρεύμα

κάποια συσκευή, ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει αυτόματα να ξαναρχίσει η διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας όταν διαπιστώσει ότι η τάση της έπεσε κάτω από το επίπεδο της πλήρους φόρτισης.

- να παρέχει δυνατότητα ελέγχου συχνότητας (για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις)

2.5.3 Κατηγορίες αντιστροφέων

Οι αντιστροφείς χωρίζονται βάσει του αριθμού των φάσεων σε :

- Μονοφασικούς αντιστροφείς
- Τριφασικούς αντιστροφείς

και βάσει του τύπου διαμόρφωσης σε :

- Αντιστροφείς τετραγωνικού παλμού
- Αντιστροφείς ελεγχόμενους με την τεχνική PWM
- Αντιστροφείς ελεγχόμενους με την τεχνική SPWM

Οι βασικές κατηγορίες αντιστροφέων για Φ/Β είναι :

- Απλοί μονοφασικοί αντιστροφείς χωρίς Μ/Σ

  Αυτοί οι αντιστροφείς είναι οικονομικοί,αξιόπιστοι,βελτιστοποιούν ενιαία όλα τα Φ/Β και απαιτούν κοινή ονομαστική ισχύ εξόδου

- Μονοφασικοί αντιστροφείς με Μ/Σ

  Εκτός από αυτά που ισχύουν για τους απλούς μονοφασικούς αντιστροφείς χωρίς Μ/Σ,οι μονοφασικοί αντιστροφείς με Μ/Σ απαιτούν υψηλή τάση εισόδου και δίνουν τη δυνατότητα γαλβανικής απομόνωσης

- Μονοφασικοί αντιστροφείς με Μ/Σ υψηλής συχνότητας

  Οι μονοφασικοί αντιστροφείς με Μ/Σ υψηλής συχνότητας είναι μονοφασικοί αντιστροφείς με Μ/Σ αλλά παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση

- Αντιστροφείς με δυνατότητα διαφορετικής ισχύος και τάσης εισόδου ανά στοιχειοσειρά (multi-string)

  Οι αντιστροφείς multi-string επιτρέπουν τη σύνδεση στοιχειο-σειρών με διαφορετικό πλήθος Φ/Β ,τη βελτιστοποίηση παραγωγής ανά στοιχειο-σειρά περιορίζοντας τις επιπτώσεις σκίασης , και την επεκτασιμότητα μίας από τις σειρές και έχουν υψηλή απόδοση.

- Αντιστροφείς ειδικά για συνεργασία με Φ/Β Λεπτού υμενίου (thin film)

  Επιτρέπουν αυξημένη τάση

- Τριφασικοί αντιστροφείς για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις (άνω των 10 kW)
- Αντιστροφείς με τη δυνατότητα παροχής αέργου ισχύος προς το δίκτυο
- Κεντρικοί Αντιστροφείς για Φ/Β πάρκα (ακόμη και για σύνδεση στη μέση τάση)

2.6 Προστασίες στα Φ/Β συστήματα [14]

Κάθε εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων είναι μια επένδυση για το μέλλον. Η αποδοτικότητα μιας τέτοιας επένδυσης,εξαρτάται από το μέγεθος και τη δυνατότητα παραγωγής της μονάδας, τη γεωγραφική της θέση και τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν. Για αυτό το λόγο,τίθεται σαν απόλυτη προϋπόθεση η ολοκληρωμένη προστασία όλων των διασυνδεδεμένων εγκαταστάσεων Φ/Β συστημάτων, καθώς οι πιθανότητες να πληγούν αυτές οι εγκαταστάσεις από φαινόμενα όπως μεταβατικές υπερτάσεις και ανάστροφα ρεύματα μπορούν να υπολογιστούν μόνο στατιστικά και κατά προσέγγιση. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η βασική δομή μιας εγκατάστασης Φ/Β με όλα τα απαραίτητα μέσα για την πλήρη προστασία της. Οι λειτουργίες των διακοπτών ισχύος, των απαγωγέων υπερτάσεων (αντικεραυνικά) καθώς και των διακοπτών φορτίου (απομόνωσης) συνδυαζόμενες μεταξύ τους δημιουργούν ένα αδιαπέραστο εμπόδιο ικανό να αποτρέψει επικίνδυνες βλάβες ή δυσλειτουργίες.

2.6.1 Εξοπλισμός για την προστασία Φ/Β συστημάτων

- Μικροαυτόματοι & Αυτόματοι διακόπτες ισχύος ανοιχτού ή κλειστού τύπου

  Οι μικροαυτόματοι και οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος προστατεύουν μια ηλεκτρική εγκατάσταση από υπερφόρτιση ή βραχυκύκλωμα. Στο κύκλωμα συνεχούς τάσης του Φ/Β συστήματοσ(DCπλευρά), οι μικροαυτόματοι προστατεύουν κάθε στοιχειοσειρά Φ/Β πλαισίων (string) από ρεύματα ανάστροφης φοράς καθώς επίσης και από την έγχυση εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) στο κύκλωμα συνεχούς σε πιθανή βλάβη του αντιστροφέα (inverter).Κάθε στοιχειοσειρά Φ/Β πλαισίων (ηλιακοί συλλέκτες) πρέπει να προστατεύεται ξεχωριστά ώστε να εξασφαλίζεται ο περιορισμός του σφάλματος μόνο σε εκείνη τη στοιχειοσειρά που αντιμετωπίζει το πρόβλημα, επιτρέποντας την κανονική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την υπόλοιπη εγκατάσταση. Μετά τη διόρθωση του σφάλματος είναι εφικτή η επαναλειτουργία της στοιχειοσειράς, είτε χειροκίνητα είτε με τηλεχειρισμό. Η ευκολία με την οποία μπορεί να απομονωθεί ηλεκτρικά, για λόγους συντήρησης ή επέκτασης, κάποιο μέρος του συστήματος, αποτελεί ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα.

- Απαγωγείς υπερτάσεων

  Τα Φ/Β πλαίσια και οι αντιστροφείς (inverters) είναι πολύ ευαίσθητα σε μεταβατικές υπερτάσεις και κρουστικά ρεύματα που προκαλούνται από κεραυνούς ή χειρισμούς μεγάλων διακοπτών. Οι απαγωγείς υπερτάσεων (αντικεραυνικά), για κυκλώματα συνεχούς τάσης, περιορίζουν αυτές τις υπερτάσεις, προστατεύοντας τον εξοπλισμό και αποτρέποντας περαιτέρω ζημιές στην εγκατάσταση. Για το λόγο αυτό θα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη, κατά τη διάρκεια σχεδιασμού μιας τέτοιας επένδυσης, ο κίνδυνος οικονομικών απωλειών λόγω ανεπαρκούς προστασίας.

- Διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων συνεχούς τάσης (DC)

  Οι διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων συνεχούς τάσης χρησιμοποιούνται για τη ζεύξη ή απόζευξη ενός κυκλώματος υπό φορτίο, με ονομαστική τάση λειτουργίας έως και 1200 V_{DC} για εγκαταστάσεις Φ/Β συστημάτων. Ο εύκολος χειρισμός τους διευκολύνει τις εργασίες συντήρησης ή επέκτασης ενός κυκλώματος, αυξάνοντας τη χρηστικότητα της εγκατάστασης και καθιστώντας τους μια άριστη επένδυση.

- Διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων εναλλασσόμενης τάσης (AC)

  Και οι διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων εναλλασσόμενης τάσης χρησιμοποιούνται για τη ζεύξη ή απόζευξη ενός κυκλώματος υπό φορτίο.Ο εύκολος χειρισμός τους διευκολύνει τις εργασίες συντήρησης ή επέκτασης ενός κυκλώματος εναλλασσόμενης τάσης.

- Διακόπτες διαρροής

  Οι διακόπτες διαρροής προστατεύουν το προσωπικό και τον εξοπλισμό μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης από ηλεκτροπληξία ή εκδήλωση πυρκαγιάς . Η ύπαρξη των διακοπτών διαρροής στους πίνακες διανομής μιας εγκατάστασης είναι επιβεβλημένη.

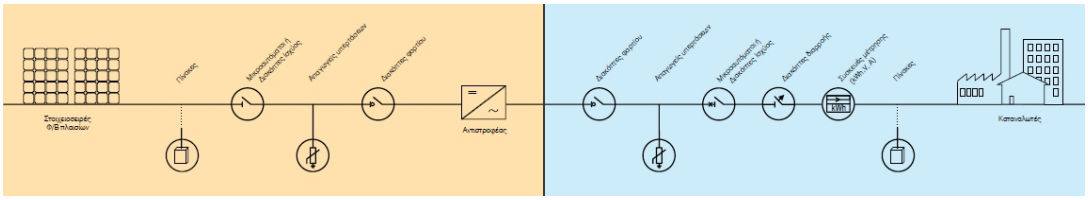
- Μετρητές ενέργειας

  Μετρούν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει ένα Φ/Β σύστημα.

- Πίνακες

  Οι πίνακες χρησιμοποιούνται τόσο στο κύκλωμα συνεχούς (DC) όσο και στο κύκλωμα εναλλασσόμενης (AC) τάσης. Συνιστάται να είναι κλάσης II και να διαθέτουν βαθμό προστασίας

έναντι εισερχομένων σωματιδίων και υγρασίας IR65, όταν τοποθετούνται σε εξωτερικούς χώρους.



Σχήμα 2.14: Σύνδεση Φωτοβολταϊκού συστήματος με τον καταναλωτή

2.7 Τα Φ/Β στην Ελλάδα

Σύμφωνα με το πληροφοριακό δελτίο των ΑΠΕ για το μήνα Απρίλιο που δημοσιεύει ο ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας)[11],η συνολική εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β στο ηπειρωτικό κομμάτι της χώρας είναι 219.87 MW και η συνολική παραγόμενη ενέργεια από τα Φ/Β για το μήνα Απρίλιο είναι 25261.59 MWh .Η συνεισφορά των Φ/Β στην ζήτηση του ελληνικού διασυνδεδεμένου συστήματος αντιστοιχεί στο 0.67 % της ζήτησης.
Σύμφωνα με το πληροφοριακό δελτίο των ΑΠΕ για το μήνα Απρίλιο που δημοσιεύει η ΔΕΗ (Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού)[12],η συνολική εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β στα μη διασυνδεδεμένα νησιά είναι 50.16 MW και η συνολική παραγόμενη ενέργεια από τα Φ/Β για το μήνα Απρίλιο είναι 8083.22 MWh .Η συνεισφορά των Φ/Β στην ζήτηση του ελληνικού μη διασυνδεδεμένου συστήματος αντιστοιχεί στο 2.12 % της ζήτησης.Στον πίνακα 2.1 περιλαμβάνεται η παραγωγή των Φ/Β ανά νησί ή συγκρότημα νήσων για το μήνα Απρίλιο και ο πίνακας 2.2 περιέχει τη ζήτηση ανά νησί η συγκρότημα νήσων για το μήνα Απρίλιο.

Νησί	Παραγωγή Ενέργειας (MWh)
Κρήτη	6200.28
Ρόδος	763.72
Κάρπαθος	64.96
Μήλος	3.55
Κως	75.39
Λέρος	16.54
Κάλυμνος	120.99
Λέσβος	328.35
Λήμνος	69.94
Σάμος	28.10
Χίος	199.66
Σύρος	65.65
Νάξος	102.13
Μύκονος	1.34
Υπόλοιπα	42.62
Σύνολο	8083.22

Πίνακας 2.1: Στοιχεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β του ελληνικού μη διασυνδεδεμένου συστήματος για το μήνα Απρίλιο

Νησί	Ζήτηση (MWh)
Κρήτη	205201.95
Ρόδος	45062.49
Λέσβος	23784.42
Κως - Λέρος	15476.24
Κάλυμνος	4743.44
Λήμνος	4691.23
Μήλος	3426.63
Πάρος - Νάξος - Ίος - Σχοινούσα	15318.9
Χίος - Ψαρά	16347.1
Σύρος	7690.1
Σάμος	10832.6
Κάρπαθος	2417.6
Μύκονος	8160.52
Λοιπά Νησιά	18930.22
Σύνολο	382082.99

Πίνακας 2.2: Στοιχεία ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά για το μήνα Απρίλιο

Κεφάλαιο 3

Επιπτώσεις διείσδυσης φωτοβολταϊκών συστημάτων από σχετική βιβλιογραφία

3.1 Εισαγωγή

Για την αποτροπή των κλιματικών αλλαγών που απειλούν σήμερα τον πλανήτη ,παρατηρείται η στροφή προς τις καθαρές πηγές ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια είναι μια από αυτές.Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση του αριθμού των Φ/Β συστημάτων που συνδέονται στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.Η διείσδυση των Φ/Β μπορεί να επηρεάσει την λειτουργία των δικτύων διανομής , και επιπλέον μπορεί να έχει αντίκτυπο στο περιβάλλον,την οικονομία και την κοινωνία.

3.2 Επιπτώσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα σε δίκτυα διανομής

3.2.1 Εισαγωγή

Η διασύνδεση φωτοβολταϊκών μπορεί ενδεχομένως να αναβάλλει τις βελτιώσεις γραμμών μετασχηματιστών και μετάδοσης, να επεκτείνει τα διαστήματα συντήρησης εξοπλισμού, να μειώσει τις ηλεκτρικές απώλειες γραμμών, και να βελτιώσει την αξιοπιστία συστημάτων διανομής

3.2.2 Επιπτώσεις στους μετασχηματιστές ενός υποσταθμού

Η σύνδεση φωτοβολταϊκών με το δίκτυο αναβάλλει την αναβάθμιση του μετασχηματιστή του υποσταθμού καθώς τα φωτοβολταϊκά παράγουν ενέργεια και την παρέχουν στην πλευρά χαμηλής τάσης

του μετασχηματιστή κατά τη διάρκεια της μέγιστης χρήσης.Το μειωμένο φορτίο μετασχηματιστών οδηγεί στις μειωμένες θερμοκρασίες μετασχηματιστών και τη μακρύτερη ζωή τους.Ένας πιό δροσερός μετασχηματιστής μπορεί να προσαρμόσει την πρόσθετη αύξηση φορτίων και να επιτρέψει την αναβολή της αγοράς ενός νέου μετασχηματιστή. Σύμφωνα με μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο Kerman της Καλιφόρνιας [22], η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ισχύος 0.5 MW οδήγησε στη μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας του μετασχηματιστή του υποσταθμού της περιοχής κατά 4 ^{o}C κατά τη διάρκεια μιας μέρας με μεγάλη ζήτηση το 1993.Η μείωση αυτή συνέβαλλε στην αύξηση της ποσότητας ισχύος που ρέει μέσα από τον μετασχηματιστή κατά 4.6 % ή 0.46 MW κατά την ώρα αιχμής και στην αναβολή της αναβάθμισης του μετασχηματιστή του υποσταθμού,το κόστος της οποίας ανέρχεται σε $ 398,000.

3.2.3 Επιπτώσεις στο σύστημα διανομής

Οι ηλεκτρικές απώλειες των γραμμών εμφανίζονται ως ροές ρεύματος μέσω των αγωγών, των μετασχηματιστών και άλλων συσκευών μετάδοσης και διανομής. Το μέγεθος των απωλειών συσχετίζεται με την ροή ρεύματος και την αντίσταση των συσκευών. Κατά συνέπεια,οι απώλειες γραμμών μπορούν να μειωθούν με τη μείωση είτε της αντίστασης είτε του ρεύματος.Η μείωση της αντίστασης απαιτεί την αντικατάσταση ή την προσθήκη εξοπλισμού ενώ η μείωση του ρεύματος απαιτεί την μείωση της ζήτησης ή την εξυπηρέτηση ενός μέρους του φορτίου τοπικά με μία τεχνολογία όπως τα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά.Σύμφωνα με μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο Kerman της Καλιφόρνιας[21], η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ισχύος 0.5 MW οδήγησε στην μείωση των απωλειών του συστήματος, μείωση που αντιστοιχεί στο 6% της παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά και εξοικονόμηση $ 37,000 κατά τη διάρκεια της ζωής των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων (καθαρή παρούσα αξία),ποσό στο οποίο δεν περιλαμβάνεται η εξοικονόμηση χρημάτων από την αναβολή αναβαθμίσης του συστήματος.

3.2.4 Διακύμανση τάσης στα σημεία σύνδεσης (voltage fluctuation) [18]

Οποιαδήποτε έγχυση ισχύος στο σύστημα διανομής προκαλεί ανύψωση της τάσης στο σημείο σύνδεσης του Φ/Β συστήματος με το δίκτυο.Το μεγαλύτερο πρόβλημα των ΑΠΕ είναι η μη σταθερή παραγωγή ισχύος λόγω της μεταβλητότητας των πηγών αυτών. Όσον αφορά τα Φ/Β συστήματα,το ποσό της ωφέλιμης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο σχετίζεται άμεσα με την ένταση της φωτεινής ενέργειας που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια μετατροπής. Αν λοιπόν η έξοδος των μονάδων υπόκειται σε μεγάλες αλλαγές σε σύντομο χρονικό διάστημα , λόγω της εξάρτησής τους από τις φυσικές συνθήκες , τότε ενδεχόμενα να προκληθεί και έντονη διακύμανση της τάσης στα σημεία σύνδεσης.

3.2.5 Ανύψωση τάσης στο δίκτυο(voltage rise) [18]

Η τάση σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου πρέπει να κυμαίνεται μέσα σε κάποια όρια για τη σωστή λειτουργία του δικτύου,τα οποία είναι συνήθως +10%/-10% της ονομαστικής τάσης. Η ενσωμάτωση διανεμημένης παραγωγής στο δίκτυο οδηγεί σε μία αύξηση της τάσης του δικτύου με αποτέλεσμα τη βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος διανομής. Αυτή η μεταβολή μπορεί να είναι ευπρόσδεκτη υπό συγκεκριμένες συνθήκες , αλλά μπορεί επίσης να επιφέρει δυσλειτουργία του δικτύου υπό άλλες συνθήκες.Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων ενδέχεται να προκαλέσει προβλήματα ευστάθειας τάσης και να οδηγήσει σε κατάρρευση της τάσης (voltage collapse)και άρα σε αναστολή της σωστής λειτουργίας του δικτύου.Το πλέον επικίνδυνο σενάριο από την παρουσία πηγών ενέργειας είναι η πιθανότητα η τάση να υπερβεί τα μέγιστα επιτρεπτά όρια.Το σενάριο αυτό θα συμβεί στην περίπτωση που το φορτίο είναι τοπικά στο ελάχιστο και παράλληλα έχουμε σημαντική παραγωγή από τη μονάδα. Στην περίπτωσή μας,δεν αντιμετωπίσαμε αντίστοιχο πρόβλημα.

3.3 Περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη της ηλιακής ενέργειας

Η Ελλάδα έχει το προνόμιο να είναι μία χώρα με τεράστιο ανανεώσιμο δυναμικό. Ιδιαίτερα ο ήλιος αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές πηγές ενέργειας με ασύγκριτα περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά οφέλη.

3.3.1 Περιβάλλον

3.3.1.1 Μείωση της εκπομπής ρύπων

Τα Φ/Β, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με μηδενική ρύπανση. Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συμβάλλει στη μείωση της παραγωγής ενέργειας που απαιτείται για την ικανοποίηση της ζήτησης των διάφορων φορτίων με αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας καυσίμου που καταναλώνεται από τις διάφορες μονάδες παραγωγής και της εκπομπής ρύπων (CO_2,NO_x,SO_2)που παράγονται από τα διάφορα καύσιμα.

Μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε στις δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και συγκεκριμένα στις πολιτείες Κολοράντο και Καλιφόρνια [19] έδειξε ότι μια κιλοβατώρα παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης φυσικού αερίου της τάξης των 6000-9000 kJ και της εκπομπής ρύπων CO_2 και NO_x της τάξης των 300-460 και 0.07-0.16 g αντίστοιχα για την πολιτεία του Κολοράντο ενώ τα φωτοβολταϊκά της πολιτείας της Καλιφόρνια συμβάλλουν στη μείωση της κατανάλωσης φυσικού αερίου και άνθρακα της τάξης των 2400-8100 kJ και 20-6800 kJ αντίστοιχα και της εκπομπής ρύπων CO_2 ,NO_x και SO_2 της τάξης των 300-460 , 0.07-0.16 και 0-1.1 g αντίστοιχα. Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων προσομοιώθηκε η εγκατάσταση

φωτοβολταϊκών στις δυο αυτές πολιτείες με τη μεταβολή της διείσδυσης των φωτοβολταϊκών στις Δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής από 0 έως 10% με βήμα αύξησης 2%.
Στην Ελλάδα,υπολογίζεται ότι για κάθε μία ηλιακή κιλοβατώρα που παράγεται αποτρέπεται η έκλυση ενός κιλού διοξειδίου του άνθρακα. Αυτό σημαίνει ότι αν η Ελλάδα εκπληρώσει τους στόχους της για την ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας έως το 2020 (700 MW Φ/Β), θα αποτρέπεται ετησίως η έκλυση περίπου 1.000.000 τόνων διοξειδίου του άνθρακα. Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε [17] ,η εγκατάσταση 2 MW από Φ/Β σε σχολεία της Αθήνας,προκάλεσε μείωση της ετήσιας εκπομπής CO_2 , NO_x , SO_2 και σωματιδίων περίπου ίση με 1500-2500 , 2-3.2 , 5.5-12.8 και 0.9-2.5 τόνους αντίστοιχα.Σε μία άλλη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο νησί της Κύθνου [17] ,η εγκατάσταση ενός Φ/Β ισχύος 100 kW συνέβαλλε στη μείωση της ετήσιας εκπομπής CO_2 , NO_x , SO_2 και σωματιδίων κατά 32000-40700 , 61-78 , 10.5-13.3 και 15.6-19.8 kg αντίστοιχα.Στην ίδια μελέτη η η εγκατάσταση ενός Φ/Β ισχύος 200 kW συνέβαλλε στη μείωση της ετήσιας εκπομπής CO_2 , NO_x , SO_2 και σωματιδίων κατά 80800-96600 , 154-185 , 26.4-31.6 και 39.2-47 kg αντίστοιχα.

3.3.2 Οικονομικά οφέλη

3.3.2.1 Μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα [6]

Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει σήμερα η Ελλάδα, είναι η απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, η οποία επιβαρύνει σημαντικά την εθνική οικονομία και κατ΄ επέκταση τους Έλληνες φορολογούμενους πολίτες. Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του Υπουργείου Ανάπτυξης, τα εισαγόμενα καύσιμα και οι εισαγωγές ενέργειας κάλυψαν την ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα σε ποσοστό μεγαλύτερο από 40% για το έτος 2007. Η αύξηση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα αποτυπώνεται και στην οικονομική πορεία της ΔΕΗ, η οποία για το πρώτο εννιάμηνο του 2008 ανακοίνωσε ρεκόρ οικονομικών ζημιών. Μόνο για την αγορά εισαγόμενων καυσίμων και ενέργειας, η ΔΕΗ δαπάνησε 713,4 εκατομμύρια ευρώ επιπλέον σε σύγκριση με το πρώτο εννιάμηνο του 2007. Επομένως, η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως τα Φ/Β, σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση ενέργειας θα συμβάλει όχι μόνο στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αλλά και στην τόνωση της εθνικής μας οικονομίας.

3.3.2.2 Μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας [6]

Τα τελευταία έτη παρατηρείται μία σημαντική αύξηση στις τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και σε μεγάλο βαθμό ευθύνεται η άνοδος των τιμών των εισαγόμενων καυσίμων και ενέργειας, δεν πρέπει να παραβλέψουμε και άλλους παράγοντες. Η λανθασμένη ενεργειακή στρατηγική που ακολουθείται ιστορικά (κατασκευή ολοένα και περισσότερων συμβατικών μονάδων, καμία πρόνοια για την εξοικονόμηση ενέργειας) έχει επιτείνει την αρνητική αυτή εξέλιξη. Σε όλα αυτά θα πρέπει να προστεθούν και οι πολιτικές εξελίξεις από το ευρωπαϊκό μέτωπο. Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πακέτο για το Κλίμα και την Ενέργεια, από το 2013 οι βιομηχανίες ηλεκτροπαραγωγής στα περισσότερα ευρωπαϊκά κράτη (μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα) θα πρέπει να πληρώνουν για το

100% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Συστήματος Εμπορίας Ρύπων. Η εξέλιξη αυτή σημαίνει ότι η ΔΕΗ θα επιβαρύνεται ετησίως επιπλέον με 1,5 δις ευρώ (συντηρητική εκτίμηση). Αν και τα χρονικά περιθώρια είναι περιορισμένα, η ΔΕΗ θα πρέπει να επενδύσει επιθετικά στις ΑΠΕ , και επομένως στην ανάπτυξη Φ/Β συστημάτων, και την εξοικονόμηση ενέργειας σε αντικατάσταση των ρυπογόνων συμβατικών μονάδων. Σε μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο νησί της Κύθνου [17] ,η εγκατάσταση ενός Φ/Β ισχύος 100 kW συνέβαλλε στη μείωση του ετήσιου κόστους λειτουργίας θερμικών μονάδων στο νησί κατά 4900 ευρώ περίπου,μείωση που αντιστοιχεί στο 0.93 % του αρχικού κόστους ενώ η εγκατάσταση ενός Φ/Β ισχύος 200 kW συνέβαλλε στη μείωση του ετήσιου κόστους λειτουργίας θερμικών μονάδων στο νησί κατά 13000 ευρώ περίπου,μείωση που αντιστοιχεί στο 2.49 % του αρχικού κόστους.

3.3.3 Κοινωνικά οφέλη

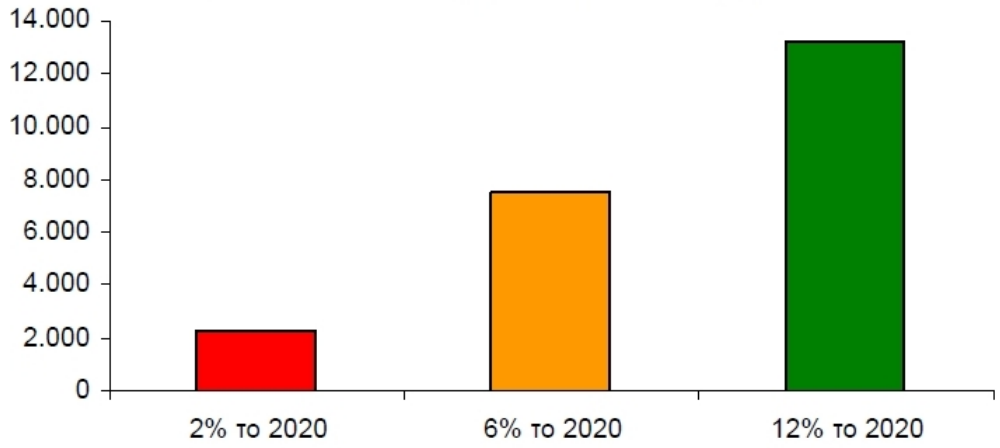
3.3.3.1 Διαφοροποίηση της συμπεριφοράς του παραγωγού-καταναλωτή [20]

Η ανάπτυξη Φ/Β συστημάτων ,έχει οδηγήσει σε μεταβολή τη συμπεριφορά των παραγωγών-καταναλωτών σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας. Το να έχουν το δικό τους Φ/Β σύστημα,θα επηρεάσει την συμπεριφορά τους ως προς την κατανάλωση ενέργειας καθώς θα μεγιστοποιήσουν το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχουν στο δίκτυο,μειώνοντας παράλληλα την κατανάλωσή τους.Δίνοντας τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή, και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια, τον καθιστούν πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν έτσι στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας.Επιπλέον η συχνότερη παρατήρηση του μετρητή ενέργειας θα οδηγήσει στην εκδήλωση ενδιαφέροντος για το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται.Όλα αυτά οδηγούν σε ένα φαινόμενο συντήρησης ενέργειας και σε επενδύσεις σε συσκευές εξοικονόμησης ενέργειας (πχ συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού).

3.3.3.2 Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας [7]

Η στροφή προς την πράσινη επιχειρηματικότητα, με την αξιοποίηση των ΑΠΕ, οδήγησε στην ανάπτυξη της πράσινης οικονομίας και στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας στο χώρο της ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά είναι μια από τις λίγες ενεργειακές τεχνολογίες όπου η Ελλάδα έχει τη δυνατότητα να έχει σημαντικό μερίδιο με εγχώρια παραγωγή.Ήδη, στην παροχή συμβουλευτικών υπηρεσιών, στην εμπορία, εγκατάσταση και συντήρηση φωτοβολταϊκών συστημάτων δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα πάνω από 200 εταιρείες με εκατοντάδες εργαζόμενους.Επιπλέον, δημιουργούνται μονάδες παραγωγής επικουρικού εξοπλισμού όπως βάσεις στήριξης, ηλιοστάτες (trackers), μπαταρίες, αντιστροφείς ισχύος. Σήμερα λειτουργούν 5 εργοστάσια παραγωγής φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα που σε πλήρη ανάπτυξη θα απασχολούν περίπου 1000 άτομα.
Η νέα έκθεση «Εξελιγμένη Στρατηγική στις Ανανεώσιμες» που υποστηρίχθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, υπολόγισε ότι η προώθηση των ΑΠΕ θα προσφέρει 2.5 εκ. θέσεις έως το 2020.

Τουλάχιστον 55.000 άνθρωποι απασχολούνται στον τομέα των φωτοβολταϊκών στη Γερμανία.Με συντηρητικούς υπολογισμούς ο αριθμός των εργαζομένων της Ε.Ε. στα φωτοβολταϊκά αναμένεται να φτάσει τους 727.000 εργαζόμενους το 2020 και το 1.4 εκ. το 2030.
Ανάλογα με το σενάριο υλοποίησης φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα, θα υπάρχει και ανάλογη κάλυψη θέσεων εργασίας.



Σχήμα 3.1: Θέσεις πλήρους απασχόλησης στα φωτοβολταϊκά το 2020 (3 σενάρια διείσδυσης στο ενεργειακό ισοζύγιο)

Κεφάλαιο 4

Μεθοδολογία Ανάλυσης

4.1 Ανάλυση ροής φορτίου [16]

4.1.1 Εισαγωγή

Ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) έχει ως στόχο να προμηθεύει τη πραγματική και άεργο ισχύ, τις οποίες ζητούν τα διάφορα φορτία που είναι συνδεδεμένα στο σύστημα. Όσον αφορά τη λειτουργία ενός ολοκληρωμένου ΣΗΕ διακρίνουμε δύο περιπτώσεις: 1) Τη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας ή κανονική λειτουργία και 2) τη μεταβατική και ασύμμετρη κατάσταση λειτουργίας ή γενικότερα μη κανονική ή ανώμαλη λειτουργία. Η ροή της ισχύος ή του φορτίου στο δίκτυο για τη τροφοδότηση της ζητήσεως, αποτελεί τη χαρακτηριστικότερη εκδήλωση της μόνιμης κατάστασης λειτουργίας για ένα σύστημα.

Το πρόβλημα της ροής φορτίου συνίσταται στον προδιορισμό των μεταβλητών του συστήματος, σε μια δεδομένη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Η μόνιμη κατάσταση λειτουργίας αντιστοιχεί σε μια ορισμένη εικόνα φορτίων, μια αντίστοιχη εικόνα παραγόμενης ισχύος και αντίστοιχη εικόνα τάσεων και ροών στο δίκτυο. Κάθε άλλη εικόνα φορτίων ή ροών, συνιστά μιαν άλλη κατάσταση λειτουργίας και περιγράφεται από άλλες τιμές μεταβλητών. Συνοπτικά, οι μελέτες της ροής φορτίου διεξάγονται για να διερευνηθούν τα παρακάτω:

- Ροή MW και MVA στους κλάδους του δικτύου.
- Τάσεις των ζυγών.
- Επίδραση της αναδιευθέτησης των κυκλωμάτων και της ενσωματώσεως νέων κυκλωμάτων στην φόρτιση του συστήματος.
- Επίδραση της στιγμιαίας απώλειας σε κυκλώματα παραγωγής και μεταφοράς στην φόρτιση του συστήματος.

- Επίδραση της εισαγωγής επαυξητικών τάσεων ορθογωνίων και εν φάση, στην φόρτιση του συστήματος.
- Βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας του συστήματος και κατανομής του φορτίου.
- Βέλτιστες απώλειες του συστήματος.
- Βέλτιστη ονομαστική τιμή και περιοχή λήψεως των μετασχηματιστών.
- Βελτίωση από την αλλαγή του μεγέθους των αγωγών και της τάσεως του συστήματος.

Οι μελέτες ροής φορτίου είναι πολύ χρήσιμες για :

- τον εντοπισμό των αδύνατων σημείων λειτουργίας του συστήματος
- την επιλογή της πιο οικονομικής λειτουργίας των γεννητριών του συστήματος
- τον έλεγχο της τήρησης προκαθορισμένων ορίων των τάσεων και των ροών του συστήματος
- την ανάλυση διαταραχών
- τις μελέτες επέκτασης του συστήματος παραγωγής και μεταφοράς, που περιλαμβάνουν:
  - την κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς
  - την εγκατάσταση εξοπλισμού αντισταθμίσεως άεργου ισχύος (πυκνωτές, πηνία).

Για να λύσουμε το πρόβλημα της ροής του φορτίου, πρέπει να επιλύσουμε μη γραμμικές εξισώσεις που συνδέουν τις διάφορες μεταβλητές του δικτύου (ισχύς,τάση,ρεύμα) και να υπολογίσουμε τις τάσεις στους ζυγούς. Σήμερα, η επίλυση προβλημάτων μεγάλων διαστάσεων είναι δυνατή μέσω της χρησιμοποιήσης ψηφιακών υπολογιστών. Για τις μελέτες ροής φορτίου οι καταστάσεις λειτουργίας του συστήματος που πρέπει να επιλεγούν σε μια χρονική περίοδο (π.χ. 5 ετών) εξαρτώνται και επηρεάζονται από:

- Τις συνθήκες φορτίσεως του συστήματος. Γενικά η συμπεριφορά του συστήματος μελετάται σε ' ακραίες ' καταστάσεις φόρτισης, όπως για παράδειγμα κατά τις ώρες της μέγιστης και ελάχιστης ζήτησης φορτίου
- Τα διάφορα σενάρια φόρτισης των μονάδων παραγωγής, όπως διαμορφώνονται από τη διαθεσιμότητα των μονάδων. Γενικά, η κατανομή της παραγόμενης ισχύος στις διάφορες μονάδες παραγωγής γίνεται με βάση τις συνήθεις πρακτικές, όπως προκύπτουν από τη σειρά ένταξης των μονάδων που ακολουθείται στην πράξη.
- Τα κριτήρια αξιοπιστίας.
- Τον καθορισμό του τρόπου λειτουργίας του συστήματος για την ελαχιστοποίηση των απωλειών και για την αποφυγή καταπόνησης του εξοπλισμού του (ισχύς βραχυκυκλώσεως, όρια φορτίσεως κ.λ.π.).

- Εναλλακτικές περιπτώσεις για τη χρονική βελτιστοποίηση ένταξης νέων έργων μεταφοράς.

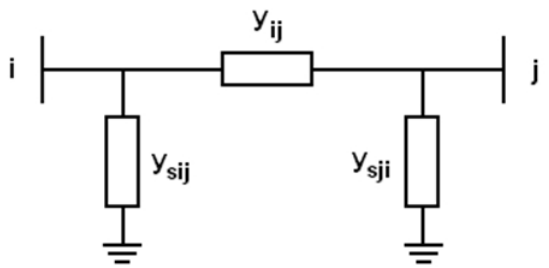
4.1.2 Παράσταση στοιχείων εξοπλισμού ΣΗΕ

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιάσουμε τα μοντέλα των στοιχείων ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, όπως αυτά χρησιμοποιούνται σε μελέτες ροών φορτίου. Επειδή η μελέτη ροών φορτίου προϋποθέτει τη συμμετρική κατάσταση του συστήματος, η ανάλυση βασίζεται στα μονοφασικά ισοδύναμα κυκλώματα, οι παράμετροι των οποίων εκφράζονται σε κοινό ανά μονάδα σύστημα. Τα στοιχεία του συστήματος που θα παρουσιαστούν εδώ είναι τα εξής:

- Γραμμές Μεταφοράς
- Εγκάρσιοι Πυκνωτές και Αυτεπαγωγές
- Μετασχηματιστές
- Γεννήτριες
- Φορτία

4.1.2.1 Παράσταση Γραμμών Μεταφοράς

Οι γραμμές μεταφοράς παριστάνονται στις μελέτες ροών φορτίου με το ονομαστικό κύκλωμα Π όπως απεικονίζεται στο σχήμα 4.1:



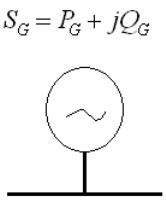
Σχήμα 4.1: Ονομαστικό ισοδύναμο κύκλωμα Π γραμμής μεταφοράς

Στο σχήμα 4.1 η αγωγιμότητα y_{ij} είναι η αγωγιμότητα σειράς της γραμμής, ενώ οι y_{sij}, y_{sji} είναι οι εγκάρσιες αγωγιμότητες. Οι αγωγιμότητες αυτές μπορούν να γραφούν χωρίζοντας πραγματικά και φανταστικά μέρη ως εξής:

$$\begin{aligned} y_{ij} &= g_{ij} + jb_{ij} \\ y_{sij} &= g_{sij} + jb_{sij} \\ y_{sji} &= g_{sji} + jb_{sji} \end{aligned} \tag{4.1}$$

4.1.2.2 Παράσταση γεννητριών

Οι γεννήτριες παριστάνονται όπως στο σχήμα 4.2:



Σχήμα 4.2: Παράσταση γεννήτριας

Η μιγαδική παραγόμενη ισχύς συμβολίζεται ως S_G και ορίζεται ως :

$$S_G = P_G + jQ_G \tag{4.2}$$

όπου

$$P_G = E_\alpha I_\alpha cos\phi \tag{4.3}$$

η παραγόμενη ενεργός ισχύς σε MW , και

$$Q_G = E_\alpha I_\alpha sin\phi \tag{4.4}$$

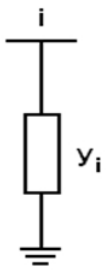
η παραγόμενη άεργος ισχύς σε MVar Οι σύγχρονες γεννήτριες ρυθμίζονται συνεχώς από δύο διατάξεις ελέγχου:

- τον αυτόματο ρυθμιστή τάσεως (APT), ο οποίος διατηρεί σταθερό το μέτρο της τερματικής τάσης της γεννήτριας ρυθμίζοντας κατάλληλα το ρεύμα διεγέρσεως και
- το ρυθμιστή στροφών, οποίος κρατάει σταθερή την ενεργό παραγωγή προσαρμόζοντας την παραγόμενη μηχανική ισχύ της κινητήριας μηχανής.

Έτσι, στις μελέτες ροής φορτίου οι σύγχρονες γεννήτριες παριστάνονται συνήθως με σταθερή κατά μέτρο τερματική τάση και σταθερή παραγωγή πραγματικής ισχύος, αποτελούν δηλαδή ζυγούς παραγωγής

4.1.2.3 Παράσταση Εγκάρσιων Πυκνωτών και Αυτεπαγωγών

Οι εγκάρσιοι πυκνωτές και αυτεπαγωγές παριστάνονται με μια απλή αγωγιμότητα y_i όπως στο σχήμα 4.3



Σχήμα 4.3: Παράσταση εγκάρσιου στοιχείου

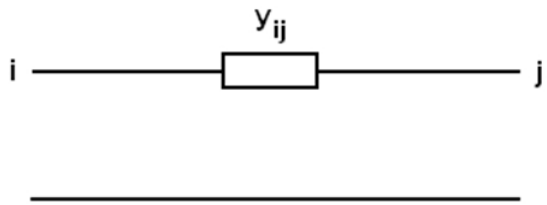
Η αγωγιμότητα y_i είναι της μορφής:

$$y_i = jb_i \tag{4.5}$$

όπου η παράμετρος b_i είναι θετική για πυκνωτή και αρνητική για αυτεπαγωγή.

4.1.2.4 Παράσταση μετασχηματιστών

Οι μετασχηματιστές διακρίνονται σε μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης, ρύθμισης και αυτομετασχηματιστές.Έμφαση στην αναπαράσταση θα δοθεί στους απλούς μετασχηματιστές.Οι μετασχηματιστές παριστάνονται τις περισσότερες φορές στις μελέτες ροών φορτίου με το απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα χωρίς την αγωγιμότητα μαγνητίσεως. Οπότε, ο μετασχηματιστής παριστάνεται με μα αγωγιμότητα σειράς, όπως στο σχήμα 4.4.



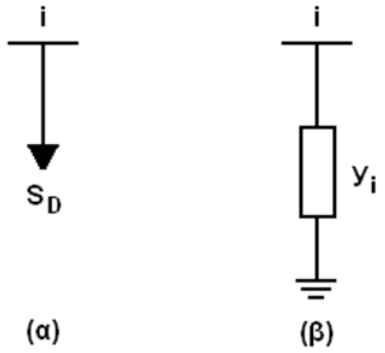
Σχήμα 4.4: Παράσταση Μ/Σ σε ονομαστική σχέση μετασχηματισμού

Το σχήμα 4.4 αναφέρεται σε ένα μετασχηματιστή με ονομαστική σχέση μετασχηματισμού, δηλαδή τέτοια που να αντιστοιχεί στο λόγο των βασικών τάσεων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος. Στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχουν επίσης μετασχηματιστές ρύθμισης, η σχέση μετασχηματισμού των οποίων διαφέρει από το λόγο των ονομαστικών τάσεων. Στους μετασχηματιστές αυτούς πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η σχέση μετασχηματισμού ανάγοντας τις ανά μονάδα αντιστάσεις στο ένα από τα δύο τυλίγματά του.

4.1.2.5 Παράσταση Φορτίων

Τα φορτία που συμπεριλαμβάνονται στις συνηθισμένες μελέτες ροών φορτίου ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες:

- Φορτία σταθερής ενεργού και άεργου ισχύος (Σχήμα 4.5α)
- Φορτία σταθερής σύνθετης αγωγιμότητας (Σχήμα 4.5β)



Σχήμα 4.5: Παράσταση φορτίων

Όσον αφορά το φορτίο σταθερής ισχύος η μιγαδική ισχύς που απορροφά είναι:

$$S_D = P_D + jQ_D \tag{4.6}$$

όπου P_D είναι η ενεργός ισχύς και Q_D είναι η άεργος ισχύς. Ενώ, το φορτίο σταθερής αγωγιμότητας γράφεται με την εξής μορφή:

$$y_i = g_i + jb_i \tag{4.7}$$

4.1.3 Εξισώσεις ροών φορτίου

Στο παρακάτω σχήμα 4.6 απεικονίζεται ένας γενικευμένος ζυγός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να καταστρωθούν οι γενικές εξισώσεις επίλυσης του προβλήματος:

Θεωρούμε ότι μία ή περισσότερες γραμμές είναι συνδεδεμένες με το ζυγό m , ενώ στο ζυγό k είναι συνδεδεμένη μια σύνθετη αγωγιμότητα y_k (κάθε συνδυασμός πυκνωτών, αυτεπαγωγών ή φορτίων με σταθερή αγωγιμότητα). Η γεννήτρια είναι συνδεδεμένη στο ζυγό k και εγχύει ρεύμα $\tilde{I}_{GK}$ ενώ το φορτίο $\tilde{S}_{DK}$ απορροφά ρεύμα $\tilde{I}_{DK}$. Η τάση στους ζυγούς k και m είναι αντίστοιχα $\tilde{V}_k$ και $\tilde{V}_m$.

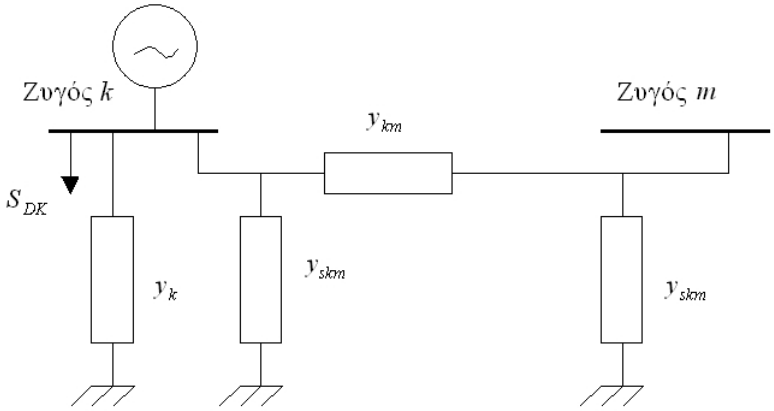
Για τα ρεύματα ισχύει :

Το ρεύμα I_{km} που διαρέει τη γραμμή μεταξύ των ζυγών k και m ισούται με:

$$\tilde{I}_{km} = (y_{skm} + y_{km})\tilde{V}_k - y_{km}\tilde{V}_m \tag{4.8}$$

Το ρεύμα που απορροφάται από την εγκάρσια αγωγιμότητα ισούται με:

$$\tilde{I}_k = y_k\tilde{V}_k \tag{4.9}$$



Σχήμα 4.6: Παράσταση γενικευμένου ζυγού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Εφαρμόζοντας το νόμο ρευμάτων Kirchoff στο ζυγό k προκύπτει:

$$I_k = I_{Gk} - I_{Dk} = y_k I_k + \sum_{m \in A(k)} I_{km} \tag{4.10}$$

όπου A(k) είναι το σύνολο που περιέχει τους αριθμούς των ζυγών που είναι διασυνδεδεμένοι με τον ζυγό κ. Αντικαθιστώντας την εξίσωση 4.8 στη 4.10 προκύπτει:

$$I_k = \left[y_k + \sum_{m \in A(k)} (y_{skm} + y_m) \right] V_k - \sum_{m \in A(k)} y_{km} V_m \tag{4.11}$$

Ορίζοντας τις παραμέτρους:

$$Y_{kk} = y_k + \sum_{m \in A(k)} (y_{skm} + y_m) \tag{4.12}$$

$$Y_{km} = -y_{km} \tag{4.13}$$

η εξίσωση 4.11 γράφεται ως εξής:

$$I_{kk} = Y_{kk} V_k + \sum_{m \in A(k)} Y_{km} V_m \tag{4.14}$$

Τα στοιχεία Y_{kk} και Y_{km} είναι στοιχεία της μήτρας αγωγιμοτήτων. Το σύστημα των εξισώσεων ρευμάτων-τάσεων 4.14 γράφεται σε μητρική μορφή:

$$\left[\bar{I}\right] = [Y] \left[\bar{V}\right] \tag{4.15}$$

όπου $\left[\bar{I}\right]$ και $\left[\bar{V}\right]$ τα διανύσματα ρευμάτων και τάσεων όλων των ζυγών n , διαστάσεως nx1 ,$[Y]$ η μήτρα σύνθετων αγωγιμοτήτων ζυγών του συστήματος, διαστάσεως nxn . Έτσι, τα στοιχεία Y_{kk} και Y_{km} της εξίσωσης 4.15 αποτελούν τα διαγώνια και μη διαγώνια στοιχεία τις μήτρας σύνθετων αγωγιμοτήτων, αντίστοιχα.

4.1.3.1 Εξισώσεις Ισχύος

Στις μελέτες ροής φορτίου, οι γνωστές ή ζητούμενες ποσότητες σε κάθε ζυγό είναι οι μιγαδικές ισχύεις παραγωγής S_{Gk} και φορτίσεων S_{Dk} . Οι μιγαδικές αυτές ισχύεις δίνονται στο ανά μονάδα σύστημα από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned} S_{Gk} &= V_k I_{Gk}^* \\ S_{Dk} &= V_k I_{Dk}^* \end{aligned} \tag{4.16}$$

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις 4.15 και4.16 παίρνουμε:

$$S_k = S_{Gk} - S_{Dk} = Y_{kk}^* V_k^2 + V_k \sum_{m \in A(k)} Y_{km}^* V_m^* \tag{4.17}$$

Η εξίσωση 4.17 εκφράζει το ισοζύγιο ισχύος στον ζυγό k . Για ένα σύστημα n ζυγών, μπορούν να γραφούν n εξισώσεις του τύπου 4.17. Οι n αυτές εξισώσεις αποτελούν τις μιγαδικές εξισώσεις ροής φορτίου. Συχνότερα όμως χρησιμοποιείται η υβριδική, όπου οι τάσεις βρίσκονται σε πολική μορφή, και οι αγωγιμότητες σε καρτεσιανή, σύμφωνα με το συμβολισμό

$$\begin{aligned} \bar{V}_k &= V_k e^{j\delta_k} \\ Y_{km} &= G_{km} + jB_{km} \end{aligned} \tag{4.18}$$

Αντικαθιστώντας τις αγωγιμότητες και τις τάσεις από την 4.18 στην εξίσωση 4.17 και ξεχωρίζοντας πραγματικά και φανταστικά μέρη, παίρνουμε τις εξισώσεις ροής φορτίου σε πραγματική μορφή:

$$P_k = P_{Gk} - P_{Dk} = Y_k^2 G_{kk} + V_k \sum_{m \in A(k)} V_m \left[G_{km} cos(\delta_k - \delta_m) + G_{km} sin(\delta_k - \delta_m) \right] \tag{4.19}$$

$$Q_k = Q_{Gk} - Q_{Dk} = -Y_k^2 B_{kk} + V_k \sum_{m \in A(k)} V_m \left[G_{km} sin(\delta_k - \delta_m) + G_{km} cos(\delta_k - \delta_m) \right] \tag{4.20}$$

Για ένα σύστημα n ζυγών υπάρχουν n εξισώσεις ενεργού και άεργου ισχύος της μορφής 4.19 και 4.20 αντίστοιχα. Οι 2n αυτές εξισώσεις αποτελούν τις εξισώσεις ροής φορτίου με πραγματικές μεταβλητές. Ας σημειωθεί ότι η μορφή 4.19 και 4.20 δεν είναι η μοναδική, αφού αντί για την πολική μορφή των τάσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η καρτεσιανή, και αντιστρόφως, αντί για την καρτεσιανή μορφή των αγωγιμοτήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η πολική.

4.1.3.2 Χρήση αγωγιμοτήτων

Αν αντί για τη μορφή 4.18 χρησιμοποιήσουμε στοιχεία αγωγιμότητας και όχι στοιχεία της μήτρας αγωγιμοτήτων, όπως περιγράφει η 4.21 τότε προκύπτει η εξίσωση του ισοζύγιου ισχύος (πραγματικό/φανταστικό μέρος) σύμφωνα με την 4.22 και 4.23

$$\bar{V}_k = V_k e^{j\delta_k}$$
$$y_{sgm} = g_{sgm} + jb_{sgm} \tag{4.21}$$
$$y_k = g_k + jb_k$$

$$P_{Gk} - P_{Dk} = -V_k^2 \sum_{m \in A(k)} (g_{km} + g_{skm}) + V_k^2 g_k - V_k \sum_{m \in A(k)} V_m (g_{km} cos(\delta_k - \delta_m) + b_{km} sin(\delta_k - \delta_m)) \tag{4.22}$$

$$Q_{Gk} - Q_{Dk} = -V_k^2 \sum_{m \in A(k)} (b_{km} + b_{skm}) + V_k^2 b_k - V_k \sum_{m \in A(k)} V_m (g_{km} sin(\delta_k - \delta_m) - b_{km} cos(\delta_k - \delta_m)) \tag{4.23}$$

Οι παραπάνω 2n μη γραμμικές εξισώσεις για ένα σύστημα n ζυγών αποτελούν τις εξισώσεις ροής φορτίου σε υβριδική μορφή. Θεωρούμε τη γη ως πρόσθετο κόμβο αναφοράς n+1 .

4.1.3.3 Παρατηρήσεις

Οι εξισώσεις ροών φορτίου συνδέουν ισχείς, τάσεις και γωνίες, δηλαδή τις τρεις χαρακτηριστικές μεταβλητές του προβλήματος. Τα ρεύματα δεν ενδιαφέρουν ποτέ απευθείας και υπολογίζονται εύκολα μετά την απόκτηση των τάσεων και των γωνιών. Οι εξισώσεις είναι αλγεβρικές, εφ' όσον αναφέρονται στη μόνιμη κατάστασηλειτουργίας και μη γραμμικές. Το τελευταίο δυσχεραίνει την αναλυτική επίλυση του συστήματος, αλλά όχι και την αριθμητική επίλυση με ψηφιακό υπολογιστή. Η μελέτη των ροών φορτίου αναφέρεται στη μόνιμη κατάσταση και συνεπώς η συχνότητα του δικτύου f μπορεί να υποτεθεί σταθερή, στις διάφορες καταστάσεις φορτίσεως. Συνεπώς, όλα τα επαγωγικά και χωρητικά στοιχεία του δικτύου, άρα και η μήτρα αγωγιμοτήτων του συστήματος, μπορούν να θεωρηθούν σταθερά, εφ' όσον το δίκτυο παραμένει αμετάβλητο. Οι γωνίες εμφανίζονται στις εξισώσεις, μόνο ως διαφορές, θ_j-θ_i. Αυτό μειώνει κατά ένα, το πλήθος των μεταβλητών.

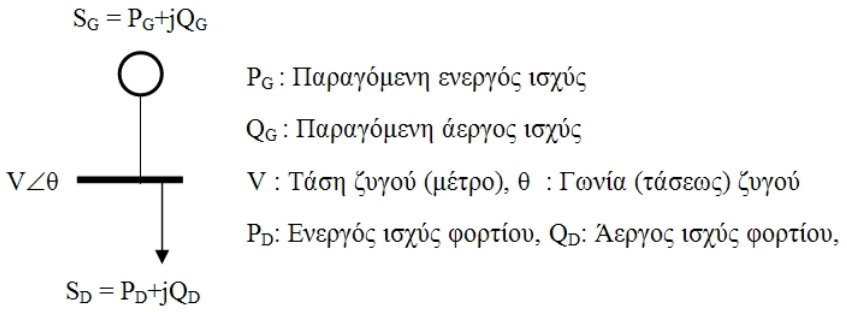
4.1.4 Θεμελίωση ανάλυσης ροής φορτίου

4.1.4.1 Θεμελίωση του προβλήματος ροών φορτίου

Θεωρώντας τη γενική περίπτωση ενός ζυγού του συστήματος, με παραγωγή και φορτίο, που εκφράζονται ως ισχείς, διακρίνουμε τα ακόλουθα έξι (6) μεγέθη, όπως φαίνονται στο σχήμα 4.7

Τα ηλεκτρικά αυτά μεγέθη αποτελούν τις μεταβλητές του προβλήματος και είναι 6 ανά ζυγό. Σε ένα σύστημα με n ζυγούς υπάρχουν συνολικά 6ν μεταβλητές, οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες.

Τα φορτία, ή μεταβλητές ζήτησης (P_D, Q_D) χαρακτηρίζονται και σαν μεταβλητές διαταραχής και μπορούν να αποτελέσουν τα στοιχεία ενός διανύσματος διάστασης 2n . Είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές του προβλήματος και θεωρούνται για αυτήν την ανάλυση συμμετρικά.



Σχήμα 4.7: Χαρακτηριστικά ηλεκτρικά μεγέθη ζυγού

Οι ισχύεις παραγωγής (P_G, Q_G) χαρακτηρίζονται σαν μεταβλητές ελέγχου και μπορούν επίσης να θεωρηθούν σαν στοιχεία ενός άλλου διανύσματος 2ν. Ονομάζονται έτσι γιατί οι μονάδες παραγωγής αποτελούν τα κύρια μέσα ελέγχου της λειτουργίας του συστήματος.
Οι τάσεις και οι γωνίες των ζυγών ανήκουν στις μεταβλητές κατάστασης και είναι εξαρτημένες. Οπότε μπορούν να αποτελέσουν τα στοιχεία ενός διανύσματος κατάστασης, διάστασης 2n . Η εγχυόμενη ενεργός και άεργος ισχύς σε ένα ζυγό k ορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} P_i &= P_{Gi} - P_{Di} \\ Q_i &= Q_{Gi} - Q_{Di} \end{aligned} \tag{4.24}$$

και έχει χαρακτήρα παραγωγής όταν εισέρχεται στο δίκτυο ή χαρακτήρα φορτίου όταν εξέρχεται από αυτό. Οι ζυγοί ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

- ο ζυγός φορτίου, (PQ) , στον οποίο θεωρούνται γνωστές η ενεργός και άεργος ισχύς φορτίου και κατά συνέπεια οι εγχύσεις ενεργού και άεργου ισχύος ($P_i = -P_{Di}$,$Q_i = -Q_{Di}$) ενώ άγνωστα θεωρούνται το μέτρο και η γωνία τάσης του ζυγού

- ο ζυγός παραγωγής (PV) , όπου είναι γνωστή η παραγόμενη ενεργός ισχύς και το μέτρο της τάσης και άγνωστη η άεργος ισχύς και η γωνία της τάσης

- ο ζυγός ταλάντωσης ή ζυγός αναφοράς,(slack bus) , ο οποίος είναι ζυγός παραγωγής που χρησιμοποιείται για να αντισταθμίζει τις άγνωστες εξ αρχής απώλειες του δικτύου και γενικά για άμεση αντιμετώπιση των μεταβολών ισχύος. Στον ζυγό αυτό επιβάλλεται σταθερή τάση κατά μέτρο και γωνία, ενώ προσδιορίζονται η ενεργός και άεργος παραγόμενη ισχύς. Συνήθως, ορίζουμε για το ζυγό ταλάντωσης γωνία τάσης δ=0.

Γενικά, το πρόβλημα προσδιορισμού των ροών φορτίου για ένα σύστημα με n ζυγούς ανάγεται στην επίλυση n μιγαδικών εξισώσεων 4.17 με n αγνώστους. Οι εξισώσεις αυτές συνδέουν ισχύεις, τάσεις και γωνίες, δηλαδή τις τρεις χαρακτηριστικές μεταβλητές του προβλήματος. Τα ρεύματα δεν μας ενδιαφέρουν ποτέ απευθείας και υπολογίζονται εύκολα μετά την εύρεση των τάσεων και των γωνιών. Ωστόσο, το πρόβλημα αυτό παρουσιάζει τις εξής ιδιαιτερότητες:

- Οι εξισώσεις είναι μιγαδικές: Δεδομένου ότι οι περισσότεροι ηλεκτρονικοί υπολογιστές έχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας μιγαδικών αριθμών, η μιγαδική φύση των εξισώσεων ροής φορτίου δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία. Αν δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα, θα πρέπει οι μιγαδικές εξισώσεις 4.17 να μετατραπούν σε πραγματικές εξισώσεις 4.19 και 4.20. Η διαδικασία αυτή ωστόσο διπλασιάζει τον αριθμό των προς επίλυση εξισώσεων σε 2n .

- Οι εξισώσεις είναι μη γραμμικές: Ο μη γραμμικός χαρακτήρας των εξισώσεων ροής φορτίου δυσχεραίνει κάπως την αναλυτική επίλυση του προβλήματος. Ωστόσο, με τη βοήθεια ισχυρών ψηφιακών υπολογιστών μπορούμε να επιλύσουμε το πρόβλημα αριθμητικά με επαναληπτικούς αλγορίθμους. Τέτοιες μέθοδοι περιγράφονται στο κεφάλαιο 4.1.6

4.1.4.2 Διάνυσμα κατάστασης και εξισώσεις

Ορίζεται το διάνυσμα κατάστασης $\bar{x}$, το οποίο απαρτίζεται από τα μέτρα τάσεων όλων των ζυγών φορτίου και τις φασικές γωνίες τάσεων όλων των ζυγών - εκτός του ζυγού ταλάντωσης. Είναι διάστασης n-1+m , όπου n είναι ο συνολικός αριθμός των ζυγών του συστήματος και m ο αριθμός των ζυγών φορτίου (PQ) .Έτσι, απαιτούνται για την επίλυσή του αντίστοιχες ανεξάρτητες εξισώσεις ροής φορτίου:

- n-1 εξισώσεις πραγματικής ισχύος της μορφής :

$$\bar{b}_p = \bar{f}_p(\bar{x}) \tag{4.25}$$

όπου

$$\{\bar{b}_p\}_k = P_{Gk} - P_{Dk} \tag{4.26}$$

$$\{\bar{f}_p\}_k = V_k^2 \sum_{m \in A(k)} (g_{km} + g_{skm}) + V_k^2 g_k - V_k \sum_{m \in A(k)} V_m \left[g_{km} cos(\delta_k - \delta_m) + b_{km} sin(\delta_k - \delta_m) \right] \tag{4.27}$$

- m εξισώσεις αέργου ισχύος της μορφής :

$$\bar{b}_q = \bar{f}_q(\bar{x}) \tag{4.28}$$

όπου

$$\{\bar{b}_q\}_k = Q_{Gk} - Q_{Dk} \tag{4.29}$$

$$\{\bar{f}_q\}_k = -V_k^2 \sum_{m \in A(k)} (b_{km} + b_{skm}) - V_k^2 b_k - V_k \sum_{m \in A(k)} V_m \left[g_{km} sin(\delta_k - \delta_m) - b_{km} cos(\delta_k - \delta_m) \right] \tag{4.30}$$

Τελικά οι εξισώσεις των ροών γραμμών σε υβριδική μορφή είναι:

$$P_{km} = V_k^2 (g_{km} + g_{skm}) - V_k V_m (g_{km} cos(\delta_k - \delta_m) + b_{km} sin(\delta_k - \delta_m)) \tag{4.31}$$

$$Q_{km} = -V_k^2 (b_{km} + b_{skm}) - V_k V_m (g_{km} sin(\delta_k - \delta_m) - b_{km} cos(\delta_k - \delta_m)) \tag{4.32}$$

Για την κατάστρωση και τη θεμελίωση του προβλήματος των ροών φορτίου σημειώνουμε ότι:

- Η μελέτη ροών φορτίου γίνεται στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, οπότε η συχνότητα του δικτύου θεωρείται σταθερή. Το ίδιο ισχύει για όλα τα επαγωγικά και χωρητικά στοιχεία του δικτύου, και για τη μήτρα αγωγιμοτήτων.
- Οι αντίστοιχες εξισώσεις είναι αλγεβρικές και μη γραμμικές.
- Οι γωνίες εμφανίζονται μόνο ως διαφορές γωνιών, μειώνοντας έτσι κατά ένα το πλήθος των μεταβλητών.

4.1.4.3 Μεταβλητές συστήματος - θέση του προβλήματος

Είναι ήδη εμφανές ότι ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας με ορισμένα φορτία στους ζυγούς του μπορεί να λειτουργήσει με πολλούς τρόπους, ή "καταστάσεις" και να ικανοποιεί τις ζητήσεις. Κύρια επιδίωξη της μελέτης ροών φορτίου αποτελεί η εύρεση της καταλληλότερης - βέλτιστης λύσης, βάσει ορισμένων κριτηρίων και υπό ορισμένους περιορισμούς, που πρέπει να τηρηθούν σε κάθε περίπτωση.
Κατά κανόνα, είναι γνωστή η ζήτηση φορτίου των ζυγών, δηλαδή οι 2n μεταβλητές διαταραχής, που αποτελούν τα βασικά δεδομένα του προβλήματος. Στη συνέχεια, ορίζονται 2n μεταβλητές από τις ισχύεις και τις τάσεις των ζυγών παραγωγής, οπότε και προσδιορίζονται από την επίλυση των εξισώσεων ροής φορτίου 4.19 και 4.20 οι υπόλοιπες 2n άγνωστες μεταβλητές. Η προδιαγραφή των 2n μεταβλητών από τις ισχείς και τις τάσεις των ζυγών παραγωγής διευκολύνεται από τις ακόλουθες συνθήκες και περιορισμούς λειτουργίας του συστήματος.

- Η οικονομική λειτουργία των μονάδων παραγωγής επιβάλλει ορισμένες τιμές της παραγόμενης ενεργού ισχύος κάθε μονάδας σε κάθε περίπτωση.
- Για τους ζυγούς φορτίου δεν υπάρχει παραγωγή, δηλαδή P_G=0 . Η Q_G είναι είτε μηδενική, είτε έχει ορισμένη τιμή αν προέρχεται από χωρητική αντιστάθμιση.
- Τα επίπεδα τάσης ορισμένων ζυγών έχουν στενά όρια τιμών.
- Οι διασυνδέσεις με γειτονικά συστήματα επιβάλλουν ορισμένες υποχρεώσεις ανταλλαγών.

Από τις τάσεις ζυγών, προδιαγράφονται οι πιο σημαντικές και αφήνονται στις "άγνωστες" οι λιγότερο περιορισμένες. Γενικά, οι περισσότερες από τις 2n άγνωστες μεταβλητές είναι οι γωνίες δ, οι οποίες προσδιορίζονται από την επίλυση των εξισώσεων. Τελικά, οι λύσεις που θα προκύψουν πρέπει να ικανοποιούν όρια και περιορισμούς, όπως οι εξής:

- οι τάσεις των ζυγών:

$$V_{k,min} \leq V_k \leq V_{k,max} \tag{4.33}$$

- οι γωνιακές διαφορές ορισμένων ζυγών:

$$|\delta_k - \delta_m| \leq |\delta_k - \delta_m|_{max} \tag{4.34}$$

- οι ισχύεις παραγωγής:

$$P_{Gk,min} \leq P_{Gk} \leq P_{Gk,max} \tag{4.35}$$

$$Q_{Gk,min} \leq Q_{Gk} \leq Q_{Gk,max} \tag{4.36}$$

- οι γραμμές μεταφοράς έχουν όρια ευστάθειας και όρια απωλειών ισχύος.

Επιπλέον των ανωτέρω, πρέπει να ληφθούν υπόψη ενδεχόμενες ειδικές συνθήκες σε κάθε περίπτωση. Εάν, η λύση οδηγήσει τελικά σε τιμές μεταβλητών εκτός ορίων, η επίλυση επαναλαμβάνεται προς την κατεύθυνση βελτίωσης των τιμών των αγνώστων μεταβλητών.

4.1.5 Υπολογισμός ροών και απωλειών - έλεγχος σφαλμάτων

Μετά την σύγκλιση της προσεγγιστικής μεθόδου γνωρίζουμε την τάση και τη γωνία σ΄ όλους τους ζυγούς. Μπορούμε λοιπόν να υπολογίσουμε τις ροές σ΄ όλους τους κλάδους.

$$\bar{S}_{ij} = \bar{V}_i \bar{I}_{ij}^* = |\bar{V}_i|^2 (Y_{ij} + Y_i)^* - \bar{V}_i \bar{V}_j^* Y_{ij}^* \tag{4.37}$$

$$\bar{S}_{ji} = \bar{V}_j \bar{I}_{ji}^* = |\bar{V}_j|^2 (Y_{ij} + Y_j)^* - \bar{V}_i \bar{V}_j^* Y_{ij}^* \tag{4.38}$$

Οι απώλειες του κλάδου ij είναι προφανώς:

$$P_{Lij} = Re\{\bar{S}_{ij} + \bar{S}_{ji}\} \tag{4.39}$$

$$Q_{Lij} = Im\{\bar{S}_{ij} + \bar{S}_{ji}\} \tag{4.40}$$

Το άθροισμα των απωλειών θα πρέπει να ισούται με τη συνολική ισχύ που εισέρχεται στο σύστημα, δηλαδή:

$$\sum_{1 \leq k \leq n} P_k = \sum_{1 \leq i \leq n} \sum_{1 \leq j \leq n} P_{Lij} \tag{4.41}$$

$$\sum_{1 \leq k \leq n} Q_k = \sum_{1 \leq i \leq n} \sum_{1 \leq j \leq n} Q_{Lij} \tag{4.42}$$

Εκτός από τις παραπάνω 2 γενικές σχέσεις και σε κάθε ζυγό ξεχωριστά πρέπει να υπάρχει ένα ισοζύγιο, δηλαδή η εισερχόμενη στο ζυγό ισχύς πρέπει να είναι ίση με αυτή που αναχωρεί από τις γραμμές. Επειδή η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι προσεγγιστική το ισοζύγιο δεν είναι ακριβές και εξακολουθεί να υπάρχει ένα σφάλμα σε κάθε ζυγό, που ορίζεται από τις σχέσεις:

$$\Delta P_i = P_{si} + \sum_{1 \leq j \leq n} P_{ij} \tag{4.43}$$

$$\Delta Q_i = Q_{si} + \sum_{1 \leq j \leq n} Q_{ij} \tag{4.44}$$

Το μέγεθος του ανεκτού σφάλματος εξαρτάται από το ίδιο το δίκτυο και αποτελεί κριτήριο για τον τερματισμό των ανακυκλώσεων

4.1.6 Ψηφιακές μέθοδοι επίλυσης για τη ροή φορτίου

Το γεγονός ότι οι εξισώσεις ροής φορτίου είναι μη γραμμικές, δυσχεραίνει την αναλυτική επίλυση του συστήματος. Έτσι, χρησιμοποιούνται ψηφιακές μέθοδοι αριθμητικής επίλυσης, με ικανοποιητική ακρίβεια, ακόμα κι αν πρόκειται για πολύ μεγάλα συστήματα, με χιλιάδες ζυγούς. Η γενική μορφή των εξισώσεων είναι:

$$g(\bar{x}) = 0 \tag{4.45}$$

όπου

- g: διάνυσμα κατάστασης διάστασης n
- x: m εξισώσεις ροής φορτίου

Για την επίλυσή τους χρησιμοποιούνται μέθοδοι όπου ξεκινώντας από μια αρχική τιμή με συνεχείς ανακυκλώσεις καταλήγουμε στην τελική λύση. Συγκεκριμένα, η αρχική τιμή μπαίνει στις εξισώσεις του προβλήματος, βρίσκεται μια καλύτερη λύση, η οποία επίσης μπαίνει στις εξισώσεις κοκ. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται συνεχώς έως ότου η λύση συγκλίνει, δηλαδή η απόκλιση από την προηγούμενη τιμή είναι πάρα πολύ μικρή (συνήθως οριζόμενη από το χρήστη). Μια τέτοια συγκλίνουσα διαδικασία ονομάζεται μέθοδος ανακυκλώσεως και η ποιότητά της κρίνεται από την ταχύτητα σύγκλισής της.
Οι τρεις βασικές επαναληπτικές μέθοδοι που εφαρμόζονται στις μελέτες ροών φορτίου είναι η μέθοδος Gauss-Seidel , η μέθοδος Newton-Raphson και η ταχεία αποζευγμένη μέθοδος.

4.1.6.1 Εφαρμογή της μεθόδου Newton - Raphson στην επίλυση του προβλήματος ροής φορτίου

Η εφαρμογή της μεθόδου Newton - Raphson στην επίλυση του προβλήματος ροής φορτίου απαιτεί την κατάστρωση των εξισώσεων που περιγράφουν το πρόβλημα σαν σύστημα F(x) = 0 . Η διαφορά ισχύων στους κόμβους εκφράζεται ως:

- Ζυγοί PQ :

$$\Delta P_i = P_i^{sp} - V_i \sum_k (G_{ik} cos\vartheta_{ik} + B_{ik} sin\theta_{ik}) V_k = 0 \tag{4.46}$$

$$\Delta Q_i = Q_i^{sp} - V_i \sum_k (G_{ik} sin\vartheta_{ik} - B_{ik} cos\theta_{ik}) V_k = 0 \tag{4.47}$$

- Ζυγοί PV :

$$\Delta P_i = P_i^{sp} - V_i \sum_k (G_{ik} cos\vartheta_{ik} + B_{ik} sin\theta_{ik}) V_k = 0 \tag{4.48}$$

Η γενική εξίσωση Newton - Raphson :

$$\Delta X = J^{-1} F(X)^{(r)} \tag{4.49}$$

γράφεται ως:

$$\left[\frac{\Delta\Theta}{\Delta V}\right] = J^{-1}\left[\frac{\Delta P}{\Delta Q}\right] \tag{4.50}$$

ή

$$\left[\frac{\Delta P}{\Delta Q}\right] = J\left[\frac{\Delta\Theta}{\Delta V}\right] \tag{4.51}$$

όπου $\Delta\theta i$ και $\Delta V i$ οι διορθώσεις για τις τιμές της τάσης και γωνίας στον κόμβο i . Η Ιακωβιανή μήτρα των μερικών παραγώγων μπορεί να διαιρεθεί σε 4 μέρη.

$$\left[\frac{\Delta P}{\Delta Q}\right] = \frac{H \;\Big|\; N'}{J \;\Big|\; L'} = \left[\frac{\Delta\Theta}{\Delta V}\right] \tag{4.52}$$

Τα στοιχεία της Ιακωβιανής μήτρας προσδιορίζονται τελικά από την εξίσωση

$$\left[\frac{\Delta P}{\Delta Q}\right] = \frac{H \;\Big|\; N}{J \;\Big|\; L} = \left[\frac{\Delta\Theta}{\Delta V/V}\right] \tag{4.53}$$

όπου $N' = N/V$ και $L' = L/V$ και παίρνοντας υπόψη τις σχέσεις:

$$\frac{\partial cos\theta_{ik}}{\partial\theta_i} = -sin\theta_{ik} \tag{4.54}$$

$$\frac{\partial cos\theta_{ik}}{\partial\theta_k} = sin\theta_{ik} \tag{4.55}$$

$$\frac{\partial sin\theta_{ik}}{\partial\theta_i} = cos\theta_{ik} \tag{4.56}$$

$$\frac{\partial sin\theta_{ik}}{\partial\theta_k} = -cos\theta_{ik} \tag{4.57}$$

ως εξής:

$$H_{ii} = \frac{\partial\Delta P_i}{\partial\theta_i} = V_i\sum_{\substack{k\\k\neq i}}(G_{ik}sin\theta_{ik} - B_{ik}cos\theta_{ik})V_k = Q_i^{sp} + V_i^2B_{ii} \tag{4.58}$$

$$H_{ik} = \frac{\partial\Delta P_i}{\partial\theta_k} = -V_i(G_{ik}sin\theta_{ik} - B_{ik}cos\theta_{ik})V_k \tag{4.59}$$

$$J_{ii} = \frac{\partial\Delta Q_i}{\partial\theta_i} = V_i\sum_{\substack{k\\k\neq i}}(G_{ik}cos\theta_{ik} + B_{ik}sin\theta_{ik})V_k = -P_i^{sp} + V_i^2G_{ik} \tag{4.60}$$

$$J_{ik} = \frac{\partial\Delta Q_i}{\partial\theta_k} = V_i(G_{ik}cos\theta_{ik} + B_{ik}sin\theta_{ik})V_k \tag{4.61}$$

$$N_{ii} = V_i\frac{\partial\Delta P_i}{\partial V_i} = -P_i^{sp} - V_i^2G_{ii} \tag{4.62}$$

$$N_{ik} = V_k\frac{\partial\Delta P_i}{\partial V_k} = -J_{ik} \tag{4.63}$$

$$L_{ii} = V_i \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial V_i} = -Q_i^{sp} + V_i^2 B_{ii} \tag{4.64}$$

$$L_{ik} = V_k \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial V_k} = H_{ik} \tag{4.65}$$

Δηλαδή για κάθε υπομήτρα H, N, J, L υπολογίζουμε χωριστά τα διαγώνια και τα μη διαγώνια στοιχεία. Οι πλήρεις διαστάσεις της Ιακωβιανής μήτρας για ένα σύστημα n ζυγών είναι 2n x 2n . Στην πραγματικότητα όμως δεν χρειάζεται να υπολογίσουμε όλες τις παραγώγους γιατί:

- Στο ζυγό αναφοράς έχουμε τα $|V|$ και ϑ γνωστά και δεν χρειάζεται να τα υπολογίσουμε (εξ' άλλου τα P_s και Q_s δεν είναι ορισμένα).
- Στους ζυγούς παραγωγής τα $|V|$ είναι γνωστά, ενώ δεν υπάρχουν τα Q_s .

Έτσι εάν αριθμήσουμε τους ζυγούς ώστε ο ζυγός 1 να είναι ο ζυγός ταλάντωσης, οι ζυγοί 2 εώς μ να είναι ζυγοί παραγωγής και m + 1 εώς n ζυγοί φορτίου τότε η Ιακωβιανή θα έχει διαστάσεις (2n - m - 1) x (2n - m - 1) . Οι υπομήτρες H, L είναι τετραγωνικές με διαστάσεις (n - 1) x (n - 1) και (n - m) x (n - m) αντίστοιχα, ενώ οι J, N δεν είναι τετραγωνικές. Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου Newton - Raphson είναι ο τετραγωνικός ρυθμός σύγκλισης, ο οποίος είναι ταχύτερος κάθε άλλης μεθόδου. Επίσης είναι μια πολύ αξιόπιστη μέθοδος που δεν επηρεάζεται από παράγοντες όπως η επιλογή του ζυγού ταλαντώσεως ή μικρές επαγωγικές αντιδράσεις μεταξύ των ζυγών. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η αναγκαιότητα διαμόρφωσης και αντιστροφής της Ιακωβιανής μήτρας σε κάθε ανακύκλωση. Ένα άλλο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι εφαρμόζεται μόνο σε κοίλες συναρτήσεις και ότι συγκλίνει στη λύση που βρίσκεται πλησιέστερα στην αρχική τιμή. Αποδεικνύεται θεωρητικά ότι το πρόβλημα της ροής φορτίου έχει διπλάσιο αριθμό πιθανών λύσεων από τον αριθμό των κόμβων του δικτύου. Στην πράξη όμως η σωστή λύση είναι διακριτή και επιτυγχάνεται πάντοτε ή η λύση αποκλίνει. Ένας συνοπτικός αλγόριθμος της μεθόδου Newton - Raphson που μπορεί να δοθεί είναι ο ακόλουθος:

- Δίνονται οι αρχικές τιμές στα $|V|$ και ϑ, όπου αυτά δεν είναι καθορισμένα.
- Υπολογίζονται οι ισχείς των ζυγών από τις εξισώσεις 4.46-4.48. Είναι γνωστά τα P για όλους τους ζυγούς (πλην του ζυγού αναφοράς) και τα Q για τους ζυγούς φορτίου. Συνεπώς χρειάζεται ο υπολογισμός των $P_2, \ldots, P_n$ και μόνο των $Q_{m+1}, \ldots, Q_n$ που θα δώσουν τις αποκλίσεις $[\Delta P]$ και $[\Delta Q]$.
- Υπολογίζεται η Ιακωβιανή από τις σχέσεις 4.58-4.65.
- Επιλύεται το σύστημα 4.53 και υπολογίζονται οι αποκλίσεις $[\Delta V]$ και $[\Delta \theta]$.
- Αν οι αποκλίσεις είναι μεγαλύτερες από τα όρια ανοχής, επανερχόμαστε στο δεύτερο βήμα.
- Μετά την σύγκλιση των αποτελεσμάτων υπολογίζονται τα P και Q του ζυγού αναφοράς και κατόπιν οι ροές φορτίου στις γραμμές.

4.2 Εισαγωγή στο Λογισμικό Power World [8]

4.2.1 Διαθέσιμα προγράμματα

Υπάρχουν μια σειρά από προγράμματα, για εκπαιδευτική κυρίως χρήση, που απευθύνονται σε φοιτητές για την κατανόηση και εμβάθυνση σε έννοιες και φαινόμενα που εμπλέκονται στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και για (ημι)επαγγελματική χρήση που απευθύνονται σε νέους μηχανικούς. Σε ό,τι αφορά στα επαγγελματικά πακέτα, δύο από τα πιο διαδεδομένα είναι τα CYMFLOW και το PSS/E . Το πρώτο αναφέρεται στην ανάλυση ροής φορτίου σε τριφασικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, και απευθύνεται κυρίως σε βιομηχανίες για τον έλεγχο του εσωτερικού δικτύου διανομής και τη διασύνδεσή του με το δίκτυο μεταφοράς. Αποτελεί εργαλείο για τα βιομηχανικά συστήματα ισχύος με αναλυτικές επιλογές και εναλλακτικές τεχνικές επίλυσης (δυνατότητα ανάλυσης δικτύων με χιλιάδες ζυγούς, πολλαπλοί ζυγοί ταλάντωσης, ταυτόχρονες λύσεις για πολλά δίκτυα νησίδων, δυνατότητα ορισμού ορίων, γραφικός τρόπος αναπαράστασης με ποικίλες εύχρηστες δυνατότητες, δυνατότητα ένταξης αιολικών συστημάτων κλπ). Ακόμα περιλαμβάνει ένα εργαλείο για την ανάλυση πιθανών διαταραχών, που υποστηρίζει απεριόριστο αριθμό σεναρίων, αυτόματη κατάταξη, αναζήτηση και επίλυση διαταραχών και ένα άλλο για την προσομοίωση εκκίνησης κινητήρων επαγωγής σε τριφασικά συστήματα. Το πακέτο προγραμμάτων PSS/E , επειδή αποτελεί ένα εξαιρετικά διαδεδομένο υπολογιστικό πακέτο, θα το εξετάσουμε αναλυτικά στην επόμενη ενότητα. Σε ό,τι αφορά τώρα στα εκπαιδευτικά πακέτα, αυτά έχουν λιγότερες απαιτήσεις ως προς την αποτελεσματικότητα και την επίδοση αλλά είναι περισσότερο κατανοητά και εύχρηστα. Δύο τέτοια προγράμματα είναι το MATPOWER και το POWERWORLD SIMULATOR . Το MATPOWER είναι ένα πακέτο του Matlab για την επίλυση ροής φορτίου και βέλτιστης ροής φορτίου. Είναι εργαλείο προσομοίωσης, εύκολα τροποποιήσιμο, με απλό κώδικα. Τα αποτελέσματα δεν απεικονίζονται σε γραφικό περιβάλλον, αλλά σε μορφή πινάκων στο περιβάλλον του Matlab . Για την προσομοίωση, εισάγονται τα απαραίτητα δεδομένα σε ένα αρχείο, και ενεργοποιούνται μέσω συγκεκριμένων εντολών οι διαδικασίες επίλυσης. Το POWERWORLD θα εξεταστεί αναλυτικά στη συνέχεια, καθώς αποτελεί το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

4.2.2 Powerworld Simulator

Το πρόγραμμα προσομοίωσης Powerworld είναι ένα αρκετά εύχρηστο εργαλείο κυρίως εξαιτίας της γραφικής παρουσίασης του συστήματος και των αποτελεσμάτων, είναι πολύ κατανοητό για την εκμάθηση και εξάσκηση σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Η εκπαιδευτική του μορφή είναι διαθέσιμη στην ιστοσελίδα www.powerworld.com και μπορεί να προσομοιώσει 12 ζυγούς. Στην πλήρη του μορφή το πρόγραμμα αυτό περιέχει ένα πακέτο ανάλυσης ροής φορτίου που μπορεί να προσομοιώσει συστήματα έως 100.000 ζυγών. Το γραφικό περιβάλλον περιλαμβάνει μονογραμμικά

διαγράμματα, ενώ υπάρχει η δυνατότητα πανοραμικής λήψης και μεγέθυνσης συγκεκριμένων σημείων του συστήματος. Ακόμα, προσφέρει εργαλεία για τη βέλτιστη ροή ισχύος με περιορισμούς ασφαλείας, για τη διαθέσιμη ικανότητα μεταφοράς, και ένα εργαλείο για τον αυτόματο έλεγχο της παραγωγής. Σε ό,τι αφορά στις δυνατότητες του προγράμματος αξίζει να αναφερθούν τα παρακάτω:

- Υποστηρίζει τη λεπτομερή μοντελοποίηση μετασχηματιστών με σύστημα αλλαγής τάσης υπό φορτίο και αλλαγής φάσης, διακοπτών, καμπύλων ενεργού και αέργου ικανότητας φόρτισης γεννητριών, καμπυλών κόστους γεννητριών, προγραμμάτων φορτίων, προγραμμάτων ανταλλαγής ισχύος, γραμμών συνεχούς ρεύματος και απομακρυσμένου ελέγχου τάσης ζυγών.

- Είναι δυνατή η αξιολόγηση όχι μόνο των τεχνικών πτυχών μιας αλλαγής (π.χ. ανακατανομή φορτίου) αλλά και της οικονομικής σημασίας της αλλαγής.

- Ενσωματώνει τον αυτόματο έλεγχο παραγωγής περιοχής (Automatic Generation Control - AGC) στην επίλυση της ροής φορτίου, προσφέροντας τρεις διαφορετικούς τρόπους ελέγχου: με ένα ζυγό ταλάντωσης, διανεμημένο έλεγχο με πολλαπλούς ζυγούς ταλάντωσης (με χρήση των συντελεστών συμμετοχής των ζυγών) και οικονομική κατανομή φορτίου. Ταυτόχρονα, ο τύπος του ελέγχου AGC είναι δυνατόν να διαφέρει από περιοχή σε περιοχή (πχ δυνατότητα χρησιμοποίησης της οικονομικής κατανομής φορτίου σε εκείνες μόνο τις περιοχές όπου είναι γνωστές οι πληροφορίες για τις δαπάνες). Η χρήση του ελέγχου AGC καθιστά τη διαδικασία της επίλυσης σαφώς γρηγορότερη.

- Στη γραφική απεικόνιση του συστήματος και των ροών φορτίου, τα βέλη στις γραμμές, στα φορτία και στις γραμμές μεταφοράς είναι μεγαλύτερα και κινούνται ταχύτερα ανάλογα με το μέγεθος και την κατεύθυνση της ροής ισχύος. Παράλληλα, με την χρήση των pie charts (διαγράμματα πίτας), είναι άμεση η δυνατότητα ελέγχου των υπερφορτίσεων των γραμμών, καθώς η ροή φαίνεται ως ποσοστό της πλήρους φόρτισης της γραμμής.

- Το εξαιρετικά εύχρηστο γραφικό περιβάλλον βοηθά τόσο στην χρησιμοποίηση του ίδιου του προγράμματος, όσο και στην επεξεργασία και ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Μέσα από τα μονογραμμικά διαγράμματα του προσομοιωτή και τους διαλόγους πληροφοριών καθίσταται δυνατή η δημιουργία και ο έλεγχος σωστής λειτουργίας ενός συστήματος γραφικά. Κατά τη λειτουργία edit mode δημιουργείται ή τροποποιείται το σύστημα, και κατά τη λειτουργία run mode το σύστημα ¨τρέχει' και οπτικοποιούνται τα αποτελέσματα.

- Η αυτοματοποιημένη διαδικασία εισαγωγής στοιχείων (γεννητριών, γραμμών, Μ/Σ, φορτίων κλπ) έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη ταχύτητα δημιουργίας σχεδίων, ειδικά μετά από μικρή εμπειρία χρήσης του προγράμματος. Ταυτόχρονα, είναι δυνατή η λεπτομερής απεικόνιση και ανάλυση του συστήματος, και η εύκολη χρήση των λειτουργιών μεγέθυνσης.

- Οι διακόπτες σε οποιοδήποτε σημείο του συστήματος ανοίγουν ή κλείνουν με ένα απλό πάτημα, γεγονός το οποίο διευκολύνει ιδιαίτερα τη συνολική εποπτεία των αλλαγών ή προβλημάτων που προκαλούνται στο σύστημα με την απομόνωση ή επαναλειτουργία κλάδων ή υποσυστημάτων του συστήματος (κυρίως σε ό,τι αφορά στις γεννήτριες και στα φορτία).

- Παρέχονται εργαλεία για τον υπολογισμό ευαίσθητων σημείων. Για παράδειγμα, αυτά μπορεί να είναι οι παράγοντες διανομής μεταφοράς ισχύος, οι ευαισθησίες ροής στη γραμμή μεταφοράς, ή η ευαισθησία των απωλειών.

- Δίνεται η δυνατότητα παραγωγής ισοϋψών χαρτών, οι οποίοι παρέχουν πληροφορίες για την ποικιλομορφία των τάσεων, των φορτίων, των ευαισθησιών απωλειών και ροής, του οριακού κόστους.

- Περιέχονται εργαλεία ανάλυσης πιθανότητας διαταραχών που βοηθούν στην αναγνώριση προβλημάτων. Η ανάλυση πιθανότητας διαταραχών γίνεται με την εφαρμογή μιας πλήρους ροής φορτίου για κάθε πιθανότητα με αυξανόμενη ακρίβεια. Στη συνέχεια καταρτίζονται κατάλογοι ενδεχομένων και σχετικών παραβιάσεων και δίνεται η δυνατότητα της ευέλικτης επεξεργασίας των καταλόγων ώστε να ικανοποιούνται δεδομένα κριτήρια.

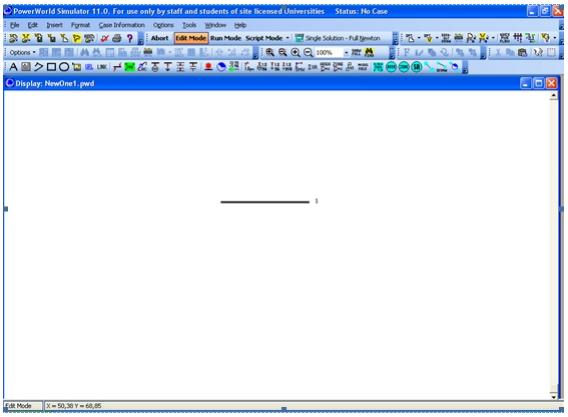
- Δίνεται, πέρα από τη δυνατότητα γραφικής αναπαράστασης, και η δυνατότητα παρουσίασης και επεξεργασίας των στοιχείων υπό μορφή πινάκων, σε λογιστικό φύλλο. Οι πίνακες, εκτός από τις δυνατότητες ταξινόμησης και αντιγραφής των στοιχείων, αποτελούν ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για τον έλεγχο των δεδομένων και τυχόν λαθών, που δεν είναι πάντα εύκολο να εντοπιστούν στη γραφική αναπαράσταση.

- Είναι δυνατή η αποθήκευση των εγγράφων σε μορφή HTML , και η εκτύπωση υψηλής ευκρίνειας διαγραμμάτων στον εκτυπωτή. Υποστηρίζεται τέλος μια γλώσσα προγραμματισμού που επιτρέπει την αυτοματοποίηση συχνών εργασιών και την οργάνωσή τους, ώστε να διευκολύνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

4.2.3 Εισαγωγή στοιχείων / κατασκευή του συστήματος (edit mode)

4.2.3.1 Ζυγός

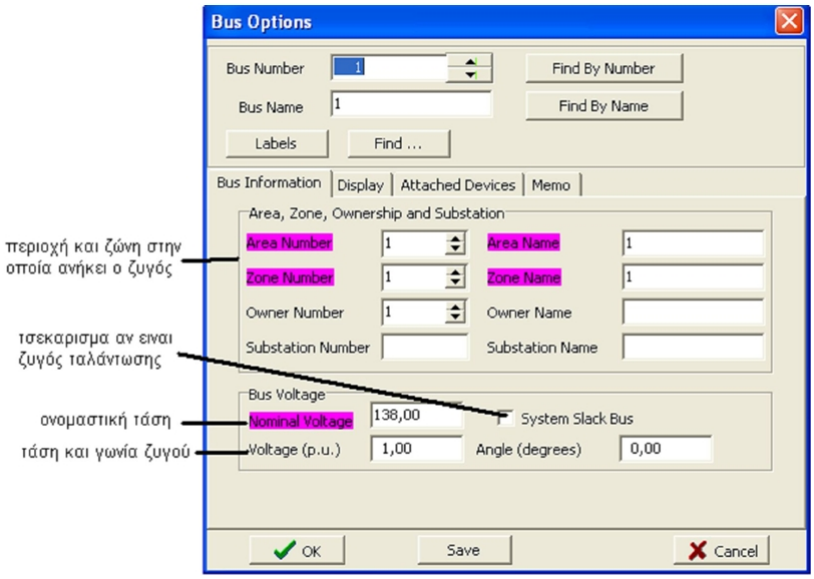
Το κυριότερο στοιχείο ενός συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι ο ζυγός (bus) . Οι ζυγοί χρησιμοποιούνται για να αποτυπώσουν σημεία συνδέσεων στους υποσταθμούς, όπου συνδέονται οι διάφορες συσκευές. Για την εισαγωγή του ζυγού επιλέγουμε από το μενού $Draw \rightarrow Network \rightarrow Bus$ και διαλέγουμε τη θέση εισαγωγής.



Σχήμα 4.8: Η τοποθέτηση ενός ζυγού στην επιφάνεια εργασίας

Στην καρτέλα του ζυγού που εμφανίζεται εισάγουμε τα δεδομένα του ζυγού, τα κυριότερα από τα οποία είναι:

- Όνομα και αριθμός ζυγού
- Μορφή απεικόνισης στην επιλογή display (μέγεθος, πάχος, πλάτος κλπ)
- Ονομαστική τάση
- Πληροφορίες για το αν ο ζυγός αποτελεί ζυγό ταλάντωσης ή αναφοράς. Ο ζυγός αναφοράς, ο οποίος είναι ζυγός παραγωγής, χρησιμεύει για να αντισταθμίζει τις - άγνωστες αρχικά - απώλειες του δικτύου και για την άμεση αντιμετώπιση των μεταβολών ισχύος. Σ΄ αυτόν το ζυγό επιβάλλουμε σταθερή κατά μέτρο και γωνία τάση και προσδιορίζουμε τις ισχείς παραγωγής.Ένας τουλάχιστον ζυγός το δικτύου πρέπει να οριστεί ως ζυγός ταλάντωσης (slack bus) και να οριστεί η γωνία και η τάση του, συνήθως 1 pu με γωνία 0 μοίρες. Για τους υπόλοιπους ζυγούς οι τιμές που ορίζονται για γωνία και τάση δεν έχουν μεγάλη σημασία καθώς οι τιμές αυτές υπολογίζονται κατά την επίλυση της ροής φορτίου και αντικαθίστανται. Σε αυτόν τον ζυγό θα πρέπει οπωσδήποτε να τοποθετηθεί γεννήτρια κατά τα περιγραφόμενα στην επόμενη παράγραφο.Η παραγωγή της γεννήτριας αυτή αφιέται ελεύθερη ώστε να πάρει την τιμή που απαιτείται για τη σύγκλιση της ροής φορτίου.

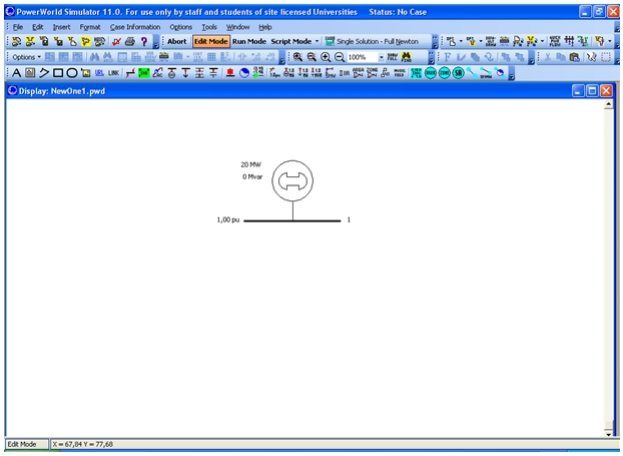


Σχήμα 4.9: Τα χαρακτηριστικά του μενού ζυγός (bus)

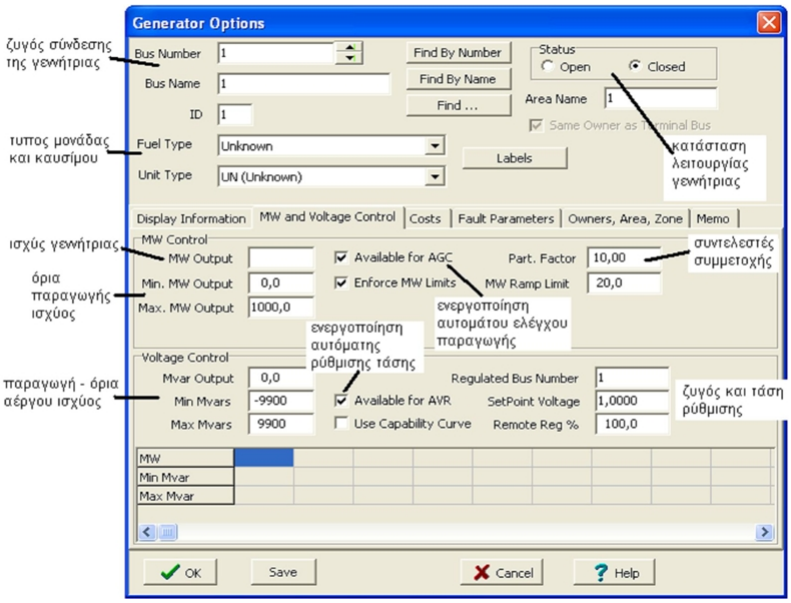
4.2.3.2 Γεννήτρια

Για την εισαγωγή γεννήτριας, αντίστοιχα με το ζυγό, επιλέγουμε στο μενού $Draw \rightarrow Network \rightarrow Generator$ και διαλέγουμε το ζυγό στον οποίο θα εισάγουμε την γεννήτρια.Μάλιστα το σχήμα της γεννήτριας μπορεί να μεταβληθεί αν θέλουμε να δείξουμε π.χ ότι πρόκειται για ανεμογεννήτρια.Το σχήμα της γεννήτριας μπορεί να διαμορφωθεί κατάλληλα ανάλογα με τον τύπο της γεννήτριας που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε.
Στην καρτέλα εισαγωγής δεδομένων γεννήτριας που εμφανίζεται εισάγουμε τα στοιχεία της. Τα κυριότερα είναι:

- Τα όρια λειτουργίας της γεννήτριας (ελάχιστη/μέγιστη παραγωγή)
- Παραγωγή ενεργού ισχύος
- Αν η γεννήτρια χρησιμοποιείται από τον αυτόματο έλεγχο παραγωγής (AGC)
- Το πόσο γρήγορα αλλάζει η παραγωγή της γεννήτριας
- Αν έχει έλεγχο για τη διατήρηση σταθερής τάσης εξόδου (AVR)
- Τα όρια μέσα στα οποία μπορεί να παραλάβει ή να παράξει άεργο ισχύ
- Η μορφή απεικόνισης (στην επιλογή display)
- Ο ζυγός στον οποίο συνδέεται η γεννήτρια



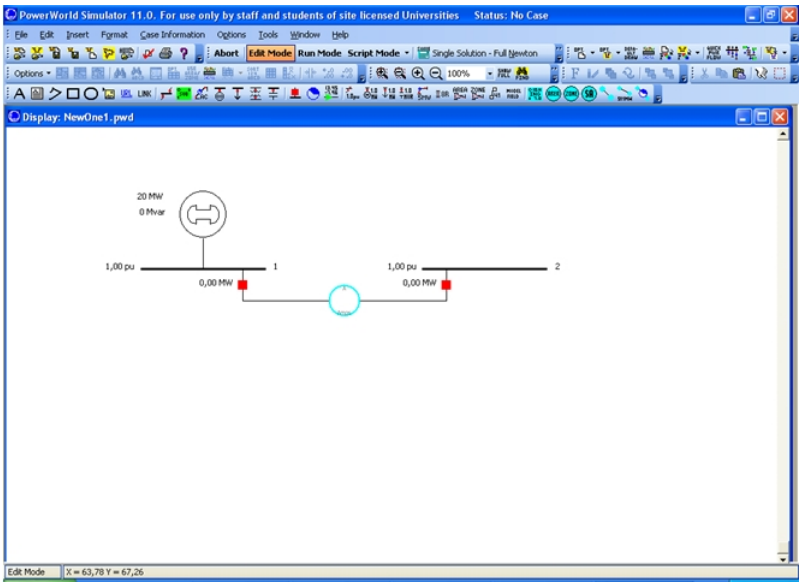
Σχήμα 4.10: Το περιβάλλον εργασίας μετά την τοποθέτηση γεννήτριας



Σχήμα 4.11: Το μενού γεννήτρια

4.2.3.3 Γραμμή μεταφοράς

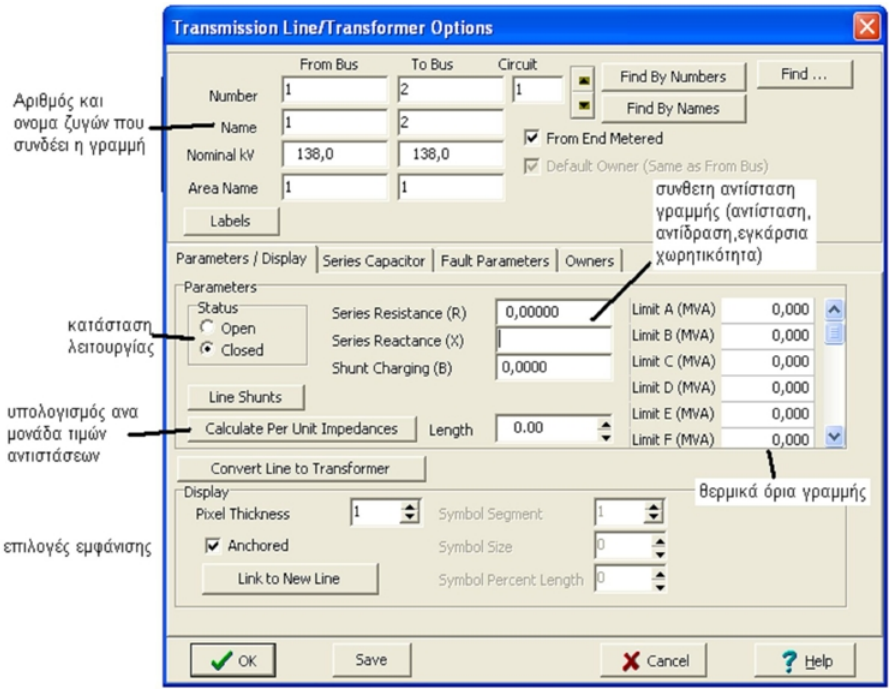
Η γραμμή μεταφοράς εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) συνδέει δύο ζυγούς. Για την εισαγωγή της επιλέγουμε $Draw \rightarrow Network \rightarrow TransmissionLine$. Με το πρώτο κλικ επιλέγουμε τον ζυγό εκκίνησης, σύρουμε το ποντίκι με απλό αριστερό κλικ κάνουμε αλλαγή κατεύθυνσης ενώ με διπλό αριστερό κλίκ στο ζυγό άφιξης τελειώνουμε με την προσθήκη της γραμμής στο δίκτυο.



Σχήμα 4.12: Η προσθήκη διασυνδετικής γραμμής μεταξύ 2 ζυγών

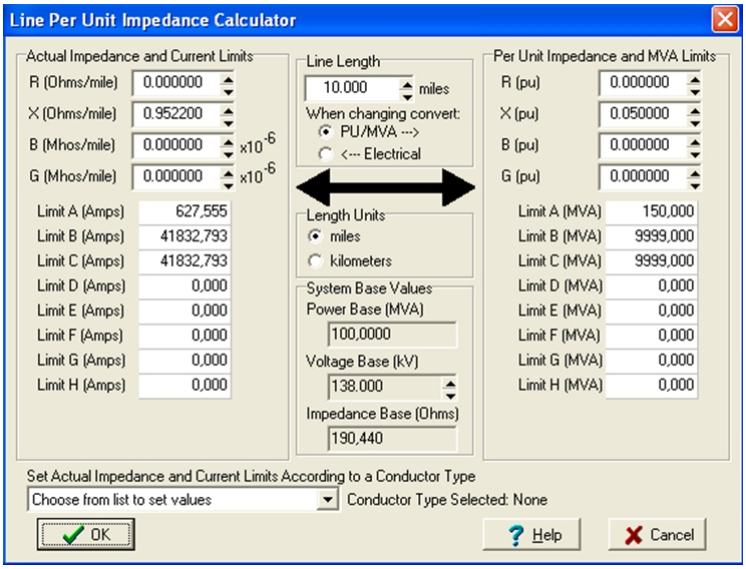
Στην καρτέλα που εμφανίζεται μετά το τέλος της σχεδίασης τα περισσότερα από τα στοιχεία της φόρμας του σχήματος 4.13 συμπληρώνονται αυτόματα από το πρόγραμμα με βάση τα άκρα της γραμμής (όπως αυτά ορίστηκαν κατά τη σχεδίασή της), εισάγουμε τα δεδομένα της γραμμής, κυρίως τα εξής:

- Ωμική αντίσταση (R)
- Επαγωγική αντίδραση (X) - τουλάχιστον αυτή η τιμή πρέπει να δίδεται από το χρήστη
- Εγκάρσια χωρητικότητα (B)
- Τα όρια της ροής ισχύος
- Τη μορφή απεικόνισης της γραμμής



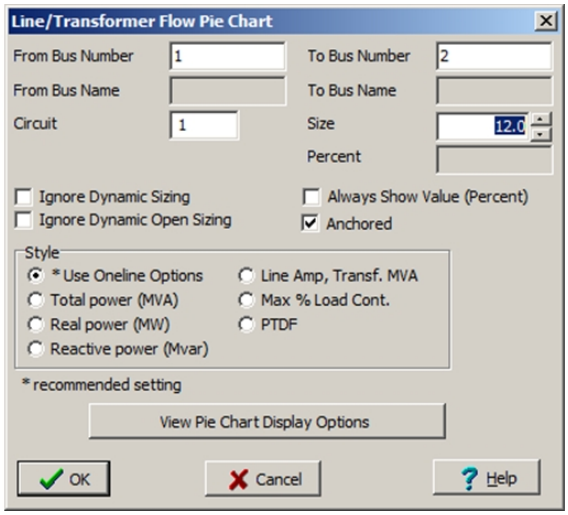
Σχήμα 4.13: Το μενού προσαρμογής των ιδιοτήτων μίας γραμμής μεταφοράς

Οι τιμές των παραμέτρων R, X και B , μπορούν να δοθούν είτε ως συνολικές τιμές για όλο το μήκος της γραμμής, ή ως μεγέθη ανά μονάδα μήκους, μέσω της φόρμας που εμφανίζεται με το πάτημα του κουμπιού "'Calculate Per Unit Impedances"' , οπότε και εμφανίζεται η φόρμα του σχήματος 4.14.Στην περίπτωση του δικτύου του παραδείγματος δόθηκε απευθείας η συνολική τιμή της σύνθετης αντίστασης για όλο το μήκος της γραμμής 1-2, οπότε δε χρειάζεται επέμβαση στη φόρμα του σχήματος 4.14.



Σχήμα 4.14: Τυπική εικόνα αν τα στοιχεία δίνονται ανά μονάδα μήκους

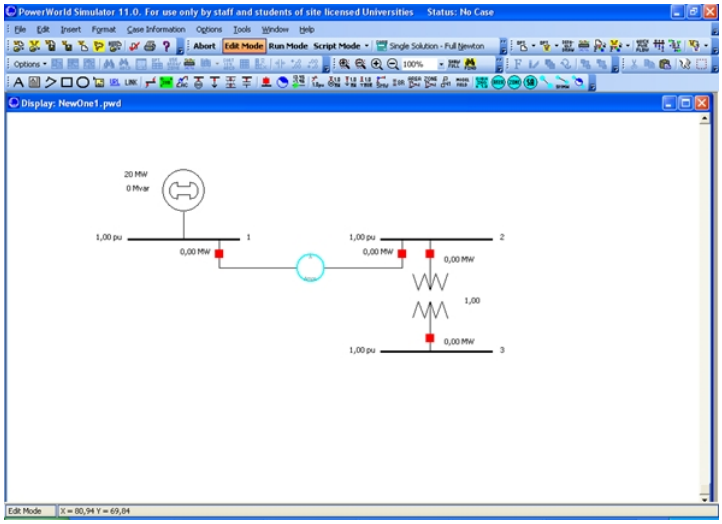
Σε μια γραμμή μεταφοράς μπορούμε ακόμα να προσθέσουμε ένα "διάγραμμα πίτας" (line flow chart ή pie chart), το οποίο δείχνει κατά πόσο η γραμμή είναι φορτισμένη σε σχέση με το όριο μακράς διάρκειας ροής ισχύος.Προκειμένου να γίνει σωστά η συγκεκριμένη απεικόνιση θα πρέπει το Limit A να είναι συμπληρωμένο και όχι μηδενικό.Έτσι είναι πολύ εύκολος ο έλεγχος των υπερφορτίσεων των γραμμών. Για την εισαγωγή του διαγράμματος αυτού κάνουμε διπλό κλικ επάνω στη γραμμή και auto insert pie chart. Ακόμα, μέσα από τον έλεγχο της μορφής απεικόνισης του διαγράμματος πίτας, μπορούμε να ορίσουμε το μέγεθός του, καθώς και να επιλέξουμε ένα ποσοστό φόρτισης μετά από το οποίο θα αλλάζει το χρώμα του διαγράμματος, για να μας προειδοποιεί για την αύξηση της φόρτισης της γραμμής, και θα ξαναλλάζει όταν ξεπερνά την τιμή υπερφόρτισης 100%.



Σχήμα 4.15: Το μενού για την προσθήκη ενημερωτικής " πίτας " στη γραμμή μεταφοράς

4.2.3.4 Μετασχηματιστής

Η εισαγωγή του μετασχηματιστή απαιτεί την ύπαρξη δύο ζυγών οι οποίοι θα βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα τάσης. Κατόπιν, από το μενού επιλέγουμε $Draw \rightarrow Network \rightarrow Transformer$, με το πρώτο κλικ επιλέγουμε το ζυγό που συνδέεται το πρωτεύον του μετασχηματιστή, και με το επόμενο το ζυγό του δευτερεύοντος.

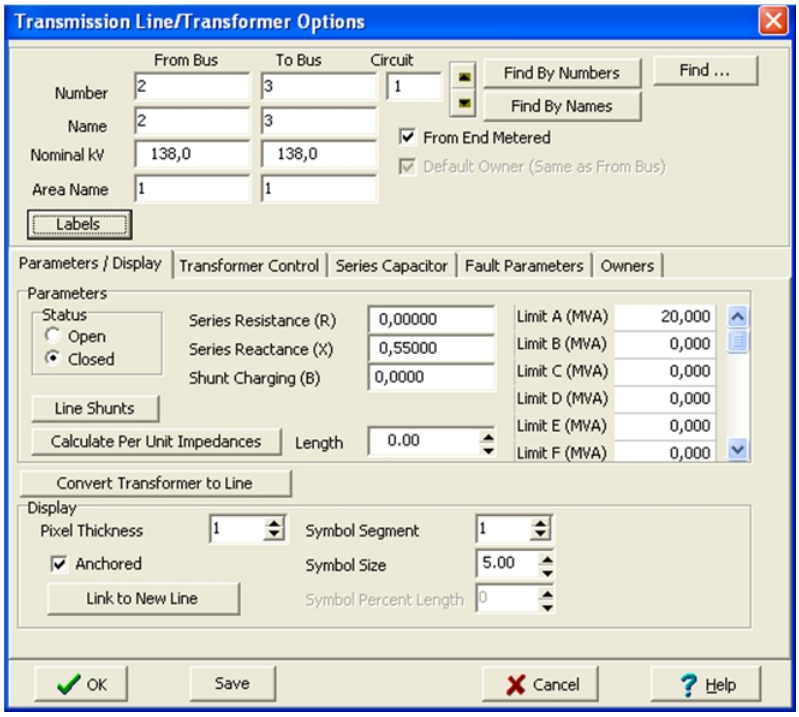


Σχήμα 4.16: Η προσθήκη Μετασχηματιστή

Στην καρτέλα του μετασχηματιστή που εμφανίζεται αμέσως μετά, εισάγουμε τα δεδομένα:

- Λόγος μετατροπής τάσης (αν ο λόγος είναι ίσος με το λόγο των ονομαστικών τάσεων πρωτεύοντος/δευτερεύοντος εισάγουμε 1)

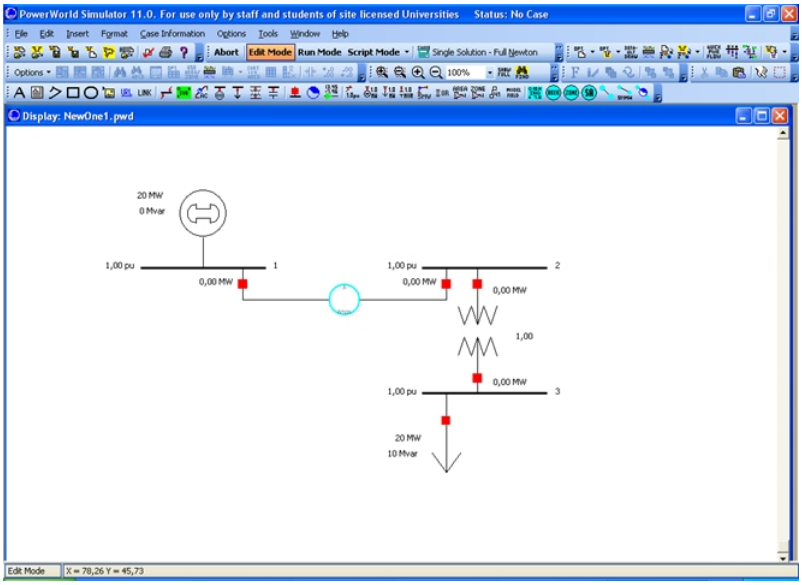
- Τρόπος ελέγχου του Μ/Σ (AVR - αυτόματος έλεγχος, ή έλεγχος αέργου ισχύος)
- Ωμική αντίσταση
- Επαγωγική αντίδραση
- Εγκάρσια επαγωγική αγωγιμότητα
- Τους ζυγούς στους οποίους συνδέεται και την αντίστοιχη τάση τους
- Τη μορφή απεικόνισης



Σχήμα 4.17: Τα διάφορα στοιχεία που πρέπει να συμπληρωθούν για έναν Μετασχηματιστή

4.2.3.5 Ζυγός φορτίου

Εισάγουμε καταρχήν το ζυγό με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω (γραφικά και στην καρτέλα). Για την εισαγωγή του φορτίου, από το μενού επιλέγουμε $Draw \rightarrow Network \rightarrow Load$ και το τοποθετούμε στον ζυγό.



Σχήμα 4.18: Το δίκτυο μετά από την προσθήκη ενός φορτίου

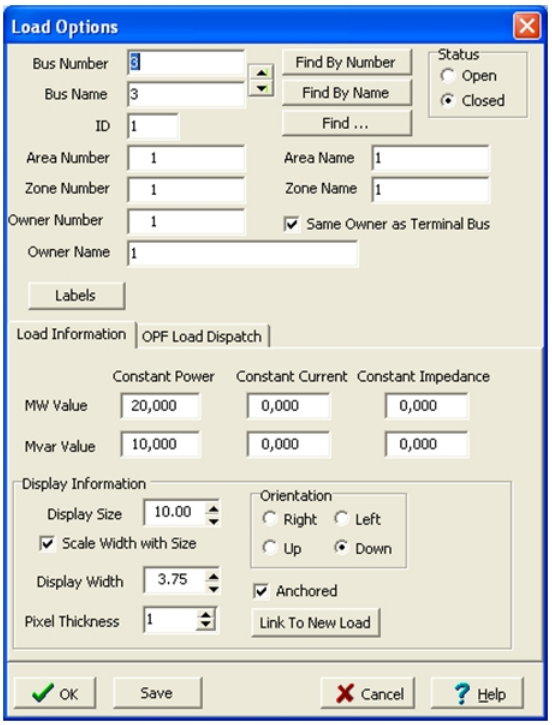
Στην καρτέλα δεδομένων του φορτίου, εισάγουμε τα κυριότερα στοιχεία:

- Το όνομά του
- Το ζυγό στον οποίο συνδέεται το φορτίο
- Την ενεργό και άεργο ισχύ του
- Την σύνθετη αντίστασή του
- Την ένταση του ρεύματος
- Τη μορφή απεικόνισής του

Σε αυτήν την περίπτωση μπορούμε να έχουμε 3 δυνατές περιπτώσεις για την περιγραφή του φορτίου:

- Σταθερής ισχύος (P,Q σταθερά. Θετική τιμή στο Q σημαίνει ζήτηση αέργου ισχύος (επαγωγικός συντελεστής φορτίου)
- Σταθερού ρεύματος (Σε δύο συνιστώσες ενεργού, αέργου ρεύματος)
- Σταθερής Αντίστασης (Από ωμικό και επαγωγικό/χωρητικό χαρακτήρα). Τέτοια φορτία μπορεί να είναι για παράδειγμα ένας ηλεκτρικός φούρνος ή ηλεκτρικό σίδερο.

Αν δηλωθούν αριθμοί για έναν συνδυασμό θα πρέπει για τους άλους δύο οι τιμές να είναι μηδενικές.



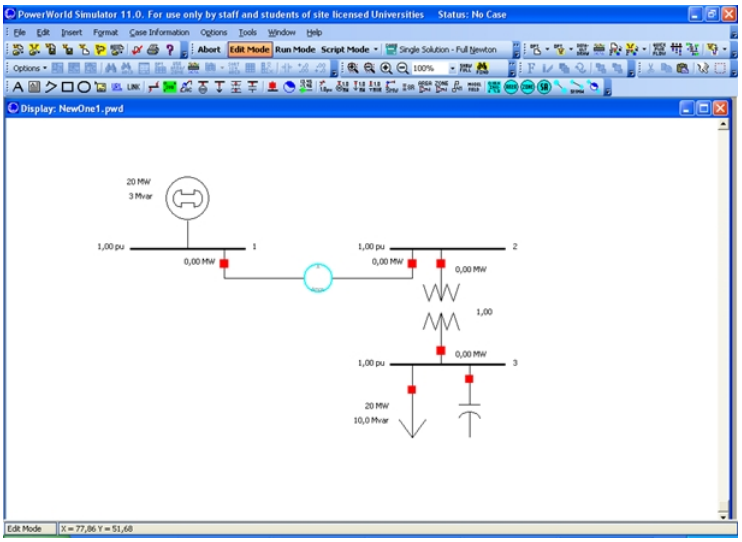
Σχήμα 4.19: Η διεπαφή για τη μεταβολή του φορτίου

4.2.3.6 Εγκάρσια Αντιστάθμιση αέργου ισχύος

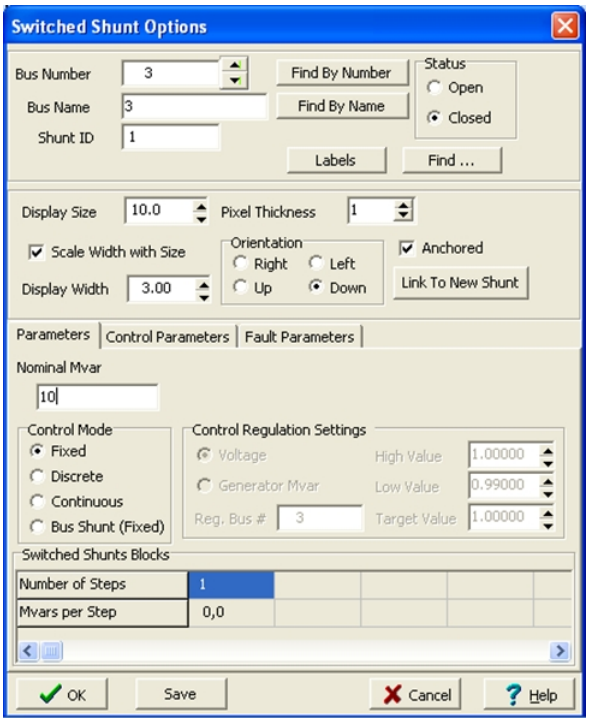
Σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται εγκάρσιες αντισταθμίσεις είτε για να παράγουν άεργο ισχύ (πυκνωτές) είτε για να απορροφούν (επαγωγικές αντιδράσεις). Συνήθως οι συσκευές αυτές αποτελούνται από συστοιχίες κλιμακούμενης σύνθετης αγωγιμότητας που συνδέονται στο σύστημα με διακριτά βήματα, και η συσκευή θεωρούνται ενεργές αν έστω και ένα από τα μπλοκ αυτά είναι συνδεδεμένο στο σύστημα. Αντίστοιχα με τα προηγούμενα, επιλέγουμε στο μενού $Insert \rightarrow SwitchedShunt$ και το εισάγουμε στη θέση που επιθυμούμε.

Στην καρτέλα των στοιχείων εισάγουμε:

- τα στοιχεία τοπολογίας (όπου ανήκει η συσκευή)
- τα στοιχεία οπτικής απεικόνισης (μέγεθος κλπ)
- πόση άεργη ισχύ παράγει ή καταναλώνει, και αν είναι διακριτή (αν ναι, δίνουμε και το βήμα).



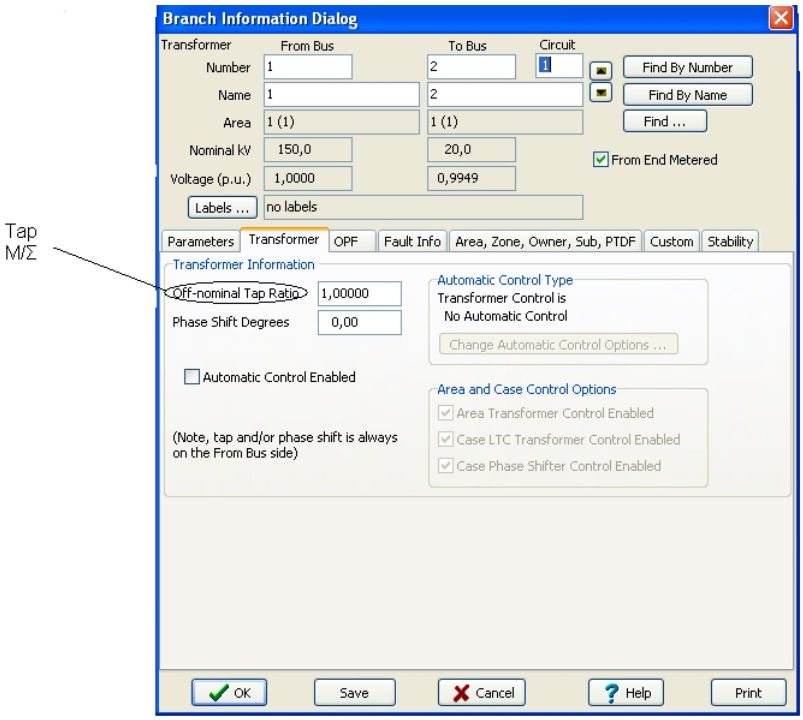
Σχήμα 4.20: Το δίκτυο μας μετά από την προσθήκη ενός πυκνωτή



Σχήμα 4.21: Τα στοιχεία της εγκάρσιας αντιστάθμισης

4.2.3.7 Σύστημα αλλαγής τάσης υπό φορτίο

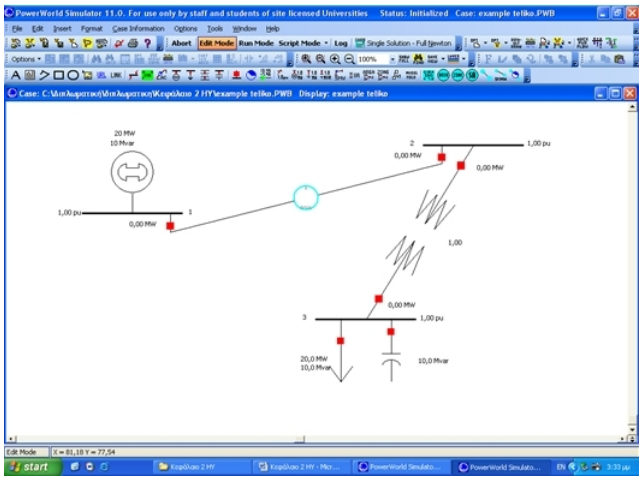
Σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας,χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές με σύστημα αλλαγής τάσης ώστε η τάση να διατηρείται σταθερή και μέσα στα επιτρεπτά όρια.Για την ρύθμιση των taps κάνουμε διπλό κλικ στο σύμβολο του Μ/Σ και στο πλαίσιο που γράφει " Off - nominal tap ratio " ορίζουμε την τιμή του.



Σχήμα 4.22: Σύστημα αλλαγής τάσης υπό φορτίο

4.2.3.8 Σύνοψη edit mode

Έχουμε περιγράψει τον τρόπο εισαγωγής των βασικών στοιχείων ενός ΣΗΕ. Σημειώνουμε παρακάτω συμπληρωματικά τρεις σημαντικές δυνατότητες του προγράμματος, που υπήρξαν ιδιαίτερα χρήσιμες κατά την προσομοίωση :Οι γεννήτριες, οι μετασχηματιστές, τα φορτία και τα εγκάρσια άεργα στοιχεία μπορούν να προσδεθούν στον εκάστοτε ζυγό στον οποίο συνδέονται. Αυτό μπορεί να γίνει σημειώνοντας την αντίστοιχη επιλογή στην καρτέλα δεδομένων του κάθε στοιχείου. Αν επιλεγχθεί η πρόσδεση (anchored), όταν προσπαθήσουμε να μετακινήσουμε το ζυγό ή το στοιχείο που έχει προσδεθεί πάνω στο ζυγό, θα μετακινούνται και τα δύο συγχρόνως. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η αντιστοίχηση της γραφικής αναπαράστασης με αυτήν των δεδομένων των πινάκων. Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη μετακίνηση των στοιχείων που είναι συνδεδεμένα στον ζυγό 2 όταν μετακινείται ο ζυγός.



Σχήμα 4.23: Η μεταφορά/μετατόπιση στο περιβάλλον εργασίας

Σε οποιοδήποτε στοιχείο του συστήματος έχουμε τη δυνατότητα να παρεμβάλλουμε διακόπτες. Ο ρόλος των διακοπτών είναι να αποσυνδέουν το στοιχείο ή τη γραμμή μεταφοράς, μετά από σφάλμα. Όταν οι διακόπτες έχουν κόκκινο χρώμα σημαίνει ότι είναι κλειστοί (η γραμμή ή το στοιχείο είναι συνδεδεμένα). Το πράσινο άδειο χρώμα του διακόπτη δηλώνει ότι ο διακόπτης είναι ανοικτός. Επίσης μπορεί ο χρήστης να αλλάζει την κατάσταση του διακόπτη καθώς το πρόγραμμα τρέχει, το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, καθώς φαίνονται αμέσως τα αποτελέσματα στο σύστημα εισαγωγής ή απομόνωσης στοιχείων, ή ακόμα και υπομονάδων του συστήματος.

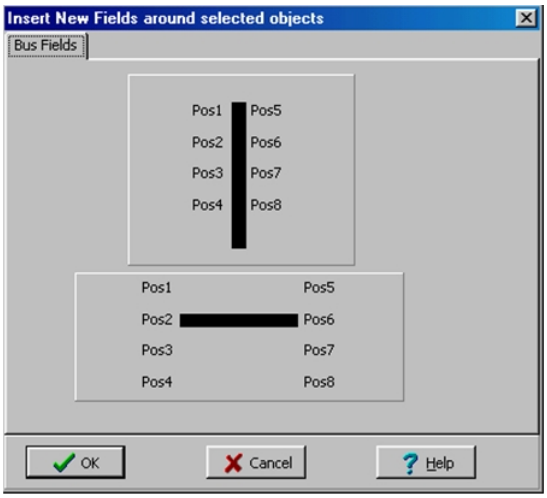
4.2.3.9 Προσθήκη πληροφοριών και κειμένων

Τέλος, σημειώνουμε ότι υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής κάποιων πεδίων πληροφοριών στο σχέδιό μας, ώστε να είναι ευκολότερη η εποπτεία του συστήματος. Έτσι, μπορούμε να εισάγουμε τίτλο, ή κάποιο μικρό κείμενο στο σχέδιο ($Insert \rightarrow Text$) και να το επεξεργαζόμαστε κανονικά (τύπος, μέγεθος, χρώμα γραμματοσειράς, φόντο κειμένου κλπ). Ακόμα, γύρω από τους ζυγούς, τα στοιχεία ή τις γραμμές μπορούμε να εισάγουμε όποια πεδία επιθυμούμε, τα οποία θα χρησιμεύσουν στον καλύτερο έλεγχο των αλλαγών που θα συμβαίνουν στο σύστημα.
Για να γίνει αυτό, κάνουμε δεξί κλικ στο στοιχείο, ζυγό, ή γραμμή που μας ενδιαφέρει, επιλέγουμε add new fields around element και το είδος της πληροφορίας που θέλουμε να εισάγουμε. Εδώ έχουν επιλεγχθεί τα εξής πεδία:

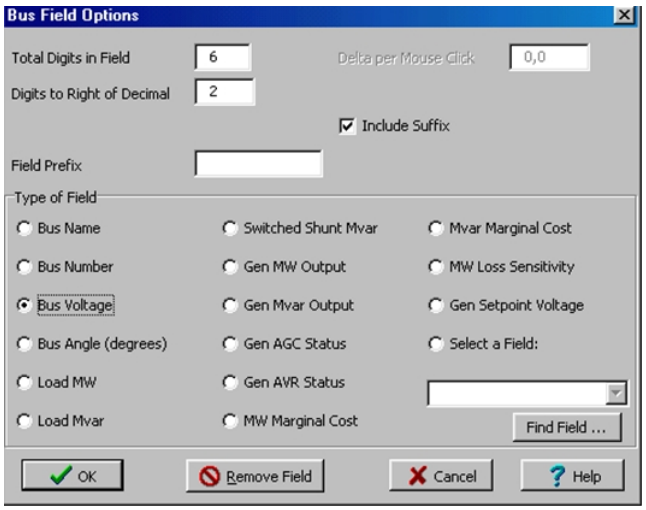
- οι τάσεις των ζυγών
- η ισχύς σε MW και σε Mvar των γεννητριών
- ο λόγος μετασχηματισμού των μετασχηματιστών
- η ισχύς σε MW και σε Mvar των φορτίων

- η παραγωγή αέργου ισχύος σε Mvar των πυκνωτών

Ταυτόχρονα, έχουν τοποθετηθεί διακόπτες σε όλες τις γραμμές μεταφοράς, τις γεννήτριες, τα φορτία, τους μετασχηματιστές, τους πυκνωτές και έχουν εισαχθεί σε όλα τα σημεία όπου βρίσκονται διακόπτες τα πεδία που δείχνουν τις ροές σε MW. Έστω, επιλέγοντας τον ζυγό B, με δεξί κλικ, επιλέγουμε:Add new fields .Στο παράθυρο διαλόγου Insert New Fields που εμφανίζεται, επιλέγουμε τη θέση του πεδίου, έστω Pos1 και πατάμε OK .



Σχήμα 4.24: Η εισαγωγή πληροφοριών γύρω από έναν ζυγό



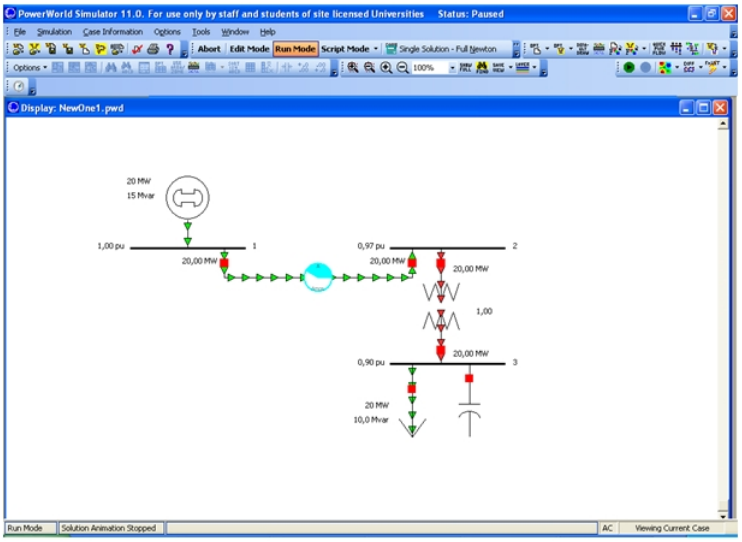
Σχήμα 4.25: Η δυνατότητα προσθήκης πληροφοριών γύρω από ζυγό γεννήτριας

Επιπλέον, μπορούμε να εισάγουμε κουμπιά ελέγχου για να μεταβάλλουμε βηματικά διάφορα μεγέθη του μοντέλου μας. Για παράδειγμα, έστω πως θέλουμε το πραγματικό φορτίο του δικτύου μας να είναι μεταβλητό. Επιλέγουμε το φορτίο και με δεξί κλικ επιλέγουμε Add new fields . Στο

παράθυρο Insert New Fields , επιλέγουμε τη θέση του πεδίου, έστω Pos3 και πατάμε OK . Στο παράθυρο Load Field Options επιλέγουμε Load MW , θέτουμε το πεδίο Delta per Mouse Click: 1,0 (MW) και πατάμε OK . Επιλέξτε το πεδίο Include Suffix για να εμφανίζονται και οι μονάδες του κάθε μεγέθους. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία θέτοντας στη θέση Pos4 το πεδίο Load Mvar με βήμα 1 Mvar και πατάμε OK. Εξερχόμαστε από το παράθυρο Insert New Fields , πατώντας ξανά OK .

4.2.4 Επίλυση του δικτύου run mode

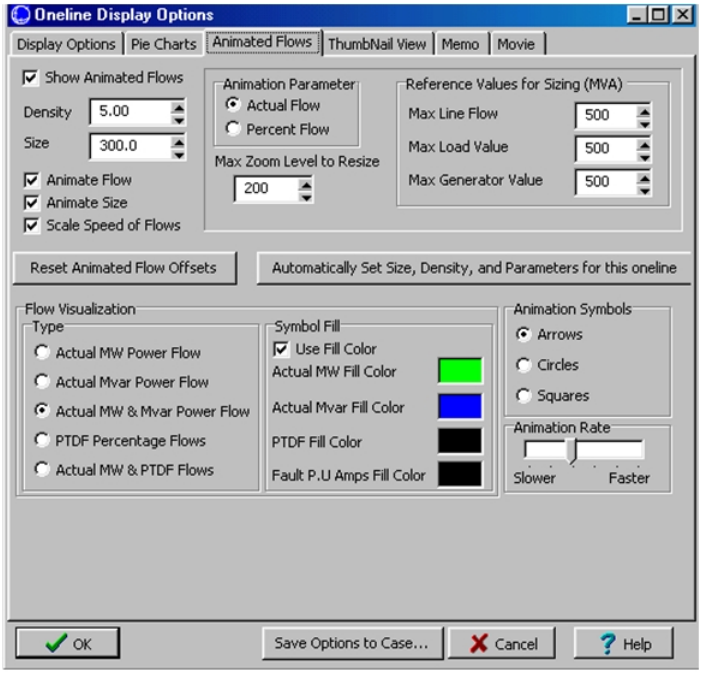
Περνάμε από τη λειτουργία edit mode στη λειτουργία run mode , και επιλέγουμε στο μενού *Simulation* → *Play* .Αν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στην προσομοίωση, το πρόγραμμα δεν θα τρέξει, θα εμφανιστεί παράθυρο που ενημερώνει ότι το σύστημα δεν μπορεί να τροφοδοτήσει πια το φορτίο, γεγονός που το πρόγραμμα ονομάζει blackout . Στη συνέχεια, θα πρέπει να ελεγχθεί ξανά η κατασκευή του συστήματος, τα δεδομένα κλπ. Αλλιώς, θα δούμε το πρόγραμμα να τρέχει, και μέσω των βοηθητικών πεδίων θα καταγραφούν τα πεδία που έχουμε επιλέξει (τάσεις, ισχείς). Ανοίγοντας και κλείνοντας τους διάφορους διακόπτες, ή αυξομειώνοντας τα φορτία ή τις ισχείς των γεννητριών, παρατηρούμε, ενώ το πρόγραμμα εξακολουθεί να τρέχει, τις αλλαγές που επισυμβαίνουν στο σύστημα, τις υπερφορτίσεις γραμμών κλπ. Σε περίπτωση συνεχόμενης υπερφόρτισης μιας γραμμής μπορεί να έχουμε απώλειά της. Στην περίπτωση απώλειας μιας γραμμής ή γεννήτριας, ή υπέρμετρης αύξησης του φορτίου, υπάρχει ενδεχόμενο να παρατηρηθεί διακοπή της λειτουργίας του συστήματος. Παρακάτω βλέπουμε πώς τρέχει το μικρό σύστημα το οποίο δημιουργήσαμε. Τα βέλη μας δείχνουν τη ροή ισχύος στο σύστημα, το pie chart δείχνει το ποσοστό της φόρτισης της γραμμής σε amperes , ενώ ο ζυγός 1 έχει καθοριστεί ως system slack bus .



Σχήμα 4.26: Απεικόνιση της ροής ισχύος

4.2.5 Απεικόνιση της ροής ισχύος

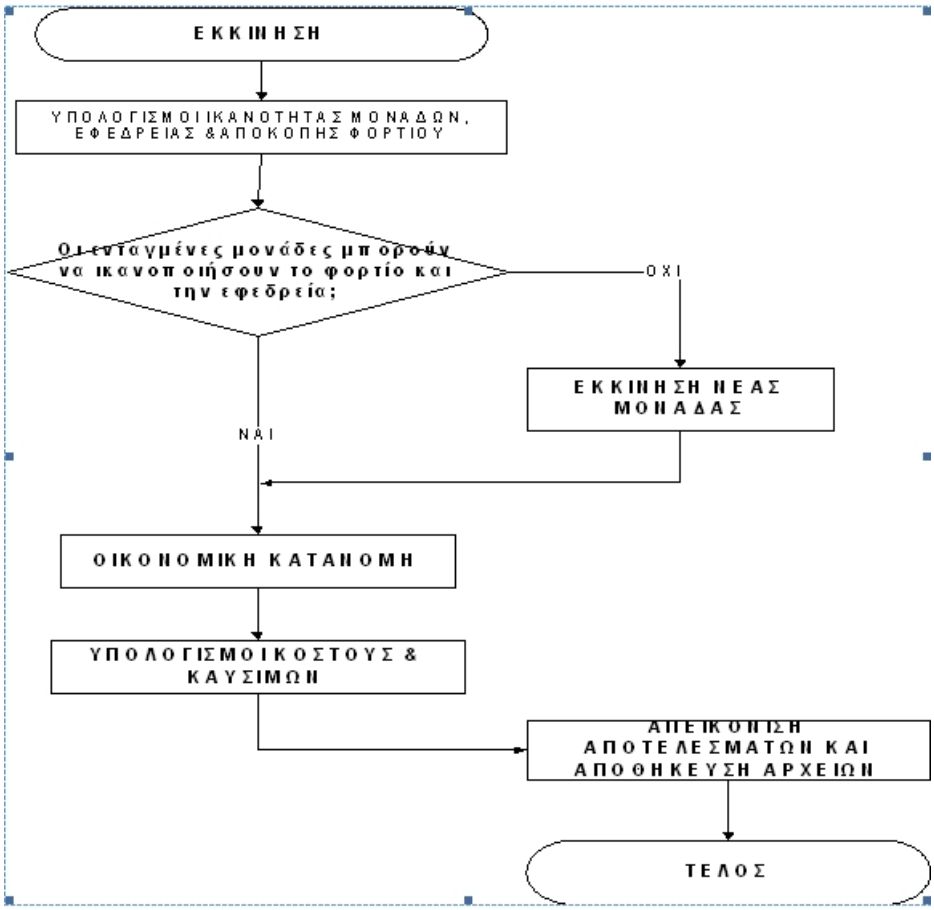
Αν η ροή της αέργου ισχύος δεν είναι εμφανής (με μπλε βέλη), κάνετε την κατάλληλη ρύθμιση από το Edit Mode επιλέγοντας από το βασικό μενού: $Options/Tools \rightarrow OnelineDisplay \rightarrow AnimatedFlows$. Στο παράθυρο διαλόγου (Oneline Display Options) που εμφανίζεται, κάνετε τις ακόλουθες ρυθμίσεις: Στο πεδίο Flow Visualization επιλέξτε Actual MW & MVar Power Flow . Επιλέξτε ακόμη τα πεδία $AnimationParameter \rightarrow ActualFlow$ και Animate Flow .



Σχήμα 4.27: Η δυνατότητα προσθήκης animation για να δούμε τη ροή ισχύος

4.3 Μεθοδολογία υπολογισμού εξοικονόμησης καυσίμου και οικονομικού οφέλους [17]

Αυτή η περίπτωση προσομοίωσης είναι περισσότερο αναγκαίο να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις υψηλής διείσδυσης παραγωγής από Διεσπαρμένη Παραγωγή. Σε μία τέτοια περίπτωση υπάρχει πολύ σημαντικό ενδεχόμενο κάποιες μονάδες του υπό εξέταση ΣΗΕ να μη χρειαστεί να εκκινήσουν καθόλου ή να μετατοπίσουν τη στιγμή της εκκίνησής τους, οπότε να αποφευχθούν οι ρύποι τους. Επίσης η επίδραση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής μπορεί να επηρεάσει όχι μόνο τις κρίσιμες ή τις μονάδες αιχμής αλλά και σε κάποιο βαθμό εκείνες του ενδιαμέσου φορτίου. Η φιλοσοφία μίας τέτοιας ανάλυσης απαιτεί να υπάρχει ανάλυση του υπό εξέταση συστήματος με και χωρίς τη σύνδεση της Διεσπαρμένης παραγωγής με αναλυτικά δεδομένα τόσο για την παραγωγή των μονάδων ΣΗΕ όσο και την παραγωγή, πραγματική ή εκτιμώμενη της Διεσπαρμένης παραγωγής. Αν πρόκειται για την αποτίμηση υπάρχουσας μονάδας ΔΠ σε ένα ΣΗΕ τότε θεωρούμε ότι οι ενταγμένες μονάδες τους συστήματος αυξάνουν την παραγωγή τους ώστε να ικανοποιήσουν την επιπλέον ζήτηση αλλά και το επιθυμητό επίπεδο εφεδρείας με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Αν η ζήτηση υπερέβαινε την ικανότητα των ενταγμένων μονάδων τότε γίνεται ένταξη της οικονομικότερης ή των οικονομικότερων από τις διαθέσιμες μη ενταγμένες μονάδες ώστε να ικανοποιείται η συνολική ζήτηση και το επιθυμητό επίπεδο εφεδρείας, λαμβάνοντας υπ΄ όψιν την έναυση και σβέση μονάδων. Στο σχήμα 4.28 συνοψίζεται η πορεία επίλυσης του παραπάνω προβλήματος.



Σχήμα 4.28: Ο εφαρμοζόμενος αλγόριθμος στην περίπτωση αναλυτικής διαθέσιμης χρονοσειράς παραγωγής μονάδων συστήματος.

Για τον εφαρμοζόμενο αλγόριθμο, επιλύεται το παρακάτω πρόβλημα ελαχιστοποίησης της $F(x,t)$,

$$F(x,t) = \sum_{t=1}^{T} \sum_{t=1}^{max_gen_num} f_i(x,t) \tag{4.66}$$

Όπου max_gen_num είναι ο αριθμός των συμβατικών μονάδων παραγωγής και T η χρονική περίοδος για τη βελτιστοποίηση. Η συνάρτηση κόστους για κάθε μία μονάδα θα δίνεται από την 4.67, η οποία λαμβάνει την προηγούμενη φόρτιση της μονάδας dpg(i,t) , τις παραμέτρους κόστους και το εάν η μονάδα έχει εκκινήσει ή όχι. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης αναζητά το διάνυσμα x(i,t) που αντιπροσωπεύει την απαιτούμενη πρόσθετη παραγωγή της κάθε μίας μονάδας για να ικανοποιηθεί η μεταβολή της φόρτισης λόγω της μείωσης της παραγωγής της εξεταζόμενης μονάδας ΔΠ.

$$f_i(x,t) = (cubcoeff_i(dpg(i,t) + x(i,t))^3 + sqcoeff_i(dpg(i,t) + x(i,t))^2 + \\ lincoeff_i(dpg(i,t) + x(i,t)) + constcoeff_i + start_up_i) * fuel_cost \quad (4.67)$$

Η λύση του προβλήματος της 4.68 πρέπει να είναι σύμφωνη με τους τεχνικούς περιορισμούς των μονάδων. Πιο συγκεκριμένα, η επιπλέον παραγωγή των μονάδων θα πρέπει να οδηγεί τις μονάδες σε λειτουργία εντός των ορίων τεχνικού μεγίστου Pg_i^{max} , 4.68 και τεχνικού ελαχίστου Pg_i^{min} 4.69. Επιπλέον η μεταβολή της φόρτισης των μονάδων μεταξύ δύο διαδοχικών διαστημάτων θα πρέπει να ικανοποιεί τους περιορισμούς μεταβολής-μείωσης,($down_rate_i$)4.70, ή αύξησης της φόρτισης, (up_rate_i) σε κάθε μία εξεταζόμενη μονάδα 4.71. Οι μονάδες που λειτουργούν μπορούν μόνο να αυξήσουν την παραγωγή τους και όχι να την μειώσουν, διότι ειδικές συνθήκες, όπως η ικανοποίηση κάποιου τοπικού φορτίου ή η παροχή βοηθητικών υπηρεσιών μπορεί να οδήγησε τους χειριστές σε αυτήν την φόρτιση των μονάδων που λειτουργούν. Συνάμα η επιπρόσθετη παραγωγή θα πρέπει να είναι σε θέση να μην παραβιάζει τους περιορισμούς στρεφόμενης εφεδρείας, όπως περιγράφεται στην 4.73 ενώ οι μονάδες θα πρέπει να ικανοποιούν το σύνολο της ζήτησης του συστήματος 4.74.

$$x(i,t) + dpg(i,t) \leq Pg_i^{max} \quad (4.68)$$

$$Pg_i^{min} \leq x(i,t) + dpg(i,t) \quad (4.69)$$

$$dpg(i,t) + x(i,t) - dpg(i,t-1) - x(i,t-1) \leq up_rate_i \quad (4.70)$$

$$dpg(i,t-1) + x(i,t-1) - dpg(i,t) - x(i,t) \leq down_rate_i \quad (4.71)$$

$$x(i,t) \geq 0 \quad (4.72)$$

$$\sum_{i \in \mathbb{N}} P_i^{max} - \sum_{i \in \mathbb{N}} (dpg(i,t) + x(i,t)) \geq Spin_reserve(t) \quad (4.73)$$

$$\sum_{i \in \mathbb{N}} (dpg(i,t) + x(i,t)) = Demand(t) \quad (4.74)$$

Σε περίπτωση κατά την οποία θα θέλαμε να μελετηθεί η επίπτωση ένταξης νέας μονάδας στο σύστημα τότε επιλύεται πάλι πρόβλημα ελαχιστοποίησης, αλλά στις εξισώσεις περιορισμών 4.66 - 4.71 και 4.73 - 4.74, αντικαθίσταται η μεταβλητή x(i,t) με την - x(i,t). Η παραπάνω μέθοδος μπορεί, εκτός από την εκτίμηση των ρύπων που αποφεύγονται είτε με τη βοήθεια του υπολογισμού των καυσίμων που αποφεύγονται είτε με χρήση ειδικής συνάρτηση ρύπων για κάθε μονάδα, να

συμβάλλει και στην εκτίμηση της οικονομικής συμβολής της υψηλής διείσδυσης της Διεσπαρμένης Παραγωγής στο υπό εξέταση σύστημα. Η συνάρτηση κόστους όπως αυτή περιγράφεται στην 4.66, μπορεί να μεταβληθεί ώστε να ζητείται η παραπάνω παραγωγή σε ένα σύστημα το οποίο επιθυμούμε να το λειτουργήσουμε ελαχιστοποιώντας τους ρύπους του συστήματος. Οι περιορισμοί που έχουν να κάνουν με την εύρυθμη λειτουργία των θερμικών μονάδων παραμένουν οι ίδιοι με εκείνους των εξισώσεων 4.68 έως 4.74. Η διαδικασία επίλυσης ενός τέτοιου προβλήματος γίνεται με τη χρήση ενός κατάλληλου εργαλείου για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης.

Κεφάλαιο 5

Εφαρμογή Μεθοδολογίας

5.1 Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας Κρήτης [9]

5.1.1 Εισαγωγή [10]

Το ΣΗΕ της Κρήτης είναι το μεγαλύτερο αυτόνομο σύστημα της χώρας μας. Η διασύνδεσή του με το Ηπειρωτικό σύστημα είναι τεχνικά πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί αφού η απόσταση από την ηπειρωτική χώρα είναι πάρα πολύ μεγάλη.Η διασύνδεση με AC είναι τεχνικώς ανέφικτη όχι μόνο λόγω της απόστασης αλλά κυρίως λόγω του μεγάλου βάθους της θαλάσσιας περιοχής που μεσολαβεί μέχρι τα Αντικύθηρα. Έτσι σαν εφικτή αλλά δύσκολα εφαρμόσιμη λύση μπορεί να θεωρηθεί η μεταφορά με HVDC , η οποία όμως απαιτεί καλώδιο μήκους 160km . Η διασύνδεση αυτή γίνεται ακόμη πιο δυσχερής λόγω του σχετικά ασθενούς δικτύου της Νότιας Πελοποννήσου.Το σύστημα της Κρήτης έχει τα εξής χαρακτηριστικά:
Το σύστημα παραγωγής περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής (συμβατικούς και ανανεώσιμους) ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τους υποσταθμούς ανυψώσεως της τάσης. Εν συνεχεία, το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών μεταφοράς υψηλής (150kV) ή υπερυψηλής (400kV) τάσης, τους υποσταθμούς ζεύξης και τους υποσταθμούς υποβιβασμού σε μέση τάση (15/20kV). Συνεπώς, μέσω του συστήματος μεταφοράς πραγματοποιείται η διάχυση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς παραγωγής στο φορτίο, ενώ το σύστημα διανομής περιλαμβάνει το λοιπό δίκτυο τροφοδοσίας της μέσης (15/20kV) και χαμηλής τάσης (380V) προς του τελικούς καταναλωτές.Μία απεικόνιση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης παρουσιάζεται στο σχήμα 5.1.

Σχήμα 5.1: Χάρτης ηλεκτρικού συστήματος Κρήτης

5.1.2 Συμβατικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας

Στους σταθμούς παραγωγής μετατρέπεται μια πρωτογενής μορφή ενέργειας σε ηλεκτρική. Οι σταθμοί παραγωγής αποτελούνται από πολλές μονάδες που λειτουργούν παράλληλα. Σε κάθε μονάδα υπάρχει ένα ζεύγος κινητήριας μηχανής γεννήτριας που μετατρέπει την πρωτογενή ενέργεια σε ηλεκτρική.

Στον τομέα της παραγωγής, τα αυτόνομα συστήματα χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα (πετρέλαιο), τα οποία πλην ελαχίστων εξαιρέσεων, εισάγουν με αποτέλεσμα επιπλέον οικονομική επιβάρυνση της λειτουργίας τους. Στην περίπτωση των ελληνικών αυτόνομων συστημάτων η πλειονότητα των εγκατεστημένων συμβατικών μονάδων είναι πετρελαϊκές. Το γεγονός αυτό είναι αποτέλεσμα της έλλειψης ορυκτών καυσίμων στα συγκεκριμένα συστήματα, σε αντίθεση με το ηπειρωτικό διασυνδεδεμένο σύστημα, όπου το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγωγής ισχύος καλύπτεται από την καύση εγχώριου λιγνίτη. Η σημαντικά υψηλή τιμή εισαγωγής έχει ως άμεσο αποτέλεσμα το αυξημένο κόστος λειτουργίας τους.

Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες ανάλογα με την αποστολή τους:

- τους σταθμούς βάσης
- τους σταθμούς αιχμής

Οι σταθμοί βάσης λειτουργούν συνήθως για μεγάλα χρονικά διαστήματα και καλύπτουν τις βασικές ανάγκες της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ οι σταθμοί αιχμής λειτουργούν σε ώρες μεγάλης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Το ηλεκτρικό σύστημα της Κρήτης αποτελείται από τρεις κύριους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν για την λειτουργία τους συμβατικά καύσιμα:

- τον σταθμό παραγωγής που βρίσκεται στο νομό Ηρακλείου και συγκεκριμένα στην περιοχή Λινοπεράματα.Ο σταθμός περιλαμβάνει έξι ατμοστρόβιλους,τέσσερις μηχανές Diesel και πέντε αεριοστρόβιλους.Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στον σταθμό παραγωγής είναι περίπου 265 MW .

- τον σταθμό παραγωγής που βρίσκεται στο νομό Χανίων και συγκεκριμένα στην περιοχή Ξυλοκαμάρα.Ο σταθμός περιλαμβάνει έξι αεριοστρόβιλους και μια μονάδα συνδυασμένου κύκλου.Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στον σταθμό παραγωγής είναι περίπου 348 MW .

- τον σταθμό παραγωγής που βρίσκεται στο νομό Λασιθίου και συγκεκριμένα στην περιοχή Αθερινόλακκος.Ο σταθμός περιλαμβάνει δυο μηχανές Diesel και δυο ατμοστρόβιλους και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στον σταθμό παραγωγής είναι περίπου 190 MW .

Στον πίνακα 5.1 αναγράφονται η ονομαστική ισχύς,η καθαρή ισχύς, η ισχύς θέρους και το τεχνικό ελάχιστο ανά μονάδα καθώς και τον τύπο καυσίμου που καταναλώνει η κάθε μονάδα.

5.1.3 Υποσταθμοί

Οι υποσταθμοί είναι εγκαταστάσεις οι οποίες έχουν σκοπό την μεταβολή της τάσης του ηλεκτρικού ρεύματος. Αύξηση γίνεται για να μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις και να έχουμε μικρές απώλειες και μείωση για να επιτύχουμε την επιθυμητή τάση στα φορτία κατανάλωσης. Αυτό γίνεται με τη χρήση μετασχηματιστή.
Με τη χρήση του μετασχηματιστή εξυπηρετείται κυρίως η μεταφορά και η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από σύγχρονες γεννήτριες γίνεται σε επίπεδα τάσης 15 kV-20 kV. Επίσης, η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε διαφορετικό επίπεδο τάσης (σε υψηλή τάση 150 kV , ή υπερύψηλη τάση 400 kV , 750 kV) και με αυτό τον τρόπο μειώνονται οι απώλειες θερμότητας κατά την μεταφορά της. Τέλος, η χρησιμοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στο ποιο κατάλληλο επίπεδο για κάθε καταναλωτική συσκευή. (χαμηλή τάση 220 V στην Ευρώπη, ή 120 V στην Αμερική). Υπάρχουν περιπτώσεις όπου απαιτούνται χαμηλότερες τάσεις από τα 220 V του δικτύου, όπως σε ηλεκτρονικές συσκευές, ηλεκτρονικούς υπολογιστές και μικρές ηλεκτρικές συσκευές. Σε όλες τις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές. Οι μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται στις παρά πάνω εφαρμογές έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας: η ίδια ποσότητα ηλεκτρικής ισχύος p1 που εισέρχεται στον μετασχηματιστή εξέρχεται από αυτόν p2 , όμως με αλλαγμένο το επίπεδο της τάσης (αρχή διατήρησης της ισχύος). Ο πίνακας 5.2 [13] περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά των υποσταθμών του συστήματος της Κρήτης.

Σταθμός παραγωγής	Ονομαστική ισχύς(MW)	Καθαρή ισχύς(MW)	Ισχύς θέρους(MW)	Τεχνικό ελάχιστο(MW)	Καύσιμο
ΑΤΜ 1 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	6	6	6	4	Μαζούτ
ΑΤΜ 2 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	14	14	13	8	Μαζούτ
ΑΤΜ 3 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	14	14	13	8	Μαζούτ
ΑΤΜ 4 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	24	24	23	18	Μαζούτ
ΑΤΜ 5 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	24	24	23	18	Μαζούτ
ΑΤΜ 6 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	24	24	23	18	Μαζούτ
DIESEL 1 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	11	11	11	3	Μαζούτ
DIESEL 2 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	11	11	11	3	Μαζούτ
DIESEL 3 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	11	11	11	6	Μαζούτ
DIESEL 4 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	11	11	11	3	Μαζούτ
ΑΕΡ 1 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	15	15	13	3	Diesel
ΑΕΡ 2 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	15	15	13	3	Diesel
ΑΕΡ 3 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	43	43	41	5	Diesel
ΑΕΡ 4 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	14	14	13	3	Diesel
ΑΕΡ 5 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	28	28	25	5	Diesel
ΑΕΡ 1 ΧΑΝΙΩΝ	16	14	11	3	Diesel
ΑΕΡ 4 ΧΑΝΙΩΝ	24	20	19	3	Diesel
ΑΕΡ 5 ΧΑΝΙΩΝ	30	28	27	5	Diesel
ΑΕΡ 11 ΧΑΝΙΩΝ	59	58	54	10	Diesel
ΑΕΡ 12 ΧΑΝΙΩΝ	59	58	54	10	Diesel
ΑΕΡ 13 ΧΑΝΙΩΝ	28	28	25	5	Diesel
ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΣ ΚΥΚΛΟΣ	132	126	112	35	Diesel
DIESEL 1 ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΥ	51	50	50	35	Μαζούτ
DIESEL 2 ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΥ	51	50	50	25	Μαζούτ
ΑΤΜ 1 ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΥ	44	43	44	22	Μαζούτ
ΑΤΜ 2 ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΥ	44	43	44	22	Μαζούτ

Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά μονάδων παραγωγής του συστήματος της Κρήτης

Υποσταθμός	Εγκατεστημένη Ισχύς (MVA)	Επίπεδο τάσης (kV/kV)
Σητεία	2x12.5+1x50	150kV/20kV
Μαρωνιά	1x50	20kV/150kV
Ιεράπετρα	2x25	150kV/20kV
Άγιος Νικόλαος	2x25	150kV/20kV
Σταλίδα	2x25	150kV/20kV
Πραιτώρια	2x25	150kV/20kV
Μοίρες	2x25	150kV/20kV
ΗΡΑ Ι(υπό αναβάθμιση)	2x25	66kV/20kV
ΗΡΑ ΙΙ	3x50	150kV/20kV
ΗΡΑ ΙΙΙ	2x50	150kV/20kV
Λινοπεράματα	1x25	150kV/20kV
Ρέθυμνο	2x25+1x50	150kV/20kV
Χανιά	3x50	150kV/20kV
Αγιά	2x50	150kV/20kV
Βρύσες	2x25	150kV/20kV
Αγία Βαρβάρα	1x25	20kV/150kV
Καστέλι	2x25	150kV/20kV

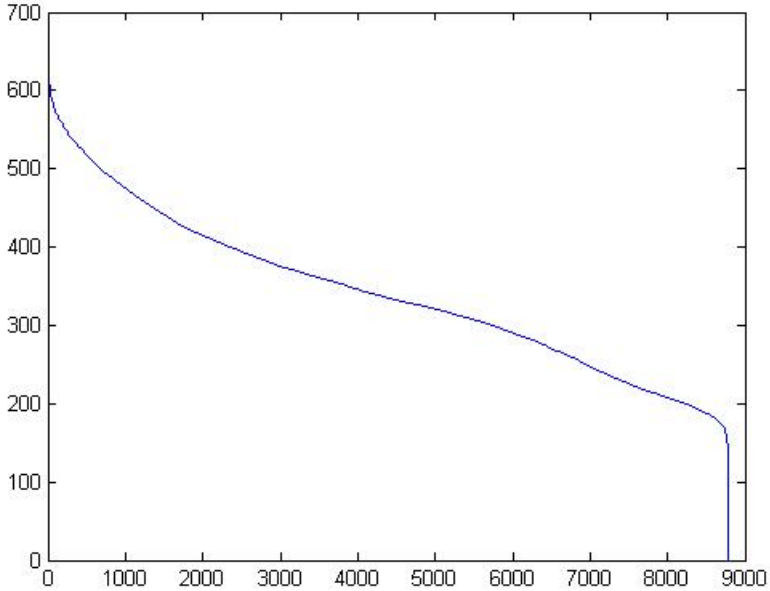
Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά υποσταθμών του συστήματος της Κρήτης

5.1.4 Γραμμές Μεταφοράς

Το δίκτυο μεταφοράς είναι από τα σημαντικότερα κομμάτια του ηλεκτρικού συστήματος .Το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη, το οποίο είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση των υφιστάμενων σταθμών παραγωγής (συμβατικών και μη) με τα αστικά κέντρα, τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και τις λοιπές καταναλώσεις, αποτελείται από γραμμές μεταφοράς υπερυψηλής και υψηλής τάσης (400kV και 150kV αντίστοιχα). Εν συνεχεία, το σύστημα διανομής είναι υπεύθυνο για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τους υποσταθμούς υποβιβασμού (από 400/150kV σε 20/6,6kV) στους τελικούς καταναλωτές, μέσω γραμμών μέσης και χαμηλής τάσης (20/6,6kV και 380V αντίστοιχα) .

5.1.5 Δεδομένα ζήτησης φορτίου

Η συνολική ζήτηση φορτίου για το έτος 2008 ήταν 3.01 TWh με την αιχμή να παρουσιάζεται την 9η μέρα του μήνα Ιουλίου. Στο σχήμα 5.2 απεικονίζεται η καμπύλη διάρκειας φορτίου της Κρήτης.



Σχήμα 5.2: Καμπύλη διάρκειας φορτίου της Κρήτης

5.1.6 Στοιχεία για τις μονάδες ΑΠΕ

Οι μονάδες ΑΠΕ που είναι εγκατεστημένες στο ΣΗΕ Κρήτης παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα 5.3.

Αιολικά(MW)	Μικρά Υδροηλεκτρικά(MW)	ΒιοαέριοΒιομάζα(MW)	Φ/Β(MW)	Σύνολο(MW)
166.59	0.6	0.4	36.3	203.89

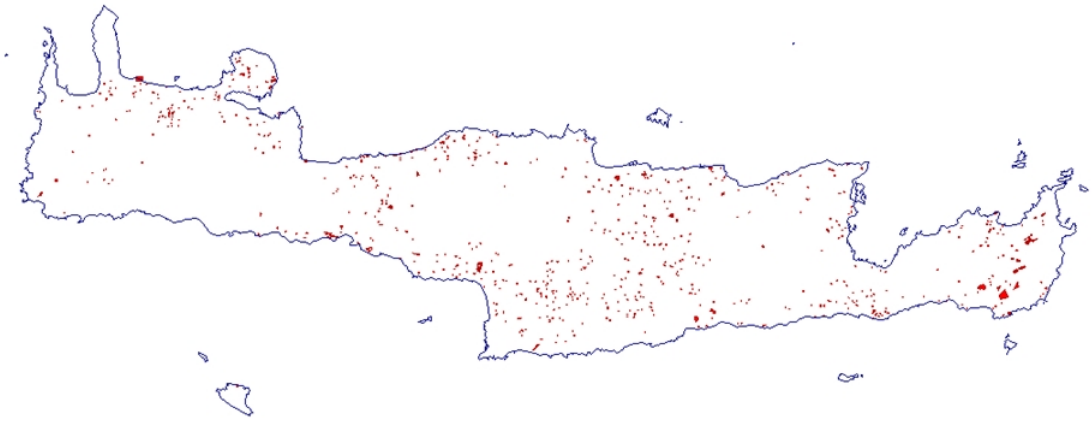
Πίνακας 5.3: Σύνοψη μονάδων ΑΠΕ στο ΣΗΕ Κρήτης

5.1.7 Φωτοβολταϊκά

Το σύνολο των αδειοδοτημένων έργων με το παρόν θεσμικό πλαίσιο (κυρίως τον Ν.3468/2006) από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας παρατίθενται ανά νομό στον πίνακα 5.4 και απεικονίζονται στο σχήμα 5.3, τα οποία πραγματοποιούνται ή/και θα πραγματοποιηθούν.

Νομός	Αριθμός Πάρκων	Αδειοδοτημένη Ισχύς (MW)
Λασιθίου	262	19,9
Ηρακλείου	501	35,91
Ρεθύμνου	241	18,26
Χανίων	200	14,75
Σύνολο	1204	88,82

Πίνακας 5.4: Αδειοδοτημένη ισχύς Φ/Β στην Κρήτη ανά νομό



Σχήμα 5.3: Χωροθέτηση αδειοδοτημένων Φ/Β συστημάτων

Σύμφωνα με το πληροφοριακό δελτίο της ΔΕΗ για το μήνα Μάρτιο του 2011,τα φωτοβολταϊκά της Κρήτης παρήγαγαν κατά το έτος 2010 3877.4 MWh ενώ για το ίδιο έτος η συνεισφορά των φωτοβολταϊκών της Κρήτης στην ηλεκτροπαραγωγή αντιστοιχεί σε ποσοστό 1.79 %.

Στους πίνακες 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 αναγράφεται η κατανομή των προς εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ανά δήμο του νομού Χανίων,Ρεθύμνου,Ηρακλείου και Λασιθίου αντίστοιχα.

Δήμος	Αδειοδοτημένη Ισχύς(kW)
ΣΦΑΚΙΑ	1840
ΠΕΛΕΚΑΝΟΥ	180
ΣΕΛΙΝΟΥ	260
ΜΟΥΣΩΡΩΝ	1974
ΓΕΩΡΓΙΟΥΠΟΛΗ	260
ΚΡΥΟΝΕΡΙΔΑΣ	420
ΑΣΗ ΓΩΝΙΑ	0
ΙΝΝΑΧΩΡΙΟυ	80
ΚΑΝΔΑΝΟΣ	367,3
ΑΚΡΩΤΗΡΙ	2639,3
ΧΑΝΙΑ	439,6
Ν.ΚΥΔΩΝΙΑ	320
ΚΟΛΥΜΠΑΡΙ	1306,28
ΚΙΣΣΑΜΟΣ	499,5
ΕΛ.ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ	239,6
ΠΛΑΤΑΝΙΑΣ	839,9
ΒΟΥΚΟΛΙΕΣ	310
ΒΑΜΟΣ	690
ΑΡΜΕΝΩΝ	280
ΦΡΕ	240
ΣΟΥΔΑ	0
ΜΗΘΥΜΝΑ	320

Πίνακας 5.5: Κατανομή αδειοδοτημένων Φ/Β ανά δήμο του νομού Χανίων

Δήμος	Αδειοδοτημένη Ισχύς(kW)
ΦΟΙΝΙΚΑ(ΠΛΑΚΙΑΣ)	2739
ΛΑΜΠΗΣ	4240
ΣΥΒΡΙΤΟΣ	660
ΚΟΥΡΗΤΩΝ	2320
ΡΕΘΥΜΝΟ	1863,49
ΚΟΥΛΟΥΚΩΝΑΣ	480
ΑΝΩΓΕΙΑ	20
ΑΡΚΑΔΙΟΥ	1702,89
ΛΑΠΠΑΙΩν	80
ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΣ	2349,28
ΝΙΚ.ΦΩΚΑ	1480

Πίνακας 5.6: Κατανομή αδειοδοτημένων Φ/Β ανά δήμο του νομού Ρεθύμνου

Δήμος	Αδειοδοτημένη Ισχύς(kW)
ΓΟΡΤΥΝΑ	4099,98
ΚΟΦΙΝΑΣ	1099,73
ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΑ	3299,35
ΒΙΑΝΝΟΣ	906
ΑΡΚΑΛΟΧΩΡΙ	5841,55
ΜΟΙΡΕΣ	3689,4
ΤΥΜΠΑΚΙ	3277,35
ΚΑΣΤΕΛΛΙ	320
ΘΡΑΨΑΝΟ	960
Ν.ΚΑΖΑΝΤΖΑΚΗΣ	1935,92
ΤΕΜΕΝΟΣ	840
ΑΓ.ΒΑΡΒΑΡΑ	953
ΖΑΡΟΣ	1120
ΡΟΥΒΑΣ	160
ΤΕΤΡΑΧΩΡΙ	20
ΓΟΡΓΟΛΑΪΝΗ	0
ΑΡΧΑΝΕΣ	239,92
ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ	260
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	1782,36
ΑΛΙΚΑΡΝΑΣΟΣ	943,48
ΕΠΙΣΚΟΠΗ	487
ΧΕΡΣΟΝΗΣΣΟΣ	1079,35
ΓΟΥΒΕΣ	1186,64
ΜΑΛΙΑ	260
ΤΥΛΙΣΣΟΣ	160
ΓΑΖΙ	420

Πίνακας 5.7: Κατανομή αδειοδοτημένων Φ/Β ανά δήμο του νομού Ηρακλείου

Δήμος	Αδειοδοτημένη Ισχύς(kW)
ΣΗΤΕΙΑ	5716,53
ΙΤΑΝΟΣ	1360
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	5112,1
ΛΕΥΚΗΣ	880
ΜΑΚΡΥ ΓΥΑΛΟΣ	570
ΟΡΟΠΕΔΙΟ	372
ΒΡΑΧΑΣΙ	610
ΝΕΑΠΟΛΗ	1105,34
ΑΓ.ΝΙΚΟΛΑΟΣ	2536,99

Πίνακας 5.8: Κατανομή αδειοδοτημένων Φ/Β ανά δήμο του νομού Λασιθίου

Η τωρινή εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών ανά νομό της Κρήτης αναγράφεται στον πίνακα 5.9.

Νομός	Εγκατεστημένη Ισχύς(MW)
Χανίων	4,882
Ρεθύμνου	7,561
Ηρακλείου	14,744
Λασιθίου	10,346

Πίνακας 5.9: Εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β ανά νομό Κρήτης

Σύμφωνα με τα μηνιαία πληροφοριακά δελτία που δημοσιεύει η ΔΕΗ [12] η ετήσια παραγωγή των Φ/Β της Κρήτης αντιστοιχεί σε 22.32 MWh περίπου.

5.1.8 Αιολικά πάρκα

Η εγκατεστημένη ισχύς αιολικών πάρκων στο νησί της Κρήτης αντιστοιχεί σε 166.59 MW .Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάρκα για το έτος 2010 είναι 34039.76 MWh και η συνεισφορά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην ικανοποίηση της ζήτησης για το ίδιο έτος αντιστοιχεί σε ποσοστό 15.71 % περίπου.Μια απεικόνιση της διασύνδεσης των αιολικών πάρκων με το δίκτυο,απεικονίζεται στο σχήμα 5.4 όπου εμφανίζονται τα αιολικά πάρκα στο νομό Λασιθίου.

Σχήμα 5.4: Δίκτυο μεταφοράς Ν.Λασιθίου και συνδέσεις Υ/Σ Ιεράπετρας

Η εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών πάρκων στο Ν.Λασιθίου είναι περίπου 86.4 MW ,παρ 'ολα αυτά στην Ιεράπετρα δεν έχει συνδεθεί κανένα.

5.1.9 Λοιπές Μονάδες ΑΠΕ

Αναφορικά με τους Μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς, αυτοί βρίσκονται στο Ν. Χανίων Αλμυρός και Αγυιά με 300kW εγκατεστημένη ισχύ έκαστος ήδη από την εποχή προ της ΔΕΗ. Η συνεισφορά τους είναι της τάξης της 1GWh το έτος. Επίσης οι δύο μονάδες βιομάζας βρίσκονται στους Βιολογικούς καθαρισμούς Χανίων και Ηρακλείου αντίστοιχα συνεισφέροντας σημαντικά στην ικανοποίηση των εσωτερικών καταναλώσεων των μονάδων αυτών.

5.2 Ιεράπετρα

Ο υποσταθμός της Ιεράπετρας εξυπηρετεί το νότιο μέρος του Νομού Λασιθίου. Εκτος από την πόλη, τροφοδοτεί ανατολικά και δυτικά τα παράλια του Νομού Λασιθίου και προς βορρά μέχρι την Παχιά Άμμο. Ο μόνιμος πληθυσμός που εξυπηρετεί είναι περίπου 30.000 με σημαντικό αριθμό αγροτικών εκμεταλλεύσεων και σημαντική τουριστική κίνηση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

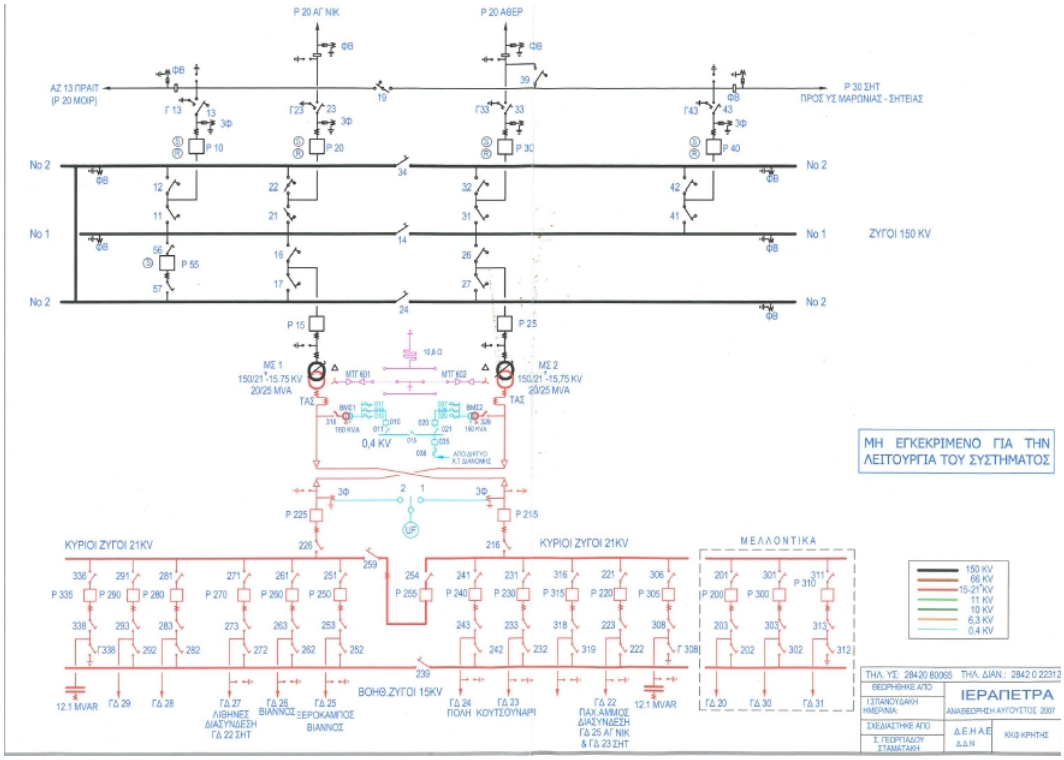
5.2.1 Δίκτυο της Ιεράπετρας

5.2.1.1 Εισαγωγή

Το δίκτυο της Ιεράπετρας αποτελείται από τον υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ,τις γραμμές μεταφοράς,τα διάφορα φορτία και τους μετασχηματιστές υποβιβασμού ΜΤ/ΧΤ που χρησιμοποιούνται για την μετατροπή της τάσης στα 380 V/ 220 V καθώς τα περισσότερα φορτία είναι φορτία που λειτουργούν σε αυτή την τάση.Επειδή η παρούσα διπλωματική εργασία σχετίζεται με δίκτυο ΥΤ/ΜΤ,δεν γίνεται αναφορά σε μετασχηματιστές ΜΤ/ΧΤ.

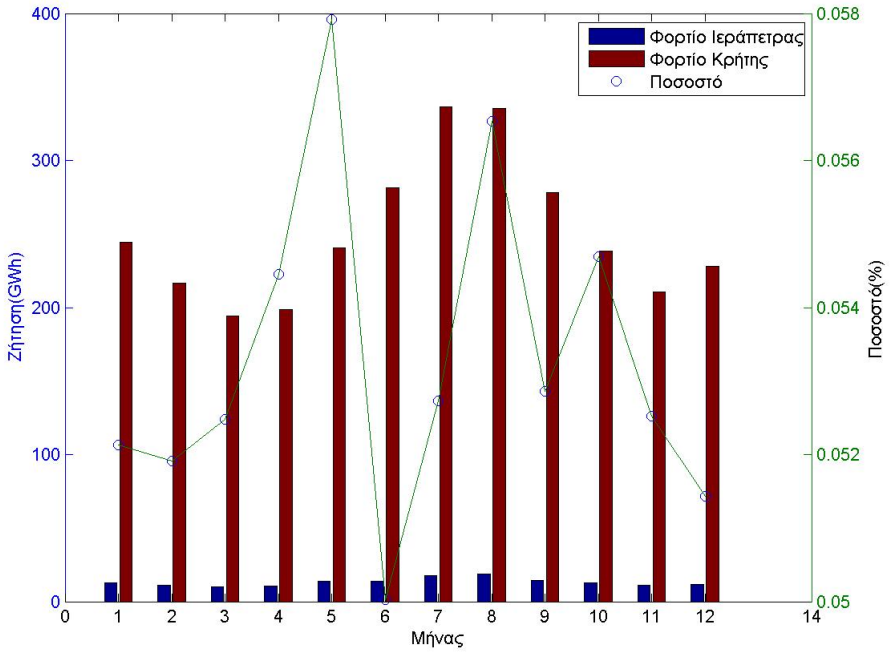
5.2.1.2 Υποσταθμός ΥΤ/ΜΤ

Ο υποσταθμός της Ιεράπετρας διαθέτει 2 μετασχηματιστές 150/20 kV ισχύος 20/25 MVA .Οι μετασχηματιστές αυτοί τροφοδοτούν 6 γραμμές μέσης τάσης.Στον υποσταθμό υπάρχουν διακόπτες για περιπτώσεις εφεδρείας και συντήρησης.Ένας περιορισμός του συντελεστή ισχύος του υποσταθμού είναι ότι η ελάχιστη τιμή του είναι 0.98 .Στον υποσταθμό υπάρχουν πυκνωτές αντιστάθμισης που χρησιμεύουν στη διατήρηση του συντελεστή ισχύος στα επιτρεπτά όρια.Στην εικόνα 5.5 απεικονίζεται το μονογραμμικό διάγραμμα του υποσταθμού ΥΤ/ΜΤ της Ιεράπετρας.



Σχήμα 5.5: Μονογραμμικό διάγραμμα του υποσταθμού ΥΤ/ΜΤ της Ιεράπετρας

Η ετήσια ζήτηση του υποσταθμού της Ιεράπετρας αντιστοιχεί σε 160.28 GWh ενώ η ετήσια ζήτηση του φορτίου της Κρήτης αντιστοιχεί σε 3003 GWh .Στο σχήμα 5.6 εμφανίζεται η μηνιαία ζήτηση της Ιεράπετρας και της Κρήτης καθώς και το ποσοστό της ζήτησης της Ιεράπετρας σε σχέση με το φορτίο της Κρήτης. Η μέγιστη ωριαία ζήτηση του υποσταθμού της Ιεράπετρας αντιστοιχεί σε 35.397 MW ,ενώ την ίδια ώρα η ζήτηση του φορτίου της Κρήτης είναι 636.6 MW , δηλαδή η ζήτηση του υποσταθμού αντιστοιχεί στο 5.56 % της ζήτησης του φορτίου της Κρήτης εκείνη την ώρα.Ο συντελεστής φορτίου (load factor) του υποσταθμού είναι 0.515 και η ελάχιστη ωριαία ζήτηση αντιστοιχεί σε 7.83 MW .



Σχήμα 5.6: Μηνιαία ζήτηση στην Ιεράπετρα και ποσοστό αντιστοίχισης φορτίου Ιεράπετρας και φορτίου Κρήτης

5.2.1.3 Γραμμές Διανομής

5.2.1.4 Γενικά

Οι αγωγοί που χρησιμοποιούνται στα εναέρια δίκτυα μέσης τάσης είναι χωρίς μόνωση και κατασκευάζονται από χαλκό, αλουμίνιο ή αλουμίνιο-χάλυβα (ACSR). Σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται αγωγοί από άλλα υλικά και κράμματα π.χ. από γαλβανισμένο χάλυβα, φωσφορούχο ορείχαλκο κ.λ.π. Οι αγωγοί χαλκού και αλουμινίου, αποτελούνται από κλώνους της ίδιας διατομής. Γύρω από ένα κεντρικό αγωγό περιελίσσονται οι υπόλοιποι σε στρώσεις και οι αγωγοί παίρνουν τη μορφή των συρματόσχοινων. Οι αριθμοί των κλώνων είναι 7,19,37,61 κλπ. Ο χαλκός έχει μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα και καλή μηχανική αντοχή ενώ παράλληλα δεν διαβρώνεται εύκολα και γι' αυτό χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά σε δίκτυα που είναι κοντά στη θάλασσα. Το αλουμίνιο από την άλλη είναι τρεις φορές ελαφρύτερο από τον χαλκό και είναι πιο φθηνό. Όμως έχει το 1/2 της μηχανικής αντοχής και το 60% περίπου της αγωγιμότητας του χαλκού. Τα μειονεκτήματα των αγωγών αλουμινίου αντιμετωπίζονται με επιτυχία με τους αγωγούς αλουμινίου-χάλυβα (ACSR). Αυτοί έχουν ψυχή από κλώνους με γαλβανισμένο χάλυβα. Ο χάλυβας αναλαμβάνει τη μηχανική αντοχή και το αλουμίνιο το μεγαλύτερο μέρος της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος ενώ παράλληλα είναι πιο φθηνοί από τους αγωγούς χαλκού.

Οι αγωγοί ACSR έχουν περίπου 50% μεγαλύτερη αντοχή από τους αγωγούς χαλκού και είναι 20% ελαφρύτεροι για ισοδύναμη διατομή με το χαλκό.Οι κλώνοι αλουμινίου των αγωγών αλουμινίου και των αγωγών τύπου ACSR σχηματίζουν υπό την επίδραση του ατμοσφαιρικού αέρα οξείδιο αλουμινίου, που του προστατεύει από την διάβρωση. Είναι γνωστό ότι οι καθαλατώσεις προκαλούν αλλοιώσεις στους κλώνους αλουμινίου γιατί σχηματίζουν χλωρίδια του αλουμινίου τα οποία εξατμίζονται, ενώ το οξείδιο του αλουμινίου δεν καταστρέφεται αλλά παραμερίζεται στις θέσεις εξάτμισης. Πρόβλημα διάβρωσης του αλουμινίου υπάρχει ακόμα και υπό την επίδραση της ηλεκτρικής τάσης που ονομάζεται ηλεκτρική διάβρωση και η οποία γίνεται μεγαλύτερη όσο αυξάνει η θερμοκρασία , καθώς έτσι εννοούνται οι κινήσεις των ηλεκτρικών φορέων. Μια φυσικής ερμηνεία της ηλεκτρικής διάβρωσης μπορεί να αποδοθεί στις ξένες επικαθήσεις επί των αγωγών, οι οποίες προκαλούν κατανομή του πεδίου στην επιφάνεια, με επακόλουθο την ενεργοποίηση μηχανισμών παραγωγής ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων.

5.2.1.5 Στοιχεία γραμμών δικτύου Ιεράπετρας

Χαρακτηριστικά των γραμμών διανομής είναι η ωμική (R) και η επαγωγική αντίσταση (X).Στον πίνακα 5.10 απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά γραμμών διανομής της Ιεράπετρας.

Αγωγοί	R (Ω/km)	X (Ω/km)
35 ACSR	0,576	0,397
95 ACSR	0,220	0,370
185 AAAC	0,204	0,337
35 Cu	0,596	0,393
95 Cu	0,220	0,358

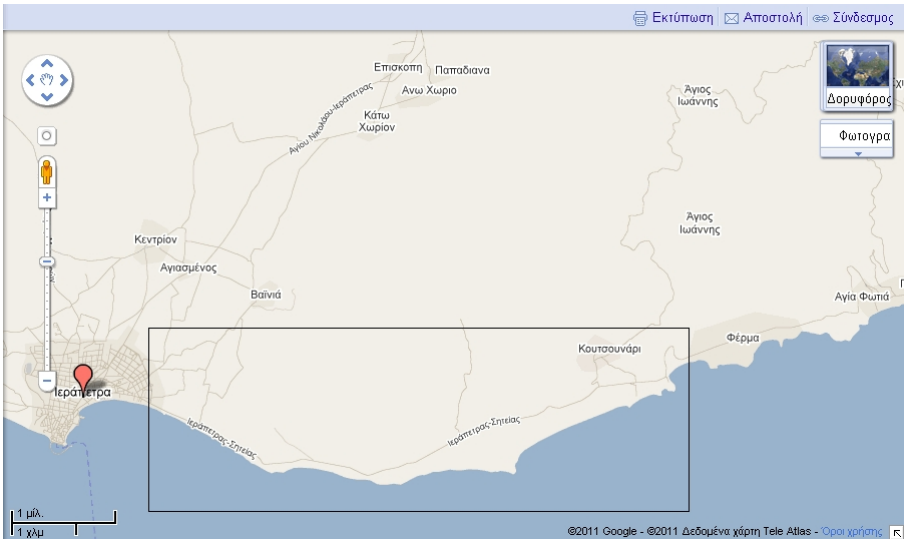
Πίνακας 5.10: Χαρακτηριστικά τύπων γραμμών διανομής της Ιεράπετρας

Οι κύριες γραμμές που αναχωρούν απο τον υποσταθμό αντιστοιχούν στις γραμμές 22,23,24,25,26 και 27.

- Η γραμμή διανομής ΓΔ 22 εξυπηρετεί καταναλωτές στις περιοχές της Βαϊνιάς,του Κάτω Χωριού,της Βασιλικής,του Καββουσίου και της Παχιάς Άμμου.Το κύριο κομμάτι της γραμμής είναι τύπου 3x185 AAAC.

Σχήμα 5.7: Περιοχές που τροφοδοτούνται από τη γραμμή διανομής ΓΔ 22

- Η γραμμή διανομής ΓΔ 23 εξυπηρετεί τον Περιστερά και το Κουτσουνάρι.Η γραμμή 23 είναι τύπου 3x95 Cu.



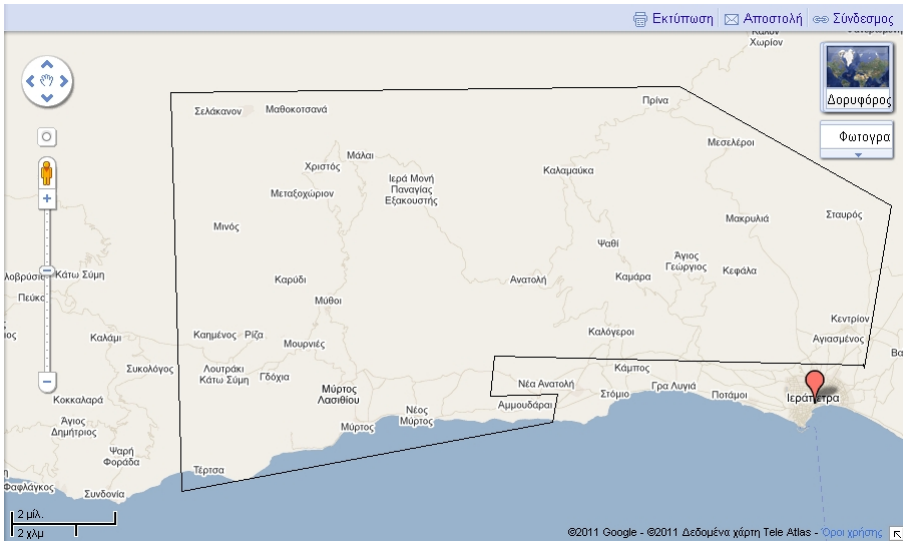
Σχήμα 5.8: Περιοχές που τροφοδοτούνται από τη γραμμή διανομής ΓΔ 23

- Η γραμμή διανομής ΓΔ 24 είναι η γραμμή που τροφοδοτεί την πόλη της Ιεράπετρας και είναι τύπου 3x95 Cu.

- Η γραμμή διανομής ΓΔ 25 τροφοδοτεί τις περιοχές της Γρα Λυγιάς,του Στόμιου και του Ξηροκάμπου και είναι τύπου 3x95 Cu.

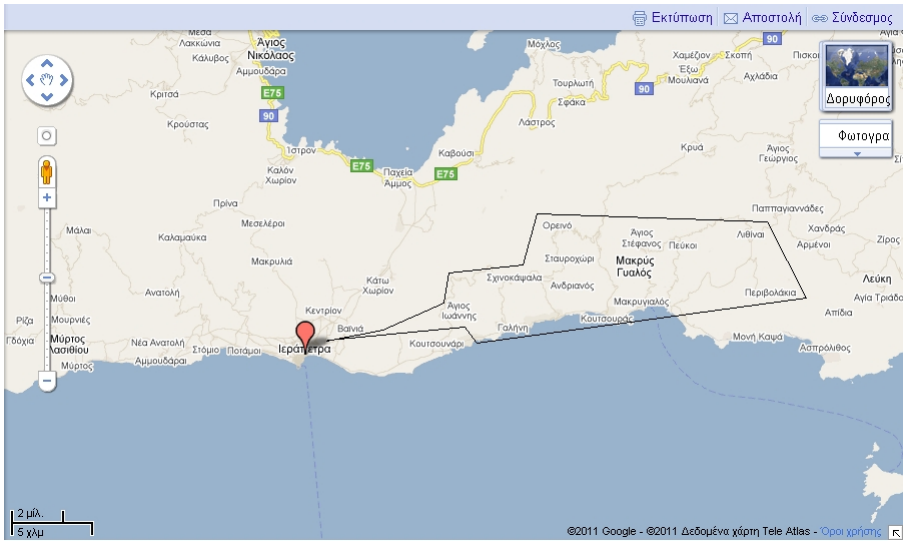
Σχήμα 5.9: Περιοχές που τροφοδοτούνται από τη γραμμή διανομής ΓΔ 25

- Η γραμμή διανομής ΓΔ 26 εξυπηρετεί τις περιοχές Κεντρί,Σταυρό,Μακρυλιά,Μεσελέροι, Καλαμαύκα,Ανατολή, Μύρτος,Μύθοι,Μάλλες,Σελάκανο,Γδόχια, Ρίζα και Βιάννο και είναι κυρίως τύπου 3x95 Cu και ένα μικρό κομμάτι της γραμμής είναι τύπου 3x95 ACSR και 3x35 Cu.



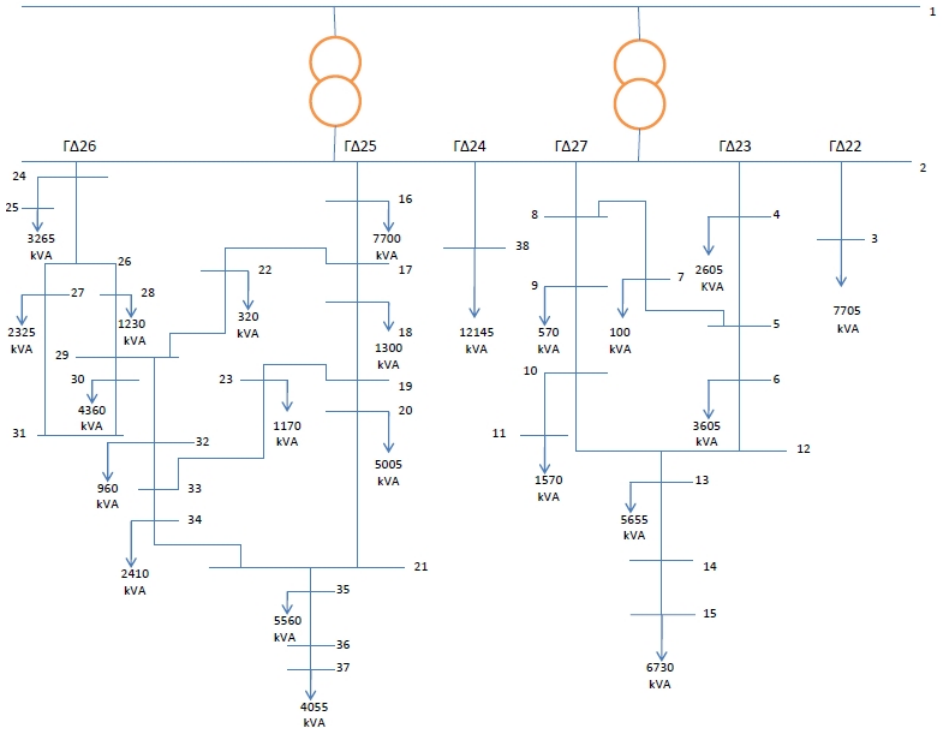
Σχήμα 5.10: Περιοχές που τροφοδοτούνται από τη γραμμή διανομής ΓΔ 26

- Η γραμμή διανομής ΓΔ 27 εξυπηρετεί τις περιοχές Άγιος Ιωάννης,Φέρμα,Αχλιά,Σχινοκάψαλα, Ορεινό,Κουτσουράς και Μακρυ Γιαλός και είναι κυρίως τύπου 3x95 Cu καιένα μικρό κομμάτι της γραμμής είναι τύπου 3x95 ACSR και 3x35 ACSR.



Σχήμα 5.11: Περιοχές που τροφοδοτούνται από τη γραμμή διανομής ΓΔ 27

Το δίκτυο της Ιεράπετρας απεικονίζεται στο σχήμα 5.12 .Στο ζυγό 21 και στο ζυγό 12 έχουμε διασύνδεση των ζευγών γραμμών ΓΔ25-ΓΔ26 και ΓΔ23-ΓΔ27 αντίστοιχα,με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας γραμμής από κάθε ζεύγος.



Σχήμα 5.12: Δίκτυο Διανομής Μέσης τάσης Υποσταθμού Ιεράπετρας

Στον πίνακα 5.11 αναφέρονται τα χαρακτηριστικά των γραμμών του δικτύου.

Η εκπαιδευτική έκδοση του Powerworld μας περιορίζει στον αριθμό των ζυγών του δικτύου σε 12,για αυτό η συμπύκνωση του δικτύου είναι απαραίτητη.Το συμπυκνωμένο δίκτυο εμφανίζεται στο σχήμα 5.13.Για την δημιουργία του συμπυκνωμένου δικτύου ακολουθήθηκε η λογική να διατηρηθούν οι ζυγοί διασύνδεσης των γραμμών (ζυγός 12 και ζυγός 5 για το ολικό και το συμπυκνωμένο δίκτυο αντίστοιχα για τις γραμμές ΓΔ 23 και ΓΔ 27 και ζυγός 21 και ζυγός 10 για το ολικό και το συμπυκνωμένο δίκτυο αντίστοιχα για τις γραμμές ΓΔ 25 και ΓΔ 26).Στην γραμμή ΓΔ 26 παρατηρείται ένας βρόχος που περιλαμβάνει τους ζυγούς 26 έως 31 του σχήματος 5.12.Επειδή η παρατήρηση του βρόχου είναι σημαντική,τοποθετούνται οι ζυγοί 8 και 9 στο συμπυκνωμένο δίκτυο που δηλώνουν σημεία του βρόχου.Για την κατανομή των φορτίων του βρόχου στους ζυγούς αυτούς χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση 5.1.Για τον σχεδιασμό του υπόλοιπου δικτύου χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση 5.2 για τον υπολογισμό του σημείου τοποθέτησης του φορτίου,φορτίο το οποίο ισούται με το συνολικό φορτίο της γραμμής μεταξύ δυο ζυγών του συμπυκνωμένου δικτύου.Επιπλέον για την μεταφορά κάποιων φορτίων σε ήδη υπάρχοντες ζυγούς,έχουμε μεταβολή του φορτίου κατά 2-4%,που είναι θετική όταν μειώνεται η απόσταση του φορτίου από τον υποσταθμό και αρνητική όταν αυξάνεται η απόσταση του φορτίου από τον υποσταθμό.

Ζυγός 1	Ζυγός 2	Μήκος καλωδίου (m)	Τύπος καλωδίου
2	3	5672.73	3x185 AAAC
2	4	3158.6	3x95 Cu
4	5	1757.9	3x95 Cu
5	6	3392.14	3x95 Cu
5	7	200	3x95 Cu
7	8	1800	3x95 Cu
2	8	3600	3x95 Cu
8	9	4587.71	3x95 Cu
9	10	712.29	3x95 Cu
10	11	4593.36	3x35 ACSR
10	12	236	3x95 Cu
6	12	2453.36	3x95 Cu
12	13	5541.91	3x95 ACSR
13	14	5395.09	3x95 ACSR
14	15	4497.75	3x95 ACSR
2	16	6320.95	3x95 Cu
16	17	4879.05	3x95 Cu
17	18	636.92	3x95 Cu
18	19	663.08	3x95 Cu
19	20	2240.55	3x95 Cu
20	21	1959.45	3x95 Cu
17	22	600	3x95 Cu
22	29	400	3x95 Cu
19	23	999.57	3x95 Cu
23	33	500.43	3x95 Cu
2	24	500	3x95 Cu
24	25	2858.68	3x95 Cu
24	26	2100	3x95 Cu
26	27	5920.42	3x95 Cu
27	31	6679.58	3x95 Cu
26	28	1256.09	3x95 Cu
28	29	2343.91	3x95 Cu
29	30	6189.33	3x95 Cu
30	31	8710.67	3x95 Cu
29	32	845.83	3x95 Cu
32	33	704.17	3x95 Cu
33	34	3716.59	3x95 Cu
34	21	133.41	3x95 Cu
21	35	5120.49	3x95 ACSR
35	36	2479.51	3x95 ACSR
36	37	6234.85	3x35 ACSR
2	38	3429.08	3x95 Cu

Πίνακας 5.11: Χαρακτηριστικά γραμμών μεταφοράς δικτύου Ιεράπετρας

Φορτίο ζυγού =

$$\sum_{i=busStart}^{busEnd}\left(1-\frac{\text{Απόσταση ζυγού i από το ζυγό busStart ή busEnd}}{\text{Μήκος γραμμής}}\right)*\text{Φορτίο ζυγού i} \quad (5.1)$$

Σημείο τοποθέτησης του φορτίου =

$$\frac{\sum_{i=busStart}^{busEnd}\text{Φορτίο ζυγού i*Απόσταση ζυγού i από το ζυγό busStart}}{\sum_{i=busStart}^{busEnd}\text{Φορτίο ζυγού i}} \quad (5.2)$$

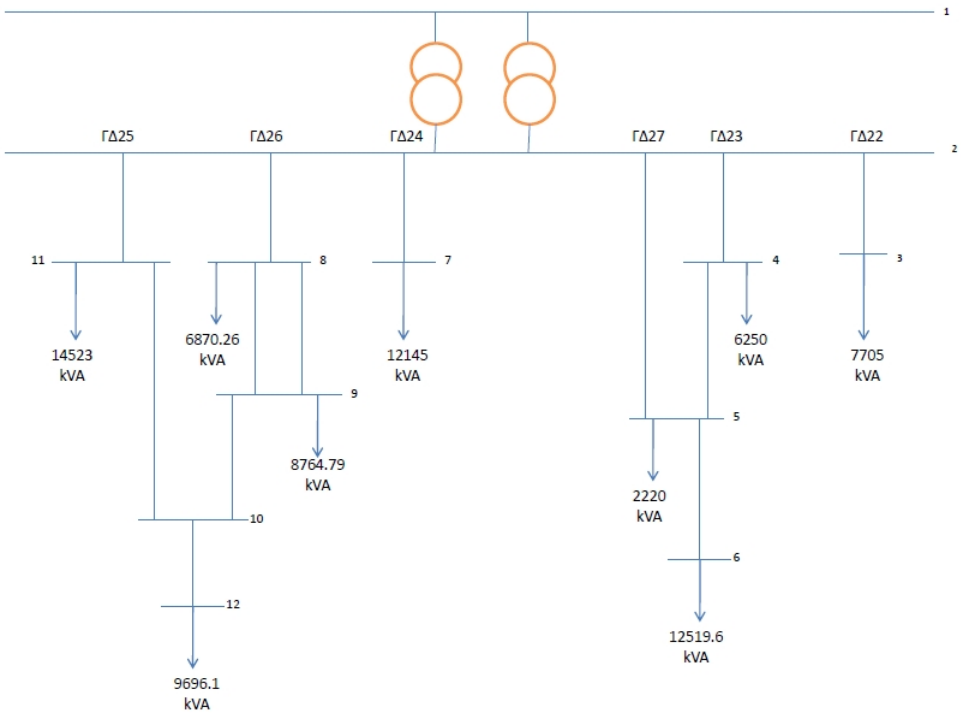
Π.χ. για την συνένωση των φορτίων των ζυγών 13 και 15 του δικτύου του σχήματος 5.12, χρησιμοποιώντας την εξίσωση 5.2,αφού πρώτα μετατοπίσουμε το φορτίο του ζυγού 15 στο ζυγό 14 με αύξηση του φορτίου κατά 2 %,έχουμε το εξής αποτέλεσμα:

Συνολικό φορτίο=φορτίο ζυγού 13 + φορτίο ζυγού 14 = 5655 + (6730 * 1.02)=12519.6 kVA

$\sum_{13<=i<=14}$ Φορτίο ζυγού i * Απόσταση ζυγού i =

φορτίο ζυγού 13 * απόσταση ζυγού 13 + φορτίο ζυγού 14 * απόσταση ζυγού 14 = 106417631.3

Σημείο τοποθέτησης του φορτίου = $\frac{106417631.3}{12519.6} = 8500m$.



Σχήμα 5.13: Συμπυκνωμένο Δίκτυο Διανομής Μέσης τάσης Υποσταθμού Ιεράπετρας

Απαραίτητο στοιχείο είναι τα θερμικά όρια των γραμμών σε τάση 20 kV τα οποία εμπεριέχονται στον πίνακα 5.12,ενώ στον πίνακα 5.13 αναφέρονται τα χαρακτηριστικά των γραμμών του συμπυκνωμένου δικτύου.

Τύπος καλωδίου	Θερμικό όριο (MVA)
3x185 AAAC	16
3x95 Cu	12.2
3x95 ACSR	9.5

Πίνακας 5.12: Θερμικά όρια γραμμών μεταφοράς

Ζυγός 1	Ζυγός 2	Μήκος καλωδίου (m)	Τύπος καλωδίου
2	3	5672.73	3x185 AAAC
2	4	6102.69	3x95 Cu
4	5	4659.31	3x95 Cu
2	5	9136	3x95 Cu
5	6	8500	3x95 ACSR
2	7	3429.08	3x95 Cu
2	8	2600	3x95 Cu
8	9	27500	3x95 Cu
8	9	3600	3x95 Cu
9	10	5400	3x95 Cu
2	11	9925.24	3x95 Cu
11	10	6774.76	3x95 Cu
10	12	6178.18	3x95 ACSR

Πίνακας 5.13: Χαρακτηριστικά γραμμών μεταφοράς συμπυκνωμένου δικτύου Ιεράπετρας

5.2.1.6 Φορτία

Τα φορτία της Ιεράπετρας μπορούν να διακριθούν στις παρακάτω 5 κατηγορίες:

- αγροτικά φορτία
- βιομηχανικά φορτία
- εμπορικά φορτία
- εμπορικά φορτία και
- τουριστικά φορτία

Τα φορτία χαρακτηρίζονται από την ενεργό P και άεργο Q ισχύ που καταναλώνουν,την μιγαδική ισχύ S και τον συντελεστή ισχύος cosφ .Στον πίνακα 5.14 εμφανίζονται τα ποσοστά των διαφόρων τύπων φορτίου ανά ζυγό καθώς και τη συνολική μιγαδική ισχύ των φορτίων ανά ζυγό , φορτία τα οποία απεικονίζονται στο σχήμα 5.12.

Ζυγός	Αγροτικό(%)	Βιομηχανικό(%)	Εμπορικό(%)	Οικιακό(%)	Τουριστικό(%)	Φορτίο(kVA)
3	27.53	26.86	12.13	33.48	0	7705
4	0	18.23	18.61	32.05	31.11	2605
6	0	13.86	16.22	23.60	46.32	3605
7	0	0	100	0	0	100
9	0	0	0	43.86	56.14	570
11	25.47	6.36	0	68.17	0	1570
13	11.67	5.65	3.09	52.36	27.23	5655
15	18.87	2.37	19.68	31.52	27.56	6730
16	15.45	35.97	14.87	33.71	0	7700
18	0	19.23	24.61	43.86	12.30	1300
20	0	25.97	33.46	40.57	0	5005
22	0	0	50	50	0	320
23	0	0	56.41	43.59	0	1170
25	6.43	15.31	12.55	65.71	0	3265
27	19.35	21.50	15.05	44.10	0	2325
28	0	0	83.73	16.27	0	1230
30	10.32	17.20	14.90	53.44	4.14	4360
32	10.41	0	53.12	36.47	0	960
34	4.14	12.44	55.18	28.24	0	2410
35	5.39	29.49	16.54	37.43	11.15	5560
37	25.15	7.89	3.94	63.02	0	4055
38	0	10	35	40	15	12145

Πίνακας 5.14: Κατανομή φορτίων Ιεράπετρας

Επειδή όμως το powerworld απαιτεί τον περιορισμό των ζυγών σε 12,συνίσταται η ένωση πολλών φορτίων.Τα φορτία του συμπυκνωμένου δικτύου που εικονίζεται στο σχήμα 5.13 παρουσιάζονται στον πίνακα 5.15.

Ζυγός	Αγροτικό(%)	Βιομηχανικό(%)	Εμπορικό(%)	Οικιακό(%)	Τουριστικό(%)	Φορτίο(kVA)
3	27.53	26.86	12.13	33.48	0	7705
4	0	15.59	17.75	26.97	39.69	6250
5	18.24	4.55	2.7	60.08	14.43	2220
6	15.61	3.85	12.18	40.93	27.43	12519.6
7	0	10	35	40	15	12145
8	9.67	15.43	21.84	52.45	0.61	6870.26
9	7.43	11.41	38.53	41.04	1.59	8764.79
11	8.19	29.74	23.57	37.4	1.1	14523
12	13.81	20.27	11.16	48.34	6.42	9696.1

Πίνακας 5.15: Κατανομή φορτίων Ιεράπετρας για το συμπυκνωμένο δίκτυο

Οι διάφοροι τύποι καταναλωτών χαρακτηρίζονται από τους συντελεστές ισχύος τους,που εμφανίζονται στον πίνακα 5.16.

Τύπος φορτίου	Συντελεστής Ισχύος (cosφ)
Αγροτικό	0.8
Βιομηχανικό	0.875
Εμπορικό	0.8
Οικιακό	0.8
Τουριστικό	0.9

Πίνακας 5.16: Συντελεστής ισχύος ανά τύπο φορτίου

Για τον υπολογισμό των P και Q ανά ζυγό χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις 5.3,5.4,5.5 και 5.6 .

$$P = S * cos\phi \tag{5.3}$$

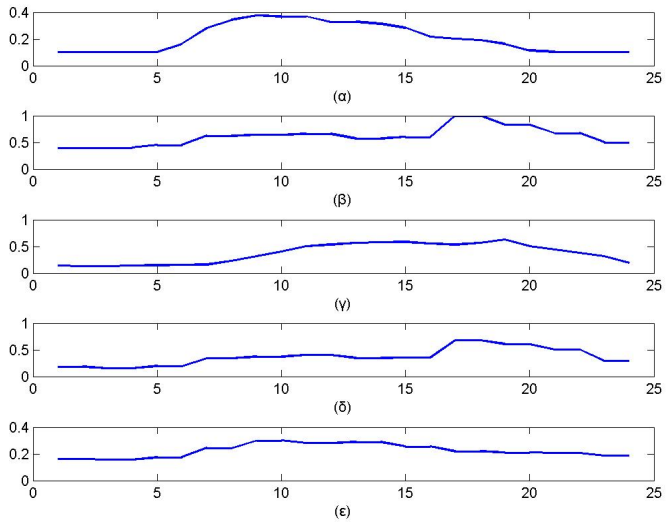
$$Q = S * sin\phi \tag{5.4}$$

για κάθε τύπο φορτίου και

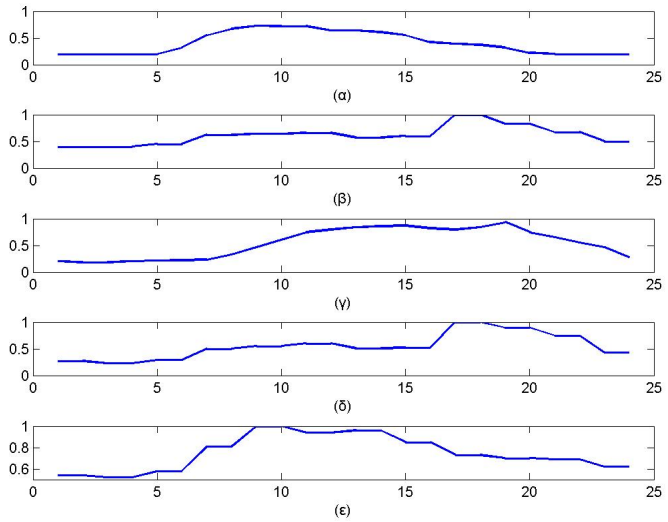
$$P_{total} = \sum_{1<=i<=numberofloadtypes} P_i \tag{5.5}$$

$$Q_{total} = \sum_{1<=i<=numberofloadtypes} Q_i \tag{5.6}$$

για το συνολικό φορτίο ανά ζυγό. Οι χρονοσειρές που αντιστοιχούν στην μεταβολή ζήτησης ανά τύπο φορτίου για τις περιόδους του χειμώνα και του καλοκαιριού απεικονόζονται στο σχήμα 5.14 και 5.15 αντίστοιχα.



Σχήμα 5.14: Ωριαία μεταβολή ζήτησης ,(α) αγροτικού φορτίου,(β) βιομηχανικού φορτίου,(γ) εμπορικού φορτίου,(δ) οικιακού φορτίου,(ε) τουριστικού φορτίου,για την περίοδο του χειμώνα



Σχήμα 5.15: Ωριαία μεταβολή ζήτησης ,(α) αγροτικού φορτίου,(β) βιομηχανικού φορτίου,(γ) εμπορικού φορτίου,(δ) οικιακού φορτίου,(ε) τουριστικού φορτίου,για την περίοδο του καλοκαιριού

5.2.1.7 Πυκνωτές

Για την βελτίωση της τάσης στους διάφορους ζυγούς και για την μείωση των απωλειών στις διάφορες γραμμές,συνδέονται πυκνωτές στους ζυγούς είτε από τη ΔΕΗ είτε από τους διάφορους καταναλωτές.Η εγκατεστημένη ισχύς πυκνωτών ανά ζυγό και περίοδο έτους από τη ΔΕΗ εμφανίζεται στον πίνακα 5.17.

Ζυγός	Χειμώνας	Καλοκαίρι	Απρίλιος
4	0.3	0.3	0
6	1.5	1.5	1.2
7	0.9	0.9	0.6
8	0.6	0.6	0.3
9	0.9	0.9	0.6
11	0.9	0.9	0.6
12	1.2	1.2	0.9

Πίνακας 5.17: Εγκατεστημένη ισχύς πυκνωτών (MVar) της ΔΕΗ ανά ζυγό και περίοδο του έτους

5.2.1.8 Σύστημα αλλαγής τάσης υπό φορτίο

Λόγω της συνεχούς μεταβολής στη ζήτηση ισχύος,το επίπεδο τάσης στο δίκτυο μεταφοράς δεν είναι σταθερό αλλά τείνει να μεταβάλλεται αργά κατά τη διάρκεια του 24ώρου παρουσιάζοντας πτώση κατά τη διάρκεια των περιόδων μεγίστου φορτίου και άνοδο κατά τη διάρκεια των περιόδων ελαχίστου φορτίου τις πρώτες πρωινές ώρες.Για να διατηρηθεί το επίπεδο τάσης σταθερό και επιπλέον

μέσα στα επιτρεπτά όρια για τη σωστή λειτουργία του δικτύου (πτώσης τάσης έως 8 %) και επειδή δεν συμφέρει οικονομικά η τοποθέτηση μεγάλης ισχύος πυκνωτών στους ζυγούς,γίνεται χρήση μετασχηματιστών με σύστημα ανόρθωσης τάσης(tap changing).Οι μετασχηματιστές του Υ/Σ διαθέτουν taps για τη σωστή λειτουργία του δικτύου.Οι τιμές των taps μεταβάλλονται ανάλογα με τη ζήτηση και στον πίνακα 5.18 παρουσιάζονται οι τιμές τους για τις διάφορες περιπτώσεις που εξετάστηκαν,τιμές που προέκυψαν μέσα από μια σειρά πειραματικών διαδικασιών.

Ώρα Έναρξης	Ώρα Λήξης	Μέρα Μέγιστης Καλοκαιρινής Ζήτησης	Μέρα Μέγιστης Χειμερινής Ζήτησης	Μέρα Μέγιστης Διείσδυσης Απριλίου	Μέρα Μέγιστης Καλοκαιρινής Παραγωγής
0	1	1	1,01	1,02	1
1	2	1	1,01	1,02	1
2	3	1	1,01	1,02	1
3	4	1	1,01	1,02	1
4	5	1	1,01	1,02	1
5	6	1	1,01	1,02	1
6	7	1	1,01	1,02	1
7	8	1	1,005	1,02	1
8	9	0,995	1	1,02	1
9	10	0,985	1	1,01	1
10	11	0,985	1	1,01	1
11	12	0,985	1	1,01	1
12	13	0,985	1	1,01	1
13	14	0,985	1	1,01	1
14	15	0,985	1	1,01	1
15	16	0,985	1	1,01	1
16	17	0,985	1	1,01	1
17	18	0,985	1	1,01	1
18	19	0,985	0,99	1,01	1
19	20	0,985	0,99	1,01	1
20	21	0,985	0,99	1,01	1
21	22	0,985	1	1,01	1
22	23	0,985	1,003	1,01	1
23	24	0,985	1,005	1,01	1

Πίνακας 5.18: Μεταβολή του tap του μετασχηματιστή ανά ώρα και περίπτωση

5.2.2 Φωτοβολταϊκά στην περιοχή της Ιεράπετρας

5.2.2.1 Παραγωγή φωτοβολταϊκών και κατανάλωση ενέργειας στην περιοχή της Ιεράπετρας

Η υψηλή μέση μηνιαία θερμοκρασία και η μεγάλη ηλιοφάνεια που υπάρχει στην περιοχή της Ιεράπετρας και παρουσιάζεται στον πίνακα 5.19 δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων με σκοπό την παραγωγή ενέργειας.

Μήνας	Μέση Ημερήσια Ακτινοβολία(kWh/m^2/d)	Θερμοκρασία
Ιανουάριος	2.355	12.9
Φεβρουάριος	3.180	12.9
Μάρτιος	4.419	14.2
Απρίλιος	5.800	17.0
Μάιος	6.774	20.9
Ιούνιος	7.333	25.4
Ιούλιος	7.226	27.8
Αύγουστος	6.613	27.7
Σεπτέμβριος	5.500	24.9
Οκτώβριος	4.032	21.0
Νοέμβριος	2.967	17.5
Δεκέμβριος	2.244	14.5

Πίνακας 5.19: Μέση ημερήσια ακτινοβολία και θερμοκρασία στην περιοχή της Ιεράπετρας

Οι εγκεκριμένες αιτήσεις για εγκαταστάση φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας (συμπεριλαμβανομένου της περιοχής του Μακρύ Γιαλού και της Βιάννου) για το έτος 2007 ανέρχονται σε 93 ,από τις οποίες οι 72 αντιστοιχούν στο δήμο Ιεράπετρας,οι 9 στο δήμο Μακρύ Γιαλού και οι υπόλοιπες 12 στο δήμο Βιάννου.
Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς αντιστοιχεί σε 6742.26 kW ,με το 50 % να αντιστοιχεί σε φωτοβολταϊκά σταθερού άξονα,το 10 % σε φωτοβολταϊκά με κίνηση σε ένα άξονα και το 40 % σε φωτοβολταϊκά με κίνηση σε δύο άξονες.Η ετήσια παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά αναγράφεται στον πίνακα 5.20.Στον πίνακα 5.21 παρουσιάζεται η κατανομή της αναμενόμενης εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών στους Καποδιστριακούς Δήμους της περιοχής.

Τύπος Φ/Β	Ισχύς (kW)	Ποσοστό (%)	Παραγωγή (GWh)	Ποσοστό (%)
Φ/Β σταθερού άξονα	3371,13	50	4,4874	43,94
Φ/Β με κίνηση σε ένα άξονα	674,226	10	0,9453	9,25
Φ/Β με κίνηση σε δυο άξονες	2696,904	40	4,7803	46,81
Σύνολο	6742,26	100	10,213	100

Πίνακας 5.20: Ετήσια παραγωγή φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας

Δήμος	Ισχύς φωτοβολταϊκών (kW)
Ιεράπετρας	5192.1
Μακρύ Γιαλού	650
Βιάννου	820.16

Πίνακας 5.21: Ισχύς φωτοβολταϊκών στους διάφορους Καποδιστριακούς δήμους στην περιοχή της Ιεράπετρας

Όπως θα δείτε σε επόμενο κεφάλαιο,είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της παραγωγής φωτοβολταϊκών σε διάφορα σημεία του δικτύου.Στον πίνακα 5.22 περιέχεται η εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών σε κάποια σημεία (ζυγούς) του δικτύου.

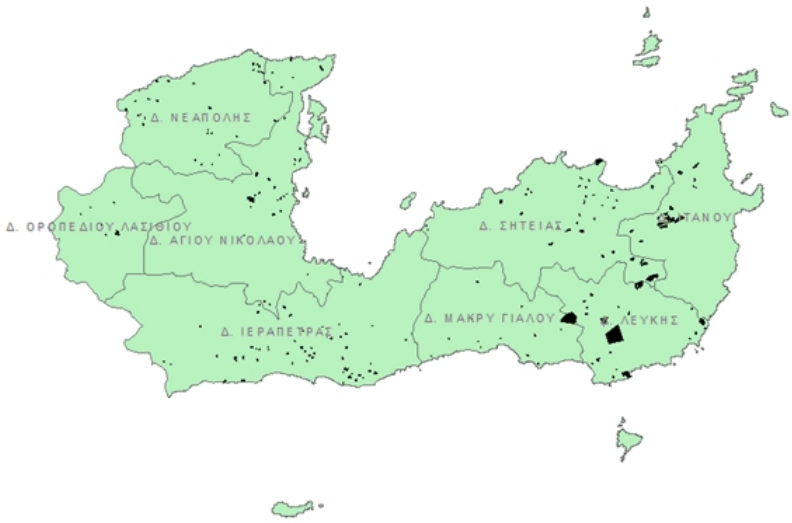
Ζυγός	Εγκατεστημένη Ισχύς (kW)
3	803
4	640
5	1040
6	650
7	19.9
8	760
9	760
11	929.2
12	1140.16

Πίνακας 5.22: Εγκατεστημένη ισχύς ανά ζυγό του δικτύου της Ιεράπετρας

Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας ανά ζυγό χρησιμοποείται η εξίσωση 5.7

$$\text{Παραγόμενη ισχύς στο ζυγό} = \frac{\text{Εγκατεστημένη ισχύς στο ζυγό}}{\text{Συνολική εγκατεστημένη ισχύς}} * \text{Συνολική παραγόμενη ισχύς} \tag{5.7}$$

Στον χάρτη 5.16 διακρίνονται τα σημεία εγκατάστασης φωτοβολταϊκών στο νομό Λασιθίου.

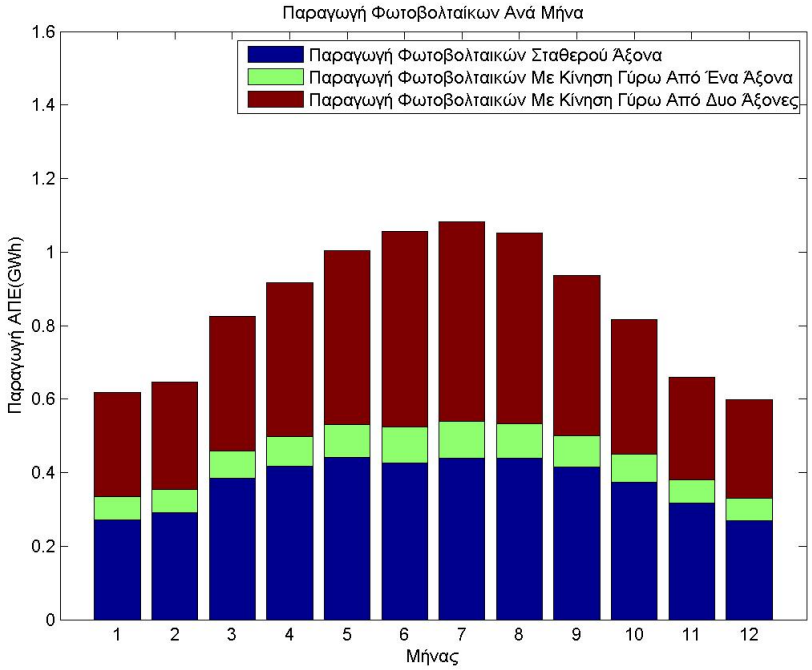


Σχήμα 5.16: Χωροθέτηση αδειοδοτημένων φωτοβολταϊκών στο νομό Λασιθίου

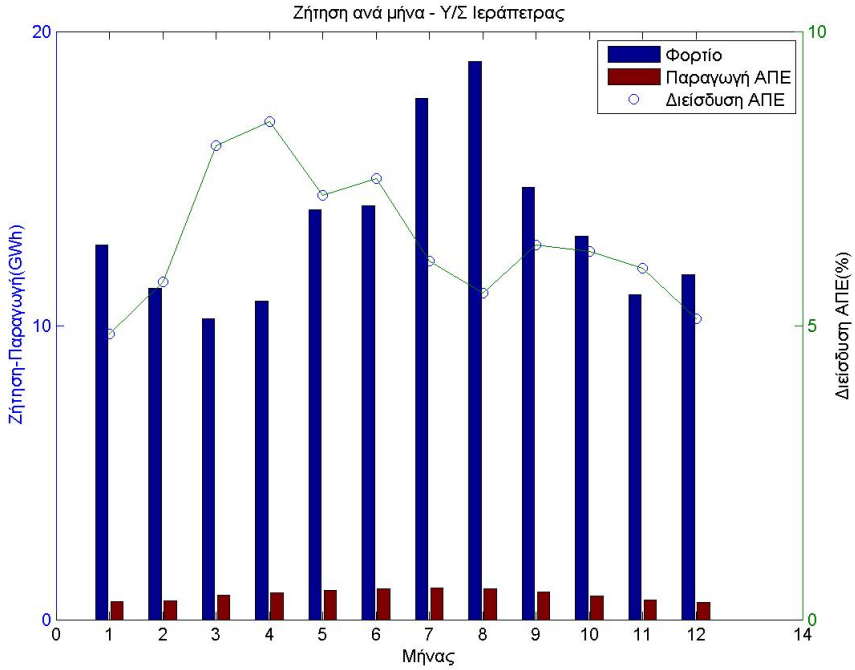
Στην εικόνα 5.17 απεικονίζονται οι μηνιαίες παραγωγές από τα φωτοβολταϊκά της Ιεράπετρας ανά τύπο φωτοβολταϊκού.Στην εικόνα 5.18 εμφανίζονται η μηνιαία ζήτηση,η μηνιαία παραγωγή και η μηνιαία διείσδυση της παραγωγής φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας.**Διείσδυση** είναι το ποσοστό κάλυψης της ζήτησης π.χ. της Ιεράπετρας από την παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά της Ιεράπετρας.

$$\text{Διείσδυση} = \frac{\text{Παραγωγή από ΑΠΕ}}{\text{Ζήτηση}} * 100 \tag{5.8}$$

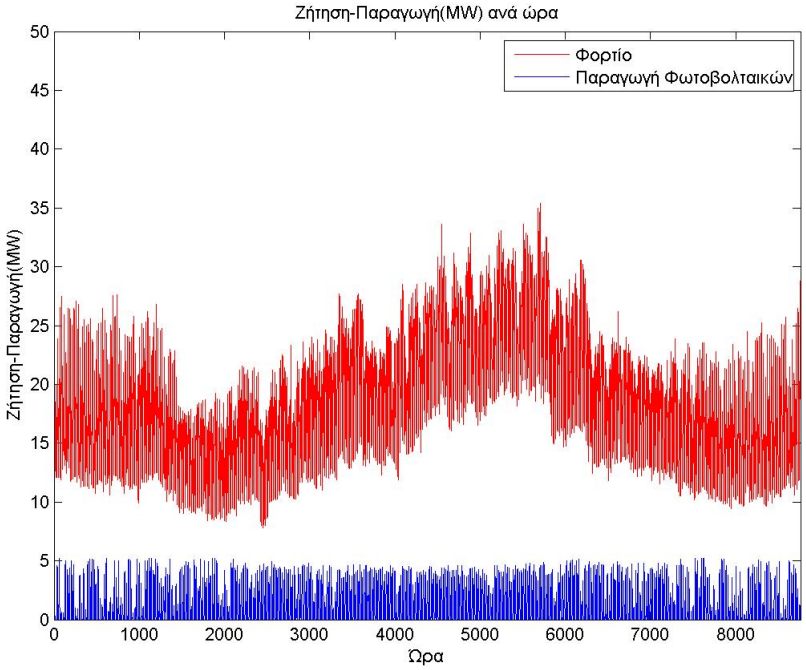
Η ετήσια παραγωγή των φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας είναι 10.213 GWh .Η ετήσια συνεισφορά των φωτοβολταϊκών στη ζήτηση της Ιεράπετρας και της Κρήτης είναι, σύμφωνα με την εξίσωση 5.8, 6.37 % και 0.34 % αντίστοιχα.Στο σχήμα 5.19 απεικονίζεται η ωριαία ζήτηση και η ωριαία παραγωγή κατά τη διάρκεια του έτους,ενώ στο σχήμα 5.20 εμφανίζεται η ωριαία διείσδυση των φωτοβολταϊκών,τιμές που υπολογίζονται με χρήση της εξίσωσης 5.8.Στο σχήμα 5.21 απεικονίζεται η καμπύλη διάρκειας διείσδυσης .



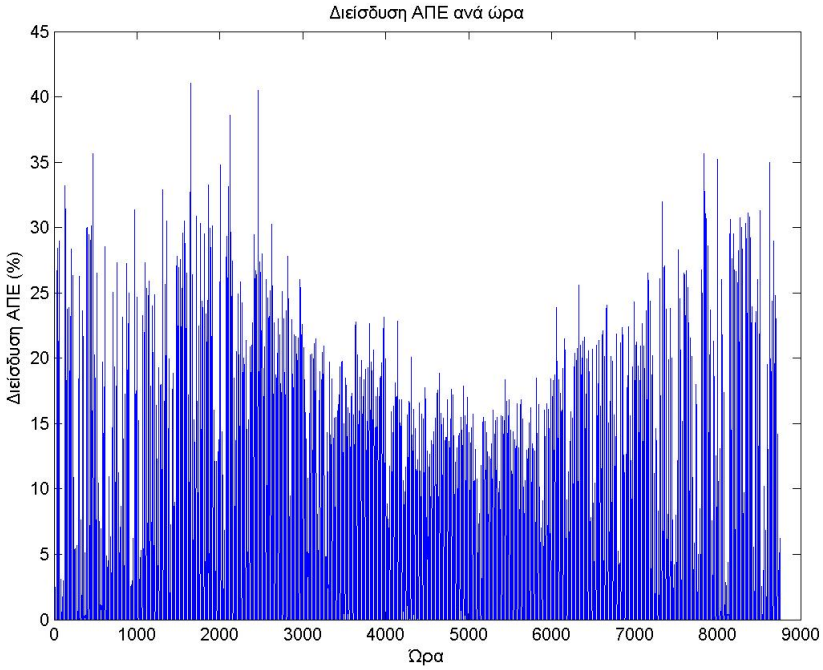
Σχήμα 5.17: Μηνιαία παραγωγή φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας



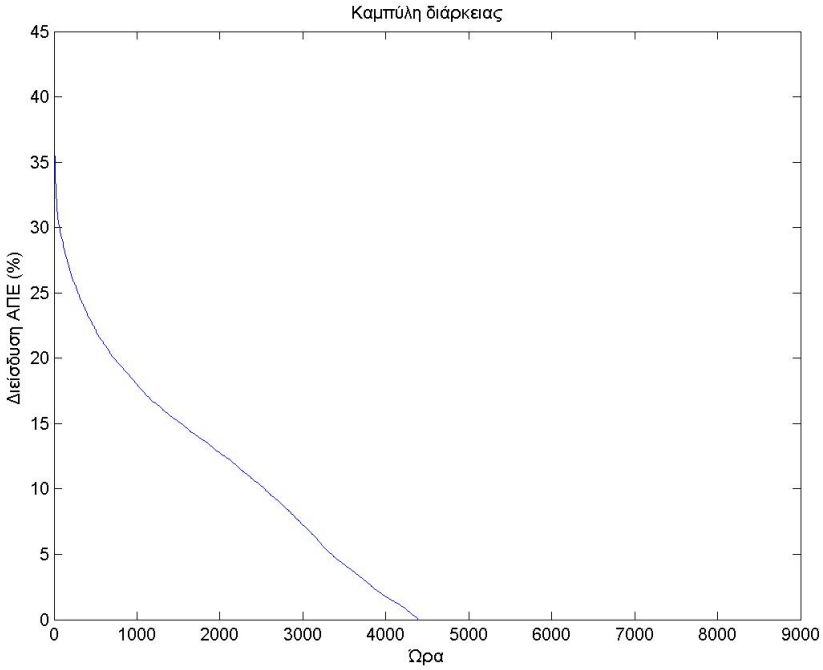
Σχήμα 5.18: Μηνιαία ζήτηση,παραγωγή και διείσδυση φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας



Σχήμα 5.19: Ωριαία ζήτηση και παραγωγή φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας



Σχήμα 5.20: Ωριαία διείσδυση φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας



Σχήμα 5.21: Καμπύλη διάρκειας διείσδυσης φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας

Στον πίνακα 5.23 εμφανίζεται η μέγιστη ωριαία διείσδυση Φ/Β ανά μήνα ενώ στον πίνακα 5.24 παρουσιάζεται η μέγιστη ημερήσια διείσδυση Φ/Β ανά μήνα.

Μήνας	Μέρα	Ώρα έναρξης	Ώρα λήξης	Μέγιστη Ωριαία Διείεσδυση(%)
Ιανουάριος	20	13	14	35,66648
Φεβρουάριος	24	14	15	32,91693
Μάρτιος	10	13	14	41,02002
Απρίλιος	13	10	11	40,50519
Μάιος	4	14	15	26,01953
Ιούνιος	15	14	15	23,13254
Ιούλιος	13	11	12	18,83967
Αύγουστος	31	9	10	18,46708
Σεπτέμβριος	21	12	13	25,59595
Οκτώβριος	26	10	11	26,5052
Νοέμβριος	23	13	14	35,64096
Δεκέμβριος	26	11	12	34,95794

Πίνακας 5.23: Μέγιστη ωριαία διείσδυση φωτοβολταϊκών ανά μήνα στην περιοχή της Ιεράπετρας

Μήνας	Μέρα	Μέγιστη Ημερήσια Διείσδυση(%)
Ιανουάριος	20	11,507
Φεβρουάριος	10	9,694
Μάρτιος	10	14,240
Απρίλιος	13	13,969
Μάιος	5	9,773
Ιούνιος	15	10,230
Ιούλιος	12	7,640
Αύγουστος	15	7,587
Σεπτέμβριος	22	8,377
Οκτώβριος	26	9,673
Νοέμβριος	23	11,991
Δεκέμβριος	26	10,922

Πίνακας 5.24: Μέγιστη ημερήσια διείσδυση φωτοβολταϊκών ανά μήνα στην περιοχή της Ιεράπετρας

Κεφάλαιο 6

Αποτελέσματα της εργασίας

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται τα οφέλη της διείσδυσης Φ/Β.Συγκεκριμένα,στην παράγραφο 6.2 αναφερόμαστε στη γενική επίπτωση Φ/Β στο δίκτυο της Ιεράπετρας και στην παράγραφο 6.3 περιγράφονται οι επιπτώσεις των Φ/Β σχετικά με την πτώση τάσης,τις απώλειες και τις φορτίσεις των γραμμών του δικτύου διανομής,την κατανάλωση καυσίμου και την εκπομπή ρύπων για χαρακτηριστικές μέρες του χρόνου.Οι μέρες που εξετάστηκαν πιο διεξοδικά είναι οι εξής:

- Ημέρα μέγιστης καλοκαιρινής ζήτησης
- Ημέρα μέγιστης χειμερινής ζήτησης
- Ημέρα με την μέγιστη ωριαία διείσδυση κατά τον μήνα Απρίλιο
- Ημέρα με την μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά την περίοδο του καλοκαιριού

Τέλος,στην παράγραφο 6.4 αναλύονται οι επιπτώσεις των Φ/Β σε χαρακτηριστικές ώρες του χρόνου.Οι ώρες που εξετάστηκαν είναι οι ακόλουθες:

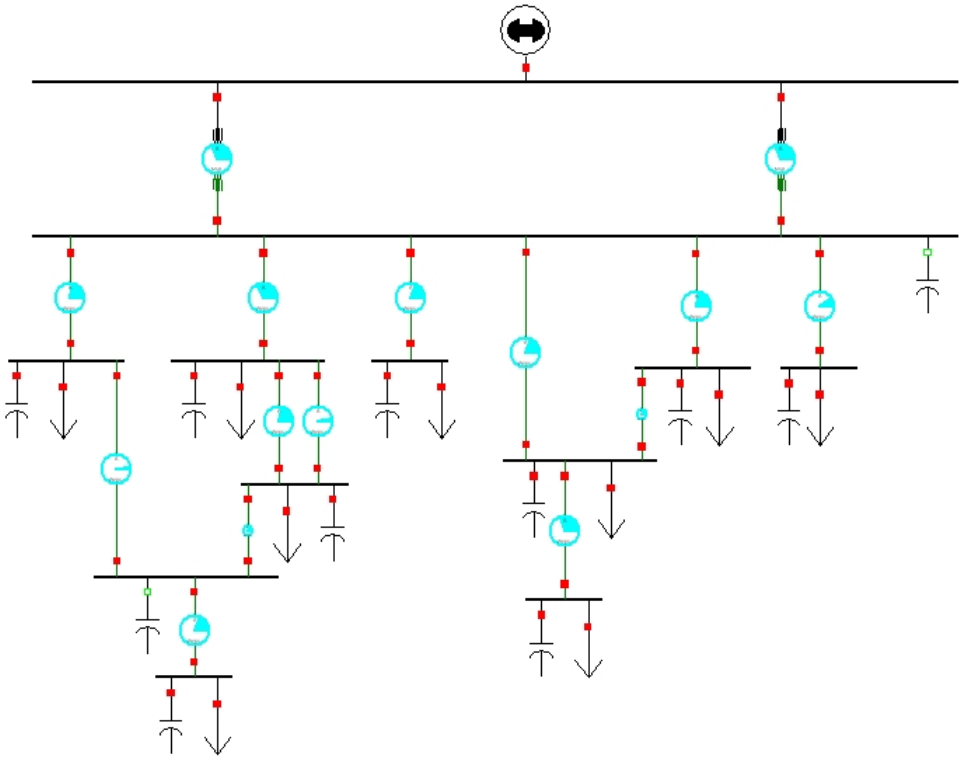
- Ώρα μέγιστης καλοκαιρινής ζήτησης πριν την εγκατάσταση Φ/Β
- Ώρα μέγιστης καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β
- Ώρα μέγιστης καλοκαιρινής διείσδυσης
- Ώρα μέγιστης διείσδυσης Απριλίου

Για καθεμία από τις παραπάνω περιπτώσεις εξετάστηκαν οι εξής υποπεριπτώσεις :

- Πριν την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών

- Με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στον κεντρικό υποσταθμό μη γνωρίζοντας την κατανομή τους
- Με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε διάφορα σημεία του δικτύου (διεσπαρμένη παραγωγή)

Μια αναπαράσταση του δικτύου όπως προσομοιώθηκε στο PowerWorld εμφανίζεται στην εικόνα 6.1.



Σχήμα 6.1: Εικόνα δικτύου Ιεράπετρας

6.2 Γενική επίπτωση Φ/Β

6.2.1 Εισαγωγή

Η σύνδεση φωτοβολταϊκών με το δίκτυο της ΔΕΗ συμβάλλει στη μείωση της αιχμής ζήτησης καθώς και στην μείωση των απωλειών των μετασχηματιστών του υποσταθμού.Με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών η ζήτηση του υποσταθμού μειώνεται με αποτέλεσμα την μείωση της ροής ισχύος από τους μετασχηματιστές του υποσταθμού συμβάλλοντας στην αύξηση της διάρκειας ζωής τους.Τα παραπάνω αποτελέσματα αναλύονται στις παραγράφους 6.2.2 και 6.2.3.

6.2.2 Επίδραση των φωτοβολταϊκών στη μείωση της αιχμής ζήτησης

Στους πίνακες 6.1 και 6.2 εμφανίζεται η μέγιστη και ελάχιστη αντίστοιχα ωριαία ζήτηση του Υ/Σ πριν την εγκατάσταση Φ/Β σε διαφορετικές περιόδους του χρόνου(χειμώνας,καλοκαίρι) και σε διαφορετικές περιόδους της μέρας (μεσημέρι,βράδυ) ενώ στους πίνακες 6.3 και 6.4 εμφανίζεται η μέγιστη και ελάχιστη αντίστοιχα ωριαία ζήτηση του Υ/Σ μετά την εγκατάσταση Φ/Β σε διαφορετικές περιόδους του χρόνου(χειμώνας,καλοκαίρι) και σε διαφορετικές περιόδους της μέρας (μεσημέρι,βράδυ).

Περίοδος	Μήνας	Μέρα	Περίοδος Μέρας	Ώρα έναρξης	Ώρα λήξης	Ζήτηση(MW)
Χειμώνας	Φεβρουάριος	18	Μεσημέρι	11	12	24,0406
Καλοκαίρι	Αύγουστος	26	Μεσημέρι	13	14	35,3974
Χειμώνας	Δεκέμβριος	31	Βράδυ	19	20	28,7477
Καλοκαίρι	Αύγουστος	26	Βράδυ	20	21	33,1839

Πίνακας 6.1: Μέγιστη ωριαία ζήτηση του Υ/Σ πριν την εγκατάσταση Φ/Β σε διαφορετικές περιόδους του χρόνου(χειμώνας,καλοκαίρι) και σε διαφορετικές περιόδους της μέρας (μεσημέρι,βράδυ) για την περιοχή της Ιεράπετρας

Περίοδος	Μήνας	Μέρα	Περίοδος Μέρας	Ώρα έναρξης	Ώρα λήξης	Ζήτηση(MW)
Χειμώνας	Δεκέμβριος	7	Μεσημέρι	15	16	11,7678
Καλοκαίρι	Ιούνιος	15	Μεσημέρι	15	16	16,5576
Χειμώνας	Δεκέμβριος	7	Βράδυ	23	24	13,0245
Καλοκαίρι	Ιούνιος	15	Βράδυ	23	24	17,0320

Πίνακας 6.2: Ελάχιστη ωριαία ζήτηση του Υ/Σ πριν την εγκατάσταση Φ/Β σε διαφορετικές περιόδους του χρόνου(χειμώνας,καλοκαίρι) και σε διαφορετικές περιόδους της μέρας (μεσημέρι,βράδυ) για την περιοχή της Ιεράπετρας

Περίοδος	Μήνας	Μέρα	Περίοδος Μέρας	Ώρα έναρξης	Ώρα λήξης	Ζήτηση(MW)
Χειμώνας	Ιανουάριος	29	Μεσημέρι	12	13	21,6753
Καλοκαίρι	Αύγουστος	25	Μεσημέρι	15	16	32,4154
Χειμώνας	Δεκέμβριος	31	Βράδυ	19	20	28,7477
Καλοκαίρι	Αύγουστος	26	Βράδυ	20	21	33,1839

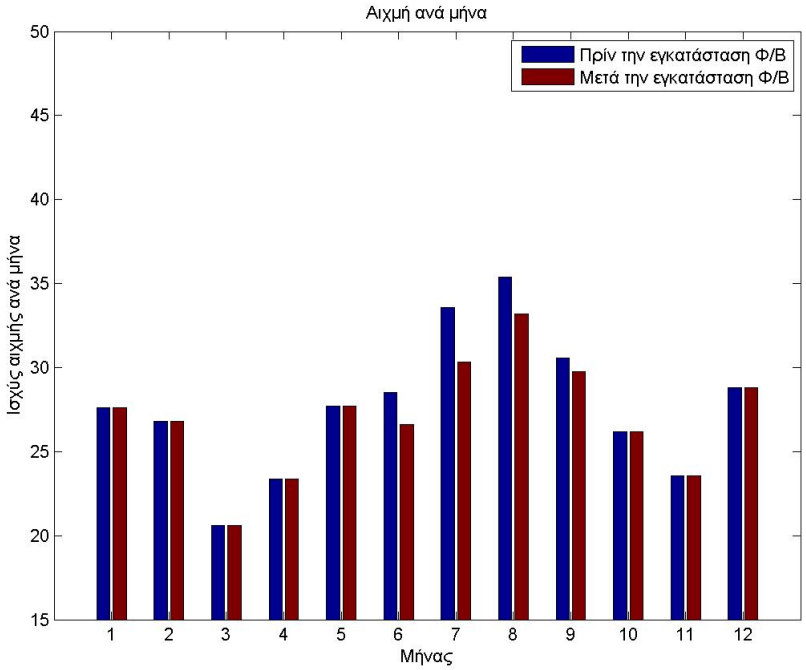
Πίνακας 6.3: Μέγιστη ωριαία ζήτηση του Υ/Σ μετά την εγκατάσταση Φ/Β σε διαφορετικές περιόδους του χρόνου(χειμώνας,καλοκαίρι) και σε διαφορετικές περιόδους της μέρας (μεσημέρι,βράδυ) για την περιοχή της Ιεράπετρας

Περίοδος	Μήνας	Μέρα	Περίοδος Μέρας	Ώρα έναρξης	Ώρα λήξης	Ζήτηση(MW)
Χειμώνας	Φεβρουάριος	24	Μεσημέρι	14	15	8,3308
Καλοκαίρι	Ιούνιος	15	Μεσημέρι	15	16	13,3182
Χειμώνας	Δεκέμβριος	7	Βράδυ	23	24	13,0245
Καλοκαίρι	Ιούνιος	15	Βράδυ	23	24	17,0320

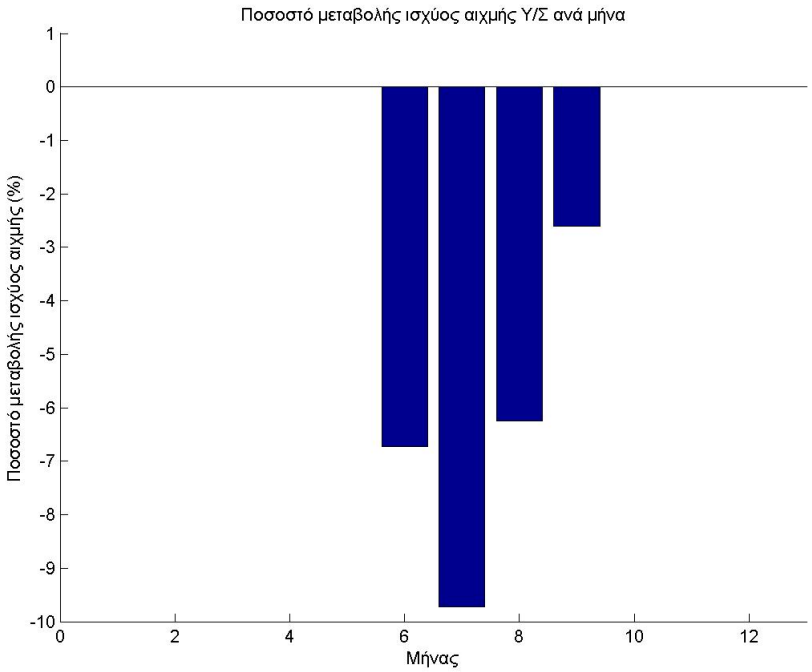
Πίνακας 6.4: Ελάχιστη ωριαία ζήτηση του Υ/Σ μετά την εγκατάσταση Φ/Β σε διαφορετικές περιόδους του χρόνου(χειμώνας,καλοκαίρι) και σε διαφορετικές περιόδους της μέρας (μεσημέρι,βράδυ) για την περιοχή της Ιεράπετρας

Είναι εμφανής η επίδραση των Φ/Β στην αιχμή ζήτησης,η οποία μειώνεται το μεσημέρι κατά 2.3653 και 2.982 MW για χειμώνα και καλοκαίρι αντίστοιχα και επιπλέον παρατηρείται μετατόπιση της μέρας αιχμής.

Στο σχήμα 6.2 απεικονίζεται η αιχμή ανά μήνα πριν και μετά την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και στο σχήμα 6.3 το ποσοστό μεταβολής της αιχμής ανά μήνα.



Σχήμα 6.2: Αιχμή ανά μήνα πριν και μετά την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας



Σχήμα 6.3: Ποσοστό μεταβολής της αιχμής ανά μήνα στην περιοχή της Ιεράπετρας

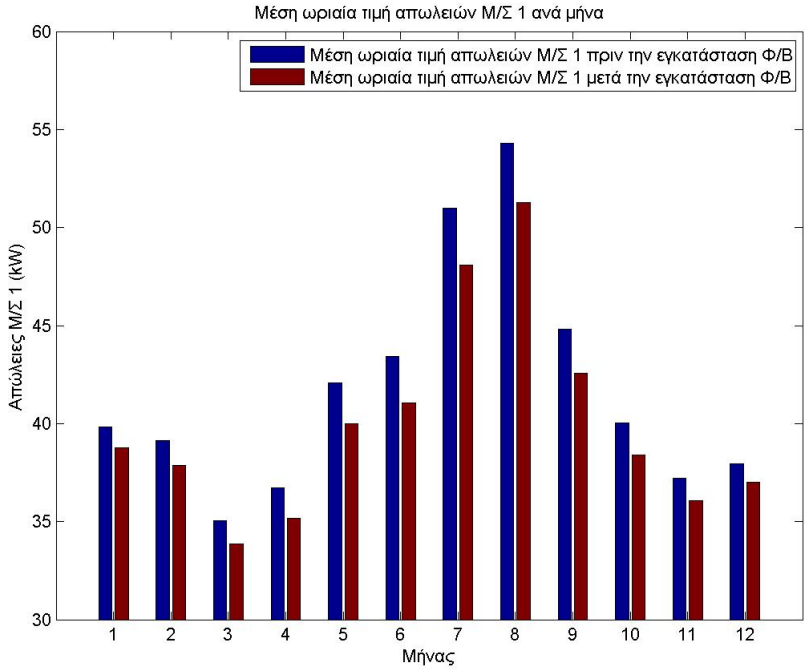
6.2.3 Επίδραση των φωτοβολταϊκών στη μείωση απωλειών μετασχηματιστή

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας συμβάλλει στη μείωση των απωλειών των μετασχηματιστών του υποσταθμού. Οι απώλειες του μετασχηματιστή υπολογίζονται με την εξίσωση 6.1 .

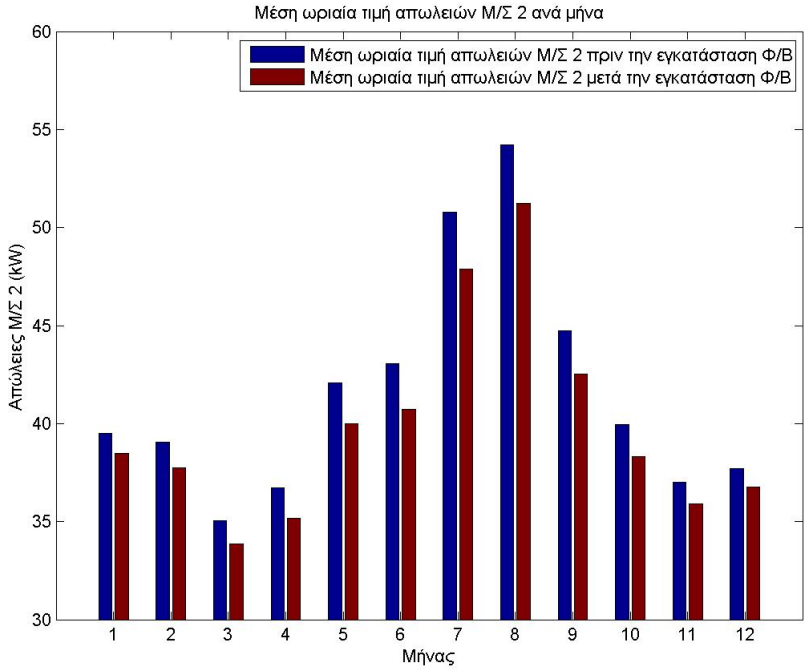
$$P_{transformerlosses} = P_{Fe} + P_{Cu} * \left(\frac{S}{S_{nominal}}\right)^2 \tag{6.1}$$

όπου P_{Fe} είναι οι απώλειες κενού ή σιδήρου,P_{Cu} είναι οι απώλειες φορτίου/χαλκού και $S_{nominal}$ η ονομαστική ισχύς του Μ/Σ.Οι μετασχηματιστές του υποσταθμού της Ιεράπετρας έχουν ονομαστική ισχύ 25 MVA ,οι απώλειες σιδήρου είναι 27 kW και οι απώλειες χαλκού είναι 98 kW .

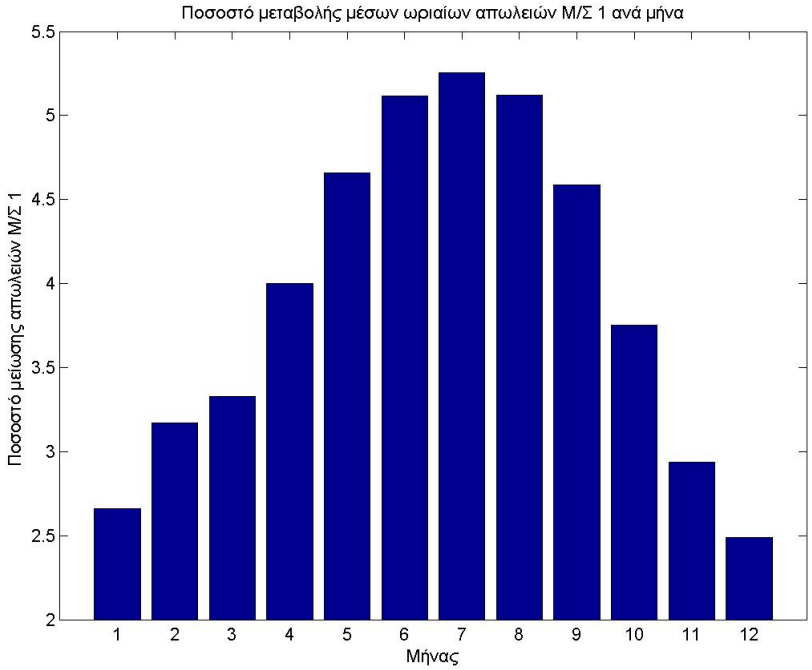
Στο σχήμα 6.4 και 6.5 απεικονίζεται η μέση ωριαία τιμή απωλειών ανά μήνα του Μ/Σ 1 και 2 αντίστοιχα ενώ στο σχήμα 6.6 και 6.7 απεικονίζεται το ποσοστό μείωσης της μέσης ωριαίας τιμής απωλειών ανά μήνα του Μ/Σ 1 και 2 αντίστοιχα με την σύνδεση φωτοβολταϊκών στο δίκτυο.



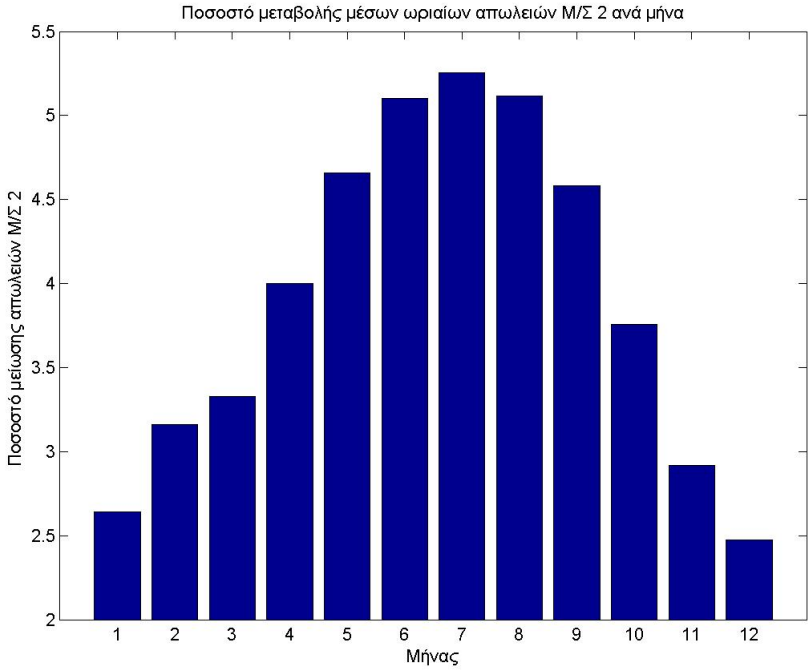
Σχήμα 6.4: Μέση ωριαία τιμή απωλειών ανά μήνα του Μ/Σ 1 του υποσταθμού της Ιεράπετρας



Σχήμα 6.5: Μέση ωριαία τιμή απωλειών ανά μήνα του Μ/Σ 2 του υποσταθμού της Ιεράπετρας



Σχήμα 6.6: Μέσο ωριαίο ποσοστό μείωσης απωλειών ανά μήνα του Μ/Σ 1 του υποσταθμού



Σχήμα 6.7: Μέσο ωριαίο ποσοστό μείωσης απωλειών ανά μήνα του Μ/Σ 2 του υποσταθμού

6.3 Εξειδικευμένη επίπτωση Φ/Β σε χαρακτηριστικές ημέρες

6.3.1 Ημέρα μέγιστης καλοκαιρινής ζήτησης

6.3.1.1 Δεδομένα

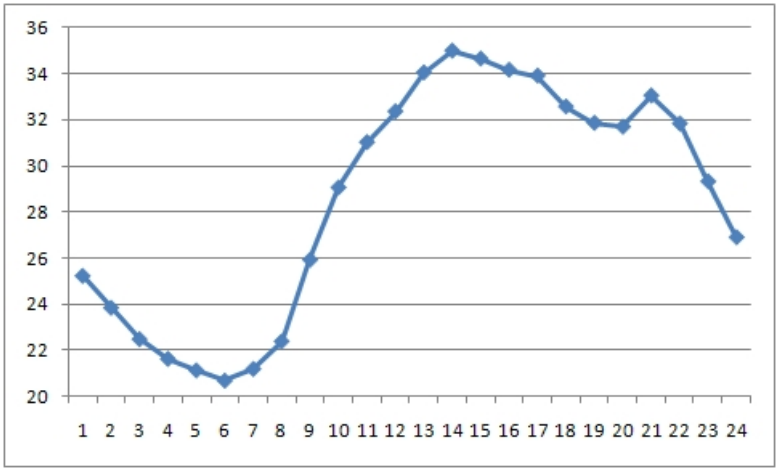
Η μέρα μέγιστης καλοκαιρινής ζήτησης αντιστοιχεί στην 25η μέρα του μήνα Αυγούστου.Η συνολική ζήτηση του δικτύου εκείνη την μέρα είναι 685.74 MWh με την αιχμή ωριαίας ζήτησης να παρατηρείται την ώρα μεταξύ 1 και 2 το μεσημέρι με τιμή 34.969 MW.Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών συστημάτων εκείνη την ημέρα είναι 23.826 MWh με την μέγιστη ωριαία παραγωγή να συμβαίνει την ώρα μεταξύ 10 και 11 το πρωί με τιμή 3.306 MW .Η διείσδυση των φωτοβολταϊκών στο δίκτυο κατά την ώρα αιχμής ζήτησης είναι 8.06 %,η μέγιστη ωριαία διείσδυση αγγίζει το 10.66 % και παρατηρείται την ώρα μεταξύ 10 και 11 το πρωί ενώ η συμβολή της παραγόμενης ισχύος στο δίκτυο της Ιεράπετρας αγγίζει το 3.47 % για αυτή την ημέρα.Τα στοιχεία αυτά απεικονίζονται στον πίνακα 6.5.

Αιχμή ημέρας (MW)	34.969
Διείσδυση Φ/Β την ώρα αιχμής (%)	8.06
Ενέργεια ημέρας (MWh)	685.74
Ημερήσια Παραγωγή Φ/Β (MWh)	23.826
Μέγιστη ωριαία παραγωγή Φ/Β (MW)	3.306
Μέγιστη ωριαία διείσδυση Φ/Β (%)	10.66
Ενεργειακή διείσδυση Φ/Β (%)	3.47

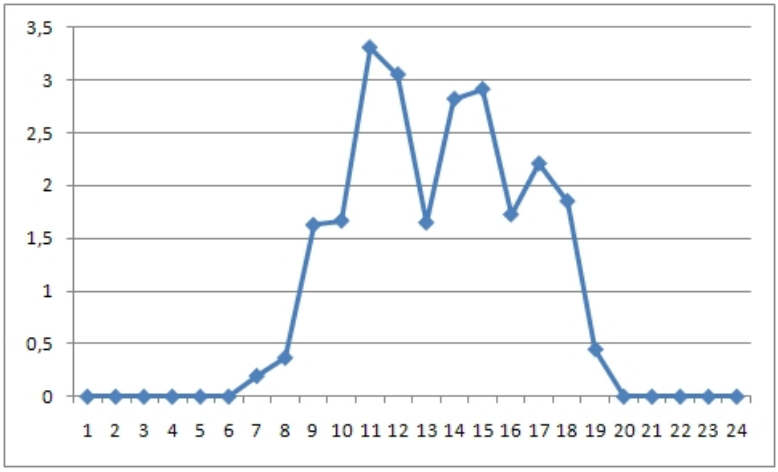
Πίνακας 6.5: Συγκεντρωτικά στοιχεία για τη καλοκαιρινή μέρα με τη μέγιστη ημερήσια ζήτηση του δικτύου της Ιεράπετρας

Απαραίτητα στοιχεία για την παρατήρηση της επίδρασης των φωτοβολταϊκών στο δίκτυο είναι :

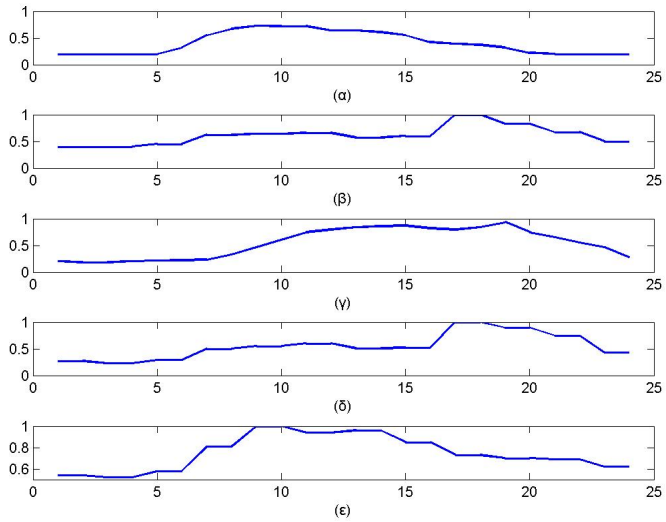
- η ζήτηση του δικτύου ανά ώρα (σχήμα 6.8)
- η ωριαία παραγωγή των φωτοβολταϊκών (σχήμα 6.9)
- οι χρονοσειρές (σχήμα 6.10) που αντιστοιχούν στην μεταβολή ζήτησης ανά τύπο φορτίου κατά τη διάρκεια της ημέρας που χρησιμοποιούνται για τον καταμερισμό της ισχύος στα διάφορα φορτία.



Σχήμα 6.8: Ωριαία ζήτηση (MW) δικτύου Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης



Σχήμα 6.9: Ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MW) από φωτοβολταϊκά στην περιοχή της Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης



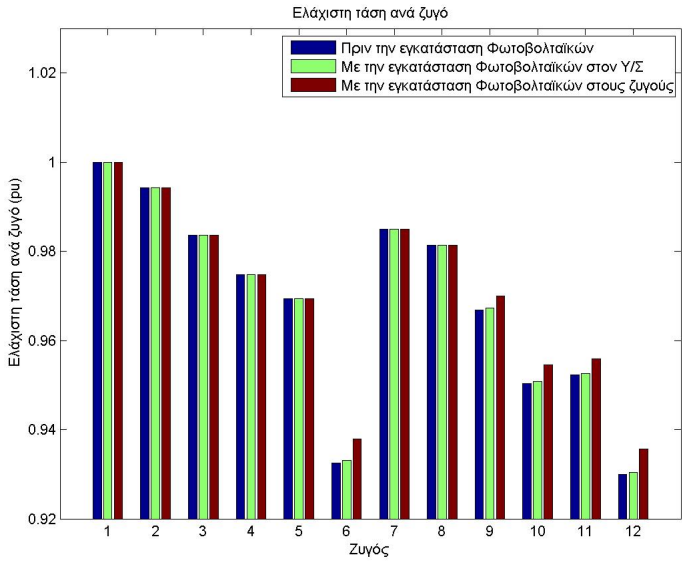
Σχήμα 6.10: Ωριαία μεταβολή ζήτησης (α) αγροτικού φορτίου,(β) βιομηχανικού φορτίου,(γ) εμπορικού φορτίου,(δ) οικιακού φορτίου,(ε) τουριστικού φορτίου,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης

6.3.1.2 Επιπτώσεις στο δίκτυο της Ιεράπετρας

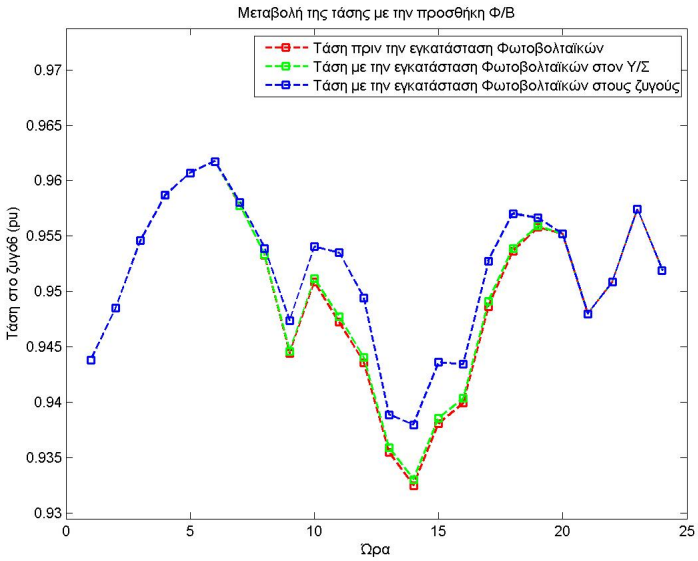
6.3.1.2.1 Μεταβολή της τάσης

Ένα σημαντικό όφελος της σύνδεσης φωτοβολταϊκών με το δίκτυο είναι η ανύψωση της τάσης του δικτύου.Για τους ζυγούς στους οποίους η ελάχιστη τάση εμφανίζεται σε ώρα ύπαρξης παραγωγής από φωτοβολταϊκά είναι εμφανής η βελτίωσή της,σε μικρότερο βαθμό στην περίπτωση συγκέντρωσης των φωτοβολταϊκών στον κεντρικό υποσταθμό και σε μεγαλύτερο βαθμό στην περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής.Η ελάχιστη τάση ανά ζυγό και περίπτωση απεικονίζεται στο σχήμα 6.11.Συγκεκριμένα,για τις περιπτώσεις των ζυγών 6 και 12,οι οποίοι αντιστοιχούν στους ζυγούς με τις μικρότερες τιμές ελάχιστης τάσης,η ανύψωση ελάχιστης τάσης των ζυγών 6 και 12 ανέρχεται σε ποσοστό 0.054 % και 0.045 % αντίστοιχα για την περίπτωση τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό και σε ποσοστό 0.547 % και 0.58 % αντίστοιχα για την περίπτωση τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών διασκορπισμένα στο δίκτυο.Σε κάθε περίπτωση η νέα τάση είναι μικρότερη από την ονομαστική.

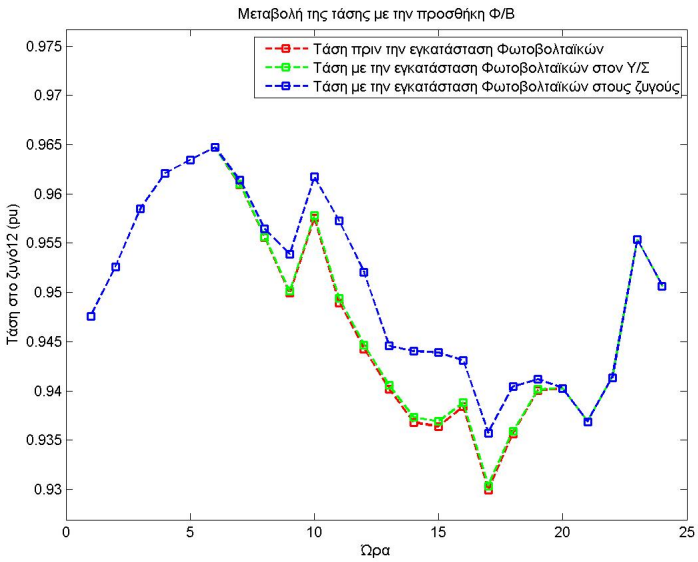
Η βελτίωση της τάσης στους ζυγούς 6 και 12 κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι εμφανής στα σχήματα 6.12 και 6.13 αντίστοιχα.



Σχήμα 6.11: Ελάχιστη τάση ανά ζυγό,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής ζήτησης

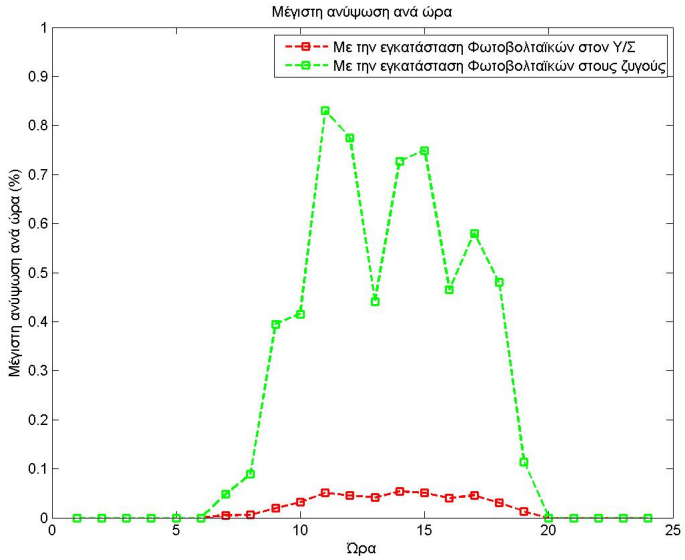


Σχήμα 6.12: Μεταβολή τάσης στο ζυγό 6,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης



Σχήμα 6.13: Μεταβολή τάσης στο ζυγό 12,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης

Η εισαγωγή φωτοβολταϊκών προκαλεί στο δίκτυο ανύψωση τάσης που φτάνει το 0.054 % για την περίπτωση των συγκεντρωμένων φωτοβολταϊκών και το 0.831 % για την περίπτωση των διεσπαρμένων φωτοβολταϊκών.Αναλυτικά στο σχήμα 6.14,παρουσιάζονται οι επί τοις εκατό μέγιστες ωριαίες τιμές ανύψωσης τάσης που πραγματοποιούνται στο δίκτυο.



Σχήμα 6.14: Μέγιστη (%) ωριαία ανύψωση τάσης στο δίκτυο της Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης

Στον πίνακα 6.6 παρουσιάζονται οι ζυγοί στους οποίους παρατηρείται μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης για τις περιπτώσεις των συγκεντρωμένων φωροβολταϊκών στον υποσταθμό και των διεσπαρμένων φωτοβολταϊκών.Ο πίνακας 6.7 περιέχει τις μέγιστες τιμές ανύψωσης τάσης ανά ζυγό κατά τη διάρκεια της ημέρας ενώ η μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης ανά ζυγό και MW παραγωγής εμφανίζεται στον πίνακα 6.8.Από τις τιμές των πινάκων 6.6, 6.7 και 6.8,μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο ζυγός που επηρεάζεται περισσότερο είναι ο ζυγός 12.

Ώρα Έναρξης	Ώρα Λήξης	Ζυγός Εμφάνισης Μέγιστης Ανύψωσης Συγκεντρωμένων Φ/Β	Ανύψωση (%)	Ζυγός Εμφάνισης Μέγιστης Ανύψωσης Διεσπαρμένων Φ/Β	Ανύψωση (%)
6	7	12	0.005	12	0.048
7	8	12	0.006	12	0.089
8	9	12	0.02	12	0.395
9	10	6	0.032	12	0.415
10	11	6	0.051	12	0.831
11	12	6	0.045	12	0.775
12	13	6	0.041	12	0.441
13	14	6	0.054	12	0.727
14	15	12	0.051	12	0.749
15	16	6	0.04	12	0.465
16	17	6	0.046	12	0.58
17	18	12	0.03	12	0.48
18	19	6,12	0.013	12	0.114

Πίνακας 6.6: Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης

Ζυγός δικτύου	Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό
1	0
2	0.069
3	0.191
4	0.313
5	0.407
6	0.626
7	0.073
8	0.27
9	0.439
10	0.592
11	0.513
12	0.831

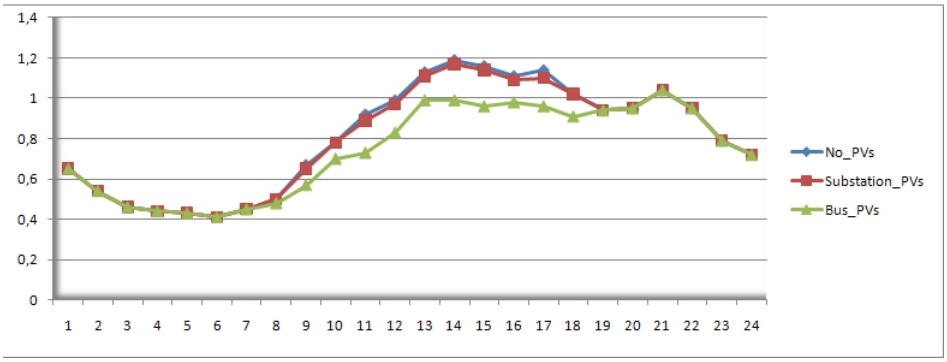
Πίνακας 6.7: Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης

Ζυγός δικτύου	Μέγιστη ανύψωση τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής
1	0
2	0.024
3	0.063
4	0.103
5	0.133
6	0.206
7	0.026
8	0.089
9	0.144
10	0.194
11	0.171
12	0.270

Πίνακας 6.8: Μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης

6.3.1.2.2 Μεταβολή των απωλειών

Η ένταξη φωτοβολταϊκών μονάδων στο δίκτυο συμβάλλει στη μείωση των απωλειών που συμβαίνουν στο δίκτυο.Για την συγκεκριμένη μέρα, για την περίπτωση της τοποθέτησης φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό,η ημερήσια μείωση απωλειών είναι 190 kWh ,δηλαδή μείωση απωλειών κατά 0.98 % ενώ για την περίπτωση εγατάστασης των φωτοβολταϊκών στους ζυγούς του δικτύου η ημερήσια μείωση απωλειών είναι 1.51 MWh ποσό που αντιστοιχεί σε μείωση απωλειών κατά 7.79 % .Η μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών συμπίπτει με την μέγιστη ωριαία παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά και αντιστοιχεί σε ποσοστό 20.65 % .Οι απώλειες ανά ώρα,και για τις τρεις περιπτώσεις,παρουσιάζονται στο σχήμα 6.15.



Σχήμα 6.15: Απώλειες ενεργού ισχύος (MW) για την ημέρα μέγιστης καλοκαιρινής ζήτησης στην περιοχή της Ιεράπετρας

Η μείωση απωλειών ανά παραγόμενη MWh είναι 0.8 % για το σύνολο της μέρας με τη μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ανά παραγόμενο MW να φτάνει το 1.81 % για την περίπτωση των συγκεντρωμένων φωτοβολταϊκών ενώ για την περίπτωση των διασκορπισμένων φωτοβολταϊκών

η μείωση απωλειών ανά παραγόμενη MWh είναι 6.34 % για το σύνολο της μέρας με τη μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ανά παραγόμενο MW να φτάνει το 8.49 % .Στον πίνακα 6.9 απεικονίζεται η μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και παραγόμενο MW από τα φωτοβολταϊκά του συνδυασμού γραμμών.

Συνδυασμός γραμμών	Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά MW παραγωγής
22	0.051
23-27	0.079
24	0
25-26	0.094

Πίνακας 6.9: Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης

Στον πίνακα 6.10 απεικονίζεται η μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος στις γραμμές αυτές.

Συνδυασμός γραμμών	Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών
22	0.0125
23-27	0.0215
24	0
25-26	0.0334

Πίνακας 6.10: Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης

Συμπεραίνουμε ότι η επίπτωση στο συνδυασμό γραμμών 25-26 είναι σημαντικότερη σε αυτή την περίπτωση.

6.3.1.2.3 Επιπτώσεις στις φορτίσεις των γραμμών και στη ζήτηση του δικτύου της Ιεράπετρας

Με την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό,η μείωση ζήτησης του δικτύου είναι 24.02 MWh .Στην περίπτωση της διεσπαρμένης παραγωγής,η μείωση ζήτησης του δικτύου είναι 25.34 MWh και η διείσδυση των φωτοβολταϊκών αντιστοιχεί σε ποσοστό 3.69 % (η δίείσδυση διαφέρει από την διείσδυση που αναφέρεται στα δεδομένα της μέρας διότι η τιμή εκείνη δεν λαμβάνει υπόψιν την μείωση των απωλειών).Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών προκαλεί μείωση της αιχμής της ημέρας κατά 1.94 MW ή 5.54 % καθώς και μετατόπιση της ώρας αιχμής από την ώρα μεταξύ 1 και 2 το μεσημέρι,στην ώρα μεταξύ 8 με 9 το βράδυ.

Όσον αφορά τις φορτίσεις των γραμμών, η μέγιστη φόρτιση γραμμής κατά τη διάρκεια της ημέρας αντιστοιχεί στο 88.7 % πριν την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,με την προσθήκη φωτοβολταϊκών να προκαλεί μείωση της φόρτισης κατά 6.6 % ενώ η μέγιστη μείωση αγγίζει το 9.8 % (74.1 % πριν

και 64.3 % μετά την προσθήκη) κατά τη διάρκεια της ημέρας και η μέγιστη φόρτιση παρατηρείται στη γραμμή μεταξύ των ζυγών 2 και 8.

6.3.1.3 Επιπτώσεις στο σύστημα της Κρήτης

Η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας προκαλεί μείωση της ζήτησης του φορτίου της Κρήτης κατά 25.34 MWh για την μέρα εκείνη,μείωση που αντιστοιχεί στο 0.208 % της ζήτησης ενώ η ωριαία συνεισφορά των φωτοβολταϊκών της Ιεράπετρας στο ΣΗΕ Κρήτης μπορεί να αγγίξει το 0.611 % .

6.3.1.4 Οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

6.3.1.4.1 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β αγνοώντας τις απώλειες

Στον πίνακα 6.11 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.Η τιμή καυσίμου diesel είναι 0.682 €/lt και η τιμή μαζούτ είναι 0.4149 €/kg .

Περιοχή	Παραγωγή (MWh) χωρίς Φ/Β	Παραγωγή (MWh) με Φ/Β	Διαφορά(MWh)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	4304	4280.2	23.8	0.55
Χανιά	3517.6	3517.6	0	0
Αθερινόλακκος	3833.2	3833.2	0	0

Πίνακας 6.11: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης

Στον πίνακα 6.12 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
6368	267	62.96	2.64	9083.8	381	22.41	940.63

Πίνακας 6.12: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης

6.3.1.4.2 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β στον υποσταθμό

Στην περίπτωση της εγκατάστασης των Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό,στον πίνακα 6.13 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή (MWh) χωρίς Φ/Β	Παραγωγή (MWh) με Φ/Β	Διαφορά(MWh)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	4304	4280	24	0.56
Χανιά	3517.6	3517.6	0	0
Αθερινόλακκος	3833.2	3833.2	0	0

Πίνακας 6.13: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό

Στον πίνακα 6.14 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
6419	269.41	62.97	2.64	9156	384.3	22.59	948.06

Πίνακας 6.14: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό

6.3.1.4.3 Περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής από Φ/Β

Στον πίνακα 6.15 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή (MWh) χωρίς Φ/Β	Παραγωγή (MWh) με Φ/Β	Διαφορά(MWh)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	4304	4278.7	25.3	0.59
Χανιά	3517.6	3517.6	0	0
Αθερινόλακκος	3833.2	3833.2	0	0

Πίνακας 6.15: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β

Στον πίνακα 6.16 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
6771	284.17	62.97	2.64	9660	405.43	23.82	999.74

Πίνακας 6.16: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής ζήτησης,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β

6.3.2 Ημέρα μέγιστης χειμερινής ζήτησης

6.3.2.1 Δεδομένα

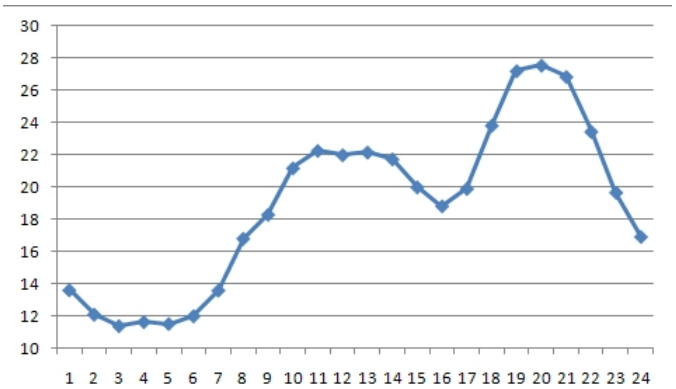
Η μέρα μέγιστης χειμερινής ζήτησης αντιστοιχεί στην 29η μέρα του μήνα Ιανουαρίου.Η συνολική ζήτηση του δικτύου εκείνη την μέρα είναι 454.94 MWh με την αιχμή ωριαίας ζήτησης να παρατηρείται την ώρα μεταξύ 7 και 8 το βράδυ με τιμή 27.574 MW.Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών συστημάτων εκείνη την ημέρα είναι 6.183 MWh με την μέγιστη ωριαία παραγωγή να συμβαίνει την ώρα μεταξύ 9 και 10 το πρωί με τιμή 1.342 MW .Η διείσδυση των φωτοβολταϊκών στο δίκτυο κατά την ώρα αιχμής ζήτησης είναι μηδενική,η μέγιστη ωριαία διείσδυση αγγίζει το 6.33 % και παρατηρείται την ώρα μεταξύ 9 και 10 το πρωί ενώ η συμβολή της παραγόμενης ισχύος στο δίκτυο της Ιεράπετρας αγγίζει το 1.36 % για αυτή την ημέρα.Τα στοιχεία αυτά απεικονίζονται στον πίνακα 6.17.

Αιχμή ημέρας (MW)	27.574
Διείσδυση Φ/Β την ώρα αιχμής (%)	0
Ενέργεια ημέρας (MWh)	454.94
Ημερήσια Παραγωγή Φ/Β (MWh)	6.183
Μέγιστη ωριαία παραγωγή Φ/Β (MW)	1.342
Μέγιστη ωριαία διείσδυση Φ/Β (%)	6.33
Ενεργειακή διείσδυση Φ/Β (%)	1.36

Πίνακας 6.17: Συγκεντρωτικά στοιχεία για τη χειμερινή μέρα με τη μέγιστη ημερήσια ζήτηση του δικτύου της Ιεράπετρας

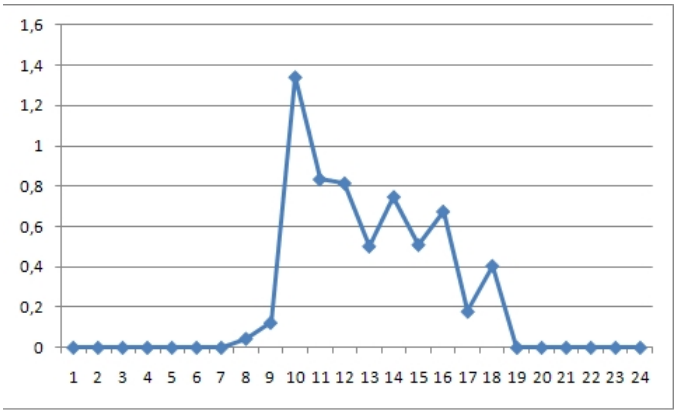
Απαραίτητα στοιχεία για την παρατήρηση της επίδρασης των φωτοβολταϊκών στο δίκτυο είναι :

- η ζήτηση του δικτύου ανά ώρα



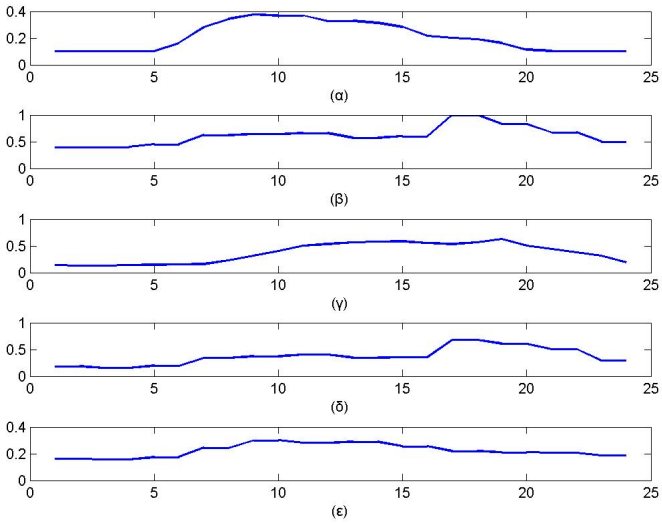
Σχήμα 6.16: Ωριαία ζήτηση (MW) δικτύου Ιεράπετρας,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης

- η ωριαία παραγωγή των φωτοβολταϊκών



Σχήμα 6.17: Ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MW) από φωτοβολταϊκά στην περιοχή της Ιεράπετρας,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης

- οι χρονοσειρές που αντιστοιχούν στην μεταβολή ζήτησης ανά τύπο φορτίου κατά τη διάρκεια της ημέρας που χρησιμοποιούνται για τον καταμερισμό της ισχύος στα διάφορα φορτία.



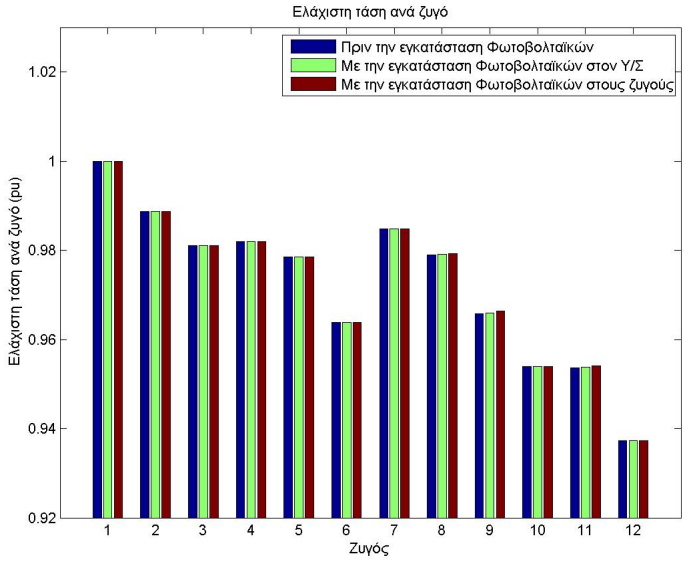
Σχήμα 6.18: Ωριαία μεταβολή ζήτησης (α) αγροτικού φορτίου,(β) βιομηχανικού φορτίου,(γ) εμπορικού φορτίου,(δ) οικιακού φορτίου,(ε) τουριστικού φορτίου,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης

6.3.2.2 Επιπτώσεις στο δίκτυο της Ιεράπετρας

6.3.2.2.1 Μεταβολή της τάσης

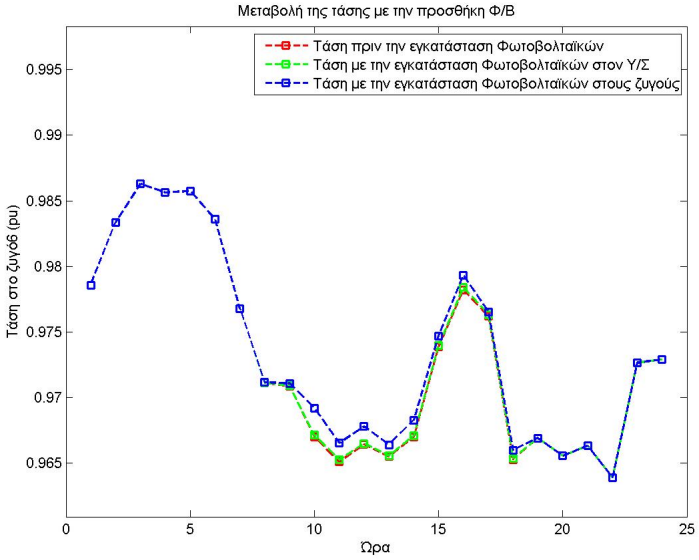
Για τους ζυγούς στους οποίους η ελάχιστη τάση εμφανίζεται σε ώρα ύπαρξης παραγωγής από

φωτοβολταϊκά είναι εμφανής η βελτίωσή της,σε μικρότερο βαθμό στην περίπτωση συγκέντρωσης των φωτοβολταϊκών στον κεντρικό υποσταθμό και σε μεγαλύτερο βαθμό στην περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής.Η ελάχιστη τάση ανά ζυγό και περίπτωση απεικονίζεται στο σχήμα 6.19.Σε κάθε περίπτωση η νέα τάση είναι μικρότερη από την ονομαστική.

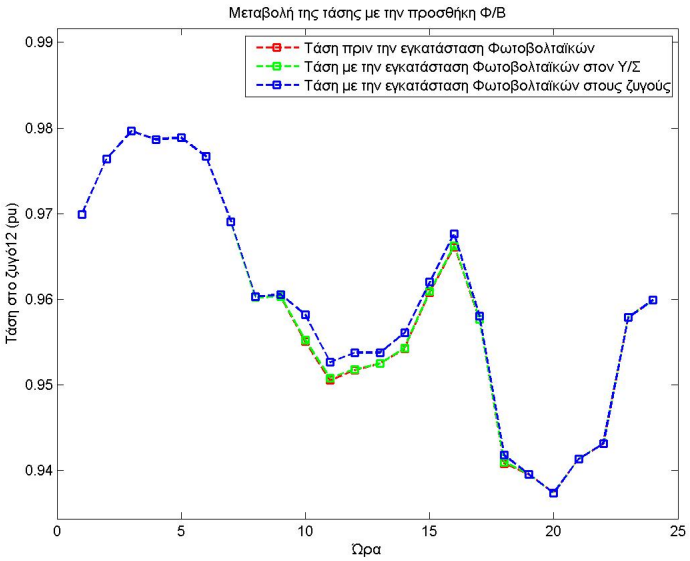


Σχήμα 6.19: Απεικόνιση ελάχιστης τάσης (pu) ανά ζυγό και περίπτωση για την ημέρα μέγιστης χειμερινής ζήτησης στην περιοχή της Ιεράπετρας

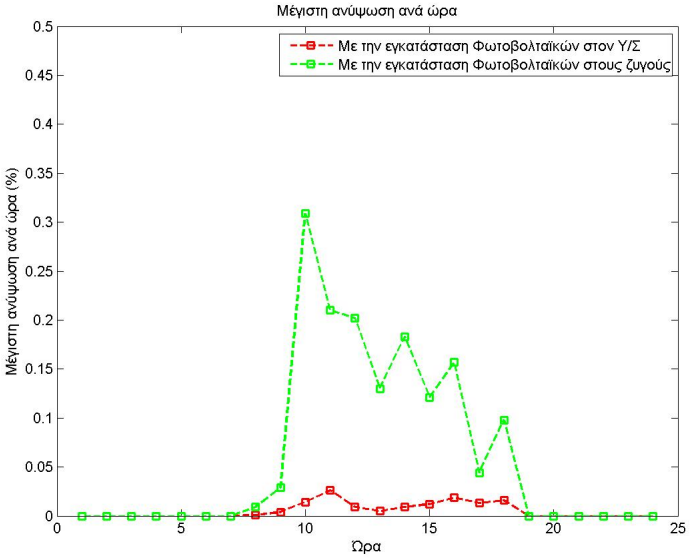
Η βελτίωση της τάσης στους ζυγούς 6 και 12 κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι εμφανής στα σχήματα 6.20 και 6.21 αντίστοιχα.



Σχήμα 6.20: Μεταβολή τάσης (pu) στο ζυγό 6,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης



Σχήμα 6.21: Μεταβολή τάσης (pu) στο ζυγό 12,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης



Σχήμα 6.22: Μέγιστη (%) ωριαία ανύψωση τάσης στο δίκτυο της Ιεράπετρας,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης

Η εισαγωγή φωτοβολταϊκών προκαλεί στο δίκτυο ανύψωση τάσης που φτάνει το 0.026 % για την περίπτωση των συγκεντρωμένων φωτοβολταϊκών και το 0.309 % για την περίπτωση των διεσπαρμένων φωτοβολταϊκών.Αναλυτικά στο σχήμα 6.22,παρουσιάζονται οι επί τοις εκατό μέγιστες ωριαίες τιμές ανύψωσης τάσης που πραγματοποιούνται στο δίκτυο.

Στον πίνακα 6.18 παρουσιάζονται οι ζυγοί στους οποίους παρατηρείται μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης για τις περιπτώσεις των συγκεντρωμένων φωροβολταϊκών στον υποσταθμό και των διεσπαρμένων φωτοβολταϊκών.Ο πίνακας 6.19 περιέχει τις μέγιστες τιμές ανύψωσης τάσης ανά ζυγό κατά τη διάρκεια της ημέρας ενώ η μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης ανά ζυγό και MW παραγωγής εμφανίζεται στον πίνακα 6.20.Από τις τιμές των πινάκων 6.18, 6.19 και 6.20,μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο ζυγός που επηρεάζεται περισσότερο είναι ο ζυγός 12.

Ώρα Έναρξης	Ώρα Λήξης	Ζυγός Εμφάνισης Μέγιστης Ανύψωσης Συγκεντρωμένων Φ/Β	Ανύψωση (%)	Ζυγός Εμφάνισης Μέγιστης Ανύψωσης Διεσπαρμένων Φ/Β	Ανύψωση (%)
7	8	4,7,11	0.001	12	0.009
8	9	6	0.004	12	0.029
9	10	10,11,12	0.014	12	0.309
10	11	12	0.026	12	0.21
11	12	6,12	0.009	12	0.202
12	13	2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12	0.005	12	0.13
13	14	12	0.009	12	0.183
14	15	6	0.012	12	0.121
15	16	6	0.019	12	0.157
16	17	6	0.013	12	0.044
17	18	12	0.016	12	0.098

Πίνακας 6.18: Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης

Ζυγός δικτύου	Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό
1	0
2	0.021
3	0.069
4	0.113
5	0.146
6	0.219
7	0.022
8	0.098
9	0.162
10	0.219
11	0.189
12	0.309

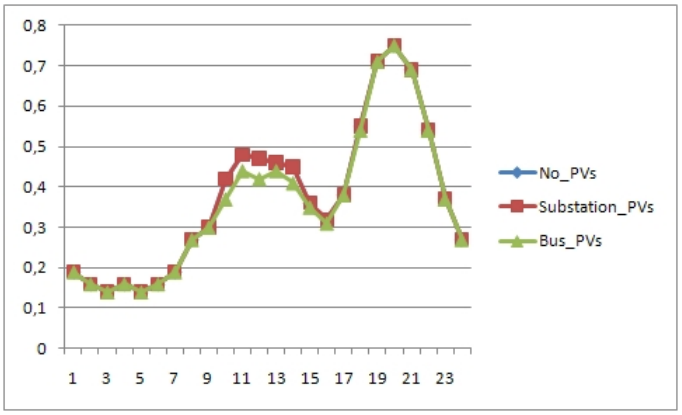
Πίνακας 6.19: Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης

Ζυγός δικτύου	Μέγιστη ανύψωση τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής
1	0
2	0.023
3	0.062
4	0.090
5	0.123
6	0.185
7	0.024
8	0.084
9	0.137
10	0.185
11	0.161
12	0.259

Πίνακας 6.20: Μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης

6.3.2.2.2 Μεταβολή των απωλειών

Για την συγκεκριμένη μέρα, για την περίπτωση της τοποθέτησης φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό, η ημερήσια μείωση απωλειών είναι μηδενική,ενώ για την περίπτωση εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών στους ζυγούς του δικτύου η ημερήσια μείωση απωλειών είναι 0.23 MWh ποσό που αντιστοιχεί σε μείωση απωλειών κατά 2.58 % .Η μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών συμπίπτει με την μέγιστη ωριαία παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά και αντιστοιχεί σε ποσοστό 11.9 % .Οι απώλειες ανά ώρα,και για τις τρεις περιπτώσεις, παρουσιάζονται στο σχήμα 6.23.



Σχήμα 6.23: Απώλειες ενεργού ισχύος (MW) για την ημέρα μέγιστης χειμερινής ζήτησης στην περιοχή της Ιεράπετρας

Η μείωση απωλειών ανά παραγόμενη MWh είναι μηδενική για το σύνολο της μέρας για την περίπτωση των συγκεντρωμένων φωτοβολταϊκών ενώ για την περίπτωση των διασκορπισμένων φωτοβολταϊκών η μείωση απωλειών ανά παραγόμενη MWh είναι 3.72 % για το σύνολο της μέρας με τη μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ανά παραγόμενο MW να φτάνει το 6.13 % .Στον πίνακα

6.21 απεικονίζεται η μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και παραγόμενο MW από τα φωτοβολταϊκά του συνδυασμού γραμμών.

Συνδυασμός γραμμών	Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά MW παραγωγής
22	0.167
23-27	0.071
24	0
25-26	0.075

Πίνακας 6.21: Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης

Στον πίνακα 6.22 απεικονίζεται η μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος στις γραμμές αυτές.

Συνδυασμός γραμμών	Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών
22	0.0125
23-27	0.00429
24	0
25-26	0.00836

Πίνακας 6.22: Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών,περίπτωση ημέρας μέγιστης χειμερινής ζήτησης

Συμπεραίνουμε ότι η επίπτωση στη γραμμή 22 είναι σημαντικότερη σε αυτή την περίπτωση.Παρατηρείται μία αλλαγή της πιο ευαίσθητης γραμμής σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση.

6.3.2.2.3 Επιπτώσεις στη ζήτηση του δικτύου της Ιεράπετρας

Με την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό,η μείωση ζήτησης του δικτύου είναι 6.183 MWh .Στην περίπτωση της διεσπαρμένης παραγωγής,η μείωση ζήτησης του δικτύου είναι 6.413 MWh και η διείσδυση των φωτοβολταϊκών αντιστοιχεί σε ποσοστό 1.41 % (η δίείσδυση διαφέρει από την διείσδυση που αναφέρεται στα δεδομένα της μέρας διότι η τιμή εκείνη δεν λαμβάνει υπόψιν την μείωση των απωλειών).

6.3.2.3 Επιπτώσεις στο σύστημα της Κρήτης

Η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας προκαλεί μείωση της ζήτησης του φορτίου της Κρήτης κατά 6.143 MWh για την μέρα εκείνη,μείωση που αντιστοιχεί στο 0.073 % της ζήτησης ενώ η ωριαία συνεισφορά των φωτοβολταϊκών της Ιεράπετρας στο ΣΗΕ Κρήτης μπορεί να αγγίξει το 0.32 % .

6.3.2.4 Οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

6.3.2.4.1 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β αγνοώντας τις απώλειες

Στον πίνακα 6.23 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή (MWh) χωρίς Φ/Β	Παραγωγή (MWh) με Φ/Β	Διαφορά(MWh)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	3185.5	3182.6	2.9	0.09
Χανιά	2314.6	2311.3	3.3	0.14
Αθερινόλακκος	1603.2	1603.2	0	0

Πίνακας 6.23: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας χειμερινής ζήτησης

Στον πίνακα 6.24 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (mg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (mg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
1533	248	1.15	0.187	2200	355.727	5.38	869.75

Πίνακας 6.24: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας χειμερινής ζήτησης

6.3.2.4.2 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β στον υποσταθμό

Στην περίπτωση της εγκατάστασης των Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό,η παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας είναι ίση με την αντίστοιχη της παραγράφου 6.3.2.4.1.

Στον πίνακα 6.25 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (mg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (mg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
1533	247.95	1.15	0	2200	355.73	5.38	869.75

Πίνακας 6.25: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας χειμερινής ζήτησης,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό

6.3.2.4.3 Περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής από Φ/Β

Στον πίνακα 6.26 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή (MWh) χωρίς Φ/Β	Παραγωγή (MWh) με Φ/Β	Διαφορά(MWh)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	3185.5	3182.55	2.95	0.09
Χανιά	2314.6	2311.1	3.5	0.15
Αθερινόλακκος	1603.2	1603.2	0	0

Πίνακας 6.26: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας χειμερινής ζήτησης,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β

Στον πίνακα 6.27 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (mg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (mg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
1592	257.46	-0.238	0	2284	369.36	5.58	903.09

Πίνακας 6.27: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας χειμερινής ζήτησης,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β

6.3.3 Ημέρα μέγιστης διείσδυσης από φωτοβολταϊκά κατά το μήνα Απρίλιο

6.3.3.1 Δεδομένα

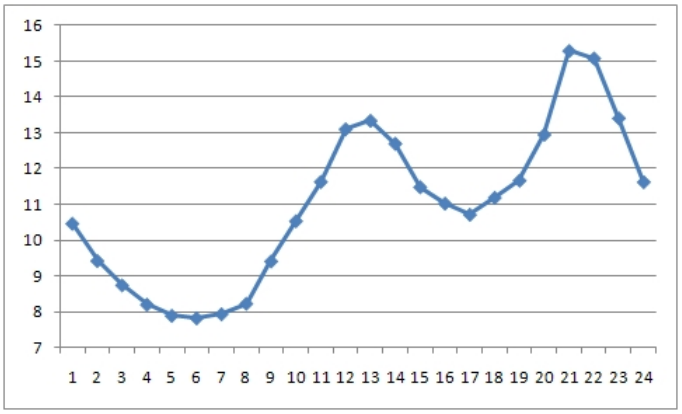
Η μέρα του Απριλίου με τη μέγιστη ωριαία διείσδυση από φωτοβολταϊκά αντιστοιχεί στην 13η μέρα του μήνα.Η συνολική ζήτηση του δικτύου εκείνη την μέρα είναι 263.992 MWh με την αιχμή ωριαίας ζήτησης να παρατηρείται την ώρα μεταξύ 8 και 9 το βράδυ με τιμή 15.289 MW.Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών συστημάτων εκείνη την ημέρα είναι 37.712 MWh με την μέγιστη ωριαία παραγωγή να συμβαίνει την ώρα μεταξύ 10 και 11 το πρωί με τιμή 4.713 MW .Η διείσδυση των φωτοβολταϊκών στο δίκτυο κατά την ώρα αιχμής ζήτησης είναι 0 %,η μέγιστη ωριαία διείσδυση αγγίζει το 40.51 % και παρατηρείται την ώρα μεταξύ 10 και 11 το πρωί ενώ η συμβολή της παραγόμενης ισχύος στο δίκτυο της Ιεράπετρας αγγίζει το 14.29 % για αυτή την ημέρα.Τα στοιχεία αυτά απεικονίζονται στον πίνακα 6.28.

Αιχμή ημέρας (MW)	15.289
Διείσδυση Φ/Β την ώρα αιχμής (%)	0
Ενέργεια ημέρας (MWh)	263.992
Ημερήσια παραγωγή Φ/Β (MWh)	37.712
Μέγιστη ωριαία παραγωγή Φ/Β (MW)	4.713
Μέγιστη ωριαία διείσδυση Φ/Β (%)	40.51
Ενεργειακή διείσδυση Φ/Β (%)	14.29

Πίνακας 6.28: Συγκεντρωτικά στοιχεία για τη μέρα του Απριλίου με τη μέγιστη διείσδυση στην περιοχή της Ιεράπετρας

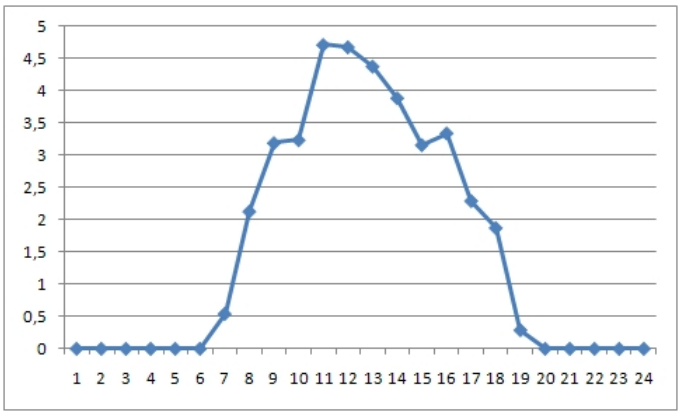
Απαραίτητα στοιχεία για την παρατήρηση της επίδρασης των φωτοβολταϊκών στο δίκτυο είναι :

- η ζήτηση του δικτύου ανά ώρα



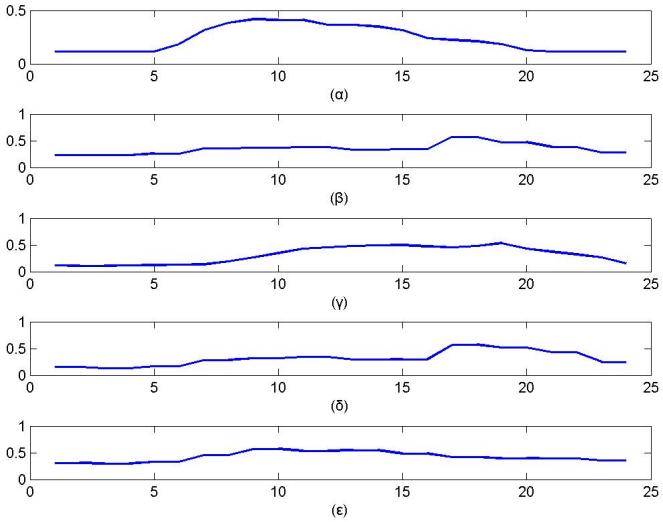
Σχήμα 6.24: Ωριαία ζήτηση (MW) δικτύου Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου

- η ωριαία παραγωγή των φωτοβολταϊκών



Σχήμα 6.25: Ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MW) από φωτοβολταϊκά στην περιοχή της Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου

- οι χρονοσειρές που αντιστοιχούν στην μεταβολή ζήτησης ανά τύπο φορτίου κατά τη διάρκεια της ημέρας που χρησιμοποιούνται για τον καταμερισμό της ισχύος στα διάφορα φορτία.

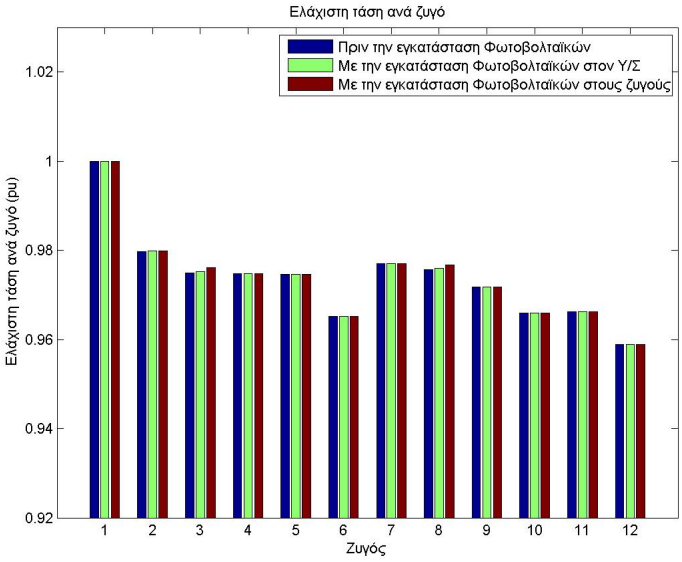


Σχήμα 6.26: Ωριαία μεταβολή ζήτησης (α) αγροτικού φορτίου,(β) βιομηχανικού φορτίου,(γ) εμπορικού φορτίου,(δ) οικιακού φορτίου,(ε) τουριστικού φορτίου,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου

6.3.3.2 Επιπτώσεις στο δίκτυο της Ιεράπετρας

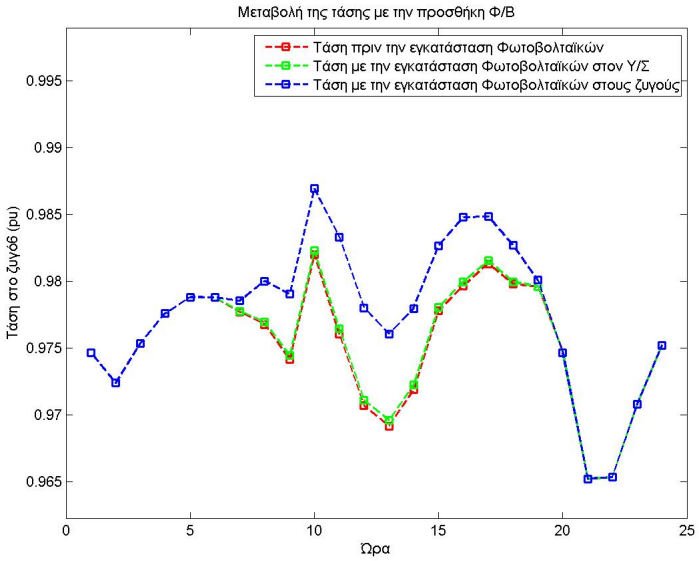
6.3.3.2.1 Μεταβολή της τάσης

Για τους ζυγούς στους οποίους η ελάχιστη τάση εμφανίζεται σε ώρα ύπαρξης παραγωγής από φωτοβολταϊκά είναι εμφανής η βελτίωσή της,σε μικρότερο βαθμό στην περίπτωση συγκέντρωσης των φωτοβολταϊκών στον κεντρικό υποσταθμό και σε μεγαλύτερο βαθμό στην περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής.Η ελάχιστη τάση ανά ζυγό και περίπτωση απεικονίζεται στο σχήμα 6.27.Σε κάθε περίπτωση η νέα τάση είναι μικρότερη από την ονομαστική.

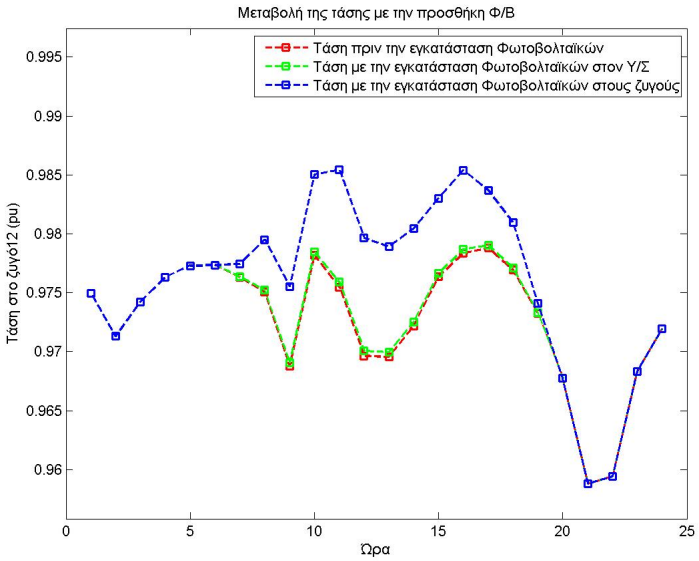


Σχήμα 6.27: Απεικόνιση ελάχιστης τάσης (pu) ανά ζυγό και περίπτωση στην περιοχή της Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου

Η βελτίωση της τάσης στους ζυγούς 6 και 12 κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι εμφανής στα σχήματα 6.28 και 6.29 αντίστοιχα.

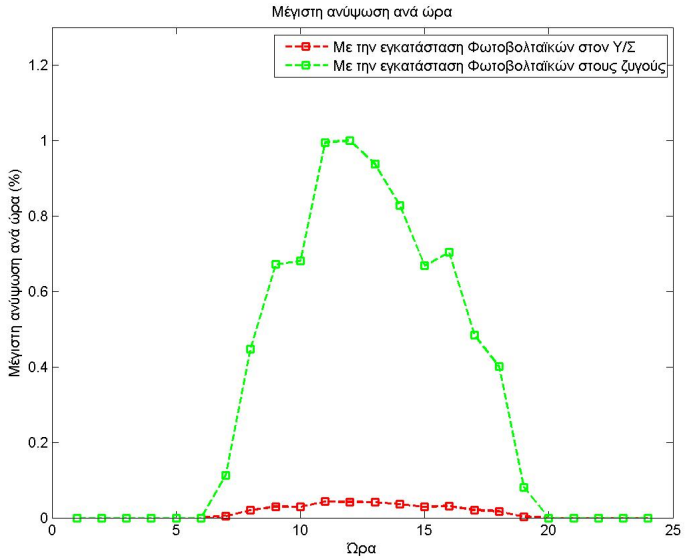


Σχήμα 6.28: Μεταβολή τάσης (pu) στο ζυγό 6,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου



Σχήμα 6.29: Τάση (pu) στο ζυγό 12,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου

Η εισαγωγή φωτοβολταϊκών προκαλεί στο δίκτυο ανύψωση τάσης που φτάνει το 0.043 % για την περίπτωση των συγκεντρωμένων φωτοβολταϊκών και το 1 % για την περίπτωση των διεσπαρμένων φωτοβολταϊκών.Αναλυτικά στο σχήμα 6.30,παρουσιάζονται οι επί τοις εκατό μέγιστες ωριαίες ανυψώσεις τάσης που πραγματοποιούνται στο δίκτυο.



Σχήμα 6.30: Μέγιστη (%) ωριαία ανύψωση τάσης στο δίκτυο της Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου

Στον πίνακα 6.29 παρουσιάζονται οι ζυγοί στους οποίους παρατηρείται μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης για τις περιπτώσεις των συγκεντρωμένων φωροβολταϊκών στον υποσταθμό και των διεσπαρμένων φωτοβολταϊκών.Ο πίνακας 6.30 περιέχει τις μέγιστες τιμές ανύψωσης τάσης ανά ζυγό κατά τη διάρκεια της ημέρας ενώ η μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης ανά ζυγό και MW παραγωγής εμφανίζεται στον πίνακα 6.31.Από τις τιμές των πινάκων 6.29, 6.30 και 6.31,μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο ζυγός που επηρεάζεται περισσότερο είναι ο ζυγός 12.

Ώρα Έναρξης	Ώρα Λήξης	Ζυγός Εμφάνισης Μέγιστης Ανύψωσης Συγκεντρωμένων Φ/Β	Ανύψωση (%)	Ζυγός Εμφάνισης Μέγιστης Ανύψωσης Διεσπαρμένων Φ/Β	Ανύψωση (%)
6	7	2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12	0.005	12	0.113
7	8	6	0.02	12	0.447
8	9	6	0.03	12	0.672
9	10	6	0.029	12	0.681
10	11	10,12	0.043	12	0.995
11	12	4,6,9,10,11,12	0.042	12	1
12	13	6,11,12	0.041	12	0.937
13	14	6,10,12	0.036	12	0.828
14	15	10,11,12	0.029	12	0.668
15	16	6,12	0.031	12	0.704
16	17	5,6,8,10,11,12	0.021	12	0.484
17	18	2,4,5,6,8,9,10,11,12	0.017	12	0.401
18	19	3,4,5,6,7,10,11	0.003	12	0.081

Πίνακας 6.29: Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου

Ζυγός δικτύου	Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό
1	0
2	0.059
3	0.226
4	0.37
5	0.484
6	0.732
7	0.063
8	0.312
9	0.521
10	0.704
11	0.604
12	1

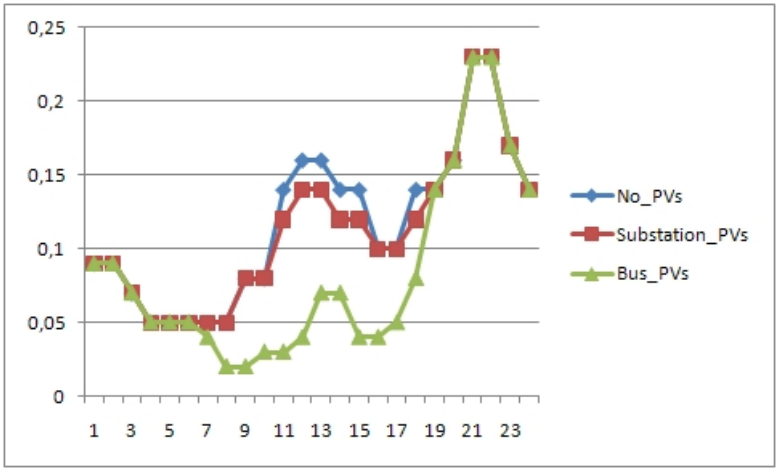
Πίνακας 6.30: Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου

Ζυγός δικτύου	Μέγιστη ανύψωση τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής
1	0
2	0.021
3	0.059
4	0.093
5	0.117
6	0.172
7	0.021
8	0.086
9	0.142
10	0.197
11	0.166
12	0.280

Πίνακας 6.31: Μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου

6.3.3.2.2 Μεταβολή των απωλειών

Για την συγκεκριμένη μέρα, για την περίπτωση της τοποθέτησης φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό,η ημερήσια μείωση απωλειών είναι 120 kWh ,δηλαδή μείωση απωλειών κατά 4.27 % ενώ για την περίπτωση εγατάστασης των φωτοβολταϊκών στους ζυγούς του δικτύου η ημερήσια μείωση απωλειών είναι 0.81 MWh ποσό που αντιστοιχεί σε μείωση απωλειών κατά 28.83 % .Η μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών αντιστοιχεί σε ποσοστό 78.57 % .Οι απώλειες ανά ώρα,και για τις τρεις περιπτώσεις,παρουσιάζονται στο σχήμα 6.31.



Σχήμα 6.31: Απώλειες ενεργού ισχύος (MW) για την ημέρα του Απριλίου με τη μέγιστη ωριαία διείσδυση στην περιοχή της Ιεράπετρας

Η μείωση απωλειών ανά παραγόμενη MWh είναι 0.32 % για το σύνολο της μέρας με τη μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ανά παραγόμενο MW να φτάνει το 1.07 % για την περίπτωση των

συγκεντρωμένων φωτοβολταϊκών ενώ για την περίπτωση των διασκορπισμένων φωτοβολταϊκών η μείωση απωλειών ανά παραγόμενη MWh είναι 2.15 % για το σύνολο της μέρας με τη μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ανά παραγόμενο MW να φτάνει το 3.2 % .Στον πίνακα 6.32 απεικονίζεται η μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και παραγόμενο MW από τα φωτοβολταϊκά του συνδυασμού γραμμών.

Συνδυασμός γραμμών	Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά MW παραγωγής
22	0
23-27	0.053
24	0
25-26	0.03

Πίνακας 6.32: Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου

Στον πίνακα 6.33 απεικονίζεται η μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος στις γραμμές αυτές.

Συνδυασμός γραμμών	Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών
22	0
23-27	0.0172
24	0
25-26	0.0167

Πίνακας 6.33: Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης Απριλίου

Συμπεραίνουμε ότι η επίπτωση στο συνδυασμό γραμμών 23-27 είναι σημαντικότερη σε αυτή την περίπτωση.

6.3.3.2.3 Επιπτώσεις στις φορτίσεις των γραμμών και στη ζήτηση του δικτύου της Ιεράπετρας

Με την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό,η μείωση ζήτησης του δικτύου είναι 37.83 MWh .Στην περίπτωση της διεσπαρμένης παραγωγής,η μείωση ζήτησης του δικτύου είναι 38.52 MWh και η διείσδυση των φωτοβολταϊκών αντιστοιχεί σε ποσοστό 14.59 % (η δίείσδυση διαφέρει από την διείσδυση που αναφέρεται στα δεδομένα της μέρας διότι η τιμή εκείνη δεν λαμβάνει υπόψιν την μείωση των απωλειών).

Όσον αφορά τις φορτίσεις των γραμμών,η προσθήκη φωτοβολταϊκών προκαλεί μείωση της φόρτισης που αγγίζει το 12.5 % (30.7 % πριν την προσθήκη και παρατηρείται στην γραμμή 2-8 και 18.2 % μετά την προσθήκη και παρατηρείται στη γραμμή 5-6) κατά τη διάρκεια της ημέρας.Επιπλέον

παρατηρείται ανάστροφη ροή ισχύος στη γραμμή που συνδέει τους κλάδους 10 και 11 κατά τις ώρες μεταξύ 11 το πρωί με 1 το μεσημέρι(0.2 και -0.1 MW πριν και μετά αντίστοιχα και για τις 2 ώρες).

6.3.3.3 Επιπτώσεις στο σύστημα της Κρήτης

Η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας προκαλεί μείωση της ζήτησης του φορτίου της Κρήτης κατά 38.52 MWh για την μέρα εκείνη,μείωση που αντιστοιχεί στο 0.79 % της ζήτησης ενώ η ωριαία συνεισφορά των φωτοβολταϊκών της Ιεράπετρας στο ΣΗΕ Κρήτης μπορεί να αγγίξει το 2.26 % .

6.3.3.4 Οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

6.3.3.4.1 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β αγνοώντας τις απώλειες

Στον πίνακα 6.34 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή (MWh) χωρίς Φ/Β	Παραγωγή (MWh) με Φ/Β	Διαφορά(MWh)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	815.9	783.1	32.8	4.02
Χανιά	1853.4	1848.4	5	0.27
Αθερινόλακκος	2264.3	2264.3	0	0

Πίνακας 6.34: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης κατά το μήνα Απρίλιο

Στον πίνακα 6.35 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
4654.47	123.42	9970.23	264.38	741.65	19.7	33.72	894.1

Πίνακας 6.35: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης κατά το μήνα Απρίλιο

6.3.3.4.2 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β στον υποσταθμό

Στην περίπτωση της εγκατάστασης των Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό,στον πίνακα 6.36 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή (MWh) χωρίς Φ/Β	Παραγωγή (MWh) με Φ/Β	Διαφορά(MWh)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	815.9	783	32.9	4.03
Χανιά	1853.4	1848.4	5	0.27
Αθερινόλακκος	2264.3	2264.3	0	0

Πίνακας 6.36: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης κατά το μήνα Απρίλιο,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό

Στον πίνακα 6.37 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
4668.9	123.81	10005	265.3	741.6	19.67	33.83	897.05

Πίνακας 6.37: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης κατά το μήνα Απρίλιο,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό

6.3.3.4.3 Περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής από Φ/Β

Στον πίνακα 6.38 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή (MWh) χωρίς Φ/Β	Παραγωγή (MWh) με Φ/Β	Διαφορά(MWh)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	815.9	782.5	33.4	4.09
Χανιά	1853.4	1848.3	5.1	0.28
Αθερινόλακκος	2264.3	2264.3	0	0

Πίνακας 6.38: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης κατά το μήνα Απρίλιο,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β

Στον πίνακα 6.39 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
4749.5	125.94	10164	269.52	762.6	20.22	34.39	911.9

Πίνακας 6.39: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας διείσδυσης κατά το μήνα Απρίλιο,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β

6.3.4 Ημέρα μέγιστης παραγωγής από φωτοβολταϊκά την περίοδο του καλοκαιριού

6.3.4.1 Δεδομένα

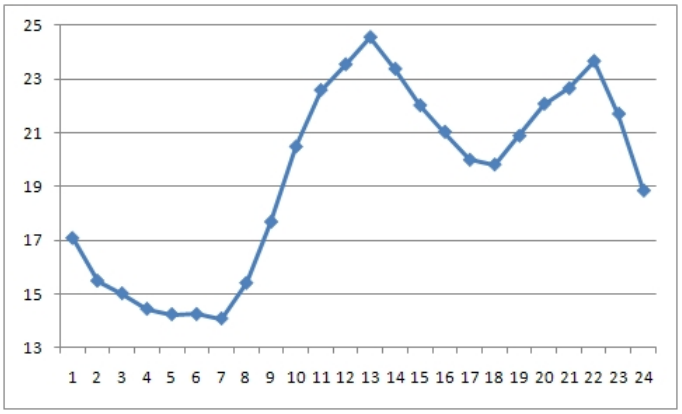
Η καλοκαιρινή μέρα με τη μέγιστη παραγωγή από φωτοβολταϊκά αντιστοιχεί στην 14η μέρα του μήνα Ιουνίου.Η συνολική ζήτηση του δικτύου εκείνη την μέρα είναι 464.713 MWh με την αιχμή ωριαίας ζήτησης να παρατηρείται την ώρα μεταξύ 12 και 1 το μεσημέρι με τιμή 24.548 MW.Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών συστημάτων εκείνη την ημέρα είναι 44.727 MWh με την μέγιστη ωριαία παραγωγή να συμβαίνει την ώρα μεταξύ 12 και 1 το μεσημέρι με τιμή 4.631 MW .Η διείσδυση των φωτοβολταϊκών στο δίκτυο κατά την ώρα αιχμής ζήτησης είναι 18.87 %,η μέγιστη ωριαία διείσδυση αγγίζει το 19.63 % και παρατηρείται την ώρα μεταξύ 10 και 11 το πρωί ενώ η συμβολή της παραγόμενης ισχύος στο δίκτυο της Ιεράπετρας αγγίζει το 9.62 % για αυτή την ημέρα.Τα στοιχεία αυτά απεικονίζονται στον πίνακα 6.40.

Αιχμή ημέρας (MW)	24.548
Διείσδυση Φ/Β την ώρα αιχμής (%)	18.87
Ενέργεια ημέρας (MWh)	464.713
Ημερήσια Παραγωγή Φ/Β (MWh)	44.727
Μέγιστη ωριαία παραγωγή Φ/Β (MW)	4.631
Μέγιστη ωριαία διείσδυση Φ/Β (%)	19.63
Ενεργειακή διείσδυση Φ/Β (%)	9.62

Πίνακας 6.40: Συγκεντρωτικά στοιχεία για τη καλοκαιρινή μέρα με τη μέγιστη παραγωγή από φωτοβολταϊκά στην περιοχή της Ιεράπετρας

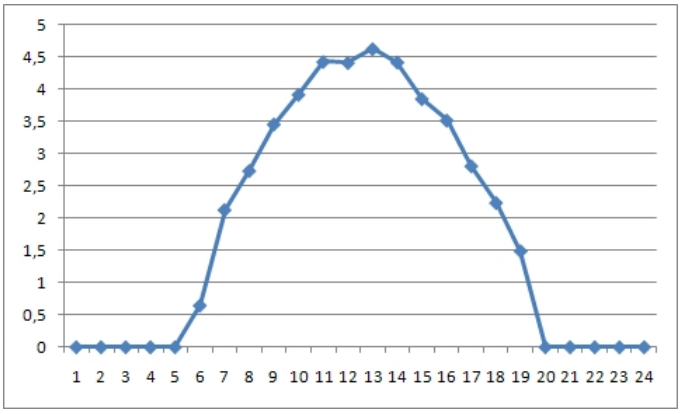
Απαραίτητα στοιχεία για την παρατήρηση της επίδρασης των φωτοβολταϊκών στο δίκτυο είναι :

- η ζήτηση του δικτύου ανά ώρα



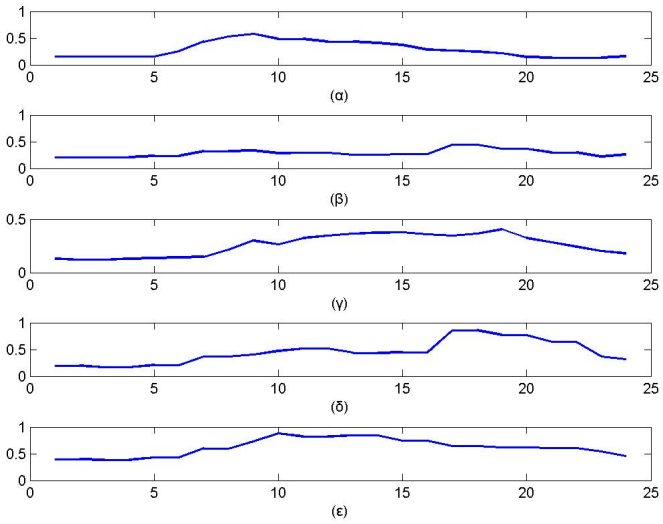
Σχήμα 6.32: Ωριαία ζήτηση (MW) δικτύου Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής

- η ωριαία παραγωγή των φωτοβολταϊκών



Σχήμα 6.33: Ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MW) από φωτοβολταϊκά στην περιοχή της Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής

- οι χρονοσειρές που αντιστοιχούν στην μεταβολή ζήτησης ανά τύπο φορτίου κατά τη διάρκεια της ημέρας που χρησιμοποιούνται για τον καταμερισμό της ισχύος στα διάφορα φορτία.

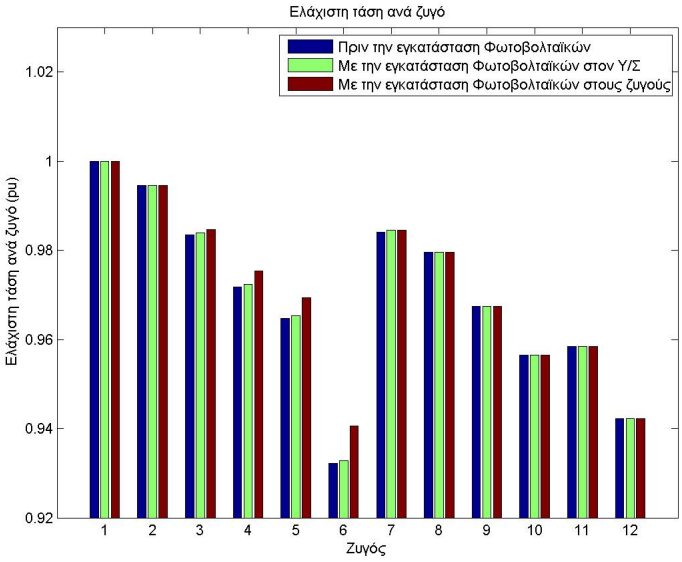


Σχήμα 6.34: Ωριαία μεταβολή ζήτησης (α) αγροτικού φορτίου,(β) βιομηχανικού φορτίου,(γ) εμπορικού φορτίου,(δ) οικιακού φορτίου,(ε) τουριστικού φορτίου,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής

6.3.4.2 Επιπτώσεις στο δίκτυο της Ιεράπετρας

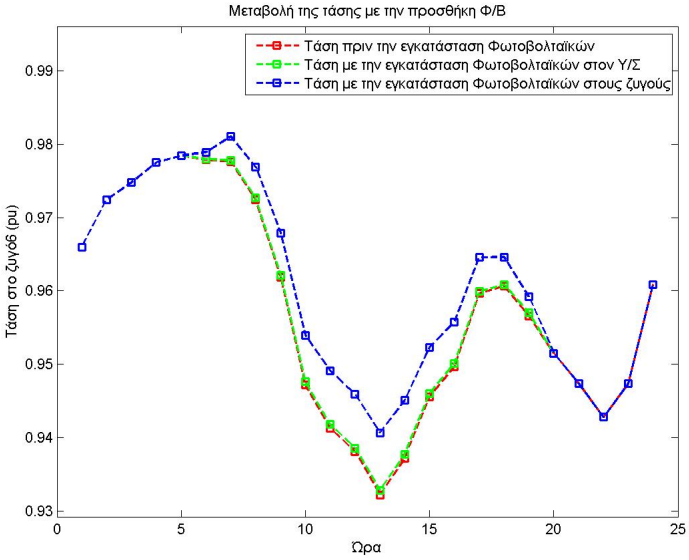
6.3.4.2.1 Μεταβολή της τάσης

Για τους ζυγούς στους οποίους η ελάχιστη τάση εμφανίζεται σε ώρα ύπαρξης παραγωγής από φωτοβολταϊκά είναι εμφανής η βελτίωσή της,σε μικρότερο βαθμό στην περίπτωση συγκέντρωσης των φωτοβολταϊκών στον κεντρικό υποσταθμό και σε μεγαλύτερο βαθμό στην περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής.Η ελάχιστη τάση ανά ζυγό και περίπτωση απεικονίζεται στο σχήμα 6.35.Συγκεκριμένα,για τις περιπτώσεις των ζυγών 6 και 12,οι οποίοι αντιστοιχούν στους ζυγούς με τις μικρότερες τιμές ελάχιστης τάσης,η ανύψωση ελάχιστης τάσης των ζυγών 6 και 12 ανέρχεται σε ποσοστό 0.061 % και 0 % αντίστοιχα για την περίπτωση τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό και σε ποσοστό 0.843 % και 0 % αντίστοιχα για την περίπτωση τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών διασκορπισμένα στο δίκτυο.Σε κάθε περίπτωση η νέα τάση είναι μικρότερη από την ονομαστική.

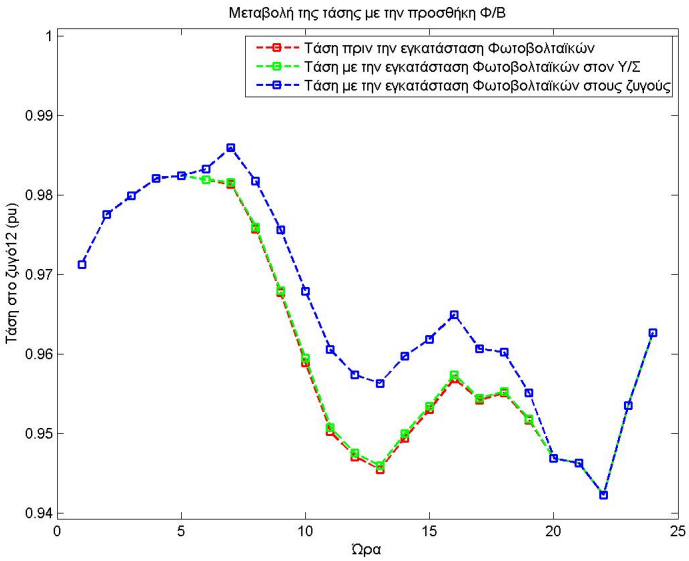


Σχήμα 6.35: Απεικόνιση ελάχιστης τάσης (pu) ανά ζυγό και περίπτωση για την καλοκαιρινή μέρα με τη μέγιστη παραγωγή από φωτοβολταϊκά στην περιοχή της Ιεράπετρας

Η βελτίωση της τάσης στους ζυγούς 6 και 12 κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι εμφανής στα σχήματα 6.36 και 6.37 αντίστοιχα.

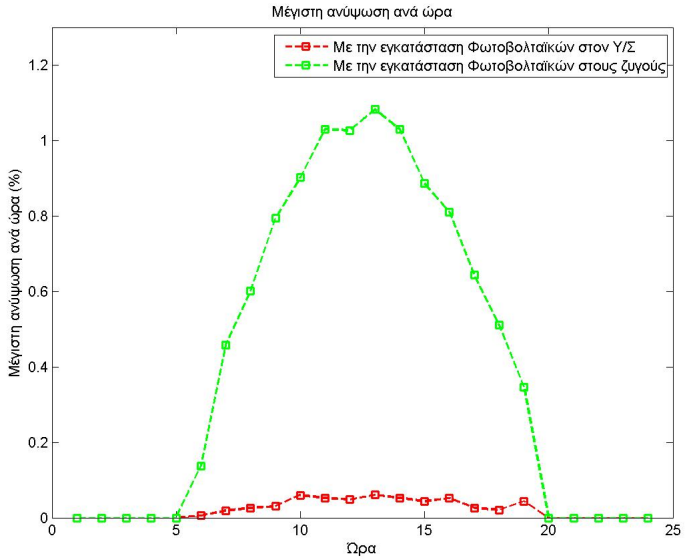


Σχήμα 6.36: Μεταβολή τάσης (pu) στο ζυγό 6,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής



Σχήμα 6.37: Μεταβολή τάσης (pu) στο ζυγό 12,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής

Η εισαγωγή φωτοβολταϊκών προκαλεί στο δίκτυο ανύψωση τάσης που φτάνει το 0.06 % για την περίπτωση των συγκεντρωμένων φωτοβολταϊκών και το 1.08 % για την περίπτωση των διεσπαρμένων φωτοβολταϊκών.Αναλυτικά στο σχήμα 6.38,παρουσιάζονται οι επί τοις εκατό μέγιστες ωριαίες τιμές ανύψωσης τάσης που πραγματοποιούνται στο δίκτυο.



Σχήμα 6.38: Μέγιστη (%) ωριαία ανύψωση τάσης στο δίκτυο της Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής

Στον πίνακα 6.41 παρουσιάζονται οι ζυγοί στους οποίους παρατηρείται μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης για τις περιπτώσεις των συγκεντρωμένων φωροβολταϊκών στον υποσταθμό και των διεσπαρμένων φωτοβολταϊκών.Ο πίνακας 6.42 περιέχει τις μέγιστες τιμές ανύψωσης τάσης ανά ζυγό κατά τη διάρκεια της ημέρας ενώ η μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης ανά ζυγό και MW παραγωγής εμφανίζεται στον πίνακα 6.43.Από τις τιμές των πινάκων 6.41, 6.42 και 6.43,μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο ζυγός που επηρεάζεται περισσότερο είναι ο ζυγός 12.

Ώρα Έναρξης	Ώρα Λήξης	Ζυγός Εμφάνισης Μέγιστης Ανύψωσης Συγκεντρωμένων Φ/Β	Ανύψωση (%)	Ζυγός Εμφάνισης Μέγιστης Ανύψωσης Διεσπαρμένων Φ/Β	Ανύψωση (%)
5	6	2,3,4,5,6,7,9,10,11,12	0.006	12	0.138
6	7	3,4,5,6,7,8,9	0.019	12	0.458
7	8	5,6,10,11,12	0.026	12	0.601
8	9	2,3,4,5,6,7,9	0.031	12	0.795
9	10	12	0.06	12	0.902
10	11	12	0.053	12	1.03
11	12	6	0.048	12	1.027
12	13	6	0.061	12	1.083
13	14	6	0.053	12	1.03
14	15	10,11,12	0.044	12	0.886
15	16	12	0.052	12	0.81
16	17	4,5,6,7,8	0.026	12	0.643
17	18	7	0.021	12	0.511
18	19	6	0.044	12	0.346

Πίνακας 6.41: Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής

Ζυγός δικτύου	Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό
1	0
2	0.08
3	0.248
4	0.418
5	0.547
6	0.843
7	0.084
8	0.346
9	0.568
10	0.767
11	0.66
12	1.083

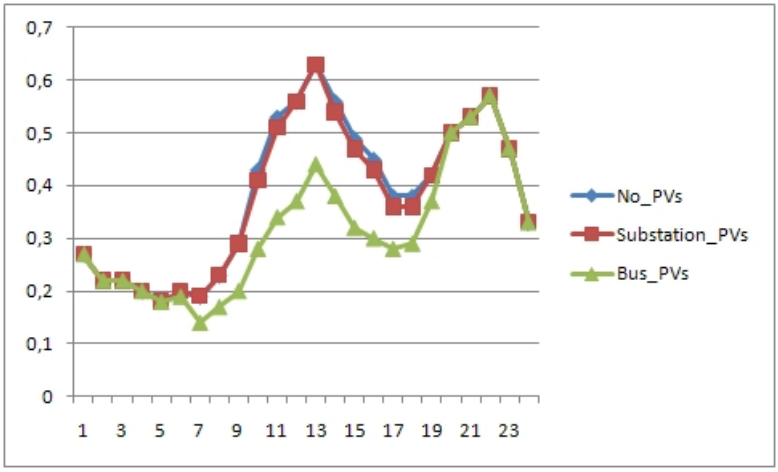
Πίνακας 6.42: Μέγιστο ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής

Ζυγός δικτύου	Μέγιστη ανύψωση τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής
1	0
2	0.017
3	0.054
4	0.09
5	0.118
6	0.182
7	0.018
8	0.075
9	0.123
10	0.166
11	0.143
12	0.234

Πίνακας 6.43: Μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής

6.3.4.2.2 Μεταβολή των απωλειών

Για την συγκεκριμένη μέρα, για την περίπτωση της τοποθέτησης φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό,η ημερήσια μείωση απωλειών είναι 140 kWh ,δηλαδή μείωση απωλειών κατά 1.52 % ενώ για την περίπτωση εγατάστασης των φωτοβολταϊκών στους ζυγούς του δικτύου η ημερήσια μείωση απωλειών είναι 1.67 MWh ποσό που αντιστοιχεί σε μείωση απωλειών κατά 18.09 % .Η μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών αντιστοιχεί σε ποσοστό 35.85 % .Οι απώλειες ανά ώρα,και για τις τρεις περιπτώσεις,παρουσιάζονται στο σχήμα 6.39.



Σχήμα 6.39: Απώλειες ενεργού ισχύος (MW) για την καλοκαιρινή ημέρα με τη μέγιστη παραγωγή στην περιοχή της Ιεράπετρας

Η μείωση απωλειών ανά παραγόμενη MWh είναι 0.31 % για το σύνολο της μέρας με τη μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ανά παραγόμενο MW να φτάνει το 0.89 % για την περίπτωση των

συγκεντρωμένων φωτοβολταϊκών ενώ για την περίπτωση των διασκορπισμένων φωτοβολταϊκών η μείωση απωλειών ανά παραγόμενη MWh είναι 3.73 % για το σύνολο της μέρας με τη μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ανά παραγόμενο MW να φτάνει το 4.41 % .Στον πίνακα 6.44 εμπεριέχεται η μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και παραγόμενο MW από τα φωτοβολταϊκά του συνδυασμού γραμμών.

Συνδυασμός γραμμών	Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά MW παραγωγής
22	0.039
23-27	0.053
24	0
25-26	0.049

Πίνακας 6.44: Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής

Στον πίνακα 6.45 απεικονίζεται η μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος στις γραμμές αυτές.

Συνδυασμός γραμμών	Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών
22	0.0125
23-27	0.03
24	0
25-26	0.0334

Πίνακας 6.45: Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής

Συμπεραίνουμε ότι η επίπτωση στο συνδυασμό γραμμών 25-26 είναι σημαντικότερη σε αυτή την περίπτωση.

6.3.4.2.3 Επιπτώσεις στις φορτίσεις των γραμμών και στη ζήτηση του δικτύου της Ιεράπετρας

Με την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό,η μείωση ζήτησης του δικτύου είναι 44.87 MWh .Στην περίπτωση της διεσπαρμένης παραγωγής,η μείωση ζήτησης του δικτύου είναι 46.4 MWh και η διείσδυση των φωτοβολταϊκών αντιστοιχεί σε ποσοστό 9.98 % (η δίείσδυση διαφέρει από την διείσδυση που αναφέρεται στα δεδομένα της μέρας διότι η τιμή εκείνη δεν λαμβάνει υπόψιν την μείωση των απωλειών).Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών προκαλεί μείωση της αιχμής της ημέρας κατά 0.89 MW ή 3.62 % καθώς και μετατόπιση της ώρας αιχμής από την ώρα μεταξύ 12 και 1 το μεσημέρι,στην ώρα μεταξύ 9 με 10 το βράδυ.

Όσον αφορά τις φορτίσεις των γραμμών,η προσθήκη φωτοβολταϊκών προκαλεί μείωση της φόρτισης που αγγίζει το 11.5 % (54.6 % πριν την προσθήκη και παρατηρείται στην γραμμή 2-8 και 43.1

% μετά την προσθήκη και παρατηρείται στη γραμμή 5-6) κατά τη διάρκεια της ημέρας.

6.3.4.3 Επιπτώσεις στο σύστημα της Κρήτης

Η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών στην περιοχή της Ιεράπετρας προκαλεί μείωση της ζήτησης του φορτίου της Κρήτης κατά 46.4 MWh για την μέρα εκείνη,μείωση που αντιστοιχεί στο 0.5 % της ζήτησης ενώ η ωριαία συνεισφορά των φωτοβολταϊκών της Ιεράπετρας στο ΣΗΕ Κρήτης μπορεί να αγγίξει το 1.03 % .

6.3.4.3.1 Οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

6.3.4.3.1.1 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β αγνοώντας τις απώλειες

Στον πίνακα 6.46 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή (MWh) χωρίς Φ/Β	Παραγωγή (MWh) με Φ/Β	Διαφορά(MWh)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	3359.5	3330.4	29.1	0.87
Χανιά	2690.3	2674.7	15.6	0.58
Αθερινόλακκος	3054.8	3054.8	0	0

Πίνακας 6.46: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής

Στον πίνακα 6.47 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
10925	244.26	1664	37.2	14674	328.09	41.2	921.22

Πίνακας 6.47: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής

6.3.4.3.1.2 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β στον υποσταθμό

Στην περίπτωση της εγκατάστασης των Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό,στον πίνακα 6.48 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή (MWh) χωρίς Φ/Β	Παραγωγή (MWh) με Φ/Β	Διαφορά(MWh)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	3359.5	3330.3	29.2	0.87
Χανιά	2690.3	2674.6	15.7	0.58
Αθερινόλακκος	3054.8	3054.8	0	0

Πίνακας 6.48: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό

Στον πίνακα 6.49 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
10963	245.11	1664	37.2	14729	329.31	41.34	924.2

Πίνακας 6.49: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό

6.3.4.3.1.3 Περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής από Φ/Β

Στον πίνακα 6.50 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Κατανάλωση καυσίμου χωρίς Φ/Β(kg)	Κατανάλωση καυσίμου με Φ/Β(kg)	Διαφορά(kg)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	3359.5	3329.4	30.1	0.9
Χανιά	2690.3	2674	16.3	0.61
Αθερινόλακκος	3054.8	3054.8	0	0

Πίνακας 6.50: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β

Στον πίνακα 6.51 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
11349	253.75	1699	37.99	15262	341.22	42.75	955.86

Πίνακας 6.51: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β

6.4 Εξειδικευμένη επίπτωση Φ/Β σε χαρακτηριστικές ώρες

6.4.1 Εισαγωγή

Στην παράγραφο 6.4 αναλύονται οι επιπτώσεις των Φ/Β της περιοχής της Ιεράπετρας στο δίκτυο διανομής της περιοχής και στο σύστημα της Κρήτης καθώς και οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις,αποτελέσματα που προκύπτουν από την εξέταση τεσσάρων ωριαίων ειδικών περιπτώσεων.

6.4.2 Ώρα μέγιστης καλοκαιρινής ζήτησης πριν την εγκατάσταση Φ/Β

Η ωριαία αιχμή ζήτησης του υποσταθμού παρατηρείται την 26η ημέρα του μήνα Αυγούστου,την ώρα μεταξύ 1 και 2 το μεσημέρι με τιμή 35.397 MW .Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών εκείνη την ώρα είναι περίπου 4.584 MW .

Όσον αφορά την πτώση τάσης στο δίκτυο,η μέγιστη πτώση τάσης που παρατηρείται στο ζυγό 6 του δικτύου,μειώνεται κατά 0.076 % στην περίπτωση τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό (6.919 % πριν και 6.843 % μετά) ενώ στην περίπτωση της διεσπαρμένης παραγωγής μειώνεται κατά 0.909 % (6.919 % πριν και 6.01 % μετά).

Στον πίνακα 6.52 απεικονίζεται η ποσοστιαία ανύψωση τάσης ανά ζυγό και η ποσοστιαία ανύψωση τάσης ανά ζυγό και MW παραγωγής για τις περιπτώσεις των συγκεντρωμένων και των διεσπαρμένων Φ/Β.

Όσον αφορά τις απώλειες,με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό παρατηρείται μείωση απωλειών της τάξης των 20 kW ,ενώ στην περίπτωση της διεσπαρμένης παραγωγής η μείωση απωλειών αντιστοιχεί σε 290 kW ή 23.97 % των αρχικών απωλειών.Η μείωση απωλειών ανά MW παραγωγής είναι 0.44 % και 6.33 % αντίστοιχα για τις περιπτώσεις της συγκεντρωμένης και της διεσπαρμένης παραγωγής. Στον πίνακα 6.53 εμπεριέχεται η μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής από τα φωτοβολταϊκά του συνδυασμού γραμμών ενώ ο πίνακας 6.54 περιέχει τη μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος στις γραμμές αυτές.

Η συνεισφορά των φωτοβολταϊκών στη ζήτηση της Ιεράπετρας είναι περίπου 13.71% και η συνεισφορά των φωτοβολταϊκών της Ιεράπετρας στο ΣΗΕ Κρήτης αντιστοιχεί στο 0.76 % της ζήτησης του φορτίου της Κρήτης.

Όσον αφορά τις φορτίσεις των γραμμών του δικτύου, η μέγιστη φόρτιση γραμμής μειώνεται κατά 13.7 % (85.5 % πριν την προσθήκη και παρατηρείται στην γραμμή 2-8 και 71.8 % μετά την προσθήκη και παρατηρείται στη γραμμή 2-8).

Ζυγός δικτύου	Ποσοστιαία ανύψωση τάσης περίπτωση συγκεντρωμένων Φ/Β	Ποσοστιαία ανύψωση τάσης περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β	Ποσοστιαία ανύψωση τάσης ανά MW παραγωγής, περίπτωση συγκεντρωμένων Φ/Β	Ποσοστιαία ανύψωση τάσης ανά MW παραγωγής, περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β
1	0	0	0	0
2	0,051	0,104	0,011	0,023
3	0,055	0,274	0,012	0,060
4	0,059	0,455	0,013	0,099
5	0,063	0,59	0,014	0,129
6	0,076	0,909	0,017	0,198
7	0,054	0,111	0,012	0,024
8	0,057	0,393	0,012	0,086
9	0,063	0,638	0,014	0,139
10	0,068	0,858	0,015	0,187
11	0,069	0,747	0,015	0,163
12	0,073	1,199	0,016	0,262

Πίνακας 6.52: Ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης

Συνδυασμός γραμμών	Ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά MW παραγωγής
22	0.0182
23-27	0.0566
24	0
25-26	0.0694

Πίνακας 6.53: Ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης

Συνδυασμός γραμμών	Ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών
22	0.0125
23-27	0.0386
24	0
25-26	0.0474

Πίνακας 6.54: Ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης

6.4.2.1 Οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

6.4.2.1.1 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β αγνοώντας τις απώλειες

Στον πίνακα 6.55 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή χωρίς Φ/Β(MW)	Παραγωγή με Φ/Β(MW)	Διαφορά(MW)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	231	226.4	4.6	1.99
Χανιά	171.3	171.3	0	0
Αθερινόλακκος	170.8	170.8	0	0

Πίνακας 6.55: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης πριν την εγκατάσταση Φ/Β

Στον πίνακα 6.56 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
1290	281.41	0	0	1847.6	403.06	4.52	985.47

Πίνακας 6.56: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης πριν την εγκατάσταση Φ/Β

6.4.2.1.2 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β στον υποσταθμό

Στην περίπτωση της εγκατάστασης των Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό,στον πίνακα 6.57 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή χωρίς Φ/Β(MW)	Παραγωγή με Φ/Β(MW)	Διαφορά(MW)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	231	226.4	4.6	1.99
Χανιά	171.3	171.3	0	0
Αθερινόλακκος	170.8	170.8	0	0

Πίνακας 6.57: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης πριν την εγκατάσταση Φ/Β,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό

Στον πίνακα 6.58 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
1290	281.41	0	0	1847.6	403.06	4.52	985.47

Πίνακας 6.58: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης πριν την εγκατάσταση Φ/Β,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό

6.4.2.1.3 Περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής από Φ/Β

Στον πίνακα 6.59 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή χωρίς Φ/Β(MW)	Παραγωγή με Φ/Β(MW)	Διαφορά(MW)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	231	226.1	4.9	2.12
Χανιά	171.3	171.3	0	0
Αθερινόλακκος	170.8	170.8	0	0

Πίνακας 6.59: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης πριν την εγκατάσταση Φ/Β,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β

Στον πίνακα 6.60 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
1366	297.99	0	0	1956.4	426.8	4.78	1043.52

Πίνακας 6.60: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης πριν την εγκατάσταση Φ/Β,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β

6.4.3 Ώρα μέγιστης καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β

Η περίπτωση αυτή αντιστοιχεί στην μέγιστη ζήτηση του υποσταθμού με την προσθήκη φωτοβολταϊκών κατά τις ώρες που υπάρχει παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά.Παρατηρείται την 25η ημέρα του μήνα Αυγούστου,την ώρα μεταξύ 3 και 4 το απόγευμα με τιμή 34.141 MW .Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών εκείνη την ώρα είναι περίπου 1.726 MW .

Όσον αφορά την πτώση τάσης στο δίκτυο,η μέγιστη πτώση τάσης που παρατηρείται στο ζυγό 12 του δικτύου,μειώνεται κατά 0.039 % στην περίπτωση τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό (6.159 % πριν και 6.12 % μετά) ενώ στην περίπτωση της διεσπαρμένης παραγωγής μειώνεται κατά 0.465 % (6.159 % πριν και 5.694 % μετά).

Στον πίνακα 6.61 απεικονίζεται η ποσοστιαία ανύψωση τάσης ανά ζυγό και η ποσοστιαία ανύψωση τάσης ανά ζυγό και MW παραγωγής για τις περιπτώσεις των συγκεντρωμένων και των διεσπαρμένων Φ/Β.

Ζυγός δικτύου	Ποσοστιαία ανύψωση τάσης περίπτωση συγκεντρωμένων Φ/Β	Ποσοστιαία ανύψωση τάσης περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β	Ποσοστιαία ανύψωση τάσης ανά MW παραγωγής, περίπτωση συγκεντρωμένων Φ/Β	Ποσοστιαία ανύψωση τάσης ανά MW παραγωγής, περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β
1	0	0	0	0
2	0,021	0,041	0,012	0,024
3	0,025	0,107	0,015	0,062
4	0,029	0,176	0,017	0,102
5	0,031	0,227	0,018	0,132
6	0,04	0,347	0,023	0,202
7	0,023	0,045	0,013	0,026
8	0,027	0,154	0,016	0,090
9	0,031	0,249	0,018	0,145
10	0,035	0,334	0,020	0,194
11	0,037	0,295	0,022	0,172
12	0,039	0,465	0,023	0,270

Πίνακας 6.61: Ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β

Όσον αφορά τις απώλειες,με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό παρατηρείται μείωση απωλειών της τάξης των 20 kW ,ενώ στην περίπτωση της διεσπαρμένης παραγωγής η μείωση απωλειών αντιστοιχεί σε 130 kW ή 11.71 % των αρχικών απωλειών.Η μείωση απωλειών ανά MW παραγωγής είναι 1.16 % και 7.53 % αντίστοιχα για τις περιπτώσεις της συγκεντρωμένης και της διεσπαρμένης παραγωγής. Στον πίνακα 6.62 εμπεριέχεται η μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής από τα φωτοβολταϊκά του συνδυασμού γραμμών ενώ ο πίνακας

6.63 περιέχει τη μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος στις γραμμές αυτές.

Συνδυασμός γραμμών	Ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά MW παραγωγής
22	0.0476
23-27	0.05
24	0
25-26	0.0769

Πίνακας 6.62: Ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β

Συνδυασμός γραμμών	Ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών
22	0.0125
23-27	0.0129
24	0
25-26	0.0195

Πίνακας 6.63: Ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β

Η συνεισφορά των φωτοβολταϊκών στη ζήτηση της Ιεράπετρας είναι περίπου 5.38% και η συνεισφορά των φωτοβολταϊκών της Ιεράπετρας στο ΣΗΕ Κρήτης αντιστοιχεί στο 0.31 % της ζήτησης του φορτίου της Κρήτης.

Όσον αφορά τις φορτίσεις των γραμμών του δικτύου, η μέγιστη φόρτιση γραμμής μειώνεται κατά 5.2 % (83.5 % πριν την προσθήκη και παρατηρείται στην γραμμή 2-8 και 78.3 % μετά την προσθήκη και παρατηρείται στη γραμμή 2-8).

6.4.3.1 Οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

6.4.3.1.1 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β αγνοώντας τις απώλειες

Στον πίνακα 6.64 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή χωρίς Φ/Β(MW)	Παραγωγή με Φ/Β(MW)	Διαφορά(MW)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	238.6	236.9	1.7	0.71
Χανιά	138.6	138.6	0	0
Αθερινόλακκος	170.3	170.3	0	0

Πίνακας 6.64: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β

Στον πίνακα 6.65 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
485.6	281.42	0	0	695.5	403.06	1.7	985.48

Πίνακας 6.65: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β

6.4.3.1.2 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β στον υποσταθμό

Στην περίπτωση της εγκατάστασης των Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό,στον πίνακα 6.66 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή χωρίς Φ/Β(MW)	Παραγωγή με Φ/Β(MW)	Διαφορά(MW)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	238.6	236.9	1.7	0.71
Χανιά	138.6	138.6	0	0
Αθερινόλακκος	170.3	170.3	0	0

Πίνακας 6.66: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό

Στον πίνακα 6.67 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
491.2	284.68	0	0	703.6	407.73	1.72	996.9

Πίνακας 6.67: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό

6.4.3.1.3 Περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής από Φ/Β

Στον πίνακα 6.68 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή χωρίς Φ/Β(MW)	Παραγωγή με Φ/Β(MW)	Διαφορά(MW)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	238.6	236.7	1.9	0.8
Χανιά	138.6	138.6	0	0
Αθερινόλακκος	170.3	170.3	0	0

Πίνακας 6.68: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β

Στον πίνακα 6.69 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
522.2	302.62	0	0	747.9	433.42	1.83	1059.7

Πίνακας 6.69: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης μετά την εγκατάσταση Φ/Β,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β

6.4.4 Ώρα μέγιστης καλοκαιρινής διείσδυσης Φ/Β

Η μέγιστη ωριαία καλοκαιρινή διείσδυση Φ/Β παρατηρείται την 15η ημέρα του μήνα Ιουνίου,την ώρα μεταξύ 2 και 3 το μεσημέρι.Η ζήτηση του υποσταθμού εκείνη την ώρα είναι 17.582 MW .Η

παραγωγή των φωτοβολταϊκών εκείνη την ώρα είναι περίπου 4.07 MW .
Όσον αφορά την πτώση τάσης στο δίκτυο,η μέγιστη πτώση τάσης που παρατηρείται στο ζυγό 6 του δικτύου,μειώνεται κατά 0.041 % στην περίπτωση τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό (3.069 % πριν και 3.028 % μετά) ενώ στην περίπτωση της διεσπαρμένης παραγωγής μειώνεται κατά 0.689 % (3.069 % πριν και 2.38 % μετά).
Στον πίνακα 6.70 απεικονίζεται η ποσοστιαία ανύψωση τάσης ανά ζυγό και η ποσοστιαία ανύψωση τάσης ανά ζυγό και MW παραγωγής για τις περιπτώσεις των συγκεντρωμένων και των διεσπαρμένων Φ/Β.

Ζυγός δικτύου	Ποσοστιαία ανύψωση τάσης περίπτωση συγκεντρωμένων Φ/Β	Ποσοστιαία ανύψωση τάσης περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β	Ποσοστιαία ανύψωση τάσης ανά MW παραγωγής, περίπτωση συγκεντρωμένων Φ/Β	Ποσοστιαία ανύψωση τάσης ανά MW παραγωγής, περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β
1	0	0	0	0
2	0,038	0,064	0,0093	0,016
3	0,039	0,209	0,0096	0,051
4	0,039	0,348	0,0096	0,086
5	0,04	0,454	0,0098	0,112
6	0,041	0,689	0,01	0,169
7	0,038	0,067	0,0093	0,016
8	0,039	0,293	0,0096	0,072
9	0,04	0,484	0,0098	0,119
10	0,04	0,652	0,0098	0,160
11	0,04	0,56	0,0098	0,137
12	0,041	0,925	0,01	0,227

Πίνακας 6.70: Ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης

Όσον αφορά τις απώλειες,με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό δεν παρατηρείται μείωση απωλειών,ενώ στην περίπτωση της διεσπαρμένης παραγωγής η μείωση απωλειών αντιστοιχεί σε 90 kW ή 33.33 % των αρχικών απωλειών.Η μείωση απωλειών ανά MW παραγωγής είναι 0 % και 2.21 % αντίστοιχα για τις περιπτώσεις της συγκεντρωμένης και της διεσπαρμένης παραγωγής. Στον πίνακα 6.71 εμπεριέχεται η μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής από τα φωτοβολταϊκά του συνδυασμού γραμμών ενώ ο πίνακας 6.72 περιέχει τη μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος στις γραμμές αυτές.

Η συνεισφορά των φωτοβολταϊκών στη ζήτηση της Ιεράπετρας είναι περίπου 23.66% και η συνεισφορά των φωτοβολταϊκών της Ιεράπετρας στο ΣΗΕ Κρήτης αντιστοιχεί στο 1.15 % της ζήτησης του φορτίου της Κρήτης.
Όσον αφορά τις φορτίσεις των γραμμών του δικτύου, η μέγιστη φόρτιση γραμμής μειώνεται κατά 9.2 % (39.3 % πριν την προσθήκη και παρατηρείται στην γραμμή 2-8 και 30.1 % μετά την προσθήκη και παρατηρείται στη γραμμή 5-6).

Συνδυασμός γραμμών	Ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά MW παραγωγής
22	0.0204
23-27	0.0213
24	0
25-26	0.0230

Πίνακας 6.71: Ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης

Συνδυασμός γραμμών	Ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών
22	0.0125
23-27	0.0129
24	0
25-26	0.0139

Πίνακας 6.72: Ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης

6.4.4.1 Οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

6.4.4.1.1 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β αγνοώντας τις απώλειες

Στον πίνακα 6.73 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή χωρίς Φ/Β(MW)	Παραγωγή με Φ/Β(MW)	Διαφορά(MW)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	115.4	115.4	0	0
Χανιά	63.7	59.6	4.1	6.44
Αθερινόλακκος	92.5	92.5	0	0

Πίνακας 6.73: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης Φ/Β

Στον πίνακα 6.74 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
644.8	158.43	0	0	926.2	227.57	2.26	556.4

Πίνακας 6.74: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης Φ/Β

6.4.4.1.2 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β στον υποσταθμό

Στην περίπτωση της εγκατάστασης των Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό,στον πίνακα 6.75 εμπεριέχονται οι συνολικές καταναλώσεις καυσίμου ανά σταθμό παραγωγής ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή χωρίς Φ/Β(MW)	Παραγωγή με Φ/Β(MW)	Διαφορά(MW)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	115.4	115.4	0	0
Χανιά	63.7	59.6	4.1	6.44
Αθερινόλακκος	92.5	92.5	0	0

Πίνακας 6.75: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης Φ/Β,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό

Στον πίνακα 6.76 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
644.8	158.43	0	0	926.2	227.57	2.26	556.4

Πίνακας 6.76: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης Φ/Β,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό

6.4.4.1.3 Περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής από Φ/Β

Στον πίνακα 6.77 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή χωρίς Φ/Β(MW)	Παραγωγή με Φ/Β(MW)	Διαφορά(MW)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	115.4	115.4	0	0
Χανιά	63.7	59.5	4.2	6.59
Αθερινόλακκος	92.5	92.5	0	0

Πίνακας 6.77: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση κατανάλωσης καυσίμου των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης Φ/Β,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β

Στον πίνακα 6.78 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
659.1	161.93	0	0	946.7	232.6	2.31	568.7

Πίνακας 6.78: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής διείσδυσης Φ/Β,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β

6.4.5 Ώρα μέγιστης διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο

Η ωριαία μέγιστης διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο παρατηρείται την 13η ημέρα του μήνα ,την ώρα μεταξύ 10 και 11 το πρωί.Η ζήτηση του υποσταθμού εκείνη την ώρα είναι 11.636 MW .Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών εκείνη την ώρα είναι περίπου 4.713 MW .

Όσον αφορά την πτώση τάσης στο δίκτυο,η μέγιστη πτώση τάσης που αρχικά παρατηρείται στο ζυγό 12 του δικτύου,μειώνεται κατά 0.043 % στην περίπτωση τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό (2.452 % πριν και 2.409 % μετά) ενώ στην περίπτωση της διεσπαρμένης παραγωγής μειώνεται κατά 0.783 % (2.452 % πριν και 1.669 % μετά) και παρατηρείται στο ζυγό 6.

Στον πίνακα 6.79 απεικονίζεται η ποσοστιαία ανύψωση τάσης ανά ζυγό και η ποσοστιαία ανύψωση τάσης ανά ζυγό και MW παραγωγής για τις περιπτώσεις των συγκεντρωμένων και των διεσπαρμένων Φ/Β.

Ζυγός δικτύου	Ποσοστιαία ανύψωση τάσης περίπτωση συγκεντρωμένων Φ/Β	Ποσοστιαία ανύψωση τάσης περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β	Ποσοστιαία ανύψωση τάσης ανά MW παραγωγής, περίπτωση συγκεντρωμένων Φ/Β	Ποσοστιαία ανύψωση τάσης ανά MW παραγωγής, περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β
1	0	0	0	0
2	0,041	0,058	0,0087	0,012
3	0,041	0,225	0,0087	0,048
4	0,041	0,366	0,0087	0,078
5	0,041	0,481	0,0087	0,102
6	0,042	0,727	0,0089	0,154
7	0,041	0,061	0,0087	0,013
8	0,042	0,310	0,0089	0,066
9	0,042	0,518	0,0089	0,110
10	0,043	0,700	0,0091	0,148
11	0,042	0,600	0,0089	0,127
12	0,043	0,995	0,0091	0,211

Πίνακας 6.79: Ωριαίο ποσοστό ανύψωσης τάσης (%) ανά ζυγό και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο

Όσον αφορά τις απώλειες,με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στον υποσταθμό παρατηρείται μείωση απωλειών της τάξης των 20 kW ,ενώ στην περίπτωση της διεσπαρμένης παραγωγής η μείωση απωλειών αντιστοιχεί σε 110 kW ή 78.57 % των αρχικών απωλειών.Η μείωση απωλειών ανά MW παραγωγής είναι 0.42 % και 2.33 % αντίστοιχα για τις περιπτώσεις της συγκεντρωμένης και της διεσπαρμένης παραγωγής. Στον πίνακα 6.80 εμπεριέχεται η μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής από τα φωτοβολταϊκά του συνδυασμού γραμμών ενώ ο πίνακας 6.81 περιέχει τη μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος στις γραμμές αυτές.

Συνδυασμός γραμμών	Ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά MW παραγωγής
22	0
23-27	0.0184
24	0
25-26	0.0239

Πίνακας 6.80: Ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και MW παραγωγής με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο

Συνδυασμός γραμμών	Ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών
22	0
23-27	0.0129
24	0
25-26	0.0167

Πίνακας 6.81: Ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο

Η συνεισφορά των φωτοβολταϊκών στη ζήτηση της Ιεράπετρας είναι περίπου 41.28% και η συνεισφορά των φωτοβολταϊκών της Ιεράπετρας στο ΣΗΕ Κρήτης αντιστοιχεί στο 2.25 % της ζήτησης του φορτίου της Κρήτης.
Όσον αφορά τις φορτίσεις των γραμμών του δικτύου, η μέγιστη φόρτιση γραμμής μειώνεται κατά 11 % (27.3 % πριν την προσθήκη και παρατηρείται στην γραμμή 2-8 και 16.3 % μετά την προσθήκη και παρατηρείται στη γραμμή 5-6).

6.4.5.1 Οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

6.4.5.1.1 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β αγνοώντας τις απώλειες

Στον πίνακα 6.82 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή χωρίς Φ/Β(MW)	Παραγωγή με Φ/Β(MW)	Διαφορά(MW)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	18.5	13.9	4.6	24.86
Χανιά	47.9	47.9	0	0
Αθερινόλακκος	108.1	108.1	0	0

Πίνακας 6.82: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο

Στον πίνακα 6.83 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
592.2	125.65	1427.3	302.84	0	0	4.57	969.09

Πίνακας 6.83: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο

6.4.5.1.2 Περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β στον υποσταθμό

Στην περίπτωση της εγκατάστασης των Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό,στον πίνακα 6.84 εμπεριέχεται η παραγωγή ανά σταθμό ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή χωρίς Φ/Β(MW)	Παραγωγή με Φ/Β(MW)	Διαφορά(MW)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	18.5	13.8	4.7	25.41
Χανιά	47.9	47.9	0	0
Αθερινόλακκος	108.1	108.1	0	0

Πίνακας 6.84: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό

Στον πίνακα 6.85 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
592.2	125.65	1427.3	302.84	0	0	4.57	969.09

Πίνακας 6.85: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο,περίπτωση Φ/Β συγκεντρωμένα στον υποσταθμό

6.4.5.1.3 Περίπτωση διεσπαρμένης παραγωγής από Φ/Β

Στον πίνακα 6.86 εμπεριέχονται η παραγωγή ανά σταθμό ενέργειας με ή χωρίς τη συμβολή των Φ/Β της Ιεράπετρας.

Περιοχή	Παραγωγή χωρίς Φ/Β(MW)	Παραγωγή με Φ/Β(MW)	Διαφορά(MW)	Διαφορά(%)
Λινοπεράματα	18.5	13.7	4.8	25.95
Χανιά	47.9	47.9	0	0
Αθερινόλακκος	108.1	108.1	0	0

Πίνακας 6.86: Συμβολή Φ/Β Ιεράπετρας στη μείωση παραγωγής των μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β

Στον πίνακα 6.87 παρουσιάζονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εξοικονόμηση Χρημάτων (€)	Εξοικονόμηση Χρημάτων ανά παραγόμενη MWh (€/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ (kg)	Μείωση Κατανάλωσης Μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel (lt)	Μείωση Κατανάλωσης Diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)	Μείωση Εκπομπής CO_2(tn)	Μείωση Εκπομπής CO_2 ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)
605.1	128.39	1458.4	309.45	0	0	4.67	990.25

Πίνακας 6.87: Οικονομική και περιβαλλοντική επίδραση Φ/Β Ιεράπετρας,περίπτωση μέγιστης ωριαίας διείσδυσης Φ/Β κατά το μήνα Απρίλιο,περίπτωση διεσπαρμένων Φ/Β

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα

Για διευκόλυνση του αναγνώστη,γίνεται μία αντιστοίχηση των ονομάτων των περιπτώσεων:

- Μέρα Μέγιστης Ημερήσιας Καλοκαιρινής Ζήτησης = Μέρα 1
- Μέρα Μέγιστης Ημερήσιας Χειμερινής Ζήτησης = Μέρα 2
- Μέρα Μέγιστης Ημερήσιας Διείσδυσης Απριλίου = Μέρα 3
- Μέρα Μέγιστης Ημερήσιας Καλοκαιρινής Παραγωγής = Μέρα 4
- Ώρα Μέγιστης Καλοκαιρινής Ζήτησης Πριν Την Εγκατάσταση Φ/Β = Ώρα 1
- Ώρα Μέγιστης Καλοκαιρινής Ζήτησης Μετά Την Εγκατάσταση Φ/Β (ώρα με υπαρκτή παραγωγή) = Ώρα 2
- Ώρα Μέγιστης Καλοκαιρινής Διείσδυσης = Ώρα 3
- Ώρα Μέγιστης Διείσδυση Απριλίου = Ώρα 4

7.1 Επιπτώσεις στην τάση του δικτύου

Η μέγιστη πτώση τάσης που παρατηρείται στο δίκτυο ,και συμβαίνει την μέρα μέγιστης καλοκαιρινής ζήτησης ,είναι 7 % πριν την εγκατάσταση Φ/Β και 6.4 % μετά την εγκατάσταση Φ/Β.

Στον πίνακα 7.1 αναφέρεται η μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης ανά ζυγό και περίπτωση.

Ζυγός	Μέρα 1	Μέρα 2	Μέρα 3	Μέρα 4	Ώρα 1	Ώρα 2	Ώρα 3	Ώρα 4
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.069	0.021	0.08	0.059	0.104	0.041	0.064	0.058
3	0.191	0.069	0.248	0.226	0.274	0.107	0.209	0.225
4	0.313	0.113	0.418	0.37	0.455	0.176	0.348	0.366
5	0.407	0.146	0.547	0.484	0.59	0.227	0.454	0.481
6	0.626	0.219	0.732	0.843	0.909	0.347	0.689	0.727
7	0.073	0.022	0.063	0.084	0.111	0.045	0.067	0.061
8	0.27	0.098	0.312	0.346	0.393	0.154	0.293	0.310
9	0.439	0.162	0.521	0.568	0.638	0.249	0.484	0.518
10	0.592	0.219	0.704	0.767	0.858	0.334	0.652	0.700
11	0.513	0.189	0.604	0.66	0.747	0.295	0.56	0.600
12	0.831	0.309	1	1.083	1.199	0.465	0.925	0.995

Πίνακας 7.1: Μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης (%) ανά περίπτωση

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 7.1,η μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης συμβαίνει στο ζυγό 12,με τη μέγιστη τιμή της να φτάνει το 1.2 % περίπου και παρατηρήθηκε στην περίπτωση της μέγιστης ωριαίας καλοκαιρινής ζήτησης.
Στον πίνακα 7.2 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα μέγιστης ωριαίας ανύψωσης τάσης ανά ζυγό και MW παραγωγής.

Ζυγός	Μέρα 1	Μέρα 2	Μέρα 3	Μέρα 4	Ώρα 1	Ώρα 2	Ώρα 3	Ώρα 4
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.024	0.023	0.021	0.017	0.023	0.024	0.016	0.012
3	0.063	0.062	0.059	0.054	0.060	0.062	0.051	0.048
4	0.103	0.090	0.093	0.09	0.099	0.102	0.086	0.078
5	0.133	0.123	0.117	0.118	0.129	0.132	0.112	0.102
6	0.206	0.185	0.172	0.182	0.198	0.202	0.169	0.154
7	0.026	0.024	0.021	0.018	0.024	0.026	0.016	0.013
8	0.089	0.084	0.086	0.075	0.086	0.090	0.072	0.066
9	0.144	0.137	0.142	0.123	0.139	0.145	0.119	0.110
10	0.194	0.185	0.197	0.166	0.187	0.194	0.160	0.148
11	0.171	0.161	0.166	0.143	0.163	0.172	0.137	0.127
12	0.270	0.259	0.280	0.234	0.262	0.270	0.227	0.211

Πίνακας 7.2: Μέγιστη ωριαία ανύψωση τάσης (%) ανά ζυγό,MW παραγωγής και περίπτωση

Παρατηρείται ότι ένα παραγόμενο MW από τα Φ/Β μπορεί να προκαλέσει ωριαία ανύψωση τάσης που φτάνει το 0.28 %.Ο ζυγός 12 αντιστοιχεί στο ζυγό που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ευαισθησία σχετικά με την βελτίωση της τάσης ,βελτίωση που κυμαίνεται μεταξύ 0.21 και 0.28 % σε όλες τις περιπτώσεις.

7.2 Επιπτώσεις στις απώλειες του δικτύου

Η μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ,που είναι αποτέλεσμα της παραγωγής των Φ/Β ,είναι 290 kW και παρατηρείται την ώρα καλοκαιρινής αιχμής,μείωση που αντιστοιχεί στο 23.97 % των αρχικών

απωλειών.Στον πίνακα 7.3 αναγράφεται η μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και παραγόμενο MW από τα Φ/Β των αντίστοιχων γραμμών και ο πίνακας 7.4 περιέχει τη μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και MW εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β στις αντίστοιχες γραμμές.

Ζυγός	Μέρα 1	Μέρα 2	Μέρα 3	Μέρα 4	Ώρα 1	Ώρα 2	Ώρα 3	Ώρα 4
22	0.051	0.167	0	0.039	0.0182	0.0476	0.0204	0
23-27	0.079	0.071	0.053	0.053	0.0566	0.05	0.0213	0.0184
24	0	0	0	0	0	0	0	0
25-26	0.094	0.075	0.03	0.049	0.0694	0.0769	0.0230	0.0239

Πίνακας 7.3: Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (MW) ανά συνδυασμό γραμμών και παραγόμενο MW από τα Φ/Β των αντίστοιχων γραμμών (MW/MW)

Ζυγός	Μέρα 1	Μέρα 2	Μέρα 3	Μέρα 4	Ώρα 1	Ώρα 2	Ώρα 3	Ώρα 4
22	0.0125	0.0125	0	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0
23-27	0.0215	0.00429	0.0172	0.03	0.0386	0.0129	0.0129	0.0129
24	0	0	0	0	0	0	0	0
25-26	0.0334	0.00836	0.0167	0.0334	0.0474	0.0195	0.0139	0.0167

Πίνακας 7.4: Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (kW) ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β στις αντίστοιχες γραμμές (kW/kW)

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 7.3,η μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και παραγόμενο MW από τα Φ/Β των αντίστοιχων γραμμών γίνεται πιο αισθητή στον συνδυασμό γραμμών 25-26 με τη μέγιστη τιμή της να φτάνει τα 94 kW .Η τιμή επηρεάζεται από την παραγωγή,τη ζήτηση και τη διείσδυση.Η μεγαλύτερη ευαισθησία της γραμμής 22 την ημέρα μέγιστης χειμερινής ζήτησης οφείλεται στη μικρή παραγωγή σε συνδυασμό με τη μεγάλη ζήτηση.Η μεγαλύτερη ευαισθησία του συνδυασμού γραμμών 23-27 την ημέρα μέγιστης διείσδυσης Απριλίου και την ημέρα μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής οφείλεται στη μεγάλη δίεισδυση τον Απρίλιο και το μεγάλο φορτίο στις γραμμές 23-27 για τη μέρα μέγιστης καλοκαιρινής παραγωγής καθώς η μέρα εκείνη αντιστοιχεί στην ημέρα Κυριακή με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ποσοστό της ζήτησης να αντιστοιχεί στα τουριστικά φορτία που επί το πλείστον βρίσκονται σε αυτές τις γραμμές.
Όπως φαίνεται από τον πίνακα 7.4,η μείωση απωλειών ανά συνδυασμό γραμμών και kW εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β στις αντίστοιχες γραμμές γίνεται πιο αισθητή στον συνδυασμό γραμμών 25-26 με τη μέγιστη τιμή της να φτάνει τα 47.4 Watt ,αν εξαιρέσουμε τις περιπτώσεις της μέγιστης ημερήσιας χειμερινής ζήτησης και της μέγιστης ημερήσιας καλοκαιρινής παραγωγής.Στην πρώτη περίπτωση, η ζήτηση είναι μεγάλη και η παραγωγή είναι μικρή με αποτέλεσμα η μείωση απωλειών να είναι σχετικά μικρή.Επιπλέον η εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών στη γραμμή 22 είναι μικρή με αποτέλεσμα να παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία στις απώλειες.Στην δεύτερη περίπτωση,η μεγάλη ζήτηση στις γραμμές 23-27 σχετικά με τις άλλες γραμμές,σε συνδυασμό με την σημαντικής ποσότητας παραγόμενη ενέργεια προκαλεί σημαντική μείωση απωλειών και επειδή η εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β είναι μικρότερη σε σχέση με τον συνδυασμό γραμμών 25-26,οδηγούμαστε στο

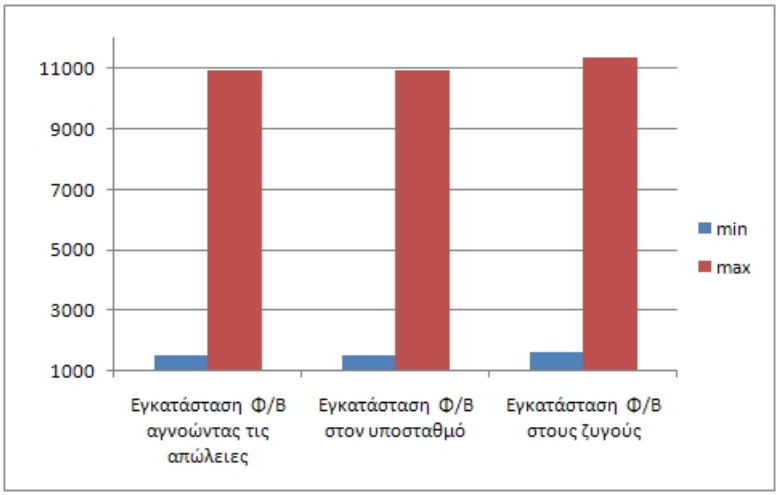
συμπέρασμα ότι οι γραμμές 23-27 παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία σε εκείνη την περίπτωση. Επομένως,αν κάποιος θελήσει να εγκαταστήσει ένα Φ/Β στην περιοχή της Ιεράπετρας,καλύτερη περιοχή τοποθέτησης θεωρείται αυτή που τροφοδοτείται από τις γραμμές 25-26,βάσει πάντα του κριτηρίου μείωσης απωλειών.

7.3 Επίδραση στη φόρτιση των γραμμών

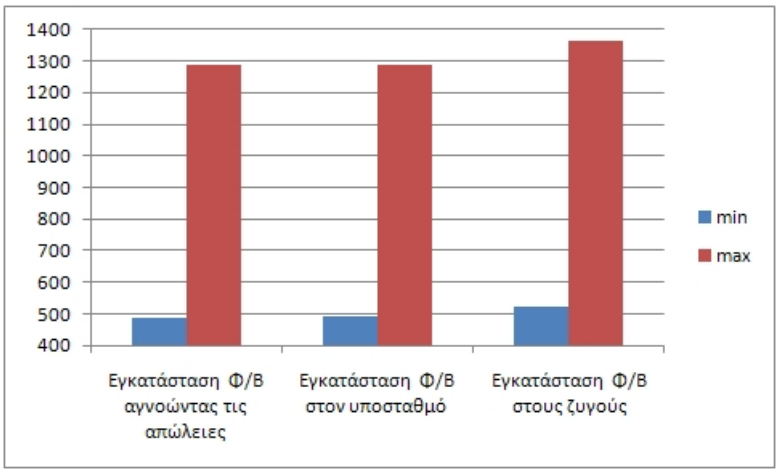
Η εγκατάσταση Φ/Β στους ζυγούς συμβάλλει στη μείωση της φόρτισης υπερφορτισμένων γραμμών σε μια καλοκαιρινή ώρα από 85.5 % σε 71.8 %. Κατά την περίοδο του Απριλίου παρατηρείται αναστροφή της ροής ισχύος στη γραμμή 10-11.

7.4 Οικονομική ωφέλεια

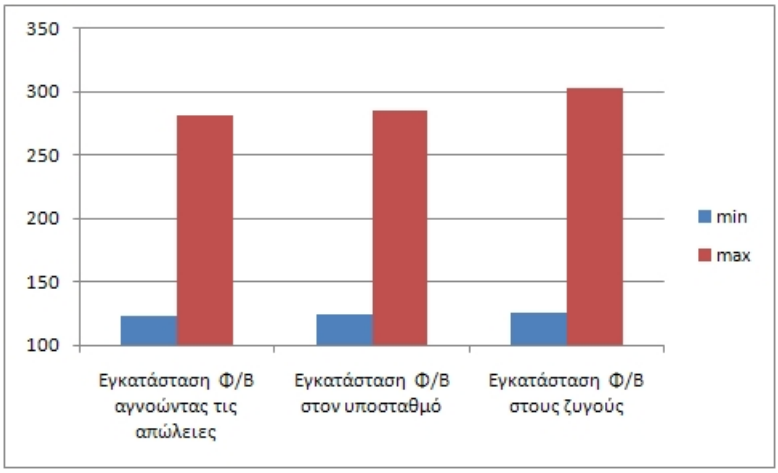
Η ελάχιστη και μέγιστη ημερήσια εξοικονόμηση χρημάτων,η ελάχιστη και μέγιστη ωριαία εξοικονόμηση χρημάτων και η ελάχιστη και μέγιστη αξία μιας μεγαβατώρας που παράγεται,αποτελέσματα της εγκατάστασης Φ/Β τις εξεταζόμενες ημέρες και ώρες απεικονίζονται στις εικόνες 7.1 - 7.3.



Σχήμα 7.1: Μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια εξοικονόμηση χρημάτων €



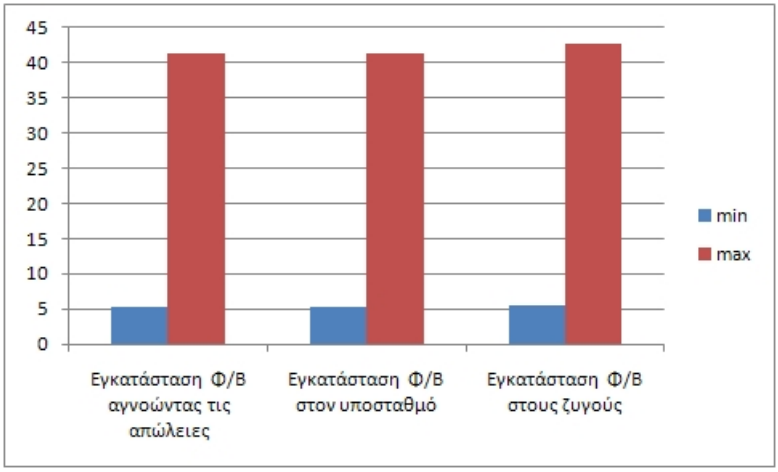
Σχήμα 7.2: Μέγιστη και ελάχιστη ωριαία εξοικονόμηση χρημάτων €



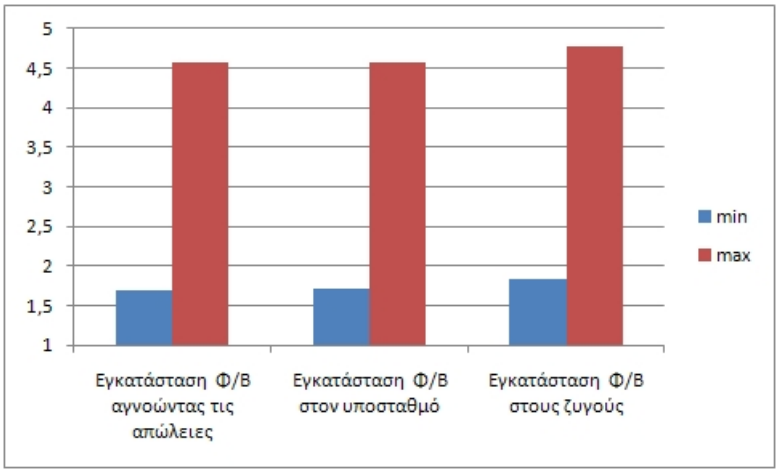
Σχήμα 7.3: Μέγιστη και ελάχιστη αξία μιας μεγαβατώρας που παράγεται (€/MWh)

7.5 Μείωση ρύπων

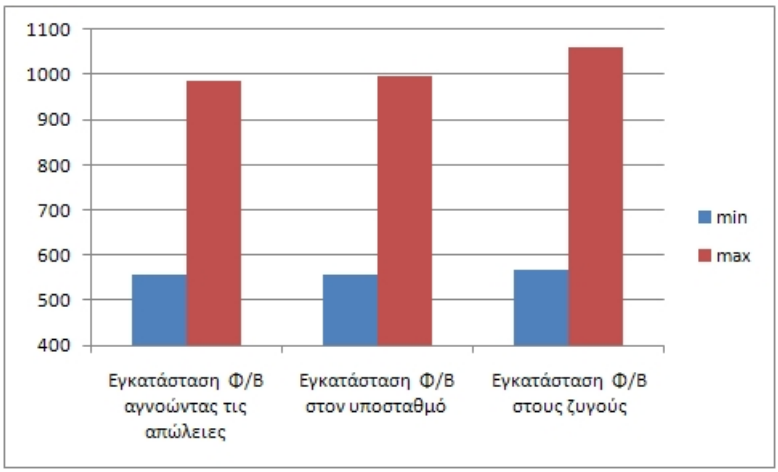
Η ελάχιστη και μέγιστη ημερήσια μείωση εκπομπής CO_2 ,η ελάχιστη και μέγιστη ωριαία μείωση εκπομπής CO_2 και η ελάχιστη και μέγιστη μείωση εκπομπής CO_2 ανά μεγαβατώρα που παράγεται,αποτελέσματα της εγκατάστασης Φ/Β τις εξεταζόμενες ημέρες και ώρες απεικονίζονται στις εικόνες 7.4 - 7.6.



Σχήμα 7.4: Μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια μείωση εκπομπής CO_2 (tn)



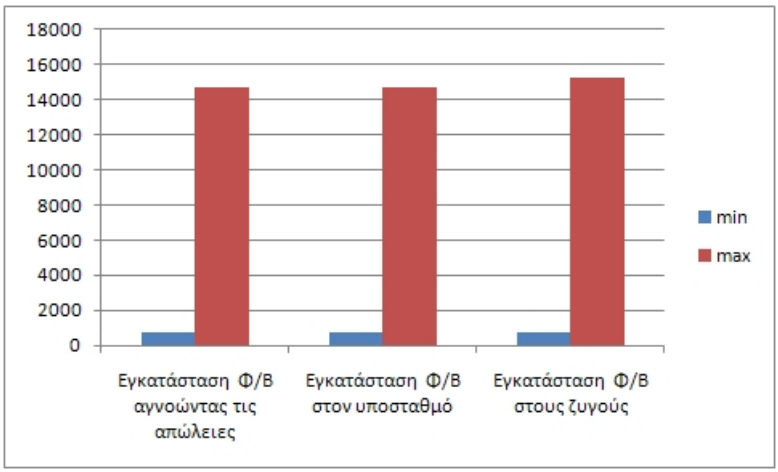
Σχήμα 7.5: Μέγιστη και ελάχιστη ωριαία μείωση εκπομπής CO_2 (tn)



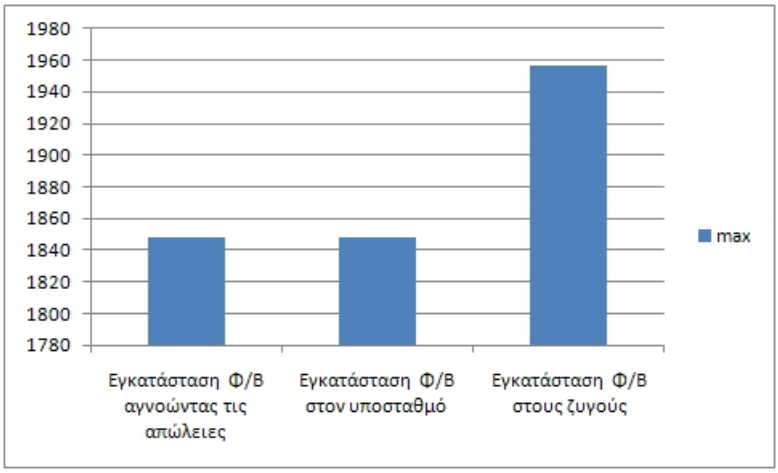
Σχήμα 7.6: Μέγιστη και ελάχιστη μείωση εκπομπής CO_2 ανά μεγαβατώρα που παράγεται (kg/MWh)

7.6 Επίδραση στη λειτουργία των σταθμών παραγωγής

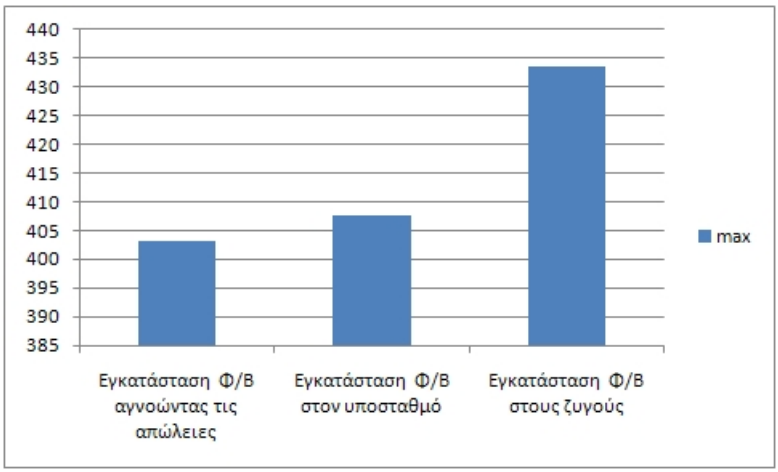
Η εγκατάσταση Φ/Β στην περιοχή της Ιεράπετρας προκαλεί μείωση της παραγωγής στους σταθμούς παραγωγής της περιοχής των Λινοπεραμάτων και των Χανίων,ενώ η επίδραση των Φ/Β στον σταθμό παραγωγής του Αθερινόλακκου είναι μηδαμινή.Η μείωση κατανάλωσης diesel είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την κατανάλωση μαζούτ.Η μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια μείωση κατανάλωσης καυσίμου ,η μέγιστη ωριαία μείωση κατανάλωσης καυσίμου και η μέγιστη μείωση κατανάλωσης καυσίμου ανά μεγαβατώρα που παράγεται,αποτελέσματα της εγκατάστασης Φ/Β τις εξεταζόμενες ημέρες και ώρες απεικονίζονται στις εικόνες 7.7 - 7.12.Στις περιπτώσεις που εμφανίζεται μόνο η μέγιστη τιμή, η ελάχιστη είναι μηδέν.



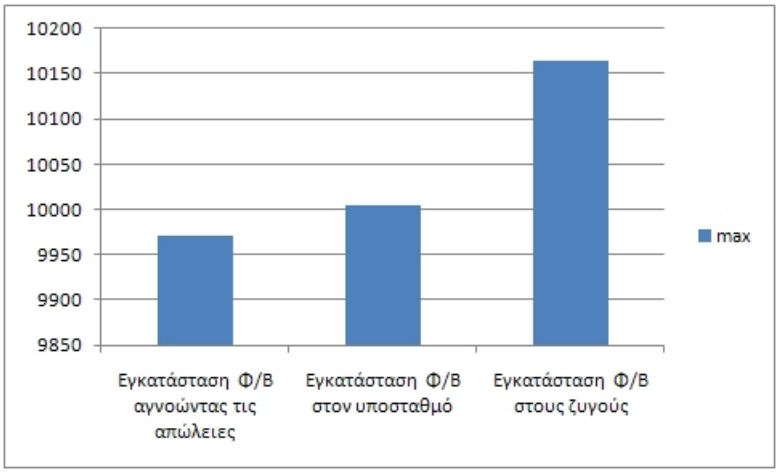
Σχήμα 7.7: Μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια μείωση κατανάλωσης καυσίμου diesel (lt)



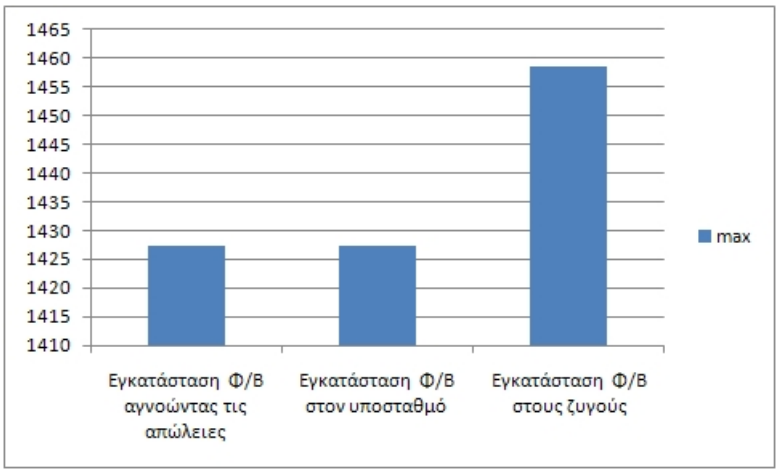
Σχήμα 7.8: Μέγιστη ωριαία μείωση κατανάλωσης καυσίμου diesel (lt)



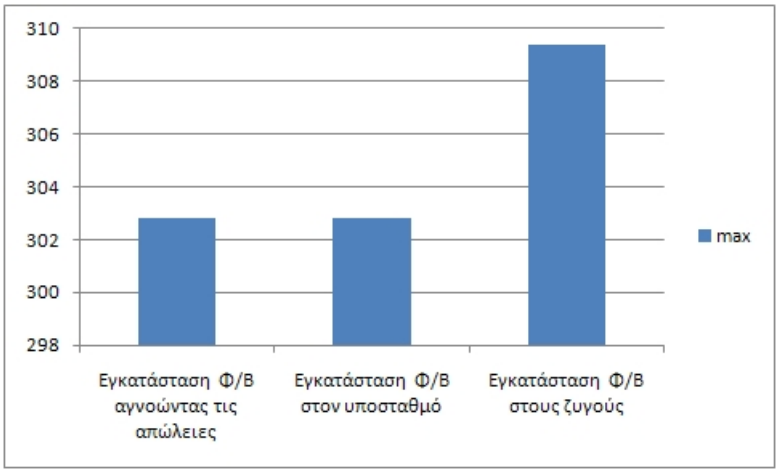
Σχήμα 7.9: Μέγιστη μείωση κατανάλωσης καυσίμου diesel ανά μεγαβατώρα που παράγεται (lt/MWh)



Σχήμα 7.10: Μέγιστη ημερήσια μείωση κατανάλωσης μαζούτ (kg)



Σχήμα 7.11: Μέγιστη ωριαία μείωση κατανάλωσης μαζούτ (kg)



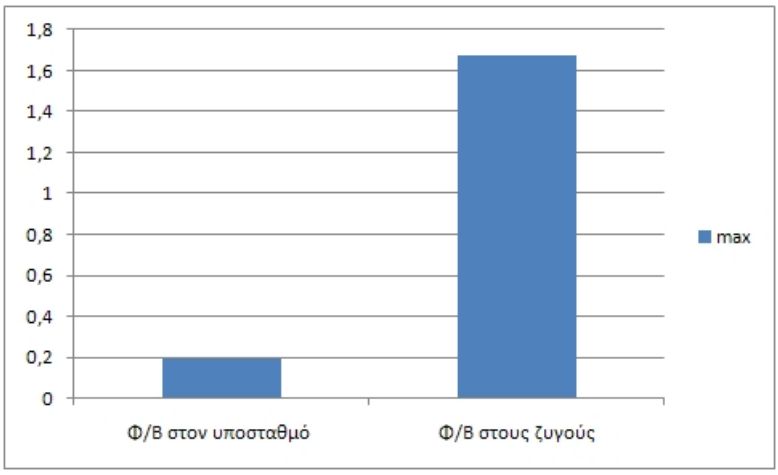
Σχήμα 7.12: Μέγιστη μείωση κατανάλωσης μαζούτ ανά μεγαβατώρα που παράγεται (kg/MWh)

7.7 Συνοψίζοντας

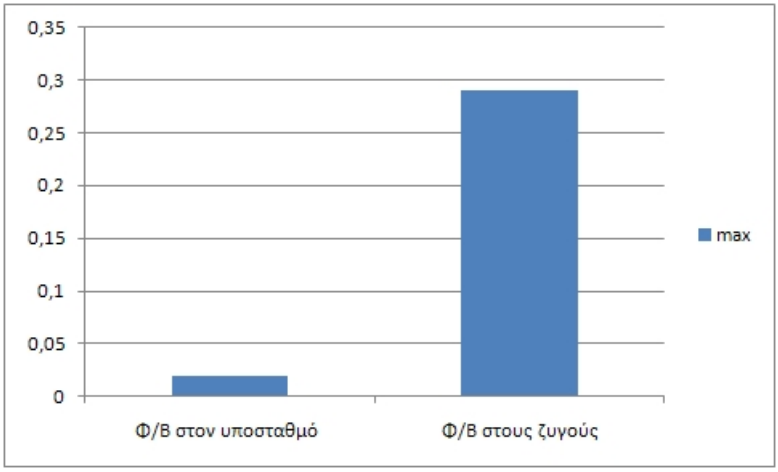
Συνοψίζοντας,τα Φ/Β της Ιεράπετρας συμβάλλουν στην :

- Μείωση της μέγιστης πτώσης τάσης του συστήματος διανομής της Ιεράπετρας κατά 0.6% (7% πρίν και 6.4% μετά)
- Ανύψωση της τάσης που φτάνει το 1.2 % (0.93511 pu πρίν και 0.9471 pu μετά)
- Ανύψωση της τάσης ζυγού ανά παραγόμενο MW που φτάνει το 0.28 %
- Μείωση των απωλειών του συστήματος διανομής της Ιεράπετρας με την ωριαία μείωση να αγγίζει τα 290 kW .
- Μείωση των απωλειών του συστήματος διανομής της Ιεράπετρας με την ημερήσια μείωση να αγγίζει τα 1.67 MWh σε μία καλοκαιρινή μέρα.Η δε μέγιστη ωριαία ποσοστιαία μείωση ανέρχεται σε 78.57 % των αρχικών απωλειών σε περιόδους υψηλής διείσδυσης.
- Μείωση της κατανάλωσης καυσίμου diesel έως 450 περίπου λίτρα ανά μεγαβατώρα που παράγεται.
- Μείωση της κατανάλωσης μαζούτ έως 310 περίπου kg ανά μεγαβατώρα που παράγεται μόνο σε χειμωνιάτικες ώρες.
- Μείωση της εκπομπής ρύπων από τις θερμικές μονάδες έως 1060 περίπου kg ανά μεγαβατώρα που παράγεται.
- Εξοικονόμηση χρημάτων με την μείωση παραγωγής στους θερμικούς σταθμούς έως 300 περίπου €, ανά μεγαβατώρα που παράγεται.

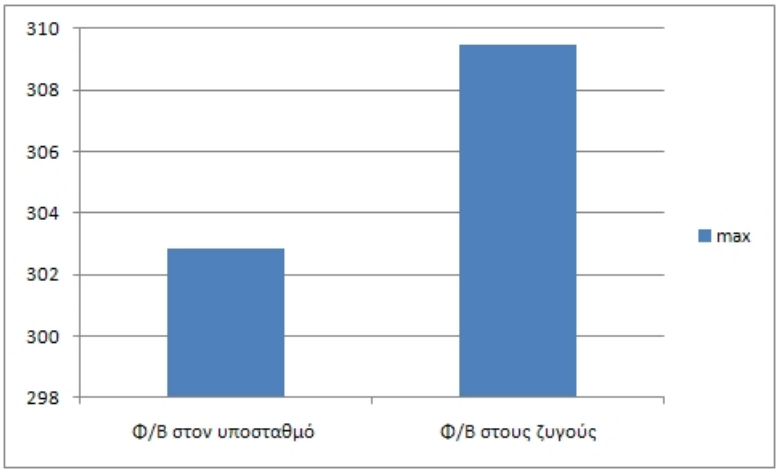
- Τα Φ/Β της Ιεράπετρας δεν επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου στις μονάδες του σταθμού παραγωγής στην περιοχή του Αθερινόλακκου,επηρρεάζουν όμως τη λειτουργία κυρίως των αεριοστροβίλων των μονάδων Λινοπεραμάτων ή Χανίων.
- Πολύ σπάνια παρατηρείται αναστροφή της ροής ισχύος ενώ μειώνεται σημαντικά η φόρτιση των υπερφορτισμένων γραμμών ειδικά το καλοκαίρι που παρατηρείται μείωση φόρτισης από 85.5 % σε 71.8 %.
- Τα οφέλη γίνονται σημαντικά μεγαλύτερα αν τα Φ/Β είναι διασκορπισμένα στο δίκτυο.Στα σχήματα 7.13 - 7.16 παρουσιάζεται η μέγιστη ημερήσια μείωση απωλειών,η μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών,η μέγιστη μείωση κατανάλωσης μαζούτ και καυσίμου diesel για την περίπτωση των συγκεντρωμένων και των διεσπαρμένων Φ/Β.Τα Φ/Β πρέπει να τοποθετούνται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις περιοχές που παρουσιάζουν προβλήματα.



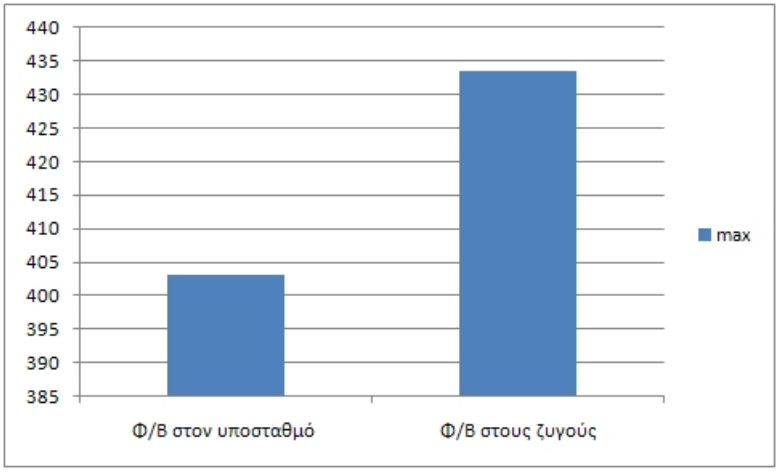
Σχήμα 7.13: Μέγιστη ημερήσια μείωση απωλειών (MWh)



Σχήμα 7.14: Μέγιστη ωριαία μείωση απωλειών (MW)



Σχήμα 7.15: Μέγιστη μείωση κατανάλωσης μαζούτ ανά παραγόμενη MWh (kg/MWh)



Σχήμα 7.16: Μέγιστη μείωση κατανάλωσης καυσίμου diesel ανά παραγόμενη MWh (lt/MWh)

Bibliography

[1] Σταυρακάκης Γεώργιος. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας : Ηλιακή Ενέργεια. Σημειώσεις.*

[2] . . $http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php$.

[3] Σταυρακάκης Γεώργιος. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας : Φωτοβολταϊκά Συστήματα. Σημειώσεις.*

[4] . . $http://www.sma.com$,Ιστοσελίδα κατασκευάστριας εταιρίας αντιστροφέων.

[5] . . $http://www.schneider-electric.com$.

[6] . . $http://www.greenpeace.org/greece/Global/greece/report/2009/1/benefits.pdf$.

[7] . . $http://library.tee.gr/digital/m2483/m2483_zahariou.pdf$.

[8] . . $http://www.powerworld.com/$.

[9] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας - Τμήμα Ανατολικής Κρήτης (ΤΕΕ-ΤΑΚ). *Αναφορά Ομάδας Εργασίας.*

[10] Οργανισμός Ανάπτυξης Σητείας : Πράσινη Ανάπτυξη. . $http://www.oas.gr/$.

[11] Διαχειριστής ελληνικού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. . $http://www.desmie.gr$.

[12] Διαχειριστής μη διασυνδεδεμένων νήσων. . $http://www.dei.gr$.

[13] Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης. . $http://www.teicrete.gr$.

[14] . *ΑΒΒ Λύσεις για Φωτοβολταϊκά : Έλεγχος και προστασία.*

[15] Ι.Ε.Φραγκιαδάκης. *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*, 2006.

[16] Νικόλαος Α. Βοβός , Γαβριήλ Β. Γιαννακόπουλος. *Ανάλυση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας*, 2008.

[17] Dr. Antonis Tsikalakis , Ms Thomai Tomtsi , Prof. Nikos Hatziargyriou. *Methodology for Evaluating PV Operation in a Power System from the Economic and Operational Point of View*. $http://www.distres.eu$, 2009.

[18] M. Thomson and D.G. Infield. *Impact of widespread photovoltaics generation on distribution systems*. $http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber = 4159953$.

[19] Paul Denholm , Robert M. Margolis , James M. Milford . *Quantifying avoided fuel use and emissions from solar photovoltaic generation in the Western United States*, 2008.

[20] Reinhard Haas. *The value of photovoltaic electricity for society*.

[21] T. Hoff , D.S. Shugar. *The value of grid-support photovoltaics in reducing distribution system losses*.

[22] T. Hoff , D.S. Shugar. *The value of grid-support photovoltaics to substation transformers*.