



---

**Ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε  
δίκτυα διανομής και οι επιπτώσεις της στην ποιότητα  
ισχύος και την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα.**

---

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Μανδάλης Βασίλειος

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η επεξήγηση και η ανάλυση της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στο δίκτυο διανομής και οι επιπτώσεις της στην ποιότητα ισχύος και την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα.

Η ηλιακή και αιολική ενέργεια ανήκουν στις ΑΠΕ, που περιλαμβάνουν και άλλες μορφές πηγών ενέργειας όπως είναι η γεωθερμική και υδροηλεκτρική ενέργεια. Ο σκοπός της εκμετάλλευσης αυτών των πηγών ενέργειας είναι να δώσει ανάσα στο περιβάλλον με τη μείωση των ρύπων καθώς και στους καταναλωτές με τη μείωση του ενεργειακού κόστους. Οι ΑΠΕ έχουν να προσφέρουν πολλαπλά οφέλη ωστόσο συνοδεύονται από τεχνικής φύσεως προβληματισμούς. Το υπάρχον δίκτυο έχει κατασκευαστεί σε άλλη βάση έτσι για να μπορέσει να αποδώσει η χρήση των ΑΠΕ και να είναι αρμονική η συνύπαρξη με τους άλλους τρόπους ηλεκτροπαραγωγής απαιτείται προσεκτική μελέτη. Τεχνικά προβλήματα όπως το φαινόμενο της νησιδοποίησης και η έκχυση αρμονικών αποτελούν σοβαρές δυσκολίες με συνέπειες για το δίκτυο. Στα προβλήματα αυτά υπάρχουν λύσεις που ωστόσο είναι πολυδάπανες και απαιτείται αναβάθμιση του υπάρχοντος δικτύου. Παρά τα προβλήματα όμως η στρόφη στις ΑΠΕ, να παράγεται δηλαδή ενέργεια από καθαρές και ανανεώσιμες πηγές έχει πολλαπλά οφέλη .

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Περίληψη .....                                                           | 2  |
| 1. Εισαγωγή .....                                                        | 5  |
| 1.1 Δομή της Εργασίας .....                                              | 6  |
| 2. Ηλιακή Ενέργεια και Φωτοβολταϊκή (Φ/Β) Τεχνολογία .....               | 8  |
| 2.1. Φωτοβολταϊκά Συστήματα (Φ/Β).....                                   | 9  |
| 2.2. Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκών Στοιχείων .....              | 9  |
| 2.2.1 Μετατροπή Ηλιακής Ενέργειας σε Ηλεκτρική Ενέργεια.....             | 10 |
| 2.3. Η Χρήση Ηλεκτρονικών Ισχύος στα Φ/Β Συστήματα.....                  | 12 |
| 2.3.1. Δομή Ηλεκτρονικών Ισχύος σε Φ/Β Συστήματα .....                   | 15 |
| 2.4. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Στοιχείων .....       | 16 |
| 2.4.1. Πλεονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Στοιχείων.....                        | 16 |
| 2.4.2. Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Στοιχείων .....                       | 16 |
| 2.5. Εφαρμογές Φωτοβολταϊκής Τεχνολογίας .....                           | 17 |
| 3. Αιολική Ενέργεια .....                                                | 19 |
| 3.1 Τι Είναι η Αιολική Ενέργεια.....                                     | 19 |
| 3.2 Αιολική Ενέργεια και Ανεμογεννήτριες.....                            | 20 |
| 3.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας.....              | 23 |
| 4. Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε Δίκτυα Διανομής .....       | 25 |
| 4.1 Χαρακτηριστικά των Δικτύων Διανομής Ηλεκτρισμού .....                | 26 |
| 4.2 Χαρακτηριστικά των ΑΠΕ.....                                          | 29 |
| 4.3 Αποτελέσματα Ερευνών από Ενσωμάτωση ΑΠΕ στο Δίκτυο Διανομής .....    | 31 |
| 4.4 Ενσωμάτωση ΑΠΕ στα «Έξυπνα Δίκτυα» .....                             | 32 |
| 5 Εππτώσεις της στην Ποιότητα και την Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα ..... | 34 |
| 5.1 Εισαγωγή.....                                                        | 34 |

|       |                                                     |    |
|-------|-----------------------------------------------------|----|
| 5.2   | Επιπτώσεις Σύνδεσης των ΑΠΕ στο Δίκτυο .....        | 35 |
| 5.2.1 | Επίπτωση της Τάσης Δικτύου – Εκπομπές Flicker ..... | 36 |
| 5.2.2 | Έγχυση Αρμονικών .....                              | 37 |
| 5.2.3 | Το Φαινόμενο της Νησιδοποίησης .....                | 38 |
| 5.2.4 | Ανύψωση της Τάσης .....                             | 41 |
| 5.2.5 | Ισοζύγιο Ισχύος .....                               | 41 |
| 5.3   | Οικονομική Ανάλυση – Κόστη .....                    | 42 |
| 6.    | Έλεγχος Τάσης και Ποιότητα Ισχύος .....             | 46 |
| 6.1   | Τροφοδοσία και Ποιότητα Ισχύος .....                | 47 |
| 6.2   | Διαχείριση της Ποιότητας της Ισχύος .....           | 49 |
| 7.    | Συμπέρασμα .....                                    | 51 |
| 8     | Βιβλιογραφία .....                                  | 53 |

## 1. Εισαγωγή

Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία της καθημερινότητας του ανθρώπου. Ο άνθρωπος, οι βιομηχανίες, τα καταστήματα, τα νοσοκομεία, τα σχολεία κ.α. βασίζονται στον ηλεκτρισμό. Διαπιστώνει κανείς πως ακόμα και οι πιο βασικές ανάγκες του ανθρώπου βασίζονται στον ηλεκτρισμό και πολλές δραστηριότητες παραλύουν όταν υπάρχει διακοπή της παροχής του ηλεκτρισμού.

Τα τελευταία χρόνια η ανάγκη για ηλεκτρικές συσκευές έχει αυξηθεί εκθετικά και συνεπώς υπάρχει αύξηση στη ζήτηση της ενέργειας. Παράλληλα έχουν αυξηθεί και οι απαιτήσεις για ποιοτική και συνεχή παροχή ενέργειας. Ωστόσο, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν ακολουθεί τους ρυθμούς της ζήτησης και έτσι παρατηρούνται διακοπές της παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας ειδικά στις ώρες αιχμής.

Λόγω των προαναφερθέντων, η αύξηση της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας έχει αυξήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Είναι προφανές πως υπάρχει μέγιστη ανάγκη να μειωθούν οι επιπτώσεις της παγκόσμιας περιβαλλοντικής ρύπανσης. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να μειωθεί η χρήση ορυκτών καυσίμων που απαιτούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και να γίνει στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) όπως είναι για παράδειγμα η ηλιακή και αιολική ενέργεια.

Η ενσωμάτωση λοιπόν ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο διανομής θα μειώσει την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων και συνεπώς θα μειωθεί και η περιβαλλοντική ρύπανση που προκαλείται από την καύση των ορυκτών πόρων. Ωστόσο, οι ΑΠΕ έχουν απρόβλεπτη συμπεριφορά και η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να διακοπεί σε περίπτωση που οι κλιματικές συνθήκες δεν ευνοούν (π.χ. σταμάτημα του ανέμου ή συνεχής βροχόπτωση).

Σύμφωνα με τη ΔΕΔΔΗΕ η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως στόχο μέχρι το έτος (2020) οι ΑΠΕ να συμμετέχουν κατά 20% στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και 27% μέχρι το έτος 2030.

## 1.1 Δομή της Εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η όσο το δυνατόν αναλυτική παρουσίαση της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα δίκτυα διανομής και οι επιπτώσεις της στην ποιότητα και την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη σημαντικότητα της ηλεκτρικής ενέργειας και το πόσο χρήσιμη είναι στην καθημερινότητα της ανθρωπότητας. Τονίζεται επίσης ότι η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας με τη συμβατική μέθοδο έχει επιφέρει τρομακτικά αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον. Λόγω του γεγονότος αυτού, τα κράτη έχουν στραφεί στη διερεύνηση χρήσης «καθαρών» πηγών ενέργειας και στον τρόπο ενσωμάτωσης τους στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ηλιακή ενέργεια και τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτών. Επίσης αναφέρονται και οι εφαρμογές των φωτοβολταϊκών μονάδων.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η αιολική ενέργεια και οι ανεμογεννήτριες, τα χαρακτηριστικά τους όπως και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους καθώς και εφαρμογές της αιολικής ενέργειας.

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στην ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο δίκτυο διανομής, τα χαρακτηριστικά των δικτύων διανομής, τα χαρακτηριστικά των ΑΠΕ όπως επίσης αποτελέσματα διαφόρων ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με την ενσωμάτωση ΑΠΕ στα δίκτυα διανομής.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στις επιπτώσεις της ενσωμάτωσης των ΑΠΕ στα δίκτυα διανομής και γενικά πως επηρεάζεται το δίκτυο, η ισχύς και η τάση. Επίσης γίνεται αναφορά στην πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στους δημόσιους οργανισμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και σε ιδιώτες.

Το έκτο κεφάλαιο αναφέρεται στην ποιότητα του ηλεκτρικού ρεύματος καθώς και την ισχύ μετά την εισαγωγή των έξυπνων δικτύων στο υπάρχον ηλεκτροδοτικό σύστημα. Η εισαγωγή «έξυπνων δικτύων» θα αποτελέσει και αποτελεί ήδη καινοτομία στο χώρο της τεχνολογίας που επιτρέπει τον έλεγχο της κατανάλωσης σε πραγματικούς χρόνους καθώς και την άμεση αντιμετώπιση βλαβών στο δίκτυο.

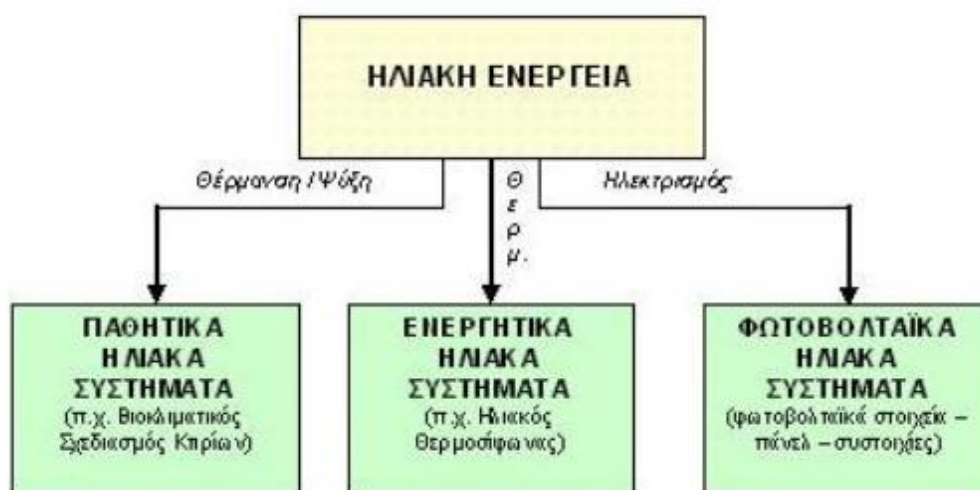
Το έβδομο κεφάλαιο αφορά το συμπέρασμα της παρούσης διπλωματικής εργασίας ενώ το τελευταίο τμήμα αφορά τις βιβλιογραφικές πηγές που ήταν αρωγή για τη συγγραφή της εργασίας.

## 2. Ηλιακή Ενέργεια και Φωτοβολταϊκή (Φ/Β) Τεχνολογία

Η ηλιακή ενέργεια αφορά στο σύνολο όλων των μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον ήλιο απορροφάται από την επιφάνεια της γης. Η σημερινή τεχνολογία αξιοποιεί ένα μικρό ποσό της ηλιακής ενέργειας με τρεις μορφές:

- Ενεργητικά ηλιακά,
- Παθητικά ηλιακά και
- Φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα.

Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει τις τρεις μορφές εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας.



Εικόνα 1: Διάγραμμα κατηγοριοποίησης της ηλιακής ενέργειας (Πηγή: Μπατζιάς, 2008)

Σύμφωνα με τον Κραββαρίτη (2013) η ηλιακή ενέργεια είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας δηλαδή θεωρείται μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα. Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είναι φιλική προς το περιβάλλον αφού έχει μηδενικούς ρύπους σε σύγκριση με τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που συμβάλλουν στην ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Διαπιστώνει κανείς λοιπόν πως η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας με τεχνολογικά μέσα μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην παραγωγή καθαρής



θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στην γη είναι αρκετά υψηλό. Συγκεκριμένα, η ενέργεια που βρίσκεται εγκλωβισμένη στα κοιτάσματα άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου ισούται με την ποσότητα ενέργειας που προκύπτει από 20 μέρες ηλιοφάνειας. Διαπιστώνει κανείς λοιπόν πως η ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται ως τεράστια και είναι σαφώς ανεξάντλητη. Η ενέργεια του ήλιου σε νούμερα είναι περί τα  $1,3\text{kW/m}^2$  και το ένα τρίτο της ενέργειας αυτής αντανakλάται πίσω στο διάστημα εννοώ κάποιο ποσοστό απορροφάται από την ατμόσφαιρα.

Είναι γεγονός πως κατά τις μεσημβρινές ώρες και σε καταστάσεις καθαρού ουρανού, η ισχύς της ηλιακής ενέργειας κυμαίνεται από  $1,3\text{kW/m}^2$  σε  $1,0\text{kW/m}^2$ . Γενικά, κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας της γης δέχεται περί τα  $4,2\text{kWh}$  ηλιακής ενέργειας σε ημερήσια βάση. Επιφάνειες όπως για παράδειγμα είναι οι έρημοι και περιοχές με μεγάλη ξηρασία δέχονται υψηλότερα ποσά ενέργειας της τάξεως των  $6\text{kWh}$ .

### 2.1. Φωτοβολταϊκά Συστήματα (Φ/Β)

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα Φ/Β συστήματα μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια στο διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο. Πολλές υποδομές και δομές χρησιμοποιούν την ενέργεια του ήλιου μέσω των Φ/Β συστημάτων. Παραδείγματα είναι οι δορυφόροι, οι φάροι, τα ρολόγια, τα απομονωμένα σπίτια κ.α. Επίσης, οικόπεδα και χωράφια καθώς και κατοικίες αλλά και βιομηχανικά κτίρια χρησιμοποιούν τα Φ/Β συστήματα και διαχέουν την ηλεκτρική ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Τα Φ/Β συστήματα διακρίνονται σε:

- 1) Αυτόνομα συστήματα όπου η ενέργεια που παράγεται καταναλώνεται επιτόπου και
- 2) Διασυνδεδεμένα συστήματα όπου η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο.

### 2.2. Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

Η απόδοση των Φ/Β συστημάτων εξαρτάται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η ηλιοφάνεια, η γωνία κλίσης, ο τύπος του Φ/Β συστήματος κ.α. Η απόδοση των

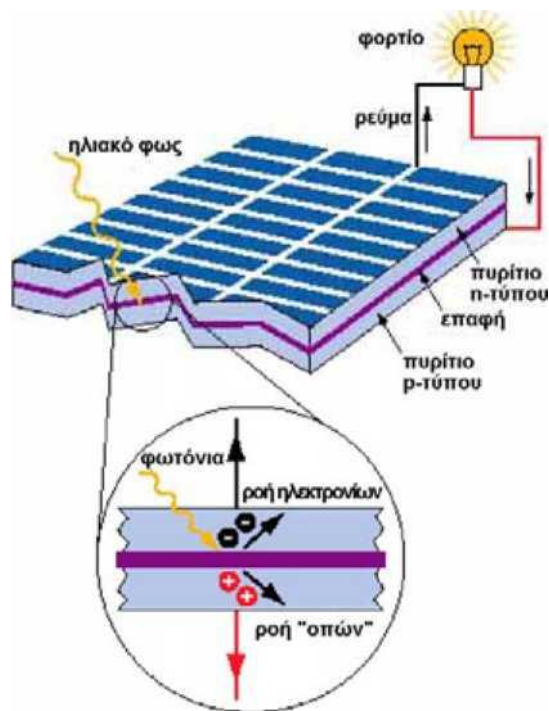
Φ/Β πλαισίων αξιολογείται υπό τυποποιημένες συνθήκες δοκιμής, (Standard Test Conditions, STC) δηλαδή ηλιοφάνεια  $1000 \text{ W/m}^2$  σε μηδενική κλίση, αέρια μάζα  $AM = 1,5$  και  $25^\circ\text{C}$  θερμοκρασία κελιού. Τα βασικά ηλεκτρικά μεγέθη ενός Φ/Β είναι:

- Ονομαστική ισχύς/ισχύς αιχμής –  $P_{mpp}$  (W),
- Απόδοση πλαισίου/efficiency –  $\eta$  (%),
- Τύπος κοννέκτορα,
- Τύπος κελιού,
- Fill factor (%),
- Ονομαστική τάση/Τάση σημείου μέγιστης ισχύος –  $V_{mpp}$  (V),
- Ονομαστικό ρεύμα/Ρεύμα σημείου μέγιστης ισχύος –  $I_{mpp}$  (A),
- Τάση ανοιχτού κυκλώματος –  $V_{oc}$  (V),
- Ρεύμα βραχυκύκλωσης –  $I_{sc}$  (A),
- Θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος –  $Ompp$  [(-)%/ $^\circ\text{C}$ ],
- Θερμοκρασιακός συντελεστής ρεύματος βραχυκύκλωσης –  $Isc$  [(+)%/ $^\circ\text{C}$ ],
- Θερμοκρασιακός συντελεστής τάσεως ανοιχτού κυκλώματος –  $Voc$  [(-)%/ $^\circ\text{C}$ ],
- Ανοχή ακρίβειας μέτρησης  $P_{mpp}$  σε [(+/-)%],
- Μέγιστη τάση συστήματος (V) και
- Μέγιστο ρεύμα επιστροφής (A).

### 2.2.1 Μετατροπή Ηλιακής Ενέργειας σε Ηλεκτρική Ενέργεια

Οι ηλιακές κυψέλες αποτελούνται από δύο τύπους υλικών, συνήθως πυρίτιο p-τύπου και n-τύπου. Σε συγκεκριμένα μήκη κύματος το φως είναι σε θέση να ιονίσει τα άτομα στο πυρίτιο, και το εσωτερικό πεδίο που παράγεται από την επαφή p-n διαχωρίζει μερικά από τα θετικά φορτία ("οπές") από τα αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια) μέσα στη φωτοβολταϊκή συσκευή.

Οι οπές παρασύρονται στο θετικό ή p-στρώμα και τα ηλεκτρόνια στο αρνητικό ή n-στρώμα. Παρότι τα αντίθετα φορτία έλκονται μεταξύ τους, τα περισσότερα από αυτά μπορούν να επανασυνδυαστούν μόνο εάν διέλθουν από ένα κύκλωμα έξωθεν του υλικού, εξαιτίας του εσωτερικού φράγματος δυναμικού. Έτσι, εάν κατασκευαστεί ένα κύκλωμα, όπως αυτό της εικόνας 2, είναι δυνατό να παραχθεί ηλεκτρική ισχύς από τις κυψέλες υπό φωτισμό, αφού τα ελεύθερα ηλεκτρόνια πρέπει να διέλθουν μέσω του φορτίου για τον επανασυνδυασμό τους με τις θετικές οπές.



*Εικόνα 2: Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε μια ηλιακή κυψέλη*

Η ποσότητα της διαθέσιμης ισχύος από μια Φ/Β συσκευή καθορίζεται από:

- τον τύπο και την επιφάνεια του υλικού,
- την ένταση του ηλιακού φωτός (έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία), και
- το μήκος κύματος του ηλιακού φωτός.

Ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από μια ηλιακή κυψέλη προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι γνωστός ως αποδοτικότητα της κυψέλης.

Οι ηλιακές κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου, για παράδειγμα, δεν μπορούν προς το παρόν να μετατρέψουν περισσότερο από 25% της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια, επειδή η ακτινοβολία στην υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος δεν διαθέτει αρκετή ενέργεια για να διαχωρίσει τα θετικά και αρνητικά φορτία στο υλικό. Οι ηλιακές κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν αποδοτικότητα μικρότερη από 20% τη στιγμή αυτή, και οι κυψέλες άμορφου πυριτίου μόνο 10% περίπου, λόγω των μεγαλύτερων εσωτερικών απωλειών ενέργειας από αυτές του μονοκρυσταλλικού πυριτίου

### 2.3. Χρήση Ηλεκτρονικών Ισχύος στα Φ/Β Συστήματα

Η κατανεμημένη ενέργεια, επίσης γνωστή ως περιφερειακή ή αποκεντρωμένη ενέργεια, παράγεται ή αποθηκεύεται από μια ποικιλία συστημάτων συνδεδεμένων με δίκτυο που αναφέρονται ως κατανεμημένοι ενεργειακοί πόροι (DER) ή συστήματα κατανεμημένων ενεργειακών πόρων. Μετατροπείς που αφορούν κλίμακα Megawatt είναι βασικά συστατικά σε εγκαταστάσεις νέας κατανεμημένης παραγωγής (DG), όπως ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά συστήματα και παλιρροιακές γεννήτριες, όπου μετατρέπουν εισόδους μεταβλητής τάσης σε εξόδους σταθερής τάσης για σύνδεση στο δίκτυο.

Αυτό πραγματοποιείται με μετατροπείς ενέργειας και περιλαμβάνουν μετατροπή AC (Alternate Current)-DC (Direct Current), DC-AC, μετατροπή μη ρυθμιζόμενης τάσης DC σε ρυθμιζόμενη τάση DC και μετατροπή πηγής ισχύος AC από ένα πλάτος και συχνότητα σε άλλο πλάτος και συχνότητα, και μερικές φορές με αμφίδρομες δυνατότητες. Τα οφέλη των ηλεκτρονικών συσκευών ισχύος περιλαμβάνουν αυξημένη απόδοση, χαμηλότερο κόστος και μειωμένο μέγεθος συσκευασίας. Η ευελιξία και η αξιοπιστία των ηλεκτρονικών συσκευών σε συνδυασμό με τις εξελίξεις στις τοπολογίες κυκλωμάτων και τα χειριστήρια οδήγησαν σε τεχνολογίες που αντικατέστησαν αυτό που παραδοσιακά έχει γίνει από ηλεκτρομαγνητικά και ηλεκτρομηχανικά συστήματα.

Οι μετατροπείς έχουν τη δυνατότητα να χειρίζονται τη μεταφορά ισχύος από την είσοδο στην έξοδο, ή το αντίστροφο, και αποτελούνται από συσκευές ημιαγωγών ισχύος που λειτουργούν ως διακόπτες, καθώς και παθητικές συσκευές (πηνία και πυκνωτές).

Υπάρχουν διάφορες κατηγοριοποιήσεις για τους μετατροπείς. Οι μετατροπείς δύνανται να ανήκουν σε ένα γενικό δίκτυο ή να είναι και ανεξάρτητοι. Οι μετατροπείς AC-DC και DC-AC αναλύονται παρακάτω.

- Μετατροπέας AC-DC. Αυτός ο μετατροπέας παράγει έξοδο DC από είσοδο AC. Είναι γνωστός και με την ονομασία “Rectifier” και αφορά έναν μετατροπέα πηγής ρεύματος (CSC) ή έναν μετατροπέα πηγής τάσης (VSC). Επιπλέον, στους παραδοσιακούς ανορθωτές που διαθέτουν μεταβλητό πλέγμα, είναι δύσκολο να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις στα πρότυπα IEC και IEEE καθώς και το μέγεθος των PFC είναι

ογκώδες. Σε εφαρμογές χαμηλής τάσης είναι συνηθισμένο να βρίσκεται ένα στάδιο διόρθωσης διόδων με ενεργό PFC με μια συσκευή εναλλαγής στην πλευρά DC και πολλές διαφορετικές στρατηγικές ελέγχου. Ένας ανορθωτής χρησιμοποιείται συνήθως ως κύκλωμα front-end σε πολλές εφαρμογές τελικών χρηστών.

- Μετατροπέας DC-AC. Αυτός ο τύπος μετατροπέα αφορά ένα κύκλωμα που μετατρέπει μια πηγή DC σε μια ημιτονοειδή τάση AC για τροφοδοσία φορτίων AC. Αυτός ο μετατροπέας μπορεί να χρησιμοποιήσει έναν ανορθωτή SCR που λειτουργεί σε λειτουργία αναστροφής ή VSC. Παραδείγματα του πρώτου βρίσκονται συνήθως σε σύγχρονο κινητήρα μεταβλητής ταχύτητας (VSD) ή σε γεννήτρια ανεμογεννητριών, που συχνά ονομάζεται μετατροπέας πηγής ρεύματος (CSI) ή μετασχηματιστής μετατροπής φορτίου (LCI). Παραδείγματα των τελευταίων είναι ο μετατροπέας πηγής τάσης (VSI), όπως η διασύνδεση φωτοβολταϊκών μονάδων στο δίκτυο. Ένα VSC, σε αντίθεση με το CSC, δεν απαιτεί τάσεις AC για τις λειτουργίες μεταγωγής του.
- Μετατροπέας AC-AC. Αυτός ο μετατροπέας χρησιμοποιείται για να αλλάξει τη συχνότητα μιας πηγής εναλλασσόμενου ρεύματος. Οι μετατροπείς που έχουν την ίδια συχνότητα εισόδου και εξόδου θεμελιώδους τάσης ονομάζονται "AC voltage controller" ή "AC regulator". Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν ένα κοινό κύκλωμα φωτισμού τύπου dimmer και έλεγχο ταχύτητας ενός επαγωγικού κινητήρα. Όταν αλλάζουν τόσο το μέγεθος της τάσης όσο και η θεμελιώδης συχνότητα, τα κυκλώματα ονομάζονται «κυκλοτροπείς», η οποία είναι μια κλασική τοπολογία SCR με εναλλαγή δικτύου. Όταν χρησιμοποιούνται πλήρως αυτομετατροπείς διακόπτες, αυτή η κατηγορία κυκλώματος ονομάζεται "Matrix Converter". Ο πιο συνηθισμένος τρόπος επίτευξης μετατροπής AC-AC είναι «έμμεσα» ήτοι χρησιμοποιώντας μετατροπείς AC-DC και DC-AC μέσω ενδιάμεσου συνδέσμου DC. Σε γενικές γραμμές, οι μετατροπείς χαρακτηρίζονται από τα ακόλουθα μειονεκτήματα: περίπλοκη τεχνική που απαιτεί τρεις μετασχηματιστές τριών περιελίξεων και σύνθετη δομή με μεγάλο αριθμό ημιαγωγών ισχύος. Δεδομένου ότι αυτές οι συσκευές παρέχουν πάντα μια

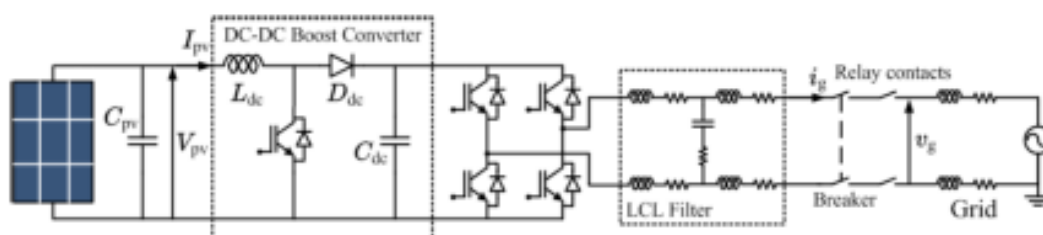
υποσυγχρονισμένη έξοδο συχνότητας, δεν επιτρέπουν την έναρξη συγχρονισμένης ταχύτητας από την ίδια την ηλεκτρονική συσκευή. Απαιτείται σημαντική ποσότητα έργου ισχύος από την τεχνολογία του κυκλωνικού μετατροπέα. Με έναν μετατροπέα μήτρας, εξαλείφεται η ανάγκη για δίαυλο DC, μειώνεται το βάρος και το μέγεθος, βελτιώνεται η αξιοπιστία και μειώνεται η πολυπλοκότητα. Ο μετατροπέας matrix έχει πολλά άλλα πλεονεκτήματα έναντι των μετατροπέων συχνότητας ισχύος έμμεσου τύπου παρέχοντας ημιτονοειδείς κυματομορφές ρεύματος εισόδου και εξόδου, με ελάχιστες αρμονικές υψηλότερης τάξης και χωρίς υπο-αρμονικές.

Οι εφαρμογές των ηλεκτρονικών ισχύος (PE) χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο στις μέρες μας αφού η εξέλιξη της τεχνολογίας επέφερε μείωση του κόστους των εξαρτημάτων που απαιτούνται. Οι εφαρμογές ηλεκτρονικών ισχύος πολλαπλασιάζονται σε βιομηχανικά (αεροδιαστημικά, στρατιωτικά, βοηθητικά και μεταφορικά), εμπορικά και οικιακά συστήματα. Τις τελευταίες δεκαετίες, το PE εμφανίστηκε ως πανταχού παρούσα τεχνολογία, με εφαρμογή σε σχεδόν όλους τους τομείς (Benysek et. al., nd).

Βασικά χαρακτηριστικά για την επιτυχία των εφαρμογών που χρησιμοποιούν συσκευές στερεάς κατάστασης υψηλής ισχύος είναι αυτές με υψηλές τάσεις αποκλεισμού και συχνότητες λειτουργίας (άνω των 5 kHz). Απαιτούνται συσκευές με υψηλή τάση για την απλοποίηση της διαμόρφωσης του συστήματος, των επιπτώσεων στο μέγεθος και την αξιοπιστία, την οποία επιβάλλει μια μεγάλη ποσότητα εξαρτημάτων. Τα εξαρτήματα υψηλής συχνότητας μεταγωγής είναι απαραίτητα για τη διαμόρφωση των κυματομορφών τάσης σε συχνότητες όπου η πυκνότητα κορεσμού ροής μειώνεται σημαντικά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρότεροι μετασχηματιστές. Οι υπάρχουσες συσκευές ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές μεσαίας τάσης έως 6,5 kV περιορίζονται σε μια μέγιστη συχνότητα λειτουργίας αρκετών εκατοντάδων hertz λόγω των υψηλών απωλειών μεταγωγής που συμβαίνουν κατά τη λειτουργία σε αυξημένα επίπεδα συχνότητας. Διατίθενται μονάδες ισχύος SiC με ονομαστική ισχύ έως 3,3kV / 1500A.

### 2.3.1. Δομή Ηλεκτρονικών Ισχύος σε Φ/Β Συστήματα

Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα τοπολογιών μετατροπέα που είναι διαθέσιμα για χρήση μεταξύ μιας πηγής φωτοβολταϊκών και του δικτύου διανομής. Τα κυκλώματα περιλαμβάνουν μηχανισμούς για τη μέγιστη παρακολούθηση σημείου ισχύος DC-DC μετατροπέα, καθώς και ένα σύστημα μετατροπής DC-AC. Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει ένα τυπικό διάγραμμα μονοφασικού φωτοβολταϊκού συστήματος.



Εικόνα 4: Τυπική διάταξη μονοφασικού Φ/Β συστήματος (Πηγή: CIRED, 2018)

Όπως κανείς μπορεί να διακρίνει από την εικόνα 4, υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί διακοπών καθώς και άλλα εξαρτήματα. Η συμβατική τεχνολογία μετατροπέα χρησιμοποιεί μια κεντρική τοπολογία, τροφοδοσία από διάφορους φωτοβολταϊκούς πίνακες. Σήμερα, οι κεντρικοί μετατροπείς είναι διαθέσιμοι για ισχύς εξόδου έως και αρκετά MW. Ωστόσο, αυτή η τάση ανάπτυξης προς ολοένα και μεγαλύτερους μετατροπείς αυξάνει το κόστος.

Από την άλλη πλευρά, η τεχνολογία μικρο-μετατροπέα κυκλοφορεί στην αγορά από το 2008. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιεί μια κατακεντρωμένη τοπολογία μετατροπέα, με έναν μετατροπέα που σχετίζεται με κάθε μεμονωμένο φωτοβολταϊκό πάνελ. Μεταξύ αυτών, οι μετατροπείς συμβολοσειράς προσφέρουν τα κύρια πλεονεκτήματα των κεντρικών μετατροπέων, όπως το εύρος τάσης συστήματος DC υψηλής τάσης και την τριφασική έξοδο, διατηρώντας παράλληλα την υψηλή απόδοση και την ευελιξία.

Από πλευράς PQ, η μεθοδολογία ελέγχου που χρησιμοποιείται για τον μετατροπέα DC-DC και τον μετατροπέα έχουν σημαντική επίδραση στην απόδοση του PE. Για παράδειγμα, ο μετατροπέας DC-DC, εάν δεν είναι καλά σχεδιασμένος, μπορεί να επηρεάσει τη διακύμανση της τάσης (τρεμόπαιγμα) στο σημείο της κοινής ζεύξης (PCC) του συστήματος μετατροπέα. Η συχνότητα μεταγωγής του μετατροπέα θα επηρεάσει το αρμονικό φάσμα του ρεύματος που εγχύθηκε. Από πλευράς ελέγχου,

υπάρχουν στρατηγικές για ενεργό αρμονικό μετριασμό, ιδιαίτερα για την αφαίρεση αρμονικών χαμηλής τάξης από τις κυματομορφές που εγχύθηκαν.

## 2.4. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

### 2.4.1. Πλεονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια αξιόπιστη, προσβάσιμη, ελεύθερη και ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, οπότε η γη έχει την ικανότητα να απορροφά μεγάλα ποσά ηλιακής ενέργειας. Σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές Ενεργειακές Πολιτικές, η ηλιακή ενέργεια δεν είναι ρυπογόνος ενέργεια, δεν δημιουργεί αέρια θερμοκηπίου, όπως για παράδειγμα η ενέργεια που βασίζεται στο πετρέλαιο. Η ηλιακή ενέργεια ούτε δημιουργεί απόβλητα που πρέπει να αποθηκεύονται, όπως η πυρηνική ενέργεια.

Το κόστος των Φ/Β έχει μειωθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια παρόλο που η φωτοβολταϊκή βιομηχανία αναπτύσσεται συνεχώς προκειμένου να βελτιώνεται τεχνολογικά. Επίσης, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι αρκετά εύκολη και απλή. Μάλιστα τα Φ/Β συστήματα έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, περίπου 20 χρόνια. Οι ηλιακοί συλλέκτες απαιτούν ελάχιστη συντήρηση πέρα από τον καθορισμένο καθαρισμό. Χωρίς τη μετακίνηση και την αντικατάσταση κινητών εξαρτημάτων, μετά το αρχικό κόστος εγκατάστασης των πάνελ, το κόστος συντήρησης και επισκευής κυμαίνεται σε λογικά πλαίσια (Bello, 2017).

Τα οικιακά συστήματα ηλιακής ενέργειας έχουν επίσης πολύ μικρό αντίκτυπο στο περιβάλλον, σε αντίθεση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια. Η αυξημένη ανταπόκριση στην αυτοκατανάλωση και τη ζήτηση μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο υπέρτασης και να μειώσει τις μεγάλες ποσότητες πλεονασματικής ηλεκτρικής ενέργειας στο τμήμα χαμηλής τάξης του δικτύου. Αυτό με τη σειρά του θα επιτρέψει ακόμη μεγαλύτερη διείσδυση των διακοπτόμενων πηγών ενέργειας.

### 2.4.2. Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

Τα Φ/Β συστήματα και η παραγωγή ηλεκτρισμού μέσω αυτών εξαρτάται άμεσα από τις καιρικές συνθήκες καθώς και τον προσανατολισμό τους. Έτσι ένα Φ/Β σύστημα αδυνατεί να παράγει ενέργεια όταν οι καιρικές συνθήκες δεν το επιτρέπουν.



Παράλληλα, ανάλογα και το γεωγραφικό πλάτος μιας χώρας, η ενέργεια διαφέρει. Έτσι χώρες όπως η Ρωσία και ο Καναδάς που βρίσκονται μακριά από τον Ισημερινό βρίσκονται σε ηλιακό μειονέκτημα (Quick Pros and Cons of Solar PV, 2019).

Η ηλιακή αποτελεσματικότητα καθορίζεται επίσης από την εποχή. Το καλοκαίρι μπορεί να παραχθεί περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια επειδή ο ήλιος έχει κλίση πιο κοντά στη γη. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ο ήλιος έχει μακρύτερη κλίση από τη γη και έτσι δεν παράγεται η ίδια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας.

Εν συνεχεία, το υψηλό αρχικό κόστος που αφορά τα Φ/Β πλαίσια αποτελεί έναν κύριο ανασταλτικό παράγοντα για την τοποθέτηση Φ/Β συστημάτων. Η τιμή ενός Φ/Β συστήματος σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας είναι συγκριτικά υψηλότερη. Κατά συνέπεια, η οικονομική αξία των φωτοβολταϊκών συστημάτων αποτελεί κύριο μειονέκτημα (Quick Pros and Cons of Solar PV, 2019).

Επίσης, για συνεχή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά για συνδέσεις στο δίκτυο, οι Φ/Β συλλέκτες απαιτούν όχι μόνο μετατροπείς, αλλά και μπαταρίες αποθήκευσης, αυξάνοντας έτσι σημαντικά το επενδυτικό κόστος των ηλιακών συλλεκτών.

Τα επίπεδα απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών είναι σχετικά χαμηλά (μεταξύ 14% και 25%) σε σύγκριση με τα επίπεδα απόδοσης άλλων συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παρόλο που τα φωτοβολταϊκά πάνελ δεν έχουν σημαντικό κόστος συντήρησης ή λειτουργίας, είναι εύθραυστα και μπορούν να καταστραφούν σχετικά εύκολα. τα πρόσθετα έξοδα ασφάλισης έχουν επομένως έχει εξαιρετική σημασία για τη διαφύλαξη μιας φωτοβολταϊκής επένδυσης (Quick Pros and Cons of Solar PV, 2019).

## 2.5. Εφαρμογές Φωτοβολταϊκής Τεχνολογίας

Σύμφωνα με τον Χατζηβασιλειάδη (2007), τα Φ/Β συστήματα αποτελούν μια από τις κορυφαίες τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής. Η τεχνολογία αυτή έχει τη δυνατότητα να μετατρέπει απευθείας την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα. Εκτιμάται επίσης ότι κατά τα έτη 2025-2030 τα Φ/Β συστήματα θα είναι μια πολύ σημαντική πηγή ενέργειας η οποία θα είναι ανταγωνιστική σε σχέση με τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες.

Οι Φ/Β εφαρμογές αναπτύσσονται με γοργούς ρυθμούς σε σχέση με τις αντίστοιχες βιομηχανικές δραστηριότητες που παράγουν ηλεκτρισμό. Το έτος 2006 η παραγωγή

Φ/Β συστημάτων σε παγκόσμια κλίμακα έφτασε τα 1470 MWp και τα τελευταία έτη παρουσιάζει ετήσια αύξηση 40%.

Τα Φ/Β συστήματα αφορούν σήμερα δύο μεγάλες κατηγορίες οι οποίες είναι τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα και τα συστήματα που συνδέονται στο δίκτυο της ΔΕΗ. Η πρώτη κατηγορία ήτοι τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα τα οποία αφορούν ηλεκτροδοτήσεις απομακρυσμένων περιοχών και κατοικιών καθώς και σε τηλεπικοινωνίες και βιομηχανικές χρήσεις. Τα αυτόνομα δίκτυα καλύπτουν σχεδόν το 20% της αγοράς των Φ/Β συστημάτων. Το υπόλοιπο 80% αφορά τα Φ/Β συστήματα τα οποία είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο της ΔΕΗ. Σε αυτήν την κατηγορία, ο καταναλωτής καλείται να πληρώσει την τυχόν διαφορά κόστους ήτοι υπάρχει ένα καλά σχεδιασμένο τιμολόγιο αγοράς (feed-in-tariff, FIT) και η διαφοράς κόστους γίνεται με κατανομή σε όλους τους καταναλωτές.

Τα Φ/Β συστήματα έχουν ευρεία εφαρμογή στο αστικό περιβάλλον. Φ/Β συστήματα μπορεί κανείς να διακρίνει στις οροφές κτιρίων καθώς και σε περιβάλλοντα οικόπεδα (π.χ. κήπους). Η χρήση των Φ/Β συστημάτων στις αστικές πόλεις έχει κοινωνικά και οικονομικά οφέλη αλλά και οφέλη στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου με καλύτερη ποιότητα εξυπηρέτησης των καταναλωτών και γι' αυτό υποστηρίζεται σε όλες τις χώρες με κατάλληλη προσαρμογή του οικοδομικού κανονισμού.

Επίσης κανείς μπορεί να διακρίνει Φ/Β συστήματα σε κτίρια, στάδια και αεροδρόμια καθώς και σε εκκλησίες. Στόχος της εφαρμογής των Φ/Β συστημάτων είναι η διείσδυση στο διαδίκτυο της ΔΕΗ με απώτερο σκοπό τη χρήση του ηλεκτρισμού μέσω των «έξυπνων δικτύων».

### 3. Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια αφορά μια ενεργειακή πηγή η οποία μπορεί να παράγει αρκετά μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας με μηδαμινά περιβαλλοντικά προβλήματα σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο παραγωγής ενέργειας (ήτοι καύση ορυκτών καυσίμων).

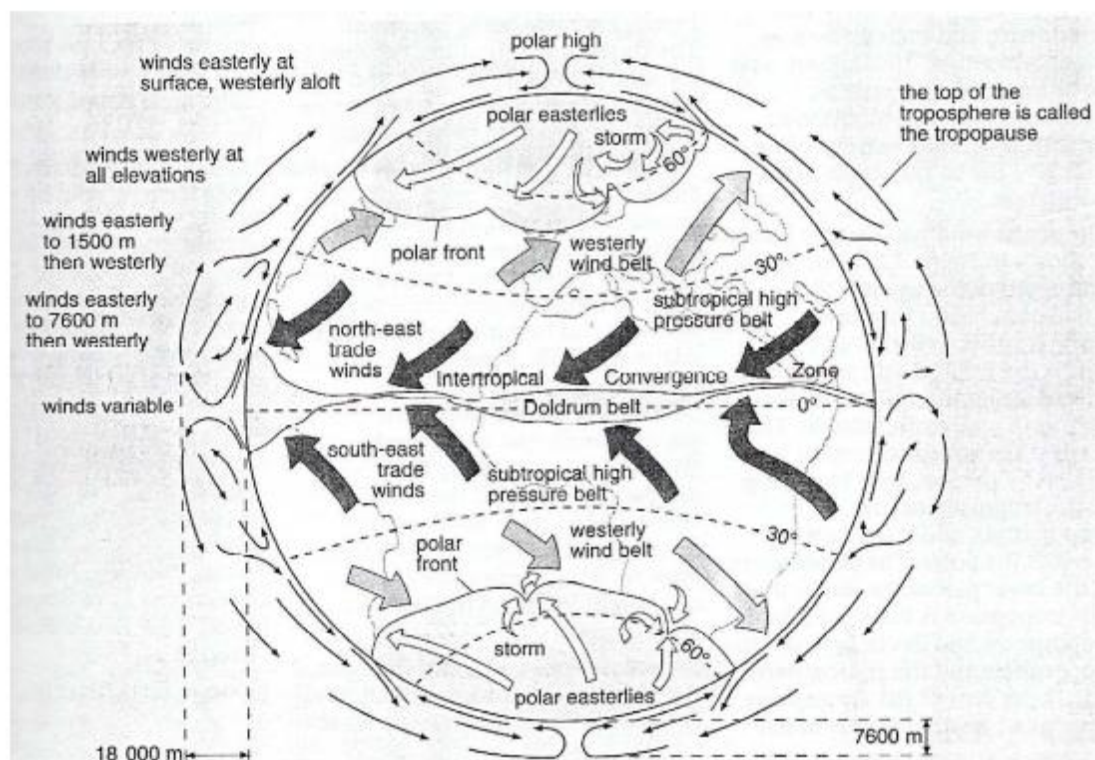
Η χρήση της αιολικής ενέργειας με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας άρχισε να χρησιμοποιείται στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Ωστόσο, περισσότερη έμφαση και μελέτη δόθηκε μετά τη πετρελαϊκή κρίση το 1973 (Ανδρίτσος, χ.η). Ιστορικά, η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται εδώ και χιλιάδες χρόνια όπως για παράδειγμα τα ιστιοφόρα πλοία, την άλεση δημητριακών με τη χρήση ανεμόμυλων αλλά και αρκετές εφαρμογές μηχανικής ενέργειας. Σημαντικό να τονισθεί πως κατά το 17<sup>ο</sup> αιώνα στην Ολλανδία και συγκεκριμένα στο Άμστερνταμ υπήρχαν 700 ανεμόμυλοι ενώ προς το τέλος του 19<sup>ου</sup> αιώνα η Ευρώπη διέθετε περί τα 100,000 αιολικά συστήματα. Σήμερα υπάρχουν πάνω από ένα εκατομμύριο ανεμόμυλοι που χρησιμοποιούνται για την άντληση του νερού, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (σύγχρονοι ανεμόμυλοι) καθώς και άλλες δραστηριότητες. Συγκεκριμένα, οι σύγχρονοι ανεμόμυλοι ήτοι οι ανεμογεννήτριες έχουν τη δυνατότητα να μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρισμό.

Στη χώρα μας, από το έτος 2005 έχουν εγκατασταθεί περισσότερα από 4000MW σε αιολικά πάρκα ωστόσο κυρίως στα νησιά όπως για παράδειγμα Κύθνος, Σαμοθράκη, Χίος, Άνδρο, Κάρπαθο, Σύρο. Επίσης έχουν εγκατασταθεί αιολικά πάρκα στην Εύβοια, τη Θράκη και την Κρήτη.

#### 3.1 Τι Είναι η Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια προέρχεται από τον άνεμο. Παράγεται ουσιαστικά από διαφοροποιήσεις στην ατμοσφαιρική πίεση. Οι διαφορές αυτές οφείλονται στην άνιση θέρμανση της επιφάνειας της γης και της θάλασσας από τον ήλιο (Ανδρίτσος, χ.η) Διαπιστώνεται λοιπόν πως η αιολική ενέργεια είναι μια έμμεση μορφή της ηλιακής ενέργειας και περίπου 2% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης. Όταν ο αέρας θερμαίνεται ειδικά στις τροπικές ζώνες της γης αρχικά ανυψώνεται στην ατμόσφαιρα και έπειτα ακολουθεί πορεία προς τους πόλους. Αυτή η κίνηση επηρεάζει σημαντικά την ατμόσφαιρα όπως και επίσης από την περιστροφή της γης. Η περιστροφή της γης ειδικά κοντά στον ισημερινό

επηρεάζει σημαντικά την κίνηση της ατμόσφαιρας. Επίσης επηρεάζεται από τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της ξηράς (βουνά και πεδιάδες) καθώς και από την θάλασσα. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει απλοποιημένα την κυκλοφορία των ανέμων.



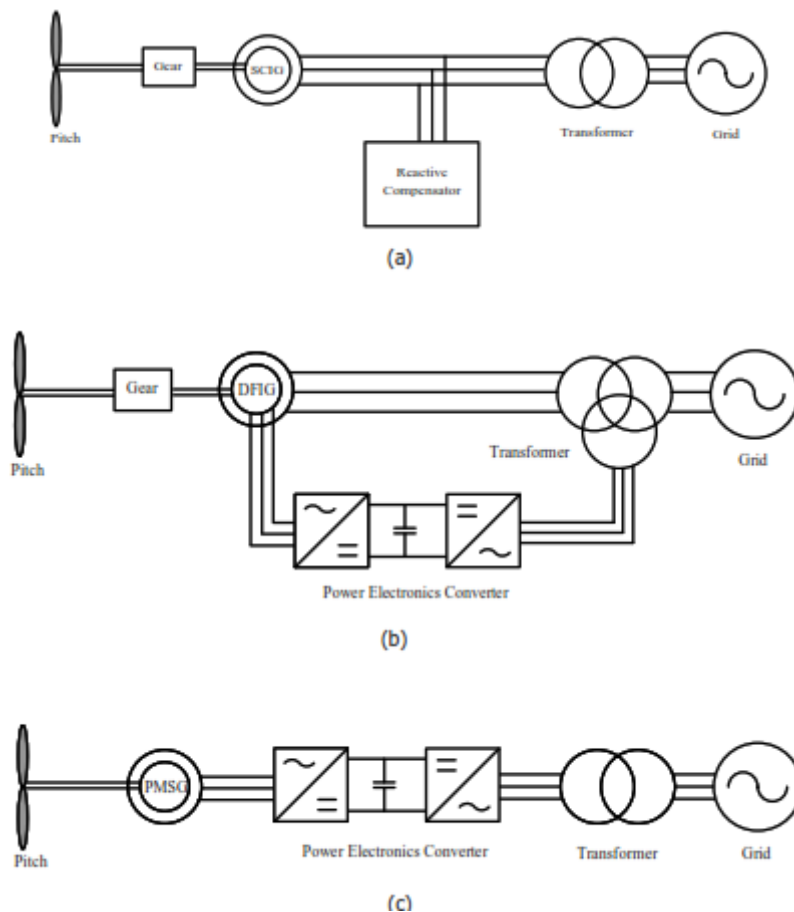
Εικόνα 4: Κυκλοφορία των ανέμων σε απλοποιημένη μορφή (Πηγή: Boyle, 1996)

### 3.2 Αιολική Ενέργεια και Ανεμογεννήτριες

Υπάρχει πληθώρα συσκευών που έχουν κατασκευαστεί με τον πέρασμα των ετών προκειμένου να γίνει εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Οι βασικές κατηγορίες ωστόσο αφορούν τις συσκευές με οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα (Tripanagnostopoulos & Tselepis, 2003). Τα κύρια μέρη μιας ανεμογεννήτριας είτε οριζόντιας είτε κατακόρυφης διάταξης είναι ο δρομέας ή πτερωτή, το σύστημα μεταφοράς, η γεννήτρια, ο πύργος, το σύστημα πέδησης και το σύστημα σύνδεσης, ελέγχου και αποθήκευσης (με συσσωρευτές) (Ανδρίτσος, χ.η).

Η πλειοψηφία των ανεμογεννητριών παράγουν ισχύς από 100 μέχρι 2000kW ωστόσο η τυπική ισχύς κυμαίνεται στα 1000kW έχοντας δρομέα με διάμετρο 60m και ύψος 60-80m.

Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει τα τρία πιο συχνά συστήματα ισχύος που χρησιμοποιούνται στις ανεμογεννήτριες.



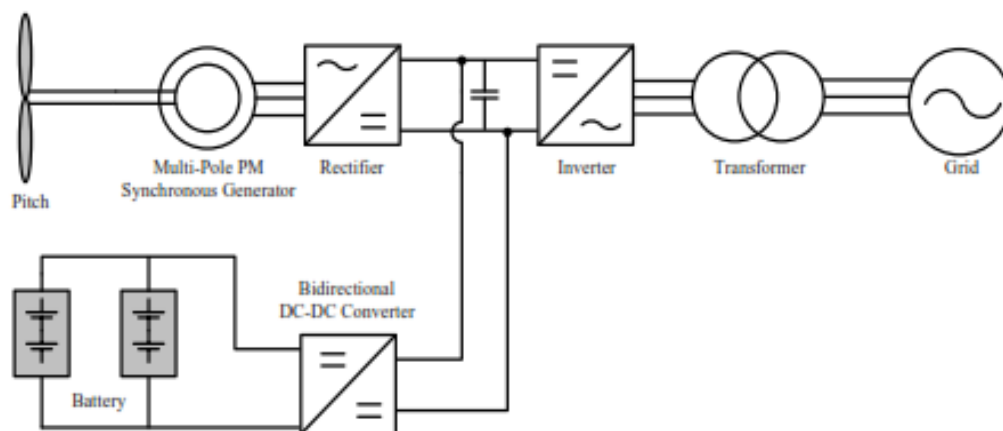
Εικόνα 2: Τυπικές διατάξεις συστημάτων ισχύος σε ανεμογεννήτριες (Πηγή: CIRED, 2018)

Σήμερα, οι ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας χρησιμοποιούνται μόνο για ανεμογεννήτριες χαμηλής ισχύος, επειδή η ενέργεια που συλλέγεται με αυτού του είδους τους στροβίλους είναι πολύ μικρότερη από ό, τι με ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας. Η γρήγορη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου δεν μπορεί να αντισταθμιστεί και θα οδηγήσει σε κυμαινόμενη ισχύ στο δίκτυο. Η ισχύς που τροφοδοτείται από αυτόν τον τύπο στροβίλων μπορεί να ελεγχθεί μόνο με έλεγχο γωνίας λεπίδας, που είναι σχετικά αργή απόκριση.

Σύμφωνα με τους Blaabjerg & Ma (2013) το πιο συνηθισμένο σύστημα που χρησιμοποιείται για ανεμογεννήτριες μεσαίου μεγέθους (περίπου 500 kW έως 2000 kW) είναι η ανεμογεννήτρια μεταβλητής ταχύτητας με βάση το Doubly-Fed Induction Generator (DFIG). Αυτό το σύστημα μπορεί να μεταβάλλει την ταχύτητα του στροβίλου και έτσι να επιτύχει τη βέλτιστη αξιοποίηση της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας. Ο μετατροπέας μπορεί να παρέχει μια ορισμένη ποσότητα άεργου ισχύος, η οποία μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση της ποιότητας ισχύος. Ένα

μειονέκτημα αυτού του συστήματος είναι η περίπλοκη γεννήτρια με δακτυλίους ολίσθησης που απαιτούν συχνή συντήρηση. Αυτό το σύστημα φτάνει κυρίως το όριο ισχύος του λόγω της μειωμένης ονομαστικής ταχύτητας του ρότορα στροβίλου με υψηλότερη ισχύ στροβίλου. Για να διατηρηθεί ο συγχρονισμός με την ονομαστική συχνότητα του δικτύου ισχύος, ο απαιτούμενος λόγος γραναζιών του κιβωτίου μεταφοράς αυξάνεται με την ισχύ, οδηγώντας σε ακριβά κιβώτια ταχυτήτων. Κρίσιμο για αυτό το σύστημα είναι επίσης οι απαντήσεις σε διαταραχές δικτύου, επειδή οι ακροδέκτες της γεννήτριας συνδέονται απευθείας στο δίκτυο και είναι δύσκολο να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις μετάβασης σε αυτό το σύστημα.

Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει ένα σύστημα ανεμογεννήτριας το οποίο είναι συνδεδεμένο με μπαταρία που αποθηκεύει την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Ο μετατροπέας έχει τη δυνατότητα να ελέγχει τη λειτουργία της μπαταρίας. Όπως κανείς μπορεί να διακρίνει υπάρχει και μια ενδιάμεση μπαταρία αποθήκευσης. Η χρήση του συστήματος ενδιάμεσης ενέργειας αποθήκευσης στο σύνδεσμο DC επιτρέπει τον προγραμματισμό εικονικών αδράνειας και τη βελτίωση των δυνατοτήτων μεταφοράς χαμηλής τάσης. Έτσι, το σύστημα ελέγχου του αντιστροφέα από πλευράς πλέγματος αποσυνδέεται από ανορθωτή με τη γεννήτρια. Μαζί με τις λειτουργίες droop για τον μετατροπέα από την πλευρά του πλέγματος, μπορούν να ενσωματωθούν εικονικές αδράνειας. Ως εκ τούτου, οι κατασκευές των ανεμογεννητριών δεν καθορίζονται μόνο από τους τύπους των πηγών πρωτογενούς ενέργειας, αλλά επίσης εξαρτώνται από τις απαιτήσεις φορτίου, τις δομές δικτύου και τα σχετικά σενάρια λειτουργίας.



Εικόνα 3: Τυπική δομή ανεμογεννήτριας συνδεδεμένη με μπαταρία (Πηγή: CIRED, 2018)

Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό πως εκτός από τα άνωθεν συστήματα ισχύος υπάρχουν πολλά ακόμη τα οποία ωστόσο θα αναφερθούν συνοπτικά:

- Συστήματα ισχύος για τουρμπίνες μικρής ισχύος μεταξύ 1500-2500Hz,
- Συστήματα ισχύος για την παραγωγή θερμικής ενέργειας και υδροηλεκτρικής ενέργειας,
- Συστήματα ισχύος για τουρμπίνες αερίου κ.α.

### 3.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας

Η αιολική ενέργεια διαθέτει αρκετά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εκ των οποίων τα πιο κύρια παρατίθεται παρακάτω (Ανδρίτος, χ.η).

Πλεονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας:

- Οι ανεμογεννήτριες δεν εκπέμπουν αέριους ρύπους όπως για παράδειγμα στερεά, υγρά και ραδιενεργά απόβλητα. Διαπιστώνει κανείς λοιπόν πως η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας συμβάλλει θετικά στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου,
- Μειώνεται η εξάρτηση μιας χώρας από την εισαγόμενη συμβατική ενέργεια,
- Η χρήση του νερού κατά την παραγωγή της αιολικής ηλεκτρικής ενέργειας δεν απαιτείται,
- Περιοχές που δεν είναι διασυνδεδεμένες στο ηλεκτρικό δίκτυο, όπως είναι οι απομακρυσμένες και νησιωτικές περιοχές μπορούν να επωφεληθούν από την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας.

Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας:

- Οι ανεμογεννήτριες αν και δεν παράγουν «μεγάλο» θόρυβο κατά τη λειτουργία τους, έχουν καταγραφεί παράπονα για ηχορύπανση από κατοίκους που διαμένουν κοντά στις εγκαταστάσεις αυτών,
- Τα αιολικά πάρκα απαιτούν χρήση γης ωστόσο καταλαμβάνουν λιγότερη γη σε σχέση με τις εγκαταστάσεις συμβατικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας,

- Υπάρχει ηλεκτρομαγνητική επίδραση στο τηλεοπτικό σήμα της περιοχής αλλά και σε άλλα ηλεκτρομαγνητικά σήματα. Η επίδραση εξαρτάται από το υλικό που είναι κατασκευασμένα τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας,
- Αισθητική ρύπανση,
- Διαταραχές στην πανίδα της περιοχής ήτοι επίδραση στα πουλιά που περιλαμβάνει είτε επίδραση στη συμπεριφορά των πτηνών είτε και θάνατο αυτών λόγω σύγκρουσης των πτηνών στα πτερύγια των ανεμογεννητριών,
- Διαλείπουσα λειτουργία



#### 4. Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε Δίκτυα Διανομής

Τα συστήματα ΑΠΕ έχουν εξελιχθεί κατά τις τελευταίες δεκαετίες προκειμένου να προσφέρουν μια αποτελεσματική και οικονομικά αποδοτική διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικού αερίου, θερμότητας και ενεργειακών καυσίμων σε οικιακό επίπεδο και όχι μόνο. Η διείσδυση των ΑΠΕ στα δίκτυα διανομής απαιτεί προσεκτική μελέτη προκειμένου να μη υπάρχουν επιπτώσεις στο δίκτυο. Η πολυπλοκότητα των διαφόρων συστημάτων παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και των αγορών που λειτουργούν σε όλο τον κόσμο έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι ενσωμάτωσης των ΑΠΕ στα δίκτυα διανομής (Sims et al., 2011). Η ευελιξία της ενέργειας σε ηλεκτρική μορφή, η ικανότητα μεταφοράς της σε μεγάλες αποστάσεις (σχεδόν) στιγμιαία και η αναγκαιότητά της κοινωνίας για ανάπτυξη σύγχρονης τεχνολογίας καθώς και η πρόοδος της οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης έχει οδηγήσει σε δραματική αύξηση της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια (IEA, 2010).

Αυτή η αύξηση προβλέπεται να συνεχιστεί σε ένα ευρύ φάσμα σεναρίων, συμπεριλαμβανομένων ορισμένων από αυτά που διατηρούν τις συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου (GHG) στην ατμόσφαιρα κάτω από 450 ppm (parts per million). Η παροχή σύγχρονων ενεργειακών υπηρεσιών αναγνωρίζεται ως κρίσιμο θεμέλιο για την αειφόρο ανάπτυξη. Αυτή η αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, σε συνδυασμό με τη γεωγραφικά διασκορπισμένη φύση πολλών ανανεώσιμων πηγών, καθιστά την ηλεκτρική ενέργεια έναν ελκυστικό ενεργειακό φορέα για την αξιοποίηση των ΑΠΕ όπου υπάρχει επαρκής υποδομή δικτύου (Modi et al, 2005).

Με την ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων και αντλιών θερμότητας, η ηλεκτρική ενέργεια αναλαμβάνει επίσης ένα αυξανόμενο μερίδιο στις αγορές μεταφορών και θερμότητας. Επιπλέον, με την ανάπτυξη οικονομικών και αποτελεσματικών συστημάτων και τεχνολογιών επικοινωνιών καθώς και έξυπνων μετρητών, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας δέχεται ραγδαίες αλλαγές. Η ανάγκη λοιπόν για ηλεκτρική ενέργεια μέσω ΑΠΕ θα πρέπει να ενσωματωθεί στο δίκτυο διανομής.

Αποτελεί γεγονός πως η αστικοποίηση θα συνεχίσει να αυξάνεται και περί το 50% του παγκόσμιου πληθυσμού θα ζουν στις πόλεις ως το 2030 (Sims et al., 2011). Λόγω του γεγονότος αυτού τα κράτη αναπτύσσουν τεχνολογίες προκειμένου να

ενσωματωθούν εναλλακτικές μορφές ενέργειας στα δίκτυα διανομής ώστε να εξυπηρετούνται οι ανάγκες των πολιτών στις πόλεις (MoP, 2006).

#### 4.1 Χαρακτηριστικά των Δικτύων Διανομής Ηλεκτρισμού

Σύμφωνα με τον El-Sharkawi (2009) ο πρώτος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προσέφερε συνεχές ρεύμα (direct current, dc) στους καταναλωτές οι οποίοι κατοικούσαν κοντά στο σταθμό παραγωγής. Ωστόσο, με το πέρασμα των ετών ήρθε το εναλλασσόμενο ρεύμα (alternate current, ac) να αντικαταστήσει το συνεχές.

Το εναλλασσόμενο ρεύμα προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία στη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας στα διάφορα επίπεδα τάσης στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και συνεπώς σήμερα τα περισσότερα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο χρησιμοποιούν το εναλλασσόμενο ρεύμα. Το συνεχές ρεύμα εξακολουθεί να χρησιμοποιείται για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, για τη διασύνδεση συστημάτων εναλλασσόμενου ρεύματος (υποθαλάσσια και υπεράκτια) και σε ορισμένα μικρά οικιακά αυτόνομα συστήματα (Breuer et. al., 2004).

Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στο δίκτυο διανομής θέτει μια σειρά προκλήσεων για τους μελετητές και χειριστές του συστήματος διανομής. Προκειμένου να διευθετηθούν οι προκλήσεις αυτές θα πρέπει να μελετηθούν και να κατανοηθούν τα βασικά χαρακτηριστικά του δικτύου διανομής καθώς και ο τρόπος λειτουργίας του (Bergen and Vittal, 2000). Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (συμπεριλαμβανομένων των απωλειών στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας) ποικίλλει ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Κατά τις νυχτερινές ώρες η ζήτηση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ελάχιστη ενώ κατά τις ώρες και μέρες εργασίας η ζήτηση αυξάνεται στο μέγιστο. Έτσι διαπιστώνει κανείς πως η ζήτηση του ηλεκτρικού ρεύματος προσαρμόζεται ανάλογα τις ώρες, τις ημέρες και την εποχή του χρόνου.

Σημαντικό να τονισθεί πως η ζήτηση του ρεύματος αυξάνεται συνεχώς από έτος σε έτος, έτσι οι γεννήτριες σε ένα δίκτυο διανομής θα πρέπει να αναβαθμίζονται προκειμένου να ταιριάζουν στις απαιτήσεις των καταναλωτών.

Για να διατηρηθεί ένα σύστημα ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος, η στιγμιαία ισχύς που παρέχεται θα πρέπει να ταιριάζει με τη ζήτηση. Έτσι, η ανεπαρκής ισχύς

έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη συχνότητα ενώ η υπερβολική ισχύς οδηγεί σε αυξημένη συχνότητα. Και τα δύο σενάρια αποτελούν απειλή για την ασφάλεια του συστήματος, καθώς οι γεννήτριες, οι διασυνδέσεις και τα φορτία που αποτελούν το σύστημα είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να δέχονται συγκεκριμένη ισχύ (Sims, 2011).

Τα δίκτυα διανομής διαθέτουν γεννήτριες που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια καθώς και μέσα αποθήκευσης και διατήρησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, διαπιστώνει κανείς πως οι γεννήτριες και τα μέσα αποθήκευσης αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των συστημάτων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η γεννήτρια η οποία χρησιμοποιείται ως επί το πλείστο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η σύγχρονη μηχανή, η οποία έχει άμεση σύνδεση με το δίκτυο διανομής και συγχρονίζεται με την ισχύ του συστήματος διανομής (El-Sharkawi, 2009).

Ένα σύστημα διανομής (σύγχρονο) αποτελείται από ένα δίκτυο το οποίο συνδέει γεννήτριες κατάλληλες για τη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Το δίκτυο αυτό δύναται να χωριστεί σε 1) δίκτυο μεταφοράς όπου συνδέονται μεγάλες γεννήτριες για να ικανοποιήσουν υψηλές τάσεις για τη μεταφορά ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις και 2) στο δίκτυο διανομής το οποίο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά ισχύος στους καταναλωτές που απαιτούν χαμηλότερα επίπεδα τάσης και για τη σύνδεση κατανεμημένης παραγωγής. Οι σύγχρονες αυτές μηχανές, έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν το συγχρονισμό μεταξύ τους μέσω δυνάμεων αποκατάστασης που δρουν όποτε υπάρχουν δυνάμεις οι οποίες τείνουν να επιταχύνουν ή να επιβραδύνουν μια ή περισσότερες γεννήτριες σε σχέση με άλλες (Kundur, 2007).

Η αντιστοίχιση της ζήτησης και της προσφοράς (εξισορρόπηση) ανά λεπτό προς λεπτό πραγματοποιείται με τον έλεγχο της παραγωγής. Αυτό είναι γνωστό ως ρύθμιση / φόρτωση. Ωστόσο, απαιτεί μικρές έως μεσαίες διακυμάνσεις στην έξοδο των σταθμών παραγωγής ενέργειας. Συνήθως ελέγχεται αυτόματα ή από έναν κεντρικό διαχειριστή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την παρακολούθηση και τη λειτουργία του εξοπλισμού στο σύστημα μεταφοράς και στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μονάδες αποστολής είναι εκείνες που ελέγχουν την παραγωγή τους μεταξύ ενός ελάχιστου και μέγιστου

επιπέδου. Η έξοδος ορισμένων μονάδων όπως οι ανεμογεννήτριες δεν μπορεί ωστόσο να ελεγχθεί πλήρως. Ακόμα και εδώ, όμως, κάποιο επίπεδο ελέγχου είναι δυνατό μέσω της μείωσης της παραγωγής των μονάδων, αν και τέτοιες στρατηγικές ελέγχου οδηγούν επίσης σε χαμένη παραγωγή (Sims et al., 2011).

Αποτελεί γεγονός πως η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας δεν μπορεί πάντα να καλυφθεί. Υπάρχουν ωστόσο συστήματα μετρήσεων τα οποία θεωρούνται αξιόπιστα αν και τα αποτελέσματα των μετρήσεων που αφορούν τη ζήτηση μπορεί να ποικίλλουν λόγω των διαφορετικών συστημάτων ηλεκτρική ισχύος (Billington and Allen, 1988).

Προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια και αξιοπιστία ενός συστήματος διανομής, τα ηλεκτρικά συστήματα (γεννήτριες, δίκτυο κλπ.) σχεδιάζονται για να λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε να «αντέχουν» σε συγκεκριμένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι απρόβλεπτες καταναλώσεις προκύπτουν από ξαφνική μείωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Πρακτικά αυτό σημαίνει πως η μείωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να οφείλεται σε απώλεια μονάδας παραγωγής ή διακοπή στο δίκτυο για τεχνικούς και μη λόγους. Τα αποθέματα της ενέργειας μεταφέρονται στο διαχειριστή του συστήματος (π.χ. Σταθμός παραγωγής ΔΕΗ) μέσα από γεννήτριες οι οποίες έχουν μειωμένη ισχύ ωστόσο η ισχύς έρχεται σε φυσιολογικά επίπεδα με τη βοήθεια της ίδιας της γεννήτριας.

Τα δίκτυα διανομής είναι σχεδιασμένα με τέτοιον τρόπο ώστε να αντέχουν στις απώλειες της ηλεκτρικής ενέργειας από κάποιο σημείο (για παράδειγμα, βλάβη σε ένα καλώδιο). Ο σχεδιασμός αυτός επιτρέπει να μην υπερφορτώνεται το δίκτυο διανομής και να παραμένει εντός των καθορισμένων ορίων.

Βλάβες που προκύπτουν στα συστήματα διανομής εντοπίζονται και επισκευάζονται σύμφωνα με τα πρότυπα. Η προστασία των συστημάτων διανομής αποτελεί επίσης κρίσιμο παράγοντα προκειμένου να διατηρείται η ακεραιότητα του συστήματος διανομής. Το ίδιο ισχύει και για τις γεννήτριες καθώς και όλα τα παρελκόμενα στοιχεία ενός συστήματος διανομής. Τα σημερινά συστήματα διανομής χρησιμοποιούν προηγμένη τεχνολογία ώστε να εντοπίζονται έγκαιρα τυχόν βλάβες (Sims et al., 1996).

## 4.2 Χαρακτηριστικά των ΑΠΕ

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ εξαρτάται από τη ροή της ενέργειας (ηλιακή, αιολική ενέργεια). Έτσι η παραγωγή ηλεκτρισμού από ανανεώσιμες πηγές καθίσταται μια δύσκολη διεργασία αφού βασίζεται στη φύση (Sims et al., 2011).

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια, η παραγωγή ενέργειας από τη φύση αφορά κυρίως την ηλιακή και την αιολική ενέργεια. Ωστόσο υπάρχουν και άλλες μορφές ΑΠΕ όπως είναι για παράδειγμα η υδροηλεκτρική, η κυματική και γεωθερμική ενέργεια. Η παρούσα διπλωματική εργασία ενασχολείται με τις δύο αυτές μορφές ενέργειας και πως διανέμονται μέσα σε ένα δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τις επιπτώσεις αυτών στο δίκτυο.

Έτσι όπως και προαναφέρθηκε υπάρχει η ηλιακή ενέργεια που παράγεται ηλεκτρισμός με τη χρήση Φ/Β συστημάτων και η αιολική ενέργεια που δύναται να παράγει ηλεκτρισμό με τη χρήση ανεμογεννητριών.

Η ενσωμάτωση των ΑΠΕ σε ένα δίκτυο διανομής είναι μια περίπλοκη διαδικασία και για το λόγο αυτό απαιτείται προσεκτική μελέτη και σχεδιασμός. Επίσης, η τοποθεσία παίζει κυρίαρχο ρόλο αφού ενίοτε οι ΑΠΕ και ο ηλεκτρισμός που παράγεται από αυτές χρειάζεται να «ταξιδεύσουν» αρκετά χιλιόμετρα προκειμένου να εκμεταλλευτούν.

Για παράδειγμα, σε κάποιες περιοχές της Κίνας, οι ανεμογεννήτριες είναι εγκατεστημένες σε περιοχές αρκετά μακριά από τον πληθυσμό και τα αστικά κέντρα. Στη Σκωτία, τα συστήματα εκμετάλλευσης της υδροηλεκτρικής ενέργειας βρίσκονται και εκείνα αρκετές εκατοντάδες μίλια μακριά από τον πληθυσμό που την χρησιμοποιεί (Masters, 2002).

Τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικού ρεύματος διαφέρουν από χώρα σε χώρα οπότε και η σύνδεση ΑΠΕ στο δίκτυο διαφέρει από τόπο σε τόπο. Κάποια δίκτυα διανομής μπορεί να χρειάζονται αναβάθμιση προκειμένου να γίνει η σύνδεση των ΑΠΕ. Η συνδεσιμότητα πηγών ενέργειας όπως είναι η αιολική και ενεργειακή ενέργεια αφορά μια πολύπλοκη διαδικασία και χρήζει ιδιαίτερης προσοχής αφού η συγκεκριμένη συνδεσιμότητα δεν μπορεί να ελεγχθεί πλήρως διότι η παροχή ενέργειας εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες (Sims et al., 2011).

Αρκετές χώρες έχουν ενσωματώσει τις ΑΠΕ στα δίκτυα διανομής με αρκετά μεγάλο ποσοστό επιτυχίας. Για παράδειγμα, χώρες όπως η Ισλανδία, η Νορβηγία, η

Αυστρία, η Νέα Ζηλανδία και ο Καναδάς χρησιμοποιούν τις ΑΠΕ για την παραγωγή ηλεκτρισμού (IEA, 2010).

Τα επίπεδα διείσδυσης των Φ/Β συστημάτων παραμένουν αρκετά χαμηλά παρά την εγκατάσταση αρκετών Φ/Β συστημάτων σε ορισμένες χώρες. Για παράδειγμα, το 2009 στη Γερμανία εγκαταστάθηκαν Φ/Β χρηστικότητας 10 GW και παρήγαγαν 6,6TWh (BMU, 2010). Τα τοπικά επίπεδα διείσδυσης των Φ/Β είναι ήδη υψηλότερα στα νότια μέρη της Γερμανίας (η Βαυαρία έχει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση εγκαταστάσεων), ωστόσο χρειάστηκαν ενισχύσεις σε ορισμένα δίκτυα διανομής, κυρίως σε αγροτικές περιοχές που διέθεταν αδύναμους διανομείς δικτύου και υψηλά επίπεδα τοπικής διείσδυσης. Σε ισχυρά αστικά δίκτυα υπήρξε μόνο οριακή ανάγκη ενίσχυσης του δικτύου. Υπάρχει ανησυχία ότι σοβαρές διαταραχές δικτύου με ισχυρές αποκλίσεις συχνότητας μπορούν να επιδεινωθούν από μεγάλες ποσότητες φωτοβολταϊκών συστημάτων. Λόγω αυτού, η γερμανική οδηγία για τη σύνδεση σε δίκτυα μέσης τάσης απαιτεί καθορισμένη συχνότητα πτώση ισχύος για συχνότητες άνω των 50,2 Hz (BDEW, 2008). Τα συστήματα προστασίας στα δίκτυα διανομής πρέπει επίσης να προσαρμοστούν για να διασφαλιστεί η ασφάλεια (Schäfer et al., 2010). Γενικά, αυτές οι προσαρμογές και οδηγίες δείχνουν ότι είναι σημαντικό η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια να γίνει πιο ενεργός συμμετέχων σε ηλεκτρικά δίκτυα (Caamano-Martin et al., 2008). Οι συνδέσεις ΑΠΕ στο δίκτυο διανομής αφορά ως επί το πλείστο πηγές ενέργειας που προέρχονται από τον άνεμο ήτοι την αιολική ενέργεια (Sims et al., 2011).

Πολλές έρευνες έχουν αποδείξει ότι η ενσωμάτωση ΑΠΕ απαιτεί νέα υποδομή για να μπορεί να γίνει σύνδεση στο δίκτυο διανομής. Επίσης, η πηγή ενέργειας μεταφέρεται σε άλλες χώρες τότε θα πρέπει το υπάρχον δίκτυο να αναβαθμιστεί και να επεκταθεί. Ο σχεδιασμός του δικτύου θα πρέπει να περιλαμβάνει ενίσχυση στο υπάρχον δίκτυο καθώς και νέα καλώδια.

Σε πολλές χώρες υπάρχει έλλειψη υποδομής προκειμένου να μεταφερθεί η ενέργεια στους καταναλωτές. Η Αμερική για παράδειγμα δεν διαθέτει υποδομή που μπορεί να μεταφέρει την αιολική ενέργεια προς τα αστικά κέντρα. Σκοπός λοιπόν είναι να αναβαθμιστεί το δίκτυο διανομής και η εγκατάσταση συστημάτων που μπορούν να εκμεταλλευτούν τις ΑΠΕ στο έπακρο.

#### 4.3 Αποτελέσματα Ερευνών από Ενσωμάτωση ΑΠΕ στο Δίκτυο Διανομής

Υπάρχουν πληθώρα ερευνών που έχουν μελετήσει την ενσωμάτωση των ΑΠΕ στα δίκτυα διανομής. Πρέπει να τονισθεί και πάλι ότι η ενσωμάτωση ΑΠΕ στα δίκτυα διανομής αποτελεί ένα σύστημα περίπλοκο και θα πρέπει να υπάρχει βάσιμη μελέτη και να έχουν ληφθεί υπόψη όλοι οι μεταβλητές που μπορεί να επηρεάσουν το αποτέλεσμα της σύνδεσης αυτής (Sims et al., 2011).

Μέχρι σήμερα, η πλειοψηφία των ερευνών έχουν επικεντρωθεί στο πώς να αυξήσουν τα επίπεδα της αιολικής ενέργειας παρά το πώς θα ενσωματωθεί στα δίκτυα διανομής. Υπάρχουν ελάχιστες έρευνες μέχρι στιγμής που επικεντρώνονται στην ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο δίκτυο. Ωστόσο, οι έρευνες αυτές έχουν μελετήσει σε βάθος το πόσο εφικτό είναι η ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο δίκτυο και αν είναι εφικτό κατά πόσο τελικά συμφέρει να εκμεταλλεύονται.

Μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε στη Δανία απέδειξε πως η ενσωμάτωση ΑΠΕ στο δίκτυο (αιολική ενέργεια) μπορεί να φέρει θετικά αποτελέσματα χωρίς να επηρεάζει το υπάρχον δίκτυο διανομής (EA Energy Analyses, 2007). Ωστόσο, το υπάρχον δίκτυο θα πρέπει να αναβαθμιστεί και να δημιουργηθεί ένας νέος σταθμός που θα περιλαμβάνει ένα σύστημα που θα μπορεί να ενσωματώνει την αιολική ενέργεια στο υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο.

Άλλη έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Ιρλανδία απέδειξε πως η ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο δίκτυο θα αποτελέσει ένα μεγάλο ρίσκο καθώς το υπάρχον δίκτυο ενδέχεται να μη μπορέσει να ανταπεξέλθει στις νέες τάσεις. Θα πρέπει λοιπόν το υπάρχον δίκτυο να αναβαθμιστεί προκειμένου να μπορεί να ανταπεξέλθει την αιολική ενέργεια. Το κόστος αναβάθμισης είναι ανεκτό (EirGrid, 2010).

Η Hawaii Clean Energy Initiative (NREL, 2010) αναφέρει πως δύναται να παραχθεί ενέργεια από τον άνεμο ως 400MW. Η ενέργεια θα μεταφέρεται από τη Molokai και τη Lanai με υποθαλάσσια καλώδια είτε AC είτε DC. Ο στόχος της Hawaii Clean Energy Initiative είναι να παραχθεί 40% ηλεκτρική ενέργεια μέσα από την αιολική ενέργεια.

Όσον αφορά την ηλιακή ενέργεια και την ενσωμάτωση της στο δίκτυο διανομής δεν έχουν διεξαχθεί εκτενείς μελέτες. Ωστόσο υπάρχει σημαντική βιβλιογραφία που αναφέρει πως η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να επιφέρει θετικά αποτελέσματα. Η εγκατάσταση Φ/Β μονάδων σε τοπικό επίπεδο (οικιακό επίπεδο)



μπορεί να προσφέρει ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο διανομής χωρίς να προκαλεί πρόβλημα στο υπάρχον δίκτυο. Ωστόσο εάν τα Φ/Β συστήματα τοποθετούν σε μεγαλύτερη έκταση ήτοι όχι σε οικιακό επίπεδο τότε ενδέχεται να προκληθούν ζημιές στο υπάρχον δίκτυο διανομής λόγω της αύξησης της ισχύος (Sims et al., 2011). Έρευνες όμως αναφέρουν πως υπάρχει λύση στο άνωθεν πρόβλημα με την τοποθέτηση αντιστροφέων που ισορροπούν την ισχύ στο δίκτυο (Stetz et al., 2010). Σε ορισμένα μέρη η τοποθέτηση Φ/Β συστημάτων και η σύνδεση τους στο δίκτυο διανομής μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς την αναβάθμιση του υπάρχοντος δικτύου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα αστικά κέντρα διαθέτουν πιο ισχυρό δίκτυο (Kahn et al., 2009). Για παράδειγμα στην Καλιφόρνια η προσθήκη Φ/Β συστημάτων σε παράκτια κέντρα θα αναιρούσε την ανάγκη για σημαντικές επενδύσεις μεταφοράς σε σχέση με άλλες ΑΠΕ.

#### 4.4 Ενσωμάτωση ΑΠΕ στα «Έξυπνα Δίκτυα»

Ο όρος «έξυπνα δίκτυα» αφορά έναν όρο σχετικά πρόσφατο και ορίζεται ως η εξέλιξη της τεχνολογίας σύμφωνα με τις ανάγκες του πληθυσμού και της γενικότερης κοινωνίας με σκοπό τη μείωση του κόστους της ενέργειας που καταναλώνεται (Swedish Energy Regulator, 2011).

Ένας άλλος ορισμός που δίδεται από την IEEE για τα έξυπνα δίκτυα είναι ο εξής: Τα έξυπνα δίκτυα αφορούν ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας προηγμένης γενιάς που χαρακτηρίζεται από την αυξημένη χρήση της τεχνολογίας επικοινωνιών και πληροφοριών στην παραγωγή, παράδοση και κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα ηλεκτρικά «έξυπνα» δίκτυα αποτελούν το βασικό θεμέλιο μιας «έξυπνης» πόλης. Αφορούν ένα προηγμένο ηλεκτρικό δίκτυο που διαχειρίζεται το ψηφιακό και μηχανολογικό τεχνολογικό εξοπλισμό όπως είναι για παράδειγμα οι ΑΠΕ, έξυπνες συσκευές και έξυπνοι μετρητές. Συγκεκριμένα, η μετατροπή των αστικών περιοχών θα βασιστεί στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη έξυπνων δικτύων. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, τα ηλεκτρικά δίκτυα φτάνουν σε κάθε σημείο μιας πόλης και οι δυνατότητες τους θα είναι ανεξάντλητες εφόσον πραγματοποιηθεί σωστή μελέτη και εφαρμογή.

Το 'smart grid' είναι η αρχή των πάντων για τη δόμηση μιας «έξυπνης» πόλης. Έτσι για να γίνει ένα δίκτυο «έξυπνο» είναι αναγκαίο να είναι συνδεδεμένο με το



Διαδίκτυο ώστε να μπορεί να αναφέρεται σε δεδομένα και να λειτουργεί αναλόγως (Masera et al., 2018).

Η ποιότητα της ενέργειας σε ένα έξυπνο δίκτυο είναι αυξημένη για τους εξής παρακάτω λόγους:

- Το έξυπνο δίκτυο χαρακτηρίζεται ως έξυπνο αφού σκοπός του είναι η μείωση του κόστους ενέργειας με την υψηλότερη ποιότητα ως προς τους καταναλωτές,
- Φαινόμενα όπως έγχυση αρμονικών στο δίκτυο δεν πραγματοποιείται και έτσι οι καταναλωτές απολαμβάνουν υψηλής ποιότητας ενέργεια.

Αυτό που ενδιαφέρει τους καταναλωτές σε οποιοδήποτε δίκτυο είναι η τιμή της ενέργειας, η αξιοπιστία και η ποιότητα της ενέργειας. Άλλοι καταναλωτές ενδιαφέρονται για την ασφάλεια της ενέργειας καθώς και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Διαπιστώνει κανείς ότι η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει αγγίξει και τις ΑΠΕ. Για να μπορέσει λοιπόν κανείς να υπολογίσει πόση ενέργεια από ΑΠΕ μπορεί να δεχτεί ένα δίκτυο θα πρέπει να πραγματοποιηθούν διάφοροι υπολογισμοί προκειμένου να διαπιστωθεί «πόσο» ενέργεια μπορεί να «αντέξει» το έξυπνο δίκτυο.

Θα πρέπει να τονιστεί στο σημείο αυτό πως όταν ΑΠΕ συνδέονται σε ένα έξυπνο δίκτυο ενδέχεται να προκληθεί υπερφόρτωση του δικτύου. Τη στιγμή που το δίκτυο ενδέχεται να υπερφορτωθεί συστήματα του έξυπνου δικτύου διαπιστώνουν την υπερβολή αυτή και επιτρέπουν να εκχυθεί η ενέργεια αλλού χωρίς να προκληθεί πρόβλημα στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Με άλλα λόγια, αντί να επιτρέπεται η εμφάνιση υπερβολικών τάσεων κατά τη διάρκεια ενός μικρού ποσοστού χρόνου, η παραγωγή μπορεί να μειωθεί όποτε η τάση υπερβαίνει το όριο. Με τον τρόπο αυτόν οι χρήστες του δικτύου ήτοι οι ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές δεν δύναται να κινδυνέψουν από την υπέρταση.

## 5 Επιπτώσεις της στην Ποιότητα και την Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα

### 5.1 Εισαγωγή

Λόγω των διακυμάνσεων στις τιμές του πετρελαίου και φυσικού αερίου, η ανάγκη για βιώσιμη ανάπτυξη, αειφορία και προστασία του περιβάλλοντος, έχουν οδηγήσει τα κράτη να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι ΑΠΕ αποτελούν την κυριότερη αιτία ύπαρξης της διανεμημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διότι η χωροθέτηση τους εξαρτάται κυρίως από την πρωτογενή μορφή ενέργειας που χρησιμοποιούν προκειμένου να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Με άλλα λόγια οι ΑΠΕ δύναται να προσφέρουν ηλεκτρική ενέργεια με οικονομικό και αποδοτικό τρόπο, σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές.

Σύμφωνα με τον Χατζηβασιλειάδη (2011), ο ηλεκτρικός τομέας μακροπρόθεσμα αναμένεται να απαλλαγεί από εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα λόγω της ενσωμάτωσης των ΑΠΕ και άλλων τεχνολογιών παραγωγής χαμηλού άνθρακα στο δίκτυο. Η ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο δίκτυο διανομής θα φέρει ευστάθεια και αξιοπιστία στο ηλεκτρικό δίκτυο με αποδεκτό κόστος.

Ωστόσο, η διείσδυση των ΑΠΕ στο δίκτυο δεν αποτελεί μια διαδικασία εύκολη αφού θα πρέπει να πραγματοποιηθούν μεγάλες αλλαγές στο τεχνικό μέρος που σχετίζεται με την πρόσβαση-σύνδεση στο δίκτυο καθώς και στη σχεδίαση και τη διαχείριση του δικτύου.

Ο Χατζηβασιλειάδης (2011) αναφέρει επίσης ότι η μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ και ειδικά εκείνων που δεν δύναται να πραγματοποιηθεί κατανομή φορτίου αναμένεται να επηρεάσει αρνητικά την αξιοπιστία του δικτύου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ΑΠΕ θα αντικαταστήσουν τις θερμικές μονάδες και ως εκ τούτου θα πρέπει να προβλέπεται εφεδρική ισχύς και αποθήκευση. Εκτός των προαναφερθέντων θα πρέπει να καλύπτονται αυξημένες ανάγκες σε επικουρικές υπηρεσίες του δικτύου προκειμένου να εξασφαλίζεται η επάρκεια καθώς και η ομαλή λειτουργία του δικτύου διανομής.

Επίσης, η ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο δίκτυο διανομής θα περιορίσει σημαντικά τη λειτουργία και την παραγωγή των θερμικών μονάδων που εν συνεχεία θα έχει

αρνητική επίπτωση στη λειτουργία της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τον ανταγωνισμό. Λόγω του γεγονότος αυτού οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας ενδέχεται να έχουν μηδενικές τιμές και ίσως αρνητικές ειδικά τη νύχτα, τις αργίες και εποχιακά. Έτσι, θα υπάρχει κίνητρο για κατανάλωση προκειμένου να λειτουργήσει το σύστημα κυρίως λόγω των ελάχιστων τεχνικών θερμικών μονάδων. Ως εκ τούτου, το κόστος παραγωγής θα είναι υψηλότερο ενώ θα υπάρχει και επιπρόσθετη επιβάρυνση των θερμικών μονάδων για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (Χατζηβασιλειάδης, 2011).

Η ενσωμάτωση λοιπόν των ΑΠΕ στο δίκτυο απαιτεί έναν διανεμημένο έλεγχο του δικτύου. Θα πρέπει να αναπτυχθεί μια τοπολογία δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και της αντίστοιχης υποδομής ελέγχου η οποία θα επιτρέπει να εφαρμόζεται από τα οικιακά δίκτυα ως το δίκτυο διανομής. Ωστόσο, η υποδομή ελέγχου θα πρέπει να είναι συμβατή με τις υπάρχουσες τεχνολογίες ελέγχου της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων. Έτσι, πριν από οποιαδήποτε σύνδεση ΑΠΕ στο δίκτυο θα πρέπει να διεξαχθούν μετρήσεις και δοκιμές προσομοίωσης (Stimoniaris et al., 2011).

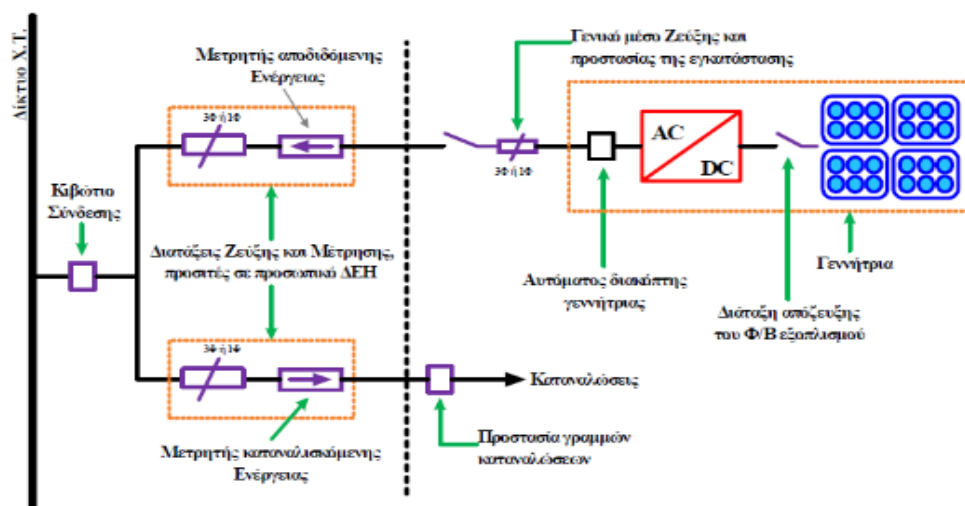
## 5.2 Επιπτώσεις Σύνδεσης των ΑΠΕ στο Δίκτυο

Τα σφάλματα στα δίκτυα διανομής ηλεκτρική ενέργειας υπήρχαν, υπάρχουν και πάντα θα υπάρχουν, πόσο μάλλον όταν γίνεται ενσωμάτωση νέων πηγών ενέργειας όπως είναι οι ΑΠΕ. Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η ενσωμάτωση ΑΠΕ στα υπάρχοντα δίκτυα διανομής δεν είναι μια εύκολη διαδικασία αφού θα πρέπει να γίνουν αναπροσαρμοσές προκειμένου να μπορέσει το υπάρχον δίκτυο να ανταπεξέλθει στις νέες τάσεις.

Η σύνδεση των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο που δεν θα παραβιάζονται τα όρια που έχουν τεθεί από τους διαχειριστές του δικτύου. Η σωστή λειτουργία και η λειτουργία γενικά του ηλεκτρικού δικτύου ελέγχεται από συσκευές προστασίας και ρύθμισης της τάσης. Σκοπός των συσκευών αυτών είναι η παροχή αποδεκτής ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας ως προς τους καταναλωτές του δικτύου καθώς και τη μείωση των σφαλμάτων και προσφορά υψηλού επιπέδου ασφαλείας. Η σύνδεση των ΑΠΕ στο δίκτυο γίνεται με τριφασική παροχή και θα πρέπει να πραγματοποιείται συμμετρική φόρτιση των τριών φάσεων. Οι οδηγίες που δίδει η ΔΕΗ για την τριφασική παροχή τονίζει ότι το ποσοστό ασυμμετρίας

μεταξύ των τριών φάσεων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 20% (Φραγκιουδάκη, 2011).

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει μια τυπική διάταξη σύνδεσης ενός Φ/Β συστήματος στο δίκτυο διανομής.



Εικόνα 4: Τυπική διάταξη Φ/Β συστήματος στο δίκτυο (Πηγή: Φραγκιουδάκη, 2011)

#### 5.2.1 Επίπτωση της Τάσης Δικτύου – Εκπομπές Flicker

Οι διακυμάνσεις των τάσεων ονομάζεται και αλλιώς φαινόμενο flicker. Ο όρος αυτός αναφέρεται στην προκαλούμενη οπτική ενόχληση από της διακυμάνσεις της φωτεινότητας λαμπτήρων πυρακτώσεως λόγω των διακυμάνσεων της τάσης τροφοδοσίας τους (Φραγκιουδάκη, 2011). Οι εγκαταστάσεις των ΑΠΕ όταν είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο δύναται να προκαλέσουν μεταβολές της τάσης στο σημείο της κοινής σύνδεσης τους (ήτοι εκεί που συνδέεται το σύστημα των ΑΠΕ με το δίκτυο). Μέτρο του προκαλούμενου από τις διακυμάνσεις της τάσης flicker σε άλλους καταναλωτές είναι οι δείκτες flicker βραχείας διάρκειας ( $P_{st}$ ) και μακράς διάρκειας ( $P_{lt}$ ).

Το flicker βραχείας κυκλοφορίας  $P_{st}$  αναφέρεται σε χρονική διάρκεια παρατήρησης 10 λεπτών ενώ της μακράς διάρκειας αναφέρεται σε χρονική διάρκεια 120 λεπτών. Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-3-3, ο συντελεστής flicker θα πρέπει να εξετάζεται τόσο για την κανονική λειτουργία της εγκατάστασης των ΑΠΕ όσο και για τους χειρισμούς.

### 5.2.2 Έγχυση Αρμονικών

Η έγχυση αρμονικών ή αρμονικές συνιστώσες της τάσης οφείλονται λόγω της ύπαρξης μη γραμμικών φορτίων στα ηλεκτρικά δίκτυα. Τα γραμμικά φορτία προκαλούνται από λαμπτήρες φθορισμού, συσκευές οι οποίες δεν διακόπτουν τη λειτουργία τους ποτέ (π.χ. ψυγείο) και μετασχηματιστές. Η εισαγωγή μη γραμμικών φορτίων στο δίκτυο έχει ως αποτέλεσμα η τάση να αποκλίνει.

Πέρα από τα μη γραμμικά φορτία άλλες αρμονικές συνιστώσες είναι εκείνες των γραμμικών φορτίων όπως είναι για παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν υπό παραμορφωμένη τάση και έτσι μετατρέπονται σε πηγές αρμονικών ρευμάτων.

Η έγχυση αρμονικών δύναται να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στο δίκτυο αλλά και σε εγκαταστάσεις οι οποίες είναι συνδεδεμένες σε αυτό όπως για παράδειγμα παρακείμενες ηλεκτρονικές συσκευές (τηλεόραση, ψυγείο κ.α.). Οι πιο σημαντικές αρνητικές συνέπειες που μπορεί να προκαλέσει η έγχυση αρμονικών στο ηλεκτρικό δίκτυο είναι:

- Συνέπειες σε περιστρεφόμενες μηχανές,
- Συνέπειες σε μετασχηματιστές,
- Συνέπειες σε πυκνωτές,
- Συνέπειες στα καλώδια,
- Συνέπειες σε ηλεκτρονόμους, διακόπτες και ασφάλειες,
- Συνέπειες σε στατικούς φορείς,
- Συνέπειες σε μετρητές και ηλεκτρονικές συσκευές,
- Συνέπειες σε τηλεπικοινωνιακά σήματα και
- Εμφάνιση ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής.

Λόγω των άνωθεν συνεπειών διαπιστώνει κανείς πως είναι υποχρεωτική η συμμόρφωση της λειτουργίας των μετατροπέων που χρησιμοποιούνται στα οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα.

Συγκεκριμένα, οι αντιστροφείς των οικιακών Φ/Β συστημάτων θα πρέπει συμμορφώνονται σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-3-2 που αφορά την έγχυση αρμονικών στο ηλεκτρικό δίκτυο. Το πρότυπο αυτό ορίζει τα επιτρεπτά όρια εισαγωγής αρμονικών από τις συσκευές και τις εγκαταστάσεις με ρεύμα ονομαστικό

μικρότερη ή ίσο των 16 Α/φάση οι οποίες συνδέονται στο ηλεκτρικό δίκτυο (Φραγκιουδάκη, 2011).

### 5.2.3 Το Φαινόμενο της Νησιδοποίησης

Η νησιδοποίηση ή αλλιώς «φαινόμενα νησίδας» αφορά μια κατάσταση η οποία δεν είναι επιθυμητή αφού ένα τμήμα του ηλεκτρικού δικτύου στο οποίο εμπεριέχονται ηλεκτρικά φορτία και διεσπαρμένες μονάδες παραγωγής παραμένει ηλεκτροδοτημένο λόγω των παραπάνω μονάδων παρότι το υπόλοιπο ηλεκτρικό δίκτυο είναι ανενεργό (Φραγκιουδάκη, 2011).

Το φαινόμενο της νησίδας εμφανίζεται από μια ηθελημένη αποσύνδεση ενός μέρους του δικτύου από τα μέσα προστασίας λόγω ανίχνευσης ενός σφάλματος ή από προγραμματισμένη διακοπή του ηλεκτρικού δικτύου για λόγους συντήρησης. Επίσης μπορεί να εμφανιστεί εάν η ηλεκτροδότηση διακοπεί λόγω εξωγενών περιβαλλοντικών λόγων όπως για παράδειγμα η αστοχία του εξοπλισμού του Σ.Η.Ε καθώς και από ανθρώπινο λάθος.

Το φαινόμενο της νησίδας θα πρέπει να ανιχνεύεται καθώς μόνο έτσι επιτρέπεται η σύνδεση ενός συστήματος ΑΠΕ (οικιακού επιπέδου) στο Ελληνικό Σ.Η.Ε. Η ανίχνευση της νησιδοποίησης είναι σημαντική αφού έτσι εξασφαλίζεται η υψηλής ποιότητας ενέργεια προς τους καταναλωτές καθώς και η ασφάλεια των προσώπων και των εγκαταστάσεων.

Πρέπει να τονιστεί πως όταν είναι προγραμματισμένες οι συντηρήσεις του ηλεκτρικού δικτύου, οι διαχειριστές (ΔΕΗ) θέτουν ηθελημένα εκτός λειτουργίας κάποια τμήματα του ηλεκτρικού δικτύου προκειμένου να ολοκληρωθούν οι απαραίτητες εργασίες συντήρησης. Ωστόσο η ενδεχόμενη ηλεκτροδότηση του τμήματος αυτού πιθανό να θέσει σε κίνδυνο (θανάσιμο) το προσωπικό που έχει αναλάβει τις εργασίες αφού εργάζεται σε σημεία που υπάρχει τάση χωρίς να το γνωρίζει. Επίσης αξίζει να αναφερθεί πώς αν τα προστατευτικά μέσα ενός δικτύου ανοίξουν τους διακόπτες προστασίας μιας γραμμής και δεν γίνει εφικτό από τις διεσπαρμένες πηγές να εντοπίσουν τη διακοπή της ηλεκτροδότησης αυτές τότε θα συνεχίσουν να τροφοδοτούν τα φορτία τα οποία είναι συνδεδεμένα στην ίδια γραμμή με αυτές. Το προαναφερθέν δύναται να επιφέρει δύο πάρα πολύ σημαντικά προβλήματα τα οποία αναλύονται παρακάτω.

- 1) Κατά τη διάρκεια της διακοπής, το κομμάτι το οποίο τίθεται εκτός λειτουργίας δεν υφίσταται κάποιος κεντρικός έλεγχος της συχνότητας καθώς και της τάσης. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πρόκληση σοβαρών ζημιών στους υπόλοιπους συνδεδεμένους χρήστες σε περίπτωση που οι διεσπαρμένες πηγές ενέργειας δεν δύναται να τροφοδοτήσουν τα φορτία με τα απαραίτητα ποσά ενεργού και άεργου ισχύος και
- 2) Εφόσον οι διεσπαρμένες μονάδες παραγωγής μπορέσουν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των φορτίων, κατά την επανασύνδεση της γραμμής στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο υπάρχει περίπτωση να συμβούν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τάσεων στους ακροδέκτες των διεσπαρμένων πηγών και αυτής του υπολοίπου Σ.Η.Ε. Οι διαφορές αυτές ενδέχεται να προκαλέσουν καταστροφές στην εγκατάσταση του δικτύου καθώς και στους καταναλωτές.

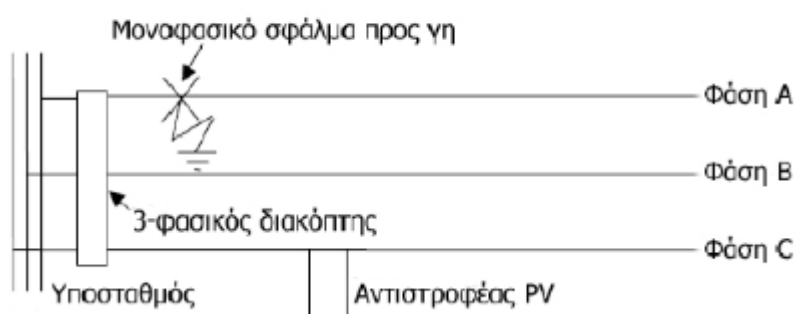
Διαπιστώνει κανείς λοιπόν πως το φαινόμενο της νησίδας θα πρέπει να εντοπίζεται έγκαιρα καθώς και να παύεται. Όταν το φαινόμενο εντοπίζεται γρήγορα οι αντιστροφείς επιφορτίζονται ως σημείο διεπαφής του δικτύου με το σύστημα των ΑΠΕ.

Οι οικίες που διαθέτουν συστήματα ΑΠΕ πρέπει να χρησιμοποιούν αντιστροφείς οι οποίοι πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με κατάλληλα συστήματα «αντινησιδοποίησης».

Αναλόγως το βαθμό της φάσης ήτοι αν τα συστήματα των ΑΠΕ είναι μονοφασικά ή τριφασικά ενδέχεται να προκύψουν διαταραχές. Έτσι, σε μονοφασικά συστήματα, οι αντιστροφείς μπορεί και να μη προκαλέσουν πρόβλημα νησιδοποίησης εάν αυτή προκλήθηκε από ανοιχτό κύκλωμα του δικτύου λόγω ενός προβλήματος της γραμμής. Ωστόσο, οι τριφασικοί αντιστροφείς πάντα παρουσιάζουν κάποιο σφάλμα της τάσης. Αξίζει να σημειωθεί όμως πως η πλειοψηφία των οικιακών συστημάτων ΑΠΕ συνδέεται σε μονοφασικό αντιστροφέα. Ωστόσο η πλειοψηφία των ηλεκτρικών συσκευών συνδέονται σε τριφασικό σύστημα.

Ο συνδυασμός μονοφασικών αντιστροφέων και τριφασικών διακοπών σφάλματος οδηγεί σε μια κατάσταση που ένα σφάλμα ενδέχεται να υπάρχει σε γραμμή η οποία προέρχεται από το άνοιγμα ενός διακόπτη χωρίς όμως να υπάρχει

διαταραχή της τάσης. Έτσι ίσως υπάρξει πρόβλημα μόνο στο μονοφασικό αντιστροφέα. Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει ένα συνδυασμό μονοφασικού αντιστροφέα με τριφασικό διακόπτη ασφαλείας.



*Εικόνα 5: Μονοφασικός αντιστροφέας σε τριφασικό διακόπτη ασφαλείας (Πηγή: Φραγκιουδάκη, 2011)*

Σύμφωνα με το IEC 62116 οι αντιστροφείς των ΑΠΕ συστημάτων θα πρέπει να διαθέτουν προστασία έναντι της νησιδοποίησης κατά VDE 0126-1-1.

Εάν σε περίπτωση διαπιστωθεί ανίχνευση απομονωμένης λειτουργίας πρέπει να γίνει απόξευση των μονάδων που υποστηρίζουν τις ΑΠΕ από το ηλεκτρικό δίκτυο σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι συνέπειες που δύναται να προκληθούν από την πιθανή ταχεία επαναφορά της τάσης του δικτύου.

Οι τεχνικές ανίχνευσης της νησιδοποίησης ποικίλλουν. Μια από τις τεχνικές, είναι οι τεχνικές «τοπικής ανίχνευσης» οι οποίες διακόπτουν το φαινόμενο της νησίδας. Είναι προτιμότερες έναντι άλλων τεχνικών σε περιπτώσεις που τα διασυνδεδεμένα συστήματα χρησιμοποιούν αντιστροφείς.

Οι τεχνικές τοπικής ανίχνευσης λειτουργούν με τον εξής παρακάτω τρόπο. Βασίζονται σε μετρήσεις της τάσης καθώς και του ρεύματος στην τοποθεσία μιας διεσπαρμένης παραγωγής. Οι τεχνικές αυτές είναι πιο οικονομικές και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες εκείνες των παθητικών και των ενεργητικών μεθόδων.

Οι παθητικές μέθοδοι προσπαθούν να ανιχνεύσουν το φαινόμενο της νησίδας μέσω παρατήρησης της εξέλιξης των εξόδων των ηλεκτρικών μεταβλητών των αντιστροφέων. Από την άλλη, οι ενεργητικές μέθοδοι διαταράσσουν τις μεταβλητές των αντιστροφέων με σκοπό την ανίχνευση του φαινομένου σε σχέση με την αντίδραση του συστήματος.



#### 5.2.4 Ανύψωση της Τάσης

Το φαινόμενο αυτό έχει παρατηρηθεί στη σύνδεση ΑΠΕ στο δίκτυο στον Καναδά (Energie NB Power, 2008). Συγκεκριμένα, μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ στο δίκτυο διανομής, μπορεί να προκαλέσει υπερβολική ανύψωση της τάσης. Έτσι, θα πρέπει το δίκτυο διανομής να εφοδιαστεί με ένα αυτοματοποιημένο σύστημα ζεύξης και απόζευξης προκειμένου να αποφευχθεί η αυξημένη τάση. Η δε κατανάλωση της άεργου ισχύος καθώς και τη θέση λήψης του μετασχηματιστή θα πρέπει να ορίζεται από τον διαχειριστή.

Προκειμένου οι ΑΠΕ να μην προκαλούν υπερβολική ανύψωση της τάσεως οι παρακάτω ενέργειες θα πρέπει να ολοκληρωθούν (Ontario Energy Board, 2011):

- Τροποποίηση των διατάξεων προστασίας,
- Αναβάθμιση ή ακόμη και τροποποίηση των διατάξεων και των εξοπλισμών ρύθμισης της τάσης,
- Προστασία έναντι της νησιδοποίησης,
- Διακόπτες διπλής κατεύθυνσης αυτόματης επαναφοράς και
- Επιτήρηση της λειτουργίας τους σταθμού παράλληλα με τηλεέλεγχο.

#### 5.2.5 Ισοζύγιο Ισχύος

Σε κάθε ηλεκτρικό δίκτυο ανεξαρτήτου μεγέθους ήτοι ισχυρό διασυνδεδεμένο δίκτυο ή αυτόνομο θα πρέπει να διατηρείτε το ισοζύγιο ισχύος με άλλα λόγια θα πρέπει η ενέργεια που απορροφάται από τους καταναλωτές να είναι ίδια με μικρές παραλλαγές με την ενέργεια που παράγεται από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Γριβοκωστόπουλος, 2016).

Η αύξηση της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από τις ΑΠΕ προκαλεί λοιπόν τεχνικά προβλήματα στη διατήρηση του ισοζυγίου ισχύος και εν συνεχεία στο δίκτυο. Αυτό προξενεί σοβαρές χρονικές διακυμάνσεις στην παραγωγή των σταθμών ΑΠΕ καθώς και την αδυναμία της ακριβούς πρόβλεψης της παραγωγής ενέργειας από τους σταθμούς αυτούς λόγω της μεταβλητότητας των καιρικών συνθηκών.

Για παράδειγμα,, η ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι μηδενική ενώ κατά τη διάρκεια της ημέρας, η παραγωγή ενέργειας εξαρτάται από τις καιρικές

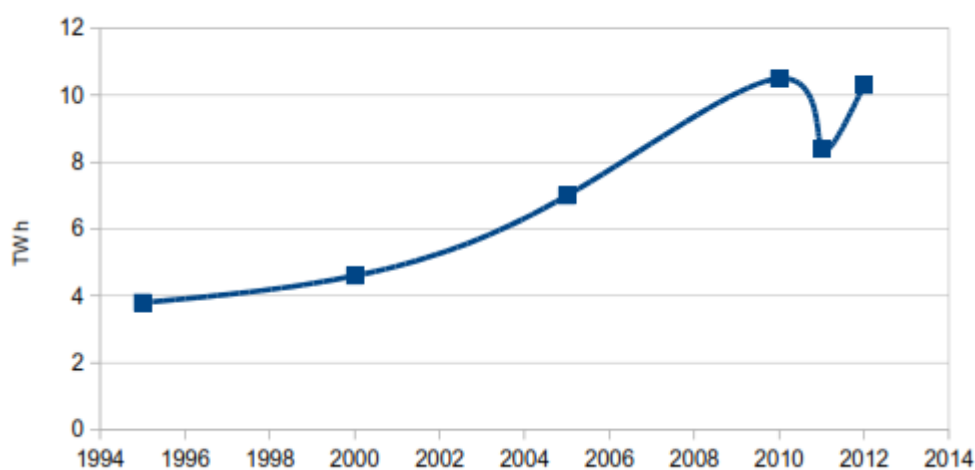
συνθήκες. Συνεπώς οι ΑΠΕ έχουν ως βασικό μειονέκτημα την χρονική υστέρηση της παραγωγής ενέργειας το οποίο μάλιστα δεν μπορεί να τεθεί σε έλεγχο σε σχέση με τη ζήτηση.

Λόγω αυτών των συνθηκών, η ενέργεια θα πρέπει να αποθηκεύεται ωστόσο οι θερμικές μονάδες δεν είναι ευπροσάρμοστες και ενίοτε (ιδιαίτερα κατά τη νύχτα) η ισχύς που παράγεται είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση (Γριβοκωστόπουλος, 2016).

### 5.3 Οικονομική Ανάλυση – Κόστη

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι νέες τεχνολογίες συνοδεύονται από αναπόφευκτα κόστη. Έτσι, οι τεχνολογίες των ΑΠΕ συνοδεύονται από κόστη τα οποία ναι μεν είναι μεγάλα ωστόσο μπορούν να γίνουν ανταγωνιστικά στην ελεύθερη αγορά. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό απαιτείται περισσότερος προσανατολισμός στην αγορά ο οποίος προσανατολισμός θα εξυπηρετεί περιβαλλοντικούς, κοινωνικούς και οικονομικούς σκοπούς και να αντανakλά όλες της εξωτερικές δαπάνες (Γριβοκωστόπουλος, 2016).

Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ στην Ελλάδα κατά τα έτη 1995-2012.



*Διάγραμμα 1: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στην Ελλάδα κατά τα έτη 1995-2012 (Πηγή: Eurostat, 2014)*

Όπως κανείς μπορεί να διακρίνει, υπάρχει μια αυξανόμενη παραγωγή ενέργειας από έτος σε έτος με ακμάζουσα τιμή το έτος 2010 με κάμψη το επόμενο έτος λόγω της χρηματοπιστωτικής κρίσης που έπληξε την Ελλάδα και όχι μόνο. Διαπιστώνεται

λοιπόν πως η ένταξη των ΑΠΕ στο δίκτυο διανομής όλο και κερδίζει έδαφος κατά τα τελευταία έτη εάν εξαιρέσουμε το γεγονός της κρίσης.

Έτσι, θα πρέπει να γίνει εξασφάλιση του ανταγωνισμού σε ενοποιημένες αγορές. Ο ανταγωνισμός αυτός θα παρέχει το απαραίτητο περιβάλλον καθώς τους δείκτες των τιμών για την επίτευξη των στόχων της ενεργειακής πολιτικής κατά οικονομικά αποδοτικό τρόπο (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020).

Ο συμβατικός τρόπος παραγωγής ενέργειας σε σχέση με τις ΑΠΕ θα έχουν μειονεκτική θέση για τους εξής λόγους ( Σακκά και Ψαρρά, 2010):

- Η τιμή της χονδρικής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξηθεί διότι το κόστος του οριακού παραγωγού αυξάνεται λόγω της επιπλέον επιβάρυνσης της μη κερδοφόρου χρήσης των δικαιωμάτων εκπομπής. Τα ποσοστά της αύξησης εξαρτάται από την ευαισθησία του παραγωγού σε εκπομπές και τη μέθοδο κατανομής των δικαιωμάτων,
- Η λιανική τιμή της ενέργειας θα αυξηθεί εάν ο παραγωγός επιθυμεί να καλύψει το κόστος της. Το βάρος που καλείται να πληρώσει ο καταναλωτής θα καθορίζεται από την ισχύουσα νομοθεσία για την προστασία των καταναλωτών,
- Η ζήτηση για ενέργεια θα μειωθεί σημαντικά μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα,
- Η υψηλή απόδοση εκπομπών θα μειωθεί με τη χρήση ΑΠΕ,
- Η «καθαρή» παραγωγή ενέργειας μπορεί να αυξηθεί ανάλογα με τη ζήτηση,
- Οι νέες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν λιγότερος εκπομπές άρα και οι καταναλωτές θα έχουν μεγαλύτερο κίνητρο για επιλογή αυτής της μορφής ενέργειας.

Ωστόσο παρά τα πολυάριθμα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ υπάρχουν και κάποια τεχνικά εμπόδια τα οποία που παρακωλύουν τους ιδιώτες επενδυτές να υλοποιήσουν την αίτηση τους για την αδειοδότηση των έργων ΑΠΕ. Τα τεχνικά εμπόδια αυτά έρχονται σε συνάρτηση με τον Ελληνικό Νόμο 3468/2006 το οποίο ορίζει πως υπάρχει σαφές νομικό πλαίσιο σε σχέση με την προσαρμογή των ΑΠΕ στο ενεργειακό σύστημα της χώρας (Γριβοκωστόπουλος, 2016). Τα τεχνικά προβλήματα συνοψίζονται ως εξής:

- Η Ελλάδα διαθέτει ανεπαρκή υποδομή στα συστήματα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλό αιολικό δυναμικό,
- Υψηλό κόστος σύνδεσης ΑΠΕ στο δίκτυο διότι οι περιοχές που διαθέτουν υψηλό δυναμικό ΑΠΕ βρίσκονται μακριά από το δίκτυο μεταφοράς,
- Αυτόνομα νησιωτικά συστήματα μικρού και μεσαίου μεγέθους με υψηλό δυναμικό σε ΑΠΕ απέχουν πολύ μακριά από το σύστημα μεταφοράς και η ΔΕΗ υποχρεούται να βάλει αιολικά πάρκα εκτός λειτουργίας για ορισμένες ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας ειδικά σε ώρες χαμηλής ζήτησης.

Αξίζει ωστόσο να αναφερθούμε πως ο ίδιος ο καταναλωτής μπορεί να γίνει παραγωγός ενέργειας και να διαθέτει το ρεύμα που παράγει σε άλλους καταναλωτές ή στο δίκτυο διανομής έναντι αμοιβής. Ο καταναλωτής θα μπορεί να αποθηκεύει το ρεύμα που παράγει μέσω συστημάτων ΑΠΕ που έχει εγκαταστήσει και μετέπειτα να το πουλάει. Σύμφωνα με την *Business Daily* (2019) ως το 2050 το 61% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα παράγεται από καταναλωτές μέσω ΑΠΕ.

Ουσιαστικά, ο καταναλωτής που ήταν πελάτης κάποιου ενεργειακού παρόχου θα μετατραπεί σε πωλητή ενέργειας στο ηλεκτρικό σύστημα της χώρας και θα λάβει το προσωνύμιο *prosumer* ( όρος που προκύπτει από τη σύνθεση των λέξεων *producer-consumer*). Ο *prosumer* θα μπορεί να λαμβάνει απολαβές από τη δραστηριότητα αυτή μέσω της εταιρίας που θα είναι συμβεβλημένος. Και ο *prosumer* αλλά και ο συνεργάτης θα εμπορεύονται ρεύμα από αιολικά και φωτοβολταϊκά συστήματα αλλά και από συμβατικά καύσιμα και άλλες πηγές το οποίο θα το μεταπωλούν.

Αυτό είναι ένα σχέδιο το οποίο εξέδωσε το υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας σε δημόσια διαβούλευση. Αφορά ουσιαστικά έναν ενεργειακό χάρτη ο οποίος κατευθύνει την Ελλάδα για τα επόμενα τριάντα τουλάχιστον χρόνια ήτοι να γίνει η Ελλάδα μια χώρα με ελάχιστο ανθρακικό αποτύπωμα (*Business Daily*, 2019).

Προκειμένου να επιτευχθούν τα άνωθεν, ο καταναλωτής καλείται ουσιαστικά να αποθηκεύει την περίσσεια ενέργεια που θα παράγει μέσω συστημάτων ΑΠΕ και να την πουλούν πίσω στο δίκτυο ηλεκτρισμού. Ως εκ τούτου ο *prosumer* θα πρέπει να έχει την πληροφορική ως βασικό του εργαλείο η οποία κάνει τα ηλεκτρικά δίκτυα πιο έξυπνα και προσιτά.

Από έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Ram, Gulagi και Keiner (2017), οι *prosumers* θα έχουν θετικές συνέπειες αν γίνουν πάροχοι ηλεκτρικού ρεύματος αφού εκτός του ότι θα μπορούν να παράγουν ρεύμα για τις καθημερινές τους δραστηριότητες με «καθαρή ενέργεια» θα μειώσουν και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτούν από άλλο πάροχο.

Οικιακά συστήματα ΑΠΕ όπως για παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά συστήματα σε συνδυασμό με μπαταρίες αποθήκευσης της ενέργειας αποτελεί ένα σημαντικό τεχνολογικό επίτευγμα με θετικές επιδράσεις για όλους και πόσο μάλλον για το περιβάλλον. Ο καταναλωτής θα επωφεληθεί από φθηνό ρεύμα ενώ το περιβάλλον θα γίνει καθαρότερο με ελάχιστους ρύπους.

## 6. Έλεγχος Τάσης και Ποιότητα Ισχύος

Το παρόν κεφάλαιο αναφέρεται στον έλεγχο της τάσης καθώς και την ποιότητα της ισχύος από ενέργειες που προέρχονται από ΑΠΕ. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο το υπάρχον δίκτυο σε συγκεκριμένες τοποθεσίες αδυνατεί να υποστηρίξει τις ενέργειες που προέρχονται από ΑΠΕ. Ωστόσο η νέα μορφή δικτύου, εκείνη του έξυπνου δικτύου δίδει τη δυνατότητα να ξεπεραστούν προβλήματα τα οποία προκαλούνται από υπερτάσεις κ.α.

Το έξυπνο δίκτυο μπορεί να επωφεληθεί από τεχνολογίες όπως είναι οι έξυπνοι μετατροπείς που δεν παρέχουν μόνο ενεργή ισχύ αλλά και μη ενεργό έλεγχο ισχύος και έτσι να προσφέρουν έλεγχο volt / var. Μαζί με τα τεχνολογικά ζητήματα, είναι επίσης σημαντικό να καθοδηγήσουμε τον τρόπο με τον οποίο τα πρότυπα πρέπει να εξελιχθούν ή να αλλάξουν για να λάβουν υπόψη τις απαραίτητες αλλαγές τεχνολογίας και συστήματος.

Ο έλεγχος της τάσης που προέρχεται από ΑΠΕ όπως είναι η ηλιακή ενέργεια είναι ένα ζήτημα μείζονος σημασίας αφού τα τελευταία χρόνια η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ ολοένα και αυξάνεται. Έτσι, διαπιστώνεται πως υπάρχει ανάγκη για βελτίωση του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου προκειμένου να ελέγχεται η υπέρταση.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και οι διαφορετικές τεχνολογίες που επικρατούν σήμερα επιτρέπει στον πληθυσμό να έχει μια ολιστική άποψη του συστήματος για την αντιμετώπιση των μεταβολών τάσης τροφοδοσίας μαζί με την ελαχιστοποίηση των απωλειών, τη μείωση των απωλειών από την πλευρά της κατανάλωσης και την αποφυγή της υπερφόρτωσης των εξαρτημάτων.

Η αντιμετώπιση των άνωθεν προβλημάτων μελλοντικά θα επιτυγχάνεται με τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών παρακολούθησης, επικοινωνίας και ελέγχου, οι οποίες βοηθούν στον έλεγχο της τάσης σε πολλούς τροφοδότες σε μια ευρεία περιοχή, ενώ εστιάζει στην παγκόσμια βελτιστοποίηση και όχι σε μεμονωμένους τροφοδότες που χρησιμοποιούνται για το παραδοσιακό VVC . Τέτοια συστήματα ελέγχου αναφέρονται επίσης ως «Βελτιστοποίηση Volt-Var» (Heffernan et. al., 2014).

Τα μελλοντικά συστήματα διανομής θα έχουν έναν αυξανόμενο αριθμό μονάδων παραγωγής συνδεδεμένων στο δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος μέσω

ηλεκτρονικών διεπαφών ισχύος. Ορισμένες από αυτές τις μονάδες θα είναι σε θέση να παρέχουν βοηθητικές υπηρεσίες δικτύου και συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της συμβολής στον έλεγχο τάσης και στην άεργη ισχύ. Ακόμα κι αν τέτοιες βοηθητικές υπηρεσίες μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικές με εργαλεία όπως SVC ή STATCOMS, υπάρχουν ήδη μονάδες παραγωγής εξοπλισμένες με μετατροπείς στο σύστημα, κάνοντας το οριακό κόστος μικρό ή και μηδενικό. Η αποτελεσματικότητα της αντίδρασης άεργου ισχύος για τον έλεγχο της τάσης επηρεάζεται τόσο από τη θέση της μονάδας όσο και από τις ιδιότητες του δικτύου. Είναι επομένως πιθανό να απαιτείται συντονισμένος έλεγχος των μετατροπέων και του υπάρχοντος βοηθητικού εξοπλισμού (Bracale et. al., 2015).

Διαπιστώνει κανείς πως ο έλεγχος της τάσης μελλοντικά θα έχει ένα πολύ θετικό αντίκτυπο στην κοινωνία. Προβλήματα στο δίκτυο όπως υπερφόρτωση, έγχυση αρμονικών, εκπομπές flicker κ.α. θα μειωθούν και ίσως εκμηδενιστούν. Ωστόσο η εξέλιξη της τεχνολογίας κρύβει και κάποια μειονεκτήματα τα οποία είναι τα εξής:

- Αυξημένος αριθμός υπότασης στο δίκτυο (μικρής διάρκειας),
- Αυξημένος αριθμός περιπτώσεων στην αλλαγής της τάσης όπως το φαινόμενο flicker,
- Αυξημένες περιπτώσεις αρμονικών.

Αξίζει να σημειωθεί ωστόσο πως τα άνωθεν μειονεκτήματα εξαρτώνται από το είδος της συσκευής που δέχεται το ηλεκτρικό ρεύμα.

#### 6.1 Τροφοδοσία και Ποιότητα Ισχύος

Η ανάπτυξη των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας τον περασμένο αιώνα είχε ως αποτέλεσμα τη μεγάλη αύξηση του αριθμού των τροφοδοτών διανομής στον κόσμο. Αυτοί οι τροφοδότες αντιμετωπίζουν σφάλματα που πρέπει να επιδιορθωθούν πριν οι υπηρεσίες επιστρέψουν στο φυσιολογικό. Η αποκατάσταση του τροφοδοτικού συστήματος μπορεί να επιταχυνθεί εάν η τοποθεσία ενός σφάλματος είναι γνωστή ή μπορεί να εκτιμηθεί με εύλογη ακρίβεια.

Ο σχεδιασμός του συστήματος «ακτινικής διανομής» έχει εξελιχθεί ως ο πιο αποτελεσματικός και φθηνός τρόπος εξυπηρέτησης πολλών φορτίων από μία και μόνο πηγή. Η ανάγκη για μεγαλύτερη αξιοπιστία οδήγησε τη μετάβαση σε ένα σχέδιο «πλέγματος» ή «βρόχου» - που στην πραγματικότητα αφορά ένα υβρίδιο υφιστάμενων ακτινικών τροφοδοτών και νέων δεσμών μεταξύ υποσταθμών και

τροφοδοτών - που μπορούν να πραγματοποιήσουν το έργο προηγμένων εφαρμογών του συστήματος διανομής. Ο υβριδικός σχεδιασμός ή το πλέγμα παρέχει ένα μέσο για την απομόνωση βλαβών και τον επαναπροσανατολισμό της ισχύος γύρω από το προβληματικό τμήμα, διατηρώντας όσο το δυνατόν περισσότερους πελάτες σε λειτουργία, ενώ το τμήμα με βλάβη επισκευάζεται (Das et. al., 2015).

Η διαδικασία αλλαγής της τοπολογικής δομής του δικτύου διανομής είναι γνωστή με την ονομασία «αναδιάταξη τροφοδότη». Η αυτόματη αναδιάρθρωση του τροφοδότη είναι μια δυνατότητα για βελτιωμένη εξυπηρέτηση των πελατών μετά από σφάλμα ή διαταραχή του συστήματος. Απαιτείται αναδιαμόρφωση των τροφοδοτών, αυτόματη ή χειροκίνητη, σε άλλες καταστάσεις, όπως εξισορρόπηση φορτίου, απομόνωση φορτίου κ.λπ.

Ενώ η αυτόματη αναδιάρθρωση του τροφοδότη έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο στις παραμέτρους PQ, όπως οι μικρές διακοπές, η μη αυτόματη αναδιάρθρωση μπορεί επίσης να επηρεάσει τις παραμέτρους PQ όπως οι μεγάλες διακοπές. Είναι πάντα επιθυμητό να διατηρείται το PQ κατά την αναδιάρθρωση του τροφοδότη εκτός από συνθήκες βλάβης. Ωστόσο, μετά από σφάλμα, οι παράμετροι PQ ενδέχεται να επιτρέπεται να αποκλίνουν για μικρό χρονικό διάστημα.

Όταν παρουσιαστεί μια βλάβη στο δίκτυο αποτελεί σημαντικό να εντοπιστεί η τοποθεσία της βλάβης. Εφόσον η βλάβη εντοπιστεί το βοηθητικό πρόγραμμα του δικτύου να μπορεί να αποκαταστήσει την ηλεκτρική ροή στους πληγέντες πελάτες το συντομότερο δυνατό. Στο παρελθόν, η αποκατάσταση του συστήματος μετά από μια διαταραχή θα απαιτούσε ανθρώπινη απόκριση βασισμένη στη λειτουργία προστατευτικών συσκευών. Οι προσδοκίες για ταχύτερους χρόνους αποκατάστασης οδήγησαν, για παράδειγμα, στην ανάπτυξη και εγκατάσταση των δεικτών κυκλώματος βλάβης (FCI) ή των δεικτών διέλευσης σφαλμάτων (FPI) για την πιο επιλεκτική αναγνώριση και απομόνωση του ελαττωματικού τμήματος του συστήματος (Das et. al., 2015).

Τα τελευταία χρόνια με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την εισαγωγή τεχνολογιών επικοινωνίας στο σύστημα διανομής και την εγκατάσταση αυτοματοποιημένων διακοπών τα τελευταία χρόνια, είναι πλέον δυνατή η ταχεία αναγνώριση και απομόνωση του ελαττωματικού τμήματος ή τμήματος του δικτύου. Μια



αυτοματοποιημένη διαδικασία αποκατάστασης συμβάλλει σε βελτιωμένους δείκτες αξιοπιστίας. Το σύστημα εντοπισμού βλαβών, απομόνωσης και αποκατάστασης υπηρεσίας (FLISR) είναι μια σημαντική πτυχή της λειτουργίας του συστήματος για τη βελτίωση της αξιοπιστίας του δικτύου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι επίσης γνωστό ως ανίχνευση σφαλμάτων, απομόνωση και αποκατάσταση (FDIR). Θεωρείται ως ένα, το FLISR / FDIR έχει σχεδιαστεί για την ανίχνευση βλάβης στον τροφοδότη, την απομόνωση της βλάβης και την επαναφορά της υπηρεσίας σε μη προεπιλεγμένες ενότητες, μειώνοντας το χρόνο αποκατάστασης για το τμήμα με βλάβη, διατηρώντας παράλληλα την υπηρεσία σε πελάτες που δεν επηρεάζονται. Αν και τα FLISR και FDIR χρησιμοποιούνται ως συνώνυμα, μπορεί να γίνει μια λεπτή διάκριση μεταξύ των δύο συστημάτων. Η ακριβής τοποθεσία σφάλματος ενδέχεται να μην αποτελεί αναπόσπαστο μέρος ενός συστήματος FDIR και εξαρτάται από άλλα εξωτερικά συστήματα όπως το σύστημα διαχείρισης διακοπής λειτουργίας (OMS) και το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) - σε ορισμένες περιπτώσεις, τα δεδομένα του συστήματος πληροφοριών πελατών (CIS) μπορεί ακόμη και να χρησιμοποιηθούν για εντοπιστεί το σφάλμα και γίνει αναλόγως το πλήρωμα επισκευής. Η λογική FLISR / FDIR μπορεί να συγκεντρωθεί στο κέντρο λειτουργίας ή να διανεμηθεί σε διακόπτες που βασίζονται σε υποσταθμούς ή peer-to-peer που βρίσκονται σε τροφοδότες) (Das et. al., 2015).

## 6.2 Διαχείριση της Ποιότητας της Ισχύος

Η επιτυχής μετατροπή των υπαρχόντων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας στα μελλοντικά «έξυπνα δίκτυα» βασίζεται ουσιαστικά στη σωστή αξιολόγηση και κατανόηση των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων προσφοράς-ζήτησης. Στο πλαίσιο των «έξυπνων δικτύων», οι πρωταρχικοί καθοριστικοί παράγοντες αυτών των αλληλεπιδράσεων είναι οι αλλαγές στην πραγματική ποσότητα και μορφή ροής ισχύος και ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ της «πλευράς προσφοράς» και της «πλευράς της ζήτησης». Και από τις δύο πλευρές, οι αλλαγές στις βασικές αρχές λειτουργίας, οι οποίες πραγματοποιούνται ήδη σε υπάρχοντα δίκτυα και θα είναι πιο έντονες στο μέλλον και χαρακτηρίζονται ως μετατόπιση από μονοκατευθυνόμενες ροές εξουσιών και ανταλλαγές ενέργειας μόνο με τη βασική συχνότητα τροφοδοσίας του συστήματος σε αμφίδρομες ροές ισχύος και

ανταλλαγές ενέργειας σε μορφή συνεχούς ρεύματος (DC) και εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) σε πολύ ευρύτερες περιοχές συχνοτήτων. Η ποιότητα ισχύος παραμένει σημαντική για την ανάλυση όλων αυτών των αλληλεπιδράσεων και αλλαγών, καθώς προσφέρει βασικούς δείκτες και μετρήσεις για την περιγραφή και τον ποσοτικό προσδιορισμό της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας μεταξύ του δικτύου (CIRED, 2018).

Η Διαχείριση της Ζήτησης (Demand Side Management: DSM) υποδηλώνει διάφορες λειτουργίες, υπηρεσίες, μέτρα και ενέργειες στην «πλευρά της ζήτησης» των συστημάτων τροφοδοσίας, τα οποία γενικά στοχεύουν στην αλλαγή του ποσού των απαιτήσεων ισχύος σε σχέση με τα σχετικά χωρικά και / ή χρονικά πρότυπα κατανάλωσης μέσω του έλεγχου φορτίων. Υπάρχουν διάφορες μορφές DSM, οι οποίες κυμαίνονται από:

- Αναβάθμιση του υπάρχοντος δικτύου ήτοι την αντικατάσταση των παλαιών τύπου συστημάτων με νέα τεχνολογικά προηγμένα συστήματα,
- Εισαγωγή χρονόμετρητών προκειμένου να ελέγχει ο καταναλωτής την κατανάλωση της ενέργειας,
- Διαχείριση της ενέργειας με την εισαγωγή εκκαθαριστικών λογαριασμών και όχι έναντι (Estimated VS Actual readings).

## 7. Συμπέρασμα

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ολοένα και κερδίζουν περισσότερο έδαφος σε διεθνές επίπεδο προκειμένου να μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούν οι συμβατικές μορφές ενέργειας (λιγνίτης, καύση πετρελαίου κλπ.). Με βάση αυτό το κριτήριο στηρίχθηκε και η Ευρωπαϊκή Πολιτική για τις ΑΠΕ που με στόχο του 20-20-20.

Ο στόχος του 20-20-20 αφορά έναν τριπλό ευρωπαϊκό ενεργειακό στόχο που αφορά 20% μείωση στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, 20% αύξηση του ποσοστού ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές για την κάλυψη των αναγκών της Ευρώπης και 20% περισσότερη αποτελεσματικότητα στη χρήση ενέργειας σε όλη την Ευρωπαϊκή Ενέργεια ως το 2020 (energy press, 2013).

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι ανεμογεννήτριες και άλλα παρεμφερή συστήματα τα οποία εκμεταλλεύονται τις ΑΠΕ αποτελούν μια τεχνολογική καινοτομία η οποία εκτός του ότι θα μειώσει τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα θα συμβάλλει και στη μείωση του κόστους της ενέργειας ως προς τους καταναλωτές.

Ωστόσο, η συμμετοχή των ΑΠΕ στα δίκτυα διανομής αυξάνεται σημαντικά ανά την υφήλιο και αυξάνεται ο κίνδυνος ανισορροπιών μεταξύ της ικανότητας του φορτίου δράσης και της ικανότητας ασυνεχούς παραγωγής.

Λόγω αυτών των γεγονότων και των αρκετών τεχνικών προβλημάτων που προκύπτουν από την ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο δίκτυο διανομής θα πρέπει να γίνει διασφάλιση ορισμένων πρόσθετων συνιστωσών του ενεργειακού συστήματος. Αυτές οι συνιστώσες αφορούν την επέκταση των δικτύων, τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης καθώς και την εφεδρική δυναμικότητα. Ωστόσο, εάν τα προαναφερθέντα δεν είναι διαθέσιμα για τον οποιοδήποτε λόγο το αποτέλεσμα επιφέρει δύο τινά. Αρχικά θα υπάρχει πρόσκαιρη αδυναμία εκμετάλλευσης της παραγόμενης ενέργειας και δεύτερο θα υπάρχει παροδική υπερφόρτωση των δικτύων καθώς και των συστημάτων ελέγχου.

Τα τινά αυτά θα έχουν επακόλουθες συνέπειες στην αναποτελεσματική χρήση των υπάρχοντων εγκαταστάσεων καθώς και τη διακύβευση της ασφάλειας του ενεργειακού ανεφοδιασμού όσο και τη βιωσιμότητα της αγοράς της ενέργειας (Γριβοκωστόπουλος, 2016).

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τα προαναφερθέντα ζητήματα, αντιλαμβάνεται κανείς ότι υπάρχει πληθώρα τεχνικών προβλημάτων (αλλά και λύσεων) που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στο μέλλον. Ωστόσο, απαιτείται σημαντική και προσεκτική αξιολόγηση και επανεξέταση των τεχνικών πληροφοριών προκειμένου να υπάρχει εγγυημένη ασφάλεια του εφοδιασμού της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και να καλύπτεται η ηλεκτρική ενέργεια η οποία παράγεται από ΑΠΕ τη σχετική ζήτηση (Nelson, 2002).

Εν συνεχεία, προκειμένου οι ΑΠΕ να συνδεθούν στο υπάρχων δίκτυο απαιτεί πρόσθετες επενδύσεις προκειμένου να συμπληρωθούν κενά μεταξύ της νέας αυτής τεχνολογίας και τα υπάρχοντα συστήματα. Ως εκ τούτου, θα υπάρχει σημαντική αύξηση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία θα μεταφερθεί στους καταναλωτές ήτοι θα μπορούσε να επιφέρει σημαντική αύξηση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας.

Παρά τα προβλήματα αυτά οι ΑΠΕ αποτελούν ένα βιώσιμο ενεργειακό σύστημα διότι είναι ανεξάντλητες και μαζί με την πληθώρα τους θα μπορούν να μειώσουν σημαντικά τους ρυπογόνους παράγοντες. Όπως και σε κάθε τεχνολογική καινοτομία, έτσι και οι ΑΠΕ και οι συνοδευόμενες τεχνολογίες τους θα έχουν ένα σημαντικό κόστος το οποίο είναι αναπόφευκτο. Άλλα οικονομικά κόστη τα οποία δύναται να προκύψουν είναι η πρόκληση ζημίας στην ανταγωνιστικότητα της ευρωπαϊκής βιομηχανίας και η πρόσθετη επιβάρυνση ιδίων των μειονεκτουσών κοινωνικών ομάδων (Κορωναίου, 2011).

Οι ΑΠΕ ωστόσο θα δώσουν ανάσα όχι μόνο ως προς το περιβάλλον αλλά τους ίδιους τους καταναλωτές αφενός γιατί θα μειωθεί το ενεργειακό κόστος (μακροπρόθεσμα) αφετέρου θα μπορούν και οι ίδιοι να γίνουν παραγωγοί ενέργειας και να μεταπωλούν το ρεύμα στους ενεργειακούς παρόχους καθώς και σε άλλους καταναλωτές. Η εξέλιξη αυτή χαρακτηρίζεται από καινοτομία με πολλαπλά οφέλη αρχικά για το περιβάλλον και τη μείωση των ρύπων και μετέπειτα για τις «τσέπες» των ανθρώπων αφού θα καλούνται να πληρώσουν λιγότερα.

Καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η Ελλάδα βρίσκεται σε προνομακή γεωγραφική θέση ειδικά οι νησιωτικές περιοχές με άπειρες ώρες ηλιοφάνειας συγκριτικά με άλλες χώρες της υφελίου. Η απεριόριστη ηλιακή και αιολική ενέργεια θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως δώρο με πολλαπλά οφέλη ως προς το

περιβάλλον και ως προς τους Έλληνες. Η εκμετάλλευση της ηλιακής και αιολικής ενέργειας ωστόσο δεν περιλαμβάνουν και άλλες μορφές ενέργειας όπως είναι η αεροθερμική, γεωθερμική, υδροθερμική και την ενέργεια των ωκεανών καθώς και την υδροηλεκτρική. Διαπιστώνει κανείς λοιπόν πως η Ελλάδα είναι σε πλεονεκτική θέση και η εκμετάλλευση όλων αυτών των ενεργειών μπορεί να μειώσει σημαντικά τους ρύπους της ατμόσφαιρας με πολλαπλά οφέλη στους καταναλωτές.

## 8 Βιβλιογραφία

### Ελληνική Βιβλιογραφία

- 1) Ανδρίτος, Ν. (χ.η) *Ενέργεια και Περιβάλλον*, Κεφάλαιο 10: Αιολική Ενέργεια.
- 2) Business Daily (2020) *Πώς ο καταναλωτής θα γίνει παραγωγός ενέργειας το 2050*, Ημερ. Πρόσβασης: 28/04/2020 [online]:

[https://www.businessdaily.gr/oikonomia/6818\\_pos-o-katanalotis-tha-ginei-paragogos-energeias-2050](https://www.businessdaily.gr/oikonomia/6818_pos-o-katanalotis-tha-ginei-paragogos-energeias-2050)

- 3) Γριβοκωστόπουλος, Κ. (2016) *Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου και μελέτη διείσδυσης στο δίκτυο*, (Διπλωματική Εργασία), Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα.
- 4) energy press (2020) *Η Ευρώπη δυσκολεύεται να πιάσει τους στόχους του 20/20/20*, Ημερ. Πρόσβασης: 27/04/2020 [online]: <https://energypress.gr/news/i-eyropi-dyskoleyetai-na-piasei-toys-stohous-toy-202020>
- 5) Κορονωαίου, Χ. (2011) *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*, Διδακτικές Σημειώσεις. ΕΜΠ, Αθήνα.
- 6) Σημειώσεις μαθήματος “Ανακύκλωση και Ενεργειακή Αξιοποίηση Υλικών” του Μεταπτυχιακού Προγράμματος σπουδών Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων, Φ.Μπατζιάς 2007-2008.
- 7) Φραγκιουδάκη, Α. (2001) *Οικιακό Φωτοβολταϊκό Σύστημα συνδεδεμένο στο Δίκτυο*, (Διπλωματική Εργασία), Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα.
- 8) Χατζηβασιλειάδη, Ι. (2007). *ΑΝΑΛΥΣΗ: Ανάπτυξη των Φωτοβολταϊκών Εφαρμογών στην Ελλάδα.*, Ημερ. Πρόσβασης: 13/02/2020, [online]: <https://www.energia.gr/article/14262/analysh-anaptyxh-ton-fotovoltaikon-efarmogon-sthn-ellada-16052007>
- 9) γρεκα. ΕΙΔΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ (2009). Αθήνα

### **Ξένη Βιβλιογραφία**

- 1) Adapting Electricity Networks to a Sustainable Energy System – Smart metering and smart grids, Energy Markets Inspectorate, EIR 2011:03. [www.ei.se](http://www.ei.se)
- 2) Advantages and disadvantages of Solar Photovoltaic – Quick Pros and Cons of Solar PV. (2019) Ημερ. Πρόσβασης: 13/02/2020, [online]:

<https://www.renewableenergyworld.com/2012/12/19/advantages-and-disadvantages-of-solar-photovoltaic-quick-pros-and-cons-of-solar-pv/#gref>

- 3) BDEW (2008). *Technical Conditions for Connection to the Medium-Voltage Network*. German Association of Energy and Water Industries, Berlin, Germany.
- 4) Bello, E. (2018). *Design of a Pv-system with batteries for a grid connected building* (Διπλωματική Εργασία).
- 5) Benysek, M. , Kazmierkowski, J., Popczyk, R. and Strzelecki, T. Power electronic systems as a crucial part of Smart Grid infrastructure-a survey,". *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, 59(4), 455-473.
- 6) Bergen, A., and V. Vittal (2000). *Power Systems Analysis*. 2nd ed. Prentice-Hall Inc., NJ, USA, 619 pp.
- 7) Blaabjerg, F. and Ma, K. (2013) . Future on power electronics for wind turbine systems, *Emerging and Selected Topics in Power Electronics, IEEE Journal of*, 1(3), 139-152.
- 8) Billinton, R. and R.N. Allan (1988). Concepts of power system reliability evaluation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 10(3), pp. 139-141.
- 9) BMU (2010). *Renewable Energy Sources in Figures*. German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), Berlin, Germany, 76 pp.
- 10) Boyle, G. (1996). *Renewable Energy - Power for a sustainable future*, Oxford University Press.
- 11) A. Bracale, R. Angelino, G. Carpinelli, M. Mangoni, D. Proto (2015), "Dispersed generation units providing system ancillary services in distribution networks by a centralised control", *IET Renew. Power Gener.*, 2011, 5(4) pp. 311–321.
- 12) Breuer, W., V. Hartmann, D. Povh, D. Retzmann, and E. Teltsch (2004). Application of HVDC for large power system interconnections. In: *International Council on Large Electric Systems, 2004 Session*, Paris, France, 29 August – 3 September 2004.

- 13) Caamano-Martin, E., H. Laukamp, M. Jantsch, T. Erge, J. Thornycroft, H. De Moor, S. Cobben, D. Suna, and B. Gaiddon (2008). Interaction between photovoltaic distributed generation and electricity networks. *Progress in Photovoltaics*, 16(7), pp. 629-643.
- 14) R. Das et al., (2015) "Distribution automation strategies: Evolution of technologies and the business case", in *Proc. IEEE Trans. Smart Grid*, 6, (4), pp. 2166- 2175, doi:10.1109/TSG.2014.2368393,,
- 15) EA Energy Analyses (2007). *50% Wind Power in Denmark in 2025*. Energy Agency, Copenhagen, Denmark, 12 pp.
- 16) El-Sharkawi, A. (2009). *Electric Energy – An Introduction*. CRC Press, Taylor & Francis LLC, Oxford, UK, pp.472.
- 17) EirGrid (2010a). *Annual Renewable Report: Powering a Sustainable Future*. EirGrid, Dublin, Ireland, pp.32
- 18) Energie NB Power (2008). *Technical Specifications for Independent Power Producers*, Ontario, Canada.
- 19) W.J.B. Heffernan, N.R. Watson, R. Buehler, J.D. Watson, (2014) "Inverter Air Conditioners: Harmonic Characteristics and Modelling", Panel presentation at IEEE PES GM.
- 20) IEA (2010). *World Energy Outlook 2010*. International Energy Agency, Paris, France, 736 pp.
- 21) Kahn, E.P, Earle, R. and E. Macan (2009). Measuring the capacity impacts of demand response. *The Electricity Journal*, 22(6), pp. 47-58.
- 22) Kundur, P., (2007). Power system stability. Chapter 7 in: *Power System Stability and Control*. L. Grigsby (ed.), CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- 23) Linden, D., & Reddy, T. B. (2002). *Handbook of batteries*. New York: McGraw-Hill.
- 24) Masera, M., Bompard, E. F., Profumo, F., & Hadjsaid, N. (2018). Smart (Electricity) Grids for Smart Cities: Assessing Roles and Societal Impacts. *Proceedings of the IEEE*, 106(4), 613–625. doi: 10.1109/jproc.2018.281221232



- 25) Masters, L. (2002). Voltage rise - the big issue when connecting embedded generation to long 11 kV overhead lines. *Power Engineering Journal*, 16(1), pp. 5-12.
- 26) Modi, V., McDade, S., Lallement, D. and Saghir, J. (2005). *Energy services for the millennium development goals*. Energy Sector Management Assistance Programme, United Nations Development Programme, UN Millenium Project, and World Bank, New York, NY, USA.
- 27) MoP (2006). Rural electrification policy, Resolution 44/26/05-RE. *Gazette of India, Ministry of Power*, Vol. II (23 August), pp. 17.
- 28) Nelson, J. (2002). Organic photovoltaic films. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 6:87-95.
- 29) NREL (2010). *Oahu Wind Integration and Transmission Study: Summary Report*. National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA, pp.28.
- 30) Ontario Energy Board (2011). *Distribution System Code*, Ontario, Canada.
- 31) Ram, M., Gulagi, A. and Keiner, D. (2017) *Role of solar PV prosumers in enabling the energy transition towards a fully renewables based power system for India*, Germany.
- 32) Quoilin, S., Kavvadias, K., Mercier, A., Pappone, I. and Zucker A. (2016) Quantifying self -consumption linked to solar home battery systems: Statistical analysis and economic assessment, *Applied Energy*, no. 182, pp. 58-67.
- 33) Schäfer, N., T. Degner, J. Jäger, T. Teil, and A. Shustov (2010). Adaptive protection system for distribution networks with distributed energy resources. In: *10th International Conference on Developments in Power System Protection*, Manchester, UK, 29 March – 1 April 2010.
- 34) Sims, R., P. Mercado, W. Krewitt, G. Bhuyan, D. Flynn, H. Holttinen, G. Jannuzzi, S. Khennas, Y. Liu, M. O'Malley, L. J. Nilsson, J. Ogden, K. Ogimoto, H. Outhred, Ø. Ulleberg, F. van Hulle, 2011: Integration of Renewable Energy into Present and Future Energy Systems. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P.

- Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- 35) Stetz, T., W. Yan, and M. Braun (2010). Voltage control in distribution systems with high level PV-penetration – Improving absorption capacity for PV systems by reactive power supply. In: *25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, Valencia, Spain, 6-10 September 2010, pp. 5000-5006.
- 36) Stimoniaris, D., Tsiamitros, T., Kottas, N., Asimopoulos, E. and Dialynas, E. (2011), *Smart Grid Simulation Using Small-Scale Pilot Installations- Experimental Investigation of a Centrally-Controlled Microgrid*, IEEE PowerTech '11 Conference, Trondheim, Norway, Διαθέσιμο στο URL: <http://ieeexplore.ieee.org> (Ημερ. Πρόσβασης: 27/04/2020).
- 37) Y. Tripanagnostopoulos and S. Tselepis. “Hybrid solar/wind (PVT/WT) building integrated systems”. Proc. 2nd PV-Hybrid and Mini Grid Conference. Kassel, Germany 25-25 Sep (2003)
- 38) Witzel, W. & Seifred, D. (2010). *Renewable energy – The facts*, Freiburg/Germany: Energieagentur