

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΚΡΟ- ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τσιάμαλος Χρήστος

Εξεταστική Επιτροπή:

Καθηγητής: Σταυρακάκης Γεώργιος(επιβλέπων)

Καθηγητής: Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος

Διδάσκων Π.Δ 407/80: Τσικαλάλης Αντώνης



ΚΡΗΤΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



Περίληψη

Η ανάγκη μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον τομέα της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και η αναδιάρθρωση των επιχειρήσεων ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι κύριοι παράγοντες για το αυξανόμενο ενδιαφέρον για μικρο-παραγωγή. Η μεγάλης κλίμακας ενοποίηση των μικρών παραγωγικών μονάδων (micro sources) με ονομαστική ισχύ μερικών δεκάδων kW οδηγούν σε μία νέα έννοια, στο έξυπνο δίκτυο (smart grid).

Το έξυπνο δίκτυο περιλαμβάνει ένα δίκτυο χαμηλής τάσης, τα φορτία του, μερικές μικρο-μονάδες παραγωγής συνδεδεμένες στον μετατροπέα του και ένα σύστημα ελέγχου και διαχείρισης. Περιλαμβάνει κυρίως συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (μικρές ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά πάνελ) και συσκευές αποθήκευσης (μπαταρίες).

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην δυναμική προσομοίωση ενός τέτοιου έξυπνου δικτύου και στη συμπεριφορά του δικτύου όταν αυτό λειτουργεί σε λειτουργία νησιού (island mode).

Abstract

The need to reduce greenhouse gas emissions in the electricity supply and the restructuring of the electricity business are the main factors for the growing interest in micro-production. Large scale consolidation of small production units (micro sources) with a nominal power of some tens kW leads to a new concept, the smart grid.

The smart grid includes a low voltage network, loads, some micro-plants connected to the inverter and a control and management system. Includes mainly renewable energy systems (small wind turbines, photovoltaic panels, fuel cells etc.) and storage devices (batteries).

This thesis focuses on a dynamic simulation of such a smart grid and network behavior when running in island mode.

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με βοήθησαν και μου συμπαραστάθηκαν στην προσπάθειά μου να ολοκληρώσω την παρούσα διπλωματική εργασία.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σταυρακάκη Γεώργιο για την καθοδήγησή του και την βοήθειά του στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αλλά και για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον μεταπτυχιακό φοιτητή Μπλαζάκη Κώστα για την απλόχερη βοήθεια που μου πρόσφερε σε όποιο σημείο αντιμετώπισα κάποιες δυσκολίες.

Ακόμα, δεν θα μπορούσα να πω ότι το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στην οικογένειά μου που μου στάθηκε σαν βράχος μέχρι και σήμερα και που χωρίς την υπομονή τους, την αγάπη τους και την στήριξή τους ούτε θα είχα περάσει σε αυτή την σχολή ούτε θα την είχα τελειώσει.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου στα Χανιά (Στάθη, Δήμο, Βασίλη, Μάνο, Κων, Μέθε, Λελέ, Μπουζ, Οικονομό) που μαζί τους πέρασα τις πιο όμορφες «φοιτητικές» στιγμές.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	8
1.1 Εισαγωγή	8
1.2 Σκοπός εργασίας.....	10
1.3 Δομή εργασίας.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	12
2.1 Ηλεκτρικό δίκτυο	12
2.1.1 Τρόπος λειτουργίας	13
2.1.2 Δομή δικτύων διανομής.....	14
2.1.3 Προβλήματα του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου	15
2.2 Από το ηλεκτρικό δίκτυο στο έξυπνο δίκτυο	16
2.3 Το έξυπνο δίκτυο(smart grid).....	18
2.3.1 Ιστορική αναδρομή.....	20
2.3.2 Χαρακτηριστικά του έξυπνου δικτύου	21
2.3.3 Η τεχνολογία του έξυπνου δικτύου	23
2.3.4 Εγκαθιστώντας τα έξυπνα δίκτυα.....	25
2.3.5 Βασικές μονάδες των έξυπνων δικτύων	27
2.3.6 Οφέλη από το έξυπνο δίκτυο.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	33
3.1 Μοντελοποίηση του έξυπνου δικτύου.....	33
3.2 Λογισμικό προσομοίωσης-POWER WORLD	34
3.2.1 Γενικά	34
3.2.2 Δυνατότητες του προγράμματος	35
3.2.3 Το εργαλείο Transient Stability	36
3.3 Η προσέγγισή μας.....	37
3.4 Προσομοίωση συμβάντων διαταραχής	40

3.5 Προσομοιώσεις.....	41
3.5.1 Σενάριο 1	42
3.5.2 Σενάριο 2	47
3.5.3 Σενάριο 3	53
3.5.4 Σενάριο 4	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	64
4.1 Συμπεράσματα.....	64
4.2 Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη	65
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Εισαγωγή

Η παροχή ενέργειας στην Ευρώπη κυριαρχείται από την καύση ορυκτών καυσίμων, πυρηνική ενέργεια και υδροηλεκτρική ενέργεια. Παίρνοντας υπ' όψιν την αειφόρο ανάπτυξη της Ευρώπης, αυτή η παραδοσιακή παροχή ενέργειας παρουσιάζει μειονεκτήματα. Από την μία πλευρά τα αποθέματα άνθρακα και πυρηνικής ενέργειας φτάνουν στα όρια της ωφέλιμης ζωής τους, ενώ οι υποδομές του δικτύου είναι παλαιωμένες και απαιτούνται βραχυπρόθεσμες επενδύσεις για τα

συστήματα διανομής της ενέργειας με σκοπό την ανανέωσή τους. Από την άλλη, η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας, κυρίως ηλεκτρικής, έχει δημιουργήσει κάποιες αδυναμίες :

- Μεγάλη εξάρτηση στα εισαγόμενα καύσιμα η οποία οδηγεί σε διαταραχές στην παροχή ενέργειας λόγω της αυξομείωσης των τιμών
- Μεγάλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως αέρια του θερμοκηπίου και άλλους ρύπους.
- Συνεχής αναβάθμιση του δικτύου παροχής και διανομής ενέργειας.

Οι παραπάνω αδυναμίες είναι οι κύριες κινητήριες δυνάμεις της έρευνας για νέες μορφές ενέργειας.

Ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά πάνελ, micro turbines και γεωθερμική ενέργεια είναι οι νέες μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες εξελίσσονται. Οι παραπάνω μορφές ενέργειας αποτελούν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στις μέρες μας η παραγωγή ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες καθώς και από την γεωθερμική ενέργεια βρίσκεται σε ανταγωνιστικό επίπεδο σε σχέση με τις παραδοσιακές μορφές παραγωγής ενέργειας με στόχο σε μερικά χρόνια να μην υπάρχει καμία εξάρτηση από τις συμβατικές μορφές ενέργειας.

Στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει γίνει μια στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στόχος είναι η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε σύντομο χρονικό διάστημα, η οποία σε συνδυασμό με την εκμετάλλευση και τις νέες τεχνολογίες των ΑΠΕ θα είναι εφικτή. Τα παραπάνω, μας οδηγούν σε μια νέα ιδέα που ονομάζεται έξυπνο δίκτυο (smart grid).

1.2 Σκοπός εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να μελετήσουμε ένα έξυπνο δίκτυο (smart grid). Λάβαμε υπ' όψιν μας όλες τις παραμέτρους υλοποιήσαμε μια δυναμική προσομοίωση του έξυπνου δικτύου μέσω του προγράμματος POWER WORLD. Επιπλέον μέσω των αποτελεσμάτων που είχαμε μέσα από τη προσομοίωση είδαμε την συμπεριφορά του δικτύου όταν λειτουργεί σε λειτουργία νησιού(island mode).

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας [17],[18] επιβεβαιώνει ότι η λειτουργία νησιού(island mode) μπορεί να εφαρμοστεί από τεχνικής πλευράς. Τεχνικές μελέτες επισημαίνουν την ανάγκη αναθεώρησης και τροποποίησης τμημάτων που αφορούν την ασφάλεια του ηλεκτρικού ρεύματος, την ποιότητα και την συνέχεια των κανονισμών(Electricity Safety Quality and Continuity Regulations-ESQCR) για να υποστηριχθούν ενέργειες που αφορούν την λειτουργία νησιού(island mode). Επιπλέον, οι μελέτες [17] και [18] αναφέρουν ότι το φορτίο των γεννητριών στα πλαίσια του συστήματος ενέργειας παραμένει σταθερό αλλά οι διακυμάνσεις της συχνότητας και της τάσης υπερβαίνουν τα αποδεκτά όρια του ESQCR.

1.3 Δομή εργασίας

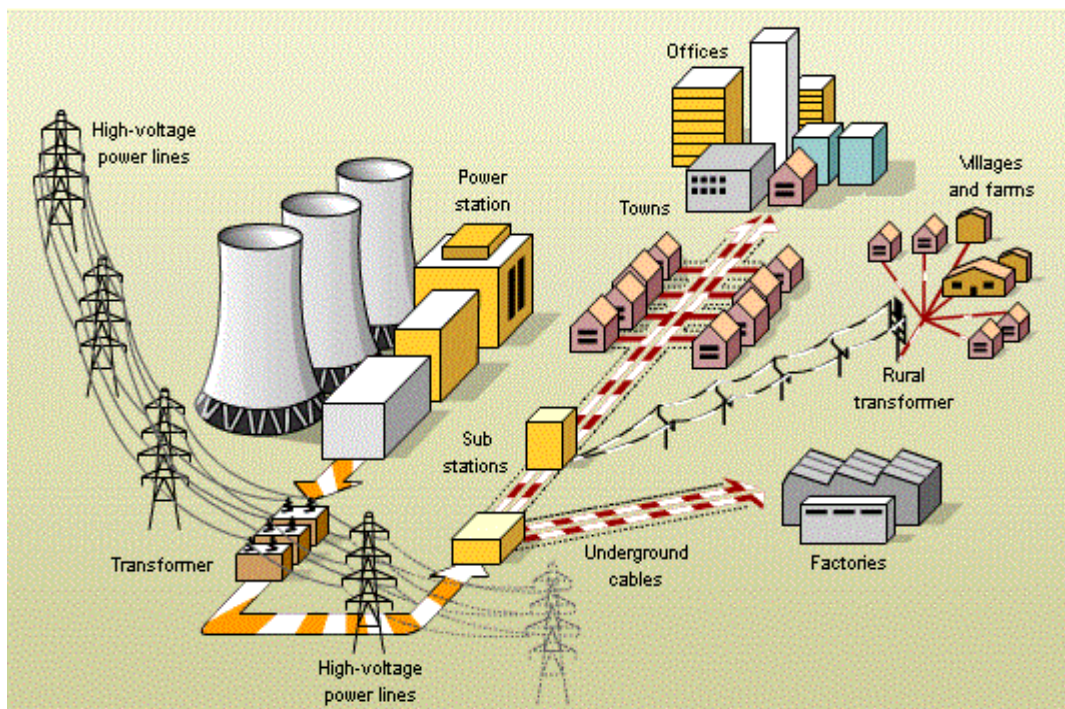
Στο 2^ο κεφάλαιο παρέχεται το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας έτσι ώστε να γίνει περισσότερο κατανοητό το θέμα της διπλωματικής. Περιγράφουμε τους ορισμούς του δικτύου και του έξυπνου δικτύου ενώ στο 3^ο κεφάλαιο αναλύουμε την σχεδιάσή μας, τις βασικές ιδέες και την

θεωρητική τους ανάλυση και αναλύουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσής μας. Τέλος, στο 4^ο κεφάλαιο αναφέρουμε τα αποτελέσματα της εργασίας και τι εξελίξεις μπορεί να έχει η σχεδίασή μας. Στο παράρτημα Α υπάρχει όλη η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Ηλεκτρικό δίκτυο

Με τον όρο ηλεκτρικό δίκτυο εννοούμε ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από τους παραγωγούς στους καταναλωτές. Αποτελείται από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης που μεταφέρουν ενέργεια από απομακρυσμένες πηγές στα κέντρα ζήτησης και τις γραμμές διανομής που συνδέουν μεμονωμένους καταναλωτές.



Εικόνα 1 Το ηλεκτρικό δίκτυο

2.1.1 Τρόπος λειτουργίας

Βασικό συστατικό ενός δικτύου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι σταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκονται συνήθως κοντά σε κάποια πηγή ενέργειας (π.χ. κοντά σε ένα φράγμα) και συχνά είναι τοποθετημένοι μακριά από πυκνοκατοικημένες περιοχές. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον σταθμό παραγωγής είναι υψηλής τάσης και συνδέεται με το δίκτυο μεταφοράς.

Το δίκτυο μεταφοράς θα μεταφέρει την ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις, πολλές φορές και πέρα από τα εθνικά σύνορα, μέχρι να φτάσει στον πελάτη που κάνει χονδρική πώληση (συνήθως στην εταιρεία που ανήκει το δίκτυο διανομής).

Κατά την άφιξη της ενέργειας σε ένα υποσταθμό, η ενέργεια υποβαθμίζεται από την τάση μεταφοράς στην τάση διανομής. Καθώς εξέρχεται από τον υποσταθμό η ενέργεια περνάει στην καλωδίωση του δικτύου διανομής. Τέλος όταν η ενέργεια φτάσει στα σημεία εξυπηρέτησης υποβαθμίζεται πάλι από την τάση διανομής στην ζητούμενη τάση από τους καταναλωτές.

2.1.2 Δομή δικτύων διανομής

Η δομή ή η τοπολογία ενός δικτύου μπορεί να ποικίλλει σημαντικά. Η διάταξη του δικτύου επηρεάζεται από την γεωλογία της περιοχής. Η τοπολογία μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τους οικονομικούς περιορισμούς, τις απαιτήσεις για την αξιοπιστία του συστήματος καθώς και τα χαρακτηριστικά του φορτίου και της παραγωγής.

Η φθηνότερη και απλούστερη δομή για ένα δίκτυο διανομής ή μετάδοσης είναι η ακτινική δομή. Αυτή η δομή έχει τη μορφή ενός δέντρου όπου η ενέργεια διοχετεύεται σε προοδευτικά χαμηλότερες γραμμές τάσης μέχρι να φτάσει στα σπίτια και στις επιχειρήσεις. Τα περισσότερα δίκτυα διανομής απαιτούν την αξιοπιστία που παρέχουν τα πιο πολύπλοκα δίκτυα πλέγματος (mesh networks), αλλά η σχεδίαση αυτή ανεβάζει δραματικά το κόστος, λόγω της πολυπλοκότητάς της, με αποτέλεσμα να προτιμάται η ακτινική δομή.

Στην ακτινική δομή, ένας υποσταθμός λαμβάνει την ενέργειά του από το δίκτυο μεταφοράς. Στη συνέχεια η ενέργεια υποβαθμίζεται μέσω ενός μετατροπέα και στέλνεται μέσω ενός διαύλου στους τροφοδότες οι οποίοι μεταδίδουν την ενέργεια προς όλες τις κατευθύνσεις. Αυτοί οι τροφοδότες μεταφέρουν τριφασικό ρεύμα και ακολουθούν τους κεντρικούς δρόμους κοντά στον υποσταθμό. Όσο η απόσταση από τον υποσταθμό μεγαλώνει, η μετάδοση συνεχίζεται με μικρότερους τροφοδότες έτσι ώστε να καλυφθούν και οι περιοχές που “χάθηκαν” από τους κύριους τροφοδότες. Αυτή η μορφή δέντρου μεγαλώνει έξω από τον υποσταθμό, αλλά για λόγους αξιοπιστίας, συνήθως περιέχει τουλάχιστον μία αχρησιμοποίητη εφεδρική σύνδεση σε ένα κοντινό υποσταθμό. Αυτή η σύνδεση ενεργοποιείται σε περίπτωση ανάγκης, έτσι ώστε ένα ποσοστό

της περιοχής εξυπηρέτησης του υποσταθμού να εξυπηρετείται από έναν άλλον υποσταθμό.

2.1.3 Προβλήματα του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου

Το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο βρίσκεται σε λειτουργία από τις αρχές του περασμένου αιώνα. Παρά τις νέες θεσμικές ρυθμίσεις και τα σχέδια του ηλεκτρικού δικτύου, η διανομή ενέργειας υποφέρει από τη “γήρανση” των υποδομών, η οποία οδηγεί στην μείωση της αποτελεσματικότητας του δικτύου.

Τέσσερις είναι η παράγοντες για την σημερινή κατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου:

1. **Γήρανση του εξοπλισμού ηλεκτρικής ενέργειας.** Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται έχει υψηλά ποσοστά αποτυχίας, που επηρεάζει την οικονομία και την κοινωνία με τις συνεχείς διακοπές ρεύματος. Επιπλέον οι παλιές εγκαταστάσεις έχουν σαν αποτέλεσμα να μεγαλώνει το κόστος συντήρησης.
2. **Ξεπερασμένη διάταξη του συστήματος.** Σε πολλές περιοχές απαιτείται να δημιουργηθούν επιπλέον υποσταθμοί για να καλυφθούν οι ανάγκες χωρίς όμως αυτό να είναι δυνατόν λόγω του υπάρχοντος δικτύου με αποτέλεσμα οι καταναλωτές να χρησιμοποιούν ανεπαρκείς εγκαταστάσεις.
3. **Ξεπερασμένη μηχανική.** Τα παραδοσιακά εργαλεία παροχής ενέργειας είναι αναποτελεσματικά στην αντιμετώπιση των σημερινών προβλημάτων.
4. **Παλιά πολιτισμική αξία.** Ο σχεδιασμός και η μηχανική του υπάρχοντος δικτύου, χρησιμοποιούν τεχνικές και διαδικασίες που δούλευαν σε μία παλιά και “κλειστή” βιομηχανία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Στις μέρες μας, η βιομηχανία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας έχει απελευθερωθεί με αποτέλεσμα να επιδεινώνεται το πρόβλημα.

2.2 Από το ηλεκτρικό δίκτυο στο έξυπνο δίκτυο

Καθώς ο 21^{ος} αιώνας προχωρά, η βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος επιδιώκει να επωφεληθεί από νέες προσεγγίσεις για να αντεπεξέλθει στην συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας. Οι υπηρεσίες κοινής ωφέλειας βρίσκονται υπό πίεση για να εξελίξουν τις κλασικές τους τοπολογίες για να ανταποκριθούν στην κατανεμημένη παραγωγή. Καθώς η παραγωγή ενέργειας από ανεμογεννήτριες και από ηλιακά πάνελ στις ταράτσες των σπιτιών γίνεται σύνηθες φαινόμενο, οι διαφορές μεταξύ των δικτύων μεταφοράς και διανομής θα συνεχίσουν να θολώνουν το τοπίο. Επίσης, η ανταπόκριση της ζήτησης είναι μια τεχνική δικτύου με την οποία τόσο οι πελάτες λιανικής όσο και οι πελάτες χονδρικής είναι υποχρεωμένοι να μειώσουν το φορτίο τους είτε ηλεκτρονικά είτε χειροκίνητα. Επί του παρόντος, οι φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου μεταφοράς χρησιμοποιούν την ανταπόκριση της ζήτησης έτσι ώστε οι μεγάλοι καταναλωτές ενέργειας, όπως οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις, να μειώσουν το φορτίο τους.

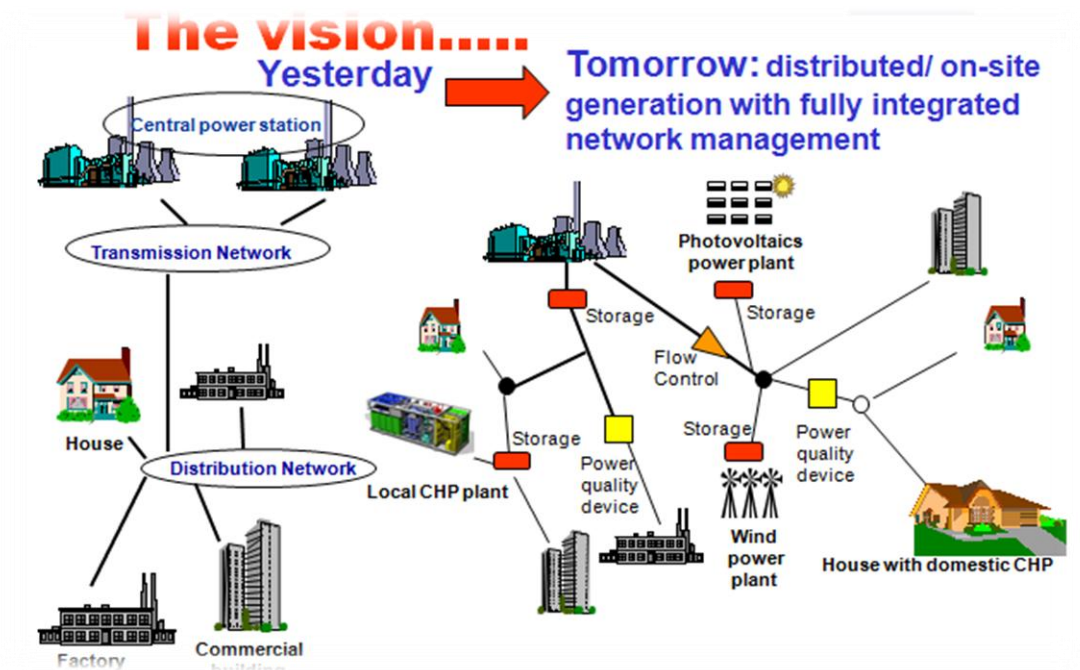
Με τα πάντα διασυνδεδεμένα και σε μία ελεύθερη οικονομία αρχίζει να έχει νόημα το να επιτρέπεται ακόμα και να ενθαρρύνεται η κατανεμημένη παραγωγή. Μικρότερες γεννήτριες, που δεν ανήκουν στις υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο έτσι ώστε να βοηθήσουν στην ανάγκη για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Η μικρότερη παραγωγική μονάδα μπορεί να είναι ένα σπίτι με περίσσεια ενέργεια προερχόμενη από ηλιακά πάνελ ή ανεμογεννήτριες. Αυτοί οι πόροι μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο είτε με εντολή της υπηρεσίας κοινωνικής ωφέλειας είτε μέσω του ιδιοκτήτη με σκοπό να πουλήσει ενέργεια. Σε πολλές από αυτές τις μικρές μονάδες παραγωγής επιτρέπεται να πωλούν στο δίκτυο ενέργεια στην τιμή με την οποία θα αγόραζαν την ενέργεια. Επιπλέον, πολλές προσπάθειες γίνονται με σκοπό την ενθάρρυνση για την δημιουργία ενός έξυπνου δικτύου. Η ελπίδα είναι οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να μπορούν να προβλέψουν καλύτερα τις ανάγκες τους.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το ηλεκτρικό δίκτυο αναμένεται να εξελιχθεί σε μία νέα μορφή δικτύου, το έξυπνο δίκτυο, σαν εξέλιξη του

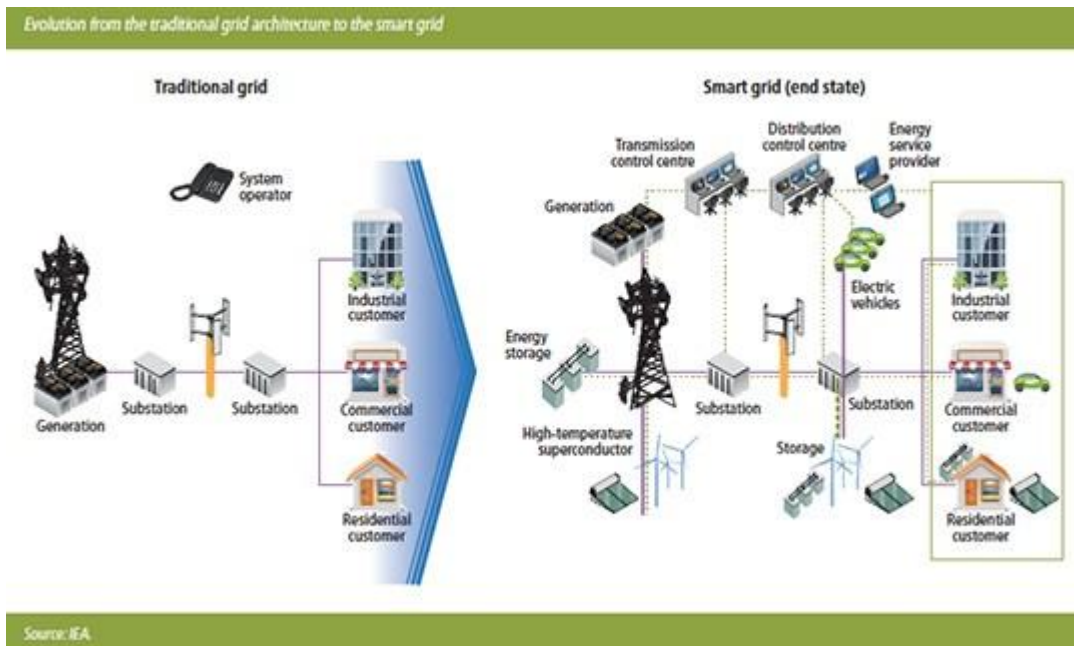
ήδη υπάρχοντος δικτύου που βρίσκεται σε λειτουργία από τον 20^ο αιώνα. Τα παραδοσιακά ηλεκτρικά δίκτυα συνήθως χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν ενέργεια από κεντρικές μονάδες παραγωγής σε ένα μεγάλο αριθμό χρηστών ή καταναλωτών. Σε αντίθεση, το έξυπνο δίκτυο χρησιμοποιεί μία αμφίδρομη ροή ενέργειας και πληροφορίας με σκοπό την δημιουργία ενός εξελιγμένου και αυτοματοποιημένου δικτύου διανομής ενέργειας.

Τέλος για την μετάβαση στα έξυπνα δίκτυα βρίσκονται σε εξέλιξη διάφορες ιδέες όπως:

- Τα ενεργειακά δίκτυα(active networks),
- Τα μικροδίκτυα (micro grids),
- Οι εικονικοί σταθμοί παραγωγής (virtual utility),
- Προτεραιότητα για έξυπνα δίκτυα στα νησιά,
- Ενεργός ρόλος των χρηστών στον κύκλο παραγωγής-κατανάλωσης.



Εικόνα 2 Από το ηλεκτρικό δίκτυο στο έξυπνο δίκτυο

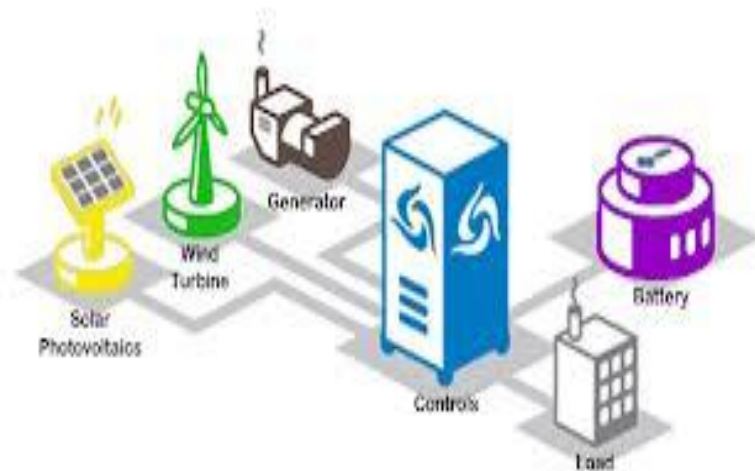


Εικόνα 3 Από το ηλεκτρικό δίκτυο στο έξυπνο δίκτυο

2.3 Το έξυπνο δίκτυο(smart grid)

Ένα έξυπνο δίκτυο είναι ένα εκσυγχρονισμένο ηλεκτρικό δίκτυο που χρησιμοποιεί την αναλογική και την ψηφιακή τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών για να συγκεντρώσει και να ενεργήσει με βάση πληροφορίες, όπως είναι οι πληροφορίες σχετικά με την συμπεριφορά των προμηθευτών και των καταναλωτών, με έναν αυτοματοποιημένο τρόπο για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα, την αξιοπιστία, την οικονομία και την βιωσιμότητα της παραγωγής και της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Σημαντικές πτυχές του έξυπνου δικτύου είναι η προετοιμασία της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και ο έλεγχος της παραγωγής και της διανομής της ενέργειας.

Το έξυπνο δίκτυο περιλαμβάνει ένα δίκτυο χαμηλής τάσης, τα φορτία του, μερικές μικρό-μονάδες παραγωγής συνδεδεμένες στον μετατροπέα του και ένα σύστημα ελέγχου και διαχείρισης. Περιλαμβάνει κυρίως συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (μικρές ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά πάνελ) και συσκευές αποθήκευσης (μπαταρίες).



Εικόνα 4 Το έξυπνο δίκτυο

Ένα έξυπνο δίκτυο ή ευφυές δίκτυο επιτρέπει στις συσκευές όλων των επιπέδων να επικοινωνούν με το σύστημα και να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο ώστε να μπορούν να λειτουργούν όσο το δυνατόν πιο αποδοτικά (συστήματα AMR). Με τη χρήση έξυπνων συσκευών οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν το φορτίο τους και να εξοικονομούν ενέργεια (πολιτικές DSM). Επιπλέον προηγμένες επικοινωνιακές ικανότητες επιτρέπουν την άμεση ενημέρωση για την τιμολόγηση της ενέργειας, για τα κίνητρα μείωσης ζήτησης και για σήματα άμεσης διακοπής φορτίων (πολιτικές DR).

Επειδή η ζήτηση δεν είναι σταθερή αλλά έχει διακυμάνσεις απαιτούνται οι στρεφόμενες εφεδρείες για να καλύψουν την επιπλέον ζήτηση , όταν χρειαστεί. Αυτός ο τρόπος διαχείρισης έχει υψηλό κόστος, τόσο γιατί το 10% της ενέργειας που είναι διαθέσιμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για το 1% του χρόνου στο οποίο είναι διαθέσιμο, όσο διότι οι διακοπές παροχής ρεύματος και τα σφάλματα είναι ζημιογόνα για τους χρήστες.

Το ευφυές δίκτυο προσφέρει αλληλεπίδραση μεταξύ φορτίου και παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, που επιτρέπει τον καλύτερο υπολογισμό του ισοζυγίου και επιτρέπει στους χειριστές να ανιχνεύουν

σφάλματα και να βρίσκουν ταχύτατα εναλλακτική διαδρομή για τη ροή της ενέργειας παρακάμπτοντας το σφάλμα, έτσι αυξάνεται η αξιοπιστία. Επίσης αλλάζοντας ο μηχανισμός κοστολόγησης (υψηλές τιμές ενέργειας τις ώρες αιχμής και χαμηλότερες τις υπόλοιπες ώρες) γίνεται μετατόπιση φορτίων και μειώνονται οι ανάγκες για εφεδρεία. Θα μπορούσε μάλιστα σε ένα τέτοιο σύστημα η τιμή να μεταβάλλεται συνεχώς ανάλογα με τη ζήτηση.

Ενθαρρύνεται επίσης και η χρήση "πράσινης ενέργειας" που μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί σε ένα τέτοιο σύστημα καθώς κάθε καταναλωτής μπορεί να γίνει και παραγωγός χρησιμοποιώντας τεχνολογίες ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, μικρά υδροηλεκτρικά, κυψέλες υδρογόνου, συμπαραγωγή) και να προσφέρει την περίσσεια ενέργεια στο δίκτυο ή απλά να καλύπτει μέρος της ζήτησης του. Χρησιμοποιώντας έναν έξυπνο μετρητή ο πελάτης μπορεί άμεσα να γνωρίζει τι ισχύ απορροφά ή προσφέρει στο δίκτυο.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι το Ευφυές Δίκτυο υποβοηθούμενο από τεχνολογίες Smart metering, Energy Storage και πολιτικών DR/DSM αλλά και on-line υπηρεσιών πληροφορικής (EIS) αποτελεί ένα βέλτιστο σύστημα διαχείρισης της ενέργειας. Ένα ευφυές δίκτυο δίνει δυνατότητες :

- Ευφυής συνύπαρξη της κεντρικής και δεσπαρμένης παραγωγής με αποτέλεσμα την μείωση της χρήσης άνθρακα και αποδοτικού χειρισμού της ζήτησης.
- Εμπορία ενέργειας και βελτιστοποίηση κόστους μέσω χρονομεταβλητών τιμολογίων και διαφόρων κινήτρων εξαρτώμενων από το μεταβαλλόμενο φορτίο.
- Ενεργός συμμετοχή του πελάτη με βάση την επικοινωνία σε δύο κατευθύνσεις και μεγάλη ροή πληροφορίας.

2.3.1 Ιστορική αναδρομή

Όπως αναφέρεται παραπάνω το έξυπνο δίκτυο αποτελεί την εξέλιξη του παραδοσιακού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Η τεχνολογία

των έξυπνων δικτύων προέκυψε από παλαιότερες προσπάθειες για βελτίωση της αυτόματης παρακολούθησης και μέτρησης των δικτύων. Στη δεκαετία του 1980, η αυτόματη ανάγνωση των μετρητών του δικτύου χρησιμοποιήθηκε για την παρακολούθηση των φορτίων από μεγάλους πελάτες και εξελίχθηκε σε προχωρημένες υποδομές μετρητών της δεκαετίας του 1990, των οποίων οι μετρητές μπορούσαν να αποθηκεύσουν πόση ενέργεια χρησιμοποιήθηκε σε διαφορετικές στιγμές της ημέρας. Η προσθήκη των έξυπνων μετρητών προσδίδει στο δίκτυο συνεχή επικοινωνία έτσι ώστε η παρακολούθηση του δικτύου να γίνεται σε πραγματικό χρόνο. Στις αρχές της δεκαετίας του 2000, οι βελτιώσεις στον τομέα των ηλεκτρονικών επικοινωνιών είχαν γίνει εμφανείς με στόχο την επίλυση των περιορισμών και του κόστους του ηλεκτρικού δικτύου. Λόγω των βελτιώσεων αυτών οι τεχνολογικοί περιορισμοί δεν ωθούν την τιμή της ενέργειας στα ύψη με αποτέλεσμα τα κόστη να κατανέμονται στους καταναλωτές ισόποσα. Παράλληλα, οι αυξανόμενες ανησυχίες για την περιβαλλοντική επιβάρυνση από του σταθμούς ενέργειας που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα έχει οδηγήσει σε μία επιθυμία να χρησιμοποιηθούν μεγάλες ποσότητες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τέλος, η αυξανόμενη ανησυχία για τρομοκρατικές επιθέσεις σε κάποιες χώρες έχει οδηγήσει στην επιθυμία για την δημιουργία ενός πιο ισχυρού ενεργειακού δικτύου που θα είναι λιγότερο εξαρτημένο από κεντρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας, οι οποίοι θεωρούνται πιθανοί στόχοι για επίθεση.

2.3.2 Χαρακτηριστικά του έξυπνου δικτύου

Το έξυπνο δίκτυο αντιπροσωπεύει το πλήρες μοντέλο των τρεχουσών και προτεινόμενων προκλήσεων στον τομέα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Εξ' αιτίας του μεγάλου φάσματος των παραγόντων, υπάρχουν πολλές και ανταγωνιστικές κατηγοριοποιήσεις και δεν υπάρχει συμφωνία για έναν καθολικό ορισμό. Παρ' όλα αυτά, θα προσπαθήσουμε να κάνουμε μία κατηγοριοποίηση των χαρακτηριστικών του έξυπνου δικτύου.

- **Αξιοπιστία**

Το έξυπνο δίκτυο θα χρησιμοποιήσει τεχνικές, όπως η εκτίμηση κατάστασης (state estimation), η οποία βελτιώνει την ανίχνευση λαθών και επιτρέπει την αυτό-ίαση του δικτύου χωρίς την παρέμβαση των τεχνικών. Αυτό εξασφαλίζει πιο αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και μεγαλύτερη αντοχή απέναντι σε φυσικές καταστροφές ή επιθέσεις.

- **Ευελιξία στην τοπολογία του δικτύου**

Οι τεχνικές νέας γενιάς μετάδοσης και οι νέες υποδομές διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας είναι σε θέση να χειριστούν καλύτερα πιθανές αμφίδρομες ροές ενέργειας, επιτρέποντας την καταναεμημένη παραγωγή, όπως φωτοβολταϊκά πάνελ στις οροφές των κτηρίων, ανεμογεννήτριες καθώς και από άλλες πηγές.

Τα κλασικά δίκτυα έχουν σχεδιαστεί για μονόδρομη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, αλλά, αν ένα τοπικό υπό-δίκτυο παράγει περισσότερη ενέργεια από όση παράγει, η αντίστροφη ροή ενέργειας μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα ασφάλειας και αξιοπιστίας. Ένα έξυπνο δίκτυο έχει σχεδιαστεί για να μπορεί να διαχειρίζεται αυτές τις καταστάσεις.

- **Αποδοτικότητα**

Σημαντική συμβολή στην συνολική βελτίωση της αποδοτικότητας των ενεργειακών υποδομών αναμένεται από την ανάπτυξη της τεχνολογίας των έξυπνων δικτύων. Πιο συγκεκριμένα, στη διαχείριση της ζήτησης της ενέργειας μειώνοντας το φορτίο, όταν είναι δυνατόν, ανεξαρτησία από τεχνικούς(truck-rolls) για τις μετρήσεις του δικτύου και μείωση της επέμβασης των τεχνικών μέσω βελτιωμένων συστημάτων διαχείρισης χρησιμοποιώντας δεδομένα από εξελιγμένα συστήματα μέτρησης (Advances Metering Systems). Το συνολικό αποτέλεσμα είναι λιγότερος πλεονασμός σε γραμμές μετάδοσης και διανομής και καλύτερη χρήση των γεννητριών, που οδηγεί σε χαμηλότερες τιμές του ηλεκτρικού

ρεύματος.

- **Βιωσιμότητα**

Η βελτιωμένη ευελιξία των έξυπνων δικτύων επιτρέπει μεγαλύτερη διείσδυση των εξαιρετικά μεταβαλλόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η ηλιακή και αιολική ενέργεια, ακόμη και χωρίς την προσθήκη συσκευών αποθήκευσης ενέργειας. Οι τωρινές υποδομές του δικτύου δεν έχουν κατασκευαστεί να επιτρέπουν πολλά σημεία καταναεμημένης παραγωγής. Υπάρχουν περιπτώσεις που επιτρέπονται στο επίπεδο της διανομής αλλά στο επίπεδο της μεταφοράς οι υποδομές δεν το επιτρέπουν.

Οι μεγάλες διακυμάνσεις της καταναεμημένης παραγωγής παρουσιάζουν μεγάλες προκλήσεις στους μηχανικούς που πρέπει να εγγυηθούν για σταθερά επίπεδα ενέργειας μέσω της μεταβαλλόμενης εξόδου των ελεγχόμενων γεννητριών. Για το λόγο αυτό η τεχνολογία των έξυπνων δικτύων είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τις μεγάλες ποσότητες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο.

2.3.3 Η τεχνολογία του έξυπνου δικτύου

Το μεγαλύτερο μέρος της τεχνολογίας των έξυπνων δικτύων έχει ήδη χρησιμοποιηθεί από άλλους τομείς όπως είναι ο κατασκευαστικός τομέας και ο τομέας των τηλεπικοινωνιών και έχουν προσαρμοστεί για χρήση σε λειτουργίες δικτύου. Σε γενικές γραμμές η τεχνολογία των έξυπνων δικτύων μπορεί να ομαδοποιηθεί σε τέσσερις βασικούς άξονες.

- **Ενσωματωμένες επικοινωνίες**

Ορισμένες μορφές επικοινωνίας είναι ενημερωμένες, αλλά δεν είναι καθολικές καθώς έχουν σχεδιαστεί με μία αυξητική μέθοδο και δεν έχουν ενσωματωθεί πλήρως. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα δεδομένα συλλέγονται μέσω ενός modem και όχι μέσω μίας απευθείας σύνδεσης στο δίκτυο. Τα έξυπνα δίκτυα υποστηρίζουν την τεχνολογία των ενσωματωμένων επικοινωνιών μέσω των οποίων επιτυγχάνεται ο έλεγχος

σε πραγματικό χρόνο, η ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων για την βελτιστοποίηση της αξιοπιστίας του συστήματος, η αξιοποίηση των κεφαλαίων και η βελτίωση της ασφάλειας του δικτύου.

- **Ανίχνευση και μέτρηση**

Η ανίχνευση και η μέτρηση αποτελούν τις βασικές παραμέτρους στην εκτίμηση της κυκλοφορίας και της ευστάθειας του δικτύου, στην παρακολούθηση του εξοπλισμού, στην πρόληψη της ενεργειακής κλοπής και στην υποστήριξη των στρατηγικών ελέγχου. Περιλαμβάνουν εξελιγμένους μικροεπεξεργαστές μέτρησης (smart meters), συστήματα παρακολούθησης ευρείας περιοχής, εξελιγμένους διακόπτες και καλώδια, εργαλεία τιμολόγησης και χρήσης σε πραγματικό χρόνο και δυναμική αξιολόγηση των γραμμών.

- **Προηγμένη τεχνολογία ελέγχου**

Η αυτοματοποίηση των συστημάτων ενέργειας επιτρέπουν γρήγορη διάγνωση και ακριβείς λύσεις σε συγκεκριμένα προβλήματα του δικτύου. Οι τρεις κατηγορίες για προηγμένο έλεγχο είναι: α) καταναμημένοι ευφυείς πράκτορες (συστήματα ελέγχου), β) εργαλεία ανάλυσης (αλγόριθμοι και υπολογιστές υψηλής ταχύτητας) και γ) οι λειτουργικές εφαρμογές (ανταπόκριση ζήτησης, αυτοματισμός υποσταθμών κ.α.).

- **Βελτιωμένες διεπαφές (interfaces) και υποστήριξη αποφάσεων**

Τα εξελιγμένα πληροφοριακά συστήματα μειώνουν την πολυπλοκότητα έτσι ώστε οι διαχειριστές των δικτύων να έχουν εργαλεία για την αποδοτική και αποτελεσματική λειτουργία του δικτύου. Περιλαμβάνουν διάφορες τεχνικές απεικόνισης που μειώνουν τις μεγάλες ποσότητες από δεδομένα σε κατανοητές οπτικές μορφές, συστήματα λογισμικού που παρέχουν πολλαπλές επιλογές όταν χρειάζονται οι ενέργειες του διαχειριστή και προσομοιωτές για την επιχειρησιακή εκπαίδευση και ανάλυση.

2.3.4 Εγκαθιστώντας τα έξυπνα δίκτυα

Τα πιθανά οφέλη της δημιουργίας του έξυπνου δικτύου μοιάζουν να είναι αρκετά υποσχόμενα για όλους εκείνους που το χρησιμοποιούν ή τους ανήκει. Μία εντελώς πρωτοποριακή συμμετοχή των χρηστών θα αλλάξει το σκηνικό στην παροχή ηλεκτρισμού, αποφέροντας επίσης αξιοσημείωτα αποτελέσματα στην εξοικονόμηση ενέργειας. Η αυξημένη διασύνδεση ακόμα και μεταξύ διαφορετικών χωρών θα μας προσφέρει την καταπληκτική ευκαιρία να ανταλλάξουμε ενέργεια πολύ πιο αποτελεσματικά και με οικονομικά και ενεργειακά οφέλη.

Πελάτες: Η σχέση μεταξύ πελατών και ηλεκτρικής παροχής είναι περιορισμένη μόνο στην ζήτηση ισχύος ανάλογα με τις ανάγκες τους και στην πληρωμή των λογαριασμών. Επιπλέον, οι πελάτες είναι αναγκασμένοι να είναι συνδεδεμένοι στον ένα και μοναδικό διαθέσιμο πάροχο, καθώς το μονοπώλιο των εταιρειών ηλεκτρισμού συνεχίζεται.

Οι λογαριασμοί που λαμβάνουν οι πελάτες, είναι κατά γενική άποψη, ακατανόητοι από αυτούς. Επιπλέον, οι πελάτες δεν έχουν καμία ιδέα για το πόσο πληρώνουν για συγκεκριμένες καταναλώσεις. Οι λογαριασμοί φθάνουν πολύ αργότερα από το χρόνο της κατανάλωσης κι έτσι δεν έχουν την ευκαιρία να τους ελέγχουν με το να προσαρμόζουν τις ανάγκες τους στα χρήματα που διαθέτουν.

Ωστόσο, όλα αυτά θα αποτελούσαν μόνο μια ανάμνηση καθώς το έξυπνο δίκτυο προσφέρει την ευκαιρία στους πελάτες να γίνουν ενεργό μέρος αυτού. Οι πελάτες θα έχουν τη δύναμη να αλληλεπιδρούν με το δίκτυο και να αποκομίσουν οφέλη για τους ίδιους.

Η εγκατάσταση έξυπνων μετρητών και συσκευών που επιτρέπουν στους πελάτες να γνωρίζουν ποια είναι η καλύτερη και ποια η χειρότερη ώρα για να χρησιμοποιήσουν τις συσκευές τους κατά τη διάρκεια της ημέρας, θα μπορούσε να οδηγήσει σε αξιοσημείωτη εξοικονόμηση ενέργειας. Για το λόγο αυτό, η ανάγκη για νέες υποδομές θα μειώσει την απειλή για ολέθρια βλάβη του συστήματος(blackout) και θα μειωθεί σημαντικά η ζήτησης τις ώρες αιχμής.

Η τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο λόγω της χρήσης των έξυπνων συσκευών παρακινεί τους πελάτες να μειώσουν τις απαιτήσεις τους για σύντομα αλλά πολύ σημαντικά χρονικά διαστήματα για το δίκτυο.

Οι έξυπνες συσκευές μέτρησης, οι τεχνολογίες ηλεκτρονικού ελέγχου και η εισαγωγή σύγχρονης επικοινωνίας, θα αλλάξουν το σκηνικό. Η πρόσβαση στις διατάξεις της ηλεκτρικής παροχής θα επιτρέπεται σε όλους. Έτσι, οι πελάτες θα πρέπει να είναι ενήμεροι για τη χρήση αυτών των τεχνολογιών ούτως ώστε τα οφέλη τους να αποκομισθούν κατά το βέλτιστο δυνατό τρόπο. Οι υπηρεσίες μέτρησης θα παίξουν κυρίαρχο ρόλο στην εξέλιξη της ζήτησης ισχύος. Η τεχνολογία πληροφόρησης και επικοινωνίας θα είναι επίσης πολύτιμη στη διαχείριση πραγματικού χρόνου της αλυσίδας κόστους, που περιλαμβάνει τους παρόχους, τα ενεργά δίκτυα, τους μετρητές, τους πελάτες και τα εταιρικά συστήματα.

Τα συστήματα παρακολούθησης και προστασίας θα εφαρμοστούν για τη διαχείριση της συμφόρησης στα συστήματα μεταφοράς με έναν τρόπο που θα βελτιώνει την ασφάλεια και την αξιοπιστία της διαχείρισης του συστήματος.

Από την οπτική γωνία των πελατών, φαίνεται ότι είναι έτοιμοι για τις αλλαγές που θα γίνουν λόγω της εφαρμογής του νέου δικτύου. Είναι υπέρ της επιλογής στην αγορά ηλεκτρισμού καθώς είναι ήδη ενήμεροι για παρόμοιες υπηρεσίες στις τηλεπικοινωνίες και σε άλλες υπηρεσίες. Η ευκαιρία που τους προσφέρεται να γνωρίζουν πόσο θα πληρώνουν και τι, επιτρέποντάς τους να ελέγχουν τη ζήτησή τους, απομακρύνει τους δισταγμούς τους να εμπλακούν σε αυτό το ζήτημα.

Οι πελάτες θα πρέπει να ενημερωθούν σωστά για τις προοπτικές που θα τους προσφέρει το καινούριο δίκτυο και για τις δυνατότητες που προσφέρονται από την αγορά και την on-line απόκρισή τους. Σε αυτές περιλαμβάνονται ευέλικτες και ανταγωνιστικές τιμολογήσεις, τοπική παραγωγή, υποστηρικτικά σχέδια για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και υπηρεσίες επικοινωνίας και τιμολόγησης. Έχοντας να αντιμετωπίσουν καλά ενημερωμένους πελάτες, είναι πιο εύκολο για τις εταιρείες να συνεργαστούν με αυτούς και να φθάσουν στα επιθυμητά αποτελέσματα με έναν πολύ πιο γρήγορο και εύκολο τρόπο.

2.3.5 Βασικές μονάδες των έξυπνων δικτύων

Στις μέρες μας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου έχει γίνει στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με σκοπό να προστατεύσουμε το φυσικό μας περιβάλλον.

Η εφαρμογή της κατανεμημένης παραγωγής, κύριο χαρακτηριστικό του έξυπνου δικτύου, περιλαμβάνει εκτεταμένη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η αιολική ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, η γεωθερμική ενέργεια, η βιομάζα και άλλες μορφές ενέργειας περιλαμβάνονται σε αυτού του είδους τις πηγές. Μαζί με άλλες καθαρές μορφές ενέργειας, όπως οι κυψέλες καυσίμου, υπόσχονται να έχουν μικρό αντίκτυπο στο περιβάλλον.



Εικόνα 5 Έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα για μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ

Φωτοβολταϊκά

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο και τα ηλεκτρονικά του συστήματα, τα οποία διαχειρίζονται το ρεύμα που παράγεται από την ηλιακή διάταξη. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν μία καθαρή, αξιόπιστη και φιλική προς τον καταναλωτή ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του είδους πηγών ενέργειας:

- Η ηλιακή ενέργεια είναι δωρεάν – δε χρειάζεται κανένα καύσιμο και δεν παράγει απόβλητα.
- Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τόπους όπου δεν είναι εύκολο να φτάσει το ρεύμα λόγω αποστάσεων.
- Είναι εξυπηρετικές για χρήσεις χαμηλής ισχύος όπως τα ηλιακά φώτα κήπου και τους φορτιστές μπαταρίας.

Τα μειονεκτήματα είναι:

- Δεν δουλεύουν τη νύχτα
- Δεν είναι αποδοτικά σε περιοχές με περιορισμένη ηλιοφάνεια.

Κυψέλες καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου είναι διατάξεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του χημικού συνδυασμού ενός καυσίμου και του οξυγόνου. Είναι μια τεχνολογία, η οποία έχει ρόλο κλειδιού στην παραγωγή ηλεκτρισμού, με την προοπτική να αντικαταστήσει ένα πολύ μεγάλο μέρος των παρόντων ενεργειακών συστημάτων σε όλες τις εφαρμογές, από κινητά τηλέφωνα μέχρι αυτοκίνητα. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιεί υδρογόνο (από μια πηγή καυσίμου) και οξυγόνο (από τον αέρα) για να παράγει ηλεκτρισμό και θερμότητα. Έχει πολύ σωστά

χαρακτηριστεί ως μια καθαρή τεχνολογία, καθώς η μόνη βασική εκπομπή είναι ατμός. Η αποδοτικότητά τους φθάνει το 80%.

Πλεονεκτήματα:

- Υψηλή αποδοτικότητα μετατροπής.
- Υψηλή πυκνότητα ισχύος.
- Αθόρυβη λειτουργία.

Μειονεκτήματα:

- Η λειτουργία τους απαιτεί αντικαταστάσιμη παροχή καυσίμου.

Συνδυασμένος Ηλεκτρισμός και Θερμότητα(ΣΗΘ)

Τα συστήματα αυτού του είδους παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και χρήσιμη θερμική ενέργεια, μέσω ενός μοναδικού και ενοποιημένου συστήματος. Η θερμική ενέργεια που εξασφαλίζεται από ένα σύστημα Συνδυασμένης Θερμότητας και Ισχύος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση ή την ψύξη βιομηχανιών ή κτιρίων.

Επειδή τα συστήματα ΣΗΘ εγκλωβίζουν τη θερμότητα που διαφορετικά θα αποβαλλόταν στην παραδοσιακή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η συνολική αποδοτικότητα αυτών των ενοποιημένων συστημάτων θα μπορούσε να είναι μέχρι και 85%. Συγκρινόμενος με τις παραδοσιακές εγκαταστάσεις λεβήτων ή την παραδοσιακή παραγωγή ηλεκτρισμού, ο ΣΗΘ μπορεί να εξοικονομήσει περίπου 30% στη βασική κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μπορούν να μειωθούν σε ένα βαθμό περίπου 0.5 kg ανά kWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ΣΗΘ μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμος σε καταναλωτές με συνεχή και σταθερή ζήτηση θερμότητας.

Πλεονεκτήματα:

- Μειωμένα κόστη ενέργειας.
- Βελτιωμένη ασφάλεια προμήθειας ενέργειας.

- Μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.
- Διατήρηση πολύτιμων πηγών καυσίμων.

Μειονεκτήματα:

- Η ζήτηση ηλεκτρισμού και θερμότητας πρέπει να είναι ταυτόχρονες.
- Υψηλό κόστος συντήρησης.

Αεριοστρόβιλοι

Πρόκειται για περιστροφικές μηχανές στις οποίες κάποιο καύσιμο καίγεται για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Τα θερμικά αέρια καύσης περνούν στο στρόβιλο, όπου διαστέλλονται για να κινήσουν μια γεννήτρια και έπειτα χρησιμοποιούνται για να θέσουν σε λειτουργία ένα συμπιεστή. Ο μικρό-στρόβιλος είναι μια αξιόπιστη, περιβαλλοντικά ευεργετική λύση για την παραγωγή ενέργειας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παροχή εφεδρικής ενέργειας σε στιγμές αιχμής ζήτησης.

2.3.6 Οφέλη από το έξυπνο δίκτυο

Τα οφέλη των έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων τυγχάνουν ευρύτατης αναγνώρισης. Με τα έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα μπορεί να επιτευχθεί η διαχείριση της άμεσης αλληλεπίδρασης και της επικοινωνίας μεταξύ καταναλωτών, νοικοκυριών ή εταιρειών, άλλων χρηστών του δικτύου και των προμηθευτών ενέργειας.

Τα δίκτυα αυτά προσφέρουν δυνατότητες άνευ προηγουμένου στους καταναλωτές να ελέγχουν άμεσα και να διαχειρίζονται τις δικές τους καταναλωτικές συνήθειες, παρέχοντας παράλληλα ισχυρά κίνητρα για την αποδοτική χρήση της ενέργειας εάν συνδυαστούν με τιμές ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώμενες από τη χρονική στιγμή παροχής. Η

βελτιωμένη και πιο στοχευμένη διαχείριση του δικτύου μεταφράζεται σε δίκτυα ασφαλέστερα και χαμηλότερου κόστους λειτουργίας.

Τα έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα θα αποτελέσουν τη σπονδυλική στήλη του μελλοντικού συστήματος παραγωγής ισχύος δίχως κατανάλωση άνθρακα. Θα επιτρέψουν την ενοποίηση τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας από χερσαίες και υπεράκτιες ανανεώσιμες πηγές με τα ηλεκτρικά οχήματα, διαφυλάσσοντας παράλληλα τη διαθεσιμότητα της συμβατικής ηλεκτροπαραγωγής και την επάρκεια του συστήματος παραγωγής ισχύος. Επιπλέον η αξιοποίηση των έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων προσφέρει την ευκαιρία να ενισχυθεί μελλοντικά η ανταγωνιστικότητα και η παγκόσμια τεχνολογική πρωτοπορία των φορέων παροχής τεχνολογίας, όπως ο κλάδος της ηλεκτρικής και ηλεκτρονικής μηχανικής, που αποτελείται ως επί το πλείστον από μικρομεσαίες επιχειρήσεις.

Τα έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα προσφέρουν βάθρο για τις παραδοσιακές ενεργειακές εταιρείες ή τους νεοεισερχόμενους σε αυτή την αγορά συμπεριλαμβανομένων των μικρομεσαίων επιχειρήσεων, για την ανάπτυξη νέων καινοτόμων ενεργειακών υπηρεσιών, λαμβάνοντας παράλληλα δεόντως υπόψη τις προκλήσεις στους τομείς της προστασίας των δεδομένων και της ασφάλειας του κυβερνοχώρου. Αυτή η δυναμική αναμένεται να ενισχύσει τον ανταγωνισμό στην αγορά λιανικής, να παράσχει κίνητρα για μειώσεις των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και να αποτελέσει ευκαιρία για οικονομική ανάπτυξη.

Για να μιλήσουμε λίγο πιο συγκεκριμένα η ανάπτυξη των τεχνολογιών μεταφοράς δεδομένων μέσω ηλεκτρικών καλωδίων θα συμβάλει στην ευρεία εξάπλωση του έξυπνου ηλεκτρικού δικτύου, το οποίο θα χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες πληροφοριών για την διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό θα εξασφαλίζει αποτελεσματική, αξιόπιστη και ασφαλή διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας ενώ θα επιτρέπει την αυξανόμενη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το έξυπνο αυτό δίκτυο επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ της εταιρείας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και συσκευών του σπιτιού όπως οι έξυπνοι θερμοστάτες κι άλλες συσκευές. Τα σπίτια με δίκτυο (HAN-home area network) θα επικοινωνούν μέσω του αυτόματου μετρητή

(AMR –Automatic meter reading) με το έξυπνο δίκτυο, αυτό δίνει στις εταιρείες την δυνατότητα για εύκολη διαχείριση των πόρων και των φορτίων αιχμής.

Επίσης θα παρέχονται στον συνδρομητή προπληρωμένες υπηρεσίες, πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο για την κατανάλωση. Αυτό σημαίνει ότι οι συσκευές HAN θα μπορούν να επικοινωνούν με τον έξυπνο μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας ο οποίος θα δίνει χρήσιμες πληροφορίες για την κατανάλωση τόσο στον χρήστη όσο και στον πάροχο. Τέλος ένας αυτόματος μετρητής μπορεί να παρέχει δεδομένα για την κατανάλωση νερού και φυσικού αερίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Μοντελοποίηση του έξυπνου δικτύου

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην προσομοίωση ενός έξυπνου δικτύου. Για να γίνει πιο κατανοητό το αντικείμενο της εργασίας επιλέχθηκε ο δυναμικός τρόπος προσομοίωσης του δικτύου έτσι ώστε τα αποτελέσματα που παράχθηκαν να είναι πιο ακριβή. Με τον όρο “δυναμική προσομοίωση” εννοούμε ότι το δίκτυο δέχεται σαν είσοδο κάποια δεδομένα με τα οποία εκπαιδεύεται και παράγει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Δυστυχώς, η πραγματική πειραματική εκτίμηση είναι πέρα από τις δυνατότητές μας λόγω έλλειψης εμπειρίας αλλά και εγκαταστάσεων. Για να επιτύχουμε την δυναμική προσομοίωση του δικτύου μας και να έχουμε αποτελέσματα που θα είναι αποδοτικά επιλέξαμε να προσομοιώσουμε το δίκτυο με το πρόγραμμα POWER WORLD.

3.2 Λογισμικό προσομοίωσης-POWER WORLD

3.2.1 Γενικά

Το POWER WORLD SIMULATOR είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης συστημάτων ισχύος με σκοπό να λύνει ροές ισχύων αλλά και οικονομικά προβλήματα, σχεδιασμένο έτσι ώστε να είναι φιλικό προς τον χρήστη. Διαθέτει όλες τις απαραίτητες δυνατότητες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ένα μηχανικό για επιστημονική ανάλυση αλλά ταυτόχρονα επειδή είναι φιλικό προς τον χρήστη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάλυση και κατανόηση της λειτουργίας από μη-τεχνικά ακροατήρια. Πρόκειται, δηλαδή, για μια επαρκή μηχανή που παρέχει λύση για ροές ισχύος σε ένα σύστημα, ικανή να χειριστεί συστήματα μέχρι και 100.000 ζυγών. Παράλληλα επιτρέπει στον χρήστη να παρακολουθεί το σύστημα και τις αλληλεπιδράσεις των στοιχείων που το αποτελούν μέσω χρωματισμένων κινούμενων (animated) μονογραμμικών διαγραμμάτων, δίνοντας επιπλέον την δυνατότητα επέμβασης στο τρόπο λειτουργίας του μοντέλου(π.χ. γραμμές μεταφοράς μπορούν να ανοίξουν ή να κλείσουν, εισαγωγή νέας γραμμής μεταφοράς κ.α.). Το βασικό πακέτο του Power World Simulator, εκτός από την δυνατότητα χειρισμού μοντέλων με ζυγούς της τάξεως των 100.000, περιλαμβάνει τα απαραίτητα εργαλεία για την εκτέλεση ολοκληρωμένης οικονομικής κατανομής φορτίου, ανάλυσης της ανταλλαγής ισχύος μεταξύ περιοχών του μοντέλου κ.α. Επιπλέον, έχει κάποια επιπρόσθετα εργαλεία για την βέλτιστη ροή ισχύος, για τη διαθέσιμη ικανότητα μεταφοράς και ένα εργαλείο για τον αυτόματο έλεγχο παραγωγής.

3.2.2 Δυνατότητες του προγράμματος

Οι λειτουργίες και τα εργαλεία του προγράμματος προσφέρουν πολλές δυνατότητες για μια εις βάθος ανάλυση, μελέτη και απεικόνιση περίπλοκων συστημάτων ισχύος. Οι σημαντικότερες δυνατότητες του Power world simulator είναι :

- Σχεδιασμός γραμμών μεταφοράς εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος.
- Λεπτομερής σχεδιασμός μετασχηματιστών με σύστημα αλλαγής τάσης υπό φορτίο και φάσης, διακοπών, καμπυλών ενεργού και άεργου τρόπου φόρτισης των γεννητριών κ.α.
- Ενσωμάτωση αυτόματου ελέγχου παραγωγής περιοχής(Automatic Generation Control-AGC) στην επίλυση της ροής φορτίου, προσφέροντας διαφορετικούς τρόπους ελέγχου: με ένα ζυγό ταλάντωσης, διανεμημένο έλεγχο με πολλαπλούς ζυγούς ταλάντωσης κ.α.
- Γραφική απεικόνιση της ροής ισχύος με κινούμενα βέλη στις γραμμές μεταφοράς και διαγράμματα πίτας(pie charts) τα οποία δίνουν την άμεση δυνατότητα υπερφορτίσεων των γραμμών, καθώς η ροή ισχύος φαίνεται ως ποσοστό πλήρους φόρτισης της γραμμής.
- Δυνατότητα αξιολόγησης των τεχνικών πτυχών μια ανακατανομής αλλά και την οικονομική σημασία της.
- Παρέχονται εργαλεία για τον υπολογισμό ευαίσθητων σημείων, όπως οι παράγοντες διανομής μεταφοράς ισχύος, η ευαισθησία των απωλειών κ.α.
- Δυνατότητα προσομοίωσης της αγοράς ενέργειας. Το εργαλείο OPF(Optimal Power Flow) μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε με περιορισμούς ασφαλείας τι θα πρέπει να πληρώσουν ή να πληρωθούν οι συμμετέχοντες του δικτύου που έχουμε κατασκευάσει.

- Πέρα από την δυνατότητα γραφικής αναπαράστασης, δίνεται και η δυνατότητα παρουσίασης και επεξεργασίας των στοιχείων υπό μορφή πινάκων, σε λογιστικό φύλλο.

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε η έκδοση των 12 ζυγών που είναι διαθέσιμη στον ιστότοπο του Power World. Το πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε με σκοπό την προσομοίωση ενός έξυπνου δικτύου έτσι ώστε να μελετηθεί η αντίδραση του δικτύου όταν αυτό ‘μπει’ σε λειτουργία νησιού(island mode). Έτσι δεν χρησιμοποιήθηκαν όλες οι λειτουργίες του Power World παρά μόνο αυτές που είναι απαραίτητες για την προσομοίωση του μοντέλου. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Ζυγοί
- Γεννήτριες
- Γραμμές μεταφοράς
- Φορτία

3.2.3 Το εργαλείο Transient Stability

Το εργαλείο Transient Stability επιτρέπει την ανάλυση της δυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος σε κάποιο σφάλμα που προκλήθηκε στο δίκτυο. Για το σκοπό αυτό το Power World Simulator υποστηρίζει πάνω από εκατό διαφορετικά δυναμικά μοντέλα (μηχανές, ρυθμιστές στροφών, τάσης κ.α.). Για τα περισσότερα μοντέλα παρέχονται προεπιλεγμένες τιμές παραμέτρων από το πρόγραμμα για εύκολο προγραμματισμό και πειραματισμό. Για να χρησιμοποιηθεί το εργαλείο πρέπει το πρόγραμμα να βρίσκεται σε κατάσταση Run Mode.

Μέσα από το εργαλείο αυτό καθορίζονται τα συμβάντα διαταραχής του δικτύου. Τα κυριότερα στοιχεία ενός Σ.Η.Ε. που σχετίζονται με τις διαταραχές ευστάθειας είναι τα εξής: γραμμές μεταφοράς και μετασχηματιστές, σημεία σύνδεσης (ζυγοί), γεννήτριες, φορτία και πυκνωτές.

Από την προσομοίωση μιας διαταραχής μέσω του Transient Stability παράγονται τεράστιες ποσότητες δεδομένων για τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Το Power World Simulator παρέχει εύκολους τρόπους για την επιλογή των δεδομένων που ενδιαφέρουν τον χρήστη, ώστε να μπορεί να δει αυτά τα αποτελέσματα μετά το ‘τρέξιμο’ της προσομοίωσης και να μπορεί να τα αποθηκεύσει για μετέπειτα χρήση.

Το Transient Stability παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα απεικόνισης των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης σε μορφή γραφημάτων με εύκολο και γρήγορο τρόπο. Τα γραφήματα εξάγονται πολύ εύκολα, είτε με την επιλογή της επιθυμητής στήλης αποτελεσμάτων είτε με τον καθορισμό τους εξ’ αρχής και η προβολή τους γίνεται αυτόματα μετά το τέλος της προσομοίωσης.

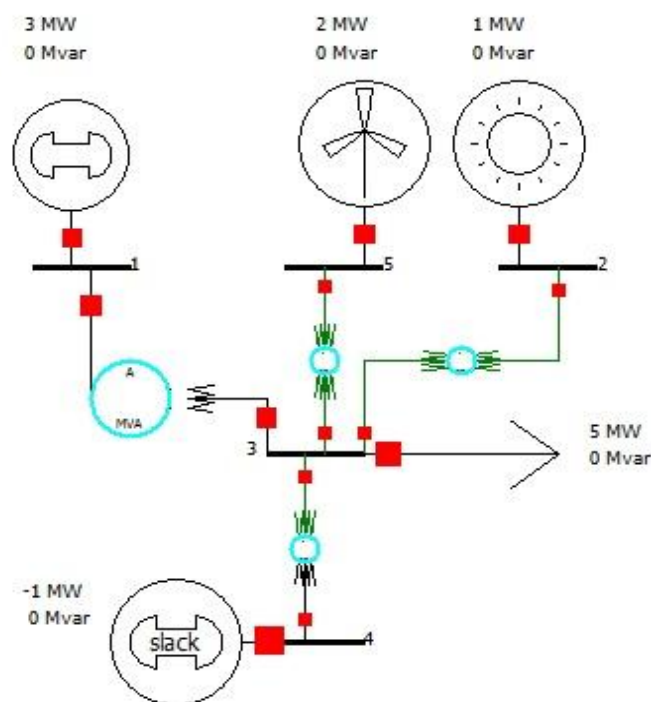
3.3 Η προσέγγισή μας

Στην προσπάθεια για να μοντελοποιήσουμε το έξυπνο δίκτυο έπρεπε να λάβουμε υπ’ όψιν μας όλες τις παραμέτρους που θα καθιστούσαν την σχεδιάσή μας αποτελεσματική και αποδοτική.

Το μοντέλο του έξυπνου δικτύου που δημιουργήσαμε περιλαμβάνει φωτοβολταϊκά πάνελ, ανεμογεννήτριες, γραμμές μεταφοράς, κλασικές γεννήτριες παραγωγής ενέργειας και μονάδες ελέγχου του δικτύου.

Η περίπτωση την οποία εξετάζουμε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι πως το έξυπνο δίκτυο αντιδρά όταν ‘μπει’ σε λειτουργία νησιού(island mode). Με τον όρο ‘λειτουργία νησιού’ εννοούμε την λειτουργία κατά την οποία το έξυπνο δίκτυο δεν είναι συνδεδεμένο με το κεντρικό δίκτυο. Στη περίπτωση αυτή τα στοιχεία του δικτύου υφίστανται έναν διαχωρισμό, δηλαδή, μια πηγή ενέργειας γίνεται κυρίαρχος(master) του δικτύου και από αυτήν παρέχονται η συχνότητα και η τάση, ενώ οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας μετατρέπονται σε σκλάβους(slaves).

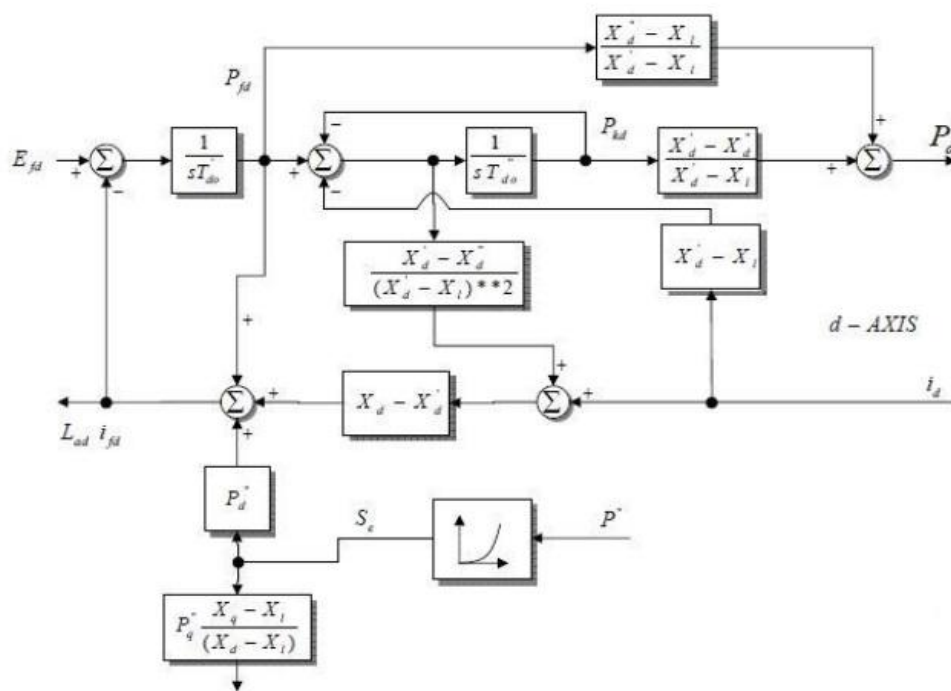
Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως προκειμένου να διερευνηθεί η λειτουργία νησιού(island mode), υλοποιήσαμε στο Power World Simulator ένα αντιπροσωπευτικό μοντέλο των μονάδων παραγωγής και του φορτίου του συγκεκριμένου Σ.Η.Ε. το οποίο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα :



Εικόνα 6 Το μοντέλο προσομοίωσης

Το μοντέλο αποτελείται από συνολικά πέντε ζυγούς. Οι τρεις πρώτοι ζυγοί αντιπροσωπεύουν τους ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς του νησιού και ο καθένας έχει τις μονάδες παραγωγής του κάθε σταθμού. Η συνολική παραγωγή ισχύος από κάθε ηλεκτροπαραγωγό σταθμό μεταφέρεται μέσω γραμμής μεταφοράς με ονομαστική ισχύ μεταφοράς 47 MVA στο ζυγό 3 όπου αθροίζεται η συνολική παραγωγή του νησιού. Το φορτίο στο ζυγό 3 αντιπροσωπεύει τόσο το φορτίο όσο και τις απώλειες των γραμμών μεταφοράς και των μετασχηματιστών του ηλεκτρικού δικτύου. Για την επίλυση της ροής φορτίου στο Power World

Για τις γεννήτριες των σταθμών παραγωγής χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο μηχανής GENROU, το οποίο παρέχει μια πολύ καλή προσέγγιση της συμπεριφοράς των σύγχρονων γεννητριών και αντιπροσωπεύει ένα στερεό ρότορα με 3 περιελίξεις. Στην παρούσα διπλωματική εργασία δεν κρίνεται αναγκαίο να αναφερθούμε στον τρόπο λειτουργίας και στα χαρακτηριστικά των μοντέλων μηχανής αλλά μας ενδιαφέρουν τα αποτελέσματα από την χρήση τους για τις προσομοιώσεις. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το block diagram του συγκεκριμένου μοντέλου μηχανής :



Για τις ανεμογεννήτριες δεν χρειάστηκε να βάλουμε κάποιο μοντέλο μηχανής γιατί η παραγωγή των αιολικών πάρκων είναι ανεξάρτητη από τις συνθήκες του υπόλοιπου Σ.Η.Ε. Επίσης σε

περίπτωση διαταραχής στο ηλεκτρικό δίκτυο οι ανεμογεννήτριες δεν μεταβάλλουν την παραγωγή τους.

3.4 Προσομοίωση συμβάντων διαταραχής

Το μοντέλο που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα υλοποιήθηκε με σκοπό τη μελέτη της αντίδρασης του έξυπνου δικτύου όταν αυτό ‘μπει’ σε λειτουργία νησιού (island mode). Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι ήταν αναγκαία η ρύθμιση των παραμέτρων των γεννητριών ώστε η απόκριση της συχνότητας να πλησιάζει την πραγματική σε περίπτωση διαταραχής στο ηλεκτρικό δίκτυο. Επιπλέον πρέπει να αναφερθεί ότι η ρεαλιστική προσομοίωση της αντίδρασης συχνότητας ενός Σ.Η.Ε. είναι μια δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία. Παρ’ όλα αυτά για λόγους πληρότητας προσπαθήσαμε να πλησιάσουμε τη ρεαλιστική αντίδραση συχνότητας για να κατανοήσουμε καλύτερα τις αντιδράσεις του δικτύου όσο αναφορά την συχνότητα.

Τα συμβάντα διαταραχής που προσομοιώσαμε έχουν να κάνουν με την μελέτη της αντίδρασης του έξυπνου δικτύου όταν αυτό αποκοπεί από το δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας. Σκοπός των συμβάντων διαταραχής είναι να δούμε την απόκριση της συχνότητας και γενικά την αντίδραση του δικτύου όταν αυτό ‘μπει’ σε λειτουργία νησιού. Θέλουμε δηλαδή να δούμε αν το δίκτυο μπορεί να ανταπεξέλθει στη ζήτηση ενέργειας και αν μπορεί να εξυπηρετήσει το φορτίο του νησιού μετά την αποκοπή του από το δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας

3.5 Προσομοιώσεις

Προκειμένου να μελετήσουμε την επίδραση που θα έχει στο έξυπνο δίκτυο η αποκοπή του από την ηπειρωτική χώρα εκτελέσαμε διάφορες προσομοιώσεις στο Power World Simulator έτσι ώστε να κατανοήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο την λειτουργία νησιού (island mode). Εκτελέστηκαν τέσσερα σενάρια προσομοίωσης.

Στα σενάρια που προσομοιώσαμε θέσαμε στις γεννήτριες το πραγματικό απόσπασμα φορτίου. Εκτελέσαμε την επίλυση ροής φορτίου με την λειτουργία Run Mode του Power World Simulator και διαπιστώσαμε ότι το σύστημα λειτουργεί χωρίς κάποιο πρόβλημα. Στη συνέχεια προσπαθήσαμε να εισάγουμε στο σύστημά μας την λειτουργία νησιού (island mode).

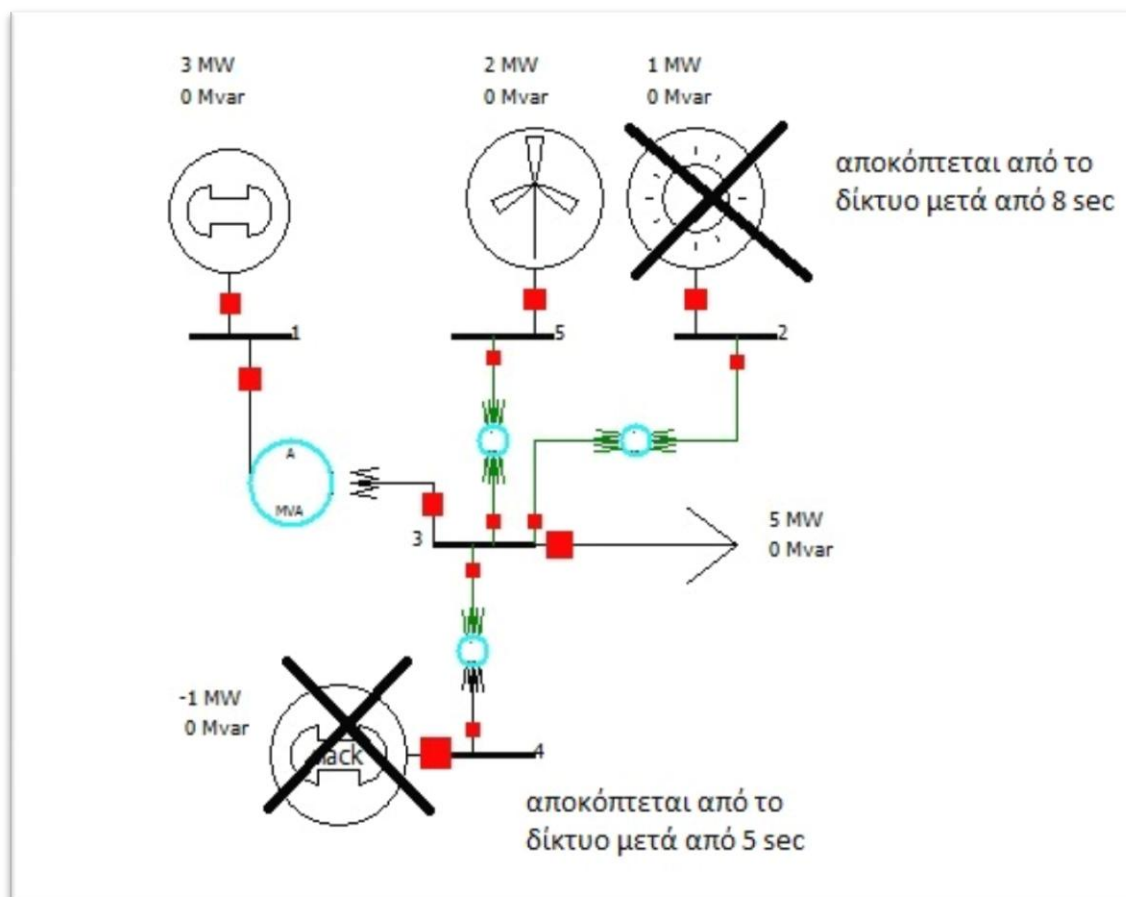
Στο σενάριο 1 και στο σενάριο 2 οι μονάδες παραγωγής κατάφεραν να ανταπεξέλθουν στη ζήτηση φορτίου και κατάφεραν να επαναφέρουν το δίκτυο σε ευστάθεια. Στα άλλα δύο σενάρια οι μονάδες παραγωγής δεν κατάφεραν να επαναφέρουν το δίκτυο σε ισορροπία. Αυτό συνέβη γιατί η ικανότητα παραγωγής των μονάδων που βρίσκονταν σε λειτουργία την συγκεκριμένη χρονική στιγμή δεν αρκούσε ώστε το σύστημα να μπορέσει να αναλάβει το φορτίο. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι για να έχει σωστά και επιθυμητά αποτελέσματα η λειτουργία νησιού (island mode) πρέπει να ισχύουν κάποιες συγκεκριμένες προϋποθέσεις.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα σενάρια και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Σε κάθε σενάριο, στην αρχή παρουσιάζεται η κατάσταση του δικτύου, δηλαδή ποιες μονάδες παραγωγής βρίσκονται σε λειτουργία την δεδομένη στιγμή και στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του κάθε σεναρίου.

3.5.1 Σενάριο 1

Στο σενάριο αυτό προσομοιώσαμε το συμβάν διαταραχής κατά το οποίο το δίκτυο 'μπαίνει' σε λειτουργία νησιού, αποκόπτεται δηλαδή από το δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας και επιπλέον σταματάει η λειτουργία της παραγωγικής μονάδας που υπάρχει το φωτοβολταϊκό πάρκο.

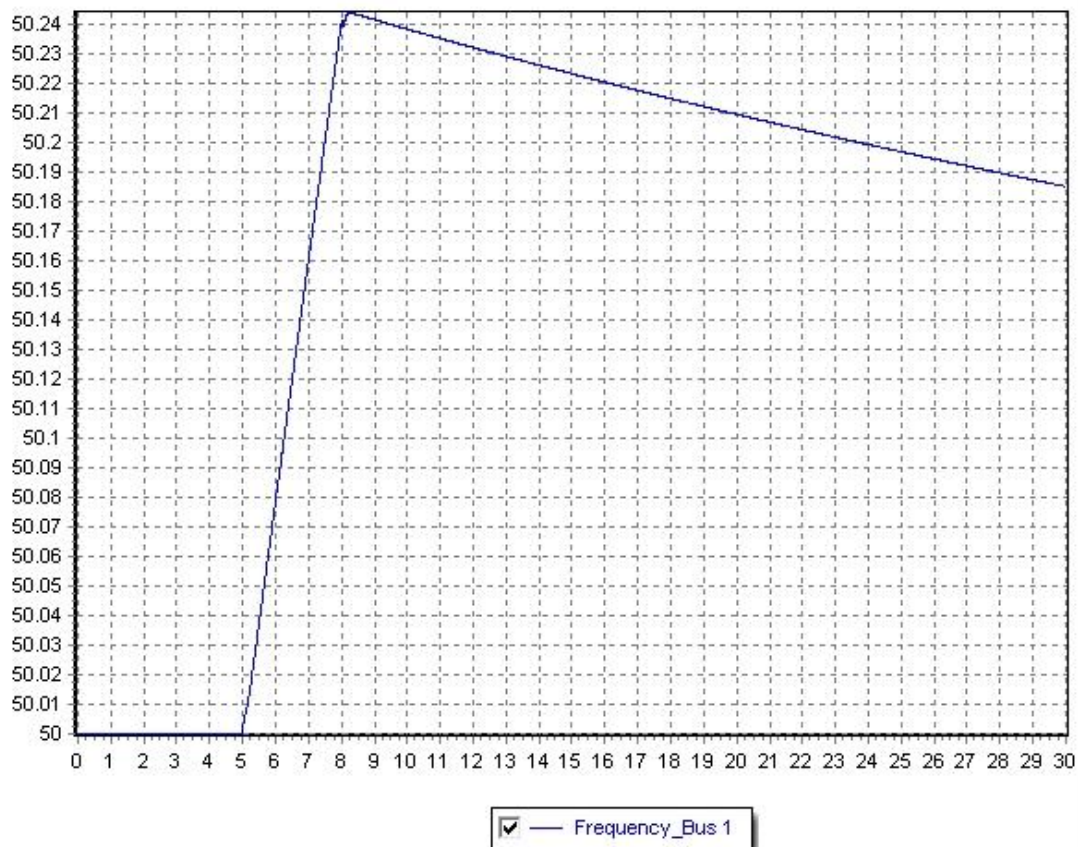
Στην πιο κάτω εικόνα παρουσιάζεται η μορφή του δικτύου μετά την διαταραχή που προσομοιώσαμε. Το κεντρικό δίκτυο αποκόπτεται μετά την παρέλευση 5 δευτερολέπτων ενώ η μονάδα παραγωγής που υπάρχει το φωτοβολταϊκό πάρκο αποκόπτεται μετά την παρέλευση 8 δευτερολέπτων.



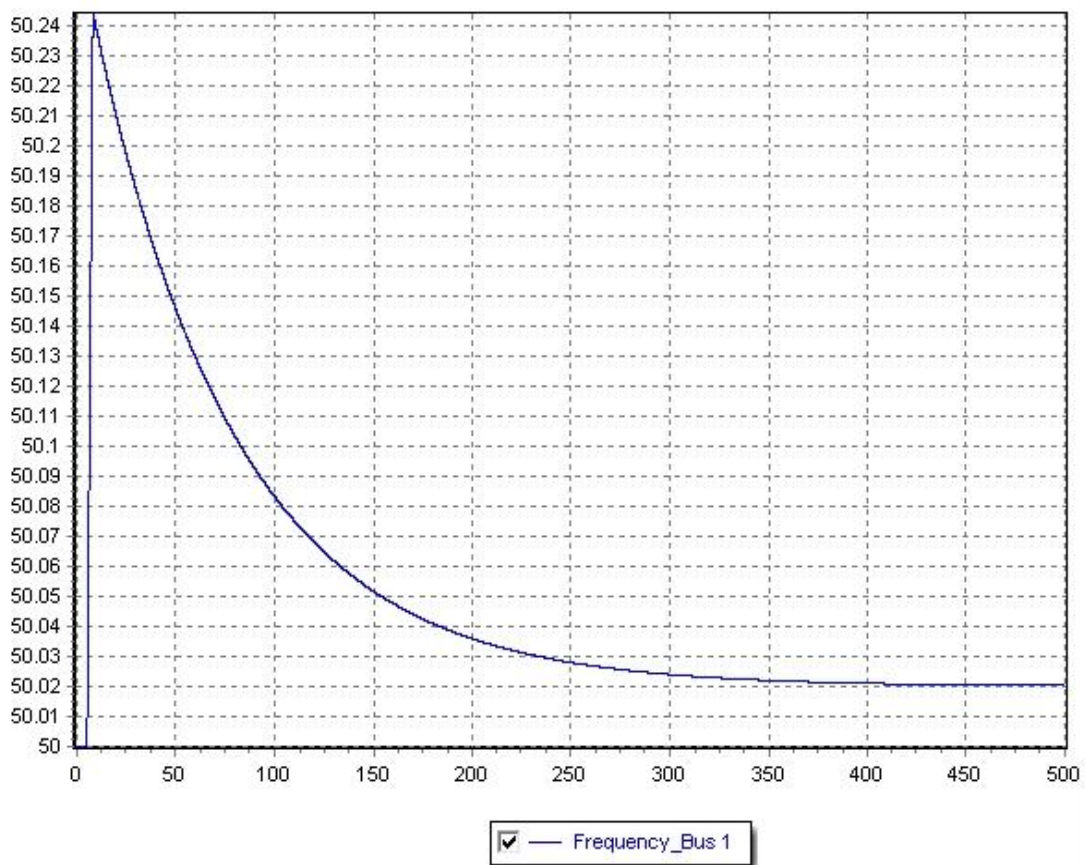
Εικόνα 8 Επίλυση ροής φορτίου υπό τις συνθήκες του σεναρίου 1

Μετά την διαταραχή αυτή θέλουμε να ελέγξουμε αν το δίκτυο επανέρχεται σε ισορροπία, αν δηλαδή η συχνότητα του δικτύου επανέρχεται κοντά στην ονομαστική της τιμή και αν μπορεί να εξυπηρετηθεί το φορτίο του δικτύου.

Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζεται η μεταβολή της συχνότητας του δικτύου όταν συμβαίνει η διαταραχή καθώς και η μεταβολή της τιμής του φορτίου.



Εικόνα 9 Μεταβολή της τιμής της συχνότητας τα πρώτα 30 sec της προσομοίωσης



Εικόνα 10 Μεταβολή της συχνότητας του δικτύου υπό τις συνθήκες του σεναρίου 1

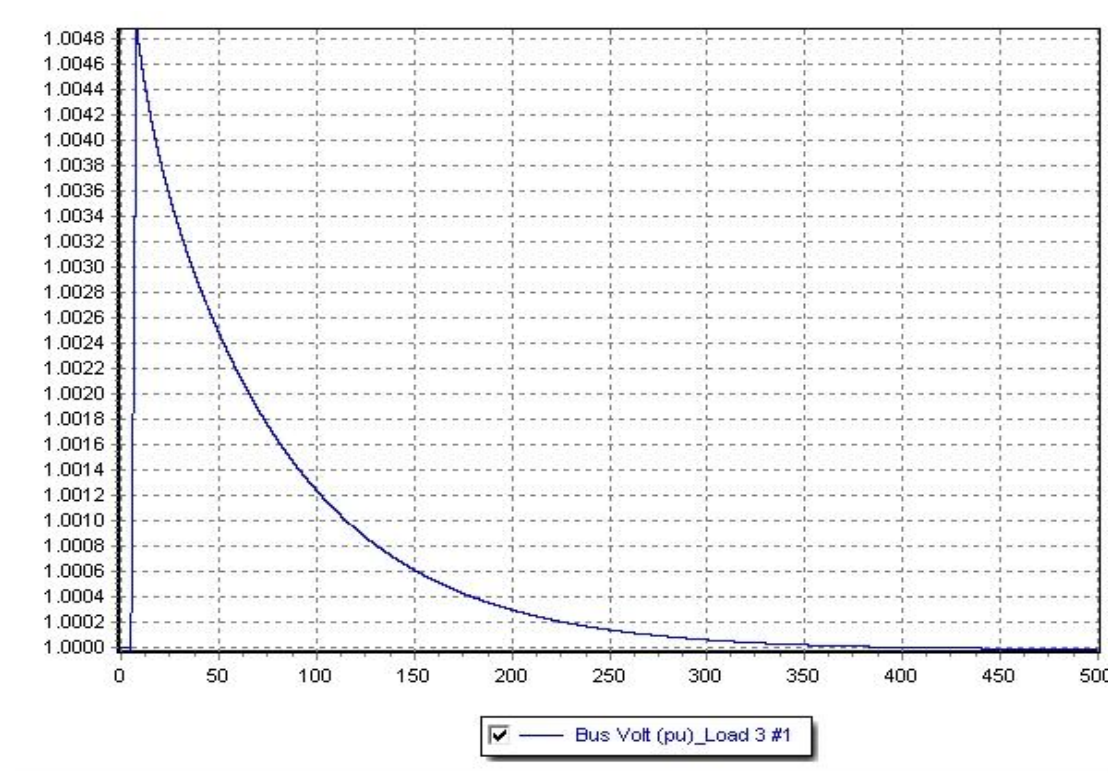
Στο παραπάνω γράφημα παρατηρούμε την μεταβολή της συχνότητας του δικτύου όταν συμβαίνει η διαταραχή. Παρατηρούμε ότι όταν αποκόπτεται το δίκτυο από την ηπειρωτική χώρα (slack bus) και όταν σταματάει η λειτουργία της μονάδας παραγωγής στην οποία βρίσκεται το φωτοβολταϊκό πάρκο έχουμε μια μικρή άνοδο της συχνότητας του δικτύου.

Επιπλέον, μετά την διαταραχή το δίκτυό μας ‘μπαίνει’ σε λειτουργία νησιού (island mode). Όπως αναφέραμε παραπάνω στην λειτουργία νησιού οι μονάδες παραγωγής ενέργειας υφίστανται ένα διαχωρισμό σε κυρίαρχες μονάδες (master) και σε μονάδες σκλάβους(slaves). Στο σενάριο μας, το ρόλο της κυρίαρχης μονάδας παραγωγής αναλαμβάνει η μονάδα παραγωγής που υπάρχει η ντιζελογεννήτρια, από την οποία προκύπτει η συχνότητα του δικτύου, και το ρόλο του ‘σκλάβου’ αναλαμβάνει η μονάδα παραγωγής που υπάρχει το αιολικό πάρκο.

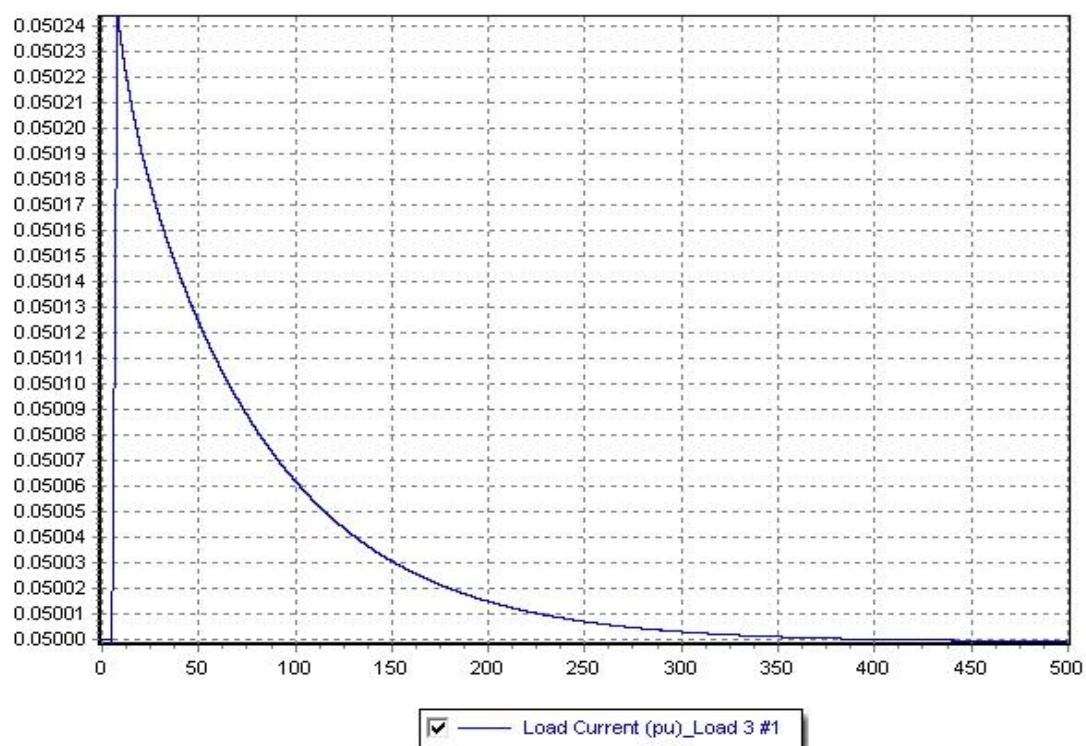
Η άνοδος αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι μετά την αποκοπή του δικτύου της ηπειρωτικής χώρας αλλά και την αποκοπή του φωτοβολταϊκού πάρκου αλλάζει ο τρόπος εξυπηρέτησης του φορτίου καθώς αλλάζουν και οι μονάδες παραγωγής ενέργειας. Επιπλέον, οι μονάδες παραγωγής που μένουν συνδεδεμένες στο δίκτυο πρέπει να αυξήσουν την ισχύ τους για να εξυπηρετήσουν το φορτίο του δικτύου.

Από το γράφημα παρατηρούμε ότι η συχνότητα του δικτύου σταθεροποιείται στα 50,02 Hz την χρονική στιγμή $t=410s$. Το αποτέλεσμα είναι πολύ ικανοποιητικό καθώς με την λειτουργία νησιού (island mode) η συχνότητα επανέρχεται πάρα πολύ κοντά στην ονομαστική της τιμή. Άρα η λειτουργία νησιού (island mode) συνέβαλε σημαντικά στην ρύθμιση και σταθεροποίηση της συχνότητας του δικτύου.

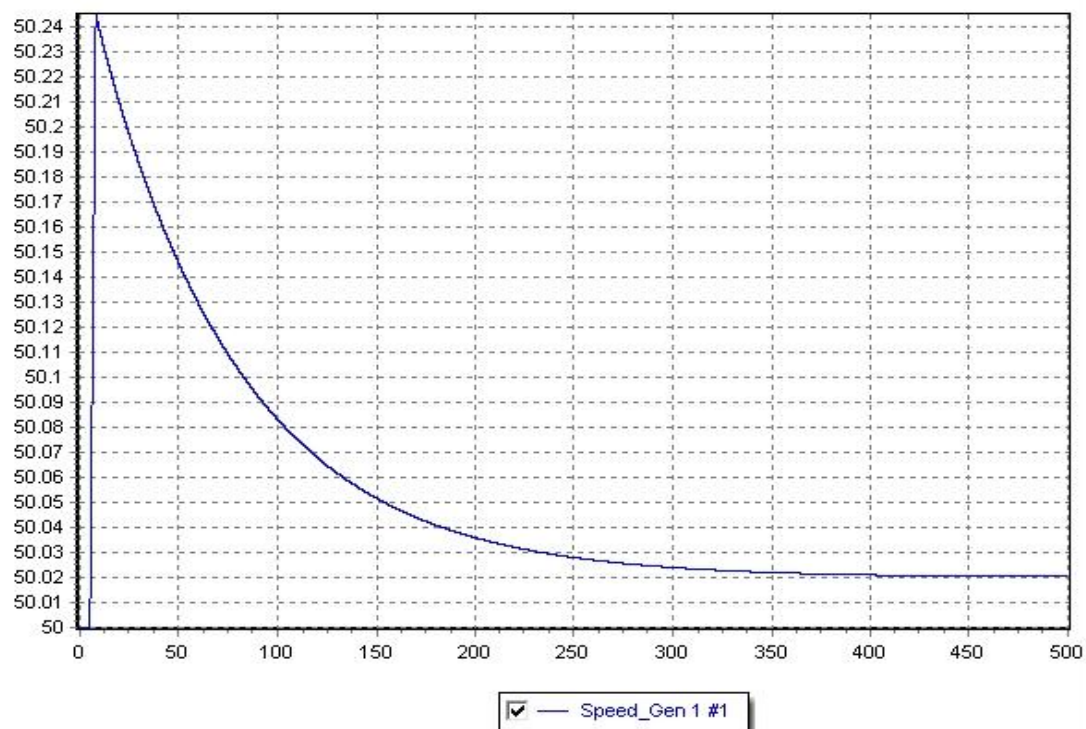
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η μεταβολή της τιμής του φορτίου όταν λαμβάνει χώρα η διαταραχή. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια μικρή αύξηση της τιμής του φορτίου αλλά το δίκτυο αντιδρά και επαναφέρει το φορτίο στην αρχική του τιμή. Η μεταβολή της τιμής του φορτίου οφείλεται στο γεγονός ότι το φορτίο μετά την διαταραχή εξυπηρετείται με διαφορετικό τρόπο.



Εικόνα 11 Μεταβολή της τιμής του φορτίου υπό τις συνθήκες του σεναρίου 1



Εικόνα 12 Μεταβολή της τιμής του φορτίου υπό τις συνθήκες του σεναρίου 1



Εικόνα 13 Ταχύτητα της γεννήτριας ντίζελ υπό τις συνθήκες του σεναρίου 1

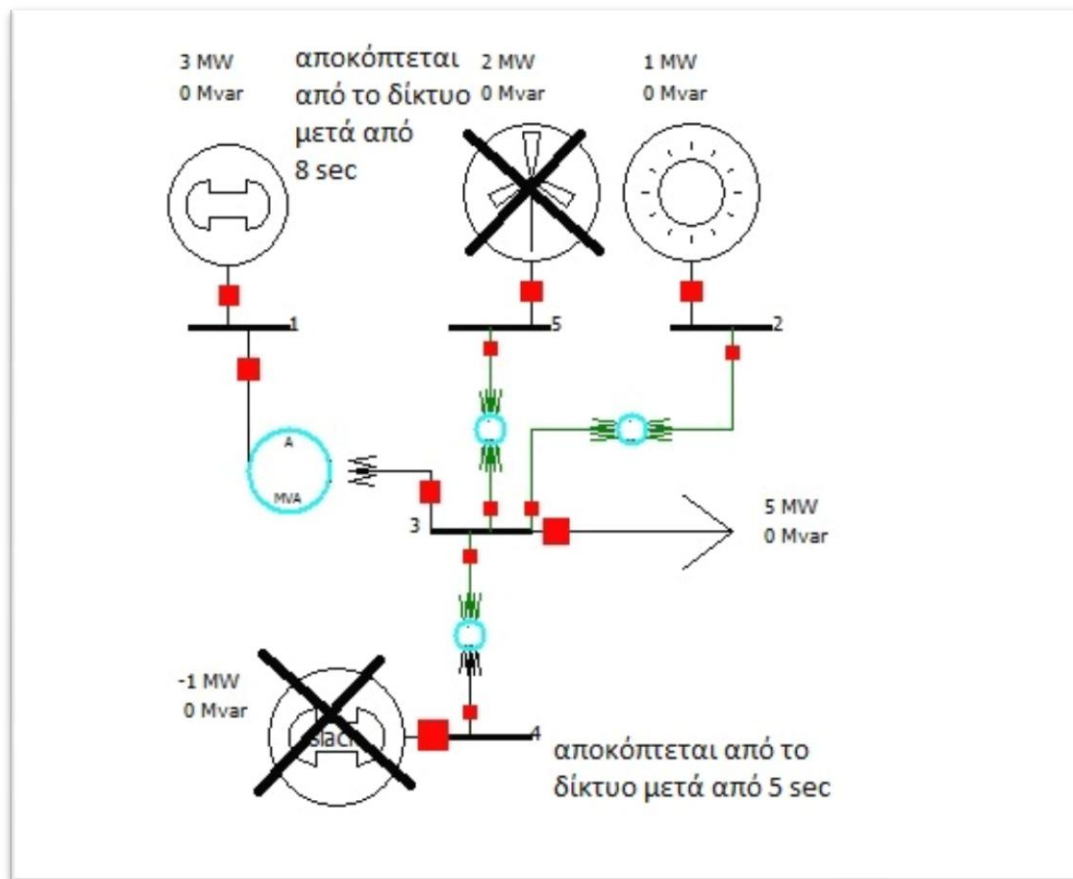
Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε την μεταβολή της ταχύτητας της γεννήτριας ντίζελ. Από το γράφημα προκύπτει ότι η γεννήτρια ντίζελ αυξάνει την ταχύτητά της όταν συμβαίνει η διαταραχή. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι όταν συμβαίνει η διαταραχή η γεννήτρια ντίζελ αναγκάζεται να αυξήσει την παραγωγή της προκειμένου να εξυπηρετήσει την ζήτηση του φορτίου.

Την χρονική στιγμή $t=13s$ παρατηρούμε ότι η ταχύτητα της γεννήτριας φτάνει στην μέγιστη τιμή της καθώς τότε είναι η χρονική στιγμή κατά την οποία γίνεται κυρίαρχη μονάδα παραγωγής εφόσον έχει αποκοπεί το δίκτυο από την ηπειρωτική χώρα και έχει σταματήσει η λειτουργία της παραγωγικής μονάδας στην οποία βρίσκεται το φωτοβολταϊκό πάρκο. Επιπλέον, παρατηρούμε ότι την χρονική στιγμή $t=410s$ η ταχύτητα της γεννήτριας επανέρχεται πολύ κοντά στην ονομαστική της τιμή καθώς εκείνη την χρονική στιγμή το δίκτυο βρίσκεται σε ισορροπία.

3.5.2 Σενάριο 2

Στο σενάριο αυτό προσομοιώσαμε το συμβάν διαταραχής κατά το οποίο το δίκτυο 'μπαίνει' σε λειτουργία νησιού, αποκόπτεται δηλαδή από το δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας και επιπλέον σταματάει η λειτουργία της παραγωγικής μονάδας που υπάρχει το αιολικό πάρκο.

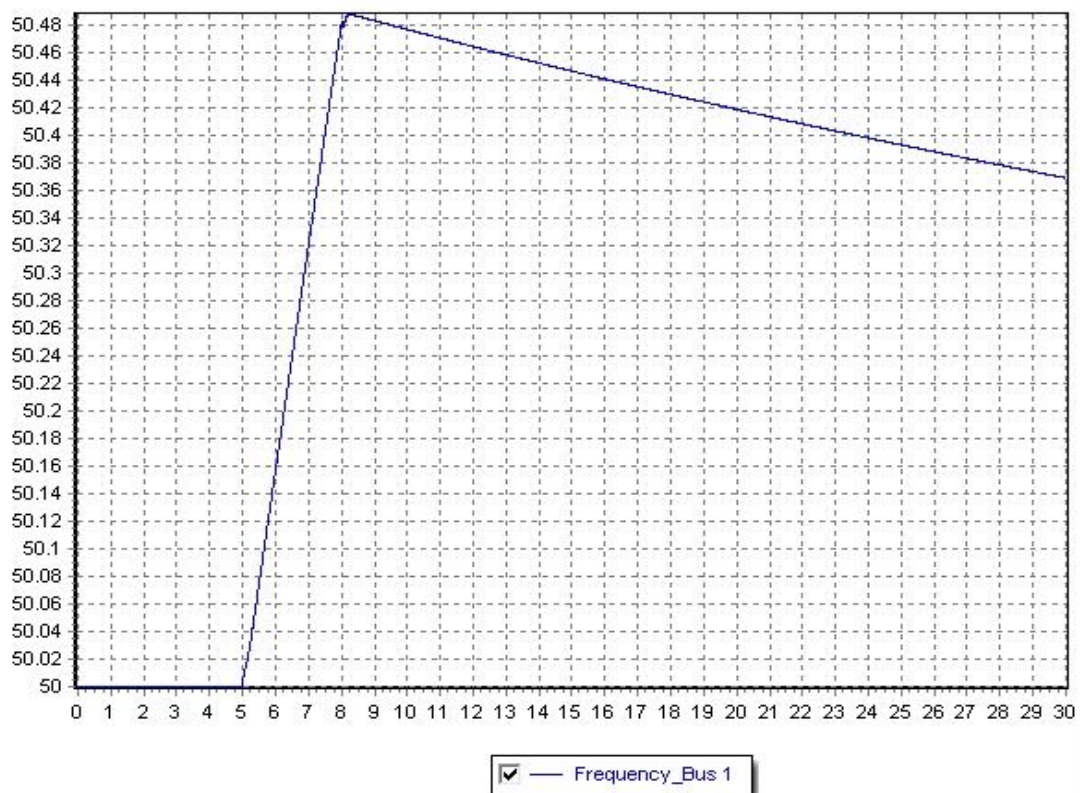
Στην πιο κάτω εικόνα παρουσιάζεται η μορφή του δικτύου μετά την διαταραχή που προσομοιώσαμε. Το κεντρικό δίκτυο αποκόπτεται μετά την παρέλευση 5 δευτερολέπτων ενώ η μονάδα παραγωγής που υπάρχει το αιολικό πάρκο αποκόπτεται μετά την παρέλευση 8 δευτερολέπτων.



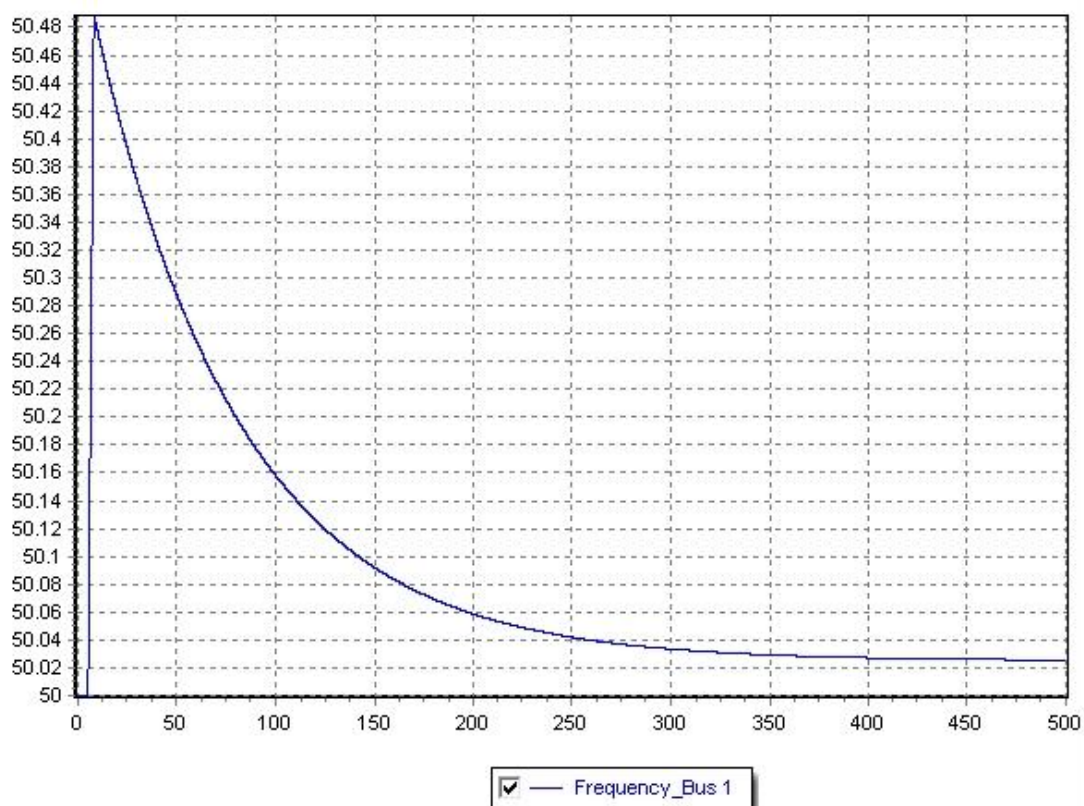
Εικόνα 14 Επίλυση ροής φορτίου υπό στις συνθήκες του σεναρίου 2

Μετά την διαταραχή αυτή θέλουμε να ελέγξουμε αν το δίκτυο επανέρχεται σε ισορροπία, αν δηλαδή η συχνότητα του δικτύου επανέρχεται κοντά στην ονομαστική της τιμή και αν μπορεί να εξυπηρετηθεί το φορτίο του δικτύου.

Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζεται η μεταβολή της συχνότητας του δικτύου όταν συμβαίνει η διαταραχή καθώς και η μεταβολή της τιμής του φορτίου.



Εικόνα 15 Μεταβολή της τιμής της συχνότητας τα πρώτα 30sec της προσομοίωσης



Εικόνα 16 Μεταβολή της συχνότητας υπό τις συνθήκες του σεναρίου 2

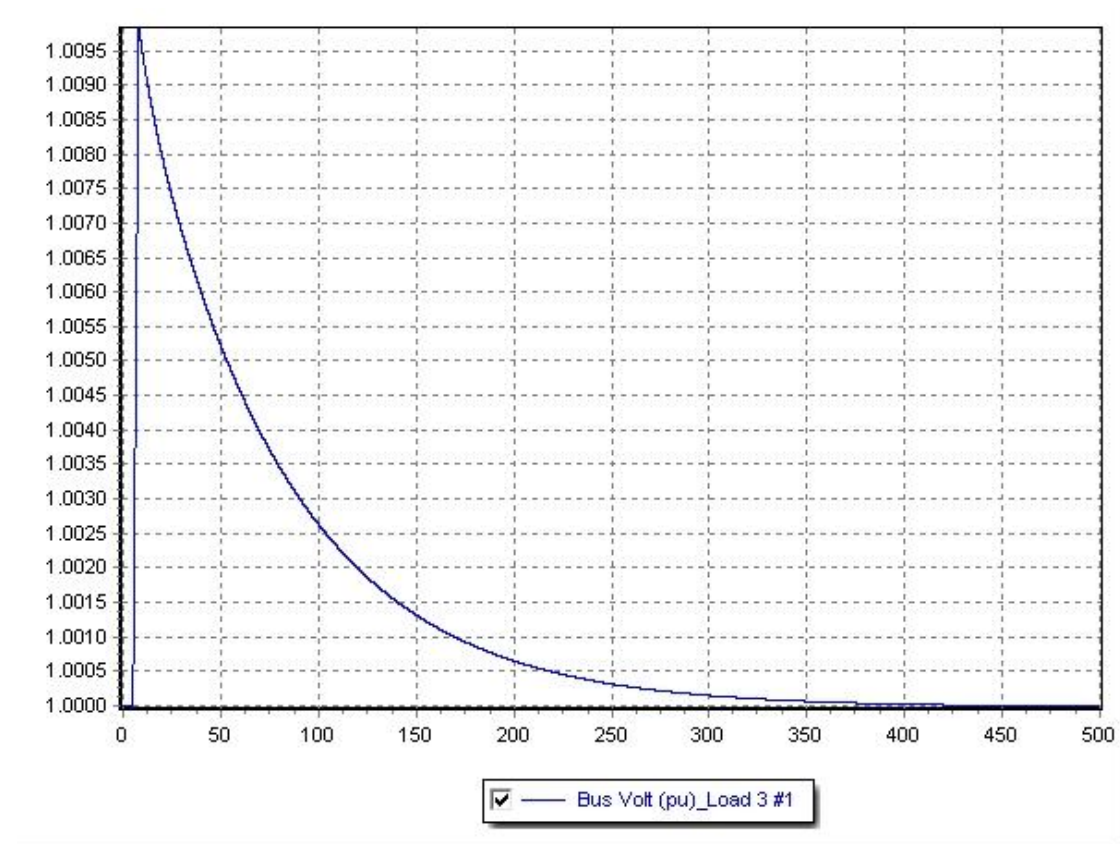
Στο παραπάνω γράφημα παρατηρούμε την μεταβολή της συχνότητας του δικτύου όταν συμβαίνει η διαταραχή. Παρατηρούμε ότι όταν αποκόπτεται το δίκτυο από την ηπειρωτική χώρα (slack bus) και όταν σταματάει η λειτουργία της μονάδας παραγωγής στην οποία βρίσκεται το αιολικό πάρκο έχουμε μια μικρή άνοδο της συχνότητας του δικτύου.

Επιπλέον, μετά την διαταραχή το δίκτυό μας ‘μπαίνει’ σε λειτουργία νησιού (island mode). Όπως αναφέραμε παραπάνω στην λειτουργία νησιού οι μονάδες παραγωγής ενέργειας υφίστανται ένα διαχωρισμό σε κυρίαρχες μονάδες (master) και σε μονάδες σκλάβους(slaves). Στο σενάριο μας, το ρόλο της κυρίαρχης μονάδας παραγωγής αναλαμβάνει η μονάδα παραγωγής που υπάρχει η ντιζελογεννήτρια, από την οποία προκύπτει η συχνότητα του δικτύου, και το ρόλο του ‘σκλάβου’ αναλαμβάνει η μονάδα παραγωγής που υπάρχει το φωτοβολταϊκό πάρκο.

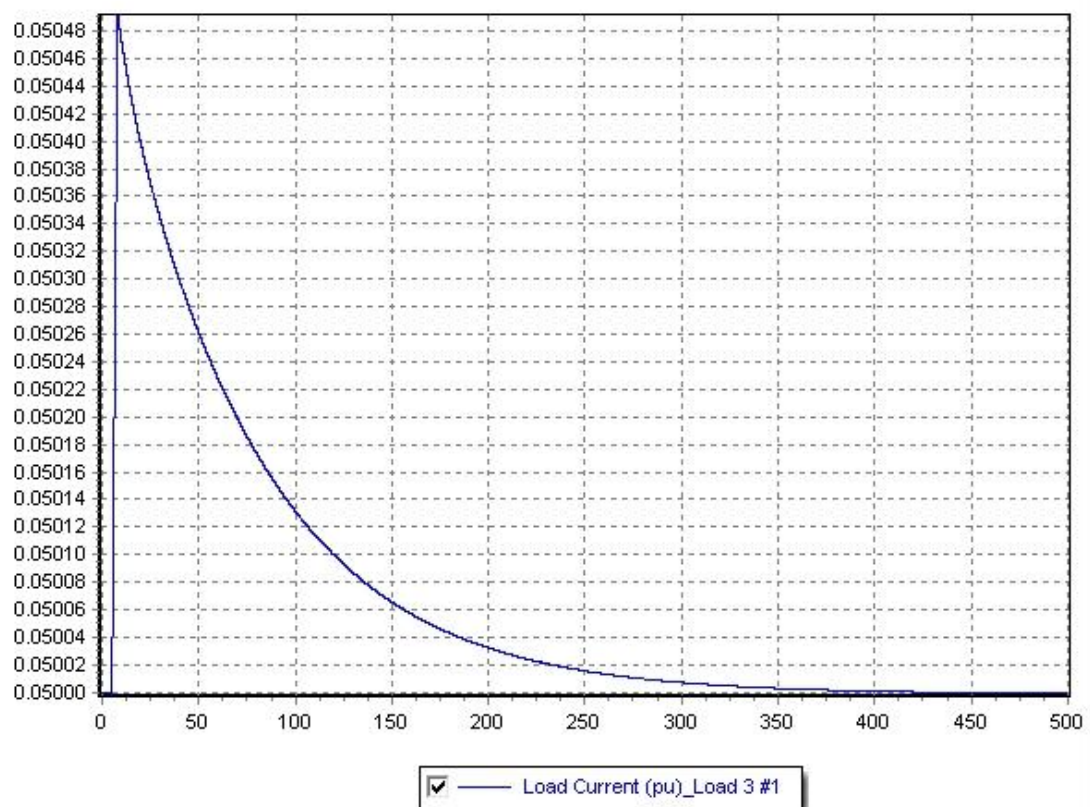
Η άνοδος αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι μετά την αποκοπή του δικτύου της ηπειρωτικής χώρας αλλά και την αποκοπή του αιολικού πάρκου αλλάζει ο τρόπος εξυπηρέτησης του φορτίου καθώς αλλάζουν και οι μονάδες παραγωγής ενέργειας. Επιπλέον, οι μονάδες παραγωγής που μένουν συνδεδεμένες στο δίκτυο πρέπει να αυξήσουν την ισχύ τους για να εξυπηρετήσουν το φορτίο του δικτύου.

Από το γράφημα παρατηρούμε ότι η συχνότητα του δικτύου σταθεροποιείται στα 50,025 Hz την χρονική στιγμή $t=470s$. Όπως και στο σενάριο 1, το αποτέλεσμα είναι πολύ ικανοποιητικό καθώς με την λειτουργία νησιού (island mode) η συχνότητα επανέρχεται πάρα πολύ κοντά στην ονομαστική της τιμή. Η διαφορά από το σενάριο 1 είναι ότι η συχνότητα στην οποία ισορροπεί το δίκτυο είναι λίγο μεγαλύτερη, αλλά σε επιθυμητά επίπεδα. Επιπλέον παρατηρούμε ότι το δίκτυο επανέρχεται σε ισορροπία μετά την παρέλευση 470 δευτερολέπτων σε σχέση με τα 413 δευτερόλεπτα του σεναρίου 1, χωρίς βέβαια αυτό να αποτελεί σημαντικό στοιχείο όσο αναφορά την ισορροπία του δικτύου. Άρα η λειτουργία νησιού (island mode) συνέβαλε σημαντικά στην ρύθμιση και σταθεροποίηση της συχνότητας του δικτύου.

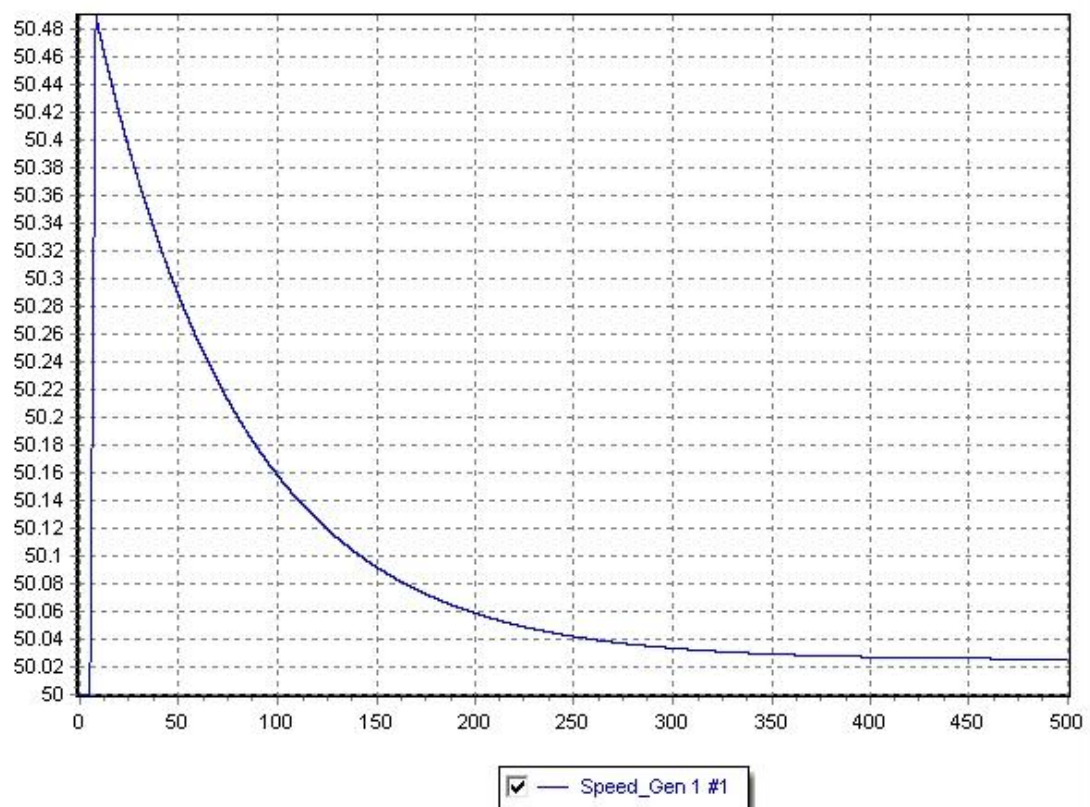
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η μεταβολή της τιμής του φορτίου όταν λαμβάνει χώρα η διαταραχή. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια μικρή αύξηση της τιμής του φορτίου αλλά το δίκτυο αντιδρά και επαναφέρει το φορτίο στην αρχική του τιμή. Η μεταβολή της τιμής του φορτίου οφείλεται στο γεγονός ότι το φορτίο μετά την διαταραχή εξυπηρετείται με διαφορετικό τρόπο.



Εικόνα 17 Μεταβολή της τιμής του φορτίου υπό τις συνθήκες του σεναρίου 2



Εικόνα 18 Μεταβολή της τιμής του φορτίου υπό τις συνθήκες του σεναρίου 2



Εικόνα 19 Μεταβολή της γεννήτριας ντίζελ υπό τις συνθήκες του σεναρίου 2

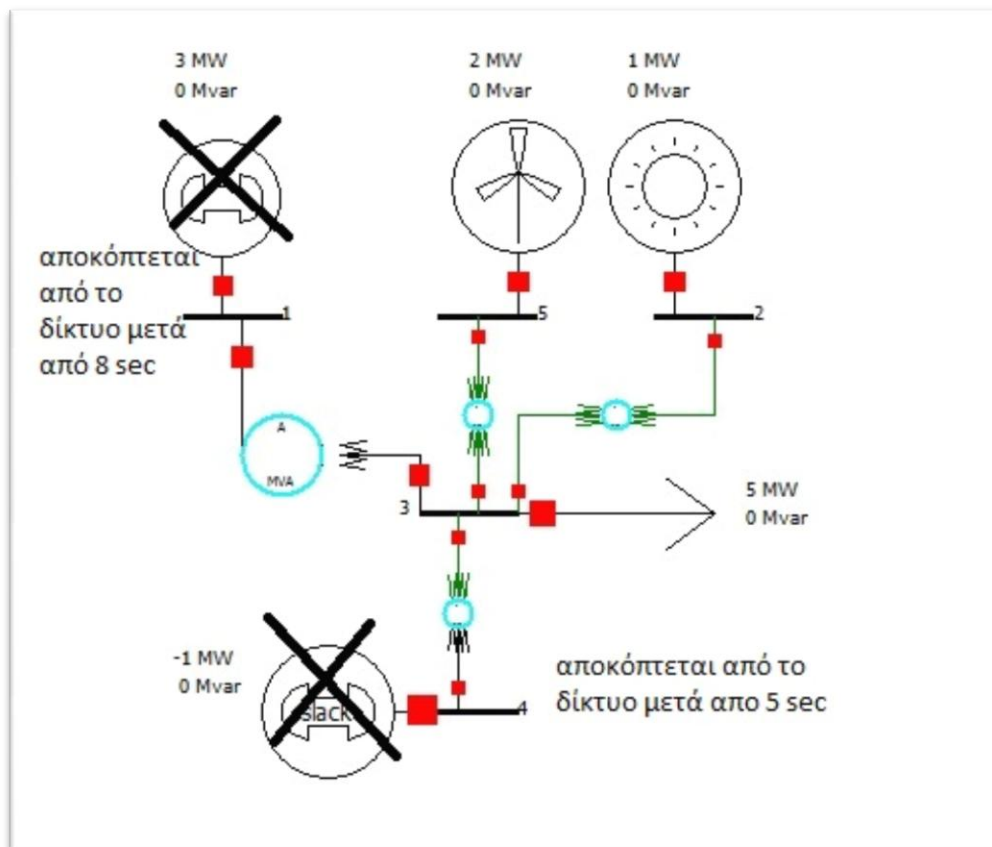
Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε την μεταβολή της ταχύτητας της γεννήτριας ντίζελ. Από το γράφημα προκύπτει ότι η γεννήτρια ντίζελ αυξάνει την ταχύτητά της όταν συμβαίνει η διαταραχή. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι όταν συμβαίνει η διαταραχή η γεννήτρια ντίζελ αναγκάζεται να αυξήσει την παραγωγή της προκειμένου να εξυπηρετήσει την ζήτηση του φορτίου.

Την χρονική στιγμή $t=13s$ παρατηρούμε ότι η ταχύτητα της γεννήτριας φτάνει στην μέγιστη τιμή της καθώς τότε είναι η χρονική στιγμή κατά την οποία γίνεται κυρίαρχη μονάδα παραγωγής εφόσον έχει αποκοπεί το δίκτυο από την ηπειρωτική χώρα και έχει σταματήσει η λειτουργία της παραγωγικής μονάδας στην οποία βρίσκεται το αιολικό πάρκο. Επιπλέον, παρατηρούμε ότι την χρονική στιγμή $t=412s$ η ταχύτητα της γεννήτριας επανέρχεται πολύ κοντά στην ονομαστική της τιμή καθώς εκείνη την χρονική στιγμή το δίκτυο βρίσκεται σε ισορροπία.

3.5.3 Σενάριο 3

Στο σενάριο αυτό προσομοιώσαμε το συμβάν διαταραχής κατά το οποίο το δίκτυο ‘μπαίνει’ σε λειτουργία νησιού, αποκόπτεται δηλαδή από το δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας και επιπλέον σταματάει η λειτουργία της παραγωγικής μονάδας που υπάρχει η γεννήτρια ντίζελ.

Στην πιο κάτω εικόνα παρουσιάζεται η μορφή του δικτύου μετά την διαταραχή που προσομοιώσαμε. Το κεντρικό δίκτυο αποκόπτεται μετά την παρέλευση 5 δευτερολέπτων ενώ η μονάδα παραγωγής που υπάρχει η γεννήτρια ντίζελ αποκόπτεται μετά την παρέλευση 8 δευτερολέπτων.

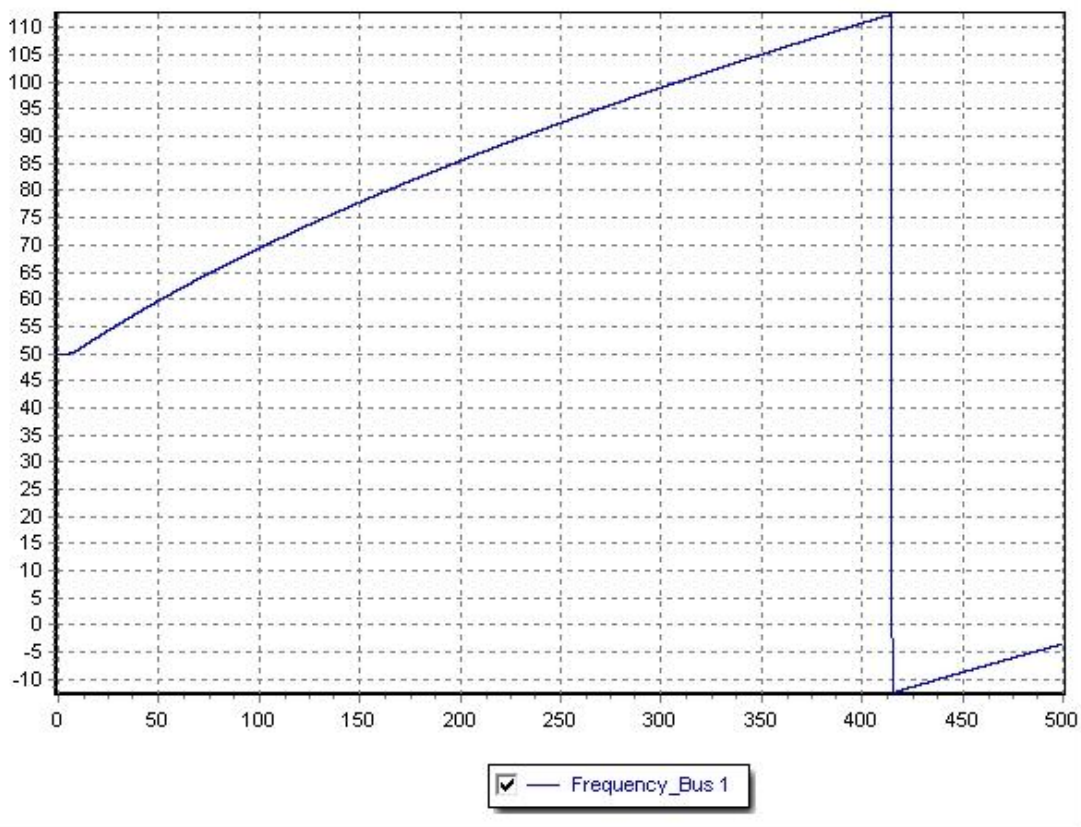


Εικόνα 20 Επίλυση ροής φορτίου υπό τις συνθήκες του σεναρίου 3

]

Μετά την διαταραχή αυτή, θέλουμε να ελέγξουμε αν το δίκτυο επανέρχεται σε ισορροπία, αν δηλαδή η συχνότητα του δικτύου επανέρχεται κοντά στην ονομαστική της τιμή και αν μπορεί να εξυπηρετηθεί το φορτίο του δικτύου.

Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζεται η μεταβολή της συχνότητας του δικτύου όταν συμβαίνει η διαταραχή καθώς και η μεταβολή της τιμής του φορτίου.



Εικόνα 21 Μεταβολή της συχνότητας υπό τις συνθήκες του σεναρίου 3

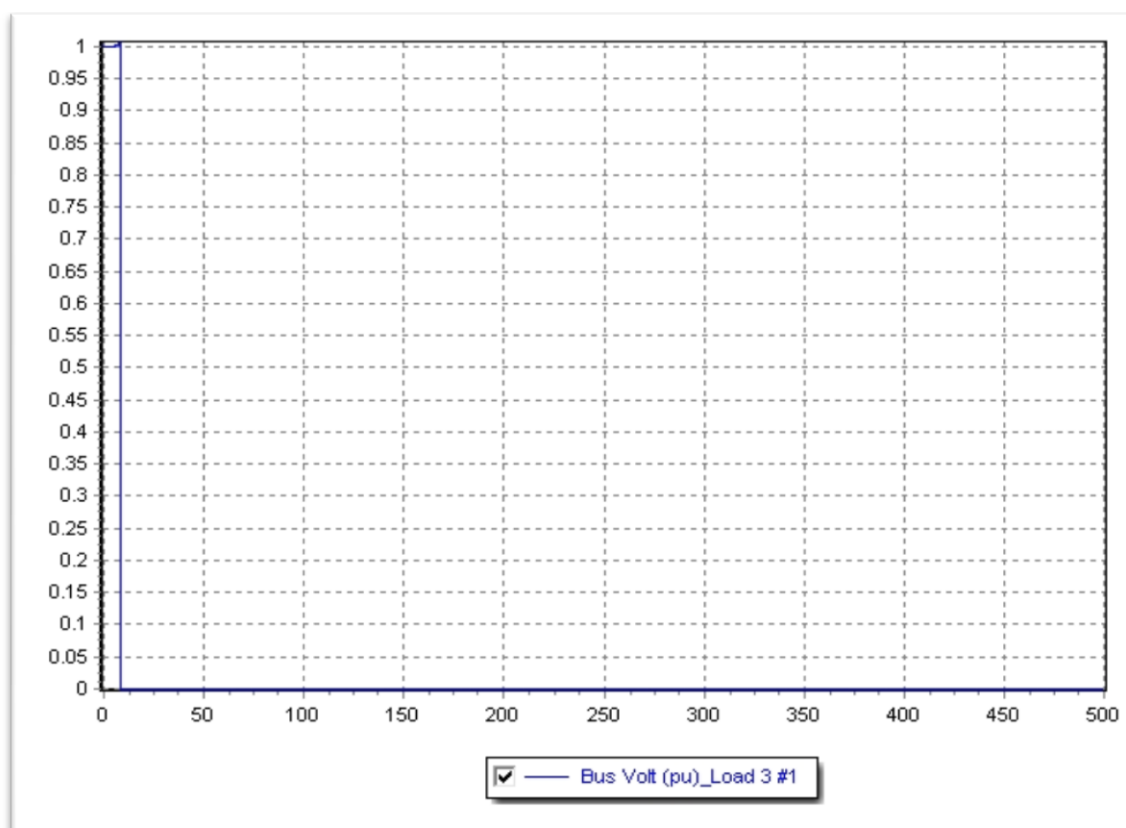
Στο παραπάνω γράφημα παρατηρούμε την μεταβολή της συχνότητας του δικτύου όταν συμβαίνει η διαταραχή. Παρατηρούμε ότι όταν αποκόπτεται το δίκτυο από την ηπειρωτική χώρα (slack bus) και όταν σταματάει η λειτουργία της μονάδας παραγωγής στην οποία βρίσκεται η γεννήτρια ντίζελ, έχουμε ταλαντώσεις της συχνότητας και όπως φαίνεται από το γράφημα το δίκτυο δεν ισορροπεί.

Επιπλέον, μετά την διαταραχή το δίκτυό μας 'μπαίνει' σε λειτουργία νησιού (island mode). Όπως αναφέραμε παραπάνω στην λειτουργία νησιού οι μονάδες παραγωγής ενέργειας υφίστανται ένα διαχωρισμό σε κυρίαρχες μονάδες (master) και σε μονάδες σκλάβους (slaves). Στο σενάριο μας, όπως παρατηρούμε από το γράφημα το δίκτυο δεν επανέρχεται σε ισορροπία οπότε ο διαχωρισμός των μονάδων παραγωγής ενέργειας δεν έχει μεγάλη σημασία.

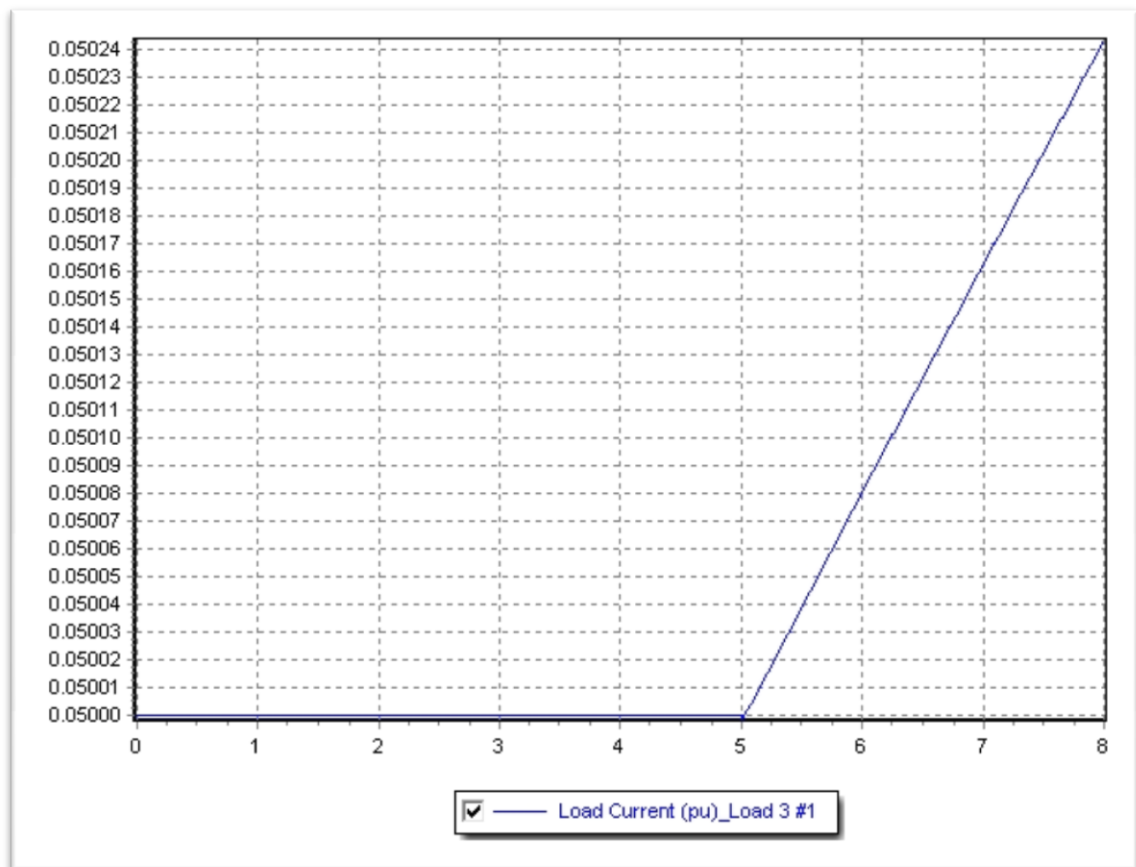
Από το γράφημα παρατηρούμε ότι η συχνότητα του δικτύου δεν σταθεροποιείται κάποια χρονική στιγμή οπότε το αποτέλεσμα αυτής της προσομοίωσης δεν είναι ικανοποιητικό καθώς η συχνότητα δεν επανέρχεται σε κάποια τιμή κοντά στην ονομαστική της.

Το δίκτυο δεν επανέρχεται σε ισορροπία γιατί η μονάδα παραγωγής στην οποία βρίσκεται η γεννήτρια ντίζελ είναι αυτή η οποία αναλαμβάνει ως ρυθμιστής του δικτύου όταν αυτό αποκόπτεται από το κεντρικό δίκτυο. Στο σενάριο μας όμως η μονάδα παραγωγής στην οποία βρίσκεται η γεννήτρια ντίζελ αποκόπτεται και αυτή οπότε δεν υπάρχει μονάδα παραγωγής η οποία θα αναλάβει την ρύθμιση της συχνότητας του δικτύου με σκοπό το δίκτυο να επανέλθει σε ισορροπία.

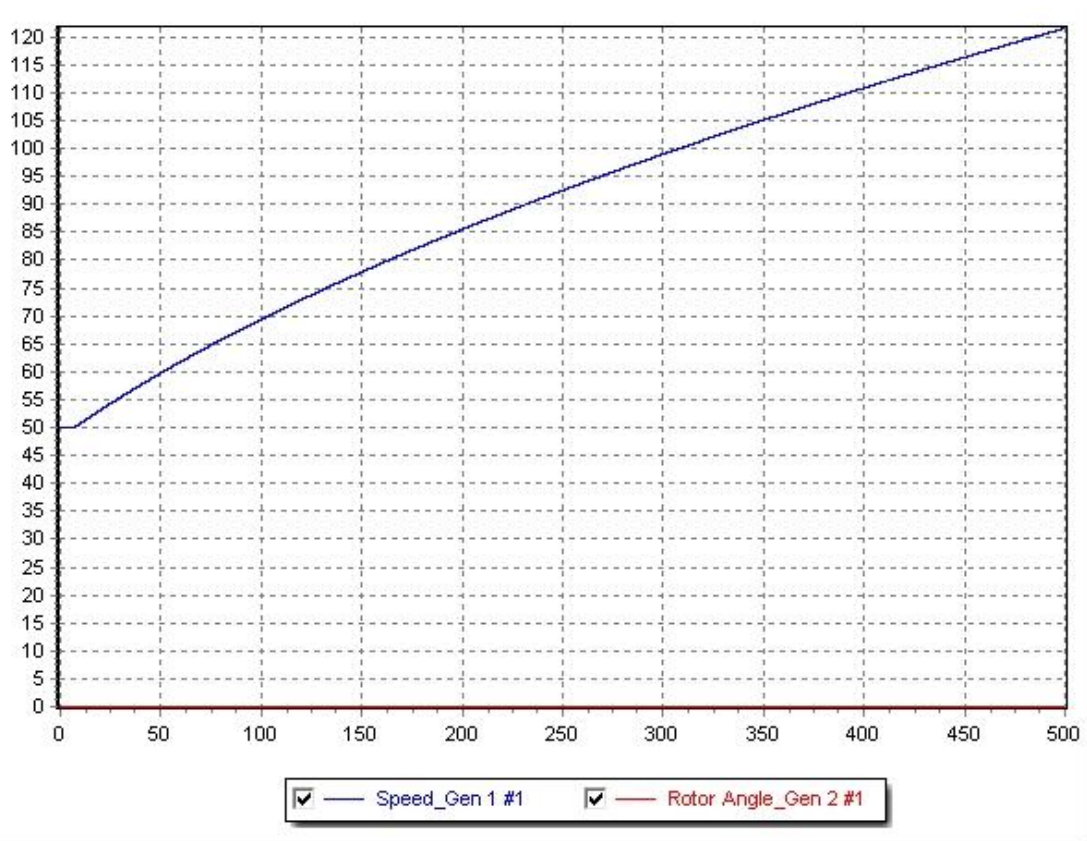
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η μεταβολή της τιμής του φορτίου όταν λαμβάνει χώρα η διαταραχή. Παρατηρούμε ότι το φορτίο δεν εξυπηρετείται από το δίκτυο καθώς δεν επανέρχεται κοντά στην ονομαστική του τιμή. Η μεταβολή της τιμής του φορτίου οφείλεται στο γεγονός ότι με τις υπάρχουσες συνθήκες το δίκτυο δεν μπορεί να επαναφέρει το φορτίο κοντά στην ονομαστική του τιμή με αποτέλεσμα να έχουμε ολική σβέση του δικτύου(blackout).



Εικόνα 22 Μεταβολή της τιμής του φορτίου υπό τις συνθήκες του σεναρίου 3



Εικόνα 23 Μεταβολή της τιμής του φορτίου υπό τις συνθήκες του σεναρίου 3



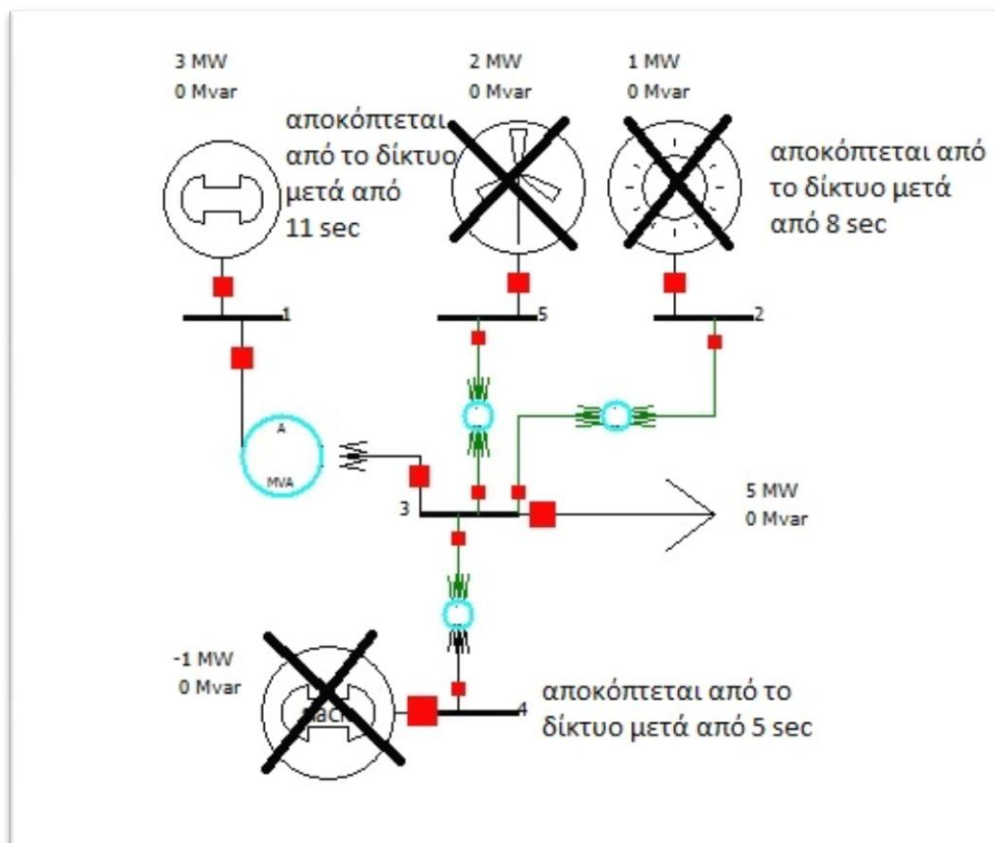
Εικόνα 24 Μεταβολή της ταχύτητας της γεννήτριας ντίζελ(μπλε χρώμα) και της ανεμογεννήτριας(κόκκινο χρώμα)

Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε την μεταβολή της ταχύτητας της γεννήτριας ντίζελ και της ανεμογεννήτριας. Από το γράφημα προκύπτει ότι, όταν συμβαίνει η διαταραχή του δικτύου η ανεμογεννήτρια 'σβήνει' καθώς η ταχύτητά της είναι στο 0. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το δίκτυο υπό τις υπάρχουσες συνθήκες λειτουργίας δεν μπορεί να εξυπηρετήσει το φορτίο και οδηγείται σε ολική σβέση(blackout)

3.5.4 Σενάριο 4

Στο σενάριο αυτό προσομοιώσαμε το συμβάν διαταραχής κατά το οποίο το δίκτυο ‘μπαίνει’ σε λειτουργία νησιού, αποκόπτεται δηλαδή από το δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας και επιπλέον σταματάει η λειτουργία της παραγωγικής μονάδας που υπάρχει το αιολικό πάρκο καθώς και η παραγωγική μονάδα στην οποία βρίσκεται το φωτοβολταϊκό πάρκο.

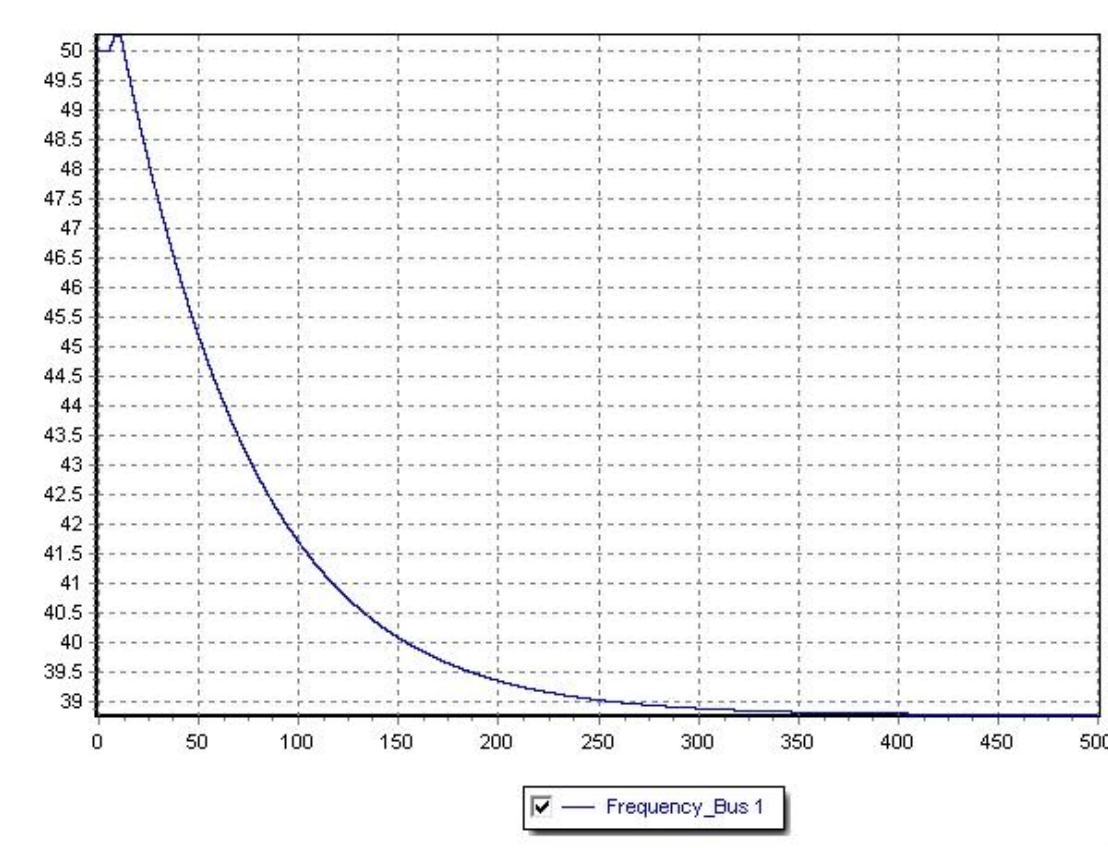
Στην πιο κάτω εικόνα παρουσιάζεται η μορφή του δικτύου μετά την διαταραχή που προσομοιώσαμε. Το κεντρικό δίκτυο αποκόπτεται μετά την παρέλευση 5 δευτερολέπτων, η μονάδα παραγωγής που υπάρχει το φωτοβολταϊκό πάρκο αποκόπτεται μετά την παρέλευση 8 δευτερολέπτων και η μονάδα παραγωγής που υπάρχει το αιολικό πάρκο αποκόπτεται μετά την παρέλευση 11 δευτερολέπτων.



Εικόνα 25 Επίλυση ροής φορτίου υπό τις συνθήκες του σεναρίου 4

Μετά την διαταραχή αυτή θέλουμε να ελέγξουμε αν το δίκτυο επανέρχεται σε ισορροπία, αν δηλαδή η συχνότητα του δικτύου επανέρχεται κοντά στην ονομαστική της τιμή και αν μπορεί να εξυπηρετηθεί το φορτίο του δικτύου.

Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζεται η μεταβολή της συχνότητας του δικτύου όταν συμβαίνει η διαταραχή καθώς και η μεταβολή της τιμής του φορτίου.



Εικόνα 26 Μεταβολή της συχνότητας υπό τις συνθήκες του σεναρίου 4

Στο παραπάνω γράφημα παρατηρούμε την μεταβολή της συχνότητας του δικτύου όταν συμβαίνει η διαταραχή. Παρατηρούμε ότι όταν αποκόπτεται το δίκτυο από την ηπειρωτική χώρα (slack bus), όταν σταματάει η λειτουργία της μονάδας παραγωγής στην οποία βρίσκεται το φωτοβολταϊκό πάρκο και όταν σταματάει η λειτουργία της μονάδας

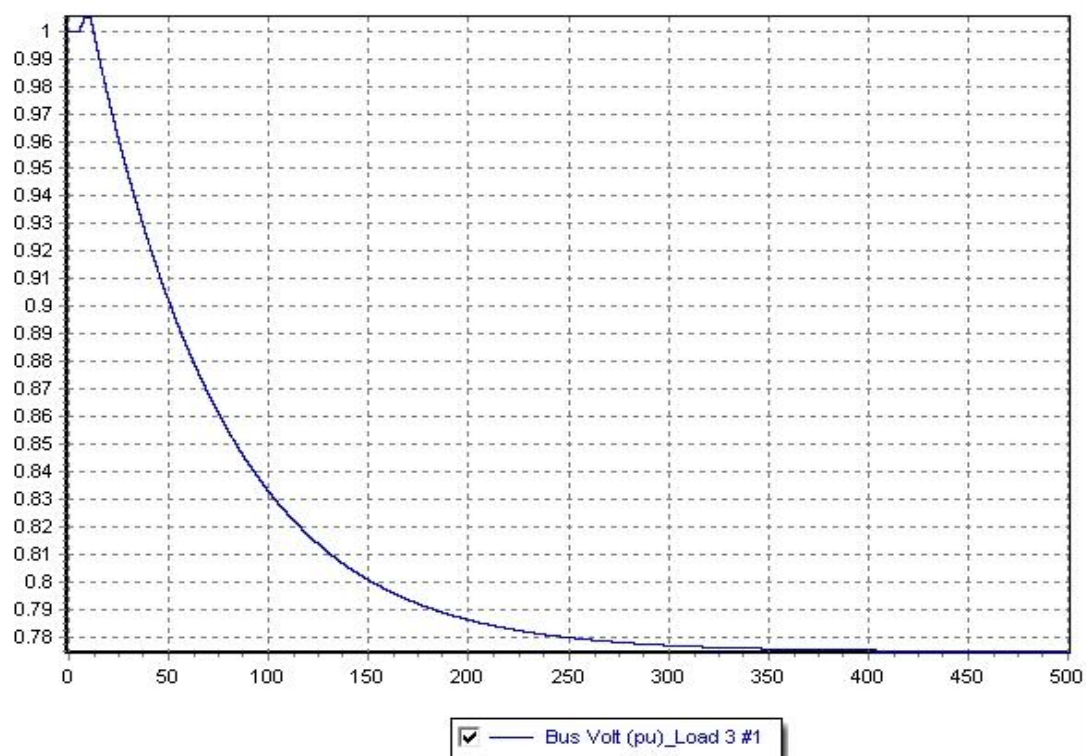
παραγωγής στην οποία βρίσκεται το αιολικό πάρκο έχουμε κατακόρυφη πτώση της τιμής της συχνότητας του δικτύου.

Επιπλέον, μετά την διαταραχή το δίκτυό μας ‘μπαίνει’ σε λειτουργία νησιού (island mode). Όπως αναφέραμε παραπάνω στην λειτουργία νησιού οι μονάδες παραγωγής ενέργειας υφίστανται ένα διαχωρισμό σε κυρίαρχες μονάδες (master) και σε μονάδες σκλάβους (slaves). Στο σενάριο μας, η μόνη μονάδα παραγωγής η οποία λειτουργεί είναι η μονάδα παραγωγής στην οποία βρίσκεται η γεννήτρια ντίζελ. Οπότε η γεννήτρια ντίζελ έχει και τον ρόλο κυρίαρχης μονάδας(master) αλλά και το ρόλο μονάδας σκλάβου (slave).

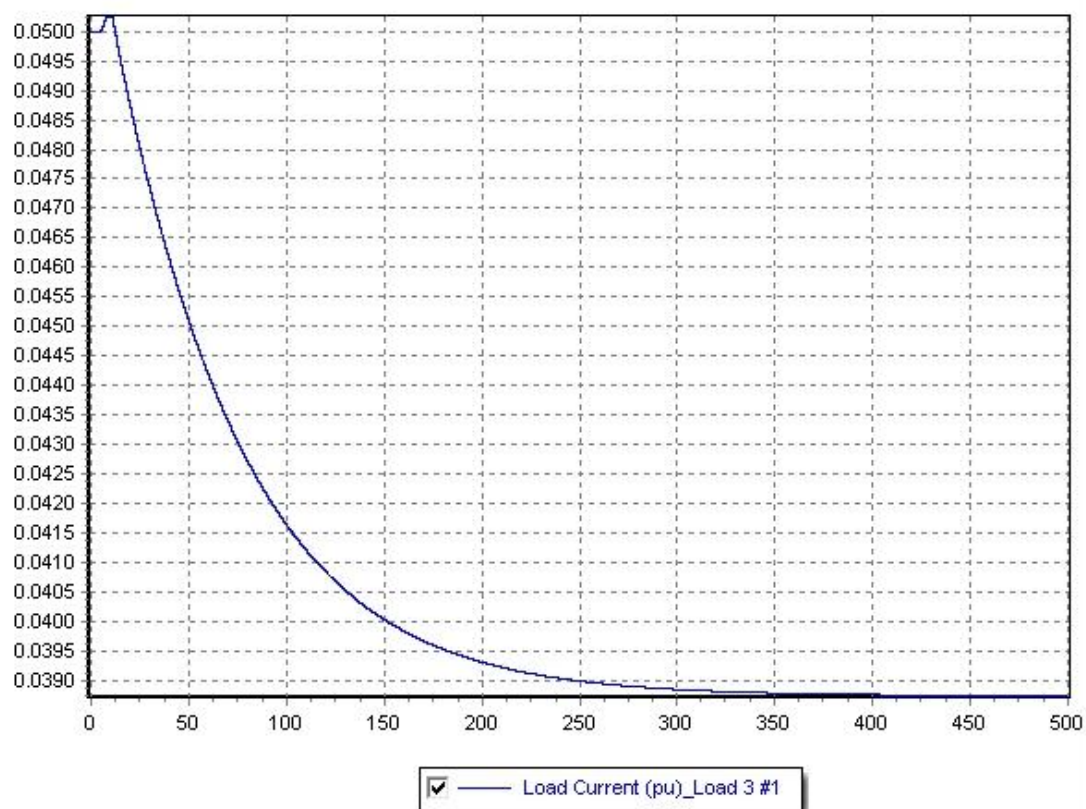
Από το γράφημα παρατηρούμε ότι η συχνότητα του δικτύου σταθεροποιείται στην τιμή 38,8 Hz την χρονική στιγμή $t=408s$. Το αποτέλεσμα της προσομοίωσης δεν είναι ικανοποιητικό καθώς η συχνότητα του δικτύου σταθεροποιείται σε μια τιμή πολύ κάτω από την ονομαστική της.

Επειδή η απόκλιση της τιμής της συχνότητας στην οποία σταθεροποιείται το δίκτυο από την ονομαστική της είναι μεγάλη, το δίκτυο δεν μπορεί λειτουργήσει καθώς η μεταβολή αυτή προκαλεί προβλήματα στην σωστή λειτουργία του δικτύου.

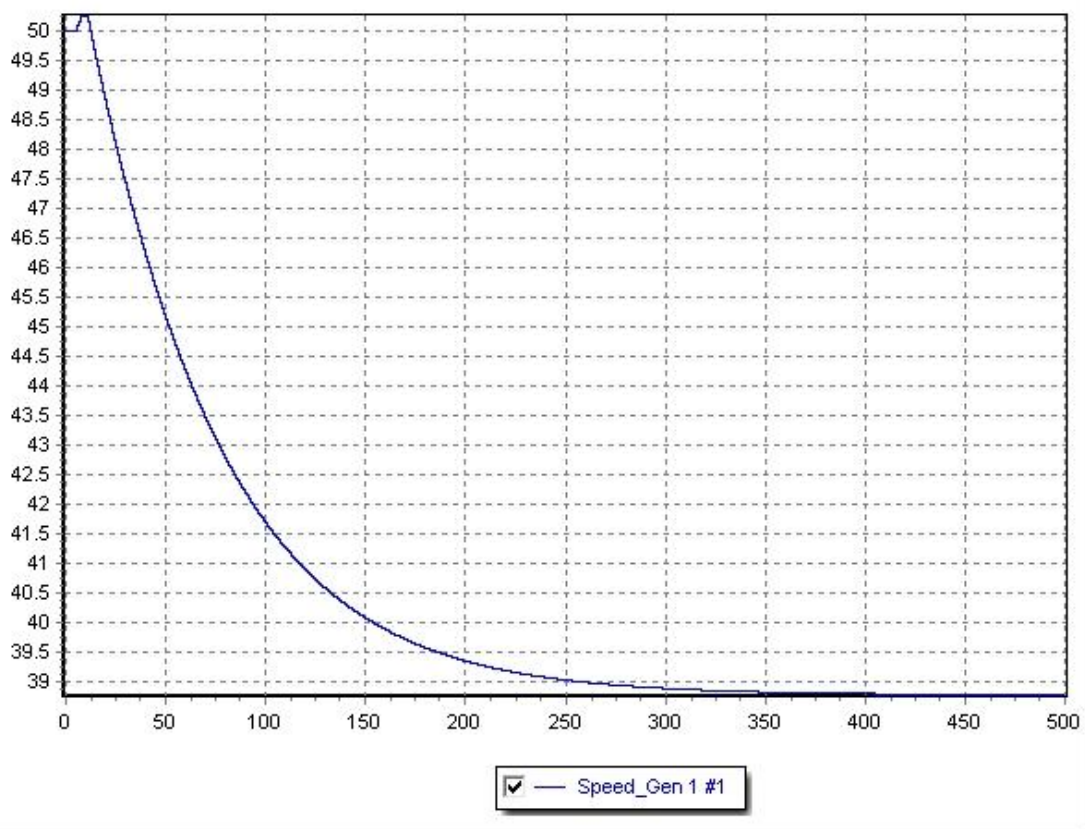
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η μεταβολή της τιμής του φορτίου όταν λαμβάνει χώρα η διαταραχή. Παρατηρούμε ότι το φορτίο δεν εξυπηρετείται από το δίκτυο καθώς δεν επανέρχεται κοντά στην ονομαστική του τιμή. Η μεταβολή της τιμής του φορτίου οφείλεται στο γεγονός ότι με τις υπάρχουσες συνθήκες το δίκτυο δεν μπορεί να επαναφέρει το φορτίο κοντά στην ονομαστική του τιμή με αποτέλεσμα να έχουμε ολική σβέση του δικτύου(blackout).



Εικόνα 27 Μεταβολή της τιμής του φορτίου υπό τις συνθήκες του σεναρίου 4



Εικόνα 28 Μεταβολή της τιμής του φορτίου υπό τις συνθήκες του σεναρίου 4



Εικόνα 29 Μεταβολή της ταχύτητας της γεννήτριας ντίζελ.

Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε την μεταβολή της ταχύτητας της γεννήτριας ντίζελ. Από το γράφημα προκύπτει ότι η γεννήτρια ντίζελ αυξάνει την ταχύτητά της όταν συμβαίνει η διαταραχή. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι όταν συμβαίνει η διαταραχή η γεννήτρια ντίζελ αναγκάζεται να αυξήσει την παραγωγή της προκειμένου να εξυπηρετήσει την ζήτηση του φορτίου.

Την χρονική στιγμή $t=13s$ παρατηρούμε ότι η ταχύτητα της γεννήτριας φτάνει στην μέγιστη τιμή της καθώς τότε είναι η χρονική στιγμή κατά την οποία γίνεται κυρίαρχη μονάδα παραγωγής εφόσον έχει αποκοπεί το δίκτυο από την ηπειρωτική χώρα, έχει σταματήσει η λειτουργία της παραγωγικής μονάδας στην οποία βρίσκεται το αιολικό πάρκο και έχει σταματήσει η λειτουργία της παραγωγικής μονάδας στην οποία βρίσκεται το φωτοβολταϊκό πάρκο. Επιπλέον, παρατηρούμε ότι την χρονική στιγμή $t=408s$ η ταχύτητα της γεννήτριας σταθεροποιείται πολύ κάτω από την ονομαστική της τιμή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το δίκτυο υπό τις υπάρχουσες συνθήκες λειτουργίας δεν μπορεί να εξυπηρετήσει το φορτίο και οδηγείται σε ολική σβέση (blackout).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Συμπεράσματα

Από την εν λόγω διπλωματική εργασία προέκυψαν σημαντικά συμπεράσματα για την συμπεριφορά ενός έξυπνου δικτύου όταν αυτό ‘μπει’ σε λειτουργία νησιού (island mode). Πρώτο και κύριο συμπέρασμα αποτελεί το γεγονός ότι για να λειτουργεί σωστά το έξυπνο σύστημα ενέργειας όταν εφαρμόζεται η λειτουργία νησιού (island mode) πρέπει να βρίσκεται σε λειτουργία μια συμβατική μονάδα παραγωγής ενέργειας(ντιζελογεννήτρια). Πρέπει γιατί είναι αυτή η οποία θα αναλάβει να επαναφέρει σε ισορροπία την συχνότητα, το φορτίο και κατ’

επέκταση το δίκτυο όταν εφαρμοστεί η λειτουργία νησιού. Σε διαφορετική περίπτωση οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν μπορούν να επαναφέρουν το δίκτυο σε ισορροπία με αποτέλεσμα να οδηγούμαστε σε ολική σβέση του συστήματος(blackout).

Επιπλέον, σημαντικό ρόλο στην εύρυθμη λειτουργία του έξυπνου δικτύου όταν εφαρμόζεται το islanding (λειτουργία νησιού-island mode) διαδραματίζει η μορφή της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που θα πλαισιώσει τη συμβατική πηγή ενέργειας. Στα σενάρια που υλοποιήσαμε παρατηρήσαμε ότι όταν η ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που πλαισιώνει την συμβατική πηγή ενέργειας ήταν η αιολική είχαμε καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την ηλιακή καθώς το δίκτυο επανερχόταν σε ισορροπία σε μικρότερο χρονικό διάστημα.

Τέλος, θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας ότι για να εκμεταλλευτούμε πλήρως τα πλεονεκτήματα από την εφαρμογή του islanding θα πρέπει να τροποποιηθούν τα όρια των κανονισμών ασφάλειας του ηλεκτρικού ρεύματος, ποιότητας και συνέχειας (ESQCR- Electricity Safety Quality and Continuity Regulations) καθώς τα όρια του ESQCR για τις διακυμάνσεις της συχνότητας και της τάσης είναι πολύ αυστηρά με αποτέλεσμα να αποθαρρύνεται η εφαρμογή της λειτουργίας νησιού(island mode).

4.2 Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήσαμε την επίδραση της λειτουργίας νησιού στη συχνότητα ενός μη διασυνδεδεμένου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Θα ήταν πολύ ενδιαφέρουσα μια παρόμοια μελέτη για ένα διασυνδεδεμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης προσομοιώθηκαν συμβάντα διαταραχής της συχνότητας από απώλειες μονάδων παραγωγής. Θα μπορούσαν να προσομοιωθούν σενάρια από απώλειες γραμμών μεταφοράς έτσι ώστε τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων να είναι ακόμα πιο κοντά στην πραγματικότητα.

Ακόμη, θα ήταν χρήσιμη μια τεχνοοικονομική μελέτη της λειτουργίας νησιού(island mode) προκειμένου να εξεταστεί και η οικονομική βιωσιμότητα της μεθόδου. Μια τέτοια μελέτη θα έδινε σαφή

συμπεράσματα για το πως πρέπει να δημιουργηθούν τα επιχειρηματικά μοντέλα προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία ολόκληρου του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. S.P. Chowdhury, S. Chowdhury, C.F. Ten, P.A. Crossley
‘Operation and control of DG based power island in smart grid environment’, June 2008
2. A.B.M Nasiruzzaman, Member, IEEE, H.R. Pota, Member, IEEE
‘Transient stability assessment of smart power system using complex networks framework’, July 2011

3. Murari Lal Azad, Aizad Khursheed, Shubhransu Vikram Singh 'Operation and control of micro sources in island mode of a micro grid', August 2014
4. J.A. Pecas Lopes, C.L. Moreira, F.O. Resende 'Micro grids black start and islanded operation', August 2005
5. H.R. Pota, M.J. Hossain, M.A. Mahmud, R. Gadh, R.C. Bansal 'Islanded operation of micro grids with inverter connected renewable energy resources', July 2014
6. F. Katiraei, Student Member, IEEE, M.R. Iravani, Fellow, IEEE, P.W. Lehn, Member, IEEE 'Micro-grid autonomous operation during subsequent to islanding process', January 2005
7. J.A. Pecas Lopes, Senior Member, IEEE, C.I. Moreira, A.G. Madureira 'Defining control systems for micro grids islanded operation', May 2006
8. Nur Assyik Hidayatullah, Zahir J. Paracha, Akhtar Kalam 'Impact of distributed generation on smart grid transient stability', March 2011
9. G.N Kariniotakis 'Dynamic modelling of micro grids', November 2005
10. J.A. Pecas Lopes, Member, IEEE, C.L. Moreira, A.G. Madureira 'Defining control strategies for analysing micro grids islanded operation', June 2005
11. Ζιώγας Ηλίας, Μιχαλίου Μαρία –Ελένη 'Ρύθμιση τάσης και συχνότητας στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας', Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ, Μάρτιος 2011
12. Fernada de Oliveira Resende 'Contributions for micro grids dynamic modelling and operation', PhD of Electrical and Computer Engineering Porto University, 2007
13. N. Hatziaargyrioy, G. Strbac 'Micro grids-A possible future energy configuration', March 2004
14. G. Venkataramanan, C. Marnay 'Alarger role for micro grids', March 2008
15. Muhammad Zakarya, Zahoor Jan, Izaz Ur Rahman 'Smart Grids: A prologue and unscrew challenges that needs to be addressed, a short survey on how to make grids smarter', June 2013

16. Ali Keyhani, Jin-Woo Jung, Min Dai ‘Control of renewable energy sources in smart grid systems’, July 2008
17. Econnect, ‘Assessment of islanded operation of distribution networks and measures of protection’, 2001
18. Econnect, ‘Islanded operation of distribution networks’, 2005
19. Πηγή Power World Simulator : (<http://www.powerworld.com>)
20. Πηγή Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς Ενέργειας Ελλάδας: (<http://www.desmie.gr>)