



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Μετάβαση στο Ευφυές Ηλεκτρικό Δίκτυο και Ανάπτυξη του Ευφυούς Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αντώνιος Καρακούσης

Επιβλέπων : Παναγιώτης Π. Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιανουάριος 2015

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Μετάβαση στο Ευφυές Ηλεκτρικό Δίκτυο και Ανάπτυξη του Ευφυούς Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αντώνιος Καρακούσης

Επιβλέπων : Παναγιώτης Π. Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....

Παναγιώτης Κωττής

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Χρήστος Καψάλης

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Γεώργιος Φικιώρης

Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιανουάριος 2015

.....

Καρακούσης Αντώνιος

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

Copyright © Καρακούσης Αντώνιος , 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η μετάβαση από το συμβατικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας στα Ευφυή Ηλεκτρικά Δίκτυα. Τα σύγχρονα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας έχουν αρχίσει να ενσωματώνουν πλήθος ψηφιακών τεχνολογιών και νέων ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων στην παραγωγή, στη μεταφορά, στη διανομή και στην κατανάλωση της Ηλεκτρικής Ενέργειας. Τα δίκτυα που επιτυγχάνουν την πιο αξιόπιστη, αποδοτική και με λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις λειτουργία τους αξιοποιώντας τις παραπάνω τεχνολογίες, χαρακτηρίζονται ως Ευφυή Ηλεκτρικά Δίκτυα.

Στο κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται το παραδοσιακό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα δομικά στοιχεία του Συστήματος και στο επικρατές μείγμα της ηλεκτροπαραγωγής σε χώρες του εξωτερικού και στην Ελλάδα. Τέλος αναφέρεται η δομή της αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και η μετάβαση προς την απελευθερωμένη αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Στο κεφάλαιο 2 αντιπαραβάλλονται τα μοντέλα της συγκεντρωτικής και της διεσπαρμένης παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Γίνεται αναφορά στο σύστημα SCADA καθώς και στα προβλήματα ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και αξιοπιστίας του παραδοσιακού συστήματος.

Στο κεφάλαιο 3 αναλύονται οι κυριότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας λόγω της ευρωπαϊκής και της εγχώριας ενεργειακής πολιτικής.

Το κεφάλαιο 4 αποτελεί το σημαντικότερο κεφάλαιο της εργασίας. Παρουσιάζονται λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά του Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου και τα οφέλη που προκύπτουν από αυτό. Διατυπώνονται οι τεχνολογίες επικοινωνίας που χρειάζονται για τη μετάδοση δεδομένων του δικτύου και παρουσιάζεται το ευφυές Δίκτυο Διανομής και Μεταφοράς. Τέλος δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας μέσω του Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου καθώς και στην παρουσία του ηλεκτρικού αυτοκίνητου.

Στο κεφάλαιο 5 ορίζονται οι έξυπνοι μετρητές Ηλεκτρικής Ενέργειας και καταγράφεται η συμβολή τους στο Ευφυές Ηλεκτρικό Δίκτυο. Παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά τους καθώς και τα οφέλη που προκύπτουν από την εγκατάστασή τους. Γίνεται επίσης αναφορά στα στάδια εγκατάστασης έξυπνων μετρητών στην Ελλάδα.

Τέλος, στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται λεπτομερώς το Ευφυές Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας. Αναλύονται οι FACTS διατάξεις και προσομοιώνεται στο Matlab η αντίδραση του SVC και του STATCOM κατά τη διάρκεια βραχυκυκλώματος σε μια γραμμή μεταφοράς. Γίνεται, ακόμα, αναφορά στις PMU διατάξεις οι οποίες εξετάζονται από τηλεπικοινωνιακή σκοπιά.

Λέξεις Κλειδιά

Ευφυές Ηλεκτρικό Δίκτυο, Διεσπαρμένη Παραγωγή, Δίκτυο Διανομής, Σύστημα Μεταφοράς, Έξυπνοι Μετρητές, Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας, AMI, MDMS, EMS, DMS, SCADA, Τεχνολογίες Επικοινωνίας, Ηλεκτρικό Όχημα, Διαχείριση της Ζήτησης, FACTS, SVC, STATCOM, PMU.

Abstract

This thesis shows the transition from the traditional power energy system to a smarter electric grid. Modern power systems have begun to implement many digital technologies and new electromechanical systems in the production, transportation, distribution and consumption of electric energy. The networks utilizing these technologies, while becoming more reliable, efficient and less environmental pollutants, are characterized as Smart Grids.

Chapter 1 presents the traditional power energy system. Particular emphasis is given to the components of the system and the production of energy power abroad and in Greece (grid connected and non-connected system). Finally, details of the structure of the electricity market are given, while the distinct role of independent administrative authorities (such as Regulatory Authority of Energy) is analyzed. Those authorities are quite important to the transition to a liberated electricity market.

In chapter 2, the contrasted models of centralized and decentralized electricity production are presented with their advantages and disadvantages. Reference is also made to the SCADA system, the problems of electromechanical equipment and the reliability issues of the traditional power system.

Chapter 3 analyzes the main challenges that the power grids of today are facing while the European and domestic energy policy is implemented. Specifically, details of the national energy planning 20-20-20, the energy efficiency action plans and the national energy planning for 2050 are given.

Chapter 4 is the most important part of this thesis. Details, characteristics and of course the benefits that arise from the Smart Grid networks are shown. Communication technologies needed for the data transmission network are presented along with the Smart Distribution and Transmission Network. Finally great importance is given to the role played by the storage of electricity on Smart Grids and to the new era that will give the network the presence of the electric vehicle.

Chapter 5 describes the smart meters and notes their contribution to the Smart Grid. The features and the benefits arising from their installation are presented. Reference is also made to the steps made towards the smart meter installation in Greece.

Finally in Chapter 6, the Smart Transmission Network is developed. FACTS devices are validated as important elements of the Smart Grid, and a Matlab simulation between the 2 main FACTS devices (SVC vs. STATCOM) revealing their efficiency and reliability after a short-circuit on a transmission line, is performed. The PMU devices are also described and a simulation test is executed about the bandwidth these devices require for their data transmission.

Keywords

Smart Grid, Distributed Generation, Distribution Network, Transmission System, Smart Meters, Electrical Market, AMI, MDMS, EMS, SCADA, Communication Technologies, E-Vehicle, Demand Response, FACTS, SVC, STATCOM, PMU.

Ευχαριστήριο Σημείωμα

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή Παναγιώτη Κωττή για την ευκαιρία που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την διπλωματική μου εργασία υπό την επίβλεψή του, την άριστη συνεργασία, την εμπιστοσύνη, την βοήθεια και τις πολύτιμες γνώσεις που μου πρόσφερε κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

| | |
|--|-----------|
| ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ | 13 |
| ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ..... | 14 |
| ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ..... | 16 |
| ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΟΡΙΣΜΩΝ ΜΕ ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ..... | 17 |
| 1 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 22 |
| 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 22 |
| 1.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 23 |
| 1.3 ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 24 |
| 1.3.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ..... | 24 |
| 1.3.1.1 Συνιστώσες Συστήματος..... | 25 |
| 1.3.1.2 Διεθνείς Διασυνδέσεις | 27 |
| 1.3.2 ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ | 29 |
| 1.3.2.1 Ακτινικό Δίκτυο Διανομής (Radial Main Distribution System)..... | 29 |
| 1.3.2.2 Βροχοειδές Δίκτυο Διανομής (Ring Main Distribution System)..... | 30 |
| 1.4 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 31 |
| 1.4.1 ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ | 31 |
| 1.4.2 ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ | 33 |
| 1.4.2.1 Εγκατεστημένη Ισχύς στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα | 33 |
| 1.4.2.2 Εγκατεστημένη ισχύς στο Μη Διασυνδεδεμένο Σύστημα (Νησιωτικό) | 35 |
| 1.4.2.3 Καθαρή Ηλεκτροπαραγωγή Διασυνδεδεμένου Συστήματος | 35 |
| 1.4.2.4 Εισαγωγές – Εξαγωγές Ηλεκτρικής Ενέργειας από τρίτες χώρες | 36 |
| 1.4.2.5 Ηλεκτροπαραγωγή Μη Διασυνδεδεμένου Συστήματος..... | 37 |
| 1.5 ΑΓΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 37 |
| 1.5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 37 |
| 1.5.2 ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΗΝ ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΜΕΝΗ ΑΓΟΡΑ | 38 |
| 1.5.3 ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟΙ ΦΟΡΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 39 |
| 1.5.3.1 Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ)..... | 39 |
| 1.5.3.2 Ανεξαρτησία φορέων | 39 |
| 1.5.3.3 Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) | 41 |
| 1.5.3.4 Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ)..... | 41 |
| 1.5.3.5 Λειτουργός της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΛΑΓΗΕ) | 41 |
| 1.5.4 ΔΙΑΚΡΙΤΕΣ ΔΟΜΕΣ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ ΗΕ..... | 42 |
| 1.5.4.1 Βραχυχρόνια – χονδρεμπορική αγορά ΗΕ | 42 |
| 1.5.4.2 Μηχανισμός της Αγοράς Μακροχρόνιας Διαθεσιμότητας Ισχύος | 48 |
| 2 ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ..... | 49 |
| 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 49 |
| 2.2 ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 50 |

| | | |
|------------|--|------------------|
| 2.2.1 | ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 50 |
| 2.2.1.1 | Βασικό πλεονέκτημα της συγκεντρωτικής παραγωγής | 50 |
| 2.2.1.2 | Σημαντικά μειονεκτήματα της συγκεντρωτικής παραγωγής..... | 51 |
| 2.2.2 | ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ..... | 53 |
| 2.2.2.1 | Πλεονεκτήματα της ΔΠ | 55 |
| 2.2.2.2 | Εμπόδια για την διείσδυση της ΔΠ | 56 |
| 2.2.2.3 | Περαιτέρω προβλήματα στη διείσδυση ΔΠ από ΑΠΕ | 57 |
| 2.2.2.4 | Προϋποθέσεις για την αύξηση της διείσδυσης της ΔΠ | 58 |
| 2.3 | SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION (SCADA)..... | 59 |
| 2.4 | ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ..... | 63 |
| 2.4.1 | ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ | 63 |
| 2.4.2 | ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ..... | 63 |
| 2.4.3 | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ..... | 64 |
| 2.5 | ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΗΕ..... | 64 |
| 2.5.1 | ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΓΙΑ ΑΛΛΑΓΗ ΤΩΝ ΑΙΤΙΟΚΡΑΤΙΚΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ..... | 66 |
| 2.5.1.1 | Αιτιοκρατική Ανάλυση (Deterministic Analysis)..... | 66 |
| 2.5.1.2 | Πιθανοτική Ανάλυση (Probabilistic Analysis)..... | 67 |
| 2.6 | ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ..... | 68 |
| 3 | <u>ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ</u> | <u>68</u> |
| 3.1 | ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ: ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΚΙΟΤΟ | 68 |
| 3.2 | ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΚΑΙ ΕΓΧΩΡΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ | 70 |
| 3.2.1 | ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ “20-20-20” | 72 |
| 3.2.2 | ΕΘΝΙΚΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ “20-20-20” | 73 |
| 3.2.3 | ΣΧΕΔΙΑ ΔΡΑΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ - ΣΔΕΑ..... | 75 |
| 3.2.4 | ΟΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΓΙΑ ΤΟ 2050 | 77 |
| 3.2.5 | ΕΘΝΙΚΟΣ ΣΤΟΧΟΣ ΓΙΑ ΤΟ 2050 | 78 |
| 3.3 | Η ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (E-VEHICLES) | 79 |
| 4 | <u>ΤΟ ΕΥΦΥΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ</u> | <u>80</u> |
| 4.1 | ΟΡΙΣΜΟΣ..... | 80 |
| 4.2 | ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΥΦΥΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ..... | 81 |
| 4.3 | ΟΦΕΛΗ ΤΟΥ ΕΥΦΥΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ..... | 85 |
| 4.4 | ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΥΦΥΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ | 86 |
| 4.4.1 | ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΕΥΦΥΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ | 86 |
| 4.4.1.1 | Home Area Network – HAN..... | 87 |
| 4.4.1.2 | Neighborhood Area Network NAN..... | 87 |
| 4.4.1.3 | Wide Area Network – WAN..... | 88 |
| 4.4.2 | ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ | 88 |
| 4.4.2.1 | Τεχνολογίες ενσύρματης επικοινωνίας | 89 |
| 4.4.2.2 | Τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας..... | 90 |
| 4.4.3 | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ | 92 |
| 4.4.4 | ΕΙΔΙΚΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΕΥΦΥΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ..... | 94 |
| 4.5 | ΕΥΦΥΗ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ – SMART DISTRIBUTION SYSTEMS | 96 |
| 4.5.1 | ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ (DISTRIBUTION AUTOMATION – DA) | 97 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 4.5.1.1 | Αυτοματοποίηση Υποσταθμών (Substation Automation – SA) | 98 |
| 3.2.1.2 | ΈΞΥΠΝΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ – ΕΗΣ (INTELLIGENT ELECTRONIC DEVICE – IED) | 99 |
| 4.5.1.3 | Διακόπτες Αυτόματης Επαναφοράς - Reclosers | 100 |
| 4.5.1.4 | Διακόπτες Απομόνωσης – Sectionalizers | 100 |
| 4.5.1.5 | Σύστημα Διαχείρισης Δικτύου Διανομής (Distribution Management Systems –DMS) | 102 |
| 4.5.1.6 | Ανεξάρτητα Συστήματα Πληροφοριών που αλληλεπιδρούν με το DMS | 106 |
| 4.5.2 | ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ ΕΥΦΥΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ | 108 |
| 4.6 | ΕΥΦΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – SMART TRANSMISSION SYSTEMS | 109 |
| 4.6.1 | ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – (ENERGY MANAGEMENT SYSTEM – EMS) | 110 |
| 4.6.2 | HIGH VOLTAGE DIRECT CURRENT – HVDC..... | 111 |
| 4.6.3 | ΕΥΕΛΙΚΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (FLEXIBLE AC TRANSMISSION SYSTEMS – FACTS) | 113 |
| 4.6.4 | ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΦΑΣΙΟΤΕΤΩΝ (PHASOR MEASUREMENT UNITS – PMUs) | 113 |
| 4.7 | ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ – GRID ENERGY STORAGE | 115 |
| 4.7.1 | ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ Η ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ | 116 |
| 4.7.2 | ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 118 |
| 4.7.3 | ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 119 |
| 4.8 | ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ (ELECTRIC VEHICLE-EV)..... | 123 |
| 4.8.1 | V2G (VEHICLE TO GRID – ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ ΠΟΥ ΣΥΝΔΕΕΤΑΙ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ) | 124 |
| 4.8.2 | ΤΟ E-VEHICLE ΩΣ ΜΕΣΟ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ | 125 |
| 4.8.3 | V2H (VEHICLE TO HOME) – V2B (VEHICLE TO BUSINESS) | 126 |
| 4.8.4 | ΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ EV | 126 |
| 4.8.4.1 | Προτυποποίηση της φόρτισης E-Vehicle | 127 |
| 4.8.4.2 | Εγχώριο νομικό πλαίσιο | 128 |
| 5 | <u>ΕΞΥΠΝΟΙ ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΗΕ</u> | 129 |
| 5.1 | ΟΡΙΣΜΟΣ..... | 129 |
| 5.2 | ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ | 129 |
| 5.2.1 | ΟΦΕΛΗ ΠΟΥ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ | 129 |
| 5.2.2 | ΟΦΕΛΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΕΣ ΗΕ | 131 |
| 5.2.3 | ΟΦΕΛΗ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ | 132 |
| 5.2.4 | ΟΦΕΛΗ ΓΙΑ ΤΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ | 133 |
| 5.3 | ΕΙΔΗ ΜΕΤΡΗΤΩΝ..... | 134 |
| 5.3.1 | ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΤΗΣ | 134 |
| 5.3.2 | ΈΞΥΠΝΟΣ ΜΕΤΡΗΤΗΣ | 135 |
| 5.3.2.1 | Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά..... | 135 |
| 5.4 | ΕΙΔΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ..... | 136 |
| 5.4.1 | ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (CONVENTIONAL METER READING)..... | 136 |
| 5.4.2 | ΈΞΥΠΝΑ ΜΕΤΡΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ | 136 |
| 5.4.2.1 | Automated Meter Reading (AMR) | 136 |
| 5.4.2.2 | Automated Meter Management (AMM) / Automated Meter Infrastructure (AMI) | 137 |
| 5.4.3 | METER DATA MANAGEMENT SYSTEM (MDMS)..... | 138 |
| 5.4.3.1 | Εφαρμογές σε MDM συστήματα | 138 |
| 5.5 | ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΫΠΟΘΕΤΟΥΝ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ | 139 |
| 5.5.1 | ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ (ENERGY MANAGEMENT SYSTEM (EMS) FOR BUILDINGS) | 140 |
| 5.5.2 | ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΥΚΟΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΣΕ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΗΕ (IN-HOME DISPLAYS AND ACCESS TO ENERGY INFO (IHD))..... | 140 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 5.5.3 | ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΜΕΣΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ EMS (GRID-READY APPLIANCES AND DEVICES (DR-READY)) | 140 |
| 5.5.4 | ΑΝΟΙΚΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ (OPEN AUTOMATED DEMAND RESPONSE (OPEN-ADR)) | 141 |
| 5.5.5 | ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΕ (ENERGY STORAGE) | 141 |
| 5.6 | ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΟΥΝ ΠΡΟΣΟΧΗΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗΣ | 141 |
| 5.7 | ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ | 142 |
| 5.7.1 | ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΛΕΜΕΤΡΗΣΗΣ ΠΕΛΑΤΩΝ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ | 143 |
| 5.7.2 | ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΛΕΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕΓΑΛΩΝ ΠΕΛΑΤΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ | 144 |
| 5.7.3 | ΠΙΛΟΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΛΕΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ ΚΑΙ ΜΙΚΡΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ | 144 |
| 5.7.4 | ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ | 145 |
| 6 | ΕΥΦΥΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 147 |
| 6.1 | ΡΟΗ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ ΜΙΑ ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ | 147 |
| 6.2 | ΕΥΕΛΙΚΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ – FACTS (FLEXIBLE AC TRANSFER SYSTEMS) | 150 |
| 6.2.1 | FACTS ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΑ ΜΕ ΘΥΡΙΣΤΟΡΣ | 153 |
| 6.2.1.1 | Λειτουργία FACTS ελεγχόμενων με θυρίστορς | 154 |
| 6.2.1.2 | Προβλήματα FACTS ελεγχόμενων με θυρίστορς | 154 |
| 6.2.1.3 | Στατικός αντισταθμιστής αέργου ισχύος – Static Var Compensator | 155 |
| 6.2.2 | FACTS ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΑ ΜΕ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ | 157 |
| 6.2.2.1 | Λειτουργία FACTS ελεγχόμενων με μετατροπείς | 159 |
| 6.2.2.2 | Στατικός Αντισταθμιστής - Static synchronous Compensator | 159 |
| 6.2.3 | ΣΥΓΚΡΙΣΗ SVC ΜΕ STATCOM | 162 |
| 6.2.4 | ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ SIMULINK ΤΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ STATCOM ΚΑΙ SVC | 165 |
| 6.3 | ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΦΑΣΙΘΕΤΩΝ – PHASOR MEASUREMENT UNITS | 167 |
| 6.3.1 | ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΦΑΣΙΘΕΤΩΝ | 167 |
| 6.3.2 | ΙΕΡΑΡΧΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΦΑΣΙΘΕΤΩΝ | 168 |
| 6.3.3 | ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ – ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ | 169 |
| 6.3.4 | ΒΛΑΚΚΟΥΤ ΣΤΗ ΒΑ ΠΛΕΥΡΑ ΤΩΝ ΗΠΑ – NORTHEAST AMERICAN BLACKOUT | 171 |
| 6.3.5 | ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΑ PMUS | 173 |
| 6.3.6 | ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEEE C37.118-2005 - ΔΟΜΗ ΑΡΧΕΙΟΥ ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΕΝΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΦΑΣΙΘΕΤΩΝ | 176 |
| 6.3.7 | ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΦΑΣΙΘΕΤΩΝ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ | 177 |
| 6.3.8 | ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΦΑΣΙΘΕΤΩΝ ΜΕ ΤΟ SCADA | 179 |
| 6.3.9 | ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΥ ΣΜ ΣΕ ΕΥΦΥΕΣ ΚΑΙ ΟΦΕΛΗ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ PMUS | 180 |
| | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 188 |

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

| | |
|---------|---|
| AMI | Automated Meter Infrastructure |
| AMR | Automated Meter Reading |
| BJT | Bipolar Junction Transistor |
| ENTSO-E | European Network of Transmission System Operators for Electricity |
| EV | Electric Vehicle |
| GTO | Gate Turn Off |
| GPS | Global Positioning System |
| GSM | Global System for Communications |
| HAN | Home Area Network |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| IGBT | Integrated Gate Bipolar Transistors |
| LAN | Local Area Network |
| MDMS | Meter Data Management System |
| MOSFET | Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor |
| NAN | Neighborhood Area Network |
| OPEC | Organization of the Petroleum Exporting Countries |
| PLC | Power Line Communication |
| PMU | Phasor Measurement Unit |
| PPS | Pulse Per Second |
| SCADA | Supervisory Control and Data Acquisition |
| SSSC | Static Synchronous Series Compensators |
| STATCOM | STATic synchronous COMPensators |
| SVC | Static Var Compensators |
| SVS | Synchronous Voltage Sources |
| UCTE | Union pour la Coordination du Transport de l'Electricité |
| UPFC | Unified Power Flow Controllers |
| UPS | Uninterrupted Power System |
| UTC | Universal Time Coordinated |
| WAN | Wide Area Network |
| TCR | Thyristor Controlled Reactors |
| TCSC | Thyristor Controlled Series Capacitors |
| TSC | Thyristor Switched Capacitors |
| A/Γ | Ανεμογεννήτριες |
| ΑΔΜΗΕ | Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας |
| ΑΠΕ | Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας |
| ΑΡΦ | Ανάλυσης Ροής Φορτίου |
| ΓΜ | Γραμμές Μεταφοράς |
| ΔΔ | Δίκτυο Διανομής |
| ΔΕΔΔΗΕ | Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας |
| ΔΠ | Διεσπαρμένη Παραγωγή |
| ΕΗΔ | Ευφυές Ηλεκτρικό Δίκτυο |
| ΕΗΣ | Ευφυής Ηλεκτρική Συσκευή |
| ΕΤΜΕΑΡ | Ειδικό Τέλος Μείωσης Εκπομπών Αερίων Ρύπων |
| ΗΔ | Ηλεκτρικό Δίκτυο |
| ΗΕ | Ηλεκτρική Ενέργεια |
| ΗΜ | Ηλεκτρομαγνητικό |

| | |
|-------|--|
| ΗΕΠ | Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός |
| ΚΥΤ | Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης |
| ΛΑΓΗΕ | Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας |
| ΜΔΝ | Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά |
| ΜΜΚ | Μεσοσταθμικό Μεταβλητό Κόστος |
| ΜΤ | Μέση Τάση |
| ΜΤΠ | Μη Τιμολογούμενες Προσφορές |
| Μ/Σ | Μετασηματιστές |
| ΟΤΑ | Οριακή Τιμή Αποκλίσεων |
| ΟΤΣ | Οριακή Τιμή Συστήματος |
| ΡΑΕ | Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας |
| ΡΦ | Ροή Φορτίου |
| ΣΑΤΥΦ | Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο |
| ΣΗΕ | Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας |
| ΣΗΘ | Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας |
| ΣΗΘΥΑ | Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης |
| ΣΜ | Σύστημα Μεταφοράς |
| ΥΤ | Υψηλή Τάση |
| ΥΤΣΡ | Υψηλή Τάση Συνεχούς Ρεύματος |
| ΥΥΤ | Υπέρ Υψηλή Τάση |
| Υ/Σ | Υποσταθμοί |
| ΥΗΣ | Υδροηλεκτρικός Σταθμός |
| ΥΤΣΡ | Υψηλή Τάση Συνεχούς Ρεύματος |
| Φ/Β | Φωτοβολταϊκά |
| ΧΤ | Χαμηλή Τάση |

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|---|----|
| Σχήμα 1.1 Γραμμές ΥΤ και Υποσταθμός Μεταφοράς ΥΤ..... | 26 |
| Σχήμα 1.2 Σχηματικό διάγραμμα των διασυνδεδεμένων Συστημάτων της Βαλκανικής [5]..... | 27 |
| Σχήμα 1.3 Ακτινικό ΔΔ | 30 |
| Σχήμα 1.4 Βροχοειδές ΔΔ..... | 31 |
| Σχήμα 1.5 Ποσοστιαία ηλεκτροπαραγωγή ανά καύσιμο στις χώρες της Ε.Ε. για το έτος 2011 [8]. | 32 |
| Σχήμα 1.6 Ποσοστιαία ηλεκτροπαραγωγή ανά καύσιμο για τις χώρες του ΟΡΕC [8]. | 33 |
| Σχήμα 1.7 Η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύς στην Ελλάδα από το 1990 έως το 2007 [9]. | 34 |
| Σχήμα 1.8 Η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύς του Διασυνδεδεμένου Συστήματος στην Ελλάδα για την περίοδο 2012 έως 2013 [10]..... | 34 |
| Σχήμα 1.9 Ανάλυση καθαρής ηλεκτροπαραγωγής του Διασυνδεδεμένου Συστήματος για την περίοδο 2004-2012 [13]. | 35 |
| Σχήμα 1.10 Εισαγωγές ΗΕ για την περίοδο 2004-2012 | 36 |
| Σχήμα 1.11 Εξαγωγές ΗΕ για την περίοδο 2004-2012 [13]..... | 36 |
| Σχήμα 1.12 Ημερήσια Ποσοστιαία (%) κατανομή του Καυσίμου/Εισαγωγών/Εξαγωγών που όρισαν ΟΤΣ, Δεκέμβριος 2013 [10]..... | 44 |
| Σχήμα 1.13 Διαμόρφωση της καμπύλης προσφοράς | 45 |
| Σχήμα 1.14 Επίδραση της ζήτησης στη διαμόρφωση της ΟΤΣ | 45 |
| Σχήμα 1.15 Επίδραση των ΜΤΠ στη διαμόρφωση της ΟΤΣ..... | 46 |
| Σχήμα 1.16 Μέση ημερήσια ΟΤΣ και ΟΤΑ Δεκεμβρίου 2013 [10] | 48 |
| | |
| Σχήμα 2.1 Κατηγοριοποίηση μορφών ευστάθειας ΣΗΕ..... | 51 |
| Σχήμα 2.2 Σχηματική αναπαράσταση μονάδας ΣΗΘ | 55 |
| Σχήμα 2.3 Μεταβολή του τρόπου διατήρησης της ισορροπίας παραγωγής και ζήτησης στο σύγχρονο δίκτυο [22] | 59 |
| Σχήμα 2.4 Παραδοσιακό ΣΗΕ..... | 59 |

| | |
|--|-----|
| Σχήμα 2.5 Κεντρικός σταθμός Scada | 60 |
| Σχήμα 2.6 Εσωτερική εγκατάσταση RTU | 61 |
| Σχήμα 3.1 Εθνικός σχεδιασμός “20-20-20” μέχρι το 2020..... | 74 |
| Σχήμα 3.2 Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος Η/Π ανά καύσιμο για επίτευξη των εθνικών στόχων ως το 2020 Γράφημα (α), εξέλιξη της παραγωγής ΗΕ ανά καύσιμο για την επίτευξη των εθνικών στόχων έως το 2020 Γράφημα (β) [25]..... | 75 |
| Σχήμα 4.1 Η έννοια του Smart Grid | 81 |
| Σχήμα 4.2 Συμβατικό σύστημα ΗΕ..... | 83 |
| Σχήμα 4.3 Ευφυές Ηλεκτρικό Δίκτυο..... | 83 |
| Σχήμα 4.4 Οι τρεις τομείς – στόχοι του Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου..... | 86 |
| Σχήμα 4.5 Αρχιτεκτονική δικτύων επικοινωνίας του ΕΗΔ | 88 |
| Σχήμα 4.6 Τα επίπεδα (layers) λειτουργίας του ΕΗΔ..... | 96 |
| Σχήμα 4.7 Τα επίπεδα εφαρμογής της αυτοματοποίησης Δικτύου Διανομής (DA) | 98 |
| Σχήμα 4.8 Λειτουργικό διάγραμμα αυτοματοποιημένου Υ/Σ (SA) | 99 |
| Σχήμα 4.9 Συνεργασία Δ/ΑΕ (recloser) με Δ/Α (sectionalizer). Εδώ ο Δ/Α είναι προγραμματισμένος να ανοίγει έπειτα από δύο κύκλους διακοπής-αποκατάστασης του Δ/ΑΕ..... | 101 |
| Σχήμα 4.10 Δ/Α (sectionalizer) Ελληνικού Δικτύου | 101 |
| Σχήμα 4.11 Τοποθέτηση ενός Δ/Α και ενός Δ/ΑΕ σε τμήμα εναέριας γραμμής ΜΤ του ΔΔ..... | 102 |
| Σχήμα 4.12 Αναπαράσταση DMS..... | 102 |
| Σχήμα 4.13 Απλοποιημένο παράδειγμα λειτουργίας του συστήματος FDIR [43] | 103 |
| Σχήμα 4.14 Λειτουργία της διαδικασίας VAR-Voltage Control (VVC) [44] | 104 |
| Σχήμα 4.15 Αναπαράσταση μοντέλου GIS της εταιρείας ETAP | 107 |
| Σχήμα 4.16 Ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης Ευφυούς ΔΔ [45] | 108 |
| Σχήμα 4.17 Η Συμβολή των Έξυπνων ΔΔ στην βελτίωση των παραμέτρων λειτουργίας ενός ΣΗΕ..... | 109 |
| Σχήμα 4.18 Ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης Ευφύων ΣΜ..... | 111 |
| Σχήμα 4.19 Σύγκριση AC και HVDC ΣΜ..... | 112 |
| Σχήμα 4.20 Συγχρονισμένες μετρήσεις φασιθέτων σε δυο διαφορετικά σημεία του ΣΜ..... | 114 |
| Σχήμα 4.21 Λειτουργικό διάγραμμα PMU | 114 |
| Σχήμα 4.22 PMU μονάδα (General Electric) | 115 |
| Σχήμα 4.23 Καμπύλες παραγωγής ΗΕ και φορτίου ενός ΣΗΕ με ή χωρίς αποθήκευση ΗΕ..... | 116 |
| Σχήμα 4.24 Χρήσεις της αποθήκευσης ΗΕ..... | 118 |
| Σχήμα 4.25 Σχηματική αναπαράσταση Υβριδικού Ενεργειακού Έργου Ικαρίας..... | 120 |
| Σχήμα 4.26 Ποσοστιαία χρήση των τεχνολογιών αποθήκευσης ΗΕ παγκοσμίως | 123 |
| Σχήμα 4.27 Οι τέσσερις προτυποποιημένοι τρόποι φόρτισης των EV | 127 |
| Σχήμα 5.1 Συμβατικός Μετρητής ΗΕ | 134 |
| Σχήμα 5.2 Έξυπνος μετρητής ΗΕ | 135 |
| Σχήμα 5.3 Έξυπνοι μετρητές ΗΕ..... | 136 |
| Σχήμα 5.4 Σχηματική Απεικόνιση MDMS..... | 139 |
| Σχήμα 5.5 Σύστημα απεικόνισης MDMS λογισμικού της εταιρείας Toshiba..... | 139 |
| Σχήμα 5.6 Ενέργεια ανά κατηγορία πελατών και πορεία υλοποίησης συστήματος έξυπνης τηλεμέτρησης [44] | 143 |
| Σχήμα 5.7 Στάδια εξέλιξης των κύριων έργων τηλεμέτρησης και οι θεσμοθετημένοι μεσοπρόθεσμοι στόχοι | 145 |
| Σχήμα 5.8 Οι κατηγορίες καταναλωτών και, αντίστοιχα, το κόστος, η ποσόστωση καταναλισκόμενης ΗΕ και οι τεχνολογίες επικοινωνίας..... | 146 |
| Σχήμα 6.1 Μοντέλο δύο μηχανών και καμπύλη ενεργού ισχύος - γωνίας δ..... | 148 |
| Σχήμα 6.2 Κατάταξη ημιαγωγικών διακοπτικών διατάξεων ισχύος..... | 151 |
| Σχήμα 6.3 Σχηματικό σύμβολο ενός θυρίστορ | 152 |

| | |
|--|-----|
| Σχήμα 6.4 Διακοπτικά στοιχεία α) Δίοδος, β) Θυρίστορ γ) GTO-IGBT..... | 152 |
| Σχήμα 6.5 Οικογένεια FACTS ελεγχόμενων με θυρίστορ..... | 154 |
| Σχήμα 6.6 Στατικός αντισταθμιστής αέργου ισχύος, αποτελούμενος από πυκνωτές με θυρίστορ και πηνία με θυρίστορ..... | 155 |
| Σχήμα 6.7 Χαρακτηριστική V-I του SVC..... | 156 |
| Σχήμα 6.8 Μεταφερόμενη ισχύς στο SVC..... | 157 |
| Σχήμα 6.9 Λειτουργικό μοντέλο SVS..... | 158 |
| Σχήμα 6.10 Οικογένεια FACTS με διακοπτικούς μετατροπείς..... | 159 |
| Σχήμα 6.11 Σύγχρονη πηγή τάσης που λειτουργεί ως STATCOM..... | 160 |
| Σχήμα 6.12 Χαρακτηριστική V-I του STATCOM..... | 161 |
| Σχήμα 6.13 Μεταφερόμενη ισχύς στο STATCOM..... | 162 |
| Σχήμα 6.14 Σύγκριση ορίων μεταβατικής ευστάθειας STATCOM και SVC..... | 163 |
| Σχήμα 6.15 ΓΜ Προσομοίωσης..... | 166 |
| Σχήμα 6.16 Σύγκριση SVC - Statcom..... | 166 |
| Σχήμα 6.17 Ορισμός σύγχρονου φασιθέτη και σύμβαση γωνίας..... | 167 |
| Σχήμα 6.18 Μια τυπική μονάδα μέτρησης φασιθετών..... | 168 |
| Σχήμα 6.19 Ιεραρχία συστήματος μέτρησης φασιθετών..... | 169 |
| Σχήμα 6.20 Εγκατεστημένα PMUs στο Αμερικάνικο Ηλεκτρικό Δίκτυο [71]..... | 174 |
| Σχήμα 6.21 PMUs στην Ευρώπη..... | 175 |
| Σχήμα 6.22 PMUs στη Σκανδιναβία..... | 175 |
| Σχήμα 6.23 Σύνδεση PMU και εξαγωγή των δεδομένων..... | 176 |
| Σχήμα 6.24 Σήμα εισόδου PMU και η απαιτούμενη εκτίμηση φασιθέτη στην έξοδο..... | 177 |
| Σχήμα 6.25 (α) Συνδέσεις στην πίσω όψη του οργάνου ABB (β) Λεπτομέρεια των γραμμών σύνδεσης..... | 178 |
| Σχήμα 6.26 Δυναμική συμπεριφορά PMU σε σχέση με το παραδοσιακό SCADA..... | 180 |

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|--|-----|
| Πίνακας 1.1 Χιλιομετρικά στοιχεία των ΓΜ ΥΤ ανά κατηγορία [5]..... | 26 |
| Πίνακας 1.2 Απολογισμός Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ Ιανουαρίου 2014 [17]..... | 47 |
| Πίνακας 3.1 Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και στόχοι του Πρωτοκόλλου του Κιότο [30]..... | 69 |
| Πίνακας 3.2 Εκπομπές CO ₂ για σταθμούς παραγωγής διαφορετικών τεχνολογιών και καυσίμων. Οι τιμές ισχύουν για ονομαστική φόρτιση [31]..... | 70 |
| Πίνακας 3.3 Εκτιμήσεις εξοικονόμησης ενέργειας 2ου ΣΔΕΑ..... | 77 |
| Πίνακας 4.1 Αντιπαραβολή χαρακτηριστικών του συμβατικού ΣΗΕ με το ΕΗΔ..... | 84 |
| Πίνακας 4.2 Τεχνολογίες μετάδοσης δεδομένων, κατάλληλες για εφαρμογές των ΕΗΔ..... | 92 |
| Πίνακας 4.3 Εφαρμογές των ΕΗΔ και οι λειτουργικές τους απαιτήσεις..... | 94 |
| Πίνακας 4.4 Ειδικά πρωτόκολλα επικοινωνίας του Η/Μ εξοπλισμού των ΕΗΔ..... | 95 |
| Πίνακας 4.5 Προτυποποιημένες στάθμες φόρτισης EV..... | 128 |
| Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά έξυπνων μετρητικών συστημάτων..... | 137 |
| Πίνακας 6.1 Κατηγοριοποίηση FACTS..... | 153 |
| Πίνακας 6.2 Συγκεντρωτική σύγκριση SVC - STATCOM..... | 164 |
| Πίνακας 6.3 Κατηγοριοποίηση δεδομένων PMU με βάση το πρωτόκολλο επικοινωνίας..... | 170 |
| Πίνακας 6.4 Καθυστερήση και ρυθμοί μεταφοράς τεχνολογιών μετάδοσης δεδομένων PMU [71]..... | 171 |
| Πίνακας 6.5 Κόστος απωλειών ΗΕ κατά τη διάρκεια του blackout..... | 172 |
| Πίνακας 6.6 Κόστος εγκατάστασης PMU, PDC..... | 173 |

| | |
|--|-----|
| Πίνακας 6.7 Τυπικές μετρήσεις στο ΚΥΤ Ωραιοκάστρου | 178 |
| Πίνακας 6.8 Σύγκριση PMU – SCADA..... | 179 |

Λεξιλόγιο Ορισμών με αλφαβητική σειρά

Άεργος Ισχύς – Reactive Power

Η άεργος ισχύς είναι η φανταστική συνιστώσα της φαινόμενης ισχύος και εκφράζεται σε μονάδες VAR . Η άεργος ισχύς είναι το τμήμα της ΗΕ το οποίο αναφέρεται στη δημιουργία και διατήρηση του ΗΜ πεδίου στον εξοπλισμό του ηλεκτρικού δικτύου. Η άεργος ισχύς πρέπει να παρέχεται στις περισσότερες κατηγορίες μαγνητικού εξοπλισμού όπως κινητήρες επαγωγής και μετασχηματιστές και προκαλεί άεργες απώλειες στις εγκαταστάσεις μεταφοράς. Η άεργος ισχύς παρέχεται από τις γεννήτριες και τους σύγχρονους πυκνωτές (βλ. συνέχεια λεξιλογίου) και επηρεάζει άμεσα την τάση του ηλεκτρικού δικτύου.

Αιχμή Συστήματος – Peak System

Αιχμή συστήματος ορίζεται η αιχμή ζήτησης (μέση ωριαία τιμή) ΗΕ στο διασυνδεδεμένο Σύστημα.

Αιχμή Φορτίου – Peak Load

Για κάθε εκπρόσωπο φορτίου, η αιχμή φορτίου αποτιμάται σε MW ανά ώρα. Γενικά, υπολογίζεται ως το άθροισμα του μέσου φορτίου στην αιχμή λειτουργίας του συστήματος όλων των καταχωρισμένων μετρητών τους οποίους εκπροσωπεί ο εκπρόσωπος φορτίου (βλ. συνέχεια λεξιλογίου).

Ανατροφοδότηση Ηλεκτρικής Ενέργειας – Feedback of Electric Energy Supply

Ανατροφοδότηση της ΗΕ ορίζεται η άμεση αποκατάσταση παροχής ΗΕ σε ένα ηλεκτρικό φορτίο ή ΗΔ με το βέλτιστο δυνατό εναλλακτικό τρόπο κατά τη παρουσία σφάλματος

Γραμμή Μεταφοράς – Transmission Line

Ως ΓΜ ΗΕ εννοούνται οι τις εναέριες γραμμές ΥΤ και ΥΥΤ καθώς και οι υπόγειες γραμμές ΥΤ. Οι γραμμές αυτές χαρακτηρίζονται ως απλού ή διπλού κυκλώματος με κριτήριο το αν φέρουν ένα ή δύο τριφασικά κυκλώματα.

Γραμμή Μεταφοράς Διπλού Κυκλώματος – Transmission Line Double Circuit

Η ΓΜ διπλού κυκλώματος αποτελείται από δύο ανεξάρτητα τριφασικά κυκλώματα, παράλληλα μεταξύ τους, που αναρτώνται στον ίδιο πυλώνα ή σε γειτονικούς πυλώνες που διέρχονται, όμως, από την ίδια ζώνη διέλευσης.

Διασυνδεδεμένο Σύστημα – Interconnected System

Ένα διασυνδεδεμένο σύστημα αποτελείται από δύο ή περισσότερα ξεχωριστά ηλεκτρικά συστήματα τα οποία κανονικά λειτουργούν σε συγχρονισμό και συνδέονται μέσω διασυνδεδετικών γραμμών.

Εκπρόσωπος Φορτίου – Load Representative

Εκπρόσωπος φορτίου ονομάζεται η εταιρία που εκπροσωπεί τον μετρητή ΗΕ ενός επιλέγοντος πελάτη. Ταυτίζεται με τον προμηθευτή ΗΕ.

Έμπορος Ηλεκτρικής Ενέργειας – Electricity Trader

Είναι ανώνυμη εταιρεία (Α.Ε.) ή εταιρεία περιορισμένης ευθύνης (Ε.Π.Ε.) που έχει την άδεια (από τη ΡΑΕ) να διενεργεί συναλλαγές στην αγορά ΗΕ αποκλειστικά μέσω διεθνών διασυνδέσεων των

ηλεκτρικών συστημάτων της χώρας με ηλεκτρικά συστήματα γειτονικών χωρών. Ο κάτοχος της Άδειας Εμπορίας ΗΕ δεν επιτρέπεται να ασκεί και τη δραστηριότητα της Προμήθειας ΗΕ.

Ενεργειακό αποτύπωμα – Energy Footprint

Είναι η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που εκλύεται στην ατμόσφαιρα από τις καθημερινές συνήθειες, που σχετίζονται με την κατανάλωση ΗΕ, σε ατομικό αλλά και σε επίπεδο ενός συνόλου καταναλωτών.

Ενεργός Ισχύς – Active Power

Η ενεργός ισχύς είναι η πραγματική συνιστώσα της φαινόμενης ισχύος και εκφράζεται σε μονάδες Watt.

Επαγωγική Αντίδραση - Inductive Reactance

Η επαγωγική αντίδραση οφείλεται στην τάση λόγω αυτεπαγωγής που αναπτύσσεται στα άκρα ενός πηνίου καθώς διαρρέεται από μεταβαλλόμενο ρεύμα. Η τάση αυτή λόγω του κανόνα του Λεντς έχει τέτοια φορά ώστε να αντιστέκεται στην αρχική αιτία που την προκαλεί με αποτέλεσμα να προκαλεί αντίδραση στην ροή του ρεύματος.

Επικουρικές Υπηρεσίες – Ancillary Services

Επικουρικές Υπηρεσίες ονομάζονται οι υπηρεσίες που μπορούν να παρέχουν οι παραγωγοί ΗΕ στο Σύστημα με σκοπό την εξασφάλιση της ευστάθειας του ΣΗΕ και της ποιότητας της παρεχόμενης ΗΕ. Σύμφωνα με τον Κώδικα Διαχείρισης Συστήματος και Συναλλαγών ΗΕ (ΚΔΣ&ΣΗΕ) της ΡΑΕ, οι Επικουρικές Υπηρεσίες είναι:

- Πρωτεύουσα στρεφόμενη εφεδρεία και η αντίστοιχη ρύθμιση της συχνότητας
- Δευτερεύουσα στρεφόμενη εφεδρεία και η αντίστοιχη ρύθμιση της συχνότητας
- Τριτεύουσα στρεφόμενη εφεδρεία
- Στατή εφεδρεία
- Ρύθμιση Τάσης
- Επανεκκίνηση του Συστήματος μετά από διακοπή

Επιλέγων Πελάτης – Eligible Customer

Επιλέγων πελάτης είναι ο πελάτης που δικαιούται να επιλέγει προμηθευτή ή να αγοράζει απευθείας ΗΕ κατά τις διατάξεις του νόμου 4001/2011.

Εφεδρεία Ενέργειας – Reserve of Energy

- *Πρωτεύουσα Στρεφόμενη Εφεδρεία (Spinning Reserve)*
Ορίζεται ως η δυνατότητα αύξησης της παραγόμενης Ενεργού Ισχύος Μονάδας στο χρονικό διάστημα μεταξύ πέντε (5) και δεκαπέντε (15) δευτερολέπτων μετά από σημαντικό συμβάν, ως αυτόματη αντίδραση του ρυθμιστή στροφών. Η ποσότητα και ο τρόπος διάθεσης της πρωτεύουσας Στρεφόμενης Εφεδρείας καθορίζονται σύμφωνα με τις σχετικές συστάσεις του ευρωπαϊκού οργάνου ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity). Παρέχεται από μονάδες συγχρονισμένες στο Σύστημα.

- **Δευτερεύουσα Στρεφόμενη Εφεδρεία**
Συνιστά η δυνατότητα αύξησης της παραγόμενης Ενεργού Ισχύος Μονάδας στο χρονικό διάστημα μεταξύ δεκαπέντε (15) και ενενήντα (90) δευτερολέπτων μετά από σημαντικό συμβάν. Η ποσότητα και ο τρόπος διάθεσης της δευτερεύουσας Στρεφόμενης Εφεδρείας καθορίζονται σύμφωνα με τις σχετικές συστάσεις της ENTSO. Παρέχεται από μονάδες συγχρονισμένες στο Σύστημα.
- **Τριτεύουσα Στρεφόμενη Εφεδρεία**
Ορίζεται ως η δυνατότητα αύξησης της παραγόμενης Ενεργού Ισχύος Μονάδας στο χρονικό διάστημα μεταξύ ενενήντα (90) δευτερολέπτων και είκοσι (20) λεπτών μετά το σημαντικό συμβάν, η οποία απαιτείται για τη διατήρηση της Δευτερεύουσας Στρεφόμενης Εφεδρείας στα προκαθορισμένα επίπεδα. Δύναται να παρέχεται από συγχρονισμένες μονάδες ή/και από μονάδες που βρίσκονται σε κατάσταση ετοιμότητας για συγχρονισμό εντός περιορισμένου χρονικού διαστήματος.
- **Στατή Εφεδρεία (Standing Reserve)**
Ορίζεται ως η μέγιστη ποσότητα ενεργού ισχύος που μπορεί να διατεθεί στο Σύστημα από μια μη συνδεδεμένη μονάδα παραγωγής, εντός μιας χρονικής περιόδου από είκοσι (20) λεπτά έως τέσσερις (4) ώρες, όπως αυτό το μέγεθος ορίζεται στα Δηλωμένα Χαρακτηριστικά της Μονάδας.
- **Ψυχρή Εφεδρεία (Cold Reserve)**
Ορίζεται ως η διαθεσιμότητα ικανότητας παραγωγής κατά τη διάρκεια ειδικών περιστάσεων πολύ υψηλού φορτίου στο Σύστημα, κατά τις οποίες οι Κατανομημένες Μονάδες και οι Συμβεβλημένες Μονάδες δεν επαρκούν για την κάλυψη του φορτίου του Συστήματος και την παροχή των απαιτούμενων Επικουρικών Υπηρεσιών, Στατής Εφεδρείας και Στρεφόμενης Εφεδρείας. Η Ψυχρή Εφεδρεία παρέχεται από μη συνδεδεμένες Μονάδες Ψυχρής Εφεδρείας με βάση συμβάσεις που έχουν ως αποκλειστικό αντικείμενο την παροχή Ψυχρής Εφεδρείας.

Ηλεκτρικές Απώλειες Συστήματος – Electric System Losses

Οι ηλεκτρικές απώλειες συστήματος είναι οι συνολικές απώλειες ενέργειας στο ηλεκτρικό σύστημα. Οι απώλειες εξειδικεύονται σε απώλειες μεταφοράς, μετασχηματισμού και διανομής μεταξύ των πηγών παραγωγής και των σημείων διανομής. Η ΗΕ χάνεται κυρίως λόγω της θέρμανσης των διατάξεων μεταφοράς και διανομής.

ΗΕ – Electrical Energy

ΗΕ είναι η ενέργεια που αποδίδεται ή καταναλώνεται από ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Εκφράζεται σε κιλοβάτ-ώρες (kWh), μεγαβάτ-ώρες (MWh), ή γιγαβάτ-ώρες (GWh).

Ισχύς – Power

Ισχύς είναι το ηλεκτρικό έργο ανά μονάδα χρόνου που παράγεται από μια μονάδα παραγωγής ΗΕ το οποίο απορροφάται από τις ωμικές συνιστώσες του φορτίου ή άλλων συνιστωσών του δικτύου.

MT – Medium Voltage

Σύμφωνα με το IEC 60037 ως MT θεωρούνται οι τριφασικές τάσεις εντός του εύρους των 3-35 kV AC. Το ελληνικό σύστημα διανομής λειτουργεί υπό τάσεις των 6.6 , 15 , 20 και 22 kV.

Μη Διασυνδεδεμένο Σύστημα – Non interconnected System

Είναι τα νησιά της ελληνικής επικράτειας, των οποίων το ΔΔ ΗΕ δεν συνδέεται με το σύστημα και το ΔΔ της ηπειρωτικής χώρας.

Μονάδα Παραγωγής – Power Plant

Μονάδα παραγωγής ονομάζεται μια διάταξη που παράγει ΗΕ. Συνήθως, είναι ο συνδυασμός στροβίλου και γεννήτριας. Στη περίπτωση ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού περιλαμβάνει επίσης τον αντίστοιχο λέβητα.

Παραγωγοί – Producers

Παραγωγοί είναι οι κάτοχοι αδειών παραγωγής που παράγουν ΗΕ και στη συνέχεια την παρέχουν στο Σύστημα ή στο δίκτυο.

Ποιότητα Ισχύος – Power Quality

Η ποιότητα ισχύος που παρέχεται στους καταναλωτές χαρακτηρίζεται ως αποδεκτή όταν ικανοποιούνται οι προδιαγραφές για τα χαρακτηριστικά της τάσης και της συχνότητας που ορίζουν εθνικοί και διεθνείς κανονισμοί (π.χ. EN 50160, IEC 61000). Σημαντικότερα από τα χαρακτηριστικά αυτά είναι οι αργές μεταβολές τάσης, οι ταχείες μεταβολές τάσης, οι εκπομπές flicker, η αρμονική παραμόρφωση της τάσης και οι μεταβολές της συχνότητας.

Προμηθευτές – Suppliers

Οι προμηθευτές είναι κάτοχοι άδειας προμήθειας που αγοράζουν την ΗΕ κατευθείαν από την χονδρεμπορική αγορά ΗΕ για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις των πελατών τους.

Στατοί Αντισταθμιστές – Static Compensators

Στατοί αντισταθμιστές είναι διατάξεις συμβατικών πυκνωτών και πηνίων με διακοπτική ικανότητα μέσω thyristors, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την αντισταθμισμό αέργου ισχύος κυρίως στο δίκτυο ΜΤ και ΥΤ.

Σύγχρονα Διασυνδεδεμένα Συστήματα – Synchronous Interconnected Systems

Σύγχρονα διασυνδεδεμένα συστήματα είναι τα συστήματα των οποίων η συχνότητα (βλ. συνέχεια λεξιλογίου) είναι κοινή στη μόνιμη κατάσταση.

Σύγχρονος Πυκνωτής – Synchronous compensator

Σύγχρονος πυκνωτής είναι μια στρεφόμενη γεννήτρια η οποία παρέχει άεργο ισχύ στα δίκτυα μεταφοράς ΗΕ. Οι γεννήτριες αυτές εγκαθίστανται στο τέλος ΓΜ μεγάλων αποστάσεων, σε σημαντικούς Υ/Σ μεταφοράς και σε σταθμούς μετατροπής υψηλής εναλλασσόμενης τάσης. Μικροί στρεφόμενοι πυκνωτές χρησιμοποιούνται σε υψηλής ισχύος βιομηχανικά δίκτυα για την αύξηση της ισχύος βραχυκύκλωσης.

Συμφωνημένη Ισχύς – Matched Power

Συμφωνημένη ισχύς είναι η ανώτερη ισχύς την οποία έχει συμφωνηθεί και δικαιούται να απορροφά ο καταναλωτής από το δίκτυο της ΔΕΗ και αναγράφεται στο συμβόλαιο προμήθειας ηλεκτρικού ρεύματος. Μονάδα μέτρησης είναι το kVA.

Συντελεστής Ισχύος – Power Factor

Συντελεστής ισχύος είναι ο λόγος της ενεργού ισχύος προς τη φαινόμενη ισχύ (kW/kVA) .

Σύστημα – System

Σύστημα είναι οι γραμμές ΥΤ, οι εγκατεστημένες στην ελληνική επικράτεια διασυνδέσεις, χερσαίες ή θαλάσσιες και όλες οι συναφείς εγκαταστάσεις, ο εξοπλισμός και εγκαταστάσεις ελέγχου που απαιτούνται για την ομαλή, ασφαλή και αδιάλειπτη διακίνηση ΗΕ από έναν σταθμό παραγωγής σε ένα υποσταθμό, από ένα υποσταθμό σε έναν άλλον ή προς ή από οποιαδήποτε διασύνδεση. Στο σύστημα δεν συμπεριλαμβάνονται οι εγκαταστάσεις παραγωγής ΗΕ, καθώς και το δίκτυο των μη διασυνδεδεμένων νησιών.

Συχνότητα Συστήματος – System Frequency

Συχνότητα συστήματος είναι η ηλεκτρική συχνότητα του συστήματος. Απαιτείται να διατηρεί την ίδια τιμή (50 Hz για το ελληνικό δίκτυο) σε όλα τα σημεία του δικτύου.

Υποσταθμοί – Substations

Οι Υ/Σ είναι εγκαταστάσεις οι οποίες αυξομειώνουν την τάση του δικτύου με σκοπό την μεταφορά της ΗΕ. Αύξηση γίνεται για να μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις και να έχουμε μικρές απώλειες και μείωση για να επιτύχουμε την επιθυμητή τάση στα φορτία κατανάλωσης. Η ανύψωση και ο υποβιβασμός της τάσης πραγματοποιείται με χρήση μετασχηματιστών.

Υπερψηλή Τάση (ΥΥΤ) – Extra High Voltage (EHV)

Σύμφωνα με το IEC 60037 ως ΥΥΤ θεωρούνται οι τριφασικές τάσεις μεγαλύτερες των 245kV AC. Το ελληνικό δίκτυο μεταφοράς ΥΥΤ λειτουργεί στα 400kV.

Υψηλή Τάση (ΥΤ) – High Voltage (HV)

Σύμφωνα με το IEC 60037, ως ΥΤ (ΥΤ) θεωρούνται οι τριφασικές τάσεις εντός του εύρους των 35-230 kV AC. Το ελληνικό ΣΜ ΥΤ λειτουργεί στις τάσεις των 66kV και 150kV.

Υψηλή Τάση Συνεχούς Ρεύματος (ΥΤΣΡ) – High Voltage Direct Current (HVDC)

Σε ένα κλασσικό HVDC σύστημα, η ΗΕ λαμβάνεται από ένα AC δίκτυο, μετατρέπεται σε DC μέσω ενός σταθμού μετατροπής (διάταξη ανόρθωσης), μεταφέρεται μέσω DC εναέριων ΓΜ ή καλωδίων στο σημείο λήψης και μετατρέπεται ξανά σε AC με την βοήθεια ακόμη ενός σταθμού μετατροπής (διάταξη αντιστροφής), ο οποίος τροφοδοτεί το AC δίκτυο που συνδέεται σε αυτόν.

Φαινόμενη Ισχύ – Apparent Power

Φαινόμενη ισχύ είναι το γινόμενο της τάσης (Volt) και του ρεύματος (Ampere) . Αποτελείται από μια πραγματική συνιστώσα (ενεργός ισχύς) και μια φανταστική συνιστώσα (άεργος ισχύς) και εκφράζεται σε VA.

Χαμηλή Τάση (ΧΤ) – Low Voltage (LV)

Ως δίκτυο ΧΤ θεωρείται το δίκτυο που λειτουργεί στα 230/400V AC +10%. Γενικά οι τριφασικές τάσεις στο εύρος 100-1000V AC θεωρούνται ΧΤ σύμφωνα με το IEC 60038.

1 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Εισαγωγή

Η εμφάνιση του ηλεκτρισμού δρομολόγησε τη δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση. Οι συνθήκες της παραγωγής άλλαξαν ριζικά με την εισαγωγή της νέας μορφής ενέργειας, που αντικατέστησε τον ατμό, το πετρέλαιο και το φωταέριο. Η ΗΕ προσέφερε μεγάλη οικονομία, ασφάλεια, υψηλή ποιότητα και μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Οι ηλεκτροκινητήρες, μικροί και ευέλικτοι, έδωσαν τη δυνατότητα να αναπτυχθεί μια νέα παραγωγική δομή στα εργοστάσια. Όταν η ΗΕ άρχισε να παράγεται και να διανέμεται ευρύτερα, η βιομηχανία, αλλά και οι πόλεις, έλαβαν νέα μορφή.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ξεκίνησε την τελευταία 20ετία του 19ου αιώνα. Το 1881 λειτούργησε η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος ισχύος 746 KW μεταξύ Λονδίνου και Πόρτσμουθ. Τη γεννήτρια κινούσαν δύο υδρόμυλοι και η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος εξαρτιόταν απολύτως από τις βροχοπτώσεις. Το επόμενο έτος εγκαταστάθηκε η πρώτη μονάδα παραγωγής ΗΕ στη Στουτγάρδη της Γερμανίας. Πρέπει να αναφερθεί ότι εκείνη η μονάδα παραγωγής της Στουτγάρδης παρήγαγε ΗΕ για 30 λάμπες πυρακτώσεως. Η δημιουργία δικτύων ξεκίνησε στο Βερολίνο το 1885. Το δικαίωμα της εταιρείας παραγωγής αφορούσε την εγκατάσταση δικτύου σε απόσταση 800m από τη μονάδα παραγωγής. Η δεκαετία 1880-1890 υπήρξε μια δεκαετία ραγδαίας ανάπτυξης και εξέλιξης της νέας τεχνολογίας. Εφευρέτες και κατασκευαστές προσπάθησαν να επιλύσουν τα προβλήματα που συναντούσαν και να εξελίξουν τις μεθόδους και τις διαδικασίες.

Ο ηλεκτρισμός στην Ελλάδα έφθασε το 1889, όταν ιδιωτική εταιρεία κατασκεύασε την πρώτη μονάδα παραγωγής ΗΕ και φώτισε το ιστορικό κέντρο της πόλης. Την ίδια χρονιά άρχισε και η ανάπτυξη της ηλεκτροπαραγωγής στην Οθωμανική Αυτοκρατορία. Το δικαίωμα ηλεκτροδότησης της οθωμανικής, τότε, Θεσσαλονίκης ανέλαβε η «Βελγική Εταιρεία».

Μέχρι το 1929 είχαν ηλεκτροδοτηθεί 250 πόλεις με πληθυσμό άνω των πέντε χιλιάδων κατοίκων. Στις περισσότερες απομακρυσμένες και αραιοκατοικημένες περιοχές, όπου ήταν οικονομικά ασύμφορο για τις μεγάλες εταιρείες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής ΗΕ, την ηλεκτροδότηση ανέλαβαν ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια. Το 1950 υπήρχαν στην Ελλάδα περίπου 400 εταιρείες παραγωγής ΗΕ. Ως πρωτογενή καύσιμα χρησιμοποιούσαν το πετρέλαιο και το γαιάνθρακα, αμφότερα εισαγόμενα από το εξωτερικό.

Η κατάτμηση της παραγωγής σε πολλές μικρές μονάδες, σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα, ωθούσε την τιμή της ΗΕ στα ύψη, φθάνοντας στο τριπλάσιο μέχρι και πενταπλάσιο των τιμών που ίσχυαν σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Η ΗΕ αποτελούσε, λοιπόν, ένα αγαθό πολυτελείας, αν και τις περισσότερες φορές παρεχόταν με ωράριο και οι ξαφνικές διακοπές ήταν σύνηθες φαινόμενο.

Το 1950 ιδρύθηκε η ΔΕΗ και, ως εκ τούτου, οι δραστηριότητες παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ΗΕ συγκεντρώθηκαν σε ένα δημόσιο φορέα. Αμέσως, η ΔΕΗ στράφηκε προς την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας ενώ ξεκίνησε και η ενοποίηση των δικτύων μεταφοράς ΗΕ σε ένα εθνικό διασυνδεδεμένο Σύστημα.

Οι βασικές δομές αυτού του Συστήματος διατηρούνται μέχρι σήμερα παρά τις σημαντικές αλλαγές που έχουν συμβεί τα τελευταία χρόνια [1].

1.2 Παραγωγή, μεταφορά και διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σύστημα Ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) είναι το σύστημα των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ΗΕ σε περιοχές εξυπηρέτησης. Βασικές προϋποθέσεις καλής λειτουργίας ενός ΣΗΕ είναι να παρέχει ΗΕ οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τις ελάχιστες οικολογικές επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας σταθερή τάση, σταθερή συχνότητα και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης [2].

Δεδομένου ότι η εξυπηρέτηση των αναγκών σε ΗΕ μεγάλων ομάδων χρηστών προϋποθέτει τις διακριτές φάσεις της παραγωγής, της μεταφοράς και της διανομής, σε ένα σύστημα ΗΕ περιλαμβάνονται τα επιμέρους συστήματα:

- *Το σύστημα παραγωγής*

Περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και τους μετασχηματιστές ανύψωσης της τάσης για τη μεταφορά του ρεύματος υπό υπερυψηλή και ΥΤ. Η σύγχρονη βιομηχανία ΗΕ έχει βασισθεί στη μετατροπή σε ΗΕ της θερμικής ενέργειας των ορυκτών καυσίμων και της μηχανικής ενέργειας των υδάτινων ροών και των υδατοπτώσεων, μέσω θερμικών και υδροηλεκτρικών σταθμών, αντίστοιχα.

- *Το σύστημα μεταφοράς*

Διασυνδέει όλους τους μεγάλους σταθμούς παραγωγής καθώς και διαφορετικά συστήματα μεταξύ τους και μεταφέρει μεγάλα μεγέθη ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις προς τα κέντρα κατανάλωσης. Αποτελεί τη σπονδυλική στήλη του συστήματος ΗΕ και λειτουργεί στα μέγιστα δυνατά επίπεδα τάσης. Περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών ΥΥΤ και ΥΤ, τους υποσταθμούς ζεύξης των δικτύων αυτών και τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διαφόρων επιπέδων τάσης που χρησιμοποιούνται.

- *Το σύστημα υπομεταφοράς*

Μεταφέρει ισχύ σε μικρότερα μεγέθη και αποστάσεις υπό χαμηλότερη τάση από υποσταθμούς μεταφοράς σε υποσταθμούς διανομής μικρότερων κέντρων κατανάλωσης. Σημειώνεται ότι οι μεγάλοι βιομηχανικοί καταναλωτές τροφοδοτούνται συνήθως απευθείας από το σύστημα υπομεταφοράς. Όσο το σύστημα ΗΕ επεκτείνεται και δημιουργείται αναγκαιότητα για μεταφορά υπό υψηλότερα επίπεδα τάσης, οι παλαιότερες ΓΜ μεταβαίνουν σε λειτουργία υπό χαμηλότερα επίπεδα τάσης, καθιστώντας σχετικά δύσκολη τη διάκριση μεταξύ δικτύων υπομεταφοράς και μεταφοράς.

- *Το σύστημα διανομής*

Περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής ΗΕ ΜΤ και ΧΤ, στα οποία υπάγονται και οι Υ/Σ διανομής μέσω των οποίων η ΜΤ υποβιβάζεται σε ΧΤ. Μέσω των δικτύων διανομής η ΗΕ διανέμεται σε μικρότερες περιοχές στους καταναλωτές ΜΤ και ΧΤ.

Ένα σύστημα παραγωγής και μεταφοράς μπορεί να λειτουργεί απομονωμένο ή διασυνδεδεμένο με ένα ή περισσότερα γειτονικά συστήματα. Η διασύνδεση γίνεται συνήθως σε επίπεδο εθνικών συστημάτων και προσφέρει τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα.

Τα τρία βασικά και γενικής εφαρμογής μεγέθη επί των οποίων βασίζεται η σχεδίαση και η επίδοση ενός ηλεκτρικού δικτύου είναι [3]:

- *Η τάση του δικτύου*

Η μέγιστη τάση λειτουργίας των ηλεκτρικών γραμμών.

- *Η ισχύς βραχυκύκλωσης του δικτύου*

Είναι η συμβατική ισχύς που αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ που αποδίδεται στο δίκτυο σε περίπτωση τριφασικού βραχυκυκλώματος σε κάποιο σημείο του.

- *Η στάθμη μόνωσης του δικτύου*

Αναφέρεται συνήθως στην τιμή της κρουστικής αντοχής του δικτύου, δηλαδή της διηλεκτρικής αντοχής της μόνωσης του εξοπλισμού των υποσταθμών σε κρουστικές υπερτάσεις τυποποιημένης μορφής.

1.3 Το Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.3.1 Σύστημα Μεταφοράς

Ο όρος Σύστημα Μεταφοράς (“Σύστημα”) περιγράφει το Διασυνδεδεμένο Σύστημα του ηπειρωτικού τμήματος της Ελλάδας και των διασυνδεδεμένων με αυτό νησιών στα επίπεδα ΥΤ (150kV και 66kV) και ΥΥΤ τάσης (400kV). Τη σπονδυλική στήλη του Διασυνδεδεμένου ΣΜ αποτελούν οι τρεις γραμμές διπλού κυκλώματος των 400 kV, οι οποίες μεταφέρουν ΗΕ, κυρίως από το σπουδαιότερο ενεργειακό κέντρο παραγωγής, αυτό της Δυτικής Μακεδονίας. Στη περιοχή αυτή, παράγεται περίπου το 70% της συνολικής παραγωγής της χώρας, η οποία στη συνέχεια μεταφέρεται στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης της Κεντρικής και Νότιας Ελλάδας, όπου καταναλώνεται περίπου το 65% της ΗΕ. Το πρόβλημα της μεγάλης γεωγραφικής ανισοκατανομής μεταξύ παραγωγής (Βορράς) και φορτίων (Νότος), που ήταν ιδιαίτερα σημαντικό κατά το παρελθόν ιδίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, έχει μετριασθεί, λόγω της ένταξης νέων μονάδων παραγωγής στο Νότιο Σύστημα, της ένταξης πυκνωτών αντιστάθμισης και της μείωσης των φορτίων. Εντούτοις, οι περιοχές της Αττικής και της Πελοποννήσου παραμένουν οι πλέον κρίσιμες περιοχές του Συστήματος από πλευράς ευστάθειας τάσης [4].

1.3.1.1 Συνιστώσες Συστήματος

Στη συνέχεια, γίνεται συνοπτική παρουσίαση των κυριότερων συνιστωσών του υφιστάμενου Συστήματος κατά κατηγορία (Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ, ΚΥΤ, ΓΜ) [5].

- *Υποσταθμοί 150 kV/ΜΤ*

Μέχρι το τέλος του 2012 στο Σύστημα ήταν συνδεδεμένοι :

- ✓ 205 Υ/Σ υποβιβασμού 150kV/ΜΤ της ΔΕΗ ΑΕ, εκ των οποίων :

- 186 εξυπηρετούν τις ανάγκες των πελατών του ΔΔ. Οι Υ/Σ αυτοί περιλαμβάνουν τμήματα η διαχείριση των οποίων είναι στην αρμοδιότητα του ΑΔΜΗΕ. Στους ανωτέρω Υ/Σ περιλαμβάνονται 20 Υ/Σ, στους οποίους είναι επίσης συνδεδεμένοι και Μ/Σ ανύψωσης 16 συμβατικών σταθμών παραγωγής και 4 σταθμών ΑΠΕ, καθώς και 14 Υ/Σ συνδεδεμένοι στην πλευρά 150 kV των ΚΥΤ.
- 14 Υ/Σ εξυπηρετούν τις ανάγκες του ΔΔ στην Αττική και ανήκουν εξ ολοκλήρου στην αρμοδιότητα του ΔΕΔΔΗΕ.
- 4 Υ/Σ χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση των φορτίων Ορυχείων. Ανάγκες ορυχείων εξυπηρετεί και ο Υ/Σ Πτολεμαΐδας Ι, ο οποίος συμπεριλαμβάνεται στους 186 που εξυπηρετούν και ανάγκες Διανομής.
- Ένας Υ/Σ (Αντλιοστάσιο Πολυφύτου) εξυπηρετεί ανάγκες άντλησης για τον ΥΗΣ Πολυφύτου.

- ✓ 36 Υ/Σ για την ενσωμάτωση της ισχύος μονάδων ΑΠΕ, εκ των οποίων οι Υ/Σ Καρύστου, Λιβαδίου και Αργυρού εξυπηρετούν παράλληλα και φορτία Διανομής (συμπεριλαμβάνονται στους προαναφερθέντες 205 Υ/Σ υποβιβασμού).

- ✓ Υ/Σ ανύψωσης ΜΤ/150kV σε Σταθμούς Παραγωγής της ΔΕΗ ΑΕ:

- 7 Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί.
- 15 Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί.
- Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί.

- Υ/Σ ανύψωσης σε Σταθμούς Παραγωγής ανεξάρτητων Παραγωγών. Οι μονάδες παραγωγής των συγκεκριμένων σταθμών συνδέονται στα 150 kV μέσω Μ/Σ ανύψωσης ΜΤ/150kV.
- 38 Υ/Σ υποβιβασμού 150kV/ΜΤ που εξυπηρετούν τις εγκαταστάσεις Πελατών ΥΤ (συμπεριλαμβάνεται και ο Υ/Σ της «Αλουμίνιον ΑΕ»).

Στο Σύστημα δεν περιλαμβάνονται τα ανεξάρτητα Συστήματα Μεταφοράς των νησιών (Κρήτη, Ρόδος, Λέσβος, Σάμος), η σχεδίαση και η ανάπτυξη των οποίων είναι στην αρμοδιότητα του Διαχειριστή Δικτύου.

- *Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης (ΚΥΤ)*

Τα ΚΥΤ αποτελούν τα σημεία σύνδεσης των Συστημάτων 400kV και 150kV και εξυπηρετούν ανάγκες απομάστευσης ισχύος από το Σύστημα 400 kV προς το Σύστημα 150 kV. Πρόκειται για 13 ΚΥΤ που περιλαμβάνουν ένα ή περισσότερους αυτομετασχηματιστές (ΑΜ/Σ) τριών τυλιγμάτων 400kV/150kV/30kV. Επιπλέον, υπάρχουν και άλλα 9 ΚΥΤ που δεν συμπεριλαμβάνονται στα

προαναφερθέντα 13, εγκατεστημένα κοντά σε ομώνυμους σταθμούς παραγωγής και εξυπηρετούν παράλληλα ή αποκλειστικά ανάγκες ανύψωσης τάσης από τις μονάδες παραγωγής προς το Σύστημα 400kV.

- *Γραμμές Μεταφοράς (ΓΜ)*

Στο Σύστημα υπάρχουν ΓΜ υψηλής (66 και 150 kV) και υπερυψηλής (400 kV) τάσης διαφόρων ειδών και τύπων. Επιπλέον, είναι εγκατεστημένα υπόγεια καλώδια 150 kV για τη μεταφορά ισχύος εντός των πυκνοκατοικημένων περιοχών της Πρωτεύουσας, τα οποία ανήκουν στο Δίκτυο 150 kV. Τα σχετικά χιλιομετρικά στοιχεία παρέχονται στον Πίνακα 1.1:

| | 400kV | Σ.Ρ. (D.C.) 400kV | 150 kV | 66 kV | ΣΥΝΟΛΟ |
|-------------------|--------------|--------------------------|---------------|--------------|---------------|
| ΕΝΑΕΡΙΕΣ | 2.628 | 107 | 8.127 | 39 | 10.901 |
| ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ | | 160 | 140 | 15 | 315 |
| ΥΠΟΓΕΙΕΣ | 4 | | 82 | 1 | 87 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 2.632 | 267 | 8.349 | 55 | 11.303 |

Πίνακας 1.1 Χιλιομετρικά στοιχεία των ΓΜ ΥΤ ανά κατηγορία [5]



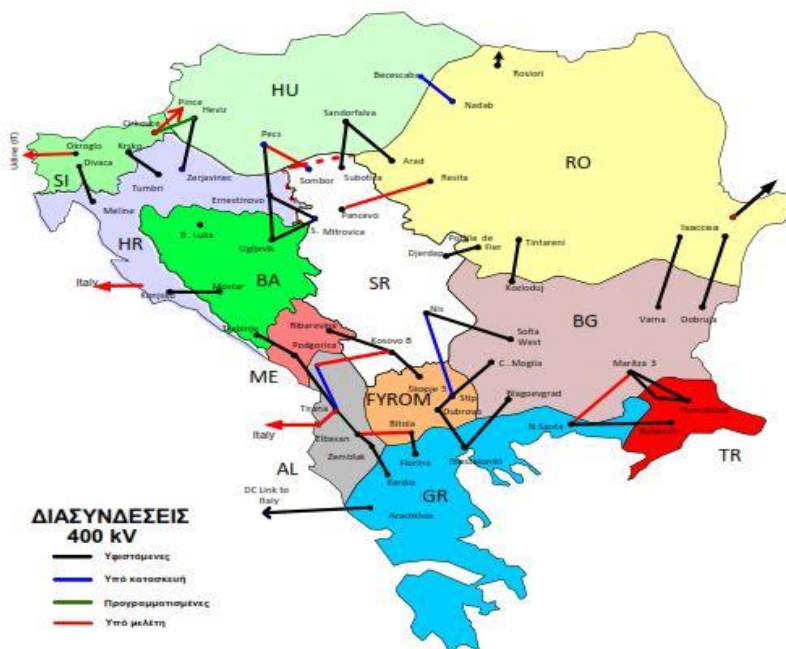
Σχήμα 1.1 Γραμμές ΥΤ και Υποσταθμός Μεταφοράς ΥΤ

- *Συσκευές Αντιστάθμισης Αέργου Ισχύος*

Οι ανάγκες για αντιστάθμιση αέργου ισχύος καλύπτονται με την εγκατάσταση στατών πυκνωτών και πηνίων αντισταθμιστών. Συγκεκριμένα, για την τοπική σταθεροποίηση των τάσεων της Υ/Σ 150kV/MT, χρησιμοποιούνται στατοί πυκνωτές που εγκαθίστανται κυρίως σε ζυγούς MT των Υποσταθμών (συνολικής ισχύος περίπου 4150 MVA_r). Επιπλέον, έχουν εγκατασταθεί συστοιχίες πυκνωτών 150kV, συνολικής ισχύος 450 MVA_r, σε Υ/Σ και ΚΥΤ του Συστήματος. Ακόμα, έχουν εγκατασταθεί πηνία στην πλευρά των 150kV σε Υποσταθμούς 150kV/MT (σε εκείνους όπου συνδέονται υποβρύχια καλώδια), καθώς και στο τριτεύον τύλιγμα (πλευρά 30 kV) των ΑΜ/Σ των ΚΥΤ για την αντιμετώπιση προβλημάτων εμφάνισης υψηλών τάσεων κατά τις ώρες χαμηλού φορτίου.

1.3.1.2 Διεθνείς Διασυνδέσεις

Από τον Οκτώβριο του 2004 το Ελληνικό Σύστημα λειτουργεί σύγχρονα και παράλληλα με το διασυνδεδεμένο Ευρωπαϊκό Σύστημα υπό το γενικότερο συντονισμό του ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity), ο οποίος αποτελεί διάδοχο και ευρύτερο σχήμα της UCTE (Union pour la Coordination du Transport de l' Electricité). Η παράλληλη λειτουργία του Ελληνικού Συστήματος με το Ευρωπαϊκό επιτυγχάνεται μέσω διασυνδεδειμένων ΓΜ, κυρίως 400 kV, με τα Συστήματα της Αλβανίας, της Βουλγαρίας και της ΠΓΔΜ (FYROM). Επιπλέον, το Ελληνικό Σύστημα συνδέεται ασύγχρονα (μέσω υποβρύχιας σύνδεσης συνεχούς ρεύματος) με την Ιταλία. Από την 18 Σεπτεμβρίου 2010, το Ελληνικό Σύστημα έχει συνδεθεί και με το Σύστημα της Τουρκίας, το οποίο με τη σειρά του έχει συνδεθεί με το Σύστημα της Βουλγαρίας. Το Σύστημα της Τουρκίας είναι έκτοτε σε δοκιμαστική παράλληλη λειτουργία με το Ευρωπαϊκό. Οι δοκιμές εκτελούνται υπό την αιγίδα του ENTSO-E [5].



Σχήμα 1.2 Σχηματικό διάγραμμα των διασυνδεδεμένων Συστημάτων της Βαλκανικής [5]

- Ελλάδα - ΠΓΔΜ

Η Ελλάδα συνδέεται με το Σύστημα της ΠΓΔΜ μέσω:

- ✓ μιας ΓΜ 400 kV απλού κυκλώματος με δίδυμο αγωγό, μεταξύ ΚΥΤ Θεσσαλονίκης και Dubrono στην ΠΓΔΜ και
- ✓ μιας ΓΜ 400 kV απλού κυκλώματος με δίδυμο αγωγό, μεταξύ ΚΥΤ Μελίτης και Bitola στην ΠΓΔΜ.

- Ελλάδα - Αλβανία

Με το Αλβανικό Σύστημα η Ελλάδα συνδέεται μέσω:

- ✓ μιας ΓΜ 400 kV απλού κυκλώματος με δίδυμο αγωγό, μεταξύ ΚΥΤ Καρδιάς και Zemblak (Αλβανία).
- ✓ μιας ΓΜ 150 kV ελαφρού τύπου μεταξύ Υ/Σ Μούρτου και ΥΗΣ Bistrica στην Αλβανία, ονομαστικής ικανότητας μεταφοράς 100 MW περίπου.

- Ελλάδα - Βουλγαρία

Με το Βουλγαρικό Σύστημα η Ελλάδα συνδέεται μέσω ΓΜ 400 kV (αναρτημένη σε πυλώνες τύπου Β'Β', δηλαδή πυλώνες απλού κυκλώματος υπερβαρέως τύπου, με δίδυμους αγωγούς ανά φάση, διατομής 936 κυκλικών χιλιοστών), μεταξύ ΚΥΤ Θεσσαλονίκης και Blagoevgrad στην Βουλγαρία.

- Ελλάδα – Ιταλία

Η διασύνδεση αυτή συνδέει το ΚΥΤ Αράχθου με τον Υ/Σ Galatina στην Ιταλία. Είναι σύνδεση συνεχούς ρεύματος και περιλαμβάνει:

- ✓ σταθμούς μετατροπής ΥΤΣΡ (HVDC) 400 kV ικανότητας 500 MW
- ✓ τμήματα εναερίων ΓΜ DC μήκους 45 km επί Ιταλικού εδάφους και 107 km επί ελληνικού εδάφους
- ✓ τμήμα υπογείου καλωδίου DC μήκους 4 km επί Ιταλικού εδάφους
- ✓ ένα υποβρύχιο καλώδιο DC 400 kV ισχύος 500 MW και μήκους 160 km

- Ελλάδα – Τουρκία [6]

Από το καλοκαίρι του 2008 έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή της ΓΜ 400 kV ΚΥΤ Φιλίππων – ΚΥΤ Ν. Σάντας – Babaeski (Τουρκία). Η ΓΜ αυτή είναι διπλού κυκλώματος (αναρτημένη σε πυλώνες τύπου 2Β'Β', δηλαδή πυλώνες διπλού κυκλώματος υπερβαρέως τύπου, με δίδυμους αγωγούς ανά φάση, διατομής 936 κυκλικών χιλιοστών) στο τμήμα ΚΥΤ Φιλίππων – Ν. Σάντα και απλού κυκλώματος (αναρτημένη σε πυλώνες τύπου Β'Β'Β'', δηλαδή απλού κυκλώματος υπερβαρέως τύπου, με τρίδυμους αγωγούς ανά φάση, διατομής 936 κυκλικών χιλιοστών) στο τμήμα Ν. Σάντα - Babaeski. Στις 18 Σεπτεμβρίου 2010 πραγματοποιήθηκε η έναρξη δοκιμαστικής σύγχρονης και παράλληλης λειτουργίας του Συστήματος της Τουρκίας με το σύγχρονο Ευρωπαϊκό διασυνδεδεμένο Σύστημα μέσω της προαναφερθείσας ΓΜ (Ν. Σάντα – Babaeski), καθώς και με δύο υφιστάμενες ΓΜ 400 kV από τη Βουλγαρία. Έκτοτε η διασύνδεση του Συστήματος της Τουρκίας με το Ευρωπαϊκό Σύστημα παραμένει σε δοκιμαστική λειτουργία, με σκοπό να επιβεβαιωθεί ότι η λειτουργία του Συστήματος

της Τουρκίας δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στη λειτουργία, τόσο των Συστημάτων των γειτονικών χωρών, όσο και του Ευρωπαϊκού διασυνδεδεμένου Συστήματος γενικότερα.

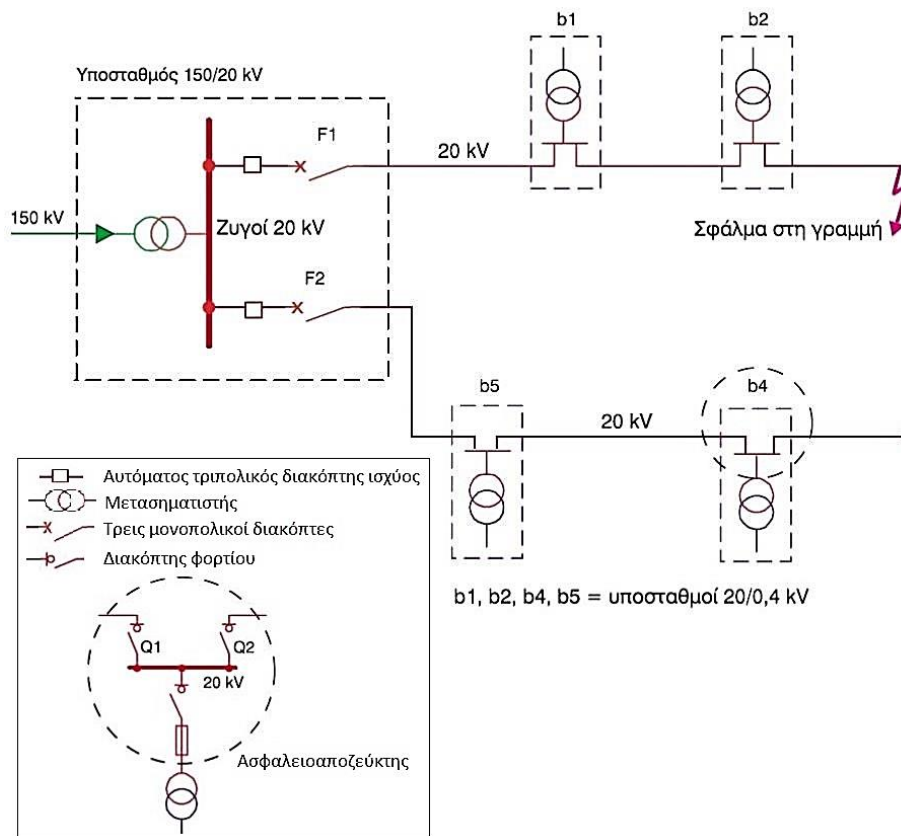
1.3.2 Δίκτυο Διανομής

Το ΔΔ ΗΕ περιλαμβάνει το δίκτυο ΜΤ και ΧΤ από τα κέντρα ΚΥΤ μέχρι τον τελικό καταναλωτή. Το δίκτυο περιλαμβάνει τους Υ/Σ ΜΤ των 20 kV/0,4 kV, τις εναέριες γραμμές, τα καλώδια ΜΤ και ΧΤ και το σχετικό εξοπλισμό προστασίας και ελέγχου. Στο ΔΔ συνδέονται οι καταναλωτές ΜΤ (στα 20 kV) και οι καταναλωτές ΧΤ (400V-230V).

Γενικά, τα συστήματα διανομής ΜΤ διακρίνονται στις εξής δύο βασικές κατηγορίες, με κριτήριο διαχωρισμού τη δομή τους ή τον τρόπο αξιοποίησής τους.

1.3.2.1 Ακτινικό Δίκτυο Διανομής (*Radial Main Distribution System*)

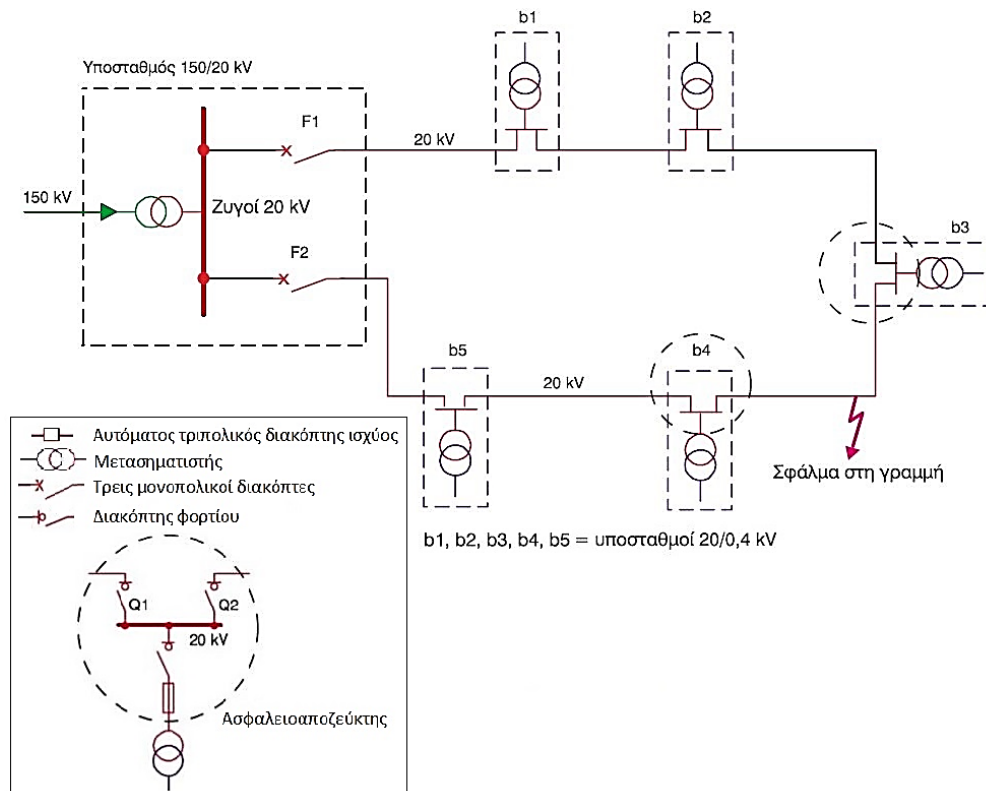
Στα ακτινικά ΔΔ οι γραμμές των 20kV (συνήθως εναέριες) αναχωρούν από τον κεντρικό Υ/Σ 150/20 kV και αναπτύσσονται ακτινικά (Σχήμα 1.3). Κατά μήκος κάθε γραμμής συνδέονται Μ/Σ 20/0.4 kV των δικτύων ΧΤ ή καταναλωτές ΜΤ. Βασικό μειονέκτημα των ακτινικών ΔΔ είναι ότι σε περίπτωση σφάλματος κατά μήκος της γραμμής, ο διακόπτης ισχύος F1 (Σχήμα 1.3) που υπάρχει στην αρχή της γραμμής ανοίγει με αποτέλεσμα όλοι οι Μ/Σ που βρίσκονται κατά μήκος της γραμμής να μείνουν χωρίς τάση. Σε περίπτωση εγκαταστάσεων με ηλεκτρικά φορτία που δεν πρέπει να μείνουν πολύ χρόνο εκτός λειτουργίας (π.χ. νοσοκομεία, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, ψυγεία κ.λπ.) η απώλεια της ΜΤ αντιμετωπίζεται με την ύπαρξη ενός τοπικού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους (π.χ. ντιζελογεννήτρια 400V), μέχρι την αποκατάσταση του σφάλματος. Τα ακτινικά ΔΔ δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα στη ΜΤ. Αντίθετα, στη ΧΤ το σύνολο των δικτύων είναι ακτινικού τύπου.



Σχήμα 1.3 Ακτινικό ΔΔ

1.3.2.2 Βροχοειδές Δίκτυο Διανομής (Ring Main Distribution System)

Στα βροχοειδή ΔΔ οι γραμμές των 20 kV (εναέριες ή υπόγεια καλώδια) που αναχωρούν από τον κεντρικό Υ/Σ 150/20 kV, σχηματίζουν ένα κλειστό βρόχο που ξανακαταλήγει σε ζυγούς των 20 kV του ίδιου ή διαφορετικού Υ/Σ 150/20 kV. Κατά μήκος του βρόχου συνδέονται οι καταναλωτές b1, b2, b3, b4, b5. Ο βρόχος προστατεύεται στις δύο άκρες του με διακόπτες ισχύος F1, F2. Σε περίπτωση σφάλματος σε κάποιο σημείο του βρόχου, π.χ. στο τμήμα b3, b4, λειτουργούν οι προστασίες των διακοπών F1, F2, οι διακόπτες ανοίγουν και ο βρόχος μένει χωρίς τάση. Αφού εντοπιστεί η θέση του σφάλματος, ανοίγουν κατόπιν εντολής οι διακόπτες φορτίων Q1 στο b3 και Q2 στο b4 και απομονώνεται το τμήμα b3, b4. Έπειτα ξανακλείνουν οι διακόπτες F1, F2 και επανέρχεται η MT στο δίκτυο. Το βροχοειδές δίκτυο λειτουργεί ως δυο ακτινικά δίκτυα μέχρι την αποκατάσταση του σφάλματος.



Σχήμα 1.4 Βροχοειδές ΔΔ

Τα ποσοτικά μεγέθη του ελληνικού ΔΔ στο τέλος του 2013 είναι τα εξής :

- 109.700 χλμ. Δίκτυο ΜΤ (ΜΤ).
 - 123.300 χλμ. Δίκτυο ΧΤ (ΧΤ).
- Συνολικά 233.000 χλμ. Δικτύου.
- 160.000 Υ/Σ ΜΤ προς ΧΤ (Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ).
 - 7.392.722 Πελάτες (10.147 ΜΤ & 7.493.118 ΧΤ [7]).

1.4 Ενεργειακό Σύστημα και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

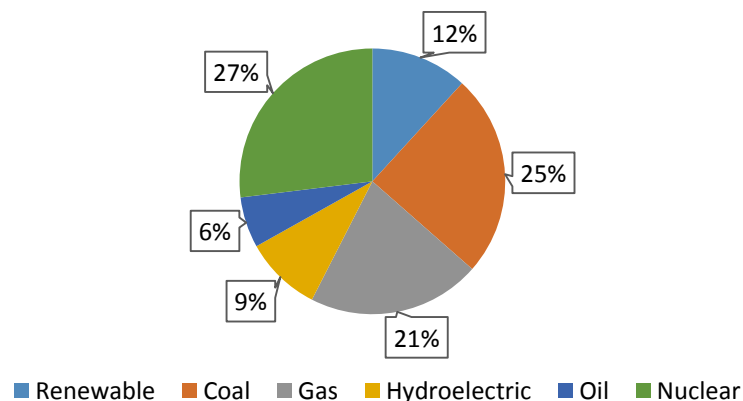
1.4.1 Ηλεκτροπαραγωγή

Η παραγωγή ΗΕ επιτυγχάνεται με αξιοποίηση διαφόρων πρωτογενών πηγών ενέργειας εμφανίζοντας μεγάλες διαφοροποιήσεις από χώρα σε χώρα, αντίστοιχα με τους διαθέσιμους εγχώριους Ενεργειακούς Πόρους και την Ενεργειακή Πολιτική μιας χώρας, τις γεωλογικές, γεωφυσικές και κλιματικές ιδιαιτερότητες αυτής. Η παραγωγή ΗΕ βασίζεται [2]:

- Σε συμβατικές πηγές όπως ορυκτά στερεά (λιθάνθρακας και λιγνίτης), υγρά (πετρέλαιο) ή αέρια καύσιμα (φυσικό αέριο), τα οποία έχουν σχηματισθεί σε παλαιότερες γεωλογικές περιόδους και βρίσκονται στο υπέδαφος, σε μικρά ή μεγάλα βάθη σε πεπερασμένες, μη ανανεώσιμες ποσότητες.
- στην πυρηνική ενέργεια
- σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) που αξιοποιούν τις ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και όχι τα περιορισμένα ενεργειακά ορυκτά αποθέματα. Η ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ηλιακή ακτινοβολία και διάφορα φυσικά φαινόμενα όπως ο αέρας και η παλίρροια και, κατά συνέπεια, εξαρτάται από την περιοδικότητα ή τη στοχαστικότητα αυτών των φαινομένων.

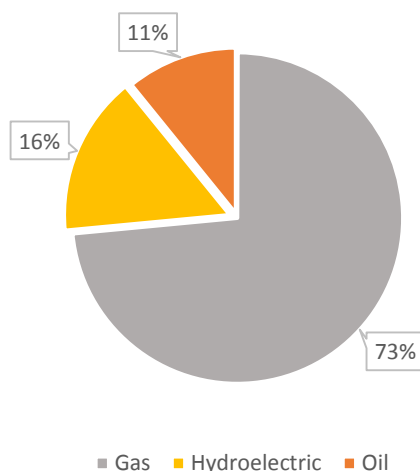
Τα στατιστικά στοιχεία για την παραγωγή ΗΕ το έτος 2011 δείχνουν ότι το ποσοστό συμμετοχής του πετρελαίου στην παραγωγή ΗΕ είναι ιδιαίτερα υψηλό σε ελάχιστες αραβικές, κυρίως πετρελαιοπαραγωγές χώρες όπως το Κουβέιτ (41%). Υψηλό ποσοστό συμμετοχής του φυσικού αερίου στην παραγωγή ΗΕ εμφανίζουν μεταξύ άλλων χωρών η Ιρλανδία (61%), η Ολλανδία (60%) και εκτός Ευρώπης η Αλγερία (97%) , το Ιράν (83%) και η Σαουδική Αραβία (77%). Η χρήση λιθάνθρακα και λιγνίτη κυριαρχεί στην Πολωνία (88%) και στην Εσθονία (79%), ενώ διατηρεί υψηλό ποσοστό στη Γερμανία (44%), στη Δανία (37%), στη Μ. Βρετανία (25%), αλλά και σε χώρες εκτός Ευρώπης όπως η Νότια Αφρική (95%) και οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (44%). Το ποσοστό της πυρηνικής ενέργειας στην παραγωγή ΗΕ είναι υψηλό στη Γαλλία (79%), στο Βέλγιο (54%), στην Ουγγαρία (42%), στην Ελβετία (42%), στη Σουηδία (39%), και στη Νότια Κορέα (29%). Το ποσοστό των υδροηλεκτρικών εμφανίζει υψηλές τιμές στη Νορβηγία (95%) , στην Αυστρία (55%) , στην Ελβετία (52%) στον Καναδά (59%), καθώς και σε ορισμένες αναπτυσσόμενες χώρες, με χαρακτηριστικότερα παραδείγματα την Γκάνα (100%) , τη Βραζιλία (81%) , τη Βενεζουέλα (73%) και την Κένυα (63%). Τέλος, όσον αφορά τις ΑΠΕ η Πορτογαλία κατέχει σημαντική θέση με 23% και ακολουθούν Ισπανία (21%) , η Γερμανία (19%), η Ιταλία (11%) και το Ηνωμένο Βασίλειο (8%). Ακολουθούν ενδεικτικά κάποια γραφήματα με τη συνολική παραγωγή ΗΕ ανά καύσιμο για τα μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τα μέλη της OPEC [8].

Electricity Generation By Energy Source EU 27



Σχήμα 1.5 Ποσοστιαία ηλεκτροπαραγωγή ανά καύσιμο στις χώρες της Ε.Ε. για το έτος 2011 [8].

Electricity Generation By Energy Source OPEC



Σχήμα 1.6 Ποσοστιαία ηλεκτροπαραγωγή ανά καύσιμο για τις χώρες του OPEC [8].

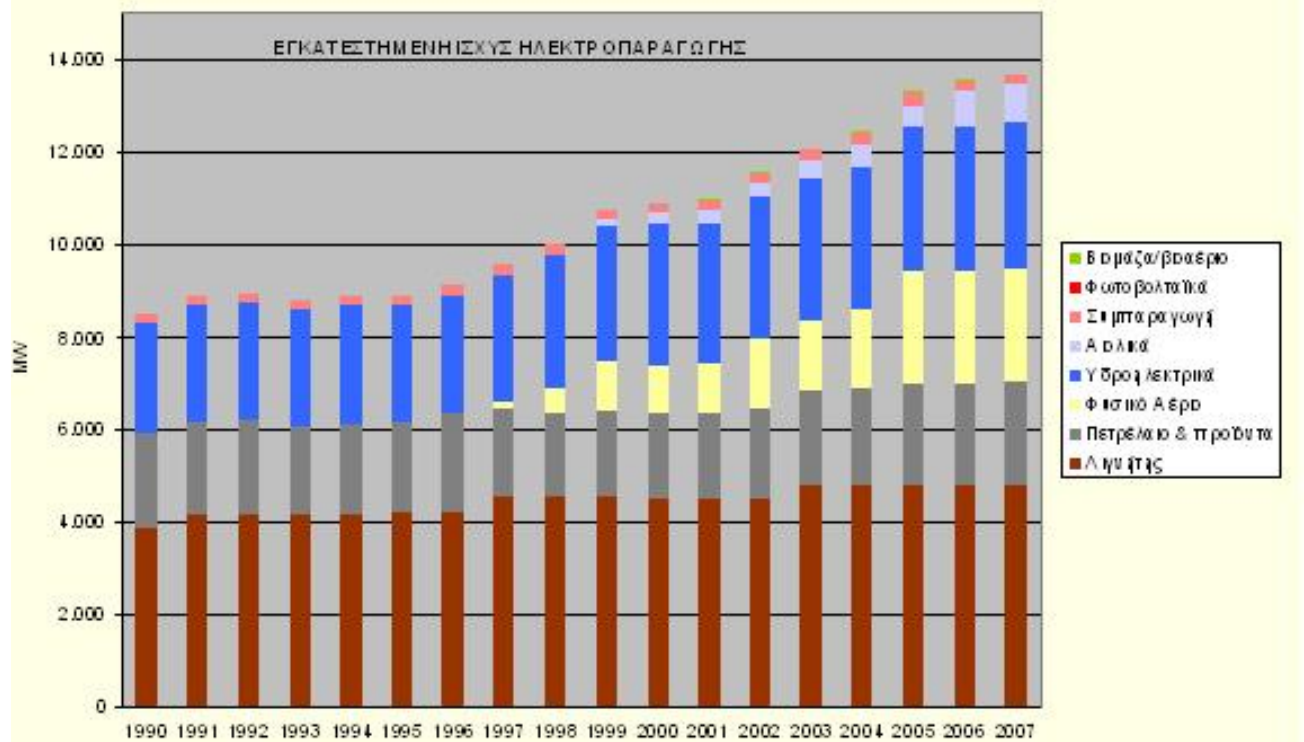
1.4.2 Ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα

1.4.2.1 Εγκατεστημένη Ισχύς στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα

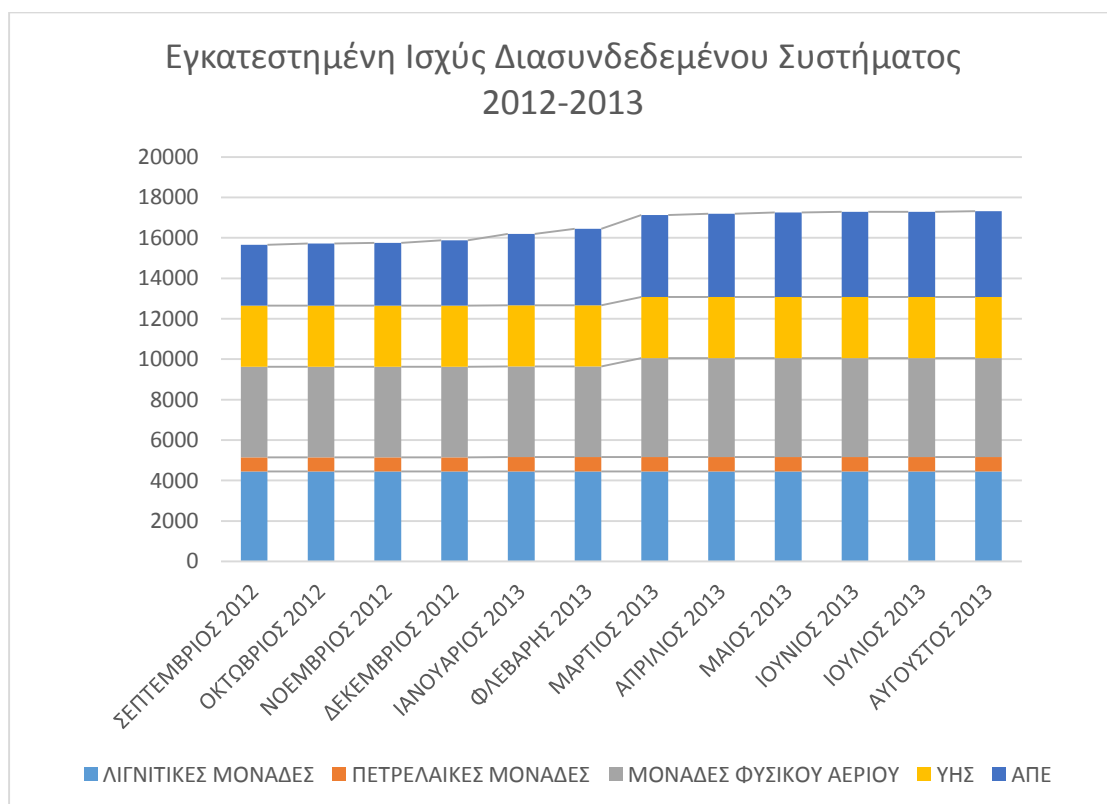
Παρατηρώντας το γράφημα της εξέλιξης της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος έως το 2007 στην Ελλάδα [9], προκύπτουν τα εξής :

- Το μεγαλύτερο ποσοστό της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος είναι βασισμένο στο λιγνίτη, διότι βρίσκεται σε αφθονία σε πολλά κοιτάσματα στην ηπειρωτική Ελλάδα.
- Το σταθερό και σχετικά υψηλό ποσοστό της εγκατεστημένης ισχύος που βασίζεται στο πετρέλαιο και τα προϊόντα του, κυρίως λόγω του μεγάλου πλήθους των ελληνικών νησιών και των δυσκολιών διασύνδεσής τους με το Διασυνδεδεμένο Σύστημα.
- Το σταθερό ποσοστό υδροηλεκτρικών εγκατεστημένων μονάδων, οι οποίες απαιτούν τεράστιες περιβαλλοντικές παρεμβάσεις για την κατασκευή φραγμάτων και υδάτινων ταμιευτήρων.
- Η εμφάνιση και η σταδιακή αύξηση των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Φυσικού Αερίου μετά την κατασκευή του αγωγού μεταφοράς του Φυσικού Αερίου στην Ελλάδα.
- Η συνεχής αύξηση των εγκατεστημένων μονάδων μετατροπής αιολικής και ηλιακής ενέργειας σε ΗΕ που σηματοδοτεί τη νέα εποχή για τη διεύρυνση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή. Απόδειξη της προαναφερθείσας αύξησης αποτελεί το γράφημα της εγκατεστημένης ισχύος των ΑΠΕ για το διάστημα 2012-2013, στο οποίο, αν και η περίοδος είναι μόλις ένα έτος, η εγκατεστημένη ισχύς των ΑΠΕ παρουσιάζει αύξηση της τάξης του 40%, φθάνοντας τα 4237MW. Αναλυτικά, για τον Αύγουστο του 2013 η ισχύς των εγκατεστημένων αιολικών πάρκων έφθασε τα 1520MW, των Φ/Β τα 2363MW και των μικρών υδροηλεκτρικών

σταθμών τα 218MW. Τέλος, οι εγκαταστάσεις παραγωγής ΗΕ με καύσιμο τη βιομάζα και το βιοαέριο άγγιξαν τα 46MW και οι μονάδες ΣΗΘΥΑ τα 90MW.



Σχήμα 1.7 Η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύς στην Ελλάδα από το 1990 έως το 2007 [9].



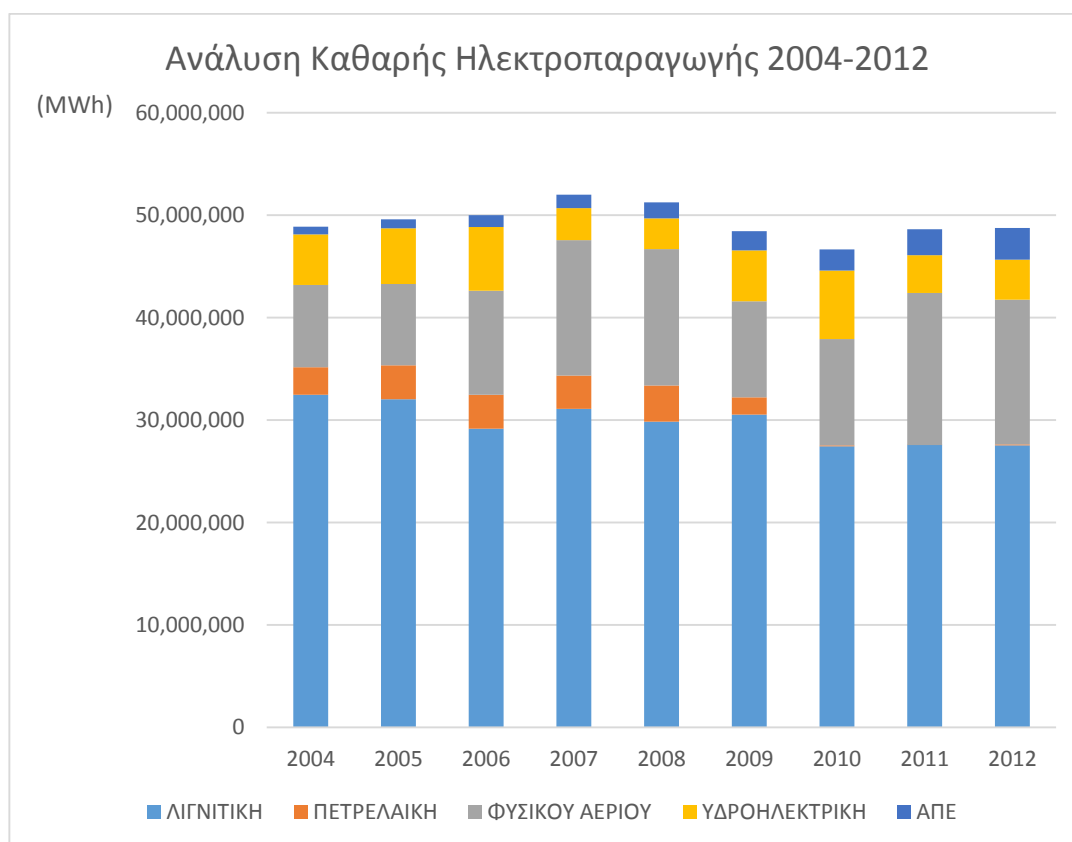
Σχήμα 1.8 Η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύς του Διασυνδεδεμένου Συστήματος στην Ελλάδα για την περίοδο 2012 έως 2013 [10].

1.4.2.2 Εγκατεστημένη ισχύς στο Μη Διασυνδεδεμένο Σύστημα (Νησιωτικό)

Στο μη Διασυνδεδεμένο Σύστημα, τον Ιούλιο του 2013 η εγκατεστημένη ισχύς έφθασε στα 2229MW, 80% της οποίας είναι η συνολική ισχύς των θερμικών μονάδων (1783 MW), ενώ η συνολική ισχύς που παράγεται από ΑΠΕ είναι 446 MW (20%). Από την τελευταία κατηγορία, τα 289.6 MW (13%) είναι αιολικοί σταθμοί, τα 156.1 MW (7%) είναι μονάδες Φ/Β, ενώ οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί συνεισφέρουν ισχύ 0.3 MW [11].

1.4.2.3 Καθαρή Ηλεκτροπαραγωγή Διασυνδεδεμένου Συστήματος

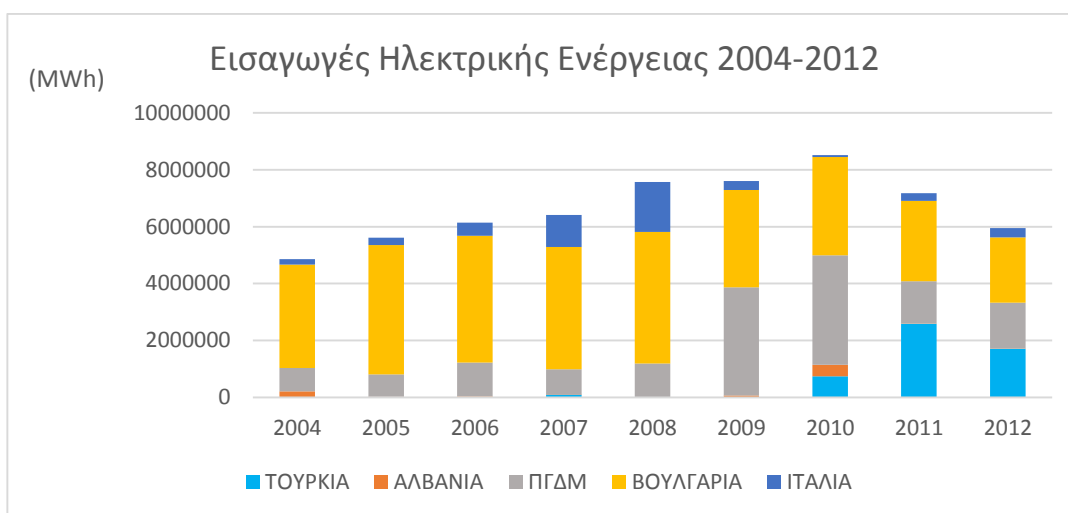
Σύμφωνα με τα μηνιαία δελτία ενέργειας του ΑΔΜΗΕ, η συνολική καθαρή εγχώρια παραγωγή ΗΕ στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα ανήλθε για το έτος 2012 σε 48.77 TWh. Η κυριότερη πηγή καυσίμου ήταν ο εγχώριος λιγνίτης που κάλυψε το 57% του συνόλου των αναγκών. Ακολουθεί το φυσικό αέριο προερχόμενο από εισαγωγές από τη Ρωσία (Gazprom- Export), την Τουρκία (Botas) και σε μορφή LNG από την Αλγερία (Sonatrach) με ποσοστό 29%. Η υδροηλεκτρική παραγωγή συμμετείχε με 8%. Τα Φ/Β, η αιολική ενέργεια και η βιομάζα συμμετείχαν με 6%. Τέλος, το πετρέλαιο συνεισέφερε με ποσοστό 0.16%. Ακολουθεί το διάγραμμα της καθαρής παραγωγής του Διασυνδεδεμένου Συστήματος για το διάστημα 2004 έως και 2012 [12] [13].



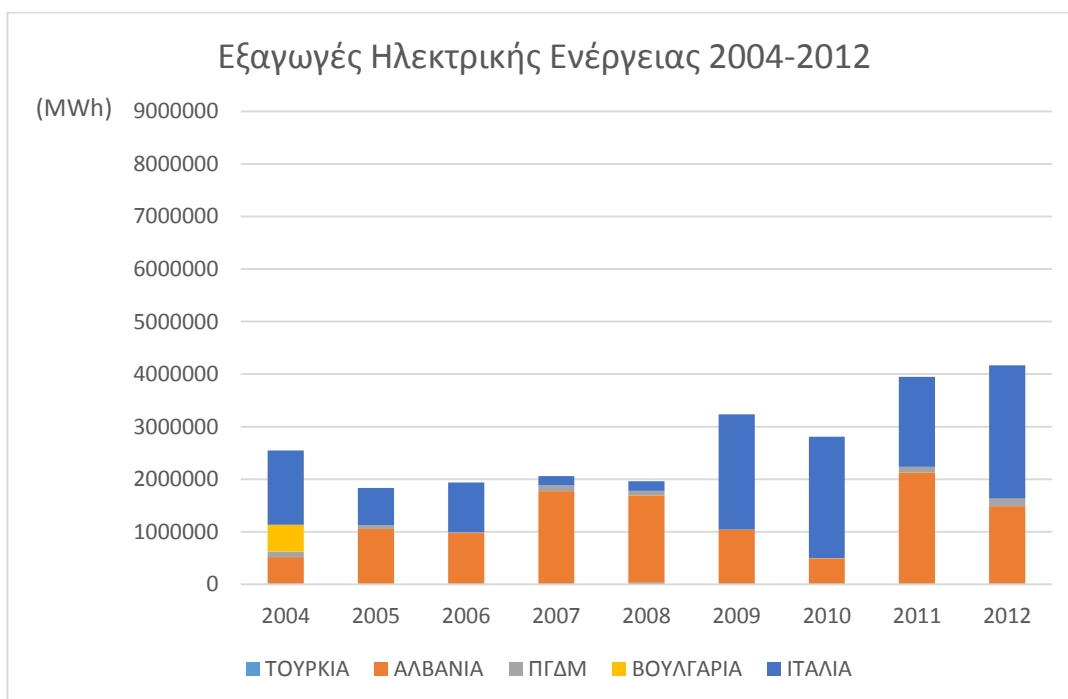
Σχήμα 1.9 Ανάλυση καθαρής ηλεκτροπαραγωγής του Διασυνδεδεμένου Συστήματος για την περίοδο 2004-2012 [13].

1.4.2.4 Εισαγωγές – Εξαγωγές Ηλεκτρικής Ενέργειας από τρίτες χώρες

Ένα μέρος των ενεργειακών αναγκών της χώρας για το 2012 καλύφθηκε από τις εισαγωγές ΗΕ μέσω των Διεθνών Διασυνδέσεων. Το ενεργειακό ισοζύγιο το 2012 ανήλθε σε 1.78 TWh (3.5% επί της συνολικής εγχεόμενης στο σύστημα ΗΕ) με τις εισαγωγές να αγγίζουν τις 5.95 TWh και τις εξαγωγές τις 4.17 TWh. Για το διάστημα 2004-2012, τα διαγράμματα εισαγωγών και εξαγωγών ΗΕ απεικονίζονται στα σχήματα 1.11 και 1.12 [13]:



Σχήμα 1.10 Εισαγωγές ΗΕ για την περίοδο 2004-2012 .



Σχήμα 1.11 Εξαγωγές ΗΕ για την περίοδο 2004-2012 [13].

1.4.2.5 Ηλεκτροπαραγωγή Μη Διασυνδεδεμένου Συστήματος

Στο μη Διασυνδεδεμένο Σύστημα για το έτος 2012 η συνολική παραγόμενη ΗΕ ανήλθε σε 5.59 TWh. Οι μονάδες παραγωγής με καύσιμο το πετρέλαιο είχαν την κυρίαρχη συνεισφορά με ποσοστό 84%. Το υπόλοιπο 16% της παραγωγής καλύφθηκε από ΑΠΕ (Αιολικά 12.4% , Φ/Β 3.4% και Μικροί ΥΗΣ 0.2 %) [11].

1.5 Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.5.1 Εισαγωγή

Υπό το οικονομικό πρίσμα, η ΗΕ αντιμετωπίζεται ως αγαθό ικανό προς πώληση, αγορά και εμπορία. Όπως σε κάθε αγορά όπου διακινούνται αγαθά και υπηρεσίες, έτσι και στην αγορά ΗΕ, η τιμή της ΗΕ καθορίζεται σύμφωνα με το σύστημα που επικρατεί. Μια αγορά αγαθών και υπηρεσιών μπορεί να λειτουργεί υπό μονοπωλιακό καθεστώς, σε ολιγοπωλιακό περιβάλλον ή υπό καθεστώς πλήρους ανταγωνισμού. Αυτό συμβαίνει και με την ΗΕ.

Μέχρι πριν μερικά χρόνια η ΗΕ ήταν αγαθό που προσφερόταν από μία μόνο επιχείρηση, η οποία στις περισσότερες χώρες ήταν κρατική. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η αγορά της ΗΕ να αποτελεί μονοπώλιο υπό δημόσιο έλεγχο, όπου η μοναδική επιχείρηση που παρήγαγε και εμπορευόταν ΗΕ είχε τη δυνατότητα να καθορίζει τόσο την τιμή, μετά την έγκρισή της από το κράτος, όσο και την προσφερόμενη ποσότητα. Τα τελευταία χρόνια, η αγορά ΗΕ μετατρέπεται βαθμιαία σε ολιγοπωλιακή καθώς το ισχύον θεσμικό πλαίσιο επιτρέπει τη δραστηριοποίηση εναλλακτικών προμηθευτών ΗΕ. Έτσι, δημιουργείται σταδιακά μια απελευθερωμένη αγορά ΗΕ.

Βασική διαφορά της ΗΕ από άλλα αγαθά είναι ότι πρέπει κάθε στιγμή να είναι διαθέσιμη, λόγω τεχνικών δυσκολιών αποθήκευσής της, για να καλύπτει την τρέχουσα ζήτηση ΗΕ. Ωστόσο, η ζήτηση ΗΕ μεταβάλλεται εντός ευρέων ορίων τόσο σε ημερήσια βάση όσο και εποχιακά σε ετήσια βάση. Για το λόγο αυτό πρέπει να υπάρχουν σημαντικά περιθώρια εφεδρείας ισχύος προκειμένου να καλύπτεται η ζήτηση. Επιπλέον, εκτός από την ανελαστικότητα της ζήτησης, είναι δυνατό και η προσφορά να εξαρτάται από απρόβλεπτους παράγοντες, όπως π.χ. οι καιρικές συνθήκες. Αυτό επηρεάζει κυρίως τους ηλεκτροπαραγωγούς που βασίζονται στην υδροηλεκτρική, αιολική και ηλιακή παραγωγή. Σημειώνεται, επίσης, ότι η ΗΕ ως αγαθό εμφανίζει ομοιογένεια, δηλαδή, όταν παρέχεται μέσω ενός δικτύου, έχει τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά (π.χ. τάση και συχνότητα) για όλους τους καταναλωτές, ανεξάρτητα από ποιόν παραγωγό προέρχεται η ΗΕ. Έτσι, ο ανταγωνισμός μεταξύ των παραγωγών περιορίζεται μόνο στο επίπεδο της τιμής του προϊόντος χωρίς να είναι δυνατό να συνυπολογισθούν κριτήρια ποιότητας. Μέσω της διασύνδεσης και της ενοποίησης αγορών ΗΕ που λειτουργούν υπό διαφορετικές συνθήκες, οι αγορές ΗΕ μπορούν να επεκτείνονται και εκτός συνόρων [14].

Στην αγορά ΗΕ συμμετέχουν: ο παραγωγός ΗΕ, ο έμπορος, ο προμηθευτής, ο καταναλωτής, καθώς και φορείς, όπως ο διαχειριστής του ΣΜ, διανομής και ο ρυθμιστής της αγοράς ΗΕ .

1.5.2 Μετάβαση στην απελευθερωμένη αγορά

Ακολουθώντας τις διεθνείς τάσεις και τις ευρωπαϊκές οδηγίες που αφορούν την αγορά ΗΕ, το μονοπωλιακό καθεστώς της Ελληνικής αγοράς μετατρέπεται σταδιακά σε μια απελευθερωμένη αγορά.

Το σημερινό νομικό πλαίσιο απελευθέρωσης της αγοράς ΗΕ στη Ελλάδα βασίζεται κυρίως στο νόμο 2773/99, ο οποίος θεσμοθετήθηκε με βάση την Ευρωπαϊκή Οδηγία 96/92/ΕΚ και αποτελεί τη βάση για τη λειτουργία της απελευθερωμένης ελληνικής αγοράς ΗΕ. Το νομικό αυτό πλαίσιο αναφέρεται σε τέσσερις κώδικες, οι οποίοι καθορίζουν :

- τους κανόνες που διέπουν τις συναλλαγές που πραγματοποιούνται στο πλαίσιο της απελευθερωμένης αγοράς ΗΕ
- τη διαδικασία προμήθειας των επιλεγόντων πελατών από τους προμηθευτές ΗΕ
- τους τεχνικούς κανόνες που ακολουθούνται κατά τη λειτουργία του ΣΜ και διανομής
- τα θέματα που σχετίζονται με την ευρύτερη ενεργειακή πολιτική της χώρας με επίκεντρο τα ζητήματα που προκύπτουν από την απελευθέρωση της αγοράς ΗΕ.

Με το νόμο 2773/99 δημιουργήθηκε ένα νέο περιβάλλον στην ελληνική αγορά ΗΕ, με τους εξής παράγοντες:

- Οι παραγωγοί, δηλαδή όσοι κατέχουν άδεια παραγωγής ΗΕ, η οποία χορηγείται από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) σύμφωνα με τους ισχύοντες νόμους για αδειοδότηση ιδιωτών.
- Οι προμηθευτές που είναι ή Ανώνυμες Εταιρείες, στις οποίες συμπεριλαμβάνεται και η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), ή Εταιρείες Περιορισμένης Ευθύνης και προμηθεύουν με ΗΕ τους επιλέγοντες πελάτες του Συστήματος ύστερα από σύναψη εμπορικών συμβολαίων.
- Οι επιλέγοντες πελάτες που είναι καταναλωτές ΥΤ και ΜΤ και επιλέγουν να προμηθεύονται ΗΕ μέσω του Συστήματος Συναλλαγών Ενέργειας προς ιδιωτική και αποκλειστική χρήση. Σύμφωνα με τον ανωτέρω νόμο, ως επιλέγοντες χαρακτηρίζονται οι καταναλωτές με ετήσια κατανάλωση άνω των 100 GWh.
- Μη επιλέγοντες πελάτες για τους οποίους το ρόλο του προμηθευτή ΗΕ έχει αναλάβει αποκλειστικά η ΔΕΗ. Είναι οικιακοί καταναλωτές ΗΕ και μικρές επιχειρήσεις με ισχύ παροχής το μέγιστο μέχρι και 250 kVA. (κατηγορία Νο.7)
- Ανεξάρτητοι φορείς, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται τα θεσμικά όργανα που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην απελευθερωμένη αγορά ΗΕ και είναι : η ΡΑΕ, ο ΑΔΜΗΕ, ο ΛΑΓΗΕ, ο ΔΕΔΔΗΕ και η ΔΕΗ. (ΑΔΜΗΕ και ΛΑΓΗΕ ανέλαβαν τις αρμοδιότητες που ανήκαν μέχρι το 2011 στο ΔΕΣΜΗΕ)

Μια σειρά νέων νόμων και τροποποιήσεων του αρχικού νόμου 2773/99 επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στη λειτουργία της απελευθερωμένης ελληνικής αγοράς ΗΕ, στην κατεύθυνση πάντα της όσο το δυνατόν ομαλότερης μετάβασης από τη μονοπωλιακή κατάσταση στον ελεύθερο ανταγωνισμό. Ενδεικτικά, σύμφωνα με τον ν. 3175/03 έπαψε να προβλέπεται επιδότηση ή υποχρεωτική αγορά της ΗΕ από τις νέες ιδιωτικές μονάδες παραγωγής ΗΕ, ενώ επιπλέον, αναβαθμίστηκε ο ρόλος του τότε Διαχειριστή του Συστήματος (ΔΕΣΜΗΕ), αναλαμβάνοντας και αρμοδιότητες λειτουργού ημερήσιας αγοράς ΗΕ, αρμοδιότητα που σήμερα κατέχει ο ΛΑΓΗΕ.

Με το νόμο 4001/2011 σε συμμόρφωση με την ευρωπαϊκή οδηγία 2009/72/ΕΚ έπαυσε η λειτουργία του ΔΕΣΜΗΕ, ο ΛΑΓΗΕ αναλαμβάνει τις αρμοδιότητες λειτουργού ημερήσιας αγοράς ΗΕ και ο ΑΔΜΗΕ αναλαμβάνει τη διαχείριση του ΣΜ ΗΕ. Επιπλέον, θεσμοθετήθηκε η παρουσία των εμπόρων ΗΕ στην ελληνική αγορά για την εμπορία ΗΕ μέσω διεθνών διασυνδέσεων γειτονικών χωρών. Σημειώνεται ότι ένας έμπορος ΗΕ δεν μπορεί να είναι και προμηθευτής ΗΕ.

Επιπλέον, το 2010 με το ν. 3851/2010 στο πλαίσιο εφαρμογής της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2009/28/ΕΚ, εκπονήθηκε και υποβλήθηκε στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, που αποτελεί το κατεξοχήν εργαλείο ενεργειακού σχεδιασμού μέχρι το έτος 2020.

1.5.3 Ανεξάρτητοι φορείς στην αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.5.3.1 Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ)

Αποτελεί ανεξάρτητη διοικητική αρχή που θεσμοθετήθηκε τον Ιούλιο του 2000, στην οποία έχει ανατεθεί η παρακολούθηση της ελληνικής αγοράς ενέργειας και κατά συνέπεια της εγχώριας αγοράς ΗΕ. Παράλληλα παρακολουθεί τη λειτουργία ελληνικής αγοράς ΗΕ σε σχέση με τις ξένες αγορές, ιδίως με αυτές με τις οποίες διασυνδέεται.

Η ΡΑΕ σύμφωνα με το νόμο 4001/2011 (Άρθρο 5 “Νομική φύση της ΡΑΕ”) είναι ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή με έδρα την Αθήνα, έχει νομική προσωπικότητα και παρίσταται αυτοτελώς σε δίκες που έχουν ως αντικείμενο πράξεις ή παραλείψεις της ή έννομες σχέσεις που την αφορούν. Η ΡΑΕ υπόκειται μόνο σε κοινοβουλευτικό και σε δικαστικό έλεγχο. Αποτελεί φορέα στον οποίον έχουν ανατεθεί θεμελιώδεις στόχοι τους οποίους επιδιώκουν τόσο η Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και η ελληνική πολιτεία, όπως η ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας, η προστασία του περιβάλλοντος στο πλαίσιο και των διεθνών υποχρεώσεων της χώρας, η ενίσχυση της παραγωγικότητας και της ανταγωνιστικότητας της εθνικής οικονομίας, η ισόρροπη περιφερειακή ανάπτυξη. Ειδικότερα, η ΡΑΕ έχει γνωμοδοτική αρμοδιότητα στη χορήγηση αδειών παραγωγής ΗΕ από συμβατικά καύσιμα και αποφασιστική αρμοδιότητα για τη χορήγηση αδειών παραγωγής ΗΕ από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Τέλος, πρέπει να επισημανθεί ότι η ΡΑΕ έχει την αποκλειστική αρμοδιότητα ελέγχου των υπολοίπων φορέων ΛΑΓΗΕ, ΑΔΜΗΕ, ΔΕΔΔΗΕ και ΔΕΗ. [12]

1.5.3.2 Ανεξαρτησία φορέων

Η ευρωπαϊκή οδηγία 2009/72/ΕΚ επιβάλλει το σταδιακό διαχωρισμό παραγωγής, μεταφοράς, διανομής και προμήθειας ΗΕ. Οι διαχειριστές μεταφοράς και διανομής καθώς και ο λειτουργός της αγοράς ΗΕ μετατρέπονται σε αυτοτελείς ανώνυμες εταιρείες και επιβάλλεται να είναι πλήρως ανεξάρτητοι μεταξύ τους αλλά και από τις εταιρίες που δραστηριοποιούνται στην παραγωγή και την προμήθεια ΗΕ. Συγκεκριμένα, πρέπει να χαρακτηρίζονται από:

- Διοικητική αυτοτέλεια

Οι φορείς πρέπει να έχουν ξεχωριστά διοικητικά συμβούλια χωρίς την κοινή παρουσία προσώπων μεταξύ των ΔΣ των φορέων. Επιτρέπεται σε εταιρία παραγωγής ή προμήθειας να κατέχει μόνο μειοψηφικό πακέτο μετοχών είτε του διαχειριστή μεταφοράς είτε του διαχειριστή διανομής.

- Λειτουργική αυτοτέλεια

Κάθε φορέας διαθέτει το αποκλειστικά δικό του εργασιακό δυναμικό και αποφασίζει για τη διαχείρισή του, καθώς επίσης και το δικό του τεχνικό εξοπλισμό και πληροφοριακά συστήματα. Δεν επιτρέπεται η διακίνηση εμπιστευτικών πληροφοριών μεταξύ των φορέων.

- Οικονομική αυτοτέλεια

Κάθε φορέας έχει δικό του ισολογισμό και προϋπολογισμό. Λαμβάνει αποφάσεις που αφορούν την εξασφάλιση πόρων για τη λειτουργία, συντήρηση και ανάπτυξη του δικτύου και των εγκαταστάσεων που βρίσκονται υπό την εποπτεία του, έχοντας τη δυνατότητα άντλησης κεφαλαίων και σύναψης δανείων.

- Η λειτουργία κάθε ανεξάρτητου φορέα επιβάλλεται να υπακούει σε κανόνες υγιούς ανταγωνισμού. Δεν επιτρέπεται να μεροληπτούν υπέρ εταιριών που προήλθαν από τον πρώην κοινό καθετοποιημένο διαχειριστή ΗΕ. Επιβάλλεται να ευνοούν την ένταξη νέων εταιριών στην αγορά ΗΕ και να μην θέτουν εμπόδια στις δραστηριότητες των τελευταίων.

Η προσαρμογή της ελληνικής αγοράς ΗΕ στην ανωτέρω ευρωπαϊκή οδηγία 2009/72/ΕΚ έχει επιτευχθεί κατά ένα μεγάλο ποσοστό με τον νόμο 4001/2011 που με μια σειρά άρθρων ορίζει την ανεξαρτησία του ελληνικού διαχειριστή μεταφοράς, του διαχειριστή διανομής και του λειτουργού της αγοράς ΗΕ, καθώς και τις εμπορικές σχέσεις τους με την μητρική εταιρεία ΔΕΗ ΑΕ. Από το νόμο ορίστηκαν τα ακόλουθα:

- Δημιουργία του ανεξάρτητου διαχειριστή μεταφοράς με επωνυμία ΑΔΜΗΕ ΑΕ. Η ανεξαρτησία του καθορίζεται από τα άρθρα 100 “Εμπορικές σχέσεις της ΑΔΜΗΕ ΑΕ με τη ΔΕΗ ΑΕ” (Άρθρο 17 παράγραφοι 1, 4, 5 και 6 της Οδηγίας 2009/72/ΕΚ) και 101 “Ανεξαρτησία της ΑΔΜΗΕ ΑΕ” (Άρθρο 18 της Οδηγίας 2009/72/ΕΚ)
- Δημιουργία του ανεξάρτητου διαχειριστή των δικτύων διανομής με επωνυμία ΔΕΔΔΗΕ ΑΕ. Η ανεξαρτησία του καθορίζεται από τα άρθρα 123 “Νομικός και λειτουργικός διαχωρισμός της δραστηριότητας Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας” (Άρθρο 24 της Οδηγίας 2009/72/ΕΚ) και 124 “Ανεξαρτησία του Διαχειριστή του ΕΔΔΗΕ” (Άρθρο 26 της Οδηγίας 2009/72/ΕΚ)
- Δημιουργία του ανεξάρτητου λειτουργού της αγοράς ΗΕ με επωνυμία ΛΑΓΗΕ ΑΕ. Η ανεξαρτησία του καθορίζεται από το άρθρο 117 “Ανεξάρτητος Λειτουργός της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας”

Η δημιουργία των εταιριών ΑΔΜΗΕ, ΔΕΔΔΗΕ και ΛΑΓΗΕ είναι ένα μεγάλο βήμα προσαρμογής στις κοινοτικές και τις εγχώριες νομοθετικές οδηγίες, παρότι δεν έχει ολοκληρωθεί η αυτοτέλειά τους καθώς προς το παρόν αποτελούν θυγατρικές εταιρίες της ΔΕΗ ΑΕ.

Σύμφωνα με τα καταστατικά των τριών ανωτέρω φορέων, αποτελούν 100% θυγατρικές της ΔΕΗ, ωστόσο είναι πλήρως ανεξάρτητοι λειτουργικά και διοικητικά, έχοντας ουσιαστικές εξουσίες λήψης αποφάσεων, τηρώντας όλες τις απαιτήσεις ανεξαρτησίας που καθορίζονται στο Νόμο 4001/2011 και στην Οδηγία 2009/72/ΕΚ.

1.5.3.3 *Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ)*

Ο ΑΔΜΗΕ έχει συσταθεί σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης με σκοπό να αναλάβει τα καθήκοντα του Διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς ΗΕ (ΕΣΜΗΕ). Οι βασικές αρμοδιότητες του είναι [4]:

- η λειτουργία, η συντήρηση και η ανάπτυξη του ΕΣΜΗΕ ώστε να διασφαλίζεται ο εφοδιασμός της χώρας με ΗΕ με τρόπο ασφαλής, αποδοτικό και αξιόπιστο.
- και η διατύπωση της ημερήσιας πρόβλεψης φορτίου που χρησιμοποιείται επισήμως από τον ΛΑΓΗΕ για την κατάστρωση του ΗΕΠ.

1.5.3.4 *Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ)*

Ο ΔΕΔΔΗΕ προέκυψε από την απόσχιση του κλάδου Διανομής της ΔΕΗ σύμφωνα με το Ν. 4001/2011 σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με την οργάνωση των αγορών ΗΕ και έχει αναλάβει τα καθήκοντα του Διαχειριστή του Ελληνικού ΔΔ. Είναι κατά 100% θυγατρική εταιρεία της ΔΕΗ, ωστόσο είναι ανεξάρτητη λειτουργικά και διοικητικά, τηρώντας όλες τις απαιτήσεις ανεξαρτησίας που ενσωματώνονται στο ανωτέρω νομικό πλαίσιο.

Αντικείμενο του ΔΕΔΔΗΕ είναι [7] :

- η λειτουργία , η συντήρηση και η ανάπτυξη του ΔΔ ΗΕ στην Ελλάδα
- και η διασφάλιση της διαφανούς και ισότιμης πρόσβασης των καταναλωτών στο δίκτυο.

1.5.3.5 *Λειτουργός της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΛΑΓΗΕ)*

Ο ΛΑΓΗΕ αποτελεί το ελληνικό χρηματιστήριο αγοράς ΗΕ. Εφαρμόζει τις διατάξεις του νόμου 4001/2011 που αφορούν την αγορά ΗΕ και είναι αρμόδια για τη λειτουργία των δύο διακριτών αγορών [15] :

- Της βραχυχρόνιας - χονδρεμπορικής αγοράς ΗΕ και επικουρικών υπηρεσιών, η οποία ρυθμίζεται μέσω του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (Energy and Ancillary Services Market)
- Της μακροχρόνιας αγοράς διαθεσιμότητας ισχύος (Capacity Market)

Ασκή τις δραστηριότητες που ανήκαν στο Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς ΗΕ (ΔΕΣΜΗΕ), εκτός από αυτές που μεταφέρθηκαν στον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς ΗΕ (ΑΔΜΗΕ).

1.5.4 Διακριτές δομές στην αγορά ΗΕ

Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι του ασφαλούς εφοδιασμού και της οικονομικής βελτιστοποίησης της αγοράς ΗΕ στην Ελληνική Επικράτεια, απαιτείται ο αποτελεσματικός συνδυασμός μακροχρόνιων αποφάσεων για την εγκατάσταση και τη διαθεσιμότητα ισχύος αλλά και βραχυχρόνιων αποφάσεων για την ορθή κατανομή των πόρων στον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό. Στο πλαίσιο αυτό, η Ελληνική Αγορά Ηλεκτρισμού χωρίζεται στις δύο διακριτές αγορές που αναφέρθηκαν προηγουμένως, δηλαδή τη βραχυχρόνια – χονδρεμπορική αγορά ΗΕ και επικουρικών υπηρεσιών και τη μακροχρόνια αγορά διαθεσιμότητας ισχύος.

1.5.4.1 Βραχυχρόνια – χονδρεμπορική αγορά ΗΕ

1.5.4.1.1 Ημερήσιος ενεργειακός προγραμματισμός (ΗΕΠ) – Day Ahead Schedule (DAS)

Ο ημερήσιος ενεργειακός προγραμματισμός αποτελεί τη βάση της χονδρεμπορικής αγοράς ΗΕ. Αποτελεί το πεδίο όπου γίνεται η συναλλαγή του συνόλου της ΗΕ και των συμπληρωματικών προϊόντων αυτής, που θα παραχθούν, θα διακινηθούν και καταναλωθούν την επόμενη μέρα. Σκοπός του ΗΕΠ είναι η ελαχιστοποίηση της συνολικής δαπάνης για την εξυπηρέτηση του φορτίου ΗΕ σε ημερήσια βάση υπό την προϋπόθεση ενεργειακά αποδοτικής και ασφαλούς λειτουργίας του Συστήματος και διασφάλισης επαρκούς εφεδρείας ΗΕ. Αποσκοπεί στο βέλτιστο προγραμματισμό της λειτουργίας των θερμικών και υδροηλεκτρικών μονάδων παραγωγής, των μονάδων ΑΠΕ και της διαθέσιμης ΗΕ από εισαγωγές, προκειμένου να καλύπτεται, σε ημερήσια βάση, η ζήτηση ΗΕ από καταναλωτές, η ζήτηση για εξαγωγές ΗΕ από τη χώρα και οι απαραίτητες επικουρικές υπηρεσίες. Κάθε μονάδα παραγωγής είναι υποχρεωμένη να προσφέρει το σύνολο της διαθεσιμότητάς της, τόσο σε ενέργεια όσο και σε επικουρικές υπηρεσίες στη χονδρεμπορική αγορά (ΗΕΠ). Πρόκειται, συνεπώς, για ένα μοντέλο αγοράς «Υποχρεωτικής Κοινοπραξίας» (Mandatory Power Pool).

Ο ΗΕΠ προσδιορίζει τον τρόπο λειτουργίας κάθε μονάδας για κάθε ώρα της επόμενης ημέρας, με στόχο να μεγιστοποιείται το κοινωνικό όφελος που προκύπτει από την ικανοποίηση του ενεργειακού ισοζυγίου και των αναγκών επικουρικών υπηρεσιών την επόμενη ημέρα, λαμβάνοντας υπόψη περιορισμούς του ΣΜ.

Ο ΗΕΠ διαμορφώνει τις εξής 3 αγορές-μηχανισμούς [16]:

- Αγορά ΗΕ

Καλύπτονται οι ποσοτικές ανάγκες των καταναλωτών σε ΗΕ για κάθε Ημέρα Κατανομής. Συγκεκριμένα, στην αγορά αυτή:

- ✓ Προσφέρουν ΗΕ οι εγχώριοι παραγωγοί (θερμικών μονάδων, υδροηλεκτρικών και ΑΠΕ) και οι εισαγωγείς και αποζημιώνονται για τις υπηρεσίες τους.
 - ✓ Αγοράζουν ΗΕ οι προμηθευτές, οι επιλέγοντες πελάτες και οι εξαγωγείς (προμηθευτές και παραγωγοί).
- Αγορά Επικουρικών Υπηρεσιών
 Στην αγορά αυτή εμφανίζονται οι ανάγκες των καταναλωτών για διασφάλιση της ποιότητας και αξιοπιστίας της τροφοδότησης τους. Εδώ:
 - Παρέχουν επικουρικές υπηρεσίες οι εγχώριοι παραγωγοί, που χρησιμοποιούν θερμικές και υδροηλεκτρικές μονάδες.
 - Πληρώνουν οι εκπρόσωποι του εγχώριου φορτίου (προμηθευτές και επιλέγοντες πελάτες) και οι εξαγωγείς (προμηθευτές και παραγωγοί)
 - Μηχανισμός αγοράς για τη χωροθέτηση της παραγωγής κοντά στα κέντρα κατανάλωσης
 Μέσω του μηχανισμού αυτού γίνεται προσπάθεια ώστε οι νέες μονάδες παραγωγής να βρίσκονται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στα κέντρα κατανάλωσης ΗΕ. Προς το σκοπό αυτό, προβλέπεται αυξημένη συμμετοχή στην ετήσια χρέωση χρήσης συστήματος των παραγωγών του βορρά καθώς και αυξημένη αποζημίωση παραγωγών του νότου, κατά τις λίγες ώρες που παρατηρείται συμφόρηση του Συστήματος κατά τη μεταφορά ΗΕ από το Βορρά στο Νότο.

Συγκεκριμένα, στο αντικείμενο του ΗΕΠ περιλαμβάνονται οι ακόλουθοι στόχοι:

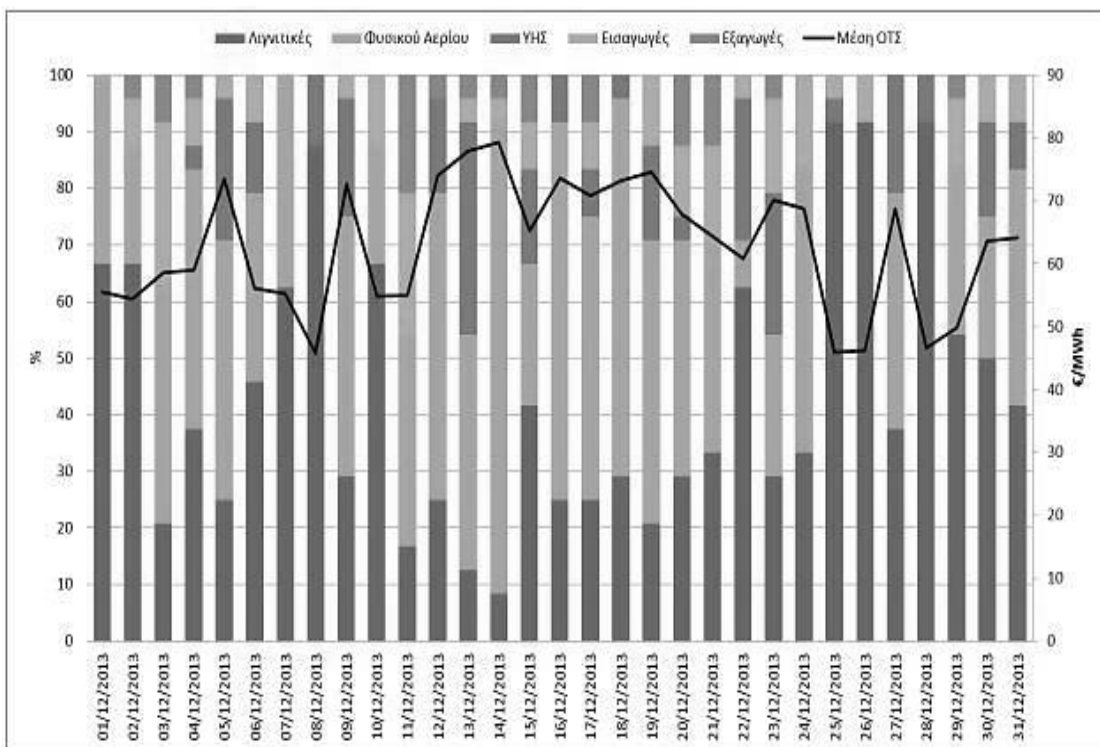
- Κατάρτιση του βέλτιστου προγράμματος ένταξης μονάδων και έγχυσης ΗΕ για την εξυπηρέτηση της ζήτησης την επόμενη μέρα. Σημειώνεται ότι ορισμένες ποσότητες εγγεόμενης ΗΕ έχουν εγγυημένη απορρόφηση και προσφέρονται σε προσυμφωνημένη εγγυημένη τιμή, ώστε να είναι βέβαιη η παραγωγή και έγχυσή τους στο Σύστημα. Αυτές οι προσφορές είναι Μη Τιμολογούμενες Προσφορές (ΜΤΠ) και είναι ποσότητες ΗΕ από ΑΠΕ, ΣΗΘΥΑ και βιομάζα. Ο ίδιος ο ΛΑΓΗΕ ως ένας συμβολικός παραγωγός εκπροσωπεί όλη την παραγόμενη ενέργεια από ΜΤΠ συμμετέχοντας σε όλες τις διαδικασίες της επίλυσης του ΗΕΠ. Αυτό συμβαίνει διότι ο ΛΑΓΗΕ είναι αυτός που διατηρεί και διαχειρίζεται τον Ειδικό Λογαριασμό των ΑΠΕ, στον οποίο πραγματοποιούνται οι συναλλαγές του ΛΑΓΗΕ με τους παραγωγούς των ΜΤΠ.
- Καταμερισμός της Ημέρας Κατανομής (Day of Dispatch), με τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται το κοινωνικό πλεόνασμα (διαφορά του κοινωνικού οφέλους από το συνολικό κόστος παραγωγής). Ως Ημέρα Κατανομής ορίζεται η επόμενη ημέρα που θα εισαχθεί στον ΗΕΠ, χωρισμένη σε διαστήματα μίας ώρας (Περίοδοι Κατανομής).
- Υπολογισμός κόστους απορρόφησης ΗΕ από ΜΤΠ.
- Προσδιορισμός της Οριακής Τιμής Παραγωγής σε κάθε Λειτουργική Ζώνη για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής.
- Υπολογισμός της Οριακής Τιμής Συστήματος (ΟΤΣ) για την ενέργεια, για κάθε περίοδο κατανομής της Ημέρας Κατανομής.
- Κατάρτιση προγραμμάτων Επικουρικών Υπηρεσιών ώστε να καλύπτονται οι σχετικές ανάγκες για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής στο ελάχιστο συνολικό κόστος.

- Υπολογισμός των Τιμών Εφεδρείας για κάθε τιμολογούμενη Επικουρική Υπηρεσία για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής.

Η τελική φάση της Χονδρεμπορικής Αγοράς περιλαμβάνει την εκ των υστέρων εκκαθάριση των αποκλίσεων της αγοράς, κατά την οποία υπολογίζεται η Οριακή Τιμή Αποκλίσεων (ΟΤΑ).

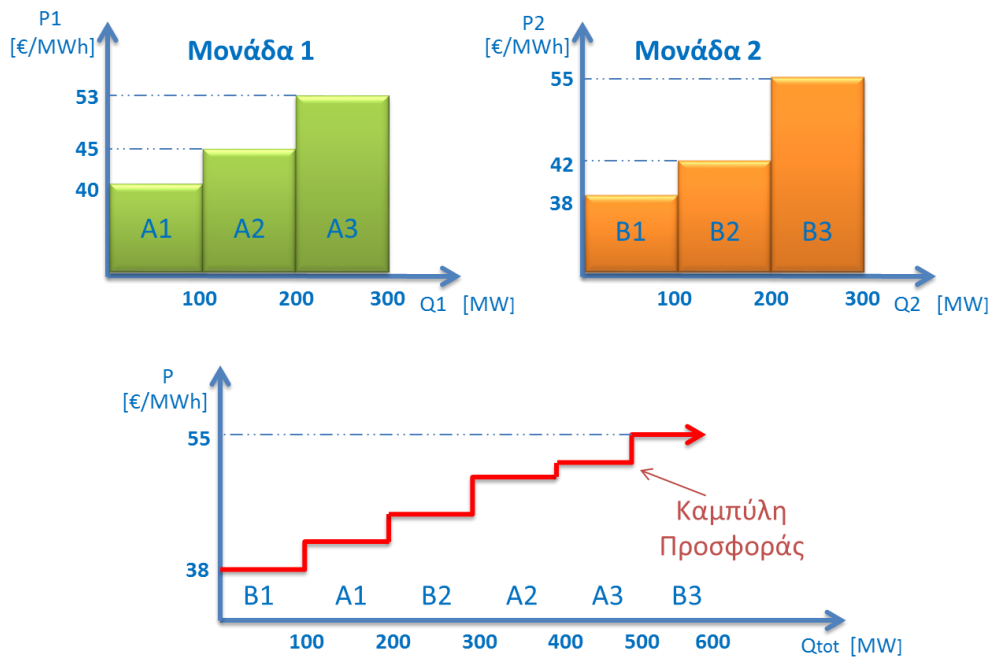
1.5.4.1.2 Διαμόρφωση Οριακής Τιμής Συστήματος (ΟΤΣ).

Η ΟΤΣ (System Marginal Price SMP ή Market Clearing Price MCP) είναι η τιμή στην οποία εκκαθαρίζεται η αγορά ΗΕ και είναι η τιμή βάσει της οποίας εισπράττουν όλοι όσοι εγχέουν ΗΕ στο Σύστημα, εκτός των ΜΤΠ, και πληρώνουν όλοι όσοι έλαβαν ΗΕ από το Σύστημα. Συγκεκριμένα, η ΟΤΣ διαμορφώνεται από το συνδυασμό των προσφορών τιμών και ποσοτήτων που υποβάλλουν κάθε ημέρα οι διαθέσιμες μονάδες παραγωγής ΗΕ εκτός των ΜΤΠ, και του ωριαίου φορτίου ζήτησης ΗΕ, που διαμορφώνεται σε καθημερινή βάση από τους καταναλωτές. Οι μονάδες παραγωγής που συμμετέχουν στη διαδικασία διαμόρφωσης της ΟΤΣ είναι λιγνιτικές, φυσικού αερίου, μεγάλα υδροηλεκτρικά, πετρελαϊκές καθώς επίσης και οι εισαγωγές και οι εξαγωγές ΗΕ [12].



Σχήμα 1.12 Ημερήσια Ποσοστιαία (%) κατανομή του Καυσίμου/Εισαγωγών/Εξαγωγών που όρισαν ΟΤΣ, Δεκέμβριος 2013 [10]

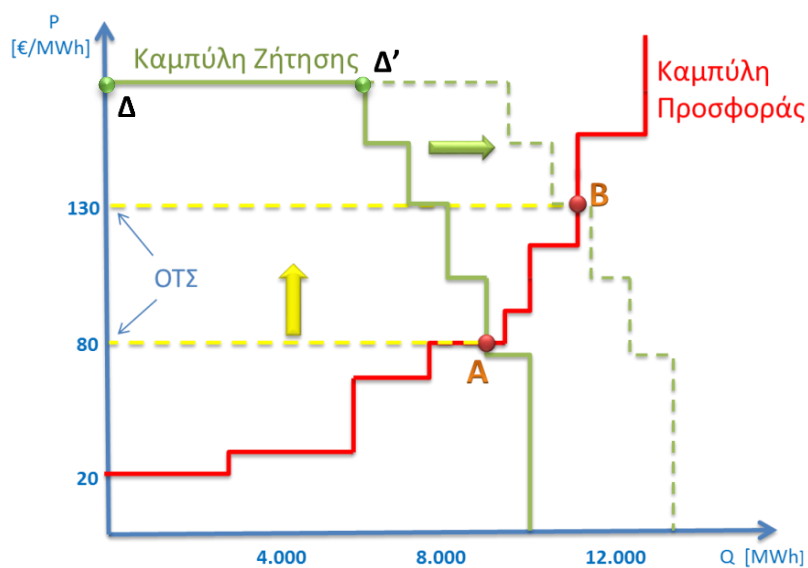
Επιχειρώντας μια απλή περιγραφή του τρόπου υπολογισμού της ΟΤΣ, σύμφωνα με τις βασικές αρχές της μικροοικονομικής θεωρίας, μπορεί να αναφερθεί ότι οι μονάδες παραγωγής κατατάσσονται αναλόγως των προσφορών τους σε αύξουσα σειρά, ξεκινώντας από τη χαμηλότερη προσφερόμενη τιμή για ορισμένη ποσότητα ΗΕ και καταλήγοντας στην υψηλότερη προσφερόμενη τιμή, διαμορφώνοντας έτσι την καμπύλη προσφοράς (Σχήμα 1.14).



Σχήμα 1.13 Διαμόρφωση της καμπύλης προσφοράς

Στο σημείο όπου οι προσφερόμενες ποσότητες ΗΕ εξυπηρετούν το ζητούμενο φορτίο, σημείο τομής της καμπύλης προσφοράς με τη καμπύλη ζήτησης, καθορίζεται και η ΟΤΣ. Στην ουσία, η ΟΤΣ συμπίπτει με την προσφορά της τελευταίας μονάδας που πρέπει να λειτουργήσει για να καλυφθεί η ζήτηση. Κατά συνέπεια, οι παραγωγοί που προσφέρουν ΗΕ σε κόστος μικρότερο της ΟΤΣ ωφελούνται αφού καρπώνονται την οικονομική διαφορά μεταξύ της ΟΤΣ και του οριακού κόστους των μονάδων. Αντίθετα, οι παραγωγοί που προσφέρουν σε οριακό κόστος μεγαλύτερο της ΟΤΣ μένουν εκτός αγοράς και δεν παράγουν ΗΕ για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

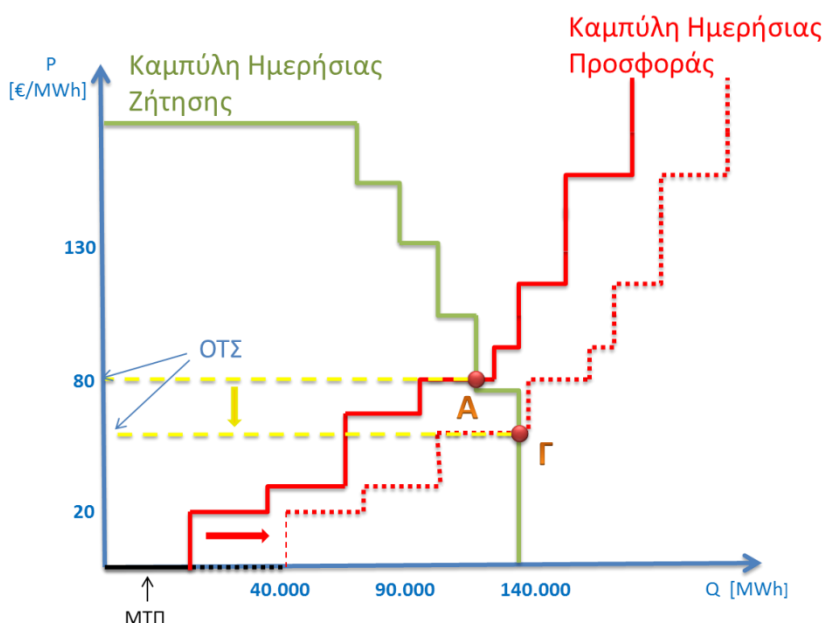
1.5.4.1.2.1 Επίδραση της ζήτησης στην Οριακή Τιμή Συστήματος



Σχήμα 1.14 Επίδραση της ζήτησης στη διαμόρφωση της ΟΤΣ

Στο σχήμα 1.15 επιχειρείται μια εξήγηση της επίδρασης της ημερήσιας ζήτησης στην ΟΤΣ. Στο σημείο Α (80 €/MWh) όπου η εκτιμώμενη ζήτηση ΗΕ για την επόμενη ημέρα ταυτίζεται με την προσφορά διαμορφώνεται η ΟΤΣ. Εάν η εκτιμώμενη ζήτηση ήταν μεγαλύτερη, το νέο σημείο ισορροπίας θα ήταν το σημείο Β (130 €/MWh) με αποτέλεσμα να προέκυπτε μεγαλύτερη ΟΤΣ. Το άνω τμήμα της καμπύλης ζήτησης (Δ-Δ') αντιπροσωπεύει το ανελαστικό φορτίο που αποτελείται κυρίως από το φορτίο οικιακών και εμπορικών καταναλωτών ΗΕ (μη επιλέγοντες πελάτες). Αυτό το τμήμα της ζήτησης πρέπει να εξυπηρετηθεί ανεξαρτήτως κόστους. Για λόγους προστασίας των καταναλωτών και διαμόρφωσης συνθηκών υγιούς ανταγωνισμού τίθεται διοικητικά ανώτατο όριο για την προσφερόμενη τιμή ίσο με 150€/MWh [12]. Το υπόλοιπο τμήμα της καμπύλης ζήτησης αντιπροσωπεύει μεγάλους καταναλωτές (π.χ. μεγάλες βιομηχανίες) που είναι διατεθειμένοι να μην εξυπηρετηθούν εάν η ΟΤΣ δεν είναι συμφέρουσα για τους ίδιους.

1.5.4.1.2.2 Επίδραση των Μη Τιμολογούμενων Προσφορών στην Οριακή Τιμή Συστήματος



Σχήμα 1.15 Επίδραση των ΜΤΠ στη διαμόρφωση της ΟΤΣ

Οι ΜΤΠ έχουν εγγυημένη συμμετοχή στον ΗΕΠ και μπαίνουν πρώτες στον προγραμματισμό για την κάλυψη των εκτιμώμενων ενεργειακών αναγκών της επόμενης ημέρας. Συνεπώς, η καμπύλη προσφοράς θα ξεκινήσει μετά την εκτιμώμενη προσφερόμενη ενέργεια των ΜΤΠ. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.16, με μια συγκεκριμένη ποσότητα ΜΤΠ η ΟΤΣ διαμορφώνεται στο σημείο Α. Εάν οι ΜΤΠ ήταν περισσότερες (διακεκομμένη γραμμή) η καμπύλη προσφοράς θα μετακινούνταν προς τα δεξιά και θα συναντούσε την καμπύλη ζήτησης στο σημείο Β, με αποτέλεσμα να προκύπτει χαμηλότερη ΟΤΣ.

Αξίζει να σημειωθεί ότι χαμηλότερη ΟΤΣ λόγω της επίδρασης των ΜΤΠ, δεν σημαίνει απαραίτητα ότι το συνολικό κόστος για τους καταναλωτές είναι χαμηλότερο, διότι η επιβάρυνση του κόστους εξαιτίας των ΜΤΠ είναι μεγάλη λόγω των αντίστοιχων τελών του Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ. Ενδεικτικά, σύμφωνα με τον “Απολογισμό του Ειδικού Λογαριασμού των ΑΠΕ”, για τον Ιανουάριο του 2014 η ενέργεια από ΑΠΕ αποζημιώθηκε από τον ΗΕΠ με 40.4 €/MWh (ενώ η μέση ΟΤΣ της ίδιας περιόδου διαμορφώθηκε στα 65.11 €/MWh) αλλά η αποζημίωση από τον ΗΕΠ είναι ένα μικρό ποσοστό της

συνολικής τιμής αποζημίωσης η οποία ανήλθε στα 183 €/MWh [17]. Το υπόλοιπο κόστος καλύπτεται από τέλη και εισφορές οι οποίες επιβαρύνουν τους καταναλωτές και τους παραγωγούς, όπως δείχνει ο παρακάτω Πίνακας 1.2.

| Μήνας | Ιανουάριος 2014 | | Ποσοστό % |
|------------------------|--|----------------|------------|
| Εισροές (εκ.€) | ΗΕΠ | 29,68 | 18,9 |
| | Εκκαθάριση Αποκλίσεων | 2,23 | 1,4 |
| | ΜΜΚ | 1,71 | 1,1 |
| | ΜΜΚ _{ΜΔΝ} *MWh _{ΜΔΝ} | 9,81 | 6,3 |
| | ΕΤΜΕΑΡ | 67,83 | 43,2 |
| | Ειδικό Τέλος Λιγνίτη | 4,56 | 2,9 |
| | Δικαιώματα Εκπομπής CO ₂ | 14,07 | 9 |
| | Τέλος ΕΡΤ | 0,29 | 0,002 |
| | Έκτακτη Εισφορά | 26,76 | 17,1 |
| | Σύνολο Εισροών | 156,93 | 100 |
| Εκροές (εκ.€) | Αξία ΑΠΕ | -108,22 | 80,1 |
| | Αξία Φ/Β στεγών | -17,75 | 13,1 |
| | Αξία ΑΠΕ _{ΜΔΝ} | -9,11 | 6,8 |
| | Σύνολο Εκροών | -135,08 | 100 |
| Υπόλοιπο (εκ.€) | Τρέχον | 21,85 | |
| | Σωρευτικό | -527,98 | |

Πίνακας 1.2 Απολογισμός Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ Ιανουαρίου 2014 [17]

Για λόγους προστασίας των παραγωγών τίθεται κατώτερο επίπεδο προσφορών, το οποίο είναι το μέσο κόστος μιας συνδεδεμένης ή σε αναμονή μονάδας, ώστε στις περισσότερες περιπτώσεις οι παραγωγοί να πληρώνονται το κόστος καυσίμου [12].

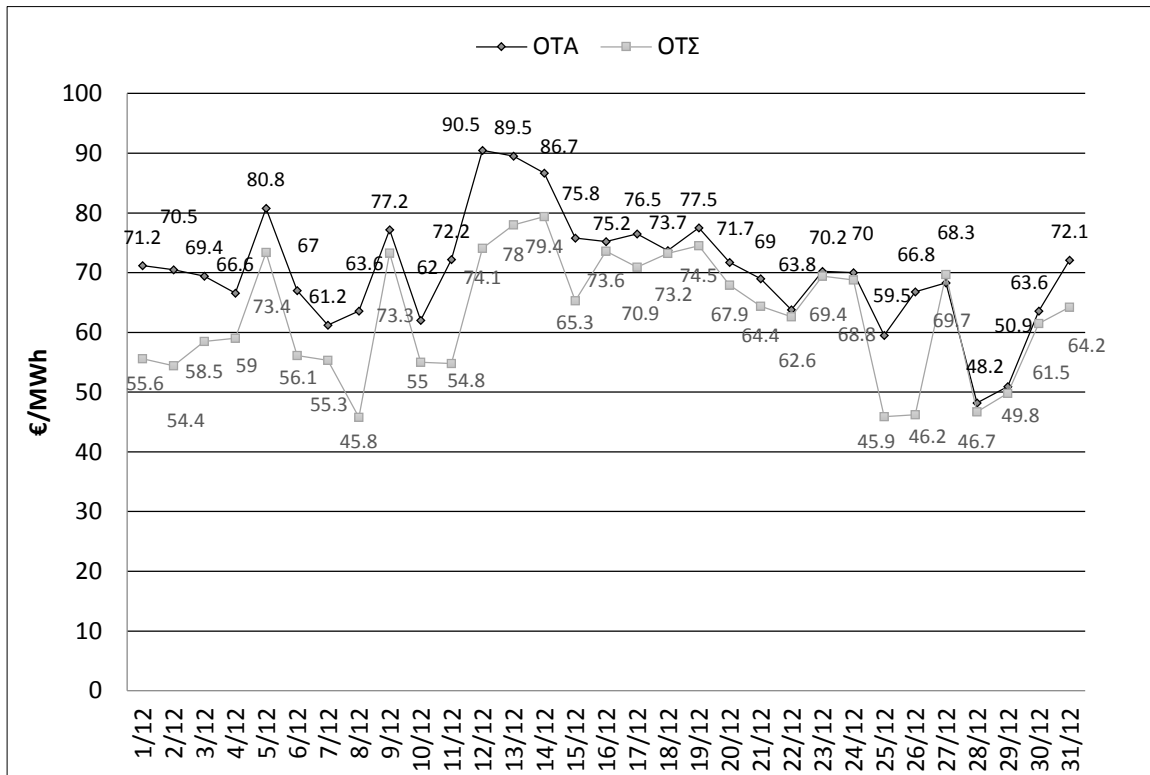
1.5.4.1.3 Διαδικασία Εκκαθάρισης Αποκλίσεων

Η Εκκαθάριση Αποκλίσεων περιλαμβάνει τη διευθέτηση των συναλλαγών με βάση τις Αποκλίσεις Παραγωγής – Ζήτησης, τις Επιβεβλημένες Μεταβολές Παραγωγής, τις Επικουρικές Υπηρεσίες και την Εφεδρεία Ενέργειας καθώς και τους Λογαριασμούς Προσαυξήσεων. Ενεργοποιείται από το ΛΑΓΗΕ μετά το τέλος της κάθε ημέρας κατανομής και ολοκληρώνεται εντός τεσσάρων (4) ημερολογιακών ημερών [18].

- Η Απόκλιση παραγωγής-ζήτησης υπολογίζεται μέσω ενός σύνθετου αλγορίθμου στον οποίο πρωτεύοντα ρόλο έχουν οι ακόλουθες ποσότητες:
 - ✓ η διαφορά μεταξύ της ποσότητας ΗΕ που έλαβε εντολή ο παραγωγός από το ΛΑΓΗΕ για έγχυση στο Σύστημα και της τελικής προσφερθείσας ποσότητας ΗΕ.
 - ✓ η διαφορά της τελικής προσφερθείσας ΗΕ από την ποσότητα που είχε αρχικά δηλώσει ο παραγωγός ότι μπορεί να προσφέρει κατά τη διαδικασία του ΗΕΠ.

Οι Αποκλίσεις αυτές εκκαθαρίζονται σε μια ενιαία τιμή (€/MWh) που ονομάζεται Οριακή Τιμή Αποκλίσεων (ΟΤΑ).

- Η Επιβεβλημένη Μεταβολή Παραγωγής σε MWh ορίζεται ως η διαφορά της ποσότητας ΗΕ που είχε αρχικά δηλώσει ο παραγωγός ότι μπορεί να προσφέρει κατά τη διαδικασία του ΗΕΠ, από την ποσότητα ΗΕ που έλαβε τελικά εντολή ο παραγωγός από το διαχειριστή για έγχυση στο Σύστημα. Οι Επιβεβλημένες Μεταβολές εκκαθαρίζονται σε διαφορετικές τιμές ανά Μονάδα.
- Κατά την Περίοδο Υπολογισμού Αποκλίσεων εκκαθαρίζονται, επίσης, οι συναλλαγές που σχετίζονται με τις Επικουρικές Υπηρεσίες και την Εφεδρεία Ενέργειας.



Σχήμα 1.16 Μέση ημερήσια OTS και OTA Δεκεμβρίου 2013 [10]

1.5.4.2 Μηχανισμός της Αγοράς Μακροχρόνιας Διαθεσιμότητας Ισχύος

Ο μηχανισμός της Αγοράς Μακροχρόνιας Διαθεσιμότητας Ισχύος έχει ως στόχο τη μείωση του επιχειρηματικού κινδύνου του παραγωγού, ο οποίος αποζημιώνεται για τμήμα του κόστους κεφαλαίου επένδυσης, αλλά και του προμηθευτή ο οποίος εξασφαλίζει την αποφυγή υπερβολικά υψηλών τιμών στην ημερήσια Αγορά Ενέργειας και Επικουρικών Υπηρεσιών (Χονδρεμπορική Αγορά), ακριβώς διότι μειώνεται ο βραχυχρόνιος κίνδυνος του παραγωγού. Δημιουργήθηκε για να εξασφαλίζει την επάρκεια και την ποιότητα της ΗΕ σε μακροχρόνια βάση ανταμείβοντας την αξιοπιστία κάθε Μονάδας παραγωγής ΗΕ.

Η Αγορά Μακροχρόνιας Διαθεσιμότητας Ισχύος υλοποιείται με την έκδοση από κάθε Παραγωγό Αποδεικτικών Διαθεσιμότητας Ισχύος (ΑΔΙ) που αντιστοιχούν στην πραγματική διαθεσιμότητα ισχύος

κάθε Μονάδας του, όπως αυτή προσδιορίζεται από το ΛΑΓΗΕ. Για παράδειγμα, μία Μονάδα με εγκατεστημένη ισχύ 300MW θα μπορούσε, μετά τον προσδιορισμό της διαθεσιμότητάς της από τον Διαχειριστή του Συστήματος, να εκδώσει ΑΔΙ για 250 MW.

Κάθε Προμηθευτής συνάπτει με τους Παραγωγούς Συμβάσεις διαθεσιμότητας Ισχύος (ΣΔΙ), με οικονομικούς όρους που συμφωνούνται μεταξύ τους, προκειμένου να καλύψουν την Υποχρέωση Επάρκειας Ισχύος που του αναλογεί.

Η Αγορά θεωρείται εξισορροπημένη (Balanced) όταν ισχύει η σχέση: $ΑΔΙ (MW) = ΣΔΙ (MW) + Απαιτούμενη Μακροχρόνια Εφεδρεία$.

2 Παραδοσιακό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

2.1 Εισαγωγή

Τα υπάρχοντα ΣΗΕ έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία 70 χρόνια και τροφοδοτούνται από μεγάλες κεντρικές μονάδες παραγωγής. Η ΗΕ μέσω Μ/Σ διοχετεύεται σε ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο ΥΤ, γνωστό και ως δίκτυο Μεταφοράς. Κάθε ξεχωριστή μονάδα παραγωγής, είτε πρόκειται για υδροηλεκτρικό εργοστάσιο, είτε λιγνιτική μονάδα, είτε πυρηνικό εργοστάσιο, χαρακτηρίζεται από μια μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ της τάξης τουλάχιστον του 1GW. Τις περισσότερες φορές το ΣΜ είναι επιφορτισμένο να μεταφέρει τις μεγάλες ποσότητες ΗΕ σε μεγάλες αποστάσεις. Στη συνέχεια η ΗΕ αυτή, μέσω δύο ή τριών σταδίων υποβιβασμού σε μετασχηματιστές των ΔΔ, διοχετεύεται στα δίκτυα των τελικών καταναλωτών.

Το τμήμα της παραγωγής της ΗΕ διαθέτει κατάλληλη τηλεπικοινωνιακή δικτύωση που του εξασφαλίζει αποδοτική λειτουργία, δυνατότητα εφαρμογής των κανόνων της αγοράς, διατήρηση ενός καλού επιπέδου ασφάλειας και, γενικότερα, την ολοκληρωμένη λειτουργία αυτού του τμήματος του Συστήματος. Επίσης διατίθενται συστήματα αυτόματου ελέγχου που εγγυώνται έως ένα βαθμό την εκτίμηση της συμπεριφοράς των μονάδων παραγωγής και του ΣΜ σε καταστάσεις σημαντικών διαταραχών.

Από την άλλη πλευρά, τα ΔΔ είναι ιδιαίτερα εκτεταμένα αλλά σχεδόν απόλυτα παθητικά, με ελάχιστη δυνατότητα επικοινωνίας και με ελάχιστο έλεγχο, και αυτόν τοπικά περιορισμένο. Αν εξαιρεθούν οι περιπτώσεις πολύ μεγάλων καταναλωτών (όπως οι μεταλλουργίες και τα χυτήρια αλουμινίου), δεν υπάρχει δυνατότητα εποπτείας σε πραγματικό χρόνο του επιπέδου της τάσης ή του ρεύματος ενός φορτίου. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των φορτίων και του ΣΗΕ περιορίζεται στην απλή εξασφάλιση κάλυψης των αναγκών των καταναλωτών σε ΗΕ.

Η λειτουργία του ΣΗΕ που προαναφέρθηκε χαρακτηρίζεται ως μη αποδοτική, ανελαστική και σίγουρα όχι οικονομική. Τα επιμέρους χαρακτηριστικά που είναι υπεύθυνα για αυτή τη λειτουργία θα αναλυθούν ακολούθως.

Η επανάσταση που έχει συντελεστεί στις τεχνολογίες επικοινωνίας, ειδικά όσον αφορά το Διαδίκτυο, παρέχει τη δυνατότητα για πολύ καλύτερη εποπτεία και έλεγχο των συστημάτων ΗΕ καθιστώντας τη λειτουργία τους αποδοτικότερη, οικονομικότερη και περισσότερο ευέλικτη [19].

2.2 Μοντέλα παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

2.2.1 Συγκεντρωτική παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ένα κοινό χαρακτηριστικό των περισσότερων διασυνδεδεμένων ΣΗΕ είναι η συγκεντρωτική παραγωγή της ΗΕ. Μεγάλες μονάδες είναι επιφορτισμένες να παράγουν την ΗΕ η οποία καταλήγει στους καταναλωτές μέσω των δικτύων μεταφοράς και διανομής.

2.2.1.1 Βασικό πλεονέκτημα της συγκεντρωτικής παραγωγής

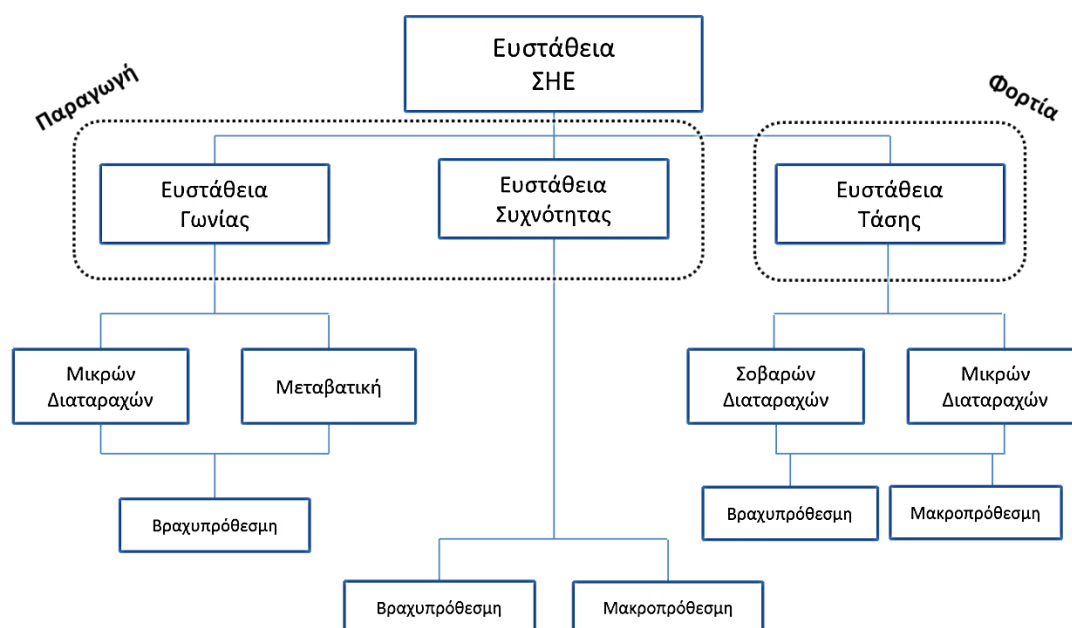
Η συγκεντρωτική παραγωγή παρουσιάζει ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα. Επιτυγχάνεται με σχετικά απλό και εύκολο τρόπο ένα καλό επίπεδο ευστάθειας στο ΣΗΕ. Οι βασικότερες παράμετροι της ευστάθειας ενός συστήματος είναι τα επίπεδα τάσης στο δίκτυο και η συχνότητα της. Οι μεγάλες μονάδες παραγωγής είναι εξοπλισμένες αποκλειστικά με σύγχρονες γεννήτριες μεγάλης ισχύος, οι οποίες είναι ο κύριος ρυθμιστής των ανωτέρω παραμέτρων [1] [2].

- *Διατήρηση της συχνότητας του δικτύου*

Η συχνότητα της τάσης του δικτύου επιβάλλεται να είναι η ίδια σε όλο το διασυνδεδεμένο σύστημα. Η διατήρηση της εξαρτάται από το ισοζύγιο ενεργού ισχύος της παραγωγής και της κατανάλωσης. Οι σύγχρονες γεννήτριες παρέχουν τη δυνατότητα να ανταποκρίνονται άμεσα στις ταχείες και βραδείες μεταβολές του φορτίου που έχουν αναλάβει να εξυπηρετούν μέσω ενός αυτόματου συστήματος ελέγχου κλειστού βρόχου, τον ρυθμιστή στροφών, ο οποίος, επιταχύνοντας ή επιβραδύνοντας την γεννήτρια, επιτυγχάνει την έξοδο της απαιτούμενης ισχύος.

- *Διατήρηση των επιπέδων της τάσης στο δίκτυο*

Η διατήρηση της τάσης εντός των επιτρεπόμενων ορίων περιπλέκεται από το γεγονός ότι η τάση δεν είναι ενιαία σε όλο το σύστημα με αποτέλεσμα η ρύθμιση της να μην γίνεται αποκλειστικά με ρύθμιση της λειτουργίας των γεννητριών. Εξίσου σημαντικός είναι ο ρόλος των μετασχηματιστών και των ειδικών διατάξεων ελέγχου ενεργού και αέργου ισχύος (διατάξεις πυκνωτών και πηνίων) σε διάφορα σημεία του δικτύου. Εντούτοις, οι μεγάλες σύγχρονες γεννήτριες είναι αυτές που επιβάλλουν και διατηρούν τα αρχικά επίπεδα τάσης. Το αυτόματο σύστημα ρύθμισης τάσης, είναι αυτό που διατηρεί σταθερό το μέτρο της τάσης στην έξοδο της γεννήτριας ρυθμίζοντας κατάλληλα το ρεύμα διέγερσης του δρομέα της γεννήτριας.



Σχήμα 2.1 Κατηγοριοποίηση μορφών ευστάθειας ΣΗΕ

2.2.1.2 Σημαντικά μειονεκτήματα της συγκεντρωτικής παραγωγής

Το μοντέλο λειτουργίας της συγκεντρωτικής παραγωγής χαρακτηρίζεται από πολύ αυξημένα κόστη:

- Κάθε στιγμή οι μονάδες συγκεντρωτικής παραγωγής πρέπει να καλύπτουν την συνολική ενεργειακή ζήτηση με τις εξής συνέπειες:
 - ✓ Τα ιδιαίτερα υψηλά κόστη επενδύσεων για νέες μονάδες ή για αναβάθμιση των ήδη υπάρχουσών. Η εγκατάσταση μιας μεγάλης μονάδας (άνω των 500MW) πρέπει να εντάσσεται στο μακροχρόνιο ενεργειακό προγραμματισμό σε επίπεδο κράτους αφού απαιτεί υψηλές επενδύσεις (κρατικές και ιδιωτικές) και ο χρόνος κατασκευής της είναι της τάξης των 5 χρόνων.
 - ✓ Τη λειτουργία των μονάδων σε ισχύ χαμηλότερη από την ονομαστική τους, περίπου στο 90%. Λειτουργούν, δηλαδή, με αρκετή στρεφόμενη εφεδρεία ώστε να μπορεί να καλυφθεί μια ενδεχόμενη στιγμιαία αύξηση της ζήτησης που δεν μπορεί να προβλεφθεί ή μια απότομη μείωση της παραγωγής ΗΕ, κυρίως των ΑΠΕ. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας επιφέρει μια μικρή αλλά σημαντική σπατάλη καυσίμων, διότι η βέλτιστη απόδοση της ηλεκτρικής ισχύος εξόδου σε σχέση με την κατανάλωση καυσίμου επιτυγχάνεται στα επίπεδα της ονομαστικής ισχύος κάθε γεννήτριας.
- Το ΣΜ είναι αρκετά εκτεταμένο, με γραμμές μήκους πολλών χιλιομέτρων. Αυτό έχει ως συνέπειες:
 - ✓ Το μεγάλο κόστος επενδύσεων σε ακριβό εξοπλισμό ΥΤ και ΥΥΤ (π.χ. γραμμές, μετασχηματιστές, μονωτήρες, ηλεκτρονικά ισχύος). Αναγκαστικά το ΣΜ λειτουργεί σε επίπεδα ΥΤ και ΥΥΤ για να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες μεταφοράς.
 - ✓ Το μεγάλο κόστος θερμικών απωλειών. Παρά τη λειτουργία υπό ΥΤ ή ΥΥΤ δεν είναι δυνατό να αποφευχθούν οι απώλειες ΗΕ επί ΓΜ τόσο μεγάλου μήκους. Σε περιπτώσεις αυξημένης ροής

ΗΕ επί των ΓΜ, αυξάνονται δραματικά τις θερμικές απώλειες, λόγω της έστω και μικρής αύξησης της έντασης του ρεύματος.

- ✓ Το αυξημένο κόστος επέκτασης και συντήρησης του δικτύου και αποκατάστασης βλαβών. Στην πλειοψηφία τους οι γραμμές του ΣΜ, διασχίζουν δύσβατες περιοχές όπου δεν υπάρχει κατάλληλο οδικό δίκτυο. Η επέκτασή του χρειάζεται μακροχρόνιο ενεργειακό σχεδιασμό και η κατασκευή όπως και η συντήρηση του απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και έχει υψηλό κόστος. Επιπλέον, η εποπτεία του είναι περιορισμένη. Αυτό κάνει δύσκολο και κοστοβόρο τον ακριβή εντοπισμό μιας βλάβης και την αποκατάστασή της.

Μια θεμελιώδους σημασίας μέθοδος που χρησιμοποιείται σήμερα για τη μελέτη των ΣΗΕ ονομάζεται Ανάλυση Ροής Φορτίου. Η ΑΡΦ υπολογίζει (κατά μέτρο και γωνία) τις άγνωστες τάσεις των ζυγών και τις άγνωστες ροές ισχύος (ενεργού και άεργου) στις γραμμές του ΣΗΕ, για μια συγκεκριμένη επιλογή ισχύος παραγωγής, τάσεων γεννητριών και φορτίων στους ζυγούς. Οι μελέτες ΡΦ είναι πολύ χρήσιμες για διάφορους λόγους, όπως για [3] [20]:

- την επιλογή του πλέον οικονομικού σημείου λειτουργίας των γεννητριών του συστήματος
- τη διατήρηση των τάσεων των ζυγών και των ροών στις γραμμές εντός προκαθορισμένων ορίων λειτουργίας
- τις μελέτες επέκτασης του συστήματος παραγωγής και μεταφοράς

Το πρόβλημα είναι ότι στις μελέτες ΡΦ κάθε υποδικτύου των σημερινών ΣΗΕ ορίζεται ένας ζυγός, ο ζυγός αναφοράς, ο οποίος στην πραγματικότητα αντιπροσωπεύει το σημείο σύνδεσης του υπό μελέτη υποδικτύου με το υπόλοιπο ΣΗΕ (το λεγόμενο άπειρο ΣΗΕ), ο οποίος είναι επιφορτισμένος με το ρόλο του ρυθμιστή. Από τον ζυγό αναφοράς απαιτείται να διατηρεί το μέτρο και τη γωνία της τάσης σταθερά, και να εγχέει ή να απορροφά την ισχύ που απαιτείται για να παραμένει το υποδίκτυο εντός των ορίων ευστάθειας. Στην πλειονότητα τους, οι ζυγοί αναφοράς των υποδικτύων είναι συνδεδεμένοι με τη σειρά τους με το ΣΜ ή τα ανώτερα επίπεδα των ΔΔ. Αυτό σημαίνει ότι το ΣΜ και ένα μέρος των ΔΔ έχουν κάθε στιγμή την ευθύνη να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των φορτίων των υποδικτύων (που συμπεριφέρονται στοχαστικά) και να διατηρούν τα επίπεδα τάσης και συχνότητας εντός των προδιαγραμμένων ορίων.

Η στοχαστικότητα και η ανελαστικότητα της ζήτησης από τη μια πλευρά, και η μη ελεγχόμενη παραγωγή εντός των ΔΔ (π.χ. βιομηχανικές γεννήτριες, ΑΠΕ) από την άλλη, καθιστούν ως μείζονος σημασίας τη λειτουργία του ΣΜ και των μεγάλων μονάδων συγκεντρωτικής παραγωγής για τη διατήρηση της ευστάθειας του ΣΗΕ. Η εξασφάλιση όμως της εύρυθμης λειτουργίας του ΣΗΕ απαιτεί συνεχώς νέες επενδύσεις. Επιπλέον, δεν δίνει τη δυνατότητα περιορισμού των απωλειών στη μεταφορά λόγω των μεγάλων ροών ΗΕ για μεγάλες αποστάσεις και προκαλεί μεγάλη κατανάλωση καυσίμων στις μεγάλες μονάδες παραγωγής.

2.2.2 Διεσπαρμένη παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Από τις αρχές του 1990 έχει αρχίσει να εμφανίζεται ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη σύνδεση μικρών μονάδων παραγωγής απευθείας στο ΔΔ. Το είδος αυτό της έγχυσης ενέργειας στο δίκτυο ονομάζεται Διεσπαρμένη Παραγωγή. Η ΔΠ αποτελεί την εναλλακτική προσέγγιση του προβλήματος της παραγωγής ΗΕ και διαφαίνεται ότι είναι ικανή να αποτελέσει την απάντηση στα μειονεκτήματα της συγκεντρωτικής παραγωγής. Από άποψη ισχύος, η ΔΠ κυμαίνεται κατά κανόνα σε ένα εύρος 1KW έως 100MW, ανά εγκατάσταση.

Οι εγκαταστάσεις που ανήκουν στη ΔΠ είναι οι ακόλουθες:

- Μονάδες ΑΠΕ, στις οποίες εντάσσονται [9]:

- *Τα Φ/Β συστήματα*

Αποτελούνται από συστοιχίες πάνελ πυριτίου που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική υπό συνεχή τάση (DC) και από κυκλώματα ισχύος-αντιστροφείς (inverters) που μετατρέπουν την συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη (AC), κατάλληλη για το δίκτυο. Συνήθως, η εγκατεστημένη ισχύ των Φ/Β συστημάτων κυμαίνεται συνήθως από μερικά KW έως μερικές εκατοντάδες MW στα πολύ μεγάλα Φ/Β πάρκα, τα οποία όμως λόγω της υψηλής ισχύος συνδέονται απευθείας στο ΣΜ και δεν περιλαμβάνονται στη ΔΠ.

- *Οι Α/Γ (αιολικά πάρκα)*

Αρχικά, μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε μηχανική μέσω ενός ρότορα με πτερύγια και, στη συνέχεια, σε ηλεκτρική μέσω μιας γεννήτριας. Η ονομαστική ισχύς μιας ανεμογεννήτριας κυμαίνεται συνήθως από 200 KW μέχρι 2MW, αλλά κατασκευάζονται και Α/Γ για υπεράκτια αιολικά πάρκα, με ονομαστική ισχύ έως και 8MW (αρκετές εταιρίες εργάζονται στην πιλοτική ανάπτυξη ανεμογεννητριών ισχύος 10MW). Η εγκατεστημένη ισχύς ενός αιολικού πάρκου κυμαίνεται από μερικά MW μέχρι 1-2 GW, με τις πολύ μεγάλες εγκαταστάσεις να μην εντάσσονται στη ΔΠ, αφού απαιτούν την σύνδεση απευθείας στο ΣΜ.

- *Οι μονάδες βιομάζας-βιοκαυσίμων*

Είναι μικρές μονάδες παρόμοιες με τις συμβατικές με τη διαφορά ότι ως καύσιμο χρησιμοποιούν βιομάζα ή βιοκαύσιμο. Η βιομάζα (οργανική ύλη) είναι φυτικά υπολείμματα (π.χ. από αγροτικές εργασίες, δασοκομία, πριονίδια, πυρήνα ελιάς), ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα) και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων. Τα βιοκαύσιμα είναι υγρά ή αέρια καύσιμα που παράγονται από βιομάζα. Τα κυριότερα είναι:

- ✓ το βιοντίζελ που παράγεται από φυτικά ή ζωικά έλαια και λίπη και είναι ποιότητας ντίζελ πετρελαίου
- ✓ η βιοαιθανόλη που παράγεται από την αλκοολική ζύμωση βιομάζας πλούσιας σε ζάχαρη
- ✓ το βιοαέριο που παράγεται από βιομάζα, όπως το αέριο που παράγεται σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού, και είναι ποιότητας φυσικού αερίου.

Οι μονάδες εντάσσονται στις ΑΠΕ επειδή δεν αλλοιώνουν το ισοζύγιο του CO₂ (η βιομάζα έχει δεσμεύσει το CO₂ που πρόκειται να εκπέμψει κατά την καύση της) και, επιπλέον, δεν παράγουν

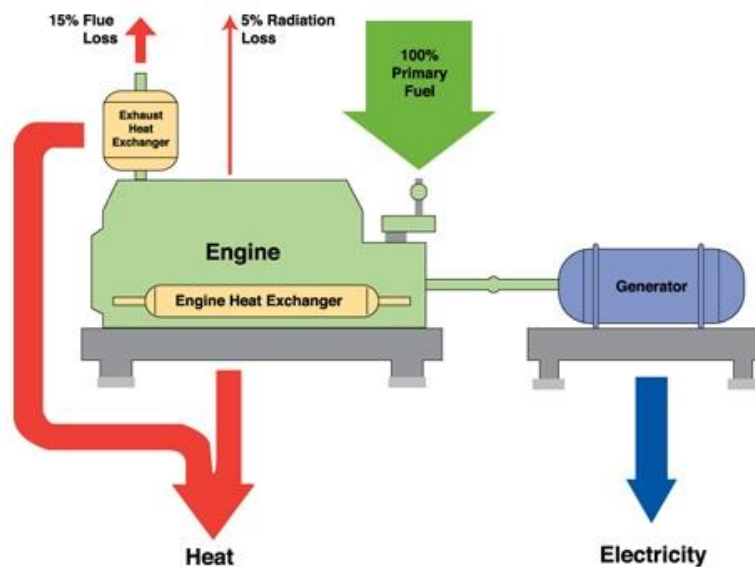
τοξικά καυσαέρια, όπως τα οξείδια του θείου και του αζώτου. Η εγκατεστημένη ισχύ τους ποικίλει από μερικά KW μέχρι μερικά MW.

- *Οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί*

Εκμεταλλεύονται την κινητική ενέργεια του νερού μετατρέποντας τη σε μηχανική και ακολούθως σε ηλεκτρική. Σε αντίθεση με τα μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια, οι μικροί σταθμοί εκμεταλλεύονται την φυσική ροή και τις φυσικές υδατοπτώσεις του νερού χωρίς την κατασκευή τεχνητών λιμνών και μεγάλων φραγμάτων. Επιπλέον, η εγκατεστημένη ισχύ τους φθάνει μέχρι τα 300KW. Τα μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια ανήκουν μεν στις ΑΠΕ αλλά δεν εντάσσονται στη ΔΠ λόγω της ισχύος τους που φθάνει τις εκατοντάδες MW, και της σύνδεσής τους στο ΣΜ. Άλλωστε η μεταφορά της ΗΕ από τα μεγάλα υδροηλεκτρικά ήταν η αιτία για την δημιουργία των πρώτων ΣΜ.

- Οι μονάδες Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού-Θερμότητας (ΣΗΘ)(CHP Cogeneration)

Στις μονάδες ΣΗΘ, η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε μηχανική και θερμική. Η μηχανική ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ΗΕ και η θερμική χρησιμοποιείται συνήθως για την παραγωγή ατμού, θερμού αέρα ή νερού. Το κύριο πλεονέκτημα της ΣΗΘ είναι η καλύτερη αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου του καυσίμου σε σύγκριση με τις απλές βιομηχανικές εγκαταστάσεις που παράγουν ατμό ή θερμό νερό για τις ανάγκες κάποιου σταδίου της παραγωγικής τους διαδικασίας (process heat) και ταυτόχρονα αγοράζουν το ρεύμα που χρειάζονται για άλλες διεργασίες από προμηθευτές ΗΕ. Επίσης, οι μονάδες ΣΗΘ αξιοποιούν καλύτερα το ενεργειακό περιεχόμενο του καυσίμου συγκριτικά με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής αποκλειστικά ρεύματος. Αν και στις μονάδες ΣΗΘ γίνεται συνήθως πρώτα η παραγωγή θερμότητας, είναι δυνατή η παραγωγή ΗΕ και ατμού (ή χρήσιμης θερμικής ενέργειας σε άλλη μορφή) με διαφορετική σειρά και σε διάφορες αναλογίες. Γενικά, με κριτήριο το αν η βιομηχανική μονάδα έχει μεγαλύτερες ανάγκες σε θερμότητα ή σε ρεύμα μπορεί να παράγεται πρώτα ΗΕ και να αξιοποιείται στην συνέχεια η θερμότητα, που σε άλλη περίπτωση θα αποβαλλόταν, για την παραγωγή ατμού ή θερμού νερού χρήσιμου σε κάποιο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας (topping-cycle-systems). Είναι δυνατό να συμβαίνει το αντίστροφο, δηλαδή να παράγεται πρώτα θερμότητα και, δευτερευόντως, από το περίσσειμά της, να παράγεται ΗΕ (bottoming-cycle-systems). Απλοποιημένα, τα συστήματα συμπαγωγής αποτελούνται από τρία βασικά μέρη, έναν κινητήρα για την οδήγηση μιας γεννήτριας (συνήθως αμοστρόβιλος, αεριοστρόβιλος ή σε μικρότερες εφαρμογές εμβολοφόρος μηχανή εσωτερικής καύσης), την ίδια τη γεννήτρια, και έναν μηχανισμό ανάκτησης θερμότητας που συνήθως περιλαμβάνει κάποιον λέβητα.



Σχήμα 2.2 Σχηματική αναπαράσταση μονάδας ΣΗΘ

2.2.2.1 Πλεονεκτήματα της ΔΠ

Η παραγωγή ΗΕ από εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας, συνδεδεμένες απευθείας στο ΔΔ παρουσιάζει πολλαπλά οφέλη, τα οποία συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Η παραγωγή ΗΕ στην περιοχή όπου καταναλώνεται ελαχιστοποιεί τις απώλειες μεταφοράς, όπως επίσης και το κόστος μεταφοράς, που αποτελούν ένα σημαντικό τμήμα (άνω του 30%) του συνολικού κόστους της παροχής ΗΕ.
- Η ΔΠ συμβάλλει στην αποσυμφόρηση των ήδη υπαρχόντων δικτύων.
- Επιτρέπει τη χρήση της θερμικής ενέργειας σε εφαρμογές συμπαραγωγής, αυξάνοντας έτσι τη συνολική απόδοση του συστήματος.
- Παρέχει πολλά πλεονεκτήματα στους καταναλωτές που έχουν θερμικά φορτία μέσω των εφαρμογών συμπαραγωγής καθώς επίσης και σε εκείνους που έχουν πρόσβαση σε φθηνά καύσιμα, όπως για παράδειγμα φυσικό αέριο, αλλά και σε εκείνους που ευνοούνται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής όπου είναι εγκατεστημένοι και είναι σε θέση να αξιοποιήσουν ανανεώσιμες πηγές
- Η εκτεταμένη χρήση των ΑΠΕ μειώνει την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων και τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου αλλά και τις επιβλαβείς εκπομπές όπως, ενδεικτικά, οξειδίων του θείου και του αζώτου (SOx/NOx), συνεισφέροντας έτσι με ουσιαστικό τρόπο στην προστασία του περιβάλλοντος
- Η ΔΠ καλύπτει ένα μεγάλο εύρος τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένου πολλών ανανεώσιμων τεχνολογιών που παρέχουν ηλεκτρική ισχύ μικρής κλίμακας σε θέσεις κοντά στη κατανάλωση. Όλες αυτές οι τεχνολογίες δημιουργούν νέες ευκαιρίες στην αγορά ΗΕ και αυξημένο βιομηχανικό ανταγωνισμό.
- Από την επενδυτική σκοπιά του θέματος είναι πρακτικά ευκολότερο να εξευρεθούν θέσεις εγκατάστασης για ΑΠΕ και άλλες ΔΠ σε σχέση με θέσεις εγκατάστασης μεγάλων εργοστασίων παραγωγής ΗΕ. Μάλιστα, είναι ευκολότερο και κυρίως ταχύτερο οι μονάδες αυτές να συνδεθούν

στο δίκτυο. Ο κίνδυνος των επενδύσεων κεφαλαίου μειώνεται, και αποφεύγονται οι περιττές δαπάνες.

2.2.2.2 Εμπόδια για την διείσδυση της ΔΠ

Μέχρι σήμερα η ΔΠ έχει μειωμένη διείσδυση στα ΣΗΕ διότι προσκρούει στους περιορισμούς και τις προδιαγραφές που σχετίζονται με την ευστάθεια των συστημάτων και την ποιότητα της παρεχόμενης ενέργειας.

Μια μονάδα παραγωγής ΗΕ πρέπει να συνδέεται στο δίκτυο με εξασφαλισμένη την τήρηση αυστηρών προδιαγραφών που αποσκοπούν στην ομαλή λειτουργία του δικτύου. Αυτές οι προδιαγραφές αφορούν [21]:

- Την επάρκεια των στοιχείων του δικτύου

Τα στοιχεία του δικτύου στο οποίο πρόκειται να συνδεθεί η εγκατάσταση παραγωγής πρέπει να μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες λειτουργίας και προστασίας του δικτύου και της εγκατάστασης. Τα βασικά στοιχεία είναι ο Υ/Σ που εξυπηρετεί την εγκατάσταση, οι Μ/Σ, οι γραμμές του δικτύου και τα μέσα ζεύξης και προστασίας

- Τη συμβολή στο ρεύμα βραχυκύκλωσης του σημείου σύνδεσης

Η ισχύς μιας μονάδας παραγωγής επηρεάζει την ισχύ βραχυκύκλωσης του δικτύου και, κατά συνέπεια, τα ρεύματα βραχυκύκλωσης που προκύπτουν σε ενδεχόμενα σφάλματα στο δίκτυο

- Τις αργές μεταβολές της τάσης

Έτσι ονομάζονται οι μεταβολές της τάσης μόνιμης κατάστασης του δικτύου που υπολογίζονται από την διακύμανση του μέσου όρου της τάσης σε διάστημα 10 min από την ονομαστική τιμή της τάσης. Οι μεταβολές αυτές μπορεί να οφείλονται σε αντίστοιχες διακυμάνσεις της ισχύος εξόδου των εγκαταστάσεων παραγωγής ή σε μεταβολές του φορτίου του δικτύου

- Τις ταχείες μεταβολές της τάσης

Έτσι αποκαλούνται οποιεσδήποτε ταχείες μεταβολές της τάσης που παρατηρούνται χρονικές κλίμακες έως μερικά δευτερόλεπτα. Ταχείες μεταβολές συμβαίνουν λόγω χειρισμών στις εγκαταστάσεις παραγωγής (π.χ. ζεύξη-απόζευξη, αλλαγή γεννητριών) αλλά και εξαιτίας της μεταβλητότητας της ισχύος εξόδου

- Τις εκπομπές flicker

Είναι το φαινόμενο της οπτικής ενόχλησης από την διακύμανση της φωτεινότητας (τρεμόπαιγμα) σε λαμπτήρες πυράκτωσης. Οφείλεται και αυτό σε διακυμάνσεις στην τάση που προκαλούν οι εγκαταστάσεις παραγωγής ΗΕ. Να σημειωθεί ότι οι κύριες πηγές εκπομπών έντονων flicker είναι οι Α/Γ.

- Τη δημιουργία αρμονικών συνιστωσών της τάσης και του ρεύματος

Η τάση και τα ρεύματα του δικτύου εμφανίζουν απόκλιση από την ιδεατή καθαρά ημιτονοειδή κυματομορφή. Οι εξάρσεις και οι βυθίσεις που εμφανίζονται στις κυματομορφές προσδίδουν πριονωτή μορφή είναι και αυτές μικρές κυματομορφές με αρμονικές συχνότητες πολλαπλάσιες της θεμελιώδους συχνότητας της τάσης ή του ρεύματος, οι οποίες μπορούν να εντοπιστούν και να αναλυθούν. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής και τα μη γραμμικά κυκλώματα ισχύος προκαλούν τη δημιουργία αρμονικών συνιστωσών που πρέπει να καταπιέζονται.

Παρά την τήρηση των ανωτέρω προδιαγραφών για τη σύνδεση των μονάδων παραγωγής, η σύνδεσή τους στο ΔΔ μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα. Τα προβλήματα αυτά είναι απόρροια της μορφής που έχει το ΔΔ που είναι συνήθως ακτινικό ή βροχοειδές που λειτουργεί ως ακτινικό και όχι διασυνδεδεμένο, με αποτέλεσμα η ροή ισχύος να είναι προς μια κατεύθυνση. Μεγάλο πρόβλημα επίσης, είναι η αδυναμία του διαχειριστή να εποπτεύει σε πραγματικό χρόνο τις ροές ενέργειας εντός των ΔΔ.

Οι κύριες δυσλειτουργίες είναι [19] [21]:

- υπερτάσεις σε περιπτώσεις όπου τα εξυπηρετούμενα φορτία είναι χαμηλά, με αποτέλεσμα να απαιτείται συντονισμένη λειτουργία των μονάδων και ειδικός εξοπλισμός όπως οι μετασχηματιστές με ΣΑΤΥΦ (Load Tap Changers, μεταβλητού λόγου μετασχηματισμού) για το συνεχή έλεγχο της τάσης
- μεταβολές της συχνότητας του ΣΗΕ, η οποία, όπως έχει ήδη αναφερθεί, εξαρτάται κάθε στιγμή από το ισοζύγιο παραγωγής- κατανάλωσης. Οποιαδήποτε απόκλιση από αυτή την ισορροπία μεταφράζεται είτε σε απόκλιση από την επιθυμητή συχνότητα του ευρωπαϊκού δικτύου των 50Hz, είτε σε μεγάλες ροές ισχύος στις γραμμές διασύνδεσης του τοπικού δικτύου με τα γειτονικά του, που επιφέρουν καταπόνηση του εξοπλισμού των ΔΔ

2.2.2.3 Περαιτέρω προβλήματα στη διείσδυση ΔΠ από ΑΠΕ

Το μεγαλύτερο και συνεχώς ραγδαία αναπτυσσόμενο κομμάτι της ΔΠ έχει σχέση με τις ΑΠΕ, κυρίως τις Α/Γ και τα Φ/Β συστήματα. Όμως η διείσδυση αυτών των δύο μορφών παραγωγής ΗΕ έχει φθάσει, πλέον, στα όρια της. Οι λόγοι της χαμηλής διείσδυσης ΑΠΕ είναι:

- Ένα βασικό πρόβλημα που εμφανίζουν οι εγκαταστάσεις που εκμεταλλεύονται την ηλιακή και την αιολική ενέργεια (και δεν το εμφανίζουν οι άλλες μορφές ΔΠ) είναι η μειωμένη δυνατότητα βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης της παραγωγής τους. Η στοχαστικότητα των καιρικών φαινομένων μεταφράζεται, αντίστοιχα, σε συνεχώς μεταβαλλόμενη ισχύ εξόδου των εγκαταστάσεων. Το χαρακτηριστικό αυτό δυσκολεύει το βραχυχρόνιο προγραμματισμό παραγωγής εκ μέρους του διαχειριστή.
- Η παραγωγή από τις μεγάλες κεντρικές εγκαταστάσεις, όπως οι λιγνιτικές μονάδες παραγωγής ΗΕ, παρουσιάζει χαμηλή ευελιξία. Οι μονάδες αυτές απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα έναυσης, της τάξης των 5h, και όταν εκκινήσουν δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε ποσοστό χαμηλότερο από 50%-65% της ονομαστικής τους ισχύος. Αυτός ο περιορισμός ονομάζεται Τεχνικό Ελάχιστο (Minimum Load) και οφείλεται στο ότι οι σύγχρονες γεννήτριες των μεγάλων αυτών μονάδων παραγωγής δεν μπορούν να λειτουργήσουν με φορτίο χαμηλότερο από το ανωτέρω ποσοστό διότι

απορρυθμίζονται, με αποτέλεσμα το ρεύμα που παράγουν εμφανίζει πολλές διακυμάνσεις. Αυτό έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην ευστάθεια του συστήματος που μπορούν να οδηγήσουν μέχρι και την ολική κατάρρευσή του (blackout).

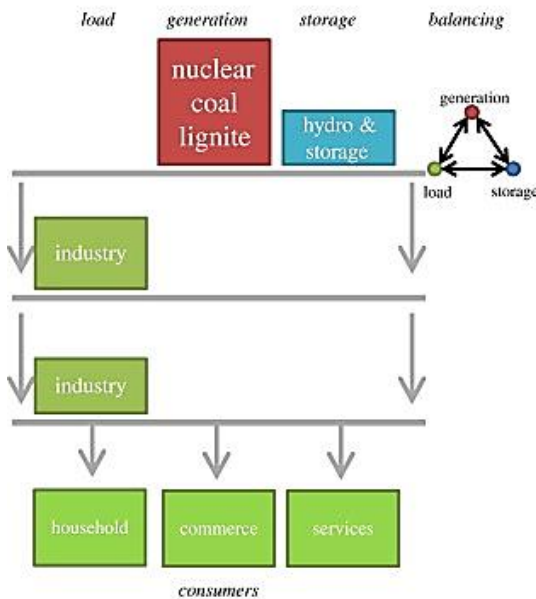
- Ορισμένοι παραγωγοί ΗΕ έχουν προσυμφωνημένη εγγυημένη απορρόφηση της παραγωγής τους (π.χ. Μονάδες Φυσικού Αερίου). Αυτό περιορίζει περαιτέρω τη διείσδυση των ΑΠΕ στη συνολική παραγωγή. Οι τρεις ανωτέρω λόγοι καθιστούν ιδιαίτερα δύσκολη τη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ παραγωγής και ζήτησης ΗΕ. Συνολικά, η διείσδυση των ΑΠΕ φθάνει σε ένα ποσοστό 30-40% ως προς την εγκατεστημένη ισχύ, ενώ είναι κάτω από το 20% ως προς την συνολική κατανάλωση ενέργειας και κάνουν τη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ παραγωγής και ζήτησης ιδιαίτερα δύσκολη.

2.2.2.4 Προϋποθέσεις για την αύξηση της διείσδυσης της ΔΠ

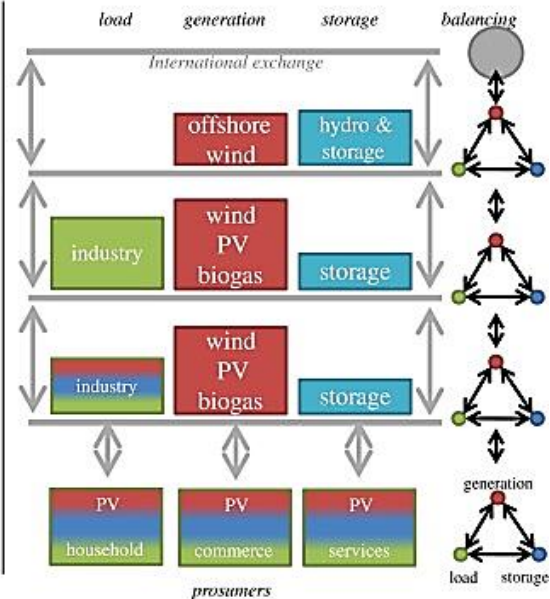
- Η βασική προϋπόθεση για την αύξηση της διείσδυσης της ΔΠ στα ΣΗΕ είναι η εισαγωγή εποπτείας και ελέγχου στα δίκτυα ΔΔ, ώστε να καταστεί εφικτή η αποφυγή των προαναφερθέντων προβλημάτων ευστάθειας. Τα τρέχοντα ΔΔ χαρακτηρίζονται από τον παθητικό τρόπο λειτουργίας τους, το χαμηλό επίπεδο αυτοματισμού και τις μειωμένες δυνατότητες κεντρικής διαχείρισης.
- Η αύξηση της ευελιξίας της παραγωγής αλλά, κυρίως, η εισαγωγή ευελιξίας και στη ζήτηση είναι απαραίτητες για το δυναμικό έλεγχο του ισοζυγίου παραγωγής και ζήτησης, που είναι κρίσιμος για την ευστάθεια και την αξιοπιστία του δικτύου.
- Ένας τρόπος περαιτέρω αύξησης της ευελιξίας της παραγωγής είναι ενσωμάτωση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (energy storage) και μικρών μονάδων παραγωγής με ικανότητα παροχής σταθερής ισχύος (π.χ. γεννήτριες ΣΥΘ, βιοκαυσίμων), για άμεση ανταπόκριση στη ζήτηση. Οι γεννήτριες αυτές πρέπει να έχουν αρκετή στρεφόμενη εφεδρεία, δηλαδή να λειτουργούν σε ποσοστό 70-80% της ονομαστικής τους ισχύος ώστε να μπορούν άμεσα να παρέχουν την πρόσθετη ισχύ.

Όμως, οι ανωτέρω λύσεις είναι οικονομικά ασύμφωρες. Πλέον, οι διαχειριστές των συστημάτων προσανατολίζονται στο να εφαρμόζουν μεθόδους που να εποπτεύουν και να ελέγχουν όχι μόνο την παραγωγή αλλά και την κατανάλωση ΗΕ. Η τάση για εξηλεκτρισμό των υπολοίπων τομέων κατανάλωσης ενέργειας και κυρίως των τομέων της θέρμανσης και των μεταφορών (φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων) αυξάνουν την ευελιξία των φορτίων και παρέχουν τη δυνατότητα ελέγχου μεγάλου μέρους της ζήτησης. Με τη μετατροπή μέρους της ζήτησης από ανελαστική σε ευέλικτη επιτυγχάνεται η διατήρηση της ευστάθειας του συστήματος χωρίς να υπάρχει ανάγκη εφεδρείας μέσω γεννητριών και χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του εξοπλισμού των δικτύων.

Top-down supply system (central control)



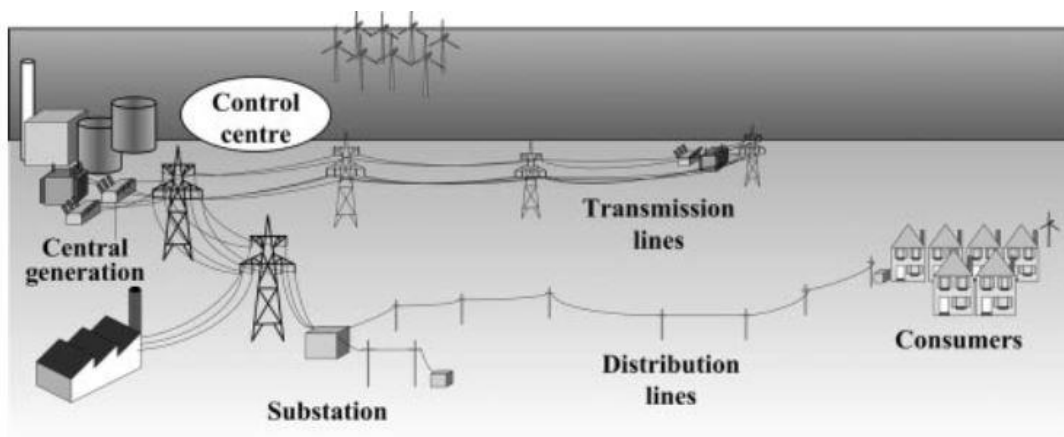
→ Multi-level exchange system (subsidiarity, shared responsibility)



Σχήμα 2.3 Μεταβολή του τρόπου διατήρησης της ισορροπίας παραγωγής και ζήτησης στο σύγχρονο δίκτυο [22]

2.3 Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, τα παραδοσιακά ηλεκτρικά δίκτυα τροφοδοτούνται από μεγάλες – κεντρικές μονάδες παραγωγής που εγχέουν ΗΕ στο δίκτυο μεταφοράς ΥΤ του διασυνδεδεμένου Συστήματος. Η ΗΕ μεταφέρεται συνήθως σε μεγάλες αποστάσεις πριν περάσει στο ΔΔ μέσω σειράς Μ/Σ διανομής, ενώ στο τελικό στάδιο φθάνει στα σημεία κατανάλωσης.



Σχήμα 2.4 Παραδοσιακό ΣΗΕ

Η εποπτεία και ο έλεγχος της παραγωγής καθώς και της μεταφοράς της ΗΕ μέχρι τους Υ/Σ διανομής πραγματοποιείται μέσω των συστημάτων SCADA.

Ο όρος SCADA είναι ακρωνύμιο του όρου Supervisory Control And Data Acquisition, που σημαίνει Εποπτικός Έλεγχος και Συλλογή Δεδομένων. Ένα τέτοιο σύστημα επιτρέπει στο χειριστή να εποπτεύει και να ελέγχει διεργασίες οι οποίες βρίσκονται κατανεμημένες μεταξύ διαφόρων απομακρυσμένων σημείων. Ένα σύστημα SCADA δεν είναι ένα πλήρες σύστημα ελέγχου αλλά πραγματοποιεί κυρίως εποπτεία του δικτύου και του συστήματος. Οι διαδικασίες που επιτελεί ένα σύστημα SCADA είναι η συλλογή των πληροφοριών, η αποστολή τους σε ένα κεντρικό σημείο επεξεργασίας, η εκτέλεση της απαραίτητης ανάλυσης και ελέγχου και, τέλος, η παρουσίαση της πληροφορίας σε οθόνες χειρισμού και εποπτείας, σε πραγματικό χρόνο ή κατ' απαίτηση. Ο έλεγχος μπορεί να είναι αυτόματος ή να ενεργοποιείται με εντολή του χειριστή.

Ένα σύστημα SCADA επιτρέπει στους χειριστές του να παρατηρούν και να ελέγχουν διαδικασίες με μεγάλη γεωγραφική εξάπλωση, από μια κεντρική τοποθεσία. Τα πλεονεκτήματα ενός SCADA γίνονται περισσότερο αισθητά όταν μια διαδικασία ή ένα σύστημα καλύπτει μια μεγάλη γεωγραφική έκταση. Αντί να αποστέλλεται προσωπικό σε διάφορα σημεία για μετρήσεις και ρυθμίσεις, η εποπτεία και ο έλεγχος του συστήματος μπορούν να πραγματοποιηθούν από απόσταση, και, κυρίως, με μεγάλες ταχύτητες απόκρισης.

Από άποψη υλικοτεχνικής υποδομής εκτός από το λογισμικό εποπτείας και ελέγχου, ένα σύστημα SCADA περιλαμβάνει ένα σύνολο αισθητήρων και διατάξεων μετατροπής, που είναι συνδεδεμένοι σε απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (Remote Terminal Units – RTUs). Οι RTUs επικοινωνούν μέσω κάποιας τηλεπικοινωνιακής υποδομής με ένα κεντρικό υπολογιστικό σταθμό όπου είναι εγκατεστημένο και το σύστημα ελέγχου του SCADA.



Σχήμα 2.5 Κεντρικός σταθμός Scada



Σχήμα 2.6 Εσωτερική εγκατάσταση RTU

- SCADA για το Σύστημα Μεταφοράς

Έχοντας δυνατότητα ελέγχου από απόσταση τα συστήματα SCADA ουσιαστικά είναι υπεύθυνα για τη σύνδεση όλων των στοιχείων του ΣΜ. Ελέγχουν τους Υ/Σ μεταφοράς καθώς και τις μονάδες παραγωγής κατά τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια του συστήματος. Ο κεντρικός έλεγχος αφορά τις γεννήτριες στις μονάδες παραγωγής ενώ ο τοπικός σχετίζεται με τους τοπικούς ελεγκτές που είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο της τάσης και της ροής ισχύος.

Όπως και το σύνολο των ευρωπαϊκών συστημάτων, το παραδοσιακό ελληνικό ΣΜ, αντιμετωπίζει μια σειρά προκλήσεων που πρέπει να αντιμετωπιστούν προκειμένου να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του. Η μεγάλη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής και η διακοπτόμενη λειτουργία των ΑΠΕ λόγω της εξάρτησης τους από τις κλιματικές συνθήκες προκαλούν μεγάλες αποκλίσεις στη δυνατότητα παραγωγής και απειλούν τη σταθερότητα του συστήματος. Είναι απαραίτητη η εποπτεία και η δυνατότητα ελέγχου του συνόλου του συστήματος καθώς και η επέμβαση σε πραγματικό χρόνο (real time) και όχι σε σχεδόν πραγματικό χρόνο (near real time) όπως γίνεται σήμερα, προκειμένου να αποφευχθούν καταστροφικές διακοπές στην παραγωγή και σημαντικές πτώσεις τάσης στις ΓΜ.

- SCADA για το Δίκτυο Διανομής

Παραδοσιακά, το ΔΔ είναι παθητικό με περιορισμένη δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του. Κάποια στοιχεία αυτοματισμού χρησιμοποιούνται όπως οι ΣΑΤΥΦ (on-load tap changers) και οι στατοί πυκνωτές (shunt capacitors) για τον έλεγχο της τάσης ή οι αυτόματοι διακόπτες για τη διαχείριση των σφαλμάτων. Όμως, η εποπτεία και ο έλεγχος αυτός προς το παρόν λειτουργεί μόνο σε τοπικό επίπεδο και δεν υπάρχει δυνατότητα ευρείας εποπτείας (wide area monitoring). Μέχρι τώρα, ήταν απαραίτητη η συνεχής επέμβαση των διαχειριστών του

συστήματος σε καταστάσεις κινδύνου με χειροκίνητες διαδικασίες, με αποτέλεσμα να εγκυμονούν σοβαροί κίνδυνοι.

Στη κατάσταση αυτή βρίσκεται το ελληνικό ΔΔ μέχρι και σήμερα καθώς μόλις τώρα βρίσκεται σε κίνηση το πλάνο για ενδεικτικούς χάρτες GIS αντί για τους ήδη υπάρχοντες χειρογραφικούς. Επίσης, το 2009 λειτούργησε σύστημα τηλεμέτρησης ΜΤ που διαχειρίζεται, όμως, μόνο το 23% της διανεμόμενης ενέργειας [23]. Η επικοινωνία γίνεται μέσω GSM/GPRS και αφορά 13.500 καταναλωτές/παραγωγούς ΜΤ. Προς την ίδια κατεύθυνση είναι και η δημιουργία νέων κέντρων ελέγχων διανομής (ΚΕΔΔ) στα οποία παρακολουθείται συνεχώς η κατάσταση λειτουργίας μέρους του ΔΔ και εκτελούνται τηλεχειρισμοί στα σημαντικά του στοιχεία τόσο εντός των Υ/Σ υποβιβασμού ΥΤ προς ΜΤ (Υ/Σ 150Kv/20-15-6.6kV) όσο και στα δίκτυα ΜΤ.

Αν και τα ανωτέρω βήματα αλλάζουν την εικόνα του δικτύου, παραμένει η ανάγκη για ελαχιστοποίηση των επιτόπιων μεταβάσεων για καταμέτρηση σε σημεία του δικτύου που δεν εποπτεύονται, για άμεσο εντοπισμό και απομόνωση των βλαβών και βελτίωση του χρόνου ανταπόκρισης σε βλάβες του ΔΔ. Για την ομαλότερη ένταξη της διεσπαρμένης παραγωγής καθώς και της νέας τεχνολογίας των ηλεκτροκίνητων οχημάτων, τεχνολογίας που επηρεάζει άμεσα την ποιότητα τάσης του ΔΔ, η διατήρηση της αξιοπιστίας και της ασφάλειας του δικτύου είναι σημαντικότερη από ποτέ .

- SCADA για τη Χαμηλή Τάση

Στη ΧΤ μέχρι σήμερα δεν υπάρχει η παραμικρή εποπτεία για μεγάλους ή μικρούς πελάτες. Το δεύτερο εξάμηνο του 2013 άρχισε η υλοποίηση του προγράμματος τηλεμέτρησης μεγάλων πελατών ΧΤ που περιλαμβάνει την κατασκευή του κύριου και του εφεδρικού Κέντρου Τηλεμέτρησης στις εγκαταστάσεις του ΔΕΔΔΗΕ, 60.000 μετρητές παροχών 85 kVA, 135 kVA και 250 kVA και 5.000 μετρητές παροχών 35 kVA και 55 kVA (επικοινωνία μέσω GSM/GPRS) [24]. Το πρόγραμμα αυτό θα παρουσιαστεί λεπτομερώς στη συνέχεια. Η εγκατάσταση εποπτείας και ελέγχου στο σύνολο του δικτύου ΧΤ είναι πολύ σημαντική τόσο για τους παρόχους όσο και για τους καταναλωτές. Στόχος του διαχειριστή του δικτύου είναι ένα πλήρες διασυνδεδεμένο δίκτυο μεταξύ καταναλωτών και παρόχων ΗΕ με αμφίδρομη επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο. Η εισαγωγή εποπτείας και ελέγχου στο δίκτυο ΧΤ είναι επιτακτική ανάγκη αν ληφθούν υπόψη ότι:

- ✓ Ο οικιακός τομέας είναι ο πλέον ενεργοβόρος στον τομέα της ΗΕ [25]
- ✓ Η απελευθέρωση της αγοράς ΗΕ προσφέρει στον καταναλωτή τη δυνατότητα να διαλέγει πάροχο και να προγραμματίζει την καθημερινή κατανάλωση ΗΕ με βάση τις προσφορές που λαμβάνει.
- ✓ Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα αποκτήσουν σημαντικό ποσοστό στην καθημερινή μας μετακίνηση.

2.4 Προβλήματα ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού

Στις περισσότερες χώρες, η ανάπτυξη των ΣΗΕ ξεκίνησε τη δεκαετία του '50. Ένα μεγάλο ποσοστό του εξοπλισμού που εγκαταστάθηκε τότε και σχετίζεται με τις ΓΜ, τους Υ/Π και τους Μ/Σ έχει υπερβεί το χρόνο ζωής του και χρειάζεται αλλαγή. Σε σημαντικό μέρος του ΣΜ, σε αντίθεση με το ΔΔ, έχουν γίνει επενδύσεις προς τον εκσυγχρονισμό του εξοπλισμού. Όμως, αυτό που κυρίως απαιτείται είναι η αξιοποίηση του ΣΜ με σύγχρονες τεχνικές και ευφυείς μεθόδους [19].

2.4.1 Προβλήματα γήρανσης εξοπλισμού

- **Κόστος αντικατάστασης**
Το κόστος που απαιτείται για αντικατάσταση του εξοπλισμού παλαιάς τεχνολογίας με ίδια μοντέλα (like-for-like replacement) είναι πολύ υψηλό και είναι αμφίβολο αν τα ανταλλακτικά επαρκούν και αν το εξειδικευμένο προσωπικό θα είναι διαθέσιμο λόγω συνταξιοδοτήσεων.
- **Δυσκολία στη διασύνδεση με ΑΠΕ**
Σε πολλές χώρες τα συστήματα εναέριων γραμμών μεταφοράς που χρειάζονται για να υποστηρίξουν τη διασύνδεση με ΑΠΕ εμφανίζουν σημαντικές καθυστερήσεις στην ανάπτυξή τους λόγω των δυσκολιών στην απόκτηση δικαιωμάτων και περιβαλλοντικών αδειών.
- **Περιορισμοί ισχύος**
Ορισμένες ΓΜ λειτουργούν κοντά στα όρια μεταφοράς ισχύος, με αποτέλεσμα να μη μπορούν να υποστηρίξουν την αύξηση του φορτίου ή τη σύνδεση με ΑΠΕ.

2.4.2 Θερμικοί περιορισμοί

Οι θερμικοί περιορισμοί των γραμμών και του εξοπλισμού του υπάρχοντος Συστήματος Μεταφοράς και των ΔΔ θέτουν ένα ανώτατο όριο στην ικανότητα μεταφοράς ΗΕ. Όταν ο εξοπλισμός μεταφέρει ρεύμα που υπερβαίνει τις θερμικές του αντοχές, προκαλείται υπερθέρμανση και η μόνωση καταστρέφεται ταχέως. Αυτό οδηγεί στη μείωση του χρόνου ζωής του εξοπλισμού του δικτύου και την αύξηση βλαβών και σφαλμάτων. Όταν σε μια εναέρια ΓΜ διέλθει ισχυρότερο ρεύμα από το προδιαγραφόμενο, οι αγωγοί επιμηκύνονται λόγω θερμικής διαστολής, η χαλάρωση της γραμμής αυξάνεται, και η απόσταση από έδαφος μειώνεται. Οποιαδήποτε μείωση στην απόσταση μεταξύ μιας εναέριας γραμμής και του εδάφους έχει σημαντικές συνέπειες τόσο στην αύξηση του πλήθους βλαβών όσο και στον κίνδυνο για τη δημόσια ασφάλεια. Οι θερμικοί περιορισμοί εξαρτώνται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες που, με τη σειρά τους, μεταβάλλονται δυναμικά.

2.4.3 Λειτουργικοί περιορισμοί

Κάθε ΣΗΕ λειτουργεί μέσα σε προκαθορισμένα όρια τάσης και συχνότητας. Αν η τάση υπερβεί το ανώτατο όριο, η μόνωση του εξοπλισμού του ΣΗΕ αλλά και των καταναλωτών μπορεί να καταστραφεί, προκαλώντας τοπικά σφάλματα. Αντίθετα, η πολύ μικρή τάση μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία στον εξοπλισμό των καταναλωτών καθώς αυξάνεται το ρεύμα και προκαλείται υπερφόρτωση ορισμένων γραμμών και γεννητριών.

Ως προς το ελληνικό ΣΜ πρέπει να σημειωθεί ότι έχουν ήδη γίνει σημαντικές επενδύσεις που αφορούν [26]:

- το δίκτυο ΥΥΤ που αποτελείται από τις τρεις εναέριες γραμμές διπλού κυκλώματος των 400kV
- τις διεθνείς διασυνδέσεις με τις γειτονικές χώρες
- το σχεδιασμό εγκατάστασης σύγχρονων ΚΥΤ “κλειστού τύπου” (όπως το ήδη ολοκληρωμένο ΚΥΤ Αλιβερίου)
- τη διαγωνιστική διαδικασία του έργου διασύνδεσης των Κυκλάδων με το ΣΜ

Το ότι ο Η/Μ εξοπλισμός των ΣΗΕ βρίσκεται σε διαδικασία ανανέωσης ή αναβάθμισης προσφέρει την ευκαιρία για αντικατάσταση μέρους του εξοπλισμού με εγκαταστάσεις ισχύος που ενσωματώνουν ηλεκτρονικά-ψηφιακά συστήματα ελέγχου και τεχνολογίες επικοινωνίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα σύγχρονου εξοπλισμού είναι τα ευέλικτα συστήματα μεταφοράς (FACTS), που αποτελούνται από συσκευές με ηλεκτρονικά ισχύος (π.χ. θυρίστορ GTO, τρανζίστορ I-GBT) και παρέχουν τη δυνατότητα ελέγχου πολλών παραμέτρων ευστάθειας, καθιστώντας αποδοτικότερη τη χρήση των υπάρχοντων πόρων των ΣΗΕ.

Τα ανωτέρω οδηγούν στην εφαρμογή ευφύων μεθόδων, αφενός για την αύξηση της ικανότητας μεταφοράς ΗΕ κατά δυναμικό τρόπο, και αφετέρου για την ανακατεύθυνση της ροής ισχύος μέσα από λιγότερο φορτωμένα δίκτυα.

2.5 Αξιοπιστία ΣΗΕ

Τις τελευταίες δυο δεκαετίες, σε πολλές χώρες του κόσμου εφαρμόζονται νομοθετικά πλαίσια με ιδιαίτερη μέριμνα ως προς την εξασφάλιση επαρκούς στάθμης αξιοπιστίας και ασφαλούς λειτουργίας των ΣΗΕ. Συγκεκριμένα, η Αξιοπιστία Λειτουργίας (Operational Reliability) των ΣΗΕ, όπως έχει καθιερωθεί να αποκαλείται, αναφέρεται στα εξής χαρακτηριστικά [27]:

- Επάρκεια του ΣΗΕ
Η ικανότητα του συστήματος να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των πελατών του (σε ισχύ, ενέργεια) λαμβάνοντας υπόψη τις τυχαίες βλάβες και τις προγραμματισμένες διακοπές (συντηρήσεις) του εξοπλισμού του.
- Ασφάλεια του ΣΗΕ
Ικανότητα του συστήματος να παραμένει σε λειτουργία μετά από ξαφνικές διαταραχές που μπορεί να συμβούν (π.χ. βραχυκύκλωμα, απώλεια εξοπλισμού, κλπ.). Πρέπει το σύστημα να μπορεί να

ανταποκρίνεται σε οποιαδήποτε φαινόμενα ή ενέργειες που μπορούν να προκαλέσουν τέτοιες διαταραχές (θεομηνίες, ανθρώπινα σφάλματα, κλπ.)

Με τις αλλαγές που υφίστανται τα ΣΗΕ στη δομή και τη λειτουργία τους, εγείρεται σημαντικό ερώτημα ως προς το αν διατηρείται η στάθμη Αξιοπιστίας Λειτουργίας των ΣΗΕ.

Για να εκτιμηθούν τα θέματα αξιοπιστίας που ανακύπτουν στο τρέχον ΣΗΕ, πρέπει να αναγνωριστούν οι κύριες θεσμικές αλλαγές στις οποίες υπόκειται. Το παλαιό μονοπωλιακό καθεστώς διαδέχεται ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον, στο οποίο εμπλέκονται: πολλοί ανεξάρτητοι παραγωγοί, η διαχωρισμένη διαχείριση ΣΜ και ΔΔ, πολλοί προμηθευτές ΗΕ, και περισσότερο απαιτητικοί καταναλωτές.

Η ενίσχυση της παραγωγής τείνει να γίνει εξαρτώμενη από τους νόμους της αγοράς και όχι από ένα κεντρικό σχεδιασμό επάρκειας της παραγόμενης ισχύος. Οι παραγωγοί διαθέτουν εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος αλλά δεν είναι υπεύθυνοι για τη συνολική επάρκεια, ενδιαφέρονται μόνο για την εξυπηρέτηση αναγκών που τους επιφέρουν κέρδος. Επιπλέον, η αύξηση των μονάδων παραγωγής από ΑΠΕ και των υπόλοιπων μορφών διασπαρμένης παραγωγής θέτουν με τη σειρά τους σε κίνδυνο την ευστάθεια του συστήματος, άρα και την Αξιοπιστία Λειτουργίας του.

Οι περιορισμοί στην επέκταση των ΣΜ και ΔΔ, τόσο λόγω των απαιτούμενων αυξημένων επενδύσεων, όσο και περιβαλλοντικών περιορισμών, επηρεάζουν δυσμενώς την Αξιοπιστία Λειτουργίας του ΣΗΕ.

Οι καταναλωτές από την πλευρά τους αναμένεται να εντείνουν τις πιέσεις τους για χαμηλότερες χρεώσεις και να απαιτούν αυξημένη αξιοπιστία. Οι απαιτήσεις αυτές στο πλαίσιο ενός ανταγωνιστικού περιβάλλοντος οδηγούν τους προμηθευτές ΗΕ σε προσπάθειες μείωσης του κόστους επενδύσεων και του κόστους λειτουργίας και συντήρησης των δικτύων για να συγκρατήσουν τα επίπεδα των τιμών. Η μη ελεγχόμενη περικοπή όμως των δαπανών αυτών μπορεί να αποβεί σε βάρος της αξιοπιστίας της παρεχόμενης ΗΕ [28].

Συνοπτικά, οι νέες συνθήκες που επικρατούν στα ΣΗΕ και επηρεάζουν την Αξιοπιστία Λειτουργίας σχετίζονται με τα παρακάτω [29]:

- Αύξηση ΔΠ, κυρίως ΑΠΕ
- Εξασφάλιση παροχής Φυσικού Αερίου στις νέες μονάδες
- Καθορισμός των απαιτήσεων για στρεφόμενη εφεδρεία
- Διασυνδέσεις με ΣΗΕ γειτονικών χωρών
- Πραγματική ικανότητα μεταφοράς ΗΕ του ΣΜ
- Δυνατότητες επέκτασης ΣΜ
- Περιβαλλοντικοί περιορισμοί
- Πάροχοι ΗΕ που λειτουργούν σύμφωνα με τους κανόνες της αγοράς
- Αύξηση της στάθμης αβεβαιότητας για την πρόβλεψη της ζήτησης φορτίου
- Αύξηση των απαιτήσεων των καταναλωτών για αξιόπιστη παροχή ΗΕ
- Αύξηση των απαιτήσεων των καταναλωτών για οικονομική παροχή ΗΕ

2.5.1 Απαίτηση για αλλαγή των αιτιοκρατικών κριτηρίων σχεδιασμού και λειτουργίας

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αξιοπιστίας ενός ΣΗΕ έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές και διατυπωθεί κριτήρια που εφαρμόζονται από τη φάση του σχεδιασμού έως και τη φάση λειτουργίας του συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη τους αντίστοιχους οικονομικούς και λειτουργικούς περιορισμούς που υπάρχουν κατά περίπτωση. Οι νέες συνθήκες λειτουργίας των ΣΗΕ που προαναφέρθηκαν καθώς και τα θεσμικά πλαίσια ανταγωνισμού που θεσπίζονται, καθιστούν άμεση την ανάγκη για αναθεώρηση των κριτηρίων που αφορούν την αξιοπιστία και των επιστημονικών μεθόδων για την εξασφάλιση της. Δύο είναι οι μέθοδοι προσέγγισης των θεμάτων αξιοπιστίας. Η αιτιοκρατική και η πιθανοτική ανάλυση [29].

2.5.1.1 Αιτιοκρατική Ανάλυση (*Deterministic Analysis*)

Τα πρώτα κριτήρια που εφαρμόστηκαν σε πραγματικά συστήματα ήταν αιτιοκρατικά καθορισμένα ενώ πολλά από αυτά βρίσκουν εφαρμογή ακόμη και σήμερα. Αφορούν κατά κύριο λόγο τον καθορισμό της στάθμης στρεφόμενης εφεδρείας η οποία απαιτείται για την αντιμετώπιση έκτακτων καταστάσεων απώλειας παραγωγής. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η απαιτούμενη στρεφόμενη εφεδρεία καθορίζεται από ένα συγκεκριμένο ποσοστό του φορτίου ή από την απώλεια της μονάδας με τη μεγαλύτερη παραγωγή. Γενικότερα, σε μια αιτιοκρατική διαδικασία ανάλυσης, η απόδοση του εκάστοτε υπό εξέταση συστήματος υπολογίζεται για αρκετά διαφορετικά σενάρια που αντιπροσωπεύουν διαφορετικές λειτουργικές συνθήκες που θεωρούνται κρίσιμες και παρουσιάζουν συγκεκριμένη πιθανότητα εμφάνισης.

Η κύρια αδυναμία των αιτιοκρατικών κριτηρίων εντοπίζεται στο γεγονός ότι δεν ανταποκρίνονται ούτε απεικονίζουν την πιθανοτική συμπεριφορά του συστήματος, της ζήτησης φορτίου ή των βλαβών των στοιχείων του συστήματος. Η αιτιοκρατική ανάλυση αναγνωρίζει την έκβαση των κρίσιμων καταστάσεων ή των καταστάσεων κινδύνου στις οποίες μπορεί να εκτεθεί το σύστημα, διαβαθμίζοντας παράλληλα τις καταστάσεις αυτές ανάλογα με τη σοβαρότητά τους. Μία τέτοια κατάσταση κινδύνου, όμως, όσο ανεπιθύμητη και αν είναι, έχει πρακτικά μικρές συνέπειες αν η πιθανότητα να συμβεί είναι πολύ μικρή, με αποτέλεσμα να μπορεί να αμεληθεί. Ο σχεδιασμός των συστημάτων που στηρίζονται σε τέτοιες μελέτες κινδύνου μπορεί να οδηγήσει σε υπερδιαστασιολόγηση του συστήματος. Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση κατά την οποία ο σχεδιασμός του συστήματος βασίζεται σε μια αιτιοκρατική ανάλυση στην οποία οι καταστάσεις κινδύνου που μελετώνται παρουσιάζουν μεγάλη πιθανότητα να συμβούν αλλά δεν έχουν σημαντικές επιπτώσεις, το επίπεδο ασφαλούς λειτουργίας του συστήματος θα περιορίζεται σε χαμηλά επίπεδα.

Συνοπτικά, η αιτιοκρατική ανάλυση για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας ενός ΣΗΕ θεωρείται παρωχημένη λόγω των ακόλουθων χαρακτηριστικών [27]:

- Έχει στατικό χαρακτήρα (ικανοποίηση ή μη ικανοποίηση κάποιου κριτηρίου)
- Δεν λαμβάνεται υπόψη ότι οι βλάβες των στοιχείων του συστήματος μπορούν να συμβούν με διαφορετικές τιμές συχνότητας και έχουν διαφορετικές επιπτώσεις

- Δεν λαμβάνεται υπόψη η μεταβολή της ζήτησης φορτίου κατά τη διάρκεια του έτους
- Δεν υπολογίζονται δείκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μελέτες αξιολόγησης εναλλακτικών σχεδιασμών.

2.5.1.2 Πιθανοτική Ανάλυση (Probabilistic Analysis)

Η ανάγκη για την πιθανοτική εκτίμηση της συμπεριφοράς ενός συστήματος έχει προκύψει αρκετές δεκαετίες πριν. Ωστόσο, η έλλειψη δεδομένων, οι περιορισμένες δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, η άγνοια της σημασίας των αποτελεσμάτων που προέκυπταν, ακόμα και η αποστροφή απέναντι στη χρήση πιθανοτικών τεχνικών αποτελούν τους σημαντικότερους λόγους για τους οποίους τέτοιες μέθοδοι δεν χρησιμοποιήθηκαν ευρέως στο παρελθόν. Τα προβλήματα αυτά σήμερα έχουν επιλυθεί με αποτέλεσμα οι περισσότεροι σχεδιαστές να έχουν γνώση τέτοιων μεθόδων και να τις χρησιμοποιούν σε ευρεία κλίμακα. Οι μέθοδοι αυτές αναφέρονται κυρίως στην εκτίμηση της αξιοπιστίας του συστήματος και στην πρόβλεψη του φορτίου, ενώ γενικότερα καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα των θεμάτων που σχετίζονται με τα ΣΗΕ, όπως είναι η ανάλυση των ροών φορτίου, των βραχυκυκλωμάτων κτλ. Η βασική αρχή των μεθόδων πιθανοτικής ανάλυσης είναι ότι τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συμπεριφέρονται στοχαστικά και οι καταστάσεις στις οποίες βρίσκονται περιγράφονται κατά στατιστικό τρόπο. Οι πιθανοτικές τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί όχι μόνο αναγνωρίζουν τη σοβαρότητα μιας κατάστασης και την επίδραση της στη λειτουργία του συστήματος, αλλά υπολογίζουν και τη πιθανότητα εμφάνισής της. Παράλληλα, με κατάλληλο συνδυασμό μεγεθών που σχετίζονται με την διάρκεια, την συχνότητα και το σημείο εμφάνισης των σφαλμάτων προκύπτουν δείκτες οι οποίοι απεικονίζουν κατά στατιστικό τρόπο την κατάσταση κινδύνου στην οποία είναι δυνατό να ευρεθεί το σύστημα. Οι βασικότεροι από αυτούς τους δείκτες:

- Δείκτης Μέσης Διάρκειας Διακοπών του πελάτη ώρες/έτος (Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI))
- Δείκτης Μέσης Διάρκειας Διακοπών του συστήματος ώρες/έτος (System Average Interruption Duration Index (SAIDI))
- Δείκτης Συχνότητας Διακοπών του πελάτη σε γεγονότα/έτος (Customer Average Interruption Frequency Index (CAIFI))
- Δείκτης Συχνότητας Διακοπών του συστήματος σε γεγονότα/έτος (System Average Interruption Frequency Index (SAIFI))
- Δείκτης διαθεσιμότητας ισχύος του συστήματος σε ώρες/έτος (Average Service Availability Index (ASAI))

Οι νέες συνθήκες που επικρατούν στην ανάπτυξη και τη λειτουργία των σύγχρονων ΣΗΕ οδήγησαν στην επικράτηση της πιθανοτικής ανάλυσης και την υιοθέτηση των αντίστοιχων κριτηρίων για την εξασφάλιση της αξιόπιστης λειτουργίας τους.

2.6 Ανελαστική τιμολόγηση

Σήμερα, η τιμολόγηση του ηλεκτρισμού γίνεται με βάση την κατανάλωση (κλιμακωτή χρέωση) χωρίς να διαχωρίζεται η ώρα της κατανάλωσης τόσο στη ΧΤ όσο και τη ΜΤ. Δεν λαμβάνεται, δηλαδή, υπόψη ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της ΗΕ που είναι η στιγμιαία ισχύς του φορτίου του καταναλωτή. Η παραμικρή αύξηση των αιχμών του φορτίου ενός δικτύου επιφέρει αυξημένα κόστη στη πλευρά της προσφοράς ΗΕ, τα οποία μετακυλιούνται στους καταναλωτές. Η επιβάρυνση των καταναλωτών είναι δυσανάλογη, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το πότε γίνεται η κατανάλωση ΗΕ. Εξαίρεση αποτελεί ο διαχωρισμός σε ημερήσιο και νυχτερινό τιμολόγιο. Συνεπώς, δεν υπάρχει η δυνατότητα ευέλικτης και δυναμικής τιμολόγησης προσαρμοσμένης κατά περίπτωση στις ανάγκες της αγοράς ΗΕ και των καταναλωτών της. Χωρίς τη δυνατότητα ευέλικτης και δυναμικής τιμολόγησης δεν μπορεί να υπάρξει κινητροδότηση προς τους χρήστες για αλλαγή της συμπεριφοράς κατανάλωσης ΗΕ. Ως εκ τούτου, καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολη η εφαρμογή πολιτικών διαχείρισης φορτίου (load management) και εξοικονόμησης ενέργειας (energy efficiency) από τους προμηθευτές ΗΕ όπως:

- η μετατόπιση φορτίου εκτός των ωρών αιχμής (load shifting)
- η εξομάλυνση των αιχμών του φορτίου (peak shaving)
- η απόκριση της ζήτησης (D-R).

Επιπλέον, ο σημερινός τρόπος καταγραφής των μετρήσεων κατανάλωσης ΗΕ δεν εξαλείφει το ενδεχόμενο σημαντικών αποκλίσεων από την πραγματική κατανάλωση είτε λόγω μη ορθής λειτουργίας του αναλογικού μετρητή είτε λόγω ανθρώπινου λάθους στην καταγραφή των ενδείξεων. Επιπλέον, σημαντικές αποκλίσεις ενδέχεται να εμφανίζονται και στους προκαταβολικούς λογαριασμούς οι οποίοι δεν υπολογίζονται βάσει της πραγματικής κατανάλωσης αλλά κατόπιν στατιστικής επεξεργασίας των προηγούμενων εκκαθαριστικών λογαριασμών.

Στην αντιμετώπιση των ανωτέρω προβλημάτων θα συμβάλει αποφασιστικά η εγκατάσταση των έξυπνων μετρητών. Με τα νέα μετρητικά συστήματα, η καταγραφή και συλλογή των δεδομένων γίνεται ακριβέστερη, ασφαλέστερη και αυτοματοποιημένη, με άμεσο αντίκτυπο στην αμεσότητα, την ακρίβεια και την ευελιξία της τιμολόγησης, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

3 Μελλοντικές προκλήσεις και ενεργειακές πολιτικές

3.1 Κλιματική αλλαγή και προκλήσεις περιορισμού των αερίων του θερμοκηπίου: το Πρωτόκολλο Κιότο

Η ανθρώπινη δραστηριότητα συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή μέσω των αλλαγών που προκαλεί στην ατμόσφαιρα της γης, και συγκεκριμένα στις ποσότητες των αερίων του θερμοκηπίου και των αερολυμάτων (aerosols). Η καύση στερεών καυσίμων, η οποία απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα CO₂ στην ατμόσφαιρα, αποτελεί τον πιο σημαντικό επιβαρυντικό παράγοντα. Τα αέρια του θερμοκηπίου και τα αερολύματα επηρεάζουν το κλίμα τροποποιώντας την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και την εξερχόμενη θερμική ακτινοβολία, οι οποίες είναι μέρος του ενεργειακού

ισοζυγίου της γης. Η μεταβολή της ποσότητας ή των ιδιοτήτων αυτών των αερίων και σωματιδίων μπορεί να οδηγήσει σε μια θέρμανση ή ψύξη του κλιματικού συστήματος. Η σταθεροποίηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα απαιτεί τη μείωση των εκπομπών αυτού σε επίπεδο αρκετά χαμηλότερο από αυτό που εκπέμπεται σήμερα.

Τα κράτη μέλη της διεθνούς κοινότητας για να αντιμετωπίσουν το παραπάνω φαινόμενο έφθασαν στην υπογραφή του Πρωτοκόλλου του Κιότο, που προβλέπει μια σειρά από μέτρα που πρέπει να ληφθούν για την αντιμετώπιση της παγκόσμιας απειλής της κλιματικής αλλαγής. Η ΕΕ με τη σειρά της, έχοντας θέσει την προστασία του κλίματος ως πρωταρχικό της στόχο, στα πλαίσια μίας κλιμακούμενης ανάπτυξης και προόδου και δεσμευμένη από το Πρωτόκολλο του Κιότο, έλαβε μια σειρά από πολιτικά και νομικά μέτρα με σημαντικότερο από αυτά τη δημιουργία του Ευρωπαϊκού Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου.

Συγκεκριμένα η παγκόσμια κοινότητα δεσμεύτηκε να σταθεροποιήσει τις εκπομπές CO₂ στα επίπεδα του 1990 και μέσω του Πρωτοκόλλου του Κιότο να μειώσει τις εκπομπές αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 5,2% έως την περίοδο 2008-2012 σε σχέση με τις εκπομπές του 1990. Αντίστοιχα η ΕΕ όφειλε να μειώσει τις εκπομπές ρύπων κατά 8% σε σχέση με τα επίπεδα του έτους βάσης.

Ως προς την εξέλιξη των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τους στόχους του Πρωτοκόλλου του Κιότο, αξίζει να σημειωθεί ότι τα περισσότερα κράτη-μέλη της ΕΕ-15 βρίσκονται εντός του στόχου που έχει τεθεί για καθένα από αυτά. Από τις παλαιές χώρες-μέλη, οκτώ (μεταξύ τους και η Ελλάδα) έχουν ήδη υπερκαλύψει τους στόχους τους βάσει του Κιότο, ενώ επτά απέχουν ακόμη. Για την Ελλάδα, ο στόχος του Πρωτοκόλλου του Κιότο είναι να περιορίσει στο 25% την αύξηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου μεταξύ του έτους βάσης και της περιόδου 2008-2012. Το 2011, το επίπεδο των εκπομπών ήταν μόνο κατά 7,5% υψηλότερο από ό,τι το έτος βάσης (δηλαδή εντός του στόχου), εξέλιξη που εν μέρει αντανακλά και την υποχώρηση της οικονομικής δραστηριότητας, ενώ το 2012 αυξήθηκε βάσει προσωρινών εκτιμήσεων κατά 1,2%, παραμένοντας εντός στόχου.

| Στοιχεία 2011 | | | | | | | |
|---------------|--|--------------------------------|---------|------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------|
| Χώρες | 1990 | Πρωτόκολλο Κιότο (έτος βάσης*) | 2011 | Μεταβολή 2010-2011 | Μεταβολή 1990-2011 | Μεταβολή έτους βάσης - 2011 | Στόχοι Κιότο 2008-2012 |
| | σε εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου CO ₂ | | | εκατοστιαίες μεταβολές | | | |
| Ελλάδα | 104,6 | 107 | 115 | -1,9 | 10 | 7,5 | 25 |
| ΕΕ-15 | 4.254,5 | 4.265,50 | 3.630,7 | -4,2 | -14,70 | -14,90 | -8 |

Πίνακας 3.1 Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και στόχοι του Πρωτοκόλλου του Κιότο [30]

* Για τα αέρια CO₂, CH₄, N₂O το σύνολο των χωρών-μελών επέλεξε ως έτος βάσης το 1990. Για τα αέρια HFC, PFC, SF₆ 12 χώρες-μέλη επέλεξαν το 1995 ως έτος βάσης, ενώ η Αυστρία, η Γαλλία και η Ιταλία επέλεξαν το 1990

Σχετικά με την προέλευση των εκπομπών αερίων οι δραστηριότητες που έχουν σχέση με την ενέργεια αποτελούν τη μεγαλύτερη πηγή αερίων του θερμοκηπίου, με ποσοστό 79% το 2011 για την ΕΕ-27 (3.614 εκατ. τόνοι ισοδυνάμου CO₂). Δεύτερη σε σπουδαιότητα πηγή αερίων του θερμοκηπίου, μετά την ενέργεια, είναι η γεωργία με μερίδιο 10% (461 εκατ. τόνοι ισοδυνάμου CO₂), ενώ ακολουθούν οι

βιομηχανικές διεργασίες και τα απόβλητα, με μερίδια 7% και 3% (332 και 133 εκατ. τόνοι ισοδυνάμου CO₂ αντίστοιχα). [30]

Για τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂ από τη βιομηχανία ΗΕ βασιζόμαστε σε δύο βασικές προσεγγίσεις:

- Στις άμεσες εκπομπές CO₂ που παράγονται από την χρήση καυσίμων υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Στις έμμεσες εκπομπές CO₂, που συμπεριλαμβάνουν κάθε προσπάθεια που γίνεται για να λειτουργήσει τελικά ο σταθμός παραγωγής (παρασκευή μηχανημάτων και εγκατάσταση εξοπλισμού). Ακόμα και οι ενέργειες κατεδάφισης, απόσυρσης, ανακύκλωσης κλπ. λαμβάνονται υπόψη, δεδομένου ότι μπορεί να είναι σημαντικές, ειδικά για τις πυρηνικές εγκαταστάσεις.

Το ακριβές ποσό των εκπομπών ενός σταθμού παραγωγής (σε gCO₂/kWh ΗΕ που αποδίδεται στο δίκτυο) εξαρτάται τελικά από τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται και από το συνολικό βαθμό απόδοσης του σταθμού. Το σημείο λειτουργίας, οι καιρικές συνθήκες και ειδικά η εξωτερική θερμοκρασία καθορίζουν σε ένα μεγάλο βαθμό την απόδοση του σταθμού παραγωγής. Ένα σημαντικό μέρος της απόδοσης εξαρτάται επίσης από τις ενεργειακές ανάγκες του σταθμού για τη λειτουργία του (ιδιοκατανάλωση) και για την επεξεργασία του καυσίμου. Για παράδειγμα, σταθμοί παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούν λιγνίτη ή τύρφη απαιτούν ένα σημαντικό ποσό ενέργειας για να αφαιρεθεί η υγρασία από το καύσιμο.

Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται τιμές των εκπομπών ανά kWh οι οποίες προκύπτουν είτε από μετρήσεις είτε από εκτιμήσεις, για διαφορετικά καύσιμα και τεχνολογίες.

| Καύσιμο/ Τεχνολογία | Εκπομπές CO ₂ (gCO ₂ /kWh) |
|-----------------------------------|--|
| Λιγνίτης | 1050 |
| Φυσικό Αέριο (Ανοικτού Κύκλου) | 443 |
| Αργό Πετρέλαιο | 778 |

Πίνακας 3.2 Εκπομπές CO₂ για σταθμούς παραγωγής διαφορετικών τεχνολογιών και καυσίμων. Οι τιμές ισχύουν για ονομαστική φόρτιση [31]

3.2 Προκλήσεις της Ευρωπαϊκής και εγχώριας ενεργειακής πολιτικής

Χαρακτηριστικό στοιχείο της ενεργειακής πολιτικής παγκοσμίως, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών, αποτελεί η τάση συρρίκνωσης των εθνικών πολιτικών. Η βαθμιαία απελευθέρωση και ευρύτερη ενοποίηση περιφερειακών και εθνικών αγορών ενέργειας είναι στόχοι που βρίσκουν κοινή αποδοχή ενώ ταυτόχρονα επιβάλλουν κοινούς κανόνες λειτουργίας.

Αντίστοιχο είναι το πλαίσιο διαμόρφωσης της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Πολιτικής, όπου οι βασικοί άξονες αποσκοπούν στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού, στο μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και στην εξασφάλιση της ανταγωνιστικότητας.

Κύρια κατεύθυνση της νέας Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Στρατηγικής, όπως διαμορφώνεται σήμερα, είναι ο «εξευρωπαϊσμός» και η ενοποίηση της ενεργειακής πολιτικής μέσω της αντιμετώπισης σημαντικών προκλήσεων, όπως :

- *Η Ενεργειακή Ασφάλεια*
Οι εισαγωγές της Ε.Ε. αυξάνονται σταθερά, ενώ η παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου μειώνεται συνεχώς.
- *Η Κλιματική αλλαγή*
Οι χαμηλών εκπομπών άνθρακα ενεργειακές πηγές και τεχνολογίες εξελίσσονται με αργό ρυθμό.
- *Οι Τιμές ενέργειας*
Οι τιμές ενέργειας παρουσιάζουν διακυμάνσεις και επηρεάζονται από την οικονομική αβεβαιότητα, τις τεχνολογικές εξελίξεις και την πολιτική αστάθεια.
- *Οι Διεθνείς εξελίξεις*
Οι αναπτυσσόμενες χώρες απορροφούν όλο και μεγαλύτερο ποσοστό των παγκόσμιων αποθεμάτων σε ορυκτά καύσιμα.

αλλά και δύο νέων συνιστωσών που αφορούν τις:

- *Οικονομικές Εξελίξεις*
Η χρηματοοικονομική κρίση και τα προβλήματα των ευρωπαϊκών οικονομιών θέτουν σε κίνδυνο νέες επενδύσεις και τεχνολογικές αγορές, όπου και θα πρέπει να παρακολουθούνται οι επιπτώσεις ώστε να λαμβάνονται έγκαιρα διορθωτικά/αντιισταθμιστικά μέτρα.
- *Επενδύσεις σε Υποδομές*
Οι ανάγκες σε νέα δίκτυα, ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου, που απαιτούν τεράστιες επενδύσεις με κρίσιμο το ερώτημα ποιος αναλαμβάνει το κόστος για αυτές.

Οι προκλήσεις για την Ελληνική ενεργειακή πολιτική συνάδουν σε πολύ μεγάλο βαθμό με εκείνες της Ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής, με τους παρακάτω τομείς να παρουσιάζουν εγχώριες ιδιαιτερότητες:

- *ασφάλεια ενεργειακού ανεφοδιασμού*
Από τους σημαντικότερους παράγοντες για τη διασφάλιση του ενεργειακού ανεφοδιασμού αποτελεί η μέγιστη δυνατή σταδιακή απεξάρτησης από εισαγωγές πετρελαίου. Η αντικατάσταση του πετρελαίου με ΦΑ και ΑΠΕ κρίνεται απαραίτητη και για το σκοπό αυτό απαιτείται σχεδιασμός για κατασκευή αποθηκευτικών χώρων και αγωγών μεταφοράς καυσίμου (κυρίως υγροποιημένο ΦΑ - LNG). Παράλληλα, η ολοκλήρωση των μελετών για τις εγχώριες πηγές υδρογονανθράκων αποτελεί προτεραιότητα, καθώς θα μειωθεί σημαντικά η εξάρτηση από το πετρέλαιο μέσω των εγχώριων αποθεμάτων. Ο Ν4001/2011 προωθεί και ρυθμίζει θέματα αναζήτησης, έρευνας και εκμετάλλευσης των υδρογονανθράκων της χώρας. Ταυτόχρονα, στόχος της χώρας αποτελεί και η ενίσχυση των ηλεκτρικών δικτύων τόσο στο εσωτερικό της χώρας όσο και με τις διεθνείς διασυνδέσεις, ώστε να γίνει ευκολότερη η μετάβαση προς τα έξυπνα δίκτυα που συμβάλουν και στην περαιτέρω ανάπτυξη συστημάτων διεσπαρμένης παραγωγής από ΑΠΕ. Τα ΕΗΔ αναμένεται να συμβάλουν σημαντικά στον προγραμματισμό της ζήτησης με την παραγωγή ΗΕ.

- *εξοικονόμηση ενέργειας στην τελική χρήση*

Βασική πρόκληση και στόχο αποτελεί η υλοποίηση μέτρων και δράσεων για την ουσιαστική εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης και της αλλαγής της ενεργειακής συμπεριφοράς των καταναλωτών.

Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί και στον τομέα των μεταφορών με τη βελτίωση και τον εκσυγχρονισμό των υποδομών και των οχημάτων καθώς και με την αύξηση της συμμετοχής των ΜΜΜ στις μεταφορικές επιβατών και εμπορευμάτων. Ο εξηλεκτρισμός των οχημάτων αναμένεται να συμβάλει σημαντικά προς την κατεύθυνση αυτή.

Επίσης, ο κτηριακός τομέας εμφανίζει σημαντικά περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας. Μέσω της ενεργειακής αναβάθμισης των υφιστάμενων κτηρίων αλλά και της κατασκευής νέων κτηρίων με πολύ χαμηλό ενεργειακό αποτύπωμα, ο κτηριακός τομέας αναμένεται να επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα ενεργειακής αποδοτικότητας.

- *βιώσιμη ανάπτυξη*

Κύρια πρόκληση για την εθνική ενεργειακή στρατηγική θα αποτελέσει η αξιοποίηση της διάδοσης νέων τεχνολογιών στους τομείς της ζήτησης και προσφοράς ενέργειας με σκοπό την ενίσχυση της εγχώριας επιχειρηματικότητας και της απασχόλησης. Σε αυτή την κατεύθυνση μπορεί να αυξηθεί η εγχώρια προστιθέμενη αξία των τεχνολογιών ΑΠΕ και εξοικονόμησης ενέργειας, μέσω της ανάπτυξης και συντήρησης ανταγωνιστικής εθνικής βιομηχανίας ΑΠΕ και εξοικονόμησης ενέργειας (βιομηχανία δομικών υλικών, συστημάτων διαχείρισης της ενέργειας, καθώς και θερμικών ηλιακών, γεωθερμικών και συστημάτων βιομάζας). Επιπλέον, η ήδη δρομολογημένη ένταξη της χώρας στα μεγάλα διεθνή δίκτυα πρόκειται να ενδυναμώσει το γεωστρατηγικό της ρόλο στον ενεργειακό χάρτη της ευρύτερης περιοχής και της Ευρώπης, συμβάλλοντας στην ενδυνάμωση και ανάπτυξη της εθνικής οικονομίας.

- *λειτουργία της εσωτερικής αγοράς ενέργειας.*

Κύρια πρόκληση αποτελεί η αξιόπιστη, προσιτή και επαρκής παροχή ΗΕ και ενεργειακών υπηρεσιών σε κάθε καταναλωτή. Ενισχύεται ο ρόλος του καταναλωτή ΗΕ με την ενεργή συμμετοχή του στην αγορά ηλεκτρισμού. Η απελευθέρωση των αγορών ΗΕ και ΦΑ έχει ήδη υλοποιηθεί τυπικά σε μεγάλο βαθμό και απομένει να εξασφαλιστεί το περαιτέρω άνοιγμα της αγοράς με την είσοδο νέων εταιρειών προμήθειας ΗΕ. Στόχος είναι να επιτευχθούν κατά το δυνατόν πιο ανταγωνιστικές τιμές και κόστος ΗΕ, να ενισχυθεί ο ανταγωνισμός περιορίζοντας φαινόμενα μονοπωλιακού χαρακτήρα και στρεβλώσεων της αγοράς.

3.2.1 Ευρωπαϊκή πολιτική "20-20-20"

Επίκεντρο της νέας Ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής και κύριος στρατηγικός ενεργειακός στόχος είναι η δέσμευση ότι η ΕΕ θα πρέπει να μειώσει τις εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου κατά 20% μέχρι το 2020, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Ο στρατηγικός στόχος και τα συγκεκριμένα μέτρα για την υλοποίησή του, που περιγράφονται στο Σχέδιο Δράσης, αποτελούν και τον πυρήνα της νέας ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής.

Τα δέκα μέτρα που Ευρωπαϊκού Σχεδίου Δράσης για την Ενέργεια [31] είναι τα εξής:

- Καλύτερη λειτουργία της Εσωτερικής Αγοράς Ενέργειας.
- Διευκόλυνση των κρατών-μελών για ανάπτυξη αλληλεγγύης στην περίπτωση ενεργειακών κρίσεων ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής τροφοδοσία με πετρέλαιο, φυσικό αέριο και ηλεκτρική ενέργεια.
- Βελτίωση του Κοινοτικού Μηχανισμού Εμπορίας Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου ώστε να μετατραπεί σε πραγματικό καταλύτη για τη μείωση εκπομπών CO₂ και τις επενδύσεις για καθαρή ενέργεια.
- Ανάπτυξη προγράμματος εξοικονόμησης ενέργειας σε Ευρωπαϊκό, εθνικό και διεθνές επίπεδο
- Αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Ανάπτυξη Στρατηγικής για την Ενεργειακή Τεχνολογία.
- Ανάπτυξη τεχνολογιών μετατροπής ορυκτών καυσίμων με χαμηλές εκπομπές CO₂
- Ανάπτυξη θεμάτων ασφάλειας και προστασίας από την χρήση της πυρηνικής ενέργειας.
- Συμφωνία για μια διεθνή ενεργειακή πολιτική με κοινούς στόχους όπου θα ακολουθήσουν όλα τα κράτη μέλη
- Βελτίωση της κατανόησης των ενεργειακών θεμάτων από τους Ευρωπαίους πολίτες- καταναλωτές

Ειδικότερα, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ήδη θεσπίσει δεσμευτικό πακέτο μέτρων και στόχων για το 2020 (Climate and Energy Package-CEP), στο οποίο περιλαμβάνεται ο μηχανισμός της εμπορίας αδειών εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα (ETS) από υπόχρεες εγκαταστάσεις (ηλεκτροπαραγωγή, μεγάλες βιομηχανίες και από το 2012 αεροπορικές μεταφορές), οι στόχοι κατά Κράτος Μέλος για μείωση των εκπομπών στους τομείς εκτός ETS καθώς και οι στόχοι για αύξηση του μεριδίου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που έχουν εξειδικευθεί κατά Κράτος Μέλος.

Για το σύνολο των Κρατών-Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέχρι το 2020, προβλέπεται:

- 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 σύμφωνα με την Οδηγία 2009/29/ΕΚ,
- 20% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ και
- 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

Τα παραπάνω αποτελούν τον ευρωπαϊκό στόχο “20-20-20” μέχρι το 2020.

3.2.2 Εθνικός ενεργειακός σχεδιασμός “20-20-20”

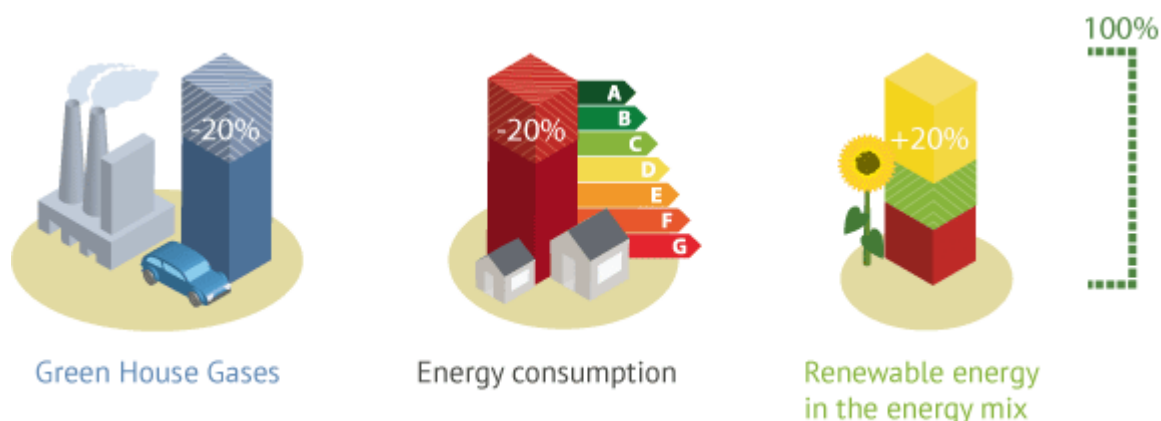
Η εξέλιξη του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος τις επόμενες δεκαετίες, θα έχει ως βασικούς άξονες κατεύθυνσης την ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού, τη διασφάλιση της καλής λειτουργίας της εσωτερικής αγοράς ενέργειας, τη βέλτιστη αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας, την προώθηση των τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ, την ταχεία υιοθέτηση τεχνολογικών εφαρμογών που συνεισφέρουν στην εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και στη διαχείριση της ζήτησής της, καθώς και την επίτευξη δραστικής μείωσης των εκπομπών αερίων ρύπων του θερμοκηπίου από τις ανθρωπογενείς καταναλώσεις ενέργειας.

Στο πλαίσιο αυτό, το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις ΑΠΕ που παρουσιάστηκε το καλοκαίρι του 2010 και έχει ως στόχο την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων για τη διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση, θέτει συνολικά και τις βάσεις και την πορεία εξέλιξης του ενεργειακού τομέα μέχρι το 2020 [32].

Οι κεντρικοί εθνικοί ενεργειακοί στόχοι προβλέπουν:

- 20% μείωση στις εκπομπές CO₂
- βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και επίτευξη εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας κατά 20% (Οδηγία 2009/28/ΕΚ)
- 18% διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση. Ειδικά για την Ελλάδα, ο στόχος για τις εκπομπές αερίων ρύπων του θερμοκηπίου είναι μείωση κατά 4% στους τομείς εκτός εμπορίας σε σχέση με τα επίπεδα του 2005. Η Ελληνική κυβέρνηση στο πλαίσιο υιοθέτησης συγκεκριμένων αναπτυξιακών και περιβαλλοντικών πολιτικών, με το Ν. 3851/2010 προχώρησε στην αύξηση του εθνικού στόχου συμμετοχής των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας στο 20%. Συγκεκριμένα ο στόχος αυτός εξειδικεύεται σε 40% συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, 20% σε θέρμανση και ψύξη και 10% στις μεταφορές.

Συνοπτικά ο εθνικός σχεδιασμός για την επίτευξη του στόχου <<20-20-20>> όπως θεσμοθετήθηκε από το ΥΠΕΚΑ και σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές οδηγίες παρουσιάζονται στο σχήμα 2.7.



Σχήμα 3.1 Εθνικός σχεδιασμός "20-20-20" μέχρι το 2020

Για την επίτευξη των ανωτέρω στόχων που αφορούν στο ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, απαιτείται η συνδυαστική εφαρμογή σημαντικών μέτρων που σχετίζονται κυρίως με την επέκταση και αναβάθμιση του ηλεκτρικού ΔΜ, την ανάπτυξη της διεσπαρμένης παραγωγής και την ανάπτυξη μεγάλων έργων ΑΠΕ.

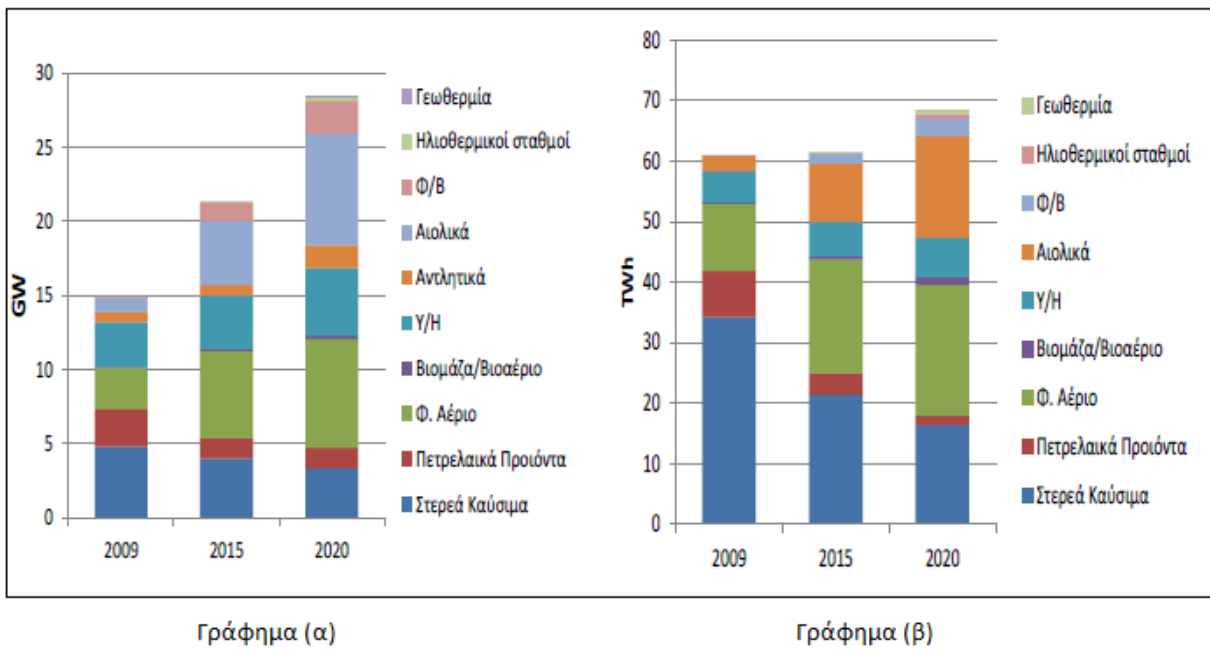
Αντίστοιχα, για την επίτευξη της συμμετοχής ΑΠΕ σε θέρμανση, ψύξη και μεταφορές χρειάζεται η εφαρμογή των θεσμικών αλλαγών που δρομολογούνται ή έχουν ήδη υλοποιηθεί, για την επίτευξη εξοικονόμησης ΗΕ μέσω ενεργειακής αποδοτικότητας και ορθολογικής χρήσης της ΗΕ σε όλους τους τομείς κατανάλωσης.

Σύμφωνα με τον ΥΠΕΚΑ, η μελέτη του οδικού χάρτη ανάπτυξης των τεχνολογιών ΑΠΕ πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ενεργειακών μοντέλων ανάλυσης. Τα σενάρια που μελετήθηκαν χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες [25].

- Σενάρια αναφοράς, όπου γίνεται η υπόθεση ότι το ενεργειακό σύστημα εξελίσσεται με βάση τις ήδη δρομολογημένες πολιτικές και
- σενάρια όπου θεωρήθηκε η επιτυχής υλοποίηση των στόχων της Ευρωπαϊκής Πολιτικής για την Ελλάδα και στα οποία προσδιορίστηκαν και αξιολογήθηκαν τα εναλλακτικά μέτρα ενεργειακής πολιτικής με τα οποία μπορούν να επιτευχθούν οι Εθνικοί-Ευρωπαϊκοί στόχοι.

Βασικές παράμετροι που έλαβε υπόψη η μελέτη του ΥΠΕΚΑ για τον εθνικό ενεργειακό σχεδιασμό είναι η εξέλιξη της οικονομικής δραστηριότητας στη χώρα, η εξέλιξη των διεθνών τιμών καυσίμων, τα εναλλακτικά επίπεδα χρήσης των συμβατικών καυσίμων, η επίδραση των τιμών των τεχνολογιών ΑΠΕ στη διείσδυσή τους, η επίδραση των διασυνδέσεων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και της ανάπτυξης του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Έτσι, οι εθνικοί στόχοι για το 2020, σε πρώτη εκτίμηση αναμένεται να ικανοποιηθούν για τη μεν ηλεκτροπαραγωγή με την ανάπτυξη περίπου 13,3GW από ΑΠΕ (από 4,2GW σήμερα), όπου συμμετέχει το σύνολο των τεχνολογιών ΑΠΕ με προεξέχουσες σε επίπεδο εγκατεστημένης ισχύος τα αιολικά πάρκα με 7,5GW, τα υδροηλεκτρικά με 3GW και τα φωτοβολταϊκά με περίπου 2,5GW. Αξιοσημείωτη είναι ωστόσο και η σταδιακή εμφάνιση νέων τεχνολογιών ΑΠΕ στο μείγμα της ηλεκτροπαραγωγής (γεωθερμία, ηλιοθερμικοί σταθμοί), οι οποίες αναμένεται σε μακροπρόθεσμο επίπεδο να έχουν ολοένα και πιο μεγάλο μερίδιο συμμετοχής.



Σχήμα 3.2 Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος Η/Π ανά καύσιμο για επίτευξη των εθνικών στόχων ως το 2020 Γράφημα (α), εξέλιξη της παραγωγής ΗΕ ανά καύσιμο για την επίτευξη των εθνικών στόχων ως το 2020 Γράφημα (β) [25]

3.2.3 Σχέδια Δράσης Ενεργειακής Αποδοτικότητας - ΣΔΕΑ

Τα ΣΔΕΑ περιγράφουν τις δράσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση, με την εφαρμογή συντονισμένων δράσεων και μέτρων (τεχνολογικών, οικονομικών, θεσμικών κ.α.) για την επίτευξη του στόχου εξοικονόμησης ενέργειας το 2016 (9%). Τα ΣΔΕΑ είναι απαιτούμενα

παραδοτέα σύμφωνα με το άρθρο 14 (2) της Οδηγίας 2006/32/ΕΚ “Μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά τη τελική χρήση, ενεργειακές υπηρεσίες και άλλες διατάξεις” ,υποχρεωτικά για όλα τα Κράτη-Μέλη της ΕΕ και εκπονούνται ανά τρία χρόνια (2008, 2011, 2014).

1^ο ΣΔΕΑ - 2008

Η Ελλάδα έχει ήδη καταρτίσει το 1^ο Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής. Οι κύριες δράσεις και μέτρα που δρομολογήθηκαν από το 2007 και μετά, στο πλαίσιο επίτευξης του στόχου εξοικονόμησης ενέργειας σε ποσοστό 9% στην τελική χρήση μέχρι το 2016, ήταν σε εθνικό επίπεδο και αφορούσαν κύρια στην ανάπτυξη του θεσμικού και κανονιστικού πλαισίου, ώστε να υιοθετηθούν πολιτικές, υποχρεώσεις και στρατηγικές σε όλους τους τομείς τελικής κατανάλωσης, στο πλαίσιο βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης. Ειδικότερα αναπτύχθηκε ένα ολοκληρωμένο θεσμικό πλαίσιο για την ενεργειακή απόδοση και πιστοποίηση των κτιριακών εγκαταστάσεων, τις τεχνικές προδιαγραφές των νέων κτιρίων, τις υποχρεώσεις του δημόσιου τομέα, των παρόχων ΗΕ, καθώς και του μηχανισμού που θα παρακολουθεί και θα αξιολογεί την πρόοδο επίτευξης του εθνικού στόχου [33].

Συγκεκριμένα, με τον Νόμο 3855/2010, ο οποίος προστίθεται και στον πρόσφατο κανονισμό που αφορά την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων-ΚΕΝΑΚ, προχωρά στην ανάπτυξη μηχανισμών της αγοράς και εφαρμογής συγκεκριμένων μέτρων και πολιτικών που αποσκοπούν στην επίτευξη του συγκεκριμένου εθνικού στόχου για εξοικονόμηση ενέργειας.

2^ο ΣΔΕΑ -2011

Περιλαμβάνει εκτενή αποτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας που έχει επιτευχθεί με την εφαρμογή μέτρων βελτίωσης ενεργειακής απόδοσης με άμεση αναφορά στο 1^ο ΣΔΕΑ που παρουσιάστηκε το 2008. Επίσης, παρουσιάζει την πορεία εκπλήρωσης του ενδιάμεσου στόχου για εξοικονόμηση ενέργειας το 2010, βασισμένη σε δεδομένα και εκτιμήσεις και κάνει πρόβλεψη της εξοικονόμησης ενέργειας για το 2016.

Ειδικότερα, το δεύτερο εθνικό ΣΔΕΑ περιγράφει και αξιολογεί το σύνολο των μέτρων δρομολογήθηκαν για να εφαρμοστούν στους τομείς τελικής χρήσης ενέργειας στην Ελλάδα. Τα μέτρα αυτά κατηγοριοποιούνται σε επτά διακριτές ομάδες μέτρων και δράσεων (οριζόντια, διατομεακά, οικιακός, τριτογενής και δημόσιος τομέας, βιομηχανία, μεταφορές) για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και την επίτευξη της εξοικονόμησης ενέργειας. Το ένα τρίτο του συνόλου των μέτρων είναι οριζόντια και διατομεακά. Δηλαδή τα μέτρα και οι δράσεις τους δεν συνδέονται στενά με ένα τομέα ή κλάδο, αλλά είναι απαραίτητα για την υλοποίηση και παρακολούθηση όλων των υποστηρικτικών δράσεων σε όλους τους τομείς.

Τα μέτρα που εγκρίθηκαν και προτείνονται στο 2^ο ΣΔΕΑ συνοψίζονται σε έξι σημεία, λαμβάνοντας υπόψιν την αποτελεσματικότητα και το κόστος [34].

- Βελτίωση των ενεργειακών επιδόσεων
- Βελτίωση της ενεργειακής μετατροπής
- Περιορισμός του ενεργειακού κόστους των μεταφορών
- Χρηματοδότηση, οικονομικά κίνητρα και τιμολόγηση
- Αλλαγή της ενεργειακής συμπεριφοράς

- Προσαρμογή και ανάπτυξη των διεθνών συμπράξεων

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις εξοικονόμησης ενέργειας που καταγράφηκαν στο πλαίσιο του 2^{ου} ΣΔΕΑ.

| Πρωτογενής Ενέργεια | Πρόβλεψη (TWh) | Στόχος εξοικονόμησης ενέργειας όπως καθορίστηκε στο 1 ^ο ΣΔΕΑ | Επίτευξη στόχων (TWh) |
|---------------------|----------------|---|-----------------------|
| 2010 | | 5.10 | 9.24 |
| 2016 | 23.8 | 16.46 | |
| 2020 | 33.1 | | |

Πίνακας 3.3 Εκτιμήσεις εξοικονόμησης ενέργειας 2ου ΣΔΕΑ

Ο ενδιάμεσος στόχος εξοικονόμησης τελικής ενέργειας για το 2010 (5,1 TWh) επιτεύχθηκε, χωρίς όμως να μπορεί να αποδοθεί η εξοικονόμηση ενέργειας σε σημαντικό βαθμό από τη λήψη μέτρων ενεργειακής απόδοσης. Η επίτευξη του ενδιάμεσου στόχου οφείλεται κυρίως στην επίπτωση της οικονομικής ύφεσης στην τελική κατανάλωση ενέργειας, η οποία ειδικά στον οικιακό και βιομηχανικό τομέα είναι εμφανής από το 2009, ενώ στον τομέα των μεταφορών η επίδρασή της εμφανίζεται κυρίως από το 2010 και μετά [34].

Το 3^ο Εθνικό ΣΔΕΑ αναμένεται να δημοσιευτεί εντός του 2014.

3.2.4 Οι κατευθύνσεις του ευρωπαϊκού οδικού χάρτη ανάπτυξης για το 2050

Στις 15 Δεκεμβρίου 2011, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε τον Οδικό Χάρτη για την Ενέργεια με ορίζοντα το 2050, με τον οποίο δεσμεύεται να μειώσει έως το 2050 τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά περισσότερο από 80% (80% - 95%) σε σχέση με τα επίπεδα εκπομπών του 1990, μέσω της απανθρακοποίησης του ενεργειακού τομέα, με ταυτόχρονη εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και της ανταγωνιστικότητας της Ευρωπαϊκής Οικονομίας. Βασικά εργαλεία για την επίτευξη αυτού του στόχου καθίστανται οι ΑΠΕ και η εξοικονόμηση ενέργειας, ενώ το απαιτούμενο κόστος επενδύσεων για την επίτευξη του στόχου προ-κύπτει ότι θα είναι πιθανά και χαμηλότερο από το κόστος που θα επιβαρύνει την Ευρωπαϊκή οικονομία αν δε ληφθούν τα απαραίτητα αυτά μέτρα.

Οι κατευθύνσεις σχεδιασμού συνοψίζονται σε 10 προϋποθέσεις που οφείλουν να ικανοποιούνται για τη μετάβαση σε έναν Ενεργειακό Τομέα Χαμηλών Εκπομπών, σύμφωνα με την ΕΕ.

- Άμεση προτεραιότητα στην επίτευξη των στόχων του 2020, με εφαρμογή όλων των μέτρων που έχουν σχεδιαστεί γι' αυτό.
- Το ενεργειακό σύστημα και η κοινωνία συνολικά θα πρέπει να γίνουν δραστικά περισσότερο ενεργειακά αποδοτικοί.
- Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στη διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

- Η προώθηση της τεχνολογικής καινοτομίας αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για να γίνει δυνατή η εμπορική αξιοποίηση νέων τεχνολογιών.
- Η δέσμευση της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μια πλήρως ολοκληρωμένη εσωτερική αγορά μέχρι το 2014.
- Το τελικό κόστος ενέργειας να αντανακλά τα πραγματικά κόστη του ενεργειακού συστήματος. Οι ευάλωτοι καταναλωτές πρέπει σε κάθε περίπτωση να προστατεύονται και να αποφευχθεί η ενεργειακή φτώχεια.
- Η κρισιμότητα της ανάγκης ανάπτυξης νέων ενεργειακών υποδομών και δυνατοτήτων αποθήκευσης να γίνει ευρέως αντιληπτή.
- Η ασφάλεια παραδοσιακών ή νέων μορφών πηγών ενέργειας είναι αδιαπραγμάτευτη και η ΕΕ θα συνεχίσει να αναλαμβάνει διεθνώς πρωτοβουλίες προς την κατεύθυνση αυτή.
- Η συντονισμένη Ευρωπαϊκή δράση στις διεθνείς σχέσεις να αποτελεί κανόνα με ενίσχυση των προσπαθειών για διεθνείς δράσεις για το κλίμα.
- Οι χώρες μέλη και οι επενδυτές χρειάζονται ορόσημα, γι' αυτό είναι απαραίτητη η θέσπιση πολιτικού πλαισίου προς το 2030.

3.2.5 Εθνικός στόχος για το 2050

Με αφετηρία το 1ο Σχέδιο Δράσης για τις ΑΠΕ, η Εθνική Επιτροπή Ενεργειακής Στρατηγικής του ΥΠΕΚΑ επιμελήθηκε την ανάλυση του Ελληνικού Ενεργειακού Συστήματος με στόχο τη διαμόρφωση του Ενεργειακού Χάρτη Πορείας της Ελλάδας για την περίοδο 2020-2050. Μελετήθηκαν τρία σενάρια ώστε να προσδιορισθούν και να αξιολογηθούν εναλλακτικά μέτρα και πολιτικές για την εκπλήρωση των Εθνικών και των Ευρωπαϊκών στόχων.

- Το Σενάριο «Υφιστάμενων πολιτικών» (ΥΦ) υποθέτει συντηρητική υλοποίηση των πολιτικών για την ενέργεια και το περιβάλλον, προβλέποντας αφενός μέτριο επίπεδο περιορισμού των εκπομπών CO₂ μέχρι το 2050 (40% σε σχέση με το 2005), αφετέρου μέτρια διείσδυση ΑΠΕ και εξοικονόμησης ενέργειας
- Το Σενάριο «Μέτρων Μεγιστοποίησης ΑΠΕ» (ΜΕΑΠ) υποθέτει τη μεγιστοποίηση της διείσδυσης των ΑΠΕ (στο επίπεδο του 100% στην ηλεκτροπαραγωγή), με στόχο τη μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 60%-70% και ταυτόχρονη σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια και τις μεταφορές
- Το Σενάριο «Περιβαλλοντικών Μέτρων Ελαχίστου Κόστους» (ΠΕΚ) έχει τις ίδιες παραδοχές με το Σενάριο ΜΕΑΠ όσον αφορά τις εκπομπές CO₂ αλλά υπολογίζει το ποσοστό των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή ώστε να εξασφαλιστεί το ελάχιστο επενδυτικό κόστος.

Το πρώτο κρίσιμο συμπέρασμα της ανάλυσης είναι ότι η προοπτική των υφιστάμενων πολιτικών (Σενάριο ΥΦ) οδηγεί σε περιορισμένη μείωση των εκπομπών CO₂ έως το 2050, που δεν συνάδει με τους ευρωπαϊκούς στόχους για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής ούτε αποτελεί την οικονομικότερη εξέλιξη του ενεργειακού τομέα.

Τα σενάρια νέας ενεργειακής πολιτικής (Σενάρια ΜΕΑΠ και ΠΕΚ), στα οποία κυριαρχεί η υψηλή διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας, επιτυγχάνουν μεγάλη μείωση των εκπομπών CO₂ (κατά 60% με 70% σε σχέση με το 2005) με ταυτόχρονη μείωση της εισαγόμενης ενέργειας καθώς και της ενεργειακής εξάρτησης της χώρας από εισαγωγές ορυκτών καυσίμων.

Είναι αξιοσημείωτο ότι μακροπρόθεσμα το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας δεν παρουσιάζει σημαντική διαφοροποίηση για τα διάφορα σενάρια, εμφανίζοντας ελαφρά μικρότερες τιμές για τα σενάρια

μειωμένων εκπομπών. Συγκεκριμένα, ακολουθεί πτωτική τάση μετά το 2030 ενώ η αυξημένη χρήση των ΑΠΕ και ο περιορισμός της καύσης ορυκτών καυσίμων εξασφαλίζει την περαιτέρω μείωση του κόστους μέχρι το 2050.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης των παραπάνω σεναρίων η μελλοντική εικόνα του εθνικού ενεργειακού συστήματος συνοψίζεται στα παρακάτω [25]:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 60%-70% έως το 2050 ως προς το 2005
- Ποσοστό 85%-100% ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, με την αξιοποίηση όλων των εμπορικά ώριμων τεχνολογιών, καθώς και του συνόλου του υφιστάμενου δυναμικού ΑΠΕ, σε όλη την επικράτεια και ειδικότερα την περιοχή του Αιγαίου.
- Συνολική διείσδυση ΑΠΕ σε ποσοστό 60%-70% στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας μέχρι το 2050
- Σταθεροποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης λόγω των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας.
- Σχετική αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω εξηλεκτρισμού των μεταφορών και μεγαλύτερης χρήσης αντλιών θερμότητας στον οικιακό και τριτογενή τομέα.
- Σημαντική μείωση της κατανάλωσης πετρελαιοειδών.
- Αύξηση της χρήσης βιοκαυσίμων στο σύνολο των μεταφορών στο επίπεδο του 31% - 34% μέχρι το 2050.
- Κυρίαρχο το μερίδιο του ηλεκτρισμού στις επιβατικές μεταφορές μικρής απόστασης (45%) και σημαντική αύξηση του μεριδίου των μέσων σταθερής τροχιάς.
- Σημαντικά βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση για το σύνολο του κτιριακού αποθέματος και μεγάλη διείσδυση των εφαρμογών ΑΠΕ στον κτιριακό τομέα.
- Ανάπτυξη μονάδων αποκεντρωμένης παραγωγής και έξυπνων δικτύων

Σε κάθε περίπτωση, αυτό που είναι ορατό είναι ότι το εθνικό ενεργειακό σύστημα έχει τη δυνατότητα να διαφοροποιηθεί σημαντικά τα επόμενα χρόνια, εκπληρώνοντας τις δεσμεύσεις της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής και παράλληλα παρέχοντας ασφάλεια στον τελικό καταναλωτή, καθώς τον προστατεύει από την αστάθμητη διακύμανση του κόστους των εισαγόμενων καυσίμων, προσφέροντάς του επιπλέον τις βέλτιστες τεχνολογικές λύσεις και επιλογές ώστε να επιτύχει εξοικονόμηση ενέργειας και τελικά μείωση των συνολικών του ενεργειακών δαπανών.

3.3 Η πρόκληση των ηλεκτρικών οχημάτων (e-Vehicles)

Ο εξηλεκτρισμός του τομέα των μεταφορών αποτελεί ένα φαινόμενο που συμβάλλει στην νέα πραγματικότητα των σύγχρονων ΣΗΕ. Τα ηλεκτροκίνητα τραίνα τείνουν να επικρατήσουν στις ανεπτυγμένες χώρες. Τα ηλεκτροκίνητα μέσα μαζικής μεταφοράς (metro, tram, trolley) ,με τη σειρά τους, παρουσιάζουν αυξανόμενη διείσδυση στο αστικό περιβάλλον. Όμως το πιο δυναμικά αναπτυσσόμενο κομμάτι των ηλεκτροκίνητων μέσων μεταφοράς είναι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα [35].

Τα ηλεκτρικά οχήματα συνεχίζουν να γίνονται όλο και πιο δημοφιλή όσο οι περιβαλλοντικές ανησυχίες εντείνονται. Αποτελούν ένα σπουδαίο μέσο για να περιοριστεί η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

Τα αυτοκίνητα μπορούν λοιπόν να υιοθετήσουν ως λύση καυσίμου την ηλεκτρική ενέργεια. Εντούτοις, η ολοκληρωμένη προσέγγιση της τεχνολογίας σύνδεσης οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο (Vehicle to

Grid – V2G), απαιτεί μια μη μονομερή θεώρηση του ζητήματος. Τα αυτοκίνητα μπορούν να λειτουργήσουν όχι μόνο ως καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με τις μετακινήσεις τους αλλά και αμφίδρομα, αποδίδοντας ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο όποτε τους «ζητηθεί». Η διαχείριση αυτής ακριβώς της ζήτησης είναι ένα επίσης σημαντικό ζήτημα αφού σχετίζεται με τη σειρά του με την αντιμετώπιση αιχμών ζήτησης, αυξημένων δηλαδή απαιτήσεων φορτίων προς εξυπηρέτηση, η ικανοποίηση των οποίων δύναται αν μη τι άλλο να χαρακτηρίσει ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεσματικό και αποδοτικό ή όχι [36].

Έτσι, τα ηλεκτρικά οχήματα προσεγγίζονται σε ένα πλαίσιο ανταλλαγής ηλεκτρικής ενέργειας με το δίκτυο, με τη βέλτιστη διαχείριση των ανταλλασσόμενων ενεργειακών ποσών να αποτελεί και το τελικό ζητούμενο της εφαρμογής της τεχνολογίας, η οποία όμως σε πρώτο στάδιο θα πρέπει να γίνει λειτουργική και ευρέως αποδεκτή. Με τον τρόπο αυτό, θα επιτευχθεί όχι μόνο εξοικονόμηση συμβατικού καυσίμου και προστασία του περιβάλλοντος αλλά και ορθολογική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, με τα ηλεκτρικά οχήματα να διαδραματίζουν ένα δυναμικό ρόλο «δούναι και λαβείν», με απώτερο σκοπό την εξυπηρέτηση των αρχικών στόχων της τεχνολογίας V2G, έτσι όπως τους οραματίστηκαν οι εμπνευστές της. Άλλωστε, η ορθολογική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί επίσης ένα βασικό στοιχείο των καιρών, αφού σε διαφορετική περίπτωση, είτε οι χρήστες δεν εξυπηρετούνται, οπότε το ηλεκτρικό δίκτυο είναι ανεπαρκές, είτε η παραγωγή των αυξημένων απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με τη βοήθεια συμβατικών μεθόδων ηλεκτροπαραγωγής, επιβαρύνοντας έτσι το περιβάλλον σε πρωτογενές επίπεδο.

4 ΤΟ ΕΥΦΥΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

4.1 Ορισμός

Υπάρχουν πολλοί ορισμοί για τον όρο Ευφυές Ηλεκτρικό Δίκτυο – Smart Grid, ορισμένοι από τους οποίους επικεντρώνονται στα λειτουργικά χαρακτηριστικά, άλλοι στα τεχνικά και άλλοι στα οφέλη που προκύπτουν από την υλοποίηση του.

- Σύμφωνα με τον ορισμό που δίνεται στην Εφημερίδα της ΕΕ :

“το ΗΕΔ ορίζεται ως το αναβαθμισμένο δίκτυο ΗΕ στο οποίο έχουν προστεθεί αμφίδρομη ψηφιακή επικοινωνία μεταξύ καταναλωτή και προμηθευτή καθώς και έξυπνα συστήματα μέτρησης, παρακολούθησης και ελέγχου των παραμέτρων της ΗΕ.”

- Το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (U.S. Department of Energy) αναφέρει :

“ως ΗΕΔ ορίζεται το σύνολο των τεχνολογιών που εκσυγχρονίζουν το παραδοσιακό ΣΗΕ. Οι τεχνολογίες αυτές χαρακτηρίζονται από τον απομακρυσμένο έλεγχο, τον αυτοματισμό και την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ καταναλωτή και παρόχου ΗΕ, με ενσωμάτωση υπολογιστικών συστημάτων. Τα ΗΕΔ εφαρμόζονται σε επίπεδο παραγωγής ΗΕ και φθάνουν μέχρι το επίπεδο καταναλωτή και στόχος τους είναι η αποδοτικότητα και η αξιοπιστία του ηλεκτρικού δικτύου.”

- Τέλος στο Electric Power Research Institute (EPRI) :

“ ο όρος ΗΕΔ αναφέρεται στον εκσυγχρονισμό του ΣΗΕ ώστε να παρακολουθεί, να προστατεύει και αυτόματα να βελτιστοποιεί τη λειτουργία των διασυνδεδεμένων στοιχείων του – από τη συγκεντρωτική και διεσπαρμένη παραγωγή μέσω του δικτύου μεταφοράς και διανομής, μέχρι τους βιομηχανικούς καταναλωτές, τα αυτοματοποιημένα συστήματα διαχείρισης κτιρίων, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και τους τελικούς καταναλωτές, συμπεριλαμβάνοντας τα ηλεκτρικά οχήματα και τις οικιακές συσκευές.”

Το κοινό χαρακτηριστικό που περιλαμβάνεται σε όλους ορισμούς του ΕΗΔ είναι η ενσωμάτωση τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών στα συστήματα ΗΕ. Ικανή και αναγκαία συνθήκη για το χαρακτηρισμό ενός ΗΔ ως «Ευφυούς» είναι η ύπαρξη ενός πολύ-επίπεδου στρώματος επικοινωνιών (communications layer) παράλληλα με το ενεργειακό στρώμα παραγωγής-μεταφοράς-διανομής και κατανάλωσης ΗΕ (power layer). Η συλλογή, η μεταφορά και η διαχείριση των ψηφιακών δεδομένων που αφορούν το ΗΔ απαιτεί τηλεπικοινωνιακή υποδομή και κέντρα διαχείρισης του μεγάλου όγκου πληροφοριών. Η ύπαρξη αποδοτικής τηλεπικοινωνιακής υποδομής είναι μείζονος σημασίας για την αποδοτική εποπτεία και τον έλεγχο του συστήματος ΗΕ.



Σχήμα 4.1 Η έννοια του Smart Grid

4.2 Χαρακτηριστικά του Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά ενός ΕΗΔ :

- Η αμφίδρομη ροή πληροφορίας περί της ΗΕ καθώς και η διαχείριση της πληροφορίας αυτής σχεδόν σε πραγματικό χρόνο (near-real time).

Στο ΕΗΔ παράγεται διαρκώς σημαντικός όγκος πληροφοριών, άμεσα αξιοποιήσιμος από το διαχειριστή του ΣΜ, το διαχειριστή των ΔΔ, αλλά και τους παραγωγούς, προμηθευτές και καταναλωτές ΗΕ. Παράλληλα, υπάρχει αμφίδρομη ροή πληροφορίας μεταξύ των ανωτέρω φορέων, επιτυγχάνοντας υψηλού επιπέδου εποπτεία και έλεγχο όλων των παραμέτρων της ΗΕ. Σε επίπεδο κατανάλωσης, η διασύνδεση των συσκευών κατανάλωσης με το σύστημα διαχείρισης ενέργειας του καταναλωτή, καθώς και η διασύνδεση του συστήματος αυτού με τον προμηθευτή ΗΕ, επιτρέπει στον καταναλωτή να εποπτεύει την κατανάλωσή του, να επεμβαίνει σε πραγματικό χρόνο και να έχει ενεργή συμμετοχή στο κόστος της ΗΕ που καταναλώνει και στο ενεργειακό του αποτύπωμα. Ταυτόχρονα, η αμφίδρομη ροή αυτή προσφέρει τη δυνατότητα στο διαχειριστή του ΔΔ να διαχειρίζεται τη ζήτηση ΗΕ καθώς πλέον το δίκτυο εφοδιάζεται με ευελιξία και προσαρμοστικότητα.

- *Το ΕΗΔ χαρακτηρίζεται από αυτόματη αποκατάσταση βλαβών και διαθέτει τη δυνατότητα αυτοϊασης (self healing).*

Με τη χρησιμοποίηση εξελιγμένων αισθητήρων (sensors) και ευφυών ηλεκτρικών συσκευών (IED's) περιορίζεται η ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης σε έκτακτες περιπτώσεις όπως εκτεταμένες διακοπές της ΗΕ. Πλέον, το δίκτυο είναι σε θέση να προβλέπει ή να ανιχνεύει σφάλματα και αποκρίνεται να άμεσα. Με τη συνεχή παρακολούθηση του ΣΜ και του ΔΔ από τους διαχειριστές και έχοντας επιτύχει τη βέλτιστη ανατροφοδότηση της ΗΕ, το ΕΗΔ ανταποκρίνεται καλύτερα στις διακοπές της παροχής ΗΕ με αποτέλεσμα την αύξηση της αξιοπιστίας του.

- *Το ΕΗΔ αξιοποιεί βέλτιστα τον εξοπλισμό του ΣΗΕ*

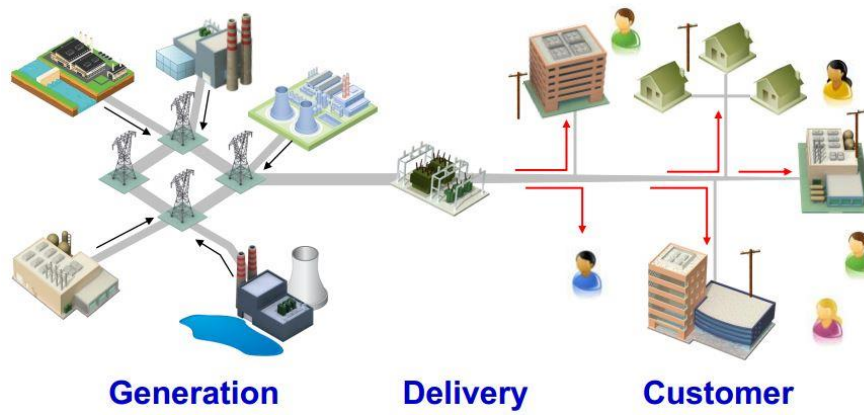
Μετατίθεται η επέκταση του δικτύου που απαιτεί την κατασκευή νέων γραμμών και νέων σταθμών παραγωγής ΗΕ, καθώς το ΕΗΔ βελτιστοποιεί τη ροή ισχύος μέσω των υφιστάμενων εγκαταστάσεων. Η διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής καθώς και η δυνατότητα μείωσης της μέγιστης ζήτησης της ΗΕ που διευκολύνεται από την επικοινωνία και την ενεργειακή προσαρμογή των καταναλωτών, μειώνει την ανάγκη αύξησης της παραγωγής ΗΕ από τις μεγάλες μονάδες παραγωγής κατά τις ώρες αιχμής.

- *Το ΕΗΔ χαρακτηρίζεται από υψηλή διείσδυση ΑΠΕ στο μείγμα παραγωγής ΗΕ*

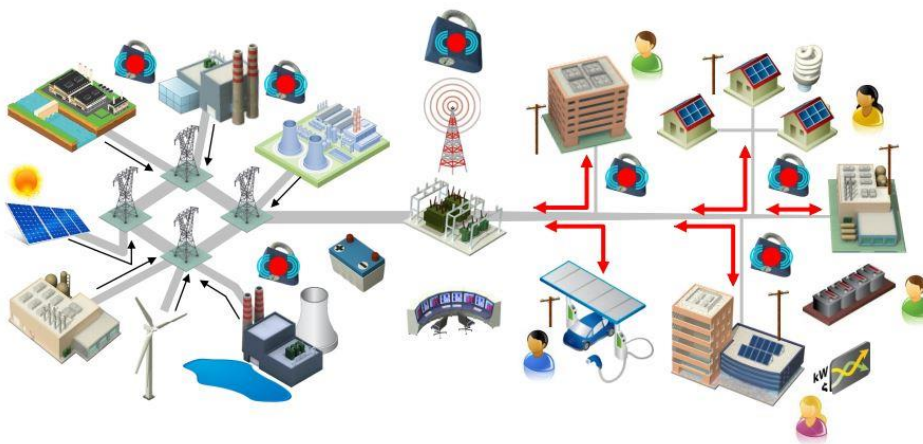
Ο τρόπος λειτουργίας του ΕΗΔ προσφέρει την κάλυψη των αναγκών ΗΕ κατά μεγάλο ποσοστό από ΑΠΕ. Η δυνατότητα της αμφίδρομης ροής της ΗΕ από και προς τα ΔΔ χωρίς κινδύνους για την αξιοπιστία του δικτύου και η δυνατότητα διατήρησης της ευστάθειας που διαθέτουν τα ΕΗΔ, σε συνδυασμό με τη δυνατότητα αποθήκευσης ΗΕ και ελέγχου της ζήτησης, αυξάνουν κατά πολύ το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ.

- *Η ενσωμάτωση έξυπνων μετρητών καθιστά δυνατή την ευέλικτη τιμολόγηση*

Οι έξυπνοι μετρητές μέσω της συνεχούς μετάδοσης δεδομένων κατανάλωσης σε κατάλληλες πλατφόρμες επικοινωνίες (π.χ. οθόνη συστήματος οικιακής διαχείρισης ενέργειας), παρουσιάζουν σε ένα διαδραστικό περιβάλλον την πραγματική κατανάλωση ΗΕ και το κόστος αυτής. Καταργούν την κατ' εκτίμηση χρέωση και επιβάλλουν την τιμολόγηση επί της πραγματοποιηθείσας κατανάλωσης ΗΕ. Προσφέρεται ακόμα η ευελιξία στο χρήστη να επιλέγει εξατομικευμένα προγράμματα και προμηθευτές με βάση τις οικονομικές τους προσφορές.



Σχήμα 4.2 Συμβατικό σύστημα ΗΕ



Σχήμα 4.3 Ευφυές Ηλεκτρικό Δίκτυο

Τα συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά του ΕΗΔ σε αντιπαραβολή με τα χαρακτηριστικά του υπάρχοντος παραδοσιακού ηλεκτρικού δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1 . Από τη σύγκρισή τους προκύπτουν σημαντικές διαφορές.

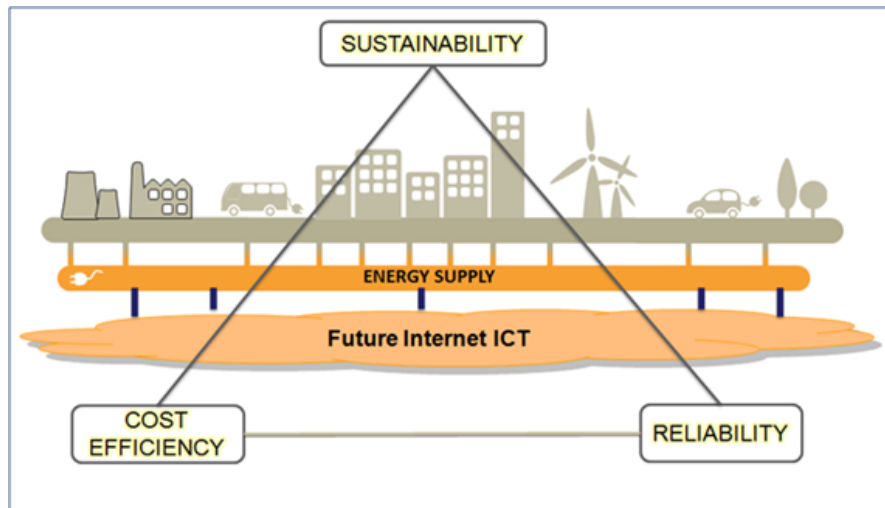
| Traditional Grid | Smart Grid |
|--|---|
| Electromechanical devices Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός | Digital/microprocessor devices Ψηφιακός εξοπλισμός |
| Conventional meters Παραδοσιακοί μετρητές | Smart meters Έξυπνοι μετρητές |
| One kind of tariff Ενιαίος τρόπος τιμολόγησης ΗΕ | Flexible tariffs Ευέλικτη τιμολόγηση |
| Estimated billing Κατά προσέγγιση τιμολόγηση | Precise billing Ακριβής τιμολόγηση |
| Estimated load profile Εκτιμώμενο ενεργειακό προφίλ | Accurate forecasting Ακριβής πρόβλεψη φορτίων |
| One-way power flow Μονόδρομη ροή ισχύος | Two-ways power flow Αμφίδρομη ροή ισχύος |
| One-way information flow Μονόδρομη ροή πληροφορίας | Two-ways information flow Αμφίδρομη ροή πληροφορίας |
| Centralized generation Συγκεντρωτική παραγωγή | Distributed generation Διεσπαρμένη παραγωγή |
| Congestion and bottlenecks Φαινόμενα συμφόρησης και υπερφόρτωσης | Security and sustainability Ασφάλεια και βιωσιμότητα |
| Centralized control Συγκεντρωτικός έλεγχος | Optimal maintenance and operation Βέλτιστη συντήρηση και λειτουργία |
| Radial and loop topology Ακτινική και βροχοειδής τοπολογία | Network topology Τοπολογία δικτύου |
| Manual restoration Χειροκίνητη αποκατάσταση βλαβών/σφαλμάτων | Self-healing Αυτόματη αποκατάσταση βλαβών/σφαλμάτων |
| Limited integration of renewable energies Περιορισμένη διείσδυση ΑΠΕ | Full integration of renewable energies Πλήρης ενσωμάτωση ΑΠΕ |
| Differing regulatory Διαφορετική λειτουργία δικτύων ανά κράτος | Cross-border trading Διεθνώς διασυνδεδεμένα και συγχρονισμένα δίκτυα |
| Outdated structure Παρωχημένες υποδομές | Flexible structure Ευέλικτες υποδομές |
| | Real-time operations Χειρισμοί σε πραγματικό χρόνο |
| | Active customers participation Ενεργή συμμετοχή των χρηστών ΗΕ |
| | Monitoring real time status Απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο της κατάστασης του δικτύου |
| | Customers own generation Αυτοπαραγωγή ΗΕ καταναλωτών |
| | Smart house control Έλεγχος έξυπνης κατοικίας |
| | Power storage Αποθήκευση ενέργειας |

Πίνακας 4.1 Αντιπαραβολή χαρακτηριστικών του συμβατικού ΣΗΕ με το ΕΗΔ

4.3 Οφέλη του Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου

Συγκεντρωτικά, τα οφέλη της μετάβασης από τα συμβατικά συστήματα ΗΕ στα ΕΗΔ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε πολλούς τομείς. Τα οφέλη αυτά εντοπίζονται σε όλα τα τμήματα ενός συστήματος ΗΕ (παραγωγή, μεταφορά, διανομή, κατανάλωση, αγορά ΗΕ) και περιγράφονται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια. Οι τομείς που αναμένεται να βελτιωθούν λόγω μετάβασης στο ΕΗΔ είναι:

- Αξιοπιστία (Reliability)
 - ✓ Περιορίζεται ο κίνδυνος γενικής διακοπής (blackout), ενώ ακόμα και στη περίπτωση όπου συμβεί γενική διακοπή, αυτή ανιχνεύεται και απομονώνεται η διαταραχή με αποτέλεσμα την ταχεία αποκατάσταση του συστήματος. Ουσιαστικά ενισχύεται ο βαθμός της αδιάλειπτης παροχής ΗΕ.
 - ✓ Μείωση διακοπών ΗΕ (outages) και βελτίωση όλων των δεικτών αξιοπιστίας του ηλεκτρικού δικτύου (SAIDI, SAIFI, MAIDI, MAIFI).
- Αποδοτικότητα (efficiency)
 - ✓ Μείωση της απαιτούμενης εγκατεστημένης ισχύος λόγω ενσωμάτωσης μέσω αποθήκευσης ΗΕ.
 - ✓ Μείωση τόσο των απωλειών ΗΕ όσο και της ζήτησης αιχμής στα ΣΜ και ΔΔ μέσω του ελέγχου της ροής ισχύος.
 - ✓ Αύξηση της ικανότητας και δυναμικότητας του δικτύου στη μεταφορά και τη διανομή ΗΕ. Αυτό γίνεται μέσω της βέλτιστης αξιοποίησης των πόρων του υπάρχοντος δικτύου (increased capability) χωρίς την ανάγκη επέκτασής του.
 - ✓ Αποφόρτιση του δικτύου λόγω της μελλοντικής ευρείας ενσωμάτωσης των Ηλεκτρικών Οχημάτων (plug-in Electric Vehicles) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως πηγές.
- Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service)
 - ✓ Αύξηση της ευστάθειας (Stability) λόγω διατήρησης της συχνότητας και της τάσης εντός των προκαθορισμένων ορίων και μείωση των διακυμάνσεων. Το όφελος αυτό καθίσταται ακόμα σημαντικότερο καθώς η αύξηση της ενσωμάτωσης των ΑΠΕ στο δίκτυο προκαλεί διακυμάνσεις στη συχνότητα και την τάση των ΔΔ.
 - ✓ Περιορισμός των αρμονικών παραμορφώσεων (harmonic distortion reduction).
- Περιβαλλοντικά οφέλη – αειφορία (environmental benefits – sustainability)
 - ✓ Μείωση εκπομπών CO₂ και λοιπών αερίων ρύπων .
 - ✓ Εξηλεκτρισμός της ενέργειας στους τομείς θέρμανσης και μεταφοράς.
 - ✓ Αποτροπή νέων επεμβάσεων στα φυσικά οικοσυστήματα που προκαλούνται από την εγκατάσταση νέων μεγάλων μονάδων παραγωγής ΗΕ .



Σχήμα 4.4 Οι τρεις τομείς – στόχοι του Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου

- Οικονομικά οφέλη (Financial Benefits)
 - ✓ Καλύτερη αξιοποίηση των υφιστάμενων στοιχείων του δικτύου (Improved Asset Utilization), αναβολή νέων επενδύσεων στη παραγωγή ΗΕ και βελτιστοποιημένη λειτουργία των εγκαταστάσεων παραγωγής.
 - ✓ Εξοικονόμηση κεφαλαίων για επενδύσεις σε νέα δίκτυα μεταφοράς και διανομής (T&D capital savings) με αναβολές επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς – διανομής και με μείωση του κόστους βλαβών εξοπλισμού (λόγω μείωσης των βλαβών μειώνεται και το κόστος αποκατάστασης τους).
 - ✓ Περιορισμός της ρευματοκλοπής (Theft Reduction).
 - ✓ Μείωση δαπανών συντήρησης και λειτουργίας εγκαταστάσεων μεταφοράς και διανομής (T&D O&M Savings) μέσω της μείωσης του κόστους συντήρησης, του κόστους λειτουργίας και του κόστους ανάγνωσης και λειτουργίας των μετρητών.

4.4 Τηλεπικοινωνιακά δίκτυα για τη μετάδοση δεδομένων Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου

Λόγω της εξάρτησης του ΕΗΔ από την αξιόπιστη, αποτελεσματική και ασφαλή μετάδοση καθώς και τη διαχείριση δεδομένων, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη ολοκληρωμένης τηλεπικοινωνιακής υποδομής. Η ενσωμάτωση των τηλεπικοινωνιών αποτελεί το πρώτο βήμα για τη μετάβαση από τα συμβατικά στα ΕΗΔ.

4.4.1 Αρχιτεκτονική δικτύων επικοινωνίας Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου

Όπως όλα τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, τα δίκτυα επικοινωνίας του ΕΗΔ ιεραρχούνται σε τρία βασικά επίπεδα ανάλογα με τη γεωγραφική κάλυψη και τις ανάγκες που εξυπηρετούν.

4.4.1.1 Home Area Network – HAN

Στο χαμηλότερο επίπεδο επικοινωνίας στις εφαρμογές ΕΗΔ, τα HANs αναφέρονται στα δίκτυα εντός οικίας που συνδέουν ενεργειακές συσκευές. Επιτρέπουν την παρακολούθηση και τον έλεγχο της κατανάλωσης ΗΕ εντός των οικιών και, επιπλέον, την εφαρμογή νέων λειτουργιών όπως Demand Response (DR) και την υλοποίηση πρόσθετων υποδομών όπως Advanced Metering Infrastructure (AMI). Αντίστοιχα, τα Business Area Networks (BANs) αναφέρονται σε περιβάλλον επιχειρήσεων και τα Industrial Area Networks (IANs) χρησιμοποιούνται ως δίκτυα υποδομής για την επικοινωνία και τη διασύνδεση όλων των συσκευών και του μηχανικού εξοπλισμού μιας βιομηχανίας.

Αν και η επικοινωνία σε επίπεδο HAN απαιτεί χαμηλό εύρος ζώνης, πρέπει παράλληλα να είναι τακτική και αδιάλειπτη μεταξύ των συσκευών και του συστήματος διαχείρισης ΗΕ (Home Energy Management System) (βλ. Κεφάλαιο 5.5.1). Τα δίκτυα HAN μπορούν διαχωριστούν σε ασύρματα, σε ενσύρματα που δεν απαιτούν πρόσθετη καλωδίωση και σε ενσύρματα που απαιτούν πρόσθετη καλωδίωση, καθώς και συνδυασμό αυτών. Τα επικρατέστερα πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας είναι το WiFi (IEEE 802.11n) και το ZigBee (IEEE 802.15.4). Στην ενσύρματη δικτύωση που επιβάλλει νέα καλωδίωση, κυρίαρχο πρότυπο αποτελεί το Ethernet (IEEE 802.3) ενώ στην δικτύωση που χρησιμοποιεί την ήδη υπάρχουσα καλωδίωση του ηλεκτρικού δικτύου της οικίας χρησιμοποιούνται τα πρότυπα PLC. Συγκεκριμένα, το πρότυπο PLC τεχνολογίας που χρησιμοποιείται ευρύτερα είναι το HomePlug (IEEE 1901). Ανταγωνιστικά πρότυπα ενσύρματης τεχνολογίας, χωρίς όμως ευρεία εφαρμογή, είναι το HomePNA (ITU-T G.9954) που χρησιμοποιεί το δίκτυο των τηλεφωνικών γραμμών ή το δίκτυο ομοαξονικών καλωδίων ενός κτιρίου και το G.hn (ITU-T G.9960) που χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό και το τηλεφωνικό δίκτυο και ομοαξονικά καλώδια [37].

4.4.1.2 Neighborhood Area Network NAN

Ως NAN αναφέρεται το δίκτυο ενδιάμεσης επικοινωνίας των ΕΗΔ, στο οποίο πραγματοποιείται η μεταφορά δεδομένων των έξυπνων μετρητών κατανάλωσης και των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ΗΕ, από και προς τους προμηθευτές ΗΕ. Επιπλέον, είναι το δίκτυο στο οποίο γίνεται η επικοινωνία των εφαρμογών εποπτείας και ελέγχου του ΔΔ, όπως των συστημάτων SCADA διαχείρισης του αυτοματοποιημένου εξοπλισμού διανομής ΗΕ, από και προς το διαχειριστή του ΔΔ.

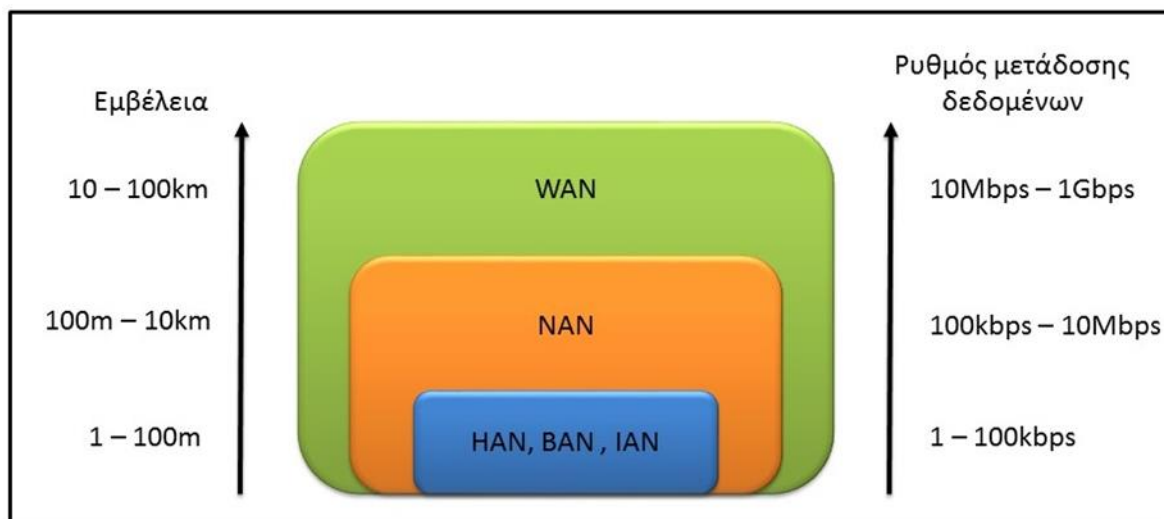
Τα NAN δίκτυα εκκινούν από τις πύλες διαφυγής (gateways) των διεπαφών των HAN και τερματίζουν στους συλλέκτες (collectors) και τους συγκεντρωτές δεδομένων (data concentrators) που είναι εγκατεστημένοι στο επίπεδο των υποσταθμών MT/XT του ΔΔ στην πλευρά του WAN.

Για την επικοινωνία σε επίπεδο NAN χρησιμοποιούνται διαφορές τεχνολογίες τόσο ασύρματες όσο και ενσύρματες. Στην ασύρματη επικοινωνία επικρατούν τα wireless πρωτόκολλα της οικογένειας IEEE 802 (π.χ. WiMAX) και κυρίως οι τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας (GPRS, EDGE, UMTS, LTE). Στην ενσύρματη επικοινωνία επικρατούν οι τεχνολογίες ευρυζωνικής μετάδοσης μέσω τηλεφωνικών γραμμών (DSL) και οι τεχνολογίες PLC.

4.4.1.3 Wide Area Network – WAN

Τα WANs αναφέρονται στα δίκτυα επικοινωνίας επιπέδου κορμού (Backhaul Networks). Είναι δίκτυα που εκτείνονται σε μια ευρεία γεωγραφική περιοχή και μπορούν να φιλοξενήσουν τους τερματικούς σταθμούς και τα τοπικά δίκτυα. Στις εφαρμογές ΕΗΔ αποκαλούνται συνήθως Backhaul και αποτελούν το σκελετό των τηλεπικοινωνιακών υποδομών. Είναι υπεύθυνα για τη διακίνηση της πληροφορίας στο ΣΜ και ΔΔ, διασυνδέοντας τους Υ/Σ, τις μονάδες παραγωγής ΗΕ, τις διατάξεις αποθήκευσης ΗΕ καθώς και όλο τον αυτοματοποιημένο Η/Μ εξοπλισμό του ΔΔ, όπως οι Μ/Σ, οι αντισταθμιστές αέργου ισχύος και οι διακόπτες ισχύος. Λόγω της δυνατότητας αμφίδρομης επικοινωνίας με τον εξοπλισμό τους, παρέχεται η δυνατότητα στους διαχειριστές των δικτύων να εφαρμόζουν αυτοματισμό της διανομής (Distribution Automation - DA) και απεικόνιση της ποιότητας της ισχύος (Power Quality Monitoring). Επιπλέον, τα WANs είναι αυτά που συγκεντρώνουν και αναμεταδίδουν τα δεδομένα των συστημάτων AMI (βλέπε Κεφ. 5.4.2.2) στα MDMS (βλέπε Κεφ. 5.4.3) καθώς και τα δεδομένα που χρειάζονται τα μεγάλα EMS σε επίπεδο μεταφοράς ΗΕ (βλέπε Κεφ. 4.6.1).

Για την επικοινωνία σε επίπεδο WAN χρησιμοποιούνται ασύρματες, κυρίως, αλλά και ενσύρματες τεχνολογίες. Το μείγμα ασύρματων επικοινωνιών αποτελείται από τεχνολογίες κυψελωτών δικτύων (GSM, GPRS, UMTS, LTE), από άλλες τεχνολογίες ραδιοσυχνοτήτων (RF technologies) και από το WiMAX (IEEE 802.16). Οι ενσύρματες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται ευρύτερα είναι οι διάφορες PLC επικοινωνίες και σε μικρότερο βαθμό η μετάδοση μέσω οπτικών ινών.



Σχήμα 4.5 Αρχιτεκτονική δικτύων επικοινωνίας του ΕΗΔ

4.4.2 Τεχνολογίες επικοινωνίας

Η ψηφιακή φύση των δεδομένων του ΕΗΔ προσφέρει τη δυνατότητα αξιοποίησης όλων των γνωστών τρόπων ψηφιακής επικοινωνίας. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι επικρατέστερες μέχρι στιγμής τεχνολογίες για την υλοποίηση των δικτύων επικοινωνίας που αφορούν το ΕΗΔ. Επισημαίνεται ότι στις

περισσότερες υλοποιήσεις χρησιμοποιείται μείγμα τεχνολογιών και όχι αποκλειστικά ένα τρόπος επικοινωνίας [38].

4.4.2.1 Τεχνολογίες ενσύρματης επικοινωνίας

4.4.2.1.1 Digital Subscriber Line - DSL

Το ακρωνύμιο DSL προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Digital Subscriber Line (Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή) και περιγράφει την τεχνολογία ευρυζωνικής μετάδοσης που μετατρέπει το απλό χάλκινο τηλεφωνικό καλώδιο σε δίαυλο ψηφιακής επικοινωνίας μεγάλου εύρους ζώνης. Είναι η ευρύτερα διαδεδομένη τεχνολογία πρόσβασης στο Διαδίκτυο στα σταθερά ενσύρματα δίκτυα. Οι συνήθεις παραλλαγές του DSL είναι:

- Το ADSL (Asymmetric DSL), που χαρακτηρίζεται από ασύμμετρη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων από το δίκτυο στο χρήστη και από το χρήστη στο δίκτυο, προσφέρει ρυθμό μετάδοσης λήψης (downlink transmission ratio) στους χρήστες που εξαρτάται από την απόσταση μετάδοσης και φθάνει μέχρι τα 24Mbps.
- Το VDSL (Very-high-data-rate DSL), που λειτουργεί όπως το ADSL αλλά απαιτεί ενδιάμεση χρήση οπτικών ινών και μικρές αποστάσεις μετάδοσης από τον τελικό καταναλωτή και προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης που υπερβαίνουν τα 30Mbps.

Οι ταχύτητες μετάδοσης που επιτυγχάνουν οι τεχνολογίες DSL υπερεπαρκούν για την επικοινωνία κορμού του έξυπνου δικτύου.

4.4.2.1.2 Μετάδοση πληροφορίας μέσω των γραμμών ηλεκτρικής ισχύος

Η τεχνολογία Power Line Communications (PLC) ή Broadband over Power Lines (BPL) εκμεταλλεύεται το ήδη υπάρχον δίκτυο μεταφοράς και διανομής ΗΕ για τη μετάδοση δεδομένων με ρυθμούς που μπορούν να υπερβούν τα 200 Mbps, ανεξάρτητα και παράλληλα με τη μεταφορά της ΗΕ από τα ίδια καλώδια. Η τεχνολογία PLC προσφέρει ακόμα τη δυνατότητα ευρυζωνικής πρόσβασης στο Διαδίκτυο και ανταποκρίνεται και αυτή στις απαιτήσεις μετάδοσης του δικτύου των έξυπνων μετρητών. Η έρευνα και η προτυποποίηση των PLC συστημάτων βρίσκεται στα τελικά στάδια.

Το συνηθέστερο PLC πρωτόκολλο σε επίπεδο HAN είναι το :

- Το HomePlug (IEEE 1901) που υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης 4 – 10 Mbps.

Σε επίπεδο NAN, τα πρότυπα τεχνολογίας επικοινωνίας PLC που είναι ευρέως διαδεδομένα για εφαρμογές τηλεμέτρησης είναι τα ακόλουθα:

- PRIME (Powerline Intelligent Metering Evolution). Εκπροσωπεί μια ανοικτή, μη ιδιωτική τεχνολογία επικοινωνιών, η οποία υποστηρίζει τις παρούσες και μελλοντικές λειτουργίες διαχείρισης μετρητικών δεδομένων (AMM). Χρησιμοποιείται επιτυχώς σε 3.2 εκατ. μετρητές παγκοσμίως [39].

Η σχεδίαση της αρχιτεκτονικής του PRIME έγινε με κριτήρια το χαμηλό κόστος και την υψηλή απόδοση. Ο ρυθμός δεδομένων που έχει επιτευχθεί φθάνει τα 128 kbps.

- G3-PLC. Στόχος της τεχνολογίας αυτής είναι η ανάπτυξη ενός προτύπου για PLC modems βάσει των προδιαγραφών που θέτει η ERDF (Electricite Reseau Distribution France). Ο ρυθμός δεδομένων που έχει επιτευχθεί στο φυσικό στρώμα (physical layer) φθάνει τα 32kbps.
- PLC-OSGP (Open Smart Grid Protocol). Είναι ένα πρότυπο που δημιουργήθηκε από το Ινστιτούτο ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Η τεχνολογία αυτή εφαρμόζεται σε διάφορες χώρες της Ευρώπης, όπως Δανία, Ολλανδία, Ρωσία Σουηδία, Φινλανδία, Γερμανία και Αυστρία, περίπου σε 4 εκατ. πελάτες. Επιτυγχάνει ταχύτητα μετάδοσης της τάξης των 5kbps.
- Meters and More. Είναι πρωτόκολλο PLC που διατίθεται στη βιομηχανία από το 2010 μέσω του «Meters and More association». Χρησιμοποιείται σε περισσότερους από 40εκατ. πελάτες παγκοσμίως και πρόκειται να εφαρμοστεί άμεσα και σε 13 εκατ. πελάτες της Ισπανίας. Η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων φθάνει τα 9.6 kbps [40].

4.4.2.1.3 Οπτικές Ίνες – Fiber Optics

Οι οπτικές ίνες είναι πολύ λεπτά νήματα από πλαστικό ή γυαλί, μέσω των οποίων μεταδίδονται ψηφιακά δεδομένα υπό μορφή φωτός. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλό bandwidth, ενώ πλέον το κόστος εγκατάστασης δεν είναι απαγορευτικό. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μέσω οπτικών ινών είναι της τάξης των Gbps και η εμβέλειά τους φθάνει τα 10 έως 60km ανάλογα με το πρότυπο που χρησιμοποιείται. Οι οπτικές ίνες καθίστανται κατάλληλες για δίκτυα κορμούς (backbone) σε επίπεδο WAN λόγω του υψηλού ρυθμού μετάδοσης, της υψηλής αξιοπιστίας και της αντοχής σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές της MT και της ΥΤ.

4.4.2.2 Τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας

4.4.2.2.1 Bluetooth

Το Bluetooth (IEEE 802.15.1) είναι ένα πρότυπο για ασύρματη επικοινωνία προσωπικών δικτύων (Wireless Personal Area Networks - WPANs). Είναι τεχνολογία χαμηλής ισχύος και χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και λειτουργεί στη συχνότητα των 2.4 – 2.48GHz . Ανάλογα με την έκδοση/κλάση του Bluetooth, η εμβέλεια του κυμαίνεται από 1 μέχρι 100 μέτρα, ενώ υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης από 1 μέχρι 24Mbps. Μειονέκτημα του Bluetooth αποτελεί το γεγονός ότι σε κάθε master device μπορούν να συνδεθούν μόνο μέχρι 7 slave devices [41].

4.4.2.2 Ασύρματα δίκτυα Wi-Fi

Τα επικρατέστερα πρότυπα για την εφαρμογή Wi-Fi ασύρματης επικοινωνίας είναι τα εξής:

- Το πρότυπο IEEE 802.15.4 ZigBee, αφορά δίκτυα χαμηλού κόστους εγκατάστασης, χαμηλής ισχύος, χαμηλού ρυθμού μετάδοσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως. Λειτουργεί σε τρεις ζώνες συχνοτήτων: 868-868.6 MHz με 1 κανάλι στην Ευρώπη, 902-928 MHz με 10 κανάλια στη Β. Αμερική, και 2.4 GHz με 16 μη επικαλυπτόμενα κανάλια σε διάφορες περιοχές του κόσμου, κυρίως στη ΝΑ Ασία. Η εμβέλεια του ZigBee φθάνει τα 150 m.
- Το πρότυπο IEEE 802.11n Wi-Fi μπορεί να προσφέρει υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων ενώ δεν είναι, πλέον, απαγορευτικό λόγω κόστους. Μοιράζεται την ίδια ζώνη συχνοτήτων με το πρότυπο 802.15.4 ZigBee στο φυσικό στρώμα. Ο αριθμός των προσφερόμενων μη επικαλυπτόμενων καναλιών είναι 23. Η εμβέλεια του 802.11n Wi-Fi φθάνει τα 250 m. Σημαντικά μειονεκτήματα είναι η ευαισθησία σε επιθέσεις και η σχετικά μεγάλη κατανάλωση ενέργειας (100 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με το ZigBee).
- Το πρότυπο IEEE 802.16 WiMAX μπορεί να παρέχει χαμηλού κόστους μεγάλης εμβέλειας επικοινωνίες. Υπάρχουν δύο εκδόσεις, με την πρώτη να φθάνει τα 70Mbps και τη δεύτερη το 1Gbps. Χαρακτηρίζεται από μεγάλη εμβέλεια που φθάνει τα 3 - 5km, ενώ η μέγιστη θεωρητική εμβέλεια φθάνει τα 50km. Χρησιμοποιεί τις ελεύθερες περιοχές φάσματος των 2.3, 2.5 και 3.5GHz. Το WiMAX είναι ιδανικό ως ασύρματη backhaul τεχνολογία για 2G, 3G και 4G δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

4.4.2.3 Global System for Mobile communications – GSM

Το GSM είναι το κυψελωτό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G), το οποίο για τη μετάδοση σημάτων χρησιμοποιεί πολλαπλή πρόσβαση MF-TDMA με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα αριθμό καναλιών και τη διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες. Οι κυριότερες τεχνολογίες επικοινωνίας που έχουν αναπτυχθεί με βάση το πρότυπο GSM είναι οι ακόλουθες :

- General Packet Radio Service – GPRS: Το GPRS (2.5G) είναι μη φωνητική υπηρεσία που επιτρέπει την αποστολή και λήψη δεδομένων μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας GSM. Αναπτύχθηκε με στόχο την περισσότερο αποδοτική χρήση των διαθέσιμων πόρων ώστε ο χρήστης να μπορεί να απολαμβάνει τα πλεονεκτήματα ταχείας και αδιάλειπτης σύνδεσης με το Διαδίκτυο.
- Enhanced Data rates for GSM Evolution – EDGE: Το EDGE γνωστό και ως βελτιωμένο GPRS (EGPRS), είναι η τεχνολογία που προσφέρει στα υπάρχοντα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G) την απαιτούμενη χωρητικότητα και ταχύτητα, ώστε να καταστεί δυνατή η χρήση τους για παροχή υπηρεσιών που προσφέρονται από τα δίκτυα τρίτης γενιάς (3G). Ουσιαστικά το EDGE αποτελεί αναβάθμιση του GPRS και δεν μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα σε κάποιο δίκτυο GSM.
- Universal Mobile Telecommunications System – UMTS: Το UMTS (3G) είναι το κυψελωτό σύστημα κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς που έχει εξελιχθεί και για χρήση στην τεχνολογία τέταρτης γενιάς (4G). Αυξάνει τις δυνατότητες του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και υποστηρίζει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης.

- Long Term Evolution – LTE: Το LTE είναι κυψελωτό σύστημα κινητής τηλεφωνίας βασιζόμενο στα προϋπάρχοντα δίκτυα GSM/EDGE και UMTS, το οποίο αυξάνει τη χωρητικότητα και την ταχύτητα του δικτύου χρησιμοποιώντας νέες τεχνικές διαμόρφωσης. Η αναβάθμισή του σε LTE-Advanced πληρεί τις προϋποθέσεις έτσι ώστε να θεωρείται σύστημα τέταρτης γενιάς (4G).

| Τεχνολογία | Πρότυπο | Στρώμα | Εμβέλεια (m) | Ρυθμός Μετάδοσης (bps) |
|-------------------------------|---------------------------|--------------|--|------------------------|
| ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ | | | | |
| Wi-Fi | IEEE 802.11n | HAN,NAN | 70 Indoor 250 outdoor | Up to 300 M |
| ZigBee | IEEE 802.15.4 | HAN,NAN | <150 | <250 k |
| WiMAX | IEEE 802.16 | NAN,WAN | 50K | 70 M |
| Bluetooth | 802.15.1 | HAN | <100 | 721 k |
| Cellular | GSM | NAN,WAN | 1 - 10 k | 9.6 k |
| | GPRS | NAN,WAN | 1 - 10 k | 117 k |
| | EDGE (2G) | NAN,WAN | 1 - 10 k | 384 k – 2 M |
| | UMTS (3G) | NAN,WAN | 1 - 10 k | 1920 k |
| | LTE (4G) | NAN,WAN | 5-100 k | 300 M |
| RF | UHF | WAN | | |
| | Microwave | WAN | 60 k | 155 M |
| ΕΝΣΥΡΜΑΤΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ | | | | |
| Ethernet | IEEE 802.3 | HAN,NAN, WAN | <100 | 1.5 – 10 M |
| ADSL2 | ITU-T G.992.1 – 5 | NAN | | 8 – 24 M |
| VDSL | ITU-T G.993.1-2 | NAN, WAN | | 50 M |
| Fiber Optic | | WAN | 10 - 60 k | 155M – 2.5G |
| PLC | HomePNA ITU-T G.9951–3 | HAN | 300 phone wiring or >1000 coaxial wiring | 320 M |
| | G.hn ITU-T G.9960 | HAN | 250 over power line or 400 coaxial wiring | Up to 1 G |
| | HomePlug IEEE 1901 | NAN | <300 | 14 – 200 M |
| | PRIME | NAN | >1000 | <125 k |
| | G3 | NAN | >1000 | <100 k |
| | Meters and More | HAN,NAN | >1000 | <30 k |

Πίνακας 4.2 Τεχνολογίες μετάδοσης δεδομένων, κατάλληλες για εφαρμογές των ΕΗΔ

4.4.3 Κριτήρια επιλογής τεχνολογίας επικοινωνίας

Το δίκτυο επικοινωνίας μεταξύ παραγωγής, μεταφοράς, διανομής και κατανάλωσης ΗΕ πρέπει να προσφέρει αμφίδρομη επικοινωνία και διαλειτουργικότητα μεταξύ των εφαρμογών και να χαρακτηρίζεται από αξιοπιστία και μικρές καθυστερήσεις. Απαιτείται υψηλό επίπεδο ασφάλειας για την αποτροπή ηλεκτρονικών επιθέσεων και τη σταθερή και αξιόπιστη λειτουργία ολόκληρου του συστήματος [42]. Οι απαιτήσεις της μετάδοσης πληροφοριών στο ΕΗΔ ποικίλλουν ανάλογα με την εφαρμογή και τη διαδικασία που εξυπηρετείται. Κάποιες εφαρμογές δημιουργούν πολύ μεγάλο όγκο πληροφορίας, όπως η μετάδοση των συγκεντρωμένων δεδομένων μέτρησης του AMI σε επίπεδο NAN, ενώ για κάποιες άλλες είναι κρίσιμη η αμεσότητα και η αξιοπιστία της μετάδοσης, όπως η αποστολή

δεδομένων που αφορούν την ευστάθεια του συστήματος ΗΕ. Τα κυριότερα κριτήρια επιλογής της κατάλληλης τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας για τις διάφορες εφαρμογές είναι τα ακόλουθα:

- Εμβέλεια (range)
αναφέρεται στη μέγιστη απόσταση αποτελεσματικής και αξιόπιστης επικοινωνίας μεταξύ πομπού και δέκτη. Ως μονάδα μέτρησης χρησιμοποιείται το μέτρο (m)
- Ρυθμός μετάδοσης (data rate)
αναφέρεται στην ταχύτητα μετάδοσης της πληροφορίας από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Ως μονάδα μέτρησης έχει καθιερωθεί το bit per second (bps).
- καθυστέρηση (latency)
αναφέρεται στο χρονικό διάστημα (λανθάνοντα χρόνο) μεταξύ της χρονικής στιγμής όπου εκκινεί η διαδικασία αποστολής της πληροφορίας και της χρονικής στιγμής όπου ολοκληρώνεται η λήψη της. Μονάδα μέτρησης: sec
- αξιοπιστία (reliability)
αναφέρεται στο ποσοστό επιτυχίας της μετάδοσης της πληροφορίας χωρίς αυτή να αλλοιωθεί (π.χ. λόγω θορύβου) και χωρίς να υπάρχει απώλεια μέρους της (π.χ. απώλεια πακέτων ψηφιακών δεδομένων)
- κόστος (cost)
αναφέρεται στο κόστος εγκατάστασης της τεχνολογίας, στο λειτουργικό της κόστος (κατανάλωση ενέργειας, χρήση καναλιών) καθώς και στο κόστος συντήρησης του δικτύου επικοινωνίας. Μονάδες μέτρησης: € ή \$ ή ¥

| Εφαρμογή | Ρυθμός μετάδοσης (bytes) | Sampling | Καθυ-στέρηση | Αξιοπι-στία |
|--|--------------------------|---|---------------------|-------------|
| HAN, BAN, IAN | | | | |
| Home Automation | 10 – 100 | Μία φορά ανά προκαθορισμένη περίοδο (πχ ανά λεπτό, 5 λεπτά κλπ.) | Seconds | >98% |
| Building Automation | >100 | Μία φορά ανά προκαθορισμένη περίοδο (πχ ανά λεπτό, 5 λεπτά κλπ.) | Seconds | >98% |
| NAN | | | | |
| Meter Reading - μη προγραμματισμένη μέτρηση (από το μετρητή στον πάροχο) | 100 | Όποτε χρειαστεί | <15 sec | >98% |
| Meter Reading (από τους μετρητές στο AMI) | 1600-2400 | 4-6 φορές/ημέρα στον οικιακό τομέα 12-24 φορές/ημέρα στον εμπορικό τομέα | <4h <2h | >98% |
| Meter Reading (από το AMI προς τον διαχειριστή) | MB | x φορές/ημέρα για κάθε γκρουπ μετρητών | <1h | >99.5% |
| Τιμολόγηση | 100 | Διαφέρει ανάλογα την τιμολογιακή πολιτική (TOU,RTP,CCP) | <1min | >98% |
| Απόκριση ζήτησης (DR) | 100 | 1 φορά/συσκευή/DR-εφαρμογή | <1min | >99.5% |
| DA (Δεδομένα από συσκευές αυτοματισμού προς το DMS) | 100-1000 | Ανιχνευτές σφαλμάτων: 1/συσκευή/εβδομάδα Διακόπτες ισχύος: 1/συσκευή/12h | <5sec | >99.5% |
| DA – Volt/VAR control | 150 – 250 | 1 φορά/συσκευή/5min – 12h | <5sec | >99.5% |
| DA – FDIR | 25 | 1 φορά/συσκευή/γεγονός | <5sec | >99.5% |
| Σύστημα Διαχείρισης Διακοπών Outage Management system OMS | 25 | 1 φορά/μετρητή/γεγονός (βλάβης ή αποκατάστασης) | <20sec | >98% |
| Σύστημα πληροφοριών πελατών Customer Information System CIS | 50 – 200 | Όποτε χρειαστεί | <15 sec | >99% |
| WAN | | | | |
| WAN Protection | 4 – 157 | 1 φορά/0.1 sec | <0.1sec | >99.9% |
| WAN Control | 4 – 157 | 1 φορά/0.1 sec – 2min (αναλόγως την εφαρμογή/συσκευή) | <0.1sec ~ <2 min | >99.9% |
| WAN Monitoring | >52 | 1 φορά/0.1 sec – 2min (αναλόγως την εφαρμογή/συσκευή) | <0.1sec ~ <2 min | >99.9% |

Πίνακας 4.3 Εφαρμογές των ΕΗΔ και οι λειτουργικές τους απαιτήσεις

4.4.4 Ειδικά πρωτόκολλα επικοινωνίας του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού στο Ευφυές Ηλεκτρικό Δίκτυο

Η άμεση εποπτεία και ο έλεγχος του εξοπλισμού του ΕΗΔ απαιτεί την αμφίδρομη επικοινωνία των διαφόρων συστημάτων διαχείρισης με τις διατάξεις του Η/Μ εξοπλισμού του δικτύου, καθώς επίσης και τη διαλειτουργική επικοινωνία μεταξύ των διατάξεων αυτών. Στο πλαίσιο της προτυποποίησης του ΕΗΔ, οι διεθνείς οργανισμοί είναι στη διαδικασία ολοκλήρωσης της προτυποποίησης της επικοινωνίας του εξοπλισμού καταλήγοντας σε καθολικά ενοποιημένα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Τα περισσότερα πλαίσια πρωτοκόλλων ενοποιημένης επικοινωνίας αποτελούν εξέλιξη ήδη καθιερωμένων πρωτοκόλλων με ευρεία χρήση τις τελευταίες δυο δεκαετίες σε συστήματα αυτοματισμού και σε SCADA συστήματα. Η ενοποιημένη και καθολική χρήση των πρωτοκόλλων αυτών αποτελεί μεγάλη πρόκληση για τα ΕΗΔ και είναι μείζονος σημασίας για την αποδοτική λειτουργία τους. Οι κυριότερες ομάδες πρωτοκόλλων επικοινωνίας Η/Μ εξοπλισμού είναι :

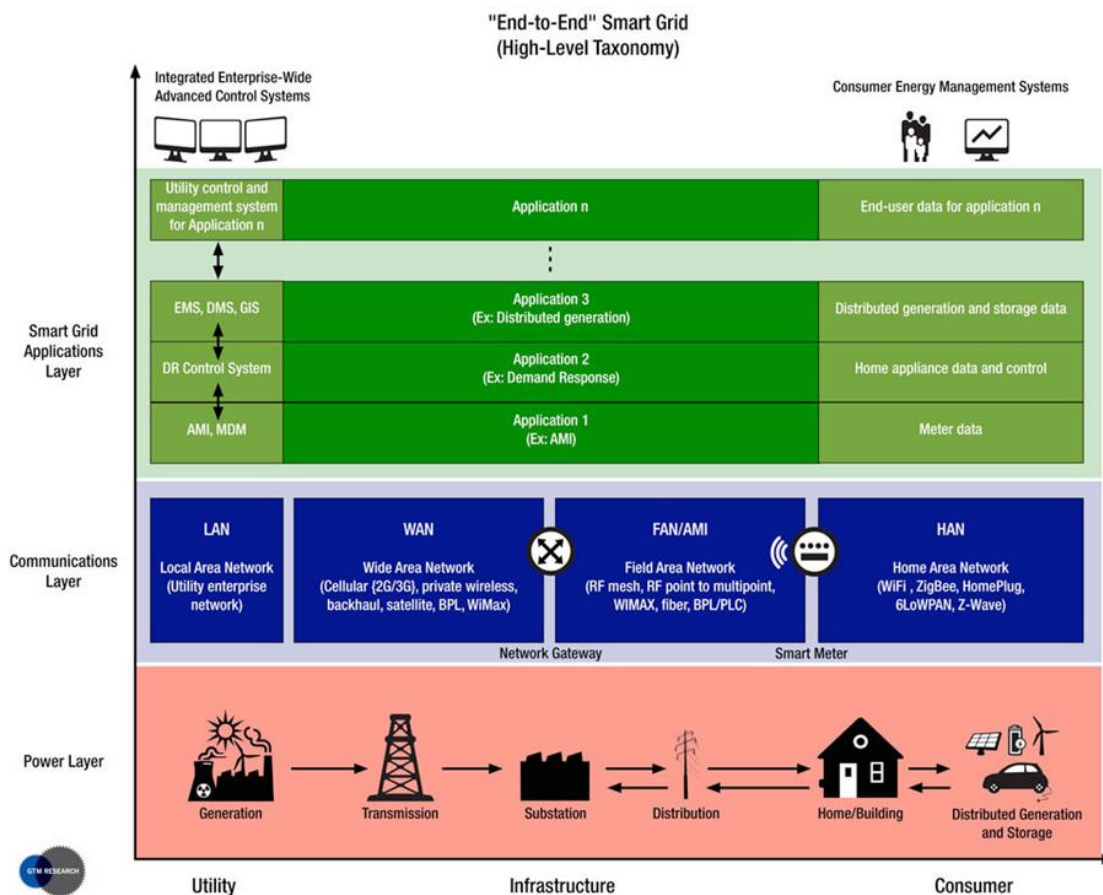
- IEC 61970
- IEC 60870-5
- IEC 61850

και τα αυτοτελή πρωτόκολλα :

- Modbus
- DNP3

| Όνομα | Πρότυπο | Περιγραφή | Εφαρμογές | Πεδίο Εφαρμογής |
|--|---|---|---|---|
| Common Information Model CIM | IEC 61970 | Πλαίσιο βασικών πρωτοκόλλων για την ενοποίηση των διάφορων συστημάτων διαχείρισης πληροφοριών | EMS, DMS, DA, DER, AMI, DR, Storage | Διαχείριση |
| Telecontrol equipment and systems & Teleprotection standards | IEC 60870-5 (IEC 60870-5-104 for use in TCP/IP networks) | Ομάδα βασικών πρωτοκόλλων επικοινωνίας των SCADA συστημάτων (open). Ευρύτατα διαδεδομένα στην Ευρώπη | IEDs, EMS, DMS, DA | Παραγωγή Διανομή Μεταφορά Διαχείριση |
| Communication Network & Systems in Substations | IEC 61850 (1-10) | Ομάδα βασικών πρωτοκόλλων επικοινωνίας των Υ/Σ και του εξοπλισμού των δικτύων ΗΕ, σε όλα τα επίπεδα. Η σύγχρονη έκδοση του χρησιμοποιεί το TCP/IP | EMS, DMS, DA, SA, DER, AMI, Storage, EV | Παραγωγή Διανομή Μεταφορά Διαχείριση |
| Modbus | Modbus | Βασικό πρωτόκολλο επικοινωνίας συστημάτων αυτοματισμού (open). | PLC automation systems, RTUs, IEDs | Παραγωγή Διανομή Μεταφορά Διαχείριση |
| Distributed Network Protocol DNP3 | IEEE 1815 | Βασικό πρωτόκολλο επικοινωνίας των SCADA συστημάτων (open). Ευρύτατα διαδεδομένο σε Αμερική και Ασία | Control Centers, RTUs, IEDs | Παραγωγή Διανομή Μεταφορά |
| Precision Time Protocol | IEEE 1588 | Συγχρονισμός των ρολογιών όλων των συστημάτων του ΕΗΔ | Οποιαδήποτε συσκευή με ενδείξεις χρόνου | Παραγωγή Διανομή Μεταφορά Διαχείριση |
| Communications for monitoring and control of wind power plants | IEC 61400-25 (1-5) | Επικοινωνία για εποπτεία και έλεγχο Α/Γ | EMS, DMS, DER | Παραγωγή Διανομή Διαχείριση |
| Electricity metering | IEC 62056 | Μετάδοση δεδομένων των έξυπνων μετρητών ΗΕ | DMS, DER, AMI, DR, Smart Home, Storage, EV | Διανομή Διαχείριση |
| Synchrophasors measurements for Power Systems | IEC/IEEE C37.118 | This standard defines the transmission format for reporting synchronized phasor measurements in power systems | PMU | Παραγωγή Διανομή Μεταφορά Διαχείριση |
| Security / Power systems management and associated information exchange – Data and Communications | IEC 62351 | Ασφάλεια μεταφοράς δεδομένων στα ΕΗΔ | EMS, DMS, DA, SA, DER, AMI, DR, Smart Home, Storage, EV | Παραγωγή Διανομή Μεταφορά Διαχείριση |

Πίνακας 4.4 Ειδικά πρωτόκολλα επικοινωνίας του Η/Μ εξοπλισμού των ΕΗΔ



Σχήμα 4.6 Τα επίπεδα (layers) λειτουργίας του ΕΗΔ

4.5 Ευφυή Δίκτυα Διανομής – Smart Distribution Systems

Τα ΔΔ είναι αυτά που θα υποστούν πραγματική μεταμόρφωση κατά τη μετάβαση ενός παραδοσιακού ΣΗΕ σε ολοκληρωμένο ΕΗΔ. Η διανομή είναι το τμήμα της παροχής ΗΕ στο οποίο αντιστοιχεί το μεγαλύτερο βάρος εφαρμογής του ΕΗΔ. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, αυτό οφείλεται :

- στο πολύ χαμηλό επίπεδο της μέχρι τώρα εποπτείας και του ελέγχου των ΔΔ
- στο ότι κατέχουν τη συντριπτική πλειοψηφία του συνολικού μήκους των γραμμών του δικτύου
- στο ότι υλοποιούν τη σύνδεση των προμηθευτών ΗΕ με την μεγάλη ποικιλία των φορτίων κατανάλωσης και
- στην απαίτηση για αύξηση της διεξόδου της ΔΠ στα ΔΔ.

Η θεμελιώδης, ωστόσο, απαίτηση για ένα ΔΔ είναι η διατήρηση της αξιοπιστίας του. Στόχος του Έξυπνου ΔΔ είναι όχι μόνο η διατήρηση αλλά η σημαντική αύξηση της αξιοπιστίας. Σύμφωνα με τον ορισμό του IEEE, η έννοια της αξιοπιστίας του ΔΔ αναφέρεται στην ικανότητα του ΔΔ να επιτελεί τη λειτουργία αποτελεσματικά υπό ορισμένες συνθήκες για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η αξιοπιστία του ΔΔ καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική αφού συναρτάται απευθείας με το επίπεδο ικανοποίησης των πελατών. Στην πράξη, πολλοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση του ΔΔ. Για παράδειγμα, τα δίκτυα αυτά είναι συχνά εκτεθειμένα σε δυσμενή φυσικά φαινόμενα με

αποτέλεσμα σε περίπτωση δυσμενών καιρικών συνθηκών η λειτουργία τους να επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις και εξαιτίας της ακτινικής δομής του δικτύου αντί της πολύπλοκης αλλά δικτυωτής/βροχοειδούς μορφής, οποιοδήποτε σφάλμα σε στοιχείο του δικτύου μπορεί να επηρεάσει την τροφοδοσία μεγάλου αριθμού καταναλωτών. Στοιχεία του δικτύου που είναι επιρρεπή σε σφάλματα είναι οι γραμμές και τα καλώδια διανομής, οι Μ/Σ ισχύος, οι πυκνωτές και οι ρυθμιστές τάσης. Στην πράξη, το τυπικό ΔΔ είναι υπεύθυνο για το 80% των προβλημάτων αξιοπιστίας που έχουν αντίκτυπο στους καταναλωτές.

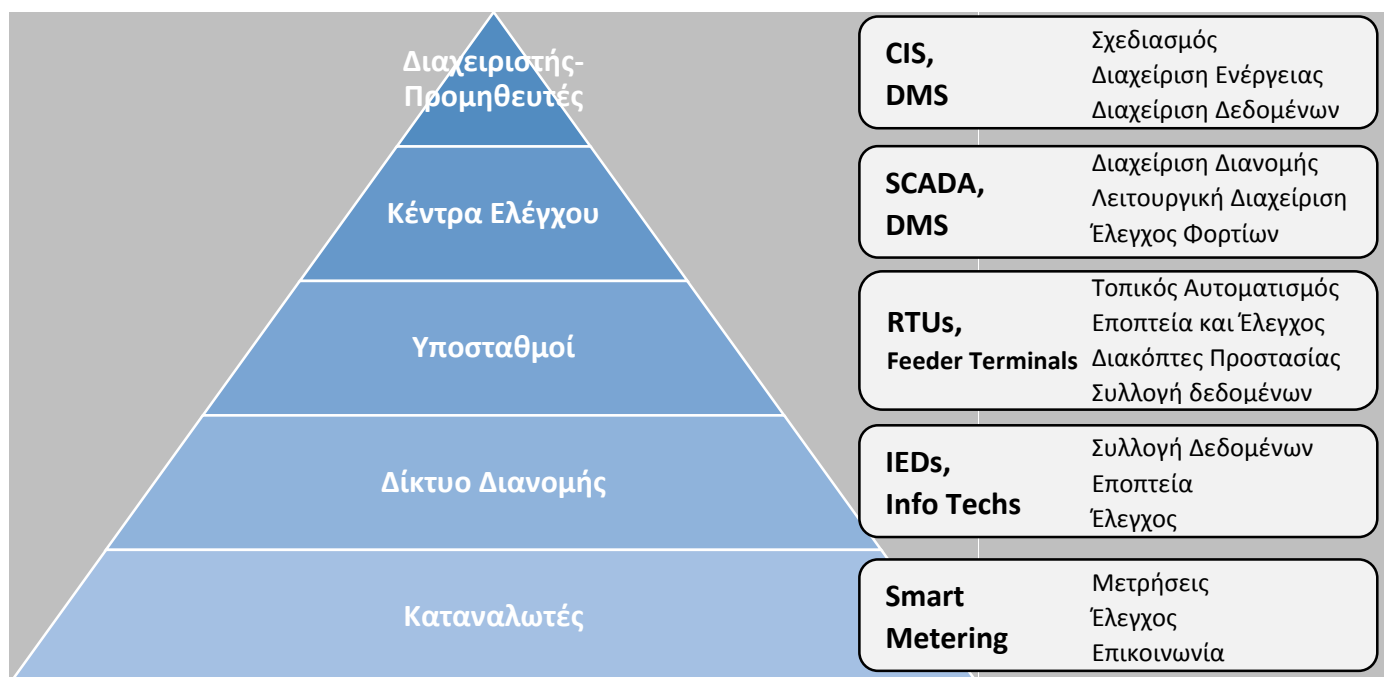
Με τη διείσδυση νέων ηλεκτρονικών συσκευών στο δίκτυο σε οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές, η απαίτηση για καλύτερη ποιότητα και συνεχή παροχή ΗΕ έχει αυξηθεί, θέτοντας νέους στόχους αξιοπιστίας στους Διαχειριστές του ΔΔ.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι η εξασφάλιση της αξιοπιστίας του ΔΔ με το βέλτιστο οικονομικό και δυναμικό τρόπο είναι βασικό ζητούμενο, με ταυτόχρονη αποφυγή νέων επενδύσεων για την ενίσχυση ή την επέκτασή του. Στόχος είναι η εκμετάλλευση και ο εκσυγχρονισμός του υπάρχοντος δικτύου και όχι η υπερδιαστασιολόγηση του με την κατασκευή νέων Υ/Σ και νέων γραμμών διανομής.

4.5.1 Αυτοματοποίηση Δικτύου Διανομής (Distribution Automation – DA)

Ο αυτοματισμός του ΔΔ (DA) αναφέρεται στην εποπτεία, τον έλεγχο και τη διαχείριση του ηλεκτρικού ΔΔ. Τα σύγχρονα συστήματα αυτοματισμού υιοθετούν νέες τεχνικές για την ανίχνευση σφαλμάτων, την απομόνωση και την επαναφορά της παροχής ισχύος ώστε, σε περίπτωση κάποιου σφάλματος στο δίκτυο, να διακόπτεται η παροχή ηλεκτρισμού στο μικρότερο δυνατό τμήμα του συστήματος ενώ οι υπόλοιποι καταναλωτές να τροφοδοτούνται κανονικά μέσω εναλλακτικών διαδρομών ή εναλλακτικών πηγών. Ένα αυτόματο ΔΔ παρέχει επίσης στον Διαχειριστή του ΔΔ όλες τις απαραίτητες πληροφορίες από τα διάφορα μετρητικά συστήματα. Για να γίνουν οι πληροφορίες αυτές επεξεργάσιμες, είναι απαραίτητο ένα σύστημα συλλογής και μεταφοράς των πληροφοριών αυτών, η διαχείριση των οποίων είναι μεγάλης σημασίας για τον αυτοματισμό του ΔΔ.

Ένα αυτόματο ΔΔ περιλαμβάνει όλα τα επίπεδα, από το διαχειριστή του ΔΔ μέχρι και τον καταναλωτή, με ιεραρχική μορφή όπως στο Σχήμα 4.7. Οι διατάξεις που απαιτούνται αυξάνουν όσο αυξάνεται η ιεραρχία ενώ την ίδια εξέλιξη ακολουθεί και ο όγκος των πληροφοριών.

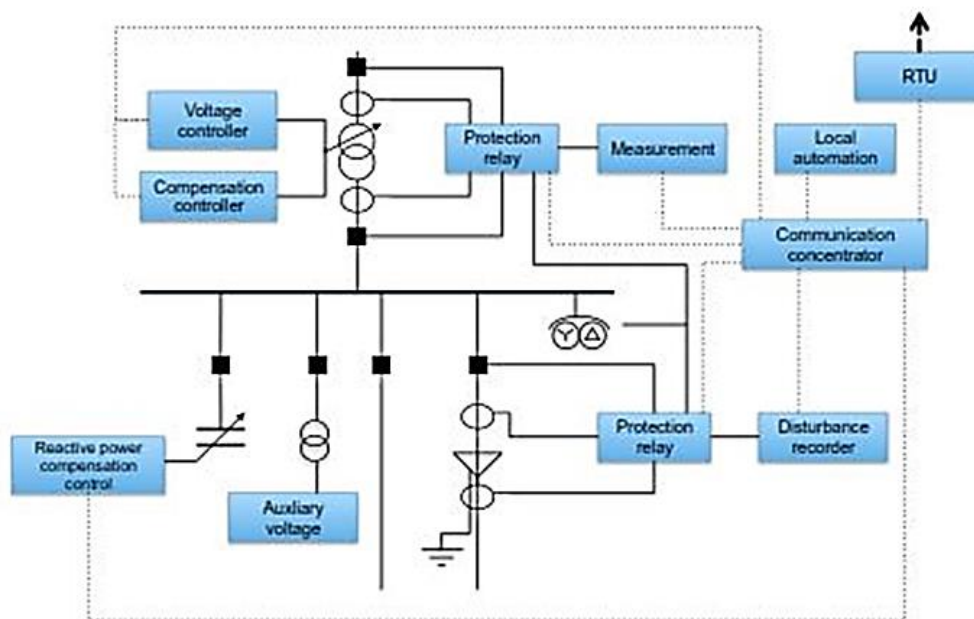


Σχήμα 4.7 Τα επίπεδα εφαρμογής της αυτοματοποίησης Δικτύου Διανομής (DA)

4.5.1.1 Αυτοματοποίηση Υποσταθμών (Substation Automation – SA)

Η εποπτεία και ο έλεγχος του εξοπλισμού ενός Υ/Σ αποτελεί σημαντικό τμήμα της αυτοματοποίησης του ΔΔ. Χωρίζεται σε δύο βασικά επίπεδα, τον αυτοματισμό σε επίπεδο συσκευών (device level automation) και τον αυτοματισμό σε επίπεδο Υ/Σ (station level automation). Στο πρώτο επίπεδο ανήκουν οι συσκευές που μας επιτρέπουν κάθε στιγμή τη μέτρηση βασικών μεγεθών. Το δεύτερο επίπεδο περιλαμβάνει τον τοπικό έλεγχο του ΥΣ με λειτουργίες όπως το κέντρο έκτακτης ανάγκης (alarm center) και τον απομακρυσμένο έλεγχο επικοινωνιών (remote control communication). (Development of process data utilization in proactive network management tabere univ of technology 2013)

Ένα παράδειγμα ενός αυτόματου ΥΣ φαίνεται στο Σχήμα 4.8. Ο ΥΣ αυτός διαθέτει τον κύριο Μ/Σ, ένα ζυγό τροφοδοσίας, τα στοιχεία αυτοματισμού καθώς και τις μεταξύ τους συνδέσεις. Οι συνεχείς γραμμές παρουσιάζουν την επικοινωνία μεταξύ κύριων (Μ/Σ, ζυγός τροφοδοσίας, διακόπτες) και δευτερευόντων στοιχείων, οι διακεκομμένες γραμμές την επικοινωνία μόνο μεταξύ των δευτερευόντων στοιχείων, ενώ τα τετράγωνα (blocks) όπως το Disturbance Recorder και το Measurement δηλώνουν την παρουσία λογικών λειτουργιών ενός αυτόματου Υ/Σ (logical functions) τα οποία μπορούν να περιλαμβάνονται σε μία μόνο φυσική συσκευή η οποία ονομάζεται ευφυής ηλεκτρική συσκευή – intelligent electric device (ΕΗΣ - IED).



Σχήμα 4.8 Λειτουργικό διάγραμμα αυτοματοποιημένου Υ/Σ (SA)

4.5.1.2 Έξυπνες Ηλεκτρονικές Συσκευές – ΕΗΣ (Intelligent Electronic Device – IED)

Κάθε IED που ενσωματώνεται στο ΗΔ διαθέτει τοπικά ένα επίπεδο ευφυίας ή επεξεργαστικής ικανότητας καλείται «έξυπνη ηλεκτρονική συσκευή». Σε επίπεδο αυτοματισμού και προστασίας συστημάτων ΗΕ, ο όρος IED χρησιμοποιείται για την περιγραφή συσκευών που ενσωματώνουν λειτουργίες προστασίας, λειτουργίες προηγμένου ελέγχου φορτίων, δυνατότητες απεικόνισης πληροφοριών καθώς και την ικανότητα πλήρους επικοινωνίας με τα συστήματα SCADA. Πάντως, ο όρος IED δεν αποτελεί ακριβή ορισμό.

Ένα πλήθος διακοπτικών συστημάτων διαφορετικών κατασκευαστών έχουν τη δυνατότητα να πραγματοποιούν διαδικασίες προστασίας, εποπτείας και ελέγχου, αλλά χρειάζονται τη συνδρομή μιας RTU μονάδας με την οποία είναι συνδεδεμένα ώστε να μπορούν να επικοινωνούν με το διαχειριστή του αντίστοιχου SCADA. Οι συσκευές αυτές χαρακτηρίζονται ως έξυπνοι διακόπτες αλλά δεν συμπεριλαμβάνονται στις IEDs. Αντίστοιχα, μερικοί διακόπτες μπορούν να επικοινωνούν απευθείας με το SCADA, αλλά χωρίς τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας και ελέγχου από το SCADA. Οι διακόπτες αυτοί συνήθως χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με ξεχωριστούς ελεγκτές που παρέχουν τις απαραίτητες λειτουργίες ελέγχου για την επίτευξη του απαραίτητου επιπέδου αυτοματισμού. Και αυτές οι διατάξεις δεν εντάσσονται στις IEDs.

Συνεπώς, η δυνατότητα μιας IED να εκτελεί όλες τις διαδικασίες προστασίας, ελέγχου, εποπτείας και προηγμένης επικοινωνίας, ανεξάρτητα και χωρίς τη συνδρομή άλλης διάταξης, αποτελεί το χαρακτηριστικό που προσδιορίζει μία IED.

Στο τμήμα του Υ/Σ οι IED ονομάζονται τερματικά τροφοδοσίας (feeder terminals) και αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της αυτοματοποίησης του ΥΣ. Συγκεκριμένα, όταν εμφανίζεται ένα σφάλμα το

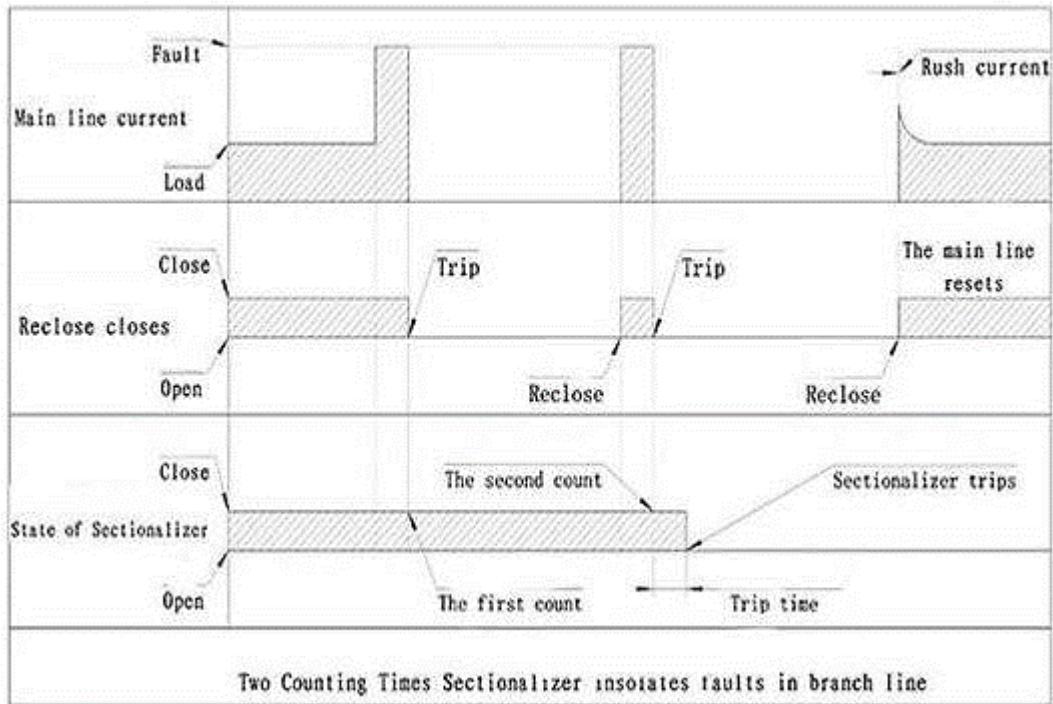
τερματικό τροφοδοσίας αρχικά κόβει την παροχή λειτουργώντας ως παραδοσιακό ρελαί προστασίας. Ταυτόχρονα, όμως, έχει τη δυνατότητα να μετρήσει βασικά μεγέθη (συχνότητα ρεύματος-τάσης, συντελεστή ισχύος, ενεργό –άεργο ισχύ), να ενεργοποιήσει το κέντρο ελέγχου για έκτακτη κατάσταση, να καταγράψει το θόρυβο, τη διακύμανση της τάσης, τις αρμονικές και άλλες παραμορφώσεις. Τέλος, οι ανωτέρω πληροφορίες αποστέλλονται στον χειριστή του SCADA ενώ υπάρχει και αμφίδρομη επικοινωνία για τη διαχείριση της τρέχουσας κατάστασης.

4.5.1.3 Διακόπτες Αυτόματης Επαναφοράς - Reclosers

Οι reclosers είναι διακόπτες ισχύος (Δ/I), που εγκαθίστανται σε εναέριες γραμμές, ενεργοποιούνται από ενσωματωμένους ηλεκτρονόμους (συνήθως ηλεκτρονόμους υπερέντασης φάσεων ή μηδενικής ακολουθίας) και εκτελούν προγραμματισμένο κύκλο διακοπών και αποκαταστάσεων κυκλώματος, όταν διεγερθούν, όταν ανιχνευτούν δηλαδή σφάλματα από τους ηλεκτρονόμους. Οι διακόπτες αυτόματης επαναφοράς εκκαθαρίζουν τα παροδικά σφάλματα που συμβαίνουν μετά από αυτούς, κατά τη διεύθυνση ροής της ΗΕ. Επιπλέον, σε περίπτωση μόνιμων σφαλμάτων μετά τον κύκλο διακοπών και αποκαταστάσεων, διακόπτουν οριστικά την ηλεκτροδότηση στο τμήμα της αναχώρησης που προστατεύουν. Το κλείσιμο των επαφών τους και η αποκατάσταση της ηλεκτροδότησης γίνεται χειροκίνητα ή με τηλεχειρισμούς, μετά την αποκατάσταση της βλάβης. Πρέπει να έχουν επιλογική συνεργασία τόσο με τον εξοπλισμό προστασίας που είναι εγκατεστημένος πριν από αυτούς, (διακόπτες ισχύος των αναχωρήσεων) όσο και με εκείνον που είναι τοποθετημένος μετά από αυτούς (διακόπτες απομόνωσης). Οι Δ/AE σε πολλές περιπτώσεις είναι τηλεχειριζόμενοι.

4.5.1.4 Διακόπτες Απομόνωσης – Sectionalizers

Είναι διακόπτες που τοποθετούνται στα τμήματα αναχώρησης που προστατεύονται από διακόπτη ισχύος ή και διακόπτη επαναφοράς. Οι διακόπτες απομόνωσης της ΔΕΗ δεν διακόπτουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης διότι έχουν προδιαγραφές διακόπτη φορτίου, διεγείρονται όμως από το ρεύμα βραχυκύκλωσης και από τους κύκλους λειτουργίας (επαναφοράς) του διακόπτη ισχύος ή του διακόπτη επαναφοράς στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ. Μετρούν με εσωτερικό μηχανισμό, αμέσως μόλις διέλθει μέσω αυτών το ρεύμα βραχυκύκλωσης, τους κύκλους λειτουργίας του Δ/I . Στον τελευταίο κύκλο ανοίγουν αφού ανοίξει ο Δ/I . Ακολούθως ο Δ/I κλείνει, μένει κλειστός, ενώ ο ΔA μένει ανοικτός. Σε παροχές ΜΤ μπορεί ο ΔA να ρυθμιστεί για να ανοίγει ήδη από τον πρώτο κύκλο, δηλαδή αμέσως μετά το άνοιγμα του Δ/I στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ. Έτσι απομονώνεται ο καταναλωτής, ενώ ο Δ/I στην αναχώρηση της γραμμής παραμένει κλειστός. Η τροφοδότηση των λοιπών καταναλωτών ΜΤ υφίσταται μόνο τις διακοπές που προέρχονται από τους κύκλους λειτουργίας του Δ/I στην αναχώρηση. Πλεονέκτημα των ΔA έναντι των ασφαλειών είναι ότι δεν χρειάζονται αλλαγή όπως οι ασφάλειες και έχουν πλήρη συνεργασία με το Δ/I στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ. Η επανάζευξη τους γίνεται είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα.

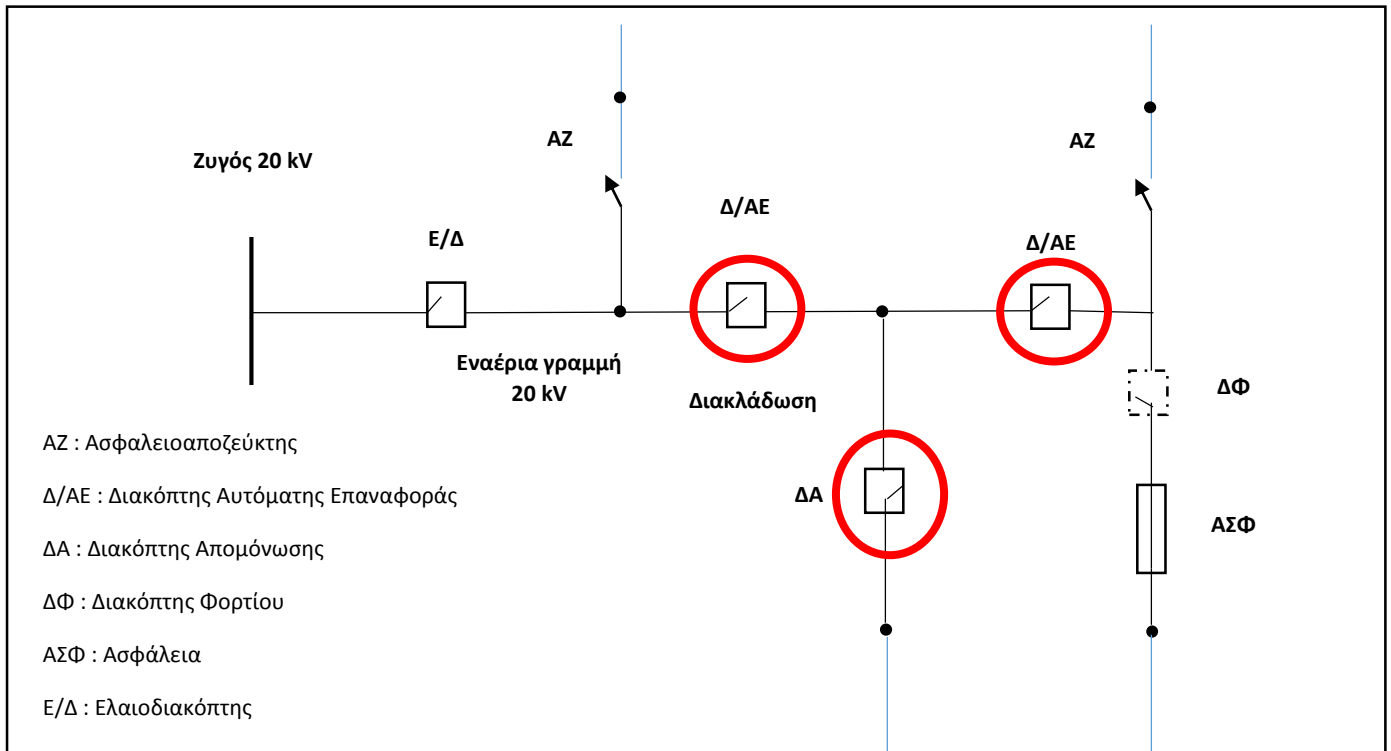


Σχήμα 4.9 Συνεργασία Δ/ΑΕ (recloser) με Δ/Α (sectionalizer). Εδώ ο Δ/Α είναι προγραμματισμένος να ανοίγει έπειτα από δύο κύκλους διακοπής-αποκατάστασης του Δ/ΑΕ



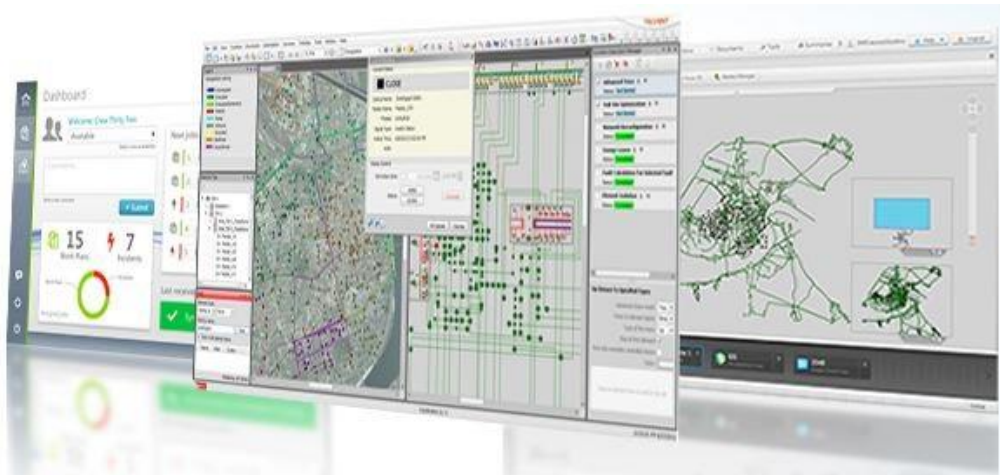
Σχήμα 4.10 Δ/Α (sectionalizer) Ελληνικού Δικτύου

Η παρουσία του Δ/ΑΕ και του Δ/Α υπάρχει ήδη στο παραδοσιακό ηλεκτρικό δίκτυο. Εντούτοις, στο ΕΗΔ οι διακόπτες αυτοί τοποθετούνται κατά κόρον στο ΔΔ και κυρίως όλο και πλησιέστερα στον τελικό καταναλωτή. Η βελτίωση στη παροχή της ΗΕ φαίνεται στο παράδειγμα που ακολουθεί και το οποίο εξηγεί τη λειτουργία τους.



Σχήμα 4.11 Τοποθέτηση ενός Δ/Α και ενός Δ/ΑΕ σε τμήμα εναέριας γραμμής ΜΤ του ΔΔ

4.5.1.5 Σύστημα Διαχείρισης Δικτύου Διανομής (Distribution Management Systems –DMS)

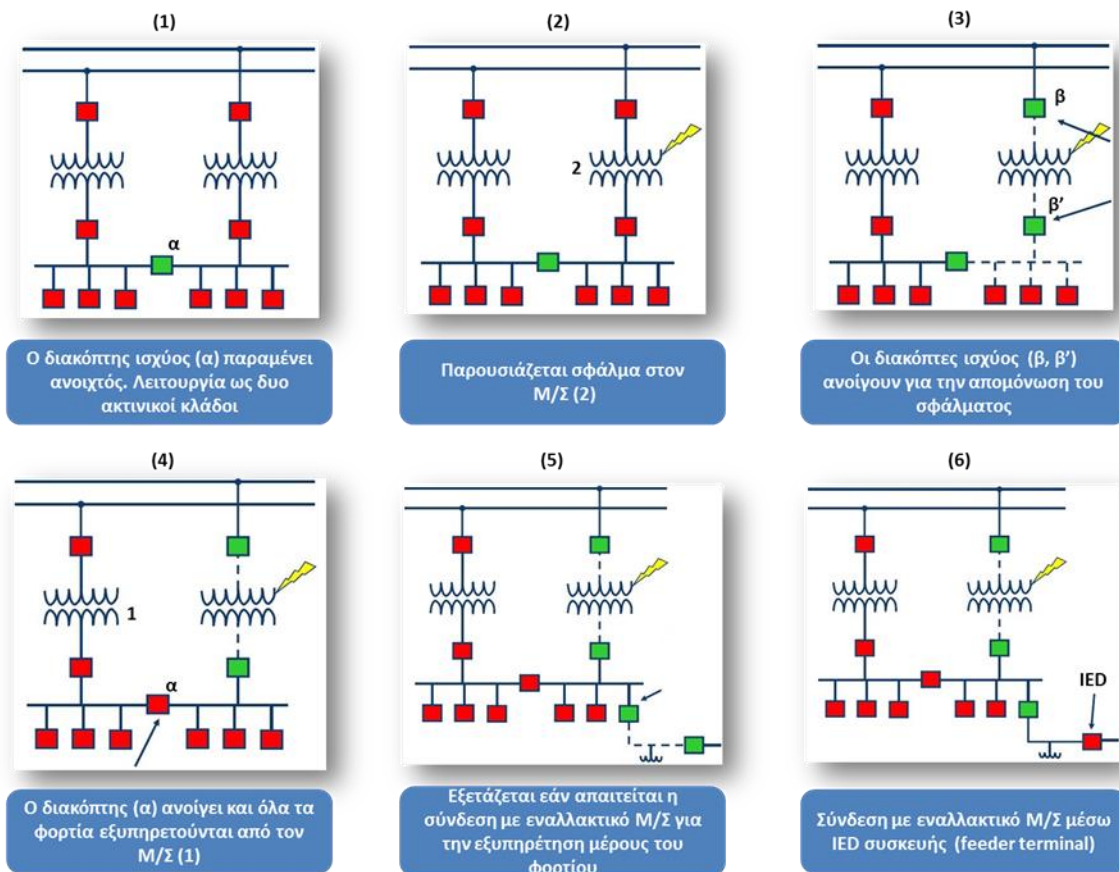


Σχήμα 4.12 Αναπαράσταση DMS

Ένα DMS αποτελείται από πλήθος εφαρμογών παρακολούθησης και εποπτείας ΗΕ που συμβάλλουν στην αποδοτικότερη διαχείριση ολόκληρου του ΔΔ. Το DMS λειτουργεί παράλληλα με το κέντρο ελέγχου του SCADA και συνεργάζεται με εφαρμογές διαχείρισης του ΔΔ ώστε να παρέχει επιπλέον πληροφορίες στο διαχειριστή του ΔΔ. Οι εφαρμογές που ενσωματώνονται σε ένα DMS διαφέρουν ανάλογα με την έκταση της περιοχής του ΔΔ. Οι σημαντικότερες είναι οι εξής :

- Ανίχνευση, απομόνωση και αποκατάσταση σφαλμάτων (Fault Detection Isolation & Restoration – FDIR)

Η λειτουργία FDIR αναφέρεται στη δυνατότητα του ηλεκτρικού δικτύου να ανιχνεύει την εμφάνιση και τη θέση των σφαλμάτων, να απομονώνει τον εξοπλισμό που ευθύνεται για το σφάλμα και να αποκαθιστά το ταχύτερο δυνατό την παροχή ΗΕ μέσω ανακατεύθυνσης της ροής ισχύος. Για την ορθή λειτουργία FDIR το ηλεκτρικό δίκτυο πρέπει να διαθέτει αισθητήρες για την ανίχνευση των σφαλμάτων, διακόπτες που ανακατευθύνουν τη ροή ισχύος και αλγόριθμους που ορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θα πραγματοποιηθεί η όλη διαδικασία.



Σχήμα 4.13 Απλοποιημένο παράδειγμα λειτουργίας του συστήματος FDIR [43]

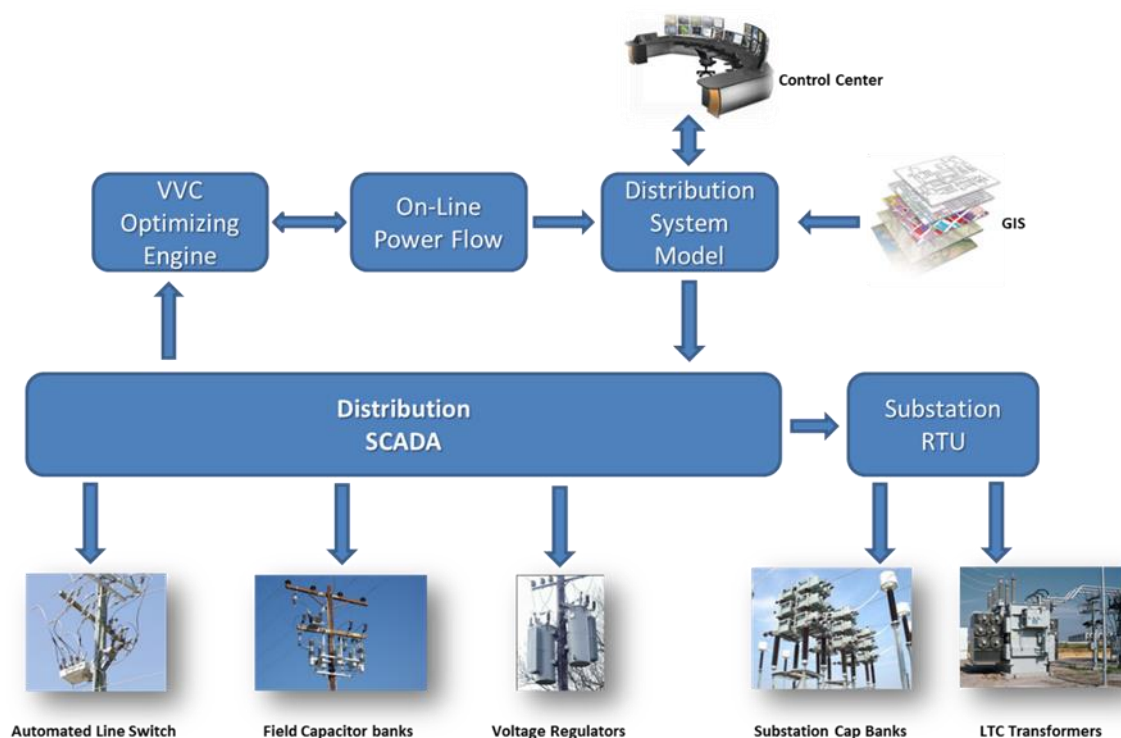
- Έλεγχος Τάσης και Αέργου Ισχύος (Volt-VAR control – VVC)

Ο έλεγχος τάσης και άεργου ισχύος χρησιμοποιείται για να μειώσει τις απώλειες ισχύος στο ΔΔ και θέτει τα αποδεκτά όρια διακύμανσης στις τιμές τάσης του δικτύου. Όπως έχει προαναφερθεί, κάθε σημείο ενός δικτύου ΗΕ έχει μοναδική τιμή τάσης. Το ζητούμενο είναι η ρύθμιση της τάσης να πραγματοποιείται όσο το δυνατό πλησιέστερα στα φορτία. Μέχρι τώρα ρύθμιση της τάσης γίνεται στους Υ/Σ με χρήση ΣΑΤΥΦ και με συστοιχίες πυκνωτών. Όμως, τα δίκτυα της ΜΤ των ΔΔ μπορούν να είναι ιδιαίτερα εκτεταμένα, με αποτέλεσμα η αρχική ρύθμιση της τάσης που γίνεται σε επίπεδο Υ/Σ να μην επαρκεί. Τα απομακρυσμένα σημεία των ΔΔ είναι ευαίσθητα είτε σε πτώσεις τάσης σε περίπτωση τοπικής αύξησης των φορτίων είτε σε υπερτάσεις λόγω απότομης μείωσης των τοπικών φορτίων. Σημαντικά είναι και τα προβλήματα που προκαλεί η σύνδεση μονάδων ΔΠ στα απομακρυσμένα σημεία των ΔΔ, που οδηγούν σε αυξημένους περιορισμούς στη διείσδυση τους,

όπως έχει προαναφερθεί. Για παράδειγμα, η ανεξέλεγκτη και χωρίς έλεγχο έγχυση ΗΕ σε ένα ΔΔ προκαλεί επικίνδυνες τοπικές υπερεντάσεις και αύξηση της συχνότητας της τάσης. Συμπερασματικά, η ρύθμιση της τάσης πρέπει να γίνεται κοντά στα φορτία, τόσο για την ποιότητα της παρεχόμενης ΗΕ όσο και για την αύξηση της διείσδυσης της ΔΠ στα ΔΔ.

Επιπλέον, η παραγωγή και η αντιστάθμιση της αέργου ισχύος πρέπει και αυτή με τη σειρά της να πραγματοποιείται όσο το δυνατό πλησιέστερα γίνεται στα φορτία που την απαιτούν. Μέχρι τώρα, αν εξαιρεθούν τα βιομηχανικά φορτία που διαθέτουν συστοιχίες πυκνωτών που παράγουν άεργο ισχύ για τη διαμόρφωση του επιθυμητού για αυτές συντελεστή ισχύος, η αντιστάθμιση αέργου για τους απλούς καταναλωτές γίνεται σε επίπεδο Υ/Σ διανομής. Αυτό επιφέρει μεγάλη αύξηση των απωλειών ΗΕ στα ΔΔ που αναγκάζονται να μεταφέρουν άεργο ισχύ σε μεγάλες αποστάσεις. Επιπλέον, με την αύξηση της χρήσης ασύγχρονων κινητήρων σε πολλές εφαρμογές (π.χ. κλιματιστικά, εξαιρισμοί) απαιτούνται ολοένα και μεγαλύτερα ποσά αέργου ισχύος για την εξυπηρέτηση οικιακών και εμπορικών φορτίων, η οποία άεργος ισχύς επιβάλλεται να παράγεται κοντά σε αυτά τα φορτία για λόγους οικονομίας και ευστάθειας, μέσω τοπικών συστημάτων όπως οι συστοιχίες πυκνωτών (Capacitor Banks) και οι μελλοντικοί smart inverters.

Ο συνδυασμός των VVC και FDIR συστημάτων συμβάλλει καθοριστικά στην αυτο-ίαση (self-healing) του ΕΗΔ.



Σχήμα 4.14 Λειτουργία της διαδικασίας VAr-Voltage Control (VVC) [44]

- Σύστημα Διαχείρισης Διεσπαρμένης Παραγωγής (Distributed Energy Resources Management System – DERMS)

Η συνεχώς αυξανόμενη διείσδυση της ΔΠ στα ΔΔ εγκυμονεί κινδύνους για την ευστάθεια και την ποιότητα ισχύος όπως έχει ήδη αναφερθεί. Η αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών γίνεται μέσω του σύγχρονου εξοπλισμού των ΔΔ. Πολλοί οργανισμοί έχουν προτείνει να μεταβιβασθεί ένα μέρος της ρύθμισης των παραμέτρων της παρεχόμενης ισχύος (όπως ένα μέρος του Volt/VAR control) στους αντιστροφείς των μονάδων ΔΠ, που πρέπει να εξελιχθούν σε συσκευές με αυξημένες δυνατότητες, τους έξυπνους αντιστροφείς (smart inverters). Οι αντιστροφείς αυτοί, εκτός από τις προηγμένες δυνατότητες ρύθμισης των παραμέτρων της ισχύος εξόδου των μονάδων ΔΠ, επιβάλλεται να έχουν την ικανότητα αμφίδρομης επικοινωνίας με το διαχειριστή του ΔΔ, ώστε να μπορεί ο διαχειριστής όχι μόνο να ενημερώνεται, αλλά και να επεμβαίνει στην ισχύ εξόδου της μονάδας.

Η διαχείριση της πληροφορίας των μονάδων ΔΠ θα πραγματοποιείται μέσω των συστημάτων DERM, τα οποία πρόκειται να αποτελούν υποσυστήματα των DMS. Η εξέλιξη των έξυπνων αντιστροφέων ως συσκευών έχει ήδη ολοκληρωθεί και αναμένεται η διεθνής προτυποποίηση της λειτουργίας τους η οποία εκτιμάται ότι θα ολοκληρωθεί στις αρχές του 2015. Τα IEC TR-61850-90-7, IEEE 1547 και UL/ANSI 1741 είναι τα σχετικά υπό εξέλιξη διεθνή πρότυπα. Ήδη ο οργανισμός Smart Inverter Working Group (SIWG) έχει εκδώσει το πρότυπο “California’s rule 21” το οποίο όμως έχει εφαρμογή μόνο στην πολιτεία της California των ΗΠΑ. Το IEC TR-61850-90-7 έχει ως στόχο την προτυποποίηση του αντιστροφέα με σκοπό να λειτουργεί ως η ολοκληρωμένη συσκευή εποπτείας και ελέγχου της παραγωγής ΗΕ, της αποθήκευσης της και της φόρτισης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου, χρησιμοποιώντας το πρότυπο IEC 61850 για την επικοινωνία με τον πάροχο ΗΕ και το διαχειριστή του ΔΔ. Σύμφωνα με το προσχέδιο IEC TR-61850-90-7, τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένας έξυπνος αντιστροφέας είναι:

- ✓ Έξυπνος έλεγχος τάσης-αέργου ισχύος
- ✓ Έξυπνος έλεγχος τάσης-ενεργού ισχύος
- ✓ Έλεγχος συντελεστή ισχύος
- ✓ Έξυπνος έλεγχος συχνότητας-ενεργού ισχύος
- ✓ Ικανότητα λειτουργίας υπό συνθήκες πτώσης τάσης (χωρίς να διακόπτεται η λειτουργία τους)
- ✓ Απόκριση της παραγωγής στη ζήτηση
- ✓ Διαχείριση συστημάτων αποθήκευσης
- ✓ Δυνατότητα αυτόματης σύνδεσης-αποσύνδεσης με το δίκτυο
- ✓ Έγχυση αέργου ισχύος ως απόκριση σε διαταραχές της τάσης (λειτουργία όπως τα FACTS, βλ. κεφ.3.6.4)
- ✓ Δυνατότητα ελέγχου της μέγιστης ισχύος εξόδου
- ✓ Δυνατότητα προσαρμογής των ορίων λειτουργίας στις εντολές του διαχειριστή του δικτύου

- Ανάλυση Ροής Φορτίου (Power Flow Analysis)

Η διαδικασία της ΑΡΦ στα έξυπνα ΔΔ απαιτείται να πραγματοποιείται ταχύτερα και με μεγαλύτερη συχνότητα σε σχέση με ότι γίνεται τώρα. Πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα εύκολου, κατά βούληση, καθορισμού του υπό μελέτη δικτύου. Σε συνεργασία με άλλα υποσυστήματα του DMS όπως το GIS, και με την επάρκεια των δεδομένων που προσφέρουν αυτά τα υποσυστήματα,

η δυναμική ΑΡΦ γίνεται εφικτή σε πραγματικό χρόνο, και ταυτόχρονα καθίσταται ιδιαίτερα αξιόπιστη για μελέτη μελλοντικών σεναρίων λειτουργίας του εκάστοτε τμήματος ενός ΔΔ. Με τη σειρά τους, τα αποτελέσματα από τις ΑΡΦ είναι απαραίτητα για την αποτελεσματική λειτουργία άλλων υποσυστημάτων του DMS, όπως της Βραχυχρόνιας Πρόβλεψης Φορτίου και της Εκτίμησης Κατάστασης, που θα παρουσιαστούν ακολούθως.

- **Βραχυχρόνια Πρόβλεψη Φορτίου (Short Term Load Forecasting-STLF)**
Στο σύστημα DMS υλοποιείται και η διαδικασία της Βραχυχρόνιας Πρόβλεψης Φορτίου η οποία κάνει εκτίμηση του αναμενόμενου φορτίου για ένα συγκεκριμένο τμήμα ενός ΔΔ. Η πρόβλεψη αφορά το διάστημα από την επόμενη ημέρα μέχρι, το πολύ, τις επόμενες δέκα ημέρες. Οι πληροφορίες που παράγει η διαδικασία STLF είναι απαραίτητες για τον βραχυχρόνιο σχεδιασμό της διαχείρισης των φορτίων και για τον προγραμματισμό των εργασιών συντήρησης του δικτύου. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες STLF είναι διάφορες αναλυτικές μέθοδοι, όπως αυτοί της παλινδρόμησης (Regression), που συσχετίζουν την κατανάλωση ΗΕ με τους παράγοντες του χρόνου και των καιρικών συνθηκών, οι μέθοδοι της Παρόμοιας Ημέρας (Similar Day) που βασίζονται σε ιστορικά δεδομένα φορτίων ημερών με χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά της πρόβλεψης, οι προηγμένες μέθοδοι υπολογιστικής νοημοσύνης (Computational Intelligence) όπως αυτές των τεχνητών νευρωνικών δικτύων, και της ασαφούς λογικής (Fuzzy Logic), καθώς και οι συνδυασμοί των ανωτέρω.
- **Εκτίμηση Κατάστασης (State Estimation)**
Η ΕΚ είναι ένας σύνθετος αλγόριθμος επεξεργασίας πληροφοριών που προσδιορίζει την πιθανότερη κατάσταση του ηλεκτρικού συστήματος βάσει των μετρούμενων μεγεθών της ΗΕ (μέτρα και γωνίες τάσεων των ζυγών). Χρησιμοποιεί μετρήσεις πραγματικού χρόνου, ψευδομετρήσεις (μοντέλα φορτίου που ορίζονται συνήθως ως κατανομές Gauss) και το μαθηματικό μοντέλο του συστήματος. Οι εκτιμητές κατάστασης περιέχουν λειτουργίες που σχετίζονται με την επεξεργασία τοπολογίας, την ανάλυση παρατηρησιμότητας, την εφαρμογή ΕΚ, την επεξεργασία κακών δεδομένων και την επεξεργασία παραμέτρων και σφαλμάτων.

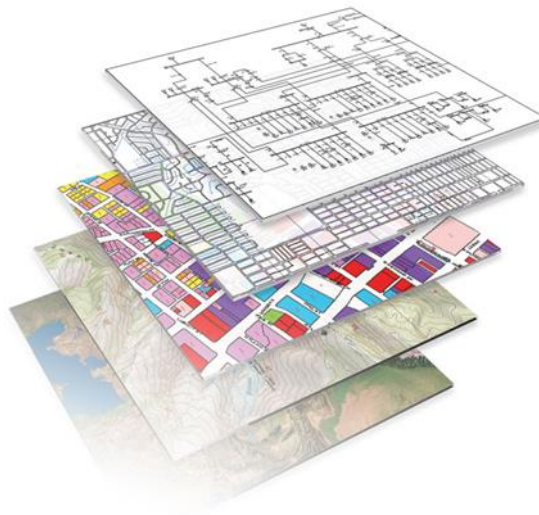
4.5.1.6 *Ανεξάρτητα Συστήματα Πληροφοριών που αλληλεπιδρούν με το DMS*

Παράλληλα με τις εφαρμογές που εμπεριέχονται σε ένα DMS, υπάρχουν και ανεξάρτητα συστήματα πληροφοριών που αλληλεπιδρούν με το DMS. Τα κυριότερα συστήματα είναι τα ακόλουθα:

- **Σύστημα Διαχείρισης Πληροφοριών των Πελατών (Customer Information System – CIS)**
Τα CIS συστήματα είναι αυτά που επεξεργάζονται τις πληροφορίες που σχετίζονται με τα προγράμματα τιμολόγησης της ΗΕ και το καταναλωτικό προφίλ των πελατών. Αποτελούν ανεξάρτητα συστήματα που αλληλεπιδρούν κυρίως με τα DMS παρέχοντάς τους επεξεργασμένες πληροφορίες, αλλά και με τα συστήματα συλλογής μετρήσεων και πληροφοριών, τα MDMS (βλέπε 4ο κεφάλαιο), από τα οποία αντλούν τα προς επεξεργασία δεδομένα. Καίτοι είναι ανεξάρτητα, σε πολλές υλοποιήσεις αποτελούν υποσυστήματα είτε του DMS είτε του MDMS.

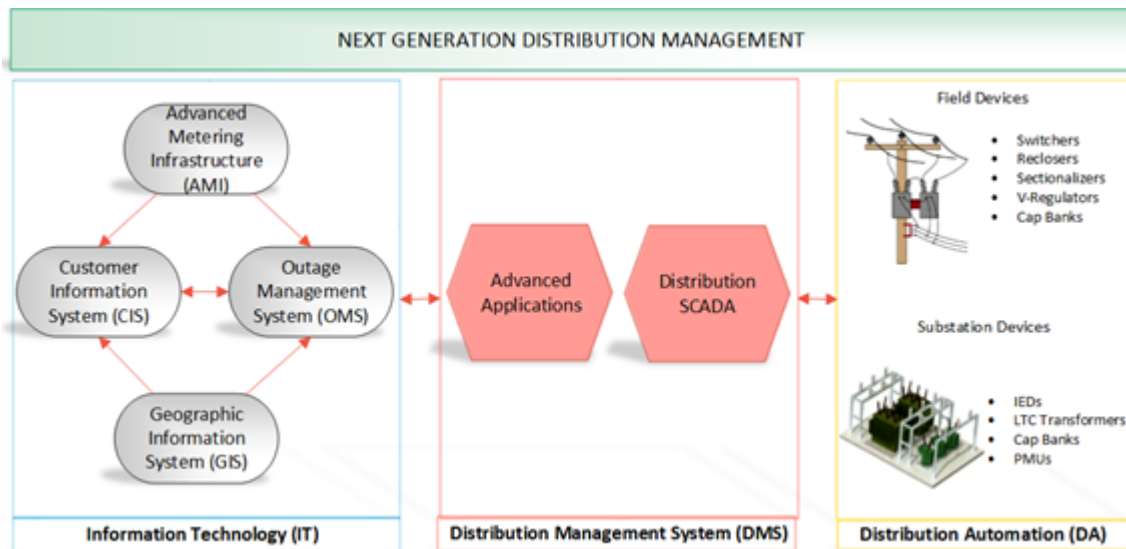
Το CIS διατηρεί βάσεις δεδομένων με τις βασικές πληροφορίες των πελατών (όνομα, διεύθυνση, αριθμός μετρητή), το πρόγραμμα τιμολόγησης κάθε πελάτη, το καταναλωτικό προφίλ του καθώς και στατιστικά δεδομένα που αφορούν την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας (βλάβες, διακοπές, χρόνοι αποκατάστασης). Επιπλέον, το CIS αναλαμβάνει την τιμολόγηση, την έκδοση του τιμολογίου και την αποστολή του στον πελάτη. Τέλος, αποτελεί την πύλη επικοινωνίας του πελάτη με τον πάροχο ΗΕ, απλοποιώντας και επιταχύνοντας την αμφίδρομη αποστολή μηνυμάτων, ενημερώσεων, αιτήσεων και εντολών.

- Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographic Information System – GIS)
Τα GIS είναι πληροφοριακά συστήματα (Information Systems) που παρέχουν τη δυνατότητα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, επεξεργασίας, ανάλυσης και οπτικοποίησης σε ψηφιακό περιβάλλον των δεδομένων χαρτογράφησης. Τα δεδομένα αυτά συνήθως λέγονται γεωγραφικά ή χαρτογραφικά ή χωρικά. Στα ΣΗΕ, το GIS απεικονίζει ψηφιακά όλα τα στοιχεία που σχετίζονται με το ΣΜ και το ΔΔ και παρέχει αυτά τα δεδομένα στις εφαρμογές του DMS.



Σχήμα 4.15 Αναπαράσταση μοντέλου GIS της εταιρείας ETAP

- Σύστημα Διαχείρισης Διακοπών (Outage Management System – OMS)
Το OMS είναι ένα λογισμικό που ελέγχεται από το διαχειριστή του ΔΔ. Σκοπός του είναι η άμεση αποκατάσταση σε περίπτωση βλάβης του δικτύου. Στα παραδοσιακά ΣΗΕ, τα OMS λαμβάνουν πληροφορίες από τα SCADA. Σε περιβάλλον ευφυών δικτύων τα OMS αλληλεπιδρούν και με άλλα συστήματα όπως τα CIS, τα GIS και τα AMI. Σε περίπτωση εμφάνισης βλάβης ο διαχειριστής λαμβάνει τις κλήσεις από τους καταναλωτές μέσω συστήματος που ονομάζεται Interactive Voice Response (IVR). Το πλεονέκτημα των IVR συστημάτων σε σχέση με τα παραδοσιακά τηλεφωνικά κέντρα είναι ότι μπορεί ταυτόχρονα να δέχεται πολλαπλές κλήσεις. Το IVR σε συνεργασία με το CIS καταγράφει την αναφορά σφάλματος. Μέσω του GIS εντοπίζεται η θέση και, στη συνέχεια, αποκαθίσταται η βλάβη. Σε τελικό στάδιο, δημιουργείται η αναφορά αποκατάστασης και το IVR ενημερώνει σχετικά τον καταναλωτή.



Σχήμα 4.16 Ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης Ευφυούς ΔΔ [45]

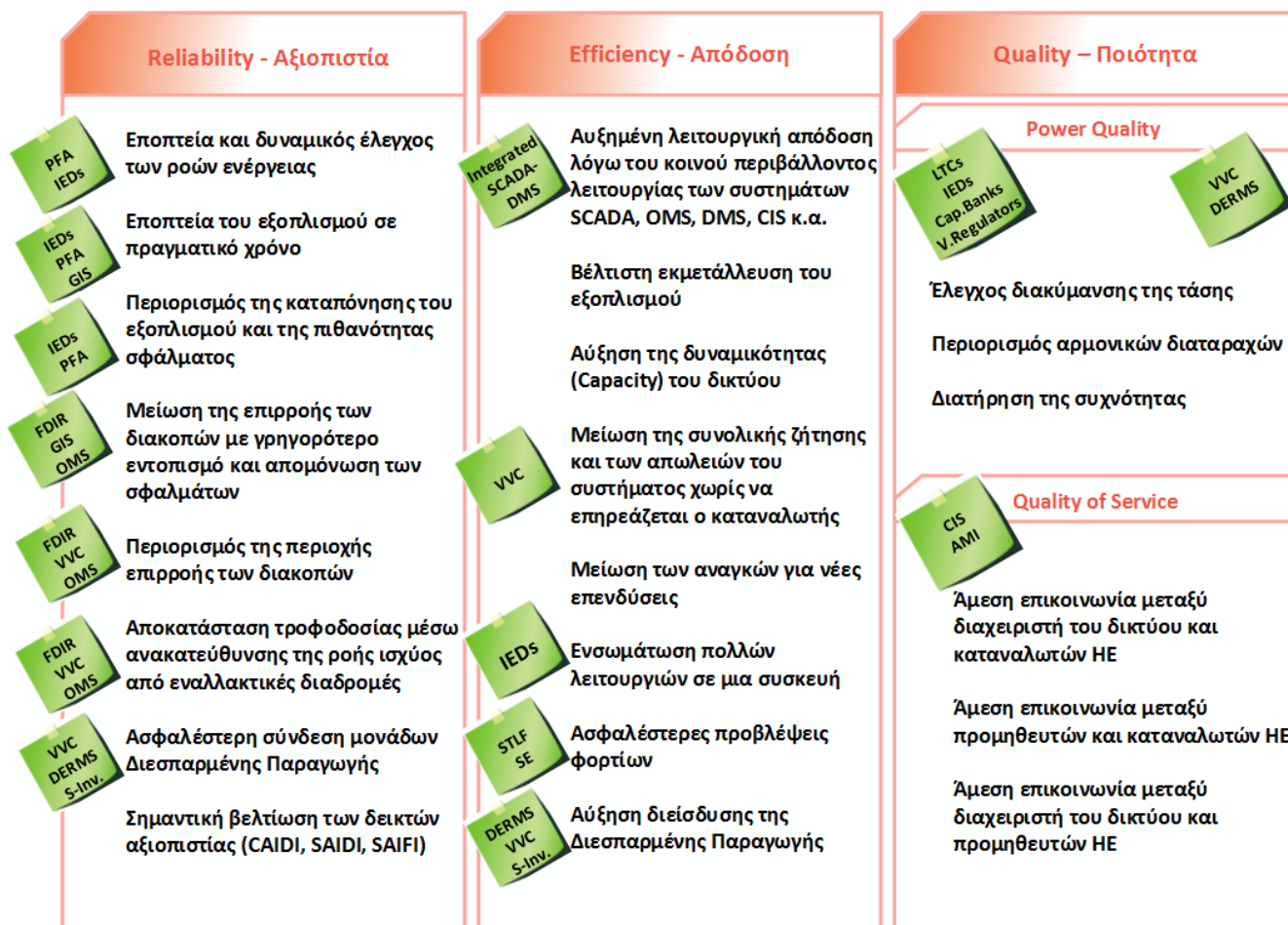
4.5.2 Οφέλη των Ευφύων Δικτύων Διανομής

Όπως κάθε τομέας του ΕΗΔ, έτσι και τα Ευφυή ΔΔ συμβάλλουν καθοριστικά στη βελτίωση των βασικών χαρακτηριστικών ενός συστήματος ΗΕ, που είναι τα ακόλουθα :

- Αξιοπιστία (Reliability)
- Αποδοτικότητα (Efficiency)
- Ποιότητα παρεχόμενης υπηρεσίας (Quality of Service)

Η αυτοματοποίηση του ΔΔ και η χρήση των σύγχρονων συστημάτων διαχείρισης κατά κύριο λόγο του DMS, επιφέρουν σημαντική βελτίωση των ανωτέρω θεμελιωδών χαρακτηριστικών η οποία μεταφράζεται σε άμεσα αλλά και μακροπρόθεσμα οφέλη για τους Διαχειριστές των ΔΔ, τους προμηθευτές και τους καταναλωτές ΗΕ. Οικονομοτεχνικές μελέτες του οργανισμού EPRI που αφορούν την εγκατάσταση ΕΗΔ στις ΗΠΑ έχουν δείξει ότι η βελτίωση των ανωτέρω χαρακτηριστικών λόγω της εισαγωγής ευφυΐας στα ΔΔ έχουν θετικό αντίκτυπο τόσο σε οικονομικό όσο και σε κοινωνικό επίπεδο [46].

Στον Σχήμα 4.16 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα οφέλη της εισαγωγής ευφυΐας στα ΔΔ ανά είδος βασικής λειτουργίας, με τα αντίστοιχα συστήματα και τον εξοπλισμό που κυρίως συμβάλλουν στο κατά περίπτωση όφελος.



GIS: Geographic Information System

DERMS: Distributed Energy Resources Management System

CIS: Customer Information System

STLF: Short Term Load Forecasting

LTC: Load Tap Changer Transformer

SE: State Estimation

PFA: Power Flow Analysis

VVC: Volt/Var Control

OMS: Outage Management System

FDIR: Fault Detection Isolation & Restoration

AMI: Advanced Metering Infrastructure

Σχήμα 4.17 Η Συμβολή των Έξυπνων ΔΔ στην βελτίωση των παραμέτρων λειτουργίας ενός ΣΗΕ

4.6 Ευφυή Συστήματα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας – Smart Transmission Systems

Η μετάβαση από τα συμβατικά ΣΗΕ προς τα ολοκληρωμένα ΕΗΔ, παράλληλα με τη μεταμόρφωση των ΔΔ, επιτάσσει την επιτάχυνση και εντατικοποίηση του εκσυγχρονισμού των ΣΜ ΗΕ. Καίτοι τα δίκτυα των ΣΜ θεωρούνται τα πλέον σύγχρονα και προηγμένα τμήματα των σύγχρονων ΣΗΕ, ενσωματώνοντας ένα καλό επίπεδο εποπτείας μέσω των συστημάτων SCADA, η εγκατάσταση προηγμένων τεχνολογικών συστημάτων ελέγχου της μεταφοράς ΗΕ παραμένει ιδιαίτερα περιορισμένη. Η βελτιστοποίηση της εποπτείας και η ουσιαστική ενσωμάτωση προηγμένων συστημάτων ελέγχου είναι καίριας σημασίας ώστε τα ΣΜ να ακολουθήσουν της αρχές που διέπουν/πρεσβεύουν τα ΕΗΔ. Οι αρχές αυτές είναι:

- αύξηση της ικανότητας μεταφοράς ΗΕ των υπαρχόντων δικτύων
- εξασφάλιση ακόμα καλύτερου επιπέδου ευστάθειας του ΣΜ
- αύξηση της αξιοπιστίας του ΣΜ
- αύξηση της ασφάλειας του ΣΜ
- μείωση των απωλειών ΗΕ

παράλληλα με:

- την ελαχιστοποίηση της ανάγκης επέκτασης του δικτύου μεταφοράς
- την ελαχιστοποίηση των αναγκών εγκατάστασης νέων συμβατικών μεγάλων μονάδων παραγωγής ΗΕ

Φαινομενικά, οι ανωτέρω στόχοι είναι ασύμβατοι μεταξύ τους αφού, μέχρι πριν από τρεις δεκαετίες, η εξομάλυνση της λειτουργίας του ΣΜ ήταν εφικτή μόνο μέσω της υπερδιαστασιολόγησής του, της επέκτασης του δικτύου με νέες ΓΜ και της εγκατάστασης μεγάλων συμβατικών μονάδων παραγωγής ΗΕ. Στα μέσα της δεκαετίας του '80, σε χώρες όπως οι ΗΠΑ και η Ιαπωνία, ξεκίνησε η ουσιαστική ενσωμάτωση ενός αρχικού επιπέδου εποπτείας (αρχικά SCADA) και ελάχιστων προηγμένων τεχνολογικών συστημάτων ελέγχου, όπως τα πρώτα FACTS, με αρκετά υψηλό όμως κόστος και χωρίς να έχουν καθοριστικό ρόλο στην εύρυθμη λειτουργία των ΣΜ. Τη δεκαετία του '90, τα περισσότερα συστήματα είχαν ήδη ωριμάσει τεχνολογικά, αλλά η χρήση τους παρέμενε περιορισμένη λόγω του υψηλού κόστους και της επικρατούσας, ακόμα, λογικής της ενίσχυσης της παραγωγής ΗΕ και της επέκτασης των δικτύων μεταφοράς ΗΕ. Στα σύγχρονα ΣΗΕ, το ισοζύγιο έχει ανατραπεί καθώς η βέλτιστη αξιοποίηση του υπάρχοντος ΣΜ, που οδηγεί ταυτόχρονα σε αξιόπιστη λειτουργία, είναι πλέον, όχι μόνο εφικτή, αλλά και οικονομικά συμφέρουσα σε σχέση με την επέκταση του δικτύου και την εγκατάσταση νέων μονάδων παραγωγής ΗΕ.

Με την καθολική χρήση αισθητήρων σε όλα τα σημεία του ΣΜ, με την εγκατάσταση βελτιωμένων συστημάτων SCADA, των επαναστατικών συστημάτων μέτρησης με μονάδες PMU, και με τη συγκέντρωση της πληροφορίας σε ένα κεντρικό EMS σύστημα του διαχειριστή, είναι δυνατή η πλήρης εποπτεία του ΣΜ και η παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου σε πραγματικό χρόνο.

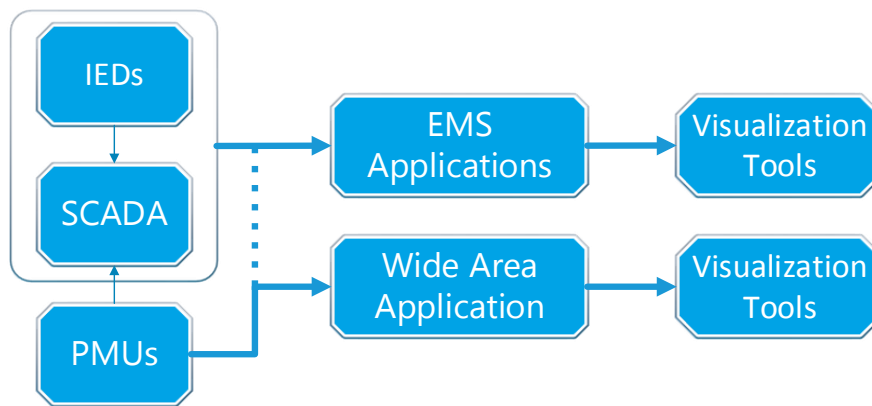
Παράλληλα, ο δυναμικός έλεγχος και η πλήρης εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του ΣΜ γίνονται εφικτά με την ευρεία χρήση των FACTS και της HVDC μεταφοράς.

4.6.1 Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας – (Energy Management System – EMS)

Ένα EMS περιλαμβάνει ένα σύνολο εφαρμογών με σκοπό την παρακολούθηση, τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας στα συστήματα μεταφοράς ΗΕ, καθώς και το συντονισμό και τη βέλτιστη διαχείριση των μεγάλων μονάδων παραγωγής ΗΕ. Συνήθως, αναφέρεται και ως EMS/SCADA, καθώς οι λειτουργίες παρακολούθησης και ελέγχου προέρχονται από τα SCADA. Το EMS ελέγχεται από το διαχειριστή του ΣΜ και βρίσκεται μαζί με τα SCADA στα κέντρα ελέγχου. Όπως και στα DMS, στα EMS ενσωματώνονται εφαρμογές όπως η Ανάλυση Ροής Φορτίου, η Εκτίμηση Κατάστασης, η Πρόβλεψη Φορτίου και τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών.

Το 2011 ο Διεθνής Οργανισμός Προτυποποίησης (ISO) δημοσίευσε το ISO 50001 – EMS με το οποίο καθορίζεται η δομή ενός EMS με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Το πρότυπο

είναι βασισμένο στην μεθοδολογία Plan-Do-Check-Act που περιλαμβάνει τις διακριτές φάσεις υλοποίησης : Σχεδιασμός, Εφαρμογή, Έλεγχος, Δράση/Βελτίωση.



Σχήμα 4.18 Ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης Ευφύων ΣΜ

4.6.2 High Voltage Direct Current – HVDC

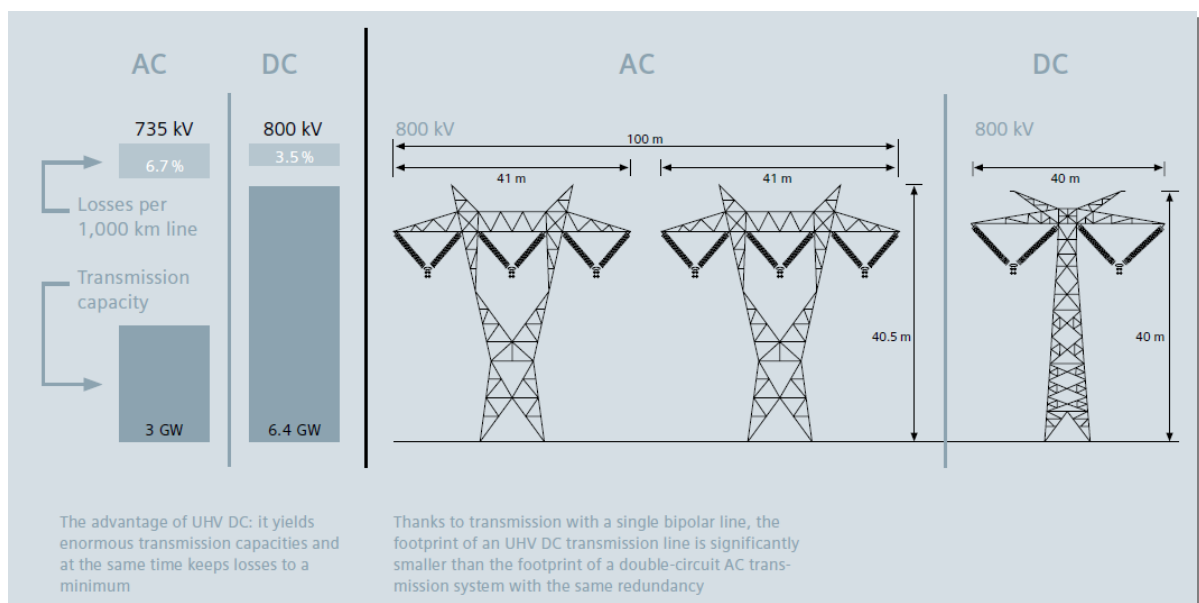
Η τεχνολογία των HVDC συστημάτων αναπτύχθηκε για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις μέσω γραμμών μεταφοράς ή υποβρύχιων καλωδίων με μειωμένες απώλειες. Το πρώτο HVDC σύστημα μεταφοράς εφαρμόστηκε το 1954 στο Gotland της Σουηδίας για τη διασύνδεση του νησιού με την ηπειρωτική χώρα μέσω υποβρύχιου καλωδίου. Είχε τη δυνατότητα μεταφοράς ισχύος 20MW υπό τάση 100kV. Ακολούθησαν και άλλα έργα όπως αυτό της Σαρδηνίας (1967) και του Nelson River(1973). Στις πρώτες αυτές εφαρμογές χρησιμοποιούνταν ανορθωτές ατμών υδραργύρου. Καίτοι η μεταφορά με HVDC συστήματα ήταν πλέον δυνατή, το κόστος δεν ήταν ακόμη ανταγωνιστικό έναντι των HVAC συστημάτων μεταφοράς. Με την εισαγωγή της τεχνολογίας των θυρίστορ και των μετατροπέων πηγής ρεύματος τα HVDC συστήματα άρχισαν να κερδίζουν έδαφος. Η πραγματική καινοτομία ήλθε στα τέλη του '90 με τη χρήση διακοπτικών στοιχείων με δυνατότητα ελεγχόμενης έναυσης και σβέσης όπως τα IGBT και της PWM διαμόρφωσης όπου και έγινε δυνατός ο ανεξάρτητος έλεγχος της ενεργού και άεργου ισχύος.

Τα HVDC χρησιμοποιούνται κυρίως σε τρεις σημαντικές περιπτώσεις [47]:

- Για τη διασύνδεση μη-συγχρονισμένων δικτύων κρατών, μεγάλων πόλεων ακόμα και νησιών. Συστήματα που λειτουργούν σε διαφορετική συχνότητα αλλά και συστήματα που λειτουργούν στην ίδια συχνότητα και δεν είναι συγχρονισμένα δεν μπορούν να συνδεθούν με AC.
- Για τη μεταφορά ΗΕ από μεγάλες μονάδες παραγωγής σε μεγάλες αποστάσεις. Ενώ το AC είναι σημαντικά φθηνότερο για μικρές αποστάσεις, το HVDC είναι φθηνότερο για μεγάλες αποστάσεις. Η χρήση DC στη μεταφορά ΗΕ καθίσταται αποδοτική (break-even point) για χερσαίες διασυνδέσεις μεγαλύτερες από 400-800km και για υποθαλάσσιες μεγαλύτερες από 40-80km.
- Για τη χρήση καλωδίων μεγάλου μήκους. Καθώς το μήκος του καλωδίου μεγαλώνει, δημιουργούνται μεγάλα ρεύματα φόρτισης, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η δυνατότητα μεταφοράς ενέργειας.

Τα βασικά συγκριτικά πλεονεκτήματα του DC σε σχέση με το AC είναι τα ακόλουθα:

- Οι DC γραμμές έχουν μικρότερες απώλειες (αποφυγή επιδερμικού φαινομένου (skin effect) και του φαινομένου γειννίαςσης (proximity effect)).
- Τα DC συστήματα δεν έχουν περιορισμούς ως προς το μήκος των γραμμών.
- Για την κάλυψη πολύ μεγάλων αποστάσεων όπου απαιτείται μεταφορά ΥΥΤ, τα DC συστήματα είναι φθηνότερα στην κατασκευή και τη διαχείριση.
- Το DC δεν έχει συχνότητα και ο συντελεστής ισχύος είναι πάντα 1, σε αντίθεση με το AC όπου κυμαίνονται μεταξύ 50 και 60 Hz και από 0 έως 1 αντίστοιχα.
- Το DC δεν εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.
- Η διασύνδεση υπεράκτιων μονάδων παραγωγής και η υπεράκτια διασύνδεση μεταξύ κρατών (πχ Ελλάδα – Ιταλία) είναι εφικτή μόνο με DC.



Σχήμα 4.19 Σύγκριση AC και HVDC ΣΜ

Η σύνδεση ενός AC ΣΜ με ένα HVDC καθώς και η αντίστροφη διαδικασία επιτυγχάνεται μέσω των τριφασικών μετατροπών. Υπάρχουν δύο βασικά είδη τριφασικών μετατροπών που καθιστούν δυνατή τη μεταφορά ενέργειας μέσω HVDC συστημάτων. Οι μετατροπείς πηγής τάσης (voltage source converters – VSC) που υλοποιούνται με διατάξεις διακοπτικών στοιχείων όπως τα IGBTs και τα GTOs και οι μετατροπείς πηγής ρεύματος (current source converters – CSC) που υλοποιούνται με διατάξεις βασισμένες στα θυρίστορ. Η συνηθέστερη διάταξη CSC χρησιμοποιεί τη δωδεκαπαλμική γέφυρα θυρίστορ για οικονομικούς λόγους, ενώ υπάρχουν και διατάξεις με 24, 48 κλπ παλμούς.

4.6.3 Ευέλικτα Συστήματα Μεταφοράς Εναλλασσόμενου Ρεύματος (Flexible AC Transmission Systems – FACTS)

Η δυνατότητα του ΣΜ στη μεταφορά ΗΕ επηρεάζεται από τους ακόλουθους περιορισμούς : (α) ευστάθεια γωνίας, (β) τάση μαγνήτισης, (γ) θερμοκοί περιορισμοί, (δ) μεταβατική ευστάθεια, και (ε) δυναμική ευστάθεια. Οι περιορισμοί αυτοί ορίζουν τη μέγιστη ενέργεια που μπορεί να μεταφερθεί χωρίς να προκληθούν βλάβες στις ΓΜ και στο ηλεκτρικό εξοπλισμό. Όπως έχει προαναφερθεί, οι περιορισμοί του ΣΜ μπορούν να αντιμετωπιστούν θεωρητικά με την προσθήκη νέων ΓΜ και νέων μονάδων παραγωγής, κάτι το οποίο παρουσιάζει απαγορευτικά κόστη επενδύσεων και αντίστοιχη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Τη λύση προσφέρουν τα σύγχρονα ευέλικτα συστήματα μεταφοράς εναλλασσόμενου ρεύματος που αντιμετωπίζουν τους περιορισμούς αυτούς χωρίς να απαιτούνται οι κοστοβόρες επενδύσεις επέκτασης του δικτύου. Τα FACTS είναι μια τεχνολογία βασισμένη στα ηλεκτρονικά ισχύος που ενισχύει τη δυνατότητα ελέγχου και αυξάνει τα όρια της μέγιστης μεταφερόμενης ισχύος στα AC ΣΜ.

Οι ελεγκτές FACTS κατηγοριοποιούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες :

- Στα FACTS ελεγχόμενα από θυρίστορ.
- Στα FACTS ελεγχόμενα από μετατροπείς ισχύος.

Τα FACTS με μετατροπείς ισχύος έχουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά καθώς επιτρέπουν την έγχυση ή απορρόφηση όχι μόνο άεργου αλλά και ενεργού ισχύος με το δίκτυο. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν:

- ✓ Οι ελεγχόμενοι σύγχρονοι αντισταθμιστές (STATic synchronous COMpensators – STATCOM)
- ✓ Οι ελεγχόμενοι σύγχρονοι αντισταθμιστές σειράς (Static Synchronous Series Compensators – SSSC)
- ✓ Οι ενοποιημένοι ρυθμιστές ροής ισχύος (Unified Power Flow Controllers – UPFC)
- ✓ Οι ρυθμιστές ροής ισχύος μεταξύ γραμμών μεταφοράς (Interline Power Flow Controllers – IPFC)

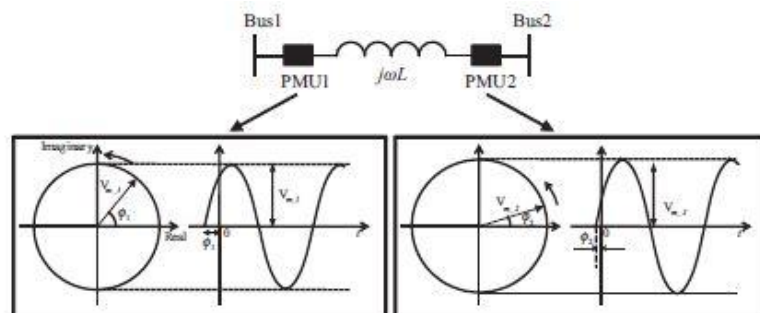
Εκτός από την κατηγοριοποίηση με βάση τα ηλεκτρονικά ισχύος (θυρίστορ και μετατροπείς ισχύος) με τα οποία υλοποιούνται, τα FACTS κατηγοριοποιούνται και ανάλογα με τη συνδεσμολογία τους. Εκτός από τις βασικές λειτουργίες που είναι κοινές για όλα τα FACTS, όπως η απόσβεση των ταλαντώσεων, η εξομάλυνση των κυματομορφών και η δυναμική και μεταβατική ευστάθεια τάσης, η συνδεσμολογία καθορίζει και ορισμένα πρόσθετα χαρακτηριστικά, όπως:

- Αντιστάθμιση σειράς (series controllers)
- Εγκάρσια αντιστάθμιση (shunt controllers)
- Συνδυασμός σειριακής – εγκάρσιας αντιστάθμισης (Combined series – shunt controllers)

4.6.4 Μονάδες Μέτρησης Φασιθετών (Phasor Measurement Units – PMUs)

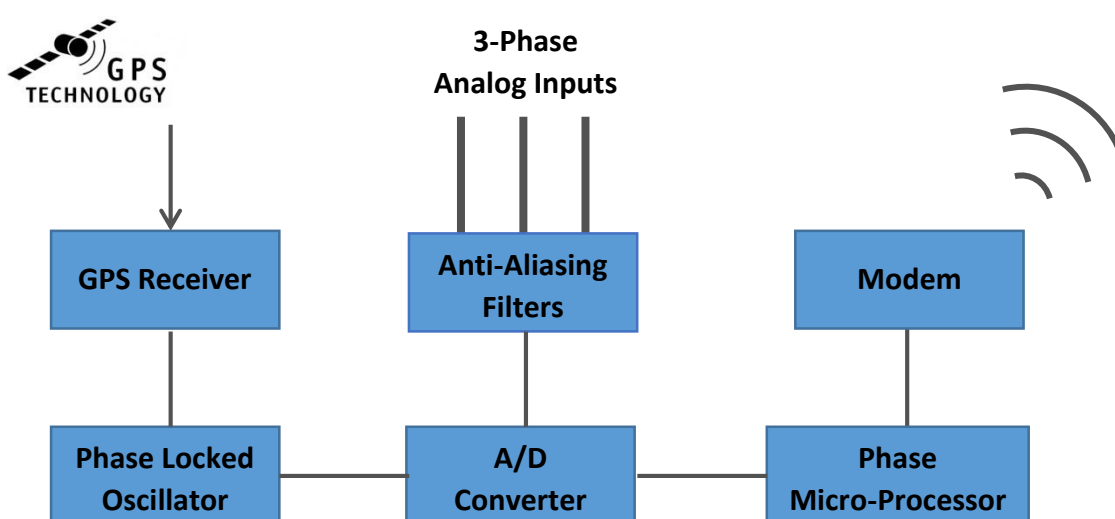
PMU (εμπορικά γνωστή και ως Synchrophasor) ονομάζεται η διάταξη που μπορεί να μετρήσει με μεγάλη ακρίβεια τους συγχρονισμένους φασιθέτες τάσης και ρεύματος σε ένα σημείο του συστήματος ΗΕ. Το 1988 οι Phadke και Thorp στο Πανεπιστήμιο της Βιρτζίνια εφάρμοσαν τεχνικές για τον υπολογισμό φασιθετών σε πραγματικό χρόνο, συγχρονισμένων ως προς μια απόλυτη χρονική

αναφορά. Η ύπαρξη του δορυφορικού συστήματος GPS (Global Positioning System) και η τότε σύγχρονη ψηφιακή τεχνολογία έκανε εφικτή την απόλυτη χρονική αναφορά και έτσι το 1992 βγήκε στην παραγωγή η πρώτη PMU.



Σχήμα 4.20 Συγχρονισμένες μετρήσεις φασιδέτων σε δυο διαφορετικά σημεία του ΣΜ

Μια μονάδα PMU μπορεί να μετρήσει τις κυματομορφές τάσης και ρεύματος σε ένα ζυγό ή σε μία γραμμή μεταφοράς με συχνότητα δειγματοληψίας 2880 τιμές ανά sec. Με τη βοήθεια ενός Μ/Σ υποβιβασμού της ΥΤ, οι αναλογικές AC κυματομορφές εκάστης των τριών φάσεων, αφού περάσουν από φίλτρο για την αποκοπή υψίσυχνων αρμονικών, ψηφιοποιούνται από ψηφιακό μετατροπέα (A-D Converter). Στη συνέχεια, ένας ταλαντωτής (phase-lock oscillator) θέτει «χρονική σφραγίδα» στις μετρήσεις με ακρίβεια ενός millisecond, χρησιμοποιώντας ως αναφορά τους ανά sec παλμούς του συστήματος GPS που λαμβάνει μέσω ενός δέκτη. Έτσι, η PMU αποστέλλει 30-60 χρονικά προσδιορισμένους φασιδέτες (synchrophasors) υψηλής ακρίβειας, σε έναν τοπικό δέκτη, τον Phasor Data Concentrator (PDC), και από εκεί η συγκεντρωμένη πληροφορία των γειτονικών PMUs καταλήγει στο κέντρο ελέγχου και εποπτείας του συστήματος, στο EMS/SCADA. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται πολύ ταχέως, με αποτέλεσμα ο διαχειριστής του ΣΜ να έχει τη δυνατότητα παρακολούθησης του συστήματος ουσιαστικά σε πραγματικό χρόνο.



Σχήμα 4.21 Λειτουργικό διάγραμμα PMU

Οι PMUs, καίτοι αποτελούν εξοπλισμό πολύ υψηλού κόστους, έχουν καθοριστική συμβολή στη διατήρηση της ευστάθειας ενός συστήματος ΗΕ, διότι παρέχουν την πλέον ταχεία και αξιόπιστη πληροφόρηση για την κατάσταση του ΣΜ, πληροφόρηση άμεσα αξιοποιήσιμη από τις διαδικασίες της εκτίμησης κατάστασης και της ανάλυσης ροής φορτίου. Οι PMUs αποτελούν την απάντηση στις ακόλουθες αδυναμίες/ελλείψεις που παρουσιάζουν τα SCADA συστήματα:

- έλλειψη συγχρονισμένων δεδομένων
- αδυναμία παρακολούθησης της δυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος σε πραγματικό χρόνο
- αδυναμία εποπτείας μεγάλων γεωγραφικά περιοχών

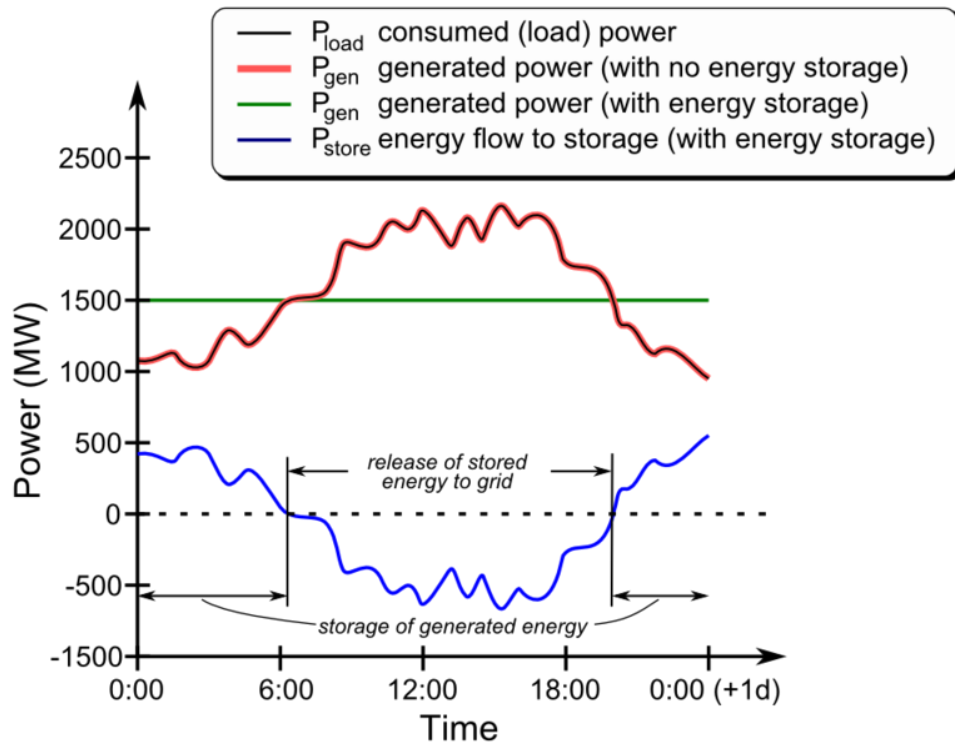


Σχήμα 4.22 PMU μονάδα (General Electric)

Στο σημείο αυτό, σημειώνεται ότι οι PMU διατάξεις και τα FACTS αναλύονται λεπτομερώς στο 6^ο κεφάλαιο.

4.7 Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο – Grid energy storage

Η αποθήκευση ΗΕ αποτελεί βασικό συστατικό (παράλληλη εφαρμογή) των Ευφύων Ηλεκτρικών Δικτύων. Η βελτίωση της ευστάθειας, η αύξηση της αξιοπιστίας και η αύξηση της ευελιξίας είναι τομείς στους οποίους τα συστήματα αποθήκευσης ΗΕ μπορούν να έχουν καθοριστική συμβολή κατά τη μετάβαση από τα συμβατικά ΣΗΕ στα ΕΗΔ. Τα συστήματα αποθήκευσης ΗΕ μικρής κλίμακας που είναι μόνιμα συνδεδεμένα στο σύστημα, όπως οι συστοιχίες μπαταριών και οι υπερπυκνωτές μπορούν άμεσα να απορροφήσουν ή να αποδώσουν ΗΕ στο δίκτυο, συμβάλλοντας στη διατήρηση των τοπικών ορίων ευστάθειας και στην αδιάλειπτη παροχή ισχύος σε περίπτωση διακοπών. Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα αποθήκευσης ΗΕ μεγάλης κλίμακας, όπως τα συστήματα αντλησιοταμίευσης, δίνουν τη δυνατότητα δυναμικής παρέμβασης στις καμπύλες παραγωγής και φορτίου ενός ΣΗΕ. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η συνεισφορά των συστημάτων αποθήκευσης ΗΕ στην αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς μπορούν να προσδώσουν ευελιξία τόσο στο χρόνο όσο και στην ισχύ έγχυσης ΗΕ, που έχει παραχθεί από ΑΠΕ, στο δίκτυο. Στη συνέχεια, ακολουθεί αναλυτικά η συνεισφορά των συστημάτων αποθήκευσης ΗΕ σε επίπεδο λειτουργίας του δικτύου, καθώς και μία αναφορά της συμβολής τους σε επίπεδο λειτουργίας κτιρίου ή μικροδικτύου.



Σχήμα 4.23 Καμπύλες παραγωγής ΗΕ και φορτίου ενός ΣΗΕ με ή χωρίς αποθήκευση ΗΕ

4.7.1 Χαρακτηριστικά συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και η συνεισφορά τους στο δίκτυο

Συμβολή στη διατήρηση ευστάθειας του ΣΗΕ και της ποιότητας παρεχόμενης ισχύος

- Τα συστήματα αποθήκευσης ΗΕ συμβάλλουν στην ευστάθεια συχνότητας και τάσης του συστήματος και στην ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος μέσω της προσφοράς πρωτεύουσας (5-15 sec) και δευτερεύουσας (15-90 sec) εφεδρείας, ανάλογα με την τεχνολογία αποθήκευσης.
- Συμβάλλουν στην τοπική ρύθμιση της τάσης, καθώς αποτρέπουν τόσο τις υπερτάσεις απορροφώντας ΗΕ σε στιγμές χαμηλού τοπικά φορτίου, όσο και τις πτώσεις τάσης αποδίδοντας ΗΕ στο δίκτυο σε στιγμές υψηλού τοπικά φορτίου.

Παροχή εφεδρείας ισχύος στο δίκτυο

- Τα συστήματα αποθήκευσης ΗΕ παρέχουν τριτεύουσα (90sec - 20min) και στατή (20min – 4h) εφεδρεία σε περιόδους αιχμής φορτίου

Συμβολή στην αύξηση της αξιοπιστίας του ΣΗΕ

- Η αποθήκευση ΗΕ συμβάλλει στη διατήρηση της αξιοπιστίας των συστημάτων μέσω της άμεσης απόκρισης σε σφάλματα και διακοπές του δικτύου (συνδεδεμένες διατάξεις αποθήκευσης ΗΕ άμεσης απόδοσης) και μέσω της συνεισφοράς στην αδιάλειπτη παροχή ισχύος (προσφοράς στατικής εφεδρείας από μονάδες αποθήκευσης ΗΕ μεγάλης κλίμακας)
- Εξασφάλιση αδιάλειπτης παροχής ισχύος σε επίπεδο μικροσυστήματος έπειτα από διακοπή παροχής από το δίκτυο.

Συμβολή στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας συμβατικών μονάδων παραγωγής ΗΕ

- Με την αποθήκευση ΗΕ αποτρέπεται η υπερδιαστασιολόγηση θερμικών μονάδων παραγωγής ΗΕ. Μια διάταξη αποθήκευσης μπορεί να έχει το ρόλο στρεφόμενης εφεδρείας της θερμικής μονάδας, αποτρέποντας έτσι την υπερδιαστασιολόγηση της μονάδας για την ασφαλή κάλυψη ενδεχόμενης υψηλής αιχμής του φορτίου.
- Πλήρης εκμετάλλευση και ασφαλής λειτουργία θερμικών μονάδων. Οι διατάξεις αποθήκευσης συμβάλλουν στην αποφυγή παραβίασης των τεχνικών ελαχίστων των μονάδων σε περιόδους χαμηλού φορτίου, απορροφώντας το περίσσειμα της παραγωγής ΗΕ.

Βελτιστοποίηση λειτουργίας των ΑΠΕ και αύξηση της διείσδυσης τους στο ΣΗΕ

- Με τη χρήση αποθηκευτικής διάταξης αυξάνεται η διείσδυση των ΑΠΕ στο μείγμα παραγωγής ΗΕ ενός συστήματος [13,14], αποθηκεύοντας την πλεονάζουσα ΗΕ στις ώρες χαμηλού φορτίου (π.χ. βραδινές ώρες) και αποδίδοντάς την κατά ελεγχόμενο τρόπο στις ώρες αιχμής του συστήματος.
- Ο συνδυασμός αποθηκευτικής διάταξης με μονάδες ΑΠΕ εξομαλύνει τις διακυμάνσεις της παραγωγής ΗΕ. Η ισχύς εξόδου τέτοιων υβριδικών συστημάτων έχει πολύ καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά με αποτέλεσμα τόσο την εξάλειψη κινδύνων για την ευστάθεια του δικτύου όσο και την περαιτέρω αύξηση της διείσδυσης της παραγωγής από ΑΠΕ.

Εξοικονόμηση πόρων και περιορισμός απωλειών ΗΕ

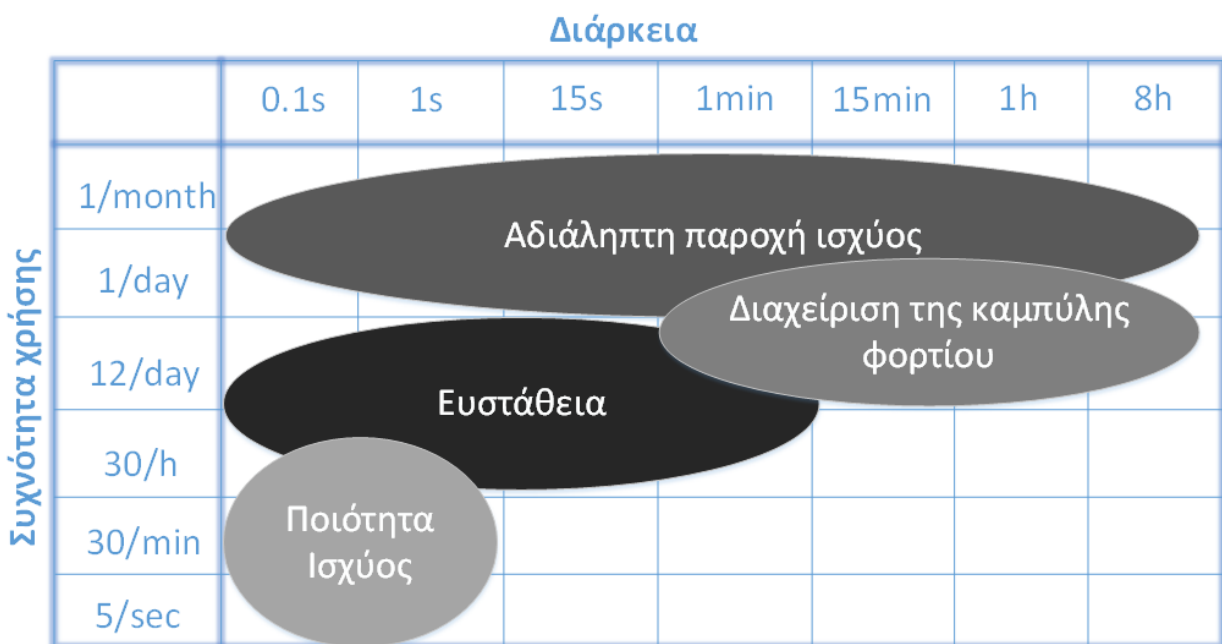
- Αποτρέπονται επενδύσεις για εγκατάσταση νέων μονάδων παραγωγής με σκοπό την παροχή επικουρικών υπηρεσιών (εφεδρεία, υπηρεσίες διατήρησης ευστάθειας)
- Περιορίζονται οι απώλειες του δικτύου λόγω της δυνατότητας παροχής ισχύος σε πολύ τοπικό επίπεδο
- Η χρήση μέσου αποθήκευσης ΗΕ είναι απαραίτητη στην ομαλή λειτουργία αυτόνομων συστημάτων

Συμβολή στην αλλαγή της αγοράς ΗΕ

- Η αποθήκευση ΗΕ παρέχει ευελιξία στους προμηθευτές που δραστηριοποιούνται σε ένα σύστημα να αγοράζουν ΗΕ σε χαμηλές τιμές από τους παραγωγούς και να την διαθέτουν έπειτα στους

πελάτες τους όποτε αυτοί την χρειάζονται, με αποτέλεσμα το χαμηλότερο κόστος της προσφερόμενης ΗΕ.

- Η αποθήκευση ΗΕ σε επίπεδο μεμονωμένης οικίας/επιχείρησης ή και μικροδικτύου καθιστά ευέλικτη τη ζήτηση ΗΕ από το σύστημα, παρέχοντας τη δυνατότητα ελαχιστοποίησης του κόστους μέσω της βέλτιστης εκμετάλλευσης προγραμμάτων παροχής ΗΕ (προγράμματα DR).
- Οι διατάξεις αποθήκευσης αυξάνουν την πραγματική αξία της ΗΕ από μονάδες ΑΠΕ λόγω της κατακόρυφης αύξησης της ευστάθειας και της ποιότητας της παραγόμενης ισχύος από τέτοια υβριδικά συστήματα. Τα υβριδικά συστήματα παραγωγής εμφανίζουν επίπεδα αξιοπιστίας και ποιότητας ισχύος εφάμιλλα με αυτά των συμβατικών μονάδων με αποτέλεσμα να μπορούν να τις ανταγωνιστούν στις αγορές ΗΕ. Από τη στιγμή όπου έχουν τη δυνατότητα παραγωγής αξιόπιστης και φθηνής ΗΕ δεν χρειάζονται ούτε εγγυημένες τιμές αγοράς με συμβολή κρατικής επιδότησης ούτε ρήτρες εγγυημένης απορρόφησης ΗΕ. Κατ' αυτό τον τρόπο, μεταβάλλονται και οι κανόνες της αγοράς ΗΕ.



Σχήμα 4.24 Χρήσεις της αποθήκευσης ΗΕ

4.7.2 Ταξινόμηση διατάξεων με κριτήριο τη διάρκεια αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Κάθε εφαρμογή παροχής ΗΕ στο δίκτυο απαιτεί διαφορετικό χρονικό διάστημα απόδοσης της ισχύος που κυμαίνεται από μερικά δευτερόλεπτα έως πολλές ώρες. Λόγω της πεπερασμένης ΗΕ που μπορεί να αποθηκευτεί από τις διάφορες τεχνολογίες, μια χρήσιμη ταξινόμηση των διατάξεων σχετίζεται με τη χρονική κλίμακα απόδοσης της αποθηκευμένης ενέργειας στο δίκτυο.

- **Διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης**
Χρησιμοποιούνται για εξυπηρέτηση των αιχμών ζήτησης κατά τη διάρκεια της ημέρας συμβάλλοντας στην ευστάθεια λειτουργίας ενός ΣΗΕ. Μπορούν να προσφέρουν ή να απορροφήσουν ενέργεια για πολύ μικρό χρονικό διάστημα (λίγα δευτερόλεπτα έως μερικά λεπτά).

Στις διατάξεις αυτές ανήκουν οι σφόνδυλοι, οι υπερπυκνωτές και τα υπεραγωγίμα υλικά, οι δεξαμενές αποθήκευσης νερού.

- **Διατάξεις μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης**

Χρησιμοποιούνται για χρονικούς ορίζοντες από μερικά λεπτά ως μερικές ώρες. Έχουν το ρόλο στρεφόμενης εφεδρείας, συμβάλλουν στην αύξηση διείσδυσης των ΑΠΕ και στη διαχείριση της παρεχόμενης ισχύος στους καταναλωτές. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι μπαταρίες και οι τεχνολογίες υδρογόνου.

- **Διατάξεις μακροπρόθεσμης αποθήκευσης**

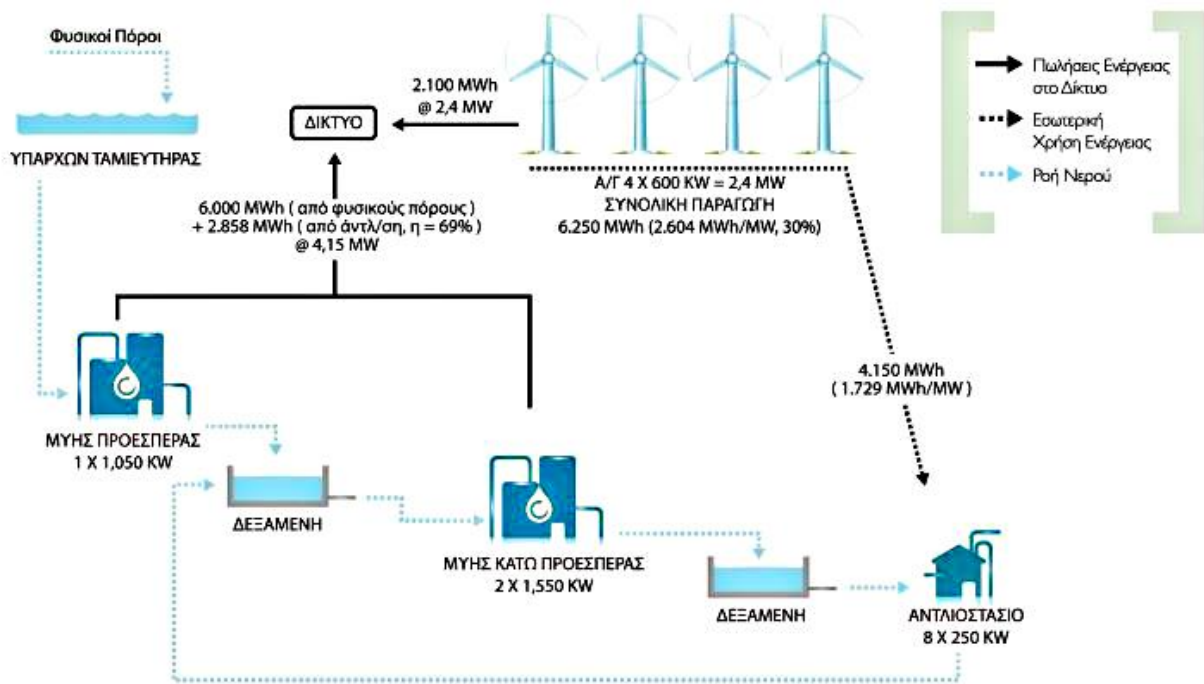
Αφορά διατάξεις αποθήκευσης ΗΕ από αρκετές ώρες μέχρι εβδομάδες ή και μήνες. Χρησιμοποιούνται για την ικανοποίηση της ζήτησης αιχμής έχοντας αποθηκεύσει ενέργεια σε περιόδους χαμηλής ζήτησης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι τεχνολογίες αντλησιοταμίευσης, η αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα και η αποθήκευση μέσω γεωθερμίας.

4.7.3 Τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες τεχνολογίες αποθήκευσης ΗΕ, εκάστη με διαφορετικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν το αν η τεχνολογία είναι κατάλληλη για την εκάστοτε εφαρμογή. Τα χαρακτηριστικά αυτά σχετίζονται με το χρόνο φόρτισης, το χρόνο απόδοσης/εκφόρτισης, την ικανότητα αποδιδόμενης ισχύος, την αμεσότητα/διαθεσιμότητα στην απόδοση ΗΕ, το κόστος επένδυσης, την αξιοπιστία και τη διάρκεια ζωής τους. Οι διαδεδομένες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας στο δίκτυο είναι οι ακόλουθες :

- **Αντλησιοταμίευση (Pump – hydro storage)**

Η αντλησιοταμίευση αποτελεί την πλέον διαδεδομένη μέθοδο για κεντρική αποθήκευση ΗΕ σε επίπεδο δικτύου. Είναι μια τεχνολογία που εκμεταλλεύεται την υψομετρική διαφορά δύο δεξαμενών. Σε περιόδους υψηλής ζήτησης ΗΕ το νερό που είναι αποθηκευμένο στην υψηλότερα τοποθετημένη δεξαμενή απελευθερώνεται προς τη χαμηλότερα τοποθετημένη δεξαμενή διερχόμενο μέσα από ένα υδροστρόβιλο που παράγει ΗΕ (εκφόρτιση). Σε περιόδους χαμηλής ζήτησης (off-peak periods) χρησιμοποιείται σύστημα αντλίας-στροβίλου για να ανεβάσει το νερό από το χαμηλότερο στο υψηλότερο επίπεδο (φόρτιση). Προς το παρόν, αν και η αντλησιοταμίευση μπορεί να δώσει υψηλή χωρητικότητα ενέργειας με χαμηλό κόστος δεν χρησιμοποιείται όσο θα ήταν αναμενόμενο, με τη χρήση της να περιορίζεται σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης ΗΕ μεγάλης κλίμακας. Σύμφωνα με έρευνα του EPRI η αντλησιοταμίευση αντιπροσωπεύει παγκοσμίως το 99% της κεντρικής αποθήκευσης ενέργειας σε επίπεδο δικτύου φθάνοντας περίπου τα 127GW σε συνδυασμό ορισμένες φορές με φράγματα νερού. Η απόδοση ενός τέτοιου συστήματος κυμαίνεται μεταξύ 70% και 80%.



Σχήμα 4.25 Σχηματική αναπαράσταση Υβριδικού Ενεργειακού Έργου Ικαρίας

Στην Ελλάδα λειτουργούν δύο ΥΗΣ με συστήματα αντλιοσταμείωσης. Του Θησαυρού στο υδροηλεκτρικό συγκρότημα Νέστου με εγκατεστημένη ισχύ 384MW και της Σφηκιάς στο υδροηλεκτρικό συγκρότημα Αλιάκμονα με εγκατεστημένη ισχύ 315MW [48]. Παράλληλα, βρίσκεται υπό κατασκευή το Υβριδικό Ενεργειακό Έργο της Ικαρίας. Πρόκειται για το πρώτο έργο του είδους του στην Ελλάδα αλλά και από τα πρώτα παγκοσμίως, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 6.55MW. Συνδυάζει δύο διαφορετικές μορφές ΑΠΕ, την αιολική και την υδροηλεκτρική ενέργεια. Η ΗΕ για την άντληση του νερού θα παρέχεται αποκλειστικά από το αιολικό πάρκο ισχύος 2.4MW, ενώ οι υδροστρόβιλοι θα παρέχουν ισχύ 4.15MW.

- **Μπαταρίες**

Οι μπαταρίες ή συσσωρευτές αξιοποιούν το χημικό τρόπο αποθήκευσης ενέργειας. Χρησιμοποιούνται κυρίως για αποθήκευση ΗΕ στον οικιακό και εμπορικό τομέα. Η χωρητικότητα, η απόδοση και η διάρκεια ζωής των μπαταριών ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την τεχνολογία τους.

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος είναι οι πλέον διαδεδομένες παγκοσμίως. Έχουν μικρό κόστος και μικρή διάρκεια ζωής (300 έως 1500 κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης), ενώ τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες αναβάθμισης αυτών των μπαταριών.

Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου (Ni-Cd) ανήκουν στις αλκαλικές μπαταρίες μαζί με τις νικελίου-υβριδίου μετάλλου (Ni-MH) και τις νικελίου-ψευδαργύρου (Ni-Zn). Έχουν υψηλότερο κόστος αλλά διπλάσιο χρόνο ζωής (1000 έως 2000 κύκλους) σε σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος.

Χρησιμοποιούνται σε απομακρυσμένες περιοχές λόγω της αντοχής τους σε δυσμενή καιρικά φαινόμενα. Σημαντικό μειονέκτημα των μπαταριών Ni-Cd είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής των τοξικών αποβλήτων μετά τη χρήση τους.

Οι μπαταρίες ιόντων-λιθίου (Li-Ion) έχουν μεγάλο κύκλο ζωής, υψηλή απόδοση και μεγάλη πυκνότητα ενέργειας. Είναι μπαταρίες πολύ ελαφρότερες από τις συνηθισμένες, καθώς το λίθιο είναι το ελαφρότερο στερεό στοιχείο. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται και σε εφαρμογές συστημάτων αποθήκευσης υψηλής ισχύος καθώς και στα ηλεκτρικά/υβριδικά οχήματα, πέραν των κλασικών εφαρμογών μικρής κλίμακας όπως των ηλεκτρονικών συσκευών (κινητά τηλέφωνα και φορητοί Η/Υ).

- *Σύστημα συμπίεσης αέρα (Compressed Air Energy Storage – CAES)*

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για μακροπρόθεσμη και μεγάλης κλίμακας αποθήκευση ΗΕ. Η ισχύς των CAES ξεκινά από τα 50 MW και μπορεί να υπερβεί τα 300MW με απόδοση περίπου 80%. Η βασική ιδέα της μεθόδου είναι ότι αέρας μπορεί να συμπιεστεί στα 800 ως 1600psi σε υπόγειο αεροστεγή ταμιευτήρα και να αποσυμπιεστεί ώστε, κινώντας ένα αεριοστρόβιλο, να παραγάγει ΗΕ. Η συμπίεση γίνεται σε περιόδους εκτός αιχμής με χαμηλή τιμή ρεύματος και η εκτόνωση σε περιόδους αιχμών φορτίου. Η συγκεκριμένη τεχνολογία, αν και αξιόπιστη και με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, περιορίζεται σε μεγάλα έργα παγκοσμίως, καθώς απαιτούνται υψηλές επενδύσεις και κατάλληλοι γεωλογικοί σχηματισμοί για την εγκατάσταση τέτοιων μονάδων. Πρόσφατα, έχει αναπτυχθεί η τεχνολογία transportable-CAES ή micro-CAES που χρησιμοποιεί τεχνητές δεξαμενές μικρότερης χωρητικότητας στην προσπάθεια μείωσης της απαιτούμενης ισχύος και εκμετάλλευσης της αιολικής παραγωγής.

- *Στρεφόμενες μάζες – Σφόνδυλοι*

Στα συστήματα αυτά η αδράνεια μιας στρεφόμενης μάζας (flywheel) χρησιμοποιείται για την αποθήκευση ενέργειας σε κινητική μορφή. Χρησιμοποιούνται για εφαρμογές παροχής ισχύος και ενέργειας για μικρά χρονικά διαστήματα και κυρίως για την παροχή στρεφόμενης εφεδρείας. Ο χρόνος εκφόρτισης αυτών των διατάξεων κυμαίνεται μεταξύ λίγων sec και μέχρι 15-30min. Αντίθετα από τις μπαταρίες, τα συστήματα στρεφόμενων μαζών δεν είναι ευαίσθητα στη θερμοκρασία και η απόδοσή τους μπορεί να φθάσει ως και 80-90% χωρίς ιδιαίτερη πτώση της απόδοσής τους με το χρόνο ζωής τους ο οποίος φθάνει τα 15 – 20 χρόνια. Το είδος της λειτουργίας του σφονδύλου, δηλαδή αν απορροφά ενέργεια από το δίκτυο ή αν παρέχει, εξαρτάται από τις στιγμιαίες συνθήκες του δικτύου και καθορίζεται από το διαχειριστή.

- *Υπερπυκνωτής (supercapacitor) και Υπεραγωγίμα πηνία (Superconducting Magnetic Energy Storage – SMES)*

Οι υπερπυκνωτές έχουν χωρητικότητα και ενεργειακή πυκνότητα χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες των κοινών πυκνωτών. Χρησιμοποιούνται για βελτίωση του συντελεστή ισχύος και υποστήριξη ενεργού και αέργου ισχύος στα ΣΜ και τα ΔΔ. Μπορούν να παρέχουν ισχύ της τάξης των 100kW, ενώ η ενέργειά τους είναι δυνατόν να διοχετευτεί μέσα σε κλάσματα του δευτερολέπτου έως και ένα λεπτό. Η απόδοσή τους κυμαίνεται μεταξύ 85% και 98%.

Τα υπεραγωγίμα πηνία αποθηκεύουν ενέργεια μέσω του μαγνητικού τους πεδίου που δημιουργείται με την είσοδο ανορθωμένου DC ρεύματος στα πηνία από υπεραγωγίμα καλώδια, σχεδόν μηδενικής αντίστασης. Η απόδοση αυτών των συστημάτων φθάνει το 97% και αποδίδουν

ισχύ από 2 έως 10MW. Κύριο χαρακτηριστικό τους αποτελεί η στιγμιαία διάθεση ισχύος, ενώ η διάρκεια ζωής τους δεν επηρεάζεται από τις συχνές φορτίσεις και εκφορτίσεις. Το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας παραμένει ακόμα υψηλό καθώς απαιτείται ισχυρή ψύξη λόγω των ηλεκτρονικών ισχύος που χρησιμοποιούν.

Και τα δύο παραπάνω συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως στις ΗΠΑ στα ΣΜ και τα ΔΔ, ενώ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για υποστήριξη των ΑΠΕ.

- *Τεχνολογίες Υδρογόνου*

Σήμερα χρησιμοποιούνται πολλοί τρόποι για την αποθήκευση ΗΕ μέσω υδρογόνου που διακρίνονται ανάλογα με τη διάρκεια αποθήκευσης σε βραχυπρόθεσμες, μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες. Οι κυψέλες καυσίμου (fuel cell) αποτελούν τις κυριότερες διατάξεις. Χρησιμοποιούνται κυρίως στον τομέα της μεταφοράς και στην παραγωγή ΗΕ χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Το κύριο χαρακτηριστικό ενός κελιού καυσίμου είναι η ικανότητά του να μετατρέπει απευθείας τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική με πολύ υψηλά ποσοστά απόδοσης, υψηλότερα από οποιοδήποτε άλλο θερμομηχανικό σύστημα, και μάλιστα με μοναδικό κατάλοιπο της διεργασίας το καθαρό νερό. Επιπλέον, η όλη διάταξη λειτουργεί σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα θορύβου από τη στιγμή που δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη όπως υπάρχουν στις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ΗΕ. Η αποθήκευση με συμπίεση και με υγροποίηση υδρογόνου καθώς και σε προηγμένα υλικά και μεταλλικά υβρίδια που συγκρατούν άτομα υδρογόνου είναι οι ευρέως διαδεδομένες μέθοδοι αποθήκευσης.

- *Αποθήκευση Θερμικής Ενέργειας*

Η θερμική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί με τρεις τρόπους.

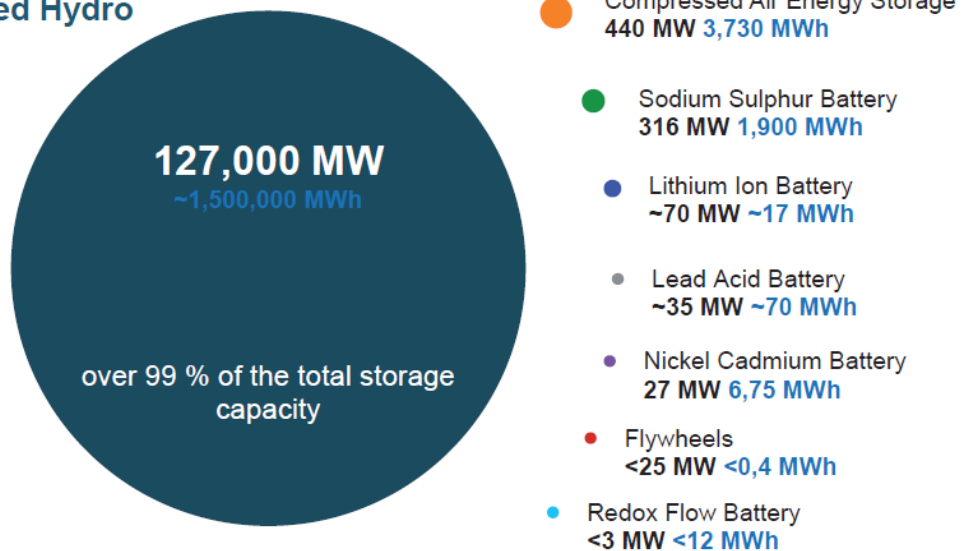
(α) Με τη μορφή της αισθητής θερμότητας (storage of sensible heat). Στα συστήματα αυτά η ενέργεια αποθηκεύεται σε στερεό ή υγρό μέσο το οποίο ψύχεται ή θερμαίνεται χωρίς να αλλάζει η φάση του υλικού. Αποτελεί την πλέον διαδεδομένη μέθοδο θερμικής αποθήκευσης με τις δεξαμενές θερμού ή ψυχρού νερού και τη γεωθερμική ενέργεια να είναι το γνωστότερο παραδείγματα.

(β) Με τη μορφή της λανθάνουσας θερμότητας (storage of latent heat). Τα συστήματα αυτά εκμεταλλεύονται την ιδιότητα των υλικών να αλλάζουν φάση (phase change materials – PCMs), απορροφώντας ή εκλύοντας ποσά θερμότητας κάτω από ορισμένη θερμοκρασία. Το πιο γνωστό παράδειγμα είναι η μετατροπή νερού σε πάγο.

(γ) Με θερμοχημικές αντιδράσεις. Αποθηκεύονται μεγάλα ποσά θερμότητας μέσα από αντιδράσεις διάσπασης δεσμών που αποδίδονται σε μεγάλα συστήματα με την ένωση των δεσμών με ελάχιστες απώλειες.

Στην αναφορά [49] υπάρχει εκτενής αναφορά σε περισσότερες από 420 εγκαταστάσεις αποθήκευσης ΗΕ σε όλο τον κόσμο.

Pumped Hydro



Σχήμα 4.26 Ποσοστιαία χρήση των τεχνολογιών αποθήκευσης ΗΕ παγκοσμίως

4.8 Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο (Electric Vehicle-EV)

Η εξάρτηση των σύγχρονων κοινωνιών και της διεθνούς οικονομίας από την ΗΕ ολοένα και αυξάνεται, αυξάνοντας παράλληλα και τις απαιτήσεις για αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία των συστημάτων ΗΕ. Όπως έχει προαναφερθεί, η τάση για εξηλεκτισμό του τομέα των μεταφορών δημιουργεί με τη σειρά της νέες συνθήκες στη λειτουργία των ΣΗΕ. Ο κύριος εκφραστής του εξηλεκτισμού των ιδιωτικών μεταφορών είναι τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα (EV). Τα επόμενα χρόνια, η χρήση EV αναμένεται να παρουσιάσει ραγδαία αύξηση, με τις κύριες αιτίες να συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Η τιμή του πετρελαίου και των παραγώγων του παρουσιάζει αυξητική τάση διεθνώς, ενώ ταυτόχρονα τα κοιτάσματα των ορυκτών καυσίμων σταδιακά μειώνονται
- Οι εκπομπές CO₂ και άλλων αερίων ρύπων απαιτείται να μειωθούν, με τους διεθνείς οργανισμούς να έχουν ορίσει συγκεκριμένους στόχους (ΟΗΕ, Σύμφωνο του Κγτο)
- Οι διακρατικές ενώσεις (ΕΕ) έχουν θεσπίσει νομικά πλαίσια που προωθούν την ανάπτυξη της αγοράς EV όπως το αντικίνητρο των τελών CO₂ και η επιδότηση των βιομηχανιών που εμπλέκονται στην κατασκευή των EV
- Τα διάφορα κράτη προσφέρουν κίνητρα στους αγοραστές EV (απαλλαγή από τέλη ταξινόμησης και τέλη κυκλοφορίας)
- Οι τεχνολογίες μπαταριών ωριμάζουν, λόγω του ότι έχουν δοθεί λύσεις στην ασφαλή λειτουργία τους και στη διαχείριση του βάρους και του όγκου τους
- Η αυτονομία των EV θεωρείται αποδεκτή για αστικές μετακινήσεις
- Το κόστος κατασκευής τους, άρα και η τιμή πώλησης, αναμένεται να μειωθούν λόγω της ωρίμανσης των τεχνολογιών και της αναμενόμενης οικονομίας κλίμακας

Το κύριο ερώτημα για τα συστήματα ΗΕ είναι ποιες αλλαγές θα επιφέρει η εμφάνιση των EV και πόσο αυτές μπορούν να επηρεάσουν την εύρυθμη και αποδοτική λειτουργία των ΣΗΕ. Με την αναμενόμενη ραγδαία αύξηση της χρήσης EV στις αστικές μετακινήσεις, τα αθροιστικά φορτία των EV μπορούν να αποτελέσουν ένα πολύ μεγάλο κίνδυνο για την ευστάθεια και την αξιοπιστία των συστημάτων ΗΕ, αν η φόρτισή τους πραγματοποιείται τυχαία και ανεξέλεγκτα. Ενδεικτικά, οι εκτιμώμενες ημερήσιες ανάγκες ενός EV σε ΗΕ είναι της τάξης των 8-10kwh, όσο περίπου και η μέση ημερήσια κατανάλωση ΗΕ ανά νοικοκυριό στην Ελλάδα το 2012 που ήταν 10.27kWh (μέση ετήσια κατανάλωση 3750kWh [50]). Αυτό σημαίνει ότι με την αύξηση των EV σε ένα αστικό περιβάλλον, η συνολική κατανάλωση ΗΕ θα αυξηθεί σημαντικά. Επιπλέον, η φόρτιση των EV πραγματοποιείται υπό υψηλή ισχύ όπως δείχνει και ο Πίνακας 4.7, με αποτέλεσμα οι επιπτώσεις στην καμπύλη φορτίου της πόλης να είναι ακόμα μεγαλύτερες σε σχέση με την επίδραση στη συνολική κατανάλωση ΗΕ. Μία μη αποδεκτή λύση είναι η κοστοβόρα αναβάθμιση της παραγωγής ΗΕ και η επέκταση των ΣΜ και ΔΔ ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν στις νέες απαιτήσεις ισχύος και ενέργειας. Εκτός από τις υψηλές απαιτήσεις σε μακροχρόνιες επενδύσεις, η λύση αυτή δεν συμβαδίζει και με την ανάγκη μείωσης των εκπομπών αερίων ρύπων και την αειφορία στη χρήση των πηγών ενέργειας.

Η ελεγχόμενη, από πλευράς χρόνου και από πλευράς ισχύος φόρτιση, καθώς και η παράλληλη χρήση των EV ως ευέλικτων μέσων αποθήκευσης ΗΕ μπορούν να αντιμετωπίσουν τις προαναφερθείσες προκλήσεις. Ως προς το χρόνο, τα EV πρέπει, κατά κανόνα, να φορτίζονται κατά τις βραδινές ώρες όπου το υπόλοιπο συνολικό φορτίο είναι χαμηλό, ενώ κατά τις ώρες αιχμής (συνήθως 11:00-15:00 και 20:00-22:00), σε περίπτωση ακινησίας, μπορούν να είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο ώστε να αποδίδουν μέρος της αποθηκευμένης ΗΕ στο σύστημα, εφόσον ζητηθεί. Επιπλέον, στις περιπτώσεις όπου απαιτείται φόρτιση των EV κατά τις ώρες αιχμής, αυτή πρέπει να καλύπτεται, κατά το δυνατό, από μονάδες ΑΠΕ, όπως φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις σε θέσεις στάθμευσης (που προσφέρουν παράλληλα και σκίαση) για να μην επιβαρύνεται η αιχμή του δικτύου. Πέραν του ανωτέρω γενικού κανόνα ορθής χρήσης των EV, απαιτείται ένα σύστημα-διαδικασία που θα διαχειρίζεται ολοκληρωμένα την πληροφορία από τα σημεία τροφοδότησης των EV και από το διαχειριστή του ΔΔ και θα ελέγχει τις ροές ΗΕ, επιτυγχάνοντας τη εύρυθμη και αποδοτική λειτουργία των ΣΗΕ.

4.8.1 V2G (Vehicle to Grid – Ηλεκτρικό Όχημα που συνδέεται στο Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας)

Ο όρος V2G περιγράφει το σύνολο των συστημάτων που επιτυγχάνουν την πλήρως εποπτευόμενη και ελεγχόμενη αμφίδρομη ροή της ΗΕ από το δίκτυο προς το ηλεκτρικό όχημα και, αντίστροφα, από το ηλεκτρικό όχημα προς το δίκτυο. Η ροή ΗΕ από το δίκτυο προς το όχημα πραγματοποιείται με ελεγχόμενα μεταβαλλόμενη ισχύ για τη φόρτιση της συστοιχίας μπαταριών του οχήματος, ενώ η ροή από το όχημα προς το δίκτυο συμβαίνει όταν το δίκτυο έχει ανάγκη από ΗΕ για κάλυψη των εκάστοτε αναγκών του (π.χ. στρεφόμενη εφεδρεία για κάλυψη αιχμής, τοπική ρύθμιση τάσης). Τα συστήματα που υλοποιούν τη διαδικασία V2G περιλαμβάνουν προτυποποιημένα συστήματα Η/Μ εξοπλισμού σύνδεσης και τροφοδοσίας που παρέχουν την δυνατότητα αμφίδρομης ροής της ΗΕ, καθώς και προτυποποιημένα συστήματα αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ οχήματος και δικτύου. Η διαδικασία V2G ανήκει στις βασικές παράλληλες εφαρμογές των Ευφυών Ηλεκτρικών Δικτύων.

4.8.2 Το E-Vehicle ως μέσο αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας υψηλής απόδοσης

Τα EV θεωρούνται υψηλής απόδοσης μέσα αποθήκευσης ΗΕ. Οι συστοιχίες μπαταριών των EV έχουν τις υψηλότερες προδιαγραφές κατασκευής (προστασία από μηχανικές καταπονήσεις, αυστηρός έλεγχος θερμοκρασίας της συστοιχίας, υψηλή διάρκεια ζωής) και τα περισσότερο προηγμένα χαρακτηριστικά λειτουργίας σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες αποθήκευσης με μπαταρίες. Τα αυτοκίνητα πόλης, τα οποία αποτελούν την πλειοψηφία των EV, διαθέτουν πολύ υψηλή χωρητικότητα μπαταριών της τάξης των 17-24kwh, με τη μέση χωρητικότητα να αναμένεται να αυξηθεί στο άμεσο μέλλον, ενώ οι μπαταρίες των EV υψηλών επιδόσεων φθάνουν τις 60-80kwh. Συγκριτικά, ένα κλασικό σύστημα αποθήκευσης ΗΕ σε επίπεδο σπιτιού (Home Storage) έχει χωρητικότητα της τάξης των 3-8 kWh. Επιπλέον, τα EV διαθέτουν πολύ καλά χαρακτηριστικά φόρτισης, καθώς δεν καταπονούνται από τη διακοπτόμενη φόρτιση αλλά ούτε και από τις διακυμάνσεις της ισχύος φόρτισης, και αυτό επειδή είναι ικανές να αντέχουν σε μεγάλες και απότομες διακυμάνσεις του ρεύματος που τις διαρρέει. Είναι σχεδιασμένες να τροφοδοτούν με ακαριαία ρεύματα κινητήρες απόδοσης τουλάχιστον 75kW (φάση πλήρους επιτάχυνσης του οχήματος) και αντίστοιχα στο επόμενο δευτερόλεπτο να μεταβαίνουν σε φάση φόρτισης (φάση επιβράδυνσης).

Σύμφωνα με τις στατιστικές έρευνες, τα οχήματα πόλης παραμένουν ακίνητα/παρκαρισμένα κατά το 95% του χρόνου [51]. Επιπλέον, η μέση απόσταση που διανύει ένα όχημα πόλης είναι περίπου 30- 40 km την ημέρα, που σημαίνει ότι υπό συνήθεις συνθήκες δεν χρησιμοποιεί όλη την ενέργεια που μπορεί να αποθηκεύσει, καθώς η αυτονομία του κυμαίνεται μεταξύ 100-160km, και για τα EV υψηλών επιδόσεων μεταξύ 200-300km. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά προσδίδουν χρονική και ποσοτική ευελιξία στις διαδικασίες φόρτισης και απόδοσης της ΗΕ στο δίκτυο.

Ένα πρόσθετο χαρακτηριστικό των συστοιχιών μπαταριών των EV είναι η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησής τους σε άλλες εφαρμογές αποθήκευσης ΗΕ (Home/Business Storage). Ακόμα και μετά το χρόνο ζωής τους ως πηγής ΗΕ για τα EV, συνεχίζουν να διατηρούν εξαιρετικά χαρακτηριστικά λειτουργίας ικανά να υπερκαλύπτουν μερικές λιγότερο απαιτητικές εφαρμογές αποθήκευσης ΗΕ.

Τα EV ως μέσα αποθήκευσης κατατάσσονται στη βραχυπρόθεσμη και στη μεσοπρόθεσμη αποθήκευση ΗΕ, και ως τεχνολογία αποθήκευσης χρησιμοποιούν τις συστοιχίες μπαταριών ιόντων λιθίου.

Με βάση τα χαρακτηριστικά της αποθήκευσης ΗΕ που έχουν προαναφερθεί, ένα συγκεκριμένο πλήθος EV μπορεί να προσφέρει τις ακόλουθες επικουρικές υπηρεσίες:

- Συμβολή στην διατήρηση της ευστάθειας του δικτύου παρέχοντας πρωτεύουσα (5sec-15sec) και δευτερεύουσα (15sec-90sec) εφεδρεία
- Συμβολή στην εφεδρεία ισχύος σε περιόδους αιχμής παρέχοντας τριτεύουσα εφεδρεία (90sec-20min)
- Συμβολή στην τοπική ρύθμιση της τάσης καθώς μπορούν να αποτρέψουν τόσο τις υπερτάσεις, απορροφώντας ΗΕ σε στιγμές χαμηλού τοπικά φορτίου, όσο και τις πτώσεις τάσης, αποδίδοντας ΗΕ στο δίκτυο σε στιγμές υψηλού τοπικά φορτίου.

4.8.3 V2H (Vehicle to Home) – V2B (Vehicle to Business)

Τα EV λειτουργούν είτε ως καταναλώσεις είτε ως μέσα αποθήκευσης ΗΕ και σε επίπεδο οικιών ή επιχειρήσεων. Οι αντίστοιχες διαδικασίες καλούνται V2H (Vehicle to Home) και V2B (Vehicle to Business) και εκτελούνται από τα αντίστοιχα συστήματα διαχείρισης ΗΕ (EMS/BMS). Η σημαντική διαφορά της διαδικασίας V2H/V2B με τη V2G έγκειται στο ότι το EV δεν έχει άμεση επικοινωνιακή σύνδεση με το σύστημα αλλά με τον έξυπνο μετρητή ΗΕ που αποτελεί την πύλη επικοινωνίας και ανταλλαγής ΗΕ του κτιρίου με το σύστημα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα EV δεν συμμετέχουν άμεσα στη διαδικασία V2G, ενώ παρέχουν τις ακόλουθες υπηρεσίες στο κτίριο:

- Προσφορά άμεσης και αδιάλειπτης παροχής ΗΕ σε περίπτωση διακοπής (Back up supply)
- Ενεργή συμμετοχή στην εφαρμογή προγραμμάτων demand response, καλύπτοντας τις ανάγκες του μικροδικτύου σε ΗΕ κατά τις ώρες αιχμής οπότε η ΗΕ από το δίκτυο είναι σημαντικά ακριβότερη. Σε αυτή την περίπτωση, τα EV επηρεάζουν θετικά το σύστημα, μειώνοντας την απορρόφηση ΗΕ από τα τις οικίες/επιχειρήσεις, περιορίζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο αθροιστικά την αιχμή του συστήματος, καίτοι δεν συμμετέχουν άμεσα στη διαδικασία V2G.

4.8.4 Οι σταθμοί φόρτισης EV

Ως σταθμοί φόρτισης EV θεωρούνται οι ειδικές προτυποποιημένες εγκαταστάσεις σύνδεσης των EV με το δίκτυο, που διαθέτουν τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας του EV με το διαχειριστή του ΔΔ και τους προμηθευτές ΗΕ. Όπως προαναφέρθηκε, οι μονάδες φόρτισης που βρίσκονται εντός του μικροδικτύου μιας οικίας ή μιας μικρής επιχείρησης δεν συμμετέχουν στη διαδικασία V2G, καθώς δεν υπάρχει άμεση επικοινωνία του EV με το σύστημα, αλλά έμμεση επιρροή του προς αυτό, εκτός αν το EV συνδέεται μέσω δικού του έξυπνου μετρητή και δεν ανήκει στη δικαιοδοσία του Συστήματος Διαχείρισης της Ενέργειας (EMS) του κτιρίου. Αυτή η εκδοχή μπορεί να υλοποιηθεί, για παράδειγμα, στο χώρο στάθμευσης του εταιρικού στόλου EV μιας επιχείρησης που λειτουργεί και ως ανεξάρτητος σταθμός φόρτισης.

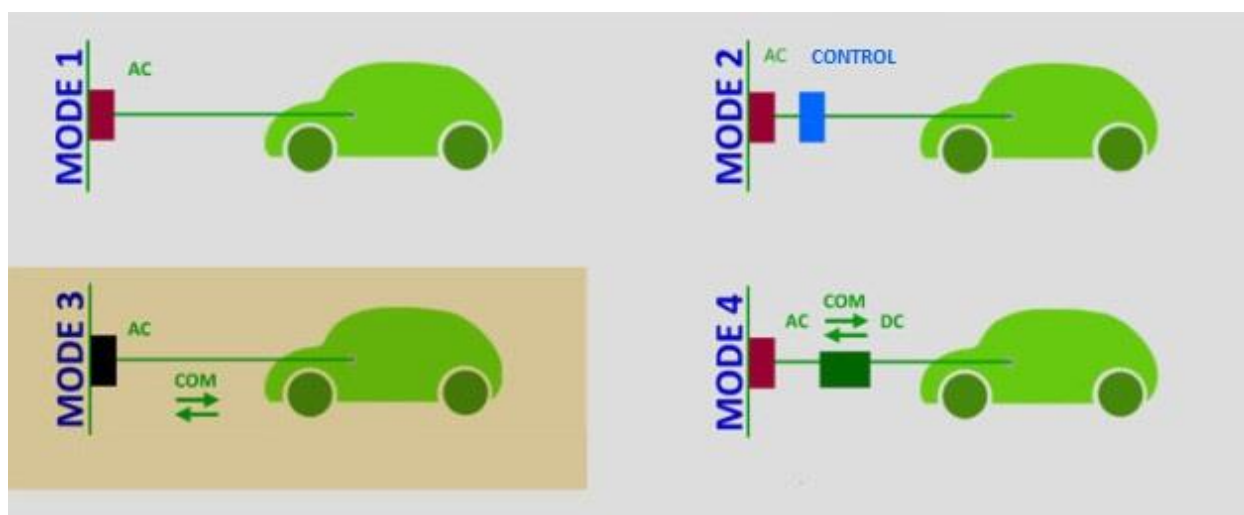
Τα επικρατέστερα σημεία εγκατάστασης ΣΦ είναι τα υπάρχοντα πρατήρια συμβατικών καυσίμων (στην Ελλάδα υπάρχουν τρεις αντίστοιχοι σταθμοί στην Αττική), οι δημόσιοι χώροι στάθμευσης (στην Ελλάδα είναι εγκατεστημένο δίκτυο ταχυφορτιστών σε έξι χώρους στάθμευσης στην Αττική, και άλλοι δεκαπέντε δημόσιοι ΣΦ ενταγμένοι στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα “Green e Motion”), οι χώροι στάθμευσης μεγάλων επιχειρήσεων (εμπορικά κέντρα, υπεραγορές), τα αεροδρόμια (υπάρχει ΣΦ στον διεθνή αερολιμένα «Ελ. Βενιζέλος»), τα λιμάνια κλπ. Ιδιαίτερα διαδεδομένη διεθνώς είναι και η επιδοτούμενη εγκατάσταση δημόσιων ΣΦ, τους οποίους διαχειρίζονται δήμοι ή κοινότητες, και που υποχρεωτικά συνδυάζονται με μονάδες ΑΠΕ, κυρίως Φ/Β αλλά και μικρές Α/Γ, από τις οποίες αντλούν την πλειονότητα της παρεχόμενης ΗΕ.

Οι εμπορικά διαθέσιμοι ΣΦ είναι ενσύρματοι. Προς το παρόν, η ασύρματη (επαγωγική) φόρτιση βρίσκεται σε πειραματικό επίπεδο, καίτοι για πολλούς θεωρείται η λύση που θα επικρατήσει στο μέλλον λόγω της αυξημένης ασφάλειας και ευελιξίας που μπορεί να προσφέρει. Η απλή στάθμευση πάνω σε μια επιφάνεια που επάγει ΗΕ μέσω πηνίων στο EV είναι περισσότερο εύχρηστη και ασφαλέστερη από την ενσύρματη σύνδεση καθώς η ύπαρξη καλωδίων και συνδέσεων πάντοτε θα εγκυμονεί κινδύνους ατυχημάτων και πυρκαγιάς.

4.8.4.1 Προτυποποίηση της φόρτισης E-Vehicle

Τα IEC 61851-1 και IEC 62196 είναι τα βασικά διεθνή πρότυπα που καθορίζουν τους τρόπους ενσύρματης σύνδεσης του EV με τα σημεία φόρτισης. Το πρότυπο IEC 61851-1 δημιουργήθηκε αρχικά για να ελέγχει αν έχει γίνει η πλήρης σύνδεση ώστε να μπορεί να ξεκινήσει η ροή ισχύος προς το EV, καθώς και να μην επιτρέπεται στο EV να εκκινήσει πριν αποσυνδεθεί πλήρως. Επίσης, καθιέρωσε τις τέσσερις βασικές κατηγορίες φόρτισης, οι οποίες ενσωματώθηκαν αργότερα στο IEC 62196-1. Οι κατηγορίες φόρτισης είναι:

- “Mode 1”: αργή φόρτιση από ρευματοδότη εγκατεστημένο σε οικία, χωρίς έλεγχο, και χωρίς προστασία εντός του καλωδίου φόρτισης. Σε μερικές χώρες όπως οι ΗΠΑ, αυτός ο τρόπος σύνδεσης είναι απαγορευμένος. Το μέγιστο ρεύμα φόρτισης είναι 16A.
- “Mode 2”: αργή φόρτιση από ρευματοδότη εγκατεστημένο σε οικία, με βασικού επιπέδου έλεγχο, και με εσωτερική προστασία στο καλώδιο. Αποτελεί και την πλέον οικονομική λύση για ΣΦ. Το μέγιστο ρεύμα φόρτισης είναι 32A.
- “Mode 3”: αργή ή ταχεία φόρτιση από ειδική εγκατάσταση φόρτισης (E-Vehicle Supply Equipment-EVSE), ενώ δίνει τη δυνατότητα ελέγχου και αμφίδρομης επικοινωνίας. Κατάλληλο για τη διαδικασία V2G και για εφαρμογές Ευφυών Δικτύων. Αποτελεί την ενδεδειγμένη λύση για ΣΦ. Μπορεί να συνδυαστεί με ρευματοδότες τύπου “Mode 2”, με μέγιστο ρεύμα 32A ή με περισσότερα εξειδικευμένα συστήματα με θεωρητικό μέγιστο ρεύμα 250A.
- “Mode 4”: ταχεία φόρτιση απευθείας από εξωτερικό μετατροπέα-φορτιστή και όχι μέσω του ενσωματωμένου φορτιστή του EV. Η τροφοδοσία γίνεται με DC ρεύμα, με θεωρητική μέγιστη τιμή τα 400A (στην πράξη μέχρι στιγμής το I_{max} φθάνει τα 125A, και αυτό σε συμβατά EV). Αποτελεί αρκετά ακριβότερη επιλογή από το “Mode 3”, με προοπτική για μελλοντική χρήση.



Σχήμα 4.27 Οι τέσσερις προτυποποιημένοι τρόποι φόρτισης των EV

| Τάση (V) | Ισχύς τροφοδότησης | Μέγιστο ρεύμα | Χρόνος Φόρτισης |
|-------------|--------------------|---------------|-----------------|
| 1-phase 230 | 3,3 kW | 16 A | 6-8 h |
| 3-phase 400 | 10 kW | 16 A | 2-3 h |
| 1-phase 230 | 7 kW | 32 A | 3-4 h |
| 3-phase 400 | 24 kW | 32 A | 1-2 h |
| 3-phase 400 | (δοκιμές) 44 kW | 63 A | 20-30 min |
| DC 500 | (δοκιμές) 50 kW | 100-125 A | 20-30 min |

Πίνακας 4.5 Προτυποποιημένες στάθμες φόρτισης EV

Η επέκταση IEC 62196-2 αφορά τους τύπους των ρευματοδοτών για AC σύνδεση, με τρεις διαφορετικούς εμπορικά διαθέσιμους τύπους:

- “Type 1” SAE J1772-2009: μονοφασική παροχή, διαδεδομένος στις ΗΠΑ
- “Type 2” VDE-AR-E 2623-2-2: μονοφασική και τριφασική παροχή
- “Type 3” EV Plug Alliance: μονοφασική και τριφασική παροχή με θυρίδες ασφαλείας σε κάθε ξεχωριστή επαφή του ρευματοδότη, ο μόνος επιτρεπτός τύπος στην Ευρώπη

Η επέκταση IEC 62196-3 αφορά τους τύπους ρευματοδοτών που είναι συμβατοί με DC/Mode 4 σύνδεση.



Παράλληλα, γίνονται προσπάθειες δημιουργίας προτύπων καθολικής χρήσης για την επικοινωνία των EV με το δίκτυο. Τα πρότυπα αυτά είναι καθοριστικής σημασίας για την υλοποίηση της διαδικασίας V2G και γενικότερα για την εκμετάλλευση της σύνδεσης των EV από τα Ευφυή Δίκτυα. Τα πλέον διαδεδομένα open source πρότυπα, τα οποία βρίσκονται σε διαρκή εξέλιξη και εμπλουτίζονται με νέες εφαρμογές, είναι τα :

- SAE J2847/1: "Communication between Plug-in Vehicles and the Utility Grid" [52]
- ISO/IEC 15118: "Road vehicles -- Vehicle to grid communication interface" [53]

4.8.4.2 Εγχώριο νομικό πλαίσιο

Στην Ελλάδα, το νομικό πλαίσιο για την φόρτιση των EV βρίσκεται υπό διαμόρφωση. Η ΡΑΕ, έπειτα από διαβούλευση, κατέθεσε στο Υπ. Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) το Μάιο του 2014 την πρότασή της για τις αλλαγές που πρέπει να γίνουν στο Νόμο 4001/2011 για την ένταξη της φόρτισης των EV στην αγορά ΗΕ. Στην πρόταση αυτή καθορίζονται τα πλαίσια στα οποία θα γίνεται η εκμετάλλευση των υποδομών φόρτισης, καθώς και το ότι οι προμηθευτές ΗΕ με αποκλειστική δραστηριότητα την παροχή ΗΕ για φόρτιση EV δεν θα απαιτείται να πληρούν τις προϋποθέσεις έκδοσης άδειας προμήθειας ΗΕ όπως οφείλουν οι γενικοί προμηθευτές ΗΕ.

5 ΕΞΥΠΝΟΙ ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΗΕ

5.1 Ορισμός

Η ανάγκη παρακολούθησης της κατανάλωσης ΗΕ οδήγησε στη σχεδίαση και κατασκευή διατάξεων που έχουν τη δυνατότητα να μετρούν τα βασικά ηλεκτρικά μεγέθη (ηλεκτρικές τάσεις και ρεύματα) με την επιθυμητή ακρίβεια και να αξιοποιούν τις μετρήσεις αυτές προς υπολογισμό των υπολοίπων ηλεκτρικών μεγεθών της εγκατάστασης (π.χ. ενεργό και άεργη ισχύ). Οι διατάξεις αυτές ονομάζονται έξυπνοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας (Smart Meters). Το γενικό χαρακτηριστικό των έξυπνων μετρητών είναι ότι πραγματοποιούν ψηφιακές μετρήσεις δειγματοληπτώντας τις τιμές ρεύματος και τάσης. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ψηφιακά δεδομένα πραγματικού χρόνου διαθέσιμα προς επεξεργασία, αποθήκευση και μετάδοση.

Οι έξυπνοι μετρητές ΗΕ εμφανίζουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους υπάρχοντες συμβατικούς ηλεκτρομηχανικούς μετρητές. Οποιοσδήποτε μετρητής ΗΕ έχει τη δυνατότητα καταγραφής της καταναλισκόμενης ενέργειας. Ο έξυπνος μετρητής, όμως, εκτός του ότι μετρά με ακρίβεια την τάση και το ρεύμα, μπορεί μετά από κατάλληλη επεξεργασία να υπολογίζει και παρουσιάζει μεγέθη όπως η καταναλισκόμενη μέση ισχύς, ο συντελεστής ισχύος, οι αρμονικές τάσης και ρεύματος και άλλα μεγέθη που σχετίζονται με την ΗΕ που ενδεχομένως ενδιαφέρουν τους καταναλωτές και προμηθευτές ΗΕ.

5.2 Αναμενόμενα οφέλη από την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών

Τα οφέλη που αναμένονται από την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών είναι πολλά, αφορούν όλους τους τομείς της αγοράς ΗΕ και επηρεάζουν έμμεσα το κοινωνικό σύνολο. Τα κυριότερα από αυτά αναλύονται στη συνέχεια [54].

5.2.1 Οφέλη που για τους καταναλωτές

- *Ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο*

Οι έξυπνοι μετρητές προσφέρουν στους καταναλωτές ΗΕ τη δυνατότητα να γνωρίζουν την πραγματική κατανάλωσή τους καθώς είναι σε θέση να παρέχουν ακριβείς πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο (real time metering). Σε αντίθεση με την παλαιότερη αναλογική τεχνολογία μέτρησης, οι έξυπνοι μετρητές είναι ψηφιακά συστήματα που μπορούν να μεταδίδουν περιοδικά (συνήθως ανά 15 min) πληροφορίες κατανάλωσης σε κατάλληλες πλατφόρμες επικοινωνίας (monitor συσκευής, οθόνη συστήματος οικιακής διαχείρισης ενέργειας, οθόνη υπολογιστή, εφαρμογή σε smartphone). Αυτές οι πλατφόρμες παρουσιάζουν σε ένα διαδραστικό φιλικό περιβάλλον γραφήματα με τη μέση κατανάλωση ΗΕ και το κόστος αυτής, τις πιθανές εκπομπές ρύπων και τις πολιτικές κατανάλωσης. Επομένως, οι καταναλωτές ΗΕ διαθέτουν την πλήρη εποπτεία του ενεργειακού τους προφίλ, αλλά και τη δυνατότητα μεταβολής του. Μέσω της

διαρκούς πληροφόρησης και με χρήση κατάλληλων ICT εργαλείων, οι καταναλωτές θα είναι σε θέση να μειώσουν το ενεργειακό τους αποτύπωμα.

- *Δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας*

Εκτός από την πραγματοποίηση μετρήσεων και την αποστολή δεδομένων, οι έξυπνοι μετρητές διαθέτουν και τη δυνατότητα λήψης πληροφοριών/εντολών και αποτελούν την πύλη επικοινωνίας καταναλωτών ΗΕ με τους προμηθευτές ΗΕ. Κάθε καταναλωτής μπορεί να ενημερώνεται σε πραγματικό χρόνο από τον προμηθευτή του για την τιμή χρέωσης της kWh, για ενδεχόμενες προσφορές και εκπτώσεις, για θέματα ασφάλειας (έκτακτες διακοπές παροχής). Αντίστοιχα, και ο καταναλωτής είναι σε θέση να επικοινωνεί με τον προμηθευτή, αποστέλλοντας π.χ. αιτήσεις, παράπονα, ερωτήσεις.

- *Δυνατότητα λήψης εντολών*

Ο έξυπνος μετρητής μπορεί μέσω της πλατφόρμας επικοινωνίας να λάβει και αποθηκεύσει εντολές. Κάθε καταναλωτής ΗΕ, δηλαδή, όχι μόνο γνωρίζει το ενεργειακό του προφίλ, αλλά μπορεί να μεταβάλει, να προγραμματίσει και να κατευθύνει την κατανάλωση προς το συμφέρον του. Μπορεί, για παράδειγμα, να προγραμματίσει τις συσκευές του (π.χ. πλυντήριο, κλιματιστικά, εγκατάσταση φόρτισης ηλεκτρικού αυτοκινήτου) να λειτουργούν οικονομικά μεταθέτοντας την κατανάλωση ΗΕ σε περιόδους χαμηλής ζήτησης. Αυτή η δυνατότητα είναι κρίσιμη σε συνθήκες απελευθερωμένης αγοράς, όπου οι προμηθευτές ΗΕ προσφέρουν ευέλικτες διαδικασίες τιμολόγησης παρόμοιες με το ισχύον νυχτερινό τιμολόγιο, αλλά με την πρόσθετη δυνατότητα δυναμικής μεταβολής.

- *Δυνατότητα απομακρυσμένης εκκίνησης και διακοπής της σύνδεσης με το ΗΔ*

Ο καταναλωτής μπορεί κατά βούληση να ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τη σύνδεση, τόσο για λόγους ασφάλειας όσο και για λόγους εξοικονόμησης ΗΕ.

- *Ευκολότερη μετάβαση σε άλλο προμηθευτή ΗΕ*

Με τους έξυπνους μετρητές παρέχεται η δυνατότητα στους χρήστες να αλλάζουν πάροχο, με παρόμοιες διαδικασίες όπως αυτές της παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Αυτό θα συμβάλει αποφασιστικά στην ενίσχυση του ανταγωνισμού μεταξύ των προμηθευτών, άρα και στη μεγιστοποίηση του οφέλους για τους καταναλωτές ΗΕ.

- *Διαθεσιμότητα προηγμένων τιμολογιακών πολιτικών εκ μέρους των προμηθευτών ΗΕ*

Κατά πρώτον, καταργείται η κατ' εκτίμηση χρέωση της ΗΕ. Μέχρι τώρα, η χρέωση γίνεται για την ΗΕ που πιθανότατα έχει καταναλωθεί σε ένα δίμηνο μέχρι ο καταμετρητής του παρόχου να προσδιορίσει την ακριβή κατανάλωση. Ο νέος τρόπος τιμολόγησης επί πραγματοποιηθείσας κατανάλωσης ΗΕ θα προσφέρει την ευελιξία και τις προσφορές που προαναφέρθηκαν. Επιπλέον, στα πρότυπα της τηλεπικοινωνιακής αγοράς θα διατίθενται και προπληρωμένα προγράμματα που θα καθιστούν δυνατή την προπληρωμένη κατανάλωση ΗΕ με ελαχιστοποίηση των πάγιων χρεώσεων. Ο καταναλωτής θα γνωρίζει την ΗΕ που έχει καταναλώσει και αυτήν που του απομένει. Αυτός ο τρόπος χρέωσης θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμος σε εξοχικές κατοικίες.

- *Δυνατότητα βελτίωσης της ποιότητας του ηλεκτρικού ρεύματος*

Οι έξυπνοι μετρητές ενσωματώνουν διατάξεις που επιτρέπουν τον αυτόματο έλεγχο και τη βελτίωση των χαρακτηριστικών του ηλεκτρικού ρεύματος. Παρέχουν λειτουργίες εξομάλυνσης της τάσης/συχνότητας και προστασίας από υπερτάσεις και υπερεντάσεις.

- *Συμβολή στην αύξηση της διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής ΗΕ στο δίκτυο μίας οικίας ή μιας επιχείρησης*

Με τους έξυπνους μετρητές γίνεται ευκολότερη η ενσωμάτωση μικρών μονάδων παραγωγής ΗΕ, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι μικρές ανεμογεννήτριες, σε ένα ενιαίο ενεργειακό σύστημα μικρής κλίμακας. Στο σύστημα αυτό θα ρυθμίζεται η κατανάλωση, η παραγωγή από ΑΠΕ, η αποθήκευση και η ανάκτηση ενέργειας από μέσα αποθήκευσης (ηλεκτρικό αυτοκίνητο, συστοιχία συσσωρευτών), κατά βέλτιστο τρόπο ως προς όφελος του καταναλωτή.

5.2.2 Οφέλη για τους προμηθευτές ΗΕ

- *Ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο*

Ο έξυπνος μετρητής αποστέλλει περιοδικά (συνήθως ανά 15 min) κρυπτογραφημένα δεδομένα για την κατανάλωση ΗΕ σε εξουσιοδοτημένα Κέντρα Λειτουργίας, παρέχοντας στον προμηθευτή ΗΕ τη δυνατότητα να γνωρίζει σε πραγματικό χρόνο το φορτίο του δικτύου που διαχειρίζεται.

- *Παραγωγή ψηφιακών δεδομένων*

Οι έξυπνοι μετρητές παράγουν ψηφιακά δεδομένα που μπορούν να αποθηκευθούν, να μεταδοθούν με αξιοπιστία και ασφάλεια, να ανακτηθούν, να υποστούν επεξεργασία και ανάλυση πολλών επιπέδων. Αυτά τα χαρακτηριστικά των ψηφιακών δεδομένων καθιστούν εφικτή την εφαρμογή πολιτικών ανταπόκρισης στη ζήτηση (Demand Response) και διαχείρισης του φορτίου (Load Management).

Οι προμηθευτές ΗΕ μπορεί να δημιουργήσουν βάσεις δεδομένων και με κατάλληλους αλγόριθμους επεξεργασίας της πληροφορίας να αποκτήσουν τη δυνατότητα αξιόπιστης πρόβλεψης των αναγκών των πελατών τους, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα, και να αγοράσει τα αντίστοιχα απαιτούμενα μεγέθη ΗΕ που θα απαιτηθούν, με ικανοποιητική ακρίβεια. Ο περιορισμός του επιπλέον κόστους λόγω της ακριβέστερης εκτίμησης της ζήτησης ΗΕ έχει άμεσο αντίκτυπο και στην τιμολόγηση της ΗΕ προς τους καταναλωτές.

- *Αμφίδρομη επικοινωνία*

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο έξυπνος μετρητής αποτελεί την πύλη επικοινωνίας του προμηθευτή και του καταναλωτή. Ο προμηθευτής ενημερώνει επί θεμάτων τιμολογίου, νέων προϊόντων, προσφορών και ασφάλειας και δέχεται την αντίστοιχη ανάδραση του καταναλωτή.

- *Γίνεται εφικτή η ευελιξία στην τιμολόγηση και η προσφορά νέων προϊόντων στους πελάτες*

Οι προμηθευτές αποκτούν τη δυνατότητα να προσφέρουν εξατομικευμένα προϊόντα που ανταποκρίνονται στις καταναλωτικές ανάγκες και συνήθειες των καταναλωτών και να αποζημιώνονται άμεσα. Η άμεση πληρωμή της καταναλισκόμενης ενέργειας από τους πελάτες προσφέρει την αναγκαία ρευστότητα στους προμηθευτές ώστε να μη χρειάζεται να καταφεύγουν σε δανεισμό για την προμήθεια ΗΕ από την χονδρεμπορική αγορά. Η αποδοτικότερη χρήση των κεφαλαίων και η αποφυγή πληρωμής τόκων δανεισμού εκ μέρους των προμηθευτών έχει ως άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση των τιμών για τον τελικό καταναλωτή.

- *Απομακρυσμένη εκκίνηση και διακοπή της σύνδεσης*

Μέσω των έξυπνων μετρητών παρέχεται η δυνατότητα στον πάροχο να εκκινεί και να διακόπτει την παροχή για λόγους ασφάλειας και προστασίας του δικτύου του καταναλωτή. Επιπλέον, σε περιπτώσεις μη τήρησης των υποχρεώσεων εκ μέρους κάποιου, μπορεί να διακόψει αμέσως την παροχή ΗΕ αλλά και να την αποκαταστήσει τάχιστα, εφόσον διευθετηθούν οι μεταξύ τους διαφορές.

- *Έγκαιρος εντοπισμός και επέμβαση σε περίπτωση κλοπής*

Στις περιπτώσεις όπου οι μετρήσεις που συλλέγονται από τους μετρητές των καταναλωτών ΗΕ βρίσκονται σε αναντιστοιχία με τις ενδείξεις των μετρητών παρεχόμενης ενέργειας του ΔΔ, ο προμηθευτής ΗΕ έχει τη δυνατότητα να εντοπίσει ενδεχόμενη κλοπή ΗΕ και να διακόψει αμέσως την παροχή.

- *Εξάλειψη της δαπάνης της συμβατικής διαδικασίας καταμέτρησης ΗΕ*

Με την εγκατάσταση των έξυπνων μετρητών, ο συμβατικός τρόπος καταμέτρησης της καταναλωθείσας ΗΕ από υπαλλήλους του παρόχου καταργείται. Παράλληλα, εξαλείφονται και οι περιπτώσεις ανθρώπινου λάθους κατά την καταγραφή που οδηγούν σε λανθασμένες χρεώσεις και προκαλούν προβλήματα στις σχέσεις μεταξύ προμηθευτών και καταναλωτών.

5.2.3 Οφέλη για το διαχειριστή του Δικτύου Διανομής

- *Βελτίωση ποιότητας ρεύματος*

Ο διαχειριστής του συστήματος συλλέγοντας από τους έξυπνους μετρητές πληροφορίες για την ποιότητα του ρεύματος που προσφέρει, και σε συνδυασμό με τις μετρήσεις από τις άλλες μετρητικές διατάξεις που είναι εγκατεστημένες στο δίκτυο, μπορεί να ενημερωθεί, να εντοπίσει και να επέμβει άμεσα στα σημεία του δικτύου που αντιμετωπίζουν προβλήματα ως προς την τάση και τη συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος (π.χ. από σφάλματα ή από χρήση βιομηχανικού εξοπλισμού). Ο διαχειριστής του συστήματος έχει, επίσης, τη δυνατότητα να θέσει σε λειτουργία διατάξεις εξομάλυνσης κατά εστιασμένο τρόπο με άμεσα αποτελέσματα. Κατ' αυτόν τον τρόπο, αποφεύγει πιθανές αποζημιώσεις σε πελάτες για καταστροφή μηχανημάτων και εξοπλισμού.

- *Πρόληψη σφαλμάτων και διακοπών ή άμεση αποκατάστασή τους*

Διαθέτοντας τη δυνατότητα άμεσης πληροφόρησης ο διαχειριστής μπορεί να προλαμβάνει σφάλματα, διακοπές και καταστροφές εξοπλισμού. Στην περίπτωση όπου τελικώς υπάρξουν βλάβες, επιταχύνεται ο εντοπισμός και η αποκατάσταση τους.

5.2.4 Οφέλη για το κοινωνικό σύνολο

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι οι έξυπνοι μετρητές αποτελούν θεμελιώδη εργαλεία για την υλοποίηση του Έξυπνου Δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας (Smart Grid). Αυτό έχει ως απόρροια την έμμεση συμβολή των έξυπνων μετρητών στα ακόλουθα σημαντικά οφέλη που θα προκύψουν από την υλοποίηση του έξυπνου δικτύου.

- *Σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της βελτίωσης της καταναλωτικής συμπεριφοράς των καταναλωτών (όπως επιβεβαιώνεται από τα μέχρι σήμερα στοιχεία από την εφαρμογή σε άλλες χώρες, κυρίως στις ΗΠΑ).*

- *Εξομάλυνση της καμπύλης φορτίου του συστήματος*

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η εξαγωγή και εύκολη διαχείριση και επεξεργασία των πληροφοριών κατανάλωσης ΗΕ παρέχει τη δυνατότητα εφαρμογής πολιτικών ανταπόκρισης στη ζήτηση (D-R) σε μεγάλη κλίμακα. Ως εκ τούτου, λοιπόν, καθίσταται εφικτή η μετάθεση μέρους της κατανάλωσης ΗΕ σε περιόδους χαμηλότερης ζήτησης (load shifting) και η εξομάλυνση των μεγάλου κόστους αιχμών της καμπύλης φορτίου (peak shaving) . Σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση ΗΕ, επιτυγχάνεται μείωση της ανάγκης για επενδύσεις σε νέες μονάδες παραγωγής ΗΕ και σε επεκτάσεις του συστήματος μεταφοράς και διανομής για να ανταπεξέλθουν στη ζήτηση αιχμής.

- *Μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων*

Διαθέτοντας πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο, ελαχιστοποιούνται η παραγωγή πλεονάζουσας ΗΕ και οι απώλειες μεταφοράς και διανομής, και αυξάνεται η διείσδυση των ΑΠΕ στην παραγωγή ΗΕ. Το άμεσο αποτέλεσμα είναι μειωμένες εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα από τις θερμικές μονάδες.

- *Ευκολότερη εφαρμογή κοινωνικής πολιτικής*

Με την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών διευκολύνονται και επιταχύνονται οι διαδικασίες εφαρμογής κοινωνικής πολιτικής σε ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού. Για παράδειγμα, αν κάποιος καταναλωτής έχει αυξημένες ανάγκες σε ενέργεια λόγω ασθένειας μπορεί άμεσα να επιδοτηθεί και να συνάψει ειδική συμφωνία με τον πάροχο.

5.3 Είδη μετρητών

5.3.1 Συμβατικός μετρητής

Ο επαγωγικός μετρητής είναι το γνωστό ρολόι που εγκαθίσταται σε κάποιο εξωτερικό σημείο ενός κτιρίου. Η πλειονότητα των υπαρχόντων κτιρίων είναι εξοπλισμένη με ηλεκτρομηχανικούς μονοφασικούς ή τριφασικούς μετρητές. Αποτελούνται από ένα πηνίο τάσης και ένα πηνίο έντασης που διεγείρονται από τη τάση του δικτύου και την ένταση του ρεύματος στο φορτίο του καταναλωτή, ένα δίσκο-δρομέα από αλουμίνιο, του οποίου οι στροφές μεταδίδονται μέσω ενός ελικοειδούς τροχού σε ένα αριθμητήρα, και ένα μαγνήτη πέδησης. Η περιστροφική κίνηση του δίσκου βασίζεται στην αλληλεπίδραση των μαγνητικών ροών (κινητήριες ροές) των πηνίων τάσης και έντασης που μπορεί να θεωρηθούν ως επαγωγική μηχανή δύο φάσεων. Το ένα πηνίο είναι συνδεδεμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να παράγει μαγνητική ροή ανάλογη της τάσης και το άλλο ανάλογη του ρεύματος [55].

Ο επαγωγικός μετρητής λειτουργεί μετρώντας τις περιστροφές ενός μη μαγνητικού αλλά ηλεκτρικά αγώγιμου μεταλλικού δίσκου που ρυθμίζεται να περιστρέφεται με ταχύτητα ανάλογη της ισχύος που διέρχεται από το μετρητή. Ο αριθμός των περιστροφών κατά συνέπεια είναι ανάλογος της ΗΕ που καταναλώνεται. Αντίστοιχα, το πηνίο τάσης καταναλώνει μικρή και σχετικά σταθερή ισχύ (τυπικά 2 W) η οποία και δεν καταγράφεται από το μετρητή. Το πηνίο ρεύματος καταναλώνει μικρή ενέργεια, ανάλογη του τετραγώνου του ρεύματος που το διαρρέει η οποία, επίσης, δεν καταγράφεται από το μετρητή.

Με ρύθμιση της εσωτερικής φασικής γωνίας των δύο κινητήριων μαγνητικών ροών και της κυκλωματικής διάταξης, επιτυγχάνεται η ροπή στρέψης να είναι ανάλογη της πραγματικής ή της άεργου ισχύος. Για συγκεκριμένη ταχύτητα του δίσκου όπου η κινητήριος ροπή αντισταθμίζεται από τη ροπή πέδησης του μαγνήτη, η ταχύτητα του δίσκου είναι ανάλογη της ισχύος και ο αριθμός των περιστροφών του δίσκου αποτελεί το μέτρο της απορροφούμενης από τον καταναλωτή ΗΕ που καταγράφεται στον αριθμητήρα. Η σταθερά (K) του μετρητή είναι ένας σημαντικός συντελεστής, ο οποίος ευρίσκεται στην πινακίδα κάθε μετρητή και εκφράζει τη σχέση της ταχύτητας του δίσκου με το φορτίο του καταναλωτή [στροφές/kWh].



Σχήμα 5.1 Συμβατικός Μετρητής ΗΕ

5.3.2 Έξυπνος μετρητής

Ένας έξυπνος μετρητής μετρά δειγματοληψία τα βασικά ηλεκτρικά μεγέθη, τάση και ρεύμα. Αξιοποιώντας τα, υπολογίζει σημαντικά μεγέθη που σχετίζονται με την ΗΕ, όπως η ενεργός ισχύς και ο συντελεστής ισχύος (SI). Επιπλέον, ο έξυπνος μετρητής ενσωματώνει διατάξεις εξομάλυνσης της τάσης και της συχνότητας συμβάλλοντας στη βελτίωση της ποιότητας του ρεύματος. Παράλληλα, η ικανότητα αποθήκευσης και συχνής ανανέωσης των ψηφιακών αυτών δεδομένων προσφέρουν στον καταναλωτή τη δυνατότητα καταγραφής του ενεργειακού του προφίλ.



Σχήμα 5.2 Έξυπνος μετρητής ΗΕ

5.3.2.1 Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά

Τα βασικά συστατικά (hardware) για την υλοποίηση ενός έξυπνου μετρητή είναι ένας αισθητήρας τάσης, ένας αισθητήρας ρεύματος, μια μητρική πλακέτα – μικροεπεξεργαστής (motherboard) και ένας μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό σήμα [56].

Ο αισθητήρας τάσης αποτελεί το απαραίτητο εξάρτημα για τη μέτρηση της τριφασικής τάσης σε μία οικιακή ηλεκτρική εγκατάσταση. Η απαίτηση της μη παρεμβατικής επιτήρησης φορτίων, η αναγκαιότητα της ευκολίας εγκατάστασης της μετρητικής διάταξης στον οικιακό χώρο και το κόστος των υπό επιλογή εξαρτημάτων οδήγησε στην επιλογή ενός μορφοτροπέα τάσης. Ο μορφοτροπέας τάσης (Voltage Transducer) είναι μια ηλεκτρική διάταξη που έχει την ικανότητα να μετατρέπει μια υψηλή τάση σε σήμα τάσης χαμηλού επιπέδου με μόνωση μεταξύ της πηγής εισόδου υψηλής τάσης και του σήματος εξόδου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, καθίσταται δυνατή η μεταφορά με ασφάλεια και αξιοπιστία ενός σήματος τάσης, ανάλογης προς την υπό μέτρηση τάση, από εξοπλισμό υψηλής ισχύος σε συσκευές μέτρησης ή παρακολούθησης τάσης.

Αντίστοιχα, ο μορφοτροπέας ρεύματος είναι ένα ηλεκτρικό εξάρτημα που διαθέτει τη δυνατότητα να ανιχνεύει το ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα καλώδιο και να δημιουργεί ένα σήμα ανάλογο ως προς αυτό. Το παραγόμενο σήμα μπορεί να είναι ρεύμα ή αναλογική τάση ή ψηφιακό σήμα.

Ο μικροεπεξεργαστής ή μικροελεγκτής είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (Integrated Circuit) που είναι το κυρίως υπεύθυνο για τη λειτουργία μιας μετρητικής διάταξης. Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται εκτελώντας μια σειρά από εντολές που είναι υπεύθυνες για τη διασύνδεση μεταξύ

του υλικού (hardware). Ο μικροεπεξεργαστής αποτελείται από μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας (cpu), μνήμες (flash memories/SRAM/SDRAM) και θύρες επικοινωνίας (κυρίως usb)

Ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (analog to digital converter - ADC). Ένας έξυπνος μετρητής έχει ως χαρακτηριστικό το ότι διαθέτει τουλάχιστον τέσσερις εισόδους δειγματοληψίας για το ρεύμα και τις τρεις φάσεις της τάσης.



Σχήμα 5.3 Έξυπνοι μετρητές HE

5.4 Είδη μετρητικών Συστημάτων

5.4.1 Συμβατική καταγραφή μετρήσεων (Conventional Meter Reading)

Ο συμβατικός τρόπος καταμέτρησης της κατανάλωσης HE παρέχει τη δυνατότητα καταγραφής της κατανάλωσης στην καλύτερη των περιπτώσεων ανά μήνα, σε ορισμένες μόνο χώρες. Στην Ελλάδα, η καταμέτρηση γίνεται από τεχνικούς της εταιρίας- παρόχου ανά τέσσερις μήνες. Υπάρχει το ενδεχόμενο σημαντικών αποκλίσεων από την πραγματική κατανάλωση είτε λόγω μη ορθής λειτουργίας του αναλογικού μετρητή είτε λόγω ανθρώπινου λάθους κατά την καταγραφή των ενδείξεων από τον υπάλληλο είτε λόγω λανθασμένης εκτίμησης από την εταιρία στους κατ' εκτίμηση λογαριασμούς.

5.4.2 Έξυπνα μετρητικά συστήματα

5.4.2.1 Automated Meter Reading (AMR)

Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για την αυτόματη συλλογή δεδομένων στα σημεία κατανάλωσης ενέργειας (ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου) με σκοπό την τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο και την ανάλυση των καταναλώσεων. Κάθε στιγμή, ένα AMR σύστημα συλλέγει πληροφορίες που αποστέλλονται μέσω κατάλληλης τεχνολογίας τηλεπικοινωνιακής δικτύωσης σε ένα κέντρο συλλογής δεδομένων (central database).

5.4.2.2 Automated Meter Management (AMM) / Automated Meter Infrastructure (AMI)

Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν τη ροή πληροφορίας από και προς τους προμηθευτές ΗΕ. Χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ακρίβεια στη συλλογή δεδομένων και, συνεπώς, μεγαλύτερη ακρίβεια στην τιμολόγηση πραγματικού χρόνου (real-time pricing). Επιτρέπουν την απομακρυσμένη σύνδεση/διακοπή του φορτίου και ειδοποιούν με μήνυμα τον καταναλωτή ή και τον πάροχο σε περιπτώσεις αλλοίωσης των μετρήσεων. Ορισμένα σημαντικά χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας είναι τα ακόλουθα:

- Περιοδικές μετρήσεις, τυπικά ανά 15 min
- Απομακρυσμένη σύνδεση και διακοπή της παροχής ΗΕ
- Διαχείριση των διακοπών και επανασύνδεση σε πραγματικό χρόνο με αντίστοιχες ειδοποιήσεις
- Ελαχιστοποίηση των απωλειών ΗΕ του συστήματος
- Εξισορρόπηση των φάσεων του φορτίου
- Ολοκληρωμένος έλεγχος τάσης και άεργου ισχύος
- Εντοπισμός και αποτροπή ρευματοκλοπών

| | Conventional meter reader | AMR | AMI |
|------------------------------|---------------------------|-----|-----|
| Monthly kwh reading | ✓ | ✓ | ✓ |
| Two way communication | | ✓ | ✓ |
| Theft detection | | ✓ | ✓ |
| Outage/Restoring detection | | ✓ | ✓ |
| On-demand reads | | | ✓ |
| Programmable load intervals | | | ✓ |
| Time of Use | | | ✓ |
| Demand response | | | ✓ |
| Integrated disconnect switch | | | ✓ |
| Power Quality data | | | ✓ |
| Remote programmable | | | ✓ |
| Remotely upgradeable | | | ✓ |

Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά έξυπνων μετρητικών συστημάτων

5.4.3 Meter Data Management System (MDMS)

Για τη λειτουργία των έξυπνων μετρητών είναι απαραίτητο ένα σύστημα διαχείρισης μετρικών δεδομένων (MDMS), το οποίο συλλέγει και αποθηκεύει όλες τις πληροφορίες που αποστέλλουν οι μετρητές μέσω των AMR/AMI συστημάτων σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα που συλλέγονται αποσκοπούν στην αποτελεσματικότερη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου, αρχικά, και του ευφυούς δικτύου, μεταγενέστερα, αλλά και στον εντοπισμό προβλημάτων που συνδέονται με το δίκτυο. Στα συστήματα MDM ενσωματώνονται λειτουργίες όπως:

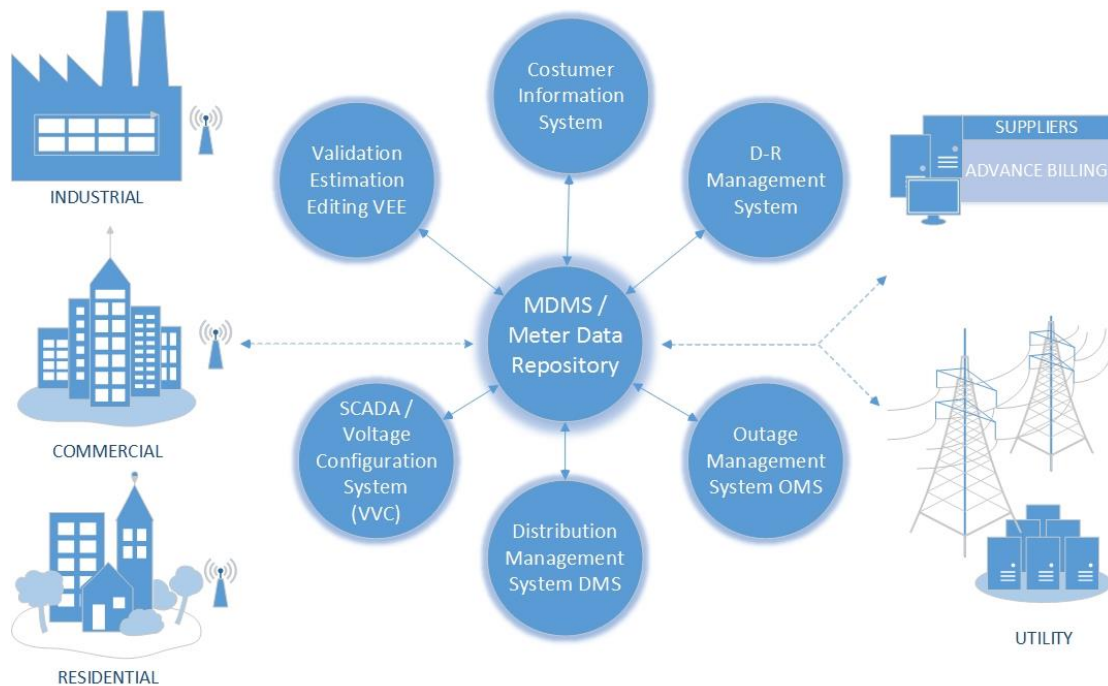
- Επικύρωση, εκτίμηση και επεξεργασία των εισερχομένων πληροφοριών, πριν αυτές καταχωρισθούν στις βάσεις δεδομένων, προς αποφυγή λαθών που ενδεχομένως υπάρχουν στις μετρήσεις. Επιπλέον, η δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας που προσφέρει το ευφύες δίκτυο επιτρέπει στο MDM σύστημα να ζητεί δεδομένα (on-demand data) από το AMI σύστημα και να τα αποστέλλει, είτε στον αντίστοιχο προμηθευτή ΗΕ, είτε στο διαχειριστή του δικτύου.
- Δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας και η επαναφορά του συστήματος σε προγενέστερη ημερομηνία ορθής λειτουργίας (backup & recovery)
- Επαναφορά του συστήματος σε έκτακτες περιπτώσεις (disaster recovery)
- Αρχαιοθέτηση και αποκατάσταση δεδομένων (data archiving and restoration)

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας αλλά και του ίδιου του ευφυούς δικτύου, ο όγκος της διακινούμενης πληροφορίας αναμένεται να αυξηθεί εκθετικά. Έτσι, τα MDM συστήματα πρέπει να είναι τεχνολογικά επεκτάσιμα, ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν σε μελλοντικές προκλήσεις [57].

5.4.3.1 Εφαρμογές σε MDM συστήματα

Ανάλογα με τις ανάγκες της αγοράς στην οποία εκάστοτε απευθύνονται, στα MDM συστήματα μπορεί να ενσωματωθεί μεγάλο πλήθος εφαρμογών σε επίπεδο λογισμικού. Ορισμένες συχνές εφαρμογές που χρησιμοποιούνται και από τις εταιρείες που παρέχουν προγράμματα MDMS είναι οι εξής:

- *Advanced Billing*
Εφαρμόζονται διάφορες πολιτικές τιμολόγησης όπως Time Of Use (TOU), Critical Peak Pricing (CPP), Peak Day Pricing (PDP) και άλλες.
- *Validation Estimation Editing (VEE)*
Η επικύρωση, η εκτίμηση και η επεξεργασία των δεδομένων παρέχουν αξιοπιστία και ακρίβεια στις μετρήσεις που προέρχονται από τα AMI συστήματα.
- *Outage Management System (OMS)*
Σε περιπτώσεις διακοπών παροχής ρεύματος, το σύστημα MDM ειδοποιεί με ηχητικά μηνύματα με στόχο την ταχεία διάγνωση του προβλήματος. Η αποκατάσταση γίνεται είτε απομακρυσμένα είτε, σε περίπτωση φυσικής καταστροφής, με επιτόπια ανθρώπινη παρέμβαση.
- *Customer Information System (CIS)*
Καταγράφεται το ενεργειακό προφίλ των πελατών παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για D-R και load management προγράμματα.
- *Data Synchronization*
Συγχρονισμός δεδομένων κατανάλωσης με συχνές μετρήσεις κάθε 15 min.



Σχήμα 5.4 Σχηματική Απεικόνιση MDMS



Σχήμα 5.5 Σύστημα απεικόνισης MDMS λογισμικού της εταιρείας Toshiba

5.5 Εφαρμογές που προϋποθέτουν την ύπαρξη έξυπνων μετρητών

Λόγω των πλεονεκτημάτων που διαθέτουν οι έξυπνοι μετρητές, προσφέρουν τη δυνατότητα υλοποίησης σημαντικών εφαρμογών αυτοματισμού και έξυπνης διαχείρισης των συστημάτων ενός κτιρίου ή μιας εγκατάστασης. Οι δυνατότητες των έξυπνων μετρητών συμβάλλουν σημαντικά στην αποδοτική διαχείριση της ΗΕ μίας οικίας/επιχείρησης λόγω της συλλογής δεδομένων κατανάλωσης ΗΕ και της δυνατότητας αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ των διαχειριστών ενός κτιρίου και των προμηθευτών. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι κυριότερες από αυτές τις εφαρμογές [46].

5.5.1 Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας για Κτίρια (Energy Management System (EMS) for buildings)

Η εγκατάσταση ενός συστήματος ενεργειακής διαχείρισης (Energy Management System – EMS) αποσκοπεί στην επιτήρηση ή και τον αυτόματο έλεγχο των ηλεκτρολογικών και μηχανολογικών εγκαταστάσεων ενός κτιρίου και καθιστά δυνατή την ανάλυση δεδομένων και τη ρύθμιση παραμέτρων των εγκαταστάσεων από ένα κέντρο ελέγχου. Παράλληλα, προσφέρει την παρακολούθηση και καταγραφή της ενεργειακής συμπεριφοράς των συστημάτων που είναι εγκατεστημένα στο κτίριο, καθώς και τη δημιουργία αρχείου με στατιστικά στοιχεία.

Ένα σύστημα EMS αποτελείται από ένα Κεντρικό Σταθμό Παρακολούθησης και Ελέγχου, τα αισθητήρια όργανα, τις διατάξεις εκτέλεσης εντολών, καθώς και κατάλληλη τηλεπικοινωνιακή υποδομή. Ο προγραμματισμός και η διαχείριση του συστήματος EMS γίνεται μέσω του κεντρικού σταθμού ελέγχου.

5.5.2 Συστήματα Απεικόνισης και Εύκολης Πρόσβασης σε πληροφορίες ΗΕ (In-Home Displays and Access to Energy Info (IHD))

Καθώς το ευφυές ΗΔ εξελίσσεται, αναδύονται και νέες τεχνολογίες συλλογής πληροφοριών. Μια κατηγορία έξυπνων συσκευών που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι τα In-Home-Displays (IHDs). Τα IHDs παρέχουν βασικές πληροφορίες, όπως παρακολούθηση κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο, ωριαίο κόστος ΗΕ και ωριαία κατανάλωση, αξιοποιώντας κατάλληλα τα δεδομένα των έξυπνων μετρητών. Ορισμένα IHDs είναι σε θέση να παρέχουν πρόσθετες πληροφορίες, όπως καταγραφή του ενεργειακού προφίλ το τελευταίο 24ωρο ή ακόμα τον τελευταίο μήνα, πρόβλεψη κόστους και κατανάλωσης, μηναία αιχμή, εσωτερικές και εξωτερικές θερμοκρασίες κλπ.

Με την ανάπτυξη και της τεχνολογίας αναδεικνύονται και νέοι εναλλακτικοί τρόποι παροχής πληροφοριών προς τους καταναλωτές. Συσκευές που είναι ήδη σε ευρεία χρήση, όπως laptop, smart phone, PC, tablets, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν προς το σκοπό αυτό.

5.5.3 Εφαρμογές και Συσκευές Άμεσης Σύνδεσης στο Δίκτυο EMS (Grid-Ready Appliances and Devices (DR-Ready))

Η απαίτηση για την υλοποίηση έξυπνου δικτύου οδηγεί σταδιακά τις βιομηχανίες ηλεκτρικών συσκευών στη σχεδίαση προϊόντων που θα ενσωματώνουν τεχνολογίες επικοινωνίας και ελέγχου (DR-Ready). Στις μέχρι τώρα υλοποιήσεις έξυπνων δικτύων απαιτείται ειδικός εξοπλισμός (έξυπνοι ρευματοδότες) στην ηλεκτρολογική εγκατάσταση, ώστε να είναι σε θέση οι ηλεκτρικές συσκευές να ενσωματωθούν στο συνολικό σύστημα διαχείρισης της ενέργειας. Το πρόσθετο αυτό κόστος αναμένεται να μειωθεί σημαντικά τα αμέσως επόμενα χρόνια με την ευρεία διάθεση των DR-Ready συσκευών. Επιπλέον, τόσο ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός όσο και το κόστος των εξαρτημάτων θα παρέχονται σε χαμηλότερες τιμές, όπως συμβαίνει με κάθε νέα τεχνολογία.

5.5.4 Ανοικτό Σύστημα Αυτόματης Απόκρισης Ζήτησης (Open Automated Demand Response (open-ADR))

Ένα σύστημα αυτόματης απόκρισης της ζήτησης (Automated demand response - ADR) αξιοποιεί τα δεδομένα που προέρχονται από προηγμένα συστήματα διαχείρισης ενέργειας κτιρίων. Η διακίνηση των δεδομένων αυτών μπορεί να γίνει είτε μέσω του Internet είτε με κάποια άλλη μορφή τηλεπικοινωνιακής σύνδεσης. Τα σημερινά συστήματα DR δεν παρέχουν αυτή τη δυνατότητα. Η ανάγκη για άμεση επικοινωνία όλων των συσκευών και διατάξεων σε πραγματικό χρόνο (machine-to-machine (M2M) communication) οδηγούν στην ανάπτυξη ανοικτών συστημάτων αυτόματης διαχείρισης ζήτησης (Open-ADR). Τέτοια συστήματα διαχείρισης ενέργειας κτιρίων είναι προγραμματισμένα να μειώνουν το στιγμιαίο συνολικό φορτίο μιας κτιριακής εγκατάστασης, με βάση τα σήματα ελέγχου που θα δέχονται. Θα μπορούν, επίσης, να αποστέλλουν στους προμηθευτές ΗΕ πληροφορίες κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο.

Προϋπόθεση για να χρησιμοποιηθεί ένα open-ADR είναι να διαθέτουν τα κτίρια προηγμένα συστήματα EMS ή να μισθώνουν υπηρεσίες EMS από κάποιον πάροχο.

5.5.5 Αποθήκευση ΗΕ (Energy Storage)

Οι προηγμένες lead-acid μπαταρίες αποτελούν την επικρατέστερη μορφή αποθήκευσης ενέργειας για οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές που χρειάζονται συστήματα αδιάλειπτης παροχής ρεύματος (uninterruptible power supply (UPS) system). Για τον ίδιο σκοπό, μελλοντικά, αναμένεται να χρησιμοποιηθούν και μπαταρίες λιθίου. Τα UPS που προορίζονται για οικιακή χρήση (standby UPS), προσφέρουν παροχή ενέργειας για δύο ώρες. Τα online UPS είναι ιδανικά για εφαρμογές όπου η ηλεκτρική απομόνωση είναι αναγκαία ή για εξοπλισμούς που είναι πολύ ευαίσθητοι σε διακυμάνσεις παροχής ρεύματος. Στον εμπορικό και βιομηχανικό τομέα, τα συστήματα αυτά μπορούν να παρέχουν ρεύμα μέχρι και για 8 h. Και οι δύο ανωτέρω κατηγορίες UPS έχουν απόδοση 75% που διατηρείται για περισσότερους από 5000 κύκλους φόρτισης. Η μεγάλη όμως τομή στην αποθήκευση ΗΕ σε επίπεδο κτιρίου αναμένεται να επέλθει από την διάδοση των EV, όπως έχει προαναφερθεί στο κεφ. 4.8.

5.6 Κίνδυνοι και θέματα που χρήζουν προσοχής και μελέτης

Η χρήση έξυπνων μετρητών εγείρει ζητήματα που χρήζουν προσοχής και περαιτέρω μελέτης. Αυτά τα ζητήματα σχετίζονται με:

- *Την προστασία των προσωπικών δεδομένων των καταναλωτών.*

Για την εξασφάλιση εμπιστευτικότητας απαιτείται να υπάρχει η διαβεβαίωση ότι μόνο εξουσιοδοτημένα άτομα θα έχουν πρόσβαση σε προσωπικά δεδομένα των πελατών. Ένα ισχυρό

εργαλείο που διατίθεται για το σκοπό αυτό είναι η κρυπτογράφηση των δεδομένων, μέσω της οποίας τα προς αποστολή δεδομένα μετασχηματίζονται σε μη-αναγνωρίσιμη μορφή και αποκρυπτογραφούνται και επανέρχονται στην αρχική τους μορφή μόνο από εξουσιοδοτημένους παραλήπτες. Επιπλέον, πέραν των τεχνικών διασφάλισης ιδιωτικότητας και ανωνυμίας, χρειάζεται και ένα ισχυρό νομοθετικό πλαίσιο που θα αποτρέπει την παραβίαση ή ακόμα και τη δημοσιοποίηση - πώληση προσωπικών δεδομένων.

- *Την προστασία από πιθανές ηλεκτρονικές επιθέσεις*

Λόγω της ύπαρξης πολλών πυλών στο δίκτυο επικοινωνίας των έξυπνων μετρητών εμφανίζεται ο κίνδυνος υποκλοπής ή αλλοίωσης δεδομένων από απομακρυσμένες επιθέσεις στο δίκτυο. Επιπλέον, στην περίπτωση όπου κακόβουλη οντότητα αποκτήσει πρόσβαση στο σύστημα ελέγχου των μετρητών (AMI) έχει τη δυνατότητα πλήρους ελέγχου του ηλεκτρολογικού και μηχανολογικού εξοπλισμού του πελάτη αλλά και μερικό έλεγχο του εξοπλισμού του παρόχου. Σε ακραίες περιπτώσεις, μπορεί να προκύψουν ανεπιθύμητες διακοπές παροχής υπηρεσιών με κακόβουλη εκμετάλλευση της δυνατότητας απομακρυσμένης σύνδεσης/επανασύνδεσης της παροχής ρεύματος που προσφέρει το ευφυές δίκτυο μέσω των έξυπνων μετρητών.

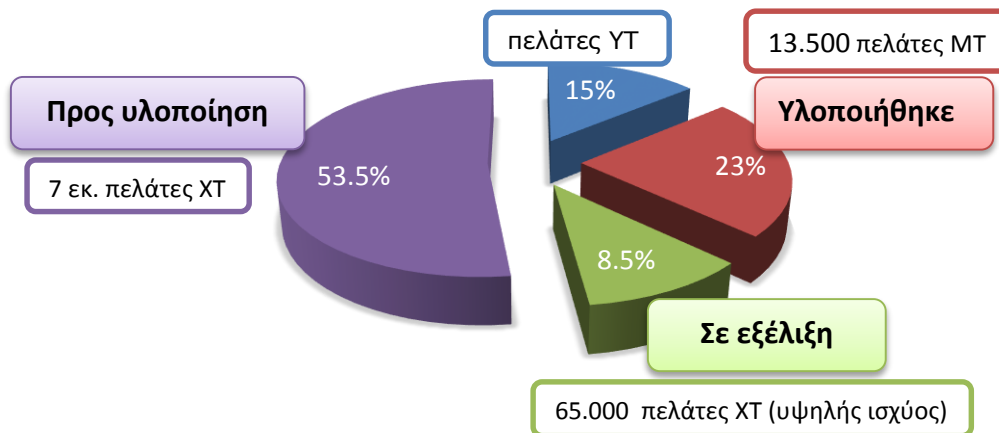
- *Την προστασία από πιθανές αυθαιρεσίες των παρόχων ΗΕ (αδικαιολόγητες χρεώσεις και διακοπές παροχής)*

5.7 Παρούσα κατάσταση στο Ελληνικό Δίκτυο

Τέσσερα είναι τα έργα-τομές για τη διείσδυση και ευρεία εγκατάσταση Έξυπνων Μετρητών στο ελληνικό ηλεκτρικό δίκτυο [58]:

- Το σύστημα τηλεμέτρησης πελατών MT (ολοκληρωμένο)
- Το σύστημα τηλεμέτρησης μεγάλων πελατών ΧΤ (σε εξέλιξη)
- Και το πιλοτικό σύστημα τηλεμέτρησης και διαχείρισης της ζήτησης οικιακών καταναλωτών και μικρών επιχειρήσεων (υπό διαβούλευση)
- Το μελλοντικό έργο που θα καλύπτει το σύνολο των 7.500.000 μετρητών της ελληνικής επικράτειας

Τα έργα αυτά είναι της αρμοδιότητας του Διαχειριστή του ΔΕΔΔΗΕ.



Σχήμα 5.6 Ενέργεια ανά κατηγορία πελατών και πορεία υλοποίησης συστήματος έξυπνης τηλεμέτρησης [44]

5.7.1 Ολοκληρωμένο σύστημα τηλεμέτρησης πελατών Μέσης Τάσης

Το έργο αυτό, προϋπολογισμού 6.4Μ.€, ολοκληρώθηκε το Νοέμβριο του 2009 με χρηματοδότηση από το Γ' Κοινωνικό Πλαίσιο Στήριξης. Εγκαταστάθηκαν έξυπνοι μετρητές και το αντίστοιχο σύστημα τηλεμέτρησης σε 13.500 πελάτες και παραγωγούς στη ΜΤ. Η τεχνολογία επικοινωνίας που επιλέχθηκε είναι GSM/GPRS και PSTN μέσω τηλεφωνικών γραμμών. Η ΗΕ που απορροφούν αυτοί οι καταναλωτές αποτελεί το 23% του συνολικού φορτίου του συστήματος.

Τεχνικές Προδιαγραφές του εξοπλισμού μετρητικής διάταξης [39]

- Η συλλογή των μετρήσεων των μετρητών φορτίου διενεργείται από το ΔΕΔΔΗΕ, με τηλεμέτρηση μέσω του Συστήματος Αυτόματης Συλλογής Μετρήσεων (AMR)
- Η κλάση ακρίβειας μέτρησης για το Μ/Σ έντασης είναι 0.5S, για το Μ/Σ τάσης είναι 0.5 (ανοχή σφάλματος $\pm 0.5\%$ για τάση και ρεύμα). Για τη μέτρηση ενεργού ενέργειας η κλάση είναι 1 και για τη μέτρηση αέργου είναι 2.
- Η αποστολή δεδομένων μπορεί να γίνεται κάθε 1, 5, 10, 15, 30 και 60 min. Έχει επιλεγεί να γίνεται κάθε 15 min.
- Η λήψη των μετρήσεων από τους μετρητές του Δικτύου πραγματοποιείται ημερησίως με τηλεμέτρηση και μηνιαίως με τηλεμέτρηση ή με επιτόπια λήψη των ενδείξεων.
- Οι μετρητές έχουν δυνατότητα επικοινωνίας με Κεντρικό Σταθμό Τηλεμέτρησης, με χρήση του πρωτοκόλλου επικοινωνίας DLMS
- Οι μετρητές πρέπει να είναι συμβατοί με το πρωτόκολλο Εφαρμογής DLMS/COSEM (Application Protocol DLMS)
- Πρέπει να διατίθεται πρόγραμμα υποστήριξης σε περιβάλλον Windows σε φορητό υπολογιστή για την παραμετροποίηση του μετρητή μέσω οπτικού interface και πρωτοκόλλου επικοινωνίας DLMS

Σύμφωνα με το ΔΕΔΔΗΕ, η εξοικονόμηση ανθρώπινων πόρων από την εγκατάσταση του συστήματος είναι της τάξης των 100.000 εργατοωρών το χρόνο.

5.7.2 Σύστημα τηλεμέτρησης μεγάλων πελατών Χαμηλής Τάσης

Το έργο αυτό, συνολικού προϋπολογισμού περίπου 27 Μ. €, δημοπρατήθηκε στο τέλος του 2012 με ανάδοχο την εταιρεία INTRAKAT Α.Ε και με χρηματοδότηση από το Δ' Κοινωνικό Πλαίσιο Στήριξης. Στόχος είναι η εγκατάσταση δικτύου έξυπνων μετρητών σε 65.000 καταναλωτές μέχρι την άνοιξη του 2015. Οι 60.000 από αυτούς έχουν συμφωνημένη ισχύ από 85 έως 250 KVA (κατηγορίες Νο.5 έως Νο.7) και οι 5.000 έχουν συμφωνημένη ισχύ από 35 έως 55 KVA (κατηγορίες Νο.3 και Νο.4). Το έργο αφορά βιοτεχνίες, μεγάλα καταστήματα, ξενοδοχεία, αρδευτικές περιοχές, κοινόχρηστα κτίρια κλπ. Οι καταναλωτές αυτοί αντιπροσωπεύουν το 11% του συνολικού φορτίου ενέργειας της χώρας. Η τεχνολογία επικοινωνίας που επιλέχθηκε είναι GSM/GPRS.

Η υλοποίηση του έργου ξεκίνησε το Φεβρουάριο του 2013 με την κατασκευή του κύριου και του εφεδρικού Κέντρου Τηλεμέτρησης που έχουν ήδη ολοκληρωθεί στις εγκαταστάσεις του ΔΕΔΔΗΕ, αρχικής δυναμικότητας 200.000 μετρητών με δυνατότητα επέκτασης [7].

5.7.3 Πιλοτικό σύστημα τηλεμέτρησης και διαχείρισης της ζήτησης οικιακών καταναλωτών και μικρών επιχειρήσεων

Το έργο αυτό βρίσκεται στη φάση της διαβούλευσης με αναμενόμενη ανάθεση του έργου στις αρχές του 2015. Στόχος είναι η εγκατάσταση δικτύου έξυπνων μετρητών σε 160.000 καταναλωτές. Οι περιοχές που έχουν επιλεγεί είναι ο νομός Ξάνθης και τα νησιά Λέσβος, Λήμνος, Αγ. Ευστράτιος και Λευκάδα. Προβλέπεται η κατασκευή δύο νέων Κέντρων Τηλεμέτρησης. Το μείγμα των τεχνολογιών επικοινωνίας θα αποτελείται, με ενδεικτική προτεινόμενη από τον ΔΕΔΔΗΕ ποσόστωση [59], από:

- PLC, 40%
- TCP/IP, 40%
- GSM/GPRS, 10%
- Radio Frequency, 5%
- Επιλογή του ανάδοχου, 5%

Επιπλέον, στο πλαίσιο του έργου προβλέπεται και η προμήθεια 160.000 οικιακών οθονών (Displays) για την παρακολούθηση της κατανάλωσης ΗΕ σε πραγματικό χρόνο, του ωριαίου κόστους ΗΕ και της ωριαίας κατανάλωσης ΗΕ από πλευράς καταναλωτών, καθώς και η δημιουργία ιστότοπου εξυπηρέτησης (Web Portal).

Παράλληλα, πρέπει να εγκατασταθούν και 4.300 περίπου συσκευές μέτρησης και εποπτείας των Υποσταθμών Διανομής στις περιοχές του Έργου.

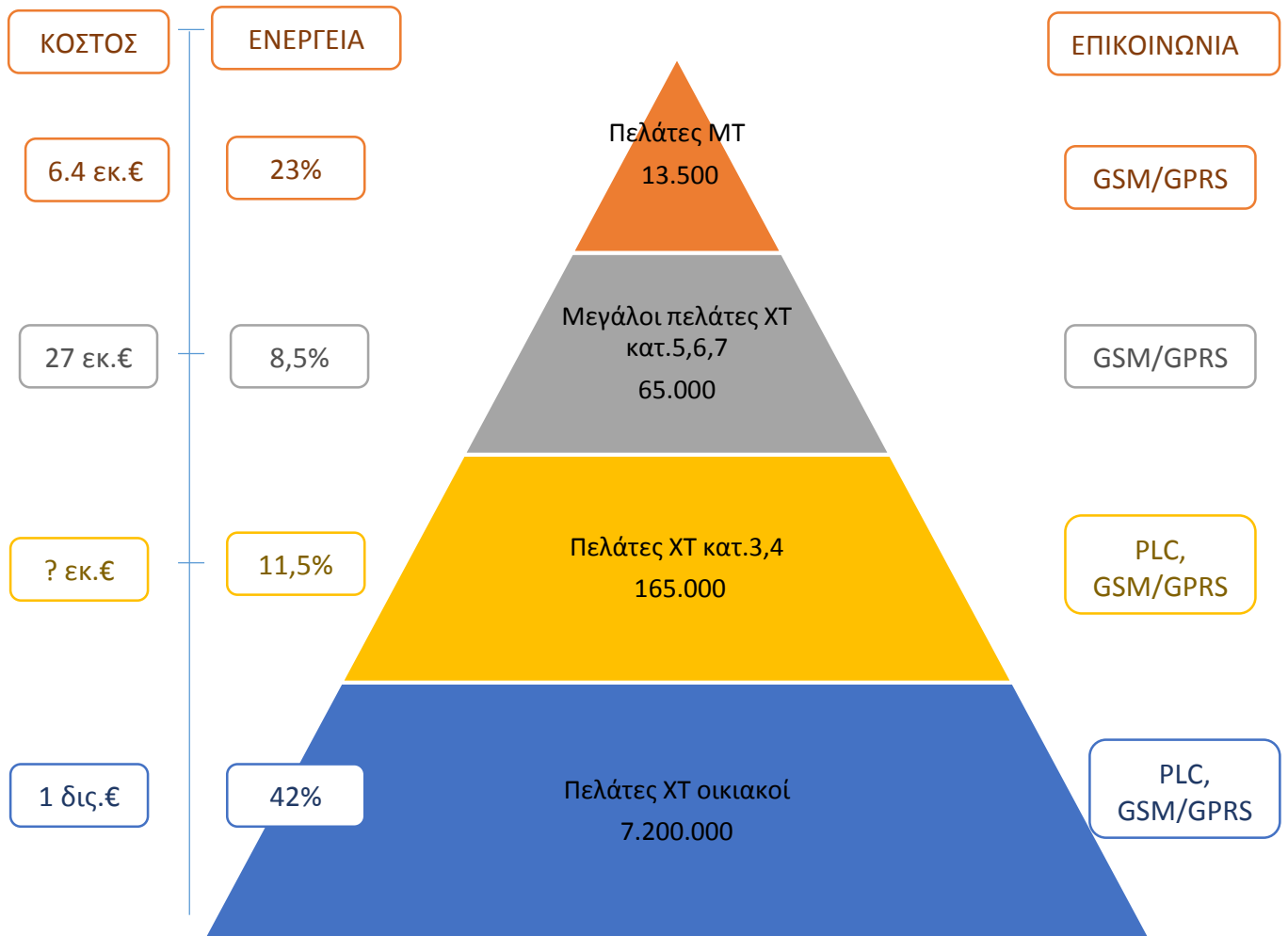
5.7.4 Μελλοντικοί στόχοι του Διαχειριστή των Δικτύων Διανομής

Απώτερος στόχος του ΔΕΔΔΗΕ είναι η αντικατάσταση του 80% των συμβατικών μετρητών με έξυπνους μέχρι το 2020, με το 40% να έχει αντικατασταθεί μέχρι τα μέσα του 2017 (Υ.Α. ΦΕΚ Β' 297/13.2.2013 «ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΥΦΥΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΟ ΕΔΔΗΕ»).



Σχήμα 5.7 Στάδια εξέλιξης των κύριων έργων τηλεμέτρησης και οι θεσμοθετημένοι μεσοπρόθεσμοι στόχοι

Στη συνέχεια, παρατίθεται ένα γράφημα που παρουσίασε ο ΔΕΔΔΗΕ που περιλαμβάνει το κόστος των έργων εγκατάστασης του συστήματος τηλεμέτρησης, τις μέχρι τώρα επιλογές ως προς τον τρόπο επικοινωνίας των μετρητών, το εκτιμώμενο κόστος για την ολοκλήρωση της τηλεμέτρησης σε όλο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τις προτεινόμενες λύσεις για την επικοινωνία του εξοπλισμού.



Σχήμα 5.8 Οι κατηγορίες καταναλωτών και, αντίστοιχα, το κόστος, η ποσόστωση καταναλισκόμενης ΗΕ και οι τεχνολογίες επικοινωνίας

Ο ΔΕΔΔΗΕ βρίσκεται σε μεταβατικό στάδιο επιχειρώντας τον εκσυγχρονισμό του δικτύου διανομής. Ακολουθώντας τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες και τις διεθνείς τάσεις στην αγορά ΗΕ, προσπαθεί να εγκαταστήσει υποδομές μέτρησης, ελέγχου και διαχείρισης του ΗΔ. Τα έργα εγκατάστασης συστημάτων έξυπνων μετρητών, καίτοι πιλοτικά προς το παρόν, κινούνται προς αυτή την κατεύθυνση. Θα ήταν χρήσιμο να αναφερθεί και άλλη μια διαδικασία που βρίσκεται σε εξέλιξη, η δημιουργία Μηχανογραφικού Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Το σύστημα αυτό αποσκοπεί στην αποτύπωση της τοπολογίας των δικτύων σε ψηφιακή μορφή. Πρόκειται για διαδικασία απαραίτητη για την περαιτέρω αξιοποίηση των συστημάτων έξυπνων μετρητών και την πορεία προς το έξυπνο δίκτυο.

6 ΕΥΦΥΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

6.1 Ροή ισχύος σε μια γραμμή μεταφοράς

Η μεταφερόμενη ισχύς μέσω μιας ΓΜ είναι συνάρτηση της επαγωγικής της αντίδρασης, του μέτρου της τάσης αναχώρησης και άφιξης και της μεταξύ τους γωνίας. Επομένως, ελέγχοντας έναν ή περισσότερους από τους προαναφερθέντες παράγοντες, είναι δυνατό να ελεγχθεί η ενεργός, καθώς επίσης και η άεργος ισχύς, σε μια ΓΜ. Στο παρελθόν, τα συστήματα ισχύος ήταν απλά και σχεδιασμένα ώστε να είναι ενεργειακά αυτόνομα. Η ανταλλαγή ενεργού ισχύος μεταξύ συστημάτων ήταν σπάνια, καθώς τα συστήματα μεταφοράς εναλλασσόμενου ρεύματος δεν είχαν τη δυνατότητα ελέγχου, ώστε να διαχειρίζονται ταχέως τις δυναμικές διαταραχές που λάμβαναν χώρα στο σύστημα.

Στα συστήματα ισχύος, είναι συνήθης πρακτική να συνδέονται εγκάρσιοι πυκνωτές για να διατηρούν τη διακύμανση της τάσης του συστήματος σε ικανοποιητικά επίπεδα. Αντιστοίχως, οι σε σειρά συνδεδεμένοι πυκνωτές χρησιμοποιούνται για να μειώνουν τη συνολική επαγωγική αντίδραση της ΓΜ η οποία οδηγεί σε αύξηση του ορίου μεταφερόμενης ισχύος της γραμμής. Η μετατόπιση γωνίας εφαρμόζεται για τον έλεγχο της ροής ισχύος στις ΓΜ, εισάγοντας μια πρόσθετη γωνία μεταξύ των γωνιών της τάσης αναχώρησης και άφιξης.

Όπως έχει αναφερθεί και στην εισαγωγή του έξυπνου συστήματος μεταφοράς ΗΕ (βλέπε κεφ.4.6), μέχρι και πριν από λίγα χρόνια όλες αυτές οι διατάξεις ελέγχονταν μηχανικά, και ως εκ τούτου, ήταν σχετικά αργές. Οι διατάξεις αυτές είναι πολύ χρήσιμες στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, αλλά από πλευράς δυναμικού ελέγχου η χρονική απόκριση τους είναι πολύ αργή για να ελαχιστοποιήσει τις μεταβατικές ταλαντώσεις του συστήματος. Αν τα μηχανικά συστήματα ελέγχου ήταν σε θέση να ανταποκρίνονται ταχύτερα, η ασφάλεια των συστημάτων ισχύος θα ήταν σημαντικά βελτιωμένη, επιτρέποντας την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων των συστημάτων και διατηρώντας παράλληλα σε ικανοποιητικά επίπεδα τα όρια ευστάθειας. Η πρόοδος που έχει συντελεστεί στα ηλεκτρονικά ισχύος οδήγησε σε μια νέα προσέγγιση του προβλήματος της ευστάθειας του ΣΗΕ, αρχικά από το EPRI στα τέλη του 1980. Τα ευέλικτα συστήματα μεταφοράς - FACTS (Flexible AC Transmission Systems) - ήταν η απάντηση στην απαίτηση για αποδοτικότερη χρήση των ήδη υπαρχόντων πόρων στα παρόντα ΣΗΕ, επιτρέποντας την αξιοποίηση και επέκταση των δυνατοτήτων μεταφοράς ΗΕ.

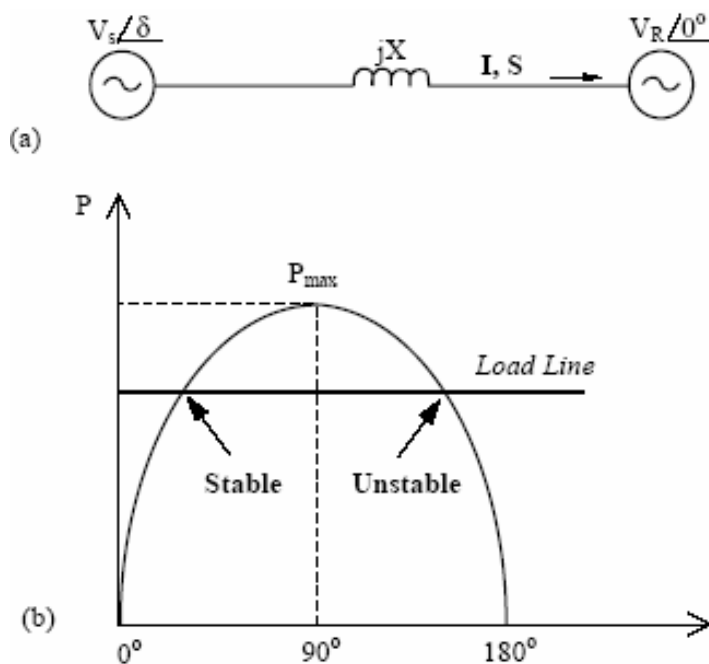
Η μεταφερόμενη πραγματική και άεργος ισχύς από μια ΓΜ ενός ΣΗΕ καθορίζεται από τα μέτρα των τάσεων αναχώρησης και άφιξης, τη διαφορά των γωνιών των τάσεων στα άκρα της γραμμής και από τη σύνθετη αντίσταση της ΓΜ. Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να μεταφερθεί από μια ΓΜ προσδιορίζεται από τα ακόλουθα τρία όρια [60]:

- Θερμικό όριο, που είναι η ονομαστική μεταφορική ικανότητα της ΓΜ υπό συγκεκριμένη θερμοκρασία.
- Όριο ροής ισχύος.
- Όριο ευστάθειας, που είναι το όριο που επιβάλλεται για ασφαλή και δυναμικά ευσταθή μεταφορά ισχύος.

Στα περισσότερα διασυνδεδεμένα ΣΗΕ, η μεταφερόμενη ισχύς μέσω των ΓΜ περιορίζεται από τη μεταβατική ευστάθεια και την ευστάθεια τάσης. Όμως, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του

συστήματος, η ισχύς αυτή μπορεί να φθάνει π.χ. τα 1000-2000 MW για ασφαλή λειτουργία γραμμής 500KV, ενώ το θερμικό της όριο είναι πολύ μεγαλύτερο π.χ. 3000MW. Επομένως, αποτελεί πρόκληση η αύξηση του ορίου αυτού, με στόχο την αποδοτικότερη εκμετάλλευση των γραμμών, χωρίς βέβαια να διακυβεύεται η ασφάλεια και ευστάθεια του ΣΗΕ.

Για ευκολότερη κατανόηση της ροής ισχύος, χρησιμοποιείται το απλό μοντέλο των δύο μηχανών που απεικονίζεται στο σχήμα 6.1.



Σχήμα 6.1 Μοντέλο δύο μηχανών και καμπύλη ενεργού ισχύος - γωνίας δ

Η ΓΜ που παρεμβάλλεται μεταξύ δύο μηχανών θεωρείται χωρίς απώλειες και περιγράφεται από επαγωγική αντίδραση X . Η τάση \tilde{V}_R στο άκρο άφιξης θεωρείται ως τάση αναφοράς, δηλαδή έχει γωνία μηδέν. Η σχέση που συνδέει φαινόμενη, ενεργό και άεργο ισχύ είναι :

$$(6.1) \quad S = P + jQ = \tilde{V}\tilde{I}^*$$

Για το άκρο άφιξης ισχύουν οι σχέσεις:

$$(6.2) \quad S_R = P_R + jQ_R = \tilde{V}_R\tilde{I}^*$$

$$(6.3) \quad P_R = P_{max}\sin\delta$$

$$(6.4) \quad Q_R = P_{max}\cos\delta - \frac{V_R^2}{X}$$

Για την είσοδο της γραμμής ισχύουν οι σχέσεις :

$$(6.5) \quad P_S = P_{max}\sin\delta$$

$$(6.6) \quad Q_S = \frac{V_S^2}{X} - P_{max}\cos\delta$$

όπου V_R , V_S τα μέτρα των τάσεων άφιξης φορτίου και αναχώρησης εισόδου, δ η μεταξύ τους διαφορά φάσης και $P_{max} = \frac{V_S V_R}{X}$. Οι εξισώσεις, τόσο για την εισερχόμενη ενεργό ισχύ όσο και για την εξερχόμενη ενεργό ισχύ, είναι ισοδύναμες, διότι υποτέθηκε ότι το συνολικό σύστημα δεν εμφανίζει απώλειες. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 6.1, η μέγιστη μεταφερόμενη ενεργός ισχύς P_{max} προκύπτει για γωνία $\delta=90^\circ$. Αν ληφθούν υπόψη και οι ωμικές απώλειες της ΓΜ, τότε η τιμή της γωνίας δ για την οποία προκύπτει μέγιστη μεταφερόμενη ισχύς είναι διαφορετική. Το αν το σύστημα είναι ευσταθές ή όχι εξαρτάται από το αν η παράγωγος $\frac{dP}{d\delta}$ είναι αντίστοιχα θετική ή αρνητική. Η μέγιστη ισχύς P_{max} που μπορεί να μεταφερθεί από τη ΓΜ χωρίς να αποσυγχρονισθούν οι μηχανές των άκρων αναχώρησης και άφιξης προκύπτει για τη μηδενική τιμή της παραγωγού $\frac{dP}{d\delta}$ και καθορίζει το όριο της στατικής ευστάθειας.

Πρακτικά, ένα ΣΜ δεν πρέπει να λειτουργεί κοντά στο όριο στατικής ευστάθειας. Πρέπει να προβλέπεται συγκεκριμένο όριο στη μεταφορά ισχύος ώστε το σύστημα να είναι ικανό να διαχειριστεί διαταραχές, όπως μεταβολές στο φορτίο, σφάλματα στο δίκτυο (βραχυκυκλώματα) και χειρισμοί μεταγωγής (άνοιγμα - κλείσιμο διακοπών).

Όπως μπορεί να φανεί από το σχήμα 6.1, η τομή μεταξύ της γραμμής φορτίου, η οποία αντιπροσωπεύει τη μηχανική ισχύ στην είσοδο, και της καμπύλης μεταφερόμενης ισχύος καθορίζει την τιμή της γωνίας δ μόνιμης κατάστασης : μια μικρή αύξηση στη μηχανική ισχύ στο άκρο αναχώρησης αυξάνει τη γωνία δ . Για γωνίες με τιμές άνω των 90° , έστω και παραμικρή αύξηση της ισχύος επιταχύνει την γεννήτρια και καθιστά το σύστημα ασταθές. Ωστόσο, στο αριστερό σημείο τομής, αύξηση της γωνίας δ προκαλεί αύξηση της ηλεκτρικής ισχύος για να ισοσταθμίσει την αύξηση της μηχανικής ισχύος. Για τον προσδιορισμό του κατάλληλου περιθωρίου ως προς τη γωνία φορτίου δ , χρησιμοποιείται η βασική ιδέα της δυναμικής ευστάθειας ή της μεταβατικής ευστάθειας.

Σύμφωνα με την IEEE, δυναμική ευστάθεια είναι η ικανότητα του ΣΗΕ να παραμένει συγχρονισμένο κάτω από μικρές διαταραχές, ενώ μεταβατική ευστάθεια είναι η ικανότητα του ΣΗΕ να παραμένει συγχρονισμένο όταν υπόκειται σε διάφορες μεταβατικές διαταραχές, όπως βραχυκυκλώματα ή απώλειες στην παραγωγή ΗΕ. Μια τυπική ισχύς μεταφοράς αντιστοιχεί σε γωνίες ισχύος κάτω των 30° , για μόνιμη ευσταθή κατάσταση του δρομέα, οι τιμές των γωνιών στα διάφορα σημεία του ΣΜ είναι συνήθως μικρότερες των 45° .

Μια περισσότερο αναλυτική διερεύνηση των εξισώσεων (6.3) και (6.5) δείχνει ότι η μεταφερόμενη ενεργός ή πραγματική ισχύς εξαρτάται κυρίως από τη γωνία ισχύος δ . Από τις εξισώσεις (6.4) και (6.6) προκύπτει ότι οι απαιτήσεις σε άεργο ισχύ στην αναχώρηση και άφιξη της γραμμής είναι υπερβολικές για μεγάλες γωνίες. Επίσης, η μεταφορά άεργης ισχύος εξαρτάται κυρίως από τα μέτρα των τάσεων, με φορά ροής από την υψηλότερη τάση προς τη χαμηλότερη τάση, ενώ η κατεύθυνση της ροής ενεργού ισχύος εξαρτάται από το πρόσημο της γωνίας ισχύος.

6.2 Ευέλικτα Συστήματα Μεταφοράς – FACTS (Flexible AC Transfer Systems)



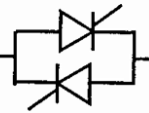
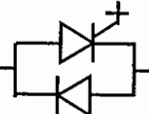
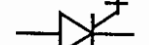
Στο πλαίσιο λοιπόν της αποδοτικότερης αξιοποίησης των ΣΜ, αναπτύχθηκε η ιδέα των FACTS, τα οποία αξιοποιώντας την κατάλληλη τεχνολογία ελαχιστοποιούν τη διαφορά μεταξύ του θερμικού ορίου και του ορίου ευστάθειας. Τα FACTS ενσωματώνουν ελεγκτές βασισμένους σε ηλεκτρονικά ισχύος αλλά και άλλους στατικούς ελεγκτές, με στόχο την αύξηση της δυνατότητας ασφαλούς μεταφοράς ΗΕ και βελτίωση της δυνατότητας ελέγχου (π.χ. αντισταθμιστές αέργου ισχύος). Με τη βοήθεια των ελεγκτών αυτών είναι δυνατό να ρυθμίζονται όλοι οι παράγοντες που εισάγουν περιορισμούς στη ροή ισχύος των γραμμών, δηλαδή η σε σειρά και η εγκάρσια σύνθετη αντίσταση, η φασική γωνία και οι ταλαντώσεις ισχύος σε συχνότητες μικρότερες της ονομαστικής συχνότητας (υποσύγχρονες ταλαντώσεις).

Τα FACTS έχουν τους εξής στόχους [61, 62]:

- Την πλήρη αξιοποίηση του ΣΜ επιτυγχάνοντας ασφαλή φόρτιση των γραμμών κοντά στο θερμικό τους όριο.
- Πλήρη έλεγχο της ροής πραγματικής και αέργου ισχύος ώστε να ρέει στους προδιαγεγραμμένους δρόμους μεταφοράς, χωρίς βροχοειδείς ή παράλληλες ροές ισχύος.
- Περιορισμό των ρευμάτων βραχυκύκλωσης και σφαλμάτων των διαφόρων διατάξεων με αποτέλεσμα την αποτροπή αλυσιδωτών αποσυνδέσεων τμημάτων δικτύου και συσκευών.
- Απόσβεση των ταλαντώσεων ισχύος, που καταπονούν ή και καταστρέφουν τον εξοπλισμό και περιορίζουν την επιτρεπόμενη μεταφορά ισχύος.

Από πλευράς δομής, τα FACTS κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες [60]:

- σε μετατροπείς που επιτρέπουν την ευέλικτη διαχείριση επιμέρους τμημάτων του ΣΜ όπως πηνίων ή πυκνωτών ή τυλιγμάτων μετασχηματιστών με διαφορά φάσης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα στατά συστήματα αντιστάθμισης αέργου ισχύος (Static Var Compensators-SVC), οι ελεγχόμενοι αντισταθμιστές σειράς (TCSC) και οι ρυθμιστές γωνίας φάσης (Phase Shifters). Οι μετατροπείς των διατάξεων αυτών χρησιμοποιούν θυρίστορ (ημιαγωγικά στοιχεία χωρίς δυνατότητα εξαναγκασμένης σβέσης) και απλώς επιτυγχάνουν ταχύτερες αποκρίσεις ζεύξης από τους κλασικούς διακόπτες.
- σε μετατροπείς που υλοποιούν ελεγχόμενες πηγές τάσης ή ρεύματος και χρησιμοποιούν συνήθως Gate Turn Off θυρίστορ (GTO). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι ελεγχόμενοι σύγχρονοι αντισταθμιστές (STATic synchronous COMpensators -STATCOM), οι ελεγχόμενοι σύγχρονοι αντισταθμιστές σειράς (Static Synchronous Series Compensators-SSSC), οι ενοποιημένοι ρυθμιστές ροής ισχύος (Unified Power Flow Controllers-UPFC) και οι ρυθμιστές ροής ισχύος μεταξύ ΓΜ (Interline Power Flow Controllers-IPFC). Τα ευέλικτα συστήματα αυτής της κατηγορίας εμφανίζουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά σε σχέση με τα αντίστοιχα συστήματα της προηγούμενης κατηγορίας και, επί πλέον, επιτρέπουν την έγχυση ή απορρόφηση ενεργού ισχύος. Ιδιαίτερης σημασίας εφαρμογή τέτοιων διατάξεων είναι και η μεταφορά ισχύος με συνεχές ρεύμα.

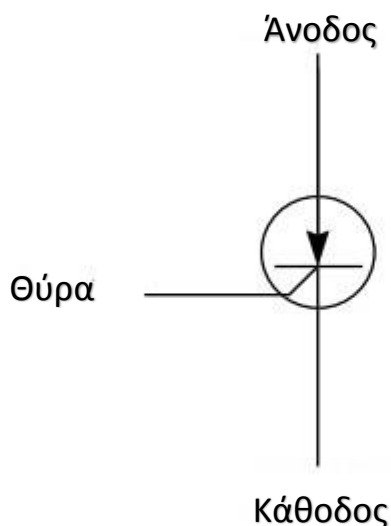
| Type | Features | Symbol | Implementation |
|------------------------|---|--|----------------|
| Supply/load commutated | Uncontrolled/ Unidirectional cur. |  | Diode |
| | Delay controlled/ Unidirectional cur. |  | Thyristor |
| | Delay controlled/ Bidirectional cur. |  | Thyristors |
| Self commutated | Bidirectional cur. Unidirectional volt. |  | IGBT. GTO |
| | Unirectional current Bidir. volt. blocking |  | GTO. (IGBT+D) |

Σχήμα 6.2 Κατάταξη ημιαγωγικών διακοπτικών διατάξεων ισχύος

Στα θυρίστορ, η αγώγιμη κατάσταση επιτυγχάνεται μέσω ενός παλμού ρεύματος μεταξύ θύρας (gate) και καθόδου (cathode). Επιστροφή, όμως, στην κατάσταση φραγής απαιτεί μηδενισμό του ρεύματος μέσω εξωτερικού κυκλώματος. Επίσης, η επιστροφή στην κατάσταση φραγής μπορεί να επιτευχθεί με μεταφορά του ρεύματός του σε άλλον κλάδο του μετατροπέα ισχύος.

Ο όρος θυρίστορ προσδιορίζει περιοχή υλικών σταθερής κατάστασης τα οποία χρησιμοποιούνται ως ελεγχόμενοι ηλεκτρικοί διακόπτες. Κάθε μία από αυτές τις διατάξεις μπορεί να μεταβάλλεται μεταξύ μιας αγώγιμης (on) κατάστασης και μιας μη αγώγιμης (off) κατάστασης, ώστε να επιτρέπει ή να διακόπτει, αποτελεσματικά, τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος. Επιπλέον, ορισμένα θυρίστορ έχουν τη δυνατότητα να διακόπτουν τη ροή του ρεύματος προς μία μόνο κατεύθυνση, ενώ άλλα θυρίστορ δύνανται να διακόπτουν τη ροή του ρεύματος προς κάθε κατεύθυνση.

Τα θυρίστορ χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές όπου πρέπει να ελεγχθεί φορτίο ισχύος DC και AC. Χρησιμοποιούνται, συχνά, για να τροφοδοτήσουν συγκεκριμένο μέγεθος ισχύος σε ένα φορτίο ή για να το αφαιρέσουν εντελώς από το φορτίο. Εν τούτοις, χρησιμοποιούνται, και, για να κανονικοποιήσουν ή να προσαρμόσουν το παρεχόμενο ποσό ισχύος σε συγκεκριμένο φορτίο. Για παράδειγμα, ένα θυρίστορ μπορεί να χρησιμοποιηθεί, απλώς, για να "ξεκινήσει" ή να "σταματήσει" ένα ηλεκτρικό κινητήρα ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ρυθμίσει την ταχύτητα ή τη ροπή στρέψης του κινητήρα σε μία ευρεία περιοχή λειτουργίας.

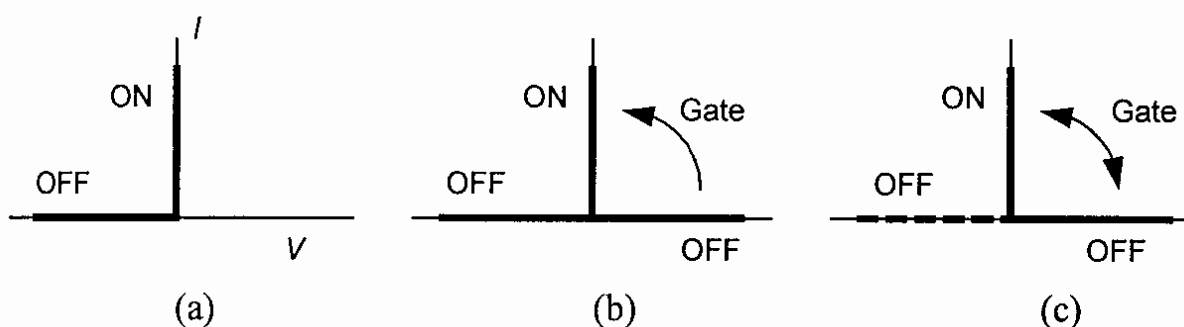


Σχήμα 6.3 Σχηματικό σύμβολο ενός θυρίστορ

Στα Integrated Gate Bipolar Transistors (IGBT) και στα GTO, οι καταστάσεις turn-on και turn-off επιτυγχάνονται μέσω της θύρας.

Τα GTO συμπεριφέρονται ως δίοδοι για ανάστροφες τάσεις και επομένως άγουν και κατά τις δύο κατευθύνσεις. Η φραγή επιτυγχάνεται εγχέοντας αντίστροφο ρεύμα στη θύρα.

Η συμπεριφορά του IGBT είναι παρόμοια με του Bipolar Junction Transistor (BJT) στην πλευρά ισχύος και του Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET) στην πλευρά της θύρας. Το IGBT έχει μόνο πρόσθια φραγή τάσης και συμπεριφέρεται ως δίοδος για ανάστροφες τάσεις [63].



Σχήμα 6.4 Διακοπτικά στοιχεία α) Δίοδος, β) Θυρίστορ γ) GTO-IGBT

Εκτός από την κατηγοριοποίηση με βάση τα ηλεκτρονικά ισχύος (θυρίστορς και μετατροπείς ισχύος) με τα οποία υλοποιούνται, τα FACTS κατηγοριοποιούνται και ανάλογα με τη συνδεσμολογία τους. Εκτός από τις βασικές λειτουργίες που είναι κοινές για όλα τα FACTS, όπως η απόσβεση των

ταλαντώσεων, η εξομάλυνση των κυματομορφών και η δυναμική και μεταβατική ευστάθεια τάσης, η συνδεσμολογία καθορίζει και ορισμένα πρόσθετα χαρακτηριστικά όπως [60].

- Αντιστάθμιση σειράς (series controllers)
Τα FACTS πραγματοποιούν έλεγχο της ροής ισχύος λειτουργώντας ως πηγές τάσης σε σειρά με τις γραμμές, μεταβάλλοντας έτσι τη σύνθετη αντίσταση της γραμμής.
- Εγκάρσια αντιστάθμιση (shunt controllers)
Τα FACTS πραγματοποιούν αντιστάθμιση άεργης ισχύος, ρυθμίζοντας έτσι την τάση του σημείου σύνδεσης.
- Συνδυασμός σειριακής – εγκάρσιας αντιστάθμισης (Combined series – shunt controllers)
Τα FACTS πραγματοποιούν έλεγχο των ροών ισχύος εγχέοντας ή απορροφώντας ενεργό ή άεργο ισχύ στις ΓΜ.

| Τρόπος Σύνδεσης | Ειδική λειτουργία ανάλογα με την σύνδεση | FACTS | |
|--------------------------------|---|----------------|---|
| | | Με θυρίστορς | Με μετατροπείς ισχύος (GTO, IGBT, IGCT) |
| Εγκάρσια | Έλεγχος τάσης, αντιστάθμιση άεργης ισχύος | SVC | STATCOM |
| Σε σειρά | Έλεγχος της ροής της ισχύος | TCSC | SSSC, IPFC |
| Συνδυασμένη (Εγκάρσια - Σειρά) | Έλεγχος ενεργού και άεργης ισχύος | Phase Shifters | UPFC |

Πίνακας 6.1 Κατηγοριοποίηση FACTS

Η ανάλυση και ο έλεγχος των διαφόρων τύπων ευέλικτων συστημάτων περιορίζεται προς το παρόν στην απομονωμένη λειτουργία τους. Ωστόσο, η διαφαινόμενη ταχεία διάδοσή τους στο μέλλον, καθιστά ορατή την ανάγκη ανάπτυξης συνολικού σχεδιασμού των συστημάτων ελέγχου τους, καθώς η ανεξάρτητη ρύθμιση εκάστου εξ αυτών μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητες αλληλεπιδράσεις.

6.2.1 FACTS ελεγχόμενα με θυρίστορς

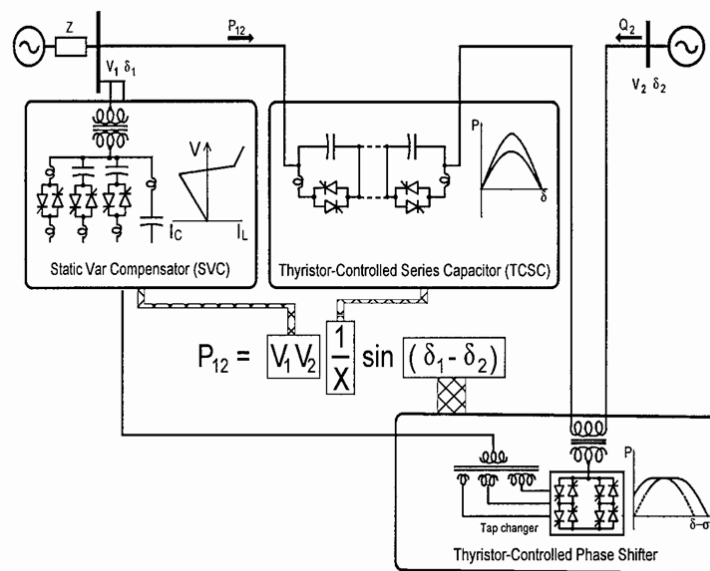
Εκάστη των προηγούμενων τριών κατηγοριών FACTS επιδρά σε διαφορετική παράμετρο της ΓΜ. Οι SVC διατάξεις ελέγχουν την τάση της ΓΜ, οι TCSC διατάξεις επηρεάζουν τη σύνθετη αντίσταση και οι phase shifters τη γωνία τάσεων εισόδου.

6.2.1.1 Λειτουργία FACTS ελεγχόμενων με θυρίστορες

Το SVC περιγράφεται ως εγκάρσια σύνθετη αντίσταση που καθορίζει το απαιτούμενο ρεύμα αντιστάθμισης. Η εγκάρσια αντιστάθμιση εξαρτάται από την τάση της γραμμής.

Το TCSC προστίθεται σε σειρά στη γραμμή, προκαλώντας μια τάση αντιστάθμισης, που αυξάνει την τάση κατά μήκος της γραμμής, επηρεάζοντας το ρεύμα γραμμής και τη μεταφερόμενη ισχύ. Η αντιστάθμιση σειράς εξαρτάται από το ρεύμα της γραμμής.

Αυτή η εξάρτηση από τα ηλεκτρικά μεγέθη της γραμμής (τάση και ρεύμα) είναι καθοριστική για την αντιστάθμιση, ιδιαίτερα όταν μεγάλες διαταραχές οδηγήσουν τα TCSC και SVC εκτός της κανονικής περιοχής λειτουργίας.



Σχήμα 6.5 Οικογένεια FACTS ελεγχόμενων με θυρίστορες

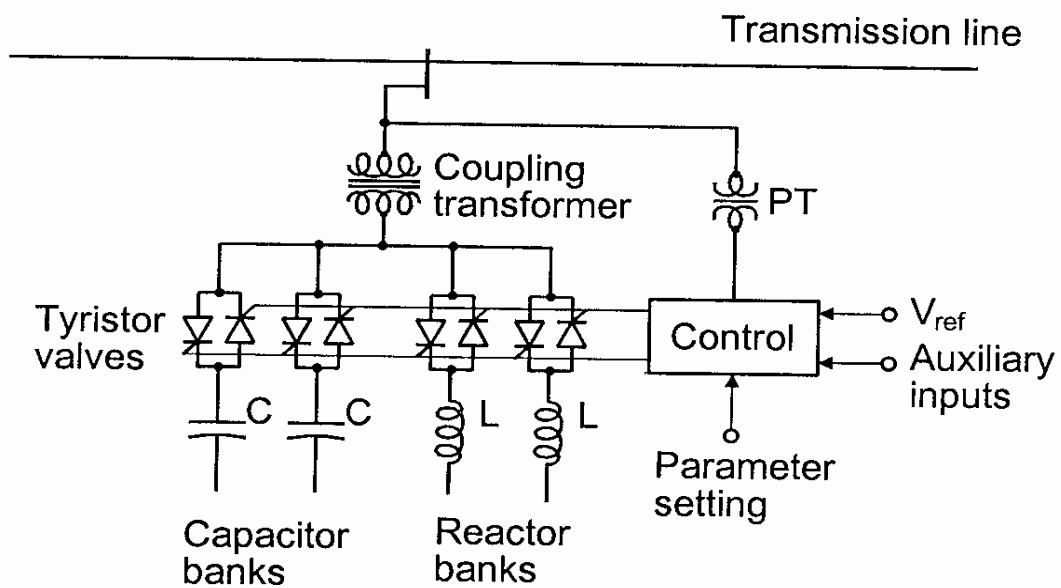
6.2.1.2 Προβλήματα FACTS ελεγχόμενων με θυρίστορες

Η εγκάρσια χωρητική αντιστάθμιση σε συνδυασμό με τον επαγωγικό χαρακτήρα του ΣΜ έχει ως αποτέλεσμα τον ηλεκτρικό συντονισμό του δικτύου σε συχνότητα μεγαλύτερη της θεμελιώδους (50 Hz), η οποία μπορεί να είναι κοντά στις αρμονικές (3η, 5η, 7η) του SVC αλλά και του δικτύου.

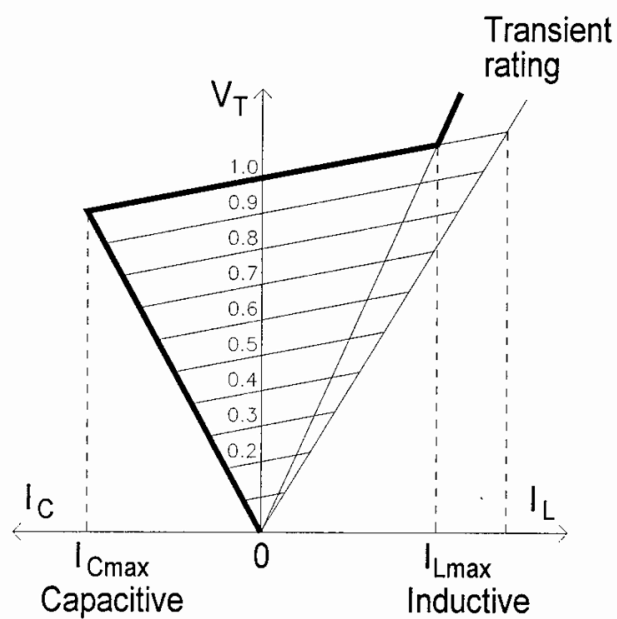
Η χωρητική αντιστάθμιση σειράς έχει ως αποτέλεσμα τον ηλεκτρικό συντονισμό του δικτύου σε συχνότητα μικρότερη της θεμελιώδους (50 Hz), που μπορεί να αλληλεπιδράσει με τις μηχανικές ταλαντώσεις των γεννητριών που τροφοδοτούν τη γραμμή και να προκαλέσει υποσύγχρονες ταλαντώσεις στο συνολικό σύστημα. Προς αποφυγή των ανωτέρω προβλημάτων λόγω συντονισμού προστίθενται LC φίλτρα στα SVC και ρυθμίζονται οι βαλβίδες των θυρίστορες στα TCSC

6.2.1.3 Στατικός αντισταθμιστής αέργου ισχύος – Static Var Compensator

Το SVC περιγράφεται ως εγκάρσια σύνθετη αντίσταση (ιδανικός πυκνωτής ή πηνίο) με ρυθμιζόμενο ρεύμα αντιστάθμισης. Το SVC μπορεί να παρέχει ή να απορροφά άεργο ισχύ στο σημείο σύνδεσής του. Η εγκάρσια παρεχόμενη αντιστάθμιση είναι συνάρτηση της τάσης της γραμμής. Ένας τυπικός εγκάρσιος στατικός αντισταθμιστής άεργης ισχύος, αποτελούμενος από βαθμίδες πυκνωτών ελεγχόμενων από TSCs καθώς και βαθμίδες πηνίων ελεγχόμενων από TCRs, φαίνεται στο σχήμα 6.8. [64] [60]



Σχήμα 6.6 Στατικός αντισταθμιστής αέργου ισχύος, αποτελούμενος από πυκνωτές με θυρίστορες και πηνία με θυρίστορες



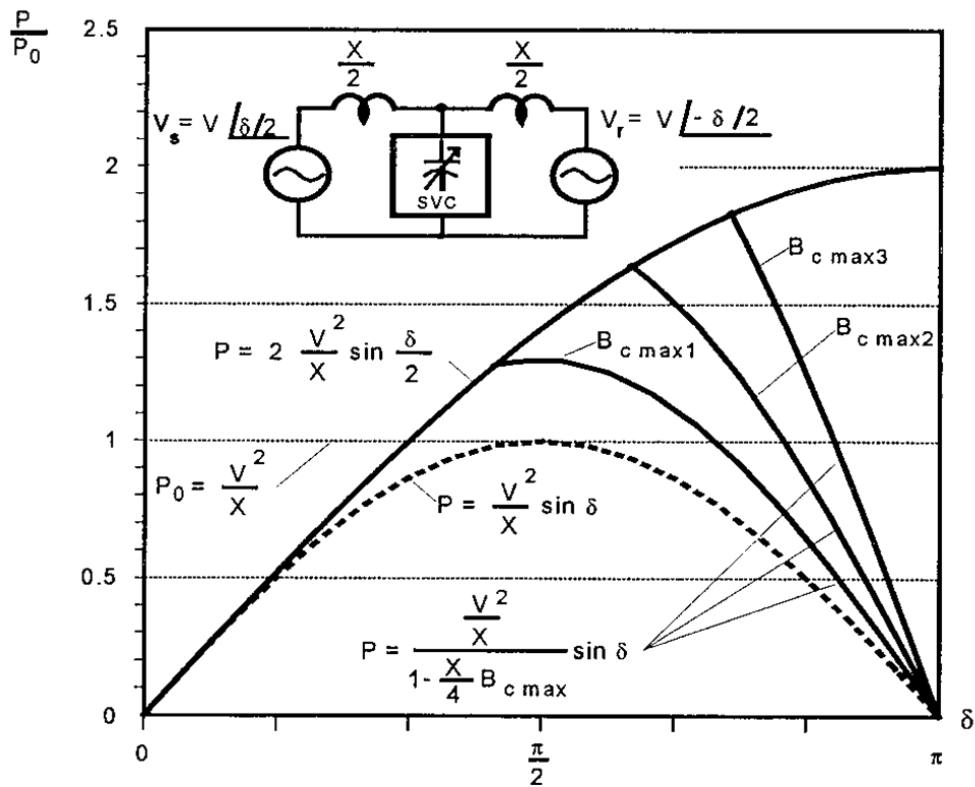
Σχήμα 6.7 Χααρακτηριστική V-I του SVC

6.2.1.3.1 Ερμηνεία της χαρακτηριστικής V-I του SVC

Το SVC ρυθμίζει την τάση της ΓΜ σε συγκεκριμένο τερματικό κόμβο. Η χαρακτηριστική V-I του SVC δείχνει ότι μπορεί να επιτευχθεί ρύθμιση με δεδομένη κλίση περί την ονομαστική τάση σε μία περιοχή λειτουργίας καθοριζόμενη από τα μέγιστα χωρητικά και επαγωγικά ρεύματα του SVC. Το μέγιστο χωρητικό ρεύμα μειώνεται γραμμικά (και η παραγόμενη άεργος ισχύς τετραγωνικά) συναρτήσει της τάσης, καθώς το SVC καθίσταται ένας σταθερός πυκνωτής όταν προσεγγισθεί η μέγιστη χωρητικότητα.

6.2.1.3.2 Μεταφερόμενη ισχύς στο SVC

Εκτός από τη ρύθμιση της τάσης, τα SVCs χρησιμοποιούνται και προς βελτίωση της μεταβατικής και δυναμικής ευστάθειας μέσω της αύξησης της μεγίστης μεταφερομένης ισχύος.

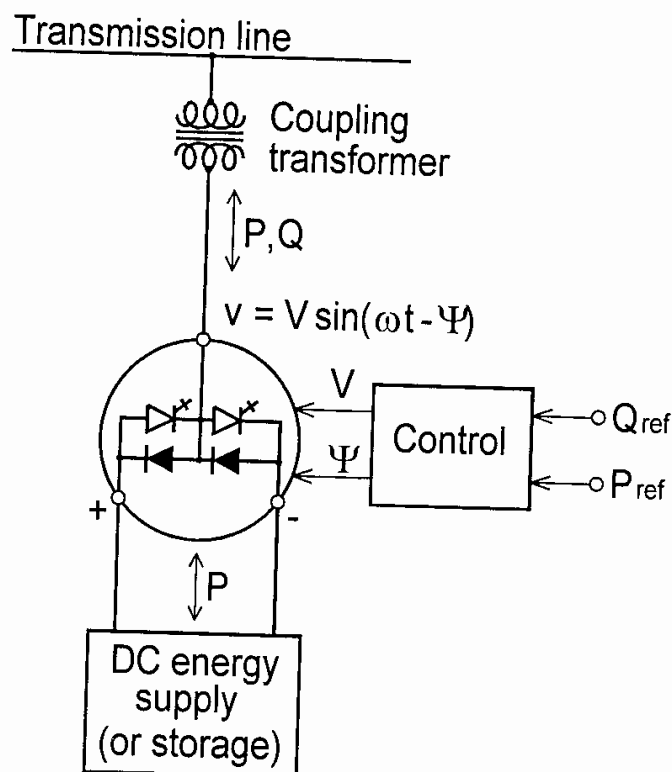


Σχήμα 6.8 Μεταφερόμενη ισχύς στο SVC

6.2.2 FACTS ελεγχόμενα με μετατροπείς

Πρόκειται για ελεγχόμενες σύγχρονες πηγές εναλλασσόμενης τάσης ή ρεύματος (Synchronous Voltage/Current Sources – SVS/SCS). Εκτός της άεργης αντιστάθμισης, διαθέτουν τη δυνατότητα άμεσης ανταλλαγής ενεργού ισχύος με το δίκτυο, εξασφαλίζοντας περισσότερο ευέλικτη διαχείριση ροής ισχύος και αντιμετώπιση δυναμικών διαταραχών.

Η συγκεκριμένη διάταξη συμπεριφέρεται ανάλογα με ιδανική στρεφόμενη σύγχρονη μηχανή, η οποία παράγει ένα συμμετρικό τριφασικό σύστημα τάσεων στη θεμελιώδη συχνότητα, με ελεγχόμενο πλάτος και φάση. Η ιδανική αυτή μηχανή δεν έχει καθόλου αδράνεια, η απόκρισή της είναι πρακτικά ακαριαία, δεν αλλάζει σημαντικά τη σύνθετη αντίσταση του δικτύου και μπορεί να παράγει άεργο ισχύ (χωρητική και επαγωγική). Μπορεί να ανταλλάσσει ενεργό ισχύ με το δίκτυο, εφόσον διασυνδεθεί με κατάλληλη διάταξη που μπορεί να παρέχει ή να απορροφά την ισχύ που το SVS πρέπει να παρέχει στο ή να απορροφά από το δίκτυο. [60]



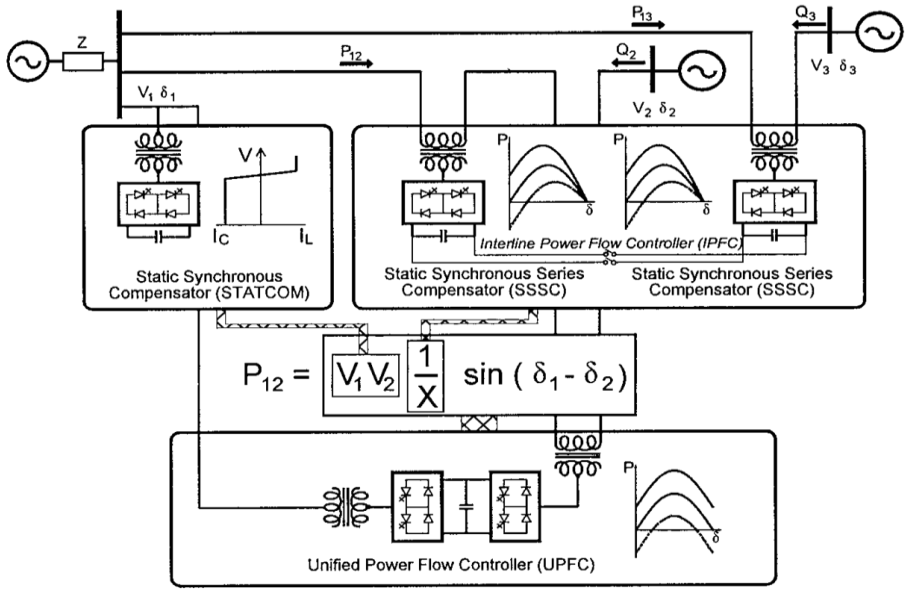
Σχήμα 6.9 Λειτουργικό μοντέλο SVS

Τα σήματα αναφοράς Q_{ref} και P_{ref} προσδιορίζουν το πλάτος V και τη γωνία Ψ της ημιτονοειδούς τάσης εξόδου και επομένως και την ανταλλαγή αέργου και ενεργού ισχύος μεταξύ της πηγής τάσης και του δικτύου AC. Όταν δεν απαιτείται ανταλλαγή ενεργού ισχύος ($P_{ref}=0$), το SVS γίνεται πηγή αέργου ισχύος.

- Το STATCOM (όπως και το αντίστοιχο συμβατικό SVC) ρυθμίζει την τάση της γραμμής μέσω της άεργης αντιστάθμισης.
- Το SSSC παρέχει αντιστάθμιση σειράς προς άμεσο έλεγχο της τάσης κατά μήκος της σύνθετης αντίστασης της γραμμής.
- Το UPFC μπορεί να ελέγξει, αυτοτελώς ή σε συνδυασμό με άλλα συστήματα FACTS, και τις τρεις μεταβλητές της γραμμής (τάση, σύνθετη αντίσταση και γωνία φάσης) ή άμεσα τη ροή ενεργού και αέργου ισχύος στη γραμμή.
- Εκτός από άεργο αντιστάθμιση σειράς, το IPFC έχει τη δυνατότητα μεταφοράς ενεργού ισχύος μεταξύ ΓΜ. Επομένως, μπορεί να εξασφαλίσει ολοκληρωμένη διαχείριση ενεργού και αέργου ισχύος σε συστήματα πολλαπλών γραμμών.

6.2.2.1 Λειτουργία FACTS ελεγχόμενων με μετατροπείς

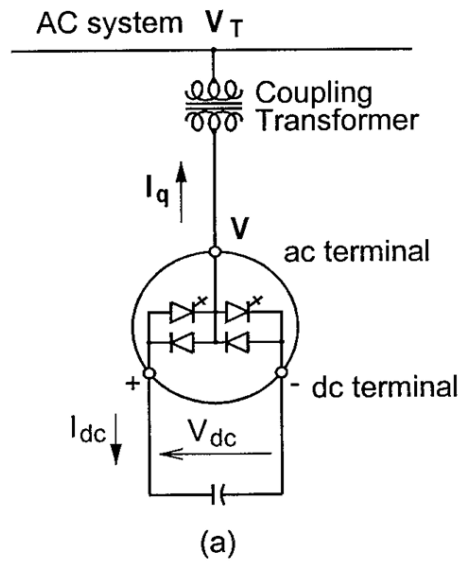
Το SVS μπορεί να επιτύχει επιθυμητή τιμή ρεύματος παρέχοντας στο σύστημα μια προκαθορισμένη τιμή τάσης, ή μία επιθυμητή τιμή τάσης παρέχοντας προκαθορισμένη τιμή ρεύματος. Σε αντίθεση με την αντιστάθμιση ελεγχόμενης σύνθετης αντίστασης, η αντιστάθμιση SVS είναι πρακτικά ανεξάρτητη από τα μεταβλητά μεγέθη του δικτύου (ρεύμα, τάση ή γωνία) και μπορεί να διατηρηθεί σταθερή κατά τη διάρκεια μεγάλων διαταραχών στο δίκτυο. Το SVS με σταθερές εισόδους λειτουργεί μόνο στη θεμελιώδη συχνότητα· η σύνθετη αντίσταση εξόδου του σε άλλες συχνότητες είναι πρακτικά μηδενική. Επομένως, με τα SVS δεν προκαλείται συντονισμός με το δίκτυο. Λόγω της δυνατότητας αμφίδρομης μεταφοράς ενεργού ισχύος μεταξύ των κόμβων AC και DC του SVS, είναι δυνατή η ζεύξη των DC κόμβων δύο ή περισσότερων SVSs και, επομένως, ο καθορισμός διαδρομών μεταφοράς ισχύος μεταξύ ζυγών ή γραμμών.



Σχήμα 6.10 Οικογένεια FACTS με διακοπτικούς μετατροπείς

6.2.2.2 Στατικός Αντισταθμιστής - Static synchronous Compensator

Όταν το SVS χρησιμοποιείται αποκλειστικά για εγκάρσια αντιστάθμιση, η DC πηγή ενέργειας μπορεί να αντικατασταθεί κυκλωματικά από ένα σχετικά μικρό DC πυκνωτή.

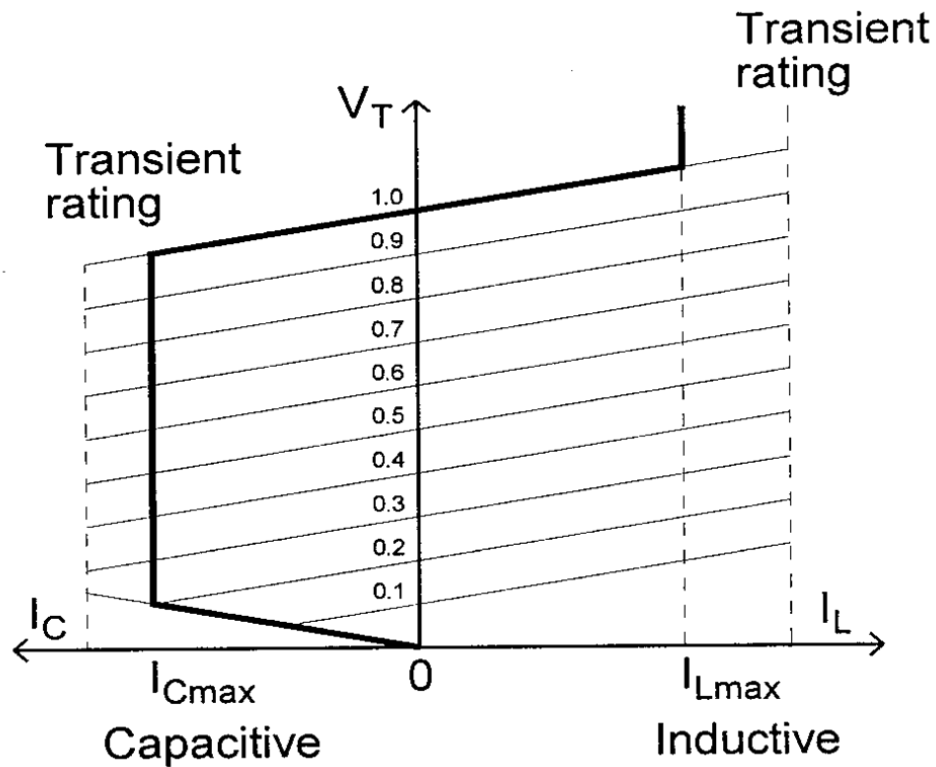


Σχήμα 6.11 Σύγχρονη πηγή τάσης που λειτουργεί ως STATCOM

Ο μετατροπέας διατηρεί τον πυκνωτή φορτισμένο στην επιθυμητή τάση. Αυτό επιτυγχάνεται όταν οι τάσεις εξόδου του μετατροπέα έπονται των τάσεων του δικτύου κατά μία μικρή γωνία. Έτσι, ο μετατροπέας απορροφά ένα μικρό ποσοστό της ενεργού ισχύος από το AC σύστημα με στόχο να καλύπτει τις εσωτερικές απώλειες και να διατηρεί την τάση του πυκνωτή στο επιθυμητό επίπεδο.

Ο ίδιος μηχανισμός ελέγχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί προς αύξηση ή μείωση της τάσης του πυκνωτή και, επομένως, και του πλάτους της τάσης εξόδου του μετατροπέα, ώστε να ελέγχεται η προσφορά ή απορρόφηση άεργης ισχύος.

Ο πυκνωτής DC εξασφαλίζει επίσης την ενεργειακή ισορροπία μεταξύ εισόδου-εξόδου κατά τη διάρκεια δυναμικών αλλαγών της αέργου εξόδου. Αυτός ο τύπος SVS έχει λειτουργικά χαρακτηριστικά παρόμοια με ένα ιδανικό σύγχρονο αντισταθμιστή. Τα χαρακτηριστικά του STATCOM υπερέχουν του συμβατικού SVC. [65] [66]



Σχήμα 6.12 Χααρακτηριστική V-I του STATCOM

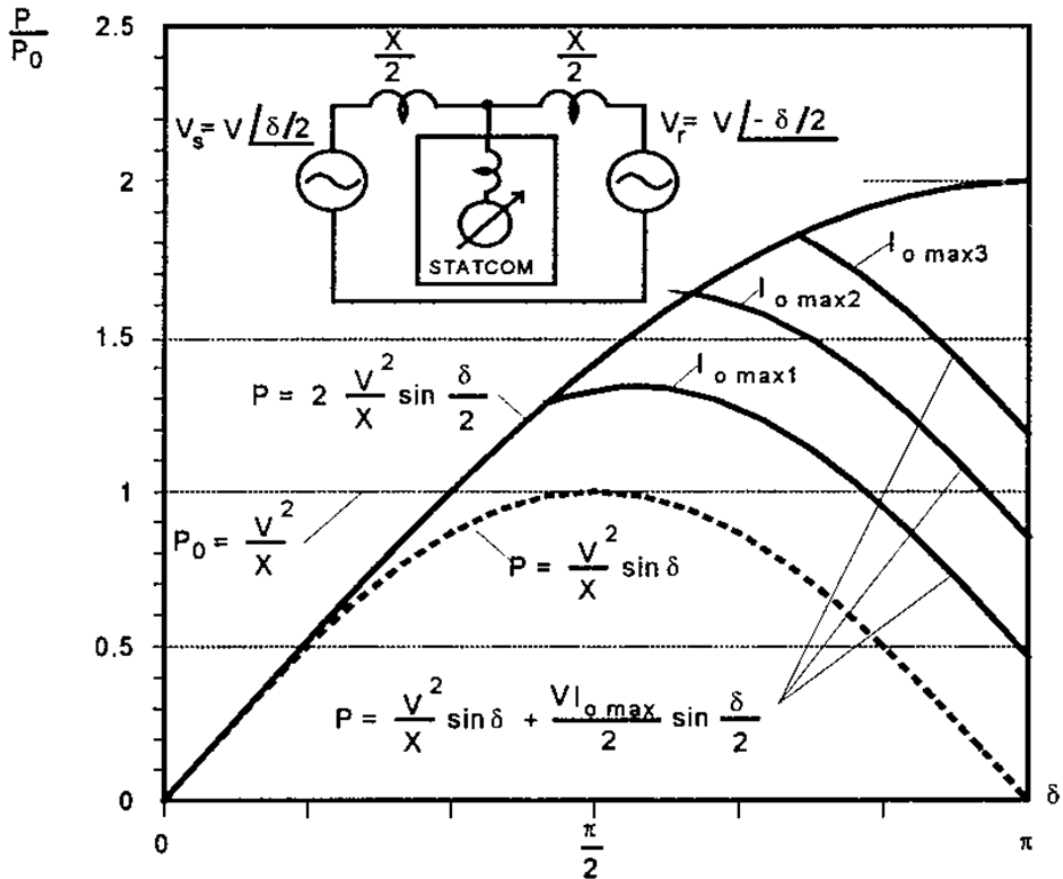
6.2.2.2.1 Ερμηνεία χαρακτηριστικής V-I του STATCOM

Ένας μετατροπέας STATCOM μπορεί να :

- εξασφαλίζει και χωρητική και επαγωγική αντιστάθμιση
- ελέγχει το ρεύμα εξόδου στην περιοχή λειτουργίας του
- παρέχει πλήρες χωρητικό ρεύμα υπό οποιαδήποτε τάση δικτύου (πρακτικά και μηδενική)

6.2.2.2.2 Μεταφερόμενη ισχύς στον STATCOM

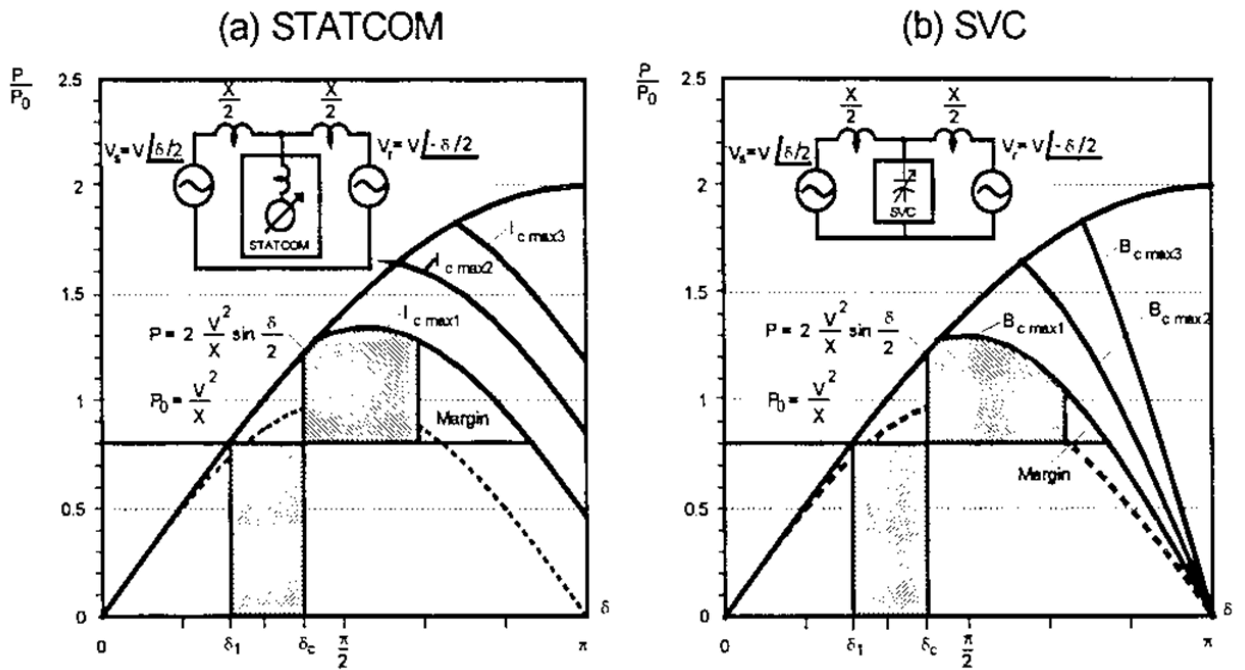
Ένας μετατροπέας STATCOM χρησιμοποιείται και για τη βελτίωση της μεταβατικής και δυναμικής ευστάθειας, επειδή μπορεί να αυξήσει τη μέγιστη μεταφερόμενη ισχύ.



Σχήμα 6.13 Μεταφερόμενη ισχύς στο STATCOM

6.2.3 Σύγκριση SVC με STATCOM

- Σε αντίθεση με το STATCOM, το ρεύμα εξόδου του SVC, το οποίο αποτελείται από διακοπτόμενους πυκνωτές και πηνία μέσω θυρίστορς, μειώνεται όταν ελαττώνεται η τάση του δικτύου.
- Ο μετατροπέας STATCOM έχει αυξημένο μεταβατικό περιθώριο. Αντιθέτως, το SVC δεν μπορεί να αυξήσει μεταβατικά την παραγωγή αέργου ισχύος, διότι το μέγιστο χωρητικό ρεύμα που μπορεί να αποδώσει καθορίζεται από το μέγεθος του πυκνωτή και την τάση του δικτύου.
- Η δυνατότητα του STATCOM να παράγει πλήρες χωρητικό ρεύμα υπό χαμηλή τάση δικτύου το καθιστά εξαιρετικά αποτελεσματικό στη βελτίωση της μεταβατικής ευστάθειας.



Σχήμα 6.14 Σύγκριση ορίων μεταβατικής ευστάθειας STATCOM και SVC

Συγκεντρωτικά, οι διαφορές των δύο προαναφερθείσων διατάξεων εμφανίζονται στον πίνακα 6.2. Επίσης, στην επόμενη ενότητα πραγματοποιείται προσομοίωση στο περιβάλλον του Simulink που συγκρίνει τις δύο διατάξεις όταν υπάρχει σφάλμα στη ΓΜ.

| | SVC | STATCOM |
|--|--|--|
| Βασική αρχή λειτουργίας | Ελεγχόμενη ή διακοπτόμενη παράλληλη εμπέδηση | Ελεγχόμενη πηγή τάσης/ρεύματος που προηγείται της επαγωγής |
| Παραγωγή αέργου ισχύος | Δυνατότητα διαφορετικής χωρητικής και επαγωγικής εξόδου | Ίδια χωρητική και επαγωγική έξοδος |
| Συμπεριφορά σε υψηλή/χαμηλή τάση | Σταθερή εμπέδηση/επιδεκτικότητα. Ελάχιστη τάση για έναυση/σβέση θυρίστορ | Σταθερό ρεύμα |
| Αντιστάθμιση αέργου ισχύος | Εντός του εύρους ελέγχου | Εντός του εύρους ελέγχου |
| Απαιτήσεις χώρου | Μεγάλες | Μικρότερες του SVC |
| Απώλειες | 1.0%-1.5% | 1.0%-1.5% |
| Μεταβολή συχνότητας συστήματος | Συμπεριφέρεται ως σταθερό L ή C | Συμπεριφέρεται ως σταθερή πηγή ρεύματος |
| Συνεισφορά σε σφάλμα | Καμία | Μέγιστο ονομαστικό ρεύμα |
| Έλεγχος τάσης και απόκριση | Η απόκριση εξαρτάται από το σύστημα και απαιτεί μεταβλητό έλεγχο κέρδους | Η απόκριση εξαρτάται από το σύστημα, ταχύτερος και σθεναρότερος του SVC |
| Μεταφορά ισχύος, βελτίωση απόσβεσης-ευστάθεια | Εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά στοιχεία και τη θέση εγκατάστασης | Εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά στοιχεία και τη θέση εγκατάστασης, αλλά σημαντικά καλύτερη του SVC |
| Αρχική ενεργοποίηση | Με άμεση ενεργοποίηση από σύστημα υψηλής τάσης | Ταχύτατη φόρτιση της αποθήκης ενέργειας στην τάση λειτουργίας |
| Στιγμιαία παροχή ενεργού ισχύος | Όχι | Εξαρτώμενη από την παροχή της αποθήκης ΗΕ |
| Ικανότητα λειτουργίας παρουσία σφάλματος | Μικρή καθυστέρηση στην επανενεργοποίηση των θυρίστορς, εκτός αν διατηρηθεί η ελεύθερη έναυση | Καμία καθυστέρηση, απαιτείται η dc τάση των πυκνωτών να μένει σταθερή |

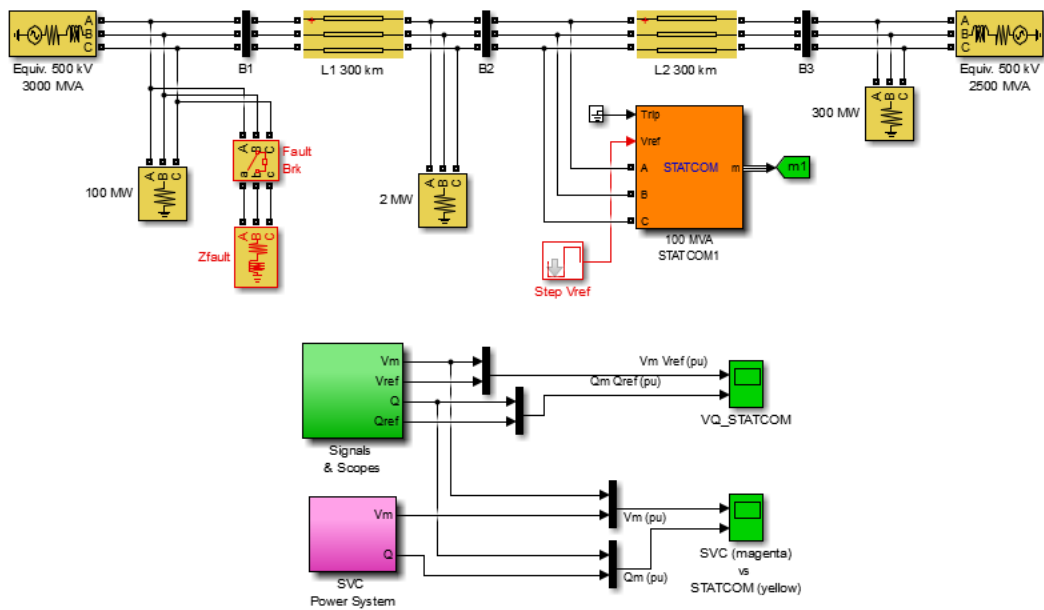
Πίνακας 6.2 Συγκεντρωτική σύγκριση SVC - STATCOM

6.2.4 Προσομοίωση σε περιβάλλον Simulink των διατάξεων STATCOM και SVC

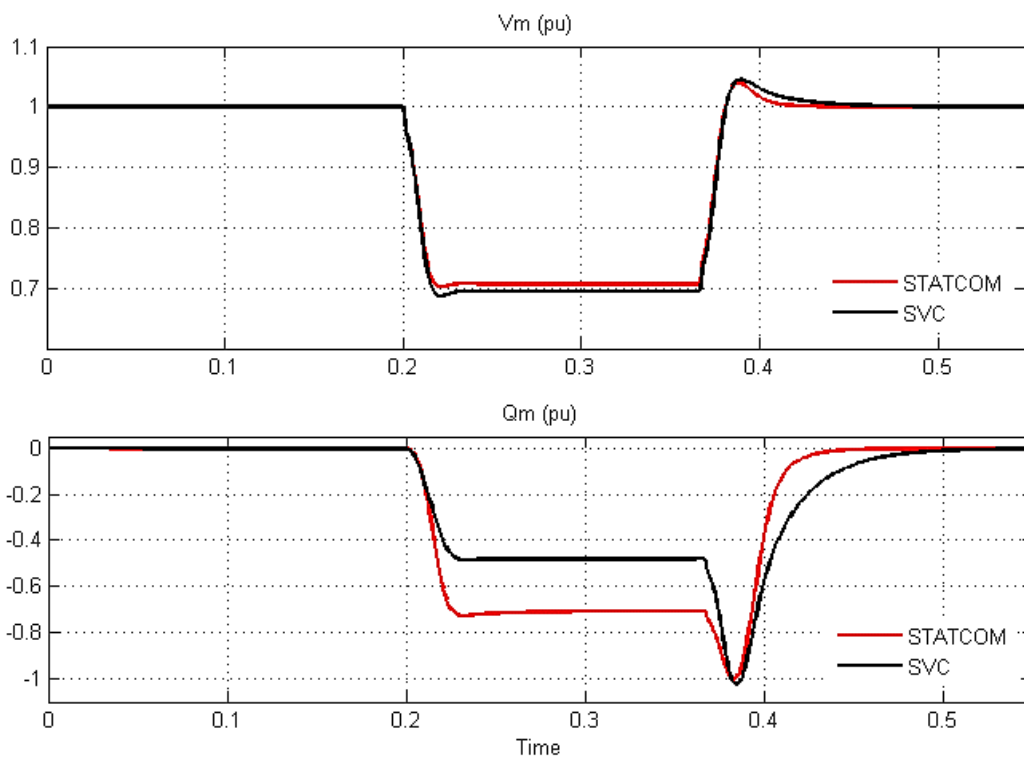
Η διακήρυξη του ΑΔΜΗΕ για τη σύνδεση των Κυκλάδων με το Διασυνδεδεμένο ΣΜ προβλέπει την εγκατάσταση συστήματος αυτόματης αντιστάθμισης αέργου ισχύος. Ακολούθως, παρατίθεται αυτούσιο το σχετικό τμήμα της διακήρυξης :

“Το σύστημα αυτόματης αντιστάθμισης αέργου ισχύος (SVC) , ικανότητας αντιστάθμισης -100 MVar (χωρητική) / +100 MVar (επαγωγική) που θα εγκατασταθεί στον Υ/Σ GIS 150 kV/MT της νήσου Σύρου περιγράφεται αναλυτικά στην προδιαγραφή TD-91 του Τόμου IV-B. Ως τεχνικά ισοδύναμη λύση μπορεί να γίνει αποδεκτό και ένα σύστημα αυτόματης αντιστάθμισης αέργου ισχύος τύπου STATCOM, ίδιας ικανότητας αντιστάθμισης και χαρακτηριστικών που ικανοποιούν τις λειτουργικές απαιτήσεις της προδιαγραφής TD-91. Το ως άνω σύστημα θα υλοποιείται με κατάλληλες διατάξεις ελεγχόμενων ανορθωτών ή στοιχείων IGBTs (στην περίπτωση συστήματος «STATCOM»), με συνδυασμό στοιχείων TCR, TSC και φίλτρων αρμονικών, ώστε να επιτυγχάνει τη διατήρηση της τάσης στην πλευρά 150 kV της Σύρου εντός των κατά περίπτωση προδιαγραφόμενων ορίων για όλες τις πιθανές καταστάσεις λειτουργίας του διασυνδεδεμένου συστήματος.”

Ακολουθούν τα αποτελέσματα προσομοίωσης σφάλματος σε διπλή ΓΜ 500kV μήκους 600km σε περιβάλλον Matlab/Simulink στην οποία συγκρίνεται η αποκατάσταση του σφάλματος μέσω FACTS με χρήση είτε STATCOM είτε SVC. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η άεργος ισχύς που παράγεται από το SVC είναι 0,48pu (ανά μονάδα) ενώ το STATCOM παράγει 0,71 pu. Η ικανότητα του STATCOM να παρέχει περισσότερη άεργο ισχύ για αντιστάθμιση στο σύστημα σε σχέση με το SVC αποτελεί το σημαντικότερο συγκριτικό του πλεονέκτημα. Επιπλέον, παρατηρείται ταχύτερη απόκριση του STATCOM σε σχέση με τον SVC, καθώς με χρήση Voltage Source Converter δεν υπάρχουν οι καθυστερήσεις (της τάξης των 4ms) που σχετίζονται με την έναυση των θυρίστρος του SVC [67].



Σχήμα 6.15 ΓΜ Προσομοίωσης



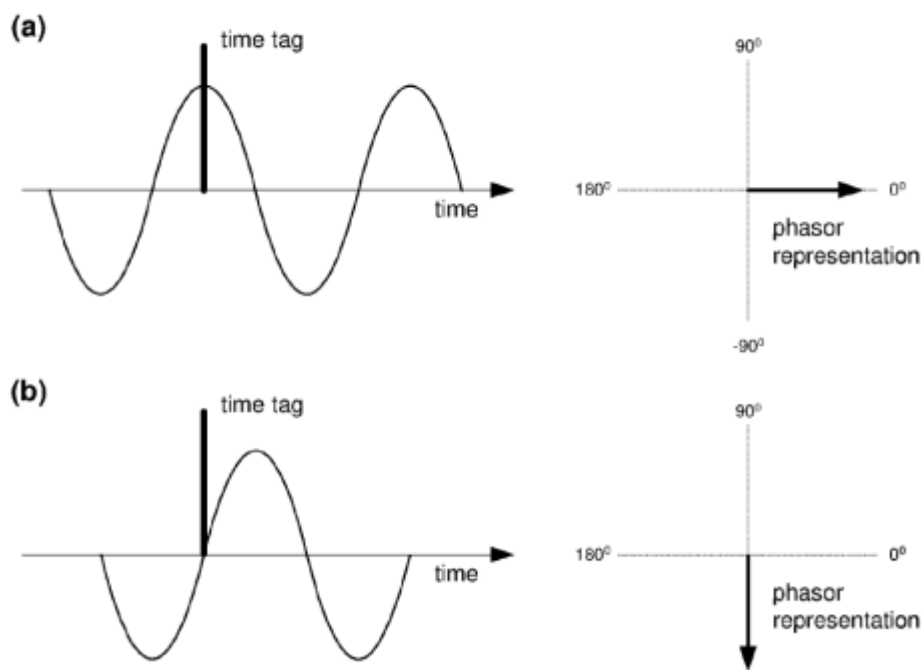
Σχήμα 6.16 Σύγκριση SVC - Statcom

6.3 Μονάδες Μέτρησης Φασιθετών – Phasor Measurement Units

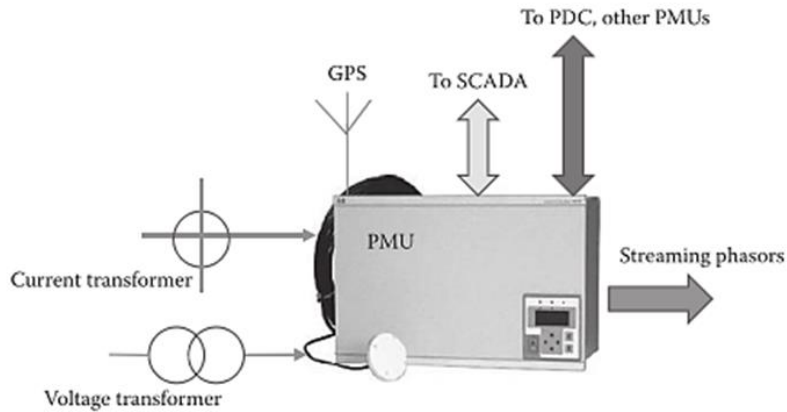
6.3.1 Ορισμός και αρχή λειτουργίας των μονάδων μέτρησης φασιθετών

Στα μεγάλα ΣΗΕ, οι αποφάσεις ελέγχου πρέπει να βασίζονται στην επεξεργασία φασιθετών (τάση, ένταση ρεύματος, συχνότητα) από διάφορα σημεία του δικτύου. Ως εκ τούτου, προκύπτει η ανάγκη για συγχρονισμένες μετρήσεις φασιθετών. Ως συγχρονισμένη μέτρηση φασιθέτη ορίζεται η μιγαδική περιγραφή της συνιστώσας της θεμελιώδους συχνότητας συνοδευόμενη από μία χρονική σφραγίδα που προσδιορίζει την ακριβή στιγμή στην οποία έγινε η μέτρηση του φασιθέτη.

Οι μονάδες μέτρησης φασιθετών -PMUs- είναι διατάξεις που συνδέονται στο δίκτυο ΧΤ, ΜΤ ή ΥΤ και πραγματοποιούν μέτρηση της τάσης, της έντασης και της συχνότητας των γραμμών. Ταυτόχρονα, μετρούν τη γωνία φάσης εκάστης των τριών συνιστωσών της τάσης και της έντασης, αποδίδοντας αυτές ως διανύσματα με χαρακτηριστικό μέτρο και διεύθυνση. Αναφορά για τη μέτρηση της φάσης αποτελεί το παγκόσμιο σήμα χρόνου UTC (Universal Time Coordinated), διαθέσιμο σε οποιαδήποτε γεωγραφική θέση μέσω του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης GPS (Global Positioning System). Κάθε PMU διαθέτει κεραία GPS μέσω της οποίας λαμβάνει τις γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου στο οποίο είναι εγκατεστημένο και τον παγκόσμιο χρόνο UTC, υπό τη μορφή ενός παλμού ανά δευτερόλεπτο (1pps -pulse per second). Στη συνέχεια, το PMU δημιουργεί ένα σήμα αναφοράς μοναδιαίου πλάτους και φάσης συγχρονισμένης με το παλμικό σήμα 1pps του GPS. Ακολουθώντας μετρά τις γωνίες φάσης όλων των διανυσμάτων ως προς την αναφορά αυτή. Επομένως, οι μετρήσεις του πρότυπου PMU, σε όποιον τόπο και αν είναι εγκατεστημένες οι διατάξεις PMU έχουν την ίδια παγκόσμια αναφορά. [68] [69]



Σχήμα 6.17 Ορισμός σύγχρονου φασιθέτη και σύμβαση γωνίας



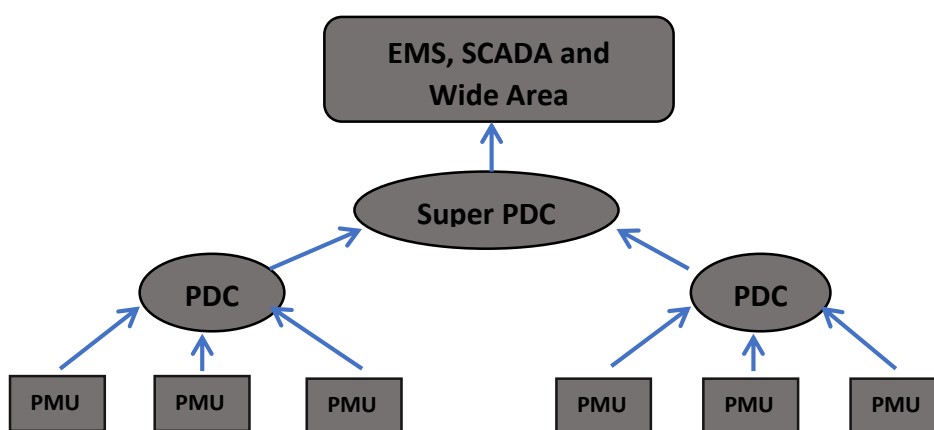
Σχήμα 6.18 Μια τυπική μονάδα μέτρησης φασιθετών

6.3.2 Ιεραρχία συστημάτων μέτρησης φασιθετών

Τα PMUs εγκαθίστανται σε Υ/Σ των ΣΗΕ. Η επιλογή των Υ/Σ στους οποίους θα γίνει εγκατάσταση PMU εξαρτάται από το λόγο για τον οποίο θα χρησιμοποιηθούν οι μετρήσεις που θα προσφέρει η μονάδα αυτή. Στις περισσότερες εφαρμογές, τα δεδομένα φασιθετών αξιοποιούνται σε θέσεις απομακρυσμένες από τα PMUs. Επομένως, είναι απαραίτητο να σχεδιάζεται κατάλληλα η αρχιτεκτονική που περιλαμβάνει τα PMUs, τους διαύλους επικοινωνίας και τους συγκεντρωτές δεδομένων ώστε να αποκομίζεται όσο το δυνατό μεγαλύτερο όφελος από το σύστημα μετρήσεων φασιθετών. Μια γενικά αποδεκτή αρχιτεκτονική ενός τέτοιου συστήματος φαίνεται στο σχήμα 6.16, όπου τα PMUs είναι τοποθετημένα στους Υ/Σ του ΣΗΕ και παρέχουν μετρήσεις των τάσεων και ρευμάτων των παρακολουθούμενων ζυγών και των κλάδων, μετρήσεις που φέρουν χρονική σφραγίδα. Επιπλέον, τα PMUs μπορεί να παρέχουν και μετρήσεις συχνότητας και ρυθμού αλλαγής συχνότητας. Οι μετρήσεις αυτές αποθηκεύονται σε τοπικές μονάδες αποθήκευσης δεδομένων όπου μπορεί να υπάρχει πρόσβαση σε αυτές από απομακρυσμένες θέσεις για διαγνωστικούς σκοπούς ή ανάλυση σε μη πραγματικό χρόνο. Επειδή η χωρητικότητα της μνήμης των τοπικών μονάδων είναι περιορισμένη, δεδομένα που σχετίζονται με ένα περιστατικό που χρήζει παρατήρησης πρέπει να σημανθούν για μόνιμη αποθήκευση ώστε να μη διαγραφούν όταν εξαντληθεί η χωρητικότητα των τοπικών μονάδων. Τα δεδομένα φασιθετών είναι επίσης διαθέσιμα και για εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Όμως, η βασική χρήση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο γίνεται σε υψηλότερο επίπεδο, όπου είναι διαθέσιμα πολλά δεδομένα από διάφορα PMUs. Οι διατάξεις σε αυτό το ανώτερο επίπεδο ιεραρχίας είναι γνωστές ως συγκεντρωτές δεδομένων φασιθετών (Phasor Data Concentrators-PDC), τυπικές λειτουργίες των οποίων είναι η συλλογή δεδομένων από διάφορα PMUs, η αφαίρεση εσφαλμένων δεδομένων, η ευθυγράμμιση των σφραγίδων χρόνου και η καταγραφή ταυτόχρονων δεδομένων του δικτύου από ένα ευρύτερο μέρος του ΣΗΕ. Υπάρχουν τοπικές μονάδες αποθήκευσης δεδομένων στα PDC καθώς και εφαρμογές που απαιτούν παροχή των δεδομένων των PMUs στο PDC σε πραγματικό

χρόνο. Ενδεχόμενες καθυστερήσεις που σχετίζονται με την επικοινωνία και τη διαχείριση δεδομένων στα PDC θα προκαλέσουν καθυστέρηση στα δεδομένα πραγματικού χρόνου. Σε κάθε περίπτωση, έχει εμπειρικά διαπιστωθεί ότι η καθυστέρηση αυτή είναι διαχειρίσιμη.

Το πρώτο ιεραρχικό επίπεδο των PDC όσον αφορά τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων είναι και αυτό τοπικό. Έτσι, στην κλίμακα ενός συστήματος μεγάλου εύρους είναι απαραίτητο άλλο ένα επίπεδο ιεραρχίας, ο υπερσυγκεντρωτής δεδομένων φασιθετών (Super Data Concentrator-SDC). Οι λειτουργίες αυτού του επιπέδου είναι παρόμοιες με αυτές σε επίπεδο PDC. Υπάρχει δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων με ευθυγραμμισμένες ετικέτες χρόνου και ροή δεδομένων σχεδόν πραγματικού χρόνου για εφαρμογές που απαιτούν δεδομένα από ολόκληρο το σύστημα.



Σχήμα 6.19 Ιεραρχία συστήματος μέτρησης φασιθετών

6.3.3 Δυνατότητες Επικοινωνίας – Προσομοίωση μετάδοσης πληροφορίας

Δύο πολύ σημαντικά στοιχεία σε κάθε τηλεπικοινωνιακή εφαρμογή είναι η χωρητικότητα του τηλεπικοινωνιακού διαύλου και η καθυστέρηση μετάδοσης δεδομένων. Η χωρητικότητα αποτελεί το ανώτατο όριο του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων (σε kbits/s ή Mbits/s) που μπορεί να υποστηριχθεί από το διαθέσιμο δίαυλο επικοινωνίας. Καθυστέρηση μετάδοσης είναι η χρονική καθυστέρηση μεταξύ της στιγμής όπου δημιουργούνται τα δεδομένα και της στιγμής όπου αυτά καθίστανται διαθέσιμα για την επιθυμητή εφαρμογή.

Ο όγκος των δεδομένων που δημιουργούνται από τα PMUs είναι μικρός, οπότε η χωρητικότητα των διαύλων επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση τους δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στις εφαρμογές αυτές. Συγκεκριμένα:

Ένα πλήρες PMU (10 φασιθέτες) μεταδίδει κωδικοποιημένη πληροφορία μεγέθους 64 bytes. Επομένως και με μία μέση μετάδοση 30 δειγμάτων ανά δευτερόλεπτο προκύπτουν τα εξής :

| | |
|---------------------|---|
| PMU (10 φασιθέτες): | $64 \text{ bytes/sample} \times 30 \text{ samples/second} = 1.920 \text{ bytes/sec} \times 8 \text{ bits/byte} = 15.360 \text{ bits/sec/PMU}$ |
|---------------------|---|

Ένα πλήρες PDC διαθέτει 16 ή 32 εισόδους για PMU

| | |
|---|---|
| Συνολικά δεδομένα φασιθέτη (PDC) | $15.360 \text{ bits/sec/PMU} \times 16 \text{ PMUs} = 245.760 \text{ bits/sec}$ |
| Συνολικά δεδομένα φασιθέτη (PDC με 4 CPU) | $15.360 \text{ bits/sec/PMU} \times 32 \text{ PMUs} = 491.520 \text{ bits/sec}$ |

Τα ανωτέρω δεδομένα αφορούν αποκλειστικά τον όγκο δεδομένων που σχετίζονται με το PMU.

Όμως, οι δυνατότητες επικοινωνίας μπορούν ακόμα να κατηγοριοποιηθούν αντίστοιχα προς το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται. Το πρότυπο της IEEE σχετικά με την τεχνολογία PMU θέτει τις βασικές απαιτήσεις για επικοινωνία μεταξύ PMUs. Όταν χρησιμοποιείται σειριακή επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου RS-232, όλη η ροή δεδομένων εισέρχεται με κατάλληλη σειρά στη σειριακή θύρα επικοινωνίας. Το σύστημα επικοινωνίας μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε πρωτόκολλο, οποιαδήποτε κρυπτογράφηση και αλλαγή σειράς δεδομένων, αρκεί τα δεδομένα να επανέρχονται στην αρχική τους μορφή στο δέκτη.

| Επίπεδο | Πρωτόκολλο |
|----------------|------------------------------|
| Application | Constant Bit Rate (CBR) |
| Transportation | User Datagram Protocol (UDP) |
| Network | Internet Protocol (IP) |
| Data | Ethernet |
| Link Layer | Optic Fiber |

Πίνακας 6.3 Κατηγοριοποίηση δεδομένων PMU με βάση το πρωτόκολλο επικοινωνίας

Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη τα διαθέσιμα πρωτόκολλα επικοινωνιών προκύπτουν και τα εξής :

PDCstream ονομάζεται το UDP/IP πρωτόκολλο που είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά των δεδομένων από το PDC σε ένα υπολογιστή για περαιτέρω ανάλυση. Η σύνδεση αυτή γίνεται μέσω Ethernet. Άρα στους υπολογισμούς πρέπει να ληφθεί υπόψη το Ethernet frame , το IP πακέτο, το UDP datagram καθώς και η PDCstream επικεφαλίδα (header) σε συνδυασμό με τον όγκο δεδομένων του φασιθέτη που υπολογίστηκε προηγουμένως. Στο συγκεκριμένο ενδεικτικό υπολογισμό θεωρήθηκε η περίπτωση του πλήρως διαμορφωμένου PDC. [70]

| | |
|---------------------------|--|
| Ethernet frame headers | $18 \text{ bytes/frame} \times 8 \text{ bits/byte} \times 30 \text{ frames/sec} = 4.320 \text{ bits/sec}$ |
| IP packet headers | $20 \text{ bytes/packet} \times 8 \text{ bits/byte} \times 30 \text{ packets/sec} = 4.800 \text{ bits/sec}$ |
| UDP datagram headers | $8 \text{ bytes/datagram} \times 8 \text{ bits/byte} \times 30 \text{ datagrams/sec} = 1.920 \text{ bits/sec}$ |
| PDCstream message headers | $18 \text{ bytes/message} \times 8 \text{ bits/byte} \times 30 \text{ messages/sec} = 4.320 \text{ bits/sec}$ |

Τελικά:

| | |
|--|--------------------|
| Δεδομένα για PDC με 4 CPU | 491.520 bits/sec |
| Πρόσθετα δεδομένα (επιβάρυνση) για Ethernet | + 4.320 bits/sec |
| Πρόσθετα δεδομένα (επιβάρυνση) για IP | + 4.800 bits/sec |
| Πρόσθετα δεδομένα (επιβάρυνση) για UDP | + 1.920 bits/sec |
| Πρόσθετα δεδομένα (επιβάρυνση) για PDCstream | + 4.320 bits/sec |
| Συνολικός ρυθμός μετάδοσης | = 506.880 bits/sec |

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο συγκεκριμένος όγκος πληροφορίας από ένα PDC ή ένα Super PDC, μεταφέρεται μέσω Ethernet σε ένα κεντρικό υπολογιστή όπου μπορεί να αξιοποιηθεί κατάλληλα από το διαχειριστή του EMS. Δεδομένου ότι οι διαθέσιμοι ρυθμοί μετάδοσης της τεχνολογίας Ethernet κυμαίνονται από 1.5 Mbps έως 10 Mbps, η μετάδοση δεδομένων που προέρχονται από ένα PDC ή ένα Super PDC δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να προκαλέσει συμφόρηση ή κάποιο άλλο πρόβλημα στο μέσο τηλεπικοινωνιακής μετάδοσης.

Το ίδιο ισχύει και στη χαμηλότερο επίπεδο μεταφοράς από τα PMUs στα PDC. Η τεχνολογία μετάδοσης εκεί είναι συνήθως μια εκ των PLC, cellular ή fiber optics. Και στην περίπτωση αυτή, τα 15 kbps της πληροφορίας δεν μπορούν να προκαλέσουν συμφόρηση στο μέσο ή κάποια καθυστέρηση. Προς επιβεβαίωση των ανωτέρω, ακολουθεί το εύρος ζώνης και η καθυστέρηση για κάθε τεχνολογία.

| Communication Link | Associated Delay – one way (Καθυστέρηση) | Bandwidth |
|---------------------------|--|---|
| Fiber-optic cables | » 100-150 ms | 155 Mbps-2.5 Gbps |
| PLC | » 150-350 ms | 125 kbps – 1 Gbps(ανάλογα το πρωτόκολλο) |
| Cellular | » 200-300 ms | 117 kbps – 300 Mbps (ανάλογα το πρωτόκολλο) |

Πίνακας 6.4 Καθυστέρηση και ρυθμοί μεταφοράς τεχνολογιών μετάδοσης δεδομένων PMU [71]

Επισημαίνεται ότι εφαρμογές των ΣΗΕ σε πραγματικό χρόνο απαιτούν μικρό χρόνο καθυστέρησης. Αντιθέτως, οι εφαρμογές σε μη πραγματικό χρόνο, που χρειάζονται δεδομένα από PMU για ανάλυση της επίδοσης του συστήματος κατά τη διάρκεια μεγάλων διαταραχών, δεν επηρεάζονται από μεγάλες καθυστερήσεις στη μεταφορά δεδομένων.

6.3.4 Blackout στη ΒΑ πλευρά των ΗΠΑ – Northeast American blackout

Η ημερομηνία 14.08.2003 αποδείχθηκε καθοριστική για την εξέλιξη του ΣΜ των ΗΠΑ και την εξέλιξη της τεχνολογίας των PMU's. Την ημέρα αυτή, μια ηλεκτρική διακοπή επηρέασε το μεγαλύτερο βορειοανατολικό τμήμα της χώρας και συγκεκριμένα τις πολιτείες New York, Michigan, Ohio,

Pennsylvania, New Jersey, Connecticut, Vermont και Massachussets. Επηρεάστηκαν, επίσης, τμήματα της Καναδικής επαρχίας του Ontario η οποία και είναι διασυνδεδεμένη με το Αμερικάνικο ΣΜ. Συνολικά, επηρεάστηκαν 50 εκατομμύρια καταναλωτές.

Το βορειοανατολικό blackout του 2003 σημειώθηκε στις 04:10 p.m. EDT (UTC-04). Μερική επαναφορά της ισχύος πραγματοποιήθηκε στις 11 p.m. και διάφορα τμήματα του δικτύου επανήλθαν σταδιακά σε διάστημα 4 ημερών. Μια αρχική εκτίμηση του συμβουλίου Πόρων Καταναλωτών ΗΕ (Electricity Consumers Resource Council) για τις άμεσες απώλειες λόγω μη καταναλωθείσας ποσότητας ΗΕ είναι η εξής :

| Ώρα έναρξης της διακοπής | Ώρα λήξης της διακοπής | Απώλεια Ισχύος | Διάρκεια Διακοπής | Κόστος | | |
|--------------------------|------------------------|----------------|-------------------|--------|-------------|-------------|
| | | MW | Hours | Mwh | Χαμηλό όριο | Υψηλό όριο |
| 14/8 - 4 PM | 14/8 - 8 PM | 61800 | 4 | 247200 | \$1.8 | \$2.8 |
| 14/8 - 8 PM | 15/8 - 6 AM | 30900 | 10 | 309000 | \$2.3 | \$3.4 |
| 15/8 - 6 AM | 15/8 - 10 AM | 15450 | 4 | 61800 | \$0.5 | \$0.7 |
| 15/8 - 10 AM | 16/8 - 12 AM | 13200 | 14 | 184800 | \$1.4 | \$2.1 |
| 16/8 - 12 AM | 16/8 - 10 AM | 6600 | 10 | 66000 | \$0.5 | \$0.7 |
| 16/8 - 10 AM | 17/8 - 6 AM | 2200 | 20 | 40000 | \$0.3 | \$0.4 |
| 17/8 - 6 AM | 17/8 - 4 PM | 1000 | 10 | 10000 | \$0.1 | \$0.1 |
| Συνολικό κόστος | | | | | \$1.491.280 | \$2.237.300 |

Πίνακας 6.5 Κόστος απωλειών ΗΕ κατά τη διάρκεια του blackout

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι απώλειες δεν μπορούν να περιοριστούν μόνο στη μη καταναλωθείσα ποσότητα ΗΕ. Σύμφωνα με την οικονομική αξιολόγηση της εταιρίας Anderson Economic η συνολική επίδραση του blackout σε εργαζόμενους, καταναλωτές και πολίτες ήταν 6.4 δισεκατομμύρια δολάρια. Συγκεκριμένα, τα 4.2 δις οφείλονται στη μείωση μισθών και προνομίων σε εργαζόμενους ενώ υπολογίζεται πως αν η διακοπή γίνονταν Δευτέρα και όχι Πέμπτη το κόστος θα μπορούσε να ναι διπλάσιο. Επίσης καταναλωτές και επιχειρήσεις στον τομέα της παραγωγής και διανομής τροφίμων παρουσίασαν 0.94 δις λόγω αλλοίωσης τροφίμων και αποβλήτων. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ζημιών αφορούσε ευαίσθητα τρόφιμα που καταστράφηκαν στο διάστημα του blackout. Επισημαίνεται ότι δεν έγινε δυνατό να εκτιμηθούν απώλειες λόγω παραβατικής συμπεριφοράς πολιτών κατά το διάστημα της διακοπής. Ακολουθούν συγκεκριμένα παραδείγματα εταιριών που ανήκουν σε σημαντικούς κλάδους της Αμερικάνικης Βιομηχανίας και επηρεάστηκαν από το blackout, προκειμένου να τονισθεί η οικονομική καταστροφή που προκάλεσε η συγκεκριμένη διακοπή.

Συγκεκριμένα, 14 από τα 31 εργοστάσια της εταιρίας κατασκευής οχημάτων DaimlerChrysler AG παρουσίασαν πρόβλημα στη λειτουργία τους. 6 εργοστάσια από αυτά ήταν υπεύθυνα για τη βαφή 10.000 αυτοκινήτων, διαδικασία που χρειάστηκε να επαναληφθεί μετά την αποκατάσταση του δικτύου. Η International Steel Group Inc. ανέφερε βλάβη στο εργοστάσιο που διατηρεί στο Cleveland, βλάβη που αποκαταστάθηκε 4 μέρες μετά. 1250 τόνοι λιωμένου σιδήρου χρειάστηκε να ταφούν. Τέλος η Duane Reade Inc., η μεγαλύτερη εταιρία στην αλυσίδα φαρμάκων στη περιοχή της Νέας Υόρκης, χρειάστηκε στο διάστημα της διακοπής να κλείσει το σύνολο των καταστημάτων της (237) με απώλειες εσόδων που έφθασαν τα 3.3 εκατομμύρια δολάρια.

6.3.5 Εγκατεστημένα PMUs

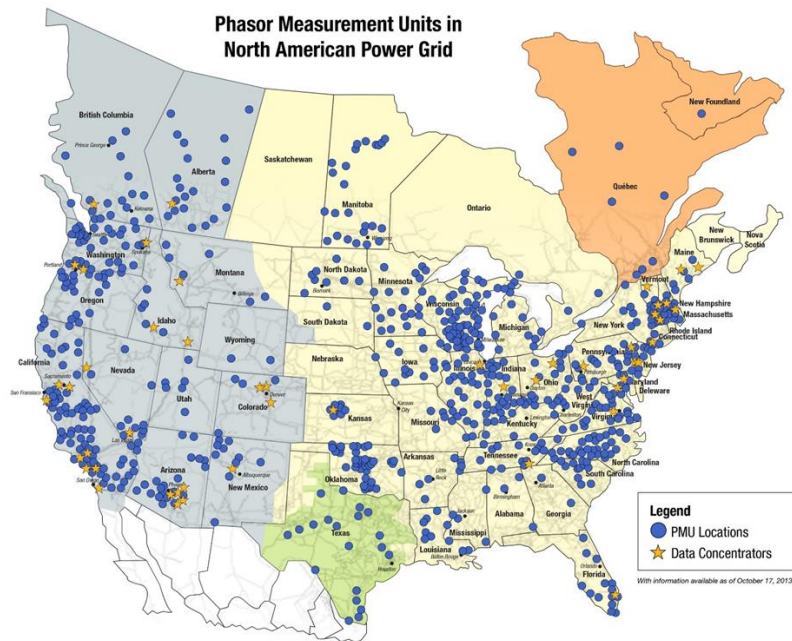
Τα προαναφερθέντα στοιχεία δείχνουν πόσο σημαντική για την οικονομία μιας ολόκληρης χώρας είναι η σταθερότητα και η αδιάλειπτη λειτουργία του ΣΜ. Ουσιαστικά, το blackout του 2003 κατέστησε αναγκαία την εξέλιξη του αμερικάνικου παραδοσιακού ΣΜ, τάση που ακολούθησαν όλες οι ηλεκτρικές εταιρίες στο κόσμο. Φυσικά, η εγκατάσταση των PMUs κατέχει σημαντικό ρόλο σε αυτή την εξέλιξη.

Στο σημείο αυτό και πριν τη χαρτογράφηση των εγκατεστημένων PMUs, πρέπει να αναφερθεί το υψηλό κόστος τοποθέτησής τους. Μελέτη του Πανεπιστημίου της California σε συνεργασία με την εταιρία KEMA αναφέρει ενδεικτικά ότι :

| PMU | Κόστος |
|-------------------------------------|----------------------|
| High-end hardware | \$47.000 |
| Engineering costs | \$30.000 |
| Training & Installation | \$25.000 |
| Training & Installation | \$35.000 |
| PDC | |
| Κόστος | |
| Hardware | \$40.000 |
| Engineering | \$20.000 |
| Training & Installation | \$35.000 |
| Applications | |
| Real-time monitoring app. | \$20.000 - \$35.000 |
| State Estimation improvement | \$80.000 - \$200.000 |

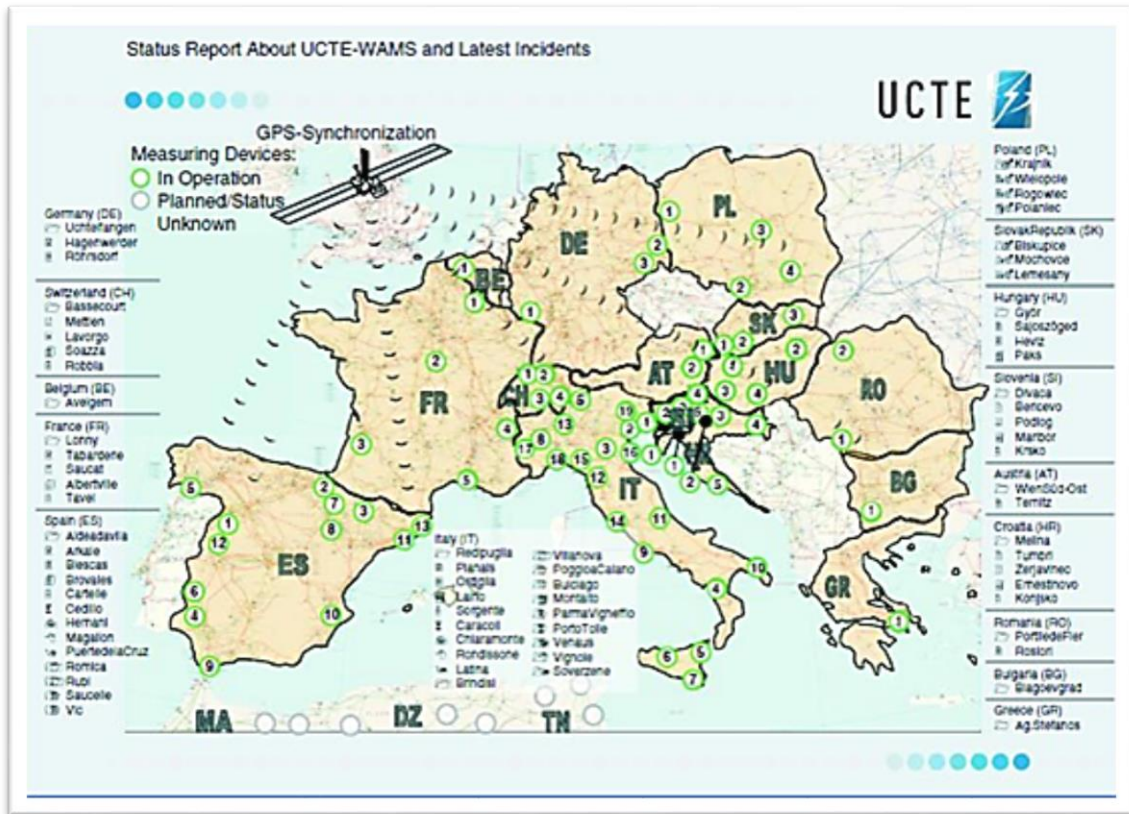
Πίνακας 6.6 Κόστος εγκατάστασης PMU, PDC

Στις ΗΠΑ στο τέλος του 2014, ο συνολικός αριθμός των PMUs αναμένεται να αγγίξει τα 1100 . Στο βόρειο τμήμα των ΗΠΑ και τον Καναδά τα εγκατεστημένα PMUs είναι 250 ενώ ταυτόχρονα γίνονται συντονισμένες προσπάθειες του οργανισμού North American SynchroPhasor Initiative (NASPI) με την υποστήριξη του U.S. Department of Energy (DOE) και του North American Electric Reliability Corporation (NERC) προκειμένου η εγκατάσταση νέων PMUs να καλύψει πλήρως το τμήμα του βόρειου ηλεκτρικού δικτύου.

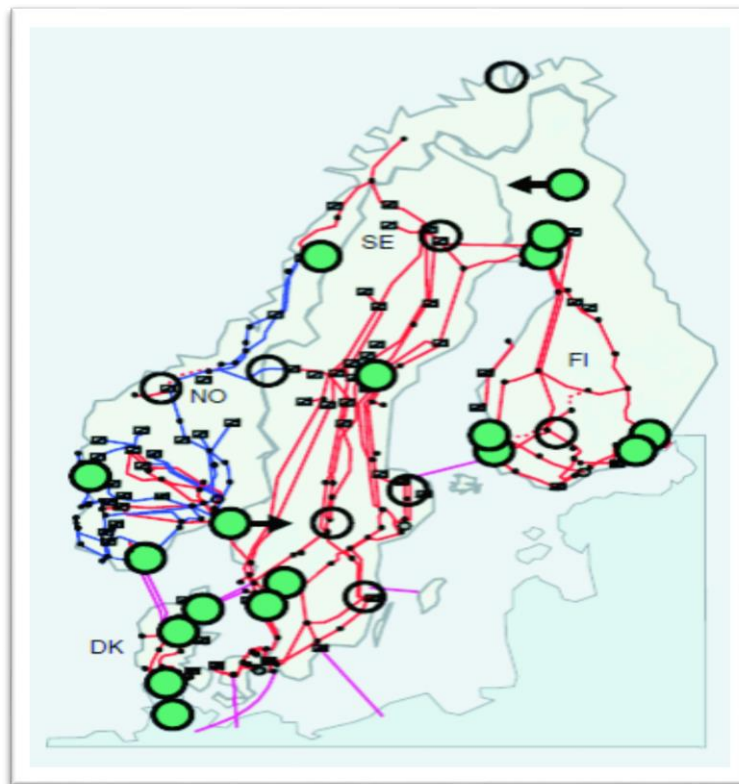


Σχήμα 6.20 Εγκατεστημένα PMUs στο Αμερικάνικο Ηλεκτρικό Δίκτυο [71]

Βεβαίως, έχουν εγκατασταθεί PMUs και εκτός ΗΠΑ. Στη Κίνα έχουν εγκατασταθεί περισσότερα από 100, στη Κορέα 20, ενώ η Γαλλία χρησιμοποιεί PMUs για τον έλεγχο της διασύνδεσης της με την Ισπανία. Στα σχήματα 6.20, 6.21 και 6.22 φαίνονται λεπτομερώς οι εγκατεστημένες διατάξεις.



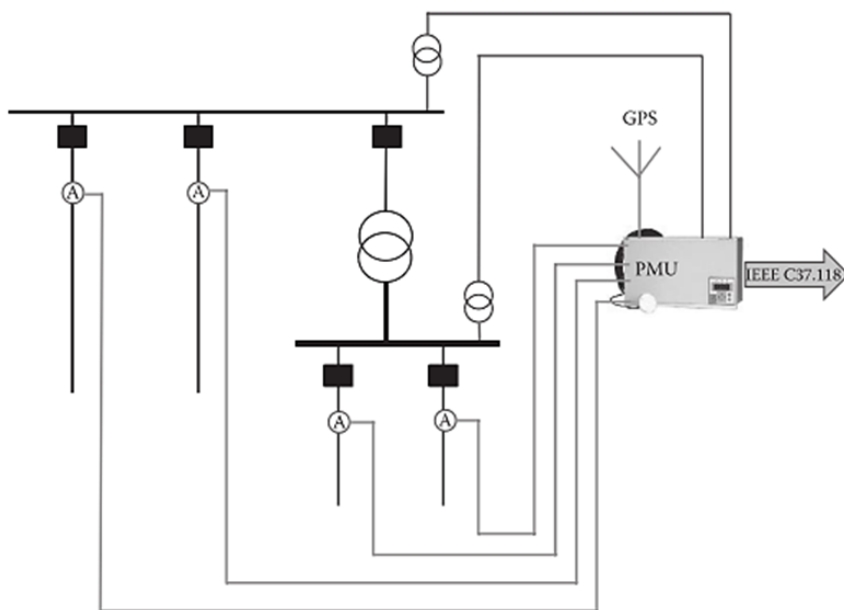
Σχήμα 6.21 PMUs στην Ευρώπη



Σχήμα 6.22 PMUs στη Σκανδιναβία

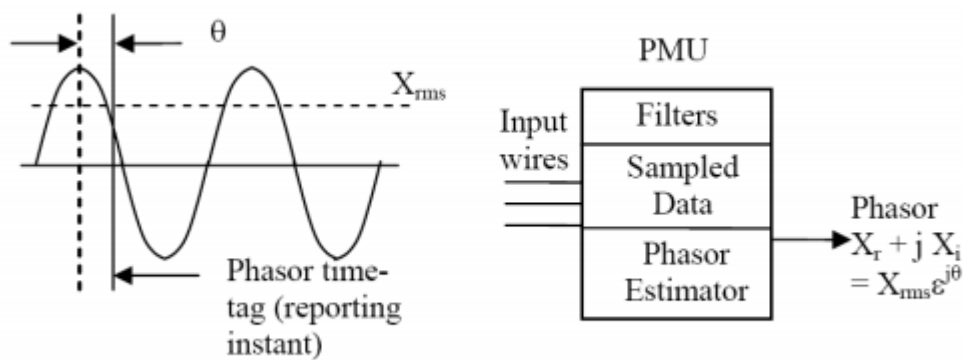
6.3.6 Το πρότυπο IEEE C37.118-2005 - Δομή αρχείου συγχρονισμένης μέτρησης φασιθέτη

Για να υπάρχει διαλειτουργικότητα μεταξύ των PMUs που κατασκευάζονται από διαφορετικούς κατασκευαστές, είναι απαραίτητο όλα να λειτουργούν ακολουθώντας ένα κοινό πρότυπο. Το υπάρχον πρότυπο είναι το IEEE C37.118-2005, όπου ορίζονται οι αντίστοιχες απαιτήσεις συμμόρφωσης. Το πρώτο πρότυπο για συγχρονισμένους φασιθέτες εκδόθηκε το 1995. Τα PMUs που κατασκευάστηκαν με αυτό το πρότυπο ελέγχθηκαν ως προς τη διαλειτουργικότητά τους και αποδείχθηκε ότι η απόδοσή τους σε μη ονομαστικές συχνότητες δεν ήταν ιδανική και αυτό δεν ήταν αποδεκτό. Έγινε σύντομα φανερό ότι εκείνο το πρότυπο δεν ήταν σαφές για θέματα σχετικά με τις απαιτήσεις απόδοσης των PMUs σε μη ονομαστικές συχνότητες. Έτσι, έγινε αναθεώρηση του προτύπου, με αποτέλεσμα το υπάρχον πρότυπο (IEEE C37.118-2005), το οποίο αποσαφήνισε τις απαιτήσεις απόκρισης των PMUs σε εισόδους μη ονομαστικής συχνότητας. [72]



Σχήμα 6.23 Σύνδεση PMU και εξαγωγή των δεδομένων

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο ορισμός ενός φασιθέτη είναι ανεξάρτητος της συχνότητας. Έτσι τα σήματα εισόδου ενός PMU μπορεί να είναι ημιτονικά σήματα οποιασδήποτε συχνότητας και η εκτίμηση τη χρονική στιγμή της καταγραφής φαίνεται στο σχήμα 6.24. Ο φασιθέτης στην έξοδο πρέπει να έχει μέτρο ίσο με την ενεργό τιμή (rms) του σήματος εισόδου και φάση θ ίση με τη γωνία μεταξύ της στιγμής καταγραφής και της κορυφής του ημιτονικού σήματος. Συνήθως, τα PMUs διαθέτουν διάφορα φίλτρα στο στάδιο εισόδου. Ανεξάρτητα από το αν η είσοδος είναι συμμετρική ή όχι, πρέπει οι μετρήσεις που παρέχει ένα PMU να είναι ορθές σε όλες τις συχνότητες (μέγιστη απόκλιση συχνότητας $\pm 5\text{Hz}$ από την ονομαστική συχνότητα). Άλλα χαρακτηριστικά που καθορίζει το πρότυπο IEEE C37.118-2005 είναι οι απαιτήσεις ακρίβειας της μέτρησης και ένας τυποποιημένος χρόνος καταγραφής φασιθετών που είναι κλειδωμένος κατά φάση (phase-locked) με τον παλμό 1pps του GPS.



Σχήμα 6.24 Σήμα εισόδου PMU και η απαιτούμενη εκτίμηση φασιθέτη στην έξοδο

Σύμφωνα με το πρότυπο IEEE C37.118, ορίζονται τέσσερις τύποι αρχείων για μετάδοση δεδομένων προς και από μονάδες PMU. Οι τρεις από αυτούς, δηλαδή τα αρχεία επικεφαλίδας, τα αρχεία ρυθμίσεων και τα αρχεία δεδομένων, δημιουργούνται από τα PMUs και αποστέλλονται προς τα ανώτερα επίπεδα. Ένας τέταρτος τύπος, τα αρχεία εντολών, δημιουργούνται από σταθμούς PDC και αποστέλλονται στα PMUs, ακολουθώντας την αντίθετη φορά.

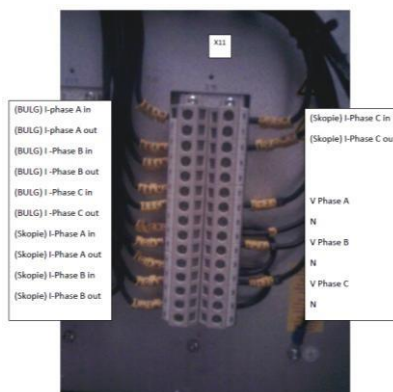
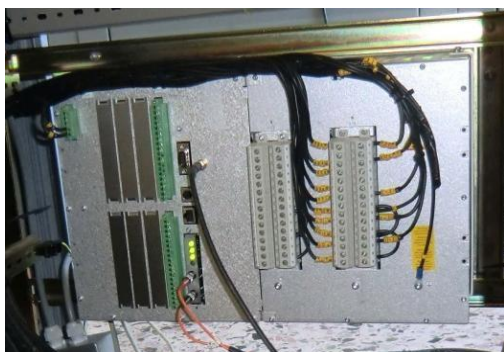
6.3.7 Μονάδες Μέτρησης Φασιθετών στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς

PMUs έχουν εγκατασταθεί από τον ΑΔΜΗΕ στα ΚΥΤ Ωραιοκάστρου (Θεσσαλονίκη) και Αγ. Στεφάνου (Αθήνα). Οι μετρητές αυτοί είναι του τύπου ABB RES521, είναι συνδεδεμένοι σε γραμμές του ΣΜ και πραγματοποιούν μετρήσεις ανά δευτερόλεπτο του πλάτους και της φάσης των γραμμών στα σημεία σύνδεσής τους. Τα μετρητικά τους δεδομένα αποστέλλονται στο ευρωπαϊκό κέντρο ελέγχου ENTSOE μέσω αποκλειστικής γραμμής Ethernet.

Ένα ευρωπαϊκό ερευνητικό έργο με τίτλο “ENG04 Metrology for Smart Electrical Grids”, το οποίο εκπονήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος “EMRP” (European Metrology Research Program) από 18 ευρωπαϊκά μετρολογικά ινστιτούτα και 4 Πανεπιστήμια/ερευνητικά κέντρα ολοκληρώθηκε τον Αύγουστο 2013. Ως μέλος του προγράμματος αυτού, το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας πραγματοποίησε μετρήσεις των διανυσμάτων τάσης και έντασης στο ελληνικό ΣΜ, χρησιμοποιώντας πρότυπα όργανα συμβατά με το Εθνικό και Παγκόσμιο πρότυπο αναφοράς. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στα προαναφερθέντα ΚΥΤ με διακριβωμένες συσκευές μέτρησης φάσης και συγκρίθηκαν με τις αδιάλειπτες μετρήσεις ομοίων διατάξεων που βρίσκονται συνδεδεμένες μόνιμα στους Υ/Σ από τον ΑΔΜΗΕ. [73]

6.3.7.1.1 Μετρήσεις στο ΚΥΤ Ωραιοκάστρου

Όπως έχει αναφερθεί και στο εδάφιο 1.3.2, στον Υ/Σ αυτό πραγματοποιούνται οι διασυνδέσεις Ελλάδας-Βουλγαρίας και Ελλάδας-FYROM. Ο εγκατεστημένος μετρητής φάσης ABB συνδέεται στις ΓΜ μέσω Μ/Σ τάσης (400 kV/100 V) και έντασης (1600 A/1 A). Η αναφορά φάσης και χρόνου (UTC) λαμβάνεται από το μετρητή φάσης μέσω κεραίας GPS που βρίσκεται στον εξωτερικό χώρο. Οι συνδέσεις των τριών φάσεων Α, Β, C των γραμμών φαίνονται στα σχήματα 6.22 (α) και (β) (πίσω όψη του οργάνου):



Σχήμα 6.25 (α) Συνδέσεις στην πίσω όψη του οργάνου ABB (β) Λεπτομέρεια των γραμμών σύνδεσης

| ABB PMU | | | |
|--------------|------------|---------------|-----------------|
| UTC Time | Freq. (Hz) | Phasor U1 (V) | Phasor U1 (deg) |
| 10:46:03.000 | 50.019 | 238026.7 | -79.0324 |
| 10:46:04.000 | 50.021 | 238066.1 | -71.7557 |
| 10:46:05.000 | 50.021 | 238029.0 | -64.0168 |
| 10:46:06.000 | 50.020 | 237994.7 | -56.4889 |
| 10:46:07.000 | 50.023 | 238036.6 | -48.5026 |
| 10:46:08.000 | 50.021 | 237966.6 | -40.3637 |
| 10:46:09.000 | 50.020 | 237960.8 | -32.9094 |
| 10:46:10.000 | 50.019 | 237955.9 | -25.6919 |
| 10:46:11.000 | 50.018 | 237950.1 | -18.7445 |

Πίνακας 6.7 Τυπικές μετρήσεις στο ΚΥΤ Ωραιοκάστρου

6.3.8 Σύγκριση Μονάδων Μέτρησης Φασιθετών με το SCADA

Καίτοι αποτελούν εξοπλισμό πολύ υψηλού κόστους, τα PMUs έχουν καθοριστική συμβολή στη διατήρηση της ευστάθειας ενός συστήματος ΗΕ, επειδή παρέχουν την πλέον ταχεία και αξιόπιστη πληροφόρηση για την κατάσταση του ΣΜ, πληροφόρηση άμεσα αξιοποιήσιμη από τις διαδικασίες της εκτίμησης κατάστασης και της ανάλυσης ροής φορτίου. Τα PMUs αποτελούν την απάντηση στις ακόλουθες αδυναμίες/ελλείψεις που παρουσιάζουν τα SCADA συστήματα:

- έλλειψη συγχρονισμένων δεδομένων
- αδυναμία παρακολούθησης της δυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος σε πραγματικό χρόνο
- αδυναμία εποπτείας μεγάλων γεωγραφικά περιοχών

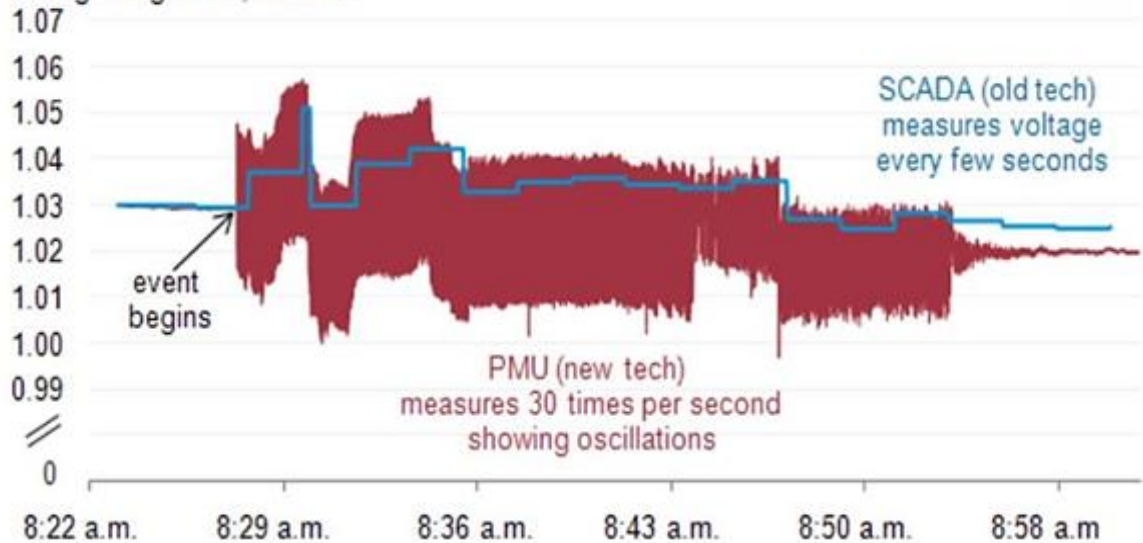
| Χαρακτηριστικό | SCADA | PMU |
|-------------------------------|---|---|
| Μετρήσεις | Αναλογικές | Ψηφιακές |
| Ανάλυση | 2-4 δείγματα / s | Μέχρι 60 δείγματα / s |
| Παρακολούθηση | Μόνιμη Κατάσταση | Μόνιμη και Δυναμική-Μεταβατική κατάσταση |
| Εποπτεία | Τοπική | Ευρείας περιοχής |
| Μέτρηση Φασικής Γωνίας | Όχι | Ναι |
| Μετρούμενες Ποσότητες | Μέτρο τάσης (RMS), MW, MVA _r | Μέτρο τάσης (RMS), MW, MVA _r , Φασική απόκλιση από την κοινή αναφορά, συχνότητα, ρυθμός μεταβολής της συχνότητας |

Πίνακας 6.8 Σύγκριση PMU – SCADA

PMU data reveal dynamic behavior as the system responds to a disturbance

Data comparison example, voltage disturbance on April 5, 2011

voltage magnitude, indexed



Σχήμα 6.26 Δυναμική συμπεριφορά PMU σε σχέση με το παραδοσιακό SCADA

Και μόνο το γεγονός ότι τα PMUs παρέχουν έως και 60 μετρήσεις φασιθετών ανά sec, ενώ ένα τυπικό SCADA σύστημα σαρώνει το δίκτυο που επιβλέπει ανά 2 sec, αυξάνει σημαντικά τις δυνατότητες ελέγχου και εποπτείας του ΣΜ, αποτελώντας ταυτόχρονα μεγάλη πρόκληση για τα EMS/SCADA συστήματα ώστε οι εφαρμογές τους να μπορούν να αξιοποιούν αποδοτικά την ταχεία και αξιόπιστη πληροφόρηση από το δίκτυο των PMUs. Ένα χαρακτηριστικό/πλεονέκτημα των δεδομένων που παράγουν τα PMUs, το οποίο συμβάλλει στην περαιτέρω αξιοποίησή τους, είναι η δυνατότητα ανάπτυξης μιας φιλικής προς το χρήστη προβολής της κατάστασης ενός συστήματος ΗΕ σε πραγματικό χρόνο. Πρόκειται για μια τρισδιάστατη προβολή που προβάλλει τη γωνία τάσης στους ζυγούς του δικτύου στον z-άξονα, ενώ οι x και y άξονες αντιστοιχούν στη γεωγραφική τοποθεσία των σημείων μέτρησης.

6.3.9 Εξέλιξη του παραδοσιακού ΣΜ σε ευφυές και οφέλη μέσω της χρήσης PMUs

Η χρησιμοποίηση μετρήσεων φασιθετών στα ΣΗΕ έχει καταστεί αρκετά δημοφιλής τα τελευταία χρόνια και αποτελεί τον πλέον σημαντικό παράγοντα για την εξέλιξη του παραδοσιακού ΣΜ σε ευφυές. Καθώς οι κατασκευαστές και οι εταιρίες παροχής ΗΕ δείχνουν ενδιαφέρον για τη χρησιμοποίηση PMUs στα συστήματά τους, η επένδυση στα PMUs και τις εφαρμογές τους έχει αυξηθεί. Συνεπώς, η εφαρμογή των PMUs στα ΣΗΕ, όπως επίσης και η σχετική έρευνα, λαμβάνουν ολοένα και μεγαλύτερη έκταση. Ακολουθούν ορισμένα οφέλη που αναμένονται από τη χρήση των PMUs, τα οποία ταυτοχρόνως αποτελούν χαρακτηριστικά του ΣΜ ενός ΕΗΔ.

- Παρακολούθηση και έλεγχος του συστήματος σε πραγματικό χρόνο
- Βελτίωση της Εκτίμησης Κατάστασης (SE) του ΣΗΕ
- Διαχείριση της συμφόρησης σε πραγματικό χρόνο
- Αξιολόγηση, επικύρωση και ακριβής συντονισμός των μοντέλων των συστημάτων
- Ανάλυση διαταραχών
- Επαναφορά ΣΗΕ
- Έλεγχος υπερφόρτισης και δυναμική εκτίμηση
- Επιλεκτική Προστασία
- Προγραμματισμένη απομόνωση ηλεκτρικών συστημάτων

Στη συνέχεια, περιγράφονται συντόμως τα ανωτέρω οφέλη και πώς θα επιτευχθούν μέσω της μετάβασης στο ΕΗΔ.

6.3.9.1.1 Παρακολούθηση και έλεγχος του ΣΜ σε πραγματικό χρόνο

Ο έλεγχος του ΣΜ σε πραγματικό χρόνο παρέχει κρίσιμες πληροφορίες του ΣΗΕ στο διαχειριστή του. Η ακριβής γνώση της τρέχουσας κατάστασης του ΣΜ αυξάνει την απόδοσή του υπό κανονικές συνθήκες και διευκολύνει το διαχειριστή του να προσδιορίσει, προβλέψει και αντιμετωπίσει τις διαταραχές υπό μη κανονικές συνθήκες. Πλέον, τα EMS βασίζονται στο αποτέλεσμα του εκτιμητή κατάστασης για την παρακολούθηση της ασφάλειας του ΣΗΕ. Για το λόγο αυτό, απαιτούνται τόσο η τοπολογία του όσο και το σύστημα μετρήσεων το οποίο παρέχεται από το SCADA. Ακόμη και στο ενδεχόμενο όπου οι μετρήσεις ακριβείας και η τοπολογία του ΣΜ δεν είναι προσωρινώς διαθέσιμα, η ανανέωση των δεδομένων και η επικοινωνία απαιτούν μερικά sec .

Από την άλλη πλευρά, οι χρονικά συγχρονισμένες συσκευές είναι ικανές να μετρούν απευθείας τις τάσεις θετικής ακολουθίας. Επομένως, εφόσον υπάρχουν αρκετά PMUs διασκορπισμένα στο ΣΜ, είναι δυνατή η απευθείας εκτίμηση της κατάστασής του. Αν και η παρακολούθηση ενός ΣΜ μόνον από PMUs δεν είναι προς το παρόν οικονομική, η σταδιακή εγκατάστασή τους μπορεί να αναδείξει τα οφέλη της χρήσης τους.

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των PMUs έγκειται στο ότι, στην περίπτωση μη αναμενόμενων περιστατικών, τα PMUs είναι σε θέση όχι μόνο να αποστέλλουν σήμα κινδύνου για να ενημερώνουν τον εσωτερικό χειριστή του ΣΜ, αλλά διαθέτουν τη δυνατότητα αποστολής ειδοποιήσεων και στους χειριστές του ΣΗΕ ώστε να ενημερώνονται για τα μη αναμενόμενα αυτά γεγονότα. Η αποστολή των ειδοποιήσεων μπορεί να επιτευχθεί εγκαθιστώντας το σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης στο γραφείο του χειριστή που θα ενεργοποιούταν από τα σήματα κινδύνου. Αυτά θα μπορούσαν να ενεργοποιηθούν σε περίπτωση παραβίασης των συνθηκών λειτουργίας του ΣΜ. Η εκτός λειτουργίας κατάσταση και οι σχεδιαστικές μελέτες οριοθετούνται βάσει ορισμένων υποθέσεων που συνήθως είναι περιοριστικές, με σκοπό να αποτρέπουν την παραβίαση των ορίων του ΣΗΕ. Ένα ακόμη όφελος της παρακολούθησης των γωνιών φάσης σε πραγματικό χρόνο είναι ο καθορισμός ορίων για ΣΜ που βρίσκονται σε λειτουργία. Η ικανότητα των PMUs να μετρούν άμεσα τις γωνίες φάσης του ΣΜ επιτρέπει στο διαχειριστή του να μειώσει το περιθώριο σφάλματος και να λειτουργήσει το ΣΜ πλησιέστερα στα πραγματικά όρια ευστάθειας του, διασφαλίζοντας πάντως ένα ικανοποιητικό

επίπεδο ασφάλειας [74]. Ένα άμεσο αποτέλεσμα της λειτουργίας του ΣΜ κοντά στα όρια ασφάλειας είναι ότι χαλαρώνει η απαίτηση για ακριβές επενδύσεις αναβάθμισης του υπάρχοντος ΣΜ [75]. Επίσης, η γνώση της πραγματικής κατάστασης του ΣΗΕ ενισχύει την τοπική και ευρείας περιοχής προστασία του.

Ο έλεγχος και η ανίχνευση των διαταραχών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσουν το δυναμικό μοντέλο του ΣΗΕ. Η βελτίωση του δυναμικού μοντέλου του ΣΗΕ μπορεί να αυξήσει την αξιοπιστία και την ακρίβεια των δυναμικών μελετών. Στη συνέχεια, τα βελτιωμένα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιλογή της βέλτιστης θέσης των σταθεροποιητών των συστημάτων. Η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο μπορεί επίσης να αποτρέψει ενδεχόμενες διακοπές ρεύματος. Αν και οι διακοπές αυτές αποτελούν ενδεχόμενα με πολύ μικρή πιθανότητα να συμβούν, θεωρούνται από τα δαπανηρότερα περιστατικά που μπορούν να συμβούν στο ΣΜ. Με σκοπό την αποκόμιση του μέγιστου δυνατού οφέλους από την παρακολούθηση του δικτύου σε πραγματικό χρόνο, απαιτούνται συγκεκριμένες μελέτες για την αποφυγή των διακοπών ηλεκτρικού ρεύματος. Οι μελέτες αυτές περιλαμβάνουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των δικτύων, όπως επίσης και την προβλεπόμενη ακρίβεια και αξιοπιστία της μεθόδου.

Η αστάθεια τάσης, επίσης, είναι ένα από τα σημαντικά προβλήματα των ΣΗΕ. Τα ενδεχόμενα συμπτώματα της αστάθειας τάσης μπορεί να είναι:

- το χαρακτηριστικά χαμηλό προφίλ της τάσης του ΣΗΕ
- οι μεγάλες τιμές ροής αέργου ισχύος των Γ/Μ
- η υπερφόρτιση του δικτύου

Συνήθως, ένα από τα προαναφερθέντα συμπτώματα, που μπορούν να διαρκέσουν από μερικά sec έως αρκετά min και ορισμένες φορές ακόμη και ώρες, ακολουθείται από κατάρρευση της τάσης [76] [77]. Η κατάρρευση τάσης συνήθως ξεκινά από ένα ή πολλά απρόβλεπτα ενδεχόμενα τα οποία θεωρούνται χαμηλής πιθανότητας να συμβούν. Η παρακολούθηση της ευστάθειας της τάσης απαιτεί συχνή και ακριβή ανάλυση μέσω στατικών και δυναμικών μοντέλων. Επομένως, η σταθεροποίηση της τάσης είναι ευκολότερη με χρήση PMUs, δεδομένου ότι οι εναλλακτικές διατάξεις παρακολούθησης δεν είναι σε θέση να ελέγξουν επαρκώς αυτόν τον τύπο των δυναμικών χαρακτηριστικών του συστήματος.

Ενώ μερικές από τις εφαρμογές των ΣΗΕ, όπως η μέτρηση κατάστασης του συστήματος, απαιτούν μεγάλο αριθμό PMUs για την εφαρμογή τους, άλλες εφαρμογές όπως η παρακολούθηση της διαταραχής συχνότητας μπορούν να υλοποιηθούν με μικρό αριθμό PMUs. Καίτοι η χρήση μεγάλου αριθμού PMUs σε ένα ΣΜ επιτρέπει στο διαχειριστή την ταυτόχρονη υλοποίηση πολλαπλών λειτουργιών, οι επιχειρήσεις ΗΕ συνήθως προτιμούν τη σταδιακή εγκατάσταση PMUs, λόγω του υψηλού κόστους εγκατάστασής τους. Ακόμη, όμως, και στην περίπτωση της σταδιακής εγκατάστασης, το αρχικό σχέδιο για εγκατάσταση PMUs πρέπει να εκκινήσει βασιζόμενο σε εφαρμογές που απαιτούν μικρότερο αριθμό PMUs, έχοντας πάντα υπόψη την τελική επέκταση. Δηλαδή, η εγκατάσταση PMUs ως βραχυπρόθεσμη επένδυση των ηλεκτρικών εταιριών, πρέπει να είναι σύμφωνη με το μακροπρόθεσμο στόχο για τοποθέτηση PMUs. Πολλές εταιρίες παροχής ΗΕ έχουν εγκαταστήσει ήδη έναν αρκετά μεγάλο αριθμό PMUs στο σύστημά τους. Αν και τα εγκατεστημένα PMUs ικανοποιούν ορισμένους από τους βραχυπρόθεσμους στόχους των εταιριών, δυστυχώς έχουν περιορισμένη επίδραση (ή σε ορισμένες περιπτώσεις καμία) στο βέλτιστο αριθμό PMUs που απαιτούνται για την παρατηρησιμότητα ή την εύρεση των κρίσιμων μετρήσεων.

6.3.9.1.2 Εκτίμηση κατάστασης ΣΗΕ

Η εκτίμηση κατάστασης είναι μία σύνθετη διαδικασία που προϋποθέτει μεγάλη ποικιλία υλικού και λογισμικού. Προς το παρόν, οι περισσότεροι από τους εκτιμητές κατάστασης εγκαθίστανται στα κέντρα ελέγχου του ανεξάρτητου διαχειριστή του ΣΗΕ. Οι εκτιμητές κατάστασης αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την απευθείας παρακολούθηση των συνθηκών του δικτύου και την παροχή της καλύτερης δυνατής εκτίμησης της κατάστασης του δικτύου. Η εκτίμηση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σημείο εκκίνησης για άλλες εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο, όπως η πιθανοτική ανάλυση, η διαχείριση συμφόρησης και η βελτιστοποίηση V-VAR. Η εκτίμηση κατάστασης και οι παρεπόμενες εφαρμογές της, όπως ο εντοπισμός εσφαλμένων μετρήσεων βασικών μεγεθών του ΣΗΕ, η εκτίμηση παραμέτρων και η εκτίμηση καταστάσεων διακοπών, χρησιμοποιούνται. Για την επιτυχή εκτίμηση της κατάστασης του ΣΗΕ απαιτούνται [78]:

- Ένα αξιόπιστο σύνολο μετρήσεων με ικανοποιητική περίσσεια
- Ακριβής γνώση της τοπολογίας του ΣΗΕ βασιζόμενη στις καταστάσεις των διακοπών
- Ακριβείς τιμές παραμέτρων του δικτύου

Σύμφωνα με την άποψη πολλών ειδικών σχετικά με τα ζητήματα που εμποδίζουν την εκτίμηση κατάστασης στην πράξη [79], υπάρχουν τα ακόλουθα ζητήματα:

- Ανακριβή μεγέθη για τα στοιχεία του δικτύου
- Ανακριβής τοπολογία του ΣΗΕ
- Ανεπαρκής ή εσφαλμένη τηλεμετρία
- Ασύμβατη μέτρηση φάσης
- Αδυναμία τοποθέτησης μετρητών στο χώρο και του υπολογιστικού μοντέλου.

Ενδεικτικά, η εσφαλμένη ένδειξη μιας μέτρησης ροής (τάσης, ρεύματος, συχνότητας του ΣΗΕ) στον εξοπλισμό είναι ένα σύνηθες πρόβλημα. Δυστυχώς, τα προβλήματα στην εκτίμηση κατάστασης σήμερα είναι περίπου ίδια με εκείνα που υπήρχαν στην αρχική βιομηχανική εφαρμογή της. Αν και τέτοια ζητήματα αφορούν την υποδομή και όχι τον αλγόριθμο εκτίμησης κατάστασης, εντούτοις επηρεάζουν το αποτέλεσμα της εκτίμησης κατάστασης. Τα προαναφερθέντα προβλήματα χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής με στόχο τη βελτίωση της εκτίμησης κατάστασης. Η ενσωμάτωση των PMUs στους εκτιμητές κατάστασης είναι αριθμητικά και αλγοριθμικά απλή και συμβάλλει στη βελτίωση της παρακολούθησης, του ελέγχου και της προστασίας του ΣΗΕ.

6.3.9.1.3 Διαχείριση συμφόρησης σε πραγματικό χρόνο

Η διαχείριση της συμφόρησης είναι ανάμεσα στις υψίστης προτεραιότητας λειτουργίες που υλοποιούνται από τους χρονοπρογραμματιστές ισχύος στην αγορά ΗΕ. Η εφαρμογή μπορεί να υλοποιηθεί σε πραγματικό χρόνο από το διαχειριστή του ΣΗΕ. Η διαχείριση της συμφόρησης είναι μία κρίσιμη λειτουργία που έχει καθοριστική συμβολή τόσο στην κατανομή της παραγωγής ΗΕ, που αφορά τη μελέτη της μελλοντικής αγοράς, όσο και στην ανακατανομή της ΗΕ που είναι μία εφαρμογή της

αγοράς ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Ο βασικός σκοπός της διαχείρισης συμφόρησης είναι να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του δικτύου βέλτιστα και οικονομικά, χωρίς να παραβιάζονται τα όρια του ΣΜ (όρια ΓΜ και μέτρου τάσης).

Κατά τη ρύθμιση της κατανομής, υπό τον περιορισμό της ελαχιστοποίησης του κόστους, η διαχείριση συμφόρησης σε πραγματικό χρόνο προσπαθεί να διατηρήσει τις ροές ισχύος στις ΓΜ εντός των επιτρεπτών ορίων. Στην παραδοσιακή διαχείριση συμφόρησης, η ροή ενεργού ισχύος σε μια ΓΜ συγκρίνεται με την ονομαστική ικανότητα μεταφοράς (NTC), που υπολογίζεται με εφαρμογή συγκεκριμένων τεχνικών λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς του δικτύου, όπως τα θερμικά όρια, τα όρια τάσης, και τα όρια ευστάθειας. Οι περιορισμοί που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς αυτούς είναι συνήθως υπερβολικά αυστηροί [80] [81], με συνέπεια την εμφάνιση αδικαιολόγητων περιθωρίων στη διαχείριση συμφόρησης.

Δεδομένου ότι τα PMUs παρέχουν μετρήσεις μεγαλύτερης ακρίβειας, η εγκατάστασή τους στα ΗΔ θα προσφέρει τη δυνατότητα στο κέντρο κατανομής του συστήματος να έχει μια ακριβέστερη εκτίμηση και βελτιωμένη εκτίμηση τόσο των ορίων των ΓΜ όσο και των ροών ΗΕ. Στη συνέχεια, αυτό θα οδηγήσει τη λειτουργία του συστήματος, κοντά στα όριά του, με αποτέλεσμα τη συνολική βελτίωση της λειτουργίας του συστήματος, και την εξοικονόμηση πόρων που τελικά θα μειώσει το κόστος για τους καταναλωτές ΗΕ. Ο υψηλός ρυθμός δειγματοληψίας και η ακρίβεια των PMUs θα συμβάλουν σε μια ταχύτερη και ακριβέστερη εκτέλεση των αλγορίθμων πραγματικού χρόνου, όπως η σε πραγματικό χρόνο ικανότητα μεταφοράς (RTC) κατά τη διαχείριση συμφόρησης. [82] [83]

6.3.9.1.4 Επικύρωση και συντονισμός των μοντέλων των συστημάτων

Εφόσον κάθε τμήμα ενός ΣΗΕ περιγράφεται χρησιμοποιώντας ένα διαφορετικό σύνολο παραμέτρων (π.χ. δίκτυο, γεννήτριες, φορτία, κλπ.), οι λανθασμένες παράμετροι θα προκαλέσουν αποκλίσεις κατά τη μελέτη του συστήματος. Ο αντικειμενικός σκοπός της επικύρωσης του μοντέλου του συστήματος αλλά και της εκτίμησης παραμέτρων (PE) είναι να προσδιορίσει τις αμφισβητούμενων τιμών παραμέτρους του συστήματος και να προχωρήσει σε βελτιωμένη εκτίμησή τους. Γενικά, οι παράμετροι των ΣΗΕ εισάγονται στη βάση δεδομένων της μοντελοποίησης με ανθρώπινη παρέμβαση, οπότε τα λάθη είναι αναπόφευκτα. Εφόσον εισαχθεί ένα σφάλμα στη βάση δεδομένων του ΣΗΕ, είναι δύσκολο να ανιχνευθεί για αρκετά χρόνια.

Στην περίπτωση της εκτίμησης των παραμέτρων σε μόνιμη κατάσταση, τα ενδεχόμενα σφάλματα μπορούν να εντοπιστούν και να διορθωθούν, χρησιμοποιώντας ένα αλγόριθμο γνωστό ως εκτίμηση παραμέτρων (PE). Έχοντας πρόσβαση σε ακριβείς συγχρονισμένες μετρήσεις από PMUs, η δυνατότητα εκτίμησης παραμέτρων μπορεί να βελτιωθεί και τα σφάλματα στα μοντέλα εκτίμησης παραμέτρων όπως οι μιγαδικές αντιστάσεις και οι αγωγιμότητες να διορθωθούν. Ενώ είναι σημαντικό να υπάρξει ένα ακριβές πρότυπο του συστήματος σε μόνιμη κατάσταση, η μέτρηση των δυναμικών παραμέτρων είναι δυσκολότερη και απαιτεί ακριβή έλεγχο και γνώση της αντίδρασης του συστήματος τόσο σε αναμενόμενες όσο και σε μη αναμενόμενες διακοπές.

6.3.9.1.5 Ανάλυση διαταραχών

Η ανάλυση διαταραχών σχετίζεται με τη μελέτη και την προσομοίωση της αλληλουχίας των γεγονότων που λαμβάνουν χώρα μετά την εμφάνιση μιας διαταραχής στο ΣΗΕ. Για πραγματοποιηθεί αυτή η ανάλυση, πρέπει να γίνει μία έρευνα στα δεδομένα που καταγράφονται μέσω των συστημάτων καταγραφής και είναι διάσπαρτα σε όλο το δίκτυο. Οι διαδικασίες με τα παραδοσιακά συστήματα καταγραφής δεδομένων είναι δύσκολες και χρονοβόρες, εξαιτίας του ότι τα διαθέσιμα στοιχεία που παρέχονται από τις διατάξεις δεν είναι συγχρονισμένα.

Το GPS έχει χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δεκαετιών ως κοινή χρονική αναφορά, επιτρέποντας σε πολλών ειδών συσκευές όπως τα PMUs, να παρέχουν χρονικά συγχρονισμένα δεδομένα. Οι διάφοροι φορείς ΗΕ συστήνουν με επιτακτικό τρόπο την εγκατάσταση PMUs μετά τις διακοπές ηλεκτρικού ρεύματος στις βορειοανατολικές Η.Π.Α. και την Ιταλία το 2003. [84] [85]

Το GPS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το χρονικό συγχρονισμό των δεδομένων που καταγράφονται από τα όργανα καταγραφής. Ορισμένες επιχειρήσεις ΗΕ στις Η.Π.Α. έχουν ήδη εφαρμόσει αυτήν την τεχνολογία για να περιορίσουν το πρόβλημα του χρονικού λάθους στα καταγεγραμμένα δεδομένα τους. Ένα από τα οφέλη μιας τέτοιας μεθόδου είναι η βελτίωση της διάγνωσης διαταραχών. Η εμπειρία δείχνει ότι τα ακριβώς συγχρονισμένα δεδομένα μέσω GPS μπορούν να περιορίσουν το διαγνωστικό χρόνο από αρκετές ώρες σε μερικά δευτερόλεπτα. [86]

6.3.9.1.6 Επαναφορά συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Κατά τη διάρκεια μιας διαταραχής, ο χειριστής του ΣΗΕ έρχεται αντιμέτωπος με μια τεράστια σταθερή διαφορά φάσης (standing phase angle-SPA) κατά μήκος του διακόπτη που συνδέει δύο γειτονικούς Υ/Σ. Στην περίπτωση όπου ο χειριστής δεν είναι ενήμερος για την τεράστια αυτή διαφορά φασικής γωνίας, το κλείσιμο του διακόπτη κατά τη διαδικασία αποκατάστασης του ΣΗΕ μετά από διακοπή μπορεί να προκαλέσει κλονισμό του συστήματος, που με τη σειρά του μπορεί να βλάψει τον εξοπλισμό ή ακόμα και να οδηγήσει σε νέα διακοπή [87]. Τα PMUs είναι συσκευές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση του δικτύου σε πραγματικό χρόνο. Λόγω της δυνατότητάς τους για άμεση μέτρηση των γωνιών φάσης, για να αποφεύγει τέτοιου είδους συνέπειες ο χειριστής μπορεί να χρησιμοποιήσει δεδομένα που συλλέγονται από PMUs.

6.3.9.1.7 Έλεγχος υπερφόρτισης και δυναμική εκτίμηση

Αν και ήδη υπάρχει πλήθος διατάξεων και λογισμικού για την παρακολούθηση του εξοπλισμού των ΣΗΕ, η χρήση των PMUs μπορεί να καταστήσει τον έλεγχο του ΣΗΕ αρκετά ακριβέστερο και να προσφέρει ταχύτερους χρόνους ανάλυσης. Αν και ο έλεγχος υπερφόρτισης όπως και η δυναμική εκτίμηση ενός συστήματος μέσω PMU είναι σε κάποιο βαθμό ανεπαρκείς συγκρινόμενες με τις υπάρχουσες συσκευές, τα πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης PMUs για το σκοπό αυτό εντοπίζονται

στο ότι ένα PMU μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξίσου καλά και για πολλές άλλες εφαρμογές. Δηλαδή, η πολλαπλή λειτουργία των PMUs τα καθιστά περισσότερο επιθυμητά από οποιαδήποτε άλλη διαθέσιμη συμβατική συσκευή μέτρησης.

Ο έλεγχος υπερφόρτισης είναι γνωστός ως εφαρμογή ελέγχου εξοπλισμού. Αυτή τη στιγμή, η μόνη διαθέσιμη εφαρμογή για τον έλεγχο του εξοπλισμού που χρησιμοποιεί PMUs είναι ο θερμικός έλεγχος των εναέριων ΓΜ. Δεδομένου ότι ένα PMU μπορεί να μετρήσει το μέτρο της τάσης και τη φασική γωνία του ζυγού, η εγκατάσταση PMU στα δύο άκρα μιας γραμμής επιτρέπει τον υπολογισμό της σύνθετης αντίστασης αυτής καθώς και της μέσης θερμοκρασίας της γραμμής σε πραγματικό χρόνο. Το μειονέκτημα της εφαρμογής αυτής είναι το γεγονός ότι τα PMUs δεν μπορούν να παράσχουν πληροφορία σχετικά με το σημείο ενδεχόμενης υπερφόρτισης μιας ΓΜ.

6.3.9.1.8 Επιλεκτική Προστασία

Καταρχήν, η επιλεκτική προστασία βασίζεται στην ιδέα ότι τα χαρακτηριστικά των ηλεκτρονόμων και των PMUs πρέπει να αλλάξουν για να ανταποκριθούν στις συνθήκες λειτουργίας του υπάρχοντος ΣΗΕ. Η εισαγωγή των μονάδων μέτρησης φασιθετών και ορισμένων ψηφιακών ηλεκτρονόμων έχει επιτρέψει στις διατάξεις αυτές να προσαρμοστούν στις υπάρχουσες συνθήκες λειτουργίας του συστήματος.

Οι συμβατικοί ηλεκτρονόμοι και οι διατάξεις προστασίας που χρησιμοποιούνται στα ΣΗΕ λειτουργούν συνήθως υπό προκαθορισμένους ανελαστικούς κανόνες. Όταν συμβεί ένα περιστατικό, η απόκριση αυτών των διατάξεων γίνεται με προκαθορισμένο τρόπο που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά τους. Η ανάπτυξη των ψηφιακών ηλεκτρονόμων έχει ξεκινήσει μια νέα εποχή για την σε πραγματικό χρόνο απόκριση στις μεταβολές των δικτύων. Οι ψηφιακοί ηλεκτρονόμοι χαρακτηρίζονται από δύο βασικά χαρακτηριστικά που τους διαφοροποιούν από τους παραδοσιακούς ηλεκτρονόμους και τις προστατευτικές διατάξεις. Η λειτουργία τους καθορίζεται μέσω λογισμικού και όχι με προκαθορισμένο τρόπο. Επίσης, διαθέτουν την ικανότητα επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο.

Η επιλεκτική προστασία καθορίστηκε μετά τη δημιουργία των ψηφιακών ηλεκτρονόμων το 1987 [88]. Ο κύριος λόγος για την κατασκευή των ψηφιακών ηλεκτρονόμων ήταν η αλλαγή στη βιομηχανία ηλεκτρικής ισχύος. Στη δεκαετία του '80, τα συστήματα ηλεκτρικής ισχύος άρχισαν να λειτουργούν πλησιέστερα στα όριά τους λόγω των οικονομικών και περιβαλλοντικών περιορισμών. Από εκείνη τη στιγμή, δόθηκε έμφαση στην οικονομική λειτουργία του ΣΗΕ και αναπροσάρμοσε τη παραδοσιακή προστασία των ΣΗΕ. Η χρήση των PMUs και ως ηλεκτρονόμων προστασίας διερευνάται.

Μια άλλη σημαντική εφαρμογή των PMUs είναι η ακριβής μέτρηση της σύνθετης αντίστασης των Γ/Μ, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό των σφαλμάτων θέσης. Η σύνθετη αντίσταση των Γ/Μ έχει σημαντική συμβολή στην ανίχνευση των σφαλμάτων θέσης. Η ακριβής τιμή της μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας δύο PMUs στα άκρα της. Το όφελος από τη χρησιμοποίηση των PMUs γίνεται περισσότερο αισθητό λαμβάνοντας υπόψη ότι ο μη ακριβής εντοπισμός του σφάλματος μπορεί να παρατείνει τις διαδικασίες αποκατάστασης του συστήματος.

6.3.9.1.9 Προγραμματισμένη απομόνωση ηλεκτρικών συστημάτων

Ο προγραμματισμένος διαχωρισμός του συστήματος σε νησίδες είναι η τελευταία δράση που λαμβάνει χώρα όταν το ΣΗΕ αντιμετωπίζει μια έντονα ασταθή Η/Μ ταλάντωση. Στη περίπτωση αυτή, η μόνη λύση είναι η διαμόρφωση νησίδων που απομονώνονται από το υπόλοιπο δίκτυο, και επαναφέρονται στο δίκτυο αργότερα, όταν οι συνθήκες έχουν βελτιωθεί. Στην περίπτωση όπου ο διαχωρισμός σε νησίδες είναι αναπόφευκτος, είναι προτιμότερο να γίνεται βάσει προγραμματισμένου σχεδίου. Κατά το σχηματισμό μίας νησίδας, η ιδανική περίπτωση είναι να υπάρχει ισορροπία ανάμεσα στα υπάρχοντα φορτία και την παραγωγή ΗΕ της νησίδας. Από την άλλη πλευρά, αυτό μπορεί να μη συμβαίνει στην πράξη επειδή υπάρχουν ανισορροπίες μεταξύ της παραγωγής και των φορτίων σε μία νησίδα μετά το διαχωρισμό της από το δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή, μπορεί να απαιτηθεί διακοπή παραγωγής ή απόρριψη φορτίων για να επιτευχθεί μια ισορροπία μεταξύ των φορτίων και της παραγωγής ΗΕ στη νησίδα.

Σήμερα, χρησιμοποιούνται δύο βασικές μέθοδοι για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός του συστήματος σε νησίδες, η προστασία αποσυγχρονισμού και τα σχήματα αποκατάστασης. Οι μέθοδοι αυτές είναι γνωστές ως εφαρμογές προστασίας. Εντούτοις, τα σχήματα αποκατάστασης κατατάσσονται στις εφαρμογές ελέγχου [89]. Οι προαναφερθείσες τεχνικές στηρίζονται στην κατά προκαθορισμένο τρόπο εκτίμηση της συμπεριφοράς του συστήματος. Η εκτίμηση αυτή βασίζεται στην κατάσταση του συστήματος, την τοπολογία, τις διακοπές λειτουργίας, και τα επίπεδα φορτίων και παραγωγής. Είναι σύνηθες στα ΣΗΕ η προβλεπόμενη κατάσταση του συστήματος να διαφέρει σημαντικά από την πραγματική κατάσταση του συστήματος. Αφού οι ρυθμίσεις των σχημάτων προστασίας προγραμματίζονται βάσει των υπολογισμένων και προκαθορισμένων καταστάσεων του συστήματος, σε περίπτωση υπερβολικού σφάλματος μεταξύ προβλεπόμενης και πραγματικής κατάστασης, η εφαρμογή των σχημάτων προστασίας θα μπορούσε να επιδεινώσει τις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος.

Η προγραμματισμένη απομόνωση του συστήματος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά σε σύγκριση με τις υπάρχουσες μεθόδους με τη χρησιμοποίηση δεδομένων προερχόμενων από PMUs. Η εκ των προτέρων πρόβλεψη της συμπεριφοράς του συστήματος μπορεί να αντικατασταθεί με την παρακολούθηση του συστήματος σε πραγματικό χρόνο αξιοποιώντας τις μετρήσεις φασιθετών μέσω PMUs. Η εφαρμογή ενός τέτοιου σχήματος βελτιώνει την προγραμματισμένη απομόνωση του συστήματος για δύο βασικούς λόγους:

- Ο χειριστής μπορεί να κατανοήσει πότε το σύστημα οδηγείται προς ασταθή κατάσταση.
- Μπορούν να εντοπιστούν οι γεννήτριες που ενδεχομένως είναι περισσότερο ευάλωτες στην απώλεια της ευστάθειά τους.
- Τα όρια της νησιδοποίησης μπορούν να προσδιοριστούν σε πραγματικό χρόνο βάσει των τρέχουσων καταστάσεων του δικτύου.

Βιβλιογραφία

- [1] Κ. Βουρνάς και Γ. Κονταξής,, Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, Αθήνα: Ε.Μ.Π., 2001.
- [2] Βουρνάς Κ. και Παππαδιάς Β., Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας- Έλεγχος και Ευστάθεια Συστήματος, Αθήνα: Σ. ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ % ΣΙΑ Ο.Ε., 2010.
- [3] Παππαδιάς, Β.Κ., Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, Τόμος Ι, Αθήνα: Ε.Μ.Π., 1985.
- [4] ΑΔΜΗΕ, «Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας,» [Ηλεκτρονικό]. Available: www.admie.gr.
- [5] ΑΔΜΗΕ, Πρόγραμμα Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς 2014-2023.
- [6] Μ., Weedy Β., Μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, Αθήνα: Χ. ΓΚΙΟΥΡΔΑ & ΣΙΑ ΕΕ, 1980.
- [7] ΔΕΔΔΗΕ, «Διαχειριστής Ελληνικού Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας,» [Ηλεκτρονικό]. Available: www.deddie.gr.
- [8] Portal The Shift Project Data, «Browse Energy and Climate Data,» [Ηλεκτρονικό]. Available: www.tsp-data-portal.org.
- [9] ΥΠΕΚΑ, «ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ,» [Ηλεκτρονικό]. Available: www.ypeka.gr.
- [10] ΛΑΓΗΕ, «Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας,» <http://www.lagie.gr/agora/analysis-agoras/miniaia-deltia-iep/>, Μηνιαία Δελτία ΗΕΠ.
- [11] ΔΕΔΔΗΕ, «Ηλεκτρική Παραγωγή στα Μη διασυνδεδεμένα Νησιά,» www.deddie.gr.
- [12] ΡΑΕ, «Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας,» [Ηλεκτρονικό]. Available: www.rae.gr.
- [13] ΑΔΜΗΕ, «Μηνιαία Δελτία Παραγωγής ενέργειας,» (ηλεκτρονική διεύθυνση) www.admie.gr.
- [14] Ι., Ψαρράς, Διαχείριση Ενέργειας και Ενεργειακή Πολιτική, Αθήνα: Ε.Μ.Π., 2006.
- [15] ΛΑΓΗΕ, «Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας,» [Ηλεκτρονικό]. Available: www.lagie.gr.
- [16] ΔΕΣΜΗΕ, «www.desmie.gr,» 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.desmie.gr/fileadmin/groups/EDSHE/FortisiMonadon/Settlement_Manual_v1.1.pdf.
- [17] ΛΑΓΗΕ, «Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας,» <http://www.lagie.gr/systima-eggyimenon-timon/ape-sithya/miniaia-deltia-eidikoy-logariasmo-y-ape-sithya/>, Μηνιαία Δελτία Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ.

- [18] ΡΑΕ, Γενικές Διατάξεις , κεφάλαιο 33 , Τμήμα VI Εκκαθάριση Αποκλίσεων, <http://www.rae.gr/old/codes/proposal/V1/CodeV1-6.pdf>.
- [19] Janaka Ekanayake, Kithsiri Liyanage και Jianzhong Wu, SMART GRID Technology And Applications, United Kingdom ISBN 978-0-470-97409-4: WILEY, 2012.
- [20] John Grainger και William Stevenson Jr., Power System Analysis, USA ISBN 9780070612938: McGraw Hill, 1994.
- [21] Παπαθανασίου Σταύρος, Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές, ΕΜΠ.
- [22] Schleicher-Tappeser και Ruggero, «How renewables will change electricity markets in the next five years,» *Energy Policy*, pp. 64-75, Vol.48 2012.
- [23] ΔΕΔΔΗΕ, «Η παρουσία και ο ρόλος του ομίλου της ΔΕΗ στη σημερινή οικονομική και κοινωνική πραγματικότητα,» ΤΕΕ, ΑΘΗΝΑ, Νοέμβριος 2013.
- [24] Κόλλιας, Γεώργιος, «Ο ρόλος των δικτύων στο εξηλεκτρισμό της Ελλάδας και η μελλοντική τους εξέλιξη,» Πρόεδρος ΔΕΔΔΕΗ, 2013.
- [25] ΥΠΕΚΑ, «Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός - Οδικός Χάρτης για το 2050,» Ε.Ε. και Ελλάδα, 2012.
- [26] Γεωργαντζής, Δρ. Γ., «Ο ρόλος του ΑΔΜΗΕ στην ασφάλεια εφοδιασμού της χώρας με ΗΕ,» Ημερίδα ΤΕΕ - ΑΘΗΝΑ, 8/11/2013.
- [27] Διαλυνάς, Ευάγγελος Ν., Αξιοπιστία ΣΗΕ, ΑΘΗΝΑ: Εκδόσεις ΕΜΠ, 1996.
- [28] A. A. Chowdhury, Sudhir Kumar Agarwal και Don O. Kova, «Reliability Modeling of Distributed Generation in Conventional Distribution Systems Planning and Analysis,» *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS vol 39 / No 5, SEPTEMBER/OCTOBER 2003*.
- [29] Διαλυνάς, Ευάγγελος Ν., «Αξιοπιστία και λειτουργική απόδοση των σύγχρονων συστημάτων μεταφοράς ΗΕ - Απαιτήσεις ποιότητας πελατών και επιπτώσεις διείσδυσης των ΑΠΕ,» Εργαστήριο ΣΗΕ, ΣΗΜΜΥ, ΕΜΠ, ΑΘΗΝΑ.
- [30] Τράπεζα της Ελλάδος, «Έκθεση του διοικητή για το έτος 2013,» ΤτΕ, Αθήνα, 2013.
- [31] European Commission, «"Energy Efficiency Plan 2011" COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS,» Commission, European, Brussels, 2011.
- [32] ΥΠΕΚΑ, «Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας,» ΥΠΕΚΑ, Ε.Ε και Ελλάδα, 2010.
- [33] ΥΠΕΚΑ, «Πρώτο Εθνικό Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης,» Ε.Ε. και Ελλάδα, 2008.
- [34] ΥΠΕΚΑ, «Δεύτερο Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης,» Ε.Ε. και Ελλάδα, 2011.

- [35] Niklas Rotering και Marija Ilic, «Optimal Charge Control of Plug-In Hybrid Electric Vehicles in Deregulated Electricity Markets,» *IEEE Transaction on Power Systems Vol.26, No 3*, pp. 1021-1029, August 2011.
- [36] Zhongjing Ma, Duncan Gallaway και Ian Hiskens, «Decentralized Charging Control for Large Populations of Plug-In Electric Vehicles,» σε *49th IEEE Conference on Decision and Control*, Atlanta USA, December 2010.
- [37] Department of Energy, «COMMUNICATIONS REQUIREMENTS OF SMART GRID TECHNOLOGIES,» 2010.
- [38] Angeliki M. Sarafi, Georgios I. Tsiropoulos, and P, «Hybrid Wireless-Broadband over Power Lines: A Promising Broadband Solution in Rural Areas,» 2009.
- [39] «Εγχειρίδιο Τηλεμέτρησης Μετρητών και Μετρήσεων Μ.Τ.,» ΔΕΔΔΗΕ, Αθήνα, 2011.
- [40] Κων/νος Ανδρεάδης, «Ευφυή Συστήματα Μέτρησης και Διαχείρισης Ηλεκτρικής Ενέργειας,» ΔΕΔΔΗΕ, 2014.
- [41] «Smart Control of Energy Distribution Grids over Heterogeneous Communication Networks,» <http://smartc2net.eu/>, 2013.
- [42] Vehbi C. Gungor, Dilan Sahin, Taskin Kocak, Salih , Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards, IEEE Trans. Industrial Informatics, 2011.
- [43] John D. McDonald, «Substation automation and smart grid».
- [44] Mark McGranaghan, «Systems, Overview of DMS Applications and Requirements for Modern Distribution,» CIREN , EPRI, Stockholm, 2013.
- [45] Jim Weikert, Power System Engineering.
- [46] EPRI, «Estimating the Cost and Benefits of the Smart Grid,» EPRI, Palo Alto USA, March 2011.
- [47] Electricity transmission, distribution and storage systems, woodhead publishing, 2013.
- [48] Ι. Αργυράκης διευθυντής διεύθυνσης υδροηλεκτρικής , «Εκμετάλλευση των ΥΗΣ ως έργων πολλαπλού σκοπού 2008».ΔΕΗ.
- [49] DOE Global Energy Data Base, «<http://www.energystorageexchange.org/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [50] Ελληνική Στατιστική Αρχή, «Έρευνα κατανάλωσης ενέργειας στα νοικοκυριά, 2011-2012,» Πειραιάς, 2013.
- [51] Letendre, S., Denholm, P., «Electric and Hybrid Cars-New Load, or New Source,» σε *Public Utilities Fortnightly*, 2006.

- [52] RICHARD PRATT-KRISHNAN GOWRI, «Vehicle to Grid Communication Development». *Pacific Northwest National Laboratory*.
- [53] Käbisch, S., Schmitt, A. ; Winter, M. ; Heuer, «Interconnections and Communications of Electric Vehicles and Smart Grids,» *First IEEE International Conference*, pp. 161-166.
- [54] European Commission, «Σύσταση της Επιτροπής σχετικά με τις προετοιμασίες για την εμπορική εξάπλωση των έξυπνων συστημάτων μέτρησης (2012/148/ΕΕ),» Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ελληνική έκδοση), Ε.Ε., Μάρτιος 2012.
- [55] E. meters, «Wikipedia,» [Ηλεκτρονικό]. Available: www.wikipedia.org. [Πρόσβαση Δεκέμβριος 2013].
- [56] Νικόλαος, Μανωλάς, «Σχεδίαση Έξυπνου Μετρητή Ηλεκτρικής Ενέργειας,» ΑΠΘ - ΤΗΜΜΥ, Θεσσαλονίκη, 2012.
- [57] EEI-AEIC-UTC, «Smart Meters and Smart Meter Systems: A Metering Industry Perspective,» Edison Electric Institute, USA, March 2011.
- [58] «Εφαρμογή τεχνολογιών – Έξυπνης μέτρησης στο δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ,» ΔΕΔΔΗΕ, Αθήνα, Οκτώβριος 2013.
- [59] Τ.-Π.-Ε. ΔΕΔΔΗΕ, ««Πιλοτικό Σύστημα Τηλεμέτρησης και Διαχείρισης της Ζήτησης Παροχών Ηλεκτρικής Ενέργειας Οικιακών και Μικρών Εμπορικών Καταναλωτών και Εφαρμογής Έξυπνων Δικτύων,» Ελλάδα - Αθήνα, 2011.
- [60] Κορρές Γ., Σημειώσεις Ευέλικτων Συστημάτων Μεταφοράς, ΕΜΠ.
- [61] Yong-Hua Song και Allan T. Johns., *Flexible Ac Transmission Systems (FACTS)*, Inspec/IEE, 1999.
- [62] Narain G. Hingorani και Laszlo Gyugyi, *Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems*, Wiley-IEEE Press., 1999.
- [63] E. Larsen, N. Miller, S. Nilsson και and S. L, «Benefits of GTO-based Compensation Systems for Electric Utility Applications,» *IEEE Transactions on Power Delivery*, pp. 2056-2062, 1992.
- [64] L. Gyugyi, N. G. Hingorani, και P. R. Nannery, «Advanced Static Var Compensator Using Gate Turn-Off Thyristors for Utility Applications,» *CIGRE*, 23 –203,, 1990.
- [65] C. Hochgraf και and R. H. Lasseter , «Statcom Controls for Operation with Unbalanced Voltages,» *IEEE Transactions on Power Delivery*, pp. 538-544, 1998.
- [66] H. Yonezawa, , M. Tsukada, , K. Matsuno και I. Lyoda, «Study of a STATCOM Application for Voltage Stability Evaluated by Dynamic PV Curves and Time Simulations,» *IEEE Transactions on Power System*.
- [67] STATCOM compared to a SVC under fault condition, «www.mathworks.com,» [Ηλεκτρονικό].

- [68] Thorp, Phadke και J.S., Synchronized phasor measurements and their applications.
- [69] D. Novosel, K. Vu, V. Centeno, S. Skok και M. Begovic, «Benefits of synchronized- measurement technology for power-grid applications,» *Proc. Hawaii Int. Conf. System Sciences*, 2007.
- [70] Sandia National Laboratories, «Increasing Information Flow between PDCs».
- [71] NASPI, «PMU Map in North America,» 2014.
- [72] IEEE Standard, C37.118-2005, «IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems,» 2005.
- [73] «<http://www.smartgrid-metrology.eu/workshop>,» [Ηλεκτρονικό].
- [74] J.Bertsch, M. Zima, A. Suranyi, C. Carnal, «Experiences with and perspectives of the system for wide area monitoring of power systems,» *Int. Symp. CIGRE/PES Quality and security of electric power delivery systems*, 2003.
- [75] Z. Jizhong, D. Hwang and A. Sadjadpour, «Real-time congestion monitoring and management of power systems,» *IEEE/PES Transmission and distribution conference and exhibition : Asia and Pacific*, pp. 1-5, 2005.
- [76] T. Van Cutsem, «Voltage instability: Phenomena, countermeasure, and analysis methods,» *IEEE Proceedings*, vol. 88, no. 2, pp. 208-227, 2000.
- [77] A. Kurita και T. Sakurai, «The power system failure on July, 1987 in Tokyo,» *Proc. IEEE Conf. Decision and Control*, vol. 3, pp. 2093-2097.
- [78] J. Allemong, «State Estimation fundamentals for successful deployment,» σε *Proc. Power Eng. Soc. General Meeting*, 2005.
- [79] K. Uhlen, M.T. Pallson, J.O. Gjerde και K.Vu, «Voltage monitoring and control for enhanced utilization of power grids,» σε *Power Systems Conference and Exposition*, 2004.
- [80] A. Mao, J. Yu και Z. Guo, «PMU placement and data processing in WAMS that complements SCADA,» *Proc. Power Eng. Soc. General Meeting*, pp. 690-693, 2005.
- [81] Memorandum from Keith Casey, director, market monitoring to California ISO operation committee, 2006.
- [82] O. Breidablik, F. Giaver και I. Glende, «Innovative measures to increase the utilization of Norwegian transmission,» *Proc. IEEE Power Tech*, 2003.
- [83] I. Hiskins, «Nonlinear dynamic model evaluation from disturbance measurements,» *IEEE Trans. Power Syst.*, pp. 702-710, 2001.
- [84] «Blackout in the United States and Canada: Causes and recommendations,» *U.S.-Canada Power System Outage Task Force*, 2004.

- [85] «Final Report of the Investigation Committee on the 28 September 2003 Blackout in Italy,» Union for the Coordination of the Transmission of Electricity (UCTE), 2004.
- [86] D. Novosel, Phasor measurement application study, 2007.
- [87] Consultant Report for CEC, Development of a real-time monitoring/dynamic rating system for overhead lines, 2003.
- [88] S. Maram, A new special protection scheme for power system controlled separation, Master thesis, Virginia Polytechnic, 2007.
- [89] F. L. Alvarado, «Detection of external system topology errors,» *IEEE Trans. Power App.Syst.*, pp. 4553-4561, 1981.
- [90] Sovacool και Benjamin K., «Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power : A critical survey,» *Energy Policy*, p. 2950, Vol.36 2008.
- [91] «The dynamic behavior of PMU and the latest development in China,» *North China Electric Power University*, 2013.
- [92] «Summary of the North American SynchroPhasor Initiative (NASPI)». *US Department of Energy*.