



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ
ΜΟΝΑΔΩΝ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ
ΑΚΤΙΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτης Γ. Πεδιαδίτης

Επίβλεψη : Πάυλος Σ. Γεωργιλάκης, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ
ΜΟΝΑΔΩΝ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ
ΑΚΤΙΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτης Γ. Πεδιαδίτης

Επίβλεψη : Πάυλος Σ. Γεωργιλάκης, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Ιουλίου 2012

.....

Πάυλος Γεωργιλάκης
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

.....

Κωνσταντίνος Βουρνάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Γεώργιος Κορρές
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Απρίλιος 2012

.....

Παναγιώτης Γ. Πεδιαδίτης

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

Copyright © Παναγιώτης Πεδιαδίτης, 2012.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η επίλυση του προβλήματος της βέλτιστης τοποθέτησης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής (ΜΔΠ) με αναλυτική προσέγγιση με σκοπό: (α) την ελαχιστοποίηση των απωλειών ενεργού ισχύος και (β) τη μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου του διαχειριστή του δικτύου σε ακτινικά δίκτυα διανομής. Με την τοποθέτηση ΜΔΠ, δεν μειώνονται μόνο οι απώλειες, αλλά επίσης βελτιώνονται οι τάσεις στους ζυγούς του συστήματος.

Στην παρούσα εργασία, υλοποιήθηκε αλγόριθμος σε περιβάλλον MATLAB για τον υπολογισμό του βέλτιστου πλήθους, των θέσεων και της ονομαστικής ισχύος των ΜΔΠ. Για την καλύτερη και πιο εύχρηστη εφαρμογή του προγράμματος από το χρήστη δημιουργήθηκε και γραφικό περιβάλλον (GUI). Αρχικά γίνεται ανάλυση ροών φορτίου με τη μέθοδο Newton-Raphson και έπειτα υπολογίζονται οι απώλειες του υπό μελέτη δικτύου. Στη συνέχεια, μέσω των μεθόδων βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ υπολογίζονται: το βέλτιστο πλήθος, οι θέσεις (ζυγοί) και η ονομαστική ισχύς των ΜΔΠ. Τέλος, υπολογίζονται οι απώλειες ενεργού ισχύος του δικτύου και το χρηματικό κίνητρο μετά την τοποθέτηση των ΜΔΠ, με τη βοήθεια της ανάλυσης ροών φορτίου.

Οι αλγόριθμοι που υλοποιήθηκαν εφαρμόστηκαν σε τέσσερα δίκτυα 4, 10, 33 και 69 ζυγών. Τα αποτελέσματα των μεθόδων της εργασίας παρουσιάζονται, συγκρίνονται και εξάγονται ειδικά και γενικά συμπεράσματα.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Βέλτιστη τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, ακριβής σχέση υπολογισμού απωλειών ενεργού ισχύος, συμμετρικά ακτινικά δίκτυα διανομής, μείωση απωλειών ενεργού ισχύος, ανάλυση ροών φορτίου, αναλυτική μέθοδος, βέλτιστο μέγεθος, βέλτιστη θέση, μεγιστοποίηση οικονομικού κινήτρου του διαχειριστή του δικτύου διανομής.

ABSTRACT

The current Diploma Thesis deals with the optimal allocation of Distributed Generators (DGs) in radial distribution networks using an analytical approach in order: (a) to maximize the power loss reduction, (b) to maximize the financial incentive. The optimal DG allocation offers, not only active power losses reduction but also an improvement to the voltage profile of the network.

In the present diploma thesis, an algorithm was developed in MATLAB environment for calculating the optimal number, location and size of DGs. A graphic user interface (GUI) was created to make the program user-friendly. Initially, a load flow analysis, with Newton-Raphson method, is calculated, and then line losses of the studied network are calculated. After that, using an analytical optimal DG allocation method, the optimal number, location and size of DGs are calculated. Finally, line losses are calculated along with the financial incentive using load flow analysis.

The algorithms developed for the current Thesis were tested on four networks with 4, 10, 33 and 69 buses, respectively. The application results are presented compared and application specific conclusions are drawn.

KEY WORDS

Optimal distributed generators allocation, exact loss formula, active power losses reduction, symmetrical radial distribution networks, load flow analysis, analytical approach, optimum size, optimum location, maximizing DNO's financial incentive.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2011-2012 υπό την επίβλεψη του κ. Παύλου Γεωργιλάκη, λέκτορα της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π., στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεση της εργασίας, όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του σε κάθε δυσκολία.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καλό μου φίλο Δημήτρη Αναγνωστό για την ιδέα που μου έδωσε στο πρόβλημα της αντιστροφής του πίνακα αγωγιμοτήτων και την βοήθειά του όταν μάθαινα τα βασικά του προγραμματισμού. Θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον καλό μου φίλο Νίκο Κουτσούκη για την πολύτιμη βοήθειά του στη συγγραφή του τελικού κειμένου της εργασίας, όπως και όλους τους φίλους μου για τη στήριξή τους. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τις αδερφές μου για τη στήριξη και τη βοήθειά τους όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

Η εργασία αυτή είναι αφιερωμένη στην Κάλλια που με την αγάπη της με κάνει καλύτερο άνθρωπο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	Εισαγωγή	1
1.2	Αντικείμενο της εργασίας	2
1.3	Δομή της εργασίας	2
1.4	Βιβλιογραφία	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	5
2.1	Εισαγωγή	5
2.2	Κατηγοριοποίηση μεθόδων βέλτιστης τοποθέτησης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής	6
2.2.1	Αναλυτικές μέθοδοι	6
2.2.2	Αλγόριθμος ροής ισχύος	6
2.2.3	Μέθοδοι βασισμένες στην τεχνητή νοημοσύνη	7
2.2.3.1	Γενετικοί Αλγόριθμοι	7
2.2.3.2	Αλγόριθμος τεχνητής αποικίας μελισσών	8
2.2.3.3	Βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων	8
2.2.3.4	Ασαφής Λογική	9
2.3	Βιβλιογραφία	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:	ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΟΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ	11
3.1	Εισαγωγή	11
3.2	Διατύπωση του προβλήματος ροών φορτίου	11
3.3	Επίλυση του προβλήματος	14
3.3.1	Μέθοδος Newton-Raphson	14
3.4	Βιβλιογραφία	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:	ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΠΛΗΘΟΥΣ, ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΑΚΤΙΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	19
4.1	Εισαγωγή	19
4.2	Διατύπωση και επίλυση του προβλήματος μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	20
4.2.1	Εγκατάσταση μίας ΜΔΠ	21
4.2.2	Εγκατάσταση πολλαπλών ΜΔΠ	26
4.3	Διατύπωση και επίλυση του προβλήματος μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου	29
4.3.1	Εγκατάσταση μίας ΜΔΠ	29
4.3.2	Εγκατάσταση πολλαπλών ΜΔΠ	32
4.4	Βιβλιογραφία	34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΑΚΤΙΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ	35
5.1	Εισαγωγή	35
5.2	Γραφικό Περιβάλλον (GUI) της MATLAB	35
5.3	Χαρακτηριστικά Λογισμικού για τη βέλτιστη τοποθέτηση ΜΔΠ	39
5.3.1	Περιβάλλον ανάπτυξης και απαιτήσεις συστήματος	39
5.3.2	Λειτουργίες λογισμικού	40
5.3.2.1	Γραφικό περιβάλλον	40
5.3.2.2	Εισαγωγή Δεδομένων	42
5.3.2.3	Μελέτη και ανάλυση αποτελεσμάτων	42
5.3.2.4	Υποπρογράμματα Λογισμικού	46
5.3.2.5	Μελλοντικές επεκτάσεις του λογισμικού	48
5.4	Βιβλιογραφία	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:	ΔΟΚΙΜΕΣ-ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ	49
6.1	Εισαγωγή	49
6.2	Αριθμητικό παράδειγμα	49
6.2.1	Δεδομένα του συστήματος	49
6.2.2	Επίλυση προβλήματος βασικής ροής φορτίου	50
6.2.3	Καθορισμός βέλτιστης θέσης και μεγέθους μίας ΜΔΠ	53
6.2.3.1	Προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος	53
6.2.3.2	Εξαντλητική μέθοδος αναζήτησης	58
6.2.4	Καθορισμός βέλτιστης θέσης και μεγέθους πολλαπλών ΜΔΠ	63
6.2.4.1	Πρώτη επανάληψη	63
6.2.4.2	Δεύτερη επανάληψη	64
6.2.4.3	Τρίτη επανάληψη	71
6.2.4.4	Τελικά αποτελέσματα μεθόδου βέλτιστης τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ	77
6.3	Δίκτυο 10 ζυγών	79
6.3.1	Δεδομένα συστήματος	79
6.3.2	Εγκατάσταση μίας ΜΔΠ	80
6.3.2.1	Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση απωλειών ενεργού ισχύος	80
6.3.2.2	Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίηση οικονομικού κινήτρου	83
6.3.3	Εγκατάσταση πολλαπλών ΜΔΠ	83
6.3.3.1	Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση απωλειών ενεργού ισχύος	83
6.3.3.2	Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίηση οικονομικού κινήτρου	93
6.3.4	Σχολιασμός αποτελεσμάτων	97

	6.3.4.1 Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση απωλειών ενεργού ισχύος	97
	6.3.4.2 Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου	98
6.4	Δίκτυο 33 ζυγών	99
	6.4.1 Δεδομένα συστήματος	99
	6.4.2 Εγκατάσταση μίας ΜΔΠ	101
	6.4.2.1 Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση απωλειών ενεργού ισχύος	101
	6.4.2.2 Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίηση οικονομικού κινήτρου	103
	6.4.3 Εγκατάσταση πολλαπλών ΜΔΠ	103
	6.4.3.1 Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση απωλειών ενεργού ισχύος	103
	6.4.3.2 Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίηση οικονομικού κινήτρου	113
	6.4.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων	119
	6.4.4.1 Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση απωλειών ενεργού ισχύος	119
	6.4.4.2 Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίηση οικονομικού κινήτρου	119
6.5	Δίκτυο 69 ζυγών	120
	6.5.1 Δεδομένα συστήματος	120
	6.5.2 Εγκατάσταση μίας ΜΔΠ	122
	6.5.2.1 Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση απωλειών ενεργού ισχύος	122
	6.5.2.2 Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίηση οικονομικού κινήτρου	124
	6.5.3 Εγκατάσταση πολλαπλών ΜΔΠ	125
	6.5.3.1 Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση απωλειών ενεργού ισχύος	125
	6.5.3.2 Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου	133
	6.5.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων	139
	6.5.4.1 Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση απωλειών ενεργού ισχύος	139
	6.5.4.2 Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου	140
6.6	Βιβλιογραφία	141

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	143
7.1 Σύνοψη εργασίας και αποτελέσματα	143
7.2 Μελλοντικές επεκτάσεις της εργασίας	145
7.3 Βιβλιογραφία	146
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΚΤΥΩΝ	147
A.1 Δίκτυο αναλυτικού παραδείγματος 4 ζυγών	147
A.2 Δίκτυο 10 ζυγών	147
A.3 Δίκτυο 33 ζυγών	148
A.4 Δίκτυο 69 ζυγών	149

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) ορίζεται το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης. Το σύστημα πρέπει να έχει μελετηθεί και να λειτουργεί σωστά και να ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Πρέπει να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση.
- Η ζήτηση πραγματικής και αέργου ισχύος μεταβάλλεται με το χρόνο, και το σύστημα πρέπει να μπορεί να ικανοποιεί τη συνεχώς μεταβαλλόμενη ζήτηση.
- Η παρεχόμενη ενέργεια πρέπει να ικανοποιεί ορισμένους όρους ποιότητας. Τρεις βασικοί παράγοντες συνιστούν την ποιότητα αυτή: σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση, υψηλή αξιοπιστία τροφοδοτήσεως.
- Η ενέργεια πρέπει να παρέχεται με τα ελάχιστα οικονομικά και οικολογικά κόστη.

Τα ΣΗΕ από απόψεως εκτάσεως μπορούν να διακριθούν σε «Εθνικά συστήματα», «Περιφερειακά Συστήματα» και «Ιδιωτικά Συστήματα» εφόσον αντίστοιχα καλύπτουν το σύνολο μιας χώρας, το σύνολο μιας γεωγραφικής περιοχής, ή τις ανάγκες μεμονωμένου ιδιωτικού συγκροτήματος [1.1].

Η δομή του συστήματος επηρεάζεται σημαντικά από το μέγεθος της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, τη χρονική μεταβολή της στη διάρκεια της ημέρας και τη χωροταξική της κατανομή. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται είναι, κυρίως, τριφασικά, εναλλασσόμενου ρεύματος, με συχνότητα 50 ή 60Hz. Χρησιμοποιούνται, όμως, και συστήματα συνεχούς ρεύματος κυρίως σε συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Για την τροφοδότηση των καταναλωτών με ηλεκτρική ενέργεια θεωρούνται τρεις ξεχωριστές λειτουργίες των ΣΗΕ: η παραγωγή, η μεταφορά και η διανομή.

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται η διαδικασία για τη μετατροπή μιας πρωτογενούς μορφής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται στους σταθμούς παραγωγής. Το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται στους καταναλωτές προέρχεται κυρίως από:

- Θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, με την καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο)
- Υδροηλεκτρικούς σταθμούς, με τη ροή ή την πτώση υδάτων
- Πυρηνικούς σταθμούς με την πυρηνική σχάση (ουράνιο, θόριο, πλουτόνιο)
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με την εκμετάλλευση του ανέμου, του ήλιου, των θαλάσσιων κυμάτων, της γεωθερμίας, της βιομάζας κ.λπ.

Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου των εγκαταστάσεων και μέσων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από την έξοδο των σταθμών παραγωγής μέχρι τους υποσταθμούς που τροφοδοτούν τα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης και από όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής. Επίσης τροφοδοτούν τους μεγάλους καταναλωτές υψηλής τάσης, που κατασκευάζουν δικό τους υποσταθμό υποβιβασμού υψηλής σε μέση τάση και εσωτερικά δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης, και είναι κυρίως μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις με εγκαταστημένη ισχύ πάνω από 10MW (εργοστάσια αλουμινίου, τσιμέντων, κλπ) [1.2].

Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές. Τα δίκτυα διανομής περιλαμβάνουν τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω των οποίων αυτή φτάνει έως τους καταναλωτές και τους υποσταθμούς υποβιβασμού τάσης, οι οποίοι τις συνδέουν με το σύστημα μεταφοράς.

1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι απώλειες των δικτύων διανομής μέσης και χαμηλής τάσης μπορεί να αποτελούν σχετικά μικρό ποσοστό της διανεμόμενης προς τους καταναλωτές ενέργειας, όμως, είναι αρκετά σημαντικές λόγω των μεγάλων ποσών της διακινούμενης ενέργειας. Για παράδειγμα, στο Ελληνικό σύστημα οι ετήσιες απώλειες ενέργειας των δικτύων μέσης και χαμηλής τάσης της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), εκφραζόμενες ως ποσοστά της εισερχόμενης ενέργειας από τα δίκτυα μεταφοράς, ανέρχονται περίπου σε ποσοστό 6.5%. Το αντίστοιχο ποσοστό για τα δίκτυα μεταφοράς (150kV και 400kV) είναι περίπου 4% [1.3].

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να κατανεμηθούν μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής (ΜΔΠ), ώστε: (α) να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες ενεργού ισχύος, και (β) να μεγιστοποιηθεί το οικονομικό κίνητρο του διαχειριστή του δικτύου διανομής. Για να επιτευχθεί αυτό θα υλοποιηθεί κατάλληλος αναλυτικός αλγόριθμος που θα υπολογίζει το βέλτιστο πλήθος, τις θέσεις και την ονομαστική ισχύ (MW) των ΜΔΠ που θα τοποθετούνται στους επιλεγμένους ζυγούς (βέλτιστες θέσεις) για να προκαλούν έγχυση ενεργού ισχύος στο σύστημα.

1.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το αντικείμενο της εργασίας παρουσιάστηκε συνοπτικά στην Ενότητα 1.2. Στην παρούσα ενότητα θα γίνει μια παρουσίαση της δομής της εργασίας που οργανώνεται σε επτά κεφάλαια τα οποία περιγράφονται παρακάτω.

- **Κεφάλαιο 1:** Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια γενική εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και στις λειτουργίες τους (παραγωγή, μεταφορά και διανομή). Αναφέρονται οι απώλειες ενεργού ισχύος και ενέργειας των ΣΗΕ και περιγράφεται ο σκοπός και η δομή της εργασίας.
- **Κεφάλαιο 2:** Γίνεται ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, όσον αφορά τη βέλτιστη τοποθέτηση ΜΔΠ σε δίκτυα διανομής και κατηγοριοποιούνται οι διάφορες μέθοδοι επίλυσης του προβλήματος.
- **Κεφάλαιο 3:** Διατυπώνεται και επιλύεται το πρόβλημα της ροής φορτίου. Παρουσιάζεται η επαναληπτική μέθοδος Newton-Raphson, η οποία θα

χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια στην επίλυση των ροών φορτίου που απαιτεί ο αλγόριθμος που θα υλοποιηθεί στο Κεφάλαιο 4.

- **Κεφάλαιο 4:** Παρουσιάζεται με ποιο τρόπο επιτυγχάνεται μείωση απωλειών ενεργού ισχύος ή μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου με την τοποθέτηση μεμονωμένων αλλά και πολλαπλών ΜΔΠ. Επίσης, περιγράφεται ο αλγόριθμος επίλυσης των προβλημάτων για την εύρεση του βέλτιστου πλήθους, της βέλτιστης θέσης (ζυγός) και του βέλτιστου μεγέθους ΜΔΠ για τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος ή τη μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου σε ακτινικά δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Κεφάλαιο 5:** Περιγράφεται το λογισμικό που αναπτύχθηκε για την εύρεση βέλτιστου πλήθους, θέσης και μεγέθους ΜΔΠ σε ακτινικά δίκτυα διανομής. Επεξηγείται ο τρόπος εισαγωγής δεδομένων, η επεξεργασία τους και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων του προγράμματος. Ο αλγόριθμος υλοποιήθηκε σε περιβάλλον MATLAB, όπου επιπλέον δημιουργήθηκε γραφικό περιβάλλον (GUI) για τη λειτουργία του λογισμικού.
- **Κεφάλαιο 6:** Παρουσιάζεται αναλυτικά ένα αριθμητικό παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου εύρεσης βέλτιστου πλήθους, θέσης και μεγέθους ΜΔΠ σε ένα μικρό ακτινικό δίκτυο 4 ζυγών. Ακόμα παρουσιάζονται και άλλες 3 εφαρμογές των μεθόδων της εργασίας, αλλά και τα αποτελέσματά τους. Επίσης γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων.
- **Κεφάλαιο 7:** Συνοψίζεται η εργασία, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και προτείνονται τρόποι βελτίωσης και επέκτασης της εργασίας.
- **Παράρτημα Α:** Περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα δεδομένα των συστημάτων που μελετήθηκαν στο Κεφάλαιο 6, δηλαδή συνδεσμολογία, δεδομένα γραμμών και δεδομένα φορτίων των ΣΗΕ.

1.4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1.1] Β. Κ. Παπαδιάς, *Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, τόμ. Ι, Μόνιμη κατάσταση λειτουργίας*. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1985, σελ 1,250.
- [1.2] Κ. Βουρνάς, Γ. Κονταξής, *Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας*. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2001, σελ. 1-20.
- [1.3] Μ. Π. Παπαδόπουλος, *Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, τομ Ι*. Αθήνα: Εκδόσεις, Ε.Μ.Π., 1994, σελ 138.

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας οι απώλειες ισχύος αποτελούν ένα σημαντικό μέρος της παραγόμενης ισχύος και για αυτό είναι πολύ σημαντική η μείωσή τους. Ο λόγος είναι ότι τα δίκτυα διανομής συνδέουν τους καταναλωτές με το δίκτυο μεταφοράς υψηλής τάσης και έτσι, λόγω της σχετικά πιο χαμηλής τάσης, έχουν μεγαλύτερη τιμή ρεύματος και επομένως οι απώλειες ισχύος είναι σημαντικά μεγαλύτερες στα δίκτυα διανομής, σε σχέση με τα δίκτυα υψηλής τάσης. Μετά από μελέτες βρέθηκε ότι οι απώλειες ισχύος στα δίκτυα διανομής είναι περίπου ίσες με 13% της παραγόμενης ισχύος [2.1].

Μία λύση για τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος των δικτύων διανομής είναι η τοποθέτηση Μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΜΔΠ). Μελέτες έχουν δείξει ότι, η ακατάλληλη επιλογή στο μέγεθος και τη θέση των ΜΔΠ μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερες απώλειες ενεργού ισχύος από ότι χωρίς τοποθέτηση ΜΔΠ. [2.2]-[2.3]. Διάφορες εφαρμογές ήδη βρίσκονται αντιμέτωπες με το πρόβλημα των υψηλών απωλειών ενεργού ισχύος και κακών επιπέδων των τιμών των τάσεων. Ιδιαίτερα, δε, στις αναπτυσσόμενες χώρες δεν μπορούν να γίνουν ανεκτές περαιτέρω απώλειες. Με τη βέλτιστη τοποθέτηση ΜΔΠ, διάφορες εφαρμογές μπορούν να εκμεταλλευτούν τη μείωση των απωλειών, τη βελτίωση των επιπέδων τάσης και την αξιοπιστία της παροχής ενέργειας [2.2]-[2.4]. Επίσης αυξάνεται περαιτέρω η χωρητικότητα των δικτύων διανομής και έτσι ευνοούνται οι επιπλέον επενδύσεις.

Οι ΜΔΠ μπορούν να θεωρηθούν σαν μία από τις πιο προσδόκιμες επιλογές για την ελάττωση κάποιων εκ των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν τα ηλεκτρικά δίκτυα σήμερα (π.χ. υψηλές απώλειες ισχύος, χαμηλή αξιοπιστία, κακή ποιότητα ισχύος, συμφόρηση στα συστήματα μεταφοράς), εκτός από την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της όλο και αυξανόμενης ζήτησης. Επιπλέον, το μικρό μέγεθος των ΜΔΠ επιτρέπει στον σχεδιαστή μηχανικό να τις εγκαταστήσει σε μικρότερο χρονικό διάστημα σε σχέση με συμβατικές λύσεις. Είναι πιο συμφέρουσα η εγκατάσταση ΜΔΠ στις ήδη υπάρχοντες υποδομές, που κλίνουν όλο και περισσότερο σε ένα πιο αποκεντρωμένο μοντέλο, όπου υπάρχει μεγαλύτερη αβεβαιότητα στη ζήτηση και την προσφορά. Παρόλα αυτά, δεδομένων των επιλογών που υπάρχουν, χρειάζεται να τοποθετούνται σε κατάλληλες θέσεις και βέλτιστα μεγέθη. Για το λόγο αυτό, χρειάζεται να αναπτυχθούν εργαλεία που θα εξετάζουν τη θέση και το μέγεθος τέτοιων εγκαταστάσεων.

2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.

Το πρόβλημα της βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ μπορεί να αντιμετωπιστεί σαν πρόβλημα βέλτιστης τοποθέτησης παραγόμενης ενεργού ισχύος όπως η τοποθέτηση πυκνωτών λογίζεται ως τοποθέτηση αέργου ισχύος. Αντίθετα από τη βέλτιστη τοποθέτηση πυκνωτών, το πρόβλημα της βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ είναι σχετικά νέο. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

2.2.1 Αναλυτικές μέθοδοι

Η κεντρική ιδέα είναι να βρεθεί η βέλτιστη λύση μέσω αναλυτικών υπολογισμών, δηλαδή, να μεγιστοποιηθεί ή να ελαχιστοποιηθεί η αντίστοιχη αντικειμενική συνάρτηση που προκύπτει από τις εξισώσεις του δικτύου. Αυτή η συνάρτηση μπορεί να είναι είτε ελαχιστοποίησης απωλειών ενεργού ισχύος [2.14] ή μεγιστοποίηση κάποιου οφέλους, συνήθως οικονομικού. Όπως θα γίνει εμφανές και στην συνέχεια της παρούσας εργασίας, κάτι τέτοιο είναι υπολογιστικά ένα δύσκολο έργο λόγω της φύσης του προβλήματος. Για αυτό το λόγο οι αναλυτικές μέθοδοι ελάχιστα συναντώνται στη διεθνή βιβλιογραφία. Μία τέτοια προσπάθεια έγινε από τους Acharya, Mahat και Mithulanathan [2.14] και αποτελεί βάση της παρούσας εργασίας, όπου εφαρμόζεται για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ, ενώ δεν προσπαθεί να λύσει το πρόβλημα βέλτιστης τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ.

Μία άλλη προσέγγιση αποτελεί η εργασία των Wang και Nehrir [2.15] όπου, χρησιμοποιούνται οι φασιθέτες του ρεύματος που διαρρέουν τις γραμμές. Από τις εξισώσεις των ρευμάτων προκύπτει μία συνάρτηση απωλειών συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας των φορτίων η οποία παραγωγίζεται για να βρεθεί το ελάχιστο της. Σε αυτή την εργασία όμως, η έρευνα αφορά την καταλληλότερη θέση και όχι το μέγεθος της ΜΔΠ.

2.2.2 Αλγόριθμος ροής ισχύος

Η μέθοδος αυτή [2.5] είναι μία μέθοδος αριθμητικού προγραμματισμού και εφαρμόστηκε από τους Row και Wan. Ζητείται η εγκατάσταση C MW ΜΔΠ. Από i έως k είναι οι κατάλληλες θέσεις για εγκατάσταση. P_i είναι η έγχυση ισχύος στο ζυγό i του δικτύου. Από τα παραπάνω εκφράζεται το διάνυσμα ελέγχου U τέτοιο ώστε:

$$U = \{P_i, \dots, P_k\}^T, \quad i, k \in n \quad (2.1)$$

Εκφράζεται, η συνολική έγχυση ενεργού ισχύος στο δίκτυο σε μορφή μαθηματικού περιορισμού, ως εξής:

$$P_i + \dots + P_k = C \quad (2.2)$$

Για την περίπτωση, κατά συνέπεια, της μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος ο δείκτης f είναι ο ακόλουθος:

$$f = \sum_{i=1}^n P_i \quad (2.3)$$

Σκοπός του προβλήματος είναι η ελαχιστοποίηση της συνάρτησης f (2.3) από τη στιγμή που εκφράζει το άθροισμα των εγχύσεων σε όλους τους ζυγούς του δικτύου, δηλαδή, τις απώλειες ενεργού ισχύος.

Η ελαχιστοποίηση της συνάρτησης (2.3) γίνεται με αριθμητικές μεθόδους [2.5] με τη βοήθεια υπολογιστή. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι πολύπλοκη και υπολογιστικά χρονοβόρα. Στην αντίστοιχη εργασία των Kim, Nam, Park και Singh [2.6] χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος Hereford ranch για την ελαχιστοποίηση της συνάρτησης με τη βοήθεια μίας εξίσωσης Lagrange.

2.2.3 Μέθοδοι βασισμένες στην τεχνητή νοημοσύνη

Οι ευριστικές μέθοδοι είναι τεχνικές για λύσεις προβλημάτων βασισμένες στην εμπειρία. Πιο συγκεκριμένα, είναι στρατηγικές που αξιοποιούν εύκολα προσβάσιμες πληροφορίες για την διαχείριση λύσεων σε προβλήματα. Στην πληροφορική, ευριστική είναι μία τεχνική σχεδιασμένη να λύσει ένα πρόβλημα, αγνοώντας αν η λύση που δίνεται μπορεί να αποδειχθεί ότι είναι σωστή, αλλά συνήθως παράγει καλά αποτελέσματα. Αυτή η λογική, όπως είναι κατανοητό, λειτουργεί εις βάρος της ακρίβειας.

2.2.3.1 Γενετικοί αλγόριθμοι

Οι γενετικοί αλγόριθμοι ανήκουν στον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών και συγκεκριμένα στο πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης. Είναι ευριστικές μέθοδοι που μιμούνται τη διαδικασία της φυσικής εξέλιξης. Χρησιμοποιούνται για να γεννούν χρήσιμες λύσεις σε προβλήματα βελτιστοποίησης ή αναζήτησης. Είναι μία υποκατηγορία των εξελικτικών αλγορίθμων (evolutionary algorithms) που γεννούν λύσεις σε προβλήματα βελτιστοποίησης χρησιμοποιώντας τεχνικές που είναι εμπνευσμένες από την εξέλιξη, όπως η κληρονομικότητα, οι μεταλλάξεις, η φυσική επιλογή και οι διασταυρώσεις.

Στο πρόβλημα βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ οι γενετικοί αλγόριθμοι έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά και οι παραλλαγές είναι πολλές [2.7]-[2.12]. Ακολουθείται μια εξελικτική στρατηγική. Ξεκινώντας από ένα σημείο αρχικού πληθυσμού ατόμων, κάθε ένα από τα οποία αντιπροσωπεύει μία πιθανή λύση, η εξελικτική διαδικασία μορφοποιεί τον πληθυσμό, από κατάλληλους τελεστές, με σκοπό το σχηματισμό της επόμενης γενιάς λύσεων μέχρι ένα κριτήριο να ικανοποιηθεί. Η λύση παίρνεται από τη βέλτιστη λύση του τελευταίου πληθυσμού. Οι γενετικοί αλγόριθμοι μπορούν εύκολα να βρουν το βέλτιστο σε κάθε αντικειμενική συνάρτηση ακόμη και αν είναι διακριτή ή οι παράγωγοί της δεν μπορούν να βρεθούν.

Στην εργασία των Silvestri, Berizzi και Buonanno [2.8], η αντικειμενική συνάρτηση σχηματίζεται λαμβάνοντας υπόψη τα αντικειμενικά οφέλη από τη μείωση των απωλειών και την αναβάθμιση του δικτύου και τα κόστη εγκατάστασης και λειτουργίας. Στην εργασία των Gareth, Harrison, Piccolo και Siano [2.13] λαμβάνονται υπόψη τα οικονομικά οφέλη από τη μείωση των απωλειών και τη σύνδεση ΜΔΠ. Η αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης οικονομικού οφέλους της εργασίας αυτής χρησιμοποιείται και στην παρούσα εργασία στα Κεφάλαια 4 και 6.

2.2.3.2 Αλγόριθμος τεχνητής αποικίας μελισσών

Ο αλγόριθμος τεχνητής αποικίας μελισσών (artificial bee colony algorithm) είναι ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης που βασίζεται στην ευφυή συμπεριφορά που εμφανίζουν οι μέλισσες σε μία κυψέλη. Διατυπώθηκε πρώτη φορά το 2005 και όπως είναι εύκολα κατανοητό, η χρήση της στο πρόβλημα της βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ είναι αρκετά πρόσφατη.

Ο αλγόριθμος τεχνητής αποικίας μελισσών χρησιμοποιείται για βέλτιστη τοποθέτηση ΜΔΠ με στόχο τη μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος [2.16], [2.17]. Η μέθοδος των Padma, Lalitha, Sinarami και Reddy [2.16] προβλέπει δύο στάδια. Στο πρώτο γίνεται η ανάλυση της μεθόδου βέλτιστης τοποθέτησης μίας ΜΔΠ που θα χρησιμοποιηθεί στο δεύτερο στάδιο για να βασιστεί επάνω της η εφαρμογή του αλγορίθμου τεχνητής αποικίας μελισσών. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η μέθοδος έχει πολύ καλά αποτελέσματα όσον αφορά τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος (άνω του 50%) αλλά εφαρμόζεται για λίγες ΜΔΠ, μέγιστο 4.

2.2.3.3 Βελτιστοποίηση Σμήνους Σωματιδίων

Η μέθοδος βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (Particle Swarm Optimization) είναι μία υπολογιστική μετα-ευριστική μέθοδος που βελτιστοποιεί ένα πρόβλημα, προσπαθώντας μέσω διαδοχικών επαναλήψεων να βελτιώσει μία υποψήφια λύση, χρησιμοποιώντας ένα κριτήριο ποιότητας. Το πρόβλημα βελτιστοποιείται έχοντας ένα πληθυσμό υποψήφιων λύσεων οι οποίες, κινούνται στο χώρο έρευνας που χρησιμοποιείται μέσω απλών μαθηματικών σχέσεων. Προτάθηκε πρώτα από τους Kennedy και Eberhart το 1995 και είναι εμπνευσμένη από την συμπεριφορά σμηνών πουλιών και κοπαδιών ψαριών.

Στην εργασία των Lalitha, Reddy και Usha [2.18] η μέθοδος βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων χρησιμοποιείται για τη βέλτιστη τοποθέτηση ΜΔΠ με στόχο τη μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος σε δίκτυα διανομής. Αρχικά, χρησιμοποιείται μία αναλυτική προσέγγιση, μέσω σχέσεων για τα ρεύματα των γραμμών, για να βρεθούν οι μαθηματικές σχέσεις πάνω στις οποίες θα εφαρμοστεί η βελτιστοποίηση. Η ανάλυση, μέχρι εκείνο το σημείο, αφορά την τοποθέτηση μίας ΜΔΠ. Έπειτα, εφαρμόζεται ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων για τοποθέτηση πολλαπλών ΜΔΠ. Οι διαφορές με άλλες εργασίες είναι ότι το επιθυμητό πλήθος και μέγεθος των ΜΔΠ είναι προκαθορισμένο και σχετικά μικρό.

2.2.3.4 Ασαφής Λογική

Η ασαφής λογική είναι μία μορφή λογικής πολύ-μεταβλητών συστημάτων που βασίζεται στην αβέβαιη μοντελοποίηση συστημάτων. Μια ασαφής μεταβλητή μοντελοποιείται από μια συνάρτηση συμμετοχής, η οποία αποδίδει ένα βαθμό συμμετοχής σε ένα σύνολο και παίρνει τιμές από 0 έως 1. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τη δυαδική λογική όπου μία μεταβλητή μπορεί να πάρει τιμές 0 ή 1, δηλαδή true ή false. Με άλλα λόγια έχει φτιαχτεί για να αντιμετωπίζει την έννοια της μερικής αλήθειας.

Στην εργασία των Lalitha, Veera Reddy, Usha και Sivarami Reddy [2.19] χρησιμοποιείται η ασαφής λογική μαζί με τη βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων για τοποθέτηση ΜΔΠ, με στόχο την μείωση των απωλειών ενεργού και αέργου ισχύος. Η ασαφής λογική χρησιμοποιείται στο πρώτο στάδιο της μεθόδου. Στο στάδιο αυτό βρίσκονται

οι βέλτιστες θέσεις για τοποθέτηση ΜΔΠ. Στο δεύτερο στάδιο της μεθόδου βρίσκονται και τα βέλτιστα μεγέθη των ΜΔΠ με τη βοήθεια της βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων. Η μέθοδος βρίσκει μέγιστο 4 ΜΔΠ για το υπό εξέταση δίκτυο των 33 ζυγών που χρησιμοποιήθηκε. Η μείωση των απωλειών είναι αρκετά μεγάλη και φτάνει το 60% επί των αρχικών απωλειών ενεργού ισχύος στην βέλτιστη περίπτωση.

2.3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [2.1] J. B. Bunch, R. D. Miller, and J. E. Wheeler, "Distribution system integrated voltage and reactive power control", *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*, vol. 101, no. 2, pp. 284–289, Feb. 1982.
- [2.2] N. Mithulananthan, O. Than, V. P. Le, "Distributed generator placement in power distribution system using genetic algorithm to reduce losses," *TIJSAT*, vol. 9, pp. 55–62, Sep. 2004.
- [2.3] T. Griffin, K. Tomosovic, D. Secrest, A. Law, "Placement of dispersed generations systems for reduced losses," In: *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on Sciences*, Hawaii, 2000.
- [2.4] CLT Borges, DM Falcao, "Impact of distributed generation allocation and sizing on reliability, losses and voltage profile," In: *Proceedings of IEEE Bologna Power Technology conference*, 2003.
- [2.5] NS Row, Y-H Wan. "Optimum location of resources in distributed planning", *IEEE Transaction on Power Systems*, vol. 9, no. 4, Nov. 1994
- [2.6] JO Kim, SW Nam, SK Park, C. Singh, "Dispersed generation planning using improved Hereford ranch algorithm," *Electric Power Systems Res*, vol. 47, pp. 678–684, 1998
- [2.7] K-H Kim, Y-J Lee, S-B Rhee, S-K Lee, S-K You, "Dispersed generator placement using fuzzy-GA in distribution systems", In: *Proceedings of 2002 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, Chicago, IL, July 2002, pp. 1148-1153
- [2.8] A. Silvestri, A. Berizzi, S. Buonanno, "Distributed generation planning using genetic algorithms," In: *Proceedings of international conference on electric power engineering, Power Tech Budapest*, 1999, p. 99.
- [2.9] G. Carpinelli, G. Celli, A. Russo, "Distributed generation siting and sizing under uncertainty," In: *Proceedings IEEE Porto Power Technology*, 2001.
- [2.10] M. Mohammadi, M.A. Nasab., "DG placement with considering Reliability Improvement and Power Loss Reduction with GA Method," *Research Journal of applied sciences, Engineering and Technology*, vol. 3, pp. 838-842, Aug. 2011.
- [2.11] A. Aref, M. Davoudi, M. Davoudi., "Optimal placement and estimation of DG capacity in distribution network's using Genetic Algorithm-based method," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 5, no. 3, Mar 2012.
- [2.12] A. Aref, M. Davoudi, F. Razavi, M. Davoudi., "Optimal DG placement in distribution networks using intelligent systems," *Energy and Power Engineering*, vol. 4, pp. 92-98, Mar. 2012.
- [2.13] G. P. Harrison, A. Piccolo, P. Siano, A. R. Wallace, "Hybrid GA and OPF evaluation of network capacity for distributed generation connections," *Electric Power Systems Research*, vol. 78, pp. 392-398, May 2007.

- [2.14] N. Acharya, P. Mahat, N. Mithulanathan. "An analytical approach for DG allocation in primary distribution network," *Electric Power & Energy Systems*, vol. 28, pp. 669-678, Feb. 2006.
- [2.15] C. Wang, M. H. Nehrir, "Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 19, no. 4, pp.2068-2076, Nov. 2004.
- [2.16] M.P. Lalitha, N.S. Reddy, V. Reddy, "Optimal DG placement for maximum loss reduction in radial distribution system using ABC algorithm," *International Journal of Reviews in Computing*, 2010.
- [2.17] M. F. Sohi, M. Shirdel, "Applying BCO Algorithm to Solve the Optimal DG Placement and Sizing Problem," *Electrical and Electronic Engineering*, vol. 2, no. 2, pp.31-37, 2012.
- [2.18] M. P. Lalitha, V.C.V. Reddy, V. Usha, "Optimal DG placement for minimum real power loss in radial distribution systems using PSO," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2010.
- [2.19] M. P. Lalitha, V. C. V. Reddy, V. Usha and N. S. Reddy, "Application of Fuzzy and PSO for DG placement for minimum loss in radial distribution system," *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 5, no. 4, Apr. 2010.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΟΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε κάθε σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) πραγματοποιούνται κάποιες μελέτες με απώτερο σκοπό να επιτευχθεί η σωστή σχεδίαση, αλλά και η καλή και αξιόπιστη λειτουργία του κάθε ΣΗΕ. Οι μελέτες αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες που είναι οι μελέτες μόνιμης κατάστασης ή κανονικής λειτουργίας και οι μελέτες μεταβατικής κατάστασης ή μη κανονικής λειτουργίας ή ανώμαλης λειτουργίας. Η ανάλυση ροών φορτίου ανήκει στην πρώτη κατηγορία και με αυτήν υπολογίζονται οι τάσεις κατά μέτρο και γωνία σε όλους τους ζυγούς, το ρεύμα, οι ροές ενεργού και αέργου ισχύος σε όλες τις γραμμές και τέλος, οι απώλειες του συστήματος [3.1].

Η μελέτη ροών φορτίου σε ένα δίκτυο είναι αναγκαία και προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες, από τις οποίες οι κυριότερες είναι:

- Γίνεται έλεγχος των τάσεων και των ροών ενεργού και αέργου ισχύος ώστε να διατηρούνται εντός των επιτρεπόμενων ορίων λειτουργίας.
- Είναι απαραίτητη στον προσδιορισμό των επιπτώσεων πιθανών διαταραχών, όπως είναι η απώλεια μιας γεννήτριας ή μιας γραμμής.
- Χρειάζεται για τις μελέτες ανάπτυξης και επέκτασης του συστήματος παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας όπως για παράδειγμα μετά την εισαγωγή νέων φορτίων ή την εγκατάσταση νέων μονάδων παραγωγής, τις διασυνδέσεις με άλλα συστήματα ή την κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς [3.1].

3.2 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΡΟΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ

Αρχικά αναφέρονται κάποιες παραδοχές που γίνονται συνήθως κατά την ανάλυση των δικτύων διανομής (ΔΔ):

- Τα φορτία λαμβάνονται συνήθως ως σταθερής έντασης. Από την άλλη, λαμβάνοντας υπόψη ότι η τάση στα ΔΔ βρίσκεται συνήθως εντός των ορίων $\pm 5\%$ της ονομαστικής, η μετατροπή των φορτίων σε ισχύ βάση της ονομαστικής τους τάσης δεν προκαλεί αξιόλογο σφάλμα.
Αντιθέτως, στην περίπτωση των Δικτύων Μεταφοράς τα φορτία εκφράζονται ως σταθερής πραγματικής και αέργου ισχύος.
- Στα δίκτυα χαμηλής τάσης (ΧΤ), η χωρητικότητα των γραμμών θεωρείται αμελητέα. Παραλείπεται επίσης στα εναέρια ή υπόγεια δίκτυα μέσης τάσης (ΜΤ), όταν το μήκος των γραμμών είναι σχετικά μικρό.

- Οι γραμμές θεωρούνται συμμετρικές, δηλαδή η κάθε φάση έχει την ίδια σύνθετη αντίσταση.
- Τα φορτία θεωρούνται συμμετρικά, δηλαδή τα διανύσματα των εντάσεων σε κάθε φάση έχουν το ίδιο μέτρο με διαφορά στην γωνία τους 120° [3.2].

Στην πιο γενική περίπτωση κατά την ανάλυση ροών φορτίου, οι γραμμές παριστάνονται με το ισοδύναμο π-κύκλωμά τους, τα φορτία ορίζονται από την πραγματική και άεργο ισχύ τους και οι γεννήτριες από την παραγόμενη πραγματική και άεργο ισχύ τους και την τάση στο ζυγό που είναι εγκατεστημένες.

Σε κάθε ζυγό i του συστήματος αντιστοιχούν οι παρακάτω μεταβλητές:

- Έγχυση πραγματικής ισχύος:

$$P_i = P_{Gi} - P_{Di} \quad (3.1)$$

όπου P_{Gi} : πραγματική παραγόμενη ισχύς
 P_{Di} : πραγματική καταναλισκόμενη ισχύς

- Έγχυση αέργου ισχύος:

$$Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di} \quad (3.2)$$

όπου Q_{Gi} : παραγόμενη άεργος ισχύς
 Q_{Di} : καταναλισκόμενη άεργος ισχύς

- Μέτρο της τάσεως V_i
- Φασική γωνία της τάσεως δ_i

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι ζυγοί διακρίνονται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

1. Ζυγός ταλάντωσης ή ζυγός αναφοράς: Στο ζυγό αυτό επιβάλλεται σταθερή τάση κατά μέτρο και γωνία, ενώ προσδιορίζονται η πραγματική και η άεργος παραγόμενη ισχύς.
2. Ζυγός φορτίου (PQ): Ζυγός στον οποίο είναι γνωστή η έγχυση πραγματικής και αέργου ισχύος, ενώ προσδιορίζεται η τάση κατά μέτρο και γωνία.
3. Ζυγός παραγωγής (PV): Ζυγός στον οποίο είναι γνωστή η έγχυση πραγματικής ισχύς και το μέτρο της τάσης, ενώ προσδιορίζεται η άεργος ισχύς και η γωνία της τάσης [3.3].

Έστω n ο αριθμός των ζυγών του συστήματος και m ο αριθμός των ζυγών φορτίου. Έστω ότι ζυγός ταλάντωσης είναι ο ζυγός με αριθμό 1, οι ζυγοί 2 ως $n - m$ είναι οι ζυγοί παραγωγής και τέλος οι ζυγοί $n - m + 1$ ως n είναι οι ζυγοί φορτίου.

Η κατάσταση του συστήματος περιγράφεται από τις μεταβλητές:

- Φασική γωνία της τάσης όλων των ζυγών εκτός από το ζυγό ταλάντωσης, $\delta_2, \dots, \delta_n$.
- Το μέτρο της τάσης όλων των ζυγών φορτίου, V_{n-m+1}, \dots, V_n .

Οι μεταβλητές αυτές αποτελούν το διάνυσμα κατάστασης x , που έχει διάσταση $n - 1 + m$ και απαιτούνται $n - 1 + m$ ανεξάρτητες εξισώσεις, οι οποίες είναι:

- $n - 1$ εξισώσεις πραγματικής ισχύος:

$$\mathbf{b}_P = \mathbf{f}_P(\mathbf{x}) \quad (3.3)$$

όπου $\mathbf{b}_P, \mathbf{f}_P$ είναι διανύσματα διάστασης $n - 1$, αφού πρόκειται για όλους τους ζυγούς εκτός του ζυγού ταλάντωσης. Το στοιχείο που αντιστοιχεί στο ζυγό i υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$\mathbf{b}_{Pi} = P_{Gi} - P_{Di} \quad (3.4)$$

$$\mathbf{f}_{Pi} = V_i^2 \cdot G_{ii} - V_i \cdot \sum_{m \in A(i)} V_m \cdot \mathbf{a}_{im} \quad (3.5)$$

$$\mathbf{a}_{im} = -G_{im} \cdot \cos(\delta_i - \delta_m) - B_{im} \cdot \sin(\delta_i - \delta_m) \quad (3.6)$$

$$A(i) = \{m: y_{im} \neq 0\} \quad (3.7)$$

$$Y_{im} = G_{im} + j \cdot B_{im} \quad (3.8)$$

όπου $A(i)$: σύνολο που περιέχει τους αριθμούς των ζυγών που είναι διασυνδεδεμένοι με το ζυγό i .

Y_{ii}, Y_{im} : διαγώνια και μη διαγώνια στοιχεία, αντίστοιχα, του πίνακα αγωγιμότητων.

- m εξισώσεις αέργου ισχύος:

$$\mathbf{b}_Q = \mathbf{f}_Q(\mathbf{x}) \quad (3.9)$$

όπου $\mathbf{b}_Q, \mathbf{f}_Q$ είναι διανύσματα διάστασης m , αφού πρόκειται για όλους τους ζυγούς φορτίου. Το στοιχείο που αντιστοιχεί στο ζυγό i υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$\mathbf{b}_{Qi} = Q_{Gi} - Q_{Di} \quad (3.10)$$

$$\mathbf{f}_{Qi} = -V_i^2 \cdot B_{ii} - V_i \cdot \sum_{m \in A(i)} V_m \cdot \beta_{im} \quad (3.11)$$

$$\beta_{im} = -G_{im} \cdot \sin(\delta_i - \delta_m) + B_{im} \cdot \cos(\delta_i - \delta_m) \quad (3.12)$$

Οι παραπάνω εξισώσεις σε μια ενιαία μορφή γράφονται:

$$\mathbf{b} = \mathbf{f}(\mathbf{x}) \quad (3.13)$$

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_P \\ \mathbf{b}_Q \end{bmatrix} \quad \mathbf{f}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} \mathbf{f}_P \\ \mathbf{f}_Q \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\delta} \\ \mathbf{V} \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{\delta} = [\delta_2, \dots, \delta_n]^T \quad \mathbf{V} = [V_{n-m+1}, \dots, V_n]^T \quad (3.15)$$

Αφού γίνει ο υπολογισμός των τάσεων, η πραγματική και η άεργος ισχύς στις γραμμές είναι:

$$P_{im} = V_i^2 \cdot (g_{im} + g_{sim}) - V_i \cdot V_m \cdot a_{im} \quad (3.16)$$

$$Q_{im} = -V_i^2 \cdot (b_{im} + b_{sim}) - V_i \cdot V_m \cdot \beta_{im} \quad (3.17)$$

$$Y_{im} = g_{im} + j \cdot b_{im} \quad Y_{sim} = g_{sim} + j \cdot b_{sim} \quad (3.18)$$

όπου Y_{im}, Y_{sim} : αγωγιμότητα σειράς και εγκάρσια αγωγιμότητα της γραμμής.

3.3 ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Για την ανάλυση ροών φορτίων πρέπει να βρεθεί λύση σε ένα σύνολο μη γραμμικών εξισώσεων. Οι εξισώσεις αυτές είναι της μορφής:

$$g(x) = 0 \quad (3.19)$$

Για την επίλυση τέτοιων μη γραμμικών εξισώσεων χρησιμοποιούνται ανακυκλωτικοί αλγόριθμοι και μια συνοπτική διαδικασία επίλυσής τους είναι η ακόλουθη:

1. Λαμβάνεται μια αρχική τιμή του διανύσματος κατάστασης $x = x^{(0)}$ και μηδενίζεται ο μετρητής ανακυκλώσεων $k = 0$.
2. Αντικατάσταση του διανύσματος κατάστασης για τον υπολογισμό των $g(x^{(k)})$ και γίνεται έλεγχος κατά πόσον ικανοποιούνται οι (3.19).
3. Αν δεν ικανοποιούνται οι (3.19) τότε υπολογίζεται ένα νέο διάνυσμα κατάστασης $x^{(k+1)}$ χρησιμοποιώντας το προηγούμενο διάνυσμα $x^{(k)}$, αλλά και τις $g(x^{(k)})$ και ενημερώνεται ο μετρητής ανακυκλώσεων $k = k + 1$.
4. Γίνεται αντικατάσταση του νέου διανύσματος κατάστασης στις (3.19) και επαναλαμβάνονται τα βήματα 2 και 3 μέχρι να ικανοποιηθούν οι εξισώσεις (3.19) με μια προκαθορισμένη ανοχή σφάλματος.

Οι πιο γνωστές επαναληπτικές μέθοδοι για την ανάλυση ροών φορτίου είναι η μέθοδος Gauss, η παραλλαγή της Gauss-Seidel, και η μέθοδος Newton-Raphson [3.1].

3.3.1 Μέθοδος Newton-Raphson

Η επαναληπτική μέθοδος Newton-Raphson είναι πιο σύνθετη, αλλά και πιο ασφαλής. Συνήθως δεν έχει πρόβλημα σύγκλισης και κατά κανόνα συγκλίνει ταχύτερα από την Gauss-Seidel. Η μέθοδος Newton-Raphson συνίσταται στη γραμμικοποίηση του αρχικού συστήματος εξισώσεων γύρω από ένα αρχικό διάνυσμα κατάστασης, με τη βοήθεια του αναπτύγματος Taylor όπου αμελούνται οι όροι δεύτερης τάξης και άνω. Παρακάτω παρουσιάζεται η συγκεκριμένη μέθοδος.

Για ένα ζυγό i , το ρεύμα που εισέρχεται σε αυτόν και η μιγαδική ισχύς του είναι αντίστοιχα:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot V_j = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| \cdot |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (3.20)$$

$$P_i - j \cdot Q_i = V_i^* \cdot I_i \quad (3.21)$$

Από τις δυο παραπάνω εξισώσεις προκύπτει:

$$P_i - j \cdot Q_i = (|V_i| \angle -\delta_i) \cdot \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| \cdot |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (3.22)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| \cdot |V_j| \cdot |Y_{ij}| \cdot \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.23)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| \cdot |V_j| \cdot |Y_{ij}| \cdot \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.24)$$

Οι εξισώσεις (3.23) και (3.24) συνιστούν ένα σύστημα από μη γραμμικές εξισώσεις. Η εξίσωση (3.23) εφαρμόζεται τόσο στους ζυγούς φορτίου, όσο και στους ζυγούς παραγωγής, ενώ η (3.24) εφαρμόζεται μόνο στους ζυγούς φορτίου.

Με τη βοήθεια του αναπτύγματος Taylor και αγνοώντας τους όρους δεύτερης τάξης και άνω, προκύπτουν οι ακόλουθες εξισώσεις.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

όπου $\begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}$ είναι ο Ιακωβιανός πίνακας.

Αφού η σχέση (3.24) ισχύει μόνο για τους ζυγούς φορτίου (m ζυγοί) οι σχέσεις που συνδέουν τη μεταβολή της τάσης και τη μεταβολή της αέργου ισχύος θα μειωθούν από $n - 1$ σε m . Έτσι οι διαστάσεις των πινάκων θα είναι:

$$J : (n - 1 + m) \times (n - 1 + m)$$

$$J_1 : (n - 1) \times (n - 1)$$

$$J_2 : (n - 1) \times (m)$$

$$J_3 : (m) \times (n - 1)$$

$$J_4 : (m) \times (m)$$

Ακολούθως δίνονται οι σχέσεις υπολογισμού των διαγώνιων και μη διαγώνιων στοιχείων των τεσσάρων υποπινάκων του Ιακωβιανού πίνακα:

$$J_{1ii} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| \cdot |V_j| \cdot |Y_{ij}| \cdot \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.27)$$

$$J_{1ij} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| \cdot |V_j| \cdot |Y_{ij}| \cdot \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j), \quad j \neq i \quad (3.28)$$

$$J_{2ii} = \frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2 \cdot |V_i| \cdot |Y_{ii}| \cdot \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| \cdot |Y_{ij}| \cdot \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.29)$$

$$J_{2ij} = \frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| \cdot |Y_{ij}| \cdot \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j), \quad j \neq i \quad (3.30)$$

$$J_{3ii} = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| \cdot |V_j| \cdot |Y_{ij}| \cdot \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.31)$$

$$J_{3ij} = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| \cdot |V_j| \cdot |Y_{ij}| \cdot \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j), \quad j \neq i \quad (3.32)$$

$$J_{4ii} = \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2 \cdot |V_i| \cdot |Y_{ii}| \cdot \sin \theta_{ii} - \sum_{j \neq i} |V_j| \cdot |Y_{ij}| \cdot \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.33)$$

$$J_{4ij} = \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| \cdot |Y_{ij}| \cdot \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j), \quad j \neq i \quad (3.34)$$

$\Delta P_i^{(k)}$ και $\Delta Q_i^{(k)}$ ορίζεται η διαφορά της δοσμένης τιμής P_i^{sch}, Q_i^{sch} και της υπολογισμένης $P_i^{(k)}, Q_i^{(k)}$ δηλαδή:

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (3.35)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (3.36)$$

Οι νέες τιμές για την τάση στους ζυγούς είναι:

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} - \Delta \delta_i^{(k)} \quad (3.37)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (3.38)$$

Η συνολική διαδικασία για την ανάλυση ροών φορτίων με τη μέθοδο Newton-Raphson είναι:

1. Για τους ζυγούς φορτίου, όπου η πραγματική (P_i^{sch}) και η άεργος ισχύς (Q_i^{sch}) είναι γνωστές, η αρχική τιμή της τάσης κατά μέτρο και γωνία τίθεται ίση με αυτή του ζυγού ταλάντωσης (συνήθως 1∠0 pu).

Για τους ζυγούς παραγωγής, όπου είναι γνωστή η τάση ($|V_i|$) και η πραγματική ισχύς (P_i^{sch}), η γωνία της τάσης τίθεται ίση με την γωνία της τάσης του ζυγού ταλάντωσης.

2. Για τους ζυγούς φορτίου, από τις σχέσεις (3.23) και (3.24) υπολογίζεται η $P_i^{(k)}$ και $Q_i^{(k)}$, αντίστοιχα. Από τις σχέσεις (3.35) και (3.36) υπολογίζεται $\Delta P_i^{(k)}$ και $\Delta Q_i^{(k)}$, αντίστοιχα.
3. Για τους ζυγούς παραγωγής από τις σχέσεις (3.23) και (3.35) υπολογίζεται η $P_i^{(k)}$ και $\Delta P_i^{(k)}$, αντίστοιχα.
4. Από τις σχέσεις (3.27)-(3.34) υπολογίζονται οι υποπίνακες του Ιακωβιανού πίνακα.
5. Επιλύεται το σύστημα των εξισώσεων (3.26) με τριγωνική παραγοντοποίηση και απαλοιφή Gauss.
6. Οι νέες τιμές των τάσεων κατά μέτρο και γωνία υπολογίζονται από τις σχέσεις (3.38) και (3.37) αντίστοιχα.
7. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι τα σφάλματα $\Delta P_i^{(k)}$ και $\Delta Q_i^{(k)}$ να γίνουν μικρότερα από μια προκαθορισμένη ανοχή ε :

$$\Delta P_i^{(k)} \leq \varepsilon \quad , \quad \Delta Q_i^{(k)} \leq \varepsilon \quad (3.39)$$

Τέλος, αναφέρεται ότι η ταχύτητα σύγκλισης της μεθόδου εξαρτάται από την αρχική λύση και το βασικό μειονέκτημά της είναι ο υπολογισμός και η αντιστροφή του Ιακωβιανού πίνακα [3.4].

3.4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [3.1] Κ. Βουρνάς, και Γ. Κονταξής, *Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας*. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2001, σελ. 20, 229, 233-242.
- [3.2] Μ. Π. Παπαδόπουλος, *Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, τόμ. Ι*. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1994, σελ. 115.
- [3.3] Β. Κ. Παπαδιάς, *Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, τόμ. Ι, Μόνιμη κατάσταση λειτουργίας*. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1985, σελ. 126-132.
- [3.4] Η. Saadat, *Power system analysis, second edition*, New York: McGraw-Hill, 1999, pp. 200-209, 232-240.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΠΛΗΘΟΥΣ, ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΑΚΤΙΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα των απωλειών ενεργού ισχύος στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ σημαντικό και μία λύση είναι η τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής (ΜΔΠ) κατάλληλου μεγέθους και πλήθους και στις κατάλληλες θέσεις. Τα δίκτυα διανομής λειτουργούν συνήθως ακτινικά, δηλαδή όλα τα φορτία τροφοδοτούνται από μία και μόνο πηγή που ονομάζεται υποσταθμός διανομής (ζυγός αναφοράς). Η βασική ιδέα είναι ότι, με την τοποθέτηση ΜΔΠ σε διάφορα σημεία του υπό εξέταση δικτύου, μειώνεται η ροή ενεργού ισχύος στις γραμμές και κατά συνέπεια, μειώνονται και οι απώλειες ενεργού ισχύος πάνω στις γραμμές αυτές. Άλλα πλεονεκτήματα είναι ότι μειώνονται και οι απώλειες αέργου ισχύος, βελτιώνονται οι τιμές των τάσεων σε κάθε ζυγό και ειδικά στους απομακρυσμένους από τον ζυγό αναφοράς όπου, συχνά, υπάρχει παραβίαση του ορίου τάσης (στην παρούσα εργασία θεωρείται $\pm 5\%$ της ονομαστικής) και αντικαθίσταται η προσφερόμενη συμβατική, τις περισσότερες φορές, ισχύς που παρέχεται στο δίκτυο, με ΜΔΠ που συνήθως είναι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Στο κεφάλαιο αυτό θα διατυπωθεί το πρόβλημα της βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ θεωρώντας δύο αντικειμενικές συναρτήσεις: (α) την ελαχιστοποίηση των απωλειών ενεργού ισχύος του δικτύου, και (β) τη μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου του διαχειριστή του δικτύου διανομής.

4.2 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ

Οι συνολικές απώλειες ενεργού ισχύος P_L σε ένα δίκτυο διανομής με N ζυγούς είναι:

$$P_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [A_{ij} (P_i P_j + Q_i Q_j) + B_{ij} (Q_i P_j - P_i Q_j)] \quad (4.1)$$

όπου P_i : η έγχυση ενεργού ισχύος στο ζυγό i
 Q_i : η έγχυση αέργου ισχύος στο ζυγό i
 A_{ij} : ο παράγοντας απωλειών A (loss coefficient A)
 B_{ij} : ο παράγοντας απωλειών B (loss coefficient B)

Η αντικειμενική συνάρτηση (4.1) ονομάζεται στην διεθνή βιβλιογραφία exact loss formula [4.1]. Στην παρούσα εργασία καλείται **ακριβής σχέση υπολογισμού απωλειών ενεργού ισχύος**. Σε ένα ακτινικό δίκτυο με ζυγό αναφοράς, η μήτρα αγωγιμοτήτων (Y matrix) είναι ένας τετραγωνικός πίνακας που δεν έχει αντίστροφο, δηλαδή δεν είναι ομαλός πίνακας (singular matrix), και η ορίζουσά του είναι μηδέν. Για τους παράγοντες απωλειών θα χρειαστεί ο αντίστροφος της μήτρας αγωγιμοτήτων, η μήτρα αντιστάσεων (Z matrix). Αφαιρείται, ως εκ τούτου, ο ζυγός αναφοράς, δηλαδή η πρώτη γραμμή και η πρώτη στήλη της μήτρας αγωγιμοτήτων και ο πίνακας αντιστρέφεται προκύπτοντας έτσι η μήτρα αντιστάσεων, που είναι κατά ένα βαθμό μικρότερη της μήτρας αγωγιμοτήτων.

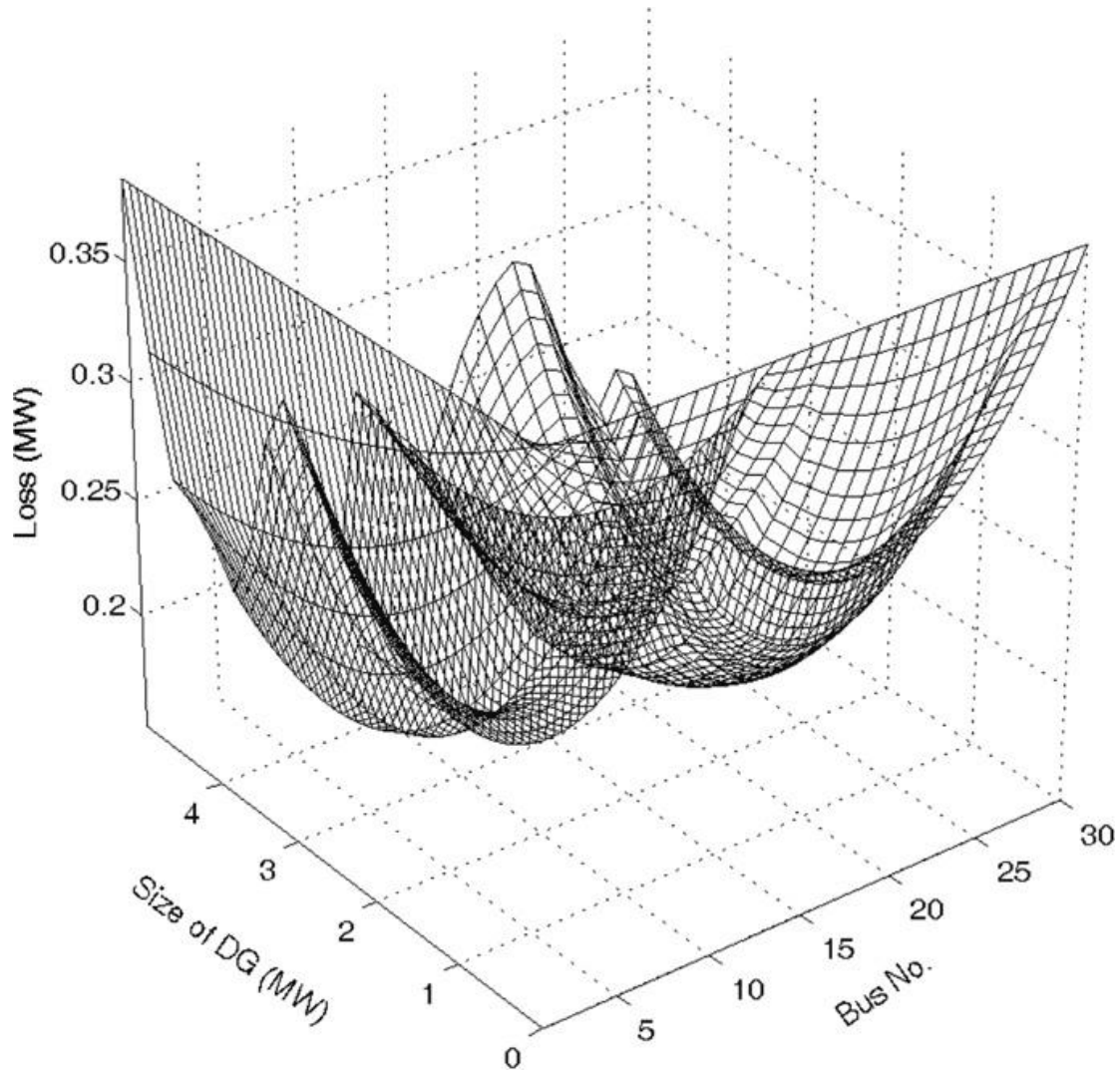
Οι παράγοντες απωλειών A και B [4.2] προκύπτουν από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$A_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i * V_j} \cos(\delta_i - \delta_j) \quad (4.2)$$

$$B_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i * V_j} \sin(\delta_i - \delta_j) \quad (4.3)$$

όπου V_i : το μέτρο της τάσης στο ζυγό i
 δ_i : η γωνία της τάσης στο ζυγό i
 r_{ij} : το στοιχείο i-j της μήτρας αντιστάσεων Z

Στο Σχήμα 4.1 [4.2] παρουσιάζεται μια τρισδιάστατη απεικόνιση του προβλήματος βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας για ένα δίκτυο 30 ζυγών. Είναι εμφανές ότι για ένα δεδομένο ζυγό, η μείωση απωλειών ενεργού ισχύος δεν είναι ανάλογη του μεγέθους ΜΔΠ που εγκαθίσταται. Αντίθετα, υπάρχει ένα κατώτερο σημείο ελάχιστων απωλειών ενεργού ισχύος, που είναι μοναδικό για κάθε ζυγό. Από την εξίσωση (4.1) όπως και από το Σχήμα 4.1 είναι εμφανές πως το πρόβλημα είναι εξαιρετικά πολύπλοκο και δεν μπορεί να προσεγγιστεί συμβατικά.



Σχήμα 4.1 Οι απώλειες ενεργού ισχύος συναρτήσει του μεγέθους ΜΔΠ για κάθε ζυγό ενός ενδεικτικού δικτύου διανομής 30 ζυγών του [4.2].

4.2.1 Εγκατάσταση μίας ΜΔΠ

Θα επιχειρηθεί να βρεθεί έμμεσα το ελάχιστο της καμπύλης που φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Με άλλα λόγια, θα υπολογιστούν οι ελάχιστες απώλειες για κάθε ζυγό, και έπειτα θα εντοπιστεί το μικρότερο των ελαχίστων [4.2]. Για κάθε ζυγό i το ελάχιστο είναι στο σημείο που η μερική παράγωγος ως προς P_i της εξίσωσης (4.1), $\partial P_L / \partial P_i$, είναι ίση με 0. Η παράγωγος αυτή δίνεται προσεγγιστικά από την εξίσωση (4.4) [4.1].

$$\partial P_L / \partial P_i \approx 2 \sum_{j=2}^N (A_{ij} P_j - B_{ij} Q_j) \quad (4.4)$$

Αφού $\partial P_L / \partial P_i = 0$, η (4.4) δίνει:

$$A_{ii} P_i - B_{ii} Q_i + \sum_{j=2, j \neq i}^N (A_{ij} P_j - A_{ij} Q_j) = 0 \implies B_{ii} = 0$$

$$P_i = \frac{1}{A_{ii}} \sum_{j=2, j \neq i}^N (A_{ij} P_j - B_{ij} Q_j) \quad (4.5)$$

Η έγχυση ενεργού ισχύος σε κάθε ζυγό είναι ίση με $P_i = P_{DG_i} - P_{D_i}$. Εξετάζεται δίκτυο διανομής άρα δεν υπάρχει άλλη παραγωγή ενεργού ισχύος εκτός από την εν δυνάμει εγκατάσταση ΜΔΠ, P_{DG_i} , P_{D_i} είναι η ζήτηση ενεργού ισχύος που υπάρχει στο ζυγό i .

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, ο παράγοντας απωλειών B_{ii} έχει πάντα μηδενική τιμή καθώς, όπως φαίνεται από την εξίσωση (4.3), ισχύει το εξής:

$$B_{ii} = \frac{r_{ii}}{V_i * V_i} \sin(\delta_i - \delta_i) = \frac{r_{ii}}{V_i * V_i} \sin(0) = 0$$

Από την εξίσωση (4.5) προκύπτει:

$$P_{DG_i} = P_{D_i} + \frac{1}{A_{ii}} \sum_{j=2, j \neq i}^N (A_{ij} P_j - B_{ij} Q_j) \quad (4.6)$$

Από την εξίσωση (4.6) προκύπτει η βέλτιστη ονομαστική ισχύς της ΜΔΠ για κάθε ζυγό. Για να βρεθεί το συνολικό βέλτιστο θα εκτελεστεί η ακόλουθη διαδικασία: Τοποθετείται για κάθε ζυγό i η αντίστοιχη ΜΔΠ βέλτιστου μεγέθους (4.6) και υπολογίζονται οι αντίστοιχες απώλειες ενεργού ισχύος του δικτύου από την εξίσωση (4.1). Η μικρότερη τιμή από αυτές τις απώλειες, για όλους τους ζυγούς, δίνει το συνολικό ελάχιστο και κατά συνέπεια την καταλληλότερη θέση (ζυγό) εγκατάστασης. Η βέλτιστη ονομαστική ισχύς της ΜΔΠ είναι αυτή που βρέθηκε από την εξίσωση (4.6), για το βέλτιστο ζυγό i , στον οποίον αντιστοιχούν οι ελάχιστες απώλειες ενεργού ισχύος όλων των ζυγών. Στη συνέχεια, εκτελείται ο υπολογισμός της ροής φορτίου με τη βέλτιστη ΜΔΠ τοποθετημένη για να υπολογιστούν οι ακριβείς τελικές απώλειες ενεργού ισχύος. Η μέθοδος, στη συνέχεια, ονομάζεται **προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος** με αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος.

Η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος είναι προσεγγιστική. Κατά την εκτέλεση των δοκιμών στο Κεφάλαιο 6 θα γίνει σύγκριση με μια πιο ακριβή μέθοδο για να δείχθει ότι η είναι κατάλληλη η αναλυτική μέθοδος για τη βέλτιστη τοποθέτηση ΜΔΠ. Αυτή η μέθοδος ονομάζεται **εξαντλητική μέθοδος** με αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος. Η εξαντλητική μέθοδος προβλέπει ότι: Υπολογίζονται οι βέλτιστες προσεγγιστικές τιμές της ονομαστικής ισχύς της ΜΔΠ για κάθε ζυγό i του δικτύου από την εξίσωση (4.6). Έπειτα, για κάθε ζυγό i του δικτύου ακολουθείται η εξής διαδικασία: Τοποθετείται η προσεγγιστική βέλτιστη τιμή της ΜΔΠ που προέκυψε από την εξίσωση (4.6) και αντιστοιχεί στο ζυγό i και υπολογίζεται η αντίστοιχη ανάλυση ροής φορτίου. Από την ανάλυση ροής φορτίου υπολογίζονται οι ακριβείς τιμές των τάσεων και των γωνιών των τάσεων σε κάθε ζυγό. Στη συνέχεια, γνωρίζοντας τις ακριβείς τιμές των τάσεων και των γωνιών, υπολογίζεται από την εξίσωση (4.6) η ακριβέστερη ονομαστική ισχύς της ΜΔΠ που αντιστοιχεί στο ζυγό i . Η διαδικασία αυτή ακολουθείται για κάθε ζυγό του δικτύου. Έπειτα, και πάλι για κάθε ζυγό i του δικτύου: Τοποθετείται στο δίκτυο η ακριβέστερη τιμή του μεγέθους της ΜΔΠ της εξαντλητικής μεθόδου, που αντιστοιχεί στο ζυγό i , αντικαθιστώντας την προσεγγιστική τιμή της ΜΔΠ και υπολογίζεται η ροή φορτίου για να βρεθούν οι ακριβείς απώλειες ενεργού ισχύος. Όπως και στην προτεινόμενη αναλυτική μέθοδο, επιλέγεται ως ο βέλτιστος, ο ζυγός στον οποίο αντιστοιχούν οι λιγότερες απώλειες ενεργού ισχύος. Η ακριβέστερη τιμή της ονομαστικής ισχύς της ΜΔΠ της εξαντλητικής μεθόδου για το βέλτιστο ζυγό θα είναι η βέλτιστη ΜΔΠ που παράγει η εξαντλητική μέθοδος. Για να υπολογιστούν οι

τελικές απώλειες ενεργού ισχύος της μεθόδου δεν απαιτείται ο τελικός υπολογισμός ροής φορτίου με την βέλτιστη ΜΔΠ εγκατεστημένη, καθώς οι απώλειες αυτές έχουν υπολογιστεί κατά τη διαδικασία επιλογής του βέλτιστου ζυγού.

Τα βήματα του αλγορίθμου για τον υπολογισμό της βέλτιστης ΜΔΠ με την προτεινόμενη αναλυτική μέθοδο (Σχήμα 4.2) είναι:

Βήμα 1^ο: Εκτελείται η ροή φορτίου του για τον υπολογισμό των τιμών των μέτρων των τάσεων και των γωνιών των τάσεων σε κάθε ζυγό.

Βήμα 2^ο: Από την εξίσωση (4.6) υπολογίζεται η βέλτιστη ονομαστική ισχύς της ΜΔΠ για κάθε ζυγό i .

Βήμα 3^ο: Από την εξίσωση (4.1) υπολογίζονται οι απώλειες ενεργού ισχύος για κάθε αντίστοιχη εγκατάσταση ΜΔΠ στο ζυγό i .

Βήμα 4^ο: Επιλέγεται ως βέλτιστος ο ζυγός i , για τον οποίο προκύπτουν οι ελάχιστες απώλειες ενεργού ισχύος και επιλέγεται ως βέλτιστη ονομαστική ισχύς της ΜΔΠ, η ισχύς της ΜΔΠ που αντιστοιχεί στο βέλτιστο ζυγό i . Η βέλτιστη ΜΔΠ εγκαθίσταται στο υπό εξέταση δίκτυο.

Βήμα 5^ο: Εκτελείται η τελική ροή φορτίου για τον υπολογισμό με ακρίβεια των απωλειών ενεργού ισχύος.



Σχήμα 4.2: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου προτεινόμενης αναλυτικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος.

Τα βήματα του αλγορίθμου για τον υπολογισμό της βέλτιστης ΜΔΠ με την εξαντλητική μέθοδο με αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος (Σχήμα 4.3) είναι:

Βήμα 1^ο: Εκτελείται η ροή φορτίου του για τον υπολογισμό των τιμών των τάσεων και των γωνιών των τάσεων σε κάθε ζυγό.

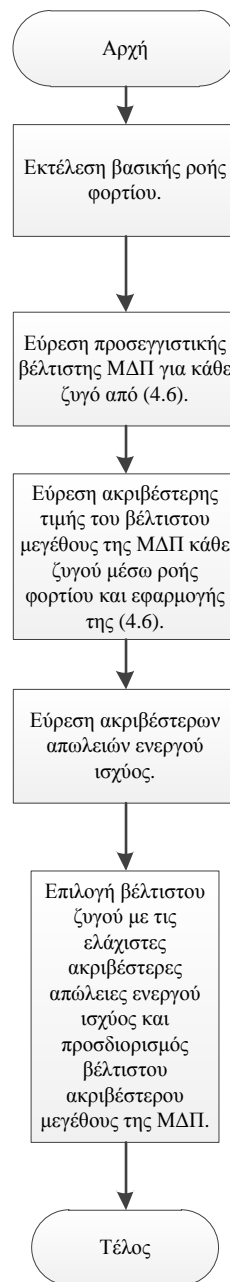
Βήμα 2^ο: Από την εξίσωση (4.6) υπολογίζεται η προσεγγιστική βέλτιστη ονομαστική ισχύς της ΜΔΠ για κάθε ζυγό.

Βήμα 3^ο: Για κάθε ζυγό i εκτελείται η ακόλουθη διαδικασία: Τοποθετείται στο ζυγό i η προσεγγιστική βέλτιστη ΜΔΠ που του αντιστοιχεί και υπολογίζεται η ανάλυση

ροής φορτίου από όπου προκύπτουν οι ακριβείς τιμές των μέτρων των τάσεων και των γωνιών των τάσεων για κάθε ζυγό. Υπολογίζεται η ακριβέστερη τιμή του βέλτιστου μεγέθους της ΜΔΠ που αντιστοιχεί στο ζυγό i , από την εξίσωση (4.6).

Βήμα 4^ο: Για κάθε ζυγό i εκτελείται η ακόλουθη διαδικασία: Τοποθετείται στο ζυγό i η ακριβέστερη τιμή του βέλτιστου μεγέθους της ΜΔΠ που αντιστοιχεί στο ζυγό i αντικαθιστώντας την προσεγγιστική τιμή της ΜΔΠ. Εκτελείται η ροή φορτίου και υπολογίζονται οι ακριβέστερες απώλειες ενεργού ισχύος του δικτύου.

Βήμα 5^ο: Επιλέγεται ως βέλτιστος, ο ζυγός i για τον οποίο προκύπτουν οι ελάχιστες απώλειες ενεργού ισχύος, και βέλτιστη ονομαστική ισχύς είναι η ισχύς της ΜΔΠ που του αντιστοιχεί.



Σχήμα 4.3: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου εξαντλητικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος.

4.2.2 Εγκατάσταση πολλαπλών ΜΔΠ

Όπως δείχτηκε στην Ενότητα 4.2.1, το πρόβλημα της βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ (θέση και μέγεθος), είναι εξαιρετικά πολύπλοκο. Δεν είναι εφικτό με αναλυτική μέθοδο να βρεθούν οι βέλτιστες θέσεις και οι βέλτιστες ονομαστικές ισχύς πολλαπλών ΜΔΠ σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Γενικά, το πρόβλημα οφείλει, όπως είναι εύκολα κατανοητό, να συγκλίνει προς το έσχατο σημείο στο οποίο κάθε ζυγός θα έχει σαν παραγωγή ενεργού ισχύος τη ζήτηση ενεργού ισχύος του και έτσι οι απώλειες του δικτύου διανομής μηδενίζονται καθώς δεν υπάρχει ροή ισχύος στις γραμμές. Το πρόβλημα έγκειται στο τι γίνεται σε περίπτωση που απαιτείται ένας συγκεκριμένος αριθμός ΜΔΠ και με ένα συγκεκριμένο όριο διείσδυσης των ΜΔΠ επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος. Στο Κεφάλαιο 2 αναφέρθηκαν διάφορες ευριστικές και μετα-ευριστικές μέθοδοι προσέγγισης, όπως ο γενετικός αλγόριθμος κ.α., αλλά καμία από αυτές δεν είναι αναλυτική.

Σε αυτήν την εργασία δοκιμάστηκε μία νέα προσέγγιση. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η αναλυτική μέθοδος για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ που εξετάστηκε στην Ενότητα 4.2.1. Αυτό που εφαρμόστηκε είναι το εξής: Αρχικά, ορίζονται πόσες ΜΔΠ είναι επιθυμητό να εγκατασταθούν. Ο αλγόριθμος προβλέπει ότι, εγκαθίσταται η πρώτη ΜΔΠ, και έπειτα η μέθοδος εφαρμόζεται ξανά στο νέο δίκτυο που προκύπτει και εγκαθίσταται η επόμενη, κοκ. Με άλλα λόγια, οι ΜΔΠ τοποθετούνταν μία-μία. Παρόλα αυτά, δεν είναι δυνατόν να τοποθετηθούν, έτσι απλά, η μία μετά την άλλη για το λόγο ότι, πολύ γρήγορα το συνολικό μέγεθος ΜΔΠ που εγκαθίσταται θα ξεπερνούσε τη συνολική ζήτηση ενεργού ισχύος του δικτύου και έτσι η μέθοδος θα άρχιζε να τοποθετεί αρνητικές παραγωγές ενεργού ισχύος (φορτία). Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι είναι τέτοια η μορφή της προτεινόμενης μεθόδου που έχει σαν αποτέλεσμα να βρίσκει σχετικά μεγάλα μεγέθη ΜΔΠ σε σχέση με τη ζήτηση ενεργού ισχύος του υπό εξέταση δικτύου, της τάξης του 50% με 80%.

Αυτό που εφαρμόστηκε, για να λυθεί το προαναφερθέν πρόβλημα, είναι η μέθοδος βέλτιστης τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ και έχει ως άξονα την τοποθέτηση, σε διαδοχικές επαναλήψεις, μία-μία ΜΔΠ κάθε φορά, μέσω τριών βημάτων τα οποία επεξηγούνται παρακάτω και αποτελούν τα τρία πρώτα βήματα του αλγορίθμου.

Τα βήματα του αλγορίθμου για τον υπολογισμό της βέλτιστης τοποθέτησης των πολλαπλών ΜΔΠ με αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος (Σχήμα 4.4) είναι τα ακόλουθα:

Βήμα 1^ο: Εφαρμόζεται η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος, όπως εξηγήθηκε στην Ενότητα 4.2.1. Αν υπάρχει ΜΔΠ τέτοια ώστε, να μην υπερβαίνει, προστιθέμενη στις προ-εγκατεστημένες ΜΔΠ, το όριο διείσδυσης και η ονομαστική της ισχύς να είναι θετική, τότε εγκαθίσταται. Αν όχι, οι επαναλήψεις διακόπτονται και εκτελείται το βήμα 4. Με άλλα λόγια, δεν είναι σίγουρο ότι θα μπορέσουν να εγκατασταθούν τόσες ΜΔΠ όσες είναι επιθυμητό.

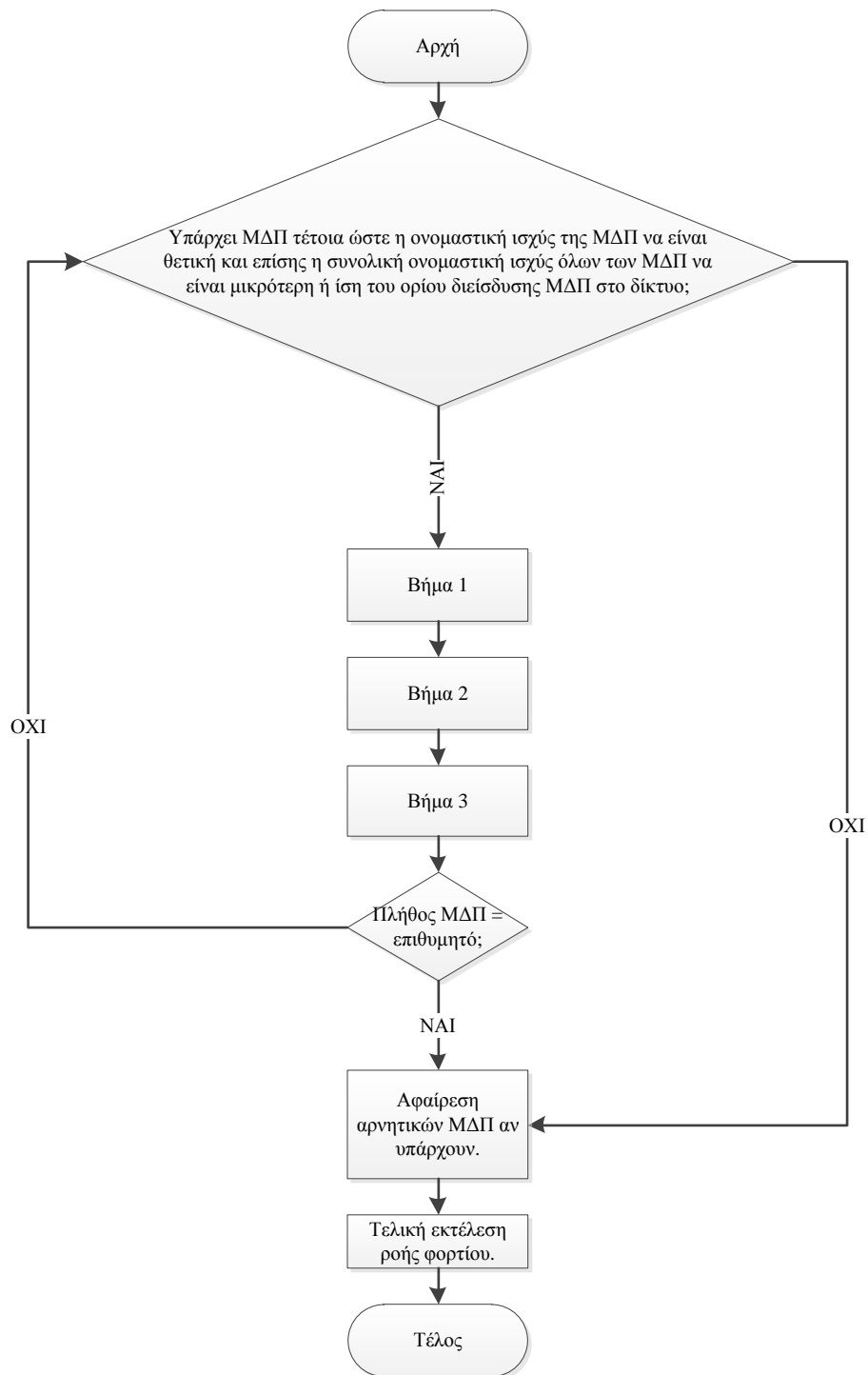
Βήμα 2^ο: Εφαρμόζεται ξανά η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος. Από την εξίσωση (4.6) και για κάθε ΜΔΠ που έχει εγκατασταθεί σε κάθε επανάληψη (συμπεριλαμβανομένης και της τρέχουσας), οι ονομαστικές τους ισχύες αντικαθίστανται από αυτές που προκύπτουν από την εξίσωση (4.6). Δηλαδή, αντίθετα από ότι έχει δείχτει έως τώρα, χρησιμοποιείται το αποτέλεσμα της εξίσωσης (4.6) για συγκεκριμένους ζυγούς και όχι για όλους ή για έναν. Αυτό γίνεται γιατί με την εκτέλεση ξανά της αναλυτικής μεθόδου (εξίσωση 4.6) οι ονομαστικές ισχύες των ΜΔΠ που εγκαταστάθηκαν σε προηγούμενη επανάληψη προσαρμόζονται στα νέα δεδομένα που προέκυψαν με την τοποθέτηση της τρέχουσας ΜΔΠ στο βήμα 1 και (συνήθως) μειώνονται.

Βήμα 3^ο: Εφαρμόζεται ξανά η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος. Ενδιαφέρει η ονομαστική ισχύς της ΜΔΠ που προκύπτει από την εξίσωση (4.6) για το ζυγό ο οποίος έχει επιλεγεί ως βέλτιστος στην τρέχουσα επανάληψη. Αυτή η ονομαστική ισχύς αντικαθιστά αυτήν που έχει προκύψει στο βήμα 2 για τη συγκεκριμένη ΜΔΠ. Αυτό γίνεται για να προσαρμοστεί η τιμή της στα νέα δεδομένα που προέκυψαν από τον επαναυπολογισμό των υπολοίπων ΜΔΠ στο βήμα 2. Θεωρούνται βέλτιστες ονομαστικές ισχύες των ΜΔΠ στο τέλος του βήματος 3 όσες έχουν προκύψει στο βήμα 2 για όλες τις εγκατεστημένες ΜΔΠ πλην εκείνης της τρέχουσας επανάληψης, όπου βέλτιστη ονομαστική ισχύς είναι η ονομαστική ισχύς της ΜΔΠ του βήματος 3. Στο τέλος του βήματος 3, αν το πλήθος των τοποθετημένων ΜΔΠ είναι το επιθυμητό, τότε ο αλγόριθμος προχωράει στο βήμα 4. Αν όχι, τότε επιστρέφει στο βήμα 1.

Βήμα 4^ο: Αν μία ΜΔΠ είναι μικρού μεγέθους από την αρχική της τοποθέτηση ενδέχεται στις επόμενες επαναλήψεις, λόγω προσαρμογής, να προσεγγίσει το μηδέν ή και να γίνει αρνητική. Αυτή η ΜΔΠ, όταν ολοκληρωθούν οι επαναλήψεις, αφαιρείται χωρίς ουσιαστικά να επηρεάζεται το αποτέλεσμα, καθώς η τιμή της είναι πολύ μικρή και η τελική ροή φορτίου δεν επηρεάζεται.

Βήμα 5^ο: Στο τέλος των επαναλήψεων υπολογίζεται η τελική ροή φορτίου από όπου προκύπτουν οι τελικές απώλειες ενεργού ισχύος μετά την εφαρμογή της μεθόδου.

Η μέθοδος απαιτεί τρεις υπολογισμούς ροών φορτίου σε κάθε επανάληψη. Αυτό φαίνεται υπολογιστικά χρονοβόρο, όμως συγκριτικά με άλλες διαδοσόμενες ευριστικές και μετα-ευριστικές μεθόδους βέλτιστης τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ, εκτελείται πολύ γρήγορα (σε ένα μέσο υπολογιστή απαιτεί κάποια δευτερόλεπτα, για ένα δίκτυο 40 ζυγών).



Σχήμα 4.4: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ με αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος.

4.3 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΜΕΓΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΡΟΥ

Σε αυτήν την ενότητα χρησιμοποιείται, αντί για την αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποίησης απωλειών ενεργού ισχύος, μία αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης του οικονομικού κινήτρου του διαχειριστή του δικτύου διανομής.

Η αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου [4.3] είναι η ακόλουθη:

$$\max\{-f_{\text{OPF}}\}=\min\{f_{\text{OPF}}\}=\min\{\sum_{i=2}^N [-C_g P_{\text{DGi}}]-C_L(P_L^{\text{αρχ}}-P_L)\} \quad (4.7)$$

όπου C_g : οικονομικός παράγοντας σύνδεσης ΜΔΠ (0,28539 \$/MWh)
 C_L : οικονομικός παράγοντας μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος (48 \$/MWh)
 $P_L^{\text{αρχ}}$: αρχικές απώλειες ενεργού ισχύος (MW), πριν την σύνδεση της ΜΔΠ
 P_L : τελικές απώλειες ενεργού ισχύος (MW), μετά την σύνδεση της ΜΔΠ

4.3.1 Εγκατάσταση μίας ΜΔΠ

Στην (4.7), γίνεται η αντικατάσταση, $P_{\text{DGi}} = P_i + P_{\text{Di}}$, όπως και στην Ενότητα 4.2, και στη συνέχεια υπολογίζεται η μερική παράγωγος της f_{OPF} ως προς P_i :

$$\frac{\partial f_{\text{OPF}}}{\partial P_i} = -C_g + C_L (\partial P_L / \partial P_i) = 0 \quad (4.8)$$

$$\Rightarrow \partial P_L / \partial P_i = \frac{C_g}{C_L} \quad (4.9)$$

Από τις εξισώσεις (4.9) και (4.4) προκύπτει ότι:

$$\begin{aligned} 2 \sum_{j=2}^N (A_{ij}P_j - B_{ij}Q_j) &= \frac{C_g}{C_L} \\ \Rightarrow A_{ii}P_i + \sum_{j=2, j \neq i}^N (A_{ij}P_j - B_{ij}Q_j) &= \frac{C_g}{2C_L} \\ \Rightarrow P_i &= \frac{1}{A_{ii}} \left[\frac{C_g}{2C_L} - \sum_{j=2, j \neq i}^N (A_{ij}P_j - B_{ij}Q_j) \right] \\ P_{\text{DGi}} &= P_{\text{Di}} + \frac{1}{A_{ii}} \left[\frac{C_g}{2C_L} - \sum_{j=2, j \neq i}^N (A_{ij}P_j - B_{ij}Q_j) \right] \end{aligned} \quad (4.10)$$

Είναι εμφανές ότι προέκυψε μία εξίσωση ανάλογη της εξίσωσης (4.6). Τέτοια είναι και η διαδικασία που ακολουθείται. Από την εξίσωση (4.10) βρίσκεται η βέλτιστη

ονομαστική ισχύς της ΜΔΠ για κάθε ζυγό i . Έπειτα, τοποθετούνται στο δίκτυο, ανά μία κάθε φορά, οι ΜΔΠ που βρέθηκαν, και υπολογίζεται το αντίστοιχο οικονομικό κίνητρο από την εξίσωση (4.7). Ο ζυγός i με την $f_{OPF}(i)$ που έχει τη μικρότερη τιμή (αντιστοιχεί στο μέγιστο οικονομικό κίνητρο) επιλέγεται ως βέλτιστος. Με άλλα λόγια, σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση της εξίσωσης (4.7). Τέλος, τοποθετείται η βέλτιστη ΜΔΠ που αντιστοιχεί στο βέλτιστο ζυγό και υπολογίζεται η τελική ροή φορτίου για τον υπολογισμό του τελικού οικονομικού κινήτρου ($\$/h$), το οποίο, αντίθετα από την μαθηματική ανάλυση που έγινε, λογίζεται θετικό.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι, κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων στο Κεφάλαιο 6 χρησιμοποιείται η εξίσωση (4.7) στην προτεινόμενη αναλυτική μέθοδο και στην μέθοδο εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ με αντικειμενική συνάρτηση μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος. Αντίστοιχα, κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων για αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης του οικονομικού κινήτρου υπολογίζονται στο τέλος κάθε δοκιμής και με τη βοήθεια της ανάλυσης ροών φορτίου του Κεφαλαίου 3 οι ακριβείς απώλειες ενεργού ισχύος για την πληρότητα των αποτελεσμάτων.

Τα βήματα του αλγορίθμου για τον υπολογισμό της βέλτιστης ΜΔΠ με την προτεινόμενη αναλυτική μέθοδο για αντικειμενική συνάρτηση τη μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου (Σχήμα 4.5) είναι:

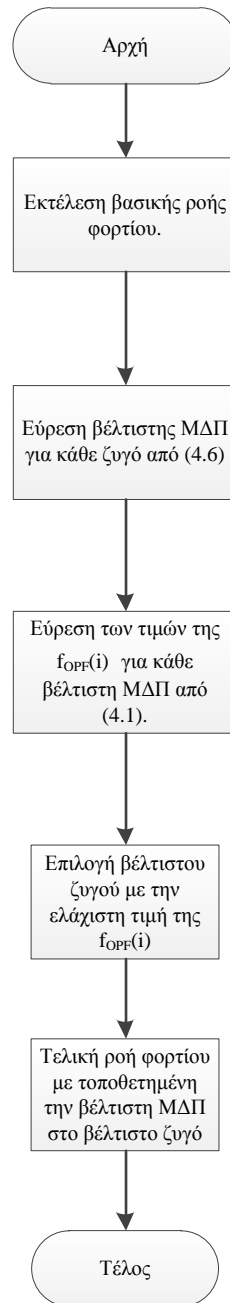
Βήμα 1^ο: Εκτελείται η βασική ροή φορτίου για τον υπολογισμό των τιμών των μέτρων των τάσεων και των γωνιών των τάσεων σε κάθε ζυγό.

Βήμα 2^ο: Από την εξίσωση (4.10) υπολογίζεται η βέλτιστη ονομαστική ισχύς της ΜΔΠ για κάθε ζυγό i .

Βήμα 3^ο: Από την εξίσωση (4.7) υπολογίζεται η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης $f_{OPF}(i)$ για κάθε αντίστοιχη εγκατάσταση ΜΔΠ στο ζυγό i .

Βήμα 4^ο: Επιλέγεται ως βέλτιστος ο ζυγός i για τον οποίο προκύπτει η μικρότερη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης $f_{OPF}(i)$ και επιλέγεται ως βέλτιστη ονομαστικής ισχύς ΜΔΠ, εκείνη που αντιστοιχεί στο βέλτιστο ζυγό i . Η βέλτιστη ΜΔΠ εγκαθίσταται στο υπό εξέταση δίκτυο.

Βήμα 5^ο: Εκτελείται η τελική ροή φορτίου για τον υπολογισμό της τελικής τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης $f_{OPF}(i)$ από την εξίσωση (4.7).



Σχήμα 4.5: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου προτεινόμενης αναλυτικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση τη μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου

4.3.2 Εγκατάσταση πολλαπλών ΜΔΠ

Για τοποθέτηση πολλαπλών ΜΔΠ με την αντικειμενική συνάρτηση τη μεγιστοποίηση οικονομικού κινήτρου ακολουθείται πανομοιότυπη διαδικασία με αυτήν που περιγράφεται στην Ενότητα 4.2.2. Αντί όμως της προτεινόμενης αναλυτικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος, χρησιμοποιείται η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος με αντικειμενική συνάρτηση τη μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου.

Τα βήματα του αλγορίθμου για τον υπολογισμό της βέλτιστης τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ με αντικειμενική συνάρτηση τη μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου είναι τα ακόλουθα:

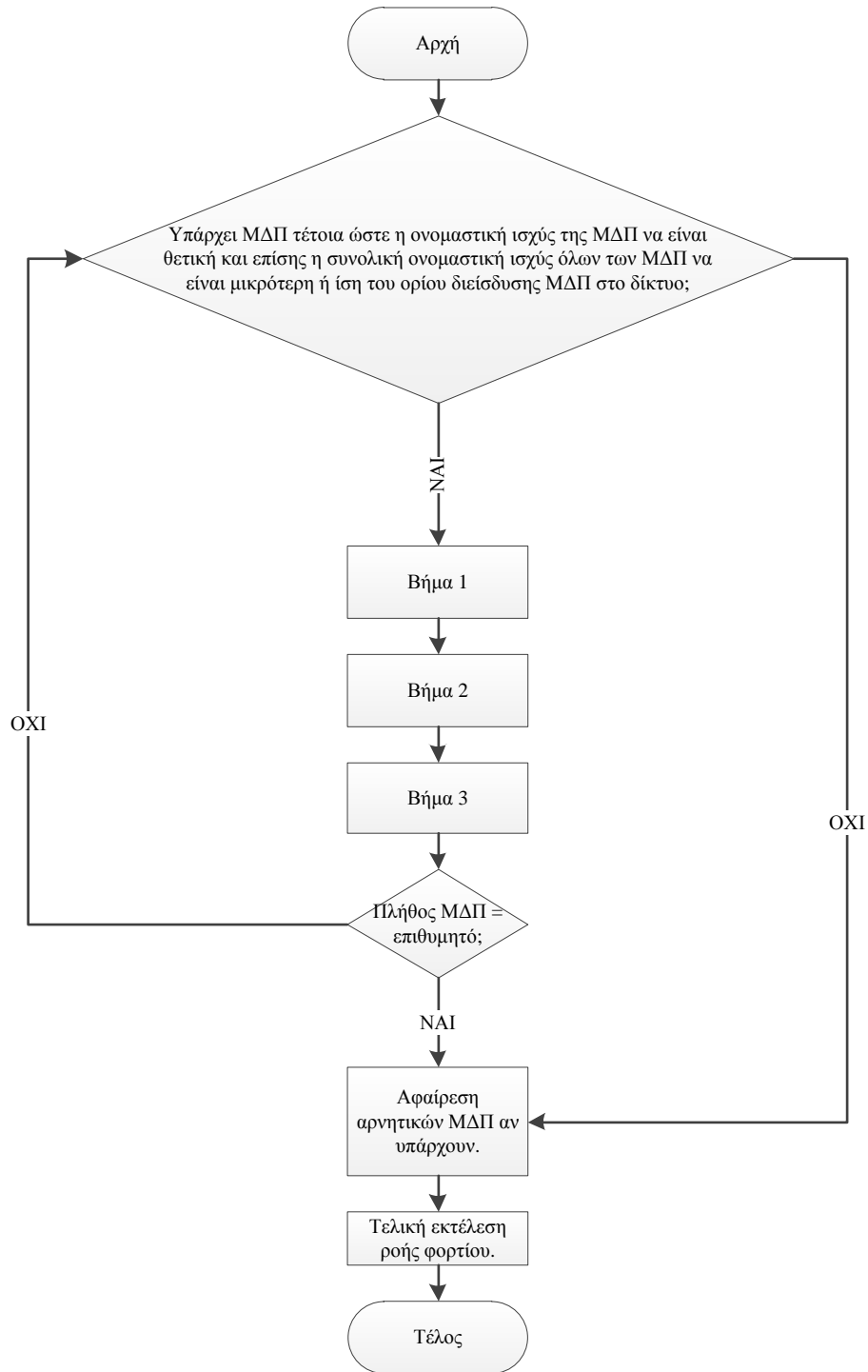
Βήμα 1^ο: Εφαρμόζεται η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος, όπως εξηγήθηκε στην Ενότητα 4.3.1. Τοποθετείται η ΜΔΠ, που βρέθηκε, στο δίκτυο. Αν υπάρχει ΜΔΠ τέτοια ώστε, να μην υπερβαίνει, προστιθέμενη στις προ-εγκατεστημένες ΜΔΠ, το όριο διείσδυσης και η ονομαστική της ισχύς να είναι θετική τότε εγκαθίσταται. Αν όχι, οι επαναλήψεις διακόπτονται και εκτελείται το βήμα 4.

Βήμα 2^ο: Εφαρμόζεται ξανά η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος (εξίσωση 4.10) και για κάθε ΜΔΠ που έχει εγκατασταθεί σε κάθε επανάληψη (συμπεριλαμβανομένης και της τρέχουσας) οι ονομαστικές τους ισχύς αντικαθίστανται από αυτές που προκύπτουν από την εξίσωση (4.10).

Βήμα 3^ο: Εφαρμόζεται ξανά η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος. Ενδιαφέρει η ονομαστική ισχύς της ΜΔΠ που προκύπτει από την εξίσωση (4.10) για το ζυγό ο οποίος έχει επιλεχθεί ως βέλτιστος στην τρέχουσα επανάληψη. Αυτή η ονομαστική ισχύς αντικαθιστά αυτή που έχει προκύψει στο βήμα 2 για την συγκεκριμένη ΜΔΠ. Θεωρούνται βέλτιστες ονομαστικές ισχύες των ΜΔΠ στο τέλος του βήματος 3 όσες έχουν προκύψει στο βήμα 2 για όλες τις εγκατεστημένες ΜΔΠ πλην εκείνης της τρέχουσας επανάληψης όπου, βέλτιστο είναι το μέγεθος ΜΔΠ του βήματος 3. Στο τέλος του βήματος 3, αν το πλήθος των τοποθετημένων ΜΔΠ είναι το επιθυμητό, τότε ο αλγόριθμος προχωράει στο βήμα 4. Αν όχι, τότε επιστρέφει στο βήμα 1.

Βήμα 4^ο: Αν μία ΜΔΠ είναι μικρού μεγέθους από την αρχική της τοποθέτηση ενδέχεται στις επόμενες επαναλήψεις, λόγω προσαρμογής, να προσεγγίσει το μηδέν ή και να γίνει αρνητική. Αυτή η παραγωγή, όταν ολοκληρωθούν οι επαναλήψεις, αφαιρείται, χωρίς ουσιαστικά να επηρεάζεται το αποτέλεσμα, καθώς η τιμή της είναι πολύ μικρή και η τελική ροή φορτίου δεν επηρεάζεται.

Βήμα 5^ο: Στο τέλος των επαναλήψεων υπολογίζεται η τελική ροή φορτίου από όπου προκύπτουν η τελική τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης $f_{\text{OPF}}(i)$ μετά την εφαρμογή της μεθόδου.



Σχήμα 4.6: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ με αντικειμενική συνάρτηση τη μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου.

4.4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [4.1] I.O. Elgerd, *Electric energy systems theory: an introduction*, New York: McGraw-Hill, 1971, pp. 293-299
- [4.2] N. Acharya, P. Mahat, N. Mithulanathan, “An analytical approach for DG allocation in primary distribution network,” *Electrical Power & Energy Systems*, vol. 28, pp. 669-678, Feb. 2006.
- [4.3] G. P. Harrison, A. Piccolo, P. Siano, A. R. Wallace, “Hybrid GA and OPF evaluation of network capacity for distributed generation connections,” *Electric Power Systems Research*, vol.78, pp. 392-398, May 2007.

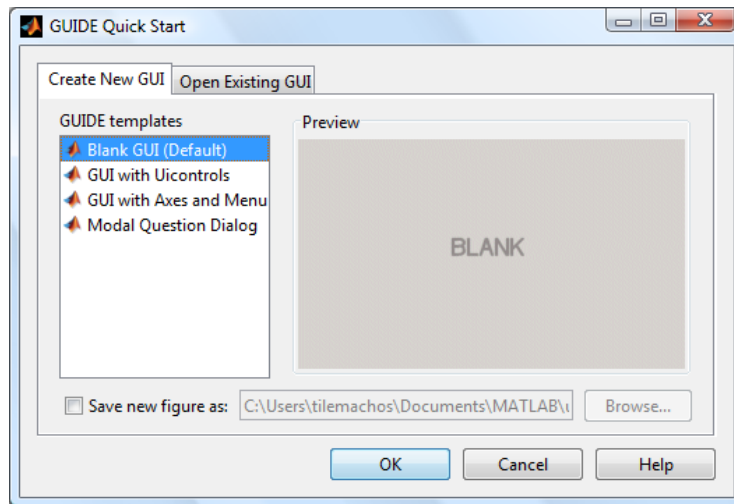
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΑΚΤΙΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

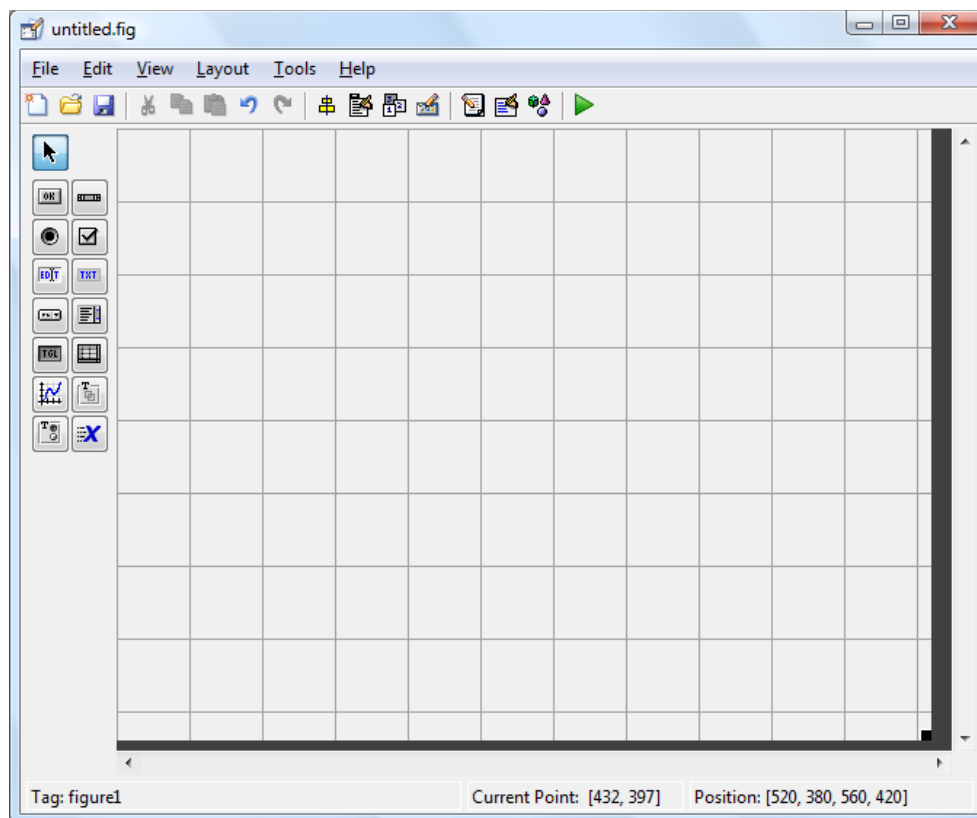
Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η περιγραφή του λογισμικού που αναπτύχθηκε για την εφαρμογή της αναλυτικής μεθόδου βέλτιστης τοποθέτησης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής (ΜΔΠ) σε ακτινικά δίκτυα διανομής. Αρχικά περιγράφονται χρήσιμα εργαλεία ελέγχου, που προσφέρονται από τη MATLAB για τη δημιουργία γραφικού περιβάλλοντος (GUIDE – Graphical User Interface Design Environment). Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία του γραφικού περιβάλλοντος για την εφαρμογή της μεθόδου βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ του Κεφαλαίου 4, στοιχεία για τη δομή του λογισμικού αυτού, καθώς και πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις του λογισμικού.

5.2 ΓΡΑΦΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ (GUI) ΤΗΣ MATLAB

Η MATLAB δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει γραφικό περιβάλλον για τις εφαρμογές του. Η εκκίνηση του GUIDE γίνεται εύκολα με δύο τρόπους. Πρώτον, εκτελώντας την εντολή `guide` στο παράθυρο εντολών. Δεύτερον, επιλέγοντας από τη γραμμή μενού `File→New→GUI`. Στη συνέχεια, ο οδηγός ρωτάει το χρήστη αν θέλει να δημιουργήσει ένα κενό παράθυρο (Blank GUI), ένα παράθυρο βασισμένο σε κάποια πρότυπα ή να ανοίξει ένα έτοιμο παράθυρο (Σχήμα 6.1). Στη συνέχεια, αν ο χρήστης αφήσει την προεπιλεγμένη επιλογή “Blank GUI”, θα ανοίξει ένα άδειο παράθυρο, στο οποίο μπορεί να δημιουργήσει το δικό του GUI (Σχήμα 6.2).




















Σχήμα 5.1: Διαθέσιμες επιλογές για δημιουργία νέου γραφικού περιβάλλοντος.




Σχήμα 5.2: Περιβάλλον και εργαλεία για τη δημιουργία GUI.

Ύστερα, ο χρήστης μπορεί να δει ότι το περιβάλλον δημιουργίας του παραθύρου αποτελείται από μία κεντρική γραμμή επιλογών, μια γραμμή εργαλείων και μία κάθετη εργαλειοθήκη στα αριστερά. Η γκριζα περιοχή με το πλέγμα είναι το φόντο του παραθύρου. Η κάθετη εργαλειοθήκη περιέχει τα παρακάτω 14 αντικείμενα (objects) με τα οποία μπορεί να εμπλουτίσει το γραφικό του περιβάλλον:

1. *Push button*  : ορθογώνιο κουμπί, αφού πατηθεί εκτελεί μια επιθυμητή λειτουργία.
2. *Slider*  : δίνει τη δυνατότητα να μεταβάλει ο χρήστης κάποια μεταβλητή με τη βοήθεια μιας μπάρας μεταξύ μιας ελάχιστης και μιας μέγιστης τιμής. Συνοδεύει κάποιο κείμενο ή γράφημα. Η μπάρα μπορεί να είναι είτε οριζόντια είτε κάθετη.
3. *Radio Button*  : στρογγυλό κουμπί με το οποίο ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μόνο μια επιλογή από ένα πλήθος επιλογών. Διαλέγοντας μια, αναιρείται κάποια άλλη.
4. *Check Box*  : δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να διαλέξει μια ή περισσότερες επιλογές.
5. *Edit Text*  : είναι ένα πεδίο στο οποίο ο χρήστης μπορεί να εισάγει ή να μορφοποιήσει αλφαριθμητικά δεδομένα. Μπορεί να γίνει εισαγωγή κειμένου μονής ή πολλαπλής γραμμής.
6. *Static Text*  : προβάλλει στην οθόνη μια γραμμή κειμένου. Το κείμενο αυτό δε μπορεί να το επεξεργαστεί ο χρήστης του λογισμικού.
7. *Pop-up Menu*  : παρέχει στο χρήστη μια λίστα επιλογών που ανοίγει όταν πατηθεί με το ποντίκι.
8. *List Box*  : παρέχει στο χρήστη μια λίστα ενός ή περισσότερων επιλογών που παραμένει ανοιχτή. Όταν υπάρχουν πολλές επιλογές εμφανίζεται αυτόματα μια μπάρα.
9. *Toggle Button*  : δίνει τη δυνατότητα επιλογής ή όχι μιας λειτουργίας.
10. *Table*  : παρέχει στο χρήστη επιλογές σε μορφή πίνακα.
11. *Axes*  : δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει μια γραφική παράσταση στο παράθυρο.
12. *Panel*  : χρησιμοποιείται για την ομαδοποίηση πολλών στοιχείων ελέγχου.
13. *Button Group*  : είναι σαν το panel αλλά επιδρά αυτόματα στην ομαδοποίηση των radio buttons και toggle buttons.
14. *ActiveX control*  : αντικείμενο ελέγχου ActiveX

Η εισαγωγή των παραπάνω αντικειμένων στο παράθυρο είναι απλή και γίνεται με απλό σύρσιμο (drag and drop). Ειδικά τα αντικείμενα push button, radio button, slider, edit text, static text, list box, pop-up menu, check box και toggle button ανήκουν στην κατηγορία των στοιχείων ελέγχου (uicontrols). Ο χρήστης μπορεί να εισάγει όσες φορές θέλει το κάθε αντικείμενο στο παράθυρο. Μέσω του object browser  βλέπει πόσα και ποια αντικείμενα υπάρχουν στο συγκεκριμένο παράθυρο της εφαρμογής και επιλέγοντάς τα βλέπει τη θέση τους. Επίσης, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να στοιχίσει κάθετα ή οριζόντια όποια στοιχεία ελέγχου επιθυμεί μέσω του εικονιδίου align objects . Χρησιμοποιώντας τον property inspector (Σχήμα 6.3) μέσω του εικονιδίου  ή με διπλό κλικ ή δεξί κλικ πάνω στο αντικείμενο, μπορεί να καθορίσει ιδιότητες των κουμπιών, όπως το χρώμα του φόντου, τη γραμματοσειρά, το είδος των γραμμάτων, αν είναι ορατό, ενεργό ή όχι ένα στοιχείο, τη θέση του, την ετικέτα του (tag) ή το κείμενο (string) που θα είναι πάνω του κ.α. Αυτές είναι


κάποιες από τις κοινές ιδιότητες σε όλα τα στοιχεία ελέγχου που χρησιμοποιούνται περισσότερο [6.1]. Επιπλέον, με το εικονίδιο  μπορεί να δημιουργήσει γραμμή μενού που μπορεί να περιέχει και υπομενού.

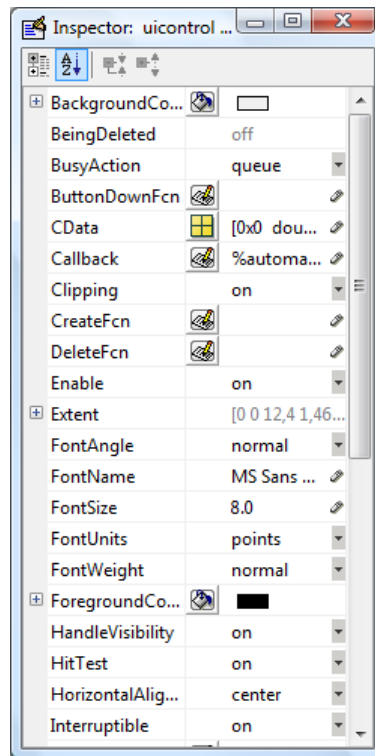
Σε κάθε αντικείμενο αντιστοιχεί ένας δείκτης (handles). Κάποιοι χρήσιμοι αυτόματοι δείκτες είναι οι παρακάτω:

- gcf : δείκτης στο τρέχον figure.
- gco : δείκτης στο τρέχον object. Τρέχον αντικείμενο είναι αυτό το οποίο έχει επιλέξει ο χρήστης με το ποντίκι.
- gca : δείκτης στο τρέχον axes.
- gcbo: δείκτης στο object του οποίου εκτελείται η συνάρτηση callback.

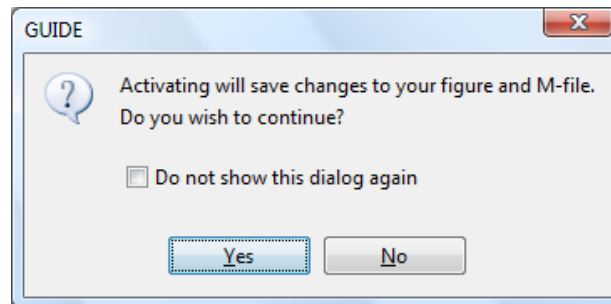
Τα περισσότερα στοιχεία ελέγχου συνοδεύονται από μία συνάρτηση callback, στην οποία ο χρήστης προσθέτει τις εντολές που θέλει να εκτελεί η ενεργοποίηση του κάθε στοιχείου ελέγχου. Οποιας μεταβλητές χρησιμοποιήσει μέσα στη συνάρτηση είναι τοπικές και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άλλες συναρτήσεις. Αρχικά, δημιουργούνται δύο callbacks: η opening function και η output function. Η πρώτη εκτελείται πριν η εικόνα του GUI (figure) γίνει ορατή στο χρήστη, αλλά αφού δημιουργήσει όλα τα αντικείμενα που θέλει και η δεύτερη επιστρέφει δεδομένα στο παράθυρο εντολών. Και στις δύο μεθόδους μπορεί ο χρήστης να προσθέσει δικό του κώδικα, όπως πχ. στην opening function μπορεί να αρχικοποιήσει δεδομένα. Κάθε φορά που εισάγει ένα γραφικό αντικείμενο με το GUIDE, παράγεται και στο M-file το αντίστοιχο callback.

Το GUI δημιουργεί για κάθε παράθυρο δύο αρχεία: το m-αρχείο και το fig-αρχείο. Το fig-αρχείο είναι το αρχείο στο οποίο η MATLAB αποθηκεύει όλα τα αντικείμενα που έχει εισάγει ο χρήστης, την ακριβή τους θέση καθώς και όλες τις τιμές των ιδιοτήτων τους που μπορεί να υπάρχουν. Εδώ ο χρήστης σχεδιάζει την εμφάνιση του παραθύρου. Το m-αρχείο είναι το αρχείο στο οποίο ο χρήστης θα γράψει τον κώδικα που θα ενσωματωθεί στα στοιχεία ελέγχου, ώστε αυτά να εκτελέσουν τις επιθυμητές λειτουργίες. Αυτό το αρχείο αναφέρεται και σαν GUI M-file. Κάθε αρχείο *.fig πρέπει να συνοδεύεται από το αντίστοιχο αρχείο *.m με το ίδιο όνομα. Κάθε φορά που ο χρήστης δημιουργεί ένα νέο παράθυρο (figure), το GUI δημιουργεί αυτόματα και τους δύο τύπους αρχείων.

Δύο χρήσιμες ιδιότητες στον προγραμματισμό του m-file είναι οι: string, value. Με την ιδιότητα string μπορεί να εισάγει κείμενο πάνω σε κάποιο αντικείμενο με την εντολή set ή να πάρει κείμενο με την εντολή get. Η ιδιότητα value δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει ή να πάρει κάποια τιμή από ένα αντικείμενο. Επίσης, η MATLAB προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας dialogs. Τα dialogs είναι ειδικού τύπου παράθυρα τα οποία χρησιμοποιούνται για να δώσουν πληροφορίες στο χρήστη ή να ζητήσουν εισαγωγή πληροφορίας. Τέλος, αφού κατασκευάσει ο χρήστης το παράθυρο της εφαρμογής με τα κουμπιά που επιθυμεί, μπορεί να τρέξει την εφαρμογή πατώντας το κουμπί “Run” . Το GUI θα ζητήσει να επιβεβαιώσει ο χρήστης τις αλλαγές που έκανε (Σχήμα 6.4). Επιλέγοντας “Yes”, το GUI θα ζητήσει από το χρήστη να δώσει ένα όνομα στην εφαρμογή του και θα την αποθηκεύσει σε δύο αρχεία .fig και .m [6.2].



Σχήμα 5.3: Property inspector.



Σχήμα 5.4: Παράθυρο διαλόγου για αποθήκευση αλλαγών στο GUI.

5.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΜΔΠ

5.3.1 Περιβάλλον ανάπτυξης και απαιτήσεις συστήματος

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε αναπτύχθηκε σε περιβάλλον Windows 7 στη γλώσσα προγραμματισμού MATLAB σε έκδοση 2011a. Η γλώσσα αυτή προσφέρει μεγάλη ευκολία στη δημιουργία πινάκων, ενώ και οι πράξεις μεταξύ πινάκων είναι αρκετά γρήγορες. Επίσης, παρέχει εργαλεία για τη δημιουργία γραφικού περιβάλλοντος εξασφαλίζοντας φιλικότητα προς το χρήστη. Οι τυπικές απαιτήσεις συστήματος για τη χρήση του λογισμικού MATLAB είναι: 3-4 GB χώρος στο δίσκο και 1 GB RAM. Επίσης, το λειτουργικό σύστημα θα πρέπει να είναι νεότερο των Windows XP Service Pack 3, ενώ ο επεξεργαστής (Intel ή AMD x64) θα πρέπει να υποστηρίζει το σύνολο εντολών SSE2.

Το υπολογιστικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε για το τρέξιμο του λογισμικού έχει τα εξής χαρακτηριστικά:


- Λογισμικό Windows 7, 64-bit.
- Επεξεργαστή Intel Core i7, 2.4GHz.
- Μνήμη RAM ίση με 4 GB.
- Ελεύθερο χώρο στο σκληρό δίσκο 877GB.

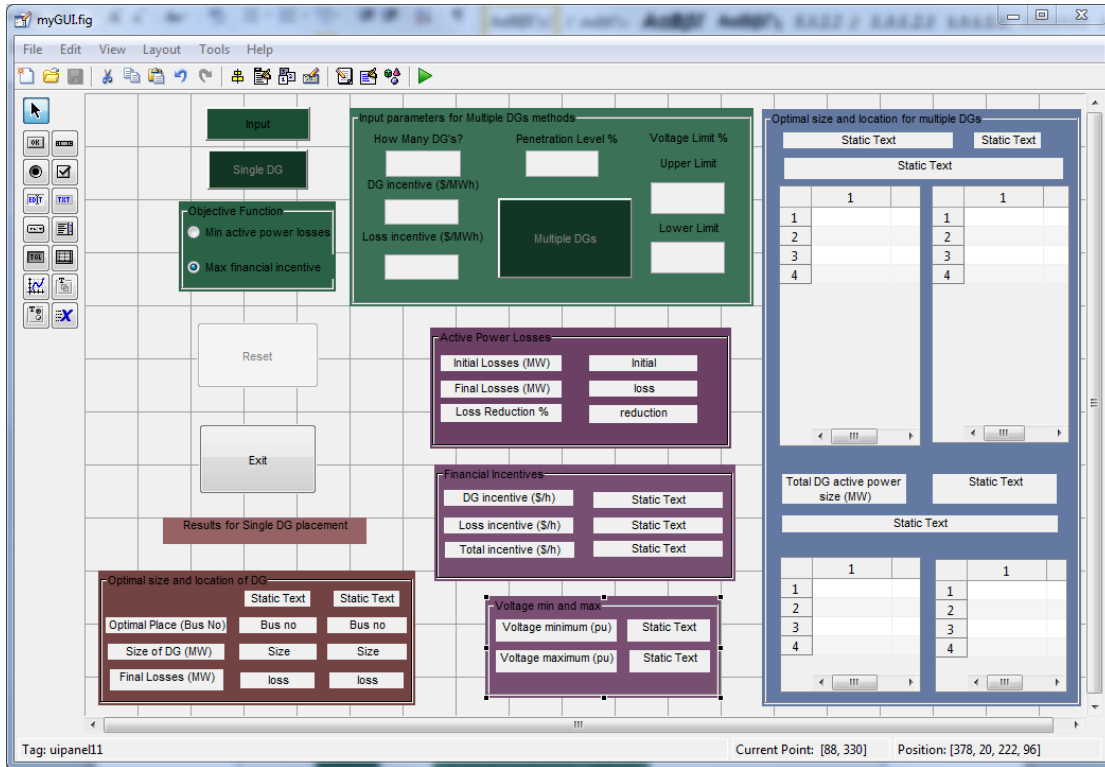
5.3.2 Λειτουργίες λογισμικού

5.3.2.1 Γραφικό περιβάλλον

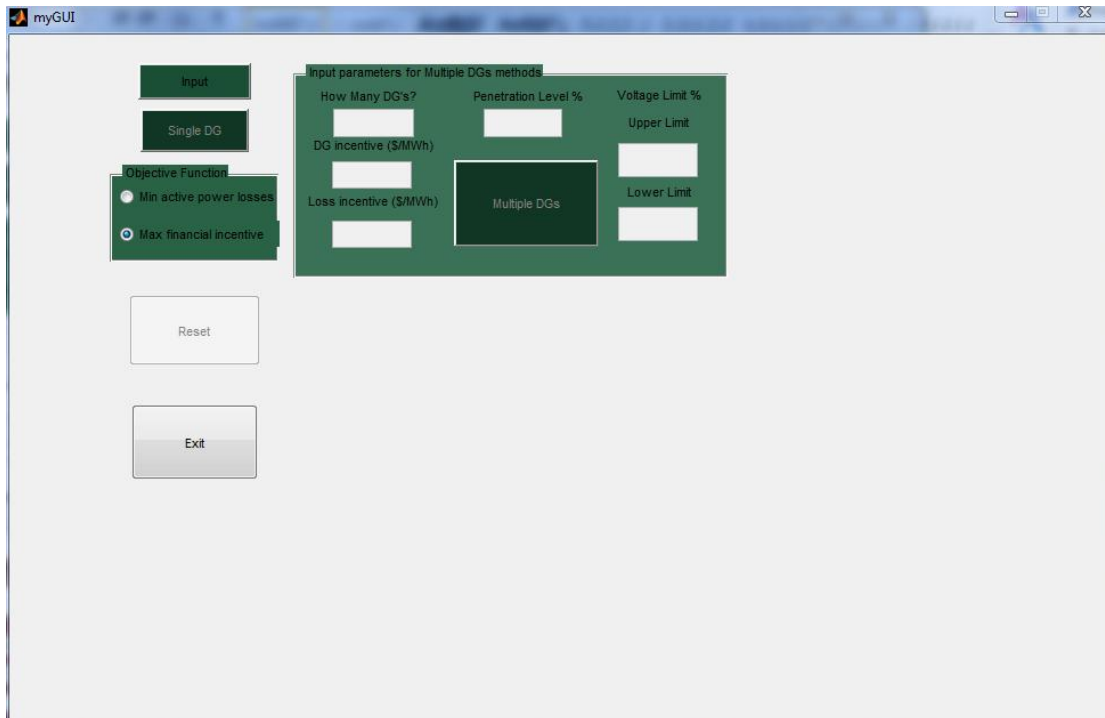
Το γραφικό περιβάλλον που δημιουργήθηκε ονομάστηκε myGUI. Τα αντικείμενα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- 5 push buttons για την εισαγωγή δεδομένων, εκτέλεση υπολογισμών, καθαρισμό δεδομένων και έξοδο από το πρόγραμμα.
- 33 static texts για εισαγωγή τίτλων.
- 4 tables για εμφάνιση αποτελεσμάτων σε μορφή πίνακα.
- 6 edit texts για εισαγωγή παραμέτρων.
- 6 panels τα οποία δεν επηρεάζουν το πρόγραμμα, αλλά χρησιμοποιήθηκαν για αισθητικούς λόγους.
- 2 radio buttons για επιλογή και εκτέλεση προγραμμάτων.

Μετά την εκκίνηση του GUIDE, αφού ο χρήστης επιλέξει να ανοίξει το γραφικό περιβάλλον myGUI, εμφανίζεται το παράθυρο του Σχήματος 5.5. Πατώντας το κουμπί “Run” , ο χρήστης μπορεί να τρέξει την εφαρμογή (Σχήμα 5.6) [6.3] [6.4]. Έπειτα, έχει τις ακόλουθες επιλογές: να εισάγει δεδομένα, να καθαρίσει την οθόνη ή να φύγει από το πρόγραμμα. Οι υπόλοιπες λειτουργίες εκτελούνται αφού ο χρήστης επιλέξει κάποιο αρχείο εισόδου και περιγράφονται στις επόμενες ενότητες.



Σχήμα 5.5: Εισαγωγή όλων των αντικειμένων του GUI για τη βέλτιστη τοποθέτηση ΜΔΠ.



Σχήμα 5.6: Το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού για τη βέλτιστη τοποθέτηση ΜΔΠ.

5.3.2.2 Εισαγωγή δεδομένων

Τα δεδομένα που εισάγονται στο λογισμικό πρέπει να είναι αρχεία excel (.xls). Ένα λογισμικό βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ απαιτεί, ως δεδομένα εισόδου, δύο πίνακες που αντιστοιχούν σε δύο φύλλα excel.

Το πρώτο φύλλο εμπεριέχει στοιχεία για κάθε ζυγό του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας που εξετάζεται. Η πρώτη στήλη εμπεριέχει τον αριθμό του κάθε ζυγού του δικτύου. Η δεύτερη στήλη εμπεριέχει το είδος του ζυγού (για ζυγό αναφοράς γράφεται 1, για ζυγό φορτίου 0). Η τρίτη στήλη είναι η τιμή της τάσης κάθε ζυγού αρχικοποιημένη και η τέταρτη η τιμή της γωνίας της τάσης κάθε ζυγού επίσης αρχικοποιημένη. Στην πέμπτη και την έκτη στήλη είναι η ζήτηση ενεργού και αέργου ισχύος κάθε ζυγού και στην έβδομη και όγδοη η αντίστοιχη παραγωγή. Στην ένατη και την δέκατη στήλη εμπεριέχονται η ελάχιστη και η μέγιστη δυνατή παραγωγή αέργου ισχύος. Στην εντεκάτη και τελευταία στήλη τοποθετείται η τυχόν εισερχόμενη στο σύστημα άεργος ισχύς από εγκατεστημένους παράλληλους πυκνωτές.

Στο δεύτερο φύλλο του αρχείου βρίσκονται τα στοιχεία των γραμμών. Μια γραμμή καθορίζεται από το ζευγάρι των ζυγών που την αποτελούν. Στην πρώτη στήλη είναι ο αριθμός της γραμμής και στις επόμενες δύο είναι ο ζυγός αναχώρησης και άφιξης, αντίστοιχα. Οι στήλες 4, 5 και 6 είναι η ωμική αντίσταση σε α.μ., η επαγωγική αντίδραση σε α.μ. και το μισό της χωρητικής αγωγιμότητας σε α.μ. Στην τελευταία στήλη τοποθετείται ο κωδικός της γραμμής που συμβολίζει την λήψη τυχόν Μ/Σ και για γραμμές είναι 1.

5.3.2.3 Μελέτη και ανάλυση αποτελεσμάτων

Στο Σχήμα 5.7 φαίνεται η μορφή που έχει το GUI πριν εκτελεστεί κάποιος από τους αλγόριθμους για τη βέλτιστη τοποθέτηση ΜΔΠ. Είναι φανερό πως ακόμη δεν έχει γίνει η φόρτωση κάποιου δικτύου και δεν υπάρχουν αποτελέσματα. Στο πάνω αριστερά μέρος του Σχήματος 5.7 διακρίνεται το ενεργοποιημένο κουμπί “Input”, με το οποίο γίνεται η εισαγωγή δεδομένων. Πατώντας το συγκεκριμένο κουμπί ένα αναδύομενο παράθυρο καλεί το χρήστη να επιλέξει το αρχείο excel, στο οποίο είναι αποθηκευμένα τα δεδομένα του προς ανάλυση δικτύου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.8.

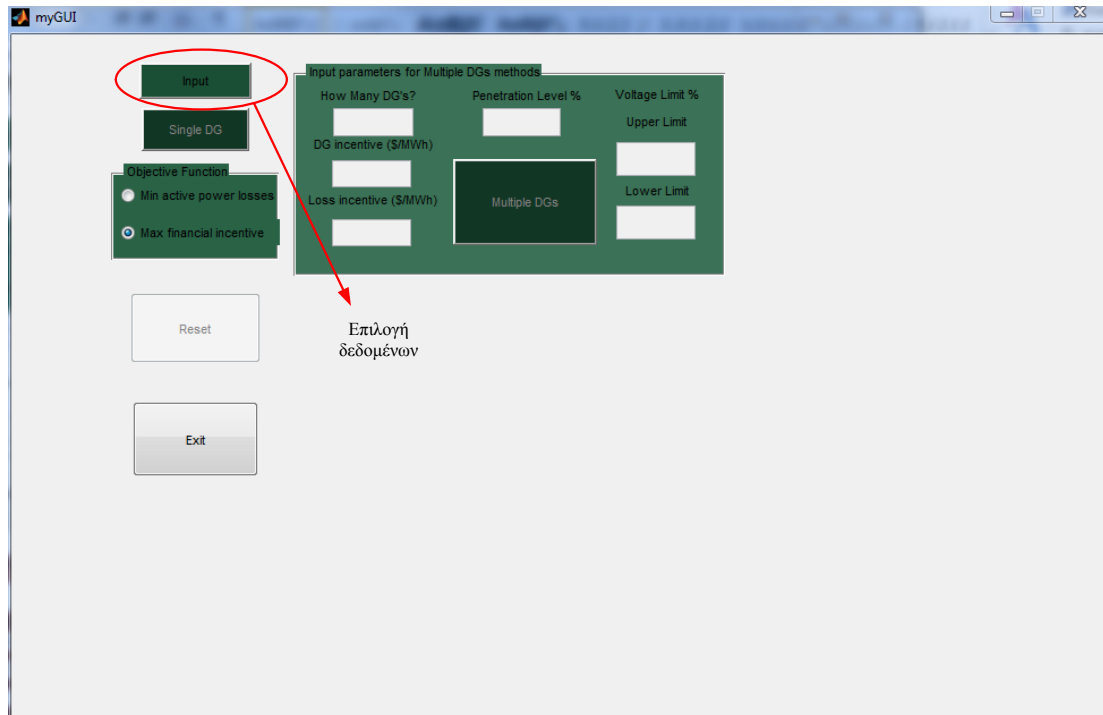
Μετά την επιλογή των δεδομένων του δικτύου (Σχήμα 5.9), ενεργοποιείται το πάνελ “Objective function”, μέσα από το οποίο ο χρήστης διαλέγει ποια αντικειμενική συνάρτηση επιθυμεί να χρησιμοποιηθεί κατά την εκτέλεση της μεθόδου βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ. Έχει τη δυνατότητα να διαλέξει ανάμεσα σε δύο αντικειμενικές συναρτήσεις: (α) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος (βλ. Υποκεφάλαιο 4.2) και (β) μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου (βλ. Υποκεφάλαιο 4.3). Επιπλέον, ενεργοποιείται το κουμπί “Single DG”, με το οποίο ο χρήστης επιλέγει να εφαρμοστεί η αναλυτική μέθοδος βέλτιστης τοποθέτησης μίας ΜΔΠ. Παράλληλα, ενεργοποιείται το πάνελ “Input parameters for multiple DGs method”, με το οποίο ο χρήστης μπορεί να εισάγει τις 5 παραμέτρους που είναι απαραίτητες για την εκτέλεση του αλγορίθμου της μεθόδου βέλτιστης τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ. Οι παράμετροι αυτές είναι: το επιθυμητό πλήθος των ΜΔΠ προς εγκατάσταση, το όριο διείσδυσης ως ποσοστό επί της ζήτησης ενεργού ισχύος του δικτύου προς εξέταση, το πάνω και κάτω όριο παραβίασης τάσης ως ποσοστό επί της ονομαστικής τάσης 1 α.μ., ο οικονομικός παράγοντας σύνδεσης ΜΔΠ (\$/MWh) και ο οικονομικός παράγοντας μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος (\$/MWh). Στο πάνελ “Input parameters for multiple DGs method” περιλαμβάνεται και το κουμπί “Multiple DGs”, με το οποίο ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να εφαρμοστεί η μέθοδος τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ.

Στην περίπτωση όπου ο χρήστης επιλέξει να πατήσει το κουμπί “Single DG”, εφαρμόζεται η αναλυτική μέθοδος βέλτιστης τοποθέτησης μίας ΜΔΠ. Στην περίπτωση αυτή εμφανίζονται 4 πάνελ (Σχήμα 5.10):

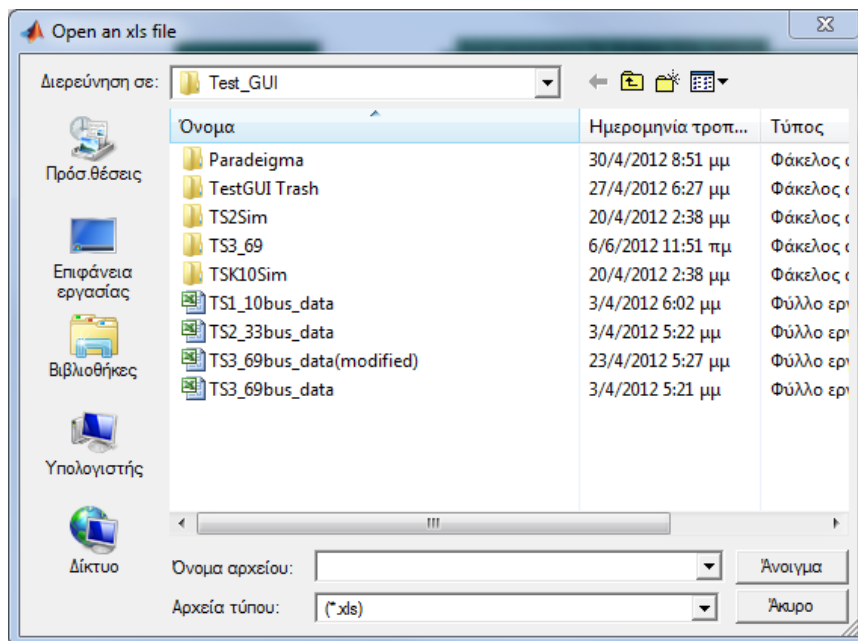
- Το πάνελ “Optimal size and location of DG”, όπου εμφανίζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής της αναλυτικής μεθόδου. Πιο συγκεκριμένα: ο βέλτιστος ζυγός για τοποθέτηση ΜΔΠ, το βέλτιστο μέγεθος της ΜΔΠ και οι τελικές συνολικές απώλειες ενεργού ισχύος του δικτύου. Ειδικότερα, αν έχει γίνει επιλογή της αντικειμενικής συνάρτησης μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος, τότε εμφανίζονται και τα αντίστοιχα μεγέθη για την εξαντλητική μέθοδο βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ του Κεφαλαίου 4.
- Το πάνελ “Active Power Losses”, όπου εμφανίζονται: οι αρχικές απώλειες ενεργού ισχύος στο δίκτυο (MW), οι τελικές απώλειες μετά την εφαρμογή της αναλυτικής μεθόδου για μία ΜΔΠ (MW) και η ποσοστιαία μείωση των απωλειών σε σχέση με τις αρχικές.
- Το πάνελ “Financial Incentives”, όπου εμφανίζονται: το χρηματικό κίνητρο εγκατάστασης ΜΔΠ (\$/h), το χρηματικό κίνητρο μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος (\$/h) και το συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h) του Κεφαλαίου 4.
- Το πάνελ “Voltage min and max”, όπου εμφανίζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τάση ζυγού στο δίκτυο σε α.μ. μετά την εφαρμογή της αναλυτικής μεθόδου για εύρεση μίας ΜΔΠ.

Στην περίπτωση που ο χρήστης θέλει να επιλέξει το κουμπί “Input Parameters for Multiple DGs” θα πρέπει πρώτα να έχει εισάγει τις 5 παραμέτρους που αναφέρθηκαν προηγουμένως για να μπορεί να εκτελεστεί ο αλγόριθμος βέλτιστης τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ. Μετά την εφαρμογή της μεθόδου (Σχήμα 5.11) εμφανίζονται 4 πάνελ:

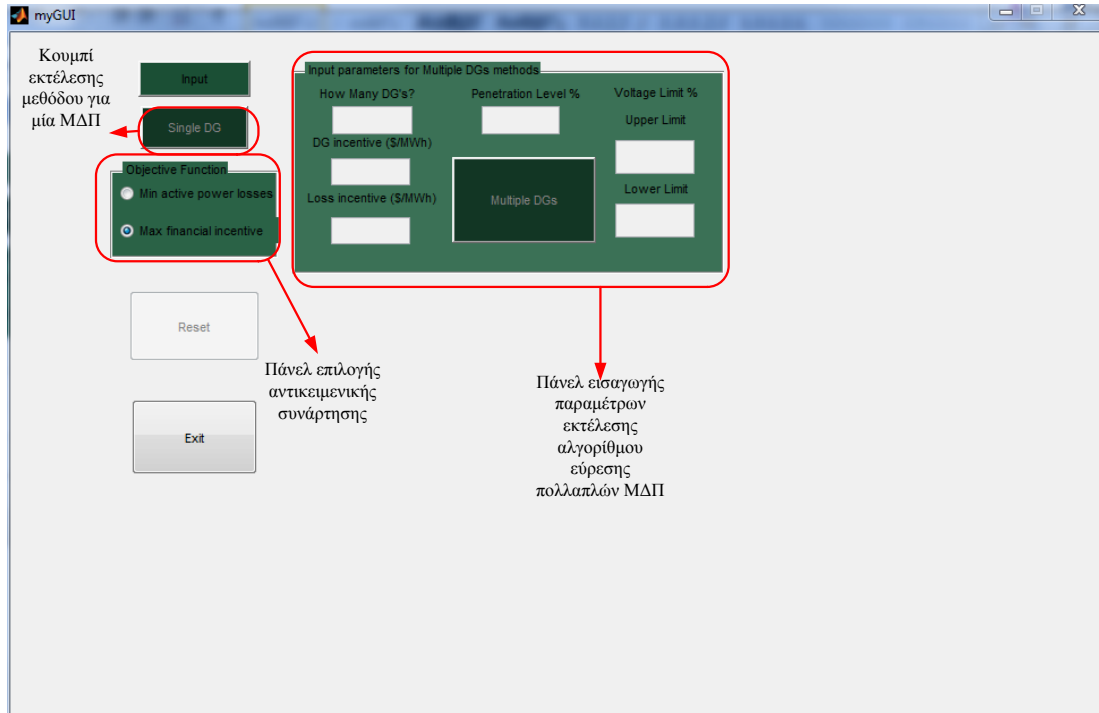
- Το πάνελ “Optimal size and location for multiple DGs”, όπου εμφανίζονται: το πλήθος των ΜΔΠ που εγκαταστάθηκαν, ο ζυγός εγκατάστασης και η ονομαστική ισχύς (MW) κάθε ΜΔΠ, η συνολική ονομαστική ισχύς όλων των ΜΔΠ που τοποθετήθηκαν και ο αριθμός κάθε ζυγού όπου υπήρξε παραβίαση του ορίου τάσης καθώς και η στάθμη σε α.μ. της τάσης αυτής.
- Το πάνελ “Active Power Losses”, όπου εμφανίζονται: οι αρχικές απώλειες ενεργού ισχύος στο δίκτυο (MW), οι τελικές απώλειες μετά την εφαρμογή της μεθόδου για τοποθέτηση πολλαπλών ΜΔΠ (MW) και η ποσοστιαία μείωση των απωλειών σε σχέση με τις αρχικές.
- Το πάνελ “Financial Incentives”, όπου εμφανίζονται: το χρηματικό κίνητρο εγκατάστασης ΜΔΠ (\$/h), το χρηματικό κίνητρο μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος (\$/h) και το συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h) του Κεφαλαίου 4.
- Το πάνελ “Voltage min and max”, όπου εμφανίζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τάση ζυγού στο δίκτυο σε α.μ. μετά την εφαρμογή της μεθόδου για βέλτιστη τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ.



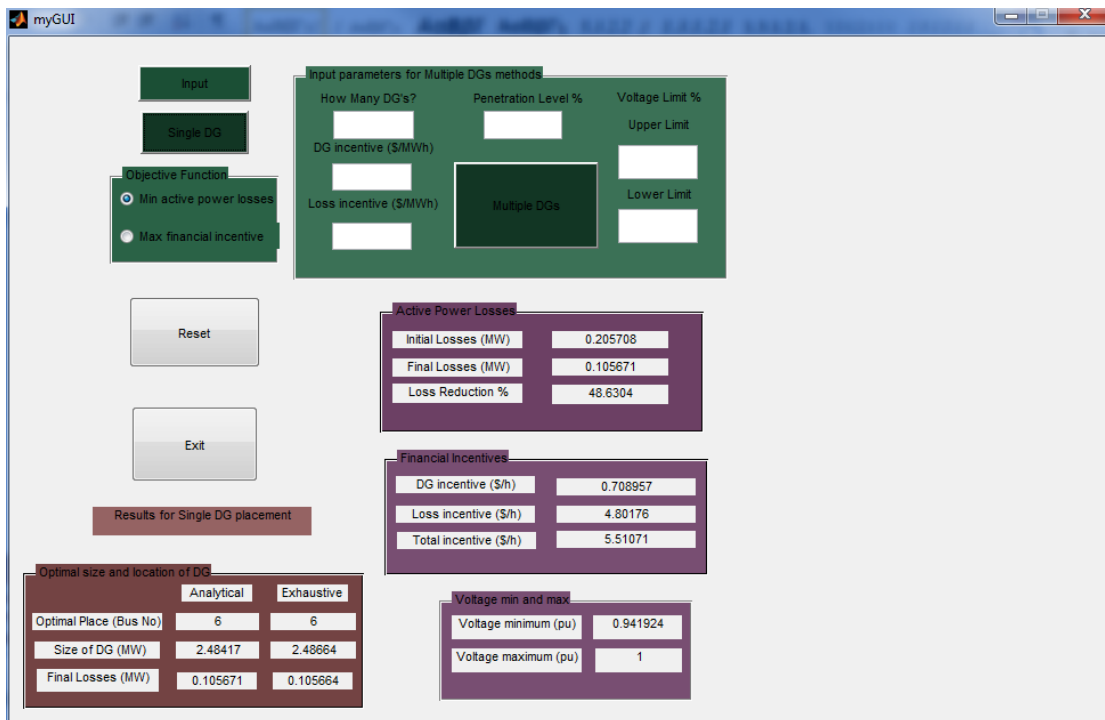
Σχήμα 5.7: Μορφή GUI πριν την εκτέλεση κάποιου αλγορίθμου βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ.



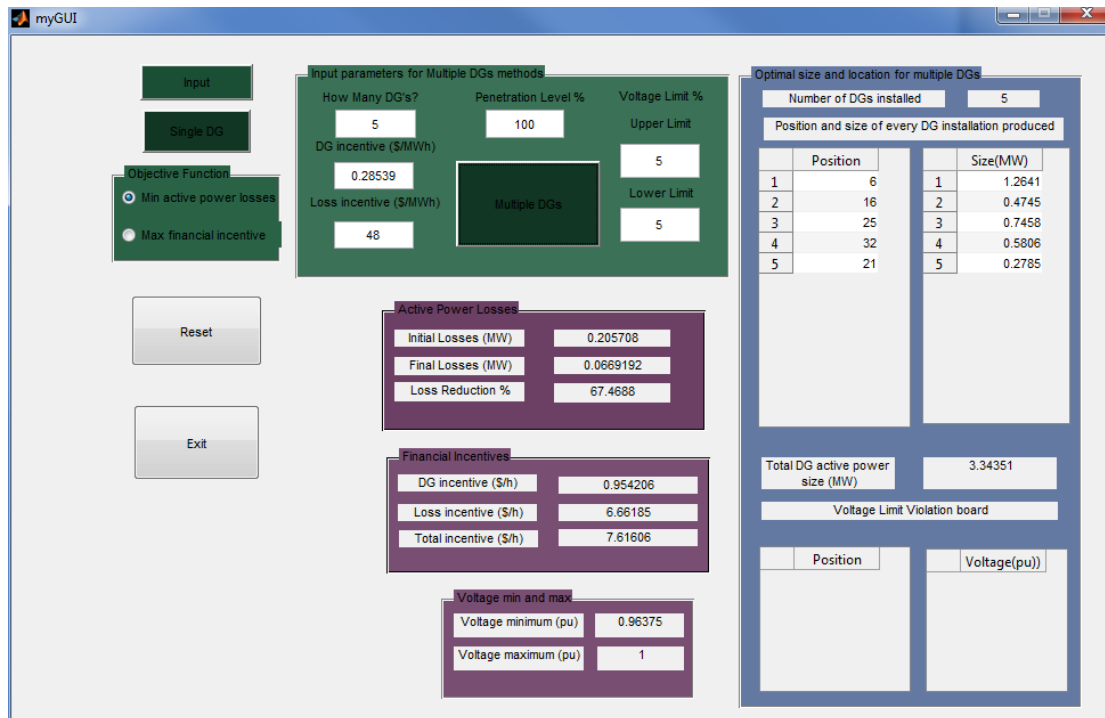
Σχήμα 5.8: Επιλογή αρχείου excel με δεδομένα εισόδου.



Σχήμα 5.9: Μορφή GUI μετά την επιλογή δεδομένων.



Σχήμα 5.10: Μορφή GUI μετά την επιλογή εκτέλεσης της αναλυτικής μεθόδου για εύρεση μίας ΜΔΠ με αντικειμενική συνάρτηση της μείωσης των απωλειών ενεργού ισχύος.



Σχήμα 5.11: Μορφή GUI μετά την επιλογή εκτέλεσης της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ με αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος, επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ 5, όριο διείσδυσης 100%, όριο παραβίασης τάσης $\pm 5\%$, οικονομικό παράγοντα σύνδεσης ΜΔΠ 0,28539 \$/h και οικονομικό παράγοντα μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος 48 \$/h.

5.3.2.4 Υποπρογράμματα λογισμικού

Σε αυτήν την ενότητα θα περιγραφεί η δομή του λογισμικού, αναλύοντας από ποια προγράμματα αποτελείται, έτσι ώστε να μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει αυτοτελώς όποια δυνατότητα του λογισμικού επιθυμεί σε κάποια άλλη εφαρμογή. Κατά την ανάπτυξη του λογισμικού εκτιμήθηκε η δυνατότητα της MATLAB να καλεί διαφορετικά προγράμματα μέσα από ένα άλλο πρόγραμμα και έτσι αρκετά βήματα του αλγορίθμου διαιρέθηκαν σε μικρότερα υποπρογράμματα. Επιπλέον κάθε μέθοδος καλεί διαφορετική ομάδα υποπρογραμμάτων.

Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά τα προγράμματα, τα οποία αποτελούν το λογισμικό, μαζί με τα στοιχεία που παίρνουν σαν είσοδο και τα δεδομένα που δίνουν σαν έξοδο:

- Το υποπρόγραμμα με το όνομα “Lfybus.m”, το οποίο παίρνει σαν είσοδο τα δεδομένα των γραμμών του δικτύου και τις λήψεις των μετασχηματιστών από το δεύτερο φύλλο του αρχείου excel που απαιτεί σαν είσοδο το πρόγραμμα (βλ. Υποενότητα 5.3.2.2). Μετατρέπει τις αντιστάσεις σε αγωγιμότητες και σχηματίζει τη μήτρα αγωγιμοτήτων (βλ. Κεφάλαιο 4).
- Το υποπρόγραμμα με το όνομα “Lfnewton.m”, το οποίο εκτελεί την ανάλυση ροής φορτίου με τη μέθοδο Newton-Raphson και παίρνει σαν είσοδο τα δεδομένα από τα δύο φύλλα excel που απαιτεί σαν είσοδο το πρόγραμμα (βλ. Υποενότητα 5.3.2.2).

- Το υποπρόγραμμα με το όνομα “Busout.m”, το οποίο φτιάχνει τα αποτελέσματα της ροής φορτίου για τους ζυγούς του δικτύου σε μορφή πίνακα. Τα αποτελέσματα αυτά είναι: η τιμή της τάσης σε κάθε ζυγό, η αντίστοιχη γωνία της τάσης, η παραγωγή ενεργού και αέργου ισχύος καθώς και την αντίστοιχη ζήτηση σε κάθε ζυγό και την έγχυση αέργου ισχύος από τυχόν παράλληλους πυκνωτές.
- Το υποπρόγραμμα με το όνομα “Lineflow.m”, το οποίο ετοιμάζει τα αποτελέσματα της ροής φορτίου για τις γραμμές του δικτύου σε μορφή πίνακα. Περιλαμβάνει το ροή ενεργού και αέργου ισχύος σε κάθε γραμμή καθώς και τις αντίστοιχες απώλειες.

Λόγω της αναλογίας που υπάρχει ανάμεσα στην εφαρμογή των μεθόδων με τις δύο αντικειμενικές συναρτήσεις του Κεφαλαίου 4, παρακάτω παρουσιάζονται τα υποπρογράμματα των μεθόδων με αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος. Τα αντίστοιχα υποπρογράμματα για αντικειμενική συνάρτηση τη μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου έχουν το ίδιο όνομα με την προσθήκη ενός επιπλέον *_OPF.

- Το υποπρόγραμμα με το όνομα “PropAlg.m”, το οποίο παίρνει σαν είσοδο τις τάσεις (σε α.μ.) και τις γωνίες των τάσεων σε κάθε ζυγό του δικτύου σε μοίρες καθώς και την μήτρα αγωγιμοτήτων. Εφαρμόζει την εξίσωση (4.6) της αναλυτικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος και δίνει σαν έξοδο τα βέλτιστα μεγέθη ΜΔΠ προς εγκατάσταση για κάθε ζυγό του δικτύου.
- Το υποπρόγραμμα “PropAlgPlus.m”, το οποίο παίρνει σαν είσοδο τα βέλτιστα μεγέθη ΜΔΠ προς εγκατάσταση για κάθε ζυγό του δικτύου του υποπρογράμματος “PropAlg” και εκτελεί την αναλυτική μέθοδο όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 4. Δίνει σαν έξοδο τον καταλληλότερο ζυγό για τοποθέτηση ΜΔΠ, την ονομαστική ισχύ της παραγωγής αυτής, τις ακριβείς απώλειες ενεργού ισχύος του δικτύου μετά την τοποθέτηση, τη μέγιστη και την ελάχιστη τάση ζυγού, και τα χρηματικά κίνητρα (βλ. Κεφάλαιο 4).
- Το υποπρόγραμμα “ProposedAlgorithm.m” το οποίο εκτελεί ολόκληρη την προτεινόμενη αναλυτική μέθοδο καλώντας διαδοχικά τα υποπρογράμματα “Lfybus.m”, “Lfnewton.m”, “Busout.m”, “Lineflow.m”, “PropAlg.m” και “PropAlgPlus.m”
- Το υποπρόγραμμα “ExhaustAlg.m”, το οποίο εκτελεί, αντίστοιχα, την εξαντλητική μέθοδο όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 4. Δίνει σαν έξοδο τον καταλληλότερο ζυγό για τοποθέτηση ΜΔΠ, την ονομαστική ισχύ της παραγωγής αυτής και τις ακριβείς απώλειες ενεργού ισχύος του δικτύου μετά την τοποθέτηση.
- Το υποπρόγραμμα “ExhaustiveAlgorithm.m” το οποίο εκτελεί όλη την εξαντλητική μέθοδο καλώντας διαδοχικά τα υποπρογράμματα “Lfybus.m”, “Lfnewton.m”, “Busout.m”, “Lineflow.m” και “ExhaustAlg”
- Το υποπρόγραμμα “MultiAlg.m”, το οποίο εκτελεί λειτουργία ανάλογη του “PropAlgPlus.m”, με έξοδο αυτή τη φορά μόνο τον ζυγό στον οποίο παρουσιάζονται οι ελάχιστες απώλειες ενεργού ισχύος μετά την εγκατάσταση ΜΔΠ.
- Το υποπρόγραμμα “MultiAlgPlus_2.m”, το οποίο εκτελεί τους υπολογισμούς της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ του Κεφαλαίου 4. Παίρνει σαν είσοδο: το όριο διείσδυσης, το άνω και κάτω όριο τάσης, το πλήθος των επιθυμητών ΜΔΠ και τους

οικονομικούς παράγοντες που εισάγει ο χρήστης του GUI. Κατά την εκτέλεση του καλεί τα υποπρογράμματα “Lfybus.m”, “Lfnewton.m”, “Busout.m”, “Lineflow.m”, “PropAlg.m” και “MultiAlg”. Δίνει έξοδο: τη λίστα με τις βέλτιστες ΜΔΠ κατά θέση και ονομαστική ισχύ, τους ζυγούς όπου παραβιάζεται το όριο τάσης, την ελάχιστη και μέγιστη τάση ζυγού και τις τελικές απώλειες ενεργού ισχύος του δικτύου που εξετάζεται μετά την εφαρμογή της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ.

- Το υποπρόγραμμα “MultipleAlgorithm.m”, το οποίο εκτελεί τη μέθοδο εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ. Καλεί τα υποπρογράμματα “Lfybus.m”, “Lfnewton.m”, “Busout.m”, “Lineflow.m” και “MultiAlgPlus_2.m”.
- Το πρόγραμμα με το όνομα “myGUI.m” φροντίζει την απεικόνιση όλων των παραπάνω και λαμβάνει οδηγίες από το χρήστη μέσω των καταλλήλων κουμπιών και να τις υλοποιεί.

5.3.2.2 Μελλοντικές επεκτάσεις του λογισμικού

Οι δυνατότητες επέκτασης του λογισμικού βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ είναι πάρα πολλές. Το εν λόγω λογισμικό θα μπορούσε να επεκταθεί έτσι ώστε να ενσωματώνει και άλλες μεθόδους βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ, κυρίως ευριστικές και μετα-ευριστικές, όπως αυτές που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 2, έτσι ώστε να δίνεται η δυνατότητα σύγκρισής τους με την παρούσα μέθοδο.

Επιπλέον, το λογισμικό θα μπορούσε να δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέγει σε ποιούς ζυγούς του δικτύου απαγορεύεται να τοποθετηθεί ΜΔΠ. Επίσης, θα μπορούσε να εισάγει ο χρήστης διαφορετικούς οικονομικούς παράγοντες σύνδεσης ΜΔΠ για κάθε ζυγό, ζυγούς προτεραιότητας με σκοπό την καλύτερη ρύθμιση της τάσης ή και δυνατότητα σύγκρισης των άεργων απωλειών ισχύος μαζί με τις ενεργές.

5.4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [6.1] Δ. Βαρσάμης, "MATLAB - Graphical User Interfaces," [Online]. Διαθέσιμο: http://teiserron.gr/index.php?topic=1531.0;prev_next=prev, προσπελάστηκε το Μάρτιο 2012.
- [6.2] Κ. Διαμαντάρας, "Εργαστηριακές ασκήσεις νευρωνικών δικτύων και σύντομο εγχειρίδιο MATLAB," [Online]. Διαθέσιμο: http://aetos.it.teithe.gr/~kdiamant/Neural/Matlab_Ref@26_3_2008.pdf, προσπελάστηκε το Δεκέμβριο 2011.
- [6.3] "MathWorks – MATLAB and Simulink for Technical Computing," [Online]. Διαθέσιμο: <http://www.mathworks.com>, προσπελάστηκε το Δεκέμβριο 2011.

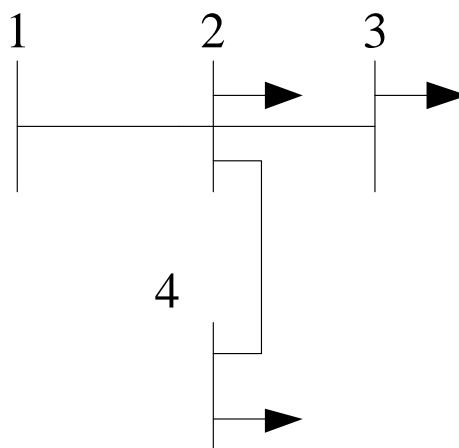
ΔΟΚΙΜΕΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ**6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται εφαρμογές του λογισμικού που αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 5, σε διάφορα ακτινικά δίκτυα. Αρχικά παρουσιάζεται ένα αναλυτικό παράδειγμα, δείχνοντας κάθε βήμα της μεθόδου καθώς και τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Έπειτα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν εκτελώντας το λογισμικό του Κεφαλαίου 5 σε ακτινικά δίκτυα 10 ζυγών, 33 ζυγών και 69 ζυγών, για διάφορα σενάρια.

6.2 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ**6.2.1 Δεδομένα του συστήματος**

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί, αναλυτικά, ένα αριθμητικό παράδειγμα επίλυσης του προβλήματος της βέλτιστης τοποθέτησης μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής (ΜΔΠ) με την προτεινόμενη αναλυτική και την εξαντλητική μέθοδο του Κεφαλαίου 4 για τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος σε ένα μικρό ακτινικό δίκτυο 4 ζυγών.

Το δίκτυο του παραδείγματος αποτελείται από 4 ζυγούς και 3 γραμμές όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.1. Ο ζυγός 1 είναι ζυγός ταλάντωσης και η τάση του είναι $1 \angle 0^\circ$ p.u., ενώ οι υπόλοιποι ζυγοί είναι ζυγοί φορτίου (PQ). Η βασική τάση είναι 11kV παντού. Η βασική ισχύς S_B είναι 100kW. Τα δεδομένα του συστήματος φαίνονται στον Πίνακα 6.1.



Σχήμα 6.1: Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου 4 ζυγών.

Πίνακας 6.1: Δεδομένα γραμμών και ζυγών του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος.

			Σύνθετη Αντίσταση Γραμμής		Μέγιστη Ζήτηση Ισχύος Ζυγού Αφίξης	
Αριθμός Γραμμής	Ζυγός Αναχώρησης	Ζυγός Αφίξης	Ωμική Αντίσταση (Ohm)	Επαγωγική Αντίδραση (Ohm)	Ενεργός Ισχύς (kW)	Άεργος Ισχύος (kVAr)
1	1	2	1,3531	1,3235	44,1	44,991
2	2	3	1,1702	1,1446	70	71,414
3	3	4	2,5573	1,7249	140	142,829
Συνολικό Φορτίο					254,1	259,234

6.2.2 Επίλυση προβλήματος βασικής ροής φορτίου

Η βασική τάση του δικτύου (V_B) όπως σημειώθηκε στην Ενότητα 6.2.1 είναι 11kV και η βασική ισχύς (S_B) 100kW. Η βασική αντίσταση προκύπτει από τη σχέση $Z_B = V_B^2/S_B = 1210$ Ohm.

Σύμφωνα με τα στοιχεία γραμμών (Πίνακας 6.1) ο πίνακας αγωγιμοτήτων σε α.μ. (p.u.) του συστήματος των 4 ζυγών είναι:

$$Y = \begin{bmatrix} 456,93 - 447,12i & -456,93 + 447,12i & 0,000 + 0,000i & 0,000 + 0,000i \\ -456,93 + 447,12i & 1310,51 - 1183,50i & -528,41 + 516,94i & -325,16 + 219,44i \\ 0,000 + 0,000i & -528,41 + 516,94i & 528,41 - 516,94i & 0,00 + 0,00i \\ 0,000 + 0,000i & -325,16 + 219,44i & 0,00 + 0,00i & 325,16 - 219,44i \end{bmatrix} \text{ p.u.}$$

Στο σημείο αυτό θα δειχθεί ενδεικτικά ο υπολογισμός ενός στοιχείου της μήτρας αγωγιμοτήτων Y (στοιχείο Y_{12}).

$$Y_{ij} = -y_{ij} = -R_{ij}^{-1} \rightarrow Y_{12} = -R_{12}^{-1} = -[(1,3531 + 1,3235i)/1210]^{-1} = (-456,93 + 447,12i) \text{ p.u.}$$

Όπου, R_{ij} είναι η σύνθετη αντίσταση της γραμμής από τον ζυγό i στον ζυγό j . Η αντίσταση αυτή δίνεται στον Πίνακα 6.1 σε Ohm για αυτό το λόγο διαιρείται με την βασική αντίσταση (1210 Ω), με σκοπό να υπολογιστεί η α.μ. τιμή της.

Για την εφαρμογή της αναλυτικής μεθόδου είναι απαραίτητη η εύρεση της μήτρας αντιστάσεων (Z bus). Η μήτρα αυτή προκύπτει από τη μήτρα αγωγιμοτήτων Y αν αφαιρεθεί από αυτήν η πρώτη γραμμή και η πρώτη στήλη και έπειτα αντιστραφεί. Σε ένα ακτινικό δίκτυο, όπως αυτό που εξετάζεται, η μήτρα αγωγιμοτήτων είναι μη αντιστρέψιμη λόγω γραμμικής εξάρτησης. Κατά συνέπεια αφαιρείται η πρώτη γραμμή και η πρώτη στήλη για να υπάρξει γραμμική ανεξαρτησία και να μπορέσει να αντιστραφεί ο πίνακας. Έτσι, πάντα, η μήτρα Z θα είναι κατά ένα βαθμό μικρότερη από την μήτρα Y . Από τα παραπάνω για το δίκτυο που εξετάζεται προκύπτει:

$$Z = \begin{bmatrix} 1310,51-1183,50i & -528,41+516,94i & -325,16+219,44i \\ -528,41+516,94i & 528,41-516,94i & 0,00+0,00i \\ -325,16+219,44i & 0,00+0,00i & 325,16-219,44i \end{bmatrix}^{-1} \text{ p.u.} \Rightarrow$$

$$Z = \begin{bmatrix} 0,0011+0,0011i & 0,0011+0,0011i & 0,0011+0,0011i \\ 0,0011+0,0011i & 0,0021+0,0020i & 0,0011+0,0011i \\ 0,0011+0,0011i & 0,0011+0,0011i & 0,0032+0,0025i \end{bmatrix} \text{ p.u.}$$

Οι εξισώσεις ρών φορτίου προκύπτουν σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε στην Ενότητα 3.2:

- Ροή ενεργού ισχύος στο ζυγό 2:

$$P_{G2}-P_{D2}=V_2^2 \cdot G_{22}-V_2 \cdot (V_1 \cdot \alpha_{21}+V_3 \cdot \alpha_{23}+V_4 \cdot \alpha_{24}) \quad (6.1)$$

$$Q_{G2}-Q_{D2}=-V_2^2 \cdot B_{22}-V_2 \cdot (V_1 \cdot \beta_{21}+V_3 \cdot \beta_{23}+V_4 \cdot \beta_{24}) \quad (6.2)$$

$$\alpha_{21}=-G_{21} \cdot \cos(\delta_2-\delta_1)-B_{21} \cdot \sin(\delta_2-\delta_1)=456,93 \cdot \cos(\delta_2)-447,12 \cdot \sin(\delta_2)$$

$$\alpha_{23}=-G_{23} \cdot \cos(\delta_2-\delta_3)-B_{23} \cdot \sin(\delta_2-\delta_3)=528,41 \cdot \cos(\delta_2-\delta_3)-516,94 \cdot \sin(\delta_2-\delta_3)$$

$$\alpha_{24}=-G_{24} \cdot \cos(\delta_2-\delta_4)-B_{24} \cdot \sin(\delta_2-\delta_4)=325,16 \cdot \cos(\delta_2-\delta_4)-219,44 \cdot \sin(\delta_2-\delta_4)$$

$$\beta_{21}=-G_{21} \cdot \sin(\delta_2-\delta_1)+B_{21} \cdot \cos(\delta_2-\delta_1)=456,93 \cdot \sin(\delta_2)+447,12 \cdot \cos(\delta_2)$$

$$\beta_{23}=-G_{23} \cdot \sin(\delta_2-\delta_3)+B_{23} \cdot \cos(\delta_2-\delta_3)=528,41 \cdot \sin(\delta_2-\delta_3)+516,94 \cdot \cos(\delta_2-\delta_3)$$

$$\beta_{24}=-G_{24} \cdot \sin(\delta_2-\delta_4)+B_{24} \cdot \cos(\delta_2-\delta_4)=325,16 \cdot \sin(\delta_2-\delta_4)+219,44 \cdot \cos(\delta_2-\delta_4)$$

Επομένως, οι δύο εξισώσεις ροής φορτίου για το ζυγό 2 είναι:

$$(6.1) \Rightarrow -0,441=1310,51 \cdot V_2^2-V_2 \cdot [456,93 \cdot \cos(\delta_2)-447,12 \cdot \sin(\delta_2)] +$$

$$V_2 \cdot V_3 \cdot [528,41 \cdot \cos(\delta_2-\delta_3)-516,94 \cdot \sin(\delta_2-\delta_3)] +$$

$$V_2 \cdot V_4 \cdot [325,16 \cdot \cos(\delta_2-\delta_4)-219,44 \cdot \sin(\delta_2-\delta_4)] \quad (6.3)$$

$$(6.2) \Rightarrow$$

$$-0,44991=1183,50 \cdot V_2^2-V_2 \cdot [456,93 \cdot \sin(\delta_2)+447,12 \cdot \cos(\delta_2)] +$$

$$V_2 \cdot V_3 \cdot [528,41 \cdot \sin(\delta_2-\delta_3)+516,94 \cdot \cos(\delta_2-\delta_3)] +$$

$$V_2 \cdot V_4 \cdot [325,16 \cdot \sin(\delta_2-\delta_4)+219,44 \cdot \cos(\delta_2-\delta_4)] \quad (6.4)$$

- Ροή ενεργού ισχύος στο ζυγό 3:

$$P_{G3}-P_{D3}=V_3^2 \cdot G_{33}-V_3 \cdot (V_2 \cdot \alpha_{32}) \quad (6.5)$$

$$Q_{G3}-Q_{D3}=-V_3^2 \cdot B_{33}-V_3 \cdot (V_2 \cdot \beta_{32}) \quad (6.6)$$

$$(6.5) \Rightarrow$$

$$-0,7=528,41 \cdot V_3^2-V_3 \cdot V_2 \cdot [528,41 \cdot \cos(\delta_3-\delta_2)-516,94 \cdot \sin(\delta_3-\delta_2)] \quad (6.7)$$

$$(6.6) \Rightarrow$$

$$-0,714143=516,94 \cdot V_3^2-V_3 \cdot V_2 \cdot [528,41 \cdot \sin(\delta_3-\delta_2)+516,94 \cdot \cos(\delta_3-\delta_2)] \quad (6.8)$$

- Ροή ενεργού ισχύος στο ζυγό 4:

$$P_{G4}-P_{D4}=V_4^2 \cdot G_{44}-V_4 \cdot (V_2 \cdot \alpha_{42}) \quad (6.9)$$

$$Q_{G4}-Q_{D4}=-V_4^2 \cdot B_{44}-V_4 \cdot (V_2 \cdot \beta_{42}) \quad (6.10)$$

$$(6.9) \Rightarrow$$

$$-1,4=325,16 \cdot V_4^2-V_4 \cdot V_2 \cdot [325,16 \cdot \cos(\delta_4-\delta_2)-219,44 \cdot \sin(\delta_4-\delta_2)] \quad (6.11)$$

$$(6.10) \Rightarrow$$

$$-1,428286=219,44 \cdot V_4^2-V_4 \cdot V_2 \cdot [325,16 \cdot \sin(\delta_4-\delta_2)+219,44 \cdot \cos(\delta_4-\delta_2)] \quad (6.12)$$

Αφού το σύστημα αποτελείται από 3 ζυγούς φορτίου, το διάνυσμα κατάστασης \mathbf{x} αποτελείται από τις ακόλουθες 6 μεταβλητές:

$$\mathbf{x}_{\square} = \begin{bmatrix} \delta \\ \mathbf{V} \end{bmatrix} \quad \text{όπου} \quad \delta = [\delta_2, \delta_3, \delta_4]^T \quad \mathbf{V} = [V_2, V_3, V_4]^T$$

Για τη λύση του προβλήματος ροών φορτίου με 6 αγνώστους, χρειάζονται 6 εξισώσεις, οι οποίες είναι οι εξισώσεις (6.3), (6.4), (6.7), (6.8), (6.11) και (6.12).

Στην υλοποίηση της εφαρμογής, για την επίλυση του προβλήματος ροών φορτίου, χρησιμοποιείται η μέθοδος Newton-Raphson και εφαρμόστηκε σε περιβάλλον Matlab, όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 3.3.1 και τα αποτελέσματά της φαίνονται στους Πίνακες 6.2 και 6.3.

Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος, όσον αφορά τους ζυγούς, πριν την τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.

Αποτελέσματα ροών φορτίου						
Αριθμός ζυγού	Μέτρο τάσης (pu)	Γωνία τάσης (μοίρες)	Φορτίο (kW)	Φορτίο (kVAr)	Παραγωγή (kW)	Παραγωγή (kVAr)
1	1	0	0	0	256,561	261,380
2	0,9943	0,0067	44,1	44,991	0	0
3	0,9929	0,0083	70	71,414	0	0
4	0,9892	0,0662	140	142,829	0	0
Σύνολο:			254,1	259,234	256,561	261,380

Πίνακας 6.3: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος, όσον αφορά τις γραμμές και τις απώλειες, πριν την τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.

Ροές γραμμών και απώλειες						
Από ζυγό	Προς ζυγό	Ροή ισχύος (kW)	Ροή ισχύος (kVAr)	Ροή ισχύος (kVA)	Απώλειες (kW)	Απώλειες (kVAr)
1	2	256,562	261,380	366,256	1,500	1,468
2	1	-255,062	-259,913	364,158	1,500	1,468
2	3	70,0981	71,510	100,137	0,098	0,096
3	2	-70	-71,414	100	0,098	0,096
2	4	140,8639	143,411	201,021	0,864	0,583
4	2	-140	-142,829	200	0,864	0,583
Σύνολο:					2,462	2,146

Από τον Πίνακα 6.3 φαίνεται ότι, οι αρχικές απώλειες ενεργού ισχύος του δικτύου 4 ζυγών είναι 2,462 kW.

6.2.3 Καθορισμός βέλτιστης θέσης και μεγέθους παραγωγής μίας μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής.

6.2.3.1 Προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος

Εφαρμόζεται η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 4 χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που προέκυψαν από τη βασική ροή φορτίου της Ενότητας 6.2.2. Αρχικά υπολογίζονται οι παράγοντες απωλειών από τις σχέσεις:

$$A_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i \cdot V_j} \cos(\delta_i - \delta_j) \quad (6.13)$$

$$B_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i \cdot V_j} \sin(\delta_i - \delta_j) \quad (6.14)$$

Στις εξισώσεις (6.13) και (6.14), V_i είναι το μέτρο της τάσης σε α.μ. κάθε ζυγού, δ_i η γωνία της τάσης σε μοίρες και r_{ij} το στοιχείο ij της μήτρας αντιστάσεων (Z) σε α.μ. Οι παράγοντες απωλειών A_{ij} και B_{ij} , που χρησιμοποιούνται στην προτεινόμενη αναλυτική μέθοδο, είναι διαφορετικοί από τους συντελεστές α και β που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση ροών φορτίου που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3. Ενδεικτικά παρουσιάζεται ο υπολογισμός των στοιχείων A_{23} και B_{23} .

$$A_{23} = \frac{r_{23}}{V_2 \cdot V_3} \cos(\delta_2 - \delta_3) = \frac{0,0011}{0,9943 \cdot 0,9929 \cdot 100} \cos(0,0067^\circ - 0,0083^\circ) = 1,11422 \cdot 10^{-5} \text{ kVA}^{-1} \quad (6.13) \xrightarrow{i=2, j=3}$$

$$B_{23} = \frac{r_{23}}{V_2 \cdot V_3} \sin(\delta_2 - \delta_3) = \frac{0,0011}{0,9943 \cdot 0,9929 \cdot 100} \sin(0,0067^\circ - 0,0083^\circ) = -3,11148 \cdot 10^{-10} \text{ kVA}^{-1} \quad (6.14) \xrightarrow{i=2, j=3}$$

Οι παράγοντες απωλειών για κάθε i και κάθε j από 2 έως 4 παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.4 και 6.5

Πίνακας 6.4: Παράγοντας A_{ij} για τον υπολογισμό της βέλτιστης ΜΔΠ με την προτεινόμενη αναλυτική μέθοδο (μονάδα μέτρησης kVA^{-1}) στο δίκτυο 4 ζυγών.

Αριθμός Ζυγού i / Αριθμός Ζυγού j	2	3	4
2	$1,11265 \cdot 10^{-5}$	$1,11422 \cdot 10^{-5}$	$1,11838 \cdot 10^{-5}$
3	$1,11422 \cdot 10^{-5}$	$2,13014 \cdot 10^{-5}$	$1,11996 \cdot 10^{-5}$
4	$1,11838 \cdot 10^{-5}$	$1,11996 \cdot 10^{-5}$	$3,27026 \cdot 10^{-5}$

Πίνακας 6.5: Παράγοντας B_{ij} για τον υπολογισμό της βέλτιστης ΜΔΠ με την προτεινόμενη αναλυτική μέθοδο (μονάδα μέτρησης kVA^{-1}) στο δίκτυο 4 ζυγών.

Αριθμός Ζυγού i / Αριθμός Ζυγού j	2	3	4
2	0	$-3,11148 \cdot 10^{-10}$	$-1,16141 \cdot 10^{-8}$
3	$3,11148 \cdot 10^{-10}$	0	$-1,13177 \cdot 10^{-8}$
4	$1,16141 \cdot 10^{-8}$	$1,13177 \cdot 10^{-8}$	0

Η βέλτιστη παραγωγή ενεργού ισχύος για κάθε ζυγό πλην του ζυγού αναφοράς του συστήματος θα δίνεται από τη σχέση:

$$P_{DG}(i) = P_D(i) - \frac{1}{A_{ii}} \sum_{j=2, j \neq i}^N (A_{ij} P_j - B_{ij} Q_j) \quad (6.15)$$

Όπου, P_{Di} είναι η μέγιστη ζήτηση ενεργού ισχύος που υπάρχει στο ζυγό i και P_{DGi} η παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ στο ζυγό i . Επίσης, P_i και Q_i είναι η ενεργός και άεργος ισχύς που εγχέεται στο ζυγό i , αντίστοιχα.

Για να εξηγηθεί καλύτερα ο υπολογισμός φαντάζει βολικότερο να υπολογισθεί ο παράγοντας $\sum_{j=2, j \neq i}^N (A_{ij}P_j - B_{ij}Q_j)$ της εξίσωσης (6.15) για κάθε i από 2 έως 4. Αυτό σημαίνει πως, για να υπολογιστεί, π.χ. το $P_{DG}(2)$, θεωρείται i σταθερό και ίσο με 2 και για τις δυνατές τιμές του j υπολογίζεται το παραπάνω άθροισμα. Παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα αυτού του υπολογισμού:

$$\begin{aligned} \sum_{j=2, j \neq 2}^4 (A_{2j}P_j - B_{2j}Q_j) &= (A_{23}P_3 - B_{23}Q_3) + (A_{24}P_4 - B_{24}Q_4) \\ &= [(1,11265 \cdot 10^{-5})(-70) - (-3,11148 \cdot 10^{-10})(-71,4143)] \\ &\quad + [(1,11422 \cdot 10^{-5})(-140) - (-1,16141 \cdot 10^{-8})(-142,829)] = -0,00235 \end{aligned}$$

Συνολικά, ο υπολογισμός του παράγοντα και για τους τρεις ζυγούς, δηλαδή για i από 2 έως 4, παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.6.

Πίνακας 6.6: Παράγοντας $\sum_{j=1, j \neq i}^N (A_{ij}P_j - B_{ij}Q_j)$ για τον υπολογισμό της βέλτιστης ΜΔΠ με την προτεινόμενη αναλυτική μέθοδο στο δίκτυο 4 ζυγών.

i	$\sum_{j=1, j \neq i}^N (A_{ij}P_j - B_{ij}Q_j)$
2	-0,00235
3	-0,00206
4	-0,00128

Αφού έχουν υπολογιστεί τα παραπάνω με απλή αντικατάσταση υπολογίζεται το βέλτιστο μέγεθος διεσπαρμένης παραγωγής για κάθε ζυγό του δικτύου από την εξίσωση (6.15). Ενδεικτικά, παρουσιάζεται ο υπολογισμός για το δεύτερο ζυγό, δηλαδή για $i=2$:

$$(6.15) \stackrel{i=2}{\Rightarrow} P_{DG}(2) = P_D(2) - \frac{1}{A_{22}} \sum_{j=2, j \neq 2}^4 (A_{2j}P_j - B_{2j}Q_j) = 44,1 - \frac{1}{1,11265 \cdot 10^{-5}} * (-0,00235) = 255,0715 \text{ kW}$$

Η βέλτιστη παραγωγή για κάθε ζυγό του δικτύου του παραδείγματος που προκύπτει από τους παραπάνω υπολογισμούς παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.7:

Πίνακας 6.7: Βέλτιστο μέγεθος μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής για κάθε ζυγό όπως βρέθηκε με την προτεινόμενη αναλυτική μέθοδο στο δίκτυο 4 ζυγών.

Ζυγός (i)	Ονομαστική Ισχύς ΜΔΠ $P_{DG}(i)$ σε kW
2	255,0715
3	166,7503
4	179,0137

Τώρα που είναι γνωστά τα βέλτιστα μεγέθη ΜΔΠ, είναι επιθυμητό να υπολογιστεί η βέλτιστη θέση τοποθέτησης από τη στιγμή που ενδιαφέρει η μεγαλύτερη μείωση απωλειών. Η μέθοδος προβλέπει την τοποθέτηση μίας παραγωγής ανά δοκιμή στο σύστημα και των υπολογισμό των απωλειών ενεργού ισχύος του δικτύου για κάθε δοκιμή. Χρησιμοποιείται η εξίσωση (4.1) που αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 4 ως ακριβής σχέση υπολογισμού των απωλειών (exact loss formula). Επιλέγεται σαν καταλληλότερη θέση τοποθέτησης ΜΔΠ ο ζυγός i που κατά τη δοκιμή της αντίστοιχης του ΜΔΠ θα προκύπτουν οι λιγότερες απώλειες ενεργού ισχύος. Υπενθυμίζεται, σε αυτό το σημείο, η ακριβής σχέση υπολογισμού των απωλειών της Ενότητας 4.2.

$$P_L(\kappa) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [A_{ij} (P_i P_j + Q_i Q_j) + B_{ij} (Q_i P_j - P_i Q_j)] \quad (6.16)$$

Παρακάτω παρατίθεται ο υπολογισμός των απωλειών για την εγκατάσταση της ΜΔΠ 255,0715 kW που βρέθηκε με την αναλυτική μέθοδο για το δεύτερο ζυγό. Η έγχυση ενεργού ισχύος στο ζυγό 2 θα είναι:

$$P_2 = P_{DG}(2) - P_D(2) = 255,017 - 44,1 = 210,9715 \text{ kW}$$

Έτσι προκύπτει,

$$\begin{aligned} (6.16) \stackrel{\kappa=2}{\Rightarrow} P_L(2) &= \sum_{i=2}^4 \sum_{j=2}^4 [A_{ij} (P_i P_j + Q_i Q_j) + B_{ij} (Q_i P_j - P_i Q_j)] = \\ & [A_{22} (P_2 P_2 + Q_2 Q_2) + B_{22} (Q_2 P_2 - P_2 Q_2)] + [A_{23} (P_2 P_3 + Q_2 Q_3) + B_{23} (Q_2 P_3 - P_2 Q_3)] \\ & + [A_{24} (P_2 P_4 + Q_2 Q_4) + B_{24} (Q_2 P_4 - P_2 Q_4)] + [A_{32} (P_3 P_2 + Q_3 Q_2) + B_{32} (Q_3 P_2 - P_3 Q_2)] \\ & + [A_{33} (P_3 P_3 + Q_3 Q_3) + B_{33} (Q_3 P_3 - P_3 Q_3)] + [A_{34} (P_3 P_4 + Q_3 Q_4) + B_{34} (Q_3 P_4 - P_3 Q_4)] \\ & + [A_{42} (P_4 P_2 + Q_4 Q_2) + B_{42} (Q_4 P_2 - P_4 Q_2)] + [A_{43} (P_4 P_3 + Q_4 Q_3) + B_{43} (Q_4 P_3 - P_4 Q_3)] \\ & + [A_{44} (P_4 P_4 + Q_4 Q_4) + B_{44} (Q_4 P_4 - P_4 Q_4)] \\ & = 0,51775036 - 0,128759 - 0,25888 - 0,1287535 + 0,2130141 + 0,223992 - 0,2588817 \\ & + 0,2239922 + 1,308103 = 1,711581 \text{ kW} \end{aligned}$$

Προκύπτει ότι, οι απώλειες ενεργού ισχύος είναι 1,711581 kW όταν η ΜΔΠ εγκαθίσταται στο ζυγό 2.

Όμοια με του παραπάνω υπολογισμούς και θεωρώντας ΜΔΠ με μέγεθος ίσο με αυτό που βρέθηκε στον Πίνακα 6.7 για κάθε ζυγό i από του εναπομείναντες δύο υπολογίζονται οι αντίστοιχες απώλειες ενεργού ισχύος από την εξίσωση (6.16) και παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.8.

Πίνακας 6.8: Υπολογισμός απωλειών με την προτεινόμενη μέθοδο για κάθε μία από τις πιθανές εγκαταστάσεις διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο 4 ζυγών.

Ζυγός (κ)	Απώλειες Ενεργού Ισχύος $P_L(\kappa)$ σε kW
2	1,712
3	1,843
4	1,388

Από τον Πίνακα 6.8 προκύπτει ότι οι χαμηλότερες απώλειες ενεργού ισχύος υπολογίζονται για την εγκατάσταση της ΜΔΠ του ζυγού 4. Πρόκειται για την ΜΔΠ ονομαστικής ισχύος 179,0317 kW όπως προκύπτει από τον Πίνακα 6.7 .

Το τελευταίο βήμα είναι να τοποθετηθεί η ΜΔΠ που βρέθηκε προηγουμένως και να υπολογιστούν οι απώλειες με ακρίβεια με τη βοήθεια της ανάλυσης ροής φορτίου.

Η μόνη εξίσωση που αλλάζει, σε σχέση με την Ενότητα 6.2.2 είναι η εξίσωση ενεργού ισχύος στο ζυγό 4.

- Εξίσωση ενεργού ισχύος για το ζυγό 4

$$P_{DG4}-P_{D4}=179,0137-140=39,0137 \text{ kW}$$

$$(6.9) \Rightarrow$$

$$0,3901374=325,16 \cdot V_4^2 - V_4 \cdot V_2 \cdot [325,16 \cdot \cos(\delta_4 - \delta_2) - 219,44 \sin(\delta_4 - \delta_2)] \quad (6.17)$$

Για τη λύση του προβλήματος ροών φορτίου με 6 αγνώστους, χρειάζονται 6 εξισώσεις, οι οποίες είναι οι εξισώσεις (6.3), (6.4), (6.7), (6.8), (6.17) και (6.12).

Στην υλοποίηση της εφαρμογής, για την επίλυση του προβλήματος ροών φορτίου, χρησιμοποιείται και πάλι η μέθοδος Newton-Raphson και εφαρμόστηκε σε περιβάλλον Matlab, όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 3.3.1 και τα αποτελέσματά της φαίνονται στους Πίνακες 6.9 και 6.10.

Πίνακας 6.9: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος, όσον αφορά τους ζυγούς, μετά την τοποθέτηση μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής 179,0317 kW που υπολογίστηκε με την αναλυτική μέθοδο.

Αποτελέσματα ροών φορτίου						
Αριθμός ζυγού	Μέτρο τάσης (pu)	Γωνία τάσης (μοίρες)	Φορτίο (kW)	Φορτίο (kVAr)	Παραγωγή (kW)	Παραγωγή (kVAr)
1	1	0	0	0	76,458	260,451
2	0,9963	0,1194	44,1	44,991	0	0
3	0,9949	0,1210	70	71,414	0	0
4	0,9951	0,3259	140	142,829	179,032	0
Σύνολο:			254,1	259,234	255,489	260,451

Πίνακας 6.10: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος, όσον αφορά τις γραμμές και τις απώλειες, μετά την τοποθέτηση μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής 179,0317 kW που υπολογίστηκε με την αναλυτική μέθοδο στο δίκτυο 4 ζυγών.

Ροές γραμμών και απώλειες						
Από ζυγό	Προς ζυγό	Ροή ισχύος (kW)	Ροή ισχύος (kVAr)	Ροή ισχύος (kVA)	Απώλειες (kW)	Απώλειες (kVAr)
1	2	76,458	260,451	271,442	0,824	0,806
2	1	-75,634	-259,645	270,437	0,824	0,806
2	3	70,0981	71,510	100,137	0,098	0,096
3	2	-70	-71,414	100	0,098	0,096
2	4	-38,564	143,144	148,248	0,468	0,316
4	2	-140	-142,829	148,066	0,468	0,316
Σύνολο:					1,389	1,217

Προκύπτει ότι οι ακριβείς απώλειες ενεργού ισχύος, με τη βοήθεια της ανάλυσης ροής φορτίου, είναι 1,389 kW. Επιτεύχθηκε, κατά συνέπεια, μία μείωση κατά 1,073 kW που είναι της τάξης του 43,58% σε σχέση με τις αρχικές απώλειες που ήταν 2,462 kW. Επιπλέον, παρατηρείται μείωση των απωλειών άεργου ισχύος καθώς και βελτίωση των τάσεων σε όλους τους ζυγούς του δικτύου όπως φαίνεται συγκρίνοντας τους Πίνακες 6.2 και 6.9.

6.2.3.2 Εξαντλητική Μέθοδος

Σε αυτήν την περίπτωση οι υπολογισμοί είναι πιο ακριβείς αλλά η μέθοδος είναι αρκετά πιο χρονοβόρα (και σε υπολογισμούς «με το χέρι» και στον υπολογιστή) καθώς απαιτούνται πολλαπλές ροές φορτίου. Η διαδικασία μέχρι και τον υπολογισμό των βέλτιστων ΜΔΠ ενεργού ισχύος για κάθε ζυγό είναι ίδια με την προτεινόμενη αναλυτική μέθοδο. Αυτό σημαίνει ότι τα βέλτιστα μεγέθη ΜΔΠ $P_{DG}(i)$ είναι αυτά του Πίνακα 6.7. Αυτή είναι η ιδανική τιμή παραγωγής αλλά για να βρεθεί η ακριβέστερη τιμή, όπως προβλέπει η εξαντλητική μέθοδος, απαιτείται να υπολογιστούν οι ακριβείς τιμές των παραγόντων απωλειών A_{ij} και B_{ij} και στη συνέχεια να υπολογιστούν οι ακριβείς τιμές των ΜΔΠ από την εξίσωση (6.15). Οι τιμές των παραγόντων απωλειών εξαρτώνται όπως δείχτηκε στην Υποενότητα 6.2.3.1 από τις τιμές της τάσης και της γωνίας σε κάθε ζυγό του δικτύου. Κατά συνέπεια απαιτούνται νέοι υπολογισμοί ροών φορτίων για κάθε ζυγό i με δεδομένη κάθε φορά την ΜΔΠ $P_{DG}(i)$ που βρέθηκε στην Υποενότητα 6.2.3.1 και αφορούσε την προτεινόμενη αναλυτική μέθοδο.

Θα δειχθεί ο υπολογισμός για $i=2$, δηλαδή για την εγκατάσταση ΜΔΠ στο δεύτερο ζυγό του δικτύου. Το μέγεθος της παραγωγής έχει υπολογιστεί στον Πίνακα 6.7 και είναι της τάξης των 255,07 kW. Θεωρείται παραγωγή αυτού του μεγέθους στο ζυγό 2 και υπολογίζεται η αντίστοιχη ροή φορτίου. Η εξίσωση που αλλάζει από τη βασική ροή φορτίου είναι εκείνη της ενεργού ισχύος για το ζυγό 2. Έτσι προκύπτει:

$$P_2 = P_{DG}(2) - P_D(2) = 255,017 - 44,1 = 210,9715 \text{ kW}$$

- Εξίσωση ενεργού ισχύος στο ζυγό 2:

$$(6.1) \Rightarrow$$

$$2,109715=1310,51 \cdot V_2^2 - V_2 \cdot [456,93 \cdot \cos(\delta_2) - 447,12 \cdot \sin(\delta_2)] +$$

$$V_2 \cdot V_3 \cdot [528,41 \cdot \cos(\delta_2 - \delta_3) - 516,94 \cdot \sin(\delta_2 - \delta_3)] +$$

$$V_2 \cdot V_4 \cdot [325,16 \cdot \cos(\delta_2 - \delta_4) - 219,44 \cdot \sin(\delta_2 - \delta_4)] \quad (6.18)$$

Για τη λύση του προβλήματος ρών φορτίου με 6 αγνώστους, χρειάζονται 6 εξισώσεις, οι οποίες είναι οι εξισώσεις (6.18), (6.4), (6.7), (6.8), (6.11) και (6.12).

Στην υλοποίηση της εφαρμογής, για την επίλυση του προβλήματος ρών φορτίου, χρησιμοποιείται και πάλι η μέθοδος Newton-Raphson και εφαρμόστηκε σε περιβάλλον Matlab, όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 3.3.1 και τα αποτελέσματά της φαίνονται στους Πίνακες 6.11 και 6.12.

Πίνακας 6.11: Αποτελέσματα ανάλυσης ρών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος, όσον αφορά τους ζυγούς, μετά την τοποθέτηση μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής 255,017 kW στο ζυγό 2 στα πλαίσια της εξαντλητικής μεθόδου.

Αποτελέσματα ρών φορτίου						
Αριθμός ζυγού	Μέτρο τάσης (pu)	Γωνία τάσης (μοίρες)	Φορτίο (kW)	Φορτίο (kVAr)	Παραγωγή (kW)	Παραγωγή (kVAr)
1	1	0	0	0	0,744	260,652
2	0,9971	0,1670	44,1	44,991	255,071	0
3	0,9958	0,1686	70	71,414	0	0
4	0,9921	0,2261	140	142,829	0	0
Σύνολο:			254,1	259,234	255,816	260,652

Πίνακας 6.12: Αποτελέσματα ανάλυσης ρών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος, όσον αφορά τις γραμμές και τις απώλειες, μετά την τοποθέτηση μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής 255,017 kW στο ζυγό 2 στα πλαίσια της εξαντλητικής μεθόδου.

Ροές γραμμών και απώλειες						
Από ζυγό	Προς ζυγό	Ροή ισχύος (kW)	Ροή ισχύος (kVAr)	Ροή ισχύος (kVA)	Απώλειες (kW)	Απώλειες (kVAr)
1	2	0,744	260,652	260,653	0,760	0,743
2	1	0,015	-259,909	259,909	0,760	0,743
2	3	70,098	71,510	100,136	0,098	0,095
3	2	-70	-71,414	100	0,098	0,095
2	4	140,859	143,408	201,015	0,859	0,580
4	2	-140	-142,829	200	0,859	0,580
Σύνολο:					1,716	1,418

Γνωρίζοντας τις τιμές των τάσεων και των γωνιών σε κάθε ζυγό μπορούν να υπολογιστούν οι ακριβείς τιμές των παραγόντων απωλειών A_{ij} και B_{ij} . Ενδεικτικός υπολογισμός έχει πραγματοποιηθεί στην Υποενότητα 6.2.3.1. Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, δηλαδή από τις εξισώσεις (6.13) και (6.14), προκύπτουν οι τιμές για τη συγκεκριμένη περίπτωση και παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.13 και 6.14.

Πίνακας 6.13: Παράγοντας A_{ij} για τον υπολογισμό της βέλτιστης παραγωγής με την εξαντλητική μέθοδο για την εγκατάσταση στο ζυγό 2 (μονάδα μέτρησης kVA^{-1}) στο δίκτυο 4 ζυγών.

Αριθμός Ζυγού i/ Αριθμός Ζυγού j	2	3	4
2	$1,10663 \cdot 10^{-5}$	$1,10774 \cdot 10^{-5}$	$1,11221 \cdot 10^{-5}$
3	$1,10774 \cdot 10^{-5}$	$2,1169 \cdot 10^{-5}$	$1,11332 \cdot 10^{-5}$
4	$1,11221 \cdot 10^{-5}$	$1,11332 \cdot 10^{-5}$	$3,25182 \cdot 10^{-5}$

Πίνακας 6.14: Παράγοντας B_{ij} για τον υπολογισμό της βέλτιστης παραγωγής με την εξαντλητική μέθοδο για την εγκατάσταση στο ζυγό 2 (μονάδα μέτρησης kVA^{-1}) στο δίκτυο 4 ζυγών.

Αριθμός Ζυγού i/ Αριθμός Ζυγού j	2	3	4
2	0	$-3,86675 \cdot 10^{-10}$	$-1,14529 \cdot 10^{-8}$
3	$3,86675 \cdot 10^{-10}$	0	$-1,10758 \cdot 10^{-8}$
4	$1,14529 \cdot 10^{-8}$	$1,10758 \cdot 10^{-8}$	0

Με τις τιμές των παραγόντων απωλειών γνωστές μπορεί να υπολογιστεί ο παράγοντας $\sum_{j=2, j \neq 2}^4 (A_{2j}P_j - B_{2j}Q_j)$ όπως δείχθηκε στην Υποενότητα 6.2.3.1

$$\sum_{j=2, j \neq 2}^4 (A_{2j}P_j - B_{2j}Q_j) = (A_{23}P_3 - B_{23}Q_3) + (A_{24}P_4 - B_{24}Q_4) = -0,002334$$

Έπειτα, υπολογίζεται η αναβαθμισμένη τιμή της ΜΔΠ για το ζυγό 2 του δικτύου από την εξίσωση (6.15).

$$(6.15) \stackrel{i=2}{\Rightarrow} P'_{DG}(2) = P_D(2) - \frac{1}{A_{22}} \sum_{j=2, j \neq 2}^4 (A_{2j}P_j - B_{2j}Q_j) = 44,1 - \frac{1}{1,10663 \cdot 10^{-5}} * (-0,002334) = 255,0262 \text{ kW}$$

Βρέθηκε ότι η ακριβής τιμή $P'_{DG}(2)$ είναι ίση με 255,0262 kW. Με την ίδια υπολογιστική διαδικασία που ακολουθήθηκε για το ζυγό 2 υπολογίζονται οι ακριβείς τιμές των ΜΔΠ και για τους υπόλοιπους ζυγούς του δικτύου και παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.15.

Πίνακας 6.15: Ακριβές βέλτιστο μέγεθος μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής για κάθε ζυγό όπως βρέθηκε με την εξαντλητική μέθοδο στο δίκτυο 4 ζυγών.

Ζυγός (i)	Ονομαστική Ισχύς ΜΔΠ $P'_{DG}(i)$ σε kW
2	255,0262
3	166,7221
4	179,0628

Οι ακριβείς τιμές των ΜΔΠ εγκαθίστανται κάθε μία με τη σειρά της σε κάθε δοκιμή και αφού βρεθούν οι ακριβείς απώλειες ενεργού ισχύος σε κάθε δοκιμή, με την βοήθεια της ροής φορτίου, επιλέγεται σαν βέλτιστη η ΜΔΠ με τις λιγότερες συνολικές απώλειες ισχύος. Ενδεικτικά παρουσιάζεται ο υπολογισμός για τον ζυγό 2.

$$P_2 = P'_{DG}(2) - P_D(2) = 255,0262 - 44,1 = 210,9262 \text{ kW}$$

- Εξίσωση ενεργού ισχύος για το ζυγό 2:

$$\begin{aligned}
 (6.1) \Rightarrow \\
 2,109262 = & 1310,51 \cdot V_2^2 - V_2 \cdot [456,93 \cdot \cos(\delta_2) - 447,12 \cdot \sin(\delta_2)] \\
 & + V_2 \cdot V_3 \cdot [528,41 \cdot \cos(\delta_2 - \delta_3) - 516,94 \cdot \sin(\delta_2 - \delta_3)] \\
 & + V_2 \cdot V_4 \cdot [325,16 \cdot \cos(\delta_2 - \delta_4) - 219,44 \cdot \sin(\delta_2 - \delta_4)] \quad (6.19)
 \end{aligned}$$

Για τη λύση του προβλήματος ροών φορτίου με 6 αγνώστους, χρειάζονται 6 εξισώσεις, οι οποίες είναι οι εξισώσεις (6.19), (6.4), (6.7), (6.8), (6.11) και (6.12).

Στην υλοποίηση της εφαρμογής, για την επίλυση του προβλήματος ροών φορτίου, χρησιμοποιείται και πάλι η μέθοδος Newton-Raphson και εφαρμόστηκε σε περιβάλλον Matlab, όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 3.3.1 και τα αποτελέσματά της φαίνονται στους Πίνακες 6.16 και 6.17.

Πίνακας 6.16: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος, όσον αφορά τους ζυγούς, μετά την τοποθέτηση της ακριβούς τιμής μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής 255,0262 kW στο ζυγό 2 στα πλαίσια της εξαντλητικής μεθόδου.

Αποτελέσματα ροών φορτίου							
Αριθμός ζυγού	Μέτρο τάσης (pu)	Γωνία τάσης (μοίρες)	Φορτίο (kW)	Φορτίο (kVAr)	Παραγωγή (kW)	Παραγωγή (kVAr)	Έγχυση (kVAr)
1	1	0	0	0	0,789	260,652	0
2	0,9971	0,1669	44,1	44,991	255,026	0	0
3	0,9958	0,1686	70	71,414	0	0	0
4	0,9921	0,2261	140	142,829	0	0	0
Σύνολο:			254,1	259,234	255,816	260,652	0

Πίνακας 6.17: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος, όσον αφορά τις γραμμές και τις απώλειες, μετά την τοποθέτηση της ακριβούς τιμής μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής 255,0262 kW στο ζυγό 2 στα πλαίσια της εξαντλητικής μεθόδου.

Ροές γραμμών και απώλειες						
Από ζυγό	Προς ζυγό	Ροή ισχύος (kW)	Ροή ισχύος (kVAr)	Ροή ισχύος (kVA)	Απώλειες (kW)	Απώλειες (kVAr)
1	2	0,745	260,652	260,653	0,760	0,743
2	1	0,015	-259,909	259,909	0,760	0,743
2	3	70,098	71,510	100,136	0,098	0,095
3	2	-70	-71,414	100	0,098	0,095
2	4	140,859	143,408	201,015	0,859	0,580
4	2	-140	-142,829	200	0,859	0,580
Σύνολο:					1,716	1,418

Οι απώλειες ενεργού ισχύος είναι 1,716 kW για την εγκατάσταση της ΜΔΠ των 255,0262 kW (ακριβής τιμή) στο ζυγό 2. Με την ίδια υπολογιστική διαδικασία προκύπτουν και οι αντίστοιχες ακριβείς τιμές των ΜΔΠ για τους ζυγούς 3 και 4.

Πίνακας 6.18: Υπολογισμός απωλειών ενεργού ισχύος με την εξαντλητική μέθοδο για κάθε μία από τις πιθανές εγκαταστάσεις ΜΔΠ στο δίκτυο 4 ζυγών.

Ζυγός (κ)	Απώλειες Ενεργού Ισχύος P_L (κ) σε kW
2	1,716
3	1,850
4	1,389

Οι λιγότερες απώλειες ενεργού ισχύος βρέθηκαν για την εγκατάσταση ΜΔΠ που αντιστοιχεί στο ζυγό 4 και είναι της τάξης των 1,389 kW, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.18. Κατά συνέπεια επιλέγεται η ΜΔΠ του ζυγού 4, μεγέθους 179,0628 kW.

Είναι εμφανές πως τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις δύο μεθόδους (προτεινόμενη αναλυτική και εξαντλητική) είναι εξαιρετικά κοντά μεταξύ τους. Ως εκ τούτου η πρώτη μέθοδος που απαιτεί λιγότερους υπολογισμούς μπορεί να προτιμηθεί έναντι της δεύτερης. Συνοπτικά τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.19.

Πίνακας 6.19: Σύγκριση αποτελεσμάτων προτεινόμενης αναλυτικής και εξαντλητικής μεθόδου στο δίκτυο 4 ζυγών του αριθμητικού παραδείγματος.

	Προτεινόμενη Αναλυτική Μέθοδος	Εξαντλητική Μέθοδος
Βέλτιστη Θέση Μονάδας Διεσπαρμένης Παραγωγής (Ζυγός)	4	4
Βέλτιστο Μέγεθος Διεσπαρμένης Παραγωγής (kW)	179,0137	179,0628
Συνολικές Απώλειες Ενεργού Ισχύος Μετά την Εγκατάσταση ΜΔΠ (kW)	1,389	1,389

6.2.4 Καθορισμός βέλτιστης θέσης και μεγέθους παραγωγής πολλαπλών μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.

Στην ενότητα αυτή θα υπολογιστεί η ονομαστική ισχύς κάθε ΜΔΠ, όταν είναι επιθυμητό να τοποθετηθούν 3 ΜΔΠ, μία σε κάθε έναν από τους τρεις ζυγούς φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του Σχήματος 6.1. Αυτό επιτυγχάνεται τοποθετώντας σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου την επόμενη μονάδα θεωρώντας δεδομένη την προηγούμενη. Σημαντικό σημείο είναι ότι εκτελείται ο υπολογισμός ροή φορτίου τρεις φορές σε κάθε επανάληψη με σκοπό: Της πρώτης, τη βασική ροή φορτίου για κάθε επανάληψη για τον υπολογισμό της βέλτιστης θέσης και του βέλτιστου μεγέθους της ΜΔΠ που θα τοποθετηθεί. Της δεύτερης, την αναβάθμιση των μεγεθών όλων των ΜΔΠ που έχουν εγκατασταθεί στις προηγούμενες επαναλήψεις και της τρίτης, την αναβάθμιση της ΜΔΠ που εγκαταστάθηκε στην τρέχουσα επανάληψη, προσαρμοζόμενη στα δεδομένα που προέκυψαν κατά το δεύτερο βήμα της τρέχουσας επανάληψης.

6.2.4.1 Πρώτη Επανάληψη

Όπως αναλύθηκε στην Ενότητα 4.2.2, στα πλαίσια της επεξήγησης της μεθόδου τοποθέτησης πολλαπλών μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, ακολουθούνται τρία βήματα κατά την εφαρμογή της μεθόδου. Στην περίπτωση του δικτύου αναλυτικού παραδείγματος που είναι και αυτό που εξετάζεται στην παρούσα Υποενότητα, τα βήματα θα έχουν ως εξής:

Βήμα 1^ο

Στο βήμα 1, για κάθε επανάληψη, όλες οι προηγούμενες τοποθετήσεις ΜΔΠ θεωρούνται δεδομένες. Έπειτα, η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος εκτελείται θεωρώντας σαν δίκτυο προς εφαρμογή της μεθόδου αυτό που προέκυψε στις προηγούμενες επαναλήψεις. Στο πρώτο βήμα της πρώτης επανάληψης είναι προφανές ότι καμία προηγούμενη ΜΔΠ δεν έχει εγκατασταθεί. Κατά συνέπεια, το δίκτυο στο οποίο θα εφαρμοστεί η προτεινόμενη μέθοδος θα είναι το αρχικό δίκτυο των 4 ζυγών. Αυτός ο υπολογισμός όμως έχει ήδη γίνει στην Υποενότητα 6.2.3.1. Η ΜΔΠ που βρέθηκε σαν βέλτιστη είναι εκείνη ονομαστικής

ισχύος 179,0317 kW στο ζυγό 4 του δικτύου. Σαν βήμα 1, κατά συνέπεια, της πρώτης επανάληψης εγκαθίσταται ΜΔΠ 179,0317 στο ζυγό 4.

Βήμα 2^ο

Όπως προβλέπει η μέθοδος τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ, στο 2^ο βήμα θα υπολογιστούν οι νέες ακριβείς τιμές όλων των ΜΔΠ, μέσω της εξίσωσης (6.15), συμπεριλαμβανομένης εκείνης που εγκαταστάθηκε στο προηγούμενο βήμα της τρέχουσας επανάληψης. Υπάρχει μόνο μία ΜΔΠ προς αναβάθμιση, αυτή που εγκαταστάθηκε στο προηγούμενο βήμα και αφορά το ζυγό 4. Ο υπολογισμός αυτός έχει γίνει στην Υποενότητα 6.2.3.1 στα πλαίσια της εξαντλητικής μεθόδου για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ. Το αποτέλεσμα του υπολογισμού φαίνεται στον Πίνακα 6.15 και αφορά το ζυγό 4. Η ονομαστική ισχύς της ΜΔΠ προς εγκατάσταση είναι 179,0628 kW. Αυτή η ΜΔΠ αντικαθιστά εκείνη του βήματος 1 στα δεδομένα του δικτύου.

Βήμα 3^ο

Είναι προφανές ότι η τρίτη ροή φορτίου που απαιτείται για την εφαρμογή της μεθόδου, κατά την πρώτη επανάληψη, δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα, αφού δεν υπάρχουν άλλες παραγωγές έτσι ώστε η αλλαγή του μεγέθους τους, κατά το 2^ο βήμα, να επηρεάσει το 3^ο βήμα. Συνεπώς, διατηρείτε η τιμή της ΜΔΠ που βρέθηκε στο 2^ο βήμα και αφορά το ζυγό 4.

6.2.4.2 Δεύτερη Επανάληψη

Βήμα 1^ο

Έχει εγκατασταθεί, κατά την πρώτη επανάληψη, ΜΔΠ 179,0628kW στο ζυγό 4. Σαν πρώτο βήμα χρειάζεται να υπολογιστεί η βασική ροή φορτίου για την δεύτερη επανάληψη που περιλαμβάνει την ΜΔΠ στο ζυγό 4. Η μοναδική αλλαγή σε σχέση με τη βασική ροή φορτίου της Ενότητας 6.2.2 εντοπίζεται στο ζυγό 4. Συγκεκριμένα,

$$P_4 = P'_{DG}(4) - P_D(4) = 179,0628 - 140 = 39,06275 \text{ KW}$$

- Εξίσωση ροής ενεργού ισχύος στο ζυγό 4:

$$(6.9) \Rightarrow 0,3906275 = 325,16 \cdot V_4^2 - V_4 \cdot V_2 \cdot [325,16 \cdot \cos(\delta_4 - \delta_2) - 219,44 \cdot \sin(\delta_4 - \delta_2)] \quad (6.20)$$

Για τη λύση του προβλήματος ροών φορτίου με 6 αγνώστους, χρειάζονται 6 εξισώσεις, οι οποίες είναι οι εξισώσεις (6.3), (6.4), (6.7), (6.8), (6.20) και (6.12).

Στην υλοποίηση της εφαρμογής, για την επίλυση του προβλήματος ροών φορτίου, χρησιμοποιείται και πάλι η μέθοδος Newton-Raphson και εφαρμόστηκε σε περιβάλλον Matlab, όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 3.3.1 και τα αποτελέσματά της φαίνονται στους Πίνακες 6.20 και 6.21.

Πίνακας 6.20: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος, όσον αφορά τους ζυγούς, μετά την τοποθέτηση μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής 179,0628 kW στο ζυγό 4 (όπως αυτή βρέθηκε στην πρώτη επανάληψη της μεθόδου εγκατάστασης πολλαπλών ΜΔΠ).

Αποτελέσματα ροών φορτίου						
Αριθμός ζυγού	Μέτρο τάσης (pu)	Γωνία τάσης (μοίρες)	Φορτίο (kW)	Φορτίο (kVAr)	Παραγωγή (kW)	Παραγωγή (KVAr)
1	1	0	0	0	76,426	260,451
2	0,9963	0,1194	44,1	44,991	0	0
3	0,9949	0,1210	70	71,414	0	0
4	0,9951	0,3260	140	142,829	179,0628	0
Σύνολο:			254,1	259,234	255,489	260,451

Πίνακας 6.21: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος, όσον αφορά τις γραμμές και τις απώλειες, μετά την τοποθέτηση μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής 179,0628 kW στο ζυγό 4 (όπως αυτή βρέθηκε στην πρώτη επανάληψη της μεθόδου εγκατάστασης πολλαπλών ΜΔΠ).

Ροές γραμμών και απώλειες						
Από ζυγό	Προς ζυγό	Ροή ισχύος (kW)	Ροή ισχύος (kVAr)	Ροή ισχύος (kVA)	Απώλειες (kW)	Απώλειες (kVAr)
1	2	76,426	260,451	271,433	0,824	0,806
2	1	-75,603	-259,645	270,428	0,824	0,806
2	3	70,098	71,510	100,137	0,098	0,096
3	2	-70	-71,414	100	0,098	0,096
2	4	-38,595	143,144	148,256	0,468	0,316
4	2	-140	-142,829	148,074	0,468	0,316
Σύνολο:					1,389	1,217

Έχοντας υπολογίσει τη βασική ροή φορτίου για αυτήν την επανάληψη, εφαρμόζεται η προτεινόμενη μέθοδος, που περιγράφηκε αναλυτικά στην Υποενότητα 6.2.3.1, για τον υπολογισμό των βέλτιστων μεγεθών ΜΔΠ και των αντίστοιχων απωλειών ενεργού ισχύος. Σκοπός είναι η επιλογή εκείνης της ΜΔΠ με τις λιγότερες απώλειες ενεργού ισχύος όπως προβλέπει η μέθοδος. Αρχικά υπολογίζονται οι παράγοντες απωλειών από τις εξισώσεις (6.13) και (6.14) όπως δείχθηκε στην Υποενότητα 6.2.3.1. και παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.22 και 6.23.

Πίνακας 6.22: Παράγοντας A_{ij} για τον υπολογισμό της βέλτιστης ΜΔΠ με την μέθοδο εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ για το πρώτο βήμα της δεύτερης επανάληψης (μονάδα μέτρησης kVA^{-1}) στο δίκτυο 4 ζυγών.

Αριθμός Ζυγού i/ Αριθμός Ζυγού j	2	3	4
2	$1,10885 \cdot 10^{-5}$	$1,10997 \cdot 10^{-5}$	$1,10996 \cdot 10^{-5}$
3	$1,10997 \cdot 10^{-5}$	$2,12116 \cdot 10^{-5}$	$1,11108 \cdot 10^{-5}$
4	$1,10996 \cdot 10^{-5}$	$1,11108 \cdot 10^{-5}$	$3,23224 \cdot 10^{-5}$

Πίνακας 6.23: Παράγοντας B_{ij} για τον υπολογισμό της βέλτιστης ΜΔΠ με την μέθοδο εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ για το πρώτο βήμα της δεύτερης επανάληψης (μονάδα μέτρησης kVA^{-1}) στο δίκτυο 4 ζυγών.

Αριθμός Ζυγού i/ Αριθμός Ζυγού j	2	3	4
2	0	$-3,87452 \cdot 10^{-10}$	$-4,01012 \cdot 10^{-8}$
3	$3,87452 \cdot 10^{-10}$	0	$-3,97536 \cdot 10^{-8}$
4	$4,01012 \cdot 10^{-8}$	$3,97536 \cdot 10^{-8}$	0

Έπειτα υπολογίζεται ο παράγοντας $\sum_{j=1, j \neq i}^N (A_{ij}P_j - B_{ij}Q_j)$ όπως προβλέπει η μέθοδος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.24

Πίνακας 6.24: Παράγοντας $\sum_{j=1, j \neq i}^N (A_{ij}P_j - B_{ij}Q_j)$ για τον υπολογισμό της βέλτιστης ΜΔΠ με την μέθοδο πολλαπλών ΜΔΠ για το πρώτο βήμα της δεύτερης επανάληψης.

i	$\sum_{j=1, j \neq i}^N (A_{ij}P_j - B_{ij}Q_j)$
2	-0,00035
3	-0,000061
4	-0,00126

Υπολογίζεται, πλέον, η βέλτιστη ΜΔΠ, πολύ εύκολα, από την εξίσωση (6.15) για κάθε ένα από τους εναπομείναντες ζυγούς αφού ο ζυγός 4 δεν ενδιαφέρει στο συγκεκριμένο σημείο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 6.25.

Πίνακας 6.25: Βέλτιστες ΜΔΠ $P_{DG}(i)$ με την προτεινόμενη αναλυτική μέθοδο (εξίσωση 6.15) για κάθε διαθέσιμο ζυγό στα πλαίσια της μέθοδο εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ και για το πρώτο βήμα της δεύτερης επανάληψης στο δίκτυο 4 ζυγών.

Ζυγός (i)	Ονομαστική Ισχύς ΜΔΠ $P_{DG}(i)$ σε kW
2	75,58758
3	72,88233

Οι αντίστοιχες συνολικές απώλειες ενεργού ισχύος όπως προκύπτουν από την ακριβή σχέση υπολογισμού των απωλειών, εξίσωση (6.16), παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.26, όπου φαίνεται πως οι ελάχιστες απώλειες αντιστοιχούν στην εγκατάσταση ΜΔΠ στο ζυγό 3

Πίνακας 6.26: Υπολογισμός απωλειών με την προτεινόμενη μέθοδο για κάθε μία από της πιθανές εγκαταστάσεις διεσπαρμένης παραγωγής για την δεύτερη επανάληψη του μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο 4 ζυγών.

Ζυγός (κ)	Απώλειες ενεργού ισχύος P_L (κ) σε kW
2	1,313
3	1,264

Ο καταλληλότερος ζυγός για τοποθέτηση ΜΔΠ για την δεύτερη επανάληψη της μεθόδου είναι ο 3, όπως σημειώθηκε προηγουμένως. Η ονομαστική ισχύς της ΜΔΠ που αντιστοιχεί στο ζυγό 3 φαίνεται στον Πίνακα 6.25 και έχει τιμή 72,88233 kW. Αυτή η ΜΔΠ εγκαθίσταται στο δίκτυο.

Βήμα 2^ο

Εδείχθη ότι ο βέλτιστος ζυγός για την δεύτερη επανάληψη είναι ο 3 (Πίνακας 6.26) για εγκατάσταση ΜΔΠ ονομαστικής ισχύος 72,88233 kW (Πίνακας 6.25). Το επόμενο βήμα είναι να αναβαθμιστούν, δηλαδή να προσαρμοστούν, τα μεγέθη των ΜΔΠ που έχουν εγκατασταθεί σε προηγούμενες επαναλήψεις και στην τρέχουσα στα νέα δεδομένα που προέκυψαν με την εγκατάσταση της ΜΔΠ που βρέθηκε στο βήμα 1. Για να γίνει αυτό χρειάζεται, πρώτα, να υπολογιστεί η ροή φορτίου με την ΜΔΠ στο ζυγό 3, όπως ειπώθηκε, εγκατεστημένη.

Σε σχέση με τον υπολογισμό της βασική ροή φορτίου της δεύτερης επανάληψης, αλλάζει η εξίσωση ροής ενεργού ισχύος για το ζυγό 3.

$$P_3 = P_{DG}(3) - P_D(3) = 72,882 - 70 = 2,882 \text{ kW}$$

- Εξίσωση ροής ενεργού ισχύος στο ζυγό 3:

$$(6.5) \Rightarrow 0,02882 = 528,41 \cdot V_3^2 - V_3 \cdot V_2 \cdot [528,41 \cdot \cos(\delta_3 - \delta_2) - 516,94 \cdot \sin(\delta_3 - \delta_2)] \quad (6.21)$$

Για τη λύση του προβλήματος ροών φορτίου με 6 αγνώστους, χρειάζονται 6 εξισώσεις, οι οποίες είναι οι εξισώσεις (6.3), (6.4), (6.21), (6.8), (6.20) και (6.12).

Στην υλοποίηση της εφαρμογής, για την επίλυση του προβλήματος ροών φορτίου, χρησιμοποιείται και πάλι η μέθοδος Newton-Raphson και εφαρμόστηκε σε περιβάλλον Matlab, όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 3.3.1 και τα αποτελέσματά της φαίνονται στους Πίνακες 6.27 και 6.28.

Πίνακας 6.27: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος για το δεύτερο βήμα της δεύτερης επανάληψης της μεθόδων εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ.

Αποτελέσματα ροών φορτίου						
Αριθμός ζυγού	Μέτρο τάσης (pu)	Γωνία τάσης (μοίρες)	Φορτίο (kW)	Φορτίο (kVAr)	Παραγωγή (kW)	Παραγωγή (kVAr)
1	1	0	0	0	3,430	260,339
2	0,9971	0,1651	44,1	44,991	0	0
3	0,9965	0,2065	70	71,414	72,882	0
4	0,9959	0,3714	140	142,829	179,063	0
Σύνολο:			254,1	259,234	255,375	260,339

Πίνακας 6.28: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών γραμμών του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος για το δεύτερο βήμα της δεύτερης επανάληψης της μεθόδων εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ.

Ροές γραμμών και απώλειες						
Από ζυγό	Προς ζυγό	Ροή ισχύος (kW)	Ροή ισχύος (kVAr)	Ροή ισχύος (kVA)	Απώλειες (kW)	Απώλειες (kVAr)
1	2	3,430	260,339	260,362	0,758	0,742
2	1	-2,672	-259,598	259,612	0,758	0,742
2	3	-2,833	71,463	71,519	0,050	0,049
3	2	2,822	-71,414	71,472	0,050	0,049
2	4	-38,596	143,144	148,256	0,467	0,315
4	2	39,063	-142,829	148,074	0,467	0,315
Σύνολο:					1,275	1,106

Γνωρίζοντας τον υπολογισμό ροής φορτίου, εφαρμόζεται η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος που περιγράφηκε στην Υποενότητα 6.2.3.1. Από τον υπολογισμό αυτό προκύπτουν οι βέλτιστες ονομαστικές ισχύς των ΜΔΠ P_{DG} για κάθε ζυγό του δικτύου. Αυτές που ενδιαφέρουν είναι αυτές που προκύπτουν για τους ζυγούς που έχουν ήδη εγκατεστημένη ΜΔΠ συμπεριλαμβανομένου και αυτού που έχει προκύψει για την τρέχουσα επανάληψη. Δηλαδή, ενδιαφέρουν οι τιμές που προέκυψαν για τους ζυγούς 3 και 4. Δεδομένου ότι η μέθοδος έχει ήδη εφαρμοστεί στα προηγούμενα υποκεφάλαια αναλυτικά παρουσιάζονται μόνο τα αποτελέσματα στον Πίνακα 6.29.

Πίνακας 6.29: Βέλτιστες ΜΔΠ $P_{DG}(i)$ με την προτεινόμενη μέθοδο για κάθε ζυγό στα πλαίσια του δεύτερου βήματος της δεύτερης επανάληψης της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο 4 ζυγών.

Ζυγός (i)	Βέλτιστη Ονομαστική Ισχύς ΜΔΠ $P_{DG}(i)$ σε kW
2	2,678532
3	72,81405
4	154,0271

Στον Πίνακα 6.29 φαίνονται οι αναβαθμισμένες τιμές των ΜΔΠ όπως αυτές προέκυψαν από την εφαρμογή της αναλυτικής μεθόδου και τον υπολογισμό από την εξίσωση (6.15). Οι ονομαστικές ισχύς των ΜΔΠ των ζυγών 3 και 4 όπως αυτές φαίνονται στον Πίνακα 6.27 εγκαθίστανται στο δίκτυο αντικαθιστώντας τις προϋπάρχουσες ΜΔΠ που είχαν προκύψει, από το προηγούμενο βήμα για εκείνη του ζυγού 3 και την προηγούμενη επανάληψη για εκείνη του ζυγού 4.

Βήμα 3^ο

Η τιμή της παραγωγής στο ζυγό 4 άλλαξε σημαντικά όπως είναι εμφανές συγκρίνοντας τους Πίνακες 6.15 και 6.29. Στο τρίτο βήμα θα εκτελεστεί ξανά η αναλυτική μέθοδος για την ΜΔΠ που βρέθηκε στην τρέχουσα επανάληψη και αντιστοιχεί στο ζυγό 3 έτσι ώστε να προσαρμοστεί στην αλλαγή των δεδομένων του δικτύου κατά το δεύτερο βήμα. Πρώτα θα εκτελεστεί ο υπολογισμός της ροής φορτίου. Υπάρχει αλλαγή των εξισώσεων ροής ενεργού ισχύος στους ζυγούς 3 και 4.

$$P_3 = P_{DG}(3) - P_D(3) = 72,814 - 70 = 2,814 \text{ kW}$$

$$P_4 = P'_{DG}(4) - P_D(4) = 154,027 - 140 = 14,027 \text{ kW}$$

- Εξίσωση ροής ενεργού ισχύος στο ζυγό 3:

$$(6.5) \Rightarrow 0,02814 = 528,41 \cdot V_3^2 - V_3 \cdot V_2 \cdot [528,41 \cdot \cos(\delta_3 - \delta_2) - 516,94 \cdot \sin(\delta_3 - \delta_2)] \quad (6.22)$$

- Εξίσωση ροής ενεργού ισχύος στο ζυγό 4:

$$(6.9) \Rightarrow 0,14027 = 325,16 \cdot V_4^2 - V_4 \cdot V_2 \cdot [325,16 \cdot \cos(\delta_4 - \delta_2) - 219,44 \cdot \sin(\delta_4 - \delta_2)] \quad (6.23)$$

Για τη λύση του προβλήματος ροών φορτίου με 6 αγνώστους, χρειάζονται 6 εξισώσεις, οι οποίες είναι οι εξισώσεις (6.3), (6.4), (6.22), (6.8), (6.23) και (6.12).

Στην υλοποίηση της εφαρμογής, για την επίλυση του προβλήματος ροών φορτίου, χρησιμοποιείται και πάλι η μέθοδος Newton-Raphson και εφαρμόστηκε σε περιβάλλον Matlab, όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 3.3.1 και τα αποτελέσματά της φαίνονται στους Πίνακες 6.30 και 6.31.

Πίνακας 6.30: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος για το τρίτο βήμα της δεύτερης επανάληψης της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ.

Αποτελέσματα ροών φορτίου						
Αριθμός ζυγού	Μέτρο τάσης (pu)	Γωνία τάσης (μοίρες)	Φορτίο (kW)	Φορτίο (kVAr)	Παραγωγή (kW)	Παραγωγή (kVAr)
1	1	0	0	0	28,515	260,329
2	0,9968	0,1494	44,1	44,991	0	0
3	0,9962	0,1907	70	71,414	72,814	0
4	0,9951	0,3352	140	142,829	154,027	0
Σύνολο:			254,1	259,234	255,356	260,329

Πίνακας 6.31: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος για το τρίτο βήμα της δεύτερης επανάληψης της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ.

Ροές γραμμών και απώλειες						
Από ζυγό	Προς ζυγό	Ροή ισχύος (kW)	Ροή ισχύος (kVAr)	Ροή ισχύος (kVA)	Απώλειες (kW)	Απώλειες (kVAr)
1	2	28,515	260,329	261,887	0,767	0,750
2	1	-27,748	-259,579	261,058	0,767	0,750
2	3	-2,764	71,463	71,516	0,050	0,049
3	2	2,814	-71,414	71,470	0,050	0,049
2	4	-13,587	-143,125	143,769	0,440	0,297
4	2	14,027	-142,829	143,516	0,440	0,297
Σύνολο:					1,256	1,096

Από τον υπολογισμό της ροής φορτίου προκύπτουν οι τιμές των τάσεων και των γωνιών κάθε ζυγού με εγκατεστημένες τις αναβαθμισμένες ΜΔΠ. Όπως εδείχθη στην Υποενότητα 6.2.3.1, αυτές η τιμές θα χρησιμοποιηθούν κατά των υπολογισμό του νέου αναβαθμισμένου μεγέθους ΜΔΠ που αντιστοιχεί στο ζυγό 3. Όπως εξηγήθηκε και στην αρχή της τρέχουσας υποενότητας η μέθοδος τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ προβλέπει στο 3^ο βήμα κάθε επανάληψης την αναβάθμιση του μεγέθους ΜΔΠ που εγκαταστάθηκε κατά την τρέχουσα επανάληψη για να προσαρμοστεί στην αλλαγή των δεδομένων του δικτύου που προκύπτουν κατά το 2^ο βήμα. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια της εξίσωσης (6.15). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.32.

Πίνακας 6.32 Βέλτιστο μέγεθος ΜΔΠ $P_{DG}(i)$ με την προτεινόμενη αναλυτική μέθοδο για κάθε ζυγό στα πλαίσια του τρίτου βήματος της δεύτερης επανάληψης της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο 4 ζυγών.

Ζυγός (i)	Ονομαστική Ισχύς ΜΔΠ $P_{DG}(i)$ σε kW
2	27,74455
3	85,89269
4	154,0508

Συμπερασματικά, οι εγκατεστημένες μονάδες ΜΔΠ μέχρι αυτό το σημείο θα είναι: 85,893 kW στο ζυγό 3 και 154,027 kW στο ζυγό 4. Αυτές εγκαθίστανται για να ξεκινήσει η τρίτη επανάληψη.

6.2.4.3 Τρίτη Επανάληψη

Βήμα 1^ο

Όπως αναφέρθηκε και στην δεύτερη επανάληψη υπολογίζεται πρώτα η βασική ροή φορτίου με τα δεδομένα του τρίτου βήματος της δεύτερης επανάληψης. Σε σχέση με το τρίτο βήμα της δεύτερης επανάληψης υπάρχει αλλαγή μόνο στην εξίσωση ροής ισχύος στο ζυγό 3.

$$P_3 = P_{DG}(3) - P_D(3) = 85,893 - 70 = 15,893 \text{ kW}$$

- Εξίσωση ροής ενεργού ισχύος στο ζυγό 3:

$$(6.5) \Rightarrow 0,15893 = 528,41 \cdot V_3^2 - V_3 \cdot V_2 \cdot [528,41 \cdot \cos(\delta_3 - \delta_2) - 516,94 \cdot \sin(\delta_3 - \delta_2)] \quad (6.24)$$

Για τη λύση του προβλήματος ροών φορτίου με 6 αγνώστους, χρειάζονται 6 εξισώσεις, οι οποίες είναι οι εξισώσεις (6.3), (6.4), (6.24), (6.8), (6.23) και (6.12).

Στην υλοποίηση της εφαρμογής, για την επίλυση του προβλήματος ροών φορτίου, χρησιμοποιείται και πάλι η μέθοδος Newton-Raphson και εφαρμόστηκε σε περιβάλλον Matlab, όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 3.3.1 και τα αποτελέσματά της φαίνονται στους Πίνακες 6.33 και 6.34.

Πίνακας 6.33: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος για το τρίτο βήμα της δεύτερης επανάληψης της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ.

Αποτελέσματα ροών φορτίου						
Αριθμός ζυγού	Μέτρο τάσης (pu)	Γωνία τάσης (μοίρες)	Φορτίο (kW)	Φορτίο (kVAr)	Παραγωγή (kW)	Παραγωγή (kVAr)
1	1	0	0	0	15,431	260,325
2	0,9970	0,1576	44,1	44,991	0	0
3	0,9965	0,2061	70	71,414	85,893	0
4	0,9952	0,3434	140	142,829	154,027	0
Σύνολο:			254,1	259,234	255,352	260,325

Πίνακας 6.34: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος για το τρίτο βήμα της δεύτερης επανάληψης της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ.

Ροές γραμμών και απώλειες						
Από ζυγό	Προς ζυγό	Ροή ισχύος (kW)	Ροή ισχύος (kVAr)	Ροή ισχύος (kVA)	Απώλειες (kW)	Απώλειες (kVAr)
1	2	15,341	260,329	260,782	0,760	0,744
2	1	-14,671	-259,581	259,996	0,760	0,744
2	3	-15,841	71,465	73,200	0,052	0,051
3	2	15,893	-71,414	73,161	0,052	0,051
2	4	-13,588	143,125	143,769	0,439	0,297
4	2	14,027	-142,829	143,516	0,439	0,297
Σύνολο:					1,252	1,092

Γνωρίζοντας τη ροή φορτίου για τα νέα δεδομένα, όπως προέκυψαν στο 3^ο βήμα της δεύτερης επανάληψης, εφαρμόζεται η προτεινόμενη μέθοδος, όπως στην Υποενότητα 6.2.3.1 για να βρεθεί το νέο βέλτιστο μέγεθος και η καταλληλότερη θέση της ΜΔΠ. Τα βέλτιστα μεγέθη ΜΔΠ που προκύπτουν παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.35.

Πίνακας 6.35 Βέλτιστο μέγεθος $P_{DG}(i)$ με την προτεινόμενη μέθοδο για κάθε ζυγό στα πλαίσια του πρώτου βήματος της τρίτης επανάληψης της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο 4 ζυγών.

Ζυγός (i)	Ονομαστική Ισχύς ΜΔΠ $P_{DG}(i)$ σε kW
2	14,65741
3	85,88107
4	149,5627

Φυσικά, η ΜΔΠ που ενδιαφέρει είναι αυτή που αντιστοιχεί στον ζυγό 2 αφού στους υπόλοιπους έχει ήδη εγκατασταθεί παραγωγή. Χάρη γενικότητας, παρατίθενται και οι

αντίστοιχες απώλειες ενεργού ισχύος, στον Πίνακα 6.36, όπως υπολογίστηκαν με την προτεινόμενη μέθοδο και την ακριβή σχέση υπολογισμού των απωλειών, εξίσωση (6.16) (exact loss formula).

Πίνακας 6.36 Υπολογισμός απωλειών με την προτεινόμενη μέθοδο για κάθε μία από της πιθανές εγκαταστάσεις διεσπαρμένης παραγωγής για το πρώτο βήμα της τρίτης επανάληψης της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο 4 ζυγών.

Ζυγός (κ)	Απώλειες ενεργού ισχύος P_L (κ) σε kW
2	1,237
3	1,239
4	1,239

Επιλέγεται η ΜΔΠ που αντιστοιχεί στο ζυγό 2, όπου προκύπτουν οι λιγότερες απώλειες (Πίνακας 6.36), μεγέθους 14,65741 kW (Πίνακας 6.35). Η μονάδα αυτή εγκαθίσταται στο δίκτυο.

Βήμα 2^ο

Για να αναβαθμιστούν οι τιμές όλων των εγκατεστημένων ΜΔΠ, όπως προβλέπει η μέθοδος εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ, θα εκτελεστεί η αναλυτική μέθοδος της Υποενότητας 6.2.3.1. Πρώτα υπολογίζεται η ροή φορτίου. Η μόνη εξίσωση που αλλάζει σε σχέση με το πρώτο βήμα της τρέχουσας επανάληψης είναι η εξίσωση ροής ενεργού ισχύος του ζυγού 2.

$$P_2 = P_{DG}(2) - P_D(2) = 14,657 - 44,1 = -29,443 \text{ kW}$$

- Εξίσωση ροής ενεργού ισχύος στο ζυγό 2:

$$\begin{aligned} (6.1) \Rightarrow -0,29443 = & \\ & 1310,51 \cdot V_2^2 - V_2 \cdot [456,93 \cdot \cos(\delta_2) - 447,12 \cdot \sin(\delta_2)] + \\ & V_2 \cdot V_3 \cdot [528,41 \cdot \cos(\delta_2 - \delta_3) - 516,94 \cdot \sin(\delta_2 - \delta_3)] + \\ & V_2 \cdot V_4 \cdot [325,16 \cdot \cos(\delta_2 - \delta_4) - 219,44 \cdot \sin(\delta_2 - \delta_4)] \end{aligned} \quad (6.25)$$

Για τη λύση του προβλήματος ροών φορτίου με 6 αγνώστους, χρειάζονται 6 εξισώσεις, οι οποίες είναι οι εξισώσεις (6.25), (6.4), (6.24), (6.8), (6.23) και (6.12).

Στην υλοποίηση της εφαρμογής, για την επίλυση του προβλήματος ροών φορτίου, χρησιμοποιείται και πάλι η μέθοδος Newton-Raphson και εφαρμόστηκε σε περιβάλλον Matlab, όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 3.3.1 και τα αποτελέσματά της φαίνονται στους Πίνακες 6.37 και 6.38.

Πίνακας 6.37: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος για το δεύτερο βήμα της τρίτης επανάληψης της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ.

Αποτελέσματα ροών φορτίου						
Αριθμός ζυγού	Μέτρο τάσης (pu)	Γωνία τάσης (μοίρες)	Φορτίο (kW)	Φορτίο (kVAr)	Παραγωγή (kW)	Παραγωγή (kVAr)
1	1	0	0	0	0,771	260,323
2	0,9971	0,1667	44,1	44,991	14,657	0
3	0,9966	0,2152	70	71,414	85,893	0
4	0,9954	0,3535	140	142,829	154,027	0
Σύνολο:			254,1	259,234	255,349	260,323

Πίνακας 6.38: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος για το δεύτερο βήμα της τρίτης επανάληψης της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ.

Ροές γραμμών και απώλειες						
Από ζυγό	Προς ζυγό	Ροή ισχύος (kW)	Ροή ισχύος (kVAr)	Ροή ισχύος (kVA)	Απώλειες (kW)	Απώλειες (kVAr)
1	2	0,771	260,323	260,324	0,760	0,741
2	1	-0,013	-259,581	259,581	0,760	0,741
2	3	-15,841	71,465	73,200	0,052	0,051
3	2	15,893	-71,414	73,161	0,052	0,051
2	4	-13,588	143,125	73,200	0,439	0,296
4	2	14,027	-142,829	143,516	0,439	0,296
Σύνολο:					1,249	1,089

Γνωρίζοντας τις τιμές των τάσεων και των γωνιών σε κάθε ζυγό του δικτύου υπολογίζονται από τις εξισώσεις (6.13), (6.14) και (6.15), όπως προβλέπει η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος της Υποενότητας 6.2.3.1, οι αναβαθμισμένες τιμές των ΜΔΠ σε κάθε ζυγό που έχει τοποθετηθεί παραγωγή στις προηγούμενες επαναλήψεις και στην τρέχουσα. Εν προκειμένω, πρόκειται για όλους τους ζυγούς του δικτύου. Τα αποτελέσματα του υπολογισμού παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.39.

Πίνακας 6.39 Βέλτιστο μέγεθος $P_{DG}(i)$ με την προτεινόμενη μέθοδο για κάθε ζυγό στα πλαίσια του δεύτερου βήματος της τρίτης επανάληψης της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο 4 ζυγών.

Ζυγός (i)	Ονομαστική Ισχύς ΜΔΠ $P_{DG}(i)$ σε kW
2	14,675
3	78,221
4	144,539

Τα μεγέθη ΜΔΠ που προέκυψαν και παρατίθενται στον Πίνακα 6.39, εγκαθίστανται στο δίκτυο και αντικαθιστούν τα προηγούμενα.

Βήμα 3^ο

Υπολογίζεται η ροή φορτίου με τα νέα δεδομένα δικτύου που προκύπτουν από το βήμα 2. Η εξίσωση που αλλάζουν σε σχέση με το βήμα 2 είναι εξίσωση ροής ενεργού ισχύος σε όλους τους ζυγούς φορτίου.

$$P_2 = P_{DG}(2) - P_D(2) = 14,675 - 44,1 = -29,425 \text{ KW}$$

$$P_3 = P_{DG}(3) - P_D(3) = 78,221 - 70 = 8,221 \text{ KW}$$

$$P_4 = P_{DG}(4) - P_D(4) = 144,539 - 140 = 4,539 \text{ KW}$$

- Εξίσωση ροής ενεργού ισχύος στο ζυγό 2:

$$\begin{aligned} (6.1) \Rightarrow -0,29425 = & \\ & 1310,51 \cdot V_2^2 - V_2 \cdot [456,93 \cdot \cos(\delta_2) - 447,12 \cdot \sin(\delta_2)] + \\ & V_2 \cdot V_3 \cdot [528,41 \cdot \cos(\delta_2 - \delta_3) - 516,94 \cdot \sin(\delta_2 - \delta_3)] + \\ & V_2 \cdot V_4 \cdot [325,16 \cdot \cos(\delta_2 - \delta_4) - 219,44 \cdot \sin(\delta_2 - \delta_4)] \end{aligned} \quad (6.26)$$

- Εξίσωση ροής ενεργού ισχύος στο ζυγό 3:

$$\begin{aligned} (6.5) \Rightarrow 0,08221 = & \\ & 528,41 \cdot V_3^2 - V_3 \cdot V_2 \cdot [528,41 \cdot \cos(\delta_3 - \delta_2) - 516,94 \cdot \sin(\delta_3 - \delta_2)] \end{aligned} \quad (6.27)$$

- Εξίσωση ροής ενεργού ισχύος στο ζυγό 4:

$$\begin{aligned} (6.9) \Rightarrow 0,04539 = & \\ & 325,16 \cdot V_4^2 - V_4 \cdot V_2 \cdot [325,16 \cdot \cos(\delta_4 - \delta_2) - 219,44 \cdot \sin(\delta_4 - \delta_2)] \end{aligned} \quad (6.28)$$

Για τη λύση του προβλήματος ροών φορτίου με 6 αγνώστους, χρειάζονται 6 εξισώσεις, οι οποίες είναι οι εξισώσεις (6.26), (6.4), (6.27), (6.8), (6.28) και (6.12).

Στην υλοποίηση της εφαρμογής, για την επίλυση του προβλήματος ροών φορτίου, χρησιμοποιείται και πάλι η μέθοδος Newton-Raphson και εφαρμόστηκε σε περιβάλλον Matlab, όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 3.3.1 και τα αποτελέσματά της φαίνονται στους Πίνακες 6.40 και 6.41.

Πίνακας 6.40: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος για το τρίτο βήμα της τρίτης επανάληψης της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ.

Αποτελέσματα ροών φορτίου						
Αριθμός ζυγού	Μέτρο τάσης (pu)	Γωνία τάσης (μοίρες)	Φορτίο (kW)	Φορτίο (kVAr)	Παραγωγή (kW)	Παραγωγή (kVAr)
1	1	0	0	0	17,912	260,322
2	0,9970	0,1560	44,1	44,991	14,675	0
3	0,9964	0,2003	70	71,414	78,221	0
4	0,9950	0,3341	140	142,829	144,539	0
Σύνολο:			254,1	259,234	255,347	260,322

Πίνακας 6.41: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος για το τρίτο βήμα της τρίτης επανάληψης της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ.

Ροές γραμμών και απώλειες						
Από ζυγό	Προς ζυγό	Ροή ισχύος (kW)	Ροή ισχύος (kVAr)	Ροή ισχύος (kVA)	Απώλειες (kW)	Απώλειες (kVAr)
1	2	17,912	260,322	260,938	0,761	0,745
2	1	-17,151	-259,577	260,143	0,761	0,745
2	3	-8,171	71,464	71,929	0,052	0,049
3	2	8,221	-71,414	71,886	0,050	0,049
2	4	-4,103	143,123	143,182	0,436	0,294
4	2	4,539	-142,829	142,901	0,436	0,294
Σύνολο:					1,247	1,088

Όπως και στο προηγούμενο βήμα γνωρίζοντας τις τιμές τάσεων και γωνιών σε κάθε ζυγό του δικτύου εφαρμόζεται η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος της Υποενότητας 6.2.3.1 για να υπολογιστεί αυτή τη φορά το αναβαθμισμένο μέγεθος της ΜΔΠ που βρέθηκε στην τρέχουσα επανάληψη δηλαδή, αυτής του ζυγού 2. Χάρη γενικότητας, παρουσιάζονται οι ΜΔΠ για κάθε ζυγό του δικτύου στον Πίνακα 6.42.

Πίνακας 6.42 Βέλτιστο μέγεθος ΜΔΠ $P_{DG}(i)$ με την προτεινόμενη μέθοδο για κάθε ζυγό στα πλαίσια του τρίτου βήματος της τρίτης επανάληψης της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο 4 ζυγών.

Ζυγός (i)	Ονομαστική Ισχύς ΜΔΠ $P_{DG}(i)$ σε kW
2	31,822
3	83,175
4	147,166

Το τελικό μέγεθος ΜΔΠ στον ζυγό 2 είναι 31,822 KW. Για τους ζυγούς 3 και 4 διατηρούνται τα μεγέθη ΜΔΠ που βρέθηκαν στο 2^ο βήμα της τρίτης επανάληψης. Τα μεγέθη αυτά για τον ζυγό 3 είναι 78,221 kW και για τον ζυγό 4 είναι 144,539 kW.

Ο εκτέλεση των επαναλήψεων ολοκληρώθηκε σε αυτό το σημείο. Τα τελικά μεγέθη ΜΔΠ προς εγκατάσταση στο δίκτυο του παραδείγματος είναι αυτά που αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο. Εγκαθίστανται, όπως προβλέπει η μέθοδος, για να εκτελεστεί ο τελικός υπολογισμός ροής φορτίου με σκοπό να υπολογιστούν οι τελικές απώλειες ενεργού ισχύος του δικτύου μετά την εφαρμογή της μεθόδου τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ.

6.2.4.4 Τελικά αποτελέσματα μεθόδου βέλτιστης τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ

Με τα μεγέθη διεσπαρμένης παραγωγής που προέκυψαν από την τελευταία επανάληψη θα υπολογιστεί ο τελικός υπολογισμός ροής φορτίου για να βρεθούν οι τελικές απώλειες ισχύος του δικτύου μετά την εφαρμογή της μεθόδου.

Η εξίσωση που αλλάζει σε σχέση με την τελευταία υπολογισμό ροής φορτίου στο τρίτο βήμα της τρίτης επανάληψης είναι η εξίσωση ροής ενεργού ισχύος του ζυγού 2. Πιο συγκεκριμένα,

$$P_2 = P_{DG}(2) - P_D(2) = 31,822 - 44,1 = -12,278 \text{ KW}$$

- Εξίσωση ροής ενεργού ισχύος στο ζυγό 2:

$$\begin{aligned} (6.1) \Rightarrow -0,012278 = & \\ & 1310,51 \cdot V_2^2 - V_2 \cdot [456,93 \cdot \cos(\delta_2) - 447,12 \cdot \sin(\delta_2)] + \\ & V_2 \cdot V_3 \cdot [528,41 \cdot \cos(\delta_2 - \delta_3) - 516,94 \cdot \sin(\delta_2 - \delta_3)] + \\ & V_2 \cdot V_4 \cdot [325,16 \cdot \cos(\delta_2 - \delta_4) - 219,44 \cdot \sin(\delta_2 - \delta_4)] \end{aligned} \quad (6.29)$$

Για τη λύση του προβλήματος ροών φορτίου με 6 αγνώστους, χρειάζονται 6 εξισώσεις, οι οποίες είναι οι εξισώσεις (6.29), (6.4), (6.27), (6.8), (6.28) και (6.12).

Στην υλοποίηση της εφαρμογής, για την επίλυση του προβλήματος ροών φορτίου, χρησιμοποιείται και πάλι η μέθοδος Newton-Raphson και εφαρμόστηκε σε περιβάλλον Matlab, όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 3.3.1 και τα αποτελέσματά της φαίνονται στους Πίνακες 6.43 και 6.44.

Πίνακας 6.43: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος για τον τελικό υπολογισμό των ενεργών απωλειών δικτύου της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ.

Αποτελέσματα ροών φορτίου						
Αριθμός ζυγού	Μέτρο τάσης (pu)	Γωνία τάσης (μοίρες)	Φορτίο (kW)	Φορτίο (kVAr)	Παραγωγή (kW)	Παραγωγή (kVAr)
1	1	0	0	0	0,762	260,318
2	0,9971	0,1667	44,1	44,991	31,822	0
3	0,9965	0,2111	70	71,414	78,221	0
4	0,9952	0,3447	140	142,829	144,539	0
Σύνολο:			254,1	259,234	255,344	260,318

Πίνακας 6.44: Αποτελέσματα ανάλυσης ροών φορτίου του δικτύου 4 ζυγών του αναλυτικού παραδείγματος για τον τελικό υπολογισμό των ενεργών απωλειών δικτύου της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ.

Ροές γραμμών και απώλειες						
Από ζυγό	Προς ζυγό	Ροή ισχύος (kW)	Ροή ισχύος (kVAr)	Ροή ισχύος (kVA)	Απώλειες (kW)	Απώλειες (kVAr)
1	2	0,762	260,319	260,320	0,758	0,741
2	1	-0,004	-259,577	259,577	0,758	0,741
2	3	-8,171	71,464	71,929	0,050	0,049
3	2	8,221	-71,414	71,886	0,050	0,049
2	4	-4,103	143,123	143,181	0,436	0,294
4	2	4,539	-142,829	142,901	0,436	0,294
Σύνολο:					1,244	1,085

Οι τελικές απώλειες ενεργού ισχύος, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.44, είναι 1,244 kW. Οι αρχικές απώλειες πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ στο δίκτυο ήταν 2,462 kW. Η μείωση απωλειών ενεργού ισχύος που επιτυγχάνεται είναι 1,218 kW. Η μείωση αυτή είναι της τάξης του 49,47%. Σε σχέση με την προτεινόμενη μέθοδο της Υποεπάρκειας 6.2.3.1 όπου εγκαταστάθηκε μία μόνο ΜΔΠ και οι τελικές απώλειες ήταν 1,389 kW, έχουμε μία επιπλέον μείωση 0,145 kW. Η αύξηση σε ποσοστιαίες μονάδες είναι 5,9%.

Τα τελικά μεγέθη των ΜΔΠ προς εγκατάσταση που βρέθηκαν από τη μέθοδο εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.45.

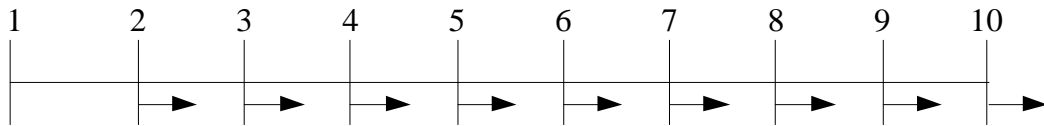
Πίνακας 6.45: Τελικές τιμές ονομαστική ισχύος ΜΔΠ που βρέθηκαν από τη μέθοδο εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο 4 ζυγών.

Ζυγός	Ονομαστική Ισχύς ΜΔΠ (σε kW)
2	31,822
3	78,221
4	144,539
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς ΜΔΠ	254,582

6.3 ΔΙΚΤΥΟ 10 ΖΥΓΩΝ

6.3.1 Δεδομένα συστήματος

Τα δεδομένα του δικτύου 10 ζυγών είναι από το [6.1] και βρίσκονται στο Παράρτημα Α στον Πίνακα Α.2.1. Πρόκειται για δίκτυο τάσης 23kV παντού και η τοπολογία του δικτύου φαίνεται στο Σχήμα 6.2. Η βασική ισχύς S_B του δικτύου είναι τα 100 MW.

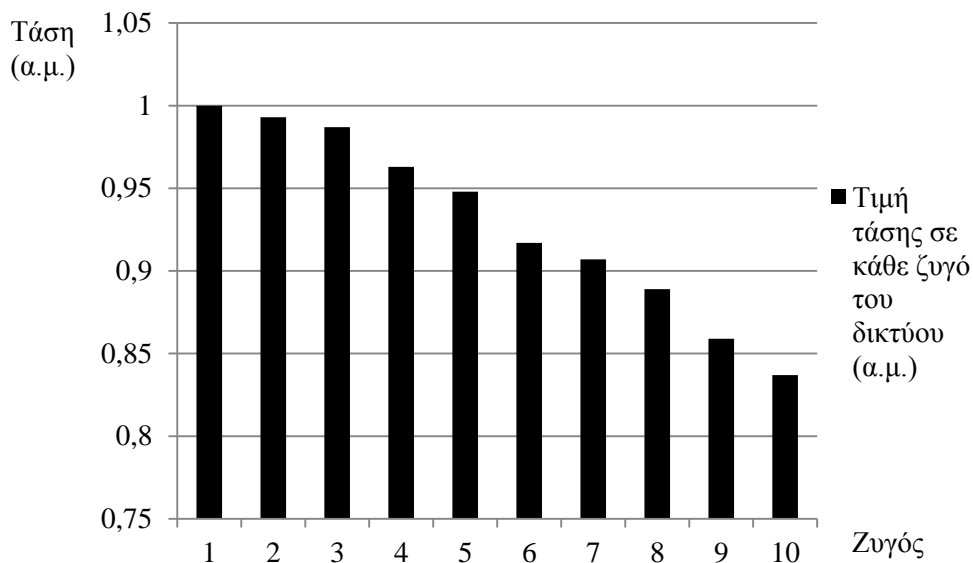


Σχήμα 6.2: Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου 10 ζυγών.

Το δίκτυο των 10 ζυγών έχει, συνολικά, ζήτηση ενεργού ισχύος 12,368 MW και ζήτηση άεργου ισχύος 4,186 MVA_r. Οι απώλειες ενεργού ισχύος είναι 0,784 MW και οι απώλειες άεργου ισχύος είναι 1,036 MVA_r, όπως υπολογίστηκαν κατά την ανάλυση ροής φορτίου.

Κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, ο οικονομικός παράγοντας σύνδεσης ΜΔΠ που παρουσιάστηκε στο Υποκεφάλαιο 4.3 θεωρείται ίσος με 0,28539 \$/MWh. Ο οικονομικός παράγοντας μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος θεωρείται ίσος με 48 \$/MWh.

Επίσης, θεωρείται όριο παραβίασης του μέτρου της τάσης $\pm 5\%$. Αυτό σημαίνει ότι για τάση σε κάποιο ζυγό του δικτύου μεγαλύτερη της τιμής 1,05 α.μ. ή μικρότερη της τιμής 0,95 α.μ., η τάση αυτή θα θεωρείται ότι έχει προβληματική τιμή. Στο Σχήμα 6.3 δίνεται η τιμή της τάσης κάθε ζυγού στο αρχικό δίκτυο. Προκύπτει ότι οι τάσεις στους ζυγούς 5 έως 10 παραβιάζουν το όριο του $\pm 5\%$.



Σχήμα 6.3: Η τάση, σε α.μ. τιμή, κάθε ζυγού, του δικτύου 10 ζυγών πριν την εγκατάσταση ΜΔΠ.

Συνοπτικά, τα πιο χρήσιμα στοιχεία του δικτύου των 10 ζυγών, πριν την εγκατάσταση, ΜΔΠ δίνονται στον Πίνακα 6.46.

Πίνακας 6.46: Βασικά στοιχεία δικτύου 10 ζυγών πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ.

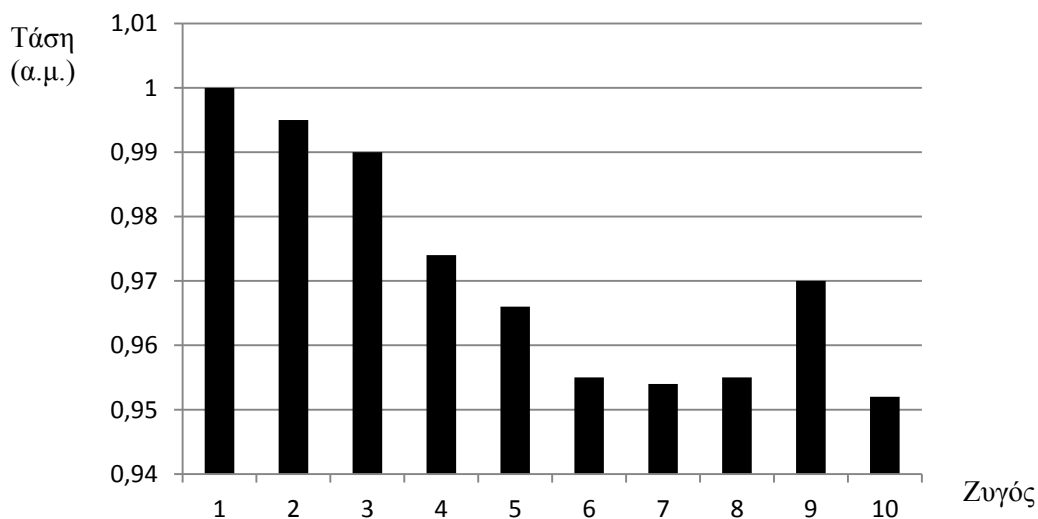
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,837
Ζυγός με την ελάχιστη τάση	10
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
Ζυγός με τη μέγιστη τάση	1
Απώλειες ενεργού ισχύος (MW)	0,784

6.3.2 Εγκατάσταση μίας ΜΔΠ

6.3.2.1 Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος

Ο ζυγός που επιλέγεται με την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου είναι ο ζυγός 9, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.47 και αντιστοιχεί σε μέγεθος ΜΔΠ 4,44 MW. Οι τελικές απώλειες ενεργού ισχύος είναι 0,1927 MW. Η μείωση που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 75,41% σε σχέση με τις αρχικές απώλειες ενεργού ισχύος που ήταν 0,784 MW. Επίσης, η τάση σε κανένα ζυγό δεν ξεπερνάει το όριο $\pm 5\%$ όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.4.

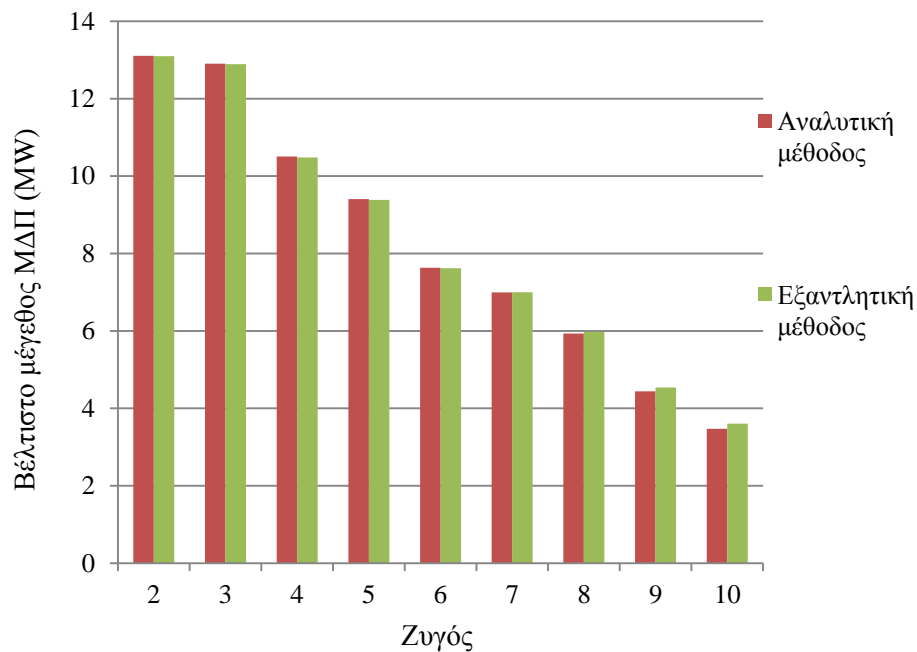
Όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 5, παράλληλα, εκτελείται η εξαντλητική μέθοδος από την οποία προκύπτει βέλτιστος ζυγός ο ζυγός 9, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.48, με μέγεθος ΜΔΠ 4,537 MW και απώλειες ενεργού ισχύος 0,1922 MW. Είναι προφανές ότι οι δύο μέθοδοι παράγουν παραπλήσιο αποτέλεσμα. Το χρηματικό κίνητρο σύνδεσης μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής κυμαίνεται στο 1,267 \$/h, το χρηματικό κίνητρο μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος είναι στο 28,372 \$/h και το συνολικό χρηματικό κίνητρο είναι 29,639 \$/h.



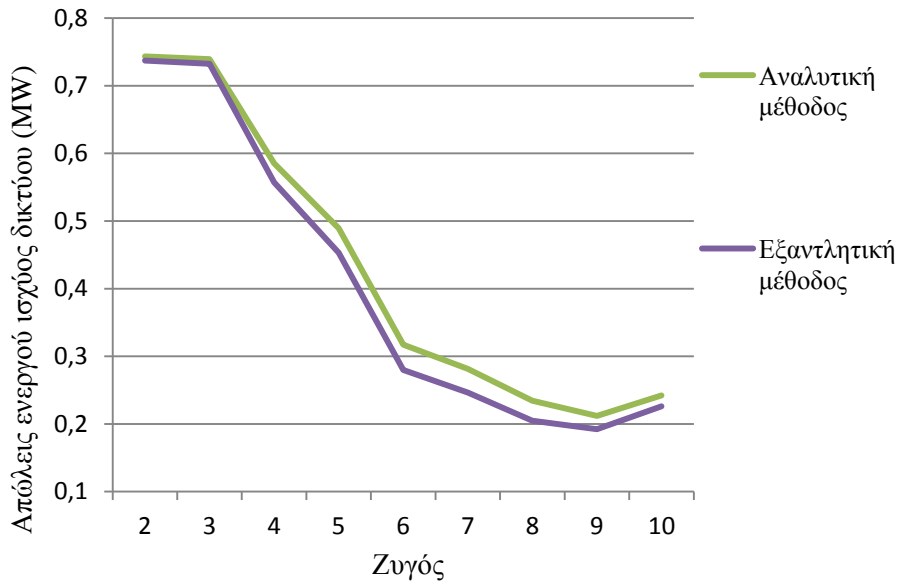
Σχήμα 6.4: Τάσεις των ζυγών στο δίκτυο των 10 ζυγών όταν εγκαθίσταται ΜΔΠ 4,44 MW στο ζυγό 9.

Όπως είναι φανερό στο Σχήμα 6.6, οι ακριβείς και η προσεγγιστικές απώλειες που βρέθηκαν με την προτεινόμενη αναλυτική και την εξαντλητική μέθοδο, αντίστοιχα, παρουσιάζουν την ίδια μορφή. Αυτό σημαίνει ότι, αν η αναλυτική μέθοδος υποδείξει ως καταλληλότερο κάποιο ζυγό, τότε αυτός είναι και στην πραγματικότητα ο καταλληλότερος. Δηλαδή, αυτός, που αν τοποθετηθεί η ΜΔΠ που του αντιστοιχεί, θα προκύπτουν οι χαμηλότερες απώλειες ενεργού ισχύος σε σχέση με τους υπόλοιπους ζυγούς του δικτύου. Άρα, δεν απαιτείται να υπολογίζεται η ροή φορτίου κάθε φορά και για κάθε ζυγό όπως προβλέπει η εξαντλητική μέθοδος αλλά αντί αυτού, εφαρμόζεται η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ, βρίσκεται ο καταλληλότερος ζυγός και υπολογίζεται η τελική ροή φορτίου για να βρεθούν οι ακριβείς απώλειες ενεργού ισχύος μετά την εγκατάσταση της βέλτιστης ΜΔΠ.

Όσον αφορά τα μεγέθη των ΜΔΠ που αντιστοιχούν σε κάθε ζυγό για κάθε μέθοδο και παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.5, είναι επίσης εμφανές ότι οι δύο μέθοδοι παράγουν παραπλήσια αποτελέσματα και οι όποιες διαφορές που παρουσιάζουν είναι πολύ μικρές.



Σχήμα 6.5: Βέλτιστο μέγεθος ΜΔΠ (MW) για κάθε ζυγό του δικτύου 10 ζυγών όπως βρέθηκε με την αναλυτική και την εξαντλητική μέθοδο, αντίστοιχα.



Σχήμα 6.6: Συνολικές απώλειες ενεργού ισχύος (MW) για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ βέλτιστου μεγέθους με την αναλυτική και την εξαντλητική μέθοδο, αντίστοιχα, σε κάθε έναν από τους ζυγούς του δικτύου 10 ζυγών.

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της εφαρμογής της αναλυτικής μεθόδου, με αντικειμενική συνάρτηση μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος στο δίκτυο 10 ζυγών παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.47.

Πίνακας 6.47: Βέλτιστα αποτελέσματα αναλυτικής μεθόδου για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος

Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ	4,44
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,952
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
Απώλειες ενεργού ισχύος πριν την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,784
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,193
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	75,41
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,267
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	28,372
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	29,639

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της εφαρμογής της εξαντλητικής μεθόδου, με αντικειμενική συνάρτηση μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος, στο δίκτυο των 10 ζυγών παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.48.

Πίνακας 6.48: Βέλτιστα αποτελέσματα εξαντλητικής μεθόδου για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος.

Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ	4,537
Απώλειες ενεργού ισχύος πριν την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,784
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,192

6.3.2.2 Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίηση οικονομικού κινήτρου

Παίρνοντας σαν αντικειμενική συνάρτηση εκείνη της μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου, σύμφωνα με όσα παρουσιάστηκαν στην Ενότητα 4.3, προκύπτει σαν βέλτιστος ζυγός προς εγκατάσταση ΜΔΠ ο ζυγός 9, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.49, με βέλτιστο μέγεθος 4,542 MW. Οι τελικές απώλειες ενεργού ισχύος υπολογίζονται στα 0,192 MW και η μείωση που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 75,48% σε σχέση με τις αρχικές που ήταν 0,784 MW. Το χρηματικό κίνητρο σύνδεσης μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής κυμαίνεται στα 1,296 \$/h, το χρηματικό κίνητρο μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος είναι στα 28,398 \$/h και το συνολικό χρηματικό κίνητρο είναι 29,694 \$/h.

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της εφαρμογής της προτεινόμενης αναλυτικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση τη μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου στο δίκτυο 10 ζυγών παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.49

Πίνακας 6.49: Βέλτιστα αποτελέσματα αναλυτικής μεθόδου για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου.

Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ	4,542
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,952
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
Απώλειες ενεργού ισχύος πριν την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,784
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,192
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	75,48
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,269
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	28,398
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	29,694

6.3.3 Εγκατάσταση πολλαπλών ΜΔΠ

6.3.3.1 Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος

Στα πλαίσια της εγκατάστασης πολλαπλών μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής δίνονται σαν παράμετροι εκτέλεσης του αλγορίθμου το πλήθος των εγκαταστημένων ΜΔΠ που ζητούνται καθώς και το όριο διείσδυσης, ως ποσοστό της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος, που έχει το δίκτυο προς εξέταση.

Στο σημείο αυτό, σημειώνεται ότι δεν είναι βέβαιο ότι η μέθοδος εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ δύναται να παράξει πλήθος ΜΔΠ όσο είναι αυτό που δίνει ο χρήστης σε κάθε περίπτωση καθώς, ανάλογα την τοπολογία του κάθε δικτύου και το όριο διείσδυσης,

μετά την εγκατάσταση ενός αριθμού ΜΔΠ, ο αλγόριθμος σταματάει. Αυτό οφείλεται στο ότι, σε εκείνη την επανάληψη που ο αλγόριθμος διεκόπη, δεν βρέθηκε μέγεθος παραγωγής, που αν προστίθετο, δεν παραβιάζεται το όριο διείσδυσης. Κατά συνέπεια το πλήθος των ΜΔΠ που θα εγκατασταθούν θα είναι το μέγιστο που μπορεί να παράξει η μέθοδος εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το μέγιστο πλήθος αυτό είναι αρκετά μεγάλο σε σχέση με τις ανάγκες που έχουν διατυπωθεί στις σύγχρονες εφαρμογές, ως εκ τούτου κρίνεται ικανοποιητικό.

Στα πλαίσια της παρουσίας των αποτελεσμάτων θα χρησιμοποιηθούν όρια διείσδυσης 20%, 50%, 80% και 100%. Επίσης χρησιμοποιούνται επιθυμητά πλήθη ΜΔΠ προς εγκατάσταση: 1, 2, 3, 5, 7, και 8. Τα βέλτιστα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 20%, 50%, 80% και 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος, παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.50 έως 6.53. Σημειώνεται εδώ ότι οι απώλειες ενεργού ισχύος του δικτύου των 10 ζυγών πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ είναι 0,784 MW.

Πίνακας 6.50: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 20% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	20
Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	0
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	-
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	-
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	-
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	-
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	-
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	-
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	-
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	-
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	-
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	-

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.50, για όριο διείσδυσης 20% ο αλγόριθμος δεν παράγει κάποιο αποτέλεσμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην πρώτη επανάληψη του αλγορίθμου δεν βρέθηκε ΜΔΠ που το μέγεθος της να μην ξεπερνούσε το όριο διείσδυσης. Με άλλα λόγια, η αναλυτική μέθοδος που χρησιμοποιείται στο πρώτο βήμα της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ δεν βρήκε, κατά την πρώτη επανάληψη, ΜΔΠ με μέγεθος μικρότερο από το γινόμενο του ορίου διείσδυσης επί τη συνολική ζήτηση ενεργού ισχύος του δικτύου.

Πίνακας 6.51: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 50% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	50
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ	4,539
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	4,539
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,192
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	75,47
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,295
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	28,380
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	29,693
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,954
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	2
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	2
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	3,734
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	8
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	2,173
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	5,906
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,141
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	82,01
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,686
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	30,855
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	32,541
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,964
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	3
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	3
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	3,043
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	8
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	1,956
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	10
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,761
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	5,760
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,122
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	84,45
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,644
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	31,776
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	33,420
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,965
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.51: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 50% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	3
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	3,043
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	8
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	1,956
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	10
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,761
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	5,760
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,122
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	84,45
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,644
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	31,776
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	33,420
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,965
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 6.51 το μέγιστο πλήθος ΜΔΠ που μπορούν να εγκατασταθούν για όριο διείσδυσης 50% είναι 3. Το γεγονός αυτό φαίνεται από το ότι για δοκιμή με επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ 5, ο αλγόριθμος μπόρεσε να παράξει μόνο 3 ΜΔΠ. Η ποσοστιαία μείωση απωλειών ενεργού ισχύος ήταν 75,47% για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ και αυξήθηκε στο 84,45% για τοποθέτηση 3 ΜΔΠ.

Πίνακας 6.52: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 80% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	80
Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	4,539
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	4,539
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,192
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	75,47
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,295
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	28,380
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	29,693
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,954
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.52: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 80% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	2
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	2
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	3,903
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	5
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	5,151
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	9,054
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,115
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	85,389
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	2,584
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	32,128
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	34,712
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,957
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	3
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	3
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	3,362
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	5
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	4,373
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	8
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	1,484
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	9,220
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0933
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	88,1
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	2,631
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	33,148
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	35,78
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,961
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,962
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.52: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 80% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	2,072
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	5
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	3,282
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	8
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,793
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	10
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,722
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	2,385
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	9,254
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0581
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	92,59
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	2,641
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	34,838
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	37,479
Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	7
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	7
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,722
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	5
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	2,231
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	8
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,701
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	10
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	1,025
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	1,852
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 6	7
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 6	0,0438
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 7	4
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 7	2,355
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	9,980
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0516
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	93,42
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	2,848
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	35,149
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	37,997
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,962
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το μέγιστο πλήθος ΜΔΠ που μπορούν να εγκατασταθούν για όριο διείσδυσης 80% είναι 7. Για επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ μεγαλύτερο του 7 το τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ

προς εγκατάσταση συνεχίζει να είναι 7 ΜΔΠ και τα αποτελέσματα για αυτό το πλήθος φαίνονται στο τελευταίο σκέλος του Πίνακα 6.49.

Πίνακας 6.53: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	100
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	4,539
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	4,539
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,192
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	75,47
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,295
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	28,380
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	29,693
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,954
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	2
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	2
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	3,903
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	5
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	5,151
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	9,054
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,115
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	85,389
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	2,584
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	32,128
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	34,712
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,957
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	3
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	3
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	3,344
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	5
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	3,970
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	7
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	2,125
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	9,438
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0859
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	89,04
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	2,693
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	33,501
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	36,194
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,960
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.53: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διεύθυνσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	2,291
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	5
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	2,800
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	7
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	1,752
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	10
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,894
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	4
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	2,252
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	9,988
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0596
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	92,40
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	2,851
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	34,766
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	37,616
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,963
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	7
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	7
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,765
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	5
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	2,055
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	7
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	1,491
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	10
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,996
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	4
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	1,712
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 6	8
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 6	0,696
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 7	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 7	1,136
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	9,850
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0480
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	93,87
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	2,811
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	35,319
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	38,130
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,967
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.53: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διεύθυνσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	8
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	8
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,700
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	5
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	1,752
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	7
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	1,336
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	10
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	1,160
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	4
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	1,474
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 6	8
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 6	0,989
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 7	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 7	1,043
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 8	3
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 8	3,055
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	12,209
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0448
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	94,28
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	3,484
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	35,474
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	38,958
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,968
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

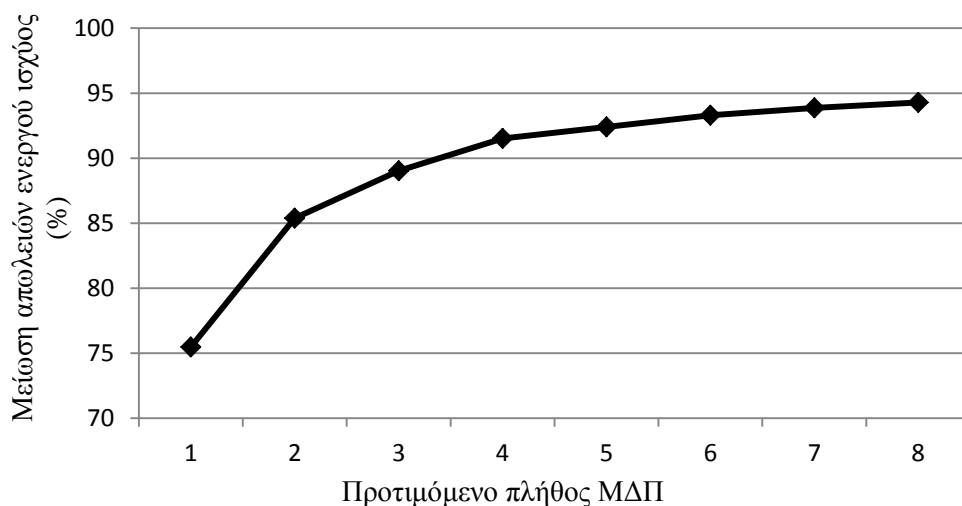
Τα βέλτιστα αποτελέσματα για την εφαρμογή της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ με όριο διεύθυνσης 100% φαίνονται στον Πίνακα 6.53. Το μέγιστο πλήθος ΜΔΠ που μπορεί να εγκατασταθεί είναι 8. Για επιθυμητό πλήθος παραπάνω από 8 ΜΔΠ το βέλτιστο αποτέλεσμα που προκύπτει είναι εκείνο των 8 ΜΔΠ του Πίνακα 6.53.

Επίσης, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.54 για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ η μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος είναι 75,47% ενώ για το βέλτιστο των 8 ΜΔΠ η μείωση είναι 94,28%. Διαπιστώνεται μία επιπλέον μείωση 18,81% επί των απωλειών ενεργού ισχύος πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ.

Στο Πίνακα 6.54 φαίνεται η ποσοστιαία μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος του δικτύου των 10 ζυγών για πλήθος εγκατεστημένων ΜΔΠ από 1 έως το μέγιστο 8. Στο Σχήμα 6.7 παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση του Πίνακα 6.54

Πίνακας 6.54: Μείωση συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος, στο δίκτυο των 10 ζυγών, με την μέθοδο εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ για εγκατεστημένο πλήθος ΜΔΠ από 1 έως 8, για όριο διείσδυσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Πλήθος Εγκατεστημένων ΜΔΠ	Συνολική Ονομαστική Ισχύς ΜΔΠ (MW)	Συνολική ονομαστική ισχύς ΜΔΠ (% συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος)	Μείωση Συνολικών Απωλειών Ενεργού Ισχύος (%)
1	4,539	36,70	75,47
2	9,054	73,21	85,39
3	9,438	74,68	89,03
4	8,591	67,98	91,52
5	9,988	79,03	92,4
6	9,653	76,38	93,3
7	9,850	79,56	93,87
8	12,209	98,71	94,28



Σχήμα 6.7: Καμπύλη ποσοστιαίας μείωσης (%) των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος του δικτύου των 10 ζυγών με την μέθοδο εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ για εγκατεστημένο πλήθος ΜΔΠ από 1 έως 8 και όριο διείσδυσης 100%.

Είναι εμφανές από το Σχήμα 6.7 ότι όσο αυξάνεται το πλήθος των εγκατεστημένων ΜΔΠ, ο ρυθμός μείωσης των συνολικών απωλειών μειώνεται. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο από τη στιγμή που με κάθε νέα εγκατάσταση ΜΔΠ, που μειώνει τις απώλειες ενεργού ισχύος, ελαττώνονται και τα περιθώρια για περαιτέρω μείωση.

Τέλος, σημειώνεται ότι τα επίπεδα της τάσης βελτιώθηκαν σημαντικά με την εφαρμογή της μεθόδου δεν είχαμε παραβίαση ορίου τάσης $\pm 5\%$ σε κανένα ζυγό. Ενδεικτικά, η ελάχιστη τάση που καταγράφεται για την βέλτιστη περίπτωση με όριο διείσδυσης 100% είναι 0,968 α.μ, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.53.

6.3.3.2 Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίηση οικονομικού κινήτρου

Στα πλαίσια της παρουσίας των αποτελεσμάτων θα χρησιμοποιηθούν όρια διείσδυσης 20%, 50%, 80% και 100%. Επίσης χρησιμοποιούνται επιθυμητά πλήθη ΜΔΠ προς εγκατάσταση: 1, 2, 3, και 5. Τα βέλτιστα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 20%, 50%, 80% και 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος, παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.55 έως 6.58. Σημειώνεται εδώ ότι οι απώλειες ενεργού ισχύος, του δικτύου των 10 ζυγών, πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ είναι 0,784 MW.

Πίνακας 6.55: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 20% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	20
Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	0
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	-
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	-
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	-
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	-
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	-
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	-
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	-
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	-
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	-
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	-

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.55, για όριο διείσδυσης 20% ο αλγόριθμος δεν παράγει κάποιο αποτέλεσμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην πρώτη επανάληψη του αλγορίθμου δεν βρέθηκε ΜΔΠ που το μέγεθος της να μην ξεπερνούσε το όριο διείσδυσης. Με άλλα λόγια, η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος που χρησιμοποιείται στο πρώτο βήμα της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ, δεν βρήκε, κατά την πρώτη επανάληψη, ΜΔΠ με μέγεθος μικρότερο από το γινόμενο του ορίου διείσδυσης επί της συνολική ζήτηση ενεργού ισχύος του δικτύου.

Πίνακας 6.56: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 50% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	50
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	4,673
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	4,673
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,192
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	75,48
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,334
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	28,400
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	29,732
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,956
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	2
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	2
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	3,818
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	8
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	2,317
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	6,135
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,143
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	81,75
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,751
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	30,761
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	32,512
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,967
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	3
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	3
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	3,120
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	8
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	2,130
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	10
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,730
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	5,979
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,123
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	84,30
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,706
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	31,717
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	33,424
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,967
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το μέγιστο πλήθος ΜΔΠ που μπορούν να εγκατασταθούν για όριο διείσδυσης 50% είναι 3.

Το συνολικό χρηματικό κίνητρο είναι 29,732\$/h για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ και αυξήθηκε στο 34,424\$/h για τοποθέτηση 3 ΜΔΠ, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.56.

Πίνακας 6.57: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 80% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	80
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	4,673
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	4,673
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,192
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	75,48
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,334
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	28,400
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	29,732
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,956
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	2
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	2
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	3,653
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	4,210
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	7,863
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,103
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	86,89
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	2,244
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	32,691
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	34,935
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,965
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	3
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	3
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	3,031
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	3,280
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	5
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	3,667
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	9,978
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0876
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	88,83
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	2,848
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	33,421
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	36,269
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,956
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το μέγιστο πλήθος ΜΔΠ που μπορούν να εγκατασταθούν για όριο διείσδυσης 80% είναι 3.

Πίνακας 6.58: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	100
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ	4,673
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	4,673
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,192
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	75,48
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,334
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	28,400
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	29,732
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,956
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	2
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	2
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	3,928
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	5
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	6,084
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	10,012
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,117
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	85,10
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	2,857
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	32,020
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	34,877
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,960
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	3
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	3
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	3,356
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	5
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	4,934
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	7
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	2,106
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	10,397
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0909
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	88,407
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	2,967
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	33,263
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	36,231
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,963
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.58: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 10 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	2,245
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	5
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	3,353
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	7
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	1,596
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	10
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,845
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	4
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	3,677
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	11,717
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0674
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	91,40
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	3,344
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	34,389
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	37,733
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,963
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το μέγιστο πλήθος ΜΔΠ που μπορούν να εγκατασταθούν για όριο διείσδυσης 100% είναι 5. Η ποσοστιαία μείωση απωλειών ενεργού ισχύος ήταν 75,48% για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ και αυξήθηκε στο 91,40% για τοποθέτηση 5 ΜΔΠ.

Το συνολικό χρηματικό κίνητρο για την εγκατάσταση μέγιστου πλήθους ΜΔΠ, όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.77, είναι 37,733 \$/h. Για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ είναι 29,732 \$/h. Διαπιστώνεται μία αύξηση του συνολικού χρηματικού κινήτρου κατά 8,001 \$/h.

Είναι εμφανές, από του Πίνακες 6.53 και 6.58 πως χρησιμοποιώντας την αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου και για όριο διείσδυσης 100%, το μέγιστο πλήθος ΜΔΠ που μπορούν να εγκατασταθούν στο δίκτυο των 10 ζυγών είναι 5 ενώ, για την αντικειμενική συνάρτηση μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος, 8. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι διότι η εξίσωση (4.10) του Υποκεφαλαίου 4.3 παράγει μεγαλύτερα μεγέθη ΜΔΠ από την εξίσωση (4.6) του Υποκεφαλαίου 4.2. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το όριο διείσδυσης να προσεγγίζεται πολύ πιο γρήγορα, κατά την εκτέλεση της μεθόδου με την αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης κινήτρου, από ότι με την αντικειμενική συνάρτηση μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος και κατά συνέπεια ο αλγόριθμος να σταματάει πιο γρήγορα.

6.3.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

6.3.4.1 Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση απωλειών ενεργού ισχύος

Στις Υποενότητες 6.3.2.1 και 6.3.3.1 χρησιμοποιήθηκε για τις εφαρμογές στο δίκτυο των 10 ζυγών η αντικειμενική συνάρτηση της μείωσης των απωλειών ενεργού ισχύος. Στην Υποενότητα 6.3.3.1 για τοποθέτηση πολλαπλών ΜΔΠ τα βέλτιστα αποτελέσματα προέκυψαν

όπως είναι φυσικό για όριο διείσδυσης 100%. Στην Υποενότητα 6.3.2.1 εφαρμόστηκε η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ. Στον Πίνακα 6.59 γίνεται σύνοψη και σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

Πίνακας 6.59: Σύνοψη-σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδου τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ για όριο διείσδυσης 100% και αναλυτικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος για το δίκτυο των 10 ζυγών.

	Αναλυτική μέθοδος τοποθέτησης μίας ΜΔΠ	Μέθοδος τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ
Συνολική Ονομαστική εγκατεστημένη Ισχύς (MW) των ΜΔΠ	4,44	12,209
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,952	0,968
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1	1
Απώλειες ενεργού ισχύος πριν την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,784	0,784
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,193	0,0448
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	75,41	94,28
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,267	3,484
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	28,372	35,474
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	29,639	38,958

Στον Πίνακα 6.59 φαίνεται ότι, η επιπλέον μείωση απωλειών ενεργού ισχύος που επετεύχθη με την μέθοδο τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ, σε σχέση με την μέθοδο τοποθέτησης μίας ΜΔΠ, ήταν 18,87% επί των απωλειών ενεργού ισχύος του αρχικού δικτύου πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ. Η επιπλέον μείωση αυτή μεταφράζεται σε 0,1482 MW. Το συνολικό χρηματικό κίνητρο αυξήθηκε από τα 29,639 \$/h σε 38,958 \$/h. Η αύξηση είναι 9,319 \$/h. Στον Πίνακα 6.59 φαίνεται, επίσης, ότι η ελάχιστη τάση ζυγού που ήταν 0,952 α.μ. για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ βελτιώθηκε στο 0,968 α.μ.

Συμπεραίνεται, ότι με την εφαρμογή της μεθόδου τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ προκύπτουν καλύτερα ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία του δικτύου σε σύγκριση με την εφαρμογή της αναλυτικής μεθόδου τοποθέτησης μίας ΜΔΠ.

6.3.4.2 Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίηση οικονομικού κινήτρου

Στις Υποενότητες 6.3.2.2 και 6.3.3.2 χρησιμοποιήθηκε για τις εφαρμογές στο δίκτυο των 10 ζυγών η αντικειμενική συνάρτηση της μεγιστοποίησης του οικονομικού κινήτρου. Στην Υποενότητα 6.3.3.2 για τοποθέτηση πολλαπλών ΜΔΠ τα βέλτιστα αποτελέσματα προέκυψαν όπως είναι φυσικό για όριο διείσδυσης 100%. Στην Υποενότητα 6.3.2.2 εφαρμόστηκε η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ. Στον Πίνακα 6.60 γίνεται σύνοψη και σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

Πίνακας 6.60: Σύνοψη-σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδου τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ για όριο διείσδυσης 100% και αναλυτικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση την μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου για το δίκτυο των 10 ζυγών.

	Αναλυτική μέθοδος τοποθέτησης μίας ΜΔΠ	Μέθοδος τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ
Συνολική Ονομαστική εγκατεστημένη Ισχύς (MW) των ΜΔΠ	4,542	11,717
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,952	0,963
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1	1
Απώλειες ενεργού ισχύος πριν την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,784	0,784
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,192	0,0674
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	75,48	91,40
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,269	3,344
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	28,398	34,389
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	29,694	37,733

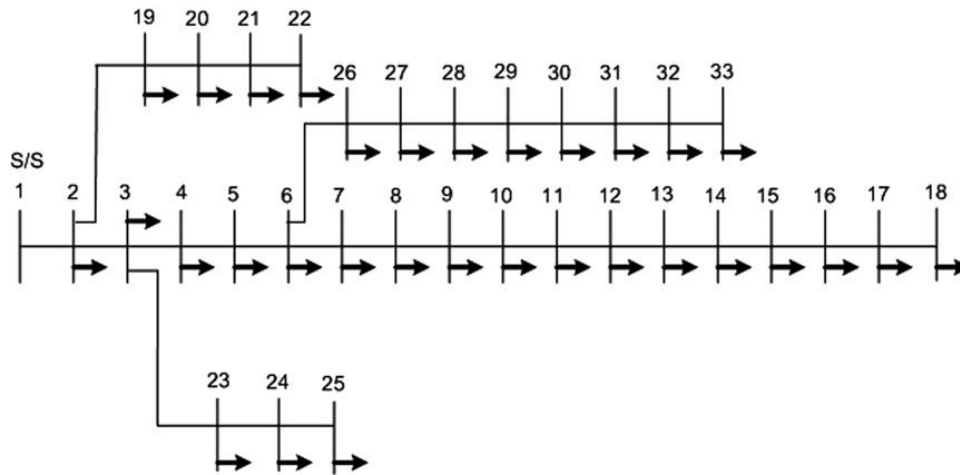
Στον Πίνακα 6.60 φαίνεται ότι η επιπλέον μείωση απωλειών ενεργού ισχύος που επετεύχθη με την μέθοδο τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ σε σχέση με την μέθοδο τοποθέτησης μίας ΜΔΠ ήταν 15,92% επί των απωλειών ενεργού ισχύος του αρχικού δικτύου πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ. Η επιπλέον μείωση αυτή μεταφράζεται σε 0,1246 MW. Το συνολικό χρηματικό κίνητρο αυξήθηκε από τα 29,694 \$/h σε 37,733 \$/h. Η αύξηση είναι 8,039 \$/h. Στον Πίνακα 6.60 φαίνεται, επίσης, ότι η ελάχιστη τάση ζυγού που ήταν 0,952 α.μ. για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ βελτιώθηκε στο 0,963 α.μ.

Συμπεραίνεται, ότι με την εφαρμογή της μεθόδου τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ προκύπτουν καλύτερα ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία του δικτύου από ότι με την εφαρμογή της αναλυτικής μεθόδου τοποθέτησης μίας ΜΔΠ.

6.4 ΔΙΚΤΥΟ 33 ΖΥΓΩΝ

6.4.1 Δεδομένα συστήματος

Τα δεδομένα του δικτύου 33 ζυγών είναι από το [6.2] και βρίσκονται στο Παράρτημα Α στον Πίνακα Α.3.1. Πρόκειται για δίκτυο τάσης 12,66 kV παντού και η τοπολογία του δικτύου φαίνεται στο Σχήμα 6.8. Η βασική ισχύς S_B του δικτύου είναι τα 100 MW.

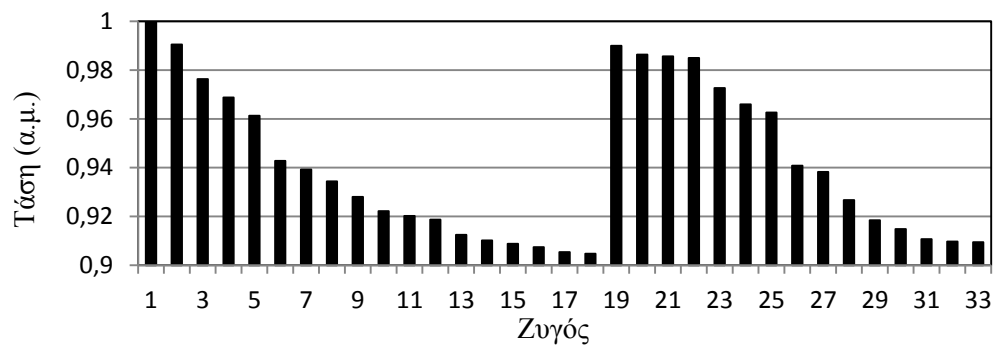


Σχήμα 6.8: Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου 33 ζυγών.

Το δίκτυο των 33 ζυγών έχει, συνολικά, ζήτηση ενεργού ισχύος 3,715 MW και ζήτηση άεργου ισχύος 2,3 MVA_r. Οι απώλειες ενεργού ισχύος είναι 0,206 MW και οι απώλειες άεργου ισχύος είναι 0,196 MVA_r, όπως υπολογίστηκαν κατά την ανάλυση ροής φορτίου.

Κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, ο οικονομικός παράγοντας σύνδεσης ΜΔΠ που παρουσιάστηκε στο Υποκεφάλαιο 4.3 θεωρείται ίσος με 0,28539 \$/MWh. Ο οικονομικός παράγοντας μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος θεωρείται ίσος με 48 \$/MWh.

Επίσης, θεωρείται όριο παραβίασης του μέτρου της τάσης $\pm 5\%$ όπως και στην Ενότητα 6.3.1. Η ελάχιστη τιμή της τάσης που παρατηρείται είναι 0,905 α.μ. (Σχήμα 6.9)



Σχήμα 6.9: Η τάση, σε α.μ. τιμή, κάθε ζυγού, του αρχικού δικτύου 33 ζυγών πριν την εγκατάσταση ΜΔΠ.

Συνοπτικά, τα πιο χρήσιμα στοιχεία του δικτύου των 10 ζυγών πριν την εγκατάσταση ΜΔΠ δίνονται στον Πίνακα 6.61.

Πίνακας 6.61: Βασικά στοιχεία δικτύου 33 ζυγών πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ.

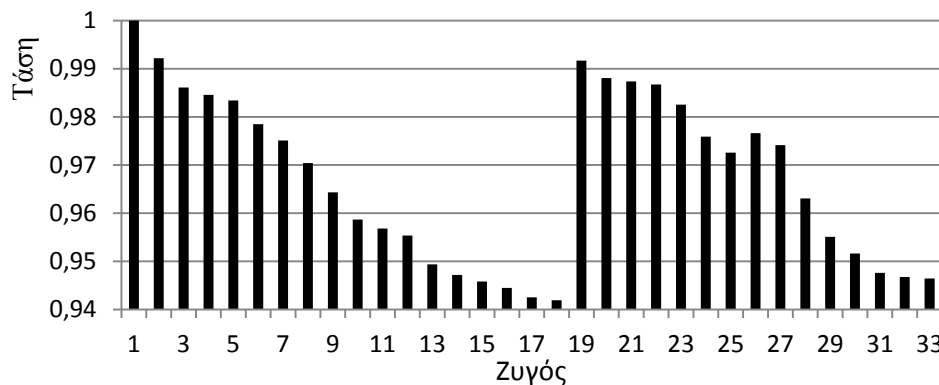
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,905
Ζυγός με την ελάχιστη τάση	18
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
Ζυγός με τη μέγιστη τάση	1
Απώλειες ενεργού ισχύος (MW)	0,206

6.4.2 Εγκατάσταση μίας ΜΔΠ

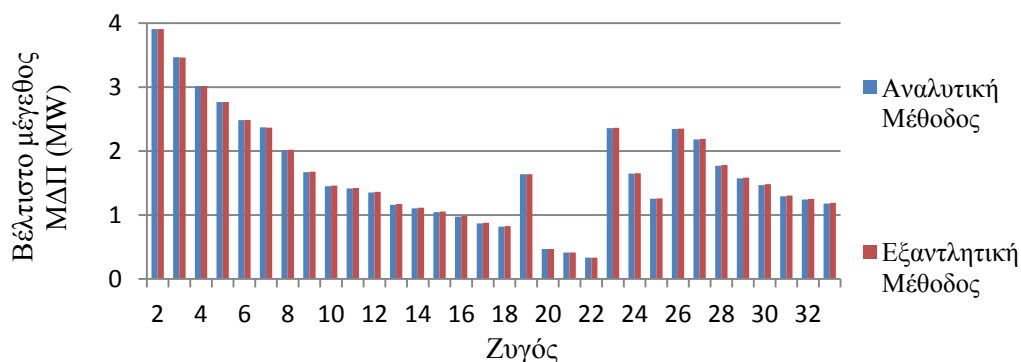
6.4.2.1 Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος

Ο ζυγός που επιλέγεται με την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου είναι ο ζυγός 6 και αντιστοιχεί σε μέγεθος ΜΔΠ 2,484 MW (Πίνακας 6.62). Οι τελικές απώλειες ενεργού ισχύος είναι 0,10567 MW Η μείωση που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 48,63%, σε σχέση με τις αρχικές απώλειες ενεργού ισχύος που ήταν 0,206 MW. Η ελάχιστη τιμή της τάσης που παρατηρείται είναι 0,942 α.μ. (Σχήμα 6.10)

Όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 5, παράλληλα, εκτελείται η εξαντλητική μέθοδος από την οποία προκύπτει βέλτιστος ζυγός ο ζυγός 9 με μέγεθος ΜΔΠ 2,487 MW και απώλειες ενεργού ισχύος 0,10566 MW (Πίνακας 6.63). Είναι προφανές ότι οι δύο μέθοδοι παράγουν παραπλήσιο αποτέλεσμα. Το χρηματικό κίνητρο σύνδεσης μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής κυμαίνεται στο 0,709 \$/h, το χρηματικό κίνητρο μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος είναι στο 4,802 \$/h και το συνολικό χρηματικό κίνητρο είναι 5,511 \$/h.



Σχήμα 6.10: Τάσεις των ζυγών στο δίκτυο των 33 ζυγών όταν εγκαθίσταται ΜΔΠ 2,484 MW στο ζυγό 6.

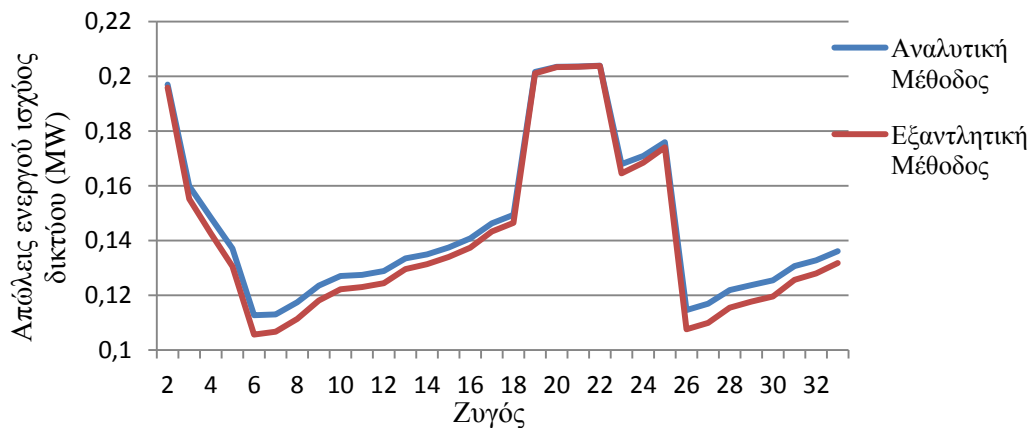


Σχήμα 6.11: Βέλτιστο μέγεθος ΜΔΠ (MW) για κάθε ζυγό του δικτύου 33 ζυγών όπως βρέθηκε με την αναλυτική και την εξαντλητική μέθοδο, αντίστοιχα.

Όπως είναι φανερό στο Σχήμα 6.11 οι ακριβείς και οι προσεγγιστικές απώλειες που βρέθηκαν με την προτεινόμενη αναλυτική και την εξαντλητική μέθοδο, αντίστοιχα, παρουσιάζουν την ίδια μπροφή, όπως και για το δίκτυο των 10 ζυγών του Υποκεφαλαίου 6.3. Αυτό σημαίνει ότι, αν η αναλυτική μέθοδος υποδείξει ως καταλληλότερο κάποιο ζυγό τότε

αυτός είναι και στην πραγματικότητα ο καταλληλότερος, δηλαδή αυτός που αν τοποθετηθεί η εγκατάσταση που του αντιστοιχεί θα προκύπτουν οι χαμηλότερες απώλειες ενεργού ισχύος σε σχέση με τους υπόλοιπους ζυγούς του δικτύου. Άρα, δεν απαιτείται να υπολογίζεται η ροή φορτίου κάθε φορά και για κάθε ζυγό όπως προβλέπει η εξαντλητική μέθοδος αλλά αντί αυτού, εφαρμόζεται η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος, βρίσκεται ο καταλληλότερος ζυγός για εγκατάσταση ΜΔΠ και υπολογίζεται μία τελική ροή φορτίου για να βρεθούν οι ακριβείς απώλειες ενεργού ισχύος μετά την εγκατάσταση της βέλτιστης ΜΔΠ.

Όσον αφορά τα μεγέθη των ΜΔΠ που αντιστοιχούν σε κάθε ζυγό για κάθε μέθοδο και παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.5, είναι, επίσης, εμφανές ότι οι δύο μέθοδοι παράγουν, και πάλι, παραπλήσια αποτελέσματα και οι όποιες διαφορές που παρουσιάζουν είναι πολύ μικρές.



Σχήμα 6.12: Συνολικές απώλειες ενεργού ισχύος (MW) για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ βέλτιστου μεγέθους με την αναλυτική και την εξαντλητική μέθοδο, αντίστοιχα, σε κάθε έναν από τους ζυγούς του δικτύου 33 ζυγών.

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της εφαρμογής της αναλυτικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος στο δίκτυο 33 ζυγών παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.62.

Πίνακας 6.62: Βέλτιστα αποτελέσματα αναλυτικής μεθόδου για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος.

Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ	2,484
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,942
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
Απώλειες ενεργού ισχύος πριν την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,206
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,106
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	48,63
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,709
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	4,802
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	5,511

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της εφαρμογής της εξαντλητικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.63.

Πίνακας 6.63: Βέλτιστα αποτελέσματα εξαντλητικής μεθόδου για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος.

Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ	2,487
Απώλειες ενεργού ισχύος πριν την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,206
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,106

6.4.2.1 Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίηση οικονομικού κινήτρου

Παίρνοντας σαν αντικειμενική συνάρτηση εκείνη της μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου, σύμφωνα με όσα παρουσιάστηκαν στην Ενότητα 4.3 προκύπτει σαν βέλτιστος ζυγός προς εγκατάσταση ΜΔΠ ο ζυγός 6, με βέλτιστο μέγεθος ΜΔΠ 2,681 MW (Πίνακας 6.64). Οι τελικές απώλειες ενεργού ισχύος υπολογίζονται στα 0,106 MW και η μείωση που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 48,62%. σε σχέση με τις αρχικές που ήταν 0,206 MW. Το χρηματικό κίνητρο σύνδεσης μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής κυμαίνεται στα 0,765 \$/h, το χρηματικό κίνητρο μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος είναι στα 4,801 \$/h και το συνολικό χρηματικό κίνητρο είναι 5,566 \$/h.

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της εφαρμογής της προτεινόμενης αναλυτικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση τη μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου στο δίκτυο των 33 ζυγών παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.64.

Πίνακας 6.64: Βέλτιστα αποτελέσματα αναλυτικής μεθόδου για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου.

Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ	2,681
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,945
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
Απώλειες ενεργού ισχύος πριν την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,206
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,106
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	48,62
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,765
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	4,801
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	5,566

6.4.3 Εγκατάσταση πολλαπλών ΜΔΠ

6.4.3.1 Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος

Στα πλαίσια της παρουσίας των αποτελεσμάτων θα χρησιμοποιηθούν όρια διείσδυσης 20%, 50%, 80% και 100%. Επίσης χρησιμοποιούνται επιθυμητά πλήθη ΜΔΠ

προς εγκατάσταση: 1, 2, 3, 5,7, 10, 14 και 16. Τα βέλτιστα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 20%, 50%, 80% και 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.65 έως 6.68. Σημειώνεται εδώ ότι, οι απώλειες ενεργού ισχύος του δικτύου των 33 ζυγών πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ είναι 0,206 MW.

Πίνακας 6.65: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 20% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος

Όριο διείσδυσης (%)	20
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	<i>1</i>
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	20
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	0,469
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	0,469
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,203
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	1,15
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,134
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	0,113
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	0,247
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,905
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	<i>2</i>
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	2
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	20
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	0,421
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	22
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,077
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	0,498
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,203
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	1,193
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,142
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	0,118
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	0,260
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,905
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το μέγιστο πλήθος εγκατεστημένων ΜΔΠ που παράγεται από τη μέθοδο εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ, για όριο διείσδυσης 20%, είναι 2. Παρατηρείται, από τον Πίνακα 6.65, ότι επειδή το όριο διείσδυσης είναι χαμηλό, είναι αντίστοιχα χαμηλά και τα μεγέθη ΜΔΠ που προκύπτουν.

Πίνακας 6.66: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 50% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	50
Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	28
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,782
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	1,782
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,115
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	43,87
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,508
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	4,33
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	4,840
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,932
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το μέγιστο πλήθος εγκατεστημένων ΜΔΠ που παράγεται από τη μέθοδο εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ για όριο διείσδυσης 50% είναι 1. Αντίθετα με την εφαρμογή της μεθόδου για όριο διείσδυσης 20%, 2 ή και παραπάνω ΜΔΠ δεν είναι δυνατόν να εγκατασταθούν. Αυτό συμβαίνει διότι η πρώτη ΜΔΠ που παράγει ο αλγόριθμος για όριο διείσδυσης 50% είναι πολύ κοντά στο όριο αυτό με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιούνται τα περιθώρια για επιπλέον ΜΔΠ. Παρόλα αυτά, η μείωση απωλειών ενεργού ισχύος και η βελτίωση της ελάχιστης τάσης ζυγού είναι αρκετά μεγαλύτερη όπως φαίνεται από τους Πίνακες 6.65 και 6.66.

Πίνακας 6.67: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 80% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	80
Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	2,487
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	2,487
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,106
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	48,63
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,710
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	4,802
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	5,512
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,942
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.67: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 80% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	2
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	2
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	2,068
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	16
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,497
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	2,565
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0914
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	55,55
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,732
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	5,485
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	6,217
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,948
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,280
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	16
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,426
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	32
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,550
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	21
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,297
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	11
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,249
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	2,801
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0762
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	62,95
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,799
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	6,215
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	7,015
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,963
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.67: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 80% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	7
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	6
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,106
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	16
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,372
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	32
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,544
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	21
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,295
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	11
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,200
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 6	5
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 6	0,471
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	2,989
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0753
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	63,39
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,853
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	6,259
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	7,112
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,963
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το μέγιστο πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση, για όριο διείσδυσης 80%, είναι 6. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.67, η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος είναι 48,63% για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ και 63,39% για εγκατάσταση του βέλτιστου των 6 ΜΔΠ. Η επιπλέον μείωση που παρατηρείται είναι της τάξης του 14,76% επί των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος του δικτύου πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ.

Πίνακας 6.68: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	100
Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	2,487
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	2,487
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,106
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	48,63
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,710
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	4,802
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	5,512
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,942
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.68: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διεύθυνσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	3
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	3
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,780
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	16
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,450
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	25
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,785
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	3,015
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0810
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	60,62
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,860
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	5,986
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	6,846
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,946
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,264
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	16
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,475
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	25
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,746
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	32
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,581
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	21
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,279
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	3,344
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0669
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	67,47
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,954
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	6,662
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	7,616
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,964
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.68: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διεύθυνσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	7
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	7
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	0,954
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	16
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,385
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	25
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,665
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	32
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,562
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	21
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,269
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 6	11
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 6	0,220
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 7	23
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 7	0,424
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	3,477
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0651
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	68,37
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,992
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	6,751
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	7,743
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,962
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.68: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διεξόδου 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	<i>10</i>
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	10
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	0,742
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	16
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,310
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	25
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,633
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	32
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,493
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	21
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,271
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 6	11
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 6	0,218
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 7	23
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 7	0,390
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 8	18
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 8	0,041
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 9	29
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 9	0,186
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 10	13
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 10	0,144
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	3,426
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0636
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	69,08
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,978
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	6,821
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	7,799
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,963
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.68: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διεύθυνσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	14
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	14
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	0,615
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	16
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,250
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	25
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,622
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	32
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,423
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	21
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,270
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 6	11
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 6	0,163
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 7	23
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 7	0,403
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 8	18
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 8	0,057
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 9	29
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 9	0,225
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 10	13
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 10	0,113
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 11	31
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 11	0,035
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 12	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 12	0,134
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 13	33
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 13	0,005
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 14	8
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 14	0,162
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	3,477
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0630
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	69,38
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,992
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	6,851
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	7,843
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,963
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

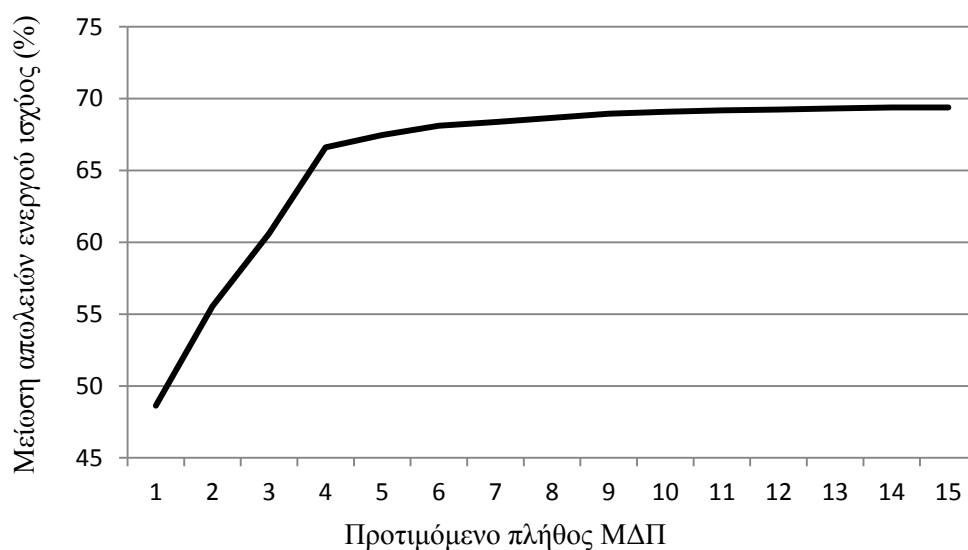
Πίνακας 6.68: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	16
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	14
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	0,551
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	16
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,236
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	25
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,625
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	32
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,406
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	21
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,270
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 6	11
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 6	0,136
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 7	23
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 7	0,401
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 8	18
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 8	0,059
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 9	29
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 9	0,216
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 10	13
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 10	0,103
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 11	31
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 11	0,026
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 12	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 12	0,095
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 13	8
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 13	0,126
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 14	30
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 14	0,177
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	3,426
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0630
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	69,39
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,978
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	6,852
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	7,830
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,964
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το βέλτιστο αποτέλεσμα, όπως προκύπτει από τον Πίνακα 6.68, βρέθηκε για εγκατάσταση 14 ΜΔΠ, με επιθυμητό πλήθος 16 και όριο διείσδυσης 100%. Παρατηρείται ότι διαφέρει από το αντίστοιχο αποτέλεσμα πλήθους εγκατάστασης 14 ΜΔΠ με επιθυμητό πλήθος 14 ΜΔΠ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, στο τέλος εκτέλεσης του αλγορίθμου, στην πρώτη περίπτωση, προέκυψε εγκατάσταση με αρνητικό πρόσημο. Πρόκειται για την εγκατάσταση στο ζυγό 33, της οποίας στην τελευταία επανάληψη και μετά την προσαρμογή του δευτέρου βήματος του αλγορίθμου, το μέγεθος της πέρασε από τα θετικά στα αρνητικά.

Όπως φαίνεται στην προτελευταία δοκιμή του Πίνακα 6.68 με επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ 14, η παραγωγή αυτή ήταν πολύ μικρού μεγέθους και έτσι στην προσαρμογή που ακολούθησε μειώθηκε περαιτέρω και έγινε αρνητική. Υπάρχει, όμως, πρόβλεψη στον αλγόριθμο σε τέτοια περίπτωση μια τέτοια εγκατάσταση να αφαιρείται. Αυτό δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα της τελικής ροής φορτίου γιατί, όταν συμβαίνει αυτό, η απόλυτη τιμή της εν λόγω εγκατάστασης αρνητικού μεγέθους είναι πολύ μικρή. Με άλλα λόγια η παρουσία της είτε θετική, είτε αρνητική, όντας τόσο μικρή, είναι αμελητέα.

Στο βέλτιστο αποτέλεσμα προκύπτει μείωση απωλειών ισχύος 69,39% και τελικές απώλειες 0,063 MW. Με τις αρχικές απώλειες να είναι 0,206 MW, επετεύχθη μείωση 0,197 MW. Για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.68, επετεύχθη μείωση 48,63%. Δηλαδή, η επιπλέον μείωση είναι 20,76% επί των απωλειών ενεργού ισχύος πριν την εγκατάσταση ΜΔΠ και 55,85% επί της προτεινόμενης αναλυτικής μεθόδου.



Σχήμα 6.13 Καμπύλη ποσοστιαίας μείωσης (%) των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος του δικτύου των 33 ζυγών με την μέθοδο εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ για επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ από 1 έως 15 και όριο διείσδυσης 100%.

6.4.3.2 Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίηση οικονομικού κινήτρου

Στα πλαίσια της παρουσίας των αποτελεσμάτων θα χρησιμοποιηθούν όρια διείσδυσης 20%, 50%, 80% και 100%. Επίσης χρησιμοποιούνται επιθυμητά πλήθη ΜΔΠ προς εγκατάσταση: 1, 2, 3, 5, 8 και 11. Τα βέλτιστα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 20%, 50%, 80% και 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.69 έως 6.72. Σημειώνεται εδώ ότι οι απώλειες ενεργού ισχύος, του δικτύου των 10 ζυγών, πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ είναι 0,206 MW.

Πίνακας 6.69: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 20% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	20
Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	20
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	0,737
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	0,737
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,204
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	0,798
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,210
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	0,0787
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	0,289
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,905
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το μέγιστο πλήθος ΜΔΠ που παράγει η μέθοδος εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ, με αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου, για όριο διείσδυσης 20% είναι 1. Παρατηρείται, στον Πίνακα 6.69, ότι μετά την εγκατάσταση της ΜΔΠ υπάρχει ελάχιστη μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το όριο διείσδυσης είναι μικρό και συνεπώς είναι μικρό το μέγεθος της αντίστοιχης ΜΔΠ και δεν επηρεάζει σημαντικά τα δεδομένα του δικτύου.

Πίνακας 6.70: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 50% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	50
Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,790
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	1,790
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,118
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	42,59
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,511
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	4,204
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	4,716
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,936
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το μέγιστο πλήθος ΜΔΠ που παράγει η μέθοδος εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ, με αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου, για όριο διείσδυσης 50% είναι 1. Παρατηρείται στον Πίνακα 6.70 ότι, μετά την εγκατάσταση της ΜΔΠ υπάρχει, αντίθετα με τη δοκιμή για όριο διείσδυσης 20%, αρκετά καλύτερη εικόνα στα βασικά στοιχεία του δικτύου. Η μείωση απωλειών ενεργού ισχύος είναι της τάξης του 45,59% και η ελάχιστη τάση ζυγού είναι 0,936 α.μ.

Πίνακας 6.71: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 80% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	80
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	2,700
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	2,700
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,106
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	48,59
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,771
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	4,780
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	5,569
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,945
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	2
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	2
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	2,536
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	27
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,298
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	2,834
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,105
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	48,99
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,807
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	4,837
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	5,645
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,947
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	3
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	3
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	2,170
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	27
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,067
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	28
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,601
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	2,837
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0992
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	51,77
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,810
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	5,112
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	5,922
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,947
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το μέγιστο πλήθος ΜΔΠ που δύναται να εγκατασταθούν, με την εφαρμογή της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ, με αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου, για όριο διείσδυσης 80% είναι 3.

Πίνακας 6.72: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	100
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	2,700
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	2,700
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,106
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	48,59
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,771
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	4,780
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	5,569
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,945
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	2
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	2
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	2,459
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	25
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,902
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	3,371
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,095
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	53,73
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,962
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	5,305
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	6,267
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,945
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	3
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	3
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	2,094
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	25
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,828
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	18
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,421
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	3,343
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0827
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	59,82
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,954
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	5,907
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	6,861
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,951
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.72: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	5
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,312
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	25
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,817
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	18
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,341
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	28
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,339
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	32
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,491
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	3,299
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0698
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	66,09
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,942
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	6,526
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	7,467
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,964
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	8
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	8
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	0,979
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	25
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,737
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	18
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,245
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	28
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,136
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	32
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,384
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 6	13
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 6	0,356
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 7	30
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 7	0,230
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 8	24
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 8	0,424
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	3,490
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0657
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	68,06
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,996
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	6,721
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	7,717
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,966
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.72: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 33 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	11
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	11
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	6
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	0,729
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	25
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,530
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	18
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,186
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	28
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,038
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	32
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,340
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 6	13
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 6	0,288
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 7	30
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 7	0,180
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 8	24
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 8	0,461
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 9	9
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 9	0,191
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 10	29
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 10	0,033
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 11	5
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 11	0,639
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	3,614
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0655
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	68,15
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,031
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	6,730
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	7,761
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,963
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το συνολικό χρηματικό κίνητρο για την εγκατάσταση μέγιστου πλήθους ΜΔΠ, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.72, είναι 7,761 \$/h. Για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ είναι 5,569 \$/h. Διαπιστώνεται μία αύξηση του συνολικού χρηματικού κινήτρου κατά 2,192 \$/h.

Το μέγιστο πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση, για όριο διείσδυσης 100% προκύπτει ίσο με 11 ΜΔΠ. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.72, η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος, για το μέγιστο πλήθος ΜΔΠ, φτάνει το 68,15%, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για τοποθέτηση μίας εγκατάστασης είναι 48,59%. Παρατηρείται, δηλαδή, μία επί πλέον μείωση 19,92% επί των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος πριν την εγκατάσταση ΜΔΠ.

Επίσης, η ελάχιστη τάση ανέβηκε από την τιμή 0,945 α.μ. που είχε για μία εγκατάσταση ΜΔΠ στην τιμή 0,963 α.μ. Με άλλα λόγια, όλες οι τάσεις για την βέλτιστη περίπτωση των 11 ΜΔΠ είναι σε αποδεκτές τιμές.

6.4.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων.

6.4.4.1 Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση απωλειών ενεργού ισχύος

Στις Υποενότητες 6.4.2.1 και 6.4.3.1 χρησιμοποιήθηκε για τις εφαρμογές στο δίκτυο των 33 ζυγών η αντικειμενική συνάρτηση της μείωσης των απωλειών ενεργού ισχύος. Στην Υποενότητα 6.4.3.1 για τοποθέτηση πολλαπλών ΜΔΠ τα βέλτιστα αποτελέσματα προέκυψαν όπως είναι φυσικό για όριο διείσδυσης 100%. Στην Υποενότητα 6.4.2.1 εφαρμόστηκε η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ. Στον Πίνακα 6.73 γίνεται σύνοψη και σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

Πίνακας 6.73: Σύνοψη-σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδου τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ για όριο διείσδυσης 100% και αναλυτικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος για το δίκτυο των 33 ζυγών.

	Αναλυτική μέθοδος τοποθέτησης μίας ΜΔΠ	Μέθοδος τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ
Συνολική Ονομαστική εγκατεστημένη Ισχύς (MW) των ΜΔΠ	2,484	3,426
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,942	0,964
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1	1
Απώλειες ενεργού ισχύος πριν την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,206	0,206
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,106	0,0630
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	48,63	69,39
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,709	0,978
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	4,802	6,852
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	5,511	7,830

Στον Πίνακα 6.73 φαίνεται ότι η επιπλέον μείωση απωλειών ενεργού ισχύος που επετεύχθη με την μέθοδο τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ σε σχέση με την μέθοδο τοποθέτησης μίας ΜΔΠ ήταν 20,76% επί των απωλειών ενεργού ισχύος του δικτύου πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ. Η επιπλέον μείωση αυτή μεταφράζεται σε 0,043 MW. Το συνολικό χρηματικό κίνητρο αυξήθηκε από τα 4,802 \$/h σε 6,852 \$/h. Η αύξηση είναι 2,05 \$/h. Στον Πίνακα 6.73 φαίνεται, επίσης, ότι η ελάχιστη τάση ζυγού που ήταν 0,942 α.μ. για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ βελτιώθηκε στο 0,964 α.μ.

Συμπεραίνεται, ότι με την εφαρμογή της μεθόδου τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ προκύπτουν καλύτερα ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία του δικτύου από ότι με την εφαρμογή της αναλυτική μεθόδου τοποθέτησης μίας ΜΔΠ.

6.4.4.2 Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίηση οικονομικού κινήτρου

Στις Υποενότητες 6.4.2.2 και 6.4.3.2 χρησιμοποιήθηκε για τις εφαρμογές στο δίκτυο των 69 ζυγών η αντικειμενική συνάρτηση της μεγιστοποίησης του οικονομικού κινήτρου. Στην Υποενότητα 6.4.3.2 για τοποθέτηση πολλαπλών ΜΔΠ τα βέλτιστα αποτελέσματα

προέκυψαν όπως είναι φυσικό για όριο διείσδυσης 100%. Στην Υποενότητα 6.4.2.2 εφαρμόστηκε η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ. Στον Πίνακα 6.74 γίνεται σύνοψη και σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

Πίνακας 6.74: Σύνοψη-σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδου τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ για όριο διείσδυσης 100% και αναλυτικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση τη μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου για το δίκτυο των 33 ζυγών.

	Αναλυτική μέθοδος τοποθέτησης μίας ΜΔΠ	Μέθοδος τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ
Συνολική Ονομαστική εγκατεστημένη Ισχύς (MW) των ΜΔΠ	2,681	3,614
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,942	0,963
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1	1
Απώλειες ενεργού ισχύος πριν την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,206	0,206
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,106	0,0655
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	48,62	68,15
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,765	1,031
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	4,801	6,730
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	5,566	7,761

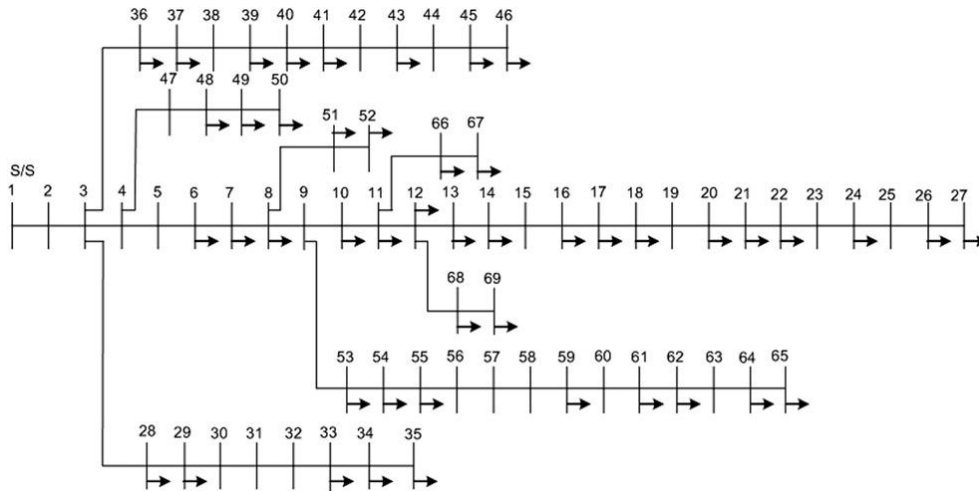
Στον Πίνακα 6.74 φαίνεται ότι η επιπλέον μείωση απωλειών ενεργού ισχύος που επετεύχθη με την μέθοδο τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ σε σχέση με την μέθοδο τοποθέτησης μίας ΜΔΠ ήταν 19,53% επί των απωλειών ενεργού ισχύος του αρχικού δικτύου πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ. Η επιπλέον μείωση αυτή μεταφράζεται σε 0,0405 MW. Το συνολικό χρηματικό κίνητρο αυξήθηκε από τα 5,566 \$/h σε 7,761 \$/h. Η αύξηση είναι 2,195 \$/h. Στον Πίνακα 6.74 φαίνεται, επίσης, ότι η ελάχιστη τάση ζυγού που ήταν 0,942 α.μ. για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ βελτιώθηκε στο 0,963 α.μ.

Συμπεραίνεται, ότι με την εφαρμογή της μεθόδου τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ προκύπτουν καλύτερα ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία του δικτύου από ότι με την εφαρμογή της αναλυτικής μεθόδου τοποθέτησης μίας ΜΔΠ.

6.5 ΔΙΚΤΥΟ 69 ΖΥΓΩΝ

6.5.1 Δεδομένα συστήματος

Τα δεδομένα του δικτύου 33 ζυγών είναι από το [6.2] και βρίσκονται στο Παράρτημα Α στον Πίνακα.4.1. Πρόκειται για δίκτυο τάσης 12,66 KV παντού και η τοπολογία του δικτύου φαίνεται στο σχήμα 6.14. Η βασική ισχύς S_B του δικτύου είναι τα 100 MW

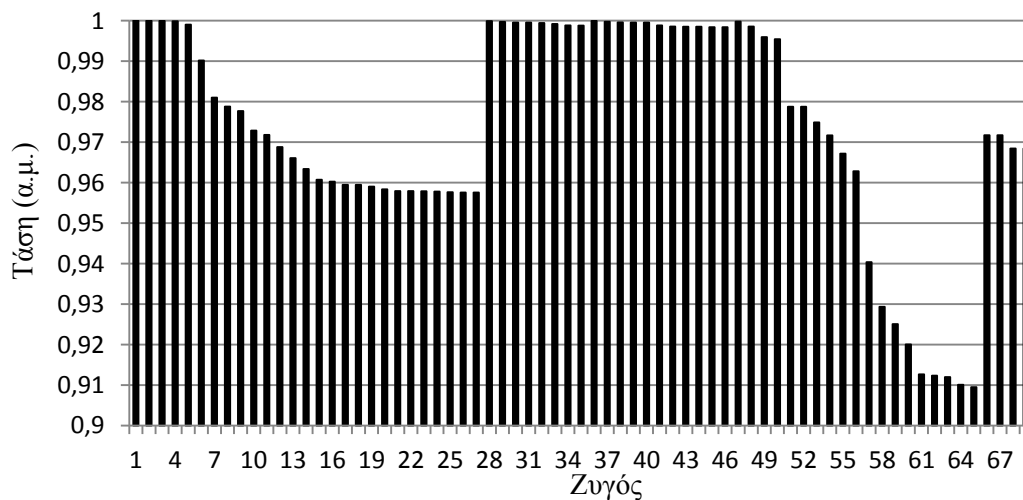


Σχήμα 6.14: Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου 69 ζυγών.

Το δίκτυο των 33 ζυγών έχει, συνολικά, ζήτηση ενεργού ισχύος 3,776 MW και ζήτηση άεργου ισχύος 2,844 MVA_r. Οι απώλειες ενεργού ισχύος είναι 0,220 MW και οι απώλειες άεργου ισχύος είναι 0,101 MVA_r, όπως υπολογίστηκαν κατά την ανάλυση ροής φορτίου.

Κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, ο οικονομικός παράγοντας σύνδεσης ΜΔΠ που παρουσιάστηκε στο Υποκεφάλαιο 4.3 θεωρείται ίσος με 0,28539 \$/MWh. Ο οικονομικός παράγοντας μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος θεωρείται ίσος με 48 \$/MWh.

Επίσης, θεωρείται όριο παραβίασης του μέτρου της τάσης $\pm 5\%$ όπως και στην Ενότητα 6.3.1. Η ελάχιστη τιμή της τάσης που παρατηρείται είναι 0,909 α.μ. (Σχήμα 6.15)



Σχήμα 6.15: Η τάση, σε α.μ. τιμή, κάθε ζυγού, του αρχικού δικτύου 69 ζυγών πριν την εγκατάσταση ΜΔΠ.

Συνοπτικά, τα πιο χρήσιμα στοιχεία του δικτύου των 10 ζυγών πριν την εγκατάσταση ΜΔΠ δίνονται στον Πίνακα 6.75.

Πίνακας 6.75: Βασικά στοιχεία δικτύου 69 ζυγών πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ.

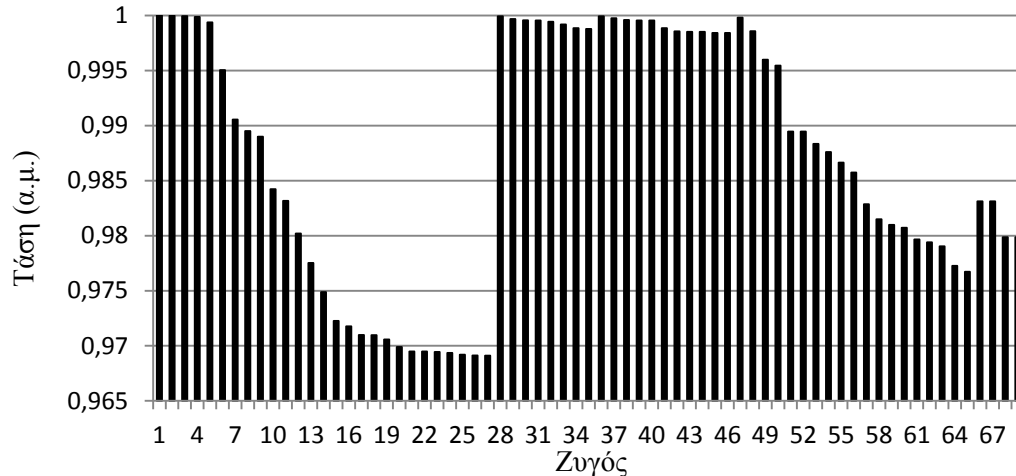
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,909
Ζυγός με την ελάχιστη τάση	65
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
Ζυγός με τη μέγιστη τάση	1
Απώλειες ενεργού ισχύος (MW)	0,220

6.5.2 Εγκατάσταση μία ΜΔΠ

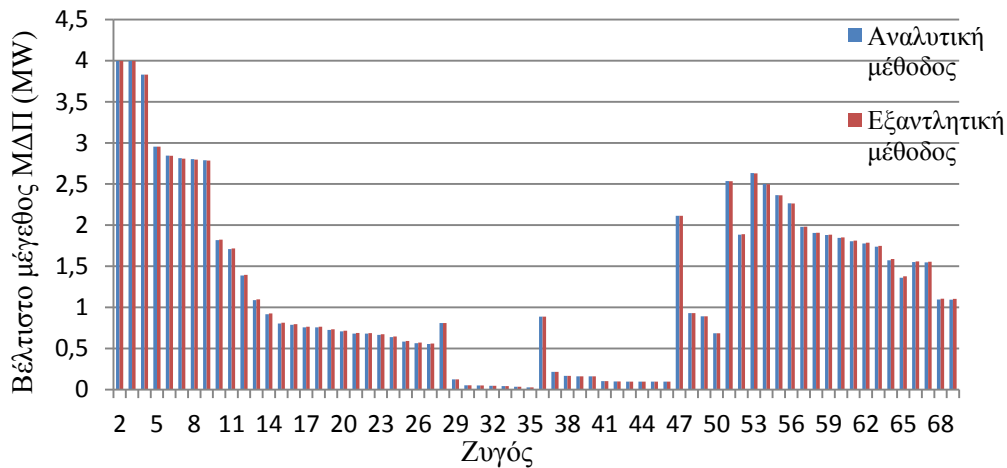
6.5.1 Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση απωλειών ενεργού ισχύος

Ο ζυγός που επιλέγεται με την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου είναι ο ζυγός 61 και αντιστοιχεί σε μέγεθος ΜΔΠ 1,804 MW (Πίνακας 6.76). Οι τελικές απώλειες ενεργού ισχύος είναι 0,07993 MW. Η μείωση που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 63,75% σε σχέση με τις αρχικές απώλειες ενεργού ισχύος που ήταν 0,220 MW. Η ελάχιστη τιμή της τάσης που παρατηρείται είναι 0,969 α.μ. (Σχήμα 6.16)

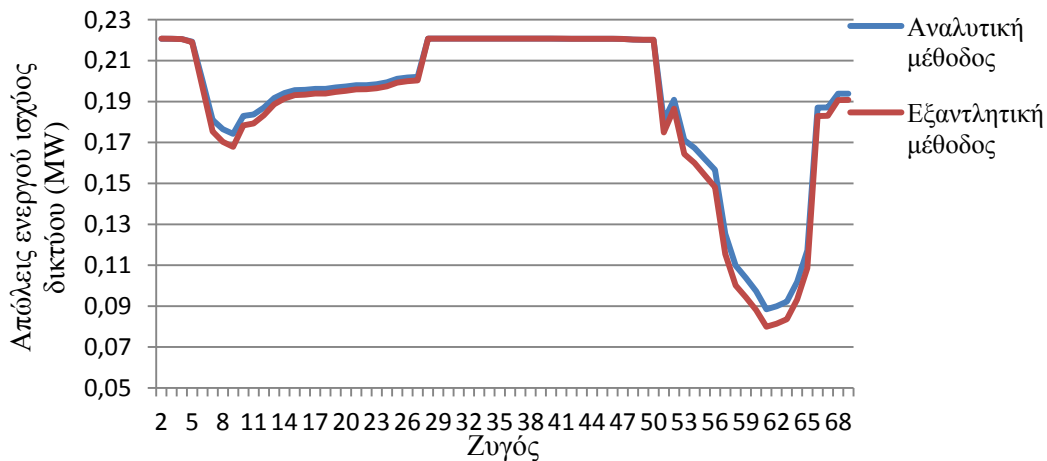
Όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 5 παράλληλα εκτελείται η εξαντλητική μέθοδος από την οποία προκύπτει βέλτιστος ζυγός ο ζυγός 61 με μέγεθος ΜΔΠ 1,812 MW και απώλειες ενεργού ισχύος 0,07989 MW (Πίνακας 6.77). Είναι προφανές ότι οι δύο μέθοδοι παράγουν παραπλήσιο αποτέλεσμα. Το χρηματικό κίνητρο σύνδεσης μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής κυμαίνεται στο 0,709 \$/h, το χρηματικό κίνητρο μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος είναι στο 4,802 \$/h και το συνολικό χρηματικό κίνητρο είναι 5,511 \$/h.



Σχήμα 6.16: Τάσεις των ζυγών στο δίκτυο των 69 ζυγών όταν εγκαθίσταται ΜΔΠ 1,804 MW στο ζυγό 61.



Σχήμα 6.17: Βέλτιστο μέγεθος ΜΔΠ (MW) για κάθε ζυγό του δικτύου 69 ζυγών όπως βρέθηκε με την αναλυτική και την εξαντλητική μέθοδο, αντίστοιχα.



Σχήμα 6.18: Συνολικές απώλειες ενεργού ισχύος (MW) για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ βέλτιστοι μεγέθους με την αναλυτική και την εξαντλητική μέθοδο, αντίστοιχα, σε κάθε έναν από τους ζυγούς του δικτύου 69 ζυγών.

Όπως είναι φανερό στο Σχήμα 6.11 οι ακριβείς και η προσεγγιστικές απώλειες που βρέθηκαν με την προτεινόμενη αναλυτική και την εξαντλητική μέθοδο, αντίστοιχα, παρουσιάζουν την ίδια μορφή.

Όσον αφορά τα μεγέθη των ΜΔΠ που αντιστοιχούν σε κάθε ζυγό για κάθε μέθοδο και παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.5, είναι, επίσης, εμφανές ότι οι δύο μέθοδοι παράγουν, και πάλι, παραπλήσια αποτελέσματα και οι όποιες διαφορές που παρουσιάζουν είναι πολύ μικρές.

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της εφαρμογής της αναλυτικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος στο δίκτυο 69 ζυγών παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.76.

Πίνακας 6.76: Βέλτιστα αποτελέσματα αναλυτικής μεθόδου για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ στο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος.

Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ	1,804
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,969
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
Απώλειες ενεργού ισχύος πριν την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,220
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,0799
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	63,75
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,514
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	6,746
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	7,261

Παρατηρείται, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.72, σημαντική βελτίωση των τιμών των τάσεων του ζυγού του δικτύου, ήδη, από την εγκατάσταση μίας και μόνο παραγωγής, με αποτέλεσμα η ελάχιστη τάση να είναι 0,969 α.μ.

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της εφαρμογής της εξαντλητικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος στο δίκτυο 69 ζυγών παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.77.

Πίνακας 6.77: Βέλτιστα αποτελέσματα εξαντλητικής μεθόδου για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ στο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος.

Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ	1,812
Απώλειες ενεργού ισχύος πριν την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,220
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,0799

6.5.2 Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίηση οικονομικού κινήτρου

Στα πλαίσια αυτής της δοκιμής έχει γίνει μία αλλαγή στα δεδομένα του συστήματος των 69 ζυγών. Οι ζυγοί 1 έως 4 του δικτύου απέχουν μεταξύ τους πολύ μικρή απόσταση και κατά συνέπεια παρεμβάλετε μικρή σύνθετη αντίσταση. Γενικά, ο αλγόριθμος της μεθόδου για εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ με αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου παράγει πολύ μεγάλα μεγέθη ΜΔΠ για τον ζυγό αναφοράς σε όλα τα δίκτυα αλλά αυτό δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα καθώς εξ' ορισμού δεν εξετάζεται ο ζυγός αναφοράς. Στο συγκεκριμένο δίκτυο, όμως, λόγω της μικρής σύνθετης αντίστασης μεταξύ των ζυγών 1 έως 4, μεγάλα μεγέθη ΜΔΠ παρουσιάζονται και στους υπόλοιπους 3 ζυγούς. Έτσι εμποδίζεται η σωστή εφαρμογή της μεθόδου. Για το λόγο αυτό, αυξήθηκε η τιμή των σύνθετων αυτών αντιστάσεων, στα συγκεκριμένα σημεία του δικτύου και έτσι ομαλοποιούνται τα αποτελέσματα. Η αλλαγή αυτή παρουσιάζεται στον πίνακα Α.4.2 του Παραρτήματος Α. Οι αρχικές απώλειες ενεργού ισχύος για το τροποποιημένο δίκτυο 69 ζυγών είναι 0,2651 MW.

Παίρνοντας σαν αντικειμενική συνάρτηση εκείνη της μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου, σύμφωνα με όσα παρουσιάστηκαν στην Ενότητα 4.3, προκύπτει σαν βέλτιστος ζυγός προς εγκατάσταση ΜΔΠ ο ζυγός 61, με βέλτιστο μέγεθος ΜΔΠ 1,942 MW (Πίνακας

6.78). Οι τελικές απώλειες ενεργού ισχύος υπολογίζονται στα 0,0983 MW και η μείωση που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 62,91%, σε σχέση με τις αρχικές που ήταν 0,265 MW. Το χρηματικό κίνητρο σύνδεσης μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής κυμαίνεται στα 0,554 \$/h, το χρηματικό κίνητρο μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος είναι στα 8,006 \$/h και το συνολικό χρηματικό κίνητρο είναι 8,560 \$/h.

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της εφαρμογής της προτεινόμενης αναλυτικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση τη μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.78.

Πίνακας 6.78: Βέλτιστα αποτελέσματα αναλυτικής μεθόδου για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ στο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου.

Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ	1,942
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,957
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
Απώλειες ενεργού ισχύος πριν την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,265
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,0983
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	62,91
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,554
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	8,006
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	8,560

6.5.3 Εγκατάσταση πολλαπλών ΜΔΠ

6.5.3.1 Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος

Στα πλαίσια της παρουσίας των αποτελεσμάτων θα χρησιμοποιηθούν όρια διείσδυσης 20%, 50%, 80% και 100%. Επίσης χρησιμοποιούνται επιθυμητά πλήθη ΜΔΠ προς εγκατάσταση: 1, 2, 3, 4, 5, 8 και 9. Τα βέλτιστα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 20%, 50%, 80% και 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.79 έως 6.82. Σημειώνεται εδώ ότι οι απώλειες ενεργού ισχύος του δικτύου των 69 ζυγών, πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ, είναι 0,220 MW.

Πίνακας 6.79: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 20% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	20
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	19
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	0,734
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	0,734
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,195
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	11,68
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,209
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	1,236
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	1,445
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,914
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	2
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	2
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	19
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	0,720
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	27
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,026
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	0,0745
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,195
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	11,71
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,213
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	1,239
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	1,451
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,914
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	4
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	4
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	19
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	0,663
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	27
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,003
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	17
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,064
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	35
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,026
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	0,755
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,195
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	11,75
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,215
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	1,243
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	1,459
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,914
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.79 για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ η μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος είναι 11,68% ενώ για 4 ΜΔΠ η μείωση είναι 11,75

Πίνακας 6.80: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διεύθυνσης 50% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διεύθυνσης (%)	50
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,812
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	1,812
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0799
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	63,76
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,517
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	6,748
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	7,265
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,969
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	2
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	2
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,753
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	58
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,135
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	1,888
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0793
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	64,02
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,539
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	6,775
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	7,314
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,970
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	3
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	3
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,707
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	58
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,135
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	34
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,034
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	1,876
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0794
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	63,99
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,535
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	6,772
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	7,307
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,969
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το μέγιστο πλήθος εγκατεστημένων ΜΔΠ που παράγεται από τη μέθοδο εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ για όριο διείσδυσης 50% είναι 3. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.78, για μία τοποθέτηση μίας ΜΔΠ η μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος είναι 63,76% ενώ για 3 ΜΔΠ είναι 63,99%. Διαπιστώνεται μικρή αύξηση.

Πίνακας 6.81: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 80% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	80
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	<i>1</i>
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,812
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	1,812
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0799
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	63,76
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,517
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	6,748
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	7,265
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,969
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	<i>3</i>
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	3
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,670
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	17
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,394
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	11
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,473
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	2,537
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0673
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	69,49
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,724
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	7,354
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	8,078
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,977
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.81: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 80% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,595
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	17
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,340
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	11
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,380
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	8
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,267
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	65
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,084
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	2,665
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0666
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	69,78
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,761
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	7,385
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	8,145
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,979
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	8
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	8
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,526
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	17
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,315
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	11
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,288
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	8
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,232
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	65
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,094
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 6	68
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 6	0,099
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 7	45
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 7	0,094
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 8	34
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 8	0,033
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	2,681
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0667
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	69,74
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,765
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	7,380
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	8,145
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,977
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το μέγιστο πλήθος εγκατεστημένων ΜΔΠ που παράγεται από τη μέθοδο εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ για όριο διείσδυσης 80% είναι 8. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 6.81, για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ η ποσοστιαία μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος είναι 63,76%, ενώ για το μέγιστο των 8 ΜΔΠ η ποσοστιαία μείωση των απωλειών είναι 69,74% επί των απωλειών του αρχικού δικτύου. Διαπιστώνεται ότι, η αύξηση της ποσοστιαίας μείωσης των απωλειών είναι 5,98%.

Πίνακας 6.82: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	100
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	<i>1</i>
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,812
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	1,812
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0799
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	63,76
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,517
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	6,748
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	7,265
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,969
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	<i>3</i>
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	3
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,670
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	17
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,394
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	11
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,473
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	2,537
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0673
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	69,49
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,724
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	7,354
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	8,078
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,977
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

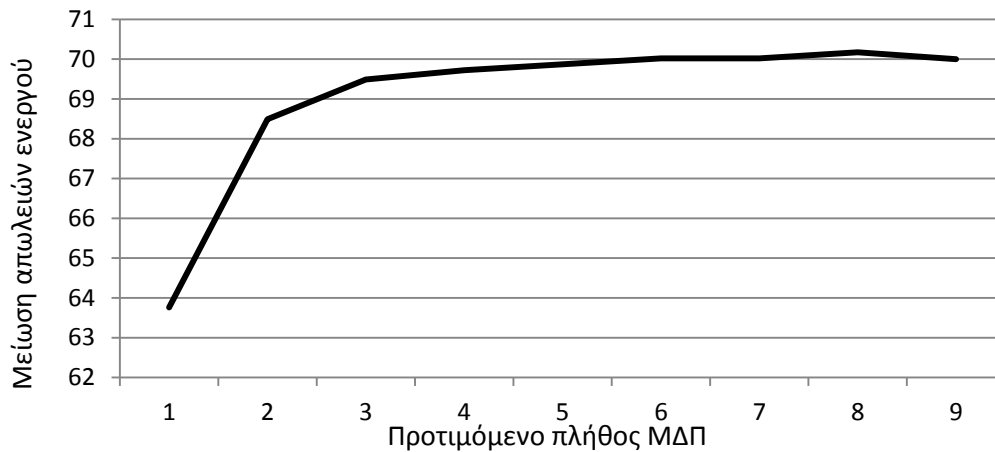
Πίνακας 6.82: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διεύθυνσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,640
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	17
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,338
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	11
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,419
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	50
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,650
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	8
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,295
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	3,342
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0664
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	69,87
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,954
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	7,395
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	8,348
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,977
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.82: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος και το όριο διείσδυσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	9
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	9
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,526
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	17
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,315
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	11
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,293
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	50
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,542
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	8
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,227
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 6	65
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 6	0,095
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 7	68
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 7	0,097
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 8	45
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 8	0,093
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 9	49
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 9	0,292
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	3,480
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0661
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	70,00
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,993
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	7,408
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	8,401
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,977
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το μέγιστο πλήθος εγκατεστημένων ΜΔΠ που παράγεται από τη μέθοδο εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ για όριο διείσδυσης 100% είναι 9. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.82 η ποσοστιαία μείωση στις συνολικές απώλειες ενεργού ισχύος, για μία ΜΔΠ είναι 63,76% ενώ για το μέγιστο των 9 ΜΔΠ είναι 70%. Αυτό μεταφράζεται σε επιπλέον ποσοστιαία μείωση 6,24% επί των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος στο δίκτυο των 69 ζυγών πριν την εγκατάσταση ΜΔΠ. Η ελάχιστη τάση ζυγού είναι 0,977 α.μ. για την εγκατάσταση του μέγιστου πλήθους ΜΔΠ. Σημειώνεται εδώ πως, στο δίκτυο πριν την εγκατάσταση ΜΔΠ η ελάχιστη τάση ήταν 0,909 α.μ. Παρατηρείται, συνεπώς, μία πολύ μεγάλη βελτίωση σε αυτό το χαρακτηριστικό του δικτύου.



Σχήμα 6.19 Καμπύλη ποσοστιαίας μείωσης (%) των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος του δικτύου των 69 ζυγών με την μέθοδο εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ για εγκατεστημένο πλήθος ΜΔΠ από 1 έως 9 και όριο διείσδυσης 100%.

6.5.3.2 Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίηση οικονομικού κινήτρου

Στα πλαίσια της παρουσίας των αποτελεσμάτων θα χρησιμοποιηθούν όρια διείσδυσης 20%, 50%, 80% και 100%. Επίσης χρησιμοποιούνται επιθυμητά πλήθη ΜΔΠ προς εγκατάσταση: 1, 2, 3, 5, 7 και 8. Τα βέλτιστα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο τροποποιημένο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 20%, 50%, 80% και 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.83 έως 6.86. Σημειώνεται εδώ ότι οι απώλειες ενεργού ισχύος, του τροποποιημένου δικτύου των 69 ζυγών, πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ είναι 0,265 MW.

Πίνακας 6.83: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο τροποποιημένο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 20% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	20
Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	25
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	0,735
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	0,735
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,234
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	11,66
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,210
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	1,484
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	1,694
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,897
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.83: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο τροποποιημένο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 20% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	2
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	2
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	25
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	0,735
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	27
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,002
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	0,736
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,234
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	11,66
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,210
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	1,484
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	1,694
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,897
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το μέγιστο πλήθος ΜΔΠ που παράγει η μέθοδος εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ, με αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου, για όριο διείσδυσης 20% είναι 2. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.83, η δεύτερη ΜΔΠ που βρέθηκε είναι πολύ μικρού μεγέθους και επηρεάζει ελάχιστα τα στοιχεία του δικτύου. Θα μπορούσα να αγνοηθεί, παρόλα αυτά παρατίθεται χάρη πληρότητας.

Πίνακας 6.84: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο τροποποιημένο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 50% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	50
Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	63
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,900
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	1,900
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,103
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	61,30
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,542
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	7,801
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	8,343
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,956
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το μέγιστο πλήθος ΜΔΠ που παράγει η μέθοδος εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ, με αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου, για όριο διείσδυσης 50%, είναι 1. Το γεγονός ότι για όριο διείσδυσης 20% βρέθηκαν 2 ΜΔΠ (Πίνακας 6.79) ενώ για όριο διείσδυσης 50% (Πίνακας 6.84) μόνο μία οφείλεται στο μέγεθος της ΜΔΠ που προέκυψε κατά την πρώτη επανάληψη του αλγορίθμου για όριο διείσδυσης 50%. Το μέγεθος

αυτό είναι αρκετά κοντά στο γινόμενο ορίου διείσδυσης επί την συνολική ζήτηση ενεργού ισχύος του δικτύου και κατά συνέπεια, στην επόμενη επανάληψη, δεν ήταν να δυνατόν να βρεθεί ΜΔΠ που το μέγεθος της, προστιθέμενο στο ήδη υπάρχον, να μην παραβιάζει το όριο διείσδυσης.

Πίνακας 6.85: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο τροποποιημένο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 80% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	80
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	1
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,967
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	1,967
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0983
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	62,91
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,561
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	8,006
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	8,567
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,957
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	3
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	3
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,728
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	12
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,821
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	21
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,248
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	2,797
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0829
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	68,748
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,798
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	8,749
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	9,547
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,969
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.85: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο τροποποιημένο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διεύθυνσης 80% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	5
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,618
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	12
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,618
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	21
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,211
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	56
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,420
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	26
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,061
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	2,926
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0818
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	69,16
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,835
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	8,802
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	9,637
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,969
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	7
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	7
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,599
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	12
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,506
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	21
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,161
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	56
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,410
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	26
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,011
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 6	16
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 6	0,033
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 7	66
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 7	0,289
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	3,008
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0819
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	69,13
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,859
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	8,797
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	9,656
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,969
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το μέγιστο πλήθος ΜΔΠ που παράγει η μέθοδος εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ, με αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου, για όριο διείσδυσης 80% είναι 7. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.85. για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ το συνολικό χρηματικό κίνητρο είναι 8,567\$/h ενώ για 7 ΜΔΠ είναι 9,656\$/h. Διαπιστώνεται μία αύξηση κατά 1,089\$/h.

Πίνακας 6.86: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο τροποποιημένο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διείσδυσης 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος.

Όριο διείσδυσης (%)	100
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	<i>1</i>
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	1
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,967
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	1,967
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0983
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	62,91
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,561
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	8,006
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	8,567
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,957
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
<i>Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση</i>	<i>3</i>
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	3
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,747
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	12
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,964
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	31
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,962
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	3,673
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0867
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	67,28
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,048
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	8,562
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	9,610
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,969
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Πίνακας 6.86: Βέλτιστα αποτελέσματα μεθόδου εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ στο τροποποιημένο δίκτυο των 69 ζυγών, όταν η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου και το όριο διεξόδου 100% επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος (**συνέχεια**).

Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	5
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,651
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	12
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,863
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	31
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,940
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	58
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,090
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	13
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,173
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	3,716
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0863
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	67,46
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,061
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	8,585
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	9,646
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,969
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1
Επιθυμητό πλήθος ΜΔΠ προς εγκατάσταση	8
Τελικό αποτέλεσμα πλήθους ΜΔΠ προς εγκατάσταση	8
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 1	61
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 1	1,582
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 2	12
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 2	0,679
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 3	31
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 3	0,938
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 4	58
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 4	0,100
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 5	13
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 5	0,137
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 6	60
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 6	0,008
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 7	59
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 7	0,018
Ζυγός τοποθέτησης ΜΔΠ 8	14
Ονομαστική Ισχύς (MW) της ΜΔΠ 8	0,210
Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς ΜΔΠ (MW)	3,672
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση ΜΔΠ (MW)	0,0854
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	67,79
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	1,048
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	8,626
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	9,674
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,967
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1

Το μέγιστο πλήθος ΜΔΠ που παράγει η μέθοδος εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ, με αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου, για όριο διείσδυσης 100% είναι 8. Το συνολικό χρηματικό κίνητρο για την εγκατάσταση μέγιστου πλήθους ΜΔΠ, όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.86, είναι 9,674 \$/h. Για εγκατάσταση μίας ΜΔΠ είναι 8,567 \$/h. Διαπιστώνεται μία αύξηση του συνολικού χρηματικού κινήτρου κατά 1,107 \$/h.

6.5.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

6.5.4.1 Αντικειμενική συνάρτηση: μείωση απωλειών ενεργού ισχύος

Στις Υποενότητες 6.5.2.1 και 6.5.3.1 χρησιμοποιήθηκε για τις εφαρμογές στο δίκτυο των 69 ζυγών η αντικειμενική συνάρτηση της μείωσης των απωλειών ενεργού ισχύος. Στην Υποενότητα 6.5.3.1 για τοποθέτηση πολλαπλών ΜΔΠ τα βέλτιστα αποτελέσματα προέκυψαν όπως είναι φυσικό για όριο διείσδυσης 100%. Στην Υποενότητα 6.5.2.1 εφαρμόστηκε η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ. Στον Πίνακα 6.87 γίνεται σύνοψη και σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

Πίνακας 6.87: Σύνοψη-σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδου τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ για όριο διείσδυσης 100% και αναλυτικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση της μείωσης των απωλειών ενεργού ισχύος για το δίκτυο των 69 ζυγών.

	Αναλυτική μέθοδος τοποθέτησης μίας ΜΔΠ	Μέθοδος τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ
Συνολική Ονομαστική εγκατεστημένη Ισχύς (MW) των ΜΔΠ	1,804	3,480
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,969	0,977
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1	1
Απώλειες ενεργού ισχύος πριν την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,220	0,220
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,0799	0,0661
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	63,75	70,00
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,514	0,993
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	6,746	7,408
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	7,261	8,401

Στον Πίνακα 6.87 φαίνεται ότι επιπλέον μείωση απωλειών ενεργού ισχύος που επετεύχθη με την μέθοδο τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ σε σχέση με την μέθοδο τοποθέτησης μίας ΜΔΠ ήταν 6,25% επί των απωλειών ενεργού ισχύος του δικτύου πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ. Η επιπλέον μείωση αυτή μεταφράζεται σε 0,0138 MW. Το συνολικό χρηματικό κίνητρο αυξήθηκε από τα 7,261 \$/h σε 8,401 \$/h. Η αύξηση είναι 0,78 \$/h. Στον Πίνακα 6.87 φαίνεται, επίσης, ότι η ελάχιστη τάση ζυγού που ήταν 0,969 α.μ. για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ βελτιώθηκε στο 0,977 α.μ.

Συμπεραίνεται, ότι με την εφαρμογή της μεθόδου τοποθέτησης πολλαπλών παραγωγών προκύπτουν καλύτερα ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία του δικτύου από ότι με την εφαρμογή της αναλυτικής μεθόδου τοποθέτησης μίας ΜΔΠ.

6.5.4.4 Αντικειμενική συνάρτηση: μεγιστοποίηση οικονομικού κινήτρου

Στις Υποενότητες 6.5.2.2 και 6.5.3.2 χρησιμοποιήθηκε για τις εφαρμογές στο δίκτυο των 69 ζυγών η αντικειμενική συνάρτηση της μεγιστοποίησης του οικονομικού κινήτρου. Στην Υποενότητα 6.5.3.2 για τοποθέτηση πολλαπλών ΜΔΠ τα βέλτιστα αποτελέσματα προέκυψαν όπως είναι φυσικό για όριο διείσδυσης 100%. Στην Υποενότητα 6.5.2.2 εφαρμόστηκε η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ. Στον Πίνακα 6.88 γίνεται σύνοψη και σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

Πίνακας 6.88: Σύνοψη-σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδου τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ για όριο διείσδυσης 100% και αναλυτικής μεθόδου με αντικειμενική συνάρτηση τη μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου για το δίκτυο των 69 ζυγών.

	Αναλυτική μέθοδος τοποθέτησης μίας ΜΔΠ	Μέθοδος τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ
Συνολική Ονομαστική εγκατεστημένη Ισχύς (MW) των ΜΔΠ	1,942	3,672
Ελάχιστη τάση ζυγού (α.μ.)	0,957	0,967
Μέγιστη τάση ζυγού (α.μ.)	1	1
Απώλειες ενεργού ισχύος πριν την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,265	0,265
Απώλειες ενεργού ισχύος μετά την σύνδεση της ΜΔΠ (MW)	0,0983	0,0854
Μείωση απωλειών ενεργού ισχύος (%)	62,91	67,79
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) σύνδεσης ΜΔΠ	0,554	1,048
Χρηματικό κίνητρο (\$/h) μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος	8,006	8,626
Συνολικό χρηματικό κίνητρο (\$/h)	8,560	9,674

Στον Πίνακα 6.88 φαίνεται ότι η επιπλέον μείωση απωλειών ενεργού ισχύος που επετεύχθη με την μέθοδο τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ σε σχέση με την μέθοδο τοποθέτησης μίας ΜΔΠ ήταν 4,88% επί των απωλειών ενεργού ισχύος του αρχικού δικτύου πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ. Η επιπλέον μείωση αυτή μεταφράζεται σε 0,0129 MW. Το συνολικό χρηματικό κίνητρο αυξήθηκε από τα 8,560 \$/h σε 9,674 \$/h. Η αύξηση είναι 1,114 \$/h. Στον Πίνακα 6.88 φαίνεται, επίσης, ότι η ελάχιστη τάση ζυγού που ήταν 0,957 α.μ. για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ βελτιώθηκε στο 0,967 α.μ. για τοποθέτηση πολλαπλών ΜΔΠ.

Συμπεραίνεται, ότι με την εφαρμογή της μεθόδου τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ προκύπτουν καλύτερα ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία του δικτύου από ότι με την εφαρμογή της αναλυτικής μεθόδου τοποθέτησης μίας ΜΔΠ.

6.6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [6.1] Α. Ι. Καντηλάφτη, “Υπολογισμός βέλτιστου πλήθους, θέσης και μεγέθους εγκαρσιών πυκνωτών για μείωση των απωλειών ισχύος σε ακτινικά δίκτυα διανομής ηλεκτρική ενέργειας,” Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Ε.Μ.Π., Ιούλιος 2011.
- [6.2] N. Acharya, P. Mahat, N. Mithulananthan, “An analytical approach for DG allocation in primary distribution network,” *Electrical Power & Energy Systems*, vol. 28, pp. 669-678, Feb. 2006.
- [6.3] G. P. Harrison, A. Piccolo, P. Siano, A. R. Wallace, “Hybrid GA and OPF evaluation of network capacity for distributed generation connections,” *Electric Power Systems Research*, vol.78, pp. 392-398, May 2007.
- [6.4] IO Elgerd, *Electric energy systems theory: an introduction*, New York: McGraw-Hill, 1971, pp. 293-299.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 ΣΥΝΟΨΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το πρόβλημα της βέλτιστης τοποθέτησης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής (ΜΔΠ) για τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος και την μεγιστοποίηση του οικονομικού οφέλους του διαχειριστή του δικτύου σε ακτινικά δίκτυα διανομής. Αναπτύχθηκε λογισμικό σε περιβάλλον MATLAB για τη βέλτιστη τοποθέτηση των ΜΔΠ. Το λογισμικό που αναπτύχθηκε διαθέτει ένα ιδιαίτερα φιλικό περιβάλλον αλληλεπίδρασης με το χρήστη. Το λογισμικό αυτό χρησιμοποιήθηκε για τη βέλτιστη τοποθέτηση ΜΔΠ σε τρία ακτινικά δίκτυα διανομής 10, 33 και 69 ζυγών.

Οι απώλειες ισχύος αποτελούν ένα σημαντικό μέρος της παραγόμενης ισχύος στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο λόγος είναι ότι τα δίκτυα διανομής συνδέουν τους καταναλωτές με το δίκτυο μεταφοράς υψηλής τάσης και έτσι, λόγω της πιο χαμηλής τάσης που βρίσκονται, έχουν μεγαλύτερη τιμή ρεύματος και επομένως οι απώλειες ισχύος είναι σημαντικά μεγαλύτερες στα δίκτυα διανομής, σε σχέση με τα δίκτυα υψηλής τάσης. Το ποσοστό των απωλειών ισχύος στα δίκτυα διανομής είναι περίπου 13% της παραγόμενης ισχύος [7.1]. Έτσι είναι επιτακτική η μείωση των απωλειών ισχύος στα δίκτυα διανομής.

Δεδομένου ότι οι απώλειες οφείλονται στη ροή ισχύος στις γραμμές ενός δικτύου διανομής, μία λύση είναι η τοποθέτηση ΜΔΠ σε κατάλληλα σημεία του δικτύου έτσι ώστε να μειωθεί η ισχύς που παρέχεται από τον υποσταθμό διανομής (ζυγός αναφοράς) και έτσι να μειωθεί η ροή ισχύος στις γραμμές. Επίσης, με την τοποθέτηση ΜΔΠ δεν μειώνονται μόνο οι απώλειες, αλλά βελτιώνονται και οι τάσεις στους ζυγούς του συστήματος. Επομένως, για την επίλυση του προβλήματος μείωσης των απωλειών ενεργού ισχύος σε ακτινικά δίκτυα διανομής υπολογίζεται η θέση τοποθέτησης (ζυγός), η ονομαστική ισχύς και το πλήθος των ΜΔΠ που επιτυγχάνουν τη μεγαλύτερη δυνατή μείωση απωλειών.

Για την επίλυση της μεθόδου εύρεσης βέλτιστου πλήθους, θέσης και μεγέθους ΜΔΠ, για μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος, σε ακτινικά δίκτυα διανομής απαιτείται αρχικά η λύση του προβλήματος ροών φορτίου. Για την ανάλυση των ροών φορτίου και τον υπολογισμό των τάσεων κατά μέτρο και γωνία σε όλους τους ζυγούς, των ροών ενεργού και αέργου ισχύος σε όλες τις γραμμές και των απωλειών του δικτύου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Newton-Raphson [7.2], όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 3.3.1.

Η μέθοδος της εργασίας, όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 4, αποτελείται από δύο μέρη για το πρόβλημα της μείωσης των απωλειών ενεργού ισχύος (Υποκεφάλαιο 4.2) και, αντίστοιχα, από δύο μέρη για το πρόβλημα της μεγιστοποίησης του οικονομικού κινήτρου του διαχειριστή του δικτύου διανομής (Υποκεφάλαιο 4.3). Στο πρώτο μέρος διατυπώνεται και επιλύεται το πρόβλημα βέλτιστης τοποθέτησης μίας ΜΔΠ, με τη προτεινόμενη αναλυτική

μέθοδο που είναι από το [7.3]. Στο δεύτερο μέρος διατυπώνεται και επιλύεται το πρόβλημα της βέλτιστης τοποθέτησης κατά θέση, ονομαστική ισχύ και πλήθος των πολλαπλών ΜΔΠ. Όπως αναλύθηκε στην Ενότητα 4.3.2, η τοποθέτηση των ΜΔΠ γίνεται ανά μία σε κάθε επανάληψη της μεθόδου μέσω τριών βημάτων διόρθωσης των μεγεθών των ΜΔΠ και στα οποία χρησιμοποιείται η αναλυτική μέθοδος του [7.3].

Ο χρήστης του λογισμικού που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 5, έχει τη δυνατότητα να επιλέξει την αντικειμενική συνάρτηση που θα χρησιμοποιηθεί, δηλαδή, εκείνη της μείωσης των απωλειών ενεργού ισχύος ή εκείνη της μεγιστοποίησης του οικονομικού κινήτρου. Επίσης μπορεί να επιλέξει αν θα εφαρμοστεί η μέθοδος βέλτιστης τοποθέτησης μίας ή πολλαπλών ΜΔΠ, το πλήθος των ΜΔΠ που θα τοποθετηθούν, το όριο διείσδυσης ως ποσοστό επί της συνολικής ζήτησης ενεργού ισχύος καθώς και το άνω και κάτω όριο παραβίασης της τάσης. Τέλος, ο χρήστης μπορεί να εισάγει τους επιθυμητούς οικονομικούς παράγοντες σύνδεσης ΜΔΠ και μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος (βλ. Υποκεφάλαιο 4.3) από τους οποίους προκύπτει το τελικό οικονομικό κίνητρο.

Το αποτέλεσμα του λογισμικού, με όποιο συνδυασμό μεθόδων και παραμέτρων και αν επιλεγεί, είναι η τελική συνολική εγκατεστημένη ισχύς από ΜΔΠ, η τελικές και οι αρχικές απώλειες ενεργού ισχύος, καθώς και η ποσοστιαία μείωσή τους, οι καταλληλότερες θέσεις τοποθέτησης ΜΔΠ, η ελάχιστη και η μέγιστη τάση ζυγού και τα χρηματικά κίνητρα σύνδεσης ΜΔΠ, μείωσης απωλειών ενεργού ισχύος, καθώς και το συνολικό.

Η μέθοδος βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ για μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος, εφαρμόστηκαν πρώτα σε ένα μικρό ακτινικό δίκτυο 4 ζυγών που χρησιμοποιήθηκε σαν αριθμητικό παράδειγμα (Υποκεφάλαιο 6.2). Παρουσιάζεται αναλυτικά η εφαρμογή της μεθόδου εύρεσης μίας ΜΔΠ (Ενότητα 6.2.3) και συγκρίνεται με την ακριβέστερη αλλά εξαιρετικά πιο χρονοβόρα εξαντλητική μέθοδο του [7.3]. Προκύπτει ότι οι δύο μέθοδοι παράγουν παραπλήσια αποτελέσματα. Κατά συνέπεια η πρώτη, που εκτελείται αρκετά πιο γρήγορα, μπορεί να προτιμηθεί έναντι της δεύτερης. Η μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος με την αναλυτική μέθοδο είναι της τάξης του 43,58%. Σε απόλυτους αριθμούς, οι απώλειες ενεργού ισχύος μειώθηκαν από 2,462 kW, που ήταν πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ, στα 1,389 kW. Η μείωση είναι 1,073 kW. Επιπλέον, παρουσιάζεται η μέθοδος εύρεσης πολλαπλών ΜΔΠ. Τοποθετήθηκαν 3 ΜΔΠ, μία σε κάθε ζυγό φορτίου, συνολικής ονομαστικής ισχύος 254,582 kW. Η ποσοστιαία μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος είναι 49,47 % επί των αρχικών. Η αύξηση σε σχέση με την αναλυτική μέθοδο τοποθέτησης μίας ΜΔΠ είναι 5,9% επί των αρχικών απωλειών ενεργού ισχύος πριν την τοποθέτηση ΜΔΠ.

Στη συνέχεια όλες οι μέθοδοι βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ εφαρμόστηκαν σε 3 ακτινικά δίκτυα διανομής 10, 33 και 69 ζυγών. Στο πρώτο δίκτυο, 10 ζυγών, (βλ. Υποκεφάλαιο 6.3) για αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος, η αναλυτική μέθοδος τοποθέτησης μίας ΜΔΠ πετυχαίνει μείωση απωλειών 75,41% επί των αρχικών, από 0,784 MW σε 0,193 MW ενώ η μέθοδος βέλτιστης τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ πετυχαίνει μείωση 94,28%, από 0,784 σε 0,0448 MW. Διαπιστώνεται μεγαλύτερη μείωση απωλειών ενεργού ισχύος, με τη μέθοδο βέλτιστης τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ, 15,92% επί των αρχικών. Επίσης, διαπιστώνεται ότι η ελάχιστη τάση ζυγού είναι 0,952 α.μ. μετά την τοποθέτηση μίας ΜΔΠ και 0,963 α.μ. μετά την τοποθέτηση πολλαπλών ΜΔΠ. Αντίστοιχα αποτελέσματα προέκυψαν και για την αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου. Με την αναλυτική μέθοδο τοποθέτησης μίας ΜΔΠ το συνολικό χρηματικό κίνητρο ανέρχεται στα 29,694 \$/h ενώ για τοποθέτηση πολλαπλών ΜΔΠ ανέρχεται στα 37,733 \$/h.

Στο δίκτυο 33 ζυγών (βλ. Υποκεφάλαιο 6.4) για αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος, η αναλυτική μέθοδος τοποθέτησης μίας ΜΔΠ πετυχαίνει

μείωση απωλειών 48,63% επί των αρχικών, από 0,206 MW σε 0,106 MW ενώ η μέθοδος βέλτιστης τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ πετυχαίνει μείωση 69,39%, από 0,206 σε 0,0630 MW. Διαπιστώνεται μεγαλύτερη μείωση απωλειών ενεργού ισχύος με τη μέθοδο βέλτιστης τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ κατά 20,76% επί των αρχικών. Επίσης, διαπιστώνεται ότι η ελάχιστη τάση ζυγού είναι 0,942 α.μ. για τοποθέτηση μίας ΜΔΠ και 0,964 α.μ. για τοποθέτηση του βέλτιστου πλήθους των 14 ΜΔΠ. Αντίστοιχα αποτελέσματα προέκυψαν και για αντικειμενική συνάρτηση τη μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου. Με την αναλυτική μέθοδο τοποθέτησης μίας ΜΔΠ το συνολικό χρηματικό κίνητρο ανέρχεται στα 5,566 \$/h ενώ για τη μέθοδο βέλτιστης τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ ανέρχεται στα 7,761 \$/h.

Στο δίκτυο 69 ζυγών (βλ. Υποκεφάλαιο 6.5) για αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος, η αναλυτική μέθοδος τοποθέτησης μίας ΜΔΠ πετυχαίνει μείωση απωλειών 63,75% επί των αρχικών, από 0,220 MW σε 0,106 MW, ενώ η μέθοδος βέλτιστης τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ πετυχαίνει μείωση 70%, από 0,220 σε 0,0661 MW. Διαπιστώνεται μεγαλύτερη μείωση απωλειών ενεργού ισχύος 6,25% επί των αρχικών. Επίσης, διαπιστώνεται ελάχιστη τάση ζυγού 0,969 α.μ. με τη μέθοδο τοποθέτησης μίας ΜΔΠ και 0,977 α.μ. με τη μέθοδο τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ. Αντίστοιχα αποτελέσματα προέκυψαν και για την αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης οικονομικού κινήτρου που εφαρμόστηκε στο τροποποιημένο δίκτυο 69 ζυγών. Με τη μέθοδο τοποθέτησης μίας ΜΔΠ το συνολικό χρηματικό κίνητρο ανέρχεται στα 7,261 \$/h ενώ για τη μέθοδο τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ ανέρχεται στα 8,401 \$/h.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις εφαρμογές που έγιναν είναι ότι, η μέθοδος τοποθέτησης πολλαπλών ΜΔΠ της Ενότητας 4.2.2 για αντικειμενική συνάρτηση τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος (αντίστοιχα και της Ενότητας 4.3.2 για αντικειμενική συνάρτηση τη μεγιστοποίηση του οικονομικού κινήτρου), που υλοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία πετυχαίνει καλά αποτελέσματα όσον αφορά τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος. Σε σχέση με την αναλυτική μέθοδο τοποθέτησης μίας ΜΔΠ [7.3] πετυχαίνει καλύτερα αποτελέσματα στη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος. Επιπλέον, η μέθοδος είναι αναλυτική, στοιχείο που δεν συναντάται στην διεθνή βιβλιογραφία πάνω στο πρόβλημα βέλτιστης τοποθέτησης ΜΔΠ. Αντίθετα, οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι βασισμένες στην τεχνητή νοημοσύνη (ευριστικές ή μετα-ευριστικές) και απαιτούν χρονοβόρους υπολογισμούς. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι οι μέθοδοι παράγει μεγαλύτερο πλήθος ΜΔΠ σε σχέση με εργασίες που εφαρμόζουν μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης, γεγονός που δίνει περισσότερες δυνατότητες στο σχεδιαστή του δικτύου για εκμετάλλευση των διάφορων δυνατοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που υπάρχουν σε διαφορετικά σημεία του δικτύου.

Ακόμα, κάτι που παρατηρείται από τα αποτελέσματα είναι ότι, όπως είναι αναμενόμενο, όσο μεγαλύτερο είναι το όριο διείσδυσης τόσο καλύτερα είναι τα αποτελέσματα που παράγονται. Αυτό είναι φυσικό, καθώς μπορούν να εγκατασταθούν περισσότερες ή μεγαλύτερες ΜΔΠ και τα πλεονεκτήματα που διαθέτουν (Υποκεφάλαιο 2.1) αξιοποιούνται στο δίκτυο.

7.2 ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Μια πρώτη επέκταση της εργασίας είναι η χρησιμοποίηση διαφορετικής αντικειμενικής συνάρτησης μεγιστοποίησης κινήτρου. Αυτή θα μπορούσε να υπολογίζει διαφορετικά κίνητρα παραγωγής ισχύος για κάθε ζυγό και όχι ένα ενιαίο κίνητρο για όλους

τους ζυγούς. Επίσης, θα μπορούσε να περιλαμβάνει χρηματικά κίνητρα για τη βελτίωση των τάσεων στους ζυγούς και, επιπλέον, κόστη εγκατάστασης των ΜΔΠ.

Ακόμα, τα μεγέθη των ΜΔΠ (MW), θα μπορούσαν, αντί για συνεχείς τιμές, να λάβουν διακριτές τιμές, καθώς έτσι θα αντιστοιχούσαν σε πραγματικά μεγέθη ΜΔΠ που είναι διαθέσιμα (αιολικά πάρκα, φωτοβολταϊκά πάρκα, κ.α.).

Μια άλλη πιθανή επέκταση της εργασίας θα μπορούσε να ήταν, η ζήτηση ενεργού ισχύος να μη θεωρείται σταθερή, αλλά να λαμβάνεται υπόψη η μεταβολή της κατά τη διάρκεια της ημέρας.

7.3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [7.1] J. B. Bunch, R. D. Miller, and J. E. Wheeler, "Distribution system integrated voltage and reactive power control," *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*, vol. 101, no.2, pp. 284-289, Feb. 1982.
- [7.2] H. Saadat, *Power system analysis, second edition*, McGraw-Hill, 1999, pp. 200-209, 232-240.
- [7.3] N. Acharya, P. Mahat, N. Mithulananthan, "An analytical approach for DG allocation in primary distribution network," *Electric Power & Energy Systems*, vol. 28, pp. 669-678, Feb. 2006.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΚΤΥΩΝ

A.1 ΔΙΚΤΥΟ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΥ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Πίνακας A.1.1: Δεδομένα γραμμών και ζυγών του δικτύου του αναλυτικού παραδείγματος (4 ζυγών).

			Σύνθετη Αντίσταση Γραμμής		Μέγιστο Φορτίο Ζυγού Άφιξης	
Αριθμός Γραμμής	Ζυγός Αναχώρησης	Ζυγός Άφιξης	Ωμική Αντίσταση (Ω)	Επαγωγική Αντίδραση (Ω)	Ενεργού Ισχύς (KW)	Άεργου Ισχύς (KVAr)
1	1	2	1,3531	1,3235	44,1	44,991
2	2	3	1,1702	1,1446	70	71,414
3	3	4	2,5573	1,7249	140	142,829
Συνολικό Φορτίο					254,1	259,234

A.2 ΔΙΚΤΥΟ 10 ΖΥΓΩΝ

Πίνακας A.2.1: Δεδομένα γραμμών και ζυγών του δικτύου των 10 ζυγών.

			Σύνθετη Αντίσταση Γραμμής		Μέγιστο Φορτίο Ζυγού Άφιξης	
Αριθμός Γραμμής	Ζυγός Αναχώρησης	Ζυγός Άφιξης	Ωμική Αντίσταση (Ω)	Επαγωγική Αντίδραση (Ω)	Ενεργού Ισχύς (MW)	Άεργου Ισχύς (MVAr)
1	1	2	0,1233	0,4127	1,84	0,46
2	2	3	0,014	0,6051	0,98	0,34
3	3	4	0,7463	1,205	1,79	0,446
4	4	5	0,6984	0,6084	1,598	1,84
5	5	6	1,9831	1,7276	1,61	0,6
6	6	7	0,9053	0,7886	0,78	0,11
7	7	8	2,0552	1,164	1,15	0,06
8	8	9	4,7953	2,716	0,98	0,13
9	9	10	5,3434	3,0264	1,64	0,2
Συνολικό Φορτίο					12,368	4,186

Α.3 ΔΙΚΤΥΟ 33 ΖΥΓΩΝ

Πίνακας Α.3.1: Δεδομένα γραμμών και ζυγών του δικτύου των 33 ζυγών.

Αριθμός Γραμμής	Ζυγός Αναχώρησης	Ζυγός Άφιξης	Σύνθετη Αντίσταση Γραμμής		Μέγιστο Φορτίο Ζυγού Άφιξης	
			Ωμική Αντίσταση (Ω)	Επαγωγική Αντίδραση (Ω)	Ενεργού Ισχύς (MW)	Αεργού Ισχύς (MVar)
1	1	2	0,0922	0,047	0,1	0,06
2	2	3	0,493	0,2511	0,09	0,04
3	3	4	0,366	0,1864	0,12	0,08
4	4	5	0,3811	0,1942	0,06	0,03
5	5	6	0,819	0,707	0,06	0,02
6	6	7	0,1872	0,6188	0,2	0,1
7	7	8	0,7114	0,2351	0,2	0,1
8	8	9	1,03	0,74	0,06	0,02
9	9	10	1,044	0,74	0,06	0,02
10	10	11	0,1966	0,065	0,045	0,03
11	11	12	0,3744	0,1238	0,06	0,035
12	12	13	1,486	1,155	0,06	0,035
13	13	14	0,5416	0,7129	0,12	0,08
14	14	15	0,591	0,526	0,06	0,01
15	15	16	0,7463	0,545	0,06	0,02
16	16	17	1,289	1,721	0,06	0,02
17	17	18	0,732	0,574	0,09	0,04
18	2	19	0,164	0,1565	0,09	0,04
19	19	20	1,5042	1,3554	0,09	0,04
20	20	21	0,4095	0,4784	0,09	0,04
21	21	22	0,7089	0,9373	0,09	0,04
22	3	23	0,4512	0,3083	0,09	0,05
23	23	24	0,898	0,7091	0,42	0,2
24	24	25	0,896	0,7011	0,42	0,2
25	6	26	0,203	0,1034	0,06	0,025
26	26	27	0,2842	0,1447	0,06	0,025
27	27	28	1,059	0,9337	0,06	0,02
28	28	29	0,8042	0,7006	0,12	0,07
29	29	30	0,5075	0,2585	0,2	0,6
30	30	31	0,9744	0,963	0,15	0,07
31	31	32	0,3105	0,3619	0,21	0,1
32	32	33	0,341	0,5302	0,06	0,04
Συνολικό Φορτίο					3,715	2,3

Α.4 ΔΙΚΤΥΟ 69 ΖΥΓΩΝ

Πίνακας Α.4.1: Δεδομένα γραμμών και ζυγών του δικτύου των 69 ζυγών.

Αριθμός Γραμμής	Ζυγός Αναχώρησης	Ζυγός Αφιξης	Σύνθετη Αντίσταση Γραμμής		Μέγιστο Φορτίο Ζυγού Αφιξης	
			Ωμική Αντίσταση (Ω)	Επαγωγική Αντίδραση (Ω)	Ενεργού Ισχύς (MW)	Αεργού Ισχύς (MVar)
1	1	2	0,0005	0,0012	0	0
2	2	3	0,0005	0,0012	0	0
3	3	4	0,0015	0,0036	0	0
4	4	5	0,0251	0,0294	0	0
5	5	6	0,366	0,1864	0,0026	0,0022
6	6	7	0,3811	0,1941	0,04	0,03
7	7	8	0,0922	0,047	0,075	0,054
8	8	9	0,0493	0,0251	0,03	0,022
9	9	10	0,819	0,2707	0,028	0,019
10	10	11	0,1872	0,0619	0,145	0,104
11	11	12	0,7114	0,2351	0,145	0,104
12	12	13	1,03	0,34	0,008	0,0055
13	13	14	1,044	0,345	0,008	0,0055
14	14	15	1,058	0,3496	0	0
15	15	16	0,1966	0,065	0,045	0,03
16	16	17	0,3744	0,1238	0,06	0,035
17	17	18	0,0047	0,0016	0,06	0,035
18	18	19	0,3276	0,1083	0	0
19	19	20	0,2106	0,696	0,001	0,0006
20	20	21	0,3416	0,1129	0,114	0,081
21	21	22	0,014	0,0046	0,0053	0,0035
22	22	23	0,1591	0,0526	0	0
23	23	24	0,3463	0,1145	0,0028	0,002
24	24	25	0,7488	0,2475	0	0
25	25	26	0,3089	0,1021	0,014	0,01
26	26	27	0,1732	0,0572	0,014	0,01
27	3	28	0,0044	0,0108	0,026	0,0186
28	28	29	0,064	0,1565	0,026	0,186
29	29	30	0,3978	0,1315	0	0
30	30	31	0,0702	0,0232	0	0
31	31	32	0,351	0,116	0	0
32	32	33	0,839	0,2816	0,014	0,01
33	33	34	1,708	0,5646	0,0195	0,014
34	34	35	1,474	0,4873	0,006	0,004
35	3	36	0,0044	0,0108	0,026	0,01855
36	36	37	0,064	0,1565	0,026	0,01855

Πίνακας Α.4.1: Δεδομένα γραμμών και ζυγών του δικτύου των 69 ζυγών (συνέχεια).

37	37	38	0,1053	0,123	0	0
38	38	39	0,0304	0,0355	0,024	0,017
39	39	40	0,0018	0,0021	0,024	0,017
40	40	41	0,7283	0,8509	0,0012	0,001
41	41	42	0,31	0,3623	0	0
42	42	43	0,041	0,0478	0,006	0,0043
43	43	44	0,0092	0,0116	0	0
44	44	45	0,1089	0,1373	0,03922	0,0263
45	45	46	0,0009	0,0012	0,03922	0,0263
46	4	47	0,0034	0,0084	0	0
47	47	48	0,0851	0,2083	0,079	0,0564
48	48	49	0,2898	0,7091	0,3847	0,2745
49	49	50	0,0822	0,2011	0,3847	0,2745
50	8	51	0,0928	0,0473	0,0405	0,0283
51	51	52	0,3319	0,1114	0,0036	0,0027
52	9	53	0,174	0,0886	0,00435	0,0035
53	53	54	0,203	0,1034	0,0264	0,019
54	54	55	0,2842	0,1447	0,024	0,0172
55	55	56	0,2813	0,1433	0	0
56	56	57	1,59	0,5337	0	0
57	57	58	0,7837	0,263	0	0
58	58	59	0,3042	0,1006	0,1	0,072
59	59	60	0,3861	0,1172	0	0
60	60	61	0,5075	0,2585	1,244	0,888
61	61	62	0,0974	0,0496	0,032	0,023
62	62	63	0,145	0,0738	0	0
63	63	64	0,7105	0,3619	0,227	0,162
64	64	65	1,041	0,5302	0,059	0,042
65	11	66	0,2012	0,0611	0,018	0,013
66	66	67	0,0047	0,0014	0,018	0,013
67	12	68	0,7394	0,2444	0,028	0,02
68	68	69	0,0047	0,0016	0,028	0,02
Συνολικό Φορτίο					3,77609	2,844

Πίνακας Α.4.2: Δεδομένα γραμμών και ζυγών του τροποποιημένου δικτύου των 69 ζυγών του Υποκεφαλαίου 6.5.

			Σύνθετη Αντίσταση Γραμμής		Μέγιστο Φορτίο Ζυγού Αφίξης	
Αριθμός Γραμμής	Ζυγός Αναχώρησης	Ζυγός Αφίξης	Ωμική Αντίσταση (Ω)	Επαγωγική Αντίδραση (Ω)	Ενεργού Ισχύς (MW)	Αεργού Ισχύς (MVar)
1	1	2	0,05	0,12	0	0
2	2	3	0,05	0,12	0	0
3	3	4	0,15	0,36	0	0
4	4	5	0,0251	0,0294	0	0
5	5	6	0,366	0,1864	0,0026	0,0022
6	6	7	0,3811	0,1941	0,04	0,03
7	7	8	0,0922	0,047	0,075	0,054
8	8	9	0,0493	0,0251	0,03	0,022
9	9	10	0,819	0,2707	0,028	0,019
10	10	11	0,1872	0,0619	0,145	0,104
11	11	12	0,7114	0,2351	0,145	0,104
12	12	13	1,03	0,34	0,008	0,0055
13	13	14	1,044	0,345	0,008	0,0055
14	14	15	1,058	0,3496	0	0
15	15	16	0,1966	0,065	0,045	0,03
16	16	17	0,3744	0,1238	0,06	0,035
17	17	18	0,0047	0,0016	0,06	0,035
18	18	19	0,3276	0,1083	0	0
19	19	20	0,2106	0,696	0,001	0,0006
20	20	21	0,3416	0,1129	0,114	0,081
21	21	22	0,014	0,0046	0,0053	0,0035
22	22	23	0,1591	0,0526	0	0
23	23	24	0,3463	0,1145	0,0028	0,002
24	24	25	0,7488	0,2475	0	0
25	25	26	0,3089	0,1021	0,014	0,01
26	26	27	0,1732	0,0572	0,014	0,01
27	3	28	0,0044	0,0108	0,026	0,0186
28	28	29	0,064	0,1565	0,026	0,186
29	29	30	0,3978	0,1315	0	0
30	30	31	0,0702	0,0232	0	0
31	31	32	0,351	0,116	0	0
32	32	33	0,839	0,2816	0,014	0,01
33	33	34	1,708	0,5646	0,0195	0,014
34	34	35	1,474	0,4873	0,006	0,004
35	3	36	0,0044	0,0108	0,026	0,01855
36	36	37	0,064	0,1565	0,026	0,01855
37	37	38	0,1053	0,123	0	0
38	38	39	0,0304	0,0355	0,024	0,017

Πίνακας Α.4.2: Δεδομένα γραμμών και ζυγών του τροποποιημένου δικτύου των 69 ζυγών του Υποκεφαλαίου 6.5 (συνέχεια).

39	39	40	0,0018	0,0021	0,024	0,017
40	40	41	0,7283	0,8509	0,0012	0,001
41	41	42	0,31	0,3623	0	0
42	42	43	0,041	0,0478	0,006	0,0043
43	43	44	0,0092	0,0116	0	0
44	44	45	0,1089	0,1373	0,03922	0,0263
45	45	46	0,0009	0,0012	0,03922	0,0263
46	4	47	0,0034	0,0084	0	0
47	47	48	0,0851	0,2083	0,079	0,0564
48	48	49	0,2898	0,7091	0,3847	0,2745
49	49	50	0,0822	0,2011	0,3847	0,2745
50	8	51	0,0928	0,0473	0,0405	0,0283
51	51	52	0,3319	0,1114	0,0036	0,0027
52	9	53	0,174	0,0886	0,00435	0,0035
53	53	54	0,203	0,1034	0,0264	0,019
54	54	55	0,2842	0,1447	0,024	0,0172
55	55	56	0,2813	0,1433	0	0
56	56	57	1,59	0,5337	0	0
57	57	58	0,7837	0,263	0	0
58	58	59	0,3042	0,1006	0,1	0,072
59	59	60	0,3861	0,1172	0	0
60	60	61	0,5075	0,2585	1,244	0,888
61	61	62	0,0974	0,0496	0,032	0,023
62	62	63	0,145	0,0738	0	0
63	63	64	0,7105	0,3619	0,227	0,162
64	64	65	1,041	0,5302	0,059	0,042
65	11	66	0,2012	0,0611	0,018	0,013
66	66	67	0,0047	0,0014	0,018	0,013
67	12	68	0,7394	0,2444	0,028	0,02
68	68	69	0,0047	0,0016	0,028	0,02
Συνολικό Φορτίο					3,77609	2,844