



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

**Μελέτη Υβριδικής Μεθόδου Ανίχνευσης
Νησιδοποίησης Βασισμένη στα Δέντρα Απόφασης στο
Σύστημα 34 Ζυγών της ΙΕΕΕ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΣΑΚΕΛΛΑΡΟΠΟΥΛΟΥ

Επιβλέπων Καθηγητής: Ν. Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2016



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

**Μελέτη Υβριδικής Μεθόδου Ανίχνευσης
Νησιδοποίησης Βασισμένη στα Δέντρα Απόφασης στο
Σύστημα 34 Ζυγών της IEEE**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΣΑΚΕΛΛΑΡΟΠΟΥΛΟΥ

Επιβλέπων Καθηγητής: Ν. Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις :

.....
Ν. Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Στ. Παπαθανασίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Π. Γεωργιάκης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2016

.....

.....

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΑΚΕΛΛΑΡΟΠΟΥΛΟΣ

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

Copyright © Κωνσταντίνος Σακελλαρόπουλος, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

.....

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσης 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 τη συγγραφέα.

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

Περίληψη

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανίχνευση της νησιδοποίησης στο σύστημα 34 ζυγών της IEEE. Η ανίχνευση της νησιδοποίησης βασίζεται στην εξόρυξη γνώσης από το σύστημα (data mining) και στα δέντρα απόφασης που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των καταστάσεων (classification) σε νησιδοποίηση και μη νησιδοποίηση.

Αρχικά γίνεται μια σύγκριση των μεθόδων ανίχνευσης σε θεωρητικό επίπεδο και εξηγείται γιατί τα δέντρα απόφασης αποτελούν μια μέθοδο με υψηλά ποσοστά ακρίβειας στην ανίχνευση του φαινομένου.

Η εξομοίωση του συστήματος των 34 ζυγών και τα δέντρα απόφασης βασίστηκαν στο πακέτο Matlab/Simulink και έγιναν εκτενείς κύκλοι εξομοίωσης. Τα γενικά συμπεράσματα είναι τα ακόλουθα:

- 1) Παρατηρείται ότι η ακρίβεια της μεθόδου που βασίζεται στα δέντρα απόφασης αποτελεί συνάρτηση: α) της θέσης του μικροδικτύου, β) του αριθμού των μετρούμενων μεγεθών που το αποτελούν και γ) του χρονικού διαστήματος που μετρώνται τα μεγέθη (μόνιμη / μεταβατική περίοδος).
- 2) Ο χρόνος ανίχνευσης μπορεί να μειωθεί αρκετά χωρίς να χάνεται η ακρίβεια της ανίχνευσης.

Λέξεις Κλειδιά: «εξόρυξη γνώσης, δέντρα απόφασης, μηχανική μάθηση, μικροδίκτυα, νησιδοποίηση, σύστημα 34 ζυγών IEEE»

Abstract

The aim of this thesis is the detection of islanding conditions at IEEE 34 bus system. The detection of islanding conditions is based on data mining and decision trees used for classification of islanding and non islanding conditions.

Firstly a theoretical comparison of islanding detection methods is presented and it is explained why decision trees is a method with high accuracy in detecting the phenomenon of islanding.

The extensive simulations of IEEE 34 bus system and the decision trees were based on Matlab/Simulink. The results are the following:

- 1) The accuracy of the method based on decision trees is depended on: a) the location of the microgrid, b) the number of measured values and c) the time period in which the values are measured (steady / transient state).
- 2) The detection time can be reduced without losing the accuracy of islanding detection.

Keywords: «data mining, decision trees, IEEE 34 bus system, islanding, machine learning, microgrids»

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2015-2016 στον τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ.

Αντικείμενο της εργασίας είναι η ανίχνευση της νησιδοποίησης ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας εφαρμόζοντας τεχνικές όπως τα δέντρα απόφασης.

Υπεύθυνος κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας ήταν ο Καθηγητής κ. Ν. Χατζηαργυρίου, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεσή της. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά την Χριστίνα Παπαδημητρίου, για τη βοήθεια, την υποστήριξη και την καθοδήγηση που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της εργασίας. Τέλος, δεν θα ήθελα να ξεχάσω την οικογένεια μου για την βοήθεια τόσο υλική όσο και πνευματική που μου προσέφερε, όχι μόνο κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου, αλλά και κυρίως κατά τη διάρκεια της φοίτησης μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Αθήνα, Μάρτιος 2016

Κωνσταντίνος Α. Σακελλαρόπουλος

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	xi
ΜΕΡΟΣ Ι.....	1
Κεφάλαιο 1 ^ο	3
1 Μικροδίκτυα.....	3
1.1 Εισαγωγικοί ορισμοί.....	3
1.2 Τα στοιχεία και τα χαρακτηριστικά των μικροδικτύων.....	4
Κεφάλαιο 2 ^ο	9
2 Νησιδοποίηση.....	9
2.1 Οι δύο απόψεις για τη νησιδοποίηση.....	10
2.1.1 Αιτίες εμφάνισης της μη σκόπιμης νησιδοποίησης.....	10
2.1.2 Αρνητικές επιπτώσεις της μη σκόπιμης νησιδοποίησης.....	10
2.2 Μέθοδοι Ανίχνευσης Νησιδοποίησης.....	11
2.2.1 Απομακρυσμένες τεχνικές ανίχνευσης νησιδοποίησης.....	12
2.2.2 Μέθοδοι επικοινωνίας.....	12
2.2.3 Τοπικές τεχνικές ανίχνευσης νησιδοποίησης.....	13
2.2.4 Παθητικές μέθοδοι.....	14
2.2.5 Ενεργητικές μέθοδοι.....	17
2.2.6 Υβριδικές μέθοδοι.....	19
2.3 Τρόποι αξιολόγησης των μεθόδων ανίχνευσης της νησιδοποίησης.....	20
Κεφάλαιο 3 ^ο	23
3 Κατηγοριοποίηση και εξόρυξη γνώσης.....	23
3.1 Εξόρυξη γνώσεων από τα δεδομένα.....	24
3.1.1 Τα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο τομέας της εξόρυξης γνώσης.....	25
3.1.2 Βήματα και προϋποθέσεις για την εξόρυξη δεδομένων.....	26
3.2 Μηχανική μάθηση.....	28
3.2.1 Η μηχανική μάθηση μέσα από ένα παράδειγμα.....	28
3.2.2 Κατηγοριοποίηση της μηχανικής μάθησης.....	29
3.2.3 Αλγόριθμοι για την επιβλεπόμενη και χωρίς επίβλεψη μάθηση.....	30
3.3 Κατηγοριοποίηση.....	31
Κεφάλαιο 4 ^ο	35
4 Δέντρα απόφασης.....	35

4.1	Γενικοί κανόνες και συμβολισμοί.....	36
4.2	Τα δέντρα απόφασης μέσα από ένα παράδειγμα.....	36
4.3	Αυτόματη κατασκευή δέντρων απόφασης.....	38
4.4	Βέλτιστο κριτήριο διαχωρισμού – μέθοδος διακοπής διαχωρισμού.....	40
4.4.1	Μαθηματική θεμελίωση.....	40
4.4.2	Ερμηνεία.....	41
4.4.3	Εκτίμηση με βάση το σύνολο μάθησης.....	42
4.4.4	Βέλτιστο κριτήριο διαχωρισμού.....	42
4.4.5	Μέθοδος διακοπής διαχωρισμού.....	43
ΜΕΡΟΣ ΙΙ.....		45
Κεφάλαιο 5 ^ο		47
5	Πειραματική διάταξη – Το σύστημα 34 ζυγών.....	47
5.1	Επιλογή κυκλωματικής διάταξης.....	47
5.1.1	Το σύστημα 34 ζυγών της IEEE.....	47
5.1.2	Αλλαγές στο σύστημα 34 ζυγών της IEEE.....	52
5.2	Το σύστημα 34 ζυγών στο simulink.....	52
5.3	Το μικροδίκτυο.....	56
5.4	Εκτέλεση προσομοιώσεων.....	57
Κεφάλαιο 6 ^ο		61
6	Εφαρμογή δέντρων απόφασης στο σύστημα 34 ζυγών της IEEE.....	61
6.1	Εξόρυξη γνώσης από το IEEE 34 bus.....	61
6.1.1	Μόνιμη κατάσταση όλων των μεγεθών.....	61
6.1.2	Τα 10 καλύτερα μεγέθη μόνιμης κατάστασης.....	65
6.1.3	Οι 10 καλύτερες παράμετροι μόνιμης και μεταβατικής κατάστασης.....	66
6.2	Αλλαγή θέσης του μικροδικτύου.....	67
6.2.1	Σύνδεση μικροδικτύου στον ζυγό 836.....	68
6.2.2	Σύνδεση μικροδικτύου στον ζυγό 850.....	73
6.3	Μείωση του χρόνου ανίχνευσης της νησιδοποίησης.....	75
6.4	Συμπεράσματα.....	77
ΜΕΡΟΣ ΙΙΙ.....		79
Παράρτημα Α.....		81
Κώδικες Matlab για προετοιμασία πριν την προσομοίωση.....		81
	short_circuit.....	81
	active_power_changes.....	84

aa2	85
aa3	85
reactive_power_changes	85
capacitor_switching	86
cc2	86
cc3	87
parameter_selection	87
Παράρτημα Β.....	95
Κώδικες Matlab για την προσομοίωση και την αποθήκευση δεδομένων	95
run_thesis	95
thesis_islanding	98
voltage_drop.....	105
find_peaks	106
thesis_non_islanding	107
Παράρτημα Γ	109
Κώδικες Matlab για τα δέντρα απόφασης	109
find_the_best_features	109
decision_tree	115
Βιβλιογραφία	119

ΜΕΡΟΣ Ι

Θεωρητικό υπόβαθρο

Κεφάλαιο 1^ο

1 Μικροδίκτυα

1.1 Εισαγωγικοί ορισμοί

Είναι γεγονός, πως οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) δύναται να συμβάλλουν στην ενεργειακή ενίσχυση ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.). Οι όροι που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη δομή ενός ηλεκτρικού συστήματος είναι η Κεντρική και η Αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [1]. Συγκεκριμένα οι όροι αυτοί, αφενός μεν προσδιορίζουν τη γεωγραφική θέση των ηλεκτροπαραγωγών μονάδων (ανεξαρτήτως είδους) συγκριτικά με τα σημεία ζήτησης - κατανάλωσης, αφετέρου δε είναι ενδεικτικοί του μεγέθους των μονάδων. Αναλυτικότερα, ο όρος κεντρική παραγωγή (Centralized Power Generation) περιγράφει τις περιπτώσεις μεγάλων κεντρικών ηλεκτροπαραγωγών σταθμών (με εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη των 50MW συνήθως), οι οποίοι συνήθως εγκαθίστανται μακριά από τις αστικές περιοχές για περιβαλλοντικούς λόγους. Σε αυτές τις περιπτώσεις η μεταφορά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στα σημεία κατανάλωσης πραγματοποιείται μέσω του δικτύου μεταφοράς (400kV και 150kV). Αντίθετα, στην αποκεντρωμένη παραγωγή (Decentralized - Distributed Power Generation), οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάζονται πλησίον των θέσεων ζήτησης και αποσκοπούν στην τοπική εξυπηρέτηση των φορτίων. Οι μονάδες αυτές είναι συνήθως μικρότερες του 1MW και συνδέονται σε δίκτυα μέσης τάσης ή ακόμα και χαμηλής τάσης εφόσον η ισχύς τους είναι μικρότερη των 100kW. Τέλος, οι ηλεκτροπαραγωγοί σταθμοί με εγκατεστημένη ισχύ από 1 έως και 50MW μπορούν να συνδεθούν τόσο στην υψηλή όσο και στη μέση τάση. Η τελική απόφαση είναι αποτέλεσμα συγκερασμού μεταξύ τεχνοοικονομικών μελετών και αποφάσεων που αφορούν την στρατηγική ανάπτυξης των δικτύων.

Σύμφωνα με τους προαναφερθέντες συλλογισμούς, οι ηλεκτροπαραγωγές μονάδες Α.Π.Ε., λόγω της σχετικά μικρής εγκατεστημένης ισχύος τους, μπορούν να θεωρηθούν στο σύνολό τους ως αποκεντρωμένη παραγωγή. Από την άλλη πλευρά όμως, τα αιολικά πάρκα, τα μεγάλα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί, εγκαθίστανται κατά κοινή πρακτική σε αραιοκατοικημένες και μη αστικές περιοχές για λόγους επάρκειας χώρου, περιβαλλοντικών περιορισμών και κυρίως καλύτερης εκμετάλλευσης της Α.Π.Ε. Συνεπώς, οι παραπάνω μονάδες δεν μπορούν να θεωρηθούν ως αποκεντρωμένη παραγωγή, εφόσον η ισχύς τους δεν καταναλώνεται τοπικά. Υιοθετώντας λοιπόν το συμπέρασμα αυτό, οι παραπάνω μονάδες μπορούν να θεωρηθούν καταχρηστικά ως κεντρική παραγωγή, ενώ, επιπρόσθετα, μόνο οι ηλεκτροπαραγωγοί σταθμοί Α.Π.Ε. που εγκαθίστανται πλησίον των φορτίων (μέσης ή χαμηλής τάσης) μπορούν να θεωρηθούν ως αποκεντρωμένη παραγωγή. Συχνά οι σταθμοί αυτοί αποκαλούνται κατανεμημένοι ή ακόμα και μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής (ΔΠ) (Dispersed Power Generation Systems).

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί, πως μολονότι η χρήση κεντρικών σταθμών εναλλακτικών πηγών ενέργειας είναι δυνατόν να συνδράμει στην ενεργειακή ενίσχυση του ηλεκτρικού συστήματος, η μεγάλη απόσταση των μονάδων αυτών από τα σημεία κατανάλωσης έχει ως αποτέλεσμα το υψηλό επίπεδο φόρτισης των γραμμών μεταφοράς και διανομής, με άμεσο συνεπακόλουθο την καταπόνηση των τελευταίων, λόγω των αυξημένων ηλεκτρικών απωλειών. Αντίθετα, η χρησιμοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με τη μορφή μικρών μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, δύναται να συμβάλλει καθοριστικά στη μείωση των απωλειών και στην εξοικονόμηση ενέργειας. Στις διεσπαρμένες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής συμπεριλαμβάνεται ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, ιδιαίτερα σε χώρες όπου οι γεωγραφικές και κλιματολογικές συνθήκες το ευνοούν. Σημειώνεται ότι, σε ορισμένες περιπτώσεις, η δυνατότητα τοπικής κάλυψης του φορτίου ή ενός μέρους αυτού από αποκεντρωμένες μονάδες παραγωγής, με τη χρησιμοποίηση Α.Π.Ε., επιτρέπει στις επιχειρήσεις διανομής ηλεκτρικής ενέργειας να αντιμετωπίσουν τις αυξανόμενες ενεργειακές απαιτήσεις με μικρό κόστος. Αυτός ο τρόπος εξυπηρέτησης τοπικών φορτίων αποτελεί τη βασική φιλοσοφία πάνω στην οποία έχουν δομηθεί νεοεμφανιζόμενα ηλεκτρικά συστήματα, τα οποία ονομάζονται Μικροδίκτυα (Microgrids).

Μικροδίκτυο είναι ένα τοπικό δίκτυο ενέργειας, που προσφέρει η ενοποίηση των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων με τοπικά μικρά φορτία, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν παράλληλα με το δίκτυο ή σε νησιδοποιημένη λειτουργία παρέχοντας υψηλή αξιοπιστία και αντοχή ακόμα και σε διαταραχές του δικτύου. Αυτό το προηγμένο, ολοκληρωμένο σύστημα διανομής δύναται να καλύπτει την ανάγκη για εφαρμογή σε απομακρυσμένες περιοχές με περιορισμούς ηλεκτρικής παροχής [2].

1.2 Τα στοιχεία και τα χαρακτηριστικά των μικροδικτύων

Ένα από τα βασικά μελήματα των επιχειρήσεων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης μέσω της ελαχιστοποίησης των απωλειών του Σ.Η.Ε. Είναι γνωστό ότι η (ηλεκτρική) απόσταση των μονάδων παραγωγής από τα σημεία κατανάλωσης, το επίπεδο φόρτισης των γραμμών μεταφοράς και διανομής, είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που καθορίζουν το ποσό των ενεργειακών απωλειών. Επιπρόσθετα, εφόσον οι απώλειες είναι τετραγωνική συνάρτηση της έντασης του ρεύματος, οι μεγαλύτερες απώλειες εμφανίζονται κατά τη χρονική περίοδο του μέγιστου φορτίου. Η προσεκτική μελέτη των παραπάνω στοιχείων, αποδεικνύει ότι η μερική ή ολική τροφοδότηση τοπικών φορτίων με το μοντέλο της διεσπαρμένης παραγωγής μπορεί να συμβάλλει στη μείωση των ηλεκτρικών απωλειών και στην εξοικονόμηση ενέργειας, διότι με τον τρόπο αυτό μειώνεται η μεταφερόμενη ενέργεια μέσω των γραμμών μεταφοράς και διανομής. Επιπλέον, περιορίζονται οι δαπάνες επέκτασης και ενίσχυσης των δικτύων μεταφοράς και διανομής.

Ένα τυπικό μικροδίκτυο αποτελείται από διάφορες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συνολικής ισχύος μερικών MW. Ο σχεδιασμός του μικροδικτύου είναι ανεξάρτητος από το κεντρικό δίκτυο, ωστόσο μπορεί να υπάρχει διασύνδεση με αυτό, για ανταλλαγή ενέργειας. Τυπικές πηγές ενός μικροδικτύου είναι οι γεννήτριες ντίζελ ή φυσικού αερίου, συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού (γεννήτριες, μικροστρόβιλοι), οι ανεμογεννήτριες, οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες, οι κυψέλες καυσίμου, οι γεωθερμικοί και

οι ηλιοθερμικοί σταθμοί, τα μικρά υδροηλεκτρικά, οι μονάδες που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη βιομάζα, βιοντίζελ ή οποιαδήποτε άλλη πηγή ενέργειας. Ένα μικροδίκτυο μπορεί να σχεδιαστεί εκεί όπου υπάρχει διαθέσιμη μία από τις παραπάνω φυσικές πηγές ενέργειας και να καλύπτει τις καταναλώσεις της περιοχής. Η κλίμακα του μικροδικτύου ποικίλει, από μία οικία που χρησιμοποιεί ένα υβριδικό σύστημα φωτοβολταϊκών και γεννήτριας ντίζελ ή βιοκαυσίμων, ένα νοσοκομείο που χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού, μέχρι και μία πόλη η οποία τροφοδοτείται από σταθμούς βιομάζας, γεννήτριες ντίζελ και αιολικά πάρκα. Στον πίνακα 1.2.1 παρουσιάζονται ορισμένες από τις προαναφερθείσες μονάδες παραγωγής και η αντίστοιχη εγκαταστημένη τους ισχύς [3], [4].

Πηγές μικροδικτύου	Εγκατεστημένη ισχύς
Μικροστόβιλοι	35kW – 1MW
Ανεμογεννήτριες	200W – 3MW
Φωτοβολταϊκές γεννήτριες	20W – 100kW
Γεωθερμικές	5 – 100MW
Ηλιοθερμικές	1 – 80MW
Βιομάζας	100kW – 20MW

Πίνακας 1.2.1 – τοπικές τεχνολογίες πηγών μικροδικτύου (Duffie and Beckman 1991, IEA 2002a, Linden)

Μία συνδυασμένη χρήση των νέων τεχνολογιών συμπαραγωγής και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, θα μπορούσε ίσως να κάνει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στο μικροδίκτυο ανταγωνιστική αυτής των κεντρικών δικτύων. Η αξιόπιστη λειτουργία ενός μικροδικτύου, απαιτεί εκτός από την κάλυψη των απαιτήσεων ενεργού και αέργου ισχύος, και τη συνεχή ρύθμιση της τάσης και της συχνότητας αυτού, ενώ σε νησιδοποιημένη κατάσταση θα πρέπει οι τοπικές πηγές να καλύπτουν τις ανάγκες των τοπικών φορτίων, διαφορετικά θα πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη αποκοπής φορτίου. Παράλληλα, για να μην προκαλεί το μικροδίκτυο προβλήματα στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο θα πρέπει η ποιότητα της τάσης να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του δικτύου και ταυτόχρονα να περιλαμβάνει όλες τις διατάξεις προστασίας από σφάλματα, βραχυκυκλώματα ή διαρροές.

Ένα μικροδίκτυο έχει τη δυνατότητα διασύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Σε μία τέτοια παραλληλισμένη λειτουργία είναι δυνατή η ανταλλαγή ενέργειας. Ακόμη, σε περίπτωση μόνιμα διασυνδεδεμένης λειτουργίας είναι δυνατή η αξιόπιστη τροφοδότηση του μικροδικτύου από τις δικές του μονάδες σε περίπτωση κατάρρευσης του κεντρικού δικτύου.

Δεδομένης της μικρής ισχύος των περισσότερων μονάδων ενός μικροδικτύου, η παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι προτιμότερο να γίνεται στη χαμηλή τάση καθώς δεν απαιτείται η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Το μέγεθος δηλαδή των μονάδων παραγωγής είναι ουσιαστικά αυτό που καθορίζει τη στάθμη της τάσης λειτουργίας. Το μέγεθός του συνολικότερα - μονάδων παραγωγής και φορτίων - καθορίζει εξάλλου και τον τρόπο διασύνδεσής του με άλλα μικροδίκτυα ή με το κεντρικό δίκτυο, στη μέση ή στη χαμηλή τάση. Προφανώς, μεγάλη ισχύς απαιτεί διασύνδεση στη μέση τάση.

Σε ένα δεύτερο στάδιο, ένα μικροδίκτυο μπορεί να συμπεριφερθεί ως ένας «καλός πολίτης» ή «αδανικός πολίτης» του κεντρικού ηλεκτρικού δικτύου. Στην πρώτη περίπτωση δεν υπάρχει ανταλλαγή ισχύος μεταξύ μικροδικτύου και κεντρικού δικτύου και τα φορτία του πρώτου εξυπηρετούνται εξ ολοκλήρου από την διεσπαρμένη πηγή παραγωγής. Η δεύτερη περίπτωση θα μπορούσε να συμβαίνει αν το μικροδίκτυο ρυθμιζόταν ώστε να μπορεί να υποστηρίξει το κεντρικό δίκτυο, π.χ. να παρέχει ή να απορροφά ενεργό ή άεργο ισχύ όταν απαιτείται, ακόμη και σε μικρά χρονικά διαστήματα. Η απορρόφηση ενεργού ή άεργου ισχύος, απαιτείται προφανώς και μία μορφή επικοινωνίας μεταξύ των κέντρων ελέγχου μικροδικτύου και κεντρικού δικτύου.

Οι επιδράσεις από τη σύνδεση ενός μικροδικτύου στο κεντρικό είναι πολλές. Οι πιο σημαντικές είναι οι παρακάτω [5].

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

Για την διατήρηση της τάσης στα επιθυμητά επίπεδα έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές: ρύθμιση του λόγου μέσης προς χαμηλή τάση στο μετασχηματιστή του υποσταθμού, αναστροφή της ροής της άεργου ισχύος με τη χρήση ασύγχρονων γεννητριών, χρήση εξελιγμένων τεχνικών ελέγχου της τάσης.

Το πρόβλημα της ποιότητας ισχύος, δηλαδή οι διακυμάνσεις της τάσης και η ύπαρξη αρμονικών στο δίκτυο, περιορίζονται με τη χρήση κατάλληλων ηλεκτρονικών διατάξεων και ορθό συγχρονισμό των σύγχρονων γεννητριών κατά τη ζεύξη τους με το σύστημα.

Παρ' όλα αυτά, η διασπορά γεννητριών σε ένα δίκτυο ενδέχεται να δημιουργήσει προβλήματα σε αυτό. Οι σημαντικότερες επιπτώσεις σχετίζονται με: το ρεύμα βραχυκύκλωσης από τις διεσπαρμένες γεννήτριες που μπορεί να προκαλέσει αποσύνδεση των υγιών γραμμών, μια ελαττωματική γραμμή στην οποία είναι συνδεδεμένες διεσπαρμένες γεννήτριες διατηρείται διεγερμένη, αυτόματη επανάζευξη της γραμμής, παρ' όλο που οι γεννήτριες έχουν χάσει το συγχρονισμό τους.

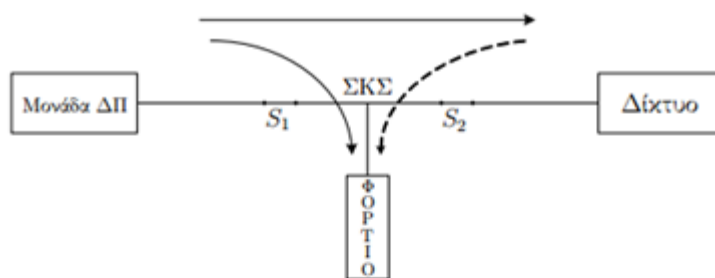
Οι σύγχρονες τεχνολογίες υπόσχονται πολλά στη διαχείριση των μεταβατικών φαινομένων. Για την κάλυψη υψηλών αιχμών ζήτησης (π.χ. εκκίνηση μεγάλων κινητήρων, ψυγείων κ.ά.) και την αποθήκευση περισσευόμενης ενέργειας, ένα μικροδίκτυο, ιδιαίτερα όταν βρίσκεται σε απομονωμένη λειτουργία, μπορεί να χρησιμοποιεί ενέργεια που αποθηκεύεται σε υπερπυκνωτές, μηχανές υψηλής στρεφόμενης αδράνειας (Flywheels), συσσωρευτές ή με τη μορφή δυναμικής ενέργειας μέσω συμπιεστών αέρα ή αντλησιοταμιευτικών συστημάτων. Η τελευταία δε τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί σε περιοχές όπου αιολικά ή ηλιακά πάρκα βρίσκονται κοντά σε μία θάλασσα ή λίμνη, οπότε και αποθηκεύουν την περισσευόμενη ενέργεια που παράγουν, αντλώντας νερό σε ταμιευτήρες υψηλότερης στάθμης. Στη συνέχεια, όταν χρειάζεται ενέργεια οι αντλητικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται ως γεννήτριες, παρέχοντας ισχύ στο μικροδίκτυο.

Τέλος, να σημειωθεί πως ένας πολύπλοκος έλεγχος ενός τέτοιου συστήματος με την παρούσα διαθέσιμη τεχνολογία, απαιτεί τη χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος, για τη διασύνδεση των περισσότερων πηγών ενέργειας του μικροδικτύου με τους ζυγούς. Είτε η παραγόμενη ισχύς είναι διαρκώς μεταβαλλόμενη, όπως στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών, είτε ελεγχόμενη όπως των υδροηλεκτρικών σταθμών και των ντιζελογεννητριών, η διοχέτευση αυτής μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος κάνει εφικτό τον έλεγχο των πιο σημαντικών μεγεθών αυτής, δηλαδή της ηλεκτρικής τάσης και της συχνότητας, μέσω της ροής ενεργού και αέργου ισχύος. Το βασικότερο στοιχείο ενός μικροδικτύου είναι συνήθως ένας ηλεκτρονικός αντιστροφέας ισχύος, ο οποίος ελέγχει το ισοζύγιο ισχύος στο μικροδίκτυο. Αυτό μπορεί να γίνεται είτε με την οδήγηση μιας ελεγχόμενης γεννήτριας, είτε με τη διαχείριση συσσωρευτών ή μικροστροβίλων, είτε με τον έλεγχο των ηλεκτρονικών ισχύος των άλλων μικρομονάδων παραγωγής ενέργειας [6].

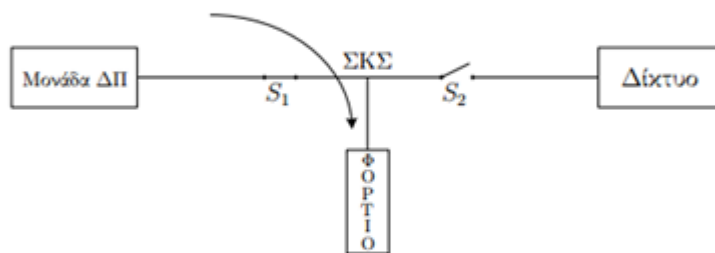
Κεφάλαιο 2^ο

2 Νησιδοποίηση

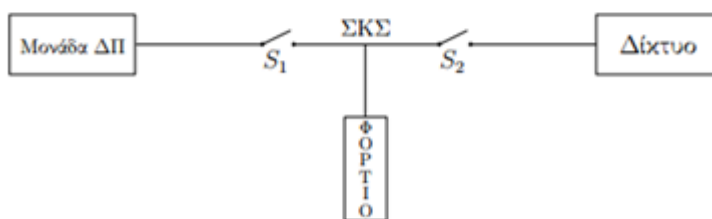
Νησιδοποίηση ορίζεται ως η κατάσταση στην οποία τουλάχιστον μία μονάδα διεσπαρμένης πηγής (ΔΠ) παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τροφοδοτεί τοπικά φορτία χωρίς να είναι συνδεδεμένη, δηλαδή όντας απομονωμένη από οποιοδήποτε μεγαλύτερο ηλεκτρικό σύστημα, όπως είναι το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) [7]. Στην εικόνα 2.1¹ απεικονίζεται πώς μπορεί μία μονάδα ΔΠ να έλθει σε κατάσταση νησιδοποίησης.



(α) Κανονική λειτουργία μονάδας ΔΠ διασυνδεδεμένης με δίκτυο.



(β) Δημιουργία ηλεκτρικής νησίδας.



(γ) Αποσύνδεση της μονάδας ΔΠ, λόγω ανίχνευσης της νησιδοποίησης.

Εικόνα 2.1 – Νησιδοποίηση συστήματος

¹ ΣΚΣ: Σημείο Κοινής Σύνδεσης ορίζεται για κάθε εγκατάσταση χρήστη το εγγύτερο προς το όριο δικτύου/χρήστη σημείο του δικτύου, το οποίο βρίσκεται ανάντη του ορίου χρήστη/δικτύου, και από το οποίο διέρχεται ηλεκτρική ενέργεια και προς εγκαταστάσεις άλλων χρηστών [14], [13].

2.1 Οι δύο απόψεις για τη νησιδοποίηση

Η νησιδοποίηση μπορεί να είναι είτε σκόπιμη, είτε μη σκόπιμη [8].

Η σκόπιμη νησιδοποίηση συνδέεται με την ιδέα του μικροδικτύου (microgrid) και έτσι δίνεται η δυνατότητα συνέχισης της λειτουργίας ενός τμήματος της ηλεκτρικής νησίδας. Πρέπει να σημειωθεί ότι η δυνατότητα σκόπιμης νησιδοποίησης προϋποθέτει την ύπαρξη επαρκούς ελέγχου τάσης και συχνότητας μέσα στην ηλεκτρική νησίδα προκειμένου να διατηρείται ευσταθής η λειτουργία της. Αυτός ο έλεγχος μπορεί να περιλαμβάνει έλεγχο της παραγωγής (μέσω ρυθμιστών τάσης και συχνότητας), έλεγχο φορτίων (π.χ. απόρριψη μη κρίσιμων φορτίων), κατάλληλο έλεγχο πιθανών αποθηκευτικών μέσων κ.α. Τα πλεονεκτήματα αυτής της οπτικής γωνίας για τις μονάδες ΔΠ είναι ότι η σκόπιμη νησιδοποίηση μπορεί να βελτιώσει τη γενικότερη αξιοπιστία και την ασφάλεια της παροχής ισχύος, καθώς επίσης και ότι λόγω των βελτιωμένων δεικτών παροχής ισχύος, αυξάνονται τα έσοδα.

Προς το παρόν σχεδόν όλα τα ΣΗΕ απαιτούν οι μονάδες ΔΠ να αποσυνδέονται όταν έρθουν σε κατάσταση νησιδοποίησης.

Οπότε πρακτικά στα ΣΗΕ μιλάμε για μη σκόπιμη νησιδοποίηση και η ανίχνευσή της μάλιστα πρέπει να γίνεται το συντομότερο δυνατόν και φυσικά σε χρόνο μικρότερο των δύο δευτερολέπτων από τη δημιουργία της νησίδας όπως προστάζει το IEEE standard 1547 [9].

Πολλοί παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν την εμφάνιση της μη σκόπιμης νησιδοποίησης η οποία είναι μη επιθυμητή γιατί συνοδεύεται από μια σειρά αρνητικών επιπτώσεων.

2.1.1 Αιτίες εμφάνισης της μη σκόπιμης νησιδοποίησης

Η κατάσταση της μη σκόπιμης νησιδοποίησης μπορεί να είναι αποτέλεσμα των παρακάτω συμβάντων [10]:

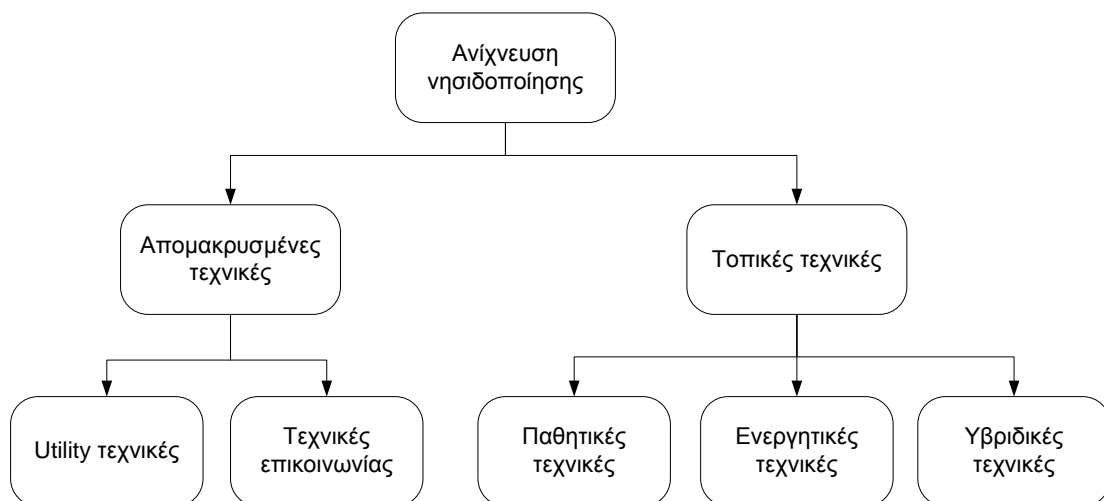
- i. Ανίχνευση σφάλματος από τον προστατευτικό εξοπλισμό του δικτύου, με αποτέλεσμα την απομόνωση του τμήματος του δικτύου το οποίο περιέχει το σφάλμα, χωρίς όμως να ανιχνεύεται από τις μονάδες ΔΠ του τμήματος αυτού.
- ii. Κατά λάθος απενεργοποίηση της παροχής του δικτύου λόγω προβληματικού εξοπλισμού.
- iii. Αλλαγές του συστήματος διανομής ή του φορτίου στο έναντι δίκτυο.
- iv. Σκόπιμη αποσύνδεση για επισκευή είτε στο σημείο του έναντι δικτύου ή στο σημείο εισόδου του καταναλωτή.
- v. Πρόκληση σφάλματος από τον ανθρώπινο παράγοντα.
- vi. Πρόκληση σφάλματος λόγω κάποιου φυσικού φαινομένου.

2.1.2 Αρνητικές επιπτώσεις της μη σκόπιμης νησιδοποίησης

Στην κατάσταση της μη σκόπιμης νησιδοποίησης εμφανίζονται μία σειρά από αρνητικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την ασφάλεια, την αξιοπιστία του δικτύου και την ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος. Οι επιπτώσεις αυτές παρουσιάζονται παρακάτω [4]:

- Ύπαρξη θανάσιμου κινδύνου για το προσωπικό που εργάζεται σε κάποιο τμήμα του δικτύου το οποίο είναι σε κατάσταση νησιδοποίησης. Το προσωπικό διατρέχει το κίνδυνο ηλεκτροπληξίας, διότι εργάζεται με την προϋπόθεση ότι το συγκεκριμένο τμήμα έχει αποσυνδεθεί από το κεντρικό δίκτυο (άρα, θεωρείται ανενεργό), αλλά στην πραγματικότητα συνεχίζει να τροφοδοτείται από τις μονάδες ΔΠ της νησίδας.
- Ύπαρξη κινδύνου διαταραχών της συχνότητας και της τάσης και διακύμανση αυτών εκτός των προκαθορισμένων ορίων, καθώς τα μεγέθη αυτά δεν επιβάλλονται από το δίκτυο. Αυτό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την καταστροφική βλάβη ορισμένων συσκευών που εξακολουθούν να λειτουργούν στο νησιδοποιημένο τμήμα του δικτύου.
- Πολλοί πάροχοι χρησιμοποιούν πρακτικές στιγμιαίας επανασύνδεσης. Αν η μονάδα ΔΠ επανασυνδεθεί με το σύστημα διανομής, μπορεί η επανασύνδεση αυτή να γίνει εκτός φάσης, με αποτέλεσμα να προκληθεί μεγάλη αύξηση στις τιμές μηχανικής ροπής και ρευμάτων, γεγονός το οποίο μπορεί να προκαλέσει βλάβες στις γεννήτριες και στις κινητήριες μηχανές.
- Σε περίπτωση σφάλματος εντός της ηλεκτρικής νησίδας, οι μονάδες ΔΠ δεν έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν υψηλά ρεύματα βραχυκύκλωσης, διότι τα υφιστάμενα μέσα προστασίας είναι επιλεγμένα με βάση τα μεγάλα ρεύματα βραχυκύκλωσης που προέρχονται από το δίκτυο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα μέσα προστασίας να μη διεγερθούν από τα χαμηλά ρεύματα των μονάδων ΔΠ και συνεπώς να διατηρηθούν τα σφάλματα εντός της ηλεκτρικής νησίδας. Για λόγους όπως οι παραπάνω υπάρχει απαίτηση η κατάσταση της μη σκόπιμης νησιδοποίησης να ανιχνεύεται και να διακόπτεται έγκαιρα.

2.2 Μέθοδοι Ανίχνευσης Νησιδοποίησης



Εικόνα 2.2.1 - κατηγοριοποίηση μεθόδων ανίχνευσης νησιδοποίησης

Η βασική φιλοσοφία της ανίχνευσης της κατάστασης νησιδοποίησης είναι αφενός η παρακολούθηση των παραμέτρων εξόδου της μονάδας ΔΠ και των παραμέτρων του συστήματος και αφετέρου η λήψη απόφασης για το αν η μονάδα ΔΠ βρίσκεται σε κατάσταση νησιδοποίησης ή όχι, με βάση την αλλαγή των παραμέτρων αυτών. Οι τεχνικές ανίχνευσης νησιδοποίησης κατηγοριοποιούνται σε απομακρυσμένες και τοπικές και οι τελευταίες χωρίζονται περαιτέρω σε παθητικές και ενεργητικές, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 2.2.1 [4].

2.2.1 Απομακρυσμένες τεχνικές ανίχνευσης νησιδοποίησης

Οι απομακρυσμένες τεχνικές ανίχνευσης νησιδοποίησης είναι εγκατεστημένες στη μεριά του έναντι δικτύου (Utility) όπου και γίνεται η ανίχνευση του φαινομένου. Οι εν λόγω τεχνικές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες [11]:

- Οι **μέθοδοι Utility** βασίζονται στην εγκατάσταση συγκεκριμένου εξοπλισμού (όπως αντιστάσεις ισχύος) στην μεριά του κυρίως δικτύου τέτοιου ώστε η αντίσταση που βλέπει το ΣΚΣ να μπορεί να μεταβληθεί όταν συμβαίνει το φαινόμενο της νησιδοποίησης.
- Οι **μέθοδοι επικοινωνίας** βασίζονται στην εγκατάσταση εξοπλισμού που βοηθάει την επικοινωνία του δικτύου με την ΔΠ.

2.2.2 Μέθοδοι επικοινωνίας

Οι απομακρυσμένες τεχνικές ανίχνευσης νησιδοποίησης που βασίζονται στην επικοινωνία μεταξύ των παροχών και των μονάδων ΔΠ χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Μερικά παραδείγματα μεθόδων αυτής της κατηγορίας παρουσιάζονται παρακάτω [8], [4]:

- i. *Σύστημα σηματοδότησης γραμμών ισχύος (Power Line Carrier Communication—PLCC)*

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί τις γραμμές ισχύος σαν φορέα σημάτων για τη μετάδοση της πληροφορίας για το αν η μονάδα ΔΠ είναι ή όχι σε κατάσταση νησιδοποίησης.

Η συσκευή περιλαμβάνει μία γεννήτρια σημάτων, η οποία βρίσκεται στον υποσταθμό (25 kV και άνω). Αυτή η γεννήτρια σημάτων είναι συζευγμένη με το δίκτυο στο οποίο συνεχώς μεταδίδει ένα σήμα. Εξαιτίας του γεγονότος ότι το σύστημα ισχύος έχει φύση βαθυπερατού φίλτρου, τα σήματα πρέπει να μεταδίδονται κοντά ή χαμηλότερα από τη θεμελιώδη συνιστώσα, έτσι ώστε να μην παρεμβάλλονται σε άλλες τεχνολογίες όπως είναι το σύστημα ανάγνωσης αυτόματης μέτρησης (automatic meter reading). Επίσης, κάθε μονάδα ΔΠ είναι εξοπλισμένη με έναν ανιχνευτή σήματος για να λαμβάνει το εκπεμπόμενο σήμα.

Υπό κανονικές συνθήκες, το σήμα λαμβάνεται από τη μονάδα ΔΠ και το σύστημα παραμένει συνδεδεμένο. Όμως, αν συμβεί νησιδοποίηση, το εκπεμπόμενο σήμα αποκόπτεται λόγω του ανοίγματος διακόπτη του υποσταθμού και το σήμα δεν μπορεί να ληφθεί από τη μονάδα ΔΠ. Αυτό υποδεικνύει την παρουσία κατάστασης νησιδοποίησης.

- ii. *Σύστημα μεταφοράς του σήματος απόξευξης (Supervisory Control and Data Acquisition - SCADA)*

Η βασική ιδέα του συστήματος μεταφοράς του σήματος απόξευξης είναι η παρακολούθηση της κατάστασης των ασφαλειοαπόξευκτών και των διακοπών αυτόματης επαναφοράς που θα μπορούσαν να θέσουν το σύστημα διανομής σε κατάσταση νησιδοποίησης. Για το σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα Συστήματα Ελέγχου-Εποπτείας και Μεταφοράς Δεδομένων Λειτουργίας από απόσταση (Supervisory Control and Data Acquisition - SCADA).

Όταν ανιχνεύεται μία αποσύνδεση στον υποσταθμό, το σύστημα μεταφοράς απόξευξης προσδιορίζει ποιά περιοχή έχει νησιδοποιηθεί και αποστέλλει κατάλληλο σήμα στις μονάδες ΔΠ, είτε για να παραμείνουν σε λειτουργία, ή για να τη διακόψουν.

2.2.3 Τοπικές τεχνικές ανίχνευσης νησιδοποίησης

Οι τοπικές τεχνικές ανίχνευσης νησιδοποίησης είναι εγκατεστημένες, παραδοσιακά, στη μεριά της μονάδας ΔΠ, ώστε να χρησιμοποιηθούν οι πληροφορίες που συγκεντρώνονται αυτόνομα για να ληφθεί απόφαση αποσύνδεσης. Οι εν λόγω τεχνικές χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Οι **παθητικές μέθοδοι** λειτουργούν μετρώντας τις παραμέτρους του συστήματος, όπως οι διακυμάνσεις στην τάση, τη συχνότητα, την αρμονική παραμόρφωση, κ.α. Αυτές οι παράμετροι μεταβάλλονται πολύ σε κατάσταση νησιδοποίησης. Η διαφοροποίηση μεταξύ της κατάστασης νησιδοποίησης ή μη βασίζεται στην υπέρβαση τιμών κατωφλίου που τίθενται για αυτές τις παραμέτρους. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των τιμών κατωφλίου έτσι ώστε να γίνεται διάκριση μεταξύ της κατάστασης νησιδοποίησης και άλλων μεταβολών του συστήματος.
- Οι **ενεργητικές μέθοδοι** επιδρούν άμεσα στη λειτουργία του συστήματος ισχύος εισάγοντας κάποια διαταραχή. Η ιδέα στην οποία βασίζεται κάποια ενεργητική μέθοδος είναι ότι εισάγεται κάποια μικρή διαταραχή η οποία θα οδηγήσει σε σημαντική αλλαγή στις παραμέτρους του συστήματος όταν η μονάδα ΔΠ βρίσκεται σε κατάσταση νησιδοποίησης, ενώ αντίθετα η αλλαγή αυτή θα είναι αμελητέα όταν η μονάδα ΔΠ είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο.
- Οι **υβριδικές μέθοδοι**, οι οποίες αναπτύσσονται ως συνδυασμός τόσο των ενεργητικών, όσο και των παθητικών μεθόδων. Οι υβριδικές μέθοδοι περιλαμβάνουν δύο στάδια ανίχνευσης νησιδοποίησης, έτσι ώστε να ξεπεραστούν τα προβλήματα που έχουν οι ενεργητικές και οι παθητικές μέθοδοι, με σκοπό την επίτευξη υψηλής απόδοσης. Κατά τη διαδικασία ανίχνευσης, η παθητική μέθοδος χρησιμοποιείται σαν ένα πρώτο στάδιο προστασίας, και στη συνέχεια, όταν υπάρχει υποψία νησιδοποίησης, αναλαμβάνει σε δεύτερο στάδιο η ενεργητική μέθοδος.

Η επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση της νησιδοποίησης δεν είναι εύκολη υπόθεση. Καμία από τις προαναφερθείσες δεν εγγυάται σωστά αποτελέσματα για όλα τα συστήματα και για όλες τις καταστάσεις. Γενικά, η μέθοδος ανίχνευσης που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται κυρίως από το είδος της ΔΠ αλλά και από τα χαρακτηριστικά του συστήματος. Πάντως, στις μέρες μας, οι υβριδικές μέθοδοι έχουν αρχίσει να κερδίζουν έδαφος και υπόσχονται αρκετά καλά αποτελέσματα γιατί συνδυάζουν την επιτυχία των παθητικών μεθόδων στις μεγάλες αλλαγές των παραμέτρων του συστήματος με την επιτυχία

των ενεργητικών μεθόδων όταν οι αλλαγές του συστήματος είναι μη ανιχνεύσιμες από τις παθητικές μεθόδους.

2.2.4 Παθητικές μέθοδοι

Οι παθητικές μέθοδοι χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες αναλόγως με το είδος της μονάδας ΔΠ. Συγκεκριμένα, υπάρχουν οι [4], [8]:

1. *Μονάδες ΔΠ συνδεδεμένες μέσω αντιστροφών πηγής τάσης (Voltage Source Inverter, VSI) με ελεγχόμενη παραγωγή ενεργού - αέργου ισχύος*

Οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούν έλεγχο για την παραγωγή ενεργού - αέργου ισχύος με βάση αλγορίθμους που λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως ο συντελεστής ισχύος, η μέγιστη πιθανή παραγωγή ισχύος κ.α. Οι παράγοντες αυτοί θεωρούνται σταθεροί κατά τη διάρκεια εντός της οποίας πρέπει να ανιχνευθεί η κατάσταση της νησιδοποίησης. Συνεπώς, για την ανάλυση των μεθόδων ανίχνευσης νησιδοποίησης αυτής της κατηγορίας θεωρείται ότι οι μονάδες ΔΠ λειτουργούν έχοντας σταθερές αναφορές ενεργού και αέργου ισχύος.

2. *Μονάδες ΔΠ με Σύγχρονες Γεννήτριες (ΣΓ)*

Οι μονάδες αυτές σε κανονική λειτουργία παράγουν σταθερή ενεργό ισχύ, δηλαδή δεν υπάρχει έλεγχος της ενεργού ισχύος μέσω της συχνότητας. Σε αυτή την περίπτωση, για το χρονικό διάστημα που διαρκεί η κατάσταση της νησιδοποίησης, θεωρείται ότι τα συστήματα ελέγχου των ΣΓ δεν προλαβαίνουν να αντιδράσουν και άρα η μηχανική ισχύς στον άξονα θεωρείται σταθερή.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές παθητικές μέθοδοι και των δύο παραπάνω κατηγοριών, καθώς και οι βασικές ιδέες πάνω στις οποίες έχουν υλοποιηθεί [12]:

Παθητικές μέθοδοι για μονάδες ΔΠ με αντιστροφή

- i. *Ανίχνευση μέσω ηλεκτρονόμων Υπέρ/Υπό Τάσης και Υπέρ/Υπό Συχνότητας (OUV και OUF)*

Υπάρχει η απαίτηση όλοι οι αντιστροφείς που είναι διασυνδεδεμένοι στο δίκτυο να διαθέτουν ηλεκτρονόμους Υπέρ/Υπό Τάσης (Over/Under Voltage, OUV) και Υπέρ/Υπό Συχνότητας (Over/Under Frequency, OUF). Οι ηλεκτρονόμοι αυτοί οδηγούν στην αποσύνδεση του αντιστροφέα όταν οι τιμές της τάσης και της συχνότητας στο ΣΚΣ τίθενται εκτός των προβλεπόμενων επιτρεπόμενων ορίων όταν η μονάδα ΔΠ βρεθεί σε κατάσταση νησιδοποίησης. Τα όρια αυτά ορίζονται στο IEEE standard 1547 [9].

- ii. *Ανίχνευση Άλματος Φάσης της τάσης (Voltage Phase Jump)*

Η μέθοδος Άλματος Φάσης της τάσης παρακολουθεί τη διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης εξόδου του αντιστροφέα και του ρεύματος εξόδου του. Υπό κανονικές συνθήκες αυτή η διαφορά φάσης είναι μηδέν. Όμως, σε κατάσταση νησιδοποίησης είναι διάφορη του μηδενός εξαιτίας της αναντιστοιχίας της αέργου ισχύος. Αυτή η μέθοδος μπορεί εύκολα να υλοποιηθεί

μέσω μεθόδων συγχρονισμού με ανίχνευση μηδενισμών, όπου η φάση του ρεύματος ανανεώνεται κάθε φορά που μηδενίζεται η τάση και έτσι είναι δυνατή η ανίχνευση του άλματος φάσης.

iii. Ανίχνευση με βάση το αρμονικό περιεχόμενο (Harmonic Detection - HD)

Ο αντιστροφέας της μονάδας ΔΠ, έστω και αν είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί σαν ιδανική πηγή ρεύματος, παράγει άρτιες αρμονικές υψηλής τάξης λόγω του ανοιγοκλεισίματος των διακοπών, του νεκρού χρονικού διαστήματος (dead time) και της πτώσης τάσης των ημιαγωγών, ή περιττές αρμονικές λόγω του κυματισμού της DC τάσης στην είσοδο του αντιστροφέα. Αυτές οι αρμονικές ρεύματος πρέπει να παραμένουν χαμηλές για συμμόρφωση με τους κανονισμούς των προτύπων π.χ. στο πρότυπο IEEE 519 [13], [14], [15] ισχύει ότι THDI < 5%. Όμως, αυτές οι αρμονικές παράγουν αρμονικές τάσης οι οποίες εξαρτώνται από την τιμή της σύνθετης αντίστασης του δικτύου. Συνήθως, η σύνθετη αντίσταση δικτύου είναι χαμηλή, επομένως οι αρμονικές τάσης είναι σχετικά χαμηλές και δύσκολο να ανιχνευτούν.

Σε κατάσταση νησιδοποίησης, η σύνθετη αντίσταση δικτύου αντικαθίσταται από τη σύνθετη αντίσταση του φορτίου, η οποία μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή του δικτύου, επομένως οι αρμονικές τάσης θα αυξηθούν σημαντικά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες για ανίχνευση νησιδοποίησης.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι διάφορες προσεγγίσεις ανίχνευσης νησιδοποίησης με βάση το αρμονικό περιεχόμενο [8]:

A. Ανίχνευση με βάση την Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD) τάσης ή των πιο σημαντικών αρμονικών

Ελέγχεται αν αυτοί οι δείκτες υπερβαίνουν τις προκαθορισμένες τιμές κατωφλίου και αποφασίζεται αν το σύστημα είναι σε κατάσταση νησιδοποίησης ή όχι.

B. Αξιολόγηση ασυμμετρίας Η μέθοδος αξιολόγησης ασυμμετρίας είναι κατάλληλη για τριφασικά συστήματα.

Ο δείκτης THD της τάσης μπορεί να αποτύχει να ανιχνεύσει την κατάσταση νησιδοποίησης αν το φορτίο έχει έντονα χαρακτηριστικά βαθυπερατού φίλτρου. Για λόγους αύξησης της αξιοπιστίας χρησιμοποιείται και ο δείκτης της ασυμμετρίας τάσης. Ελέγχεται αν αυτοί οι δείκτες υπερβαίνουν τις προκαθορισμένες τιμές κατωφλίου και αποφασίζεται αν το σύστημα είναι σε κατάσταση νησιδοποίησης ή όχι.

C. Ανίχνευση με χρήση φίλτρου Kalman

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην εκτίμηση μέσω φίλτρου Kalman των μεταβολών της 3^{ης}, 5^{ης} και 7^{ης} αρμονικής. Ο αλγόριθμος δεν υπολογίζει μόνο την απόλυτη τιμή των αρμονικών της τάσης δικτύου, αλλά επίσης και τη μεταβολή της πυκνότητας ισχύος (ενέργειας) του φάσματος.

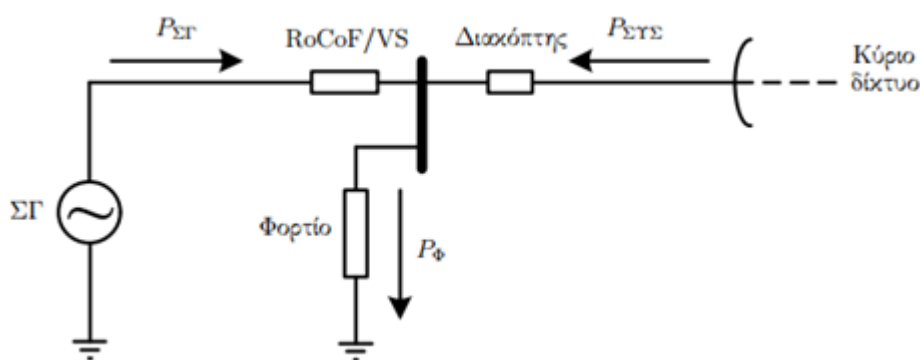
D. Ανίχνευση με ανάλυση Wavelet

Η μέθοδος αυτή μπορεί να ανιχνεύσει την κατάσταση νησιδοποίησης με βάση τοπικές μετρήσεις της τάσης και ρεύματος στο ΣΚΣ, όπως γίνεται στις παθητικές μεθόδους.

Επιπλέον, όμως, υπολογίζει τις συνιστώσες υψηλών συχνοτήτων που εισάγονται από τον αντιστροφέα, οι οποίες εξαρτώνται από τις χαρακτηριστικές του εφαρμοσμένου διαμορφωτή παλμού, του φίλτρου, και του ελεγκτή ρεύματος, όπως γίνεται στις ενεργητικές μεθόδους. Στη συνέχεια εφαρμόζεται ανάλυση Wavelet για την εντόπιση της χρονικής στιγμής που το σύστημα επήλθε σε κατάσταση νησιδοποίησης.

Παθητικές μέθοδοι για μονάδες ΔΠ με ΣΓ

Στην εικόνα 2.2.2 απεικονίζεται μία σύγχρονη γεννήτρια εξοπλισμένη με έναν από τους δύο διακόπτες που παρουσιάζονται στη συνέχεια, συνδεδεμένη με το δίκτυο και εγκάρσια με ένα φορτίο [8].



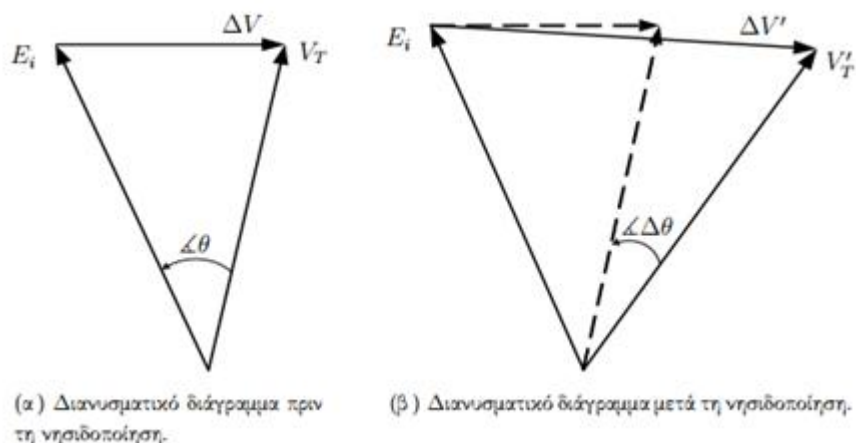
Εικόνα 2.2.2 – Σύστημα μονάδας ΔΠ με ΣΓ η οποία έχει είτε διακόπτη RoCoF ή διακόπτη VS

i. Ρυθμός Μεταβολής της Συχνότητας (Rate of Change of Frequency - RoCoF)

Ο ρυθμός μεταβολής της συχνότητας, df/dt , οφείλεται στην ανισορροπία μεταξύ της μηχανικής ισχύος εισόδου και του φορτίου. Αυτή η ανισορροπία δημιουργεί μεταβατικά στο νησιδοποιημένο σύστημα και η συχνότητα του συστήματος αρχίζει και ποικίλλει δυναμικά.

ii. Μετατόπιση Διανύσματος (Vector Shift - VS)

Στη γεννήτρια της εικόνας 2.2.2 υπάρχει μία πτώση τάσης ΔV μεταξύ της τάσης εξόδου της γεννήτριας V_T και της επαγόμενης τάσης E_i , εξαιτίας του ρεύματος της γεννήτριας $I_{ΣΓ}$, το οποίο διέρχεται από την αντίδραση της γεννήτριας X_d . Συνεπώς, υπάρχει μία διαφορά φάσης θ μεταξύ της τάσης εξόδου και της επαγόμενης τάσης. Το διανυσματικό διάγραμμα που περιγράφει τα παραπάνω απεικονίζεται στην εικόνα 2.2.3 (α). Στην εικόνα 2.2.2, στην περίπτωση που το σύστημα που αποτελείται από τη ΣΓ και το φορτίο νησιδοποιηθεί, η ΣΓ πλέον πρέπει να παρέχει ισχύ σε μεγαλύτερο φορτίο (ή μικρότερο) γιατί το ρεύμα του συστήματος $I_{ΣΥΣ}$ έχει διακοπεί. Έτσι, η ΣΓ αρχίζει και επιβραδύνει (ή επιταχύνει). Έτσι, η διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης εξόδου της ΣΓ και της επαγόμενης τάσης της ξαφνικά αυξάνεται (ή μειώνεται), όπως απεικονίζεται στην εικόνα 2.2.3 (β). Η μέθοδος, λοιπόν, της Μετατόπισης Διανύσματος παρακολουθεί αυτή την αλλαγή στη διαφορά φάσης μεταξύ αυτών των διανυσμάτων και όταν αυτή υπερβεί την τιμή ενός κατωφλίου ανιχνεύεται η κατάσταση της νησιδοποίησης.



Εικόνα 2.2.3 – Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων για την μέθοδο VS

2.2.5 Ενεργητικές μέθοδοι

Οι ενεργητικές μέθοδοι εισάγουν μικρές διαταραχές οι οποίες έχουν σαν στόχο [12]:

1. Να προκαλέσουν μεταβολές στη συχνότητα ικανές να ενεργοποιήσουν την προστασία OUF

Αυτές οι μέθοδοι προκαλούν μεταβολή της συχνότητας της τάσης στο ΣΚΣ διαταράσσοντας τη συχνότητα του ρεύματος αναφοράς του αντιστροφέα, για παράδειγμα, με θετική ανάδραση. Όσο το δίκτυο είναι παρόν, είναι προφανές ότι η συχνότητα δεν μπορεί να μεταβληθεί, αλλά όταν αυτό αποσυνδέεται, η διαταραχή είναι ικανή να μεταβάλλει τη συχνότητα τόσο ώστε να ενεργοποιηθεί ο ηλεκτρονόμος Υπέρ/Υπό Συχνότητας.

2. Να προκαλέσουν μεταβολές στην τάση ικανές να ενεργοποιήσουν την προστασία OUV

Αυτές οι μέθοδοι προκαλούν μεταβολή της τάσης στο ΣΚΣ είτε με θετική ανάδραση στο ρεύμα αναφοράς του αντιστροφέα, είτε με μεταβολή της αέργου ισχύος Q. Όσο το δίκτυο είναι παρόν, η τάση δεν μπορεί να μεταβληθεί, αλλά όταν αποσυνδεθεί, η διαταραχή είναι ικανή να μεταβάλλει την τάση τόσο ώστε να ενεργοποιηθεί ο ηλεκτρονόμος Υπέρ/Υπό Τάσης.

3. Την εκτίμηση της σύνθετης αντίστασης δικτύου, και έτσι την έμμεση ανίχνευση της κατάστασης νησιδοποίησης

Συγκεκριμένα, για συμμόρφωση με το πρότυπο VDE0126-1-1, έχουν αναπτυχθεί πιο πολύπλοκες μέθοδοι που στοχεύουν στην ακριβή εκτίμηση της σύνθετης αντίστασης δικτύου. Η ιδέα είναι ότι χρησιμοποιείται μία συγκεκριμένη διαταραχή για να γίνει εκτίμηση της σύνθετης αντίστασης με βάση την απόκριση του δικτύου.

4. Την ανίχνευση της κατάστασης νησιδοποίησης με χρήση Βρόχου Κλειδωμένης Φάσης (Phase Locked Loop - PLL)

Τέλος, αναφέρεται και αυτή η μέθοδος, η οποία δεν κατατάσσεται σε κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες. Αυτή η μέθοδος εκμεταλλεύεται την ήδη υπάρχουσα δομή PLL, η οποία είναι υπεύθυνη για το συγχρονισμό του ρεύματος εξόδου του αντιστροφέα με την τάση

του δικτύου, και βασίζεται στην επιτηδευμένη αλλοίωση της εξαγόμενης γωνίας του ρεύματος εξόδου του αντιστροφέα.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές ενεργητικές μέθοδοι, τριών από τις παραπάνω κατηγορίες, καθώς και οι βασικές αρχές λειτουργίας τους [4], [8], [16]:

Μέθοδοι Μεταβολής Συχνότητας

i. Μέθοδος Μεταβολής της Φάσης (Sandia Frequency Shift - SFS)

Η φασική γωνία του αντιστροφέα υπολογίζεται σαν συνάρτηση της συχνότητας. Η φασική απόκριση του αντιστροφέα σχεδιάζεται έτσι ώστε η φάση του αντιστροφέα να αυξάνεται πιο γρήγορα από την αντίστοιχη φάση του φορτίου RLC με συντελεστή ισχύος $SI = 1$. Αν αποσυνδεθεί το δίκτυο και η συχνότητα στο ΣΚΣ αλλάξει, η απόκριση φάσης του αντιστροφέα αυξάνει το σφάλμα φάσης και έτσι προκαλείται αστάθεια στη συχνότητα. Αυτή η συχνότητα ενισχύει επιπρόσθετα τη διαταραχή στη συχνότητα στο ΣΚΣ και η συχνότητα τελικά οδηγείται εκτός των ορίων που ορίζονται από τον ηλεκτρονόμο Υπέρ/Υπό Συχνότητας

ii. Μέθοδος απλή Μεταβολής της Συχνότητας (Active Frequency Drift - AFD)

Η κυματομορφή του ρεύματος εξόδου του αντιστροφέα παραμορφώνεται ελάχιστα. Αυτό επιτυγχάνεται με το να προστεθεί ένα μηδενικό τμήμα στο ρεύμα αναφοράς, ούτως ώστε να μεταβληθεί προς τα άνω η συχνότητα του ρεύματος. Πιο συγκεκριμένα, η συχνότητα του ρεύματος αναφοράς του αντιστροφέα εξαναγκάζεται να είναι ελάχιστα υψηλότερη από τη συχνότητα της τάσης. Επιπλέον, το ρεύμα αναφοράς τίθεται ίσο με το μηδέν για όλο το χρονικό διάστημα μεταξύ των τομών των κυματομορφών του ρεύματος αναφοράς και της τάσης με τον άξονα του χρόνου (το ρεύμα αναφοράς τέμνει τον άξονα του χρόνου νωρίτερα από την τάση). Έτσι, υπάρχει μία συνεχής τάση της συχνότητας προς αλλαγή, γεγονός το οποίο αποτρέπει όσο το δίκτυο είναι παρόν. Σε κατάσταση νησιδοποίησης, όμως, η συχνότητα μεταβάλλεται και τελικά ενεργοποιείται η προστασία Υπέρ/Υπό Συχνότητας.

iii. Μέθοδος Μεταβολής της Αέργου Ισχύος (Reactive Power Variation - RPV)

Η βασική ιδέα είναι η έγχυση ενός αρμονικού σήματος παραμόρφωσης (τυπικά, χαμηλής συχνότητας) στο άεργο ρεύμα αναφοράς. Αυτό το σήμα παραμόρφωσης θα επιχειρήσει να διαμορφωθεί με τη συχνότητα της τάσης, αλλά παρόντος του δικτύου δεν θα γίνει καμία αλλαγή λόγω του στιβαρού του χαρακτήρα. Σε κατάσταση νησιδοποίησης, η τάση θα εξαρτάται γραμμικά από το ρεύμα και θα προκληθούν μεταβολές στη συχνότητας, οι οποίες τελικά θα ενεργοποιήσουν την προστασία Υπέρ/Υπό Συχνότητας.

Μέθοδος Μεταβολής της Τάσης

i. Μέθοδος Μεταβολής της Τάσης (Sandia Voltage Shift - SVS)

Σε αυτή τη μέθοδο το πλάτος της τάσης χρησιμοποιείται σαν θετική ανάδραση στο ρεύμα αναφοράς του αντιστροφέα. Έτσι, αν υπάρχει μία μείωση στο πλάτος της τάσης στο ΣΚΣ (στην πράξη, συνήθως χρησιμοποιείται η RMS τιμή της τάσης), ο αντιστροφέας μειώνει το ρεύμα εξόδου και έτσι την ισχύ εξόδου. Αν το δίκτυο είναι παρόν, η επίδραση στην τάση

είναι αμελητέα όταν η ισχύς μειώνεται. Όταν το δίκτυο αποσυνδέεται και υπάρχει μία μείωση στην τάση, υπάρχει μία μείωση στο πλάτος, όπως υποδεικνύεται από το νόμο του Ohm. Αυτή η συνεχής μείωση του πλάτους θα οδηγήσει στην ενεργοποίηση της προστασίας Υπέρ/Υπό Τάσης.

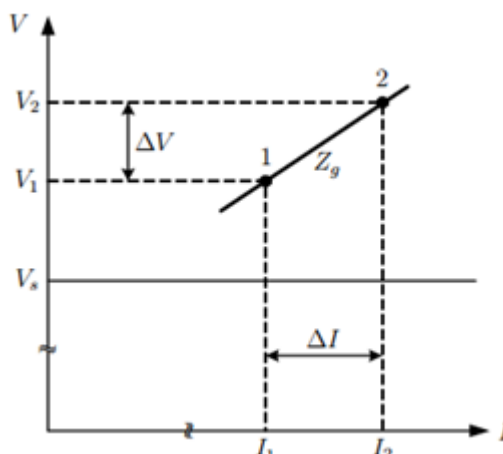
Εκτίμηση Σύνθετης Αντίστασης Δικτύου

i. Μέθοδος Έγχυσης Αρμονικών (Harmonic Injection - HI)

Η μέθοδος αρμονικών βασίζεται στην έγχυση μη χαρακτηριστικών αρμονικών ρεύματος και στη συνέχεια στην εξαγωγή της αντίστοιχης αρμονικής τάσης, η οποία εξαρτάται από την σύνθετη αντίσταση δικτύου σε αυτή τη συχνότητα. Αυτό προϋποθέτει ότι αυτές οι αρμονικές σε αυτές τις συχνότητες δεν είναι παρούσες στην τάση δικτύου υπό κανονικές συνθήκες, έτσι ώστε η τάση που θα ανιχνεύεται στη συχνότητα αυτή να είναι μόνο η πτώση τάσης επί της σύνθετης αντίστασης δικτύου.

ii. Ανίχνευση μέσω Εκτίμησης της Σύνθετης Αντίστασης Δικτύου μέσω Ενεργητικής Μεταβολής της Αέργου Ισχύος (Grid Impedance Estimation by Active Reactive Power Variation - GIE-ARPV)

Αυτή η μέθοδος βασίζεται στο γεγονός ότι η σύνθετη αντίσταση δικτύου μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας δύο σταθερά σημεία λειτουργίας, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.2.4 και επιλύοντας με βάση το Νόμο Τάσεων Kirchhoff. Αυτό συμβαίνει διότι κανονικά υπάρχουν δύο άγνωστοι στο κύκλωμα, η σύνθετη αντίσταση δικτύου και η τάση στην έξοδο του δικτύου. Ο τελευταίος άγνωστος μπορεί να διαγραφεί αν υπάρχουν διαθέσιμα δύο σύνολα μετρήσεων.



Εικόνα 2.2.4 – Εκτίμηση σύνθετης αντίστασης δικτύου με ARPV

2.2.6 Υβριδικές μέθοδοι

Οι υβριδικές μέθοδοι ανίχνευσης της νησιδοποίησης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιούν για την ανίχνευση του φαινομένου. Οι τεχνικές αυτές είναι βασισμένες [4]:

1. Στην θετική ανατροφοδότηση (Positive Feedback – PF) και στην ανισορροπία τάσης (Voltage Imbalance – VU)

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί τη θετική ανατροφοδότηση (PF) που είναι ενεργητική μέθοδος ανίχνευσης της νησιδοποίησης και τη ανισορροπία τάσης (VU) που είναι παθητική. Η βασική ιδέα της μεθόδου είναι να επιβλέπει συνεχόμενα τις τριφασικές τάσεις με σκοπό να καθορίσει το VU το οποίο δίνεται από τον τύπο: $VU = \frac{V_{+sq}}{V_{-sq}}$, όπου V_{+sq} και V_{-sq} είναι η θετική και η αρνητική ακολουθία αντίστοιχα.

Τα επίπεδα τάσης θα παρατηρούνται για αλλαγές φορτίων, νησιδοποιημένες καταστάσεις κ.τ.λ. Όταν η τιμή της VU ξεπεράσει κάποια όρια τότε το σημείο ρύθμισης της συχνότητας της ΔΠ αλλάζει. Η συχνότητα του συστήματος αλλάζει όταν το σύστημα είναι νησιδοποιημένο.

2. Στην μεταβολή της τάσης και της αέργου ισχύος

Αυτή η μέθοδος στηρίζεται στην μέτρηση της μεταβολής της τάσης σε ορισμένα χρονικά διαστήματα για να παρθεί μια συνδυασμένη τιμή (παθητική μέθοδος), η οποία θα εισαχθεί στον αλγόριθμο προσαρμογής της μεταβολής της αέργου ισχύος (ARPS), ο οποίος αποτελεί ενεργητική μέθοδο.

2.3 Τρόποι αξιολόγησης των μεθόδων ανίχνευσης της νησιδοποίησης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η επιλογή μεθόδου ανίχνευσης της νησιδοποίησης δεν είναι εύκολη υπόθεση, γι’ αυτό έχουν συγκεκριμενοποιηθεί ορισμένα από τα κριτήρια που βοηθάνε στην επιλογή της κατάλληλης μεθόδου. Παρακάτω στον πίνακα 2.3.1 γίνεται μια σύγκριση των μεθόδων ανίχνευσης της νησιδοποίησης με βάση τα κριτήρια αυτά. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές των χαρακτηριστικών προκύπτουν από παρατηρήσεις των τελευταίων ετών και είναι σύμφωνες με τη διεθνή βιβλιογραφία, αλλά επειδή κάθε μια από τις μεθόδους έχει πολλούς τρόπους εφαρμογής, δεν είναι πάντα απολύτως αξιόπιστες [11].

Χαρακτηριστικά	Τοπικές μέθοδοι			Απομακρυσμένες μέθοδοι	
	Παθητικές	Ενεργητικές	Υβριδικές	Utility	Επικοινωνίας
NDZ ²	Μεγάλο	Μικρό	Μικρό	Καθόλου	Καθόλου
Χρόνος απόκρισης	Μικρός	Λίγο μικρότερος από τις παθητικές	Μεγαλύτερος από τις ενεργητικές	Μικρός	Μικρός
Αποτυχία χειρισμού	Πιθανή	Πιθανή	Πιθανή	Πιθανή	Σχεδόν απίθανη

² NDZ: Μη Ανιχνεύσιμη Ζώνη : Ορίζεται ως το εύρος των τοπικών φορτίων δηλαδή, φορτία εντός της πιθανής ηλεκτρικής νησίδας, για το οποίο οι υπό μελέτη μέθοδοι ανίχνευσης νησιδοποίησης μπορεί να αποτύχουν να ανιχνεύσουν την κατάσταση νησιδοποίησης

Υποβάθμιση της ευστάθειας της ΔΠ	Καμία	Μικρή	Μικρότερη από τις ενεργητικές	Καμία	Καμία
Κόστος	Μικρό	Μεσαίο	Υψηλό	Αρκετά υψηλό	Πολύ υψηλό
Αποτελεσματικότητα	Όχι πάρα πολύ	Αρκετή	Καλή	Καλή	Πολύ καλή
Χρήση σε πολλαπλές ΔΠ	Πιθανή	Απίθανη	Πιθανή	Πιθανή	Πιθανή
Επιρροή από τον αριθμό των συνδεδεμένων αντιστροφών	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι
Υποβάθμιση της ποιότητας ισχύος	Όχι	Ναι	Ναι αλλά λιγότερη από τις ενεργητικές	Όχι	Όχι

Πίνακας 2.3.1 – σύγκριση των μεθόδων ανίχνευσης νησιδοποίησης με βάση ορισμένα κριτήρια

Αρα εν συντομία τα σημαντικότερα κριτήρια αξιολόγησης των μεθόδων ανίχνευσης της νησιδοποίησης είναι:

- Η ύπαρξη Μη Ανιχνεύσιμης Ζώνης (Non Detection Zone - NDZ)
- Η υποβάθμιση της ποιότητας ισχύος και του επιπέδου ευστάθειας του συστήματος
- Η λανθασμένη λειτουργία στην περίπτωση πολλαπλών αντιστροφών
- Η εσφαλμένη ανίχνευση κατάσταση νησιδοποίησης
- Το υψηλό κόστος υλοποίησης

Κάτωθι, θα παραχθούν ορισμένοι πίνακες για την κατηγοριοποίηση των μεθόδων, και ειδικότερα των τρόπων υλοποίησής τους, με βάση τα προαναφερθέντα κριτήρια [17]. Κατ' αυτό τον τρόπο θα αναδειχθούν τυχόν διαφορές των τρόπων υλοποίησης που ανήκουν στην ίδια μέθοδο υλοποίησης.

Κατηγορία μεθόδων	Μέθοδος	NDZ
Παθητικές	OUV/OUF	Μεγάλη
	HD	Μεγάλη για Q_f
	RoCoF	Μικρή
Ενεργητικές	AFD	Αυξάνεται με αυξανόμενο Q_f
	SFS	Ελάχιστη
	SVS	Ελάχιστη
	SMS	Μικρότερη αυτής του AFD
	Μεταβολή ισχύος	Μικρή
Απομακρυσμένες	PLCC	Μηδέν
	SCADA	Μηδέν

Πίνακας 2.3.2 – η NDZ ορισμένων μεθόδων ανίχνευσης νησιδοποίησης

Κατηγορία μεθόδων	Μέθοδος	Ποιότητα ισχύος
Παθητικές	OUV/OUF	Καμία επίδραση
	HD	Καμία επίδραση
	PJD	Καμία επίδραση
	RoCoF	Καμία επίδραση
	VU	Καμία επίδραση
Ενεργητικές	AFD	Υποβάθμιση
	SFS	Μικρή υποβάθμιση
	SVS	Μικρή υποβάθμιση
	SMS	Μικρή υποβάθμιση
	HI	Παραγωγή αρμονικών
	Μεταβολή ισχύος	Επίδραση στην μεταβατική ευστάθεια
Απομακρυσμένες	PLCC	Καμία επίδραση
	SCADA	Καμία επίδραση

Πίνακας 2.3.3 – η ποιότητα ισχύος ορισμένων μεθόδων ανίχνευσης νησιδοποίησης

Κατηγορία μεθόδων	Μέθοδος	Απόδοση με πολλαπλούς αντιστροφείς
Παθητικές	OUV/OUF	Υψηλή
	PJD	Δεν μειώνεται
Ενεργητικές	AFD	Μειώνεται
	SMS	Πολύ υψηλή
	Μεταβολή ισχύος	Αύξηση του ποσοστού εσφαλμένης ανίχνευσης
Απομακρυσμένες	PLCC	Πολύ υψηλή
	SCADA	Πολύ υψηλή

Πίνακας 2.3.4 – η απόδοση με πολλαπλούς αντιστροφείς ορισμένων μεθόδων ανίχνευσης νησιδοποίησης

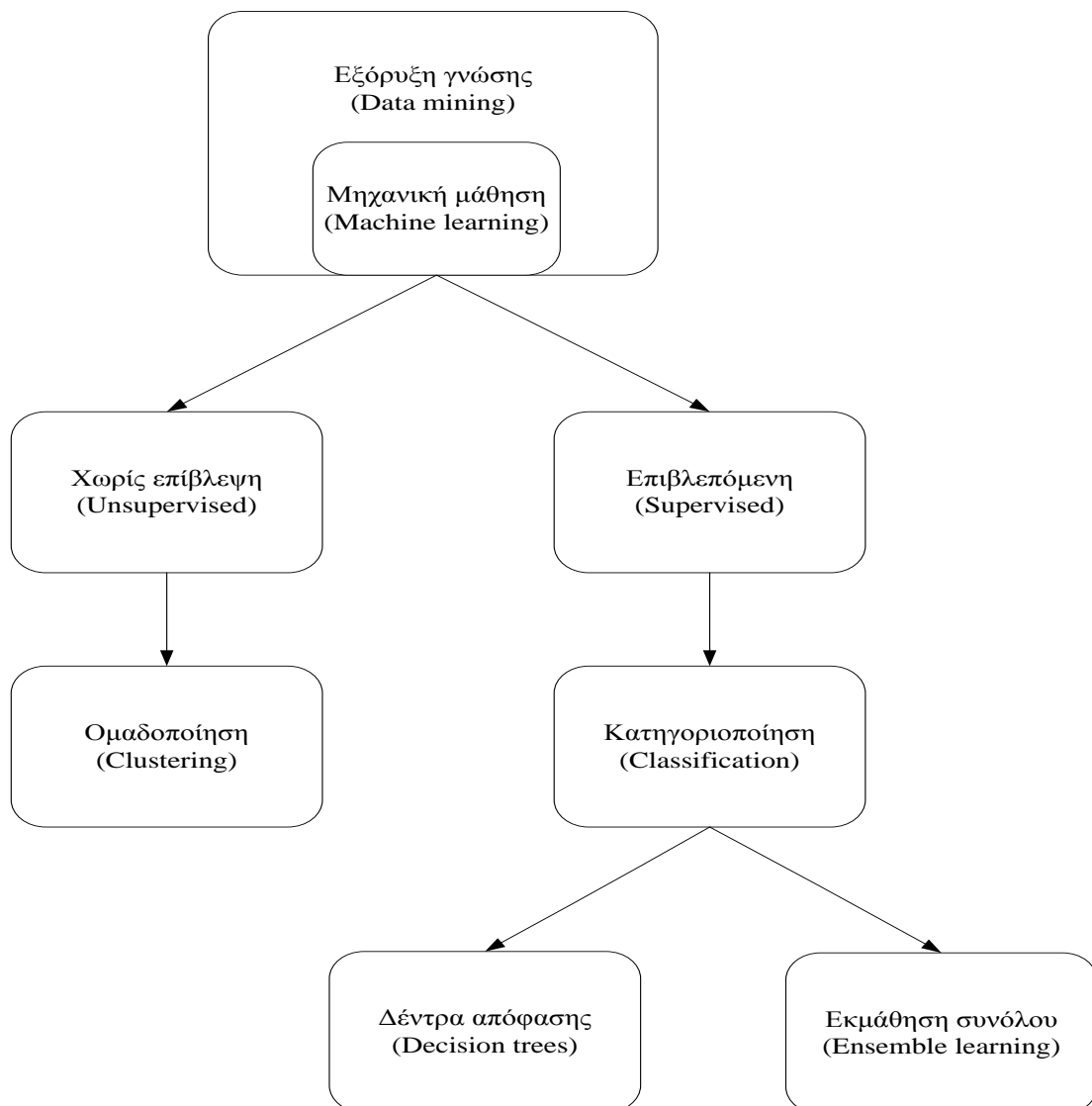
Κατηγορία μεθόδων	Μέθοδος	Ποσοστό εσφαλμένης ανίχνευσης
παθητικές	HD	Υψηλό
	PJD	Υψηλό
	RoCoF	Υψηλό
	VU	Χαμηλό
Ενεργητικές	SFS	Χαμηλό
	SVS	Χαμηλό
	SMS	Χαμηλό
	Μεταβολή ισχύος	Υψηλό
Απομακρυσμένες	PLCC	Μηδενικό
	SCADA	Μηδενικό

Πίνακας 2.3.5 – το ποσοστό εσφαλμένης ανίχνευσης ορισμένων μεθόδων ανίχνευσης νησιδοποίησης

Κεφάλαιο 3^ο

3 Κατηγοριοποίηση και εξόρυξη γνώσης

Οι όροι της κατηγοριοποίησης ή αλλιώς ταξινόμησης (classification) και της εξόρυξης γνώσης (data mining) είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την μηχανική μάθηση (machine learning). Στις μέρες μας μεγάλες μελέτες γίνονται και στα τρία αυτά πεδία καθώς πολλά προβλήματα σχετίζονται με αυτά. Στο παρόν κεφάλαιο θα αποσαφηνιστούν οι παραπάνω τρεις έννοιες και θα διευκρινιστεί σε ποιο βαθμό και με ποιόν τρόπο αλληλοσχετίζονται. Περιληπτικά μια ιδέα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1 - γενικές έννοιες του κεφαλαίου 3 και ο συσχετισμός τους

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι ταξινόμησης και συγκεκριμένα δέντρα απόφασης (decision trees), για την εξόρυξη γνώσης της κατάστασης (νησιδοποίηση – μη νησιδοποίηση) του συστήματος 34 ζυγών.

3.1 Εξόρυξη γνώσεων από τα δεδομένα

Η Εξόρυξη Γνώσης από τα δεδομένα (data mining) ορίζεται ως η εύρεση πληροφοριών που είναι κρυμμένες σε μία βάση δεδομένων, η εξερευνητική ανάλυση δεδομένων, η ανακάλυψη καθοδηγούμενη από δεδομένα και η εξερευνητική μάθηση. Η σημερινή εξέλιξη στις λειτουργίες και στα προϊόντα της εξόρυξης γνώσης από δεδομένα είναι αποτέλεσμα πολλών χρόνων επιρροής από πολλούς επιστημονικούς κλάδους όπως είναι οι βάσεις δεδομένων, η ανάκτηση πληροφοριών, η στατιστική, οι αλγόριθμοι και η μηχανική μάθηση.

Ειδικότερα, πρόκειται για την διαδικασία «ανακάλυψης» ενδιαφερόντων και εν δυνάμει χρήσιμων προτύπων (patterns), υπαρκτών σε μεγάλες βάσεις δεδομένων. Ο όρος «εξόρυξη» χρησιμοποιείται προκειμένου να τονισθεί ότι τα πρότυπα συνιστούν ψήγματα πολύτιμης πληροφορίας προς ανακάλυψη, κρυμμένες μέσα σε μεγάλες βάσεις δεδομένων.

Ένα πρότυπο μπορεί να είναι μία στατιστική περίληψη (summary statistic), όπως ο μέσος όρος (mean), ο αριθμητικός μέσος (median), ή η τυπική απόκλιση (standard deviation) ενός συνόλου δεδομένων. Μέσω της εξόρυξης γνώσης αναζητούνται ταχύτατα και αυτόματα τοπικά και υψηλής χρησιμότητας πρότυπα, κάνοντας χρήση αλγορίθμων.

Τεχνικές εξόρυξης γνώσης από δεδομένα έχουν αποδείξει ότι μπορούν να εφαρμοστούν επιτυχώς σε μεγάλο όγκο δεδομένων κι έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε αρκετά πεδία, όπως στην ιατρική (ιατρική διάγνωση), στη μετεωρολογία (πρόβλεψη καιρού), στο μάρκετινγκ, κ.α.

Ο όρος «εξόρυξη δεδομένων» είναι σχετικά καινούργιος και εμφανίστηκε στη δεκαετία του '90. Ωστόσο, παρεμφερείς τάσεις και έρευνες είναι ακόμα πιο παλιές. Ο τομέας της εξόρυξης δεδομένων σχετίζεται με πολλούς άλλους τομείς όπως την στατιστική (statistics), την τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence), τη μηχανική μάθησης (machine learning), τις βάσεις δεδομένων (data bases), τις μηχανές αναζήτησης (search engines), τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (decision support systems), τα συστήματα άμεσης ανάλυσης δεδομένων (OLAP) και του ταιριάσματος προτύπων (pattern matching).

Τέλος, αναφέρεται η σχέση που έχει η εξόρυξη δεδομένων με την μηχανική μάθηση. Στην εξόρυξη δεδομένων, η μηχανική μάθηση χρησιμοποιείται για τεχνικές πρόβλεψης ή κατηγοριοποίησης. Με τη μηχανική μάθηση, ο υπολογιστής κάνει κάποιες προβλέψεις και μετά, βασιζόμενος στην ανατροφοδότηση (feedback), όποτε αυτό είναι ορθό, μαθαίνει από αυτό. Μαθαίνει από τα παραδείγματα, την αποθηκευμένη γνώση, και την ανατροφοδότηση. Όταν συμβεί μελλοντικά ανάλογη περίπτωση, η ανατροφοδότηση χρησιμοποιείται για να κάνει την ίδια πρόβλεψη ή για να κάνει μια εντελώς διαφορετική πρόβλεψη. Η στατιστική είναι πολύ σημαντική σε προγράμματα μηχανικής μάθησης γιατί τα αποτελέσματα των προβλέψεων πρέπει να είναι στατιστικά σημαντικά.

3.1.1 Τα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο τομέας της εξόρυξης γνώσης

Η εξόρυξη γνώσης από μεγάλες αποθήκες δεδομένων έχει εξελιχθεί σε ένα από τα βασικότερα ερευνητικά ζητήματα στον τομέα των βάσεων δεδομένων και αποτελεί αντικείμενο μελέτης από πολλούς ερευνητές και μηχανικούς, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια με τη ραγδαία αύξηση του όγκου της πληροφορίας. Η έρευνα στον τομέα αυτόν έχει προχωρήσει θεαματικά και έχουν εξαχθεί πολλά και σημαντικά αποτελέσματα.

Την τελευταία δεκαετία έχει παρατηρηθεί μια αλματώδης αύξηση στην παραγωγή και στη συλλογή δεδομένων. Ωστόσο η πρόοδος στην τεχνολογία των βάσεων δεδομένων μας παρέχει νέες τεχνικές για την αποδοτικότερη και αποτελεσματικότερη συλλογή, αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων. Είναι κοινώς αποδεκτό ότι κάθε χρόνο τα δεδομένα διπλασιάζονται, ενώ η χρήσιμη πληροφορία δείχνει να μειώνεται. Αυτό είναι και το κύριο πρόβλημα που προσπαθεί να λύσει ο τομέας της εξόρυξης γνώσης από τα δεδομένα.

Οι δικτυακές εφαρμογές που διαχειρίζονται μεγάλες αποθήκες δεδομένων έχουν αρχίσει να κάνουν χρήση μεθόδων και τεχνικών της εξόρυξης γνώσης με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών μέσω της μελέτης της συμπεριφοράς των πελατών και της εξαγωγής συμπερασμάτων από αυτή. Κάθε χρόνο παράγονται τεράστιοι όγκοι δεδομένων (της τάξης των petta-bytes και exa-bytes) τόσο από εταιρίες όσο και από πανεπιστήμια, τα οποία αποθηκεύονται σε τεράστιες βάσεις δεδομένων. Η δυνατότητα ανάλυσης και ερμηνείας των δεδομένων καθώς και η εξαγωγή «χρήσιμης» γνώσης από αυτά έχει ξεπεράσει κάθε όριο. Έτσι, φαίνεται επιτακτική η ανάγκη για μια νέα γενιά εργαλείων, μεθόδων και τεχνικών για ευφυή ανάλυση των βάσεων δεδομένων. Αυτή η ανάγκη έχει προσελκύσει την προσοχή πολλών ερευνητών από διάφορες ερευνητικές περιοχές όπως τεχνητή νοημοσύνη, στατιστική, αποθήκες δεδομένων, διαδραστική ανάλυση και επεξεργασία, έμπειρα συστήματα και οπτικοποίηση δεδομένων, με αποτέλεσμα ένας νέος ερευνητικός τομέας να δημιουργείται, γνωστός ως εξόρυξη δεδομένων και γνώσης (Data and Knowledge Mining).

Μια διαφορετική έκφανση του τομέα της εξόρυξης γνώσης είναι ότι η πληροφορία είναι αποθηκευμένη σε πολύπλοκη μορφή με αποτέλεσμα να είναι δύσκολος ο εντοπισμός του μέρους της πληροφορίας που είναι χρήσιμος στον χρήστη. Η εξόρυξη γνώσης ασχολείται και με την επίλυση του προβλήματος αυτού και μάλιστα έχει ήδη γίνει αρκετή έρευνα και έχουν βρεθεί νέοι τρόποι για την αντιμετώπισή του. Οι βασικές τεχνικές επίλυσης αυτού του προβλήματος, σε αντίθεση με την στατιστικές μεθόδους, στηρίζονται στην αναγνώριση σχέσεων μεταξύ μεταβλητών εκ των οποίων είναι πιθανό είτε να μην είναι γνωστές από την αρχή σε ένα σύνολο δεδομένων, ή ένα πολύ μικρό ποσοστό του συνόλου αυτού να είναι γνωστές εξαρχής. Αυτό σημαίνει ότι ορισμένα πρότυπα τα οποία μπορεί να ενδιαφέρουν έναν αναλυτή ίσως να μην αντιπροσωπεύουν συνολικές τάσεις των δεδομένων και κατά συνέπεια να μην μπορούν να αποκαλυφθούν από μια στατιστική δοκιμή.

Ένα τελευταίο πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο τομέας της εξόρυξης γνώσης είναι ότι η σπουδαιότητα ενός αλγορίθμου εξόρυξης είναι συνάρτηση της ποιότητας της πληροφορίας και του χρόνου. Με λίγα λόγια, είναι άσκοπο να έχουμε υψηλή απόδοση αποτελεσμάτων με υπολογισμούς που απαιτούν απροσδιόριστα πολύ χρόνο ή να έχουμε πολύ γρήγορα αποτελέσματα πολύ χαμηλής ποιότητας. Όμως για να εξάγουμε πραγματικά χρήσιμη πληροφορία συνήθως απαιτείται να έχουμε όσο το δυνατό πιο πολλά δεδομένα με

αποτέλεσμα να αυξάνει ο χρόνος επεξεργασίας τους. Άρα οι ερευνητές έχουν να δουλέψουν και ως προς αυτή την κατεύθυνση.

3.1.2 Βήματα και προϋποθέσεις για την εξόρυξη δεδομένων

Η εξόρυξη γνώσης δεδομένων περιλαμβάνει δύο σημαντικά στοιχεία. Το πρώτο είναι η ανακάλυψη γνώσης από βάσεις δεδομένων και το δεύτερο είναι οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση και εξαγωγή της γνώσης από διάφορα σύνολα δεδομένων. Η όλη διαδικασία ανάλυσης δεδομένων είναι γνωστή και σαν Knowledge Discovery in Databases [18], ενώ για τις μεθόδους και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία ανάλυσης συνηθίζεται ο όρος εξόρυξη δεδομένων.

Η ανακάλυψη γνώσης από δεδομένα είναι η μη τετριμμένη διαδικασία εύρεσης έγκυρων, πρωτότυπων, χρήσιμων και οπωσδήποτε κατανοητών προτύπων μέσα στα δεδομένα. Αυτή η διαδικασία είναι μια επαναληπτική διαδικασία η οποία αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα [18]:

α) *Την επιλογή του συνόλου των δεδομένων.* Από μια αποθήκη δεδομένων γίνεται η επιλογή εκείνων των οποίων θα χρειαστούν στη διαδικασία εξόρυξης δεδομένων που πρόκειται να εφαρμοστεί.

β) *Τον καθαρισμό και προεπεξεργασία των δεδομένων.* Σε αυτό το βήμα γίνεται η συμπλήρωση των ελλειπόντων πεδίων δεδομένων με βάση τις γνωστές στρατηγικές διαχείρισης δεδομένων, η αφαίρεση θορύβου και ακραίων δεδομένων (outliers) και η συλλογή των απαραίτητων πληροφοριών για τον εντοπισμό του θορύβου.

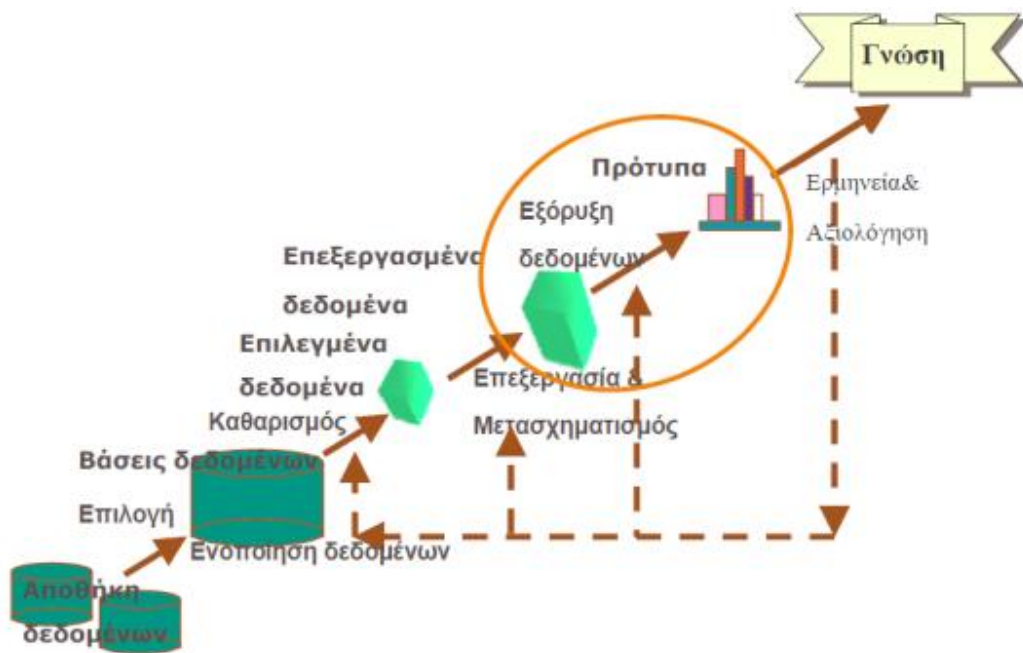
γ) *Το μετασχηματισμό των δεδομένων.* Τα δεδομένα μετασχηματίζονται κατάλληλα για να γίνει η εξόρυξη. Χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι για να μειωθούν οι διαστάσεις και οι μεταβλητές. Γίνεται κωδικοποίηση των δεδομένων για να αποφευχθούν όπου είναι δυνατό οι μεταβλητές.

δ) *Την επιλογή αλγορίθμων εξόρυξης δεδομένων.* Γίνεται η επιλογή των μεθόδων που θα χρησιμοποιηθούν λαμβάνοντας υπόψη τους στόχους που θέλουμε να επιτύχουμε. Αποτέλεσμα αυτού του βήματος είναι η παραγωγή προτύπων που επιδεικνύουν ενδιαφέρον και θα συμβάλουν στην αποκόμιση νέων πληροφοριών και γνώσης.

ε) *Την αξιολόγηση των προτύπων.* Τα πρότυπα που έχουν εξαχθεί στο προηγούμενο βήμα αξιολογούνται με κάποια κριτήρια και αγνοούνται αυτά τα οποία δεν προσφέρουν νέα γνώση. Έτσι παραμένουν μόνο τα πρότυπα που έχουν ενδιαφέρον και προσφέρουν κάτι το καινούργιο.

στ) *Την παρουσίαση της γνώσης.* Σε αυτό το βήμα η νέα γνώση που έχει εξορυχτεί απεικονίζεται με κάποιες τεχνικές στο χρήστη.

Η διαδικασία KDD είναι επαναληπτική. Από κάθε βήμα μπορεί κανείς να μεταπηδήσει σε οποιοδήποτε προγενέστερο βήμα. Η ροή των βημάτων είναι απεικονισμένη στην εικόνα 3.1.1. Παρόλο που το βήμα της εξόρυξης δεδομένων αποτελεί μια κύρια εργασία στη διαδικασία εξόρυξης γνώσης, όλα τα βήματα είναι εξίσου σημαντικά για τη σωστή και επιτυχή εφαρμογή της τεχνικής KDD.



Εικόνα 3.1.1 - Τα βήματα της διαδικασίας KDD

Για την καλή και επιτυχημένη εξόρυξη δεδομένων πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιες προϋποθέσεις και απαιτήσεις που πρέπει να έχει το σύστημα καθώς επίσης και οι τεχνικές που πρέπει να χρησιμοποιηθούν.

Οι αλγόριθμοι εξόρυξης δεδομένων πρέπει να προσαρμοστούν κατάλληλα στα μεγάλα σύνολα δεδομένων έτσι ώστε να έχουν καλή απόδοση. Μπορούν να δοκιμαστούν διάφοροι αλγόριθμοι και να γίνει μέτρηση του χρόνου εκτέλεσής τους έτσι ώστε να γίνει σωστή επιλογή όσον αφορά τον χρόνο. Αλγόριθμοι που δεν έχουν αναμενόμενο ή αποδεκτό χρόνο εκτέλεσης δεν είναι κατάλληλα προσαρμοσμένοι στα δεδομένα μας.

Τα αποτελέσματα που παίρνουμε από την εξόρυξη δεδομένων, δηλαδή η γνώση, πρέπει να είναι ακριβή. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων μπορεί να διαπιστωθεί χρησιμοποιώντας είτε άλλα εργαλεία εξόρυξης δεδομένων, είτε άλλους αλγόριθμους, ή ακόμη συγκρίνοντας τα με το περιεχόμενο της βάσης δεδομένων. Αυτά τα αποτελέσματα πρέπει να εκφράζονται με διάφορους τρόπους όπως για παράδειγμα με γραφικές διεπαφές, για να μπορούν οι απλοί χρήστες να κατανοούν και να χρησιμοποιούν αυτήν τη γνώση. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι τα δεδομένα είναι δυνατό να βρίσκονται σε διάφορες βάσεις δεδομένων. Για το λόγο αυτό θα ήταν καλό να χρησιμοποιηθούν παράλληλοι και κατακευματισμένοι αλγόριθμοι εξόρυξης δεδομένων.

Τέλος, θα πρέπει να τονίσουμε ότι η κλασική προσέγγιση της εξόρυξης γνώσης από τα δεδομένα, υποθέτει ότι τα δεδομένα από τα οποία θα γίνει εξόρυξη της γνώσης βρίσκονται ήδη στη μορφή μιας σχεσιακής βάσης δεδομένων.

3.2 Μηχανική μάθηση

Η τεχνητή νοημοσύνη και ειδικότερα η μηχανική μάθηση έχει αποκτήσει μεγάλο εύρος εφαρμογής παγκοσμίως τα τελευταία χρόνια. Κύριος στόχος είναι η αντιμετώπιση του προβλήματος της υπερ-πληροφόρησης, μέσω της ανάπτυξης συστημάτων τα οποία θα μπορούν αυτόματα να φιλτράρουν τον τεράστιο όγκο δεδομένων, αναζητώντας σχετική πληροφορία για τον τελικό χρήστη. Η χρήση μηχανικής μάθησης στην ανάπτυξη συστημάτων εξαγωγής πληροφορίας που θα εντοπίζουν αυτόματα και θα εξάγουν σχετική πληροφορία από τις βάσεις δεδομένων, συνιστά μια πολύ καλή προοπτική για την αντιμετώπιση της υπερ-πληροφόρησης.

Η μηχανική μάθηση (machine learning) αποσκοπεί γενικά στην κατασκευή ενός υπολογιστικού συστήματος το οποίο θα μπορεί αυτόματα να βελτιώνεται με βάση τα δεδομένα που επεξεργάζεται. Η μηχανική μάθηση αποτελεί σημαντικό κομμάτι του κλάδου της τεχνητής νοημοσύνης (artificial intelligence), καθώς η δυνατότητα μάθησης αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό κάθε ευφυούς (νοήμονος) υπολογιστικού συστήματος.

Η χρήση της μηχανικής μάθησης για την απόκτηση νέας γνώσης μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πρόβλημα αναζήτησης σε ένα χώρο πιθανών υποθέσεων, εκείνης που ταιριάζει καλύτερα στα δεδομένα εκπαίδευσης. Ως ένα πρόβλημα αναζήτησης πλέον, οι παράμετροι που υπεισέρχονται σε ένα πρόβλημα μηχανικής μάθησης είναι παρόμοιες με εκείνες των αλγορίθμων αναζήτησης. Για παράδειγμα, απαιτείται μια κατάλληλη γλώσσα αναπαράστασης του χώρου των πιθανών υποθέσεων, όπως ο κατηγορηματικός λογισμός (predicate calculus), η χρήση τελεστών (operators) για τις μεταβάσεις ανάμεσα στις υποθέσεις, καθώς και μια μετρική αξιολόγησης κάθε υπόθεσης.

3.2.1 Η μηχανική μάθηση μέσα από ένα παράδειγμα

Η αναζήτηση της υπόθεσης εκείνης που ταιριάζει καλύτερα στα παραδείγματα εκπαίδευσης αποτελεί τυπικό παράδειγμα επαγωγικής μάθησης (inductive learning). Δοθέντων των παραδειγμάτων “Το φαγητό της Κορέας είναι πικάντικο”, “Το φαγητό της Ιαπωνίας είναι πικάντικο”, “Το φαγητό της Γερμανίας δεν είναι πικάντικο”, τότε η έξοδος του συστήματος μάθησης θα μπορούσε να είναι η υπόθεση “Το φαγητό της Ασίας είναι πικάντικο”. Για να παραχθεί ένα τέτοιο συμπέρασμα, θα πρέπει το σύστημα μάθησης να διαθέτει την πληροφορία ότι η Κορέα και η Ιαπωνία είναι χώρες της Ασίας.

Το παραπάνω παράδειγμα [19] αποτελεί παράδειγμα μάθησης εννοιών (concept learning), όπου η έννοια στόχος (target concept) είναι η έννοια “χώρα με πικάντικο φαγητό”. Κάθε έννοια στόχος μπορεί να θεωρηθεί ως μια λογική συνάρτηση που αποφαίνεται θετικά για όσα παραδείγματα εκπαίδευσης αποτελούν παραδείγματα της έννοιας και αρνητικά για την αντίθετη περίπτωση. Τα φαγητά της Κορέας και της Ιαπωνίας αποτελούν θετικά παραδείγματα για την έννοια “χώρα με πικάντικο φαγητό”, ενώ το φαγητό της Γερμανίας αποτελεί αρνητικό παράδειγμα. Η υπόθεση που αναζητείται με βάση ένα συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης θα πρέπει να συμβαδίζει με την έννοια στόχο κάτι που ισχύει στο παραπάνω παράδειγμα.

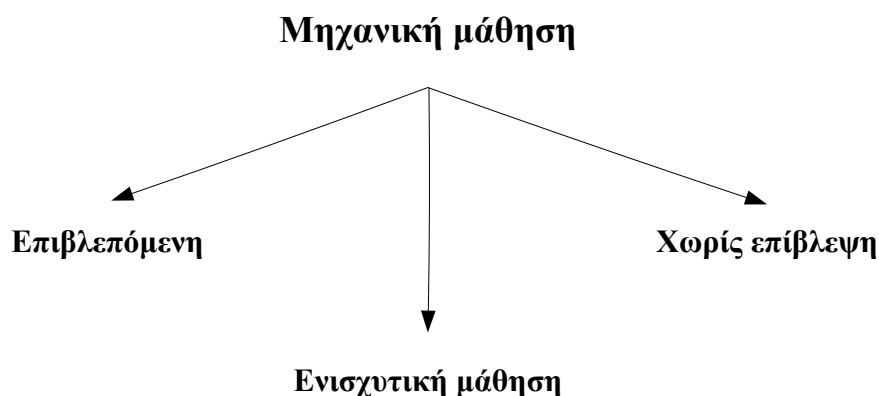
Το κυρίαρχο πρόβλημα της επαγωγικής μάθησης είναι ότι πολλές υποθέσεις μπορεί να ταιριάζουν με τα δεδομένα εκπαίδευσης. Στο προηγούμενο παράδειγμα, η υπόθεση “το

φαγητό της Κορέας ή της Ιαπωνίας είναι πικάντικο” ταιριάζει επίσης στα δεδομένα. Εδώ εισάγεται η έννοια της επαγωγικής κλίσης (inductive bias), η οποία αναφέρεται σε ένα σύνολο περιορισμών για την υπόθεση που ταιριάζει καλύτερα στα δεδομένα εκπαίδευσης. Στο παράδειγμά μας, η υπόθεση “το φαγητό της Κορέας ή της Ιαπωνίας είναι πικάντικο” δεν θα ταιριάζει πλέον στα δεδομένα εκπαίδευσης, εάν τεθεί ένας περιορισμός που να υποδεικνύει ότι η υπόθεση που αναζητείται δε μπορεί να αποτελεί διάζευξη άλλων υποθέσεων και συγκεκριμένα των υποθέσεων “ το φαγητό της Κορέας είναι πικάντικο” και “το φαγητό της Ιαπωνίας είναι πικάντικο”.

Ένα κυρίαρχο χαρακτηριστικό της μάθησης είναι ότι η υπόθεση που ταιριάζει καλύτερα στα παραδείγματα εκπαίδευσης θα πρέπει να είναι αρκετά γενικότερη από τα παραδείγματα εκπαίδευσης ώστε να προσεγγίζει την έννοια στόχο και σε παραδείγματα άγνωστα κατά τη μάθηση. Η υπόθεση “Τα φαγητά της Ασίας είναι πικάντικα” μπορεί να αποφανθεί θετικά για το παράδειγμα “Το φαγητό της Ταϊλάνδης είναι πικάντικο” που δεν υπήρχε στο αρχικό σύνολο παραδειγμάτων εκπαίδευσης. Αντίθετα η υπόθεση “το φαγητό της Κορέας ή της Ιαπωνίας είναι πικάντικο” δεν είναι αρκετά γενική για να αποφανθεί σωστά για το τελευταίο παράδειγμα.

3.2.2 Κατηγοριοποίηση της μηχανικής μάθησης

Η μηχανική μάθηση μπορεί να διακριθεί στην επιβλεπόμενη μάθηση (predictive ή supervised learning) και στη μάθηση χωρίς επίβλεψη (descriptive ή unsupervised learning). Αυτοί είναι οι τρεις κυριότεροι τύποι μηχανικής μάθησης με ποιο συχνό την επιβλεπόμενη μηχανική μάθηση.



Εικόνα 3.2.1 – κατηγορίες μηχανικής μάθησης

Τυπικό παράδειγμα **επιβλεπόμενης μάθησης** είναι τα προβλήματα ταξινόμησης (classification). Σε ένα πρόβλημα ταξινόμησης, κάθε παράδειγμα εκπαίδευσης αντιστοιχεί σε ένα διάνυσμα $\langle x_1 \dots x_n, y \rangle$, όπου $x_1 \dots x_n$ είναι ένα σύνολο τιμών χαρακτηριστικών, ή αλλιώς γνωρισμάτων, και y είναι μια τιμή κλάσης η οποία περιγράφει ένα συγκεκριμένο γεγονός για μια θεματική περιοχή, ή αλλιώς, την έννοια στόχο. Για το απλοποιημένο παράδειγμα με τα πικάντικα φαγητά, κάθε παράδειγμα εκπαίδευσης αντιστοιχεί σε ένα διάνυσμα χαρακτηριστικών $\langle x, y \rangle$, όπου το x είναι το όνομα μιας χώρας, ενώ το y παίρνει τις τιμές να

και όχι, ανάλογα με το αν τα φαγητά της συγκεκριμένης χώρας είναι πικάντικα ή όχι. Η τιμή y πρέπει να προβλεφθεί από το σύστημα μάθησης κατά τη διαδικασία αξιολόγησης σε ένα άγνωστο παράδειγμα $\langle x_1 \dots x_n \rangle$.

Στη **μάθηση χωρίς επίβλεψη**, δεν υπάρχει προκαθορισμένο σύνολο τιμών. Τα παραδείγματα εκπαίδευσης χωρίζονται σε, άγνωστες εκ των προτέρων, ομάδες με βάση τα χαρακτηριστικά τους. Παραδείγματα αλγορίθμων μη επιβλεπόμενης μάθησης αποτελούν οι αλγόριθμοι COBWEB, Apriori, AutoClass κ.α. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μη επιβλεπόμενης μάθησης αποτελεί η εύρεση κανόνων συσχέτισης (association rules) της μορφής “εάν X τότε Y ”, όπου X και Y είναι τιμές που συνδέουν τιμές χαρακτηριστικών στα διανύσματα εκπαίδευσης. Ένας τέτοιος κανόνας θα μπορούσε να λέει “οι πελάτες που αγοράζουν μπύρα, αγοράζουν και ξηρούς καρπούς” κατά την ανάλυση των προϊόντων που αγοράζονται από πελάτες σε ένα κατάστημα.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ένας τρίτος τύπος μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιείται σπάνια και ονομάζεται **ενισχυτική μάθηση**. Η βασική ιδέα στην οποία βασίζεται πηγάζει σε ένα μεγάλο ποσοστό από την ανθρώπινη συμπεριφορά. Η επιβράβευση ή η αποθάρρυνση ύστερα από μία ενέργεια διαμορφώνει σταδιακά πεποιθήσεις του ανθρώπου για το ποια ενέργεια είναι «καλή» και «αποδοτική» ή «κακή» και πρέπει να αποφεύγεται. Με το ίδιο σκεπτικό ορίζεται ως πράκτορας το πρόγραμμα εκείνο το οποίο αξιολογεί την κατάσταση στην οποία βρίσκεται (state) και αποφασίζει να ενεργήσει (action) με τον τρόπο που θα του αποδώσει το μέγιστο προσδοκώμενο όφελος στο μέλλον (expected reward). Αφού εκτελεστεί η ενέργεια, ο πράκτορας λαμβάνει κάποιο reward (ή penalty) ανάλογα με το πόσο καλό ήταν το action που επέλεξε, δεδομένης της κατάστασης που βρισκόταν, και προσαρμόζει αναλόγως την προσδοκία του για το όφελος της συγκεκριμένης ενέργειας στο μέλλον. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι δεν απαιτείται επίβλεψη από κάποιον παρατηρητή και η συνεχής τροφοδοσία του πράκτορα με παραδείγματα σωστών ενεργειών για κάθε κατάσταση στην οποία μπορεί τυχόν να βρεθεί. Αυτό που επαρκεί είναι μία συνάρτηση επιβράβευσης (reward function) η οποία θα καθορίζει πόσο καλά απέδωσε ο πράκτορας με βάση κάποια προκαθορισμένα κριτήρια. [20]

3.2.3 Αλγόριθμοι για την επιβλεπόμενη και χωρίς επίβλεψη μάθηση

Για την μη επιτηρούμενη μάθηση χρησιμοποιείται η ομαδοποίηση (clustering). Οι αλγόριθμοι για την ομαδοποίηση μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση το μοντέλο της ομαδοποίησης. Τα κυριότερα μοντέλα ομαδοποίησης και οι συνηθέστεροι αντίστοιχοι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται σε αυτά είναι τα εξής:

- Μοντέλα συνδεσιμότητας : Ιεραρχική ομαδοποίηση (hierarchical clustering)
- Μοντέλα κέντρου βάρους : αλγόριθμος k-means
- Μοντέλα διανομής : Αλγόριθμος μεγιστοποίησης (expectation – maximization algorithm)
- Μοντέλα πυκνότητας : DBSCAN και OPTICS
- Μοντέλα υποχώρου: Biclustering
- Μοντέλα που βασίζονται σε γραφικά : HCS cluster algorithm

Αν και έχουν αναπτυχθεί αρκετοί αλγόριθμοι για κάθε ένα από τα παραπάνω μοντέλα δεν υπάρχει κάποιος που να είναι πάντα καλύτερος από όλους τους άλλους. Η επιλογή αλγορίθμου γίνεται κυρίως εμπειρικά εκτός αν υπάρχει κάποιος μαθηματικός λόγος για τον οποίο ένα μοντέλο είναι καλύτερο από τα άλλα. Πρέπει να σημειωθεί ότι ένας αλγόριθμος που έχει σχεδιαστεί για ένα συγκεκριμένο από τα παραπάνω μοντέλο, δεν μπορεί να υλοποιηθεί σε δεδομένα ενός δεύτερου μοντέλου.

Από την άλλη πλευρά, για την επιτηρούμενη μάθηση έχουν αναπτυχθεί πληθώρα αλγορίθμων για προβλήματα κατηγοριοποίησης. Οι αλγόριθμοι για αυτή την κατηγορία θα αναπτυχθούν αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της ναφοράς δεν βρέθηκε..** Εδώ απλά θα αναφέρουμε τους αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται συνήθως όπως είναι οι αλγόριθμοι ID3 και C4.5 για την εκμάθηση δέντρων απόφασης (decision trees), ο αλγόριθμος Naïve Bayes, ο αλγόριθμος των κ-κοντινότερων γειτόνων (k-nearest-neighbors,) κ.α. Το εκπαιδευμένο μοντέλο που προκύπτει από την εφαρμογή ενός αλγορίθμου κατηγοριοποίησης σε ένα σύνολο διανυσμάτων χαρακτηριστικών καλείται και κατηγοριοποιητής (classifier).

Παρόλο που η διαδικασία μάθησης στους υπολογιστές απέχει αρκετά από τη διαδικασία μάθησης στους ανθρώπους, πληθώρα εφαρμογών έχουν επιτυχώς αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια οι οποίες χρησιμοποιούν τη μηχανική μάθηση σε διάφορους τομείς όπως ο αυτόματος εντοπισμός κάλπικων συναλλαγών με πιστωτικές κάρτες, η ανακάλυψη γνώσης (knowledge discovery) από μεγάλο όγκο βάσεων δεδομένων, η αυτόματη οδήγηση οχημάτων σε μεγάλες λεωφόρους, καθώς και η εκμάθηση επιτραπέζιων παιχνιδιών χειριζόμενων από τον υπολογιστή, όπως τάβλι και σκάκι, και μάλιστα σε επίπεδο συγκρίσιμο με εκείνο των παγκόσμιων πρωταθλητών.

3.3 Κατηγοριοποίηση

Σε αυτή την ενότητα θα εξεταστεί η κατηγοριοποίηση ως μια πολύ διαδεδομένη τεχνική εξόρυξης που ταξινομεί τα δεδομένα στις υπάρχουσες τάξεις και δημιουργεί πρότυπα [21]. Ο αλγόριθμος κατηγοριοποίησης χρησιμοποιεί τα δεδομένα για να καθορίσει το σύνολο των παραμέτρων που χρειάζονται για περαιτέρω διάκριση (κατηγοριοποίηση) δεδομένων. Στη συνέχεια κωδικοποιεί τα δεδομένα - χαρακτηριστικά (πρότυπα) σε ένα μοντέλο, που ονομάζεται κατηγοριοποιητής (classifier). Αφού δημιουργηθεί ένας αποτελεσματικός κατηγοριοποιητής, χρησιμοποιείται σαν πρόβλεψη, ώστε να ταξινομήσει νέα δεδομένα στις τάξεις. Οι αλγόριθμοι κατηγοριοποίησης διακρίνονται σε [18]:

- αλγόριθμους που παράγουν δέντρα απόφασης (decision trees),
- λογιστική παλινδρόμηση,
- ταξινομητές Bayes,
- νευρωνικά δίκτυα,
- ταξινομητές SVM (Support Vector Machines).

Τα **δέντρα αποφάσεων** παράγουν μία οπτική παρουσίαση των κανόνων, γεγονός το οποίο συμβάλλει σημαντικά στη διάδοση τους ως μέθοδο για ταξινόμηση. Τα δέντρα αποφάσεων είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στην ταξινόμηση (πρόβλεψη σε ποια τάξη ανήκουν κάποια δεδομένα), στην παλινδρόμηση (πρόβλεψη κάποιας συγκεκριμένης τιμής της εξαρτημένης μεταβλητής από ανεξάρτητες μεταβλητές), αλλά και για τη μείωση του όγκου δεδομένων μέσω του μετασχηματισμού τους σε μία πιο συμπιεσμένη μορφή, διατηρώντας όμως τα βασικά χαρακτηριστικά των δεδομένων. Τα δέντρα αποφάσεων αποτελούν την πιο διαδεδομένη μέθοδο για ταξινόμηση και γι' αυτό παρουσιάζονται αναλυτικότερα παρακάτω.

Το δέντρο απόφασης κατασκευάζεται³ από το σύνολο εκπαίδευσης (training set), δηλαδή από ένα σύνολο δεδομένων / εγγραφών. Κάθε εγγραφή χαρακτηρίζεται από το σύνολο χαρακτηριστικών (attributes) και την τάξη (label). Η λογική της κατασκευής ενός δέντρου αποφάσεων είναι η σωστή και ακριβής σχέση (ή αλληλεξάρτηση) των χαρακτηριστικών αυτών και της τάξης. Ένα δέντρο αποφάσεων περιέχει μηδενικούς ή περισσότερους ενδιάμεσους κόμβους (internal nodes) και έναν ή περισσότερους τερματικούς (leaf) κόμβους. Κάθε ενδιάμεσος κόμβος αποτελείται από δύο ή περισσότερους κόμβους-παιδιά (child nodes). Όλοι οι ενδιάμεσοι κόμβοι περιέχουν διαιρέσεις (splits), οι οποίες ελέγχουν την τιμή της έκφρασης των χαρακτηριστικών. Τέλος, ένας τερματικός κόμβος αποτελείται από μία τιμή τάξης. Οι βασικοί αντικειμενικοί σκοποί των ταξινομητών δέντρων αποφάσεων είναι:

- i. Να ταξινομήσουν σωστά όσο το δυνατόν περισσότερο ποσοστό από το σύνολο εκπαίδευσης.
- ii. Να γενικεύσουν πέρα από το δείγμα εκπαίδευσης, έτσι ώστε ένα νέο και άγνωστο δείγμα εκπαίδευσης να μπορεί να ταξινομηθεί με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια.
- iii. Να μπορούν να ενημερώνονται (update), όταν διατεθούν περισσότερα δεδομένα.
- iv. Να έχουν όσο πιο απλή δομή γίνεται.

Στη στατιστική η τεχνική της εξαγωγής δέντρων αποφάσεων ξεκίνησε με τη δημιουργία ιεραρχικής ταξινόμησης για διερεύνηση ερευνητικών δεδομένων. Διάφορα στατιστικά προγράμματα, όπως το AID, το MAID, το THAID, και το CHAID κατασκεύαζαν δυαδικά διαχωριστικά δέντρα (binary segmentation trees), τα οποία αποσκοπούσαν στην ανακάλυψη των σχέσεων μεταξύ εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών. Στην αναγνώριση προτύπων τα δέντρα αποφάσεων χρησιμοποιήθηκαν στην επεξήγηση εικόνων από απομακρυσμένους δορυφόρους, όπως ο LANDSAT στη δεκαετία του 1970. Στην επιστήμη της μηχανικής μάθησης (machine learning) τα δέντρα αποφάσεων χρησιμοποιήθηκαν, προκειμένου να αποφευχθεί το «μποτιλιάρισμα» (bottleneck) της απόκτησης γνώσης για έμπειρα συστήματα. Τέλος, στη διαδοχική διάγνωση σφαλμάτων (sequential fault diagnosis) οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται παίρνουν συχνά τη μορφή δέντρων αποφάσεων.

Η **λογιστική παλινδρόμηση** (logistic regression) αποτελείται από ανεξάρτητες μεταβλητές και από την εξαρτημένη μεταβλητή. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των παραγόντων που επηρεάζουν την εξαρτημένη μεταβλητή και παράγουν μία λειτουργική μορφή συνάρτησης f , καθώς και το παραμετρικό διάνυσμα a , προκειμένου να εκφρασθεί η δεσμευμένη πιθανότητα $P(y/x)$ (όπου y είναι η εξαρτημένη και x η ανεξάρτητη

³ Η κατασκευή των δέντρων απόφασης και οι όροι που χρησιμοποιούνται σε αυτή την παράγραφο θα γίνουν κατανοητά στο κεφάλαιο 4, όπου γίνεται εκτενέστερη αναφορά στα δέντρα απόφασης.

μεταβλητή). Η παράμετρος a καθορίζεται από τα δεδομένα, χρησιμοποιώντας συνήθως τη μέθοδο της εκτίμησης maximum – likelihood.

Επίσης, **οι ταξινομητές Bayes** θεωρούν ότι τα χαρακτηριστικά είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους (δεδομένης της τάξης), και αποθηκεύουν μία πιθανολογική περίληψη για κάθε τάξη, προκειμένου να κάνουν την ταξινόμηση. Βασίζονται στη στατιστική θεωρία κατηγοριοποίησης του Bayes. Στόχος είναι να κατηγοριοποιηθεί ένα δείγμα X σε μια από τις δεδομένες κατηγορίες C_1, C_2, \dots, C_n χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο πιθανότητας που ορίζεται σύμφωνα με τη θεωρία του Bayes. Πρόκειται για κατηγοριοποιητές που κάνουν αποτίμηση πιθανοτήτων και όχι πρόβλεψη. Αυτό πολλές φορές είναι πιο χρήσιμο και αποτελεσματικό. Εδώ οι προβλέψεις έχουν έναν βαθμό και σκοπός είναι το αναμενόμενο κόστος να ελαχιστοποιείται. Κάθε κατηγορία χαρακτηρίζεται από μια εκ των προτέρων πιθανότητα. Υποθέτουμε πως το δεδομένο δείγμα X ανήκει σε μια τάξη C_i . Βασισμένοι στους ορισμούς και τα παραπάνω καθορίζουμε την εκ των υστέρων πιθανότητα.

Ο πιο γνωστός Bayesian κατηγοριοποιητής είναι ο naïve Bayesian κατηγοριοποιητής που υποθέτει πως η επίδραση ενός γνωρίσματος σε μια δεδομένη κατηγορία είναι ανεξάρτητη από τις τιμές των άλλων γνωρισμάτων. Ένας άλλος Bayesian κατηγοριοποιητής είναι τα Bayesian Belief Networks. Είναι γραφικά μοντέλα που επιτρέπουν την παρουσίαση των εξαρτήσεων μεταξύ των υποσυνόλων των γνωρισμάτων.

Τα **νευρωνικά δίκτυα** (neural networks) χρησιμοποιούνται για πρόβλεψη και κατηγοριοποίηση και είναι εμπνευσμένα από τη νευροφυσιολογία του ανθρώπινου εγκεφάλου, αποτελούνται από στοιχεία (νευρώνες) τα οποία συμπεριφέρονται κατά τρόπο ανάλογο των πιο στοιχειωδών λειτουργιών των φυσιολογικών κυττάρων. Τα βήματα που χρησιμοποιούν τα νευρωνικά δίκτυα για να κατασκευάζουν ένα μοντέλο κατηγοριοποίησης ή πρόβλεψης είναι [22]:

- i. Αναγνώριση των χαρακτηριστικών εισόδου και τις τάξεις εξόδου.
- ii. Κατασκευή ενός δικτύου με την κατάλληλη τοπολογία.
- iii. Επιλογή του σωστού συνόλου εκπαίδευσης.
- iv. Εκπαίδευση του δικτύου με βάση ένα αντιπροσωπευτικό σύνολο δεδομένων που θα απεικονίζονται οι υπό μελέτη τάξεις έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η δυνατότητα του δικτύου να τις αναγνωρίζει σωστά.

Ένα σωστά εκπαιδευμένο νευρωνικό δίκτυο μπορεί να παράγει αποδεκτά, από πλευράς ακρίβειας, αποτελέσματα σε σύντομο υπολογιστικό χρόνο. Η ιδιότητα αυτή των νευρωνικών δικτύων αποτελεί και το βασικό τους πλεονέκτημα. Επίσης τα όρια απόφασης (δηλαδή το όριο που καθορίζει τα σημεία στο χώρο που διαχωρίζουν τις δύο ή περισσότερες τάξεις) μπορεί να είναι μη γραμμικά.

Το μοντέλο που παράγεται από το δίκτυο εφαρμόζεται για να προβλέψει τις κατηγορίες των μη κατηγοριοποιημένων δειγμάτων. Αποτελούνται από νευρώνες με βάση τη νευρωνική δομή του εγκεφάλου, οι οποίοι επεξεργάζονται ένα στοιχείο κάθε φορά και μαθαίνουν συγκρίνοντας τη κατηγοριοποίησή τους για μια εγγραφή με τη γνωστή πραγματική κατηγοριοποίηση της εγγραφής.

Οι **ταξινομητές SVM** αποτελούν αλγοριθμικές εφαρμογές ιδεών από τη στατιστική θεωρία- μάθηση. Οι ταξινομητές αυτοί δημιουργούν όρια που διαχωρίζουν τα δεδομένα σε τάξεις, λύνοντας ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης - μεγιστοποίησης συνήθως δευτεροβάθμιας εξίσωσης με περιορισμούς. Χρησιμοποιώντας διαφορετικές συναρτήσεις, το μοντέλο μπορεί να περιλαμβάνει διάφορους βαθμούς μη γραμμικότητας και ευελιξίας. Τα μοντέλα SVM παράγουν διχοτομική ταξινόμηση, που σημαίνει ότι δεν δίνεται η πιθανότητα βαθμού τάξης (probability of class membership).

Κεφάλαιο 4^ο

4 Δέντρα απόφασης

Η αυτόματη μάθηση βοηθάει στην εξαγωγή πληροφορίας από βάσεις δεδομένων, σε διάφορες μορφές. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες αυτόματης μάθησης:

- Η στατιστική (αναγνώριση προτύπου, παλινδρόμηση, εκτίμηση πυκνότητας πιθανότητας)
- Η μηχανική μάθηση (εκμάθηση μέσα από παραδείγματα, εννοιολογική ομαδοποίηση)
- Η μάθηση με χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων

Αν και πολλά από τα θεωρητικά και πρακτικά προβλήματα που μελετώνται σε αυτά τα τρία πεδία είναι παρόμοια και έχουν παραπλήσιες λύσεις, οι τρεις ερευνητικές κοινότητες είχαν μάλλον απομονωθεί στο παρελθόν. Η ενοποίηση αυτών, σε θεωρητικό και πρακτικό υπόβαθρο, ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 1980, όταν οι ερευνητές της μηχανικής μάθησης ξεκίνησαν να προσαρμόζουν πιθανοτικές προσεγγίσεις και στατιστικοί ενδιαιρέθηκαν για τις νέες προόδους στο πεδίο των τεχνητών νευρωνικών δικτύων.

Το κύριο χαρακτηριστικό, το οποίο είναι κοινό στις τεχνικές αυτόματης μάθησης, είναι ότι η μάθηση αντιμετωπίζεται σαν μια διαδικασία αναζήτησης σε ένα χώρο υποψήφιων μοντέλων. Η διαδικασία αναζήτησης βοηθάει στο προσδιορισμό (ή κατασκευή) ενός μοντέλου μέγιστης ποιότητας, και καθοδηγείται από την πληροφορία που εμπεριέχεται σε ένα σύνολο μάθησης (ένα υποσύνολο της βάσης δεδομένων) και πιθανόν από κάποια γενική γνώση για το πρόβλημα.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικές κατηγορίες εφαρμογών αυτόματης μάθησης:

- *Περιγραφική*. Η αυτόματη μάθηση χρησιμοποιείται προκειμένου να περιγραφεί η πληροφορία που περιέχεται σε μια βάση δεδομένων. Η κατηγορία αυτή ασχολείται με την παραστατική στατιστική, καθώς και υποπεριοχές αυτής όπως την περιληπτική και γραφική απεικόνιση των δεδομένων, που είναι πολύ σημαντικές σε πρακτικές εφαρμογές.
- *Επαγωγική*. Η αυτόματη μάθηση χρησιμοποιείται για την εξαγωγή γενικών κανόνων από μια βάση δεδομένων, οι οποίοι θα μπορούν αργότερα να εφαρμοστούν προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για νέα δεδομένα.
- *Μεταλλακτική*. Η αυτόματη μάθηση εφαρμόζεται σε μια βάση δεδομένων προκειμένου να εξαχθεί πληροφορία για ένα συγκεκριμένο δεδομένο, χωρίς να απαιτείται η διατύπωση ενός συγκεκριμένου κανόνα.

Τα δέντρα απόφασης ανήκουν στην κατηγορία της επαγωγικής μάθησης. Η μεθοδολογία των δέντρων απόφασης είναι μια γενική με παραμετρική τεχνική, ικανή να παράγει ταξινομητές προκειμένου να εκτιμήσει νέες, άγνωστες καταστάσεις, ή να αποκαλύψει τους μηχανισμούς που χαρακτηρίζουν ένα πρόβλημα.

4.1 Γενικοί κανόνες και συμβολισμοί

Η κατασκευή των δέντρων απόφασης προϋποθέτει την ύπαρξη ενός συνόλου μάθησης, δηλαδή ενός αριθμού, έστω N , προταξινομημένων καταστάσεων. Χωρίς βλάβη της γενικότητας, θα υποθέσουμε ότι κάθε κατάσταση χαρακτηρίζεται από ένα καθορισμένο αριθμό, έστω n , ιδιοτήτων, και ότι οι N καταστάσεις είναι ταξινομημένες μόνο σε δύο κλάσεις $\{+, -\}$.

Στα επόμενα ένα **σύνολο μάθησης (learning set)** θα ορίζεται ως εξής:

$$LS = \left\{ (\bar{v}_1, c_1), (\bar{v}_2, c_2), \dots, (\bar{v}_N, c_N) \right\}$$
, όπου τα στοιχεία του διανύσματος $\bar{v}_k = (u_{1k}, u_{2k}, \dots, u_{nk})^T$ αναπαριστούν τις τιμές των ιδιοτήτων της κατάστασης s_k , η οποία χαρακτηρίζεται από τις n ιδιότητές της: $s_k = [a_1 = u_{1k}] \cap [a_2 = u_{2k}] \cap \dots \cap [a_n = u_{nk}]$ και όπου $C_k \in \{+, -\}$.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το προταξινομημένο σύνολο μάθησης θεωρείται ότι είναι ένα αντιπροσωπευτικό στατιστικό δείγμα μεγέθους N , προερχόμενο από το συνολικό πληθυσμό των πιθανών καταστάσεων.

Το **σύνολο ελέγχου (testing set)**, ορίζεται σαν ένα παρόμοιο, αλλά ανεξάρτητο δείγμα μεγέθους M :

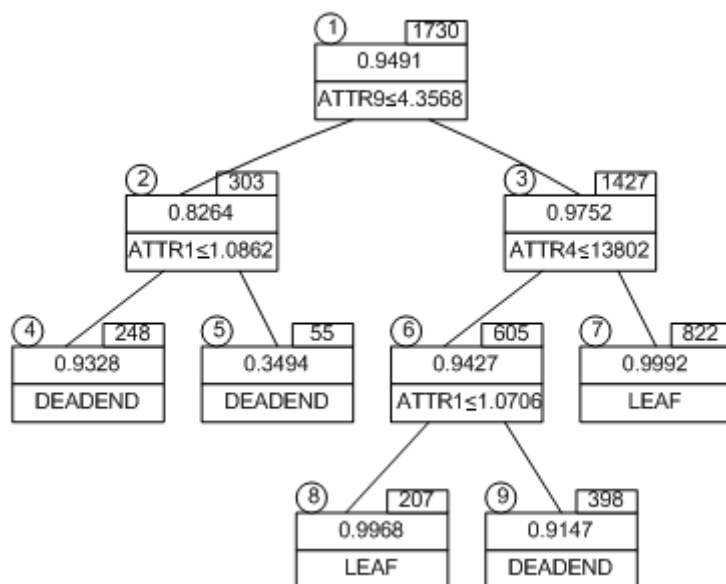
$$TS = \left\{ (\bar{v}_{N+1}, c_{N+1}), (\bar{v}_{N+2}, c_{N+2}), \dots, (\bar{v}_{N+M}, c_{N+M}) \right\}.$$

Το σύνολο ελέγχου θα χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της απόδοσης (accuracy) του δέντρου απόφασης.

4.2 Τα δέντρα απόφασης μέσα από ένα παράδειγμα

Το δέντρο απόφασης (ΔΑ) είναι ένα δέντρο κατασκευασμένο με δομή από πάνω προς τα κάτω. Ο πρώτος κόμβος του ΔΑ ονομάζεται ρίζα και ακολουθούν οι κόμβοι ελέγχου (ή ενδιάμεσοι κόμβοι) καθώς και οι τερματικοί κόμβοι. Οι ενδιάμεσοι κόμβοι περιέχουν έναν έλεγχο και δημιουργούν δύο απογόνους. Ο ένας απόγονος (αριστερός) προκύπτει όταν επαληθεύεται ο έλεγχος, ενώ ο άλλος απόγονος (δεξιός) όταν δεν επαληθεύεται. Οι τερματικοί κόμβοι είναι αυτοί που οδηγούν στην ταξινόμηση της εξεταζόμενης περίπτωσης σε μια από τις προκαθορισμένες κλάσεις.

Στην εικόνα 4.2.1 απεικονίζεται ένα χαρακτηριστικό δέντρο απόφασης για την ταξινόμηση των ειδικών απωλειών του μετασχηματιστή [23]. Οι ειδικές απώλειες κενού φορτίου του μετασχηματιστή κατατάσσονται σε δύο κλάσεις: η μία αντιστοιχεί σε αποδεκτή ποιότητα (απώλειες ως ένα συγκεκριμένο όριο), ενώ η άλλη κλάση αντιστοιχεί σε μη αποδεκτή ποιότητα μετασχηματιστή (απώλειες πάνω από το συγκεκριμένο όριο).



Εικόνα 4.2.1 – δέντρο απόφασης για την ταξινόμηση των ειδικών απολειών μετασηματιστή

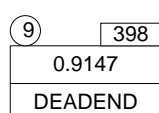
Οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται για του κόμβους του παραπάνω δέντρου απόφασης εξηγούνται στην εικόνα 4.2.2.

ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ ΚΟΜΒΟΣ



- ① : Αριθμός Κόμβου
- 1730 : Αριθμός MS στο υποσύνολο Επ
- 0.9491 : Δείκτης Αποδοχής
- ATTR9 < 4.3568 : Έλεγχος Διαχωρισμού

ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΣ



- ⑨ : Αριθμός Κόμβου
- 398 : Αριθμός MS στο υποσύνολο Επ
- 0.9147 : Δείκτης Αποδοχής
- DEADEND : Τύπος Κόμβου (LEAF)

Εικόνα 4.2.2 – συμβολισμός των κόμβων του δέντρου

Ο δείκτης αποδοχής ενός κόμβου του δέντρου απόφασης ορίζεται ως ο λόγος των αποδεκτών προταξινομημένων καταστάσεων ή συνόλων μέτρησης (measurement sets) σε ένα υποσύνολο Επ του κόμβου n προς το συνολικό αριθμό των συνόλων μέτρησης στο σύνολο Επ. Αν ο δείκτης αποδοχής ενός τερματικού κόμβου είναι μεγαλύτερος από 0,5, τότε τα σύνολα μέτρησης αυτού του κόμβου είναι ως επί το πλείστον αποδεκτής ποιότητας.

Το δέντρο απόφασης της εικόνας 4.2.1 έχει συνολικά 9 κόμβους, εκ των οποίων οι 4 είναι ενδιάμεσοι (κόμβοι 1, 2, 3 και 6) και 5 είναι τερματικοί (κόμβοι 4, 5, 7, 8 και 9). Η ρίζα του δέντρου απόφασης (κόμβος 1) αποτελείται από 1730 προταξινομημένες καταστάσεις (σύνολο μάθησης), εκ των οποίων οι 94.91% (1642/1730) ανήκουν στην κλάση {+} (αποδεκτή

ποιότητα) και το υπόλοιπο 5.09% (88/1730) ανήκουν στην κλάση {-} (μη αποδεκτή ποιότητα).

Τα σύνολα μέτρησης που καταλήγουν στον τερματικό κόμβο 7 είναι αποδεκτής ποιότητας (ο κόμβος 7 έχει δείκτη αποδοχής 99.92%), ενώ τα σύνολα που καταλήγουν στον κόμβο 5 είναι μη αποδεκτής ποιότητας (δείκτης αποδοχής 34.94%).

Με βάση το δέντρο απόφασης μπορούν να εξαχθούν τόσοι κανόνες, όσοι είναι και οι τερματικοί του κόμβοι. Άρα για το δέντρο απόφασης της εικόνας 4.2.1 εξάγονται 5 κανόνες με βάση τους οποίους ένας μετασχηματιστής είναι ή όχι αποδεκτός. Οι κανόνες αυτοί είναι καταγεγραμμένοι στον παρακάτω πίνακα:

Κόμβος	Κανόνας
4	Αν $ATTR9 \leq 4.3568$ και $ATTR1 \leq 1.0862 \Rightarrow$ Αποδεκτός
5	Αν $ATTR9 \leq 4.3568$ και $ATTR1 > 1.0862 \Rightarrow$ Μη αποδεκτός
7	Αν $ATTR9 > 4.3568$ και $ATTR4 > 13802 \Rightarrow$ Αποδεκτός
8	Αν $ATTR9 > 4.3568$ και $ATTR4 \leq 13802$ και $ATTR1 \leq 1.0862 \Rightarrow$ Αποδεκτός
9	Αν $ATTR9 > 4.3568$ και $ATTR4 \leq 13802$ και $ATTR1 > 1.0862 \Rightarrow$ Αποδεκτός

Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να ταξινομήσουμε ένα άγνωστο σύνολο μέτρησης, έστω το $MS = (ATTR1', ATTR4', ATTR9') = (1.05, 14000, 4.22)$. Η ταξινόμηση ξεκινάει από τη ρίζα του δέντρου. Επειδή $ATTR9' < 4.3568$ οδηγούμαστε στον κόμβο 2, όπου ελέγχεται η παράμετρος $ATTR1'$. Επειδή $ATTR1' < 1.0862$ οδηγούμαστε στον κόμβο 4. Ο κόμβος 4 είναι τερματικός κόμβος με δείκτη αποδοχής 0.9328 δηλαδή το 93.28% των MS (measurement sets) που καταλήγουν στον κόμβο αυτό είναι αποδεκτοί μετασχηματιστές. Επομένως το $MS = (ATTR1', ATTR4', ATTR9') = (1.05, 14000, 4.22)$ ταξινομείται ως μετασχηματιστής αποδεκτής ποιότητας.

Συμπερασματικά, η μεθοδολογία των δέντρων απόφασης είναι μια παραμετρική μέθοδος μάθησης ικανή να παράγει ταξινομητές για ένα δεδομένο πρόβλημα με σκοπό να εξάγει πληροφορία (ταξινόμηση) για νέες, μη παρατηρημένες περιπτώσεις.

4.3 Αυτόματη κατασκευή δέντρων απόφασης

Για ένα δεδομένο σύνολο μάθησης, ο στόχος είναι η κατασκευή ενός σχεδόν βέλτιστου δέντρου απόφασης, με την έννοια ότι αυτό επιτυγχάνει μια καλή ισορροπία μεταξύ της πολυπλοκότητας και της ακρίβειας, δηλαδή μεταξύ του συνολικού αριθμού των κόμβων και της ικανότητας ταξινόμησης.

Ο τελικός στόχος της διαδικασίας είναι να επιλέξει τις κατάλληλες ιδιότητες ανάμεσα από τις υποψήφιες (γενικά ο αριθμός των επιλεγμένων ιδιοτήτων είναι αρκετά μικρότερος από το σύνολο των υποψήφιων ιδιοτήτων) και να κατασκευάσει το δέντρο απόφασης επί τη

βάση αυτών των κατάλληλων ιδιοτήτων. Αυτή η διαδικασία κατασκευής αποτελείται από τα εξής βήματα:

- Ξεκινώντας από την ρίζα του δέντρου, με τη λίστα των υποψήφιων ιδιοτήτων και με το πλήρες σύνολο μάθησης, οι καταστάσεις μάθησης αναλύονται με σκοπό να επιλεγεί ένας έλεγχος ο οποίος οδηγεί σε μέγιστη αύξηση της καθαρότητας, ή ισοδύναμα, να περιέχει μια μέγιστη ποσότητα πληροφορίας για τις ταξινομήσεις του. Η έννοια της καθαρότητας θα οριστεί στην παράγραφο 4.4.2. Η επιλογή γίνεται μέσα από δύο στάδια:
 - a) Για κάθε ιδιότητα, έστω a_i , βρίσκει το βέλτιστο έλεγχο πάνω στις τιμές του, ερευνώντας εξονυχιστικά τις τιμές αυτής της υποψήφιας ιδιότητας για τις διαφορετικές καταστάσεις μάθησης. Στην περίπτωση των διαδοχικών αριθμητικώς ιδιοτήτων, αυτό το βήμα δίνει μια βέλτιστη τιμή κατωφλίου u_i και προσδιορίζει τον έλεγχο $a_i < u_i$.
 - b) Ανάμεσα στις διαφορετικές υποψήφιες ιδιότητες, επιλέγει την καλύτερη, a_i , μαζί με την βέλτιστη τιμή της u_i , για να διαχωρίσει τον κόμβο.

Συμπερασματικά, το στάδιο (a) προσδιορίζει τη βέλτιστη ιδιότητα και το στάδιο (b) τη βέλτιστη τιμή κατωφλίου.

- Ο επιλεγμένος έλεγχος εφαρμόζεται στο σύνολο μάθησης του κόμβου και τον διαχωρίζει σε δύο υποσύνολα, που αντιστοιχούν στους δύο απογόνους του κόμβου. Ξεκινώντας με τη ρίζα του δέντρου και ολόκληρο το σύνολο μάθησης, τα δύο υποσύνολα $LS_1 = \{v_k \in LS \mid a_1 < u_1\}$ και $LS_2 = \{v_k \in LS \mid a_1 \geq u_1\}$ αντιστοιχούν στους δύο απογόνους της ρίζας του δέντρου.
- Οι απόγονοι περιγράφονται ως τερματικοί ή ενδιάμεσοι κόμβοι με βάση το κριτήριο διακοπής διαχωρισμού που περιγράφεται παρακάτω στην παράγραφο 4.4.
- Για τους ενδιάμεσους κόμβους, η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται αναδρομικά με σκοπό να κατασκευαστούν τα αντίστοιχα υποδέντρα.
- Για τους τερματικούς κόμβους, οι πιθανότητες των κλάσεων p_+ και p_- εκτιμώνται στη βάση του αντίστοιχου υποσυνόλου των καταστάσεων μάθησης, και στους τερματικούς κόμβους αποδίδεται η τάξη που πλειοψηφεί.

Προφανώς, η δυσκολία του προβλήματος της κατασκευής του δέντρου απόφασης βρίσκεται στην επιλογή των διαχωρισμών και στην απόφαση να θεωρηθεί ένας κόμβος ως τερματικός ή να συνεχίσει να διαχωρίζεται. Αυτά τα δύο ερωτήματα εξετάζονται στην συνέχεια, μετά την εισαγωγή μερικών απαραίτητων εννοιών της καθαρότητας και πληροφορίας, που περιέχονται από την θεωρία της πληροφορίας.

4.4 Βέλτιστο κριτήριο διαχωρισμού – μέθοδος διακοπής διαχωρισμού

4.4.1 Μαθηματική θεμελίωση

Ορίζεται ως S το υποσύνολο όλων των πιθανών καταστάσεων, που αντιστοιχούν σε κάποιο κόμβο του δέντρου απόφασης, δηλαδή, που κατευθύνονται σε εκείνο τον κόμβο από την διαδικασία ταξινόμησης.

Με $p(+|S)$ συμβολίζεται η πιθανότητα μια τυχαία κατάσταση του συνόλου S να ανήκει στην κλάση $+$ και με $p(-|S)$ αντίστοιχα η πιθανότητα να ανήκει στην κλάση $-$.

Έστω T ένας διχοτομικός ($\alpha_i < u_i$) (υπονήφιος) έλεγχος στις τιμές των ιδιοτήτων των καταστάσεων. Με S_y συμβολίζονται τα υποσύνολα των καταστάσεων του S που δίνουν απάντηση YES, δηλαδή επαληθεύουν τον έλεγχο T . Αντίστοιχα, με S_n συμβολίζονται τα υποσύνολα που δίνουν απάντηση NO, δηλαδή δεν επαληθεύουν τον έλεγχο. Αυτά τα σύνολα αντιστοιχούν στους απογόνους που προκύπτουν από το διαχωρισμό του κόμβου με βάση τον έλεγχο T .

Με $p(S_y|S)$ συμβολίζεται η πιθανότητα να επαληθεύεται ο έλεγχος στο σύνολο S . Αντίστοιχα με $p(S_n|S)$ συμβολίζεται η πιθανότητα να μην επαληθεύεται ο έλεγχος στο σύνολο S .

Η **προγενέστερη εντροπία** ταξινόμησης (prior classification entropy) του S ορίζεται ως: $H_C(S) = -[p(+|S)\log_2(p(+|S)) + p(-|S)\log_2(p(-|S))]$. Η $H_C(S)$ είναι ένα μέτρο της μη καθαρότητας (impurity) ή της αβεβαιότητας της ταξινόμησης των καταστάσεων του S . Η τιμή $H_C(S) = 0$ αντιστοιχεί σε ένα απολύτως καθαρό $p(+|S) = 1$ ή $p(+|S) = 0$, δηλαδή όλες οι καταστάσεις του S ανήκουν στην κλάση $+$ ή στην κλάση $-$. Η τιμή του $H_C(S) = 1$ αντιστοιχεί σε $p(+|S) = p(-|S) = \frac{1}{2}$, δηλαδή στην μέγιστη αβεβαιότητα αφού οι μισές καταστάσεις του S ανήκουν στην κλάση $+$ και οι υπόλοιπες στην κλάση $-$.

Η **εντροπία του S σε σχέση με το διαχωρισμό** που προκαλείται από τον έλεγχο T ορίζεται ως: $H_T(S) = -[p(S_y|S)\log_2(p(S_y|S)) + p(S_n|S)\log_2(p(S_n|S))]$. Η $H_T(S)$ είναι το μέτρο της αβεβαιότητας του αποτελέσματος του ελέγχου T στο S και έχει παρόμοιες ιδιότητες με την $H_C(S)$.

Η **μέση μεταγενέστερη εντροπία** ταξινόμησης (mean posterior classification entropy) του συνόλου S δεδομένου του αποτελέσματος του ελέγχου T ορίζεται ως: $H_{C|T}(S) = p(S_y|S) \cdot H_C(S_y) + p(S_n|S) \cdot H_C(S_n)$. Η $H_{C|T}(S)$ είναι ένα μέτρο της παραμένουσας με καθαρότητας αν το S διαχωριστεί στο S_y και στο S_n σύμφωνα με το αποτέλεσμα του ελέγχου T .

Η πληροφορία που δίνει ο έλεγχος T για την ταξινόμηση του συνόλου S ορίζεται ως: $I_C^T(S) = H_C(S) - H_{C|T}(S)$. Η $I_C^T(S)$ είναι ένα μέτρο της ικανότητας του ελέγχου T να παράγει καθαρούς απογόνους.

Το κανονικοποιημένο κέρδος πληροφορίας του ελέγχου T ορίζεται ως: $C_C^T(S) = \frac{2 \cdot I_C^T(S)}{H_C(S) + H_T(S)}$. Να σημειωθεί ότι το $C_C^T(S)$ είναι αδιάστατο μέγεθος ενώ όλα τα υπόλοιπα μεγέθη εκφράζονται σε bits.

4.4.2 Ερμηνεία

Μπορεί να δοθεί μια ποιοτική ερμηνεία για τη σχέση ανάμεσα στα $C_C^T(S)$ και στη δυνατότητα ταξινόμησης του ελέγχου T . Για το σκοπό αυτό, αρχικά παρατηρούμε ότι ισχύουν οι ακόλουθες ανισωτικές σχέσεις:

- $0 \leq H_C(S), H_T(S), H_{C|T}(S), I_C^T(S), C_C^T(S) \leq 1$
- $H_{C|T}(S), I_C^T(S) \leq H_C(S)$, δηλαδή η διχοτόμηση ως προς T δεν μπορεί να αποδώσει χειρότερη αταξία από την προγενέστερη.

Τα χαρακτηριστικά της εντροπίας συνοψίζονται ως εξής:

- Υψηλή εντροπία: Υψηλή αταξία, Χαμηλή καθαρότητα \Rightarrow περιέχει πολλές διαφορετικές ομάδες στοιχείων διαφορετικών κλάσεων.
- Χαμηλή εντροπία: Χαμηλή αταξία, Υψηλή καθαρότητα \Rightarrow περιέχει λίγες διαφορετικές ομάδες στοιχείων διαφορετικών κλάσεων.

Έπειτα θεωρήθηκαν οι ακόλουθες δύο ακραίες περιπτώσεις:

- Το αποτέλεσμα {"YES", "NO"} του ελέγχου T και η ταξινόμηση {+, -} είναι στατιστικά ανεξάρτητα, δηλαδή ο έλεγχος δεν δίνει καμία πληροφορία για την ταξινόμηση. Στην περίπτωση αυτή ισχύουν: $p(+|S_y) = p(+|S_n) = p(+|S)$ και $p(-|S_y) = p(-|S_n) = p(-|S)$. Έτσι $H_C(S_y) = H_C(S_n) = H_C(S)$ και $H_{C|T}(S) = H_C(S)$. Επιπρόσθετα $I_C^T(S) = C_C^T(S) = 0$.
- Το αποτέλεσμα του ελέγχου T δίνει απολύτως καθαρά ταξινομημένα υποσύνολα S_y και S_n (δηλαδή όλες οι καταστάσεις των υποσυνόλων ανήκουν στην κλάση +, ή στην κλάση -). Τότε αναγκαστικά ισχύει $H_C(S_y) = H_C(S_n)$. Αυτό συνεπάγεται ότι $H_{C|T}(S) = 0$ και $I_C^T(S) = H_C(S)$. Επιπλέον, στην περίπτωση αυτή η πιθανότητα $p(S_y|S)$ θα είναι ίση με $p(+|S)$ ή με $p(-|S)$ και η πιθανότητα $p(S_n|S)$ θα είναι ίση με $p(-|S)$ ή με $p(+|S)$ και έτσι θα ισχύει $H_T(S) \equiv H_C(S)$ και $C_C^T(S) = 1$.

Από τα παραπάνω συνεπάγεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του $C_C^T(S)$, τόσο πιο ενδιαφέρον είναι ο έλεγχος T για το διαχωρισμό του κόμβου που αντιστοιχεί στο υποσύνολο S. Αυτή η πρόταση αξιοποιείται στον προσδιορισμό του βέλτιστου κανόνα διαχωρισμού που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των δέντρων απόφασης.

4.4.3 Εκτίμηση με βάση το σύνολο μάθησης

Τα μέτρα εντροπίας και πληροφορίας που ορίστηκαν στην παράγραφο 4.4.1 δεν μπορούν να υπολογιστούν απευθείας επειδή οι εμπλεκόμενες πιθανότητες είναι γενικά άγνωστες. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται το σύνολο μάθησης σας ένα στατιστικό δείγμα και οι πιθανότητες εκτιμούνται από τις εμπειρικές τους τιμές όπως υπολογίζονται από το σύνολο μάθησης. Πιο αναλυτικά, το σύνολο S που αντιστοιχεί σε κάποιο κόμβο του δέντρου απόφασης, αντικαθίσταται από το υποσύνολο των καταστάσεων μάθησης (δηλαδή $S \cap LS$) που αντιστοιχούν σ' αυτό τον κόμβο. Ο υπολογισμός των $p(+|S)$, $p(-|S)$, $p(S_y|S)$ και $p(S_n|S)$ γίνεται τότε απευθείας, αφού είναι γνωστές οι τιμές των ιδιοτήτων και των ταξινομήσεων των καταστάσεων μάθησης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι αν και οι εκτιμήσεις των $p(+|S)$, $p(-|S)$, $p(S_y|S)$ και $p(S_n|S)$ είναι γενικά αμερόληπτες, η αντικατάστασή τους στις σχέσεις για την εντροπία και για την πληροφορία δίνει μεροληπτικά μέτρα πληροφορίας, υπερεκτιμώντας έτσι την πραγματική καταλληλότητα του ελέγχου T. Ευτυχώς, η ποσότητα της προκατάληψης είναι αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους του δείγματος (του αριθμού I των καταστάσεων του $S \cap LS$) και τα μέτρα μπορούν ακόμα να χρησιμοποιούνται για λόγους σύγκρισης, πχ για να επιλέξουν ένα βέλτιστο έλεγχο για το διαχωρισμό του κόμβου. Για παράδειγμα, μπορεί να δείχθει [24] ότι για μια τιμή $I_C^T(S) = 0$ (που αντιστοιχεί σε μη συσχέτιση) η εκτιμήτρια της πληροφορίας $\hat{I} = I_C^T(S \cap LS)$ ακολουθεί την κατανομή χ^2 , η αναμενόμενη τιμή της οποίας είναι θετική και αντιστρόφως ανάλογη του αριθμού I των καταστάσεων του $S \cap LS$. Αυτή η ιδιότητα αξιοποιείται στην εύρεση του βέλτιστου κριτηρίου διαχωρισμού.

Στα επόμενα, για να δοθεί έμφαση στη διαφορά ανάμεσα στα μέτρα της καθαρότητας και των εκτιμητριών της, οι τελευταίες αποκαλούνται «φαινομενικές», σε αντίθεση με τις «πραγματικές» άγνωστες τιμές.

4.4.4 Βέλτιστο κριτήριο διαχωρισμού

Προφανώς, οι διαχωρισμοί των κόμβων ελέγχου πρέπει να επιλεγούν έτσι ώστε να περιορίζεται η πιθανότητα εμφάνισης αδιέξοδων (deadends) κόμβων (δηλαδή μη καθαρών τερματικών κόμβων) και να επιτυγχάνεται ο επιθυμητός βαθμός ακρίβειας. Αυτό γίνεται με ένα ευριστικό (όχι απαραίτητα βέλτιστο) τρόπο: ο βέλτιστος έλεγχος, θεωρείται ότι είναι εκείνος ο οποίος διαχωρίζει περισσότερο τις καταστάσεις των δύο κλάσεων στο τοπικό υποσύνολο μάθησης. Αυτή η στρατηγική επιλέγει τον έλεγχο ο οποίος αποφέρει του καθαρότερους απογόνους, ή μεγιστοποιεί το φαινομενικό κανονικοποιημένο κέρδος πληροφορίας $C_C^T(S \cap LS)$. Με αυτή την έννοια, μπορεί να θεωρηθεί ότι πρόκειται για έναν τακτικό, παρά για έναν ολικό βέλτιστο έλεγχο.

4.4.5 Μέθοδος διακοπής διαχωρισμού

Έχουν προταθεί αρκετές μέθοδοι για τη διακοπή διαχωρισμού ενός κόμβου. Για παράδειγμα η μέθοδος ID3 [25] σταματάει τον διαχωρισμό ενός κόμβου μόνο αν το αντίστοιχο υποσύνολο μάθησης ανήκει πλήρως μόνο σε μια από τις κλάσεις του επιθυμητού διαχωρισμού. Δυστυχώς, σε πολλές περιπτώσεις, όπως έχει αποδειχθεί στην πράξη, αυτή η στρατηγική τείνει να κατασκευάζει αρκετά πολύπλοκα δένδρα απόφασης και οι περισσότεροι από τους τερματικούς κόμβους περιέχουν μόνο ένα πολύ μικρό μη αντιπροσωπευτικό δείγμα των καταστάσεων μάθησης. Τα δένδρα αυτά συμπεριφέρονται μη ικανοποιητικά αναφορικά με την ταξινόμηση άγνωστων καταστάσεων και δυσκολεύονται να δείξουν με τρόπο αξιόπιστο τη σχέση ανάμεσα στις ιδιότητες και στην επιθυμητή ταξινόμηση. Στην [26] προτείνεται ένα περισσότερο συντηρητικό κριτήριο, το οποίο αντιμετωπίζει τις αδυναμίες της μεθόδου ID3. Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο, ο διαχωρισμός ενός κόμβου σταματάει αν ισχύει μια από τις παρακάτω δύο συνθήκες:

- 1) Το τοπικό υποσύνολο των καταστάσεων μάθησης είναι επαρκώς καθαρό (δηλαδή οι καταστάσεις του ανήκουν ως επί των πλείστον σε μια από τις δύο κλάσεις). Ένας τέτοιος τερματικός κόμβος αποτελείται «φύλλο» (“leaf”). Ο βαθμός της καθαρότητας της κλάσεις που απαιτείται για τα φύλλα είναι μια παράμετρος για τον αλγόριθμο και ορίζει το ποσόν της λεπτομέρειας που θέλουμε να εκφραστεί στο δέντρο απόφασης.

Στην πραγματικότητα, ο βαθμός της παραμένουσας μη καθαρότητας μπορεί να προσδιοριστεί από της H_m , δηλαδή τη μέγιστη παραμένουσα εντροπία. Η εντροπία του υποσυνόλου μάθησης που σχετίζεται με έναν κόμβο, είναι αντιστρόφως ανάλογη προς την καθαρότητά του. Έτσι, με όρους εντροπίας, ένας κόμβος θα είναι φύλλο μόνο αν η εντροπία του είναι χαμηλότερη από H_m . Για εφαρμογές στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας έχει διαπιστωθεί ότι μια τιμή $H_m=0.1$ bits είναι ικανοποιητική. Αυτή η πολύ χαμηλή τιμή αντιστοιχεί στην κατασκευή αρκετά λεπτομερών δέντρων απόφασης. Υψηλότερες τιμές έχουν ενδιαφέρον αν κάποιος επιθυμούσε να κατασκευάσει απλούστερα δένδρα απόφασης, για λόγους διερεύνησης των δεδομένων.

- 2) Δεν υπάρχει πιθανότητα για αύξηση της ακρίβειας του δέντρου απόφασης με ένα στατιστικό σημαντικό τρόπο διαχωρίζοντας περαιτέρω αυτό τον κόμβο. Με άλλα λόγια, με δεδομένο το βέλτιστο διχοτομικό διαχωρισμό αυτού του κόμβου, δεν υπάρχει αρκετή απόδειξη στο τοπικό υποσύνολο μάθησης, ότι αυτός ο έλεγχος θα μπορούσε πραγματικά να βελτιώσει τη συμπεριφορά του δέντρου απόφασης. Ένας τέτοιος τερματικός κόμβος αποκαλείται στη συνέχεια «αδιέξοδος» (“deadend”) κόμβος. Αυτό το δεύτερο κριτήριο προστατεύει από την κατασκευή μη αναγκαία περίπλοκων δέντρων απόφασης. Το κριτήριο αυτό διατυπώνεται σαν ένας έλεγχος στατιστικής υπόθεσης ως εξής:

Με δεδομένο το τοπικό υποσύνολο των καταστάσεων μάθησης και το βέλτιστο έλεγχο, μπορεί να γίνει αποδεκτή η υπόθεση ότι η φαινομενική αύξηση της ακρίβειας, όπως μετράται σ' αυτό το υποσύνολο, και παρέχεται από τον έλεγχο, είναι απολύτως τυχαίο αποτέλεσμα;

Στην προηγούμενη στατιστική υπόθεση ο όρος «φαινομενική αύξηση ακρίβειας» αναφέρεται στην αύξηση της ακρίβειας που μετράται στο σύνολο μάθησης, σε αντίθεση με την πραγματική αύξηση της ακρίβειας που σχετίζεται με τις άγνωστες καταστάσεις (σύνολο ελέγχου).

Με ποσοτικούς όρους, ο στατιστικός όρος $\hat{A} = c\hat{l}$, όπου l το μέγεθος του τοπικού υποσυνόλου μάθησης, c είναι μια σταθερά και \hat{l} είναι η φαινομενική αύξηση στην καθαρότητα που παρέχεται από το βέλτιστο διαχωρισμό, ακολουθεί κατανομή χ^2 με ένα βαθμό ελευθερίας με την υπόθεση μη αύξησης της καθαρότητας. Έτσι, αν καθοριστεί το επίπεδο ρίσκου α για τη μη ανίχνευση αυτών των καταστάσεων για μια δεδομένη τιμή, ελέγχοντας την τιμή του \hat{A} ως προς μια τιμή κατωφλίου \hat{A}_{cr} έτσι ώστε $P(\hat{A} > \hat{A}_{cr}) = \alpha$ δίνεται η δυνατότητα να ανιχνευτούν οι περιπτώσεις όπου η φαινομενική αύξηση στην ακρίβεια είναι ένα τυχαίο γεγονός, με μια πιθανότητα ίση με $1-\alpha$.

Έτσι το επίπεδο ρίσκου α ορίζει το ποσόν της ένδειξης (evidence) που απαιτείται σε κάθε κόμβο προκειμένου να διαχωριστεί. Η απάντηση εξαρτάται από την τιμή του α , το μέγεθος του τοπικού υποσυνόλου μάθησης και από το ποσόν της φαινομενικής ακρίβειας που παρέχεται από τον έλεγχο. Το ερώτημα «πόση ένδειξη απαιτείται έτσι ώστε να διαχωριστεί ένας κόμβος» σχετίζεται με το βαθμό της αντιπροσωπευτικότητας που αποδίδεται στο σύνολο μάθησης και το ρίσκο να υπερεκτιμηθεί αυτός ο βαθμός. Ως εκ τούτου ο βαθμός της επιφυλακτικότητας της διαδικασίας ορίζεται από το χρήστη για μέσου της επιλογής της τιμής του α . η τιμή του α κυμαίνεται μεταξύ 1 και 0. Για $\alpha=1$ το κριτήριο δεν έχει επίδραση στη διαδικασία διαχωρισμού και το δέντρο αναπτύσσεται σύμφωνα με την παραπάνω συνθήκη 1. και για $\alpha=0$ δεν επιτρέπεται ανάπτυξη του δέντρου και τελικά το δέντρο αποτελείται μόνο από ένα κόμβο, τη ρίζα του.

ΜΕΡΟΣ ΙΙ

Πειραματικό μέρος

Κεφάλαιο 5^ο

5 Πειραματική διάταξη – Το σύστημα 34 ζυγών

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η πειραματική διάταξη της παρούσης εργασίας και εξηγούνται όλες οι επιλογές που γίνανε για την συλλογή δεδομένων. Ταυτόχρονα, μελετώνται οι σημαντικότερες παράμετροι του συστήματος και γίνεται επιλογή αυτών που θα αποτελέσουν την βάση δεδομένων πάνω στην οποία θα γίνει η εξόρυξη γνώσης στο κεφάλαιο 6.

5.1 Επιλογή κυκλωματικής διάταξης

Στην ιστοσελίδα της IEEE Distribution Analysis Subcommittee [27] υπάρχουν αναρτημένα τα δεδομένα για αρκετά ακτινικά δίκτυα που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση δικτύων πολλών συστημάτων.

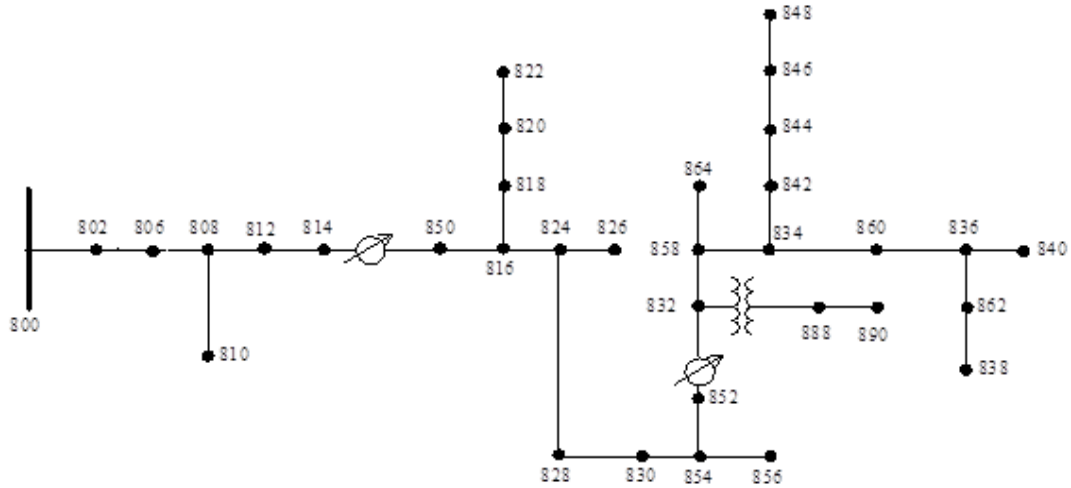
Στην εργασία αυτή επιλέχθηκε το σύστημα 34 ζυγών για τους εξής λόγους:

- 1) Είναι ένα ρεαλιστικό δίκτυο διανομής με αρκετούς κόμβους.
- 2) Υπάρχουν προκλήσεις όπως η ρύθμιση τάσης, η κάλυψη των φορτίων και η ανίχνευση της νησιδοποίησης σε μεγάλης έκτασης συστήματα.
- 3) Η βάση δεδομένων πρέπει να αποτελείται από πολλές παραμέτρους και να είναι αρκετά μεγάλη για να μας οδηγήσει σε ασφαλή συμπεράσματα στα δέντρα απόφασης.

Για τις ανάγκες της εργασίας, υπήρχαν τροποποιήσεις στο σύστημα της IEEE οι οποίες θα παρουσιαστούν παρακάτω.

5.1.1 Το σύστημα 34 ζυγών της IEEE

Το υπαρκτό σύστημα 34 ζυγών της IEEE είναι στα 60Hz έχει επίπεδο τάσης στα 24.9kV και ισχύ 12MVA. Έχει διάφορα φορτία, σταθερά (fixed) και κατανεμημένα (distributed) στις γραμμές, με συντελεστή ισχύος 0,86. Τα φορτία είναι τριών ειδών: α) σταθερού ρεύματος, β) σταθερής αντίστασης και γ) σταθερής ισχύος (τριφασικά και μονοφασικά). Σημαντικό είναι ότι στο κύκλωμα ορισμένες γραμμές είναι μονοφασικές σε αντίθεση με την πλειονότητα των γραμμών που είναι τριφασικές. Τέλος το σύστημα 34 ζυγών της IEEE περιέχει δύο ρυθμιστές τάσης καθώς και έναν μετασχηματιστή [28]. Όλα αυτά φαίνονται παρακάτω στην εικόνα 5.1.1.



Εικόνα 5.1.1 - το σύστημα 34 ζυγών της IEEE

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται αναλυτικά η σύνθεση της κυκλωματικής διάταξης 34 ζυγών, όπως ανακτήθηκε από την IEEE Distribution Analysis Subcommittee [27]

Config.	Phasing	Phase	Neutral	Spacing ID
		ACSR	ACSR	
300	B A C N	1/0	1/0	500
301	B A C N	#2 6/1	#2 6/1	500
302	A N	#4 6/1	#4 6/1	510
303	B N	#4 6/1	#4 6/1	510
304	B N	#2 6/1	#2 6/1	510

Πίνακας 5.1.1 - Overhead Line Configurations (Config.)

Node	Load	Ph-1	Ph-1	Ph-2	Ph-2	Ph-3	Ph-4
	Model	kW	kVAr	kW	kVAr	kW	kVAr
860	Y-PQ	20	16	20	16	20	16
840	Y-I	9	7	9	7	9	7
844	Y-Z	135	105	135	105	135	105
848	D-PQ	20	16	20	16	20	16
890	D-I	150	75	150	75	150	75
830	D-Z	10	5	10	5	25	10
Total		344	224	344	224	359	229

Πίνακας 5.1.2 – Spot Loads

Node A	Node B	Length(ft.)	config.
800	802	2580	300
802	806	1730	300
806	808	32230	300
808	810	5804	303
808	812	37500	300
812	814	29730	300
814	850	10	301
816	818	1710	302
816	824	10210	301
818	820	48150	302
820	822	13740	302
824	826	3030	303
824	828	840	301
828	830	20440	301
830	854	520	301
832	858	4900	301
832	888	0	XFM-1
834	860	2020	301
834	842	280	301
836	840	860	301
836	862	280	301
842	844	1350	301
844	846	3640	301
846	848	530	301
850	816	310	301
852	832	10	301
854	856	23330	303
854	852	36830	301
858	864	1620	302
858	834	5830	301
860	836	2680	301
862	838	4860	304
888	890	10560	300

Πίνακας 5.1.3 – Line Segment Data

Node	Ph-A	Ph-B	Ph-C
	kVAr	kVAr	kVAr
844	100	100	100
848	150	150	150
Total	250	250	250

Πίνακας 5.1.4 – Shunt Capacitors

	kVA	kV-high	kV-low	R - %	X - %
Substation:	2500	69 - D	24.9 -Gr. W	1	8
XFM -1	500	24.9 - Gr.W	4.16 - Gr. W	1,9	4,08

Πίνακας 5.1.5 – Transformer Data

Node A	Node B	Load Model	Ph-1 kW	Ph-1 kVAr	Ph-2 kW	Ph-2 kVAr	Ph-3 kW	Ph-3 kVAr
802	806	Y-PQ	0	0	30	15	25	14
808	810	Y-I	0	0	16	8	0	0
818	820	Y-Z	34	17	0	0	0	0
820	822	Y-PQ	135	70	0	0	0	0
816	824	D-I	0	0	5	2	0	0
824	826	Y-I	0	0	40	20	0	0
824	828	Y-PQ	0	0	0	0	4	2
828	830	Y-PQ	7	3	0	0	0	0
854	856	Y-PQ	0	0	4	2	0	0
832	858	D-Z	7	3	2	1	6	3
858	864	Y-PQ	2	1	0	0	0	0
858	834	D-PQ	4	2	15	8	13	7
834	860	D-Z	16	8	20	10	110	55
860	836	D-PQ	30	15	10	6	42	22
836	840	D-I	18	9	22	11	0	0
862	838	Y-PQ	0	0	28	14	0	0
842	844	Y-PQ	9	5	0	0	0	0
844	846	Y-PQ	0	0	25	12	20	11
846	848	Y-PQ	0	0	23	11	0	0
Total			262	133	240	120	220	114

Πίνακας 5.1.6 – Distributed Loads

Regulator ID:	1		
Line Segment:	814 - 850		
Location:	814		
Phases:	A - B - C		
Connection:	3-Ph,LG		
Monitoring Phase:	A-B-C		
Bandwidth:	2.0 volts		
PT Ratio:	120		
Primary CT Rating:	100		
Compensator Settings:	Ph-A	Ph-B	Ph-C
R - Setting:	2,7	2,7	2,7
X - Setting:	1,6	1,6	1,6
Voltage Level:	122	122	122
Regulator ID:	2		
Line Segment:	852 - 832		
Location:	852		
Phases:	A - B - C		
Connection:	3-Ph,LG		
Monitoring Phase:	A-B-C		
Bandwidth:	2.0 volts		
PT Ratio:	120		
Primary CT Rating:	100		
Compensator Settings:	Ph-A	Ph-B	Ph-C
R - Setting:	2,5	2,5	2,5
X - Setting:	1,5	1,5	1,5
Voltage Level:	124	124	124

Πίνακας 5.1.7 – Regulator Data

IEEE 34 Node Test Feeder

Impedances

Configuration 300:

----- Z & B Matrices Before Changes -----

```

      Z (R +jX) in ohms per mile
  1.3368  1.3343  0.2101  0.5779  0.2130  0.5015
           1.3238  1.3569  0.2066  0.4591
           1.3294  1.3471
      B in micro Siemens per mile
      5.3350  -1.5313  -0.9943
           5.0979  -0.6212
           4.8880
  
```

Configuration 301:

```

      Z (R +jX) in ohms per mile
  1.9300  1.4115  0.2327  0.6442  0.2359  0.5691
           1.9157  1.4281  0.2288  0.5238
           1.9219  1.4209
      B in micro Siemens per mile
      5.1207  -1.4364  -0.9402
           4.9055  -0.5951
           4.7154
  
```

Configuration 302:

```

      Z (R +jX) in ohms per mile
  2.7995  1.4855  0.0000  0.0000  0.0000  0.0000
           0.0000  0.0000  0.0000  0.0000
           0.0000  0.0000
      B in micro Siemens per mile
      4.2251  0.0000  0.0000
           0.0000  0.0000
           0.0000
  
```

Configuration 303:

```

      Z (R +jX) in ohms per mile
  0.0000  0.0000  0.0000  0.0000  0.0000  0.0000
           2.7995  1.4855  0.0000  0.0000
           0.0000  0.0000
      B in micro Siemens per mile
      0.0000  0.0000  0.0000
           4.2251  0.0000
           0.0000
  
```

Configuration 304:

```

      Z (R +jX) in ohms per mile
  0.0000  0.0000  0.0000  0.0000  0.0000  0.0000
           1.9217  1.4212  0.0000  0.0000
           0.0000  0.0000
      B in micro Siemens per mile
      0.0000  0.0000  0.0000
           4.3637  0.0000
           0.0000
  
```

5.1.2 Αλλαγές στο σύστημα 34 ζυγών της IEEE

Όπως προαναφέρθηκε, για τις ανάγκες της παρούσης εργασίας έγιναν αλλαγές στο σύστημα που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο 5.1.1. Οι αλλαγές αυτές στοχεύουν στην προσαρμογή του συστήματος στα ελληνικά πρότυπα.

Τάση

Το επίπεδο τάσης του κεντρικού δικτύου ορίστηκε στα 20kV πολική σε συνδεσμολογία αστέρα, ενώ του μικροδικτύου στα 400V επίσης σε συνδεσμολογία αστέρα.

Συχνότητα

Η συχνότητα ορίστηκε στα 50Hz για να ταιριάζει στα ευρωπαϊκά πρότυπα.

Φορτία

Τα κατανεμημένα στις γραμμές φορτία αγνοήθηκαν, και τα φορτία που συνδέονται στο σύστημα είναι τρία σε αριθμό, με συνολική ισχύ 140,1KVA και συντελεστή ισχύος = 0,781

όπως υπολογίστηκε από τον τύπο $\Sigma.I. = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$ [29]

Ρυθμιστές τάσης

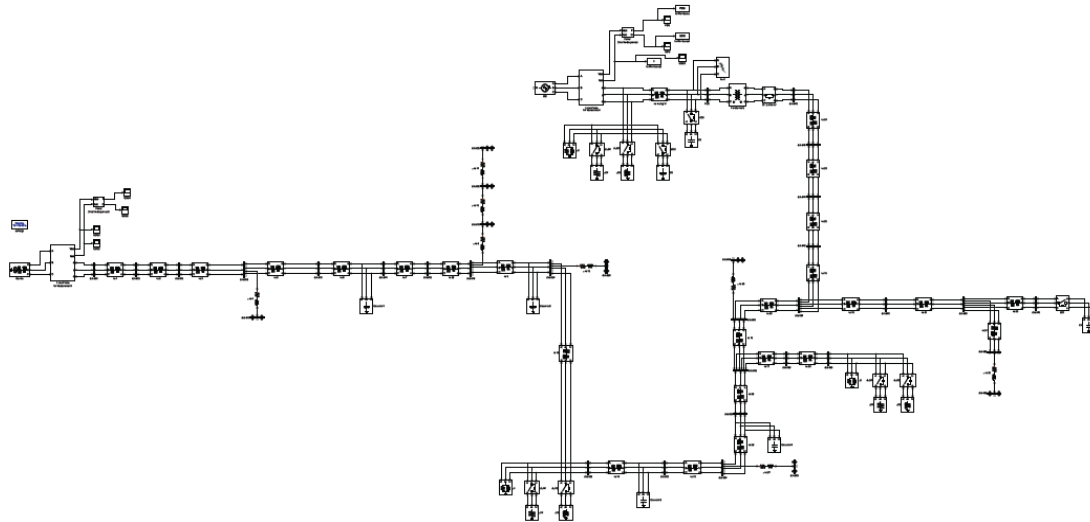
Οι δύο ρυθμιστές τάσης αντικαταστήθηκαν από τέσσερις σε αριθμό πυκνωτές που συνδέθηκαν σε διάφορα σημεία του κυκλώματος ώστε η τάση σε όλους τους ζυγούς του κυκλώματος να βρίσκεται μέσα στα όρια του $\pm 10\%$ της ονομαστικής τάσης. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω των πυκνωτών που προστέθηκαν στο κύκλωμα οι πυκνωτές (shunt capacitors) στους ζυγούς 844 και 848 αφαιρέθηκαν.

Μετασχηματιστής

Ο μετασχηματιστής μεταφέρθηκε στον ζυγό 848, όπου και θα συνδεθεί το μικροδίκτυο.

5.2 Το σύστημα 34 ζυγών στο simulink

Υλοποιώντας τις αντιστάσεις – αντιδράσεις των γραμμών του κυκλώματος με βάση τα δεδομένα για την σύνθεση των γραμμών και πραγματοποιώντας τις αλλαγές που προαναφέρθηκαν το κύκλωμα που προέκυψε είναι αυτό που υλοποιήθηκε στο matlab simulink και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία και παρουσιάζεται στην εικόνα 5.2.1. Στην εικόνα φαίνεται επίσης και το μικροδίκτυο που είναι συνδεδεμένο στον ζυγό 848 και για το οποίο θα μιλήσουμε παρακάτω, στην παράγραφο 5.3.



Εικόνα 5.2.1 – Το σύστημα 34 ζυγών στο simulink

Για τις γραμμές χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο RL, αντί για το RLC που εφαρμόζεται συνήθως σε κυκλώματα μεγάλης έκτασης. Η προσέγγιση αυτή έγινε επειδή το μήκος των γραμμών δεν είναι πολύ μεγάλο, με αποτέλεσμα οι τιμές των πυκνωτών στο ισοδύναμο των γραμμών να είναι πολύ μικρές και να μπορούν να αμεληθούν.

Στον πίνακα 5.2.1 παρουσιάζονται οι ονομασίες των γραμμών του κυκλώματος, το μήκος τους καθώς και η συνολική αντίσταση και αντίδρασή τους, που υπολογίστηκαν με βάση τα δεδομένα από IEEE Distribution Analysis Subcommittee [27]. Το μήκος των γραμμών δεν άλλαξε σε σχέση με το δοσμένο μήκος στο σύστημα 34 ζυγών της IEEE αλλά μετατράπηκε σε μέτρα για να είναι πιο κατανοητό στην ευρωπαϊκή κοινότητα.

Να σημειωθεί ότι η γραμμή 17 κανονικά δεν είναι γραμμή, αλλά είναι η θέση του μετασχηματιστή πριν γίνουν οι αλλαγές στο κύκλωμα. Επειδή ο μετασχηματιστής άλλαξε θέση, θεωρήθηκε ότι στην θέση του μπήκε μια μικρή γραμμή μεταφοράς, μήκους 3,048 μέτρων, με ελάχιστες τιμές αντίστασης και αντίδρασης οι οποίες υπολογίζονται κατά τα γνωστά ίσες με $0,004+j0,003 \text{ Ohm}$.

Η πηγή του κεντρικού δικτύου παρέχει σ' αυτό τάση 20kV πολική (ή αλλιώς 11500V φασική) όπως προαναφέρθηκε, και μοντελοποιήθηκε στο simulink σαν μια ιδανική πηγή τάσης. Με τον όρο ιδανική πηγή εννοείται ότι δεν εγχέονται αρμονικές στο δίκτυο. Αυτό, όπως είναι γνωστό, δεν μπορεί να γίνει στην πραγματικότητα, γι' αυτό και το πραγματικό σύστημα μετά την πηγή έχει συνδεδεμένο έναν μετασχηματιστή ο οποίος στην ουσία εξομαλύνει τις αρμονικές με αποτέλεσμα η τάση που παρέχεται στο κεντρικό δίκτυο να είναι σταθερή ακριβώς στα 20kV. Εδώ για να αποφευχθεί ένα πολύπλοκο κύκλωμα, το οποίο θα αύξανε αρκετά τον χρόνο προσομοίωσης του κυκλώματος, αφαιρέθηκε ο μετασχηματιστής και η πηγή θεωρήθηκε ιδανική.

Γραμμή	Ζυγός Α	Ζυγός Β	Μήκος (m)	R+jX (Ohm)
1	800	802	786,384	0,649+j0,649
2	802	806	527	0,436+j0,436
3	806	808	9825,533	8,116+j8,116
4	808	810	1769,056	3,076+j1,633
5	808	812	11430	9,441+j9,441
6	812	814	9061,704	7,485+j7,485
7	814	850	3,048	0,004+j0,003
8	816	818	521,208	0,906+j0,481
9	816	824	3112,008	3,713+j2,745
10	818	820	14676,12	25,522+j13,546
11	820	822	4187,952	7,283+j3,865
12	824	826	923,544	1,606+j0,852
13	824	828	256,032	0,305+j0,266
14	828	830	6230,112	7,433+j5,495
15	830	854	158,496	0,189+j0,14
16	832	858	1493,52	1,782+j1,317
17	832	888	3,048	0,004+j0,003
18	834	860	615,696	0,735+j0,543
19	834	842	85,344	0,102+j0,075
20	836	840	262,128	0,313+j0,231
21	836	862	85,344	0,102+j0,075
22	842	844	411,48	0,491+j0,363
23	844	846	1109,474	1,324+j0,979
24	846	848	161,544	0,193+j0,142
25	850	816	94,488	0,113+j0,094
26	852	832	3,048	0,004+j0,003
27	854	856	7110,984	12,366+j6,563
28	854	852	11225,78	13,392+j9,901
29	858	864	493,776	0,859+j0,456
30	858	834	1776,984	2,12+j1,567
31	860	836	816,864	0,975+j0,72
32	862	838	1481,328	1,769+j1,308
33	888	890	3218,688	2,659+j2,659

Πίνακας 5.2.1 – γραμμές στο IEEE 34 ζυγών

Από την άλλη πλευρά, η ΔΠ (πηγή του μικροδικτύου) παράγει αρμονικές και θα χρησιμοποιηθούν σαν κριτήριο ανίχνευσης της νησιδοποίησης. Έτσι ορίστηκε ότι η ΔΠ θα παράγει αρμονικές 3^{ης} τάξης τυχαίου πλάτους το οποίο δεν θα ξεπερνάει το 3% της ονομαστικής τάσης. Το τυχαίο πλάτος υλοποιήθηκε ως $3 \cdot \text{rand}^4 / 100$ ενώ το 3% είναι η τιμή της παραμόρφωσης τάσης για τάση μικρότερη από 69kV στο ΣΚΣ και πάρθηκε από τον πίνακα 5.2.2 [15]. Αντίστοιχα στον πίνακα 5.2.3 παρουσιάζονται τα όρια των αρμονικών

⁴ rand: είναι η συνάρτηση random του matlab και παράγει τυχαία αριθμούς στο διάστημα [0,1]

ρεύματος συναρτήσει του λόγου I_{sc}/I_L ο οποίος ορίζεται ως το SCR⁵, τα οποία επιλέχθηκε να μην ξεπερνούν το 4% του ονομαστικού ρεύματος. Η επιλογή του 4% έγινε επειδή το SCR υπολογίστηκε ίσο με 4.3 και η αρμονική που εγγέεται στο σύστημα είναι η 3^η, άρα βρισκόμαστε στο πρώτο κελί του πίνακα 5.2.3. Ο υπολογισμός της τιμής του SCR στο σύστημα 34 ζυγών έγινε χρησιμοποιώντας τον κώδικα short_circuit (βλέπε Παράρτημα Α).

Τάση στο ΣΚΣ	Παραμόρφωση της τάσης (%)	Συνολική παραμόρφωση της τάσης (%)
≤ 69kV	3.0	5.0
69kV – 161kV	1.5	2.5
≥ 161kV	1.0	1.5

Πίνακας 5.2.2 – όρια παραμόρφωσης της κυματομορφής της τάσης σύμφωνα με τον κανονισμό IEEE 519 για περιττού βαθμού αρμονικές

I_{sc}/I_L	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35<h	TDD
<20	4.00	2.00	1.50	0.60	0.30	5.00
20-50	7.00	3.50	2.50	1.00	0.50	8.00
50-100	10.00	4.50	4.00	1.50	0.70	12.00
100-1000	12.00	5.50	5.00	2.00	1.00	15.00
>1000	15.00	7.00	6.00	2.50	1.40	20.00

Πίνακας 5.2.3 – μέγιστη παραμόρφωση ρεύματος για περιττής τάξης αρμονικές εκφρασμένη σε % του I_L για τάσεις από 120V έως 16kV

Τα φορτία που τροφοδοτούνται από το σύστημα 34 ζυγών είναι 3 σε αριθμό. Τα δύο εξ αυτών τροφοδοτούνται στην υψηλή τάση ενώ το τρίτο είναι μέρος του μικροδικτύου και τροφοδοτείται τοπικά από την ΔΠ στην χαμηλή τάση. Φυσικά κανένα από τα φορτία δεν τροφοδοτείται για όλες τις χρονικές στιγμές από μια μόνο πηγή τάσης καθώς στο PCC υπάρχει ανταλλαγή ισχύος. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί για ορισμένα χρονικά διαστήματα η ΔΠ να βοηθάει στην οδήγηση των φορτίων υψηλής τάσης ενώ αντίστοιχα για άλλα χρονικά διαστήματα το έναντι δίκτυο να τροφοδοτεί εν μέρει το φορτίο χαμηλής τάσης.

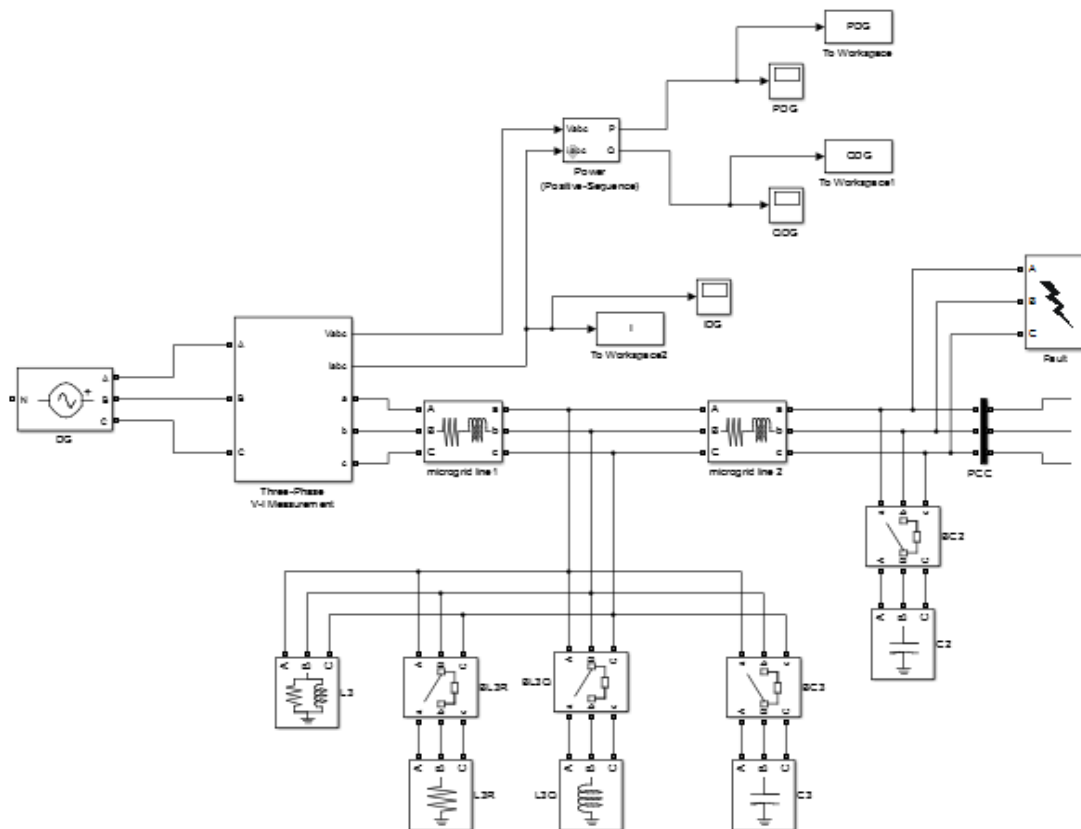
Οι τιμές των πυκνωτών που συνδέθηκαν για την σταθεροποίηση της τάσης κατά μήκος του συστήματος βρέθηκαν κάνοντας δοκιμές του συστήματος στην μόνιμη κατάσταση ονομαστικής λειτουργίας και παρουσιάζονται παρακάτω στον πίνακα 5.2.4. Μεγάλες αλλαγές φορτίων συνεπάγονται αλλαγές στα μεγέθη των πυκνωτών καθώς επιφέρουν μεγαλύτερες πτώσεις τάσεις στις γραμμές. Τέτοιες αλλαγές δεν χρειάστηκαν στην εργασία αυτή, αλλά είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι επειδή οι πυκνωτές έχουν σταθερό μέγεθος, οι διαταραχές που εισάγονται στο σύστημα προκαλούν μεταβολές στην τάση των ζυγών, οι οποίες όμως δεν ξεπερνούν το ± 10% της ονομαστικής.

⁵ SCR: short circuit ratio (λόγος βραχυκύκλωσης): $SCR = \frac{I_{sc}}{I_L}$

Ποικνωτής	Σημείο σύνδεσης (κόμβος)	Μέγεθος
1	814	25kVar
2	824	25kVar
3	830	15kVar
4	852	10kVar

Πίνακας 5.2.4 – ποικνωτές συστήματος για σταθεροποίηση τάσης

5.3 Το μικροδίκτυο



Εικόνα 5.3.1 – μικροδίκτυο στο simulink

Στην πραγματικότητα η σύνδεση του μικροδικτύου στον ζυγό 848 του έναντι δικτύου αποτελεί μια επέκταση του συστήματος 34 ζυγών η οποία είναι αποτέλεσμα της ανάγκης σύνδεσης ενός φορτίου στο σημείο αυτό. Η εξυπηρέτηση του φορτίου αυτού μπορεί να γίνει από την πηγή του έναντι δικτύου αλλά είναι πολύ πιθανό λόγω της μεγάλης απόστασης αυτών των δύο να κριθεί αναγκαία η τροφοδότησή του από μία μονάδα διεσπαρμένης πηγής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εγκαταστημένη κοντά σε αυτό. Άρα πλέον μιλάμε για σύνδεση μιας πηγής παροχής ισχύος μαζί με ένα φορτίο στο σύστημα 34 ζυγών. Για να είναι αυτό εύκολα εφικτό καλό είναι η πηγή και το φορτίο να αποτελούν μέρη ενός μικροδικτύου.

Το μικροδίκτυο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία διαθέτει μια ΔΠ (DG στην εικόνα 5.3.1) που τροφοδοτεί ένα τοπικό φορτίο (L3). Η ΔΠ τροφοδοτεί το φορτίο (L3) μέσω της γραμμής microgrid line 1, η οποία αναπαριστά την εμπέδηση της πηγής. Η γραμμή αυτή

έχει μικρή αντίσταση και αντίδραση καθώς επιδιώκεται το SCR να είναι μικρότερο από 10 ώστε να βρισκόμαστε στο επιθυμητό επίπεδο για να θεωρείται ασθενές το έναντι δίκτυο.

Το μικροδίκτυο έχει τάση 400V πολική και συνδέεται με το έναντι δίκτυο μέσω ενός μετασχηματιστή και ενός διακόπτη όπως φαίνονται στην εικόνα 5.2.1.

5.4 Εκτέλεση προσομοιώσεων

Το κύκλωμα που αναλύθηκε στις παραγράφους 5.2 και 5.3 και φαίνεται στην εικόνα 5.2.1 υλοποιήθηκε στο simulink. Το σύστημα μπορεί να βρίσκεται σε δύο καταστάσεις όπως αναφέρθηκε και στην θεωρία, στην κατάσταση νησιδοποίησης και στην κατάσταση μη νησιδοποίησης. Ο στόχος είναι η διάκριση αυτών των δύο καταστάσεων για αυτό θα πρέπει να δημιουργηθούν δεδομένα και για τη νησιδοποίηση και για τη μη νησιδοποίηση. Για την πρώτη κατηγορία ο διακόπτης του έναντι δικτύου ανοίγει 1 δευτερόλεπτο μετά την έναρξη της προσομοίωσης για να προσομοιώσουμε μια συνθήκη νησιδοποίησης. Ο τύπος των φορτίων και η κατανάλωση ενεργού και αέργου ισχύος ποικίλλουν για να δημιουργήσουν όσο περισσότερα δεδομένα γίνεται ώστε να καλύψουν τα διάφορα πιθανά σενάρια της νησιδοποίησης. Για την δεύτερη κατηγορία (μη νησιδοποίηση) ορισμένες διαταραχές εγχέονται 1 δευτερόλεπτο μετά την έναρξη της προσομοίωσης θελημένα στο σύστημα σε διάφορα σημεία του συστήματος για να παράγουν δεδομένα που περιέχουν: αλλαγές φορτίων, διακοπτική μεταγωγή πυκνωτών και τριφασικά βραχυκυκλώματα. Τα δεδομένα και για τις δύο κατηγορίες εξετάζονται επίσης και κάτω από διαφορετικές αρχικές συνθήκες του συστήματος. Για κάθε ομάδα δεδομένων μετρώνται 26 διαφορετικά μεγέθη που είναι γραμμένα στον πίνακα 5.4.1.

Μέγεθος	Περιγραφή
V_t	Τάση στο PCC ⁶
P_{DG}	Ενεργός ισχύς της DG
Q_{DG}	Αεργός ισχύς της DG
ω	Συχνότητα
$THD_{Ia}, THD_{Ib}, THD_{Ic}$	Ολική αρμονική παραμόρφωση των φασικών ρευμάτων
$\Theta_{Va}, \Theta_{Vb}, \Theta_{Vc}$	Γωνίες των φασικών τάσεων
$THD_{Va}, THD_{Vb}, THD_{Vc}$	Ολική αρμονική παραμόρφωση των φασικών τάσεων
ΔQ_{DG}	Ρυθμός αλλαγής άεργου ισχύος στη DG
ΔP_{DG}	Ρυθμός αλλαγής ενεργού ισχύος στη DG
$\Delta \omega$	Ρυθμός αλλαγής συχνότητας
ΔV_t	Ρυθμός αλλαγής τάσης
$\Delta THD_{Ia}, \Delta THD_{Ib}, \Delta THD_{Ic}$	Ρυθμός αλλαγής ολικής αρμονικής παραμόρφωσης των φασικών ρευμάτων
$\Delta \Theta_{Va}, \Delta \Theta_{Vb}, \Delta \Theta_{Vc}$	Ρυθμός αλλαγής γωνιών των φασικών τάσεων
$\Delta THD_{Va}, \Delta THD_{Vb}, \Delta THD_{Vc}$	Ρυθμός αλλαγής ολικής αρμονικής παραμόρφωσης των φασικών τάσεων

Πίνακας 5.4.1 - μετρούμενα μεγέθη

⁶ PCC: point of common coupling. Αναφέρεται ωρίτερα στα ελληνικά ως ΣΚΣ.

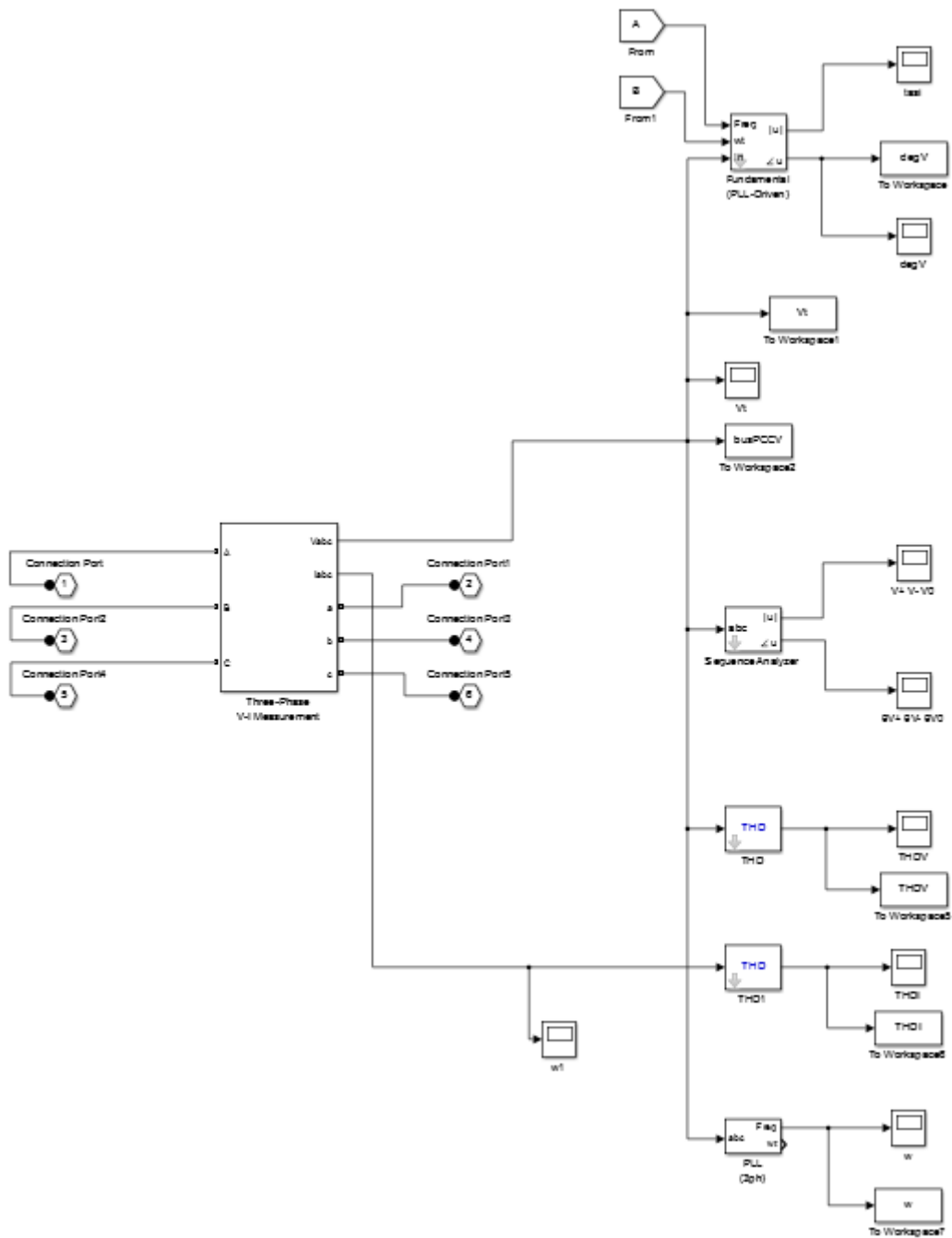
Οι τιμές των παραπάνω μεγεθών μετρήθηκαν σε διάφορες χρονικές στιγμές. Πριν το πρώτο δευτερόλεπτο της προσομοίωσης μετράται η τιμή της παραμέτρου για την μόνιμη κατάσταση πριν το άνοιγμα του διακόπτη του έναντι δικτύου ή πριν την εισαγωγή διαταραχών. Για το αμέσως επόμενο μικρό χρονικό διάστημα μετά το πέρας του πρώτου δευτερολέπτου μετρώνται οι τιμές της μεταβατικής κατάστασης από τις οποίες θα βγει η μέγιστη και η ελάχιστη αιχμή του κάθε μεγέθους. Τέλος, πριν το τέλος της προσομοίωσης, μετρώνται οι τιμές της νέας μόνιμης κατάστασης του κάθε μεγέθους. Τα παραπάνω θα αναφέρονται από εδώ και στο εξής σαν παράμετροι των μετρούμενων μεγεθών.

Οι τιμές των μεγεθών P_{DG} , Q_{DG} , ω , THD_I , Θ_V και THD_V για τις μόνιμες καταστάσεις βρέθηκαν υπολογίζοντας τον μέσο όρο των μετρήσεων του κάθε μεγέθους χωριστά, ενώ για την τιμή των μέγιστων και ελάχιστων διακυμάνσεων χρησιμοποιήθηκαν οι συναρτήσεις \max και \min του matlab για το διάστημα της μεταβατικής κατάστασης.

Για την τάση V_t , οι τιμές της μόνιμης κατάστασης υπολογίστηκαν βρίσκοντας το μέγιστο και το ελάχιστο των τιμών στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα και υπολογίζοντας τον μέσο όρο αυτών των δύο απόλυτων τιμών. Αυτό γίνεται γιατί η τάση είναι ημιτονοειδές μέγεθος και δεν έχει σταθερή τιμή κατά τη διάρκεια μιας περιόδου, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η εύρεση της τιμής της ανά πάσα χρονική στιγμή όπως και στα προηγούμενα μεγέθη. Για την μεταβατική κατάσταση εφαρμόστηκε μέθοδος που αναφέρθηκε νωρίτερα για τα υπόλοιπα μεγέθη.

Ο ρυθμός αλλαγής για όλα τα μεγέθη υπολογίστηκε με την βοήθεια του matlab αφαιρώντας την τιμή της μόνιμης κατάστασης του κάθε μεγέθους πριν το πρώτο δευτερόλεπτο από την τιμή της μόνιμης κατάστασης του ίδιου μεγέθους μετά το πρώτο δευτερόλεπτο. Δεν διαιρέσαμε δια τον χρόνο που χρειάστηκε να γίνει η αλλαγή καθώς δεν μας ενδιαφέρει αυτή η πληροφορία αλλά και επειδή είναι δύσκολο να μετρηθεί ο χρόνος που χρειάστηκε για την αλλαγή γιατί αυτός ποικίλει από περίπτωση σε περίπτωση.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι όλες οι μετρήσεις εκτός από τα P_{DG} και Q_{DG} που μετρούνται κοντά στη DG, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.3.1, γίνανε στο PCC για να μπορεί να υπάρχει κοινό σημείο αναφοράς. Το περιεχόμενο του PCC στο simulink φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 5.4.1.



Εικόνα 5.4.1 – το εσωτερικό του PCC στο simulink

Όλες οι παραπάνω μετρήσεις μεταφέρθηκαν από το simulink στο matlab όπου τροποποιήθηκαν ώστε να κρατηθεί μόνο η χρήσιμη πληροφορία και αποθηκεύτηκαν. Η διαδικασία αυτή γίνεται αυτόματα μετά το πέρας της κάθε προσομοίωσης του κυκλώματος με την βοήθεια μιας σειράς από κώδικες που γράφτηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα Β.

Κεφάλαιο 6^ο

6 Εφαρμογή δέντρων απόφασης στο σύστημα 34 ζυγών της IEEE

6.1 Εξόρυξη γνώσης από το IEEE 34 bus

Οι πληροφορίες που εμπεριέχονται στις μετρήσεις που πάρθηκαν από την προσομοίωση του κυκλώματος θα χρησιμοποιηθούν σε αυτή την παράγραφο με τρεις διαφορετικούς τρόπους ώστε να μελετηθεί η αποτελεσματικότητα που έχει το δέντρο απόφασης στην εξαγωγή απόφασης για την κάθε περίπτωση.

Οι περιπτώσεις που θα μελετηθούν στην συγκεκριμένη εργασία είναι :

α) το δέντρο να περιέχει τις τιμές της μόνιμης κατάστασης και για τα 26 μετρούμενα μεγέθη

β) το δέντρο να περιέχει μόνο τις 10 καλύτερες τιμές της μόνιμης κατάστασης. Η διαδικασία επιλογής των 10 καλύτερων μεγεθών θα αναπτυχθεί στην παράγραφο 6.1.2.

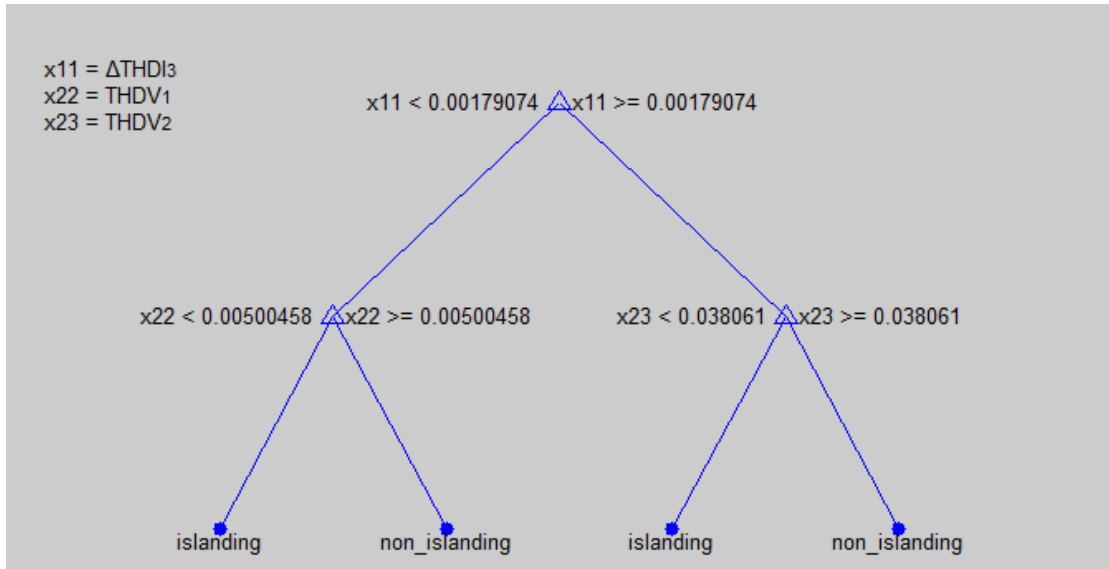
γ) το δέντρο να περιέχει μόνο τις 10 καλύτερες τιμές της μόνιμης και της μεταβατικής κατάστασης.

Για όλα τα δέντρα που θα αναπτυχθούν στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής ισχύουν ότι το μέγεθος της βάσης δεδομένων αποτελείται από 210 διαφορετικές περιπτώσεις λειτουργίας του συστήματος `ieee34bus` του `simulink` και ότι τα σύνολα μάθησης (`learning set`) και ελέγχου (`testing set`) περιλαμβάνουν 150 και 60 αντίστοιχα περιπτώσεις της αρχικής βάσης δεδομένων.

6.1.1 Μόνιμη κατάσταση όλων των μεγεθών

Τα μεγέθη που μετρώνται κατά την προσομοίωση του συστήματος του `simulink` παρουσιάστηκε στον πίνακα 5.4.1 του προηγούμενου κεφαλαίου και είναι 26 σε αριθμό. Για το συγκεκριμένο δέντρο που αναπτύχθηκε εδώ χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές όλων των μεγεθών στην μόνιμη κατάσταση μετά το άνοιγμα του διακόπτη ή την έγχυση διαταραχών στο σύστημα ανάλογα με τον αν η προσομοίωση ήταν για νησιδοποιημένη ή για μη νησιδοποιημένη λειτουργία αντίστοιχα.

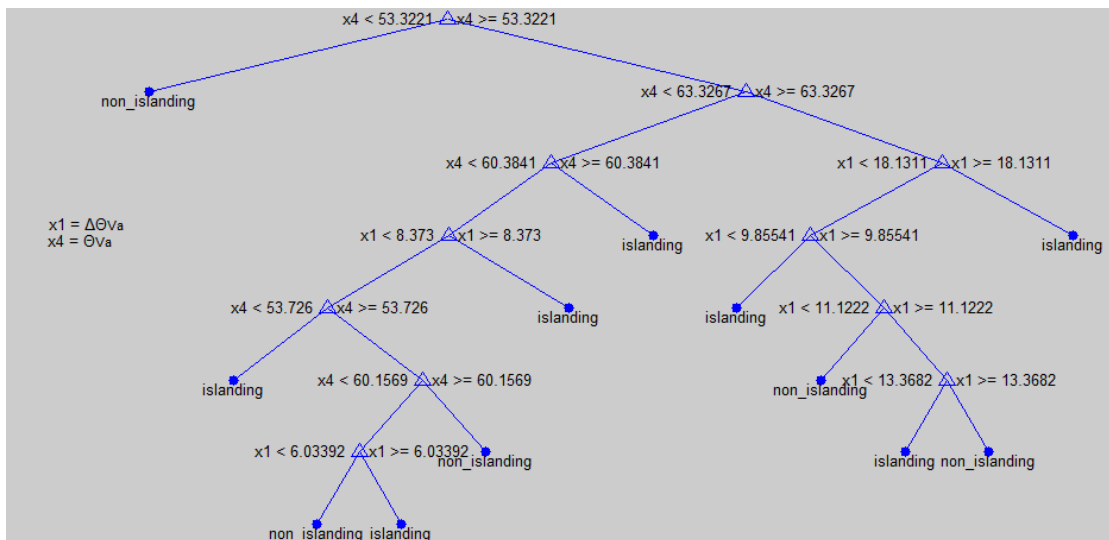
Η ακρίβεια εύρεσης (`accuracy`) της κατάστασης του συστήματος (νησιδοποίηση – μη νησιδοποίηση) για την συγκεκριμένη περίπτωση βρέθηκε 96.67% από τον κώδικα `decision_tree` που παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα Γ. Στην εικόνα 6.1.1 φαίνεται το δέντρο που δημιουργήθηκε από την εκτέλεση του προγράμματος αυτού για το σύνολο μάθησης.



Εικόνα 6.1.1 – δέντρο απόφασης για όλα τα μεγέθη στην μόνιμη κατάσταση

Προσπαθώντας να ανακαλύψουμε μια σχέση μεταξύ της ακρίβειας του δέντρου με τον αριθμό των μεγεθών που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του, παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα δέντρα όπου δεν χρησιμοποιήθηκαν όλοι οι μετρούμενοι παράμετροι όπως έγινε στην προηγούμενη περίπτωση.

➤ Για τα 5 πρώτα μεγέθη:



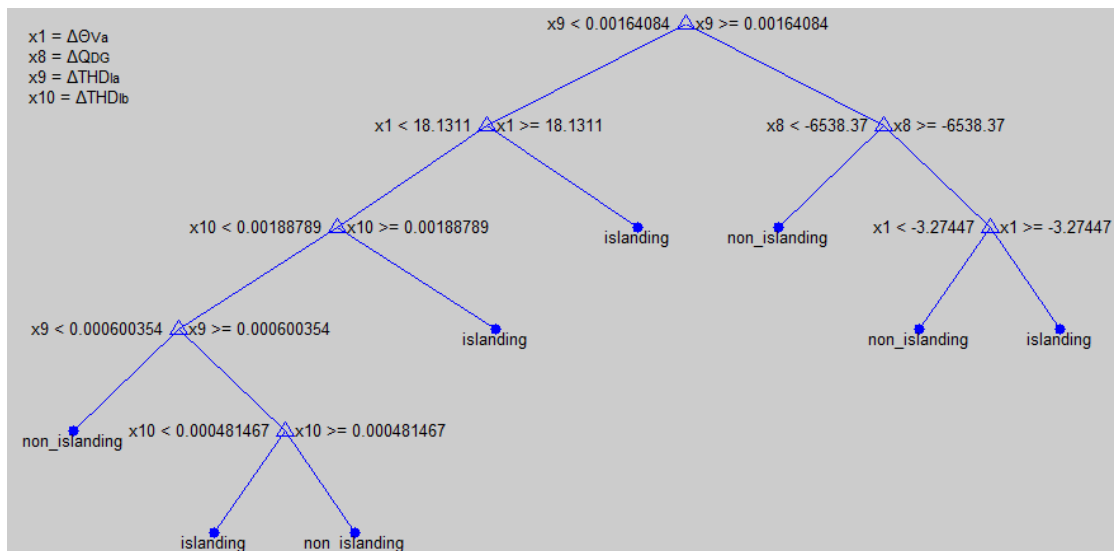
Εικόνα 6.1.2 – δέντρο απόφασης για 5 μεγέθη στην μόνιμη κατάσταση

Η ακρίβεια του δέντρου αυτού είναι 73.33%. Είναι εμφανές ότι είναι αρκετά μειωμένη σχετικά με την προηγούμενη περίπτωση και αυτό οφείλεται στο ότι δεν υπάρχει αρκετή πληροφορία στις 5 αυτές μετρήσεις ώστε το δέντρο να εκπαιδευτεί σωστά. Άρα θα χρειαστούμε παραπάνω μεγέθη για να βελτιώσουμε την ακρίβεια του δέντρου.

Ένα ακόμα στοιχείο που παρατηρείται εδώ είναι ότι η ανάπτυξη του συνόλου μάθησης στο δέντρο είναι αρκετά πολύπλοκη (μεγάλος αριθμός κόμβων) και αποτελεί εκροή της

δυσκολίας κατάταξης των κλάσεων του δέντρου. Αυτός είναι ένας δεύτερος λόγος για την μικρή ακρίβεια του συγκεκριμένου δέντρου.

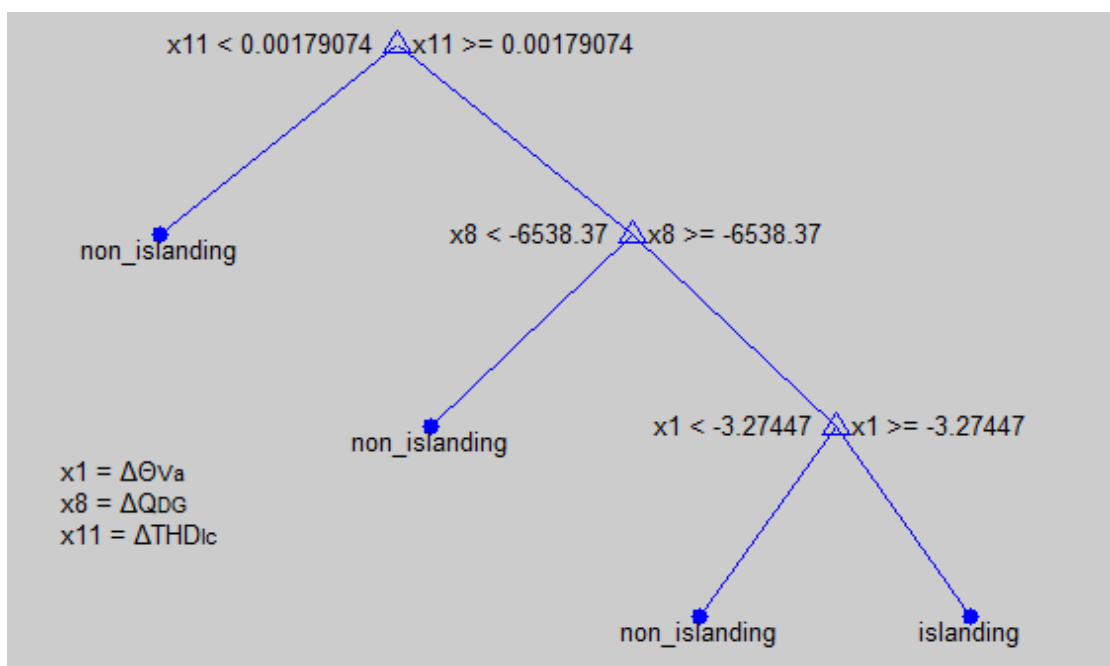
➤ Για τα 10 πρώτα μεγέθη:



Εικόνα 6.1.3 - δέντρο απόφασης για 10 μεγέθη στην μόνιμη κατάσταση

Η ακρίβεια του δέντρου αυτού είναι 93.33%. Αρκετά αυξημένη σε σχέση με την ακρίβεια των 5 πρώτων μεγεθών και με σχετικά καλή ανάπτυξη δέντρου για το σύνολο μάθησης.

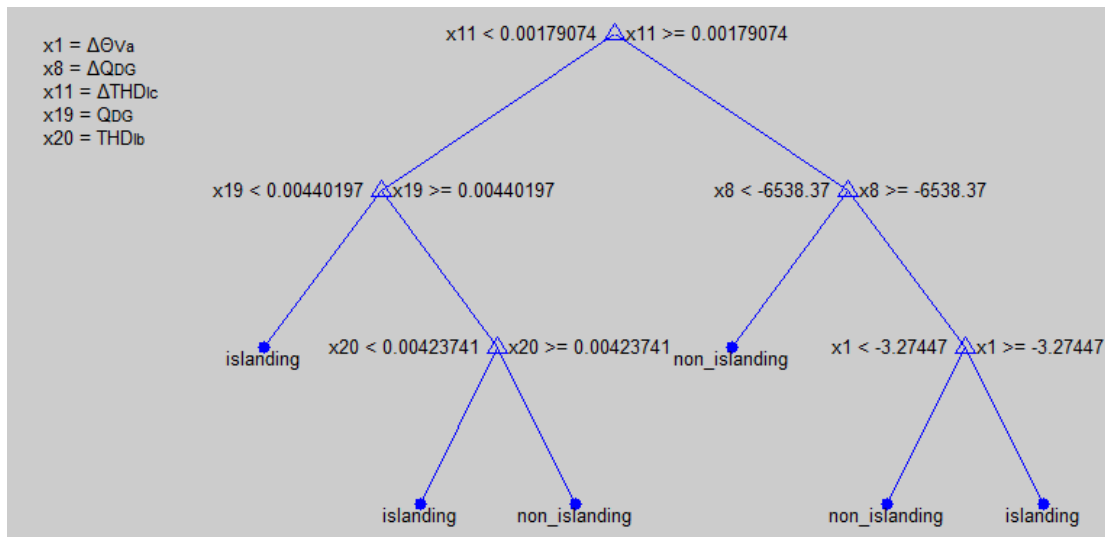
➤ Για τα 15 πρώτα μεγέθη:



Εικόνα 6.1.4 - δέντρο απόφασης για 15 μεγέθη στην μόνιμη κατάσταση

Η ακρίβεια του δέντρου αυτού είναι 96.67% και είναι ακριβώς ίση με την αρχική περίπτωση που είχαμε πάρει όλες τις μετρήσεις για την μόνιμη κατάσταση. Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ η ακρίβεια είναι ίδια, οι καταστάσεις που προβλέφθηκαν εσφαλμένα από το δέντρο είναι διαφορετικές. Συνεπώς, ο ισχυρισμός ότι τα δύο δέντρα ταυτίζονται είναι εσφαλμένος.

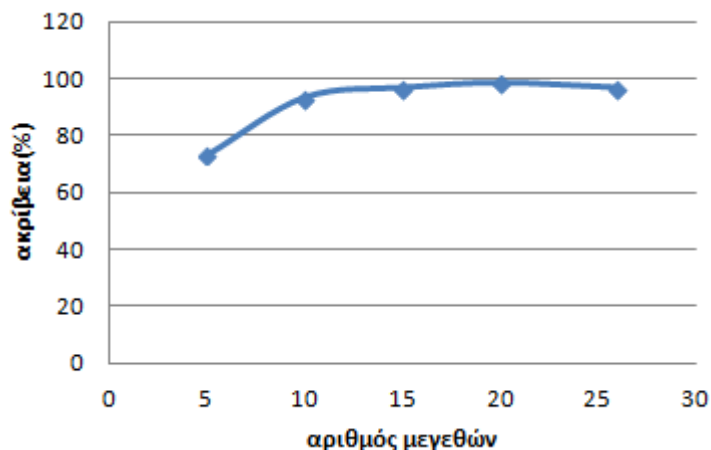
➤ Για τα 20 πρώτα μεγέθη:



Εικόνα 6.1.5 - δέντρο απόφασης για 20 μεγέθη στην μόνιμη κατάσταση

Η ακρίβεια του δέντρου αυτού είναι 98.33%, δηλαδή παρατηρείται αύξηση της ακρίβειας σε σχέση με την αρχική περίπτωση που είχαμε πάρει όλες τις μετρήσεις για την μόνιμη κατάσταση.

Τα αποτελέσματα της ακρίβειας σε σχέση με τον αριθμό των μεγεθών που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του δέντρου παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στο παρακάτω διάγραμμα.



Αρα παρατηρούμε ότι η ακρίβεια του δέντρου αλλάζει μόνο και μόνο από τον αριθμό των μεγεθών που το αποτελούν. Γενικά η μέγιστη ακρίβεια βρίσκεται για αριθμό μεγεθών λίγο μικρότερο από τον μέγιστο αριθμό αυτών. Αυτό γιατί έχουμε μεν αρκετές μετρήσεις ώστε να μπορεί το δέντρο να πάρει σωστές αποφάσεις αλλά δεν έχουμε υπερβολικά πολλές ώστε να γίνεται σύγχυση των κλάσεων.

6.1.2 Τα 10 καλύτερα μεγέθη μόνιμης κατάστασης

Θα ταξινομήσουμε τώρα τα μεγέθη με κριτήριο πόσο πολύ διαφέρουν οι τιμές που μετρώνται στο νησιδοποιημένο σύστημα από αυτές που μετρώνται στο μη νησιδοποιημένο σύστημα. Μεγάλη διαφορά της τιμής του μετρούμενου μεγέθους στην προσομοίωση μη νησιδοποίησης από αυτή της νησιδοποίησης καθιστά το μέγεθος καλό κριτήριο για την ανίχνευση του φαινομένου της νησιδοποίησης σε αντίθεση με τα μεγέθη που έχουν μικρές αποκλίσεις στις τιμές τους, οι οποίες μπορεί και να οφείλονται σε σφάλματα ή στην τυχαία διακύμανση του πλάτους της τρίτης αρμονικής που παράγει η ΔΠ. Η ταξινόμηση έγινε στο matlab με τον κώδικα `find_the_best_features` που γράφτηκε στα πλαίσια της παρούσης διπλωματική και παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράστημα Γ.

Τα 10 καλύτερα μεγέθη λαμβάνοντας υπ' όψη μόνο την μόνιμη κατάσταση είναι:

ΔP_{DG}

P_{DG}

ΔQ_{DG}

Q_{DG}

$\Delta \theta_{Vc}$

θ_{Vc}

θ_{Va}

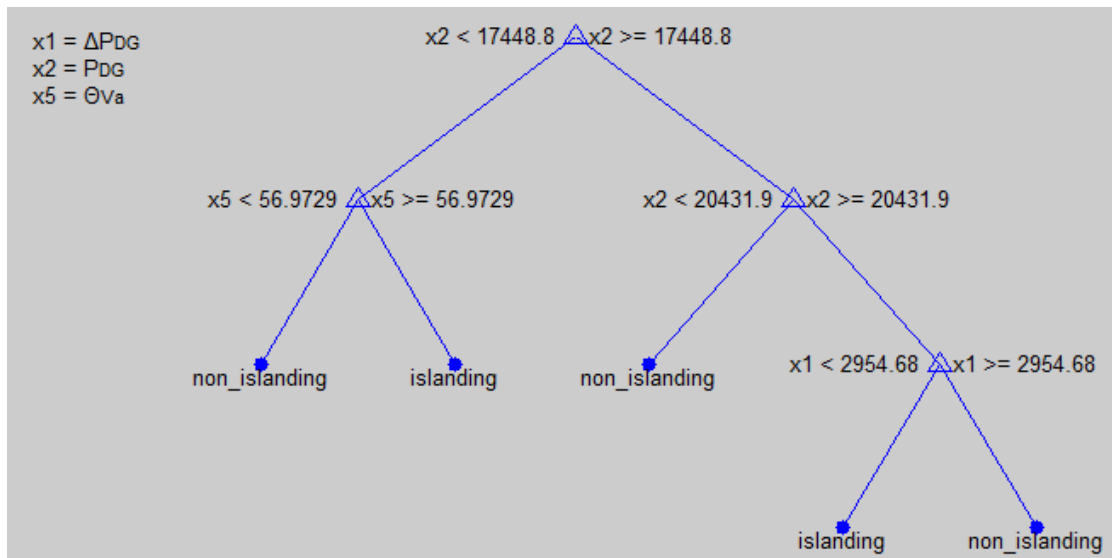
$\Delta \theta_{Va}$

$\Delta \theta_{Vb}$

θ_{Vb}

Για τα συγκεκριμένα μεγέθη και μόνο αυτά, κατασκευάστηκε το δέντρο που φαίνεται στην εικόνα 6.1.6. Η ακρίβειά του υπολογίστηκε κατά τα γνωστά ίση με 96.67%, δηλαδή ίση με την περίπτωση κατασκευής του δέντρου από όλα τα μεγέθη. Το αποτέλεσμα αυτό δίνει μια νέα προοπτική κατασκευής του δέντρου απόφασης του συστήματος 34 ζυγών, η οποία μπορεί να αποδειχθεί και ταχύτερη και λιγότερο δαπανηρή. Συγκεκριμένα, δεν χρειάζεται να μετρώνται όλα τα μεγέθη ενός συστήματος παρά μόνο τα 10 καλύτερα εξ αυτών. Η συγκεκριμένη πρόταση συνεπάγεται την εκ των προτέρων αξιολόγηση των μεγεθών, διαδικασία που αρκεί να γίνει μία μόνο φορά.

Στο σημείο αυτό τονίζεται ότι η κατασκευή δέντρου με τα 10 καλύτερα μεγέθη μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ακρίβειας όπως παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα 6.2. Η αύξηση αυτή δεν παρατηρήθηκε εδώ καθώς το ποσοστό ακρίβειας του εν λόγω δέντρου είναι ήδη αρκετά υψηλό και δύσκολα γίνεται υψηλότερο.



Εικόνα 6.1.6 – δέντρο απόφασης για τα 10 καλύτερα μεγέθη μόνιμης κατάστασης

6.1.3 Οι 10 καλύτερες παράμετροι μόνιμης και μεταβατικής κατάστασης

Οι 10 καλύτερες παράμετροι όπως βρέθηκαν προηγουμένως χωρίς να αφαιρεθούν οι αιχμές των μεγεθών είναι:

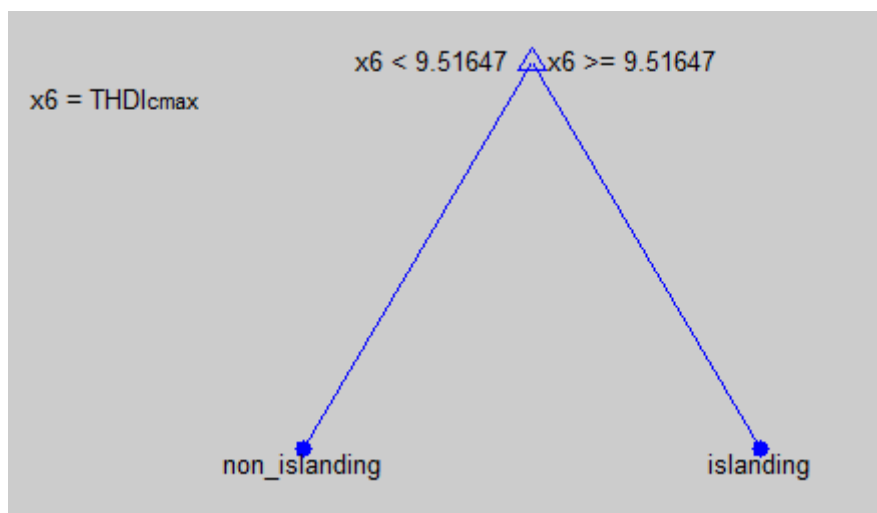
- ΔP_{DG}
- P_{DG}
- ΔQ_{DG}
- Q_{DG}
- Q_{DGmax}^7
- THD_{Icmax}
- THD_{Iamax}
- THD_{Ibmax}
- $\Delta \Theta_{Vc}$
- Θ_{Vc}

Για τις συγκεκριμένες παραμέτρους και μόνο αυτές, κατασκευάστηκε το δέντρο που φαίνεται στην εικόνα 6.1.7. Η ακρίβειά του υπολογίστηκε κατά τα γνωστά ίση με 100%.

Το συγκεκριμένο δέντρο απόφασης παρουσιάζει ενδιαφέρον αφενός για την απλότητα του (μόνο δύο κόμβοι) αφετέρου για το ποσοστό ακρίβειάς του 100%. Και τα δύο αυτά χαρακτηριστικά οφείλονται στο ότι η νησιδοποίηση γίνεται ορατή σε πολύ μεγάλο βαθμό στις αιχμές των μετρούμενων μεγεθών. Ακόμα και μεγέθη όπως η συχνότητα που η μεταβολή της τιμής τους στην μόνιμη κατάσταση είναι ελάχιστη, όταν ανοίγει ο διακόπτης και το σύστημα πρόκειται να βρεθεί σε κατάσταση νησιδοποίησης εμφανίζουν μια πολύ μεγάλη

⁷ Με max συμβολίζονται οι θετικές αιχμές των μεγεθών που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια της μεταβατικής κατάστασης. Αντίστοιχα με min συμβολίζονται οι αρνητικές αιχμές.

αιχμή στην μεταβατική κατάσταση σε σχέση με την αντίστοιχη αιχμή που εμφανίζεται όταν στο σύστημα εγχέονται αλλαγές με τον διακόπτη κλειστό. Συμπερασματικά, η ανίχνευση του φαινομένου μπορεί να γίνει με μεγάλη ακρίβεια μετρώντας τις τιμές των μεγεθών στην μεταβατική κατάσταση και μάλιστα δεν χρειάζεται καν η παρατήρηση πολλών μεγεθών καθώς η αιχμή ενός αρκεί για την ανίχνευση της νησιδοποίησης.



Εικόνα 6.1.7 – δέντρο απόφασης για τις 10 καλύτερες παραμέτρους μόνιμης και μεταβατικής κατάστασης

Για να μην θεωρηθεί λάθος η παραπάνω παρατήρηση καθώς θα μπορούσε κάλλιστα να ισχύει μόνο για την παράμετρο $THD_{I_{cmax}}$ ή να αποτελεί εσφαλμένη μέτρηση της παραμέτρου αυτής, έγινε επαλήθευση των αποτελεσμάτων διαγράφοντας την συγκεκριμένη παράμετρο από την βάση δεδομένων. Το ίδιο έγινε και για την $THD_{I_{cmax}}$ που πήρε την θέση της και η διαδικασία αυτή έγινε αρκετές φορές ώστε το συμπέρασμα να ισχύει για όλες τις αιχμές των μεγεθών.

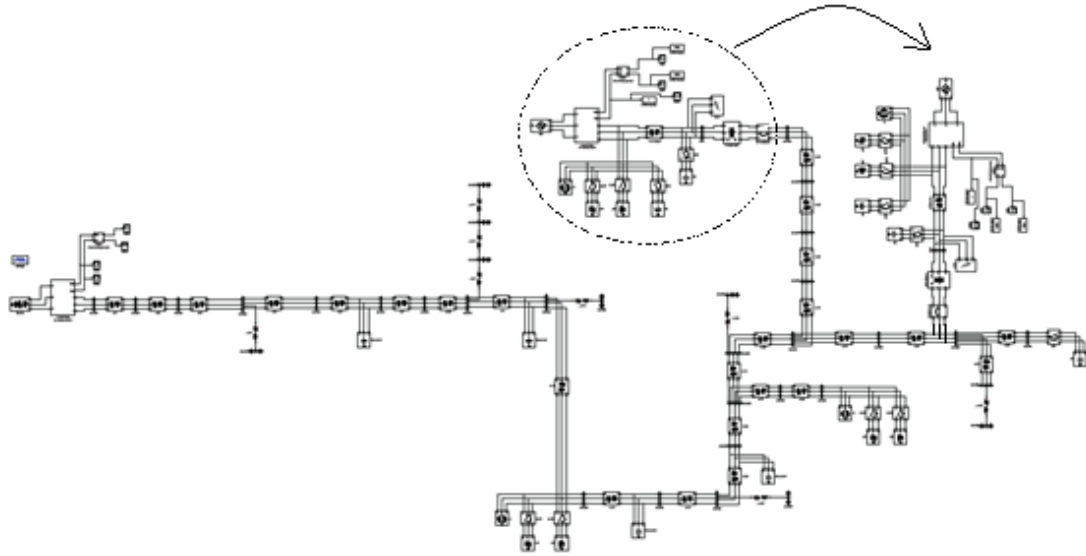
6.2 Αλλαγή θέσης του μικροδικτύου

Στην παρούσα ενότητα θα εξεταστεί η επίδραση της αλλαγής τοποθέτησης του μικροδικτύου στο σύστημα 34 ζυγών. Για το λόγο αυτό θα αποσυνδεθεί το μικροδίκτυο από τον ζυγό 848 που ήταν αρχικά συνδεδεμένο και θα συνδεθεί αρχικά στον ζυγό 836 και έπειτα στον 850. Η σύνδεση του μικροδικτύου με το σύστημα 34 ζυγών παραμένει η ίδια, δηλαδή μέσω ενός μετασχηματιστή και ενός διακόπτη. Επειδή το σύστημα χαρακτηρίζεται από μικρό λόγο X/R και επειδή τα φορτία παραμένουν σταθερά, οι αλλαγές της θέσης του μικροδικτύου δεν επηρεάζουν το ότι το έναντι δίκτυο πρόκειται για ασθενές δίκτυο.

Για την εξόρυξη γνώσης από τα δεδομένα θα ακολουθηθούν τα ίδια βήματα για να παρατηρηθούν ομοιότητες ή διαφορές.

6.2.1 Σύνδεση μικροδικτύου στον ζυγό 836

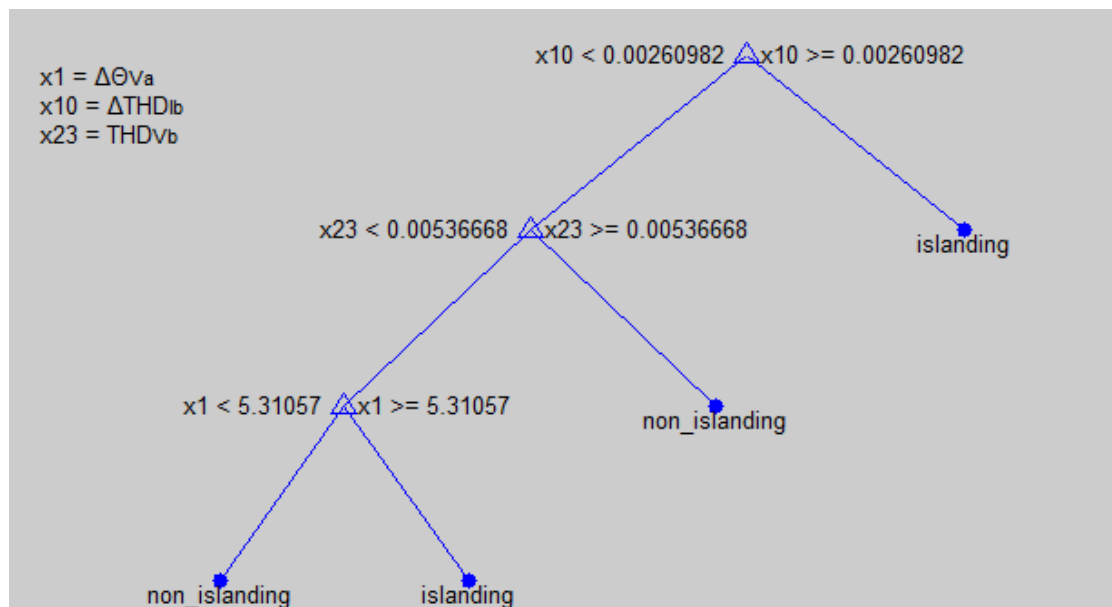
Κρατώντας το σύστημα 34 ζυγών αμετάβλητο το μικροδίκτυο μαζί με τον μετασχηματιστή και τον διακόπτη αποσυνδέθηκαν από τον ζυγό 848 και συνδέθηκαν στον ζυγό 836 όπως φαίνεται στην εικόνα 6.2.1.



Εικόνα 6.2.1 – αλλαγή μικροδικτύου από τον ζυγό 848 στον 836

Μόνιμη κατάσταση όλων των μεγεθών

Το δέντρο που σχηματίστηκε λαμβάνοντας υπόψη όλα τα μεγέθη είναι το εξής:



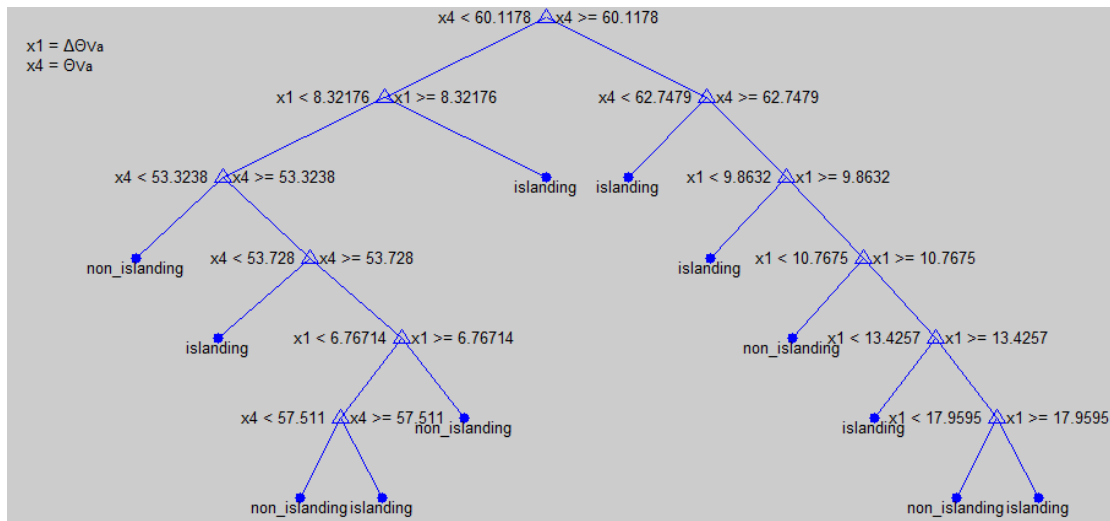
Εικόνα 6.2.2 – δέντρο απόφασης για όλα τα μεγέθη στην μόνιμη κατάσταση

Για την μόνιμη κατάσταση αυτής της περίπτωσης η ακρίβεια του δέντρου υπολογίστηκε ίση με 95% ενώ στην εικόνα 6.2.2 φαίνεται το δέντρο που δημιουργήθηκε για το σύνολο μάθησης.

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα έχει ενδιαφέρον να βρεθεί η σχέση που έχει ο αριθμός των μεγεθών που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του δέντρου με την ακρίβειά του. Παρακάτω θα παρουσιαστούν ορισμένα αποτελέσματα προς αυτή την κατεύθυνση όπως έγινε και στην προηγούμενη ενότητα.

Τα μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν είναι τυχαία και διατηρήθηκαν τα ίδια με προηγουμένως.

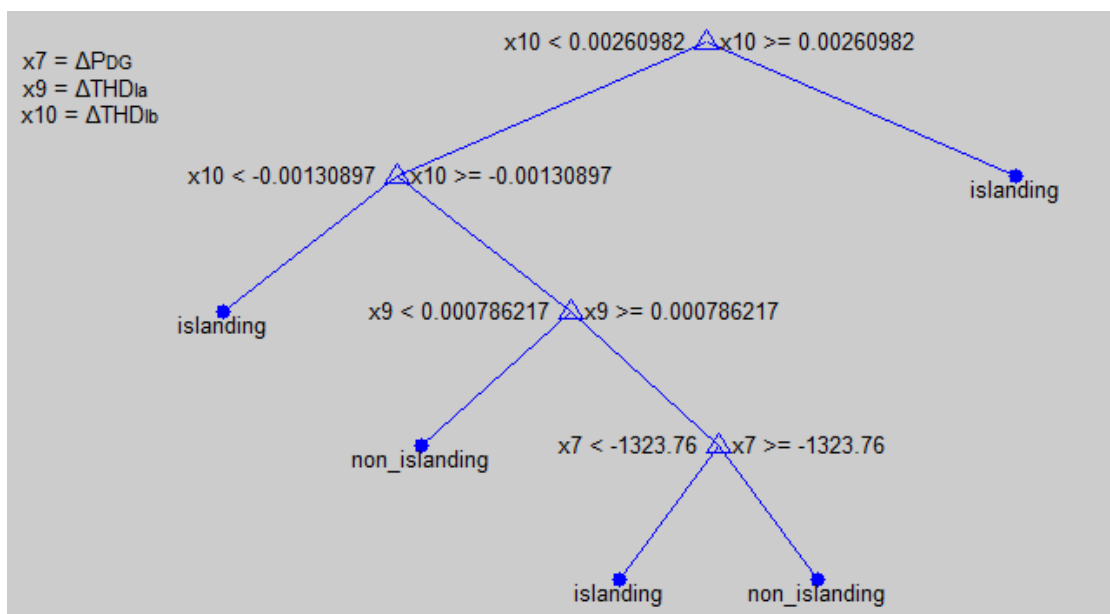
➤ Για τα 5 πρώτα μεγέθη:



Εικόνα 6.2.3 - δέντρο απόφασης για 5 μεγέθη στην μόνιμη κατάσταση

Η ακρίβεια του δέντρου υπολογίστηκε ίση με 73.33%

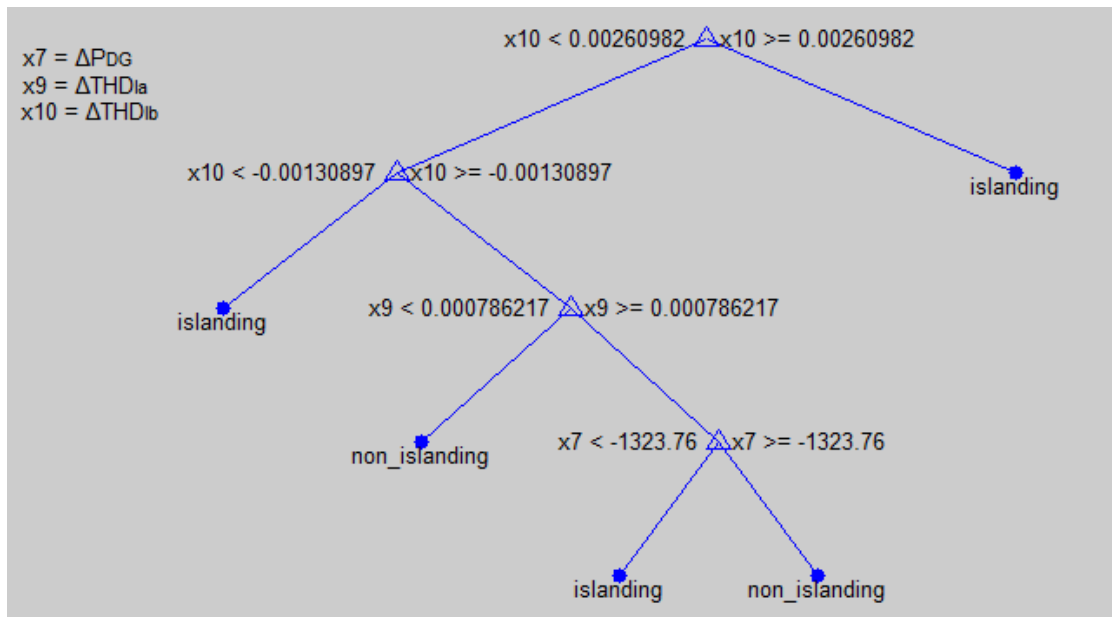
➤ Για τα 10 πρώτα μεγέθη:



Εικόνα 6.2.4 - δέντρο απόφασης για 10 μεγέθη στην μόνιμη κατάσταση

Η ακρίβεια του δέντρου υπολογίστηκε ίση με 96.67%

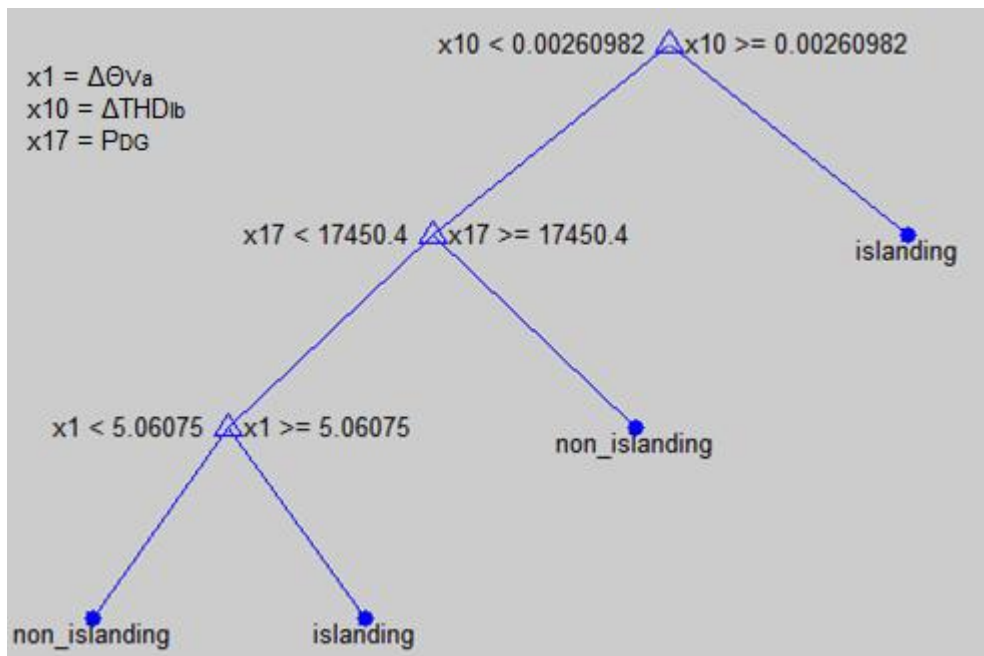
➤ Για τα 15 πρώτα μεγέθη:



Εικόνα 6.2.5 - δέντρο απόφασης για 15 μεγέθη στην μόνιμη κατάσταση

Η ακρίβεια του δέντρου υπολογίστηκε ίση με 96.67%

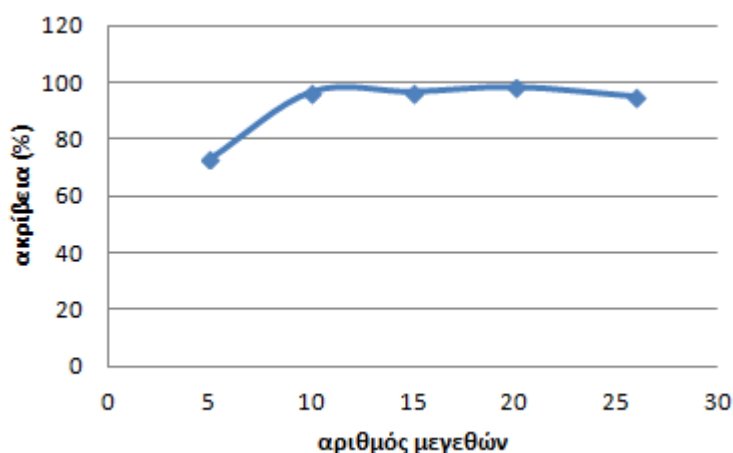
➤ Για τα 20 πρώτα μεγέθη:



Εικόνα 6.2.6 - δέντρο απόφασης για 20 μεγέθη στην μόνιμη κατάσταση

Η ακρίβεια του δέντρου υπολογίστηκε ίση με 98.33%

Τα αποτελέσματα τις ακρίβειας σε σχέση με τον αριθμό των μεγεθών που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του δέντρου παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στο παρακάτω διάγραμμα.



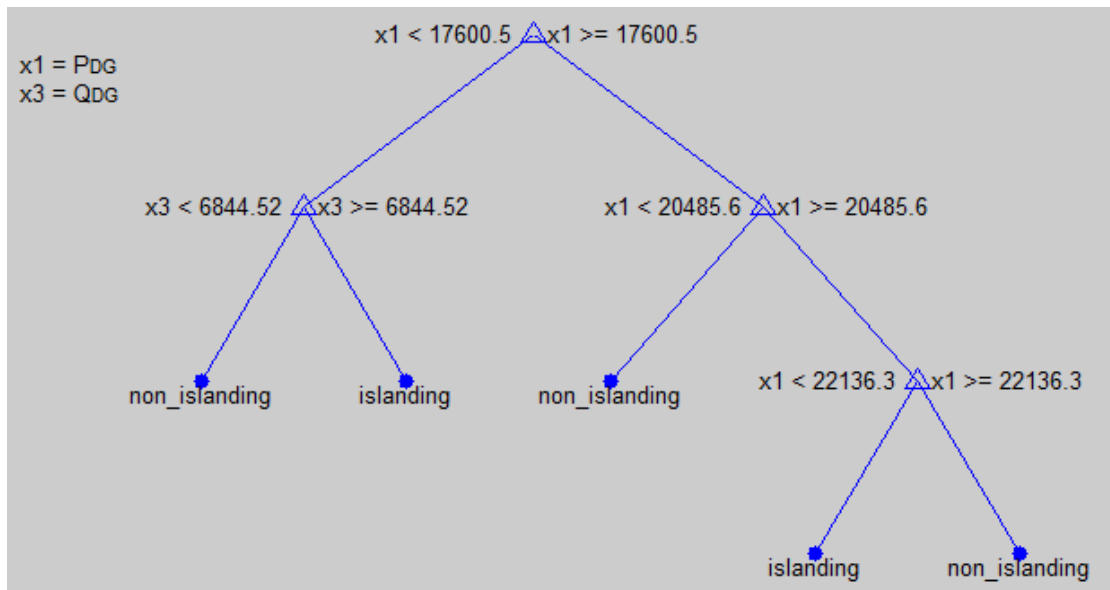
Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επαληθεύεται η πρόταση που αναπτύχθηκε στην προηγούμενη ενότητα ότι δηλαδή η ακρίβεια του δέντρου αλλάζει μόνο και μόνο από τον αριθμό των μεταβλητών που θα το αποτελούν και ότι η μέγιστη ακρίβεια βρίσκεται για αριθμό μεγεθών λίγο μικρότερο από τον μέγιστο αριθμό αυτών.

Τα 10 καλύτερα μεγέθη μόνιμης κατάστασης

Τα 10 καλύτερα μεγέθη για την μόνιμη κατάσταση υπολογισμένα με τον τρόπο που αναπτύχθηκε στην προηγούμενη ενότητα είναι:

- P_{DG}
- ΔP_{DG}
- Q_{DG}
- ΔQ_{DG}
- Θ_{Vc}
- $\Delta \Theta_{Vb}$
- $\Delta \Theta_{Vc}$
- Θ_{Vb}
- Θ_{Va}
- $\Delta \Theta_{Va}$

Παρατηρείται μια ομοιότητα γενικά με τα αντίστοιχα 10 καλύτερα μεγέθη της μόνιμης κατάστασης όταν το μικροδίκτυο είναι συνδεδεμένο στον ζυγό 848 χωρίς όμως να λείπουν και μικρές αλλαγές κυρίως στην σειρά που παρουσιάζονται τα μεγέθη. Παρ' όλα αυτά το δέντρο που αναπτύσσεται είναι τελείως διαφορετικό από το αντίστοιχο της προηγούμενης ενότητας και φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 6.2.7.



Εικόνα 6.2.7 - δέντρο απόφασης για τα 10 καλύτερα μεγέθη μόνιμης κατάστασης

Η ακρίβεια του δέντρου υπολογίστηκε ίση με 96.67%. Συνεπώς παρατηρείται μια μικρή αύξηση της ακρίβειας σε σχέση με αυτή της περίπτωσης που η κατασκευή του δέντρου έγινε λαμβάνοντας υπόψη όλα τα μεγέθη της μόνιμης κατάστασης (95%), αναφερόμενοι φυσικά στην διασύνδεση του μικροδικτύου στον ζυγό 836.

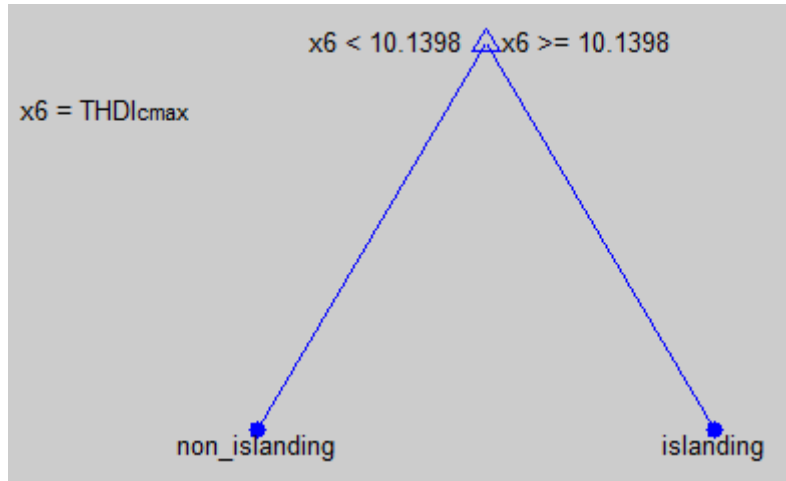
Οι 10 καλύτερες παράμετροι μόνιμης και μεταβατικής κατάστασης

Οι 10 καλύτερες παράμετροι όπως βρέθηκαν προηγουμένως χωρίς να αφαιρεθούν οι αιχμές των μεγεθών είναι:

- P_{DG}
- ΔP_{DG}
- Q_{DG}
- ΔQ_{DG}
- Q_{DGmax}
- THD_{Icmax}
- THD_{Iamax}
- THD_{Ibmax}
- Θ_{Vc}
- $\Delta\Theta_{Vb}$

Και εδώ παρατηρείται μια ομοιότητα γενικά με τις αντίστοιχες 10 καλύτερες παραμέτρους μόνιμης και μεταβατικής κατάστασης όταν το μικροδίκτυο είναι συνδεδεμένο στον ζυγό 848 χωρίς όμως να λείπουν και μικρές αλλαγές.

Το δέντρο που δημιουργήθηκε για το σύνολο μάθησης απεικονίζεται στη παρακάτω εικόνα 6.2.8.

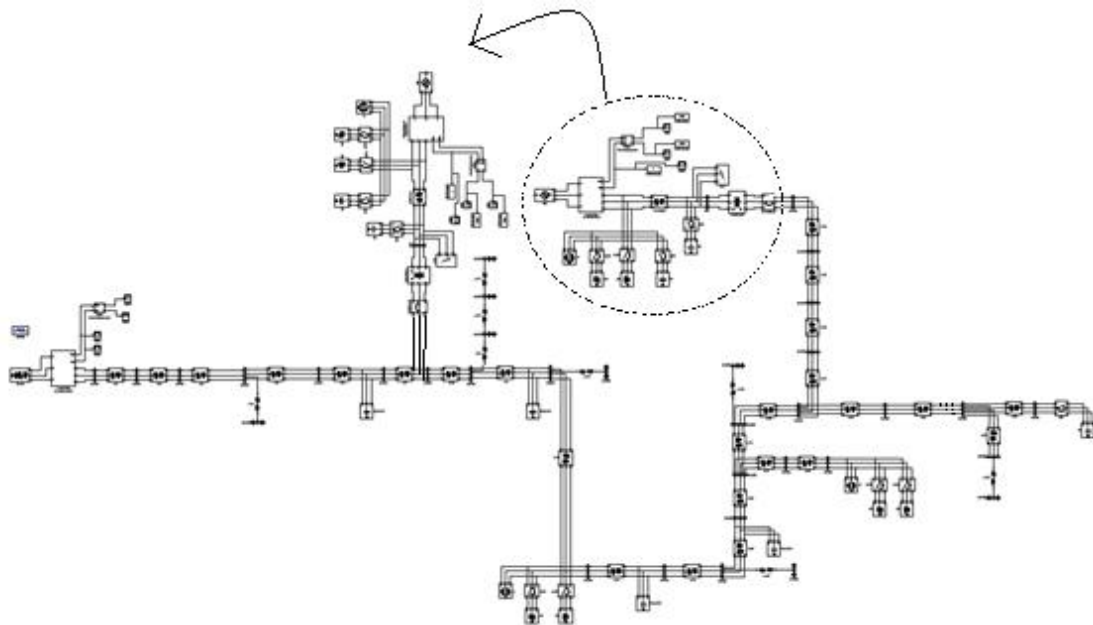


Εικόνα 6.2.8 – δέντρο απόφασης για τις 10 καλύτερες παραμέτρους μόνιμης και μεταβατικής κατάστασης

Η ακρίβεια του δέντρου είναι 100% και είναι αναμενόμενη όπως εξηγήθηκε στην προηγούμενη ενότητα.

6.2.2 Σύνδεση μικροδικτύου στον ζυγό 850

Κρατώντας το σύστημα 34 ζυγών αμετάβλητο το μικροδίκτυο μαζί με τον μετασχηματιστή και τον διακόπτη αποσυνδέθηκαν από τον ζυγό 848 και συνδέθηκαν στον ζυγό 850 όπως φαίνεται στην εικόνα 6.2.9.

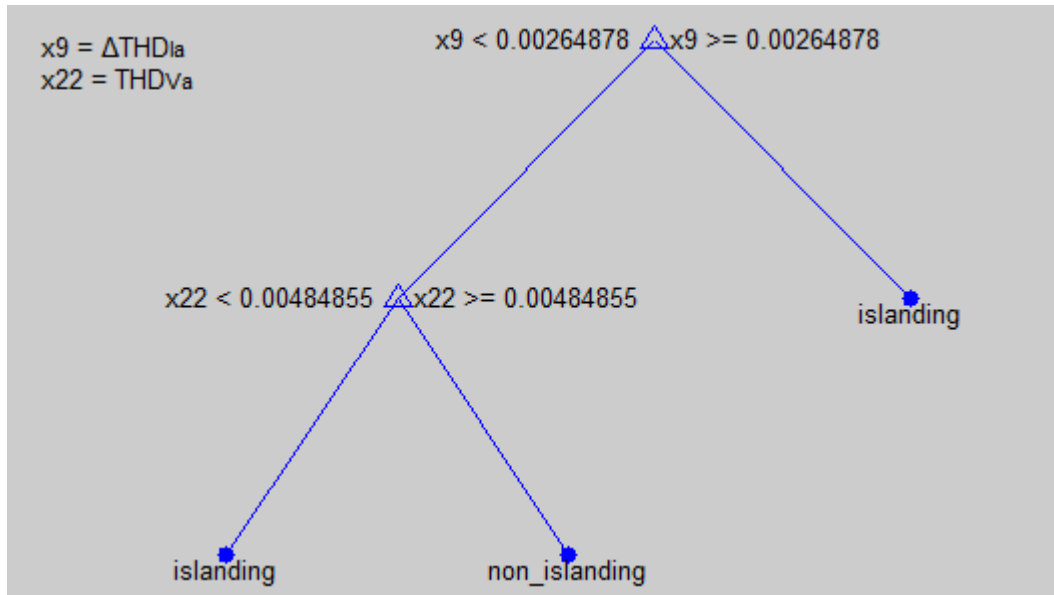


Εικόνα 6.2.9 - αλλαγή μικροδικτύου από τον ζυγό 848 στον 850

Σε αυτή την περίπτωση ενδιαφέρον παρουσιάζει η ακρίβεια του δέντρου απόφασης στην μόνιμη κατάσταση όλων των μεγεθών, καθώς είναι μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες που έχουν βρεθεί μέχρι τώρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

Μόνιμη κατάσταση όλων των μεγεθών

Το δέντρο που σχηματίστηκε λαμβάνοντας υπόψη όλα τα μεγέθη παρουσιάζεται παρακάτω στην εικόνα 6.2.10.



Εικόνα 6.2.10 – δέντρο απόφασης για όλα τα μεγέθη στην μόνιμη κατάσταση

Ήδη εύκολα μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το συγκεκριμένο δέντρο είναι αρκετά απλούστερο σχετικά με τον αριθμό κόμβων από τα αντίστοιχα των προηγούμενων περιπτώσεων. Υπολογίζοντας και την ακρίβεια του (98.33%) διαπιστώνεται ότι είναι και αυτή ελαφρώς καλύτερη από τις προηγούμενες περιπτώσεις.

Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι όσο πιο κοντά συνδέεται το μικροδίκτυο στην πηγή ισχύος του έναντι δικτύου, τόσο ευκολότερη είναι η ανίχνευση της νησιδοποίησης. Αυτό εξηγείται γιατί οι αλλαγές στις τιμές των περισσότερων παραμέτρων των μετρούμενων μεγεθών είναι μεγαλύτερες όταν η θέση του μικροδικτύου είναι κοντά στην κεντρική πηγή.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα δεν θα γίνει προσπάθεια βελτίωσης της ακρίβειας του δέντρου μεταβάλλοντας τον αριθμό των μετρούμενων μεγεθών που αποτελούν το δέντρο καθώς είναι ήδη σε πολύ υψηλά επίπεδα.

Τέλος, η προσέγγιση του δέντρου για τις περιπτώσεις α) των 10 καλύτερων μεγεθών μόνιμης κατάστασης και β) των 10 καλύτερων παραμέτρων μόνιμης και μεταβατικής κατάστασης, δίνουν ακρίβεια 100% όπως ήταν αναμενόμενο χωρίς να αποτελούν σημαντικό λόγο αναλυτικότερης προσέγγισης στο παρόν σημείο.

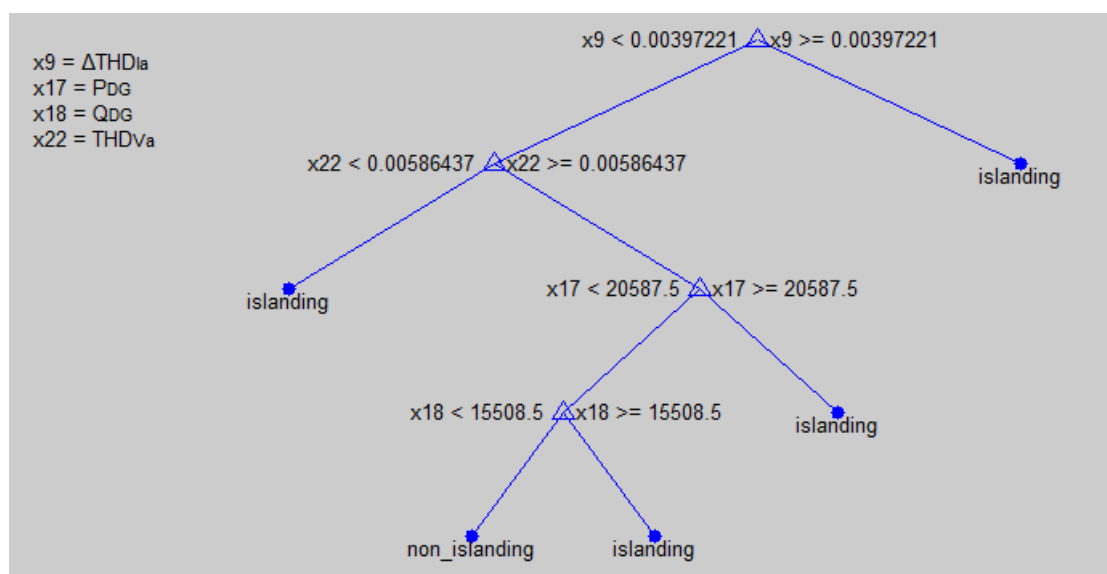
6.3 Μείωση του χρόνου ανίχνευσης της νησιδοποίησης

Η μέχρι τώρα ζώνη που θεωρήθηκε σαν μεταβατική κατάσταση ήταν από το πρώτο δευτερόλεπτο μετά την εκκίνηση της προσομοίωσης μέχρι το 1.8 δευτερόλεπτο. Σε αυτό το χρονικό διάστημα μετρήθηκαν οι αιχμές των μεγεθών, ενώ οι μόνιμες καταστάσεις ήταν πριν και μετά το εν λόγω διάστημα. Οι τιμές της μόνιμης κατάστασης πριν το πρώτο δευτερόλεπτο (όπου συμβαίνει η νησιδοποίηση ή η έγχυση διαταραχών στο σύστημα) μετρήθηκαν στο χρονικό διάστημα 0.7-1 sec, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για μετά, στο διάστημα 1.8-2 sec. Άρα συνολικά χρειάζεται 1 δευτερόλεπτο για την συλλογή δεδομένων για τα μετρούμενα μεγέθη (ο χρόνος που χρειάστηκε για να μετρηθεί η μόνιμη κατάσταση πριν το πρώτο δευτερόλεπτο δεν λαμβάνεται υπόψη καθώς τέτοιος χρόνος δεν απαιτείται στην πραγματικότητα παρά μόνο στην προσομοίωση στο simulink). Μάλιστα αν υπολογιστεί ο χρόνος επεξεργασίας των δεδομένων μπορεί ο συνολικός χρόνος ανίχνευσης της νησιδοποίησης να ξεπεράσει τα 2 δευτερόλεπτα όπου είναι το επιτρεπτό όριο με βάση το IEEE standard 519 [13].

Προκειμένου να μειωθεί ο χρόνος ανίχνευσης του φαινομένου της νησιδοποίησης θα μειώσουμε τον χρόνο που γίνονται οι μετρήσεις στο μεταβατικό διάστημα στα 0.3sec. Δηλαδή τα διαστήματα που θα γίνονται πλέον οι μετρήσεις θα είναι α)0.7-1sec, β)1-1.3sec και γ) 1.3-1.6sec. Άρα συνολικά 0.6 δευτερόλεπτα (μείωση κατά 0.4 δευτερόλεπτα) για τον λόγο που αναφέρθηκε νωρίτερα. Η αλλαγή αυτή θα επιφέρει μείωση της ακρίβειας των παραγόμενων δέντρων όσον αφορά την παραγωγή δέντρων με μεγέθη της μόνιμης κατάστασης καθώς το σύστημα δεν βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση στο διάστημα 1.3-1.6sec. Όμως επειδή οι αιχμές δεν επηρεάζονται από την μείωση του διαστήματος μεταβατικής κατάστασης το δέντρο που παράγεται από αυτές θεωρείται αρκετά αξιόπιστο.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα εξαγόμενα δέντρα και συμπεράσματα εφαρμόζοντας το παραπάνω σκεπτικό.

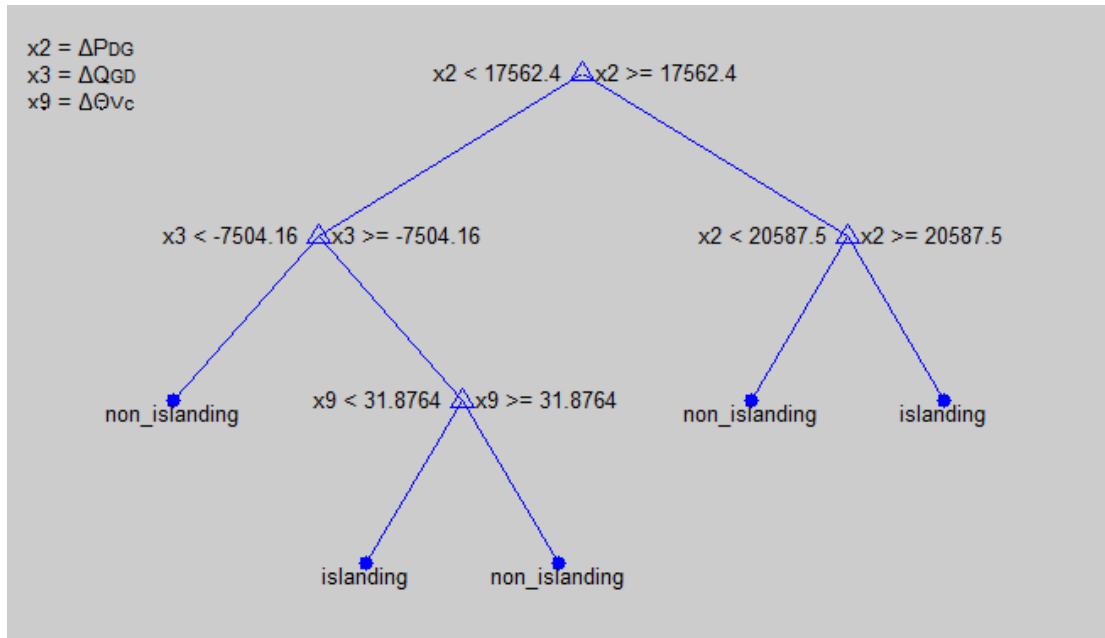
Μόνιμη κατάσταση όλων των μεγεθών



Εικόνα 6.3.1 – δέντρο απόφασης για όλα τα μεγέθη στην μόνιμη κατάσταση

Η ακρίβεια του συγκεκριμένου δέντρου είναι 68.33% και είναι εμφανώς μικρότερη από τις αντίστοιχες περιπτώσεις που μελετήθηκαν νωρίτερα.

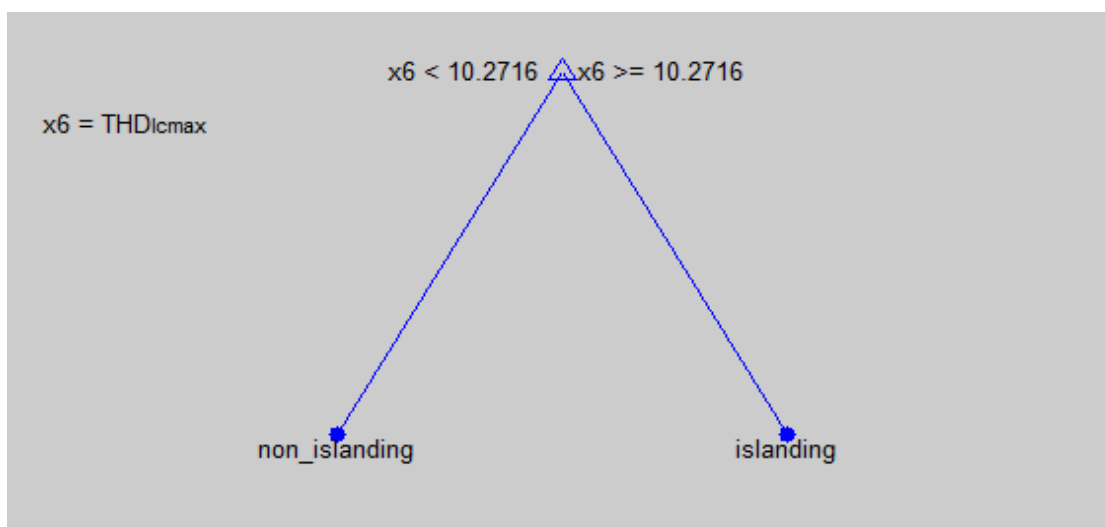
Τα 10 καλύτερα μεγέθη μόνιμης κατάστασης



Εικόνα 6.3.2 - δέντρο απόφασης για τα 10 καλύτερα μεγέθη μόνιμης κατάστασης

Και σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται μειωμένη ακρίβεια (78.33%) σε σχέση με τις αντίστοιχες περιπτώσεις που μελετήθηκαν νωρίτερα ενώ παράλληλα επιβεβαιώνεται μια ακόμα φορά η πρόταση ότι η ακρίβεια αυξάνεται όταν το δέντρο υλοποιείται από τα 10 καλύτερα μεγέθη της μόνιμης κατάστασης.

Οι 10 καλύτερες παράμετροι μόνιμης και μεταβατικής κατάστασης



Εικόνα 6.3.3 - δέντρο απόφασης για τις 10 καλύτερες παραμέτρους μόνιμης και μεταβατικής κατάστασης

Σε αυτή την περίπτωση η ακρίβεια του δέντρου παραμένει 100%. Το αποτέλεσμα αυτό μας οδηγεί στην επαλήθευση της υπόθεσης που έγινε στην αρχή της ενότητας αυτής ότι δηλαδή η μέτρηση των αιχμών των μετρούμενων μεγεθών είναι παράμετρος που μπορεί να αποβεί καθοριστική στην μείωση του χρόνου ανίχνευσης της νησιδοποίησης και μάλιστα όχι εις βάρος της ακρίβειας του δέντρου.

6.4 Συμπεράσματα

- Ο αριθμός των μεγεθών που αποτελούν το σύνολο μάθησης ενός δέντρου απόφασης μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια του δέντρου στην κατηγοριοποίηση των κλάσεων του. Η μέγιστη ακρίβεια δεν βρίσκεται χρησιμοποιώντας τον μέγιστο αριθμό των διαθέσιμων μεγεθών αλλά χρησιμοποιώντας ελαφρώς λιγότερα μεγέθη.
- Η ακρίβεια του δέντρου αυξάνεται όταν για σύνολο μάθησης χρησιμοποιηθούν τα 10 καλύτερα μεγέθη. Προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι η εκ των προτέρων ταξινόμηση των μετρούμενων μεγεθών ώστε να βρεθούν τα 10 καλύτερα εξ αυτών.
- Η ακρίβεια του δέντρου αγγίζει το 100% όταν για την κατασκευή του χρησιμοποιηθούν οι παράμετροι των μεγεθών σχετικές με τις αιχμές.
- Η θέση του μικροδικτύου επηρεάζει άμεσα την ακρίβεια των δέντρων καθώς όσο πιο κοντά είναι στην πηγή του έναντι δικτύου τόσο αυτή γίνεται μεγαλύτερη.
- Η μέτρηση των αιχμών των μεγεθών είναι σημαντική καθώς αποτελεί τον βασικότερο παράγοντα μείωσης του χρόνου ανίχνευσης της νησιδοποίησης και μάλιστα όχι εις βάρος της ακρίβειας του δέντρου.

ΜΕΡΟΣ ΙΙΙ

Παραρτήματα

Παράρτημα Α

Κώδικες Matlab για προετοιμασία πριν την προσομοίωση

short_circuit

```
% **το script αυτό υπολογίζει το ρεύμα βραχυκύκλωσης και βρίσκει**
% **τη μέγιστη τιμή των αρμονικών και το SCR**

P = [40000 20000 50000];
Q = [32000 16000 40000];
C = [15000 12000 10000];
add_remove_capacitors = 0;
time_of_changing_loads = 1;
breaker = 2;
fault = 0.5;
harmonic = 0; %no harmonics

parameter_selection
sim('ieee34bus')

clear bus800V bus802V bus806V bus808V bus810V bus812V bus814V
clear bus816V bus818V bus820V bus822V bus824V bus826V bus828V
clear bus830V bus832V bus834V bus836V bus838V bus840V bus842V
clear bus844V bus846V bus848V bus850V bus852V bus854V bus856V
clear bus858V bus860V bus862V bus864V bus888V bus890V busPCCV
clear deg degV PDG QDG THDI THDV V Vt w tout
clear harmonic fault breaker extreme P1 P2 P3 P4 Q1 Q2 Q3 Q4 P Q
clear C C1 C2 C3 add_remove_capacitors time_of_changing_loads

%I1DG , I2DG , I3DG
IDG = IDG.signals.values;

temp1 = size(IDG);
temp0 = temp1;
temp1 = temp1(1);
temp1 = temp1 / 4;

temp2 = temp1 * 0.1;
temp3 = temp1 * 0.1;

temp1 = round(temp1);
temp2 = round(temp2);
temp3 = round(temp3);

I1DG = IDG(1:temp0,1);
I2DG = IDG(1:temp0,2);
I3DG = IDG(1:temp0,3);

x1 = I1DG(temp1 - temp2 : temp1); %I1 from 0.4 to 0.5 sec
x2 = I1DG(temp1 : temp1 + temp3); %I1 from 0.5 to 0.6 sec
```

```

y1 = I2DG(temp1 - temp2 : temp1); %I2 from 0.4 to 0.5 sec
y2 = I2DG(temp1 : temp1 + temp3); %I2 from 0.5 to 1.6 sec

z1 = I3DG(temp1 - temp2 : temp1); %I3 from 0.4 to 0.5 sec
z2 = I3DG(temp1 : temp1 + temp3); %I3 from 0.5 to 1.6 sec

% IDG = (peak + peak ) / 2

I1DGamax(1,1) = max(x1);
I1DGamin(1,1) = min(x1);
I1DGL = ( abs(I1DGamax(1,1)) + abs(I1DGamin(1,1)) ) / 2;
clear I1DGamax I1DGamin

I1DGbmax(1,1) = max(x2);
I1DGbmin(1,1) = min(x2);
I1DGsc = ( abs(I1DGbmax(1,1)) + abs(I1DGbmin(1,1)) ) / 2;
clear I1DGbmax I1DGbmin

I2DGamax(1,1) = max(y1);
I2DGamin(1,1) = min(y1);
I2DGL = ( abs(I2DGamax(1,1)) + abs(I2DGamin(1,1)) ) / 2;
clear I2DGamax I2DGamin

I2DGbmax(1,1) = max(y2);
I2DGbmin(1,1) = min(y2);
I2DGsc = ( abs(I2DGbmax(1,1)) + abs(I2DGbmin(1,1)) ) / 2;
clear I2DGbmax I2DGbmin

I3DGamax(1,1) = max(z1);
I3DGamin(1,1) = min(z1);
I3DGL = ( abs(I3DGamax(1,1)) + abs(I3DGamin(1,1)) ) / 2;
clear I3DGamax I3DGamin

I3DGbmax(1,1) = max(z2);
I3DGbmin(1,1) = min(z2);
I3DGsc = ( abs(I3DGbmax(1,1)) + abs(I3DGbmin(1,1)) ) / 2;
clear I3DGbmax I3DGbmin

clear temp1 temp2 temp3 temp0 I1DG I2DG I3DG IDG j
clear x1 x2 x3 y1 y2 y3 z1 z2 z3

I1DG = I1DGsc / I1DGL;
I2DG = I2DGsc / I2DGL;
I3DG = I3DGsc / I3DGL;

% αν I1 I2 I3 μικρότερα από 20 τότε βρισκόμαστε στην πρώτη σειρά
% του πίνακα που βρίσκουμε τις αρμονικές

%I1 , I2 , I3
I = I.signals.values;

temp1 = size(I);
temp0 = temp1;
temp1 = temp1(1);
temp1 = temp1 / 4;

```



```

temp2 = temp1 * 0.1;
temp3 = temp1 * 0.1;

temp1 = round(temp1);
temp2 = round(temp2);
temp3 = round(temp3);

I1 = I(1:temp0,1);
I2 = I(1:temp0,2);
I3 = I(1:temp0,3);

x1 = I1(temp1 - temp2 : temp1); %I1 from 0.4 to 0.5 sec
x2 = I1(temp1 : temp1 + temp3); %I1 from 0.5 to 0.6 sec

y1 = I2(temp1 - temp2 : temp1); %I2 from 0.4 to 0.5 sec
y2 = I2(temp1 : temp1 + temp3); %I2 from 0.5 to 1.6 sec

z1 = I3(temp1 - temp2 : temp1); %I3 from 0.4 to 0.5 sec
z2 = I3(temp1 : temp1 + temp3); %I3 from 0.5 to 1.6 sec

% I = (peak + peak ) / 2

I1amax(1,1) = max(x1);
I1amin(1,1) = min(x1);
I1L = ( abs(I1amax(1,1)) + abs(I1amin(1,1)) ) / 2;
clear I1amax I1amin

I1bmax(1,1) = max(x2);
I1bmin(1,1) = min(x2);
I1sc = ( abs(I1bmax(1,1)) + abs(I1bmin(1,1)) ) / 2;
clear I1bmax I1bmin

I2amax(1,1) = max(y1);
I2amin(1,1) = min(y1);
I2L = ( abs(I2amax(1,1)) + abs(I2amin(1,1)) ) / 2;
clear I2amax I2amin

I2bmax(1,1) = max(y2);
I2bmin(1,1) = min(y2);
I2sc = ( abs(I2bmax(1,1)) + abs(I2bmin(1,1)) ) / 2;
clear I2bmax I2bmin

I3amax(1,1) = max(z1);
I3amin(1,1) = min(z1);
I3L = ( abs(I3amax(1,1)) + abs(I3amin(1,1)) ) / 2;
clear I3amax I3amin

I3bmax(1,1) = max(z2);
I3bmin(1,1) = min(z2);
I3sc = ( abs(I3bmax(1,1)) + abs(I3bmin(1,1)) ) / 2;
clear I3bmax I3bmin

clear temp1 temp2 temp3 temp0 I1 I2 I3 I j
clear x1 x2 x3 y1 y2 y3 z1 z2 z3

I1 = I1sc / I1L;
I2 = I2sc / I2L;
I3 = I3sc / I3L;

```

```

SSR1 = I1 / I1DG;
SSR2 = I2 / I2DG;
SSR3 = I3 / I3DG;

SSR = (SSR1 + SSR2 + SSR3) / 3

```

active_power_changes

```

% **this script calculates all the possible scenarios for active **
% **power changing **

Prated = [40000 20000 50000];%Prated = [P1 P2 P3] -rated active power

x = 0;

for l1 = 1 : 3
    temp11 = Prated(1);
    if l1 == 1
        aa2 %το aa2 καλεί το aa3, και τα 3 script ακολουθούν τον ίδιο
            %αλγόριθμο που υλοποιείται στο παρόν script και όλα μαζί
            %υπολογίζουν όλα τα πιθανά σενάρια active power changing.
    end
    if l1 == 2
        Prated(1) = Prated(1) + Prated(1) * 0.25;
        aa2
        Prated(1) = temp11;
    end
    if l1 == 3
        Prated(1) = Prated(1) - Prated(1) * 0.25;
        aa2
        Prated(1) = temp11;
    end
end

%αφαιρώ την πρώτη γραμμή του πίνακα γιατί είναι το rated active power
for j = 1 : 26
    koon(j,1:3) = active_power_cases(j+1,1:3);
end
clear active_power_cases
active_power_cases = koon;
clear koon j

%αναδιατάσσω τυχαία τις σειρές του πίνακα active_power_cases για να
%είναι τυχαίες οι περιπτώσεις που θα μπουν στο δέντρο.
for j = 1 : 26
    temp1 = round(rand * 26);
    if temp1 == 0
        temp1 = round(rand * 26);
    end
    temp(1,1:3) = active_power_cases(j,1:3);
    active_power_cases(j,1:3) = active_power_cases(temp1,1:3);
    active_power_cases(temp1,1:3) = temp(1,1:3);
end

clear j temp temp1

```

```
clear x
clear Prated l1 l2 l3
clear templ1 templ2 templ3
```

aa2

```
for l2 = 1 : 3
    templ2 = Prated(2);
    if l2 == 1
        aa3
    end
    if l2 == 2
        Prated(2) = Prated(2) + Prated(2) * 0.25;
        aa3
        Prated(2) = templ2;
    end
    if l2 == 3
        Prated(2) = Prated(2) - Prated(2) * 0.25;
        aa3
        Prated(2) = templ2;
    end
end
end
```

aa3

```
for l3 = 1 : 3
    templ3 = Prated(3);
    if l3 == 1
        x = x + 1;
        active_power_cases(x,1:3) = Prated;
    end
    if l3 == 2
        Prated(3) = Prated(3) + Prated(3) * 0.25;
        x = x + 1;
        active_power_cases(x,1:3) = Prated;
        Prated(3) = templ3;
    end
    if l3 == 3
        Prated(3) = Prated(3) - Prated(3) * 0.25;
        x = x + 1;
        active_power_cases(x,1:3) = Prated;
        Prated(3) = templ3;
    end
end
end
```

reactive_power_changes

Ο κώδικας εδώ είναι ακριβώς ίδιος με τον κώδικα του active_power_changes με τις εξής διαφορές: αντί για Prated = [40000 20000 50000] έχουμε Qrated = [32000 16000 40000], αντί για aa2 και aa3 έχουμε rr2 και rr3 και φυσικά αλλάζει και το όνομα του πίνακα που αποθηκεύονται οι τιμές της αέργου ισχύος.

capacitor_switching

```
% **this script calculates all the possible scenarios for capacitor**
% **switching**

C = [15000 12000 10000];
C1 = C(1);
C2 = C(2);
C3 = C(3);

x = 0;

for c1 = 1 : 5
    tempc1 = C(1);
    if c1 == 1
        cc2 %το cc2 καλεί το cc3. Και τα 2 script ακολουθούν τον ίδιο
            %αλγόριθμο που υλοποιείται στο παρόν script και όλα μαζί
            %υπολογίζουν όλα τα πιθανά σενάρια capacitor switching.
    end
    if c1 == 2
        C(1) = C(1) + C(1) * 0.25;
        cc2
        C(1) = tempc1;
    end
    if c1 == 3
        C(1) = C(1) - C(1) * 0.25;
        cc2
        C(1) = tempc1;
    end
    if c1 == 4
        C(1) = C(1) + C(1) * 0.5;
        cc2
        C(1) = tempc1;
    end
end

%αναδιατάσσω τυχαία τις σειρές του πίνακα capacitor_cases για να
%είναι τυχαίες οι περιπτώσεις που θα μπουν στο δέντρο.
for j = 1 : 64
    temp1 = round(rand * 64);
    if temp1 == 0
        temp1 = round(rand * 64);
    end
    temp(1,1:3) = capacitor_cases(j,1:3);
    capacitor_cases(j,1:3) = capacitor_cases(temp1,1:3);
    capacitor_cases(temp1,1:3) = temp(1,1:3);
end

clear j temp temp1
clear x
clear C C1 C2 C3 c1 c2 c3 tempc1 tempc2 tempc3

cc2

for c2 = 1 : 5
    tempc2 = C(2);
    if c2 == 1
        cc3
```

```

end
if c2 == 2
    C(2) = C(2) + C(2) * 0.25;
    cc3
    C(2) = tempc2;
end
if c2 == 3
    C(2) = C(2) - C(2) * 0.25;
    cc3
    C(2) = tempc2;
end
if c2 == 4
    C(2) = C(2) + C(2) * 0.5;
    cc3
    C(2) = tempc2;
end
end
end

```

cc3

```

for c3 = 1 : 5
    tempc3 = C(3);
    if c3 == 1
        x = x + 1;
        capacitor_cases(x,1:3) = C;
    end
    if c3 == 2
        C(3) = C(3) + C(3) * 0.25;
        x = x + 1;
        capacitor_cases(x,1:3) = C;
        C(3) = tempc3;
    end
    if c3 == 3
        C(3) = C(3) - C(3) * 0.25;
        x = x + 1;
        capacitor_cases(x,1:3) = C;
        C(3) = tempc3;
    end
    if c3 == 4
        C(3) = C(3) + C(3) * 0.5;
        x = x + 1;
        capacitor_cases(x,1:3) = C;
        C(3) = tempc3;
    end
end
end
end

```

parameter_selection

```

% **this script sets the block parameters at ieee34bus before simulation**

% Utility Breaker
if breaker == 1 %islanding
    set_param('ieee34bus/Utility Breaker','SwitchTimes',[1])
elseif breaker == 2 %non islanding
    set_param('ieee34bus/Utility Breaker','SwitchTimes',[2])
else

```

```

        display('ERROR : No breaker value')
        pause
    end

% Harmonic
if harmonic == 0
    set_param('ieee34bus/DG','HarmonicA','[3 4*rand/100 0 0]')
elseif harmonic == 1
    set_param('ieee34bus/DG','HarmonicA','[3 4*rand/100 0 1]')
elseif harmonic == 2
    set_param('ieee34bus/DG','HarmonicA','[3 4*rand/100 0 2]')
else
    display('ERROR : No harmonic value')
    pause
end

% Fault
if fault == 0.5
    set_param('ieee34bus/Fault','SwitchTimes','[0.5]')
else
    set_param('ieee34bus/Fault','SwitchTimes','[3]') %δεν θα γίνει
    ποτέ Fault
end

% P & Q
P1 = P(1);
P2 = P(2);
P3 = P(3);
Q1 = Q(1);
Q2 = Q(2);
Q3 = Q(3);
if time_of_changing_loads == 0 %από άλλη αρχική κατάσταση σε rated
load
    if P1 == 40000
        set_param('ieee34bus/L1','ActivePower',[' num2str(P1) '])
        set_param('ieee34bus/BL1R','InitialState','open')
        set_param('ieee34bus/BL1R','SwitchTimes','[2]')
    elseif P1 > 40000
        temp = P1 - 40000;
        set_param('ieee34bus/L1','ActivePower',['num2str(temp) '])
        set_param('ieee34bus/L1','ActivePower','40000')
        set_param('ieee34bus/BL1R','InitialState','closed')
        set_param('ieee34bus/BL1R','SwitchTimes','[1]')
    elseif P1 < 40000
        temp = 40000 - P1;
        set_param('ieee34bus/L1','ActivePower',['num2str(temp) '])
        temp = 40000 - temp;
        set_param('ieee34bus/L1','ActivePower',[' num2str(temp) '])
        set_param('ieee34bus/BL1R','InitialState','open')
        set_param('ieee34bus/BL1R','SwitchTimes','[1]')
    end
    if P2 == 20000
        set_param('ieee34bus/L2','ActivePower',[' num2str(P2) '])
        set_param('ieee34bus/BL2R','InitialState','open')
        set_param('ieee34bus/BL2R','SwitchTimes','[2]')
    elseif P2 > 20000
        temp = P2 - 20000;

```

```

    set_param('ieee34bus/L2R','ActivePower',['num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/L2','ActivePower','20000')
    set_param('ieee34bus/BL2R','InitialState','closed')
    set_param('ieee34bus/BL2R','SwitchTimes','[1]')
elseif P2 < 20000
    temp = 20000 - P2;
    set_param('ieee34bus/L2R','ActivePower',['num2str(temp) '])
    temp = 20000 - temp;
    set_param('ieee34bus/L2','ActivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/BL2R','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL2R','SwitchTimes','[1]')
end
if P3 == 50000
    set_param('ieee34bus/L3','ActivePower',[' num2str(P3) '])
    set_param('ieee34bus/BL3R','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL3R','SwitchTimes','[2]')
elseif P3 > 50000
    temp = P3 - 50000;
    set_param('ieee34bus/L3R','ActivePower',['num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/L3','ActivePower','50000')
    set_param('ieee34bus/BL3R','InitialState','closed')
    set_param('ieee34bus/BL3R','SwitchTimes','[1]')
elseif P3 < 50000
    temp = 50000 - P3;
    set_param('ieee34bus/L3R','ActivePower',['num2str(temp) '])
    temp = 50000 - temp;
    set_param('ieee34bus/L3','ActivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/BL3R','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL3R','SwitchTimes','[1]')
end

if Q1 == 32000
    set_param('ieee34bus/L1','InductivePower',['num2str(Q1) '])
    set_param('ieee34bus/BL1Q','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL1Q','SwitchTimes','[2]')
elseif Q1 > 32000
    temp = Q1 - 32000;
    set_param('ieee34bus/L1Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/L1','InductivePower','32000')
    set_param('ieee34bus/BL1Q','InitialState','closed')
    set_param('ieee34bus/BL1Q','SwitchTimes','[1]')
elseif Q1 < 32000
    temp = 32000 - Q1;
    set_param('ieee34bus/L1Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])
    temp = 32000 - temp;
    set_param('ieee34bus/L1','InductivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/BL1Q','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL1Q','SwitchTimes','[1]')
end
if Q2 == 16000
    set_param('ieee34bus/L2','InductivePower',[' num2str(Q2) '])
    set_param('ieee34bus/BL2Q','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL2Q','SwitchTimes','[2]')
elseif Q2 > 16000
    temp = Q2 - 16000;
    set_param('ieee34bus/L2Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/L2','InductivePower','16000')
    set_param('ieee34bus/BL2Q','InitialState','closed')
    set_param('ieee34bus/BL2Q','SwitchTimes','[1]')
elseif Q2 < 16000
    temp = 16000 - Q2;
    set_param('ieee34bus/L2Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])

```

```

temp = 16000 - temp;
set_param('ieee34bus/L2','InductivePower',[' num2str(temp) '])
set_param('ieee34bus/BL2Q','InitialState','open')
set_param('ieee34bus/BL2Q','SwitchTimes','[1]')
end
if Q3 == 40000
set_param('ieee34bus/L3','InductivePower',[' num2str(Q3) '])
set_param('ieee34bus/BL3Q','InitialState','open')
set_param('ieee34bus/BL3Q','SwitchTimes','[2]')
elseif Q3 > 40000
temp = Q3 - 40000;
set_param('ieee34bus/L3Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])
set_param('ieee34bus/L3','InductivePower','40000')
set_param('ieee34bus/BL3Q','InitialState','closed')
set_param('ieee34bus/BL3Q','SwitchTimes','[1]')
elseif Q3 < 40000
temp = 40000 - Q3;
set_param('ieee34bus/L3Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])
temp = 40000 - temp;
set_param('ieee34bus/L3','InductivePower',[' num2str(temp) '])
set_param('ieee34bus/BL3Q','InitialState','open')
set_param('ieee34bus/BL3Q','SwitchTimes','[1]')
end

elseif time_of_changing_loads == 1 %από rated load πάμε σε άλλο load
if P1 == 40000
set_param('ieee34bus/L1','ActivePower',[' num2str(P1) '])
set_param('ieee34bus/BL1R','InitialState','open')
set_param('ieee34bus/BL1R','SwitchTimes','[2]')
elseif P1 > 40000
temp = P1 - 40000;
set_param('ieee34bus/L1R','ActivePower',[' num2str(temp) '])
set_param('ieee34bus/L1','ActivePower','40000')
set_param('ieee34bus/BL1R','InitialState','open')
set_param('ieee34bus/BL1R','SwitchTimes','[1]')
elseif P1 < 40000
temp = 40000 - P1;
set_param('ieee34bus/L1R','ActivePower',[' num2str(temp) '])
temp = 40000 - temp;
set_param('ieee34bus/L1','ActivePower',[' num2str(temp) '])
set_param('ieee34bus/BL1R','InitialState','closed')
set_param('ieee34bus/BL1R','SwitchTimes','[1]')
end
if P2 == 20000
set_param('ieee34bus/L2','ActivePower',[' num2str(P2) '])
set_param('ieee34bus/BL2R','InitialState','open')
set_param('ieee34bus/BL2R','SwitchTimes','[2]')
elseif P2 > 20000
temp = P2 - 20000;
set_param('ieee34bus/L2R','ActivePower',[' num2str(temp) '])
set_param('ieee34bus/L2','ActivePower','20000')
set_param('ieee34bus/BL2R','InitialState','open')
set_param('ieee34bus/BL2R','SwitchTimes','[1]')
elseif P2 < 20000
temp = 20000 - P2;
set_param('ieee34bus/L2R','ActivePower',[' num2str(temp) '])
temp = 20000 - temp;
set_param('ieee34bus/L2','ActivePower',[' num2str(temp) '])
set_param('ieee34bus/BL2R','InitialState','closed')
set_param('ieee34bus/BL2R','SwitchTimes','[1]')
end
if P3 == 50000

```



```

set_param('ieee34bus/L3','ActivePower',[' num2str(P3) '])
set_param('ieee34bus/BL3R','InitialState','open')
set_param('ieee34bus/BL3R','SwitchTimes','[2]')
elseif P3 > 50000
temp = P3 - 50000;
set_param('ieee34bus/L3R','ActivePower',[' num2str(temp) '])
set_param('ieee34bus/L3','ActivePower','50000')
set_param('ieee34bus/BL3R','InitialState','open')
set_param('ieee34bus/BL3R','SwitchTimes','[1]')
elseif P3 < 50000
temp = 50000 - P3;
set_param('ieee34bus/L3R','ActivePower',[' num2str(temp) '])
temp = 50000 - temp;
set_param('ieee34bus/L3','ActivePower',[' num2str(temp) '])
set_param('ieee34bus/BL3R','InitialState','closed')
set_param('ieee34bus/BL3R','SwitchTimes','[1]')
end

if Q1 == 32000
set_param('ieee34bus/L1Q','InductivePower',[' num2str(Q1) '])
set_param('ieee34bus/BL1Q','InitialState','open')
set_param('ieee34bus/BL1Q','SwitchTimes','[2]')
elseif Q1 > 32000
temp = Q1 - 32000;
set_param('ieee34bus/L1Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])
set_param('ieee34bus/L1','InductivePower','32000')
set_param('ieee34bus/BL1Q','InitialState','open')
set_param('ieee34bus/BL1Q','SwitchTimes','[1]')
elseif Q1 < 32000
temp = 32000 - Q1;
set_param('ieee34bus/L1Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])
temp = 32000 - temp;
set_param('ieee34bus/L1','InductivePower',[' num2str(temp) '])
set_param('ieee34bus/BL1Q','InitialState','closed')
set_param('ieee34bus/BL1Q','SwitchTimes','[1]')
end

if Q2 == 16000
set_param('ieee34bus/L2','InductivePower',[' num2str(Q2) '])
set_param('ieee34bus/BL2Q','InitialState','open')
set_param('ieee34bus/BL2Q','SwitchTimes','[2]')
elseif Q2 > 16000
temp = Q2 - 16000;
set_param('ieee34bus/L2Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])
set_param('ieee34bus/L2','InductivePower','16000')
set_param('ieee34bus/BL2Q','InitialState','open')
set_param('ieee34bus/BL2Q','SwitchTimes','[1]')
elseif Q2 < 16000
temp = 16000 - Q2;
set_param('ieee34bus/L2Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])
temp = 16000 - temp;
set_param('ieee34bus/L2','InductivePower',[' num2str(temp) '])
set_param('ieee34bus/BL2Q','InitialState','closed')
set_param('ieee34bus/BL2Q','SwitchTimes','[1]')
end

if Q3 == 40000
set_param('ieee34bus/L3Q','InductivePower',[' num2str(Q3) '])
set_param('ieee34bus/BL3Q','InitialState','open')
set_param('ieee34bus/BL3Q','SwitchTimes','[2]')
elseif Q3 > 40000
temp = Q3 - 40000;
set_param('ieee34bus/L3Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])
set_param('ieee34bus/L3','InductivePower','40000')

```

```

        set_param('ieee34bus/BL3Q','InitialState','open')
        set_param('ieee34bus/BL3Q','SwitchTimes','[1]')
elseif Q3 < 40000
    temp = 40000 - Q3;
    set_param('ieee34bus/L3Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])
    temp = 40000 - temp;
    set_param('ieee34bus/L3','InductivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/BL3Q','InitialState','closed')
    set_param('ieee34bus/BL3Q','SwitchTimes','[1]')
end

elseif time_of_changing_loads == 2 %άλλη αρχική κατάσταση χωρίς αλλαγή
if P1 == 40000
    set_param('ieee34bus/L1','ActivePower',[' num2str(P1) '])
    set_param('ieee34bus/BL1R','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL1R','SwitchTimes','[2]')
elseif P1 > 40000
    temp = P1 - 40000;
    set_param('ieee34bus/L1R','ActivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/L1','ActivePower','40000')
    set_param('ieee34bus/BL1R','InitialState','closed')
    set_param('ieee34bus/BL1R','SwitchTimes','[2]')
elseif P1 < 40000
    temp = 40000 - P1;
    set_param('ieee34bus/L1R','ActivePower',[' num2str(temp) '])
    temp = 40000 - temp;
    set_param('ieee34bus/L1','ActivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/BL1R','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL1R','SwitchTimes','[2]')
end
if P2 == 20000
    set_param('ieee34bus/L2','ActivePower',[' num2str(P2) '])
    set_param('ieee34bus/BL2R','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL2R','SwitchTimes','[2]')
elseif P2 > 20000
    temp = P2 - 20000;
    set_param('ieee34bus/L2R','ActivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/L2','ActivePower','20000')
    set_param('ieee34bus/BL2R','InitialState','closed')
    set_param('ieee34bus/BL2R','SwitchTimes','[2]')
elseif P2 < 20000
    temp = 20000 - P2;
    set_param('ieee34bus/L2R','ActivePower',[' num2str(temp) '])
    temp = 20000 - temp;
    set_param('ieee34bus/L2','ActivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/BL2R','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL2R','SwitchTimes','[2]')
end
if P3 == 50000
    set_param('ieee34bus/L3','ActivePower',[' num2str(P3) '])
    set_param('ieee34bus/BL3R','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL3R','SwitchTimes','[2]')
elseif P3 > 50000
    temp = P3 - 50000;
    set_param('ieee34bus/L3R','ActivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/L3','ActivePower','50000')
    set_param('ieee34bus/BL3R','InitialState','closed')
    set_param('ieee34bus/BL3R','SwitchTimes','[2]')
elseif P3 < 50000
    temp = 50000 - P3;
    set_param('ieee34bus/L3R','ActivePower',[' num2str(temp) '])
    temp = 50000 - temp;

```

```

    set_param('ieee34bus/L3','ActivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/BL3R','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL3R','SwitchTimes','[2]')
end

if Q1 == 32000
    set_param('ieee34bus/L1','InductivePower',[' num2str(Q1) '])
    set_param('ieee34bus/BL1Q','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL1Q','SwitchTimes','[2]')
elseif Q1 > 32000
    temp = Q1 - 32000;
    set_param('ieee34bus/L1Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/L1','InductivePower','32000')
    set_param('ieee34bus/BL1Q','InitialState','closed')
    set_param('ieee34bus/BL1Q','SwitchTimes','[2]')
elseif Q1 < 32000
    temp = 32000 - Q1;
    set_param('ieee34bus/L1Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])
    temp = 32000 - temp;
    set_param('ieee34bus/L1','InductivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/BL1Q','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL1Q','SwitchTimes','[2]')
end
if Q2 == 16000
    set_param('ieee34bus/L2','InductivePower',[' num2str(Q2) '])
    set_param('ieee34bus/BL2Q','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL2Q','SwitchTimes','[2]')
elseif Q2 > 16000
    temp = Q2 - 16000;
    set_param('ieee34bus/L2Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/L2','InductivePower','16000')
    set_param('ieee34bus/BL2Q','InitialState','closed')
    set_param('ieee34bus/BL2Q','SwitchTimes','[2]')
elseif Q2 < 16000
    temp = 16000 - Q2;
    set_param('ieee34bus/L2Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])
    temp = 16000 - temp;
    set_param('ieee34bus/L2','InductivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/BL2Q','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL2Q','SwitchTimes','[2]')
end
if Q3 == 40000
    set_param('ieee34bus/L3','InductivePower',[' num2str(Q3) '])
    set_param('ieee34bus/BL3Q','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL3Q','SwitchTimes','[2]')
elseif Q3 > 40000
    temp = Q3 - 40000;
    set_param('ieee34bus/L3Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/L3','InductivePower','40000')
    set_param('ieee34bus/BL3Q','InitialState','closed')
    set_param('ieee34bus/BL3Q','SwitchTimes','[2]')
elseif Q3 < 40000
    temp = 40000 - Q3;
    set_param('ieee34bus/L3Q','InductivePower',[' num2str(temp) '])
    temp = 40000 - temp;
    set_param('ieee34bus/L3','InductivePower',[' num2str(temp) '])
    set_param('ieee34bus/BL3Q','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BL3Q','SwitchTimes','[2]')
end
else
display('ERROR : No time_of_changing_loads value')
pause

```

```

end

% Capacitors
C1 = C(1);
C2 = C(2);
C3 = C(3);
set_param('ieee34bus/C1','CapacitivePower',[' num2str(C1) '])
set_param('ieee34bus/C2','CapacitivePower',[' num2str(C2) '])
set_param('ieee34bus/C3','CapacitivePower',[' num2str(C3) '])
set_param('ieee34bus/BC1','SwitchTimes','[1]')
set_param('ieee34bus/BC2','SwitchTimes','[1]')
set_param('ieee34bus/BC3','SwitchTimes','[1]')
if add_remove_capacitors == -1
    set_param('ieee34bus/BC1','InitialState','closed')
    set_param('ieee34bus/BC2','InitialState','closed')
    set_param('ieee34bus/BC3','InitialState','closed')
elseif add_remove_capacitors == 1
    set_param('ieee34bus/BC1','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BC2','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BC3','InitialState','open')
elseif add_remove_capacitors == 0
    set_param('ieee34bus/BC1','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BC2','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BC3','InitialState','open')
    set_param('ieee34bus/BC1','SwitchTimes','[2]')
    set_param('ieee34bus/BC2','SwitchTimes','[2]')
    set_param('ieee34bus/BC3','SwitchTimes','[2]')
else
    display('ERROR : No add_remove_capacitors value')
    pause
end

clear C1 C2 C3 P1 P2 P3 Q1 Q2 Q3 temp

```

Παράρτημα Β

Κώδικες Matlab για την προσομοίωση και την αποθήκευση δεδομένων

run_thesis

```
clear
clc

capacitor_switching
active_power_changes
reactive_power_changes

fault = 10;
harmonic = 2;

i = 1;
P = [40000 20000 50000];
Q = [32000 16000 40000];
C = [15000 12000 10000];
add_remove_capacitors = 0;
time_of_changing_loads = 1;
thesis_non_islanding

for i = 2 : 18
    P(1) = active_power_cases(i-1,1);
    P(2) = active_power_cases(i-1,2);
    P(3) = active_power_cases(i-1,3);
    thesis_non_islanding
end

P = [40000 20000 50000];
for i = 19 : 35
    Q(1) = reactive_power_cases(i-18,1);
    Q(2) = reactive_power_cases(i-18,2);
    Q(3) = reactive_power_cases(i-18,3);
    thesis_non_islanding
end

time_of_changing_loads = 0;
Q = [32000 16000 40000];
for i = 36 : 52
    P(1) = active_power_cases(i-35,1);
    P(2) = active_power_cases(i-35,2);
    P(3) = active_power_cases(i-35,3);
    thesis_non_islanding
end
```

```

P = [40000 20000 50000];
for i = 53 : 69
    Q(1) = reactive_power_cases(i-52,1);
    Q(2) = reactive_power_cases(i-52,2);
    Q(3) = reactive_power_cases(i-52,3);
    thesis_non_islanding
end

add_remove_capacitors = 1;
time_of_changing_loads = 1;
P = [40000 20000 50000];
Q = [32000 16000 40000];
for i = 70 : 124
    C(1) = capacitor_cases(i-69,1);
    C(2) = capacitor_cases(i-69,2);
    C(3) = capacitor_cases(i-69,3);
    thesis_non_islanding
end

for i = 125 : 129
    P(1) = active_power_cases(i-124+17,1);
    P(2) = active_power_cases(i-124+17,2);
    P(3) = active_power_cases(i-124+17,3);
    Q(1) = reactive_power_cases(i-124+17,1);
    Q(2) = reactive_power_cases(i-124+17,2);
    Q(3) = reactive_power_cases(i-124+17,3);
    C(1) = capacitor_cases(i-124+55,1);
    C(2) = capacitor_cases(i-124+55,2);
    C(3) = capacitor_cases(i-124+55,3);
    thesis_non_islanding
end

time_of_changing_loads = 0;
for i = 130 : 133
    P(1) = active_power_cases(i-129+22,1);
    P(2) = active_power_cases(i-129+22,2);
    P(3) = active_power_cases(i-129+22,3);
    Q(1) = reactive_power_cases(i-129+22,1);
    Q(2) = reactive_power_cases(i-129+22,2);
    Q(3) = reactive_power_cases(i-129+22,3);
    C(1) = capacitor_cases(i-129+60,1);
    C(2) = capacitor_cases(i-129+60,2);
    C(3) = capacitor_cases(i-129+60,3);
    thesis_non_islanding
end

i = 1;
P = [40000 20000 50000];
Q = [32000 16000 40000];
C = [15000 12000 10000];
add_remove_capacitors = 0;
time_of_changing_loads = 1;
thesis_islanding

for i = 2 : 11
    P(1) = active_power_cases(i-1,1);
    P(2) = active_power_cases(i-1,2);
    P(3) = active_power_cases(i-1,3);
    thesis_islanding
end

```

```

P = [40000 20000 50000];
for i = 12 : 21
    Q(1) = reactive_power_cases(i-11,1);
    Q(2) = reactive_power_cases(i-11,2);
    Q(3) = reactive_power_cases(i-11,3);
    thesis_islanding
end

time_of_changing_loads = 0;
Q = [32000 16000 40000];
for i = 22 : 31
    P(1) = active_power_cases(i-21,1);
    P(2) = active_power_cases(i-21,2);
    P(3) = active_power_cases(i-21,3);
    thesis_islanding
end

P = [40000 20000 50000];
for i = 32 : 41
    Q(1) = reactive_power_cases(i-31,1);
    Q(2) = reactive_power_cases(i-31,2);
    Q(3) = reactive_power_cases(i-31,3);
    thesis_islanding
end

time_of_changing_loads = 2;
Q = [32000 16000 40000];
for i = 42 : 51
    P(1) = active_power_cases(i-41,1);
    P(2) = active_power_cases(i-41,2);
    P(3) = active_power_cases(i-41,3);
    thesis_islanding
end

P = [40000 20000 50000];
for i = 52 : 61
    Q(1) = reactive_power_cases(i-51,1);
    Q(2) = reactive_power_cases(i-51,2);
    Q(3) = reactive_power_cases(i-51,3);
    thesis_islanding
end

time_of_changing_loads = 1;
for i = 62 : 66
    P(1) = active_power_cases(i-61+10,1);
    P(2) = active_power_cases(i-61+10,2);
    P(3) = active_power_cases(i-61+10,3);
    Q(1) = reactive_power_cases(i-61+10,1);
    Q(2) = reactive_power_cases(i-61+10,2);
    Q(3) = reactive_power_cases(i-61+10,3);
    thesis_islanding
end

time_of_changing_loads = 0;
for i = 67 : 71
    P(1) = active_power_cases(i-66+16,1);
    P(2) = active_power_cases(i-66+16,2);
    P(3) = active_power_cases(i-66+16,3);
    Q(1) = reactive_power_cases(i-66+16,1);

```

```

        Q(2) = reactive_power_cases(i-66+16,2);
        Q(3) = reactive_power_cases(i-66+16,3);
        thesis_islanding
    end

time_of_changing_loads = 2;
for i = 72 : 77
    P(1) = active_power_cases(i-71+20,1);
    P(2) = active_power_cases(i-71+20,2);
    P(3) = active_power_cases(i-71+20,3);
    Q(1) = reactive_power_cases(i-71+20,1);
    Q(2) = reactive_power_cases(i-71+20,2);
    Q(3) = reactive_power_cases(i-71+20,3);
    thesis_islanding
end

clear harmonic fault breaker P Q C i
clear capacitor_cases active_power_cases reactive_power_cases
clear add_remove_capacitors time_of_changing_loads

```

thesis_islanding

```

% **this script simulates ieee34bus, calculates and saves the**
% **requested features                                     **

breaker = 1;
parameter_selection
sim('ieee34bus')

clear I %I is only for calculating Isc from short_circuit script(manually)

voltage_drop % find if there is a voltage drop at any bus

% Vt , ΔVt
Vt = Vt.signals.values;

temp1 = size(Vt);
temp1 = temp1(1);
temp0 = temp1;
temp1 = temp1 / 2;

temp2 = temp1 * 0.3;
temp3 = temp1 * 0.85; % 1 - 1.85 sec

temp1 = round(temp1);
temp2 = round(temp2);
temp3 = round(temp3);

Vt1 = Vt(1:temp0,1);
Vt2 = Vt(1:temp0,2);
Vt3 = Vt(1:temp0,3);

x1 = Vt1(temp1 - temp2 : temp1);
x2 = Vt1(temp1 : temp1 + temp3);
x3 = Vt1(temp1 + temp3 : temp0);

```



```

y1 = Vt2(temp1 - temp2 : temp1);
y2 = Vt2(temp1 : temp1 + temp3);
y3 = Vt2(temp1 + temp3 : temp0);

z1 = Vt3(temp1 - temp2 : temp1);
z2 = Vt3(temp1 : temp1 + temp3);
z3 = Vt3(temp1 + temp3 : temp0);

tasila(i,1) = max(x1);
tasilb(i,1) = max(x3);
tasimax(i,1) = max(x2);
tasilmin(i,1) = min(x2);

tasi2a(i,1) = max(y1);
tasi2b(i,1) = max(y3);
tasi2max(i,1) = max(y2);
tasi2min(i,1) = min(y2);

tasi3a(i,1) = max(z1);
tasi3b(i,1) = max(z3);
tasi3max(i,1) = max(z2);
tasi3min(i,1) = min(z2);

iVta(i,1) = (tasila(i,1) + tasi2a(i,1) + tasi3a(i,1) ) / 3;
iVtb(i,1) = (tasilb(i,1) + tasi2b(i,1) + tasi3b(i,1) ) / 3;
iVtmax(i,1) = (tasimax(i,1) + tasi2max(i,1) + tasi3max(i,1) ) / 3;
iVtmin(i,1) = abs(tasilmin(i,1) + tasi2min(i,1) + tasi3min(i,1) ) /3;
[iVtmin(i,1),iVtmax(i,1)] =
find_peaks(iVta(i,1),iVtb(i,1),iVtmin(i,1),iVtmax(i,1));

iDVt(i,1) = iVtb(i,1) - iVta(i,1);

clear temp1 temp2 temp3 temp0 Vt1 Vt2 Vt3 Vt
clear x1 x2 x3 y1 y2 y3 z1 z2 z3
clear tasila tasilb tasimax tasilmin
clear tasi2a tasi2b tasi2max tasi2min
clear tasi3a tasi3b tasi3max tasi3min

%Pdg , ΔPdg
PDG = PDG.signals.values;

temp1 = size(PDG);
temp1 = temp1(1);
temp0 = temp1;
temp1 = temp1 / 2;

temp2 = temp1 * 0.3;
temp3 = temp1 * 0.8; % 1 - 1.8 sec

temp1 = round(temp1);
temp2 = round(temp2);
temp3 = round (temp3);

h1 = PDG(temp1 - temp2 : temp1);
h2 = PDG(temp1 : temp1 + temp3);
h3 = PDG(temp1 + temp3 : temp0);

```

```

iPDGa(i,1) = mean(h1);
iPDGb(i,1) = mean(h3);
iPDGmax(i,1) = max(h2);
iPDGmin(i,1) = min(h2);
[iPDGmin(i,1),iPDGmax(i,1)] =
find_peaks(iPDGa(i,1),iPDGb(i,1),iPDGmin(i,1),iPDGmax(i,1));

iDPDG(i,1) = iPDGb(i,1) - iPDGa(i,1);

clear temp1 temp2 temp3 temp0 h1 h2 h3 PDG

%Qdg , ΔQdg
QDG = QDG.signals.values;

temp1 = size(QDG);
temp1 = temp1(1);
temp0 = temp1;
temp1 = temp1 / 2;

temp2 = temp1 * 0.3;
temp3 = temp1 * 0.8; % 1 - 1.8 sec

temp1 = round(temp1);
temp2 = round(temp2);
temp3 = round(temp3);

h1 = QDG(temp1 - temp2 : temp1);
h2 = QDG(temp1 : temp1 + temp3);
h3 = QDG(temp1 + temp3 : temp0);

iQDGa(i,1) = mean(h1);
iQDGb(i,1) = mean(h3);
iQDGmax(i,1) = max(h2);
iQDGmin(i,1) = min(h2);
[iQDGmin(i,1),iQDGmax(i,1)] =
find_peaks(iQDGa(i,1),iQDGb(i,1),iQDGmin(i,1),iQDGmax(i,1));

iQDDG(i,1) = iQDGb(i,1) - iQDGa(i,1);

clear temp1 temp2 temp3 temp0 h1 h2 h3 QDG

%ω , Δω
w = w.signals.values;

temp1 = size(w);
temp1 = temp1(1);
temp0 = temp1;
temp1 = temp1 / 2;

temp2 = temp1 * 0.3;
temp3 = temp1 * 0.85; % 1 - 1.85 sec

temp1 = round(temp1);
temp2 = round(temp2);
temp3 = round(temp3);

h1 = w(temp1 - temp2 : temp1);
h2 = w(temp1 : temp1 + temp3);

```

```

h3 = w(temp1 + temp3 : temp0);

iwa(i,1) = mean(h1);
iwb(i,1) = mean(h3);
iwmax(i,1) = max(h2);
iwmin(i,1) = min(h2);
[iwmin(i,1), iwmax(i,1)] =
find_peaks(iwa(i,1), iwb(i,1), iwmin(i,1), iwmax(i,1));

iDw(i,1) = iwb(i,1) - iwa(i,1);

clear temp1 temp2 temp3 temp0 h1 h2 h3 w

%THDV1 , THDV2 , THDV3 , ΔTHDV1 , ΔTHDV2 , ΔTHDV3
THDV = THDV.signals.values;

temp1 = size(THDV);
temp1 = temp1(1);
temp0 = temp1;
temp1 = temp1 / 2;

temp2 = temp1 * 0.3;
temp3 = temp1 * 0.85; % 1 - 1.85 sec

temp1 = round(temp1);
temp2 = round(temp2);
temp3 = round(temp3);

THDV1 = THDV(1:temp0,1);
THDV2 = THDV(1:temp0,2);
THDV3 = THDV(1:temp0,3);

x1 = THDV1(temp1 - temp2 : temp1);
x2 = THDV1(temp1 : temp1 + temp3);
x3 = THDV1(temp1 + temp3 : temp0);

y1 = THDV2(temp1 - temp2 : temp1);
y2 = THDV2(temp1 : temp1 + temp3);
y3 = THDV2(temp1 + temp3 : temp0);

z1 = THDV3(temp1 - temp2 : temp1);
z2 = THDV3(temp1 : temp1 + temp3);
z3 = THDV3(temp1 + temp3 : temp0);

iTHDV1a(i,1) = mean(x1);
iTHDV1b(i,1) = mean(x3);
iTHDV1max(i,1) = max(x2);
iTHDV1min(i,1) = min(x2);
[iTHDV1min(i,1), iTHDV1max(i,1)] =
find_peaks(iTHDV1a(i,1), iTHDV1b(i,1), iTHDV1min(i,1), iTHDV1max(i,1));

iTHDV2a(i,1) = mean(y1);
iTHDV2b(i,1) = mean(y3);
iTHDV2max(i,1) = max(y2);
iTHDV2min(i,1) = min(y2);
[iTHDV2min(i,1), iTHDV2max(i,1)] =
find_peaks(iTHDV2a(i,1), iTHDV2b(i,1), iTHDV2min(i,1), iTHDV2max(i,1));

```

```

iTHDV3a(i,1) = mean(z1);
iTHDV3b(i,1) = mean(z3);
iTHDV3max(i,1) = max(z2);
iTHDV3min(i,1) = min(z2);
[iTHDV3min(i,1),iTHDV3max(i,1)] =
find_peaks(iTHDV3a(i,1),iTHDV3b(i,1),iTHDV3min(i,1),iTHDV3max(i,1));

iDTHDV1(i,1) = iTHDV1b(i,1) - iTHDV1a(i,1);
iDTHDV2(i,1) = iTHDV2b(i,1) - iTHDV2a(i,1);
iDTHDV3(i,1) = iTHDV3b(i,1) - iTHDV3a(i,1);

clear temp1 temp2 temp3 temp0 THDV1 THDV2 THDV3 THDV
clear x1 x2 x3 y1 y2 y3 z1 z2 z3

%Θva , Θvb , Θvc , ΔΘva , ΔΘvb , ΔΘvc
degV = degV.signals.values;

temp1 = size(degV);
temp1 = temp1(1);
temp0 = temp1;
temp1 = temp1 / 2;

temp2 = temp1 * 0.3;
temp3 = temp1 * 0.9; % 1 - 1.9 sec

temp1 = round(temp1);
temp2 = round(temp2);
temp3 = round(temp3);

degV1 = degV(1:temp0,1);
degV2 = degV(1:temp0,2);
degV3 = degV(1:temp0,3);

x1 = degV1(temp1 - temp2 : temp1);
x2 = degV1(temp1 : temp1 + temp3);
x3 = degV1(temp1 + temp3 : temp0);

y1 = degV2(temp1 - temp2 : temp1);
y2 = degV2(temp1 : temp1 + temp3);
y3 = degV2(temp1 + temp3 : temp0);

z1 = degV3(temp1 - temp2 : temp1);
z2 = degV3(temp1 : temp1 + temp3);
z3 = degV3(temp1 + temp3 : temp0);

idegV1a(i,1) = mean(x1);
idegV1b(i,1) = mean(x3);
idegV1max(i,1) = max(x2);
idegV1min(i,1) = min(x2);
%το παρακάτω ελέγχει αν η γωνία έχει μετρηθεί αρνητική επειδή υπερβεί
%τις 180 μοίρες, και αν ναι διορθώνει τις μετρούμενες τιμές.
if (idegV1a(i,1) * idegV1b(i,1)) < 0
    if idegV1b(i,1) < 0
        idegV1b(i,1) = idegV1b(i,1) + 360;
        for m = 1 : temp3 + 1
            if x2(m) < 0
                x2(m) = x2(m) + 360;
            end
        end
    end
end

```

```

    idegV1max(i,1) = max(x2);
    idegV1min(i,1) = min(x2);
else
    idegV1b(i,1) = idegV1b(i,1) - 360;
    for m = 1 : temp3 + 1
        if x2(m) > 0
            x2(m) = x2(m) - 360;
        end
    end
    idegV1max(i,1) = max(x2);
    idegV1min(i,1) = min(x2);
end
end
[idegV1min(i,1),idegV1max(i,1)] =
find_peaks(idegV1a(i,1),idegV1b(i,1),idegV1min(i,1),idegV1max(i,1));

idegV2a(i,1) = mean(y1);
idegV2b(i,1) = mean(y3);
idegV2max(i,1) = max(y2);
idegV2min(i,1) = min(y2);
if (idegV2a(i,1) * idegV2b(i,1)) < 0
    if idegV2b(i,1) < 0
        idegV2b(i,1) = idegV2b(i,1) + 360;
        for m = 1 : temp3 + 1
            if y2(m) < 0
                y2(m) = y2(m) + 360;
            end
        end
    end
    idegV2max(i,1) = max(y2);
    idegV2min(i,1) = min(y2);
else
    idegV2b(i,1) = idegV2b(i,1) - 360;
    for m = 1 : temp3 + 1
        if y2(m) > 0
            y2(m) = y2(m) - 360;
        end
    end
    idegV2max(i,1) = max(y2);
    idegV2min(i,1) = min(y2);
end
end
[idegV2min(i,1),idegV2max(i,1)] =
find_peaks(idegV2a(i,1),idegV2b(i,1),idegV2min(i,1),idegV2max(i,1));

idegV3a(i,1) = mean(z1);
idegV3b(i,1) = mean(z3);
idegV3max(i,1) = max(z2);
idegV3min(i,1) = min(z2);
if (idegV3a(i,1) * idegV3b(i,1)) < 0
    if idegV3b(i,1) < 0
        idegV3b(i,1) = idegV3b(i,1) + 360;
        for m = 1 : temp3 + 1
            if z2(m) < 0
                z2(m) = z2(m) + 360;
            end
        end
    end
    idegV3max(i,1) = max(z2);
    idegV3min(i,1) = min(z2);
else
    idegV3b(i,1) = idegV3b(i,1) - 360;
    for m = 1 : temp3 + 1

```

```

        if z2(m) > 0
            z2(m) = z2(m) - 360;
        end
    end
    idegV3max(i,1) = max(z2);
    idegV3min(i,1) = min(z2);
end
end
[idegV3min(i,1),idegV3max(i,1)] =
find_peaks(idegV3a(i,1),idegV3b(i,1),idegV3min(i,1),idegV3max(i,1));

iDdegV1(i,1) = idegV1b(i,1) - idegV1a(i,1);
iDdegV2(i,1) = idegV2b(i,1) - idegV2a(i,1);
iDdegV3(i,1) = idegV3b(i,1) - idegV3a(i,1);

clear temp1 temp2 temp3 temp0 degV1 degV2 degV3 degV
clear x1 x2 x3 y1 y2 y3 z1 z2 z3

%THDI1 , THDI2 , THDI3 , ΔTHDI1 , ΔTHDI2 , ΔTHDI3
THDI = THDI.signals.values;

temp1 = size(THDI);
temp1 = temp1(1);
temp0 = temp1;
temp1 = temp1 / 2;

temp2 = temp1 * 0.3;
temp3 = temp1 * 0.9; % 1 - 1.9 sec

temp1 = round(temp1);
temp2 = round(temp2);
temp3 = round(temp3);

THDI1 = THDI(1:temp0,1);
THDI2 = THDI(1:temp0,2);
THDI3 = THDI(1:temp0,3);

x1 = THDI1(temp1 - temp2 : temp1);
x2 = THDI1(temp1 : temp1 + temp3);
x3 = THDI1(temp1 + temp3 : temp0);

y1 = THDI2(temp1 - temp2 : temp1);
y2 = THDI2(temp1 : temp1 + temp3);
y3 = THDI2(temp1 + temp3 : temp0);

z1 = THDI3(temp1 - temp2 : temp1);
z2 = THDI3(temp1 : temp1 + temp3);
z3 = THDI3(temp1 + temp3 : temp0);

iTHDI1a(i,1) = mean(x1);
iTHDI1b(i,1) = mean(x3);
iTHDI1max(i,1) = max(x2);
iTHDI1min(i,1) = min(x2);
[iTHDI1min(i,1),iTHDI1max(i,1)] =
find_peaks(iTHDI1a(i,1),iTHDI1b(i,1),iTHDI1min(i,1),iTHDI1max(i,1));

iTHDI2a(i,1) = mean(y1);
iTHDI2b(i,1) = mean(y3);
iTHDI2max(i,1) = max(y2);

```

```

iTHDI2min(i,1) = min(y2);
[iTHDI2min(i,1),iTHDI2max(i,1)] =
find_peaks(iTHDI2a(i,1),iTHDI2b(i,1),iTHDI2min(i,1),iTHDI2max(i,1));

iTHDI3a(i,1) = mean(z1);
iTHDI3b(i,1) = mean(z3);
iTHDI3max(i,1) = max(z2);
iTHDI3min(i,1) = min(z2);
[iTHDI3min(i,1),iTHDI3max(i,1)] =
find_peaks(iTHDI3a(i,1),iTHDI3b(i,1),iTHDI3min(i,1),iTHDI3max(i,1));

iDTHDI1(i,1) = iTHDI1b(i,1) - iTHDI1a(i,1);
iDTHDI2(i,1) = iTHDI2b(i,1) - iTHDI2a(i,1);
iDTHDI3(i,1) = iTHDI3b(i,1) - iTHDI3a(i,1);

clear temp1 temp2 temp3 temp0 THDI1 THDI2 THDI3 THDI
clear x1 x2 x3 y1 y2 y3 z1 z2 z3

```

Ο κώδικας αυτός καλεί ένα ακόμα script το voltage_drop και μια συνάρτηση την find_peaks. Και οι δύο αυτοί κώδικες παρουσιάζονται παρακάτω.

voltage_drop

```

% **this script finds if there is a voltage drop at any bus**

bus800V = bus800V.signals.values;

%για να αποφύγουμε τα διαστήματα με τα μεταβατικά φαινόμενα θα
%ψάξουμε να βρούμε την πτώση τάσης στα [0.6 , 1] και [1.4 , 1.8] sec.
t1 = size(bus800V);
t0 = t1;
t1 = t1(1);
t1 = t1 / 2;
t2 = t1 * 0.4;

t1 = round(t1);
t2 = round(t2);

bus800V1 = bus800V(1:t0,1);
bus800V2 = bus800V(1:t0,2);
bus800V3 = bus800V(1:t0,3);

bus800V1a = bus800V1(t1 - t2 : t1);
bus800V1b = bus800V1(t1 + t2 : t1 + 2 * t2);
bus800V2a = bus800V2(t1 - t2 : t1);
bus800V2b = bus800V2(t1 + t2 : t1 + 2 * t2);
bus800V3a = bus800V3(t1 - t2 : t1);
bus800V3b = bus800V3(t1 + t2 : t1 + 2 * t2);

max800V1a = max(bus800V1a);
max800V1b = max(bus800V1b);
max800V2a = max(bus800V2a);
max800V2b = max(bus800V2b);
max800V3a = max(bus800V3a);
max800V3b = max(bus800V3b);

```

```

if max800V1a<10395 || max800V2a<10395 || max800V3a<10395 %10395 =
11500 - 11550 * 0.1
    t4 = (max800V1a + max800V2a + max800V3a) / 3;
    fprintf('high voltage drop (%d) before the 1 sec at bus
800\n',t4)
end
if max800V1a>12705 || max800V2a>12705 || max800V3a>12705 %12705 =
11500 + 11550 * 0.1
    t4 = (max800V1a + max800V2a + max800V3a) / 3;
    fprintf('high voltage lifting (%d) before the 1 sec at bus
800\n',t4)
end

clear bus800V1 bus800V1a bus800V1b max800V1a max800V1b
clear bus800V2 bus800V2a bus800V2b max800V2a max800V2b
clear bus800V3 bus800V3a bus800V3b max800V3a max800V3b

```

ο κώδικας αυτός συνεχίζεται και για τους υπόλοιπους ζυγούς του συστήματος με ακριβώς τον ίδιο τρόπο.

find_peaks

```

function [mini,maxi] = find_peaks(a,b,bmin,bmax)
%H συνάρτηση αυτή υπολογίζει τα peaks στην μεταβατική κατάσταση.
%ΠΡΟΣΟΧΗ! Οι τιμές για τα min και τα max που θα βγουν είναι σχετικές
%με τις δύο μόνιμες καταστάσεις, δηλαδή αν max = 0.1 σημαίνει ότι το
%peak είναι 0.1 πιο πάνω από την μεγαλύτερη μόνιμη κατάσταση.
%Τα min και max είναι πάντα θετικά.
%Μπορεί να συναντήσουμε αποτελέσματα <0 και αυτό λόγω του discrete
%time στο simulation.

if a < b
    if bmax * b > 0
        maxi = bmax - b;
    elseif bmax * b < 0
        maxi = abs(bmax) + abs(b);
    else
        maxi = abs(bmax - b);
    end
    if bmin * a > 0
        mini = a - bmin;
    elseif bmin * a < 0
        mini = abs(bmin) + abs(a);
    else
        mini = abs(a - bmin);
    end
elseif a > b
    if bmax * a > 0
        maxi = bmax - a;
    elseif bmax * a < 0
        maxi = abs(bmax) + abs(a);
    else
        maxi = abs(bmax - a);
    end
    if bmin * b > 0
        mini = b - bmin;
    elseif bmin * b < 0
        mini = abs(bmin) + abs(b);

```



```
    else
        mini = abs(b - bmin);
    end
else
    maxi = abs(bmax - a);
    mini = abs(a - bmin);
end

end
```

thesis_non_islanding

Ο κώδικας αυτός είναι ίδιος με τον κώδικα του `thesis_islanding` γι' αυτό και δεν θα παρουσιαστεί αναλυτικά. Η μόνη διαφορά είναι η ονομασία των πινάκων που αποθηκεύονται τα δεδομένα.

Παράρτημα Γ

Κώδικες Matlab για τα δέντρα απόφασης

find_the_best_features

```
***Το script αυτό υπολογίζει ποιά από τα μετρούμενα μεγέθη έχουν**  
***τις μεγαλύτερες διαφορές στις τιμές τους από νησιδοποίηση σε **  
***μη νησιδοποίηση**
```

```
%Για αυτό το script αλλάξαμε την παραγωγή αρμονικών από τυχαία σε σταθερή  
i = 1;
```

```
fault = 10;
```

```
harmonic = 2;
```

```
P = [40000 20000 50000];
```

```
Q = [32000 16000 40000];
```

```
C = [15000 12000 10000];
```

```
add_remove_capacitors = 0;
```

```
time_of_changing_loads = 1;
```

```
thesis_non_islanding
```

```
thesis_islanding
```

```
a = i;
```

```
%βρίσκω την μεταβολή της τιμής από non_islanding σε islanding
```

```
HDdegV1(a,1) = abs(DdegV1(a) - iDdegV1(a));
```

```
HDdegV2(a,1) = abs(DdegV2(a) - iDdegV2(a));
```

```
HDdegV3(a,1) = abs(DdegV3(a) - iDdegV3(a));
```

```
HdegV1b(a,1) = abs(degV1b(a) - idegV1b(a));
```

```
HdegV1max(a,1) = abs(degV1max(a) - idegV1max(a));
```

```
HdegV1min(a,1) = abs(degV1min(a) - idegV1min(a));
```

```
HdegV2b(a,1) = abs(degV2b(a) - idegV2b(a));
```

```
HdegV2max(a,1) = abs(degV2max(a) - idegV2max(a));
```

```
HdegV2min(a,1) = abs(degV2min(a) - idegV2min(a));
```

```
HdegV3b(a,1) = abs(degV3b(a) - idegV3b(a));
```

```
HdegV3max(a,1) = abs(degV3max(a) - idegV3max(a));
```

```
HdegV3min(a,1) = abs(degV3min(a) - idegV3min(a));
```

```
HDPDG(a,1) = abs(DPDG(a) - iDPDG(a));
```

```
HDQDG(a,1) = abs(DQDG(a) - iDQDG(a));
```

```
HDTHDI1(a,1) = abs(DTHDI1(a) - iDTHDI1(a));
```

```
HDTHDI2(a,1) = abs(DTHDI2(a) - iDTHDI2(a));
```

```
HDTHDI3(a,1) = abs(DTHDI3(a) - iDTHDI3(a));
```

```
HDTHDV1(a,1) = abs(DTHDV1(a) - iDTHDV1(a));
```

```
HDTHDV2(a,1) = abs(DTHDV2(a) - iDTHDV2(a));
```

```
HDTHDV3(a,1) = abs(DTHDV3(a) - iDTHDV3(a));
```

```

HDVt(a,1) = abs(DVt(a) - iDVt(a));

HDw(a,1) = abs(Dw(a) - iDw(a));

HPDGb(a,1) = abs(PDGb(a) - iPDGb(a));
HPDGmax(a,1) = abs(PDGmax(a) - iPDGmax(a));
HPDGmin(a,1) = abs(PDGmin(a) - iPDGmin(a));

HQDGb(a,1) = abs(QDGb(a) - iQDGb(a));
HQDGmax(a,1) = abs(QDGmax(a) - iQDGmax(a));
HQDGmin(a,1) = abs(QDGmin(a) - iQDGmin(a));

HTHDI1b(a,1) = abs(THDI1b(a) - iTHDI1b(a));
HTHDI1max(a,1) = abs(THDI1max(a) - iTHDI1max(a));
HTHDI1min(a,1) = abs(THDI1min(a) - iTHDI1min(a));
HTHDI2b(a,1) = abs(THDI2b(a) - iTHDI2b(a));
HTHDI2max(a,1) = abs(THDI2max(a) - iTHDI2max(a));
HTHDI2min(a,1) = abs(THDI2min(a) - iTHDI2min(a));
HTHDI3b(a,1) = abs(THDI3b(a) - iTHDI3b(a));
HTHDI3max(a,1) = abs(THDI3max(a) - iTHDI3max(a));
HTHDI3min(a,1) = abs(THDI3min(a) - iTHDI3min(a));

HTHDV1b(a,1) = abs(THDV1b(a) - iTHDV1b(a));
HTHDV1max(a,1) = abs(THDV1max(a) - iTHDV1max(a));
HTHDV1min(a,1) = abs(THDV1min(a) - iTHDV1min(a));
HTHDV2b(a,1) = abs(THDV2b(a) - iTHDV2b(a));
HTHDV2max(a,1) = abs(THDV2max(a) - iTHDV2max(a));
HTHDV2min(a,1) = abs(THDV2min(a) - iTHDV2min(a));
HTHDV3b(a,1) = abs(THDV3b(a) - iTHDV3b(a));
HTHDV3max(a,1) = abs(THDV3max(a) - iTHDV3max(a));
HTHDV3min(a,1) = abs(THDV3min(a) - iTHDV3min(a));

HVtb(a,1) = abs(Vtb(a) - iVtb(a));
HVtmax(a,1) = abs(Vtmax(a) - iVtmax(a));
HVtmin(a,1) = abs(Vtmin(a) - iVtmin(a));

Hwb(a,1) = abs(wb(a) - iw(b));
Hwmax(a,1) = abs(wmax(a) - iwmax(a));
Hwmin(a,1) = abs(wmin(a) - iwmin(a));

%Παρακάτω βάζω όλα τα μεγέθη σε έναν πίνακα array και τα ταξινομώ με
%φθίνουσα σειρά
array(1:5) = [HDdegV1 HDdegV2 HDdegV3 HdegV1b HdegV1max];
array(6:10) = [HdegV1min HdegV2b HdegV2max HdegV2min HdegV3b];
array(11:15) = [HdegV3max HdegV3min HDPDG HDQDG HDTHDI1];
array(16:20) = [HDTHDI2 HDTHDI3 HDTHDV1 HDTHDV2 HDTHDV3];
array(21:25) = [HDVt HDw HPDGb HPDGmax HPDGmin];
array(26:30) = [HQDGb HQDGmax HQDGmin HTHDI1b HTHDI1max];
array(31:35) = [HTHDI1min HTHDI2b HTHDI2max HTHDI2min HTHDI3b];
array(36:40) = [HTHDI3max HTHDI3min HTHDV1b HTHDV1max HTHDV1min];
array(41:45) = [HTHDV2b HTHDV2max HTHDV2min HTHDV3b HTHDV3max];
array(46:50) = [HTHDV3min HVtb HVtmax HVtmin Hwb];
array(51:52) = [Hwmax Hwmin];

[sorted_values,sorted_features] = sort(array,'descend');

%παρακάτω κάνω να εμφανίζεται το sorted_features με τα ονόματα των
%μεταβλητών
t1 = 'HDdegV1 ';

```

```

t2 = 'HDdegV2  ';
t3 = 'HDdegV3  ';
t4 = 'HdegV1b  ';
t5 = 'HdegV1max';
t6 = 'HdegV1min';
t7 = 'HdegV2b  ';
t8 = 'HdegV2max';
t9 = 'HdegV2min';
t10 = 'HdegV3b  ';
t11 = 'HdegV3max';
t12 = 'HdegV3min';
t13 = 'HDPDG   ';
t14 = 'HDQDG   ';
t15 = 'HDTTHDI1  ';
t16 = 'HDTTHDI2  ';
t17 = 'HDTTHDI3  ';
t18 = 'HDTTHDV1  ';
t19 = 'HDTTHDV2  ';
t20 = 'HDTTHDV3  ';
t21 = 'HDVt     ';
t22 = 'HDw      ';
t23 = 'HPDGb    ';
t24 = 'HPDGmax  ';
t25 = 'HPDGmin  ';
t26 = 'HQDGb    ';
t27 = 'HQDGmax  ';
t28 = 'HQDGmin  ';
t29 = 'HTHDI1b  ';
t30 = 'HTHDI1max';
t31 = 'HTHDI1min';
t32 = 'HTHDI2b  ';
t33 = 'HTHDI2max';
t34 = 'HTHDI2min';
t35 = 'HTHDI3b  ';
t36 = 'HTHDI3max';
t37 = 'HTHDI3min';
t38 = 'HTHDV1b  ';
t39 = 'HTHDV1max';
t40 = 'HTHDV1min';
t41 = 'HTHDV2b  ';
t42 = 'HTHDV2max';
t43 = 'HTHDV2min';
t44 = 'HTHDV3b  ';
t45 = 'HTHDV3max';
t46 = 'HTHDV3min';
t47 = 'HVtb     ';
t48 = 'HVtmax   ';
t49 = 'HVtmin   ';
t50 = 'Hwb      ';
t51 = 'Hwmax    ';
t52 = 'Hwmin    ';

t1 = cellstr(t1);
t2 = cellstr(t2);
t3 = cellstr(t3);
t4 = cellstr(t4);
t5 = cellstr(t5);
t6 = cellstr(t6);
t7 = cellstr(t7);
t8 = cellstr(t8);
t9 = cellstr(t9);

```

```

t10 = cellstr(t10);
t11 = cellstr(t11);
t12 = cellstr(t12);
t13 = cellstr(t13);
t14 = cellstr(t14);
t15 = cellstr(t15);
t16 = cellstr(t16);
t17 = cellstr(t17);
t18 = cellstr(t18);
t19 = cellstr(t19);
t20 = cellstr(t20);
t21 = cellstr(t21);
t22 = cellstr(t22);
t23 = cellstr(t23);
t24 = cellstr(t24);
t25 = cellstr(t25);
t26 = cellstr(t26);
t27 = cellstr(t27);
t28 = cellstr(t28);
t29 = cellstr(t29);
t30 = cellstr(t30);
t31 = cellstr(t31);
t32 = cellstr(t32);
t33 = cellstr(t33);
t34 = cellstr(t34);
t35 = cellstr(t35);
t36 = cellstr(t36);
t37 = cellstr(t37);
t38 = cellstr(t38);
t39 = cellstr(t39);
t40 = cellstr(t40);
t41 = cellstr(t41);
t42 = cellstr(t42);
t43 = cellstr(t43);
t44 = cellstr(t44);
t45 = cellstr(t45);
t46 = cellstr(t46);
t47 = cellstr(t47);
t48 = cellstr(t48);
t49 = cellstr(t49);
t50 = cellstr(t50);
t51 = cellstr(t51);
t52 = cellstr(t52);

for b = 1 : 52
    if sorted_features(b) == 1
        c(b) = t1;
    elseif sorted_features(b) == 2
        c(b) = t2;
    elseif sorted_features(b) == 3
        c(b) = t3;
    elseif sorted_features(b) == 4
        c(b) = t4;
    elseif sorted_features(b) == 5
        c(b) = t5;
    elseif sorted_features(b) == 6
        c(b) = t6;
    elseif sorted_features(b) == 7
        c(b) = t7;
    elseif sorted_features(b) == 8
        c(b) = t8;
end

```

```

elseif sorted_features(b) == 9
    c(b) = t9;
elseif sorted_features(b) == 10
    c(b) = t10;
elseif sorted_features(b) == 11
    c(b) = t11;
elseif sorted_features(b) == 12
    c(b) = t12;
elseif sorted_features(b) == 13
    c(b) = t13;
elseif sorted_features(b) == 14
    c(b) = t14;
elseif sorted_features(b) == 15
    c(b) = t15;
elseif sorted_features(b) == 16
    c(b) = t16;
elseif sorted_features(b) == 17
    c(b) = t17;
elseif sorted_features(b) == 18
    c(b) = t18;
elseif sorted_features(b) == 19
    c(b) = t19;
elseif sorted_features(b) == 20
    c(b) = t20;
elseif sorted_features(b) == 21
    c(b) = t21;
elseif sorted_features(b) == 22
    c(b) = t22;
elseif sorted_features(b) == 23
    c(b) = t23;
elseif sorted_features(b) == 24
    c(b) = t24;
elseif sorted_features(b) == 25
    c(b) = t25;
elseif sorted_features(b) == 26
    c(b) = t26;
elseif sorted_features(b) == 27
    c(b) = t27;
elseif sorted_features(b) == 28
    c(b) = t28;
elseif sorted_features(b) == 29
    c(b) = t29;
elseif sorted_features(b) == 30
    c(b) = t30;
elseif sorted_features(b) == 31
    c(b) = t31;
elseif sorted_features(b) == 32
    c(b) = t32;
elseif sorted_features(b) == 33
    c(b) = t33;
elseif sorted_features(b) == 34
    c(b) = t34;
elseif sorted_features(b) == 35
    c(b) = t35;
elseif sorted_features(b) == 36
    c(b) = t36;
elseif sorted_features(b) == 37
    c(b) = t37;
elseif sorted_features(b) == 38
    c(b) = t38;
elseif sorted_features(b) == 39

```

```

        c(b) = t39;
elseif sorted_features(b) == 40
    c(b) = t40;
elseif sorted_features(b) == 41
    c(b) = t41;
elseif sorted_features(b) == 42
    c(b) = t42;
elseif sorted_features(b) == 43
    c(b) = t43;
elseif sorted_features(b) == 44
    c(b) = t44;
elseif sorted_features(b) == 45
    c(b) = t45;
elseif sorted_features(b) == 46
    c(b) = t46;
elseif sorted_features(b) == 47
    c(b) = t47;
elseif sorted_features(b) == 48
    c(b) = t48;
elseif sorted_features(b) == 49
    c(b) = t49;
elseif sorted_features(b) == 50
    c(b) = t50;
elseif sorted_features(b) == 51
    c(b) = t51;
elseif sorted_features(b) == 52
    c(b) = t52;
end
end

clear sorted_features
sorted_features = c;
clear c

%εμφάνιση αποτελεσμάτων
display('οι 10 μεγαλύτερες διαφορές είναι οι εξής:')
sorted_values(1:10)
display('τα 10 καλύτερα feature που αντιστοιχούν στις παραπάνω τιμές
είναι τα εξής:')
sorted_features(1:10)

clear a b array
clear t1 t2 t3 t4 t5 t6 t7 t8 t9 t10 t11 t12 t13 t14 t15 t16 t17 t18 t19
clear t20 t21 t22 t23 t24 t25 t26 t27 t28 t29 t30 t31 t32 t33 t34 t35 t36
clear t37 t38 t39 t40 t41 t42 t43 t44 t45 t46 t47 t48 t49 t50 t51 t52
clear HDdegV1 HDdegV2 HDdegV3 HdegV1b HdegV1max HdegV1min HdegV2b
clear HdegV2max HdegV2min HdegV3b HdegV3max HdegV3min HDPDG HDQDG
clear HDTHDI1 HDTHDI2 HDTHDI3 HDTHDV1 HDTHDV2 HDTHDV3 HDVt HDw
clear HPDGB HPDGMmax HPDGMmin HQDGB HQDGMmax HQDGMmin HTHDI1b HTHDI1max
clear HTHDI1min HTHDI2b HTHDIbmax HTHDI2min HTHDI3b HTHDI3max
clear HTHDI3min HTHDV1b HTHDV1max HTHDV1min HTHDV2b HTHDV2max
clear HTHDV2min HTHDV3b HTHDV3max HTHDV3min HVtb HVtmax HVtmin Hwb
clear Hwmax Hwmin

```


decision_tree

```
load('telikes_metriseis')

islanding_char = 'islanding';
non_islanding_char = 'non_islanding';

islanding = cellstr(islanding_char);
non_islanding = cellstr(non_islanding_char);

x = 0;

for a = 1 : 50
    x = x + 1;
    X(x,1) = iDdegV1(a);
    X(x,2) = iDdegV2(a);
    X(x,3) = iDdegV3(a);
    X(x,4) = idegV1b(a);
    X(x,5) = idegV2b(a);
    X(x,6) = idegV3b(a);
    X(x,7) = iDPDG(a);
    X(x,8) = iDQDG(a);
    X(x,9) = iDTHDI1(a);
    X(x,10) = iDTHDI2(a);
    X(x,11) = iDTHDI3(a);
    X(x,12) = iDTHDV1(a);
    X(x,13) = iDTHDV2(a);
    X(x,14) = iDTHDV3(a);
    X(x,15) = iDVt(a);
    X(x,16) = iDw(a);
    X(x,17) = iPDGb(a);
    X(x,18) = iQDGb(a);
    X(x,19) = iTHDI1b(a);
    X(x,20) = iTHDI2b(a);
    X(x,21) = iTHDI3b(a);
    X(x,22) = iTHDV1b(a);
    X(x,23) = iTHDV2b(a);
    X(x,24) = iTHDV3b(a);
    X(x,25) = iVtb(a);
    X(x,26) = iw(b);

    Y(x,1) = islanding;
end

for a = 1 : 100
    x = x + 1;
    X(x,1) = DdegV1(a);
    X(x,2) = DdegV2(a);
    X(x,3) = DdegV3(a);
    X(x,4) = degV1b(a);
    X(x,5) = degV2b(a);
    X(x,6) = degV3b(a);
    X(x,7) = DPDG(a);
    X(x,8) = DQDG(a);
    X(x,9) = DTHDI1(a);
    X(x,10) = DTHDI2(a);
    X(x,11) = DTHDI3(a);
    X(x,12) = DTHDV1(a);
    X(x,13) = DTHDV2(a);
```

```

X(x,14) = DTHDV3(a);
X(x,15) = DVt(a);
X(x,16) = Dw(a);
X(x,17) = PDGb(a);
X(x,18) = QDGb(a);
X(x,19) = THDI1b(a);
X(x,20) = THDI2b(a);
X(x,21) = THDI3b(a);
X(x,22) = THDV1b(a);
X(x,23) = THDV2b(a);
X(x,24) = THDV3b(a);
X(x,25) = Vtb(a);
X(x,26) = wb(a);

Y(x,1) = non_islanding;
end

ctree = fitctree(X,Y);
view(ctree,'mode','graph')

x = 0;

for a = 1 : 27
    x = x + 1;
    Xnew(x,1) = iDdegV1(a+50);
    Xnew(x,2) = iDdegV2(a+50);
    Xnew(x,3) = iDdegV3(a+50);
    Xnew(x,4) = idegV1b(a+50);
    Xnew(x,5) = idegV2b(a+50);
    Xnew(x,6) = idegV3b(a+50);
    Xnew(x,7) = iDPDG(a+50);
    Xnew(x,8) = iDQDG(a+50);
    Xnew(x,9) = iDTHDI1(a+50);
    Xnew(x,10) = iDTHDI2(a+50);
    Xnew(x,11) = iDTHDI3(a+50);
    Xnew(x,12) = iDTHDV1(a+50);
    Xnew(x,13) = iDTHDV2(a+50);
    Xnew(x,14) = iDTHDV3(a+50);
    Xnew(x,15) = iDVt(a+50);
    Xnew(x,16) = iDw(a+50);
    Xnew(x,17) = iPDGb(a+50);
    Xnew(x,18) = iQDGb(a+50);
    Xnew(x,19) = iTHDI1b(a+50);
    Xnew(x,20) = iTHDI2b(a+50);
    Xnew(x,21) = iTHDI3b(a+50);
    Xnew(x,22) = iTHDV1b(a+50);
    Xnew(x,23) = iTHDV2b(a+50);
    Xnew(x,24) = iTHDV3b(a+50);
    Xnew(x,25) = iVtb(a+50);
    Xnew(x,26) = iwb(a+50);
end

for a = 1 : 33
    x = x + 1;
    Xnew(x,1) = DdegV1(a+100);
    Xnew(x,2) = DdegV2(a+100);
    Xnew(x,3) = DdegV3(a+100);
    Xnew(x,4) = degV1b(a+100);
    Xnew(x,5) = degV2b(a+100);
    Xnew(x,6) = degV3b(a+100);

```

```

Xnew(x,7) = DPDG(a+100);
Xnew(x,8) = DQDG(a+100);
Xnew(x,9) = DTHDI1(a+100);
Xnew(x,10) = DTHDI2(a+100);
Xnew(x,11) = DTHDI3(a+100);
Xnew(x,12) = DTHDV1(a+100);
Xnew(x,13) = DTHDV2(a+100);
Xnew(x,14) = DTHDV3(a+100);
Xnew(x,15) = DVt(a+100);
Xnew(x,16) = Dw(a+100);
Xnew(x,17) = PDGb(a+100);
Xnew(x,18) = QDGb(a+100);
Xnew(x,19) = THDI1b(a+100);
Xnew(x,20) = THDI2b(a+100);
Xnew(x,21) = THDI3b(a+100);
Xnew(x,22) = THDV1b(a+100);
Xnew(x,23) = THDV2b(a+100);
Xnew(x,24) = THDV3b(a+100);
Xnew(x,25) = Vtb(a+100);
Xnew(x,26) = wb(a+100);
end

Ynew = predict(ctree,Xnew);

counter = 0;

for a = 1 : 27
    Ynew1 = char(Ynew(a));
    if strcmp(Ynew1,islanding_char)
    else
        counter = counter + 1;
    end
end

for a = 28 : 60
    Ynew1 = char(Ynew(a));
    if strcmp(Ynew1,non_islanding_char)
    else
        counter = counter + 1;
    end
end

percentage = (60 - counter) / 60;
percentage = percentage * 100

clear islanding non_islanding islanding_char non_islanding_char
clear a x y X Y Ynew Xnew Ynew1
clear counter percentage

```

Με αλλαγές στους πίνακες X, Y, Xnew και Ynew, αλλά εφαρμόζοντας τον ίδιο αλγόριθμο, υλοποιήθηκαν και τα υπόλοιπα δέντρα απόφασης που παρουσιάζονται σ' αυτή την διπλωματική.

Βιβλιογραφία

- [1] Λ. Δ. Γεωργίου, Διπλωματική εργασία : Μη Γραμμική Ανάλυση και Δυναμική Συμπεριφορά Σύγχρονης Μηχανής Μόνιμου Μαγνήτη για λειτουργία σε Κατακεμημένη Παραγωγή, Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών, 2014.
- [2] Π. Αικατερίνη, διπλωματική εργασία: Κατασκευή DC μικροδικτύου σε περιβάλλον Matlab/Simulink και μελέτη τεχνικών ελέγχου, Αθήνα: Ε.Μ.Π., 2015.
- [3] J. A. D. & W. A. Beckman, Solar engineering of thermal processes, 2nd edition επιμ., New York: John Wiley & Sons, 1991.
- [4] T. PUJHARI, Master Thesis : ISLANDING DETECTION IN DISTRIBUTED, Rourkela: National Institute of Technology - Rourkela, 2009.
- [5] Σ.-Ι. Καμπεζίδου, Διπλωματική εργασία : Σχεδίαση Μη Γραμμικών – Προσαρμοστικών Ελεγκτών για Επιμέρους Συστήματα Μικροδικτύου με Ελεγχόμενους Μετατροπείς Ισχύος, Πάτρα: πανεπιστήμιο Πατρών , 2013.
- [6] Θ. Ι. ΑΡΑΒΑΝΗ, «ΝΕΟΕΜΦΑΝΙΖΟΜΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ: ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ,» 2012.
- [7] J. M. Lee, Master Thesis : Islanding Detection Methods for Microgrids, United States: UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON, 2011.
- [8] Μ. Γ. ΠΑΠΑΜΙΧΑΛΗ, Διπλωματική εργασία : Υλοποίηση και Αξιολόγηση Μεθόδων Ανίχνευσης Νησιδοποίησης, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2014.
- [9] Coordinating Committee Standards 21, *IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems*, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2003.
- [10] W. BOWER και D. M. ROPP, «EVALUATION OF ISLANDING DETECTION METHODS FOR PHOTOVOLTAIC UTILITY - INTERACTIVE POWER SYSTEMS». USA Ευρεσιτεχνία Report IEA PVPS T5-09, March 2002.
- [11] W. Y. Teoh και C. W. Tan, «An Overview of Islanding Detection Methods in Photovoltaic Systems,» *International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, 2011.
- [12] R. Teodorescu, M. Liserre και P. Rodríguez, GRID CONVERTERS FOR PHOTOVOLTAIC AND WIND POWER SYSTEMS, United Kingdom: John Wiley & Sons, 2011.

- [13] IEEE 519 WORKING GROUP , «WORKING GROUP 519,» may 2002. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://grouper.ieee.org/groups/519/>. [Πρόσβαση 7 2 2016].
- [14] T. M. Blooming και D. J. Carnovale, *APPLICATION OF IEEE STD 519-1992 HARMONIC LIMITS*, 2005.
- [15] Ξ. Κουτίβα, *Έλεγχος Διασύνδεσης EP/ΣP/EP με Μετατροπείς Πηγής Τάσης με Σκοπό τη Βελτιωμένη Απόκριση Αιολικού Πάρκου που Τροφοδοτεί Ασθενές ΣΗΕ*, Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών, Σεπτέμβριος 2007.
- [16] Σ. ΚΩΝ/ΝΟΥ, Διπλωματική εργασία : Μελέτη/ κατασκευή υβριδικού συστήματος (κυψέλη υδρογόνου και PV στοιχείων) Και της συμπεριφοράς των διατάξεων προστασίας, Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών.
- [17] C. Li, C. Cao, Y. Cao, Y. Kuang, L. Zeng και B. Fang, A review of islanding detection methods for microgrid, 2014.
- [18] Μ. Καραολής, *Διδακτορική διατριβή : ΕΞΟΡΥΞΗ ΓΝΩΣΗΣ ΜΕ ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΝΟΝΩΝ ΣΕ ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ*, Κύπρος : Πανεπιστήμιο Κύπρου, 2010.
- [19] Γ. Β. Συγλέτος, *ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ : Εξόρυξη γνώσης για εξαγωγή πληροφορίας από τον παγκόσμιο ιστό με χρήση τεχνικών ψηφοφορίας και συσσωρευμένης γενίκευσης*, Αθήνα: ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, 2005.
- [20] Η. Κ. Αλκίδης, *ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ : Έλεγχος της οδικής κυκλοφορίας με χρήση αλγορίθμων ενισχυτικής μάθησης (Reinforcement Learning)*, Αθήνα: ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, 2014.
- [21] I. H. Witten, E. Frank και M. A. Hall, *DATA MINING Practical Machine Learning Tools and Techniques*, 3rd επιμ., U.S.A: Morgan Kaufmann Publishers, 2011.
- [22] S. Haykin, *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, 2nd επιμ., Delhi: Pearson Education, 1999.
- [23] Π.Σ.Γεωργιάκης, Ν.Δ.Χατζιαργυρίου και Ι. Μπακόπουλος, «Εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης στη Βελτίωση Ποιότητας Μετασχηματιστών Διανομής,» σε *Πρακτικά Ημερίδας ΔΕΗ για νέες Τεχνολογίες Μετασχηματιστών Διανομής*, Αθήνα, 1999.
- [24] T. Kvalseth, *entropy and correlation : some comments*, 1987.
- [25] J. QUINLAN, *Induction of Decision Trees*, Netherland, 1986, pp. 81-106.
- [26] L. WEHENKEL και M. PAVELLA, *Decision Trees and Transient Stability of Electric Power Systems*, Great Britain: Automatica, 1991.
- [27] IEEE PES, «IEEE Distribution System Analysis Subcommittee,» 2 Oct 2003. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/>. [Πρόσβαση 17 Feb

2016].

- [28] S. P. Ashok, *Modeling and Protection Scheme for IEEE 34 Radial Distribution Feeder with and Without Distributed Generation*, University of Wisconsin-Milwaukee , May 2014.
- [29] N. I. Μάργαρης, *Ανάλυση Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων*, τόμ. Τόμος Α, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλλα, 2008.