



Κεφάλαιο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Όσο και αν φαίνεται παράξενο οι δράσεις αναβάθμισης των Συστημάτων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΜΗΕ) άρχισαν το 1954 με την υποθαλάσσια διασύνδεση Συνεχούς Ρεύματος (ΣΡ) του νησιού Gotland και τη χρήση μετατροπέων Εναλλασσόμενου Ρεύματος (ΕΡ)/ΣΡ με βαλβίδες¹ υδραργύρου. Παρόμοια και μεγαλύτερου μεγέθους έργα ακολούθησαν, όπως η διασύνδεση της Σαρδηνίας (1967), η μεγάλης απόστασης διασύνδεση του Ειρηνικού (Pacific Intertie 1970) και η διασύνδεση Nelson River (1973), που αξιοποιούσαν τα πλεονεκτήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με ΣΡ σε μεγάλες επίγειες αποστάσεις ή υποθαλάσσιες διασυνδέσεις. Η επόμενη σημαντική εξέλιξη έγινε το 1972, με την αντικατάσταση των βαλβίδων υδραργύρου με βαλβίδες θυρίστορ, στην ασύγχρονη διασύνδεση (Back to Back) μεταξύ Quebec και New Brunswick.

Στα επόμενα περίπου 25 χρόνια κυριάρχησαν οι μετατροπείς φυσικής μεταγωγής (line commutated) με βαλβίδες θυρίστορ. Παράλληλα είχαμε μία θεαματική ανάπτυξη των διακοπτικών στοιχείων ισχύος στερεάς κατάστασης, τόσο στην αύξηση δυνατοτήτων χειρισμού μεγαλύτερων ισχύων, όσο και στον έλεγχο του χρόνου σβέσης τους και μάλιστα με έλεγχο τάσης. Η ευρεία

¹ Η εν σειρά και παράλληλη σύνδεση ομοειδών διακοπτικών στοιχείων ισχύος για να επιτύχουμε τις επιθυμητές προδιαγραφές τάσης και ρεύματος, δημιουργεί ένα ομοειδές στοιχείο που ονομάζεται βαλβίδα.

αξιοποίησή τους μείωσε το κόστος τους και αναπτύχθηκε πλήθος ελεγκτών με στόχο τον έλεγχο ροής άεργου και πραγματικής ισχύος στα ΣΜΗΕ. Με τη χρήση αυτών των ελεγκτών αυξήθηκε η μεταφορική ικανότητα των ΣΜΗΕ και η ενσωμάτωσή τους σε αυτά οδήγησε, περί το 1986, στα εξελιγμένα ΣΜΗΕ, που ονομάστηκαν Ευέλικτα Συστήματα Μεταφοράς ΕΡ (Flexible AC Transmission System (FACTS)). Η τεχνολογία που αξιοποιούν βασίζεται στη χρήση αξιόπιστων, μεγάλης ταχύτητας διακοπών ισχύος στερεάς κατάστασης, προχωρημένης θεωρίας ελέγχου, σύγχρονους επεξεργαστές και οπτικές ίνες για αποστολή και λήψη σημάτων σε επίπεδο υψηλών τάσεων.

Τη δεκαετία του 1980 και εντατικότερα την τελευταία εικοσαετία ευρεία εφαρμογή των ηλεκτρονικών ισχύος έχουμε στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Τα φωτοβολταϊκά συστήματα και τα κύτταρα καυσίμου απαιτούν μετατροπή από ΣΡ σε ΕΡ. Στις ανεμογεννήτριες για καλύτερη εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού απαιτείται η λειτουργία σε μεταβλητές στροφές, όπως και στους μικρούς υδροστρόβιλους. Σε αυτές τις εφαρμογές χρησιμοποιούνται μετατροπείς για τη μετατροπή της μεταβαλλόμενης συχνότητας ΕΡ στη συχνότητα του δικτύου. Αυτή η χρήση των ηλεκτρονικών ισχύος αναβάθμισε τεχνολογικά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και μαζί με τις κρατικές επιχορηγήσεις ώθησαν στη ραγδαία ανάπτυξη αυτών των πηγών και ενισχύθηκε η τάση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε τοπικό επίπεδο με σύνδεση στο δίκτυο διανομής. Αυτή ορίζεται ως καταναλωμένοι ή Διεσπαρμένοι Παραγωγή (ΔΠ) (Distributed or Dispersed Generation (DG)) και μετέτρεψε το παθητικό και μίας κατεύθυνσης ισχύος δίκτυο διανομής σε ενεργητικό και διπλής κατεύθυνσης ισχύος δίκτυο. Στα ενεργά δίκτυα διανομής απαιτείται η ενσωμάτωση ευέλικτων και ευφυών συστημάτων ελέγχου, καθώς και της τεχνολογίας των δικτύων του μέλλοντος (μικροδίκτυα (micro grids) ή έξυπνα δίκτυα (smart grids)) για να καρπωθούμε ποιοτική ηλεκτρική ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές. Για να γίνει δυνατή η εμπορική εκμετάλλευση της ΔΠ και μικροδικτύων χρειάζεται η λύση προβλημάτων στους ακόλουθους τομείς και όχι μόνο: 1) ενεργός έλεγχος εκτεταμένων περιοχών, 2) προσαρμοστική προστασία και έλεγχος, 3) συσκευές διαχείρισης δικτύων, 4) προσομοίωση δικτύων σε πραγματικό χρόνο, 5) εξελιγμένοι αισθητήρες και μετρήσεις, 6) καταναλωμένες επικοινωνίες, 7) ευφυείς μέθοδοι εξαγωγής γνώσης, 8) μοντέρνα σχεδίαση συστημάτων μεταφοράς και διανομής.

Περί το 1991 καθιερώθηκε η ιδέα εφαρμογής αντίστοιχων ηλεκτρονικών ελεγκτών στα συστήματα διανομής, με σκοπό την αύξηση της αξιοπιστίας τους και τη βελτίωση της ποιότητας της τροφοδοτούμενης ισχύος. Χρησιμοποιήθηκε ο όρος **Ισχύς Καταναλωτών ή Ποιότητα Ισχύος** (Custom Power (CP) or Power Quality (PQ)) για να περιγράψει την αυξημένης αξίας ισχύ,

που θα παρέχουν οι ηλεκτρικές εταιρείες στους καταναλωτές τους στο μέλλον, δηλαδή ισχύ με λιγότερες διακοπές και διακυμάνσεις. Το 2000 εισήχθη από το συγγραφέα αυτού του βιβλίου η έννοια του **Ευέλικτου Συστήματος Διανομής** (Flexible Distribution System (FDS)) για να περιγράψει τα συστήματα διανομής, που χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικούς ελεγκτές καθιστούν τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας πιο αξιόπιστη, περισσότερο ελέγξιμη και πιο αποδοτική. Η διευρυμένη αυτή έννοια περιλαμβάνει τα γνωστά μας συστήματα διανομής με ενσωματωμένους ελεγκτές ηλεκτρονικών ισχύος ή διασυνδέσεις ΣΡ με μετατροπείς πηγής τάσης και συστήματα διανομής που χρησιμοποιούν μόνο ΣΡ.

Οι λόγοι που επέβαλαν αυτή την εξέλιξη είναι:

- α) Τα νέα αυτοματοποιημένα συστήματα παραγωγής και επεξεργασίας της πληροφορίας στις βιομηχανίες (π.χ. ηλεκτρονικά ισχύος για τον έλεγχο στροφών, ρομπότ, αυτόματες γραμμές παραγωγής, προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές, ηλεκτρονικοί υπολογιστές κ.λ.π.) είναι πολύ ευαίσθητα στις πολύ μικρής χρονικής διάρκειας (μικρότερης του 1 sec) διακοπές παροχής ισχύος, διακυμάνσεις της τάσης ή της συχνότητας, ενώ οι ίδιες διαταραχές δεν επηρέαζαν σοβαρά την παραγωγική διαδικασία των λιγότερο αυτοματοποιημένων βιομηχανιών του παρελθόντος με τους ηλεκτρομηχανικούς αυτοματισμούς.
- β) Η ανάγκη για:
 - 1) Εκτεταμένη αξιοποίηση των διαθέσιμων τοπικών πηγών ενέργειας, μεταξύ των οποίων και οι ανανεώσιμες, αξιοποιούμενες από ανεμογεννήτριες, ηλιακά κάτοπτρα και κύτταρα και μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς.
 - 2) Η σύνδεση φορτίων απομακρυσμένων από δίκτυα μεταφοράς, που όμως δεν είναι αρκετά μεγάλα για να δικαιολογήσουν οικονομικά την κατασκευή συνηθισμένων γραμμών μεταφοράς και διανομής.
 - 3) Η τροφοδοσία μικρών νησιώτικων φορτίων.
 - 4) Η τροφοδοσία μικρών αγροτικών φορτίων από μικρές απομακρυσμένες γεννήτριες.
- γ) Η πρόκληση από την εξελισσόμενη απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και τη νέα εποχή των αναβαθμισμένων υπηρεσιών.

Τέλος, καθοριστική είναι η συνεισφορά των ηλεκτρονικών ισχύος στην ανάπτυξη των συσκευών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Πρόκειται για συσκευές που αναπτύχθηκαν την τελευταία δεκαετία, με αποθηκευτική ικανότητα μερικών δεκάδων MJ, που μπορούν για μερικές εκατοντάδες ms να τροφοδοτήσουν φορτία ισχύος μερικών MW και αξιοποιούνται στα FACTS και τα FDS. Από την ενέργεια αυτών των συσκευών τροφοδοτούνται ευαίσθητα ηλεκτρικά φορτία κατά τη διάρκεια βραχυχρόνιων (μερικών εκατο-

ντάδων ms) διακοπών της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος, αλλά και για την εξάλειψη ποικίλων διαταραχών τάσης. Η αποθήκευση της ενέργειας γίνεται σε σύγχρονες μπαταρίες, υπερπυκνωτές (super capacitors), υπεραγωγία πηνία (Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)) και σφονδύλους με υπεραγωγίμη έδραση.

1.2 ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΑ FACTS

Η δημιουργία αποδοτικότερων δικτύων μεταφοράς δεν επιτυγχάνεται με την απλή εφαρμογή ενός συγκεκριμένου ελεγκτή, αλλά είναι το αποτέλεσμα της συλλογικής δράσης πολλών ελεγκτών, τοποθετημένων σε διάφορα σημεία του δικτύου για να ελέγχουν τις μεταβλητές που καθορίζουν τη ροή ισχύος στις γραμμές. Για το λόγο αυτό στο τελικό στάδιο ανάπτυξης των αποδοτικότερων δικτύων ο κεντρικός έλεγχος και συντονισμός όλων των ελεγκτών είναι απαραίτητος για να επιτύχουμε το βέλτιστο αποτέλεσμα. Άρα οι δυνατότητες για σύνθετο απομακρυσμένο έλεγχο, που παρέχουν αυτοί οι ελεγκτές, είναι μία χρήσιμη ιδιότητα για το παρόν και το μέλλον. Ταυτόχρονα για την ελαχιστοποίηση του κόστους των ελεγκτών, πολύ συχνά κάποιο τμήμα τους ελέγχεται από μηχανικούς διακόπτες και το υπόλοιπο από ηλεκτρονικούς διακόπτες. Οι μηχανικοί διακόπτες είναι φθηνότεροι αλλά αργοί και στις περισσότερες περιπτώσεις χρειαζόμαστε τη γρήγορη απόκριση των ηλεκτρονικών διακοπών ισχύος για να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Όμως έχει αποδειχτεί σε διάφορες εφαρμογές ότι ο ηλεκτρονικός έλεγχος τμήματος μόνο του ελεγκτή επιτυγχάνει το επιθυμητό αποτέλεσμα, π.χ. ελέγχοντας με θυρίστορ μικρό τμήμα της εν σειρά αντιστάθμισης με πυκνωτές της γραμμής επιτυγχάνεται απόσβεση των ταλαντώσεων ισχύος στη γραμμή (περιλαμβανομένης της αποτροπής υποσύγχρονων συντονισμών). Άρα η συνδυασμένη χρήση μηχανικών και ηλεκτρονικών διακοπών επιτυγχάνει το επιθυμητό αποτέλεσμα με το ελάχιστο κόστος.

Θα συνοψίσουμε τώρα τον τρόπο που δρουν οι γνωστότεροι ελεγκτές:

Η διαδοχική σύνδεση πυκνωτών εν σειρά σε γραμμές μεταφοράς μειώνει την εν σειρά επαγωγική αντίσταση της γραμμής βηματικά. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η μέγιστη ισχύς που μπορεί να μεταφερθεί από τη γραμμή στη μόνιμη κατάσταση, άρα αυξάνεται και το όριο μεταβατικής ευστάθειας και μειώνεται η πτώση τάσης κατά μήκος της γραμμής. Πολύ μικροί χρόνοι σύνδεσης-αποσύνδεσης πυκνωτών επιτυγχάνονται με μεγάλης ισχύος διακόπτες στερεάς κατάστασης, όπως είναι τα θυρίστορ και η συσκευή που προκύπτει ονομάζεται *Πυκνωτής Σειράς Συνδεδεμένος με Θυρίστορ* (Thyristor Switched Series Capacitor (TSSC)). Μία συνεχής μεταβολή (αύξηση ή μείωση) της εν

σειρά επαγωγικής αντίστασης της γραμμής επιτυγχάνεται με τους *Πυκνωτές εν Σειρά Ελεγχόμενους με Θυρίστορ* (Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)), με αποτέλεσμα τη μείωση ή αύξηση της φόρτισης κυματικής αντίστασης (Surge Impedance Loading (SIL)). Μπορεί, επομένως, ο TCSC να τροφοδοτεί (κατά την υπερφόρτιση) ή να απορροφά (κατά την υποφόρτιση) άεργο ισχύ, να βοηθά στην απόσβεση των ταλαντώσεων ισχύος, να ελέγχει τη μεταβατική ευστάθεια, να περιορίζει τους υποσύγχρονους συντονισμούς και εφ' όσον εξασφαλιστούν οι δυνατότητες υπερφόρτισής του να διαχειρίζεται την υπερφόρτιση της γραμμής και να περιορίζει το ρεύμα βραχυκύκλωσης.

Η εγκάρσια χωρητική και επαγωγική αντιστάθμιση, με μόνιμη ή ελεγχόμενη με μηχανικούς διακόπτες σύνδεση, υπήρξε ο αρχικός τρόπος αντιμετώπισης των προβλημάτων αντιστάθμισης της άεργου ισχύος σε συνθήκες υπερφόρτισης ή υποφόρτισης, που εμφανίστηκαν με την αρχική ανάπτυξη των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ). Αργότερα η περαιτέρω ανάπτυξη των ΣΗΕ συνοδεύτηκε από έντονο πρόβλημα ελέγχου της τάσης (συχνές μεγάλες μεταβολές ή ταχύτατες αυξομειώσεις), που οι μηχανικοί διακόπτες δεν μπορούσαν να αντιμετωπίσουν λόγω του περιορισμένου αριθμού ανοιγοκλεισιμάτων που έχουν, της συχνής συντήρησης και του σχετικά αργού χρόνου απόκρισης. Η χρήση στατικών διακοπών με θυρίστορ έλυσε αυτά τα προβλήματα και οδήγησε στην ανάπτυξη των *Στατικών Αντισταθμιστών Var* (Static Var Compensator (SVC)) τη δεκαετία του εξήντα. Ο SVC μπορεί να διατηρεί την τάση εντός των προδιαγραφών στη μόνιμη και δυναμική κατάσταση λειτουργίας του ΣΗΕ και μπορεί μερικώς να συμβάλει στον έλεγχο της ευστάθειας, αλλά δεν μπορεί να ελέγξει τη ροή πραγματικής ισχύος. Η άεργος ισχύς που αποδίδει είναι ίση με το τετράγωνο της τάσης διηρημένη με τη συνολική μιγαδική αντίσταση του SVC, για αυτό μειώνεται δραστικά κατά τη βύθιση της τάσης, τότε δηλαδή που ιδιαίτερα τη χρειαζόμαστε. Ο *Στατικός Σύγχρονος Αντισταθμιστής* (Static Synchronous Compensator (STATCOM)), που είναι η εξελιγμένη μορφή του SVC, παρέχει στο μεγαλύτερο μέρος των χαρακτηριστικών του άεργο ισχύ που είναι ίση με το γινόμενο της τάσης με το ρεύμα. Έτσι όταν βυθίζεται η τάση του, εκμεταλλευόμενος τη δυνατότητα υπερέντασης που έχει, μπορεί να τροφοδοτεί σημαντικό ποσό άεργου ισχύος. Επί πλέον, όταν διαθέτει ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, μπορεί να τροφοδοτεί το σύστημα με πραγματική ισχύ για μικρό χρονικό διάστημα, όπως κάνει ο σύγχρονος αντισταθμιστής, λόγω της αποθηκευμένης ενέργειας που υπάρχει στα στρεφόμενα μέρη του. Ο STATCOM επιτυγχάνει έλεγχο της τάσης σε μόνιμες, μεταβατικές και δυναμικές συνθήκες λειτουργίας, αντιμετωπίζει τις γρήγορες διακυμάνσεις της τάσης, συμβάλει στην απόσβεση των ταλαντώσεων και μπορεί να αποτρέψει τον υποσύγχρονο συντονισμό. Το μειονέκτημά του προς το παρόν είναι ότι η κατασκευή


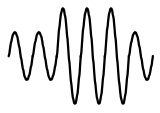


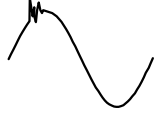



του απαιτεί τη χρήση ηλεκτρονικών διακοπτικών στοιχείων με δυνατότητες ελέγχου του χρόνου σβέσης, που επί του παρόντος δεν συνδυάζουν χειρισμό μεγάλης ισχύος, μεγάλη συχνότητα αναβοσβησίματος (στην περιοχή των ΚHz, ώστε να προσφέρονται για εφαρμογή της μεθόδου *διαμόρφωσης πλάτους παλμών*), μικρές απώλειες και λογικό κόστος. Πολύ σύντομα όμως αναμένεται η ανάπτυξη ηλεκτρονικών στοιχείων ισχύος που θα πληρούν αυτά τα χαρακτηριστικά.

1.3 ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΑ FDS

Όπως καθορίζεται από τα πρότυπα IEC(1000-2-2/4) και CENELEC (EN50160), ως «*Ποιότητα ισχύος (PQ) ορίζεται το φυσικό χαρακτηριστικό του ηλεκτρισμού που παρέχεται στους καταναλωτές κατά το οποίο κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, δεν ενοχλούνται και δε διακόπτονται οι διαδικασίες τους*». Επίσης, μία παροχή ισχύος μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστη, όταν δεν παρουσιάζει διακοπές ή όταν οι διακοπές που παρουσιάζονται είναι ελάχιστες και μικρής διάρκειας. Όπως αναφέρθηκε οι στατικοί ηλεκτρονικοί ελεγκτές εισήχθησαν στα συστήματα διανομής για να μπορούν οι ηλεκτρικές εταιρείες να προσφέρουν αναβαθμισμένης ποιότητας ηλεκτρική ισχύ, σύμφωνα με τις σημερινές απαιτήσεις των ευαίσθητων φορτίων. Με την έννοια της αναβάθμισης υπονοείται η εξουδετέρωση (κατά το δυνατόν) όλων των προβλημάτων, που σχετίζονται με την αξιοπιστία της τροφοδοσίας και την ποιότητα της κυματομορφής και της συχνότητας της τάσης. Η αξιοπιστία της τροφοδοσίας σχετίζεται με τις διακοπές της, μικρής ή μεγάλης διάρκειας, ενώ οι διαταραχές της τάσης/συχνότητας, μαζί με τις πιθανές αιτίες που τις προκαλούν και τις επιπτώσεις τους, παρουσιάζονται στο Πίνακα 1.1.

Η είσοδος στις βιομηχανίες και τις υπηρεσίες της ευαίσθητης στις προαναφερθείσες διαταραχές σύγχρονης τεχνολογίας, τροποποίησε την άποψη των καταναλωτών για την ποιότητα της τροφοδοτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Για τα σημερινά ευαίσθητα φορτία μεγάλη σημασία έχει ο συνολικός αριθμός των διακοπών και η συχνότητα των βυθίσεων τάσης, η διάρκειά τους και το μέγεθος των βυθίσεων τάσης. Π.χ. οι επιπτώσεις από μία ωριαία διακοπή της τροφοδοσίας μέσα σε ένα χρόνο σε μια αυτοματοποιημένη βιομηχανία είναι σχεδόν αμελητέες, αν συγκριθούν με 3600 διακοπές διάρκειας ενός δευτερολέπτου. Δηλαδή η άποψη ότι, όταν το άθροισμα όλων των χρονικών διαστημάτων των διακοπών τροφοδοσίας σε ένα έτος δεν ξεπερνά τις λίγες ώρες, αυτό το χαρακτηριστικό προσδιορίζει μία πολύ αξιόπιστη τροφοδοσία δεν είναι παραδεκτή πλέον. Σημειώνεται ότι μια μελέτη του EPRI (Electric Power Research Institute των ΗΠΑ) απέδειξε ότι πάνω από το 95% των βυθίσεων της τάσης έχουν μέγεθος μικρότερο του 40% της ονομαστικής τάσης και διάρκεια μικρότερη των 180 ms.

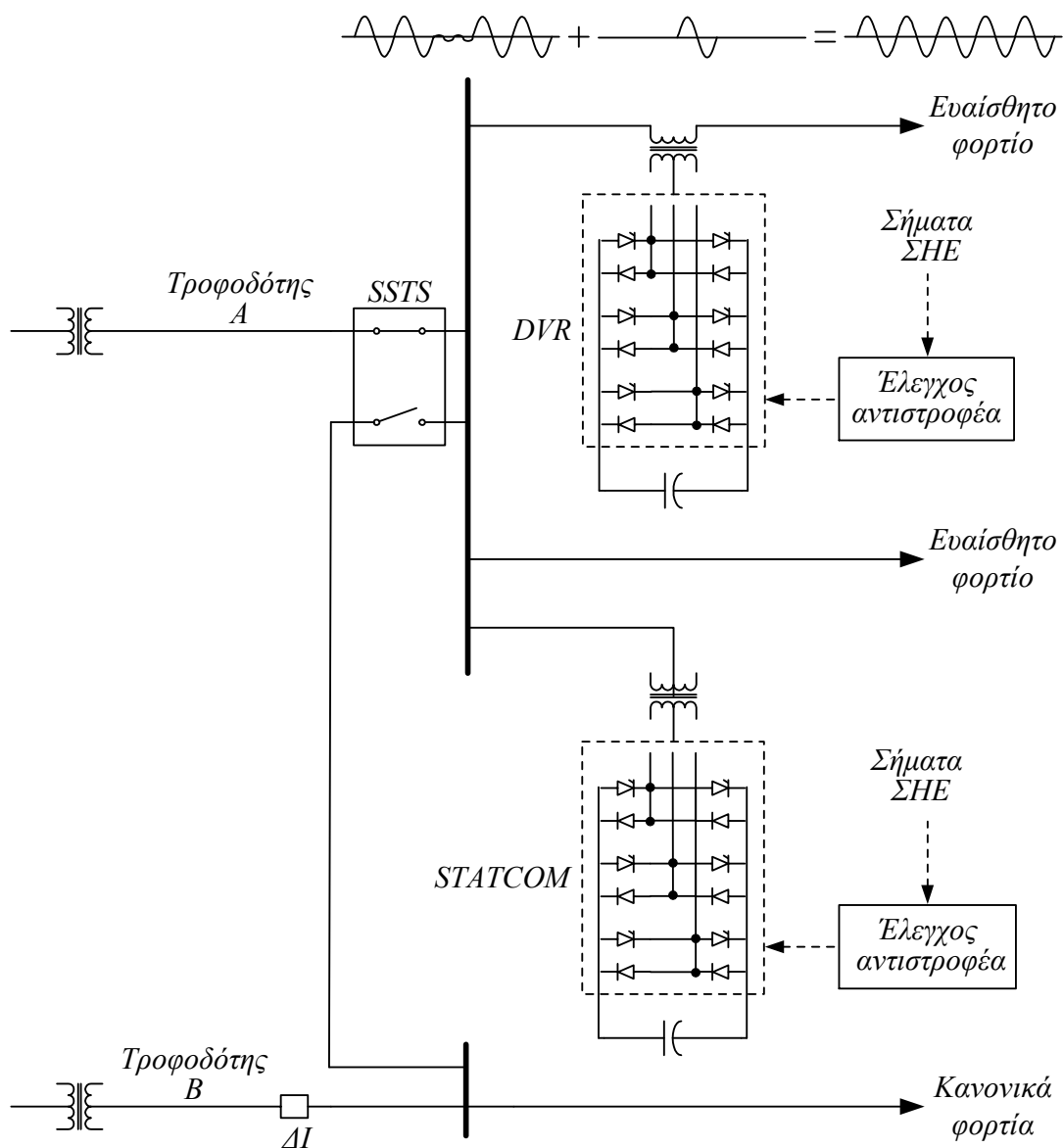
Πίνακας 1.1 Διαταραχές τάσης.

Τύπος διαταραχής		Πιθανές αιτίες πρόκλησης	Επιπτώσεις
Βύθισμα τάσης (Voltage dip or sag)		<ul style="list-style-type: none"> Επιτυχή εκκαθάριση βραχυκυκλωμάτων, που προεκλήθησαν από κεραυνούς, υπερπήδηση μονωτήρων κ.λ.π. Εκκίνηση μεγάλων κινητήρων 	<ul style="list-style-type: none"> Διακοπή λειτουργίας εξοπλισμού, ιδιαίτερα ηλεκτρονικών συσκευών
Υπέρταση (Overvoltage or swell)		<ul style="list-style-type: none"> Βραχυκύκλωμα σε άλλη φάση Πτώση κεραυνού στο δίκτυο Λανθασμένη ρύθμιση σε υποσταθμό (διατηρούμενη υπέρταση) 	<ul style="list-style-type: none"> Πιθανή ζημιά εξοπλισμού με ανεπαρκείς ανοχές σχεδίασης
Παραμόρφωση αρμονικών (Harmonics distorsion)		<ul style="list-style-type: none"> Μη γραμμικά φορτία Συντονισμοί Κορεσμός μετασχηματιστή 	<ul style="list-style-type: none"> Επιπρόσθετη θέρμανση μηχανών Διαταραχή στη λειτουργία ηλεκτρονικού εξοπλισμού
Αναλαμπές ή Διακυμάνσεις τάσης (Flicker or fluctuations)		<ul style="list-style-type: none"> Εκκίνηση μεγάλων κινητήρων Κάμιννοι ηλεκτρικού τόξου Επαναλαμβανόμενα μεγάλα φορτία (π.χ. συγκόλληση ηλεκτρικού τόξου) 	<ul style="list-style-type: none"> Εξασθένηση εξοπλισμού Δυσλειτουργίες
Μεταβατικές υπερτάσεις (Transient overvoltages or impulse)		<ul style="list-style-type: none"> Πτώση κεραυνού Διακοπτική λειτουργία 	<ul style="list-style-type: none"> Διάσπαση μόνωσης Μείωση χρόνου ζωής μετασχηματιστών, κινητήρων, κ.λ.π.
Διακοπή (Interruption or outage)		<ul style="list-style-type: none"> Κοντινά βραχυκυκλώματα Εσφαλμένη διακοπτική λειτουργία Αυτόματη απόρριψη φορτίων 	<ul style="list-style-type: none"> Διακοπή λειτουργίας εξοπλισμού
Ανισορροπία φάσης (Phase unbalance)		<ul style="list-style-type: none"> Μονοφασικά φορτία 	<ul style="list-style-type: none"> Υπερθέρμανση μηχανών
Μεταβολή συχνότητας (Frequency variation)		<ul style="list-style-type: none"> Υπερφόρτιση ή υποφόρτιση του ΣΗΕ 	<ul style="list-style-type: none"> Επίδραση στη λειτουργία όλων των συσκευών, που επηρεάζονται από τη συχνότητα.

Η αντιμετώπιση των διαταραχών της τάσης γίνεται με λογικό κόστος από τον εξοπλισμό για τη δημιουργία των ευέλικτων συστημάτων διανομής (FDS), που είναι μία κεντρική λύση. Παρά το γεγονός ότι σε αυτόν τον εξοπλισμό χρησιμοποιείται η ίδια τεχνολογία με τους ελεγκτές των FACTS, δηλαδή ηλεκτρονικά ισχύος, εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς και έχουν διαφορετική οικονομική αιτιολόγηση. Το μέγεθος ισχύος που διαχειρίζονται τους επιτρέπει τη χρήση σχεδόν όλων των διαθέσιμων διακοπτικών ηλεκτρονικών στοιχείων στερεάς κατάστασης, άρα έχουν δυνατότητες για βέλτιστη σχεδίαση (σε απόδοση και κόστος), ενώ η ανάγκη για κάλυψη του πραγματικού

φορτίου για μικρό χρονικό διάστημα τους επιβάλλει τη χρήση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (υπερπυκνωτές, μπαταρίες, υπεραγωγία πηνία και σφονδύλους υπεραγωγίμης έδρασης).

Στο Σχ. 1.1 παρουσιάζονται οι βασικοί ελεγκτές για τη διασφάλιση των ευαίσθητων φορτίων. Σκοπός των ελεγκτών είναι να εξασφαλίσουν ότι ευαίσθητα φορτία θα αντιλαμβάνονται διακοπές ή διαταραχές της τάσης για χρονικό διάστημα μικρότερο π.χ. του ενός κύκλου (πολύ μικρότεροι χρόνοι επιτυγχάνονται με ορισμένους ελεγκτές). Σημειώνουμε ότι αυτές οι διαταραχές είναι συχνές στα φορτία, επειδή οποιοδήποτε βραχυκύκλωμα και λειτουργία των διακοπών με επανακλείσιμο γίνονται αντιληπτά σε μεγάλη έκταση στο σύστημα διανομής.



Σχ. 1.1 Τοποθέτηση ελεγκτών για τη διασφάλιση ευαίσθητων φορτίων από διακοπές και διαταραχές της τάσης

Ο βασικός εξοπλισμός περιλαμβάνει: 1) Διακόπτη Μεταφοράς Στερεάς Κατάστασης (Solid-State Transfer Switch (SSTS)), 2) το γνωστό μας Στατικό Σύγχρονο Αντισταθμιστή (STATCOM), 3) το Δυναμικό Αποκαταστάτη Τάσης (Dynamic Voltage Restorer (DVR)). Πριν την αναλυτική περιγραφή του SSTS που γίνεται αργότερα, για τους σκοπούς αυτής της παραγράφου ότι χρειάζεται να γνωρίζουμε για αυτόν είναι, ότι μπορεί να αποσυνδέσει ένα βραχυκυκλωμένο τροφοδότη ισχύος (feeder) και να συνδέσει κάποιον άλλον υγιή σε χρόνο 5-10 ms, ενώ η ίδια διαδικασία με μηχανικούς διακόπτες γίνεται σε 2-10 s. Στο Σχ. 1.1, σε κανονικές συνθήκες, ο τροφοδότης A παρέχει ισχύ σε ευαίσθητα φορτία μέσω του SSTS, ενώ ο B σε κανονικά φορτία μέσω ενός μηχανικού Διακόπτη Ισχύος (ΔΙ). Αν συμβεί ένα βραχυκύκλωμα στον A, ο SSTS αποσυνδέει τον A και συνδέει το B στο ζυγό των ευαίσθητων φορτίων σε χρόνο μικρότερο του ενός κύκλου. Η διασφάλιση των ευαίσθητων φορτίων από διαταραχές της τάσης επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ενός STATCOM στο ζυγό τους. Με τη γρήγορη απόκρισή του (μερικά ms) μπορεί να απορροφά ή να τροφοδοτεί άεργο ισχύ, έτσι ώστε να διατηρεί σταθερή την τάση ζυγού και να απορροφά τις αρμονικές, που πιθανόν παράγονται από τα φορτία. Για μικρό χρονικό διάστημα εξαρτώμενο από την αποθηκευμένη ενέργεια που διαθέτει, μπορεί να τροφοδοτεί και την πραγματική ισχύ στα φορτία. Ο DVR εισάγει στην τάση του τροφοδότη το ακριβές ποσό της τάσης, ώστε η τάση στο φορτίο να μην παραμορφώνεται (σε βυθίσματα τάσης και υπερτάσεις). Το κόστος του καθώς και το μέγιστο επίπεδο της τάσης και του ρεύματος φορτίου που μπορεί να αντισταθμίσει εξαρτάται από την ισχύ του και το μέγεθος του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, που επίσης καθορίζει και τη διάρκεια αντιστάθμισης. Έχει παρατηρηθεί ότι ένας DVR με ισχύ 30% του ονομαστικού φορτίου μπορεί να καλύψει περίπου το 95% των διαταραχών.

1.4 ΔΙΚΤΥΑ ΜΕ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Σήμερα η παραγωγή ηλεκτρισμού σε παγκόσμιο επίπεδο βασίζεται κατά 40% σε καύσιμα που προέρχονται από άνθρακα, γεγονός που καθιστά την ηλεκτροπαραγωγή τον μεγαλύτερο και ταχύτερα αυξανόμενο ρυπογόνο τομέα, όσον αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Τα συμβατικά συστήματα παραγωγής ενέργειας αντιμετωπίζουν παγκοσμίως προβλήματα, όπως η σταδιακή εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, η χαμηλή απόδοση (οι απώλειες από τις πρωτογενείς πηγές ενέργειας μέχρι την τελική κατανάλωση φθάνουν περίπου το 80%) και η περιβαλλοντική ρύπανση. Αυτά τα προβλήματα έχουν οδηγήσει στην τάση για παραγωγή ενέργειας τοπικά, σε τάση διανομής, χρησιμοποιώντας ΑΠΕ, όπως αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, κυψέλες καυσίμου, φυσικό αέριο, συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, κ.α. Όπως αναφέραμε, αυτός ο τύπος παραγωγής ενέργειας ονομάζεται

ΔΠ και η ενσωμάτωσή της στα δίκτυα διανομής τα μετατρέπει σε ενεργά δίκτυα διπλής κατεύθυνσης, από παθητικά μονής κατεύθυνσης, που ήταν ο αρχικός τους σχεδιασμός. Στη βιβλιογραφία ορίζονται ως Ενεργά Δίκτυα Διανομής (ΕΔΔ) (Active Distribution Networks (ADN)) αυτά που περιλαμβάνουν επικοινωνίες, αυτοματοποίηση, τον έλεγχο του φορτίου και της παραγωγής, την αποθήκευση ενέργειας και την αξιοποίηση των ηλεκτρονικών ισχύος. Η ευελιξία αυτού του δικτύου διανομής προέρχεται από τον έλεγχο όλων των πόρων και τις επενδύσεις σε συστήματα πληροφορικής και επικοινωνιών.

Επειδή λοιπόν η αρχική σχεδίαση των δικτύων διανομής δεν προέβλεπε τη σύνδεση ΔΠ, η σύνδεση της ΔΠ δημιούργησε νέα, και σε πολλές περιπτώσεις ελκυστικά ερευνητικά προβλήματα. Κάποια κοινά χαρακτηριστικά της ΔΠ είναι τα ακόλουθα:

- 1) Ο σχεδιασμός της εγκατάστασης και της διαχείρισής της δεν γίνεται κεντρικά.
- 2) Είναι συνήθως μικρότερης ισχύος από 50 MW.
- 3) Η ΔΠ συνήθως είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο διανομής με τάση μεταξύ 230/415 V μέχρι 150 kV.

Αν και ο ρυθμός αύξησης της παραγωγής από ΑΠΕ είναι υψηλός, η συνεισφορά τους στο συνολικό ενεργειακό μείγμα είναι ακόμη αρκετά μικρή. Η ηλεκτροπαραγωγή από ανανεώσιμες πηγές, των οποίων η έξοδος είναι μη προβλέψιμη και μεταβαλλόμενη, υπογραμμίζει την ανάγκη για αποθήκευση της ενέργειας και για συντονισμό των διαθέσιμων παραγωγών με τη μεταβαλλόμενη κατανάλωση. Λόγω της μεταβλητότητας των ΑΠΕ η υποστήριξη από το δίκτυο είναι αναπόφευκτη για τη διατήρηση ονομαστικής συχνότητας και τάσης κοντά στις ΔΠ για μεταβαλλόμενο φορτίο. Συνεπώς επιβάλλονται περιορισμοί στο ποσοστό της ΔΠ που μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο (ιδιαίτερα για μη ρυθμιζόμενη (dispatched) ΔΠ). Αν το ποσοστό της ΔΠ ξεπεράσει κάποια όρια θα επηρεαστούν η ευστάθεια, η αξιοπιστία και η ποιότητα ισχύος του συστήματος. Για την αποδοτική ενσωμάτωση της συνεχώς αυξανόμενης παραγωγής των ΑΠΕ, απαιτούνται σημαντικές αλλαγές στη δομή, στον τρόπο λειτουργίας και στη διαχείριση του ηλεκτρικού συστήματος, ώστε να υποστηρίζεται η σύνδεση περισσότερων μονάδων ΔΠ. Η μέχρι σήμερα επικρατούσα πολιτική «συνδέομαι και λειτουργώ» (“plug and play” ή κατά άλλους “fit and forget”) για τη σύνδεση της ΔΠ στο δίκτυο πρέπει να αντικατασταθεί από μία πολιτική ενεργούς διαχείρισης του δικτύου. Σήμερα, για παράδειγμα, αν συμβεί κάποιο σφάλμα στο δίκτυο διανομής, η τοπική ΔΠ αποσυνδέεται, μέχρι να εκκαθαριστεί το σφάλμα (αυτή η λειτουργία ονομάζεται αντι-νησιδοποίηση). Για την καλύτερη εκμετάλλευση του δικτύου, απαιτούνται νέες πολιτικές που έχουν να κάνουν με την πλήρη ενσωμάτωση

της ΔΠ στο δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι η ΔΠ θα παραμένει συνδεδεμένη και θα βοηθά το σύστημα και κατά τη διάρκεια του σφάλματος.

Στην ανάπτυξη των ενεργών δικτύων διανομής οδηγούν παράγοντες, όπως:

- Η απαίτηση των καταναλωτών για αξιόπιστη διανομή υψηλής ποιότητας ισχύος.
- Η τάση για αυξανόμενη ενσωμάτωση ΔΠ με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.
- Μείωση των εκπομπών CO_2 .
- Καλύτερη χρησιμοποίηση και διαχείριση της ενεργειακής χωρητικότητας του δικτύου διανομής.
- Οι μονάδες ΔΠ είναι μικρής ισχύος, βρίσκονται κοντά στα φορτία που εξυπηρετούν και είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες. Αυτό διευκολύνει την τεχνική και οικονομική ευρωστία της εγκατάστασης. Έτσι είναι πιο εύκολο να μειωθεί ο χρόνος κατασκευής και το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης. Επίσης μειώνονται οι απώλειες στη μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η ΔΠ, αυτόνομη ή διασυνδεδεμένη, βοηθά στην ενίσχυση της παραγωγής με αποτέλεσμα τη συνολική βελτίωση της ποιότητας ισχύος και της αξιοπιστίας.

Μερικά από τα βασικά θέματα που χρειάζονται διερεύνηση και σχετίζονται με την είσοδο της ΔΠ στα δίκτυα είναι:

- Περιορισμοί στα ρεύματα μόνιμης κατάστασης και βραχυκυκλώματος.
- Ποιότητα ισχύος.
- Προφίλ τάσης, άεργος ισχύς και έλεγχος τάσης.
- Συνεισφορά της ΔΠ στις βοηθητικές υπηρεσίες (ancillary services).
- Ευστάθεια και ικανότητα της ΔΠ στην αντιμετώπιση διαταραχών.
- Θέματα προστασίας.
- Απομονωμένη (islanding) και διασυνδεδεμένη λειτουργία της ΔΠ.
- Ασφάλεια συστήματος, κ.λ.π.

Η συνολική απόκριση ενός δικτύου διανομής με συνδεδεμένο σημαντικό ποσοστό ΔΠ μπορεί να βελτιστοποιηθεί, αν ο Διαχειριστής του Συστήματος Διανομής (ΔΣΔ) θεωρήσει τη ΔΠ ως μία επιπλέον παράμετρο ελέγχου στο προγραμματισμό της λειτουργίας του συστήματος. Για να γίνει αυτό χρειάζεται ένα επικοινωνιακό σύστημα μεταξύ του φορτίου - κέντρου διαχείρισης – ΔΠ. Όταν δεν υπάρχει αυτός ο έλεγχος, ο ΔΣΔ δεν μπορεί να διακόψει τη λειτουργία της ΔΠ ή να ελέγξει την ισχύ εξόδου της (πραγματική και/ή άεργο). Η Τεχνολογία Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) (Information & Communication Technology (ICT)) παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης

και ελέγχου των συσκευών του δικτύου, ελέγχου της ΔΠ και παροχής καλύτερων υπηρεσιών στους καταναλωτές. Αυτό γίνεται επειδή μετατρέπει τη ΔΠ σε αποδοτική μέθοδο παροχής ισχύος και αποτροπής απωλειών ευστάθειας, αξιοπιστίας και ποιότητας ισχύος.

1.5 ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

Ένα σημαντικό όφελος από τη σύνδεση της ΔΠ στη διανομή (Μέση ή Χαμηλή Τάση (MT ή XT)) είναι η αύξηση της ποιότητας τροφοδοσίας, της αξιοπιστίας και της ασφάλειας. Όμως για να απολαμβάνουμε ποιοτική ενέργεια από τις ΑΠΕ, τα ενεργά δίκτυα διανομής οφείλουν να ενσωματώσουν τεχνολογίες του μέλλοντος στα δίκτυα και ένα παράδειγμα δραστηκής αλλαγής από τη φιλοσοφία του κεντρικού ελέγχου σε ένα κατανεμημένο έλεγχο είναι η λειτουργία των μικροδίκτυων (micro grids). Αυτά μπορούν να λειτουργούν χωρίς αυτονομία, όταν είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο, ή αυτόνομα όταν είναι αποσυνδεδεμένα από το δίκτυο. Όμως για την εξασφάλιση μίας ευσταθούς και ασφαλούς λειτουργίας των μικροδίκτυων απαιτείται σημαντική έρευνα, ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών, καθώς και υποδομή πληροφορικής και επικοινωνιών. Μακροπρόθεσμα όμως αποδεικνύεται ότι εξασφαλίζουν σημαντικά ωφέλει σε σύγκριση με την παραδοσιακή πολιτική έλεγχου.

Τα μικροδίκτυα είναι μικρής κλίμακας, χαμηλής τάσης, συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (Combined Heat and Power (CHP)) δίκτυα τροφοδοσίας, τα οποία είναι σχεδιασμένα να τροφοδοτούν ηλεκτρικά και θερμικά φορτία μίας μικρής κοινότητας. Το μικροδίκτυο είναι ουσιαστικά ένα ενεργό δίκτυο διανομής, γιατί αποτελείται από ΔΠ και διάφορα φορτία σε τάση διανομής. Οι γεννήτριες ή μικροπαραγωγές είναι ΑΠΕ συγχρονισμένες μεταξύ τους για να παράγουν ενέργεια σε τάση διανομής. Όλες οι μικροπαραγωγές είναι εφοδιασμένες με ηλεκτρονικά ισχύος και έλεγχο, ώστε να λειτουργούν σαν ένα ενιαίο σύστημα και να διατηρούν συγκεκριμένη ποιότητα ισχύος και ενέργεια εξόδου. Με αυτά τα χαρακτηριστικά, το μικροδίκτυο αντιμετωπίζεται από το κύριο σύστημα ως μία ενιαία ελεγχόμενη μονάδα, που πληροί τις τοπικές ενεργειακές ανάγκες με αξιοπιστία και ασφάλεια. Οι βασικές διαφορές ανάμεσα σε ένα μικροδίκτυο και ένα συμβατικό σταθμό παραγωγής ενέργειας είναι:

1. Οι μικροπαραγωγές είναι πολύ μικρότερης ισχύος (<100 kW) σε σχέση με τις γεννήτριες στους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας.
2. Η ενέργεια που παράγεται από τις μικροπαραγωγές μπορεί να τροφοδοτηθεί στη διανομή απευθείας, εφόσον είναι σε τάση διανομής.
3. Οι μικροπαραγωγές εγκαθίστανται συνήθως κοντά στους καταναλωτές, ώστε τα ηλεκτρικά και θερμικά φορτία να εξυπηρετούνται με προφίλ τάσης και συχνότητας ικανοποιητικά και αμελητέες απώλειες γραμμής.

Αυτά τα χαρακτηριστικά του μικροδίκτυου το καθιστούν ιδανικό για παροχή ενέργειας σε απομακρυσμένες περιοχές, όταν για διάφορους λόγους είναι δύσκολη η παροχή ενέργειας από το κεντρικό δίκτυο. Με το μικροδίκτυο οι καταναλωτές καλύπτουν αδιάλειπτα τις ανάγκες τους σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια, με αυξημένη τοπική αξιοπιστία, ελαττωμένες απώλειες τροφοδοσίας, υποστήριξη της τοπικής τάσης και αυξημένη απόδοση από την αξιοποίηση της αποβαλλόμενης θερμότητας.

Όπως αναφέραμε το μικροδίκτυο λειτουργεί είτε διασυνδεδεμένα είτε αυτόνομα από το δίκτυο διανομής. Κατά τη διασυνδεδεμένη λειτουργία το μικροδίκτυο ανταλλάσει ισχύ με το κύριο δίκτυο. Σε περίπτωση οποιασδήποτε διαταραχής στο κύριο δίκτυο, το μικροδίκτυο αλλάζει τη λειτουργία του σε αυτόνομη και τροφοδοτεί τα φορτία μεγαλύτερης προτεραιότητας, ανάλογα με τις δυνατότητες παροχής ισχύος που έχει. Η λειτουργία και διαχείριση του μικροδίκτυου στις δύο καταστάσεις λειτουργίας ελέγχεται και συντονίζεται μέσω τοπικών ελεγκτών στις μικροπαραγωγές (Microsource Controller (MC)) και μέσω του κεντρικού ελεγκτή (Central Controller (CC)). Οι βασικές λειτουργίες των MC και CC είναι:

1) Microsource Controller-MC: Η κύρια λειτουργία του MC είναι ο ανεξάρτητος έλεγχος (χωρίς επικοινωνία με τον CC) της ροής ισχύος και της τάσης στα φορτία κατά τις μεταβολές τους ή σε διαταραχές. Ο MC επίσης συμμετέχει στον προγραμματισμό οικονομικής λειτουργίας και στον έλεγχο των συσκευών αποθήκευσης ενέργειας, που ανταποκρίνονται στην απόκριση του φορτίου (Demand Response(DR)). Επίσης ο MC εξασφαλίζει την κατάλληλη παραγωγή σε κάθε μικροπαραγωγή για να ανταποκρίνεται στο φορτίο που της αναλογεί σε απομονωμένη λειτουργία και αυτόματα την επαναφέρει στη διασυνδεδεμένη λειτουργία, όταν οι συνθήκες το επιτρέψουν. Ο MC πρέπει να ανταποκρίνεται γρήγορα στις τιμές των ρευμάτων και τάσεων, άσχετα με τα δεδομένα από γειτονικούς MC. Έτσι οι μικροπαραγωγές μπορούν να συνδέονται και να λειτουργούν (plug and play) σε οποιαδήποτε θέση του μικροδίκτυου, χωρίς να επηρεάζουν τον έλεγχο και την προστασία των υπόλοιπων μικροπαραγωγών. Τέλος, ο MC μπορεί να παρακάμψει τις οδηγίες από τον CC, όταν κρίνονται επικίνδυνες για τη λειτουργία της μικροπαραγωγής.

2) CentralController-CC: Έχει το συνολικό έλεγχο της λειτουργίας και της προστασίας του μικροδίκτυου μέσω των MCs. Στόχοι του είναι: i) η διατήρηση της τάσης και της συχνότητας του μικροδίκτυου, μέσω τεχνικών ελέγχου της τάσης και του βρόχου P-f, ii) η εξασφάλιση ενεργειακής βελτιστοποίησης για το μικροδίκτυο. Δύο βασικές λειτουργίες του CC είναι ο καθορισμός των σημείων λειτουργίας για ισχύ και τάση σε κάθε MC (Energy Management Module (EMM)) και ο συντονισμός των συστημάτων προστασίας (Protection Co-ordination Module (PCM)).

Τα κύρια πλεονεκτήματα που οδηγούν στην ανάπτυξη των μικροδίκτυων είναι:

- 1) Μικρότερη περιβαλλοντική επίδραση, λόγω μειωμένων εκπομπών αερίων και σωματιδίων.
- 2) Η μείωση της απόστασης μεταξύ των φορτίων και των μικροπαραγωγών που οδηγεί σε:
 - Βελτίωση του προφίλ της τάσης, λόγω καλύτερης στήριξης από την άεργο ισχύ.
 - Μείωση των απωλειών σε μεταφορά και διανομή.
 - Μείωση επενδύσεων για επέκταση των συστημάτων παραγωγής και μεταφοράς.
 - Μείωση της συμφόρησης ισχύος στη μεταφορά και διανομή.
- 3) Βελτίωση της ποιότητας ισχύος και της αξιοπιστίας, μέσω:
 - Αποκέντρωσης της παραγωγής.
 - Καλύτερης αντιστοίχισης παροχής και ζήτησης ενέργειας.
 - Μείωση των επιπτώσεων από τις μεγάλες διακοπές λειτουργίας στη μεταφορά και την παραγωγή.
 - Μείωση του χρόνου διακοπών και βελτίωση του χρόνου επανεκκίνησης της παραγωγής με χρήση της ισχύος των μικροπαραγωγών.
- 4) Εξοικονόμηση χρημάτων μέσω:
 - Χρησιμοποίησης της αποβαλλόμενης θερμότητας όταν λειτουργούν CHP μονάδες, που λόγω της μικρής απόστασης μεταξύ φορτίου και παραγωγής δεν χρειάζονται σημαντικές υποδομές για τη μεταφορά της θερμότητας και επιτυγχάνουν απόδοση 80% σε σύγκριση με το 40% των συμβατικών συστημάτων.
 - Ενσωμάτωσης πολλών μικροπαραγωγών, ώστε να αυξηθεί η τοπική παραγωγή και να μειωθεί το κόστος απωλειών διανομής και μεταφοράς.
- 5) Κέρδη από τη συμμετοχή στην αγορά ενέργειας:
 - Μείωση της πίεσης που ασκούν οι εταιρείες παραγωγής ενέργειας.
 - Τα μικροδίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παροχή βοηθητικών υπηρεσιών.
 - Η ευρεία εφαρμογή μικροπαραγωγών με σύνδεση και άμεση λειτουργία (plug and play) μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της τιμής της ενέργειας στην αγορά.
 - Το κατάλληλο οικονομικό ισοζύγιο ανάμεσα σε επενδύσεις για το δίκτυο και τη χρησιμοποίηση μονάδων καταναλωμένης παραγωγής είναι πιθανό να οδηγήσει σε μείωση της τιμής της ενέργειας των καταναλωτών.

Όμως η ανάπτυξη των μικροδίκτυων έχει και μειονεκτήματα:

- 1) Υψηλά κόστη των μονάδων ΔΠ.
- 2) Τεχνικές δυσκολίες από την απειρία ελέγχου μεγάλου αριθμού μικροπαραγωγών.
- 3) Έλλειψη προτύπων αναφορικά με τη λειτουργία και την προστασία των μικροδίκτυων.
- 4) Νομικά και διαχειριστικά ζητήματα, λόγω έλλειψης νομοθεσίας και κανονισμών σχετικά με τη λειτουργία των μικροδίκτυων.
- 5) Θέματα της αγοράς ενέργειας, όπως ρύθμιση της τιμής της ενέργειας που παρέχει το μικροδίκτυο κατά την αυτόνομη λειτουργία του.

Οι νέες απαιτήσεις των ΣΗΕ μπορούν να ικανοποιηθούν με τη μετατροπή σε έξυπνα δίκτυα (smart grid) των ήδη υπαρχόντων δικτύων, τα οποία αναπτύχθηκαν πολλές δεκαετίες πριν και εμφανίζουν σημάδια παλαιώσης. Οι εφαρμογές και εμπειρίες του μικροδίκτυου μπορούν να βοηθήσουν σε αυτό το μετασχηματισμό. Κατά το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (International Energy Agency (IEA)) ορίζεται ως «έξυπνο δίκτυο ένα ηλεκτρικό δίκτυο που χρησιμοποιεί ψηφιακές και άλλες προηγμένες τεχνολογίες για να παρακολουθεί και να διαχειρίζεται τη μεταφορά ενέργειας από όλες τις πηγές παραγωγής, ώστε να ικανοποιεί τα μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά φορτία των καταναλωτών. Τα έξυπνα δίκτυα συντονίζουν τις ανάγκες και τις δυνατότητες όλων των γεννητριών, τους χειριστές του δικτύου, τους καταναλωτές και όλους όσους σχετίζονται με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας για να λειτουργούν όλα τα μέρη του συστήματος όσο γίνεται πιο αποδοτικά, ελαχιστοποιώντας τα κόστη και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ενώ μεγιστοποιεί την αξιοπιστία του συστήματος, την ευελιξία και την ευστάθεια». Ο ορισμός της έννοιας του *έξυπνου δικτύου* διαφέρει σημαντικά από χώρα σε χώρα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, για παράδειγμα, το έξυπνο δίκτυο προσδιορίζεται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: δυνατότητα αυτόματης επιδιόρθωσης (self-healing) μετά από διαταραχές ισχύος, ενεργή συμμετοχή του καταναλωτή στην απόκριση της ζήτησης (demand response), προστασία από φυσικούς και ηλεκτρονικούς κινδύνους, παροχή ποιότητας ισχύος η οποία ανταποκρίνεται στις ανάγκες του 21^{ου} αιώνα, δυνατότητα σύνδεσης με όλα τα πιθανά μέσα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, προώθηση νέων προϊόντων, υπηρεσιών και σχημάτων αγοράς, καθώς και βελτιστοποίηση της αξιοποίησης των πόρων και της λειτουργικής αποδοτικότητας. Στην Ευρώπη, τα έξυπνα δίκτυα περιγράφονται ως ευέλικτα, καθώς μπορούν να ανταποκριθούν στις αλλαγές και τις προκλήσεις και προσπελάσιμα, αφού μπορούν να συνδεθούν σε αυτά ΑΠΕ, αλλά και άλλες πηγές παραγωγής υψηλής απόδοσης, με χαμηλές ή μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον, χαρακτηρίζονται ως αξιόπιστα, καθώς είναι ασφαλή απέναντι σε κινδύνους, ενώ διασφαλίζουν υψηλή ποιότητα παρεχόμενης ισχύος, η οποία συμβαδίζει με την ψηφιακή εποχή. Τέλος, είναι οικονομικά ελκυστικά, λόγω των καινοτομιών που περι-

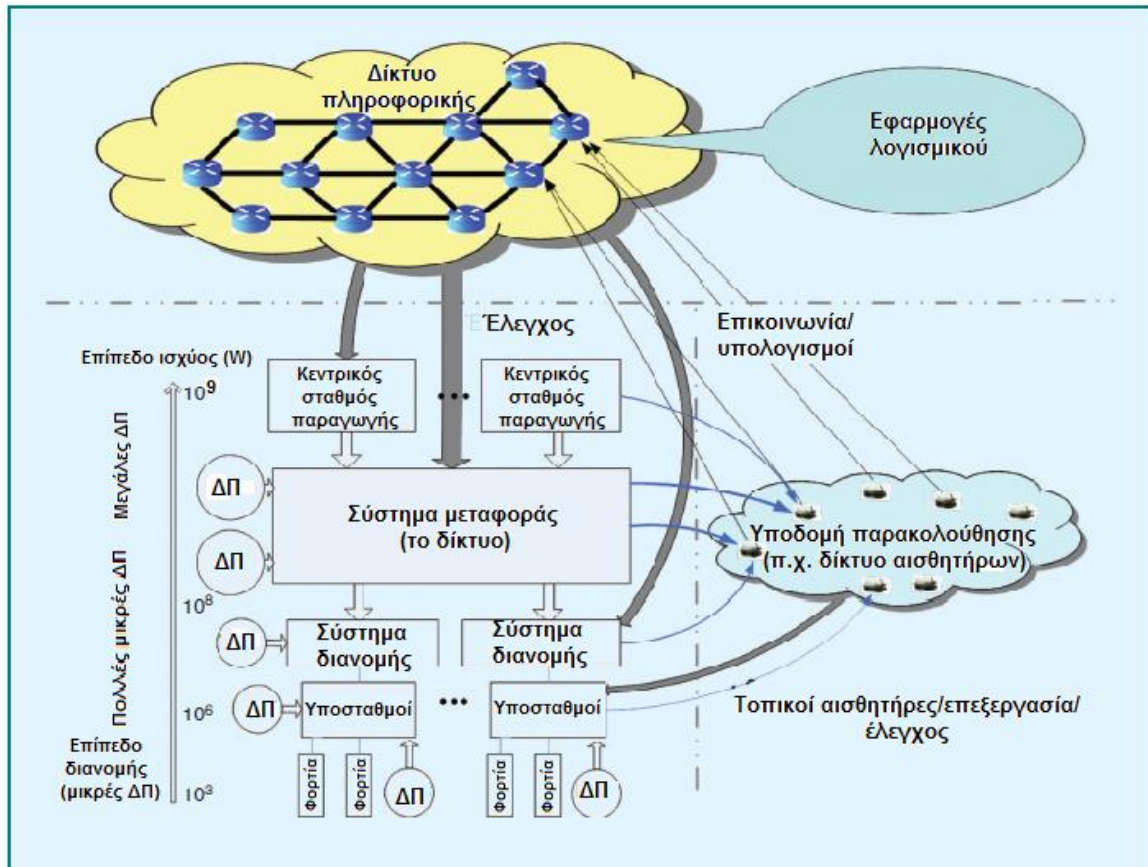
λαμβάνουν, της αποδοτικής διαχείρισης ενέργειας, αλλά και των ισότιμων όρων ανταγωνισμού.

Τα έξυπνα δίκτυα είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ταχύτατη διείσδυση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή και την επακόλουθη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου τις επόμενες δεκαετίες, σε ασφαλή για τον πλανήτη επίπεδα. Αν οι ΑΠΕ είναι πολύ αποκεντρωμένες (όπως είναι τα ηλιακά πάνελ σε σκεπές ή ενσωματωμένα σε οχήματα), ένα δίκτυο με αυτό το πλήθος και την ποικιλία πηγών είναι πολύ διαφορετικό από το σημερινό δίκτυο, το οποίο διασυνδέει μεγάλες κεντρικές μονάδες παραγωγής με τελικούς καταναλωτές. Αυτές οι διαφορές μπορούν να προκαλέσουν φυσικές ανισορροπίες, εξαιτίας των τρόπων με τον οποίο οι μεταβαλλόμενες ΑΠΕ συμμετέχουν ή όχι στις ενεργειακές ανάγκες του δικτύου. Έτσι, η ενσωμάτωσή τους θα μπορούσε να αλλάξει τις απαιτήσεις ρύθμισης της τάσης και της συχνότητας του δικτύου, σε σχέση με την κεντρική παραγωγή ενέργειας. Το έξυπνο δίκτυο μπορεί να βοηθήσει στο ζήτημα της μεταβαλλόμενης παροχής Ανανεώσιμης Ενέργειας, στη ρύθμιση τάσης και συχνότητας, καθώς και στα ζητήματα αποσταθεροποίησης που ανακύπτουν με τις κατανεμημένες ΑΠΕ.

Στα σημερινά δίκτυα ευφυΐα εφαρμόζεται μόνο τοπικά στα συστήματα προστασίας και τα κέντρα ελέγχου ενέργειας. Για να μετασχηματίσουμε τα κλασσικά δίκτυα σε έξυπνα χρειάζονται επεξεργαστές και αισθητήρες σε κάθε συσκευή, υποσταθμό και μονάδα παραγωγής. Κάθε επεξεργαστής πρέπει να συνοδεύεται από ένα στιβαρό λειτουργικό σύστημα, για να εκτιμά τις λειτουργικές συνθήκες κάθε συνιστώσας και ως ανεξάρτητος «πράκτορας», μέσω επικοινωνιακού καναλιού, να επικοινωνεί και να συνεργάζεται με τους υπόλοιπους επεξεργαστές, σχηματίζοντας μία μεγάλη υπολογιστική πλατφόρμα. Οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ευρωπαϊκή Ένωση και η Κίνα δαπανούν ήδη μεγάλα ποσά στην έρευνα για την εξέλιξη των έξυπνων δικτύων. Μία θεωρητική αρχιτεκτονική έξυπνου δικτύου φαίνεται στο Σχ. 1.2.

Μέσα από το μετασχηματισμό των δικτύων σε έξυπνα επιδιώκεται η επίλυση των ακόλουθων τεχνολογικών προβλημάτων:

- Η αύξηση της δυναμικότητας του δικτύου, ελαχιστοποιώντας το κόστος, αλλά και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Η βέλτιστη αξιοποίηση των πόρων του δικτύου, με έλεγχο και διαχείριση της ροής ισχύος.



Σχ. 1.2 Θεωρητική αρχιτεκτονική έξυπνου δικτύου

- Η ελάττωση των απωλειών ισχύος και της ζήτησης αιχμής στα συστήματα μεταφοράς και διανομής, μέσω του ελέγχου της ροής ισχύος.
- Η διασύνδεση των τοπικών και των απομονωμένων ΑΠΕ στο δίκτυο και η διαχείριση της διακοπτόμενης παραγωγής.
- Η ενσωμάτωση μέσω αποθήκευσης ενέργειας, με στόχο τη μείωση της ζητούμενης εγκατεστημένης ισχύος.
- Η ενσωμάτωση κινητών φορτίων (για παράδειγμα ηλεκτρικά οχήματα), τα οποία μειώνουν την πίεση στο δίκτυο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγές, σε ειδικές συνθήκες, για την κάλυψη του φορτίου.
- Ο περιορισμός του κινδύνου γενικής διακοπής (blackout), αλλά και στην περίπτωση που αυτή συμβεί, η ανίχνευση και απομόνωση της διαταραχής, καθώς και η γρήγορη αποκατάσταση του συστήματος.
- Η διαχείριση της ζήτησης, ώστε να μην υπερφορτιστεί το δίκτυο και να βελτιστοποιηθεί η αξιοποίηση των πόρων.

Το έξυπνο δίκτυο είναι, επομένως, μία αναβάθμιση του ηλεκτρικού δικτύου, η οποία χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες επικοινωνιών, αυτοματοποιημένου ελέγχου, αυτοματοποιημένες συσκευές μέτρησης και, γενικότερα, αξιοποιεί την τεχνολογία της πληροφορίας. Συγκεκριμένα, συνδυάζει τη βασική

υποδομή του ενεργειακού συστήματος, την τεχνολογία πληροφοριών και τους κανόνες της αγοράς (τιμολογιακή πολιτική) σε μία ολοκληρωμένη διαδικασία, με σκοπό την καλύτερη παροχή, τον έλεγχο και, γενικότερα, τη διαχείριση της ενέργειας. Ένα έξυπνο δίκτυο επιτρέπει στις συσκευές όλων των επιπέδων να επικοινωνούν με το σύστημα και να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργούν όσο το δυνατόν πιο αποδοτικά. Με τη χρήση έξυπνων συσκευών, οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν το φορτίο τους και να εξοικονομούν ενέργεια. Επιπλέον, προηγμένες επικοινωνιακές δυνατότητες επιτρέπουν την άμεση ενημέρωση για την τιμολόγηση της ενέργειας, για τα κίνητρα μείωσης της ζήτησης και τη μετάδοση σημάτων άμεσης διακοπής φορτίων. Όταν η ισχύς είναι φθηνότερη, ένα έξυπνο δίκτυο θα μπορούσε να ενεργοποιεί συγκεκριμένες οικιακές συσκευές, όπως είναι τα πλυντήρια. Σε ώρες αιχμής θα μπορούσε να κλείνει επιλεγμένες συσκευές, προκειμένου να μειώσει τη ζήτηση.

Τα μελλοντικά δίκτυα διανομής θα έχουν ενεργητικό ρόλο και είναι απαραίτητο να εξασφαλίζουν αμφίδρομη ροή ισχύος. Τα ευρωπαϊκά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούν, πλέον, σε ένα πλαίσιο μοντέλου αγοράς, στο οποίο οι μονάδες παραγωγής διανέμονται σύμφωνα με τις δυνατότητες της κάθε αγοράς και το κέντρο ελέγχου του δικτύου αναλαμβάνει έναν γενικό ρόλο εποπτείας (εξισορρόπηση ροής πραγματικής ισχύος, έλεγχος σταθεροποίησης τάσης, κ.λπ.).

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. T.J.E. Miller, “Reactive power control in electric systems”, J. Wiley & Sons, 1982.
2. C.W. Taylor, “Power System Voltage Stability”, EPRI Power System Engineering series, McGraw-Hill, 1994.
3. N.G. Hingorani, “Flexible AC Transmission”, IEEE Spectrum, April 1993, pp. 40-45.
4. N.G. Hingorani, “Introducing Custom Power”, IEEE Spectrum, June 1995, pp. 41-48.
5. J. Douglas, “Custom Power: Optimizing distribution services”, EPRI Journal, May/June 1996.
6. A. Edris, “FACTS Technology Development: An Update”, IEEE Power Engineering Review, March 2000, pp. 4-9.

7. IEEE FACTS Terms & Definitions TF of the FACTS WG, “Proposed Terms and Definitions for FACTS”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, No. 4, October 1997, pp. 1848-1853.