

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ**

**ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ (SMART GRID) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ**

<b>ΟΝΟΜΑ</b>	<b>ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ</b>	<b>ΕΞ</b>
<b>ΔΡΟΛΙΑΣ ΓΙΩΡΓΟΣ</b>	<b>33508</b>	<b>ΙΓ</b>
<b>ΛΕΚΚΑΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ</b>	<b>33426</b>	<b>ΙΒ</b>

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΗΡΑΚΛΗΣ ΒΥΛΛΙΩΤΗΣ**

**ΗΜ.ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ: 12/01/2011**

# **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

## **Κεφάλαιο 1ο**

### **ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ(SMART GRID) .....σελ 6**

- 1.1 Η έννοια του έξυπνου δικτύου .....σελ 6
- 1.2 Η χρησιμότητα των δικτύων .....σελ 9
- 1.3 Από τα smart metering στα smart grids μέσω ενεργειακής πληροφορικής  
.....σελ 10
- 1.4 Ενεργειακά πληροφοριακά συστήματα .....σελ 11
- 1.5 Smart grids .....σελ 12
- 1.6 Τα “έξυπνα δίκτυα παροχής” ρεύματος για το αύριο .....σελ 13
- 1.7 Η πρόσβαση στον καταναλωτή .....σελ 14
  - 1.7.1 Το πρώτο έξυπνο πλυντήριο .....σελ 14
- 1.8 Smarts grids & energy management .....σελ 15
- 1.9 Χρήση των έξυπνων δικτύων στο άμεσο μέλλον .....σελ 16

## **Κεφάλαιο 2ο**

### **ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ(INVERTERS) .....σελ 18**

- 2.1 Η έννοια του αντιστροφέα (inverter DC-AC) .....σελ 18
- 2.2 Αρχές λειτουργίας των αντιστροφένων .....σελ 22
- 2.3 Έλεγχος των αντιστροφένων πηγής τάσης .....σελ 24
- 2.4 Δομή των αντιστροφένων πηγής τάσης .....σελ 26
- 2.5 Αντιστροφέας ΣΡ/ΕΡ .....σελ 29
- 2.6 Αντιστροφέας Φ/Β συστημάτων .....σελ 49
- 2.7 Παράδειγμα ενός μετατροπέα τάσης ρεύματος .....σελ 52

## **Κεφάλαιο 3ο**

### **ΥΠΕΡΔΙΚΤΥΑ .....σελ 55**

- 3.1 Έξυπνο δίκτυο και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας - Ο όρος των υπερδικτύων  
.....σελ 55
- 3.2 Τα έξυπνα δίκτυα μπορούν να χειριστούν τις ΑΠΕ .....σελ 57
- 3.3 Υπερδίκτυα για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από τις ΑΠΕ .....σελ 58
- 3.4 Η διαχείριση της ζήτησης .....σελ 59
- 3.5 Το μοντέλο της Ευρώπης -Το δίκτυο μπορεί να υποστηρίξει την ενεργειακή  
επανάσταση .....σελ 60
- 3.6 Συστάσεις πολιτικής .....σελ 60

3.7 Τα πλεονεκτήματα ενός διασυνδεδεμένου και πιο έξυπνου συστήματος.....σελ 61	σελ 61
3.8 Για την προώθηση των έξυπνων δικτύων θα πρέπει να υπάρξουν δραστικές αλλαγές .....σελ 62	σελ 62

## **Κεφάλαιο 4ο**

### **ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ .....σελ 64**

4.1 Εισαγωγή στα μικροδίκτυα .....σελ 64	σελ 64
4.2 Η έννοια των μικροδικτύων .....σελ 65	σελ 65
4.3 Περιγραφή των μικροδικτύων .....σελ 66	σελ 66
4.4 Τεχνολογίες παραγωγής .....σελ 67	σελ 67
4.5 Τεχνική λειτουργία του μικροδικτύου .....σελ 69	σελ 69
4.6 Οικονομική λειτουργία του μικροδικτύου .....σελ 70	σελ 70
4.7 Οικολογικά πλεονεκτήματα των μικροδικτύων .....σελ 71	σελ 71
4.8 Συστήματα ελέγχου που βασίζονται στη τεχνολογία των ευφυών πρακτόρων.....σελ 72	σελ 72
4.9 Ανάπτυξη λογισμικού με βάση τη λογική των πρακτόρων .....σελ 74	σελ 74
4.10 Κατανεμημένος έλεγχος που βασίζεται στους ευφυείς πράκτορες ...σελ 76	σελ 76
4.11 Συστήματα πολλαπλών ευφυών πρακτόρων .....σελ 78	σελ 78
4.12 Επικοινωνία των πρακτόρων .....σελ 80	σελ 80
4.13 Η αλληλεπίδραση των πρακτόρων .....σελ 81	σελ 81
4.14 Μηχανική μάθηση .....σελ 81	σελ 81
4.15 Πολυεπίπεδη μάθηση .....σελ 82	σελ 82
4.16 Ο έλεγχος των μικροδικτύων .....σελ 84	σελ 84
4.17 Εφαρμογή των συστημάτων πολλαπλών ευφυών πρακτόρων στον έλεγχο των μικροδικτύων .....σελ 89	σελ 89
4.18 Από τον κεντρικό έλεγχο στα έξυπνα δίκτυα .....σελ 91	σελ 91
4.19 Η τεχνολογία της πληροφορικής στα έξυπνα δίκτυα και στα μικροδίκτυα.....σελ 91	σελ 91
4.20 Συστήματα εποπτείας και ελέγχου συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας (Scada) .....σελ 92	σελ 92
4.21 Συστήματα εποπτείας και ελέγχου στο περιβάλλον του διαδικτύου .σελ 93	σελ 93
4.22 Ανάπτυξη συστήματος Scada για τον έλεγχο και την παρακολούθηση του μικροδικτύου .....σελ 99	σελ 99
4.23 Ανάλυση ενός πειραματικού μικροδικτύου .....σελ 102	σελ 102

## Κεφάλαιο 5ο

### ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ .....σελ 106

5.1 Τα ηλεκτρικά δίκτυα μέσης τάσης .....	σελ 106
5.2 Τα βασικά στοιχεία του δικτύου μέσης τάσης .....	σελ 106
5.3 Μέθοδος αποτύπωσης του δικτύου .....	σελ 107
5.4 Οι κόμβοι .....	σελ 107
5.5 Δίθυρα στοιχεία .....	σελ 108
5.5.1 Η γραμμή και το καλώδιο .....	σελ 109
5.5.2 Μετασχηματιστής .....	σελ 110
5.5.3 Στοιχεία προστασίας .....	σελ 110
5.5.4 Εγκάρσιοι πυκνωτές αντιστάθμισης .....	σελ 111
5.6 Υποσταθμοί μέσης τάσης .....	σελ 112
5.6.1 Γενικές αρχές και προϋποθέσεις σύνδεσης .....	σελ 112
5.6.2 Μέσα ζεύξης και προστασίας .....	σελ 114
5.6.3 Αυτόματος διακόπτης διασύνδεσης (Α.Δ.Δ.) .....	σελ 115
5.6.4 Προστασία απόζευξης .....	σελ 116
5.6.5 Αντιστάθμιση αέργου ισχύος .....	σελ 119
5.6.6 Συνθήκες ζεύξης .....	σελ 121
5.6.7 Διακόπτες και ασφάλειες στη μέση τάση .....	σελ 122
5.6.8 Πίνακες του δικτύου μέσης τάσης της ΔΕΗ .....	σελ 124
5.7 Καλώδια μέσης τάσης .....	σελ 125
5.8 Μοντελοποίηση δικτύου .....	σελ 126
5.8.1 Μοντελοποίηση φορτίων .....	σελ 127
5.8.2 Μοντελοποίηση μετασχηματιστών .....	σελ 129
5.8.2.1 Μετασχηματιστής ΥΨΗΛΗΣ/ΜΕΣΗΣ τάσης .....	σελ 129
5.8.2.2 Μετασχηματιστές διανομής .....	σελ 130
5.8.3 Υπολογισμός παραμέτρων για Μ/Σ διανομής .....	σελ 131
5.8.4 Δοκιμή Μ/Σ με το δευτερεύον εν κενώ .....	σελ 132
5.8.5 Δοκιμή Μ/Σ με βραχυκυκλωμένο το δευτερεύον .....	σελ 133
5.8.6 Γραμμές μεταφοράς .....	σελ 134
5.8.7 Ομοπολικό σύστημα .....	σελ 134
5.8.8 Ευθύ σύστημα .....	σελ 136

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο**

**ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ .....σελ 137**

6.1 Έξυπνα δίκτυα – Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα .....σελ 137

6.2 Χρήση αντιστροφών – Εφαρμογές και οφέλη .....σελ 142

**Αποτελέσματα – Συμπεράσματα .....σελ 143**

**Βιβλιογραφία .....σελ 144**

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

## **ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ(SMART GRID)**

### **1.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ**

Το Ευφυές Δίκτυο (Smart Grid) είναι μια αναβάθμιση του ηλεκτρικού δικτύου, που χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες επικοινωνιών, αυτοματοποιημένου ελέγχου, αυτοματοποιημένες συσκευές μέτρησης και γενικότερα αξιοποιεί την τεχνολογία της πληροφορίας. Αυτή η ιδέα συνδυάζει βασική υποδομή του ενεργειακού συστήματος, την πληροφορία και τους κανόνες της αγοράς (τιμολογιακή πολιτική) σε μια ολοκληρωμένη διαδικασία με σκοπό την καλύτερη παροχή, έλεγχο και γενικότερα διαχείριση της ενέργειας. Ένα ευφυές δίκτυο επιτρέπει στις συσκευές όλων των επιπέδων να επικοινωνούν με το σύστημα και να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο ώστε να μπορούν να λειτουργούν όσο το δυνατόν πιο αποδοτικά (συστήματα AMR). Με τη χρήση έξυπνων συσκευών οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν το φορτίο τους και να εξοικονομούν ενέργεια (πολιτικές DSM).Επιπλέον προηγμένες επικοινωνιακές ικανότητες επιτρέπουν την άμεση ενημέρωση για την τιμολόγηση της ενέργειας, για τα κίνητρα μείωσης ζήτησης και για σήματα άμεσης διακοπής φορτίων (πολιτικές DR).

Επειδή η ζήτηση δεν είναι σταθερή αλλά έχει διακυμάνσεις απαιτούνται οι στρεφόμενες εφεδρείες για να καλύψουν την επιπλέον ζήτηση , όταν χρειαστεί. Αυτός ο τρόπος διαχείρισης έχει υψηλό κόστος, τόσο γιατί το 10% της ενέργειας που είναι διαθέσιμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για το 1% του χρόνου στο οποίο είναι διαθέσιμο, όσο διότι οι διακοπές παροχής ρεύματος και τα σφάλματα είναι ζημιογόνα για τους χρήστες. Το ευφυές δίκτυο προσφέρει αλληλεπίδραση μεταξύ φορτίου και παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, που επιτρέπει τον καλύτερο υπολογισμό του ισοζυγίου και επιτρέπει στους χειριστές να ανιχνεύουν σφάλματα και να βρίσκουν ταχύτητα εναλλακτική διαδρομή για τη ροή της ενέργειας παρακάμπτοντας το σφάλμα, έτσι αυξάνεται η αξιοπιστία. Επίσης αλλάζοντας ο μηχανισμός κοστολόγησης (υψηλές τιμές ενέργειας τις ώρες αιχμής και χαμηλότερες τις υπόλοιπες ώρες) γίνεται μετατόπιση φορτίων και μειώνονται οι ανάγκες για εφεδρεία.Θα μπορούσε μάλιστα σε ένα τέτοιο σύστημα η τιμή να μεταβάλλεται συνεχώς ανάλογα με τη ζήτηση. Ενθαρρύνεται επίσης και η χρήση "πράσινης ενέργειας" που μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί σε ένα τέτοιο σύστημα καθώς κάθε καταναλωτής μπορεί να γίνει και παραγωγός χρησιμοποιώντας τεχνολογίες ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, μικρά υδροηλεκτρικά, κυψέλες υδρογόνου, συμπαραγωγή) και να προσφέρει την περίσσεια ενέργεια στο δίκτυο ή απλά να καλύπτει μέρος της ζήτησης του. Χρησιμοποιώντας ένα έξυπνο μετρητή ο πελάτης μπορεί άμεσα να γνωρίζει τι ισχύ απορροφά ή προσφέρει στο δίκτυο . Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι το Ευφυές Δίκτυο υποβοηθούμενο από τεχνολογίες Smart metering, Energy Storage και πολιτικών DR/DSM αλλά και on-line υπηρεσιών πληροφορικής (EIS) αποτελεί ένα βέλτιστο σύστημα διαχείρισης της ενέργειας.

## **Η έννοια των «Ευφυών Δικτύων»**

### **SmartGrids**

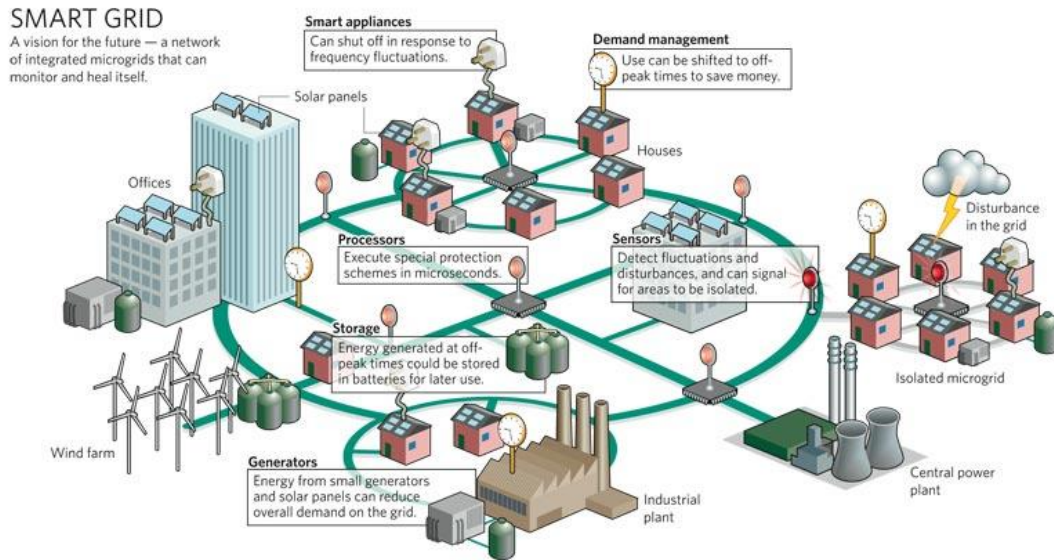
ϝ “Ευφυής” συνύπαρξη της κεντρικής και διεσπαρμένης παραγωγής με αποτέλεσμα την μείωση της χρήσης άνθρακα και ορθολογική διαχείριση της ζήτησης

ϝ Εμπορία ενέργειας και βελτιστοποίηση κόστους μέσω χρονομεταβλητών τιμολογίων και διαφόρων κινήτρων εξαρτώμενων από το μεταβαλλόμενο φορτίο

ϝ Ενεργός συμμετοχή του πελάτη με αμφίδρομη επικοινωνία και ευρεία πληροφόρηση

Ένα ευφυές δίκτυο προσφέρει :

- Αυξημένη αξιοπιστία
- Αποκεντρωμένη παραγωγή (οικιακοί καταναλωτές που μπορούν να γίνουν και παραγωγοί)
- Ελαστικότητα στη ζήτηση ενέργειας με τη χρήση ΑΠΕ
- Εξοικονόμηση Ενέργειας – Μείωση Απωλειών
- Προστασία Περιβάλλοντος



Εικόνα 1 : “Smart Grid”

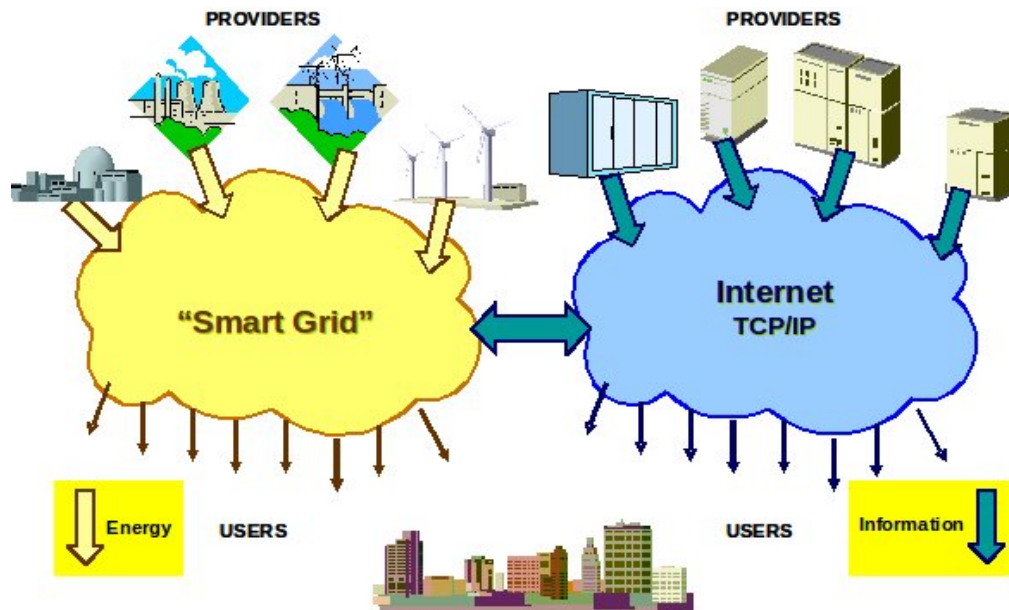
URL : <http://www.consumerenergyreport.com/2010/04/12/us-invests-in-smart-grid-training/>

Το ‘Εξυπνο Δίκτυο’ βασίζεται στη χρήση έξυπνων τεχνολογιών ενέργειας, στην εφαρμογή ελέγχου της ενέργειας μέσω ψηφιακών πληροφορικών συστημάτων (έξυπνοι μετρητές και έξυπνες συσκευές) που επικοινωνούν μέσω Internet με παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, με στόχο τη μεγιστοποίηση της παραγωγής του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, της παράδοσης και των ενεργειακών απαιτήσεων του τελικού χρήστη.

Το μοντέλο αυτό συνεπάγεται τη χρήση δυο ανεξάρτητων και ξεχωριστών υποδομών: του ‘Εξυπνου Δικτύου’ και του Internet. Βλέπε εικόνα 2.

Αυτό το όραμα για μια κοινή υποδομή Ενέργειας και Επικοινωνιών θα αποφέρει κέρδος, αλλά το ‘Εξυπνο Δίκτυο’ βρίσκεται στα μισά του δρόμου. Αυτό που μένει να γίνει είναι να δημιουργηθεί μια κοινή υποδομή που θα παρέχει, αποτελεσματικά και οικονομικά, δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την κάλυψη των αναγκών μιας δυναμικής αγοράς ενέργειας, και θα αποτελεί τη βάση για τις επιχειρήσεις και τους καταναλωτές, για να κάνουν επιλογές χρήσης ενέργειας με βάση το κόστος και τη διαμόρφωση των τιμών.





Εικόνα 2 : Το “Εξυπνο Δίκτυο”  
 URL : [www.re-public.gr/?p=1842](http://www.re-public.gr/?p=1842)

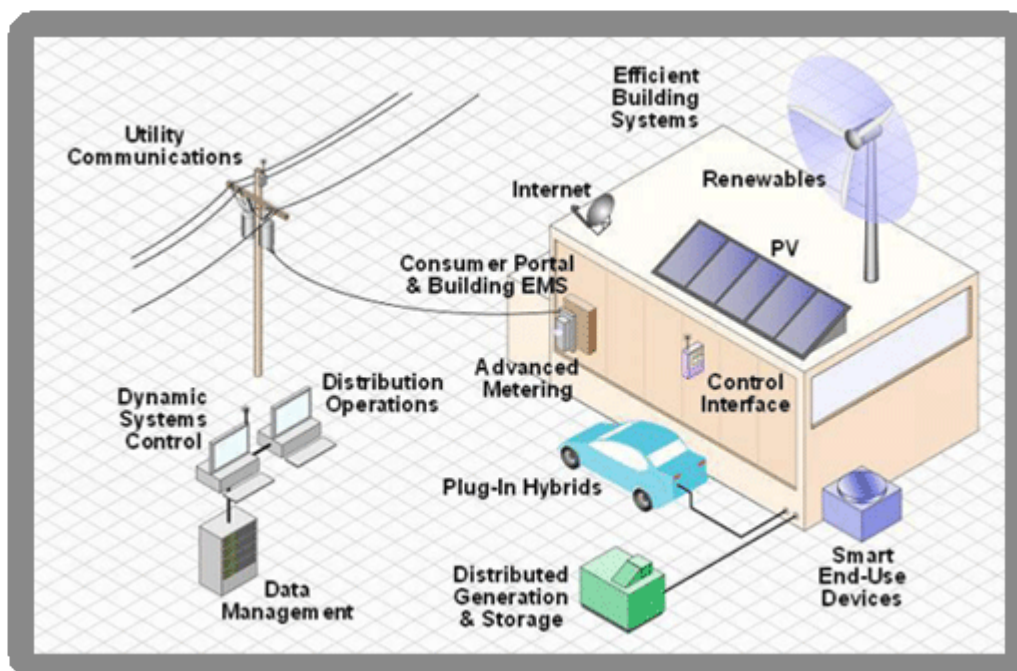
## 1.2 Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Το δίκτυο είναι κάτι που συνήθως παραβλέπεται όταν κάποιος αναφέρεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στο ενεργειακό μίγμα. Ο ανεπτυγμένος κόσμος μπορεί να έχει εκτεταμένα ηλεκτρικά δίκτυα που διανέμουν την ενέργεια σχεδόν στο 100% του πληθυσμού. Δε συμβαίνει κάτι παρόμοιο όμως και στον αναπτυσσόμενο κόσμο, όπου πολλές φτωχές και αγροτικές περιοχές είτε δεν ηλεκτροδοτούνται καθόλου είτε ηλεκτροδοτούνται μέσω αναξιόπιστων δικτύων, αλλά και τοπικών ‘βρώμικων’ πηγών ενέργειας, όπως είναι λ.χ. το πετρέλαιο. Δυστυχώς στην Ελλάδα βιώνουμε μια παρόμοια κατάσταση, αφού μη διασυνδεδεμένα νησιά του Αιγαίου, η Ρόδος και η Κρήτη, βασίζονται στην καύση πετρελαίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτός από το προφανές περιβαλλοντικό κόστος, αυτή η πρακτική είναι ασύμφορη για την οικονομία της χώρας που αναγκάζεται σε δαπανηρές εισαγωγές πετρελαίου. Μόνο για το 2008, η ΔΕΗ δαπάνησε περισσότερα από 1 δις € για την αγορά πετρελαίου. Το μέλλον του πλανήτη μας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από μία μαζική στροφή στην εκμετάλλευση των ΑΠΕ παγκοσμίως. Ωστόσο, τα δίκτυα που διανέμουν το ηλεκτρικό ρεύμα στα σπίτια και στα γραφεία μας σχεδιάστηκαν για μεγάλες, κεντρικές μονάδες που παράγουν σταθερά μεγάλες ποσότητες ενέργειας όπως οι λιγνιτικοί ή οι πυρηνικοί σταθμοί και που είναι γνωστές ως ‘μονάδες βάσεις’. Μέχρι σήμερα, οι ΑΠΕ έπρεπε να ‘χωρέσουν’ σε αυτό το σύστημα ως ένα πολύ μικρό μερίδιο του ενεργειακού μίγματος και να προσαρμοστούν στη συγκεκριμένη φιλοσοφία της αρχιτεκτονικής του δικτύου. Αν θέλουμε λοιπόν να επιτρέψουμε τη μέγιστη διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό μας μίγμα, θα

πρέπει να στραφούμε σε ένα διαφορετικής αρχιτεκτονικής δίκτυο που να εξυπηρετεί τις ανάγκες των ΑΠΕ. Μερικοί επικριτές των ΑΠΕ ισχυρίζονται πως αυτές δεν πρόκειται ποτέ να παράγουν αρκετή ενέργεια ώστε να καλύψουν όλες τις ενεργειακές μας ανάγκες, πόσο μάλλον τη μελλοντική προβλεπόμενη αύξηση της ζήτησης. Αυτό συμβαίνει γιατί οι φυσικές πηγές, όπως ο ήλιος και ο άνεμος, αδυνατούν να παράγουν ενέργεια 24 ώρες επί 7 ημέρες. **Αυτή η έκθεση αποδεικνύει ότι κάνουν λάθος.** Έχουμε τον ήλιο, τον άνεμο, τη γεωθερμία, τους ποταμούς για σήμερα και την κυματική ενέργεια, τη βιομάζα και τις αποδοτικές γεννήτριες αερίου που θα μπορούν να παράγουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας για το μέλλον. Έξυπνες τεχνολογίες μπορούν να διαχειρίζονται τις καταναλωτικές τάσεις, να παρέχουν με ευελιξία ενέργεια ακολουθώντας τις αυξομειώσεις της ζήτησης κατά τη διάρκεια της ημέρας, να αξιοποιούν καλύτερα τις διαθέσιμες επιλογές αποθήκευσης αλλά και να μετατρέπουν ομάδες καταναλωτών σε 'εικονικές' μπαταρίες. Με όλες αυτές τις λύσεις μπορούμε να διασφαλίσουμε το ασφαλές και σταθερό ενεργειακό μέλλον που απαιτείται προκειμένου να αποτρέψουμε τις καταστροφικές κλιματικές αλλαγές. Απλά χρειαζόμαστε τα έξυπνα δίκτυα για να ενώσουμε όλα τα κομμάτια του παζλ.

### 1.3 ΑΠΟ ΤΟ SMART METERING ΣΤΑ SMART GRIDS ΜΕΣΩ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

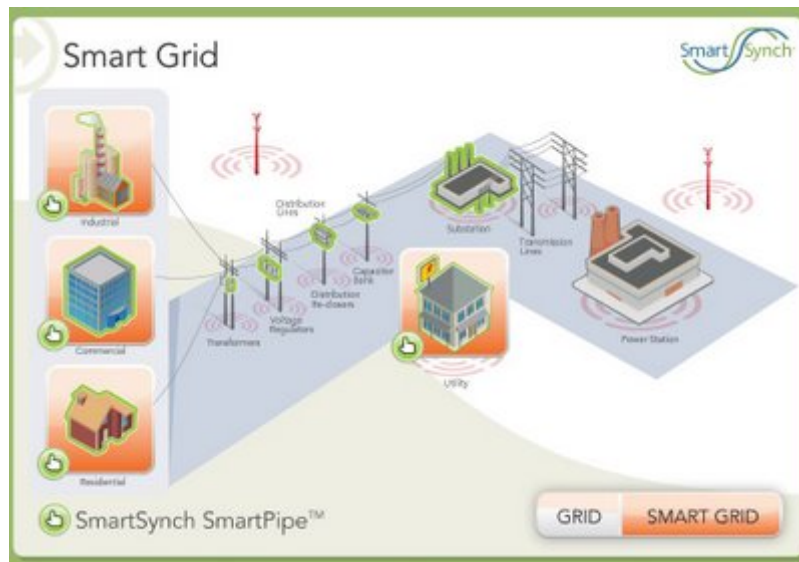
Ήδη, η Ευρωπαϊκή Ένωση, με ειδική σύσταση προς τα Κράτη Μέλη και ασφαλώς και την Ελλάδα προσκαλεί τις Εθνικές υπηρεσίες να αρχίσουν να σχεδιάζουν την Εθνική Ενεργειακή Πληροφοριακή Στρατηγική και Σχεδιασμό τους. Κοινός παρανομαστής όλων των παραπάνω, παραμένει η ενεργειακή πληροφορία και η ψηφιακή ενεργειακή στρατηγική που θα πρέπει να σχεδιαστεί σωστά και να ακολουθηθεί με σταθερά βήματα. Σημεία κλειδιά, αυτή της στρατηγικής, είναι ασφαλώς οι τρόποι μέτρησης της ενεργειακής πληροφορίας (smart metering), η ανάλυσή της και διαχείρισή της (Ενεργειακή Πληροφορική – Energy Information System), καθώς και η μετάβασή της προς στοχευμένες δράσεις και ψηφιακές ενεργειακές υπηρεσίες επιπέδου Smart Grid (Υπηρεσίες Ευφυών Ηλεκτρικών Δικτύων).



Εικόνα 3 : Smart Grid Metering (μέτρηση)  
 URL : <http://www.openscience.gr/node/762>

## 1.4 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Με τον όρο ενεργειακό πληροφοριακό σύστημα περιγράφεται ένα πλήρες IT σύστημα μέτρησης, ανάλυσης και οργάνωσης της ροής της ενέργειας και λοιπών ενεργειακών δεικτών από τα σημεία παραγωγής ή τελικής μέτρησης. Τα στατιστικά ψηφιακά δεδομένα, μέσω διαδικασιών επεξεργασίας, προσφέρουν ένα απλοποιημένο εργαλείο ενεργειακής ανάλυσης, το οποίο προσομοιώνει το σύστημα ως ροή ηλεκτρονικών ενεργειακών προϊόντων μέσα από IT διαδικασίες (ITILv3 on Energy). Η σύνδεση όλων των παραπάνω στοιχείων του συστήματος γίνεται μέσω διαδικτύου και ολοκληρώνεται με την προσθήκη έξυπνων μετρητών στα σημεία κατανάλωσης της ενέργειας, οι οποίοι προσφέρουν πληροφορίες πραγματικού χρόνου για την κατανάλωση. Αυτή η άμεση ενημέρωση προσφέρει τη δυνατότητα σωστής διαχείρισης της κατανάλωσης κτιρίων και υποδομών.



Εικόνα 4 : Smart Grids-New Wireless Revolution

URL : <http://3g4g.blogspot.com/2009/07/smart-grids-new-wireless-revolution.html>

## 1.5 SMART GRIDS

Όλα τα δεδομένα που συλλέγονται και επεξεργάζονται από το ενεργειακό πληροφοριακό σύστημα μπορούν να βοηθήσουν στη δημιουργία ηλεκτρονικών ενεργειακών προφίλ πελατών. Ο στόχος του ηλεκτρικού δικτύου λοιπόν, είναι φυσικά η σύνδεση όλων των ενεργειακών πελατών, ανεξαρτήτως τόπου και χρόνου, με τις πηγές ενέργειας. Για να γίνει αυτό με το βέλτιστο τρόπο χρειάζεται η δημιουργία ενός εξελιγμένου δικτύου με χρήση της σύγχρονης IT τεχνολογίας για τον έλεγχο και τη διαχείριση της ενεργειακής ροής.

Για το λόγο αυτό έχει προβλεφθεί και οργανωθεί η δημιουργία ενός έξυπνου δικτύου το οποίο στη βέλτιστη λειτουργία του πρέπει να ικανοποιεί τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Δυνατότητα αυτόματης επαναφοράς από ενεργειακές διαταραχές
- Άμεση συμμετοχή των καταναλωτών στη διαχείριση ζήτησης
- Αυξημένη αντοχή σε βλάβες υποδομών και επικοινωνιών
- Πλήρες αυτόνομο σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης
- Δυνατότητα συνεχούς εισαγωγής νέων ψηφιακών υπηρεσιών

Το έξυπνο αυτό δίκτυο (Smart Grid) χρησιμοποιεί μοντέρνα ψηφιακή τεχνολογία και προχωρημένους ICT Αλγορίθμους για τον ευφυή έλεγχο της ροής ενέργειας. Σε συνδυασμό με τα συστήματα έξυπνων μετρητών που έχουν περιγραφεί πιο πάνω το δίκτυο εποπτεύει αυτόματα την ενεργειακή κατανάλωση, βάση IT διαδικασιών Ενεργειακής Πληροφορικής.

## 1.6 ΤΑ "ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ" ΠΑΡΟΧΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΑΥΡΙΟ

**Πώς θα ενσωματωθούν στα παραδοσιακά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας οι εναλλακτικές πηγές, όπως ο αέρας, ο ήλιος και η βιομάζα;  
Η απάντηση λέγεται smart grids, δηλαδή έξυπνα δίκτυα για τη διαχείριση της ενέργειας**

20 – 20 – 20 λέγεται η νέα ενεργειακή στρατηγική της Ε.Ε. Μέχρι το 2020 η Ευρώπη θέλει να μειώσει κατά 20% τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και να αυξήσει στο 20% το μερίδιο των εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Για να γίνει αυτό δεν αρκούν τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες, πρέπει και να συνδεθούν μεταξύ τους σε ένα δίκτυο διαχείρισης ενέργειας. Το πρόβλημα με τις εναλλακτικές πηγές είναι ότι δεν είναι πάντα διαθέσιμες: πολλές φορές ο ήλιος κρύβεται και ο αέρας δεν φυσάει, οπότε δεν τροφοδοτούνται οι μονάδες παραγωγής ενέργειας. Η λύση στο πρόβλημα είναι το δίκτυο διασύνδεσης 'smart grids' που όταν δέχεται υπερεπαρκή ποσότητα ενέργειας αποθηκεύει ένα μέρος αυτής σε ειδικούς συσσωρευτές και το απόθεμα ενεργοποιείται όταν χρειαστεί, για παράδειγμα για να φορτίσουμε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο ακόμα και τη νύχτα. Ο επικεφαλής του ευρωπαϊκού κλάδου στον ελβετικό κολοσσό ενέργειας ABB, Peter Schmits, πιστεύει ότι αυτό είναι το μέλλον της ενεργειακής βιομηχανίας :

«Χωρίς smart grids, δηλαδή χωρίς σωστή διαχείριση, δεν μπορούμε να εκμεταλλευθούμε το δυναμικό των εναλλακτικών πηγών. Υπάρχουν λύσεις στην κατεύθυνση αυτή, τις οποίες μπορούμε να αξιοποιήσουμε. Χρειαζόμαστε όμως μία ευέλικτη πολιτική τιμολόγησης που θα δίνει κίνητρα. Όσο περισσότερη ενέργεια αποθηκεύουμε στο δίκτυο, τόσο περισσότερο θα τη χρειάζονται οι πάροχοι ενέργειας».

Αυτό προϋποθέτει τεράστιες επενδύσεις. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας εκτιμά ότι μέχρι το 2030 θα χρειαστούν δισεκατομμύρια δολάρια για νέα δίκτυα, θα προκύψουν όμως και μεγάλες επιχειρηματικές ευκαιρίες. Ευκαιρίες που θέλουν να εκμεταλλευθούν όχι μόνο ενεργειακοί κολοσσοί, αλλά και γίγαντες της νέας τεχνολογίας όπως οι Google, IBM και Microsoft ή ακόμα και εταιρείες τηλεπικοινωνιών όπως η γερμανική Telekom.

## 1.7 Η ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΤΟΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ

Έξυπνα δίκτυα δοκιμάζονται στη Γαλλία και την Ιταλία, ενώ στη Γερμανία αναζητείται ακόμα η κατάλληλη περιοχή για τα smart grids. Στη Βάδη-Βυρτεμβέργη ο ελβετικός κολοσσός ABB πρωτοστατεί στο πρόγραμμα, ενώ την επιστημονική επιμέλεια έχει ο Hartmut Schmeck από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Καρλσρούης: «Δεν θα έλεγα ότι είμαστε πίσω από άλλες χώρες, γιατί στα δικά μας προγράμματα βλέπουμε την όλη πορεία, από την παραγωγή και τη μεταφορά ενέργειας μέχρι την κατανάλωση και αυτό είναι πολύ σημαντικό. Οι άλλες χώρες μπορεί να έχουν προχωρήσει περισσότερο σε μεμονωμένες πτυχές, αλλά πουθενά αλλού δεν υπάρχει μία συνολική προσέγγιση...» Όλες οι περιοχές της Γερμανίας που πειραματίζονται με τα νέα δίκτυα υπόσχονται ότι σε δύο χρόνια θα το τελειοποιήσουν, ώστε να προσφέρεται για εμπορική εκμετάλλευση. Το καλοκαίρι ετοιμάστηκε και το πρώτο σπίτι – δείγμα, εξοπλισμένο με έξυπνες ηλεκτρικές συσκευές και με ηλεκτρικό αυτοκίνητο για τον μελλοντικό ενοικιαστή. Περίπου χίλιοι καταναλωτές θα κληθούν να δοκιμάσουν τα έξυπνα δίκτυα στην πράξη, τονίζει ο Jörn Kröppelin από την ιδιωτική εταιρεία παροχής ενέργειας EnBW : «Ήδη αναζητούμε πελάτες. Παρουσιάζουμε τα smart grids με ελκυστικό τρόπο, ώστε να τα αντιληφθούν και να τα αποδεχθούν. Χωρίς πελάτες δεν υπάρχουν έσοδα. Το πιο σημαντικό λοιπόν σ' αυτήν την ιστορία είναι να δώσεις κίνητρα, να κάνεις σωστή τιμολόγηση, να παρουσιάσεις στον πελάτη συσκευές, τις οποίες θα αποδεχθεί και θα χρησιμοποιήσει.»

### 1.7.1 ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΠΛΥΝΤΗΡΙΟ

Στη Διεθνή Έκθεση Ηλεκτρονικών ΙΦΑ του Βερολίνου παρουσιάζεται αυτές τις μέρες το πρώτο έξυπνο πλυντήριο της εταιρείας Miele, που τίθεται αυτομάτως σε λειτουργία την ώρα που η τιμή του ηλεκτρικού πέφτει κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο. Η βιομηχανία στηρίζει την ιδέα, το θέμα είναι αν το δέχεται ο καταναλωτής. Γιατί ένας «έξυπνος μετρητής ρεύματος» παρουσιάζει δύο μειονεκτήματα : Πρώτον έχει ένα υπολογίσιμο αρχικό κόστος συν το κόστος συντήρησης. Και δεύτερον καταναλώνει και ο ίδιος ρεύμα όταν επεξεργάζεται δεδομένα. Για τη λειτουργία του χρειάζεται ευρυζωνική σύνδεση, η οποία κάθε χρόνο υπολογίζεται ότι καταναλώνει πάνω από εκατό κιλοβατώρες, δηλαδή περίπου όσο ένα σύγχρονο ψυγείο...





Εικόνα 5 : Αρχιτεκτονική του Smart Grid

URL : <http://www.examiner.com/sustainability-in-national/smart-grid-architecture>

## 1.8 SMART GRIDS & ENERGY MANAGEMENT

### Ο όρος “Smart Grid”

χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στις μέρες μας, υποδηλώνοντας την ενοποίηση και συνέργεια των υποδομών στο χώρο της ηλεκτρικής ενέργειας με τις

Τεχνολογίες Πληροφορικής & Επικοινωνιών. Κύριος στόχος του Smart Grid είναι να παρέχει στον παραγωγό ενέργειας ακριβή στοιχεία των καταναλώσεων σε πραγματικό χρόνο αλλά και στον καταναλωτή την δυνατότητα της αποτελεσματικής διαχείρισης και χρήσης όλων των εναλλακτικών πηγών ενέργειας που υπάρχουν στην αγορά. Καθώς η ενέργεια είναι ένας πόρος που δεν αποθηκεύεται, προκειμένου να υπάρχει εξοικονόμηση ενέργειας, απαιτείται ακριβές ισοζύγιο μεταξύ της ζήτησης και της προσφοράς, με έναν άμεσο και αξιόπιστο τρόπο.

Οι λύσεις Smart Grids που παρέχει η Build-IT, περιλαμβάνουν αρχικά συστήματα διαχείρισης της ζήτησης ενέργειας εκ μέρους ενός οργανισμού,



μιας επιχείρησης, ακόμα και μιας κατοικίας. Εφαρμόζοντας τεχνολογίες AMR (Automated Meter Reading) με τη βοήθεια ειδικών μετρητών, πραγματοποιούμε μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο (metering & submetering) όλων των μορφών ενέργειας που καταναλώνει ένα κτίριο ή μια ομάδα κτιρίων.

Τα στοιχεία της κατανάλωσης τα καταγράφουμε και τα αναλύουμε με τη βοήθεια δυναμικών γραφικών αναπαραστάσεων. Οι αναπαραστάσεις αυτές μας βοηθούν στην οπτικοποίηση των ενεργειακών καταναλώσεων σε σχέση με τη συμπεριφορά ενός κτιρίου στην θέρμανση και την ψύξη, τα ωράρια λειτουργίας, τις εκάστοτε συνθήκες εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας, υγρασίας κ.λπ. Μέσω της οπτικοποίησης των καταναλώσεων επισημαίνουμε τις αιχμές των ενεργειακών φορτίων και μέσω κατάλληλων μεθόδων και αυτοματισμών προχωράμε στην ισοστάθμισή τους. Το σύστημα επισημαίνει, επίσης, άσκοπες καταναλώσεις, που συνήθως οφείλονται σε μη ορθολογική χρήση της ενέργειας που οφείλεται συνήθως στον ανθρώπινο παράγοντα και παράγουμε σχετικές αναφορές που βοηθούν στην βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των ανθρώπων.

Επίσης διατηρώντας ιστορικά στοιχεία των καταναλώσεων ενός κτιρίου, μπορούμε να κάνουμε ακριβή πρόβλεψη της ζήτησης ενέργειας για επόμενα χρονικά διαστήματα. Οι προβλέψεις της κατανάλωσης είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τον καταναλωτή γιατί, μέσω αυτών, μπορεί να διεκδικεί καλύτερες τιμές ενέργειας στο πλαίσιο ενός ελεύθερου και δυναμικού συστήματος αγορών, αλλά και για τον πάροχο ενέργειας, αφού θα μπορεί να παράγει και να διανέμει ακριβώς τις ποσότητες που απαιτούν οι καταναλωτές.

## **1.9 ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΣΤΟ ΑΜΜΕΣΟ ΜΕΛΛΟΝ**

Στην ψηφιακή εποχή που ζούμε, όπου έχει αυξηθεί η ζήτηση ηλεκτρισμού και ιδιαίτερως αξιόπιστων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέπεται σήμερα η μετάβαση σε ένα ταχύτερο, πιο έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο, που θα μπορεί να παρέχει καλύτερη ποιότητα ρεύματος με επικοινωνία διπλής κατεύθυνσης, που θα εξισορροπεί την προσφορά και τη ζήτηση σε πραγματικό χρόνο, εξομαλύνοντας τις αιχμές της ζήτησης, και που θα καθιστά τους πελάτες ενεργούς συμμετόχους στην παραγωγή και την κατανάλωση ηλεκτρισμού. Το έξυπνο δίκτυο επιτρέπει την αποδοτικότερη χρήση της υπάρχουσας εγκατεστημένης ισχύος και της υποδομής μεταφοράς και διανομής ενέργειας, με μείωση των απωλειών στις ηλεκτρικές γραμμές μέσω της χρήσης τοπικής, αποκεντρωμένης ηλεκτροπαραγωγής σε μεγαλύτερο βαθμό. Τα έξυπνα δίκτυα συνδυάζουν πολλές αποκεντρωμένες πηγές ενέργειας, όπως είναι οι ΑΠΕ, και δημιουργούν 'εικονικούς σταθμούς ενέργειας'. Με αυτόν τον τρόπο πολλές μικρές ανανεώσιμες πηγές όπως ανεμογεννήτριες, ηλιακά, γεωθερμίες, μονάδες βιοαερίου ενώνονται και παράγουν την ίδια ενέργεια με συμβατικές θερμοηλεκτρικές μονάδες,



με μεγαλύτερη όμως αποδοτικότητα και ευελιξία και μηδαμινές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον, η δημιουργία υπέρ-δικτύων συστημάτων μεταφοράς υψηλής τάσης σε πολύ μακρινές αποστάσεις με ελάχιστες απώλειες θα επιτρέψει τη μεταφορά ανανεώσιμης ενέργειας από την πηγή στη γεωγραφική περιοχή που έχει μεγάλη ζήτηση, π.χ. από τα ηλιοθερμικές μονάδες της Νότιας Ευρώπης σε περιοχές υψηλής ζήτησης στην Κεντρική Ευρώπη ή από τα παράκτια αιολικά της Βορείου Θάλασσας για αποθήκευση στα υδροηλεκτρικά φράγματα της Νορβηγίας. Καθώς αυξάνεται το μερίδιο παραγωγής από ποικίλες ανανεώσιμες πηγές, ένα έξυπνο δίκτυο μπορεί να χειριστεί καλύτερα τις αυξομειώσεις του ρεύματος όταν ο άνεμος καταλαγιάζει ή τα σύννεφα κρύβουν τον ήλιο. Θα επιτρέψει επίσης στα ηλεκτρικά οχήματα να αποθηκεύουν ρεύμα για τις μετακινήσεις τους ή να το πωλούν πίσω στο δίκτυο όταν αυτό απαιτείται. Οι έξυπνες τεχνολογίες συμπεριλαμβανομένων των έξυπνων μετρητών, των αυτόματων συστημάτων ελέγχου και των ψηφιακών αισθητήρων θα δείχνουν στους καταναλωτές την τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο και θα τους επιτρέπουν να εξοικονομούν χρήματα και ενέργεια κλείνοντας ηλεκτρικές συσκευές, συστήματα θέρμανσης και ψύξης ολόκληρων κτιρίων, ή βιομηχανικά φορτία σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές ή όταν η τιμή του ρεύματος ξεπερνά ένα προκαθορισμένο ποσό ή όταν υπάρχει πτώση παραγωγής στις μεγάλες αιολικές μονάδες.

Μπορούν να βοηθήσουν στη μεταφορά φορτίων σε περιόδους χαμηλής ζήτησης, όταν οι απώλειες των ηλεκτρικών γραμμών είναι μικρότερες και δεν λειτουργούν τα περισσότερα ρυπογόνα και λιγότερο αποδοτικά εργοστάσια. Επίσης, επιτρέπουν στους ελεγκτές του δικτύου να προβλέπουν και να αντιμετωπίζουν άμεσα τα προβλήματα στο δίκτυο. Πιλοτικά προγράμματα έχουν αποδείξει σημαντική εξοικονόμηση για τους καταναλωτές και μειώσεις στη ζήτηση. Η πλήρης ανάπτυξη των έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων χρειάζεται ακόμα 10-30 χρόνια, ανάλογα με τις πολιτικές που θα θεσπιστούν.

Όμως, πολλές χώρες και περιοχές βρίσκονται ήδη σε καλό δρόμο.

Η εταιρεία Pacific Gas and Electric στην Καλιφόρνια, για παράδειγμα, έχει αρχίσει τη διαδικασία εγκατάστασης 9 εκατομμυρίων έξυπνων μετρητών στους πελάτες της, ενώ η Ολλανδία έχει βάλει ως στόχο ένα «βασικό επίπεδο» έξυπνης καταμέτρησης και την αντικατάσταση όλων των 7 εκατομμυρίων οικιακών μετρητών έως το φθινόπωρο του 2012.

Όταν τοποθετηθούν από την αρχή, τα έξυπνα δίκτυα είναι φθηνότερα από τα συμβατικά συστήματα, ενώ βοηθούν στην ηλεκτροδότηση περιοχών της υποσαχάρειας Αφρικής για πρώτη φορά. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA) έχει υπολογίσει σε πάνω από 16 τρισεκατομμύρια δολάρια τη συνολική δαπάνη για εργασίες που αφορούν την εγκατάσταση έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων παγκοσμίως την περίοδο 2003-2030. Αν εξασφαλιστεί στους καταναλωτές άμεση πρόσβαση στα επακόλουθα οφέλη, ο Kurt Yeager προβλέπει ότι ένα έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο «θα ανοίξει την πόρτα σε επιχειρηματική καινοτομία, που θα μεταμορφώσει την απόδοση, την αξιοπιστία και την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών προς τους καταναλωτές πέρα από κάθε φαντασία».

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### **ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ(INVERTERS)**

#### 2.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ (INVERTER DC-AC)

Οι αντιστροφείς είναι ένα είδος μετατροπέων, οι οποίοι έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν μια πηγή συνεχούς τάσης ή ρεύματος σε εναλλασσόμενη με μεταβλητή συχνότητα και πλάτος. Οι αντιστροφείς βρίσκουν εφαρμογές στις εξής περιοχές :

- \* Συστήματα ελέγχου εναλλασσόμενων ηλεκτρικών μηχανών
- \* Συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- \* Συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)
- \* Συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από κυψέλες υδρογόνου
- \* Ενεργά φίλτρα για μείωση αρμονικών για την καλύτερευση της ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας
- \* Ενεργά συστήματα διόρθωσης συντελεστή ισχύος
- \* Συστήματα Αδιάκοπης Παροχής Ισχύος(UPS)

Οι αντιστροφείς μπορούν να διαιρεθούν κυρίως σε δύο κατηγορίες :

- A) Στους αντιστροφείς οι οποίοι τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς τάσης
- B) Στους αντιστροφείς οι οποίοι τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς ρεύματος

Οι αντιστροφείς πηγής τάσης τροφοδοτούνται από μια πηγή συνεχούς τάσης, ιδανικά με μηδενική εσωτερική σύνθετη αντίσταση. Η τάση της πηγής εισόδου μπορεί να είναι σταθερή ή μεταβλητή. Η συνεχής τάση εισόδου προέρχεται από μπαταρίες, από φωτοβολταϊκά στοιχεία, ή συνηθέστερα από την ανόρθωση της τάσης του δικτύου. Η έξοδος των αντιστροφέων πηγής τάσης εμφανίζει χαρακτηριστικά πηγής τάσης.

Οι αντιστροφείς πηγής ρεύματος τροφοδοτούνται από μια μεταβλητή πηγή συνεχούς ρεύματος, ιδανικά με άπειρη εσωτερική σύνθετη αντίσταση. Χρησιμοποιούνται κυρίως στον έλεγχο ac κινητήρων πολύ μεγάλης ισχύος. Αντίστοιχα με τους αντιστροφείς πηγής τάσης, η εναλλασσόμενη έξοδος των αντιστροφέων πηγής ρεύματος παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά της πηγής ρεύματος.

Επίσης, οι δύο παραπάνω κατηγορίες μπορούν να υποδιαιρεθούν :

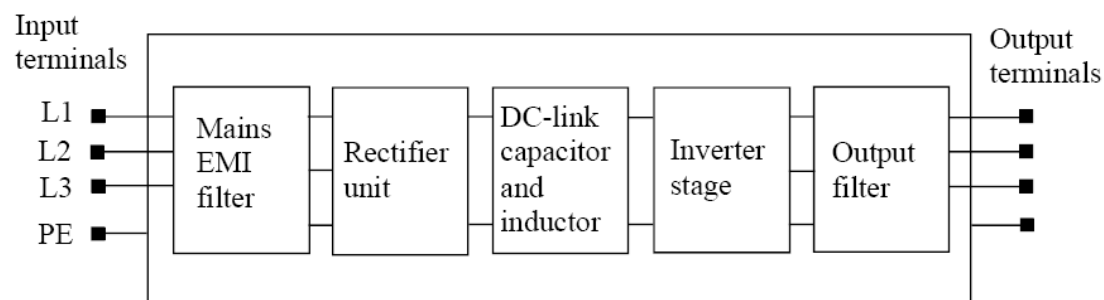
- I) Στους μονοφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας
  - II) Στους μονοφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία γέφυρας
  - III) Στους τριφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας
- Σ' όλους τους αντιστροφείς υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης της συχνότητας εξόδου. Η ρύθμιση του πλάτους των τάσεων (ρευμάτων) εξόδου επιτυγχάνεται είτε με κατάλληλο έλεγχο των διακοπών του αντιστροφέα ή εξωτερικά, με έλεγχο της συνεχούς τάσης (ρεύματος) εισόδου.

Σήμερα, οι αντιστροφείς είναι οι συνηθισμένες ηλεκτρικές διατάξεις σε ένα βιομηχανικό δίκτυο διανομής ΧΤ. Εξαιτίας της δυνατότητας ελέγχου τους, ο αριθμός των οδηγών με τους οποίους εφοδιάζονται οι αντιστροφείς συνεχώς αυξάνονται. Πέρα των διαφόρων πλεονεκτημάτων που παρέχει ένας αντιστροφέας προκαλεί προβλήματα στην μετάδοση σήματος μέσω γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η λειτουργία του αντιστροφέα προκαλεί υψηλό θόρυβο σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων επηρεάζοντας την μεταφορά δεδομένων στο δίκτυο διανομής.

Η μονάδα του ανορθωτή με τους πυκνωτές συνεχούς ρεύματος κάνει την αντίσταση εισόδου χρονικά μεταβαλλόμενη και μη γραμμική.

Τα βασικά στοιχεία ενός αντιστροφέα φαίνονται στο Σχήμα 2.1 και είναι

1. Φίλτρο EMI
2. Μονάδα ανορθωτή (Rectifier unit)
3. Βαθμίδα πηνίων και πυκνωτών (DC-link inductor and capacitor)
4. Τμήμα αντιστροφέα (Inverter stage)
5. Φίλτρο εξόδου (Output filter)



Σχήμα 2.1 : Block διάγραμμα αντιστροφέα

Γενικά, ο αντιστροφέας μπορεί να θεωρηθεί ως μια ενεργός πηγή επαγόμενου θορύβου όπως και ως ένα μη γραμμικό φορτίο που παραμορφώνει τα σήματα στο δίκτυο διανομής.

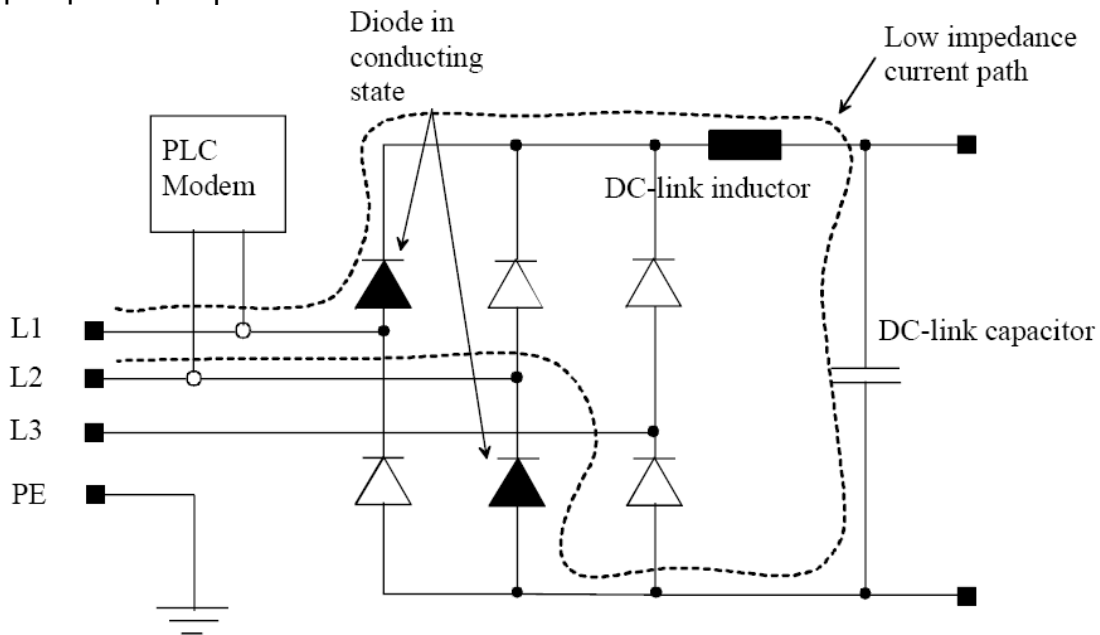
Ο υψηλής συχνότητας θόρυβος που προκαλείται από τον αντιστροφέα είναι 250 κυρίως κρουστικός. Τα είδη των διαταραχών που προκαλώνται από τον αντιστροφέα στο δίκτυο διανομής είναι :

- Θόρυβος που προκαλείται από το τμήμα του ανορθωτή και το τμήμα του αντιστροφέα.
- Χρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση εισόδου που είναι σύγχρονη με την συχνότητα των γραμμών ισχύος.
- Πολύπλοκη διαμόρφωση πλάτους του φέροντος σήματος που πραγματοποιείται στον ανορθωτή.
- Ανάκλαση που προκαλείται από αντιστοιχία αντιστάσεων μεταξύ καλωδίου ισχύος και εισόδου του αντιστροφέα.

Τα φαινόμενα αυτά έχουν επιβλαβείς συνέπειες στα BPL συστήματα.

Έτσι, συρρικνώνουν τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης με την αύξηση του θορύβου στο κανάλι επικοινωνίας ενώ στην χειρότερη περίπτωση, οι διαταραχές μπορούν να εμποδίσουν την όλη λειτουργία του BPL συστήματος. Το μεγαλύτερο πρόβλημα που προκαλείται από τον αντιστροφέα είναι η

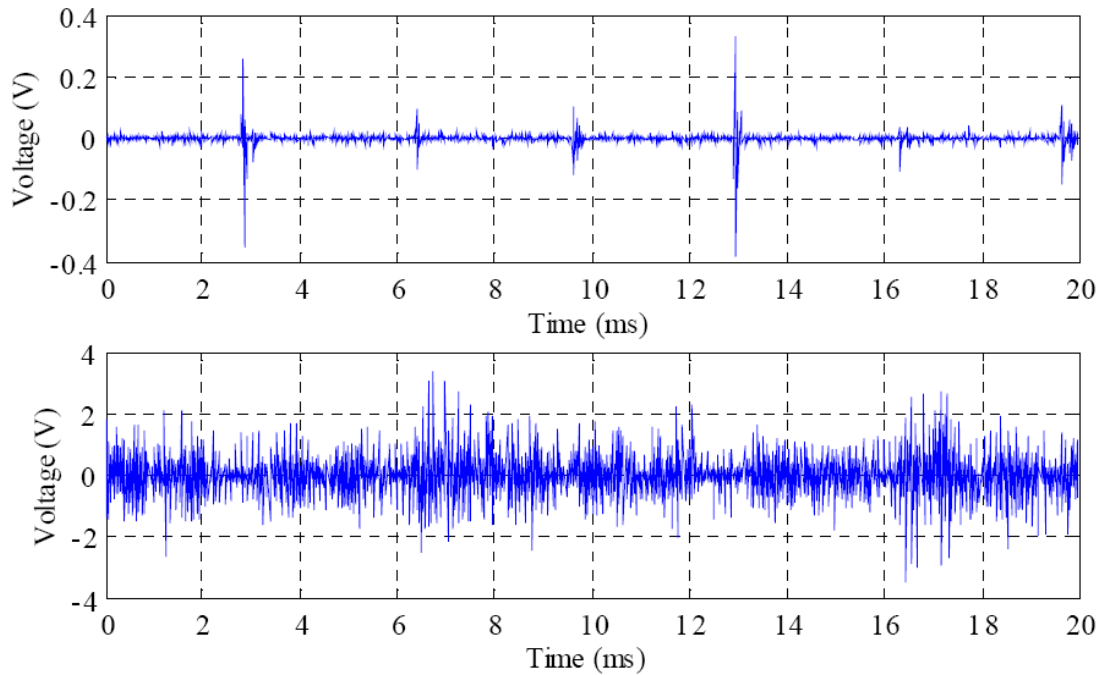
εναλλαγή μεταξύ πτώσης και αύξησης της αντίστασης εισόδου του, που μπορεί να εμποδίσει την μεταφορά δεδομένων μέσω της BPL μεθόδου. Αυτή η χρονική μεταβλητότητα και η μη γραμμικότητα της αντίστασης εισόδου δημιουργεί σοβαρές διαταραχές. Σε ένα βιομηχανικό τριφασικό δίκτυο, αυτό το πρόβλημα συνδέεται κυρίως με την περίπτωση που το BPL modem συζευγνύεται μεταξύ δύο φάσεων. Η αντίσταση εισόδου του αντιστροφέα στην σύζευξη (L1,PE) παραμένει σταθερά υψηλή κατά την διάρκεια του χρόνου επειδή επειδή η τάση εξόδου συνεχούς ρεύματος δεν είναι συνδεδεμένη με το δυναμικό της γης. Η αντίσταση εισόδου του αντιστροφέα που παρατηρείται μεταξύ των δύο φάσεων είναι χρονικά μεταβαλλόμενη και μη γραμμική εξαιτίας της δομής του αντιστροφέα. Όταν ένα ζεύγος διόδων του ανορθωτή άγει οι φάσεις συζευγνύονται άμεσα στην συνεχή τάση. Η αντίσταση εισόδου μεταξύ των φάσεων γίνεται μικρή εξαιτίας της χαμηλής αντίστασης του πυκνωτή μεγάλης χωρητικότητας. Έτσι, η αντίσταση μεταξύ των φάσεων πέφτει απότομα κάθε φορά που η μονάδα του ανορθωτή μεταξύ των φάσεων αρχίζει να άγει. Από την άλλη πλευρά, το επίπεδο αντίστασης αυξάνεται απότομα όταν η γέφυρα διόδων σταματάει να άγει. Αυτός ο μηχανισμός κάνει την αντίσταση εισόδου του αντιστροφέα χρονικά μεταβαλλόμενη.



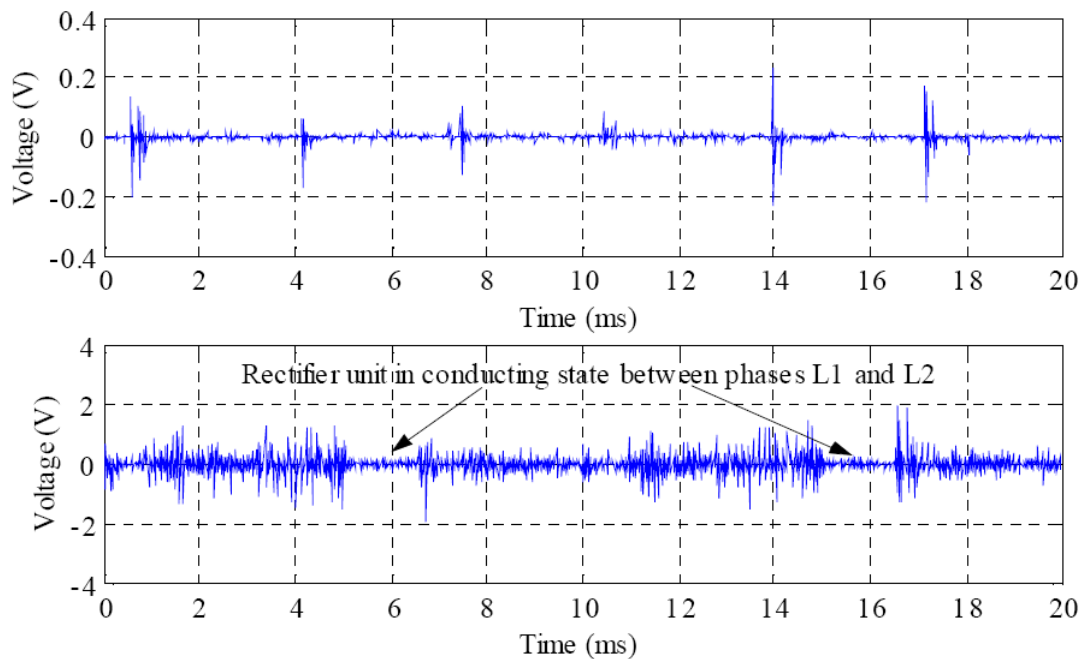
Σχήμα 2.2 : Χρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση εισόδου όταν το modem συνδέεται στις δύο φάσεις

Ο πιο απλός τρόπος αποφυγής αυτού του προβλήματος είναι η σύνδεση του BPL modem μεταξύ μίας φάσης και της γης. Η τάση εξόδου συνεχούς ρεύματος είναι απομονωμένη από την γη. Έτσι η λειτουργία του ανορθωτή δεν θα επηρεάσει ιδιαίτερα το επίπεδο αντίστασης που αντιλαμβάνεται το modem. Ένας άλλος τρόπος αποφυγής του προβλήματος είναι η αποστολή δεδομένων μόνο όταν η τάση εξόδου συνεχούς ρεύματος δεν είναι φορτισμένη μέσω των φάσεων που χρησιμοποιούνται μέσω BPL. Ο θόρυβος που προκαλεί ο αντιστροφέας προκαλεί μείωση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και

αύξηση των σφαλμάτων μετάδοσης. Στο Σχήμα 2.3 φαίνεται ο θόρυβος που μετρείται από την λειτουργία ενός αντιστροφέα όταν τροφοδοτεί έναν 15kW επαγωγικό κινητήρα με τύπο σύζευξης (L1, PE). Το πάνω Σχήμα αναπαριστά τον θόρυβο που μετρείται όταν ο αντιστροφέας είναι ανενεργός ενώ το κάτω όταν ο αντιστροφέας είναι ενεργός. Τα επίπεδο της τάσης του θορύβου είναι της τάξεως των μερικών mV αλλά υπάρχουν περιοδικές κρουστικές διαταραχές που προκύπτουν από την λειτουργία του ανορθωτή.



Σχήμα 2.3 : Σύγκριση θορύβου όταν ο αντιστροφέας δεν λειτουργεί (πάνω) με το όταν ο αντιστροφέας λειτουργεί (κάτω) σε σύζευξη (L1, PE)



Σχήμα 2.4 : Σύγκριση θορύβου όταν ο αντιστροφέας δεν λειτουργεί (πάνω) με το όταν ο αντιστροφέας λειτουργεί (κάτω) σε σύζευξη (L1, L2)

Αντιστοίχως στο Σχήμα 2.4 φαίνονται τα αντίστοιχα διαγράμματα για τον τύπο σύζευξης (L1, L2). Ο θόρυβος που δημιουργείται από το τμήμα του αντιστροφέα είναι μικρότερος όταν έχουμε σύζευξη (L1, L2) από ότι όταν έχουμε σύζευξη (L1, PE) όπως εξηγήθηκε παραπάνω.

Εκτός από την χρονική μεταβλητότητα, όπως είπαμε η αντίσταση εισόδου μεταξύ δύο φάσεων είναι και μη γραμμική. Οι δίοδοι της μονάδας του ανορθωτή είναι μη γραμμικές διατάξεις και συνεπώς ο ανορθωτής λειτουργεί ως ένα πολύπλοκος διαμορφωτής πλάτους. Όταν ένα ζεύγος διόδων άγει, δημιουργεί μια ημιτονοειδή διαμόρφωση στο φέρον σήμα.

Σύμφωνα με την διαμόρφωση που πραγματοποιείται από την γέφυρα ανορθωτή, το επίπεδο της τάσης του φέροντος κύματος μειώνεται και νέες αρμονικές συχνότητες δημιουργούνται.

## 2.2 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΩΝ

Όπως προαναφέραμε οι αντιστροφείς είναι ηλεκτρικές συσκευές οι οποίες μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα (DC) σε εναλλασσόμενο ρεύμα(AC).

Η μετατροπή αυτή μπορεί να γίνει εφικτή για κάθε απαιτούμενη τάση και συχνότητα με τη χρήση κατάλληλων μετασχηματιστών, μεταγωγών και κυκλωμάτων ελέγχου.

Τώρα, λόγω ότι αποτελούν μια μεγάλη οικογένεια διατάξεων οι αντιστροφείς μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με διάφορα κριτήρια, τα οποία παρουσιάζουμε παρακάτω.

### Λειτουργία

Ο κοινός παρανομαστής της μεγάλης ποικιλίας εφαρμογών στις οποίες αξιοποιούνται οι αντιστροφείς είναι η δυνατότητά τους να ρυθμίζουν την τάση ή το ρεύμα στην έξοδό τους. Αυτή η δυνατότητα ανοίγει πολλούς πρακτικούς και σημαντικούς δρόμους.

1. Οι αντιστροφείς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διασύνδεση πηγών σταθερής τάσης στο δίκτυο. Σε εφαρμογές αυτού του τύπου οι αντιστροφείς ρυθμίζουν την ενεργό και την άεργο που παρέχεται από τις πηγές ενέργειας στο δίκτυο. Τέτοιες είναι :

A) Πηγές οι οποίες παρέχουν απευθείας DC τάση όπως οι κυψέλες υδρογόνου και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

B) Ανεμογεννήτριες που συνδέονται στον αντιστροφέα μέσω ενός ανορθωτή ο οποίος ανορθώνει την AC τάση μεταβλητής συχνότητας που παράγουν οι ανεμογεννήτριες.

2. Οι αντιστροφείς χρησιμοποιούνται εκτενώς σε συστήματα οδήγησης κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος. Σε συστήματα οδήγησης κινητήρων

χρησιμοποιούνται αντιστροφείς τύπου πηγής τάσης και πηγής ρεύματος. Η χρήση αντιστροφέων στην οδήγηση κινητήρων οδήγησε σταδιακά στην αντικατάσταση των DC μηχανών σε βιομηχανικές εφαρμογές, διότι οι μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος είναι μικρότερες και κοστίζουν λιγότερο, αν και ο έλεγχός τους είναι πιο πολύπλοκος. Οι αντιστροφείς χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ταχύτητας, θέσης, επιτάχυνσης αλλά και ροπής και παρουσιάζουν ικανοποιητική δυναμική απόκριση, ακρίβεια και δυνατότητα ελέγχου σε μεγάλο εύρος ταχυτήτων.

3. Οι αντιστροφείς χρησιμοποιούνται και ως ενεργά φίλτρα.

Ένας αντιστροφέας μπορεί να συνδεθεί παράλληλα σε μια πηγή αρμονικών ρευμάτων (συνήθως αποτελούμενη από μη γραμμικά στοιχεία όπως διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος). Σε τέτοιες περιπτώσεις το εύρος ζώνης του ελέγχου πρέπει να καλύπτει τις τάξεις των αρμονικών τις οποίες αντισταθμίζει ο αντιστροφέας. Όταν ο αντιστροφέας συνδεθεί εν σειρά με το δίκτυο είναι δυνατόν να αντισταθμίσει διαταραχές τάσης.

4. Οι αντιστροφείς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντιστάθμιση αέργου ισχύος. Η λειτουργία τους συνίσταται στη διάχυση ή απορρόφηση κατάλληλης αέργου ισχύος προς ή από το δίκτυο ώστε ο συντελεστής ισχύος μιας πηγής ή ενός φορτίου να βρίσκεται εντός ορισμένων προδιαγραφών.

5. Τέλος, οι αντιστροφείς χρησιμοποιούνται στη μεταφορά ισχύος σε γραμμές υψηλής συνεχούς τάσης, στη μεταφορά ενεργού ισχύος σε αποθηκευτικά στοιχεία καθώς και στην αδιάλειπτη παροχή ισχύος.

Ο αντιστροφέας είναι δυνατόν να υπάρχει ως αυτόνομη ηλεκτρονική συσκευή, ή ως βαθμίδα άλλης ηλεκτρονικής συσκευής. Ως αυτόνομη συσκευή, χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων και όπου αλλού χρειάζεται να μετατρέψουμε συνεχή τάση 12 V ή 24 V (συνηθέστερες τιμές), σε εναλλασσόμενη 230 V. Ως τελική βαθμίδα, υπάρχει στα UPS (συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος).

Η κυριότερη διάκριση των αντιστροφέων όσον αφορά τη χρήση τους σε εγκαταστάσεις Α.Π.Ε. είναι σε αντιστροφείς "διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων" και "αυτόνομων Φωτοβολταϊκών συστημάτων".

Όσον αφορά την τεχνολογία κατασκευής αντιστροφέων "αυτόνομων συστημάτων", η κυριότερη διάκριση είναι ανάμεσα σε αντιστροφείς "καθαρού ημίτονου" και "τροποποιημένου ημίτονου".

Ένας μετατροπέας με τροποποιημένο ημίτονο, είναι φθηνότερος από έναν με καθαρό ημίτονο και είναι κατάλληλος για τις περισσότερες συσκευές. Καταναλώνει όμως έως και 20% περισσότερη ενέργεια από τη μπαταρία σε σχέση με έναν μετατροπέα καθαρού ημίτονου.

Επίσης σε τηλεοράσεις και ηχοσυστήματα μέτριας ποιότητας θα ακούγεται ένα ελαφρύ βουητό. Από την άλλη μεριά, το μοναδικό μειονέκτημα που έχουν οι inverter καθαρού ημίτονου είναι η τιμή τους, αφού είναι τρεις έως τέσσερις φορές ακριβότεροι από έναν αντίστοιχο με τροποποιημένο ημίτονο.

Αν έχουμε ευαίσθητες ηλεκτρονικές συσκευές καλό θα είναι για αυτές να χρησιμοποιούμε inverter με καθαρό ημίτονο.

Ένας αντιστροφέας με UPS είναι μια συσκευή που παρέχει την αποθηκευμένη ηλεκτρική δύναμη στο φορτίο σε περίπτωση ακατέργαστης διακοπής ή συσκότισης δύναμης. Ένας τύπος του UPS χρησιμοποιεί τις μπαταρίες για να αποθηκεύσει τη δύναμη και έναν αντιστροφέα για να παρέχει τη δύναμη εναλλασσόμενου ρεύματος από τις μπαταρίες όταν η κύρια δύναμη δεν είναι διαθέσιμη. Όταν η κύρια δύναμη αποκαθίσταται, ένας διορθωτής χρησιμοποιείται για να παρέχει τη συνεχή δύναμη να επαναφορτιστούν οι μπαταρίες.

### 2.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΩΝ ΠΗΓΗΣ ΤΑΣΗΣ

Όταν ένας αντιστροφέας πηγής τάσης χρησιμοποιείται στον έλεγχο ac κινητήρων, η τάση εξόδου πρέπει να ακολουθεί τις μεταβολές της συχνότητας. Ειδικότερα, ο λόγος της τάσης προς τη συχνότητα εξόδου πρέπει να είναι σταθερός, όταν είναι επιθυμητή η λειτουργία της ac μηχανής με σταθερή (συνήθως την ονομαστική) μαγνητική ροή. Ο έλεγχος της συχνότητας της τάσης εξόδου του αντιστροφέα είναι πολύ απλός. Για τη ρύθμιση του πλάτους της τάσης εξόδου χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι:

1. Ο έλεγχος των διακοπών του αντιστροφέα πηγής τάσης με την τεχνική PWM. Με την τεχνική διαμόρφωσης εύρους παλμών, ο έλεγχος της τάσης εξόδου επιτελείται εντός του αντιστροφέα. Έτσι, η συνεχής τάση στην είσοδο των PWM αντιστροφέων είναι σταθερή. Για τον έλεγχο της τάσης εξόδου των αντιστροφέων έχουν παρουσιαστεί αρκετές PWM τεχνικές. Η ημιτονοειδής PWM τεχνική (sinusoidal PWM technique) είναι ιδιαίτερα δημοφιλής σε βιομηχανικές εφαρμογές. Άλλες διαδεδομένες PWM τεχνικές είναι η harmonic elimination, η minimum ripple current και η space vector. Το χαρακτηριστικό των τεχνικών αυτών, όπως και πλήθος άλλων, είναι ότι υλοποιούνται με ψηφιακό τρόπο, μέσω κατάλληλων μικροεπεξεργαστών.

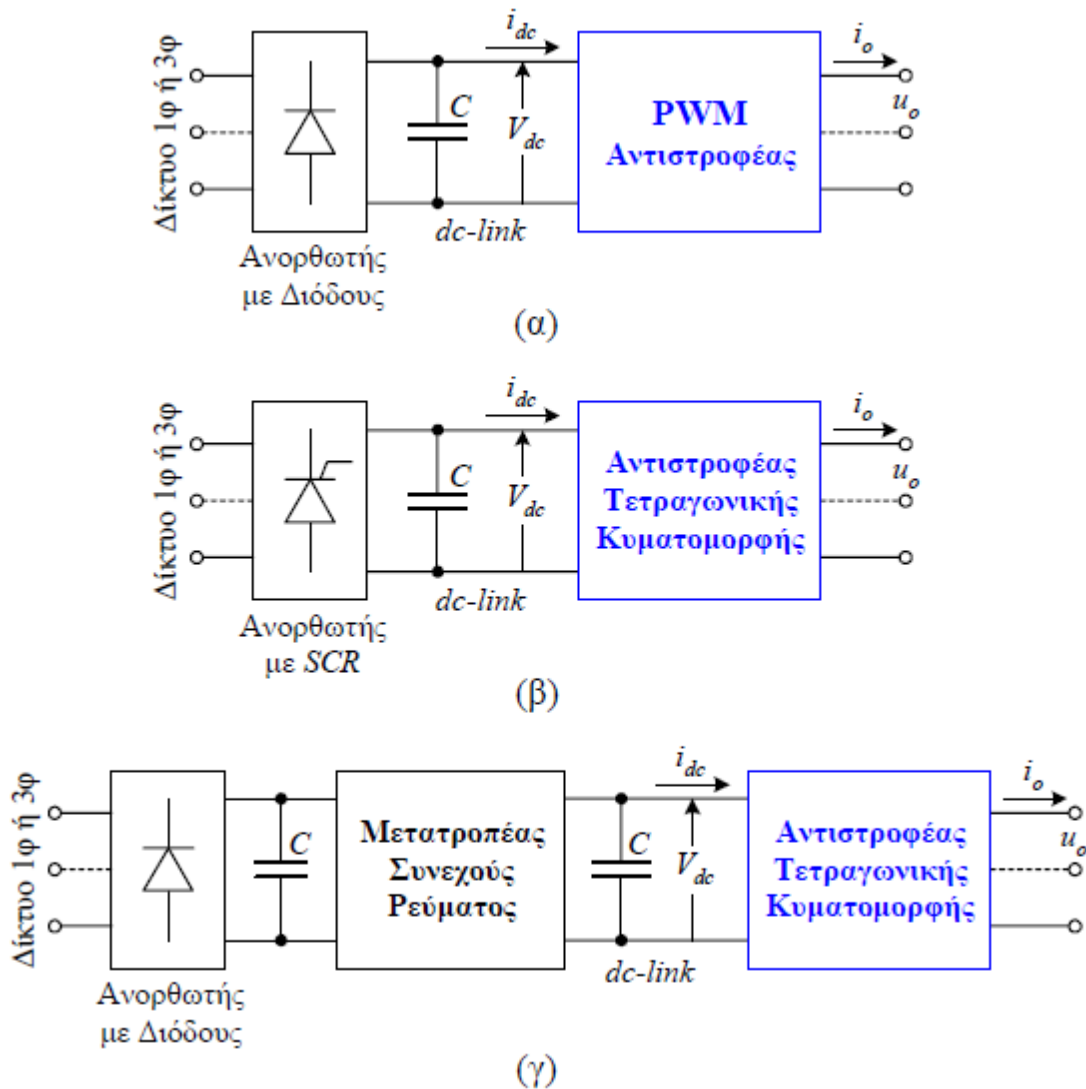
2. Ο έλεγχος της συνεχούς τάσης στην είσοδο του αντιστροφέα.

Στην περίπτωση αυτή ο αντιστροφέας ελέγχει μόνο τη συχνότητα της τάσης εξόδου. Το πλάτος της ac τάσης εξόδου καθορίζεται από τη dc τάση εισόδου. Οι διακόπτες του αντιστροφέα στην περίπτωση αυτή λειτουργούν σε χαμηλή συχνότητα, ίση με τη συχνότητα της ac τάσης εξόδου. Αντίθετα, στους PWM αντιστροφέες η συχνότητα μετάβασης των διακοπών είναι πολύ μεγαλύτερη της συχνότητας εξόδου.

Επειδή η τάση εξόδου έχει τετραγωνική μορφή, οι μετατροπείς αυτοί ονομάζονται αντιστροφέες με τετραγωνική κυματομορφή (square-wave inverters). Συνήθως, η συνεχής τάση στην είσοδο των αντιστροφέων προέρχεται από την ανόρθωση της τάσης του δικτύου. Στο σχήμα 2.5 παρουσιάζονται τρεις τρόποι απόκτησης της συνεχούς τάσης εισόδου από το μονοφασικό ή σε μεγάλες ισχύες από το τριφασικό δίκτυο. Στους PWM αντιστροφέες η συνεχής τάση εισόδου είναι σταθερή και λαμβάνεται μέσω ενός ανορθωτή με διόδους (Σχήμα 2.5α). Ένας πυκνωτής μεγάλης χωρητικότητας τοποθετείται μεταξύ του ανορθωτή και του αντιστροφέα (dc-link). Ο πυκνωτής εξομαλύνει την ανορθωμένη τάση και μειώνει την εσωτερική αντίσταση της πηγής εισόδου.



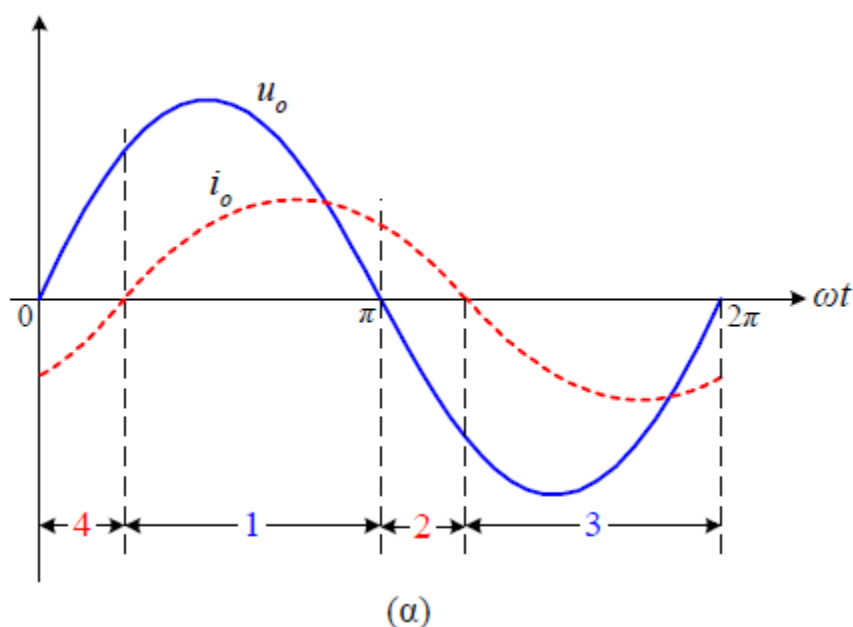
Στους αντιστροφείς με τετραγωνική κυματομορφή απαιτείται η ρύθμιση της συνεχούς τάσης εισόδου. Στο σχήμα 2.5β ένας ελεγχόμενος ανορθωτής με SCR μεταβάλλει τη συνεχή τάση προς τον αντιστροφέα, καθώς αυτός μεταβάλλει τη συχνότητα εξόδου. Στο σχήμα 2.5γ για τη ρύθμιση της τάσης στο dc-link χρησιμοποιούνται δύο μετατροπείς. Ένας ανορθωτής με διόδους και ένας μετατροπέας συνεχούς ρεύματος χωρίς απομόνωση. Με τη δομή αυτή αποφεύγεται ο χαμηλός συντελεστής ισχύος του ελεγχόμενου ανορθωτή σε μικρές dc τάσεις

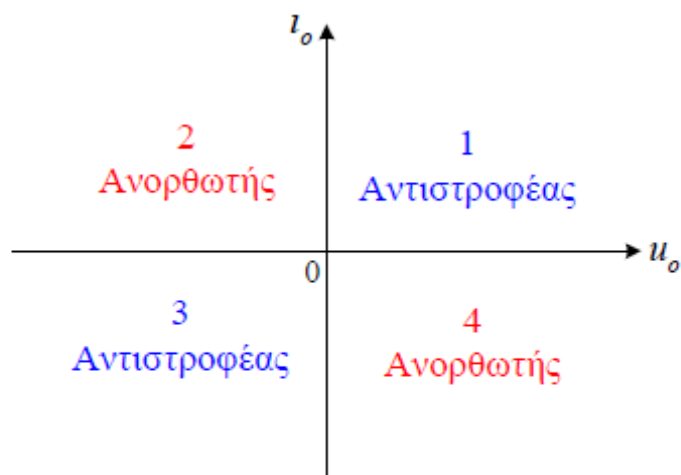


Σχήμα 2.5 : Τροφοδότηση των αντιστροφέων πηγής τάσης α) Μέσω ανορθωτή με διόδους, β) από ελεγχόμενο ανορθωτή, γ) μέσω ανορθωτή με διόδους και μετατροπέα συνεχούς ρεύματος

## 2.4 ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΩΝ ΠΗΓΗΣ ΤΑΣΗΣ

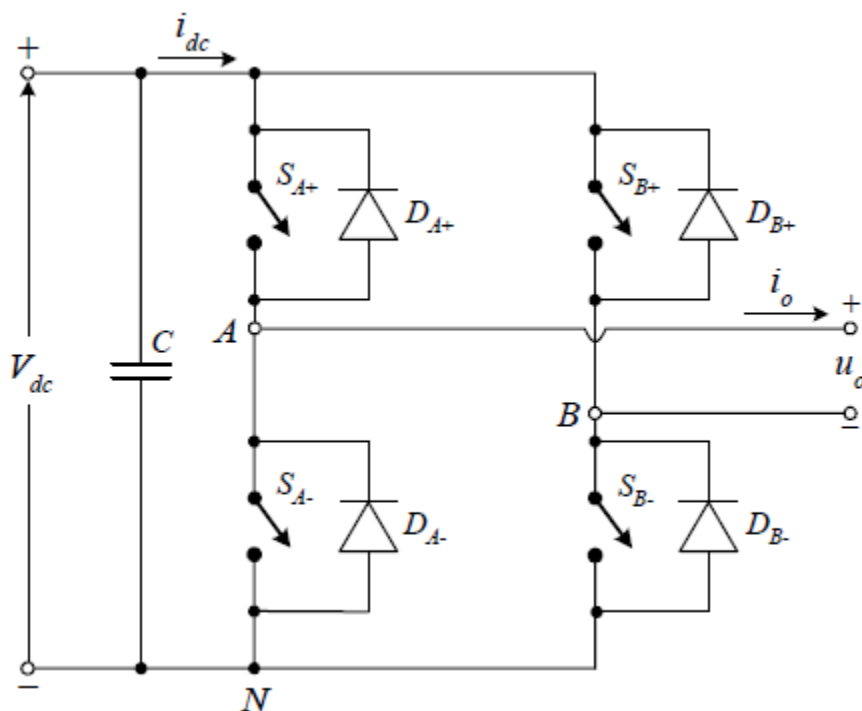
Ως αντιστροφείς πηγής τάσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο μετατροπείς τεσσάρων τεταρτημορίων. Αυτή η απαίτηση είναι φανερή από το σχήμα 2.6α όπου, εικονίζεται η φιλτραρισμένη τάση και το αντίστοιχο ρεύμα εξόδου ενός μονοφασικού αντιστροφέα, ο οποίος τροφοδοτεί ένα επαγωγικό φορτίο. Στα χρονικά διαστήματα 1 και 3 το γινόμενο της στιγμιαίας τάσης και του στιγμιαίου ρεύματος είναι θετικό. Επομένως, η στιγμιαία ισχύς ρέει από την είσοδο προς την έξοδο του μετατροπέα (λειτουργία αντιστροφέα). Αντίθετα, στα χρονικά διαστήματα 4 και 2, οι τιμές της τάσης και του ρεύματος είναι ετερόσημες και η στιγμιαία ισχύς είναι αρνητική. Στα διαστήματα 2 και 4 η ισχύς ρέει από την ac έξοδο προς τη dc είσοδο. Επομένως, ο μετατροπέας λειτουργεί ως ανορθωτής. Σε μια περίοδο της τάσης εξόδου ο μετατροπέας λειτουργεί δύο φορές ως αντιστροφέας και άλλες δύο ως ανορθωτής. Επειδή το χρονικό διάστημα όπου η ισχύς ρέει από τη dc είσοδο προς την ac έξοδο είναι μεγαλύτερο, ονομάζουμε το μετατροπέα αντιστροφέα. Η απαίτηση για λειτουργία και στα τέσσερα τεταρτημόρια του επιπέδου  $u_o - i_o$  (σχήμα 2.6β), επιβάλλει τη χρήση του μετατροπέα πλήρους γέφυρας στους μονοφασικούς αντιστροφείς (Σχ. 2.7). Ο μετατροπέας πλήρους γέφυρας αποτελείται από δύο σκέλη, καθένα από τα οποία φέρει δύο διακόπτες. Ένας τριφασικός αντιστροφέας πηγής τάσης αποτελείται από τρία σκέλη, ένα για κάθε φάση. Έτσι, ο τριφασικός αντιστροφέας πηγής τάσης περιλαμβάνει 6 διακόπτες.





(β)

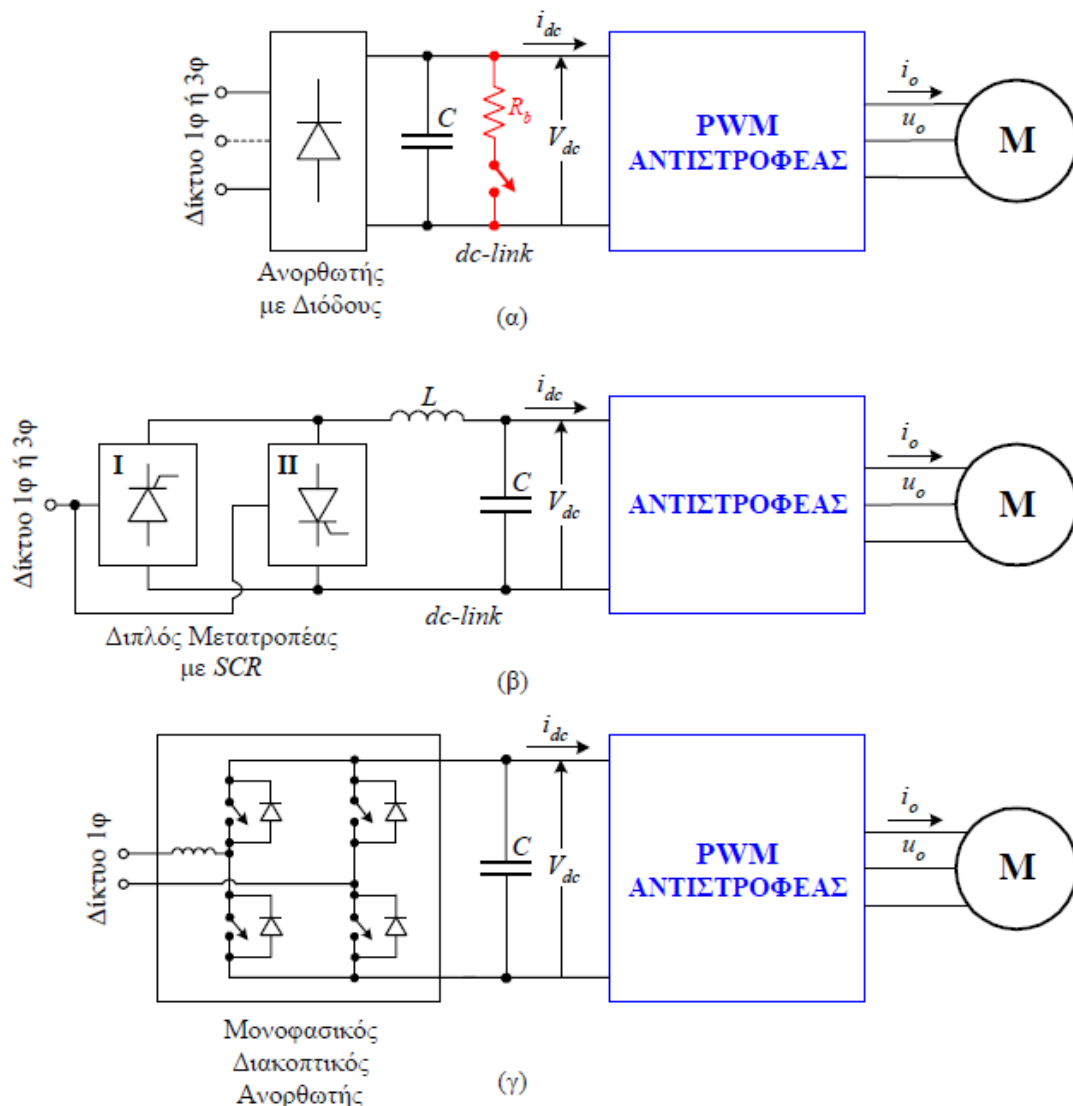
Σχήμα 2.6 : Κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος στην έξοδο του μονοφασικού αντιστροφέα (α), οι οποίες απαιτούν τη λειτουργία του και στα τέσσερα τεταρτημόρια του επιπέδου  $u_o$ -  $i_o$  (β)



Σχήμα 2.7 : Μονοφασικός αντιστροφέας πηγής τάσης

Στα κινητήρια συστήματα το φορτίο του αντιστροφέα είναι μια ac μηχανή. Η μέση ροή της ισχύος είναι από τη dc είσοδο προς την ac έξοδο του αντιστροφέα, όταν η μηχανή λειτουργεί ως κινητήρας. Για την πέδηση της μηχανής, ο αντιστροφέας επιβάλλει μια συχνότητα μικρότερη από εκείνη που αντιστοιχεί στην ταχύτητα της μηχανής, οπότε αυτή λειτουργεί ως γεννήτρια. Ο μετατροπέας μεταφέρει τώρα την ac ισχύ που παράγει η μηχανή (regenerated power) στην dc είσοδο, επομένως λειτουργεί ως ανορθωτής. Όταν ο αντιστροφέας τροφοδοτείται από ένα τυπικό ανορθωτή με διόδους ή SCR, η ενέργεια που ανακτάται από τη μηχανή δεν μπορεί να μεταφερθεί στο ac δίκτυο, καθώς ο ανορθωτής δεν επιτρέπει την αντιστροφή της φοράς του

ρεύματος στο dc-link. Το αποτέλεσμα είναι η επιπλέον φόρτιση του πυκνωτή εξομάλυνσης και η αύξηση της τάσης στο dc-link. Στα κινητήρια συστήματα χαμηλής απόδοσης, προκειμένου να αποφύγουμε την ανάπτυξη καταστροφικών υπερτάσεων στο dc-link, περιορίζουμε μέσω του αντιστροφέα το ρυθμό επιβράδυνσης του κινητήρα. Μια αποτελεσματικότερη μέθοδος πέδησης του κινητήρα είναι η κατανάλωση της ανακτώμενης ενέργειας σ' ένα αντιστάτη (σχήμα 2.8α). Ο αντιστάτης συνδέεται παράλληλα με τον πυκνωτή μέσω ενός transistor, μόλις η τάση στο dc-link υπερβεί μια προκαθορισμένη τιμή και αποσυνδέεται όταν η τάση επανέλθει στην τυπική τιμή της. Αυτή η μέθοδος πέδησης του κινητήρα είναι γνωστή ως δυναμική πέδηση (dynamic braking).



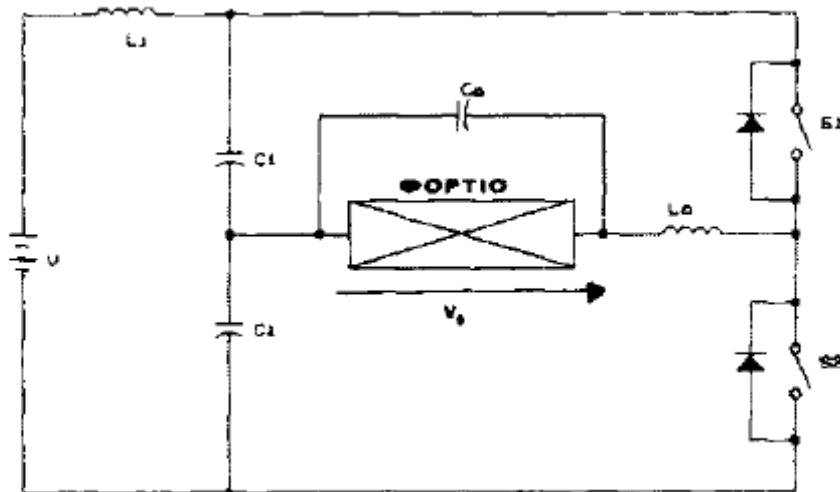
Σχήμα 2.8 : Πέδηση του ac κινητήρα με τη μέθοδο dynamic braking (α) και τη μέθοδο regenerative braking, με διπλό μετατροπέα SCR (β) και διακοπτικό ανορθωτή (γ)

Η αποτελεσματικότερη μέθοδος πέδησης του κινητήρα είναι με την επιστροφή της ενέργειας που παράγεται στο δίκτυο (regenerative braking).

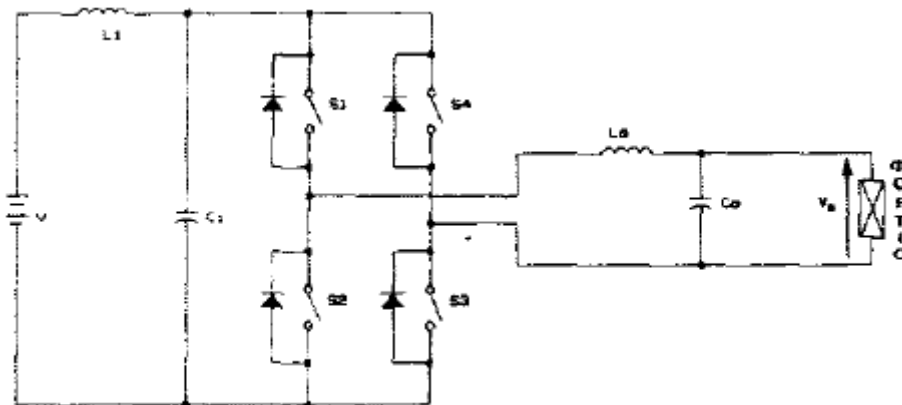
Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η αντικατάσταση του απλού ανορθωτή είτε από ένα διπλό μετατροπέα με SCR (σχήμα 2.8β), ή για καλύτερα

αποτελέσματα από ένα διακοπτικό ανορθωτή με transistor (σχήμα 2.8γ). Στο σχήμα 2.8β ο ελεγχόμενος μετατροπέας I λειτουργεί ως ανορθωτής, κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής ως κινητήρα. Στη διάρκεια της πέδησης τίθεται σε λειτουργία αντιστροφή ο μετατροπέας II, οπότε αντιστρέφεται η φορά του ρεύματος  $i_{dc}$ . Για την καλύτερη εξομάλυνση της τάσης στο dc-link τοποθετείται ένα LC φίλτρο. Στο σχήμα 2.8γ η παροχή της συνεχούς τάσης στον αντιστροφέα γίνεται από ένα μετατροπέα τεσσάρων τεταρτημορίων (πλήρους γέφυρας όταν το δίκτυο είναι μονοφασικό), ίδιας τοπολογίας με αυτή του αντιστροφέα. Ο μετατροπέας αυτός με κατάλληλο έλεγχο των διακοπών του λειτουργεί κυρίως ως ανορθωτής της τάσης του δικτύου, επιτρέποντας την αμφίδρομη ροή της ισχύος. Ταυτόχρονα, παρέχει σχεδόν ημιτονοειδές ρεύμα στο δίκτυο με συντελεστή ισχύος μονάδα. Η μέθοδος regenerative braking χρησιμοποιείται σε κινητήρια συστήματα μεγάλης ισχύος και σε εφαρμογές υψηλής απόδοσης όπου απαιτούνται συχνές πεδησεις του κινητήρα, καθώς αυξάνει σημαντικά την πολυπλοκότητα και το κόστος της διάταξης.

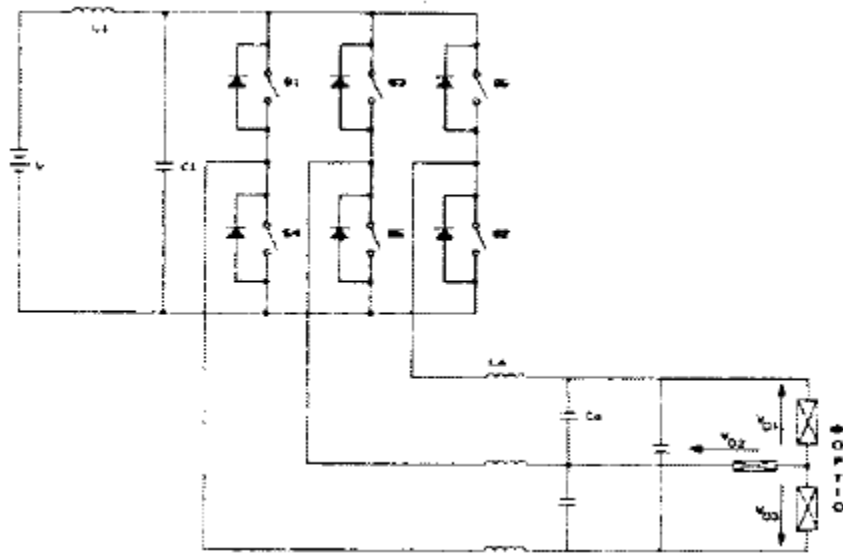
## 2.5 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΣΡ/ΕΡ



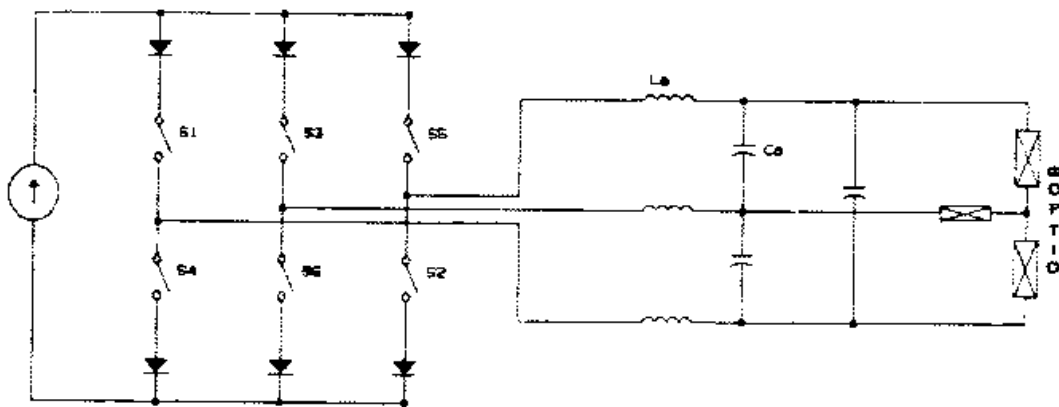
Σχήμα 2.9 : Μονοφασική ημιγέφυρα πηγής τάσης



Σχήμα 2.10 : Μονοφασική πλήρης γέφυρα πηγής τάσης

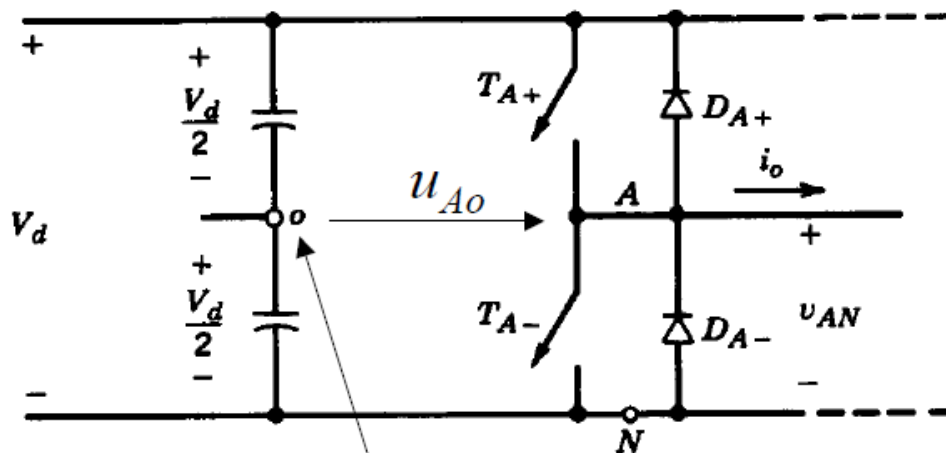


Σχήμα 2.11 : Τριφασική γέφυρα πηγής τάσης

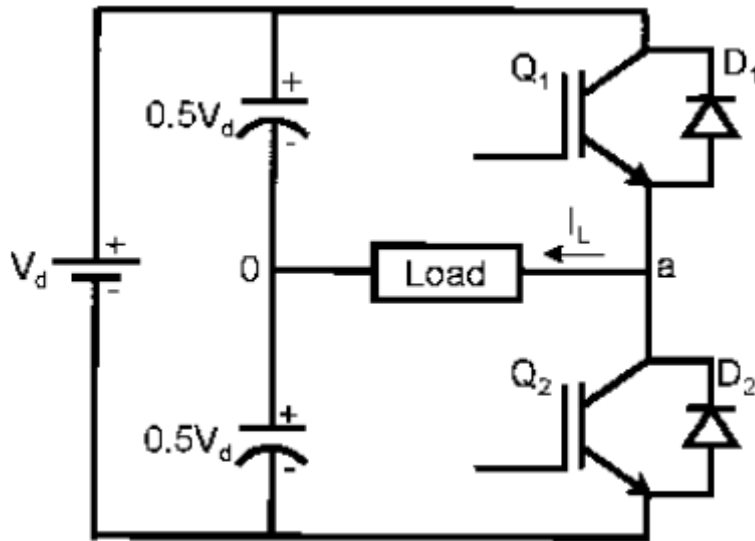


Σχήμα 2.12 : Τριφασική πηγή ρεύματος

### ΒΑΣΙΚΗ ΔΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

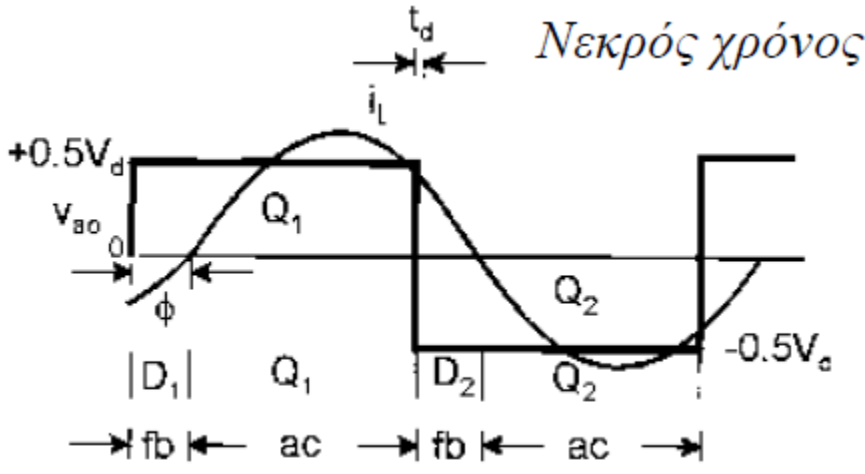


Μεσαία λήψη : όχι απαραίτητη



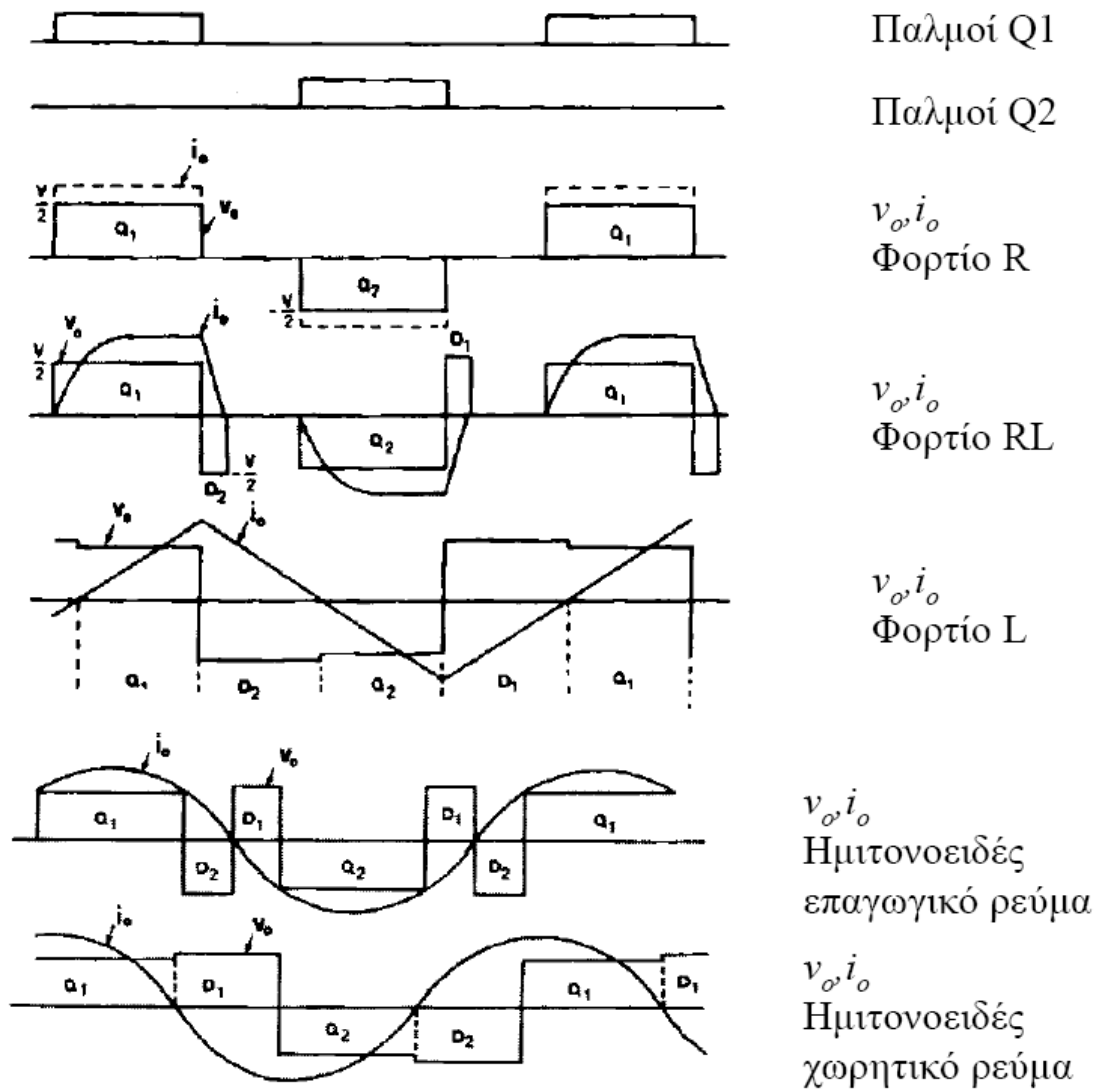
Σχήμα 2.13 : Μονοφασικός αντιστροφέας ημιγέφυρας

**Λειτουργία τετραγωνικού παλμού**

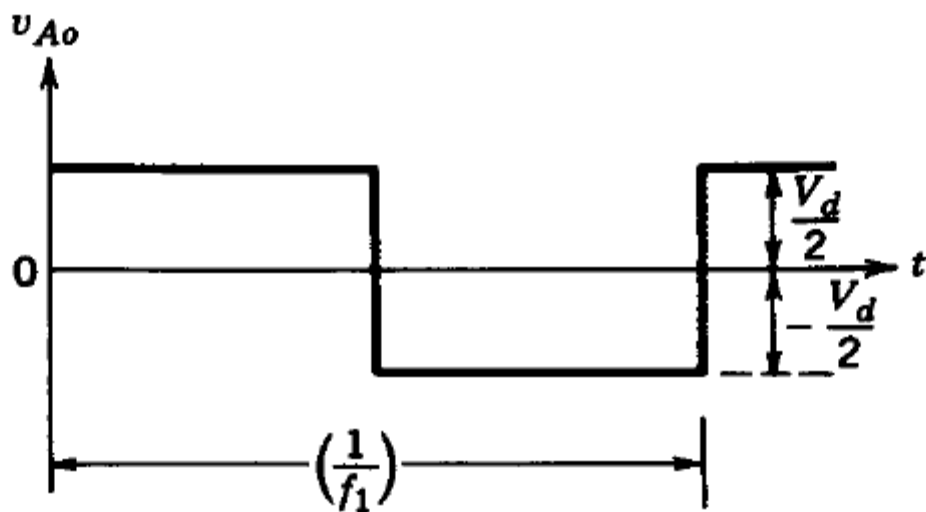


Σημείωση : Διάρκεια παλμών 180 μοίρες, επαγωγικό ρεύμα, συνεχής αγωγή

Διάρκεια παλμών  $< 180^\circ$



Ανάλυση αρμονικών της τάσης εξόδου



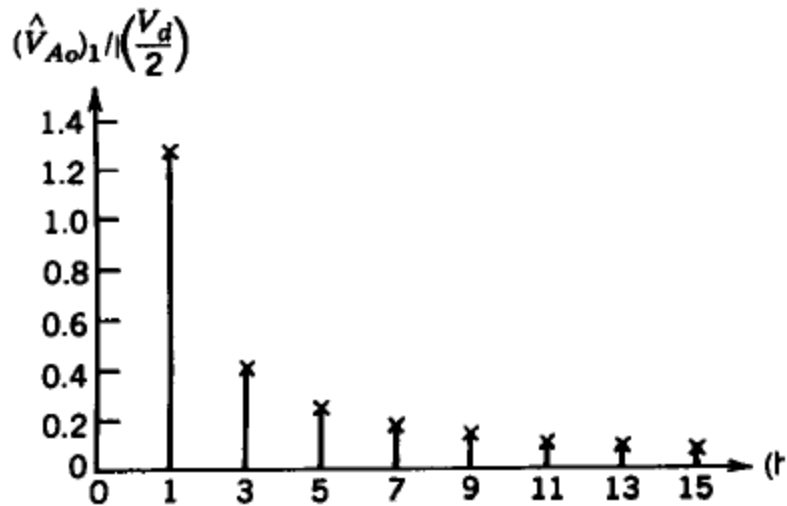


Θεμελιώδης συνιστώσα (συχνότητας  $f_1$ )

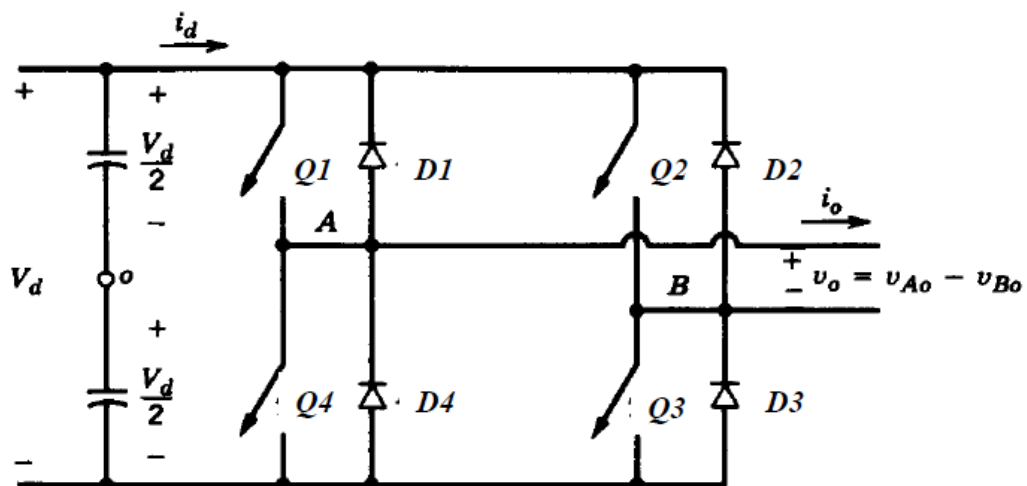
$$\left(\hat{V}_{Ao}\right)_1 = \frac{4}{\pi} \frac{V_d}{2}$$

Ανώτερες αρμονικές, τάξης  $h$  (συχνότητας  $hf_1$ ) :

$$\left(\hat{V}_{Ao}\right)_h = \frac{1}{h} \left(\hat{V}_{Ao}\right)_1 = \frac{1}{h} \frac{4}{\pi} \frac{V_d}{2}$$

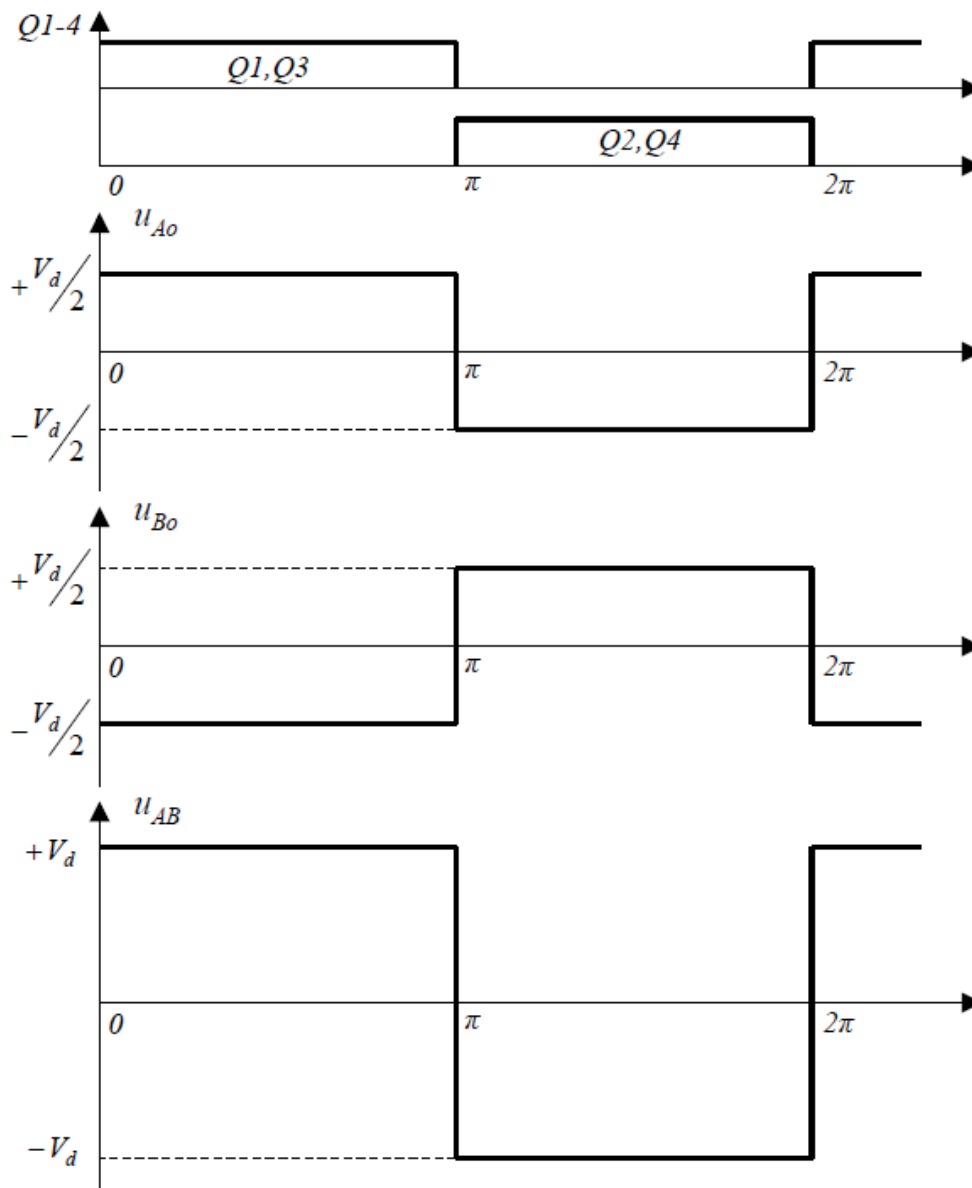


Αρμονικές περιττής τάξης

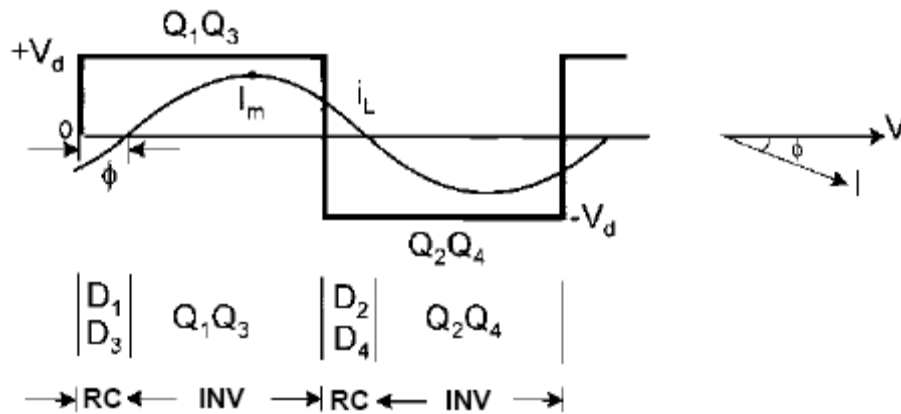
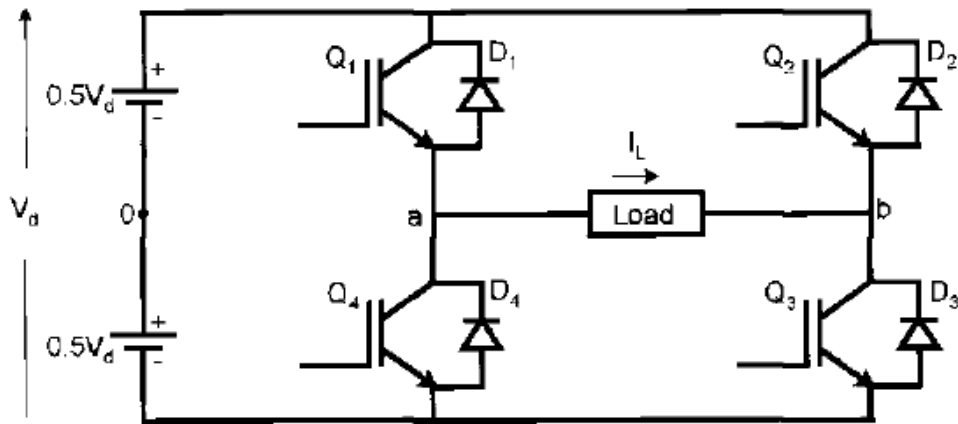


Σχήμα 2.14 : Μονοφασικός αντιστροφέας πλήρους γέφυρας

### Λειτουργία τετραγωνικού παλμού εύρους 180 μοίρες



Λειτουργία τετραγωνικού παλμού 180 μοίρες με ημιτονοειδές επαγωγικό ρεύμα εξόδου

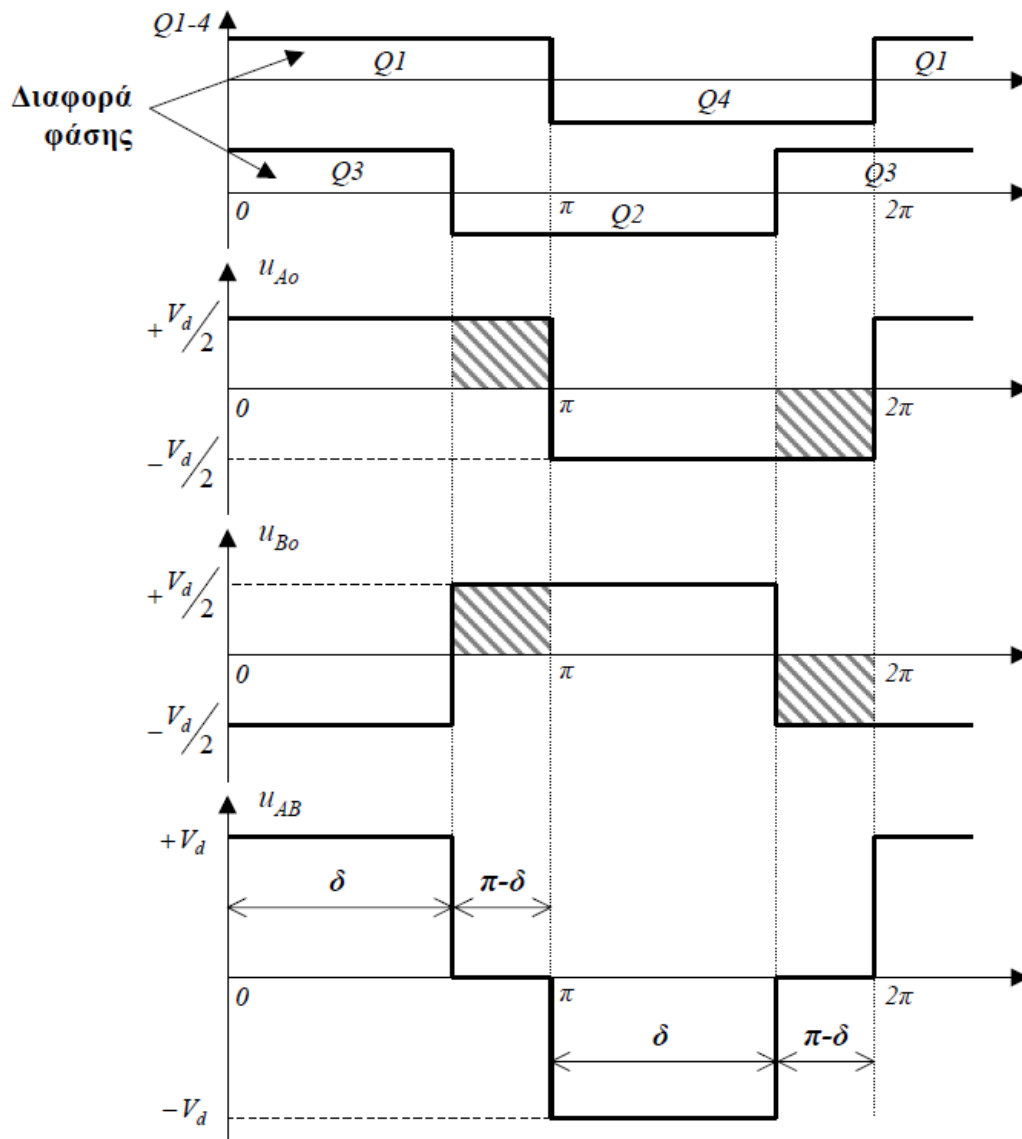
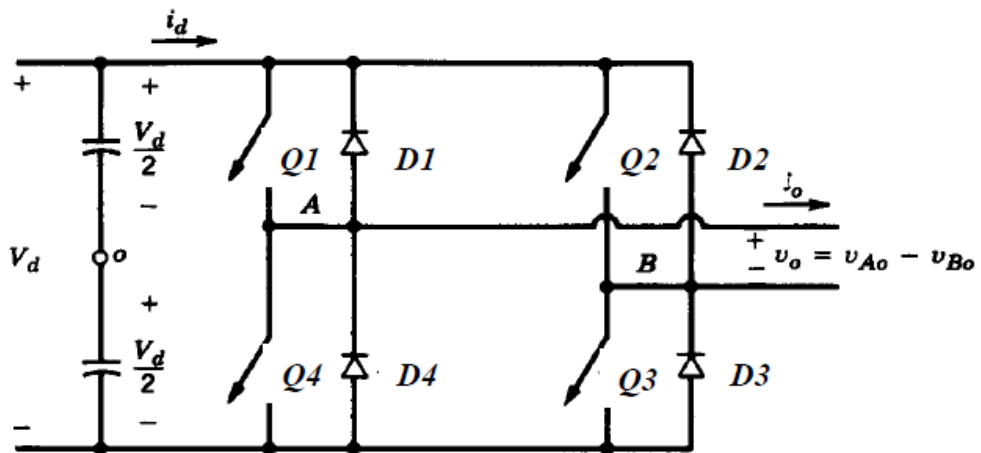


Δύο τρόποι λειτουργίας :

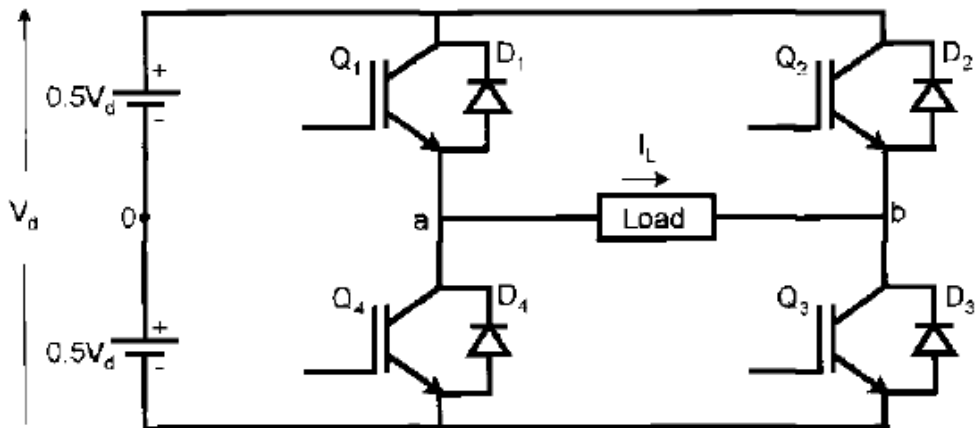
RC : Ροή ισχύος AC->DC (Ανορθωτής)

INV : Ροή ισχύος DC->AC (Αντιστροφέας)

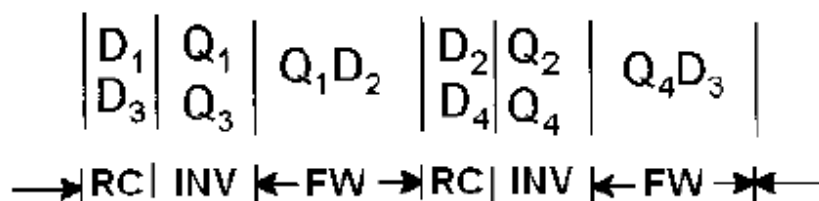
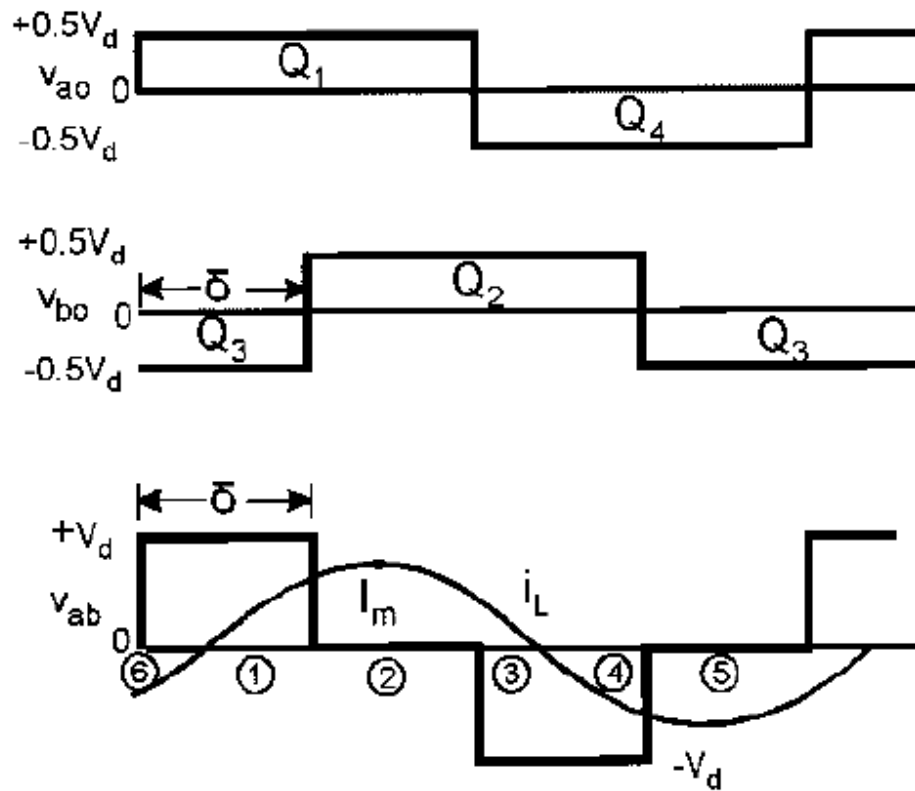
### Έλεγχος τάσης εξόδου με ολίσθηση φάσεως



### Λειτουργία με ολίσθηση φάσεως

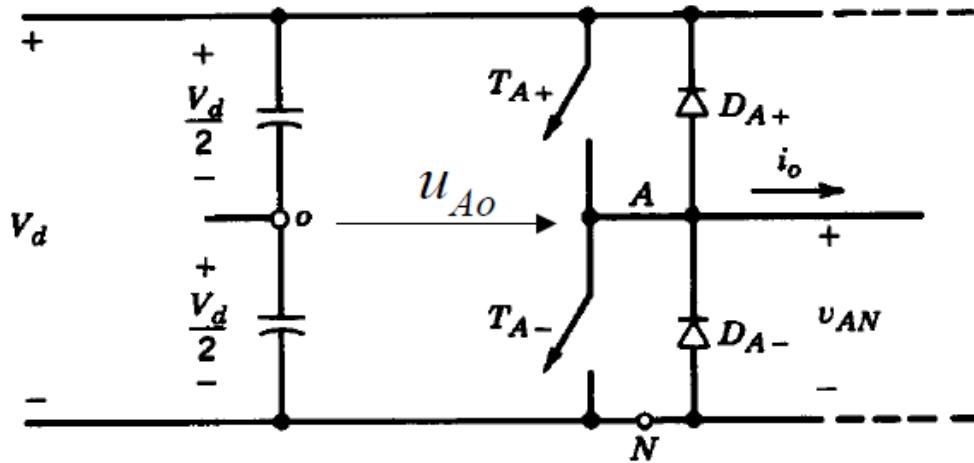


### Ημιτονοειδές επαγωγικό ρεύμα εξόδου

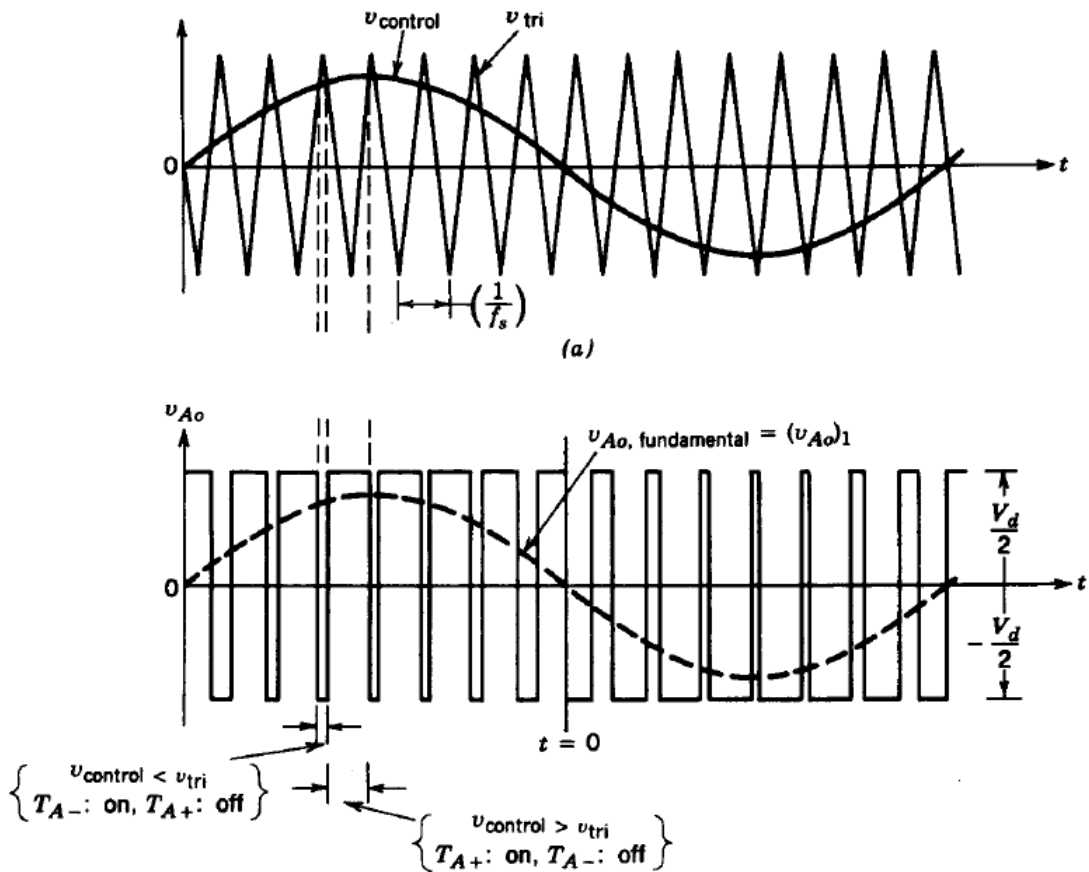


Τρεις τρόποι λειτουργίας :  
 RC : Ροή ισχύος AC->DC (Ανορθωτής)  
 INV : Ροή ισχύος DC->AC (Αντιστροφέας)  
 FW : Καμία ανταλλαγή ισχύος DC<->AC (Ελεύθερη ροή ρεύματος)

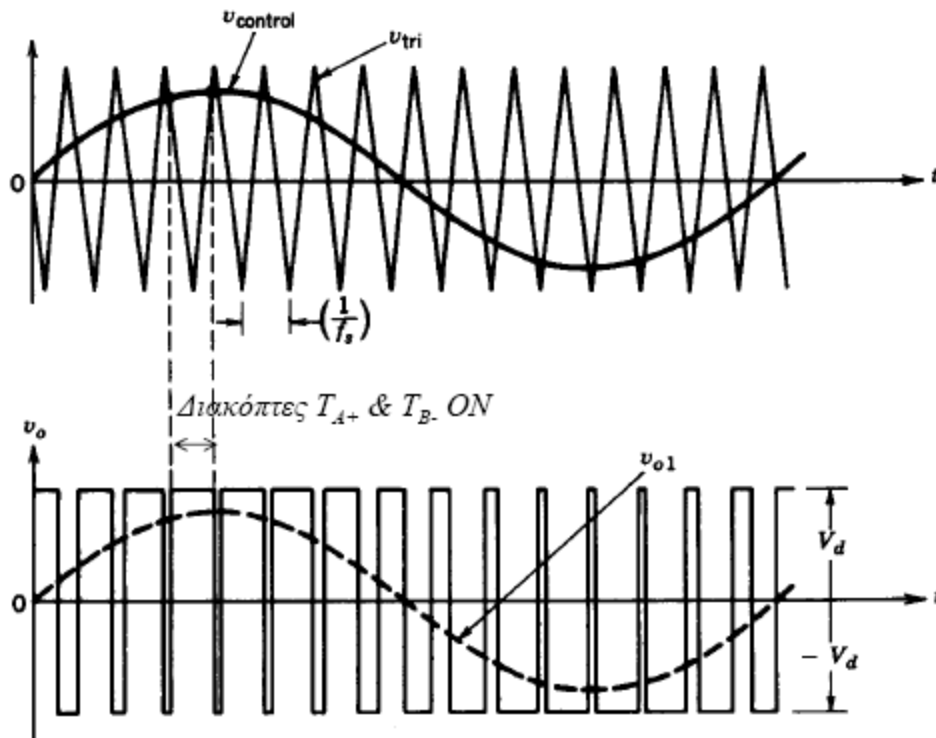
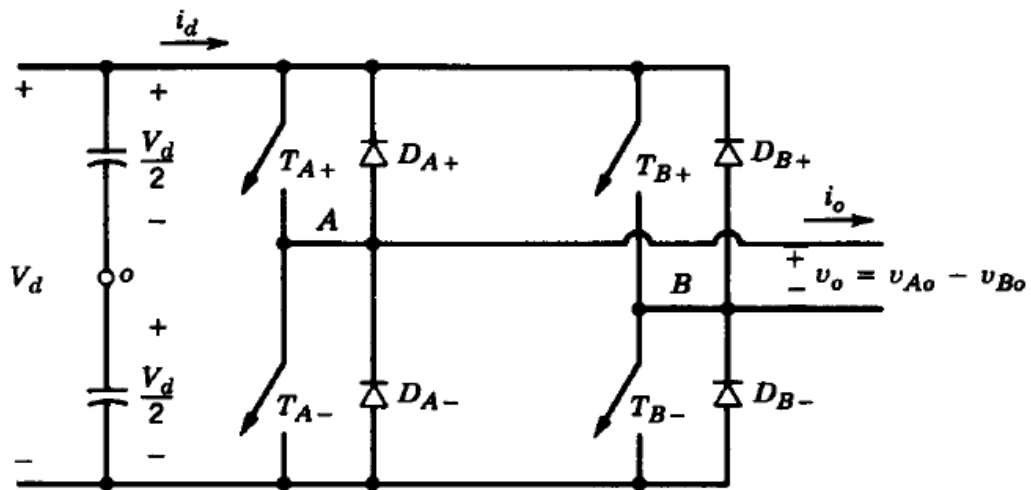
### Διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM)



### Έλεγχος PWM ημιγέφυρας



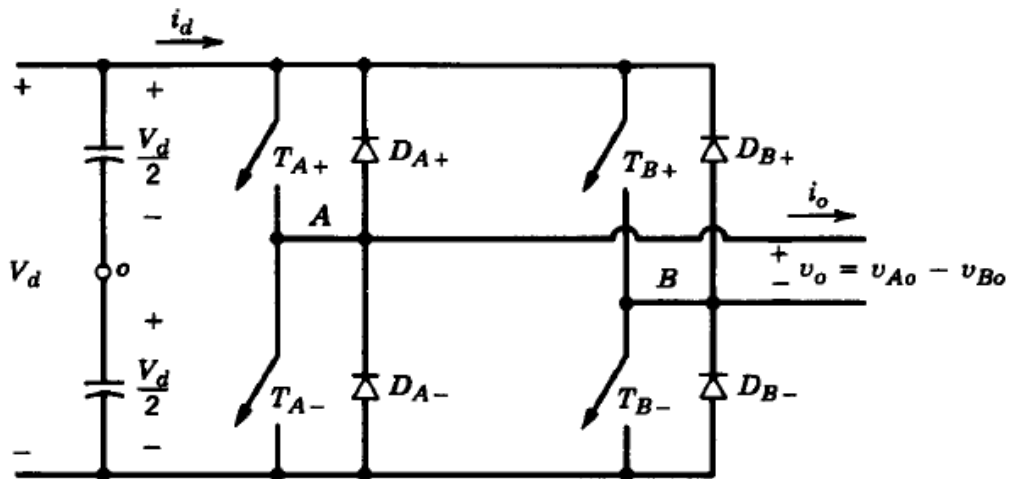
Έλεγχος PWM αντιστροφή γέφυρας  
Διπολικός έλεγχος



Ταυτόχρονος έλεγχος διαγώνιων διακοπών ( $T_{A+}$ ,  $T_{B-}$ ) και ( $T_{A-}$ ,  $T_{B+}$ )

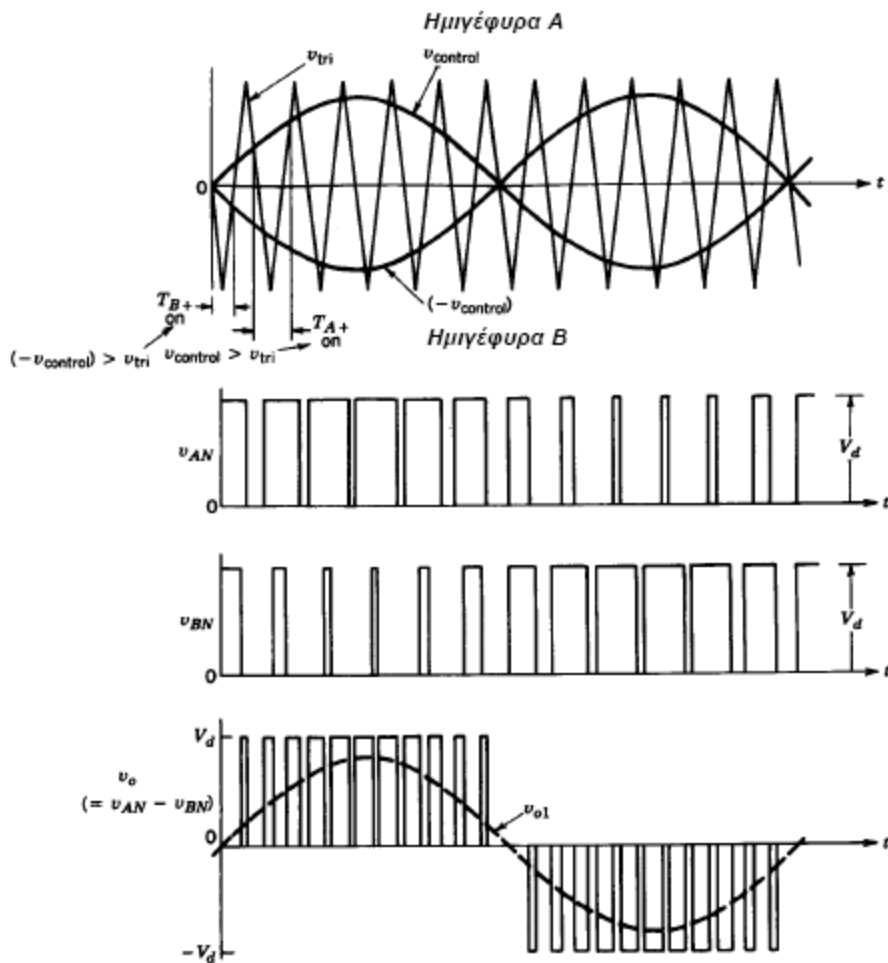
- ⇒ Ημιγέφυρες παράγουν ακριβώς αντίθετες τάσεις ( $u_{Ao} = -u_{Bo}$ ) πλάτους  $\pm V_d/2$
- ⇒ Τάση εξόδου ίδιας ακριβώς μορφής και διπλάσιου πλάτους ( $\pm V_d$ )
- ⇒ Εναλλάσσεται μεταξύ των τιμών  $+V_d$  και  $-V_d$

## Μονοπολικός έλεγχος



### Ανεξάρτητος έλεγχος των δύο ημιγεφυρών

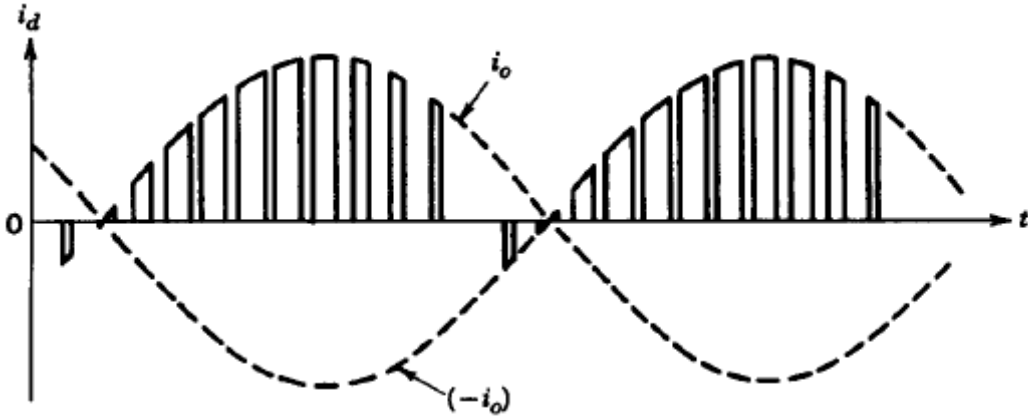
- ⇒ Ημιγέφυρες παράγουν τάσεις πλάτους  $\pm V_d/2$  μετατοπισμένες κατά  $180^\circ$
- ⇒ Τάση εξόδου εναλλάσσεται μεταξύ 0 και  $+V_d$ , είτε μεταξύ 0 και  $-V_d$



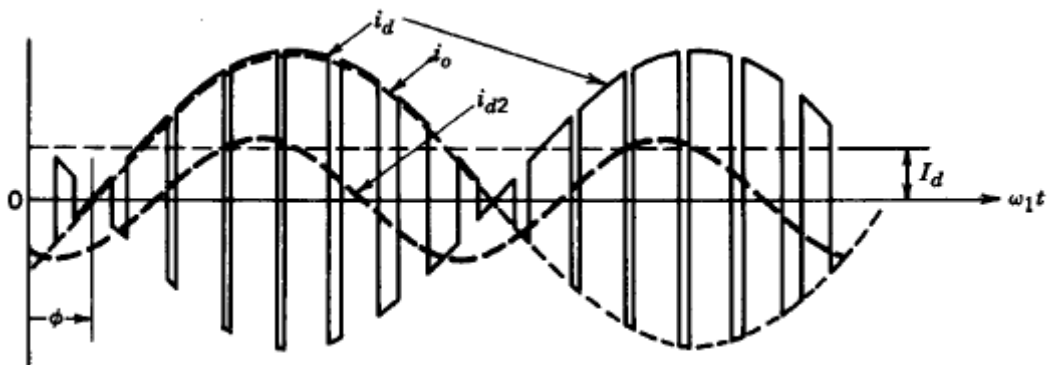


## Ρεύμα εισόδου μετατροπέα γέφυρας PWM

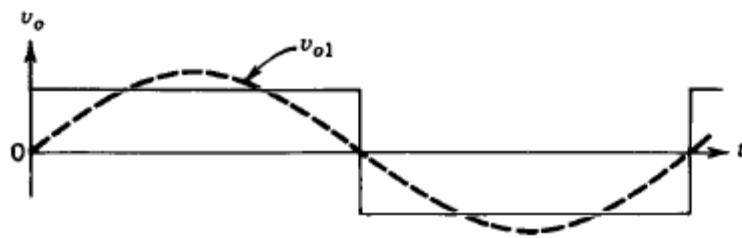
### Μονοπολικός έλεγχός



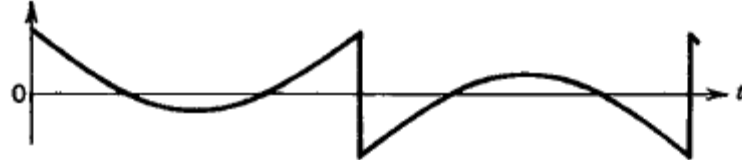
### Διπολικός έλεγχος



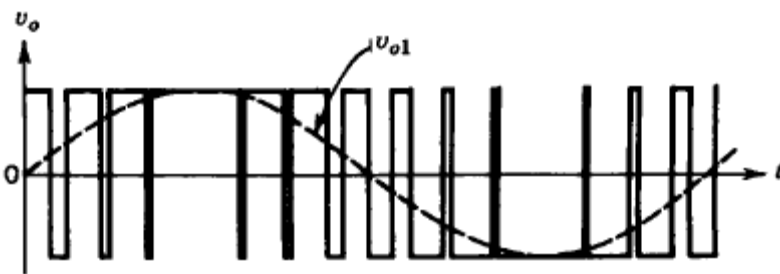
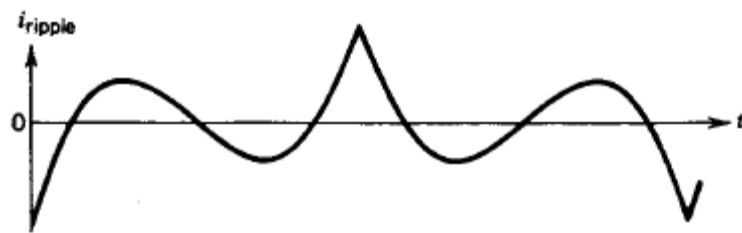
## Κυμάτωση τάσης και ρεύματος εξόδου



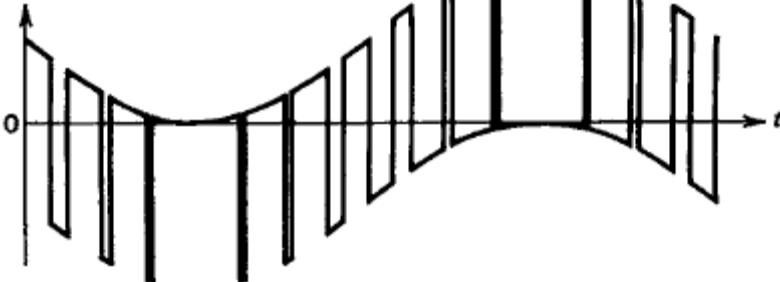
$$v_{\text{ripple}} = v_o - v_{o1}$$



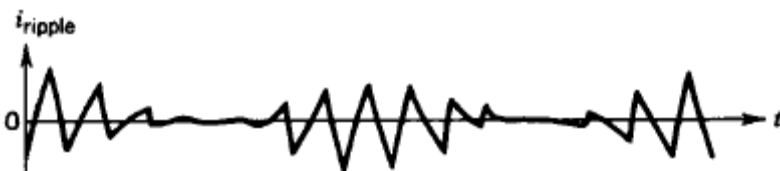
Τετραγωνικός παλμός



$$v_{\text{ripple}} = v_o - v_{o1}$$

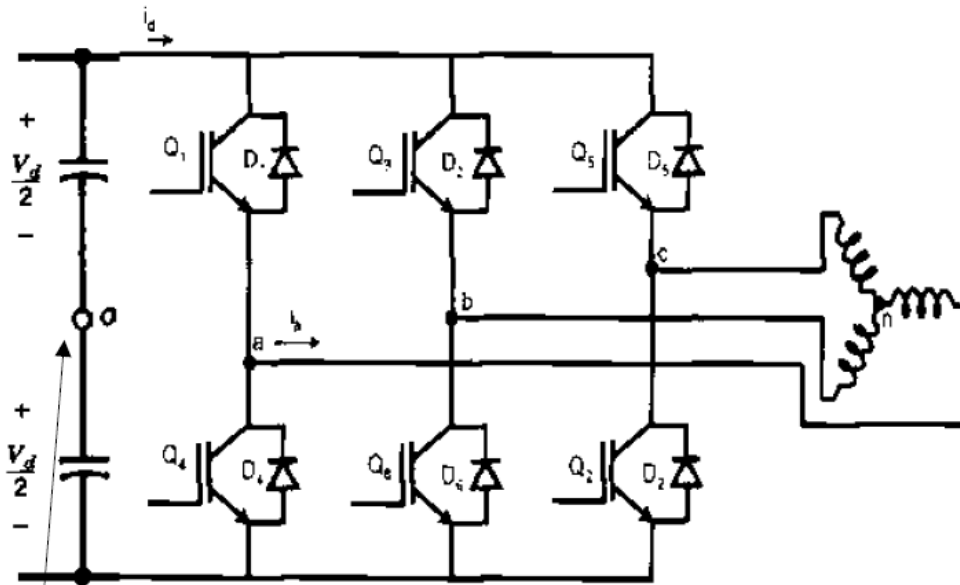


Διπολικός έλεγχος PWM



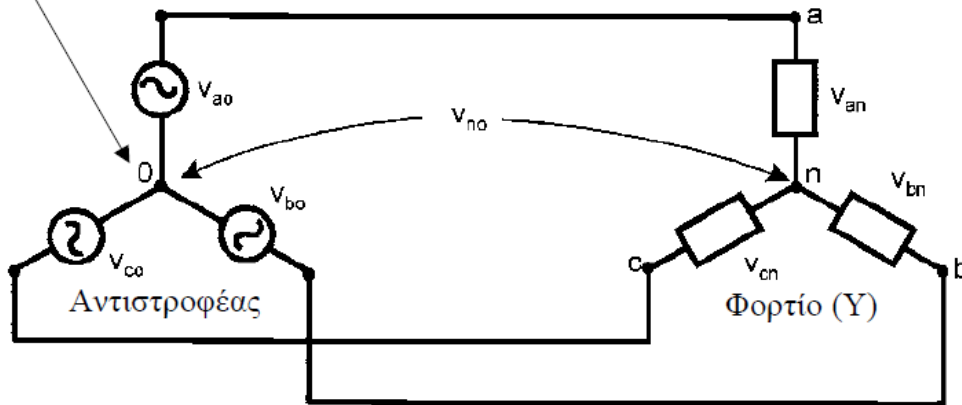
## Τριφασικοί αντιστροφείς ΣΡ/ΕΝ

Τοπολογία τριφασικού αντιστροφέα γέφυρας, τύπου πηγής τάσης



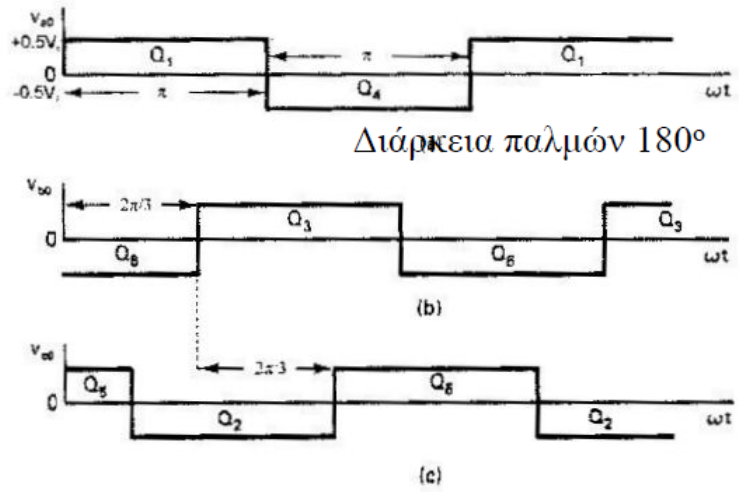
Τάσεις ως προς μεσαία λήψη ('o') και ως προς ουδέτερο φορτίου ('n')

Μεσαία λήψη

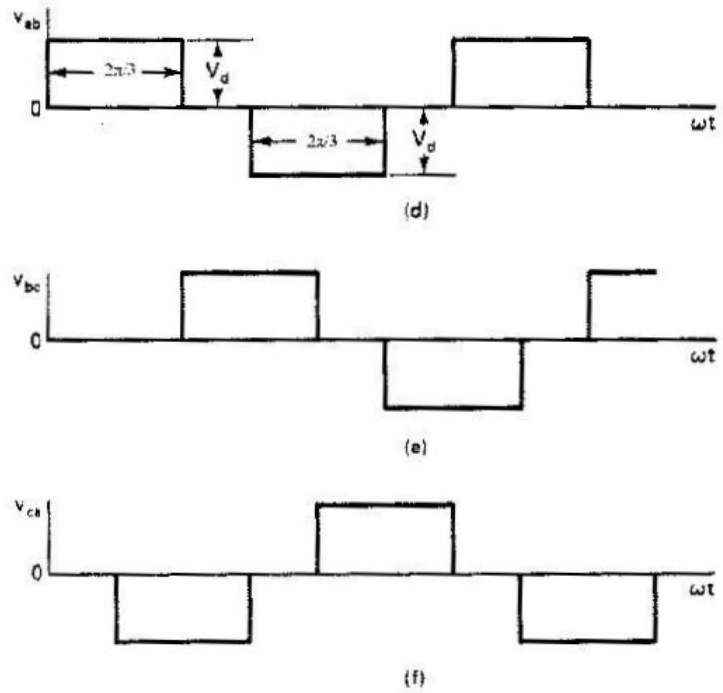


## Λειτουργία τετραγωνικού παλμού

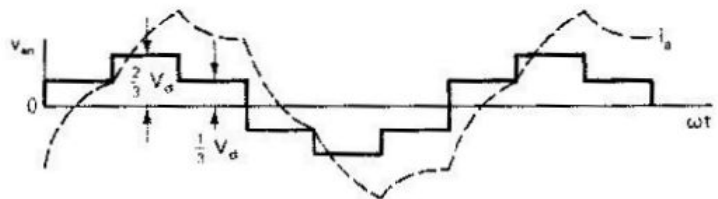
Τάσεις ως προς  
μεσαία λήψη  
πλευράς ΣΡ



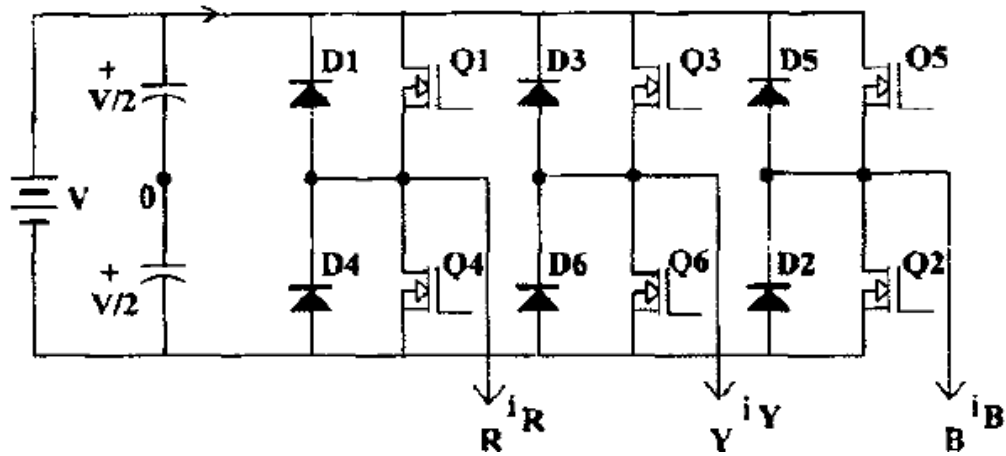
Πολικές τάσεις



Φασική τάση και  
ρεύμα φορτίου RL



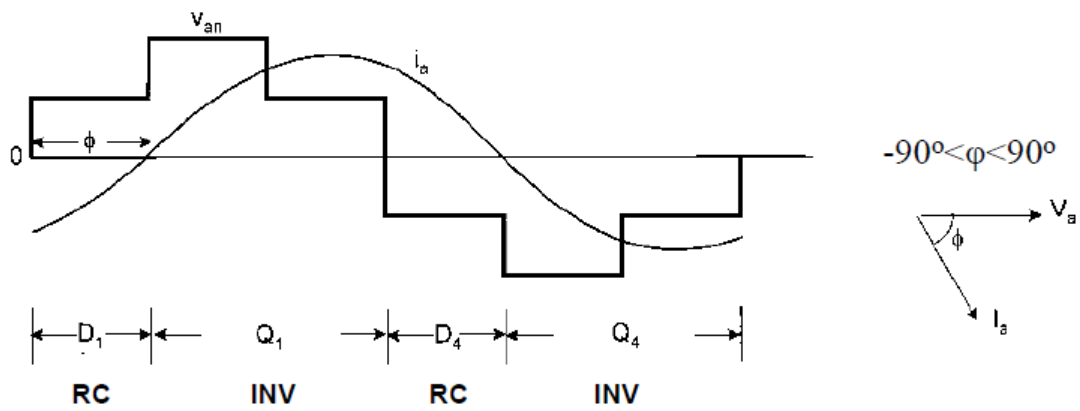
### Λειτουργία τετραγωνικού παλμού



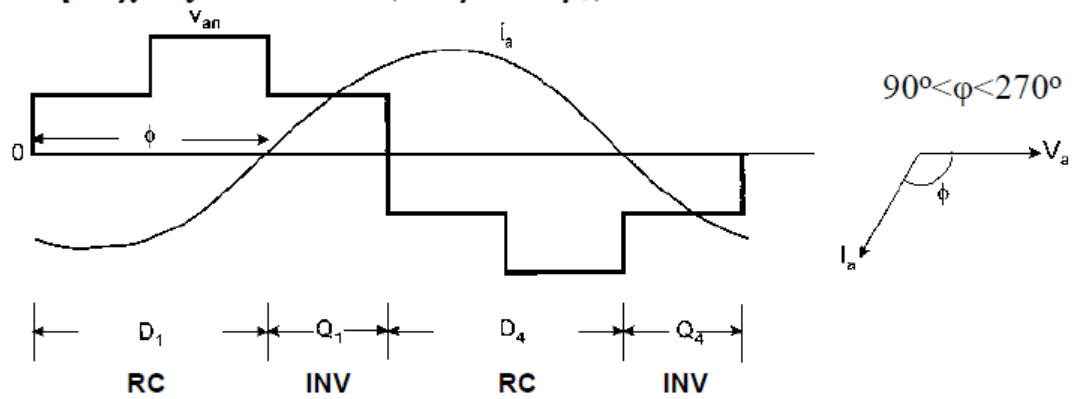
Σχήμα 2.15 : Συνδεσμολογία τριφασικού αντιστροφέα

### Κατεύθυνση ροής ισχύος Λειτουργία ανορθωτή/αντιστροφέα

#### Ροή ισχύος ΣΡ → ΕΡ (Αντιστροφέας)



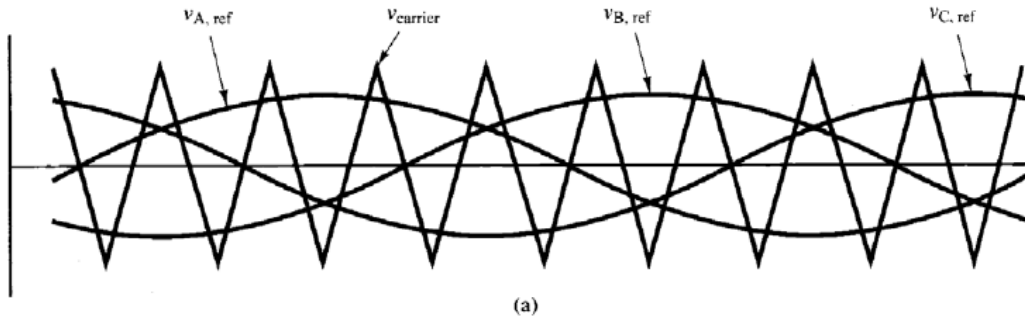
#### Ροή ισχύος ΕΡ → ΣΡ (Ανορθωτής)



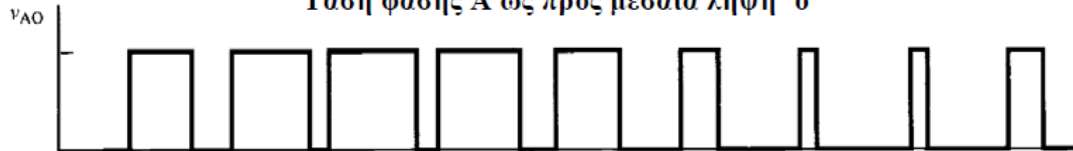
## Τριφασικός αντιστροφέας SPWM

Έλεγχος των τριών ημιγέφυρών με διαφορά φάσης 120 μοίρες

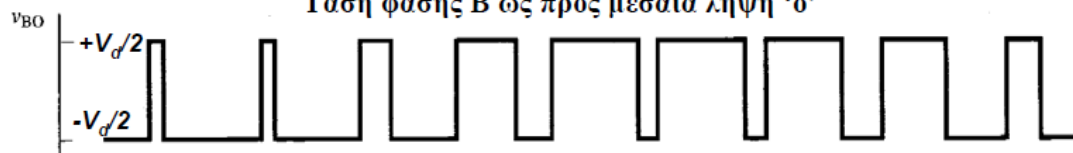
Κυματομορφές φορέα και αναφοράς κάθε ημιγέφυρας



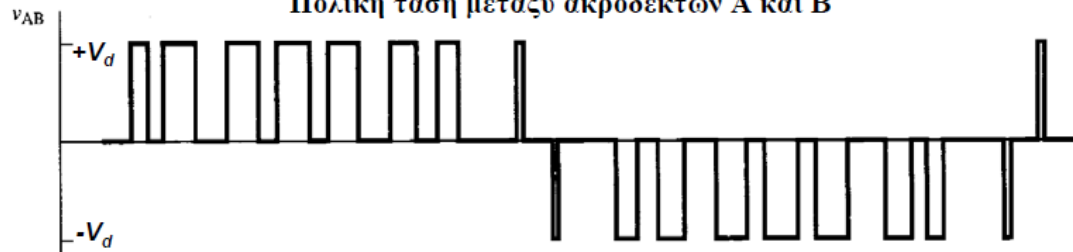
Τάση φάσης A ως προς μεσαία λήψη 'ο'



Τάση φάσης B ως προς μεσαία λήψη 'ο'



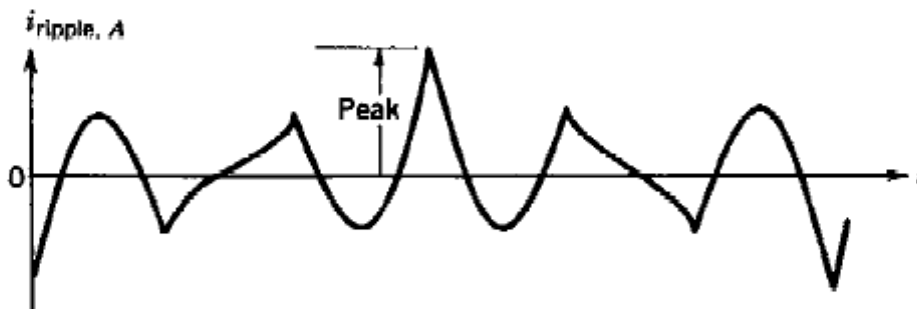
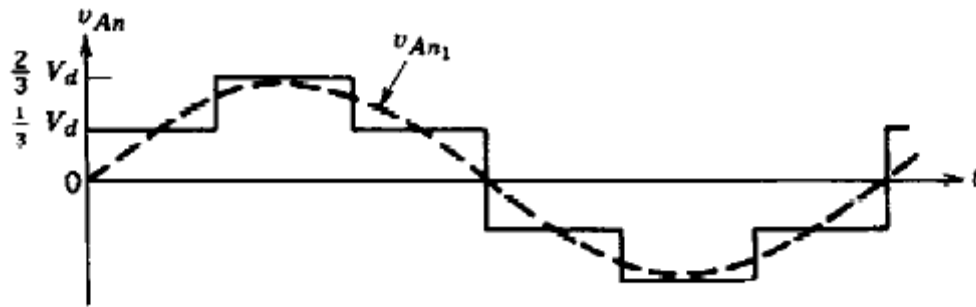
Πολική τάση μεταξύ ακροδεκτών A και B



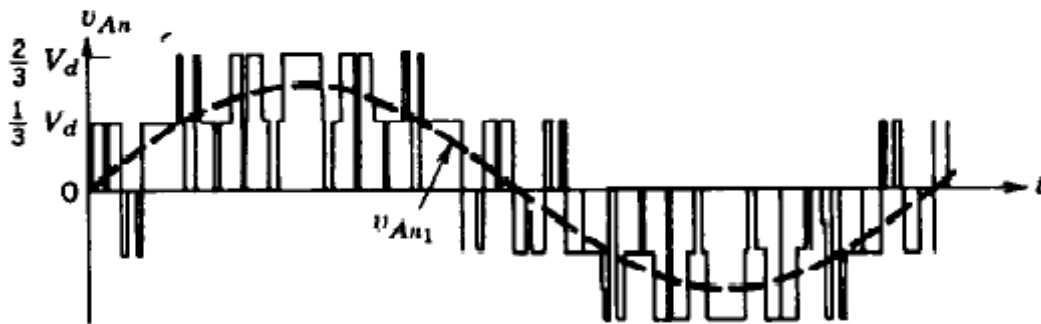
Φασική τάση ως προς τον ουδέτερο 'N' του φορτίου και ρεύμα φορτίου RL

## Κυμάτωση τάσης και ρεύματος εξόδου

### Τετραγωνικός παλμός



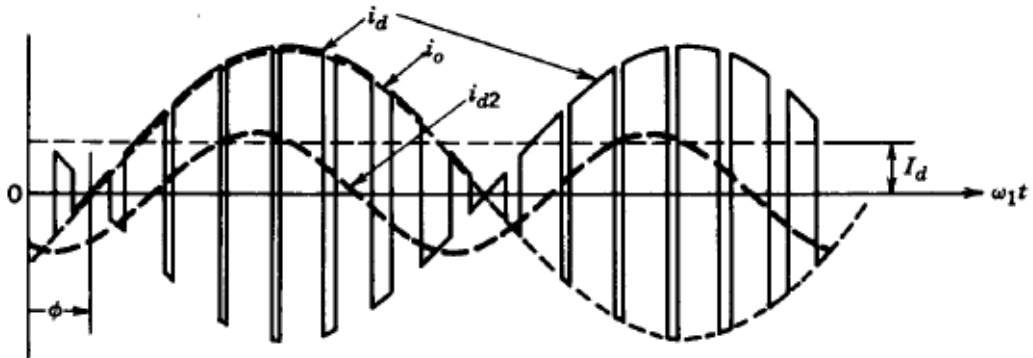
### Έλεγχος SPWM



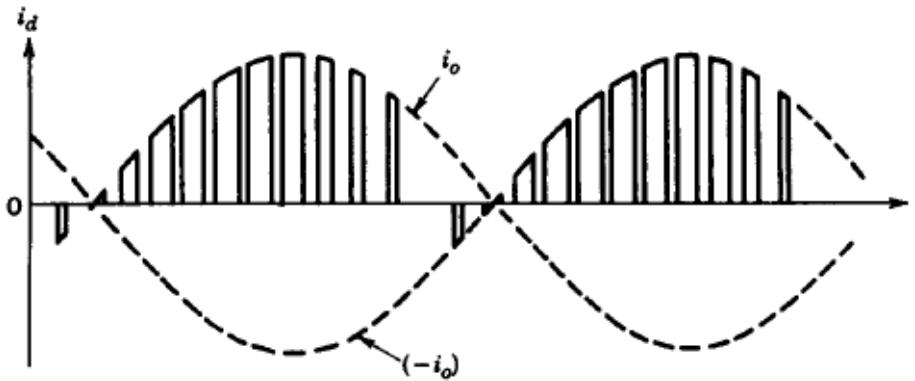
## Ρεύμα εισόδου αντιστροφέων PWM

### 1Φ αντιστροφέας

#### Διπολικός έλεγχος

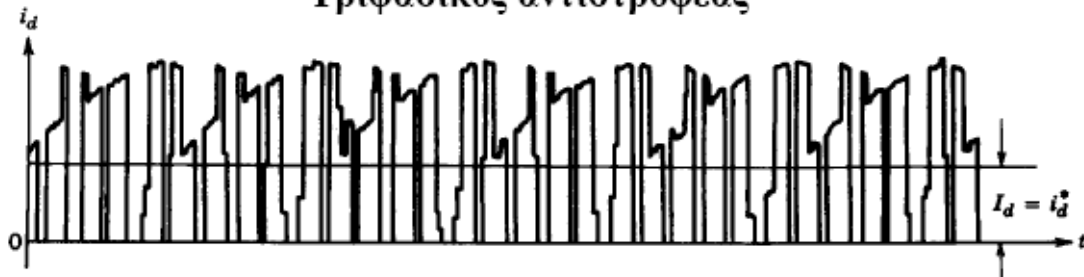


#### Μονοπολικός έλεγχος



Συνιστώσες του  $i_d$ : Μέση τιμή (DC)  
 2η αρμονική ( $2f_1$ )  
 Αρμονικές διακοπτικής συχνότητας

### Τριφασικός αντιστροφέας



Συνιστώσες του  $i_d$ : Μέση τιμή (DC)  
 Αρμονικές διακοπτικής συχνότητας



## 2.6 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ο αντιστροφέας είναι η καρδιά του Φ/Β συστήματος. Σε αυτόν εστιάζουν όλοι οι κώδικες και τα πρότυπα που συντάσσονται για τη διασύνδεση των Φ/Β συστημάτων με το ηλεκτρικό δίκτυο.

### I.Γενικά

Η βασική λειτουργία των αντιστροφέων είναι ότι μετατρέπουν την DC ισχύ που παράγεται από την Φ/Β πηγή σε AC, χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά ισχύος. Μπορεί να είναι κατάλληλοι για διασύνδεση στο δημόσιο δίκτυο ή για αυτόνομη λειτουργία και να διαφοροποιούνται στην ονομαστική ισχύ, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και την απόδοση. Λειτουργούν εφόσον υπάρχει επαρκής ακτινοβολία και θα πρέπει να τοποθετούνται σε δροσερά μέρη, μακριά από την άμεση ακτινοβολία του ήλιου.

Οι περισσότεροι αντιστροφείς που προορίζονται για τη σύνδεση με το δίκτυο, σχεδιάζονται για να λειτουργήσουν χωρίς μπαταρίες, αλλά τοπολογίες που περιλαμβάνουν μπαταρίες είναι επίσης διαθέσιμες.

Οι αντιστροφείς που διαχειρίζονται μπαταρίες περιλαμβάνουν ένα φορτιστή μπαταριών, ο οποίος είναι σε θέση να φορτίζει μια συστοιχία μπαταριών από το δίκτυο ή μέσω μιας εφεδρικής γεννήτριας όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι περιορισμένη. Αντιστροφείς που συνδέονται στο δίκτυο μπορούν να εγκατασταθούν υπαίθρια. Εκείνοι που προορίζονται για αυτόνομη λειτουργία δεν είναι στεγανοί και πρέπει να τοποθετηθούν στο εσωτερικό, κοντά στη συστοιχία των μπαταριών. Όταν το δίκτυο παρουσιάζει προβλήματα οι αντιστροφείς θα πρέπει να τα ανιχνεύουν και να μη συμβάλλουν σε αυτά.

Θα πρέπει επίσης να αποφεύγεται το islanding (νησιδοποίηση).

Όταν η τάση ή η συχνότητα του δικτύου που βλέπει ο αντιστροφέας ξεπεράσουν κάποια προκαθορισμένα όρια θα πρέπει επίσης να γίνεται απόζευξη της Φ/Β πηγής από το δίκτυο. Η επαναφορά της σύνδεσης, εφόσον το δίκτυο δεν είναι πια προβληματικό θα πρέπει να γίνεται μετά από καθορισμένο χρόνο αναμονής.

### Αντιστροφείς : Κύρια ταξινόμηση

Σύνδεση με το δημόσιο δίκτυο : Λειτουργεί μόνο σε σύνδεση με το δίκτυο, συγχρονίζοντας τη συχνότητα και την τάση της εξόδου με αυτά του δικτύου. Συνδέεται άμεσα με την Φ/Β συστοιχία.

Αυτόνομα δίκτυα : Λειτουργεί με μπαταρίες ανεξάρτητα από το δημόσιο δίκτυο.

Σύνδεση με το δίκτυο και αυτόνομη λειτουργία : Μπορεί να λειτουργεί σε σύνδεση με το δίκτυο αλλά παρέχει ενέργεια εάν το δίκτυο αποκοπεί.

Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι βασικές λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά των μονοφασικών αντιστροφών που προορίζονται για τη σύνδεση με το δίκτυο.

## **II.Μονοφασικοί αντιστροφείς για σύνδεση με το δίκτυο**

Η διείσδυση Φ/Β συστημάτων στο δίκτυο αυξάνεται με ταχύ ρυθμό τα τελευταία χρόνια. Προγράμματα και αλλαγές στην ενεργειακή πολιτική των ευρωπαϊκών χωρών έχουν συμβάλει σε αυτό, ενώ η τεχνολογική ανάπτυξη στο πεδίο των ημιαγωγών και των μαγνητικών υλικών οδήγησαν τους αντιστροφείς σε βελτιωμένη λειτουργία. Μέσα στην τελευταία δεκαετία το κόστος τους έχει μειωθεί κατά 50% και η απόδοσή τους αυξήθηκε από 94% στο 97%. Εκτός αυτών, σήμερα έχουν τεθεί και ζητήματα ασφάλειας, αξιοπιστίας και επίβλεψης των συστημάτων των αντιστροφών. Τα πρώτα Φ/Β συστήματα στη δεκαετία του 1980 είχαν εγκατεστημένους κεντρικούς αντιστροφείς αρκετών KW, οι τοπολογίες των οποίων ήταν βασισμένες στα βιομηχανικά συστήματα οδήγησης χωρίς εξειδίκευση στη λειτουργία της Φ/Β πηγής. Αυτό είχε επιπτώσεις στη λειτουργία Φ/Β συστήματος, όπως μειωμένη απόδοση στην εύρεση του σημείου μέγιστης ισχύος, απώλειες και θέματα ασφάλειας στην καλωδίωση της DC πλευράς και μειωμένη προσαρμοστικότητα του συστήματος στις απαιτήσεις του πελάτη. Ως εκ τούτου αναπτύχθηκαν συστήματα αντιστροφών, ώστε να καλύπτουν τις ειδικές απαιτήσεις ενός Φ/Β συστήματος, με πλεονεκτήματα τη μείωση του κόστους, την αξιοπιστία και την απλότητα στον σχεδιασμό. Το καλύτερο από πλευράς απόδοσης και απλότητας θα ήταν η ενσωμάτωση του αντιστροφέα στο Φ/Β πλαίσιο. Ζητήματα αντικατάστασης και μειωμένης απόδοσης λόγω χαμηλών τιμών ισχύος, που αναγείρονται, οδηγούν προς αντιστροφείς προσανατολισμένους σε μια σειρά Φ/Β πλαισίων. Η μέγιστη απόδοση σήμερα αυτών των αντιστροφών φτάνει το 97%, ενώ υπάρχει περιορισμένος χώρος για περαιτέρω αύξηση.

### **Τοπολογίες αντιστροφών στην ευρωπαϊκή αγορά**

Οι τρεις βασικές λειτουργίες που θα πρέπει να εκτελέσει ένας αντιστροφέας για την σύνδεση με το δίκτυο είναι οι εξής :

1. Μετατροπή του ρεύματος σε εναλλασσόμενο.
2. Μετασχηματισμός του ρεύματος σε ημιτονοειδή κυματομορφή.
3. Ενίσχυση της τάσης της Φ/Β πηγής με μετατροπέα DC/DC εάν αυτή είναι χαμηλότερη από την απαιτούμενη για την σύνδεση στα 230V.

Η ακολουθία αυτών των λειτουργιών στο σύστημα του αντιστροφέα καθορίζει τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν και τις απώλειες, το μέγεθος και την τιμή του. Το επίπεδο της τάσης στην είσοδο του αντιστροφέα εξαρτάται από την τάση του Φ/Β πλαισίου και τον σχηματισμό της συστοιχίας.

Η τάση αυτή μπορεί να μην είναι η βέλτιστη που χρειάζεται η γέφυρα του αντιστροφέα για να διατηρήσει τα 230V στο δίκτυο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές που περιέχονται στο σύστημα του αντιστροφέα και μπορεί να είναι υψηλής ή χαμηλής συχνότητας. Γενικά οι μετασχηματιστές υψηλής συχνότητας είναι ελαφρύτεροι και μικρότεροι σε μέγεθος και έτσι προτιμούνται. Εναλλακτικά μπορούν να τοποθετηθούν μετατροπείς DC/DC στην πλευρά συνεχούς που ενισχύουν την τάση που λαμβάνουν από την γεννήτρια. Άλλο στοιχείο είναι τα φίλτρα που τοποθετούνται στην DC και AC πλευρά για τις αρμονικές που προκύπτουν από τη λειτουργία των διακοπτικών στοιχείων.

### Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή

Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή έχουν εισαχθεί στην αγορά με σταθερά αυξανόμενο ρυθμό διείσδυσης, προσφέροντας γενικά καλύτερη απόδοση, χαμηλότερο κόστος και βάρος. Το κυριότερο μειονέκτημα είναι η άμεση σύνδεση με την AC πλευρά χωρίς γαλβανική απομόνωση. Ανάλογα με την τοπολογία του αντιστροφέα αυτό μπορεί να προκαλέσει διακυμάνσεις μεταξύ του δυναμικού της Φ/Β συστοιχίας και της γης. Οι διακυμάνσεις αυτές μπορεί να έχουν συμπεριφορά ημίτονου ή τετραγωνικού παλμού στην συχνότητα του δικτύου ή την διακοπτική συχνότητα. Οι επιπτώσεις στη λειτουργία του συστήματος και την ασφάλεια των ατόμων που έρχονται σε επαφή με αυτό οφείλονται στην ανάπτυξη δύο φαινομένων :

1. Η επιφάνεια της Φ/Β συστοιχίας αναπτύσσει χωρητικότητα σε σχέση με τη γη η οποία ενεργοποιείται με τις διακυμάνσεις του δυναμικού. Τίθενται λοιπόν θέματα ασφαλείας για άμεση επαφή με τη Φ/Β γεννήτρια.
2. Οι διακυμάνσεις του δυναμικού προκαλούν τη δημιουργία ηλεκτρομαγνητικών πεδίων γύρω από τη συστοιχία.

Ο βαθμός της επίδρασης αυτών των φαινομένων εξαρτάται από το μέγεθος του συστήματος και την τοπολογία του αντιστροφέα. Η γείωση του εξοπλισμού μειώνει αρκετά την αναπτυσσόμενη χωρητικότητα και άρα τον κίνδυνο που αυτή συνεπάγεται. Σε συνδυασμό με την κατάλληλη τοπολογία του αντιστροφέα και εγκατάσταση εξοπλισμού κλάσης II, οι αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή δεν αποτελούν πηγή κινδύνων για το σύστημα και τους ανθρώπους που το χειρίζονται.

### III. Αποδόσεις

Οι υψηλότερες μέγιστες αποδόσεις επιτυγχάνονται στους αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή με μέση μέγιστη απόδοση 96,5%. Όμως οι αντιστροφείς δεν

λειτουργούν πάντα με τη μέγιστη απόδοση κυριώς λόγω των δακυμάνσεων στην ηλιακή ακτινοβολία. Η ευρωπαϊκή απόδοση είναι ένας τρόπος εκτίμησης της απόδοσης των αντιστροφών σε τυπικές συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας στην Ευρώπη. Ορίζεται ως εξής :

$$n_{\text{euro}} = 0.03 \cdot n_5 + 0.06 \cdot n_{10} + 0.13 \cdot n_{20} + 0.1 \cdot n_{30} + 0.48 \cdot n_{50} + 0.2 \cdot n_{100}$$

Ο δείκτης των αποδόσεων που συμμετέχουν στον προσδιορισμό του  $n_{\text{euro}}$  αναφέρεται στο ποσοστό επί της ονομαστικής ισχύος.

Οι αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή που συνδέονται στο δίκτυο παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες ευρωπαϊκές αποδόσεις.

Γενικότερα η ευρωπαϊκή απόδοση των αντιστροφών όλων των τοπολογιών αυξάνεται σταθερά από το 2000 και μετά. Η μέγιστη απόδοση σε αντίθεση έχει παραμείνει σταθερή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αύξηση της μέγιστης απόδοσης οδηγεί στην αύξηση του κόστους και έτσι οι εταιρείες στοχεύουν στην βελτίωση της απόδοσης σε χαμηλότερα ποσοστά ισχύος.

#### **IV. Συνοπτικά**

Στην αγορά μεγάλο μερίδιο έχουν κατοχυρώσει πλέον οι αντιστροφείς χωρίς ΜΣ ενώ τοπολογίες με ΜΣ υψηλής συχνότητας διεισδύουν όλο και περισσότερο. Η συνεχής έρευνα και τεχνολογική ανάπτυξη οδηγεί σε νέες τοπολογίες που εισάγονται στην αγορά χωρίς συγκεκριμένες οδηγίες εγκατάστασης σε εθνικό επίπεδο. Σε τέτοιες περιπτώσεις οι εταιρείες παραγωγής θα πρέπει να είναι σε θέση να διευκρινίσουν τον τρόπο εγκατάστασης του αντιστροφέα καθώς και τη συμβατότητά του με τα άλλα μέρη του Φ/Β συστήματος.

### **2.7 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΝΟΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΤΑΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ**

#### **ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΠΟ 12V ΣΥΝΕΧΕΣ (DC) ΣΕ 230V ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ (AC) ΡΕΥΜΑ.**

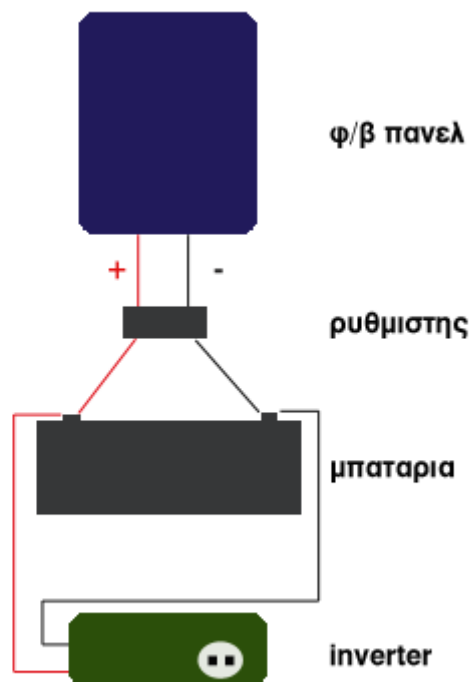
Ο inverter όπως γνωρίζουμε ήδη είναι μια συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα του φωτοβολταϊκού συστήματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα 230V. Έτσι μπορούμε να τροφοδοτήσουμε από τη μπαταρία του φωτοβολταϊκού συστήματος όλες τις οικιακές συσκευές που απαιτούν 230V. Ο inverter ή μετατροπέας 230V συνδέεται με ένα διπλό καλώδιο (θετικό-αρνητικό) πάνω στους πόλους της μπαταρίας. Έχει συνήθως μια ή δύο υποδοχές σαν τις πρίζες που έχουμε στους τοίχους του σπιτιού μας, πάνω στις οποίες συνδέουμε τις συσκευές που απαιτούν 230V, απευθείας ή χρησιμοποιώντας πολύμπριζο ή και μπαλαντέζα.



Εικόνα 6 : Inverter (230V)

URL : <http://www.iqsolarpower.com/inverter.htm>

Δεν έχει σημασία πόσες συσκευές θα συνδέσουμε ταυτόχρονα, αρκεί η ισχύς όλων των συσκευών που λειτουργούν ταυτόχρονα να μην ξεπερνά την επιτρεπόμενη ισχύ του inverter – μετατροπέα τάσης. Έτσι, αν έχουμε έναν inverter 200W μπορούμε να λειτουργήσουμε ταυτόχρονα μια τηλεόραση 60W, έναν ανεμιστήρα 40W, ένα φορητό υπολογιστή 60W και λαμπτήρες οικονομίας με 40W συνολικής ισχύος.



Εικόνα 7 : Φωτοβολταϊκό σύστημα back-up

URL : <http://www.iqsolarpower.com/inverter.htm>

Ένας μετατροπέας καλής ποιότητας θα κλείσει αν από λάθος συνδέσουμε μια συσκευή με παραπάνω Watt από αυτά που μπορεί να αντέξει, προστατεύοντας έτσι τις ηλεκτρικές συσκευές μας. Το ίδιο θα κάνει ένας inverter καλής ποιότητας αν διαπιστώσει ότι κοντεύει να αδειάσει η μπαταρία. Υπάρχουν inverter από 50W έως 10.000W. Συνήθως χρησιμοποιούμε inverter από 150W έως 1.200W ανάλογα βέβαια και με τις ανάγκες μας. Ένα μικρό φωτοβολταϊκό σύστημα back-up για τις περιπτώσεις διακοπής ρεύματος μπορεί να εξυπηρετείται από έναν inverter 300W, αλλά ένα μεγάλο φωτοβολταϊκό σύστημα που καλύπτει όλες τις καθημερινές ανάγκες για ένα ολόκληρο σπίτι θα θέλει inverter μέχρι και πάνω από 4000W.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΥΠΕΡΔΙΚΤΥΑ**

#### **3.1 ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Ο ΟΡΟΣ ΤΩΝ ΥΠΕΡΔΙΚΤΥΩΝ**

‘Έξυπνα’ δίκτυα ή ‘υπέρ-δίκτυα’; Αποκεντρωμένες ή κεντρικές μονάδες παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας; Οι συζητήσεις για το μέλλον της διανομής ενέργειας έχουν φουντώσει, με τις προτάσεις που αφορούν εφαρμογή μέτρων υψηλής τεχνολογίας να αποτελούν το επίκεντρο του ενδιαφέροντος. Οι αγορές ηλιακής και αιολικής ενέργειας συνεχίζουν να μεγαλώνουν παρά τη διεθνή οικονομική κρίση. Καθώς λοιπόν όλο και περισσότερη ανανεώσιμη ενέργεια εισχωρεί στο δίκτυο, νέα ερωτήματα προκύπτουν : Πώς θα μεταφέρουμε και θα ενσωματώσουμε την ανανεώσιμη ενέργεια με τα υπάρχοντα δίκτυα; Υπάρχει κίνδυνος να ‘σβήσουν τα φώτα’ αν δε φυσάει άνεμος ή αν έχει συννεφιά; Χρειαζόμαστε ακόμα το λιγνίτη, το πετρέλαιο και την πυρηνική ενέργεια ως μονάδες βάσεις προκειμένου να στηρίζουν την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας από τον ήλιο και τον άνεμο; Υποδομές φιλικές προς το κλίμα είναι απαραίτητο να γίνουν σε όλες τις χώρες. Ο καιρός έφτασε για να φτιάξουμε τις απαραίτητες ‘φιλικές προς το κλίμα’ υποδομές που χρειαζόμαστε: ένα ολοκληρωμένο σύστημα ‘έξυπνων’ δικτύων και αγωγών μεταφοράς θερμότητας. Η ευκαιρία που παρουσιάζεται σήμερα είναι μοναδική, τόσο για τις ανεπτυγμένες, όσο και για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Από τη μία οι ανεπτυγμένες χώρες σε Βόρεια Αμερική, Ευρώπη και Αυστραλία έχουν πεπαλαιωμένα δίκτυα 40 ή και 50 ετών που χρήζουν ανακαίνισης, από την άλλη οι αναπτυσσόμενες χώρες ειδικότερα η Κίνα και η Ινδία αναπτύσσουν τα δικά τους δίκτυα για πρώτη φορά. Δε χρειάζεται όμως να ξεκινήσουμε από το μηδέν. Ούτε τα ‘έξυπνα’ ούτε και τα ‘υπέρ-δίκτυα’ είναι κάτι που τα δημιουργείς απαραίτητα από την αρχή. Μπορούμε να περάσουμε από τις σημερινές υποδομές στα σύγχρονα δίκτυα βήμα προς βήμα. Προκειμένου να αναβαθμίσεις σε ‘έξυπνο’ το υπάρχον δίκτυο μιας πόλης, ουσιαστικά χρειάζεται να προσθέσεις ‘νοημοσύνη’. Σε πολλές περιπτώσεις δεν χρειάζονται καν καινούργια καλώδια, μόνο ένα σύστημα ελέγχου με υπολογιστές που να επιτρέπει στις ΔΕΚΟ να διαχειρίζονται την αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας ανάλογα με την τοπική ζήτηση.

Καθώς ένα ευρύτερο σύστημα δικτύων από αυτά τα τοπικά ‘έξυπνα’ δίκτυα δημιουργείται από πόλη σε πόλη και από χώρα σε χώρα, προκύπτει ένα μεγάλο ‘υπέρ-δίκτυο’. **50% αιολική ενέργεια είναι ήδη εφικτό** Στις 7 Νοεμβρίου 2009, τα αιολικά πάρκα της Ισπανίας παρήγαγαν πάνω από το

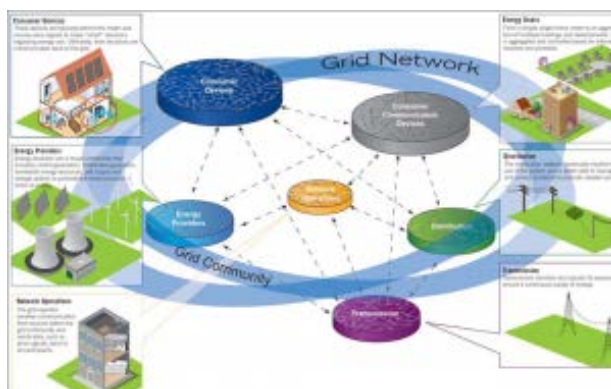
μισό φορτίο αιχμής καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας. Το μερίδιο της αιολικής ενέργειας στο μίγμα έφτασε πολλές φορές το 53% και ήταν σταθερά πάνω από το 50% από τις 3.00πμ έως τις 8.30πμ. 11,546MW ταυτόχρονης παραγωγής αιολικής ενέργειας σηματοδότησαν ένα νέο ρεκόρ για τη χώρα. Τέτοια παραδείγματα θα συμβαίνουν όλο και πιο συχνά σε πολλές χώρες ανά την υφήλιο, ειδικά σε χώρες-ηγέτες στον τομέα αυτόν όπως η Δανία, η Γερμανία και η Ισπανία.

Αυτό καταδεικνύει ότι υπάρχει πολύ περισσότερος 'χώρος' στο δίκτυο και δεν υπάρχει κανένας απολύτως λόγος να καθυστερήσει η ανάπτυξη των ΑΠΕ. Αντίθετα, είναι καιρός να ξεκινήσουν οι διαδικασίες αναβάθμισης των δικτύων σε ένα πιο ευέλικτο σύστημα διαχείρισης ενέργειας ώστε να μπορούν να υποστηριχθούν ακόμα περισσότερες ΑΠΕ. Αυτό συνεπάγεται μια στροφή από το υπάρχον άκαμπτο και μονοδιάστατο ενεργειακό μοντέλο σε ένα πιο έξυπνο, αποκεντρωμένο και διασυνδεδεμένο μοντέλο παραγωγής και διανομής της ενέργειας. Οι απαραίτητες υποδομές που χρειάζονται για να σωθεί το κλίμα υπάρχουν απλά θα πρέπει να αλλάξουν κάποια δίκτυα προκειμένου να γίνει εφικτή η εφαρμογή ενός φιλικού προς το κλίμα ενεργειακού μοντέλου. Ένα μοντέλο όπου το 90% της ενέργειας προέρχεται από ΑΠΕ. Μετά από μελέτες και πειράματα που έγιναν πάνω σε συγκεκριμένο ενεργειακό σενάριο και συγκεκριμένη αναλυτική έκθεση η Energygnautics μία κορυφαία εταιρία έρευνας στον τομέα της ενσωμάτωσης δικτύων συνέκρινε μετεωρολογικά δεδομένα των τελευταίων 30 ετών με ετήσιες καμπύλες ζήτησης ενέργειας ανά 15λεπτα. Μπορεί, λοιπόν, η Ενεργειακή Επανάσταση να εγγυηθεί μία ασφαλή και σταθερή παροχή ενέργειας 24 ώρες το 24ωρο και 7 ημέρες την εβδομάδα; **Η απάντηση είναι ναι!** Η ανάλυση έδειξε ότι υπάρχει μόλις 0,4% πιθανότητα ή 12 ώρες το χρόνο η υψηλή ζήτηση να συσχετίζεται με χαμηλή παραγωγή από ηλιακές και αιολικές πηγές ενέργειας. Για την ακρίβεια, τα τελευταία 30 χρόνια βρήκανε μόνο τρεις ακραίες περιπτώσεις όπου πολύ συννεφιά και ασυνήθιστα χαμηλοί άνεμοι συνέπεσαν με υψηλή ζήτηση ενέργειας: τον Αύγουστο του 2003, το Νοέμβριο του 1987 και τον Ιανουάριο του 1997. Θα χρειαστούν ωστόσο μερικές νέες συνδέσεις μεταξύ κρατών προκειμένου να ενσωματωθούν σε ένα ενιαίο δίκτυο παράκτια αιολικά πάρκα που βρίσκονται σε θαλάσσιες περιοχές και ηλιοθερμικά πάρκα που βρίσκονται στην έρημο. Η έκθεση παρουσιάζει ένα πρώτο σχέδιο για μία πιθανή ανάπτυξη του δικτύου. Χρειάζεται όμως περισσότερη έρευνα προκειμένου να αναπτυχθούν οι πιο αποδοτικές και σύγχρονες, 'φιλικές για το κλίμα', υποδομές. Ωστόσο, ένα νέο πολιτικό πλαίσιο είναι αναγκαίο προκειμένου να γίνουν πράξη οι νέες σύγχρονες υποδομές. Η αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών απαιτεί μία δραστική αλλαγή στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας. Μία αλλαγή στην οποία συμπεριλαμβάνονται και τα δίκτυα που την υποστηρίζουν.



### 3.2 ΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΧΕΙΡΙΣΤΟΥΝ ΤΙΣ ΑΠΕ

Το έξυπνο δίκτυο (smart grid) είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο που ενώνει αποκεντρωμένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συμπαραγωγή και διανέμει την ενέργεια με έναν πολύ αποδοτικό τρόπο. Αξιοποιεί τις αποκεντρωμένες ΑΠΕ και με τη χρήση προηγμένων συστημάτων ελέγχου και επικοινωνίας, διανέμει την ηλεκτρική ενέργεια με έναν πιο οικονομικό και αποδοτικό τρόπο, με χαμηλότερη ένταση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και σε συνάρτηση με τις ανάγκες των καταναλωτών. Συνήθως μικρότερες εφαρμογές παραγωγής ενέργειας ενσωματώνονται και διαχειρίζονται από το δίκτυο προκειμένου να εξισορροπηθούν τα φορτία του συνόλου των χρηστών στο σύστημα. Προηγμένα συστήματα ελέγχου και διαχείρισης για το ηλεκτρικό δίκτυο το κάνουν να λειτουργεί πιο αποδοτικά. Αυτό ισχύει τόσο για ένα μεγάλο και πολύπλοκο σύστημα, όπως αυτό της Δανίας, όσο και για πιο μικρά συστήματα όπως π.χ. σε ένα χωριό στα νησιά του Ειρηνικού. Η μαζική αξιοποίηση των ΑΠΕ, μέσω ενός συστήματος έξυπνων δικτύων, κάνει εφικτή τη σταδιακή απόσυρση παλιών συμβατικών θερμοηλεκτρικών μονάδων παραγωγής.



Εικόνα 8 : Smart Grid Concept

URL : <http://lightingcontrolpros.com/>

### 3.3 ΥΠΕΡΔΙΚΤΥΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΠΕ

Τα έξυπνα δίκτυα και τα υπέρ-δίκτυα δεν είναι προϊόντα επιστημονικής φαντασίας, αλλά μία εξέλιξη των σημερινών δικτύων. Συνεπώς δε χρειάζεται να ξεκινήσουμε από το μηδέν. Για την ακρίβεια, ήδη βρίσκονται σε στάδιο ανάπτυξης και εγκατάστασης διαφορετικά είδη συστημάτων υψηλής τάσης κατάλληλα για μεταφορά φορτίων σε μεγάλες αποστάσεις. Με τα υπέρ-δίκτυα, μπορούμε να συνδέσουμε περιοχές με μεγάλη ζήτηση, όπως η Κεντρική Ευρώπη, με περιοχές με μεγάλο δυναμικό σε ανανεώσιμη ενέργεια, όπως η Νότια Ευρώπη ή η Βόρεια Αφρική και να προσφέρουμε μία πιο βιώσιμη παραγωγή ενέργειας και κέρδη για όλους τους λαούς του πλανήτη.

Στις μέρες μας Εννέα Ευρωπαϊκά Κράτη μας στέλνουν αισιόδοξα μηνύματα. Μπορούμε να μειώσουμε τις μεγάλες απώλειες ενέργειας κατά την μεταφορά της σε μεγάλες αποστάσεις με καλώδια υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος. Μπορούμε επίσης να καλύψουμε ενεργειακά και να εξασφαλίσουμε την συνεχή ροή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ακόμα δηλαδή και στις περιόδους άπνοιας (που δεν λειτουργούν οι Ανεμογεννήτριες) καθώς και όταν έχουμε έλλειψη ηλιοφάνειας (που δεν αξιοποιούνται τα φωτοβολταϊκά πάρκα). Με τα υπερδίκτυα θα συνδεθούν και τα Υδροηλεκτρικά εργοστάσια της Νορβηγίας ,που θα καλύπτουν την απουσία των ΑΠΕ , υπερλειτουργώντας στις περιόδους άπνοιας και περιορισμένης ηλιοφάνειας. Η σκυτάλη θα ξαναπερνά στις ΑΠΕ , που θα αμοιβούν τα Υδροηλεκτρικά εργοστάσια με μέρος της ενέργειας ,που θα παράγουν με την επαναλειτουργία τους. Την ενεργειακή αυτή αμοιβή τους θα αξιοποιούν τα Υδροηλεκτρικά εργοστάσια για την μεταφορά νερού στις πηγές τους εξασφαλίζοντας έτσι και την δική τους ανανεωσιμότητα.

Το ευφυές και πρωτοποριακό Project προβλέπει επίσης την επέκταση των μελετώμενων Υπερδικτύων ,που αρχικά θα συνδέσουν τα Αιολικά και Φωτοβολταϊκά Πάρκα της Β.Ευρώπης ,στις ερήμους της Σαχάρας και της Μέσης Ανατολής καθώς και τα δίκτυα ΑΠΕ της Ν.Ανατολικής Ευρώπης (Βαλκάνια).Υπενθυμίζουμε τις καινοτόμες εγκαταστάσεις παραγωγής ατμού 600 βαθμών Κελσίου (από την ηλιακή ακτινοβολία με ηλιακούς συλλέκτες),που ακολούθως τροφοδοτεί τουρμπίνες Ατμοηλεκτρικών Εργοστασίων. Έχει τεκμηριωθεί επιστημονικά η εκτίμηση ότι το 0.3% της Ηλιακής ακτινοβολίας , που δέχεται καθημερινά η Β. Αφρική και η Μέση

Ανατολή , αρκεί για να παραχθεί η απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των ημερησίων αναγκών όλης της Ευρώπης . Στη Χώρα μας δυστυχώς συζητάμε ακόμα για την εκτροπή του Αχελώου ,διαβουλευόμαστε για ελάχιστης βαρύτητας λεπτομέρειες σχετικά με την θεσμοθέτηση των Αιολικών Πάρκων και αναρωτιόμαστε πόσο είναι σκόπιμο και αποτελεσματικό να μεταφερθεί η παραγόμενη στα Νησιά από ΑΠΕ ηλεκτρική ενέργεια στο ενεργοβόρο Λεκανοπέδιο της Αττικής. Με τον μισό σχεδόν πληθυσμό της Ελλάδας να ζει στο νομό Αττικής, να παράγει όγκους σκουπιδιών (με πολύ μικρές επιδόσεις σε ανακύκλωση και ανύπαρκτη έως άγνωστη την κομποστοποίηση) και να υπερκαταναλώνει τρόφιμα,ένεργεια ,νέρο και (αμφίβολης ποιότητας) αέρα.

### 3.4 Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

Παραγωγή από ΑΠΕ είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτή. Το μόνο που χρειάζεται είναι σωστές πολιτικές και επενδυτικό ενδιαφέρον προκειμένου να γίνουν τα πρώτα βήματα.

Η διαχείριση της ζήτησης ενέργειας είναι ένας σημαντικός παράγοντας μιας επιτυχημένης εφαρμογής. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει να ελέγχεις τη ζήτηση αντί για την παραγωγή ενέργειας, όπως γίνεται συνήθως. Είναι όμως εφικτό; Δε χρειάζεται να παραμείνουμε προσκολλημένοι στη λογική των μονάδων βάσης. Οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να σχηματίζουν και να ανταποκρίνονται ανά ομάδες στις ανάγκες του δικτύου, όπως έγινε στην περίπτωση μελέτης όπου εκατοντάδες αποθήκες ψύξης δημιούργησαν μία τεράστια εικονική 'μπαταρία' αποθηκεύοντας ή διοχετεύοντας ενέργεια στο δίκτυο. Το ίδιο μπορεί να γίνει στο μέλλον και με χιλιάδες ιδιοκτήτες ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Η αξιοποίηση των διαφορετικών ανανεώσιμων πηγών (αιολική και ηλιακή ενέργεια, γεωθερμία και βιομάζα) σε συνδυασμό με ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με αντλησιοταμιευτήρες θα μπορούσαν να καλύψουν σχεδόν ολόκληρες τις ενεργειακές ανάγκες του νησιού. Σήμερα, η πρόταση αυτή εξετάζεται σοβαρά, με σημαντικές πιθανότητες υλοποίησης. Εξετάζοντας τα αληθινά σενάρια, όπως για παράδειγμα στην Ισπανία όπου τεράστιες ποσότητες ενέργειας από ηλιοθερμικά και αιολικά έχουν συνδεθεί στο σύστημα, τότε γίνεται αντιληπτό ότι μεγάλες, δυσκίνητες μονάδες σταθερής παραγωγής ενέργειας από άνθρακα και πυρηνικά, απλά δεν είναι συμβατές με τη λογική των ΑΠΕ. Η ανικανότητα ευελιξίας των μονάδων βάσης είναι ο λόγος που κατά το παρελθόν, σε ημέρες με δυνατούς ανέμους στην Ισπανία, ο Διαχειριστής του Συστήματος υποχρεώθηκε να

διακόψει την παροχή αιολικής ενέργειας στο δίκτυο, αντί δηλαδή να μειώσει την παραγόμενη ενέργεια από τους πυρηνικούς και ανθρακικούς σταθμούς.



Εικόνα 9 : Υποδομή ενός Smart Grid

URL : [http://news.cnet.com/8301-11128\\_3-10241102-54.html](http://news.cnet.com/8301-11128_3-10241102-54.html)

Το σύστημα αυτό αποσκοπεί στη βελτίωση της προσφοράς και της ζήτησης ενέργειας, καθώς και την ασφάλεια και αξιοπιστία του έξυπνου δικτύου, αλλά και τη μείωση των λειτουργικών τους δαπανών.

### 3.5 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ– ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΕΙ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ

Η Έκθεση 24/7 περιλαμβάνει μία ανάλυση του σεναρίου της Greenpeace 'Ενεργειακή Επανάσταση για την ΕΕ-27', καταδεικνύοντας ότι ακραία καιρικά φαινόμενα όπου η παραγωγή από φυσικές πηγές, όπως ο ήλιος και ο αέρας πέφτουν σε επίπεδα πολύ χαμηλά προκειμένου να καλύψουν τις ενεργειακές μας ανάγκες συμβαίνει σπάνια, περίπου μία φορά το χρόνο. Το συμπέρασμα είναι ότι μπορούμε να προχωρήσουμε με την παράλληλη ανάπτυξη των ΑΠΕ και των πιο έξυπνων υπέρ-δικτύων. Δεν υπάρχει λόγος να σταματήσουμε την επέκταση των ΑΠΕ καθώς θα περιμένουμε για καλύτερα συστήματα δικτύων.

### 3.6 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

**Ο δρόμος για φιλικές-προς-το-κλίμα υποδομές: διασυνδεδεμένα έξυπνα δίκτυα.** Η διαχείριση ενός συστήματος με περισσότερο από 90% ΑΠΕ που να εγγυάται τη σταθερή διανομή ενέργειας 24 ώρες την ημέρα, 7 ημέρες την εβδομάδα, 365 ημέρες το χρόνο είναι τεχνικά εφικτή. Για αυτό άλλωστε και ο τίτλος της έκθεσης είναι 24/7. Το υπάρχον δίκτυο στις πιο πολλές αναπτυγμένες χώρες είναι πάνω από 40 χρονών και θα χρειαστεί αναβάθμιση ούτως ή άλλως. Προκειμένου να προετοιμαστούμε για ένα ενεργειακό μίγμα με πολύ υψηλά ποσοστά διείσδυσης ΑΠΕ, θα χρειαστεί να στραφούμε προς

ένα 'διασυνδεδεμένο έξυπνο δίκτυο'. Αυτή η έκθεση αφορά τις διασυνοριακές ηλεκτρικές διασυνδέσεις και επισημαίνει τα πλεονεκτήματα ενός πιο διασυνδεδεμένου ηλεκτρικού συστήματος και τα μειονεκτήματα που αυτό συνεπάγεται σε ένα σύστημα με υψηλά ποσοστά συμμετοχής 'βρώμικης' ενέργειας. Διαφοροί οργανισμοί ζητούν την περαιτέρω ανάπτυξη των διεθνών ηλεκτρικών διασυνδέσεων και τη δημιουργία των έξυπνων δικτύων που απαιτούνται για να λειτουργήσουν οι αποκεντρωμένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η συμπαραγωγή ενέργειας. Το υπάρχον δίκτυο θα πρέπει να αναβαθμιστεί, προκειμένου να γίνει εφικτή η εφαρμογή της Ενεργειακής Επανάστασης, δηλαδή της λύσης στη μεγαλύτερη απειλή της ανθρωπότητας, των κλιματικών αλλαγών.

### 3.7 ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΝΟΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΠΙΟ ΕΞΥΠΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Οι διασυνοριακές ηλεκτρικές διασυνδέσεις φέρνουν μεγαλύτερα οφέλη στην ενεργειακή ασφάλεια, την εξοικονόμηση ενέργειας και την ανάπτυξη ενός ηλεκτρικού συστήματος που βασίζεται στις ΑΠΕ.

- **Ενεργειακή ασφάλεια:** Ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο έχει αυξημένο επίπεδο ενεργειακής ασφάλειας, αφού για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ, υπάρχουν πολλές περισσότερες επιλογές διαχείρισης του συστήματος εξασφαλίζοντας έτσι την ποσότητα και την ποιότητα της κάλυψης της ζήτησης.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση αιχμής της ζήτησης, οι χώρες θα μπορούν να εισάγουν ηλεκτρική ενέργεια από άλλες γεωγραφικές περιοχές εφόσον κριθεί απαραίτητο και αυτό θα συμβάλει στην ενεργειακή ασφάλεια.

- **Εξοικονόμηση ενέργειας:** Ένα πιο διασυνδεδεμένο σύστημα επιτρέπει την καλύτερη χρήση της εγκατεστημένης ισχύος, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για μεγαλύτερη ικανότητα παραγωγής ενέργειας. Ένα παρόμοιο αποτέλεσμα προκύπτει από τη διαχείριση της ζήτησης, δηλαδή την προσαρμογή της ζήτησης στην προσφορά, αντί για το αντίθετο που συμβαίνει συνήθως. Με την εκμετάλλευση των δυνατοτήτων της διαχείρισης της ζήτησης, το φορτίο διαχειρίζεται καλύτερα και μειώνεται σημαντικά η συμβατική, ρυπογόνος, παραγωγή ενέργειας.

- **Ανανεώσιμες πηγές:** Η μείωση των παγκόσμιων εκπομπών τουλάχιστον κατά 30% έως το 2020 και 80% έως το 2050 είναι αναγκαίες προκειμένου να αποτραπούν οι χειρότερες επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών.

Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός, θα πρέπει να υπάρχει μέγιστη διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό μας μίγμα, τουλάχιστον κατά 50% έως το 2030 και κοντά στο 100% έως το 2050.

Είναι σαφές ότι τα πλεονεκτήματα της ανάπτυξης των έξυπνων δικτύων είναι πάρα πολύ σημαντικά και ότι τα νέα δίκτυα θα πρέπει να σχεδιαστούν προσεκτικά, λαμβάνοντας υπόψη την επίτευξη των ανωτέρω στόχων. Το γεγονός ότι το πεπαλαιωμένο ηλεκτρικό δίκτυο της Ευρώπης χρήζει αναβάθμισης αποτελεί μία μεγάλη ευκαιρία προκειμένου να δρομολογηθούν οι σχετικές διαδικασίες άμεσα. Ωστόσο, η σημερινή επικρατούσα λογική αναφορικά με το σχεδιασμό βασίζεται στην προσφορά ενέργειας και όχι στη διαχείριση της ζήτησης και εξυπηρετεί κυρίως τις υπάρχουσες 'βρώμικες' μονάδες. Η δημιουργία νέων δικτύων χωρίς προϋποθέσεις, θα μπορούσαν να ωφελήσουν τη βρώμικη παραγωγή και να παρεμποδίζουν την εξοικονόμηση ενέργειας.

### **3.8 ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΩΘΗΣΗ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΥΠΑΡΞΟΥΝ ΔΡΑΣΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ**

- Οι κυβερνήσεις, ως μέτρο άμεσης προτεραιότητας, θα πρέπει μέσω νομοθεσίας να θέσουν υποχρεωτικούς ενεργειακούς μεσοπρόθεσμους και μακροπρόθεσμους στόχους, και συγκεκριμένα:
- Την Αύξηση της Ενεργειακής Αποδοτικότητας για να μειωθεί η συνολική ζήτηση
- Τη μεγιστοποίηση της συμμετοχής των ΑΠΕ στην παραγωγή, σύμφωνα με τους στόχους των σεναρίων της Ενεργειακής Επανάστασης.
- Τη σταδιακή και βάσει αυστηρού χρονοδιαγράμματος απόσυρση των ανθρακικών (λιγνιτικών) και πυρηνικών μονάδων παραγωγής ενέργειας.
- Το σύστημα ενέργειας θα πρέπει να είναι ευέλικτο ώστε να επιτρέπει τη μεγάλης κλίμακας ενσωμάτωση αυξομειούμενης ανανεώσιμης ενέργειας. Δε θα πρέπει να δοθεί άδεια παραγωγής σε κανένα νέο μεγάλο ανθρακικό ή πυρηνικό σταθμό, ενώ οι υπάρχουσες μονάδες θα πρέπει να αντικατασταθούν σταδιακά με ευέλικτες, πιο αποδοτικές και αποκεντρωμένες μονάδες.
- Οι ΑΠΕ θα πρέπει να έχουν εγγυημένα προτεραιότητα έναντι άλλων μορφών ενέργειας στη σύνδεση με το δίκτυο. Η πρόσβαση στο ανά πάσα στιγμή διαθέσιμο δυναμικό ανταλλαγής, πρέπει να είναι απολύτως διαφανής και η μεταφορά ενέργειας από ΑΠΕ πρέπει να έχει πάντα προτεραιότητα και προς τις δυο κατευθύνσεις.
- Ο σχεδιασμός των δικτύων διανομής, ειδικότερα για τις διασυνδέσεις, θα πρέπει να καθοδηγείται με γνώμονα την καλύτερη ενσωμάτωση των ΑΠΕ και

τον απώτερο στόχο που είναι η επίτευξη ενός συστήματος όσο πιο κοντά στο 100% ΑΠΕ είναι εφικτό.

- Θα πρέπει να υπάρξουν εγγυήσεις για τον αποκλεισμό της πιθανότητας μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας που παράχθηκε από πυρηνικούς σταθμούς στις νέες διασυνδέσεις.
- Στο σχεδιασμό νέων διασυνδέσεων, οι υπάρχουσες υποδομές θα πρέπει να αξιοποιηθούν όσο το δυνατόν καλύτερα. Εκεί που αυτό δεν είναι εφικτό, όλα τα περιβαλλοντικά ζητήματα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, με τη χρήση παγκόσμιας και ενδεδειγμένης ανάλυσης, ώστε οι νέες εγκαταστάσεις να έχουν τις λιγότερες δυνατές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, οι διασυνδέσεις θα πρέπει να φέρουν ένα θετικό Πιστοποιητικό Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων σε όλες τις περιπτώσεις που αυτό είναι υποχρεωτικό και θα πρέπει να πληρούν όλες τις προϋποθέσεις και να λαμβάνουν όλα τα διορθωτικά μέτρα που θα εμπεριέχονται στο εν λόγω πιστοποιητικό. Η Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων θα περιέχει την επιλογή για δημιουργία υπόγειων γραμμών, καθώς και όλων των πιθανών εναλλακτικών λύσεων. Τα περιβαλλοντικά κριτήρια θα πρέπει να υπερτερούν των οικονομικών.
- Πρέπει να εφαρμοστεί η πλήρης αποδέσμευση των ηλεκτρικών δικτύων από τις εταιρίες παραγωγής και παροχής ενέργειας. Οι διαχειριστές των συστημάτων μεταφοράς και διανομής πρέπει να καταστήσουν διαθέσιμες όλες τις απαραίτητες πληροφορίες και στοιχεία που αφορούν το δίκτυο, ώστε ανεξάρτητοι φορείς να μπορέσουν να αναπτύξουν σχέδια βελτιστοποίησής του.
- Για την κατασκευή νέων δικτύων, προτεραιότητα θα πρέπει να δοθεί στα υπόγεια καλώδια, αντί για υπέργειες γραμμές, όπως συμβαίνει με το παράδειγμα της Δανίας.
- Οι κυβερνήσεις θα πρέπει να δημιουργήσουν τις κατάλληλες συνθήκες ούτως ώστε να στηριχθεί και να αναπτυχθεί η διαχείριση της ζήτησης της ενέργειας.
- Τα περιφερειακά πιλοτικά έργα θα πρέπει να προωθούν την περαιτέρω βελτιστοποίηση και επίδειξη των ικανοτήτων των έξυπνων δικτύων, των εικονικών σταθμών ενέργειας, καθώς και των ανεπτυγμένων τρόπων διαχείρισης της ζήτησης της ενέργειας.
- Ο τομέας μεταφορών (ηλεκτρικά αυτοκίνητα) θα πρέπει όλο και περισσότερο να ενσωματώνεται στις εθνικές και περιφερειακές στρατηγικές διαχείρισης της ενέργειας.
- Θα πρέπει να θεσπιστούν από κοινού πρότυπα επικοινωνίας για τα έξυπνα δίκτυα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ**

#### **4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ**

Για πολλές δεκαετίες το ηλεκτρικό σύστημα όλων των χωρών βασιζόταν σε ένα κεντρικό σύστημα παραγωγής. Η ροή της ενέργειας ήτο από τους παραγωγούς προς τους καταναλωτές και για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν μεγάλοι σταθμοί παραγωγής που βασίζονταν κυρίως σε στερεά καύσιμα ή πυρηνική ενέργεια. Την λειτουργία αυτού του μοντέλου επικουρούσαν εκτεταμένα δίκτυα μεταφοράς. Όμως το σκηνικό πλέον αλλάζει για πολλούς σημαντικούς λόγους. Η αυξημένη περιβαλλοντική συνείδηση πλέον ζητά περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και παράλληλα είναι αρνητική στην δημιουργία νέων πυρηνικών εγκαταστάσεων.

Επιπλέον οι καταναλωτές γίνονται ολοένα και πιο απαιτητικοί σε ότι αφορά την ποιότητα της ενέργειας αλλά και με την δυνατότητα να έχουν τοπική παραγωγή καθίστανται πλέον ενεργές οντότητες στο δίκτυο και όχι απλά παθητικά φορτία. Τέλος η παρουσία των σύγχρονων αγορών ενέργειας δημιουργεί ένα εξαιρετικά σύνθετο περιβάλλον λειτουργίας για τα ηλεκτρικά δίκτυα όχι μόνο σε εθνικό επίπεδο αλλά θεωρώντας και τις διεθνείς διασυνδέσεις.

Συνοπτικά ζητείται πλέον από τα δίκτυα ενέργειας να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Ευελιξία προκειμένου να ικανοποιήσουν τις σύνθετες ανάγκες του σύγχρονου καταναλωτή.
- Να είναι προσβάσιμα σε όλους του παραγωγούς και ειδικά τους μικρούς καθώς και στις μονάδες που βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Να είναι αξιόπιστα προσφέροντας ασφαλή και ποιοτική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας
- Να είναι λειτουργούν χρησιμοποιώντας αποδοτικά την ενεργεία σε όλα τα επίπεδα

Σχολιάζοντας τα παραπάνω θα πρέπει να αναφερθεί ότι πλέον τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας αρχίζουν και λειτουργούν με βάση τις απαιτήσεις και τις ανάγκες του καταναλωτή και αυτό αποτελεί ένα βασικό άξονα που δημιουργήθηκε από την εισαγωγή του θεσμού των αγορών ενέργειας.

Η ενεργή συμμετοχή του καταναλωτή σε μία αγορά ενέργειας χωρίς μονοπώλια ή ολιγοπώλια τον καθιστά πρωταγωνιστή της λειτουργίας του συστήματος αφού πλέον οι τιμές διαμορφώνονται ελεύθερα.

Στα προηγούμενα θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν και το γεγονός ότι εισάγεται και η δυνατότητα να υπάρχει μικρή τοπική παραγωγή καθιστώντας τον καταναλωτή ακόμα πιο ενεργό. Θα πρέπει επιπλέον να γίνουν αντιληπτές και μία σειρά από κοινωνικοπολιτικές αλλαγές που συμβαίνουν γύρω μας και φυσικά αναφερόμαστε στην ευρωπαϊκή ένωση.

Ο στόχος της δημιουργίας μιας πιο ισχυρής ένωσης, σε όλα τα επίπεδα σίγουρα περιλαμβάνει και την διασύνδεση των ηλεκτρικών δικτύων.



Σε αυτά θα πρέπει να προστεθεί και η προσπάθεια για κοινή πολιτική σε θέματα περιβάλλοντος αλλά και προστασίας του καταναλωτή. Τέλος θα πρέπει να γίνει αντιληπτό ότι η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου δημιουργεί πρόσθετες ανάγκες και απαιτήσεις στην λειτουργία του συστήματος.

Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι προς ένα έξυπνο δίκτυο του μέλλοντος θα πρέπει να γίνουν μία σειρά από σημαντικά βήματα.

Τα κύρια εξ' αυτών είναι:

1. Επίλυση των τεχνικών προβλημάτων προκειμένου να μπορούν να ενταχθούν απρόσκοπτα στο δίκτυο μικρές μονάδες παραγωγής. Οι τεχνολογίες που θα προκύψουν σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να είναι αξιόπιστες, φτηνές, προσβάσιμες σε όλους και φυσικά να μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα. Αυτό επιπλέον συνεπάγεται και την δημιουργία μίας σειράς προτύπων και πρωτοκόλλων κοινά αποδεκτών.
2. Δημιουργία ενός κοινού πλαισίου λειτουργίας της αγοράς ενέργειας αλλά και της λειτουργίας του συστήματος προκειμένου να μπορούν να χρησιμοποιηθούν απρόσκοπτα οι διεθνείς διασυνδέσεις.
3. Ανάπτυξη των πληροφοριακών και τηλεπικοινωνιακών συστημάτων που θα αποτελέσουν την βάση για τον έλεγχο και την λειτουργία των έξυπνων δικτύων του μέλλοντος.

Για να επιτευχθούν όλα αυτά απαιτείται η συμμετοχή όλων των φορέων, οργανισμών αλλά και εταιρειών που σχετίζονται με την λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και το αντικείμενο που ασχολούμαστε είναι το έξυπνο δίκτυο με χρήση αντιστροφέα για να υπάρξει αυτό θα πρέπει να μπου κάποιια λιθαράκια έτσι ώστε η χρήση του να γίνει εφίκτη στο άμεσο μέλλον. Τα λιθαράκια αυτά που θα συνθέσουν το μελλοντικό οικοδόμημα που λέγεται έξυπνο δίκτυο είναι τα μικροδίκτυα. **Άρα ουσιαστικά θα εστιάσουμε σε μία νέα μορφή ηλεκτρικών συστημάτων που εντάσσονται στα έξυπνα δίκτυα και ονομάζονται μικροδίκτυα με βασικό χαρακτηριστικό ότι λειτουργούν στην χαμηλή τάση.** Ένα μοντέλο ελέγχου των μικροδικτύων τελείως αποκεντρωμένο το οποίο βασίζεται στην τεχνολογία των συστημάτων πολλαπλών ευφυών πρακτόρων.

## 4.2 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ

Τα μικροδίκτυα (Microgrids) είναι ένα νέο είδος συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που στο μέλλον αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο. Τα μικροδίκτυα αποτελούνται από μικρές μονάδες παραγωγής (μικροπηγές) όπως μικροτουρμπίνες, κυψέλες καυσίμου ή φωτοβολταϊκά κύτταρα σε συνδυασμό με μέσα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (μπαταρίες, σφόνδυλοι) αλλά και ελεγχόμενα φορτία.

Τα παραπάνω λειτουργούν στην χαμηλή τάση, είτε συνδεδεμένα με το κεντρικό δίκτυο παραγωγής ισχύος είτε αποσυνδεδεμένα από το κεντρικό δίκτυο σχηματίζοντας μία νησίδα.

### 4.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ

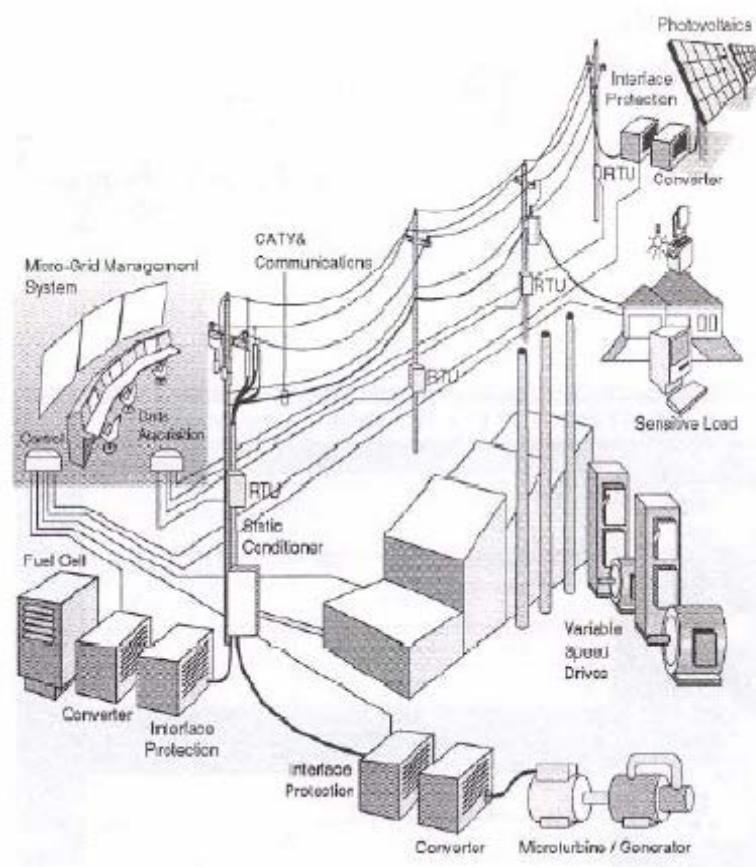
Τα μικροδίκτυα αποτελούνται από μονάδες παραγωγής και ελεγχόμενα φορτία συνδεδεμένα στην πλευρά της χαμηλής τάσης. Ουσιαστικά τα μικροδίκτυα είναι μικρογραφίες των μεγάλων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Η παρουσία των μικροδικτύων παρ' όλη την πολυπλοκότητα που εισάγει σε ότι αφορά την λειτουργία του δικτύου χαμηλής τάσης, παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα.

Οι περισσότερες μικροπηγές συνδέονται στο υπόλοιπο δίκτυο μέσω μετατροπέων οι οποίοι τα τελευταία χρόνια παρουσιάζουν σημαντική εξέλιξη λόγω της σχετικής έρευνας τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Αμερική. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι σύγχρονοι αντιστροφείς (Inverters) δίνουν την δυνατότητα να ελεγχθούν πάρα πολλές λειτουργίες όπως η παραγωγή ενεργού και άεργου ισχύος, και έτσι η τάση και η συχνότητα του δικτύου σε απομονωμένη λειτουργία.

Τα παραδοσιακά μεγάλα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας αντίθετα βασίζονται αποκλειστικά σε στρεφόμενες μάζες οι οποίες θεωρούνται απαραίτητες για την ευστάθεια του δικτύου. Τα μικροδίκτυα αποτελούν τμήμα μίας γενικότερης τάσης για αλλαγή του τρόπου λειτουργίας των ηλεκτρικών συστημάτων ανά τον κόσμο που ουσιαστικά οφείλεται στην γενικότερη έννοια της διεσπαρμένης παραγωγής. Ωστόσο τα μικροδίκτυα που εξετάζουμε, περιλαμβάνουν κυρίως πολύ μικρές μονάδες, μικρότερες του 1MW, σε αντίθεση με τον όρο διεσπαρμένη παραγωγή που περιλαμβάνει μονάδες 1-50MW. Η δυνατότητα εγκατάστασης μικρών μονάδων συμπαραγωγής, ακόμα και για οικιακή χρήση, αυξάνει την αποδοτικότητα της παροχής ηλεκτρισμού και θέρμανσης ταυτόχρονα και σε συνδυασμό με την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε τοπικό επίπεδο συμβάλλει στην μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αέριων ρύπων.

Από την πλευρά του καταναλωτή, παραγωγή σε τοπικό επίπεδο μπορεί να σημαίνει αύξηση της αξιοπιστίας και ποιότητας ισχύος της παρεχόμενης ενέργειας και σε περιβάλλον πλήρως απελευθερωμένης αγοράς, την μείωση του κόστους κάλυψης των ενεργειακών του αναγκών με ευέλικτους τρόπους διαχείρισης της τοπικής παραγωγής, όταν οι τιμές στην ελεύθερη αγορά ενέργειας την καθιστούν οικονομικά συμφέρουσα. Η δυνατότητα οργάνωσης της τοπικής παραγωγής του καταναλωτή και συμμετοχής της στην ελεύθερη αγορά ενέργειας μέσω κάποιου παροχέα ενεργειακών υπηρεσιών ανοίγει περαιτέρω δυνατότητες αύξησης του εισοδήματος του και συνεισφέρει στο άνοιγμα της αγοράς. Από την πλευρά του χειριστή του Δικτύου Διανομής Μέσης Τάσης ή της Επιχείρησης Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, η δυνατότητα τοπικής κάλυψης του φορτίου ή μέρους του προσφέρει πληθώρα πλεονεκτημάτων, όπως αναβολή επενδύσεων κεφαλαίου για την ενίσχυση των δικτύων μεταφοράς και διανομής, αλλά και των κεντρικών σταθμών παραγωγής, μείωση των απωλειών και μεγαλύτερη ευελιξία στον έλεγχο του δικτύου, ιδιαίτερα στον χειρισμό των συμφορήσεων και στην επαναφορά του συστήματος μετά από σβέση. Η ευρεία διασύνδεση μικροπηγών συνδεδεμένων μέσω ηλεκτρονικών ισχύος προσφέρει σημαντική ευελιξία στον έλεγχο του δικτύου, αλλά και εισάγει σημαντική πολυπλοκότητα στην

λειτουργία του μικροδικτύου, ιδιαίτερα σε νησιδοποιημένη κατάσταση, δεδομένου ότι οι πηγές αυτές στην πλειονότητα τους δεν διαθέτουν στρεφόμενες μάζες (αδράνεια) για τον έλεγχο της συχνότητας. Έτσι, με τον κατάλληλο συντονισμό και διαχείριση μικροπηγών, συστημάτων αποθήκευσης και φορτίων είναι δυνατή η αποδοτική λειτουργία του συνολικού συστήματος.



Εικόνα 10 : Παράδειγμα μικροδικτύου  
URL : <http://microgrids.power.ece.ntua.gr>

#### 4.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Το βασικό στοιχείο των μικροδικτύων είναι οι μονάδες παραγωγής και στο σημείο αυτό θα δοθεί μία σύντομη περιγραφή των βασικών τεχνολογιών παραγωγής που εμπλέκονται στα συστήματα που μελετάμε.

- Μικροτουρμπίνες.

Οι μικροτουρμπίνες κυμαίνονται σε ισχείς από 20 έως 100kW.

Η τεχνολογία τους προέρχεται από τις βοηθητικές μονάδες ισχύος (auxiliary power unit - APU) και η μηχανολογική τους λειτουργία είναι απλή με ότι αυτό συνεπάγεται σε θέματα διάρκειας ζωής και απαιτήσεων συντήρησης.

Το καύσιμό τους είναι κυρίως το φυσικό αέριο ωστόσο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και πετρέλαιο ή προπάνιο.

- Κυψέλες καυσίμου.

Οι κυψέλες καυσίμου είναι μία τεχνολογία που υπόσχεται πολλά τόσο στα μικροδίκτυα όσο και στον γενικότερο χώρο της διεσπαρμένης παραγωγής. Η κυψέλη καυσίμου (fuel cell) είναι μια ηλεκτροχημική διάταξη που μετατρέπει απευθείας την χημική ενέργεια των καυσίμων σε ηλεκτρική ενέργεια. Το καύσιμο που τροφοδοτεί τις κυψέλες καυσίμου μπορεί να είναι υδρογόνο ή θεωρητικά οποιοδήποτε άλλο συμβατικό καύσιμο αποτελούμενο από υδρογονάνθρακες. Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να παρέχουν πολύ υψηλή απόδοση λειτουργίας αλλά το βασικό τους πρόβλημα αυτή την στιγμή είναι το υψηλό τους κόστος.

- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι σημαντικό τμήμα ενός μικροδικτύου και η παραγωγή βασίζεται κυρίως σε φωτοβολταϊκά στοιχεία αλλά και μικρές ανεμογεννήτριες. Επιπλέον θα μπορούσαν να περιληφθούν και συμβατικές μονάδες που λειτουργούν με βιοκαύσιμα.

- Αποθήκευση ενέργειας.

Το βασικό πρόβλημα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι δεν μπορεί να αποθηκευτεί εύκολα σε εκτεταμένη κλίμακα. Σχεδόν όλη η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα είναι ταυτόχρονη με την παραγωγή της ωστόσο για την λειτουργία των μικροδικτύων εφόσον αυτά περιλαμβάνουν μεγάλη παραγωγή για το μέγεθός τους από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ιδιαίτερα επιθυμητή η παρουσία μονάδων αποθήκευσης ενέργειας.

Οι βασικές μέθοδοι αποθήκευσης είναι:

- η μέθοδος που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι αυτή της ηλεκτροχημικής μετατροπής και αποθήκευσης της ενέργειας σε συσκευές που ονομάζονται ηλεκτρικοί συσσωρευτές ή κοινώς **μπαταρίες** και κυρίως μπαταρίες μολύβδου οξέος.
- με πεπιεσμένο αέρα (Compressed Air Energy Storage, CAES) όπου ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για την συμπίεση ποσότητας αέρα η οποία στη συνέχεια κινώντας έναν στρόβιλο αναπαράγει την ηλεκτρική ενέργεια.
- Με σφονδύλους (flywheels). Πρόκειται για διατάξεις όπου μέσω ενός κινητήρα – γεννήτριας μπορεί να γίνει αποθήκευση με την μορφή κινητικής ενέργειας σε μια στρεφόμενη μάζα.
- Με υπεραγώγιμες διατάξεις. Εφαρμογές με διατάξεις που χρησιμοποιούν υγρό ήλιο είναι ήδη σε εμπορική εκμετάλλευση ενώ διατάξεις υγρού αζώτου αναμένονται στο άμεσο μέλλον.
- Με διατάξεις άντλησης. Η ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές χρησιμοποιείται για άντληση νερού σε υψηλότερη υψομετρική στάθμη. Κατόπιν ηλεκτρική ενέργεια παράγεται όταν ζητηθεί με έναν υδροστρόβιλο.

- Μονάδες συμπαραγωγής.

Μία βασική τεχνολογία που είναι οικονομικά συμφέρουσα είναι αυτή της συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού.

Πιο συγκεκριμένα από τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού που χρησιμοποιούν καύσιμα αξιοποιείται η θερμότητα της καύσης.

Τυπικά σε μία συμβατική μηχανή σχεδόν τα τρία τέταρτα της ενέργειας του καυσίμου είναι θερμική ενέργεια η οποία αποβάλλεται στο περιβάλλον.

Στις μονάδες συμπαραγωγής χρησιμοποιείται η θερμότητα αυτή προκειμένου να καλύψει τοπικές ανάγκες σε θέρμανση με άμεσο αποτέλεσμα την εξοικονόμηση καυσίμου. Το βασικό πρόβλημα είναι ότι είναι πολύ δύσκολη η

μεταφορά θερμότητας και ειδικά για το μέγεθος των μονάδων που μελετάμε είναι αδύνατη, οπότε απαιτείται η μονάδα παραγωγής να είναι δίπλα στο φορτίο.

#### 4.5 ΤΕΧΝΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

Η εισαγωγή μονάδων παραγωγής στο επίπεδο την χαμηλής και μέσης τάσης δεν είναι απλό θέμα από τεχνικής πλευράς ειδικά αν αυτή ενταθεί στο μέλλον. Δημιουργούνται μία σειρά από τεχνικά ζητήματα που θα πρέπει να μελετηθούν με προσοχή.

##### **Μεταβολές στην τάση του δικτύου**

Για κάθε δίκτυο διανομής έχουν τεθεί συγκεκριμένα όρια για την τάση. Αυτά τα όρια σε κάθε περίπτωση είναι σημαντική παράμετρος τόσο για την επέκταση του δικτύου όσο και για το κόστος που αυτό συνεπάγεται. Το πλέον επικίνδυνο σενάριο από την παρουσία μικροπηγών στο επίπεδο της χαμηλής και μέσης τάσης είναι η πιθανότητα η τάση να υπερβεί τα μέγιστα επιτρεπτά όρια. Το σενάριο αυτό θα συμβεί στην περίπτωση που το φορτίο τοπικά είναι στο ελάχιστο και παράλληλα έχουμε σημαντική παραγωγή από την μονάδα. Το πρόβλημα εντείνεται στην χαμηλή τάση δεδομένου ότι εκεί η τιμή της αντίστασης των καλωδίων είναι σχετικά μεγάλη οπότε στην τιμή της τάσης εμπλέκεται και η ενεργός ισχύς. Μία προτεινόμενη λύση σε αυτήν την περίπτωση είναι η αύξηση της ζήτησης αέργου ισχύος από την πλευρά της μονάδας ενώ μία άλλη λύση είναι η χρήση με αντισταθμιστικό τρόπο των λήψεων του μετασχηματιστή (tap changer).

##### **Αύξηση στη στάθμη βραχυκυκλώσεως του δικτύου.**

Η χρήση στρεφόμενων κυρίως μηχανών στις μονάδες παραγωγής προφανώς θα έχει επίπτωση στο επίπεδο του σφάλματος. Η αύξηση του επιπέδου του σφάλματος πιθανών να απαιτεί αλλαγές στους διακόπτες του δικτύου κάτι που συνεπάγεται σημαντική αύξηση του κόστους ειδικά αν τις όποιες αναβαθμίσεις είναι υποχρεωμένος να τις αναλάβει ο ιδιοκτήτης της μονάδας. Μια λύση είναι η εγκατάσταση μίας αντίδρασης (μετασχηματιστή ή πηνίο) μεταξύ της γεννήτριας και του δικτύου με αύξηση όμως των απωλειών και των μεταβολών στην τάση.

##### **Ποιότητα ισχύος.**

Η ποιότητα της ισχύος είναι ένα σημαντικό θέμα στην εισαγωγή των μικρομονάδων στο δίκτυο.

Η ποιότητα ισχύος περιλαμβάνει μία σειρά από φαινόμενα:

- Μεταβολή της τάσης (Voltage variation)
- Απότομη αλλαγή της τάσης (Rapid voltage change)
- Διακύμανση της τάσης (Voltage fluctuation)
- Φλίκερ (Flicker)

- Προσωρινή υπέρταση (Temporary power frequency overvoltage or swell)
- Αρμονικές στην τάση (Harmonic voltage)
- Ασυμμετρία στην τάση (Voltage unbalance)

Τα φαινόμενα αυτά μπορεί να προέλθουν από την παρουσία στρεφόμενων μηχανών, ηλεκτρονικών ισχύος αλλά και από απότομη σύνδεση ή αποσύνδεση μονάδων.

### **Προστασία**

Η προστασία των συσκευών του μικροδικτύου είναι ένα σύνθετο θέμα αφού αφορά τόσο την λειτουργία των υπαρχόντων προστασιών αλλά και των αλλαγών που θα πρέπει να γίνουν στο σύστημα διανομής. Ειδικότερα θα πρέπει να μελετηθεί το θέμα των γειώσεων, των προστασιών που θα πρέπει να έχουν οι μονάδες αλλά και τη λειτουργία του συστήματος σε κατάσταση νησίδας.

### **Ευστάθεια του δικτύου**

Το θέμα της ευστάθειας του συστήματος αφορά κυρίως την περίπτωση που η εκτεταμένη χρήση της διεσπαρμένης παραγωγής αλλά και των μικρομονάδων χρησιμοποιείται για την ενίσχυση της ασφάλειας του δικτύου.

Το βασικό πρόβλημα σε αυτήν την περίπτωση είναι η συμπεριφορά των διεσπαρμένων μονάδων μετά από μία απώλεια μίας μεγάλης μονάδος ή μίας μεγάλης γραμμής μεταφοράς.

## **4.6 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ**

Ο σκοπός της ύπαρξης των μικροδικτύων είναι να χρησιμοποιηθούν από ένα ή περισσότερους καταναλωτές με σκοπό να εξυπηρετήσουν το δικό τους οικονομικό όφελος. Παρόλο που πιθανόν να υπάρχει ενδιαφέρον και για λειτουργικά θέματα όπως περιβαλλοντικά ή επαρκείας ισχύος σε κάθε περίπτωση το βασικό στοιχείο παραμένει το κόστος.

Το κόστος παραγωγής των μικροδικτύων θα πρέπει να συγκριθεί με το κόστος της ενέργειας στο επίπεδο της χαμηλής τάσης.

Ευθεία σύγκριση με το κόστος παραγωγής των μεγάλων μονάδων δεν είναι δίκαιη αφού αγνοούνται κόστη για την μεταφορά της ενέργειας από ένα απομακρυσμένο σημείο στον καταναλωτή. Αντίθετα τεχνολογίες που αφορούν την συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας μπορούν να προσφέρουν σημαντικά οικονομικά οφέλη. Ωστόσο το θέμα της οικονομικής λειτουργίας δεν μπορεί να μείνει μόνο στο θέμα του κόστους παραγωγής αφού υπεισέρχονται και άλλοι παράμετροι στο πρόβλημα όπως αυτό της αξιοπιστίας και της ποιότητας ισχύος. Στα παλαιότερα συστήματα η λειτουργία βασιζόταν σε ένα κεντρικό σύστημα όποτε η πολιτική σε σχέση με την αξιοπιστία και την ποιότητα της ισχύος ήταν κοινή για όλους του πελάτες. Αντίθετα η σύγχρονη αντίληψη θέλει το κάθε καταναλωτή να αποφασίζει

για τον εαυτό του το επίπεδο της αξιοπιστίας και της ποιότητας της ισχύος γνωρίζοντας βέβαια ότι υπάρχει και ένα αντίστοιχο κόστος.

Τέλος ένα βασικό θέμα σε σχέση με τα οικονομικά των μικροδικτύων αφορά την σχέση τους με το κυρίως δίκτυο και αν η λειτουργία ξεπεράσει την απλή σχέση της αγοραπωλησίας ενέργειας.

Ένας χαρακτηρισμός που επαναλαμβάνεται ιδιαίτερα στο αμερικανικό σύστημα είναι αυτός του «καλού πολίτη» δηλαδή αν το μικροδίκτυο επικουρεί την λειτουργία του κεντρικού δικτύου και η χρήση των πηγών γίνεται με ορθολογικό τρόπο. Ωστόσο και η συμμετοχή στην αγορά ενέργειας θα πρέπει να γίνεται με μία μέθοδο που περικλείει τις ιδιαιτερότητες του συστήματος και ειδικά το μέγεθος αφού τα μικροδίκτυα των λίγων δεκάδων kW δεν μπορούν να σταθούν με την ίδια βαρύτητα με μία μονάδα πολλών MW σε μία αγορά ενέργειας και σίγουρα θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν και οι τοπικές ανάγκες.

#### 4.7 ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ

Οι μονάδες παραγωγής που είδαμε ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα μικροδίκτυα περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών όπως είναι αυτές των μικροτουρμπίνων, των συστημάτων συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού (CHP), μηχανών εσωτερικής καύσης, κυψελών καυσίμου κ.τ.λ.. Το κύριο καύσιμο για αυτές τις διασπαρμένες πηγές είναι το φυσικό αέριο, αλλά και το ντίζελ, βιοντίζελ, βιοαέριο, αέριο από βιολογικούς καθαρισμούς κλπ. Το υδρογόνο αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο μέλλον και μεγάλη ερευνητική δραστηριότητα στρέφεται προς αυτό.

Περιλαμβάνει επίσης τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως ηλιακή (φωτοβολταϊκά) και αιολική (μικρές ανεμογεννήτριες), ιδιαίτερα σε χώρες, όπου οι κλιματολογικές συνθήκες το ευνοούν.

Σημαντικό πλεονέκτημα των Μικροδικτύων είναι η χρησιμοποίηση τοπικά της θερμότητας που αποβάλλεται κατά την μετατροπή του καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η χρήση αυτής της θερμότητας μειώνει τις εκπομπές αέριων ρύπων και αυξάνει την αποδοτικότητα της χρήσης πρωτογενών πηγών ενέργειας κατά 30% περίπου. Σήμερα, συναντώνται μεσαίου μεγέθους εφαρμογές συμπαραγωγής σε βιομηχανικά συστήματα σε διάφορες χώρες και έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην ανάπτυξη μικρότερης κλίμακας εφαρμογών συμπαραγωγής, ακόμα και για οικιακή χρήση.

Αυτά τα συστήματα αναμένεται να διαδραματίσουν πολύ σημαντικό ρόλο στα Μικροδίκτυα των Βορείων χωρών της ΕΕ. Αντίστοιχα, οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες αναμένεται να γίνουν όλο και περισσότερο δημοφιλείς στις Νότιες χώρες της ΕΕ. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης, όπως μπαταρίες, πυκνωτές και σφόνδυλοι αποτελούν επίσης αναγκαία συστατικά των Μικροδικτύων, συμβάλλοντας στην αξιοπιστία της τροφοδοσίας κατά τη διάρκεια διαταραχών. Η ανάπτυξη Μικροδικτύων και η ευρεία χρήση συστημάτων διεσπαρμένης παραγωγής μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και το μετριασμό της αλλαγής του κλίματος. Αυτό συμβαίνει επειδή η λειτουργία των Μικροδικτύων είναι βασισμένη σε μεγάλο βαθμό στις ανανεώσιμες πηγές και σε μικρές μονάδες παραγωγής που χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλές εκπομπές καυσαερίων.

Παραδείγματος χάριν, οι μικροτουρμπίνες αποτελούνται από μια γεννήτρια και έναν μικρό αεροστρόβιλο σε κοινό άξονα.

Αυτοί οι στρόβιλοι λειτουργούν με υψηλή ταχύτητα περιστροφής και παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής συχνότητας.

Η αποδοτικότητα αυτών των μονάδων κυμαίνεται μεταξύ 25% και 30%.

Η χρησιμοποίηση της θερμότητας των καυσαερίων μπορεί να αυξήσει τη γενική αποδοτικότητα των συστημάτων (ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα) στα επίπεδα 70% έως και 80%. Έτσι, τα συστήματα αυτά, διακρίνονται για τη συνολικά, χαμηλή εκπομπή ρύπων. Σε ευρωπαϊκή κλίμακα, η γενική αύξηση στην αποδοτικότητα του συνδυασμού παραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής, θα μπορούσαν να οδηγήσουν στη μείωση περισσότερων από 65 εκατομμύριο τόνων CO<sub>2</sub> ανά έτος. Επιπλέον, η λειτουργία των Μικροδικτύων συμβάλλει στη μείωση των απωλειών και επομένως στην περαιτέρω ορθολογική διαχείριση της παραχθείσας ηλεκτρικής ενέργειας. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει προσδιορίσει τις απώλειες, ως βασικό στόχο για τα προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης, αναγνωρίζοντας ότι πρόκειται για μια από τις προτεραιότητες για τη βελτιωμένες ενεργειακή αποδοτικότητα και τη συμβολή στο μετριασμό της αλλαγής του κλίματος. Η λειτουργία των Μικροδικτύων μπορεί να μειώσει τις απώλειες στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής από 2 έως 4%, συμβάλλοντας σε μια μείωση 20 εκατομμυρίων τόνων ετησίως του CO<sub>2</sub>.

#### **4.8 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΕΥΦΥΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ**

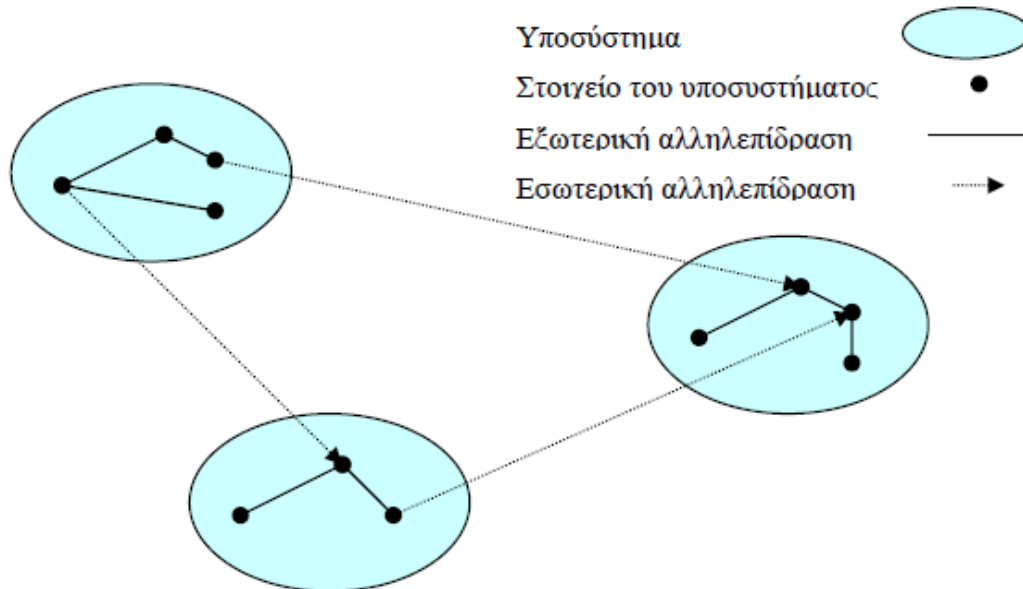
Στα σύγχρονα συστήματα ελέγχου ηλεκτρικών συστημάτων αλλά και γενικότερα συστημάτων ελέγχου οι νέες προκλήσεις σχετίζονται κυρίως με το αριθμό των μεταβλητών, την υπολογιστική πολυπλοκότητα των προβλημάτων, την ανάγκη για προσαρμοστικότητα στις συνεχείς αλλαγές αλλά και το βασικότερο της λειτουργίας με αβεβαιότητα σε ένα δυναμικό περιβάλλον που συνεχώς μεταβάλλεται. Αυτό σημαίνει ότι πλέον το λογισμικό που αναπτύσσεται για τις εφαρμογές αυτές γίνεται ολοένα και πιο πολύπλοκο έχοντας σημαντικό αριθμό υποσυστημάτων.

Ο πράκτορας είναι μία οντότητα λογισμικού που έχει δύο βασικές ιδιότητες, αυτήν της ευφυΐας αλλά και της ικανότητας να επικοινωνεί με άλλους πράκτορες. Ο βασικός στόχος είναι να δώσει ένα μοντέλο ανάπτυξης λογισμικού το οποίο θα μπορεί να αντιμετωπίσει επιτυχώς την πολυπλοκότητα των προβλημάτων. Θα πρέπει να αντιληφθούμε ότι η πολυπλοκότητα αυτή σε πολλά από τα προβλήματα έχει κάποια βασικά χαρακτηριστικά.

Το πρώτο χαρακτηριστικό είναι ότι η πολυπλοκότητα είναι ιεραρχικά δομημένη που σημαίνει ότι αποτελείται από ένα σύνολο δομημένων υποσυστημάτων. Για παράδειγμα ένα παραδοσιακό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από το σύστημα παραγωγής, το σύστημα μεταφοράς και το σύστημα διανομής. Το σύστημα μεταφοράς αποτελείται από γραμμές μεταφοράς και μετασχηματιστές και ούτω καθ' εξής.



Τα υποσυστήματα δημιουργούν μια ιεραρχική δομή για το σύστημα από τα ανώτερα στρώματα της διαχείρισης ενέργειας μέχρι την χαμηλότερου επιπέδου πληροφορία όπως είναι η κατάσταση μία προστασίας ενός μετασχηματιστή διανομής.



Σχήμα 4.1 : Μορφή ενός πολύπλοκου και ιεραρχικά δομημένου συστήματος

Το επόμενο χαρακτηριστικό στον έλεγχο πολύπλοκων συστημάτων αφορά ποιά στοιχεία μας ενδιαφέρουν πρωτίστως και αυτό εξαρτάται κυρίως από την οπτική γωνία που καθορίζουν οι στόχοι μας. Για παράδειγμα επανερχόμενοι πάλι στον έλεγχο ενός συμβατικού συστήματος ενέργειας κύριος στόχος είναι η κάλυψη του φορτίου ή η ευστάθεια της τάσης και όχι η κατάσταση κάποιου μετασχηματιστή της διανομής.

Ένα άλλο γενικό χαρακτηριστικό είναι ότι τα ιεραρχημένα πολύπλοκα συστήματα εξελίσσονται ταχύτερα από τα μη ιεραρχημένα.

Τα πολύπλοκα συστήματα που βασίζονται σε ένα συνδυασμό απλών συστημάτων μπορούν να εξελιχθούν ευκολότερα σε σχέση με συστήματα που η πολυπλοκότητα δεν βασίζεται σε δομημένα απλά υποσυστήματα.

Ένα πρόβλημα που η πολυπλοκότητα δεν προέρχεται από σύνθεση υποσυστημάτων είναι για παράδειγμα η μελέτη της ροής ενός ρευστού και στο οποίο προφανώς οι κανόνες συμπεριφοράς δεν εξελίσσονται παρά μόνο αν γίνει μία σημαντική ανακάλυψη. Αντίθετα ένα σύστημα ιεραρχικά δομημένο που η πολυπλοκότητά του αυξάνεται ραγδαία είναι το ηλεκτρικό σύστημα.

Η αύξηση της πολυπλοκότητας είναι εμφανής αν δούμε την λειτουργία του πριν και μετά την εισαγωγή της έννοιας της διεσπαρμένης παραγωγής και των αγορών ενέργειας.

Τέλος ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των ιεραρχικών συστημάτων είναι ότι είναι ευδιάκριτες οι εσωτερικές αλληλεπιδράσεις στα υποσυστήματα σε σχέση με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των υποσυστημάτων. Το χαρακτηριστικό αυτό επιτρέπει την εύκολη διάκριση και καθορισμό των υποσυστημάτων.

Για παράδειγμα είναι πολύ εύκολο να διαχωρίσουμε σε τμήματα το δίκτυο

διανομής με βάση τους μετασχηματιστές με τους οποίους συνδέονται στο δίκτυο μεταφοράς. Σίγουρα κάποιες από τις αλληλεπιδράσεις αυτές μπορούν να εντοπιστούν κατά την σχεδίαση του συστήματος ενώ κάποιες όχι. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις παρατηρήσεις αυτές, οι μηχανικοί ανέπτυξαν μία σειρά από μεθόδους προκειμένου να αντιμετωπίσουν την πολυπλοκότητα:

- Η διάσπαση (decomposition) των προβλημάτων σε μία σειρά από λιγότερο σύνθετα προβλήματα.
- Η αφαίρεση όπου δημιουργούνται απλοποιημένα προβλήματα κρύβοντας την λιγότερο σχετική πληροφορία.
- Η οργάνωση της πληροφορίας καθορίζοντας με σαφήνεια τον τρόπο που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους τα υποσυστήματα.

Αυτά είναι πολύ συνοπτικά κάποια βασικά χαρακτηριστικά και έννοιες που αφορούν τα πολύπλοκα συστήματα.

#### 4.9 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΛΟΓΙΚΗ ΤΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ

Όταν υιοθετούμε μία λογική χρήσης ευφυών πρακτόρων στο σύστημά μας γίνεται αμέσως αντιληπτό ότι απαιτείται η παρουσία πλέον του ενός πρακτόρων. Το γεγονός αυτό είναι αποτέλεσμα της λογικής της διάσπασης που προαναφέραμε όπου το κεντρικό σύνθετο πρόβλημα διασπάται σε πολλά υπο-προβλήματα και προφανώς ο κάθε πράκτορας αναλαμβάνει ένα αντίστοιχο κομμάτι.

Το επόμενο θέμα είναι ότι οι πράκτορες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους προκειμένου είτε να ικανοποιήσουν του εσωτερικούς τους στόχους είτε τους στόχους του συστήματος συνολικά. Ωστόσο υπάρχουν δύο βασικά χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν την προσέγγιση αυτή από τις παραδοσιακές αντιλήψεις.

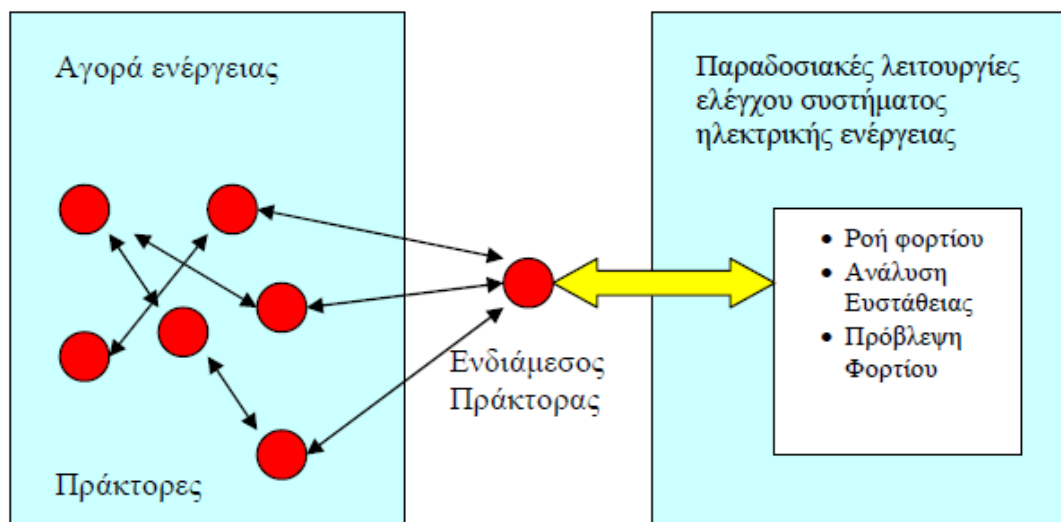
Το πρώτο χαρακτηριστικό είναι ότι οι πράκτορες μπορούν να χρησιμοποιήσουν μία υψηλού επιπέδου γλώσσα προκειμένου να επικοινωνήσουν. Με τον τρόπο αυτό η επικοινωνία των πρακτόρων γίνεται σε επίπεδο γνώσης δηλαδή δεν ανταλλάσσουν προσυμφωνημένες εντολές και δεδομένα, αλλά πραγματοποιούν διαλόγους καθορίζοντας για παράδειγμα τι θέλει ο καθένας και πότε.

Το δεύτερο χαρακτηριστικό είναι ότι οι πράκτορες ουσιαστικά καλούνται να επιλύσουν το πρόβλημα που αντιμετωπίζουν για το τμήμα εκείνο του περιβάλλοντος που αντιλαμβάνονται. Η τοπική αυτονομία αλλά και η ευφυΐα είναι δυνατόν να τους δώσει την δυνατότητα να επιλύσουν καταστάσεις οι οποίες πιθανόν να μην είχαν προβλεφθεί ή να μην μπορούσαν να προβλεφθούν κατά την διάρκεια της σχεδίασης.

Το βασικό ερώτημα πάντα που προκύπτει σε σχέση με την ανάπτυξη λογισμικού που βασίζεται σε ευφυείς πράκτορες αφορά την διαφορά του από τον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό. Παρόλο που υπάρχουν σημαντικές ομοιότητες με τον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό όπως η αφαίρεση αλλά και οι διάφορες σχέσεις υπάρχουν παράλληλα και σημαντικές διαφορές :

- Τα αντικείμενα συνήθως είναι παθητικές οντότητες και απλά αντιδρούν σε μηνύματα και εντολές.

- Τα αντικείμενα παρόλο που πιθανόν να περιλαμβάνουν παράσταση του περιβάλλοντος αλλά και συμπεριφορές δεν έχουν δυνατότητα επιλογής της συμπεριφοράς αλλά και της όποιας πράξης. Από την στιγμή που θα επιλεγεί μια προσβάσιμη (public) μέθοδος το αποτέλεσμα είναι δεδομένο. Αντίθετα ένας πράκτορας από την φύση μπορεί να αλλάξει την επιλογή της πράξης.
- Πολλές φορές ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός δεν είναι επαρκής στην μοντελοποίηση σύνθετων συστημάτων. Αυτό συμβαίνει διότι ενώ μπορεί να περιγράψει με ακρίβεια τα στοιχεία και τους μηχανισμούς λειτουργίας ενός συστήματος, υστερεί σημαντικά στην περιγραφή και την μοντελοποίηση του αλληλεπιδράσεων σε ένα σύστημα.
- Τέλος ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός υστερεί σημαντικά στην μοντελοποίηση και την διαχείριση των σχέσεων αφού οι τελευταίες είναι μάλλον στατικές.



Σχήμα 4.2 : Ενσωμάτωση των ευφυών πρακτόρων στα υπάρχοντα συστήματα

Το επόμενο βασικό ερώτημα είναι κατά πόσο η τεχνολογία των ευφυών πρακτόρων μπορεί να έχει την ανάλογη διάδοση με αυτήν που έχει μέχρι τώρα ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός. Η απάντηση δεν είναι εύκολη και σίγουρα το μέλλον θα αποκαλύψει το αποτέλεσμα. Ωστόσο υπάρχουν δύο βασικά χαρακτηριστικά που καθιστούν το μέλλον αισιόδοξο.

Το πρώτο χαρακτηριστικό σχετίζεται με τον τρόπο που εξελίσσεται ο προγραμματισμός των υπολογιστών. Η κοινότητα της πληροφορικής στρέφεται από τις γλώσσες που καθορίζονταν από την αρχιτεκτονική των υπολογιστών σε γλώσσες προγραμματισμού που καθορίζονται από την φύση του προβλήματος [π.χ. Matlab]. Η φύση λοιπόν των πρακτόρων είναι συνδεδεμένη άμεσα με το μοντέλο του προβλήματος. Επιπλέον η δομή των πρακτόρων δίνει σημαντικά νέα εργαλεία στην ανάπτυξη λογισμικού και κυρίως με τον τρόπο που αυτοί αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

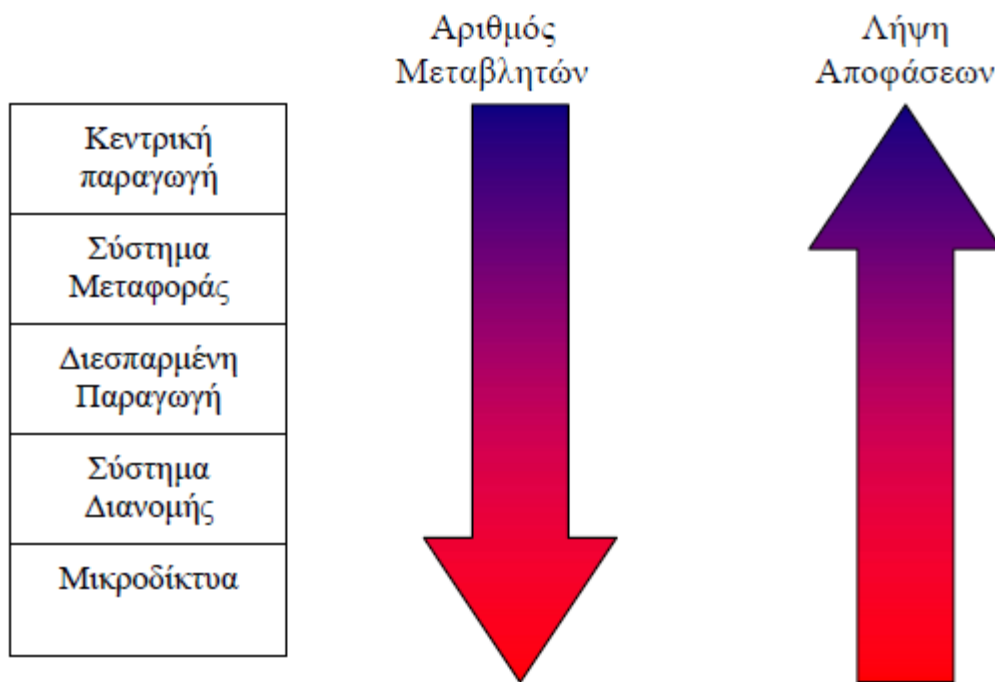
Το δεύτερο χαρακτηριστικό είναι ότι η εισαγωγή των πρακτόρων δεν απαιτεί επαναστατικές αλλαγές στα υπάρχοντα υπολογιστικά συστήματα αλλά με χρήση ενδιάμεσων πρακτόρων μπορούν οι νέοι πράκτορες να επικοινωνήσουν με το υπάρχον σύστημα. Ουσιαστικά οι ενδιάμεσοι αυτοί πράκτορες θα χρησιμοποιηθούν σαν μεσάζοντες μεταξύ του νέου συστήματος

και του υπάρχοντος. Παράδειγμα μίας τέτοιας εφαρμογής είναι σε μία αγορά ηλεκτρικής ενέργειας όπου οι πράκτορες καταλήγουν σε μία συμφωνία. Ο ενδιαμέσος πράκτορας θα αναλάβει να μεταφέρει τα αποτελέσματα στον υπολογιστή που εκτελεί την ροή φορτίου προκειμένου να εξετασθεί η λύση του προτάθηκε.

#### 4.10 ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΕΤΑΙ ΣΤΟΥΣ ΕΥΦΥΕΙΣ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ

Ο κατανεμημένος έλεγχος έρχεται ουσιαστικά σαν εξέλιξη του κλασικού κεντρικού ελέγχου με τα κεντρικά συστήματα εποπτείας και ελέγχου (SCADA Supervisor Control and Data Acquisition). Το μοντέλο αυτό του ελέγχου βασίζεται στο παλαιότερο μοντέλο λειτουργίας του συστήματος που αποτελούνταν από έναν μικρό σχετικά αριθμό κεντρικών μονάδων οι οποίες ελέγχονταν από μία (δημόσια) εταιρία. Η λειτουργία της αγοράς ενέργειας αλλά και η εισαγωγή των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, έξυπνων στοιχείων ελέγχου στο επίπεδο της μεταφοράς και της διανομής όπως και των μικροδικτύων έχει αυξήσει τρομερά την πολυπλοκότητα του συστήματος. Ένα βασικό θέμα είναι η διαδικασία λήψης των αποφάσεων η οποία με βάση τον κεντρικό έλεγχο ήταν από πάνω προς τα κάτω. Αυτό το μοντέλο πλέον θεωρείται απαρχαιωμένο τόσο λόγω της πολυπλοκότητας του συστήματος όσο και του τρόπου λειτουργίας στα πλαίσια της αγοράς ενέργειας. Το θέμα λοιπόν είναι να μεταφερθούν σημαντικά τμήματα του μηχανισμού λήψης αποφάσεων σε κατώτερα επίπεδα. Ωστόσο η πολυπλοκότητα του συστήματος παραμένει.

Το επόμενο βασικό ερώτημα αφορά τα μικροδίκτυα και ειδικότερα ποια είναι τα πλεονεκτήματα από την χρήση της τεχνολογίας των ευφυών πρακτόρων. Ειδικότερα γιατί θα πρέπει να δώσουμε τοπική ευφυΐα στην μονάδα και με βάση την ευφυΐα αυτή να συντονίζει την λειτουργία της με τις γειτονικές μονάδες χωρίς την παρεμβολή ενός κεντρικού συστήματος; Η πρώτη απάντηση σχετίζεται με το διαχρονικό θέμα του κόστους. Μία μονάδα που πιθανόν να στοιχίζει λιγότερο από 10 χιλιάδες ευρώ απαιτεί να έχει το ελάχιστο δυνατό κόστος λειτουργίας. Η παρουσία ενός συστήματος κεντρικού ελέγχου στην καλύτερη περίπτωση συνεπάγεται ενός κόστους συγκρίσιμου με την τιμή του εξοπλισμού και σίγουρα αυτό δεν θα είναι εύκολο να αποσβεστεί. Αντίθετα η λειτουργία με τους πράκτορες μπορεί να βασιστεί σε πολύ φτηνούς μικροεπεξεργαστές πλακέτας κρατώντας το κόστος κάτω από τα διακόσια ευρώ. Εμμένοντας στο θέμα του κόστους θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν και το θέμα του προσωπικού. Στα μεγάλα ηλεκτρικά συστήματα η παρουσία ειδικευμένου προσωπικού δεν έχει τρομερό αντίκτυπο στο κόστος λειτουργίας. Αντίθετα στα μικρά συστήματα δεν είναι εφικτό να υπάρχει προσωπικό που να επιτηρεί συνεχώς το σύστημα. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη η τοπική ευφυΐα προκειμένου να υποκαταστήσουμε τις ανάγκες σε προσωπικό. Επιπλέον κατά την εγκατάσταση μίας νέας μονάδας, εάν το σύστημά μας έχει ικανότητες «εγκατάστασης και άμεσης λειτουργίας» (plug n' play) τότε περιορίζεται ακόμη περισσότερο το κόστος. Αυτή είναι μία σημαντική δυνατότητα που θα πρέπει να έχει το σύστημα. Όταν αναφέρεται άμεση λειτουργία δεν σημαίνει απλά να αρχίζει να παράγει ενέργεια αλλά να καταλάβει το σύστημα ποιες ακριβώς μονάδες έχει δίπλα του και στη συνέχεια να συνεργαστεί μαζί τους.



Σχήμα 4.3 : Πολυπλοκότητα Συστήματος

Μια άλλη σημαντική λεπτομέρεια έχει να κάνει με το πραγματικό όφελος από την χρήση μικρομονάδων παραγωγής αλλά και ελεγχόμενων φορτίων. Είναι προφανές ότι αυτός που θα εγκαταστήσει ένα τέτοιο σύστημα δεν έχει μόνο στόχο το να κερδίσει χρήματα από την πώληση ενέργειας. Ίσως η πώληση να είναι απλά ένας στόχος για να αποσβέσει το κόστος κτίσης. Άλλοι στόχοι για την εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων είναι η εξυπηρέτηση εσωτερικών αναγκών όπως η θέρμανση ή η επάρκεια ισχύος. Η κάλυψη και εξυπηρέτηση των εσωτερικών αναγκών είναι ένα πρόβλημα που είναι δύσκολο να μοντελοποιηθεί και να αντιμετωπιστεί από ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου. Η αρχιτεκτονική του συστήματος πολλαπλών ευφυών πρακτόρων βασίζεται στην εξυπηρέτηση των εσωτερικών στόχων (goal) του κάθε πράκτορα οπότε το σύστημα αυτό προσαρμόζεται άμεσα στις ανάγκες του μικροδικτύου. Αναλύοντας περαιτέρω την προηγούμενη παράγραφο θα πρέπει ακόμα να αντιληφθούμε ότι ο τρόπος λειτουργίας των πρακτόρων είναι πιο κοντά στο φυσικό μέσο του ελέγχου. Έχοντας την δυνατότητα να λειτουργούν με διαφορετικές συμπεριφορές ανά περίπτωση σημαίνει ότι έχουν εσωτερικά τη δυνατότητα να φιλοξενούν διαφορετικές μοντελοποιήσεις του περιβάλλοντος. Αυτή η δυνατότητα τους καθιστά ικανούς να λειτουργούν σε διάφορες καταστάσεις του συστήματος. Για παράδειγμα άλλη συμπεριφορά θα έχουν στα ίδια ερεθίσματα κατά την διάρκειας μιας αγοράς ενέργειας και άλλη κατά την διάρκεια της απομονωμένης λειτουργίας. Επιπλέον η δυνατότητά τους να χρησιμοποιούν μια υψηλού επιπέδου γλώσσα τους επιτρέπει να διαχειρίζονται καλύτερα την πληροφορία. Σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και σε ένα βιομηχανικό σύστημα πέρα από τις μετρήσεις στο σύστημα ελέγχου μεταφέρονται πληροφορίες που αφορούν συναγεμμούς, γεγονότα ή εντολές.

Η φύση του πράκτορα είναι τέτοια που του επιτρέπει να διαχειρίζεται πληροφορία διαφορετικής βαρύτητας. Μία άλλη παράμετρος έχει να κάνει με την αξιοπιστία του συστήματος ελέγχου και κατά συνέπεια πάλι με το κόστος αυτού. Η παρουσία εφεδρικών (redundant) συστημάτων ελέγχου σημαίνει περαιτέρω αύξηση του κόστους λειτουργίας. Αντίθετα σε ένα μικροδίκτυο η απώλεια ενός ελεγκτή θα συνεπάγεται την απώλεια μόνο της μονάδος αυτής και όχι ολόκληρου του συστήματος. Επιπλέον το σύστημα είναι πιο εύρωστο λόγω της μερικής αυτονομίας που έχουν οι πράκτορες. Αυτή η μερική αυτονομία επιτρέπει στους πράκτορες στην περίπτωση που κάποιος πράκτορας αποτύχει να τους απαντήσει να λειτουργήσουν με βάση τις υπάρχουσες γνώσεις. Ένα άλλο σημαντικό θέμα είναι η πολυπλοκότητα του συστήματος ελέγχου. **Όπως προαναφέραμε το μικροδίκτυο είναι ουσιαστικά μια μικρογραφία ενός μεγάλου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και ως εκ τούτου θα πρέπει να λαμβάνουν χώρα μία σειρά από ανάλογες λειτουργίες.** Θα πρέπει να αντιμετωπίσουμε τον όγκο της πληροφορίας όπου στην περίπτωση που έχουμε ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου θα πρέπει να συλλέγεται ένας σημαντικός όγκος πληροφορίας και στην συνέχεια αυτός να επεξεργάζεται. Αυτό το μοντέλο λειτουργίας απαιτεί σίγουρα ένα ενισχυμένο σύστημα επικοινωνίας.

#### 4.11 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΥΦΥΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ

Στις μέρες μας όλες οι πολύπλοκες διεργασίες όπως είναι βιομηχανική παραγωγή, τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και οι εγκαταστάσεις παραγωγής χημικών χρησιμοποιούν σύνθετα υπολογιστικά συστήματα για τον έλεγχο και την εποπτεία. Καθώς όμως οι διαδικασίες αυτές αυξάνουν σε πολυπλοκότητα ανάλογα αυξάνουν και οι υπολογιστικές απαιτήσεις. Τα παραδοσιακά μοντέλα κεντρικού ελέγχου αρχίζουν και φτάνουν στα υπολογιστικά τους όρια. Η λειτουργία και το ερευνητικό ενδιαφέρον στρέφεται πλέον στον κατανεμημένο έλεγχο και στην κατανεμημένη νοημοσύνη. Η εφαρμογή της τεχνολογίας των συστημάτων πολλαπλών παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον δεδομένου ότι πολλά χαρακτηριστικά των πρακτόρων τους φέρνουν λειτουργικά πιο κοντά στην διεργασία που ελέγχουν. Η θεωρία των συστημάτων πολλαπλών ευφυών πρακτόρων τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να τυγχάνει της προσοχής ολοένα και περισσότερων ερευνητών. Αυτή η στροφή του ενδιαφέροντος οφείλεται και σε μία διαφορετική αντίληψη σε σχέση με τον τρόπο λειτουργίας του λογισμικού. Μέχρι πριν λίγα χρόνια το λογισμικό θεωρούνταν σαν ανεξάρτητα και αυτοτελή προγράμματα που καλούνταν να βοηθήσουν τον χειριστή ή να τον υποκαταστήσουν σε συγκεκριμένες λειτουργίες. Το λογισμικό και οι υπολογιστές εξελίχθηκαν τόσο που μπορούν πλέον να διαχειρίζονται την λειτουργία μίας επιχείρησης ή να περατώνουν μία κάποια σύνθετη διαδικασία ελέγχου όπως είναι ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα όμως με την διαχείριση πολύπλοκων διεργασιών άρχισε μία

«υποσυνείδητη» διαδικασία αλλά και αντιδικία, αντιστοιχίζοντας ανθρώπινα χαρακτηριστικά στους υπολογιστές.

Στις προηγούμενες παραγράφους έγινε μία πρώτη αναφορά στην έννοια της κατανεμημένης νοημοσύνης. Στην κατανεμημένη νοημοσύνη πολλές νοήμονες και σχετικά ανεξάρτητες οντότητες σχηματίζουν μία κοινωνία. Μέσα σε αυτήν την κοινωνία μπορούν να λύνουν προβλήματα. Όλα αυτά τα προβλήματα αφορούν τον έλεγχο των Μικροδικτύων οπότε η χρήση του διαδικτύου και των μικροεπεξεργαστών χαμηλής υπολογιστικής ισχύος με σκοπό την επίλυση αυτών είναι μονόδρομος.

Αυτή είναι μία εισαγωγική περιγραφή των συστημάτων πολλαπλών ευφυών Πρακτόρων όπου ένας ευφυής πράκτορας είναι μία φυσική οντότητα η οποία δρα στο περιβάλλον ή μία εικονική οντότητα. Στην περίπτωση των ενεργειακών συστημάτων ο φυσικός πράκτορας μπορεί να ελέγχει απευθείας μία μικροτουρμπίνα ενώ ο εικονικός πράκτορας μπορεί να είναι το πρόγραμμα που συμμετέχει σε μία αγορά ενέργειας. Ένας ευφυής πράκτορας όπως προαναφέραμε έχει την δυνατότητα να δρα στο περιβάλλον. Αυτό σημαίνει ότι έχει την δυνατότητα να αλλάζει το περιβάλλον του εξαιτίας των πράξεών του. Ο πράκτορας ουσιαστικά δρα στο περιβάλλον του με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος σχετίζεται με τις άμεσες αποφάσεις του.

Για παράδειγμα αν ο πράκτορας είναι μία γεννήτρια diesel τότε η απόφαση για την αύξηση της παραγωγής επηρεάζει την τάση στους γύρω ζυγούς, τις παραγωγές στις άλλες μονάδες του συστήματος αλλά και σε γενικότερο οπτικό πεδίο την συνολική ευστάθεια και ασφάλεια του συστήματος. Ο δεύτερος τρόπος σχετίζεται με την επικοινωνία του με τους άλλους πράκτορες όπου επηρεάζοντας τις αποφάσεις τους αλλάζει έμμεσα την κατάσταση του περιβάλλοντος. Η επικοινωνία είναι ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό σε ένα ευφύες σύστημα αφού οι πράκτορες καλούνται πλέον να ανταλλάξουν όχι απλά δεδομένα ή εντολές αλλά γνώση. Ο τρόπος που γίνεται αυτό περιγράφεται σε ξεχωριστή ενότητα στην συνέχεια του κειμένου. Ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό είναι ότι οι ευφυείς πράκτορες έχουν ένα βαθμό αυτονομίας το οποίο σημαίνει ότι έχουν την δυνατότητα να λαμβάνουν αποφάσεις τοπικά χωρίς την ύπαρξη ενός κεντρικού ελεγκτή. Προκειμένου να το πετύχουν αυτό οδηγούνται από διάφορες τάσεις (tendencies).

Για ένα σύστημα μπαταριών η τάση αυτή θα μπορούσε να είναι: «φόρτισε τις μπαταρίες όταν η kWh είναι φτηνή και η κατάσταση φόρτιση είναι χαμηλή». Σε αυτή την περίπτωση ο ευφυής πράκτορας επιλέγει το πότε θα δράσει, όχι βάση εξωτερικών εντολών αλλά με βάση τις εσωτερικές του τάσεις, κανόνες και στόχους. Επιπλέον άμεσα συσχετιζόμενο με την αυτονομία και αλλά και την δυνατότητα να δρα στο περιβάλλον είναι το γεγονός ότι οι πράκτορες έχουν στην κατοχή τους πόρους. Στην περίπτωση μας οι πόροι μπορεί να είναι τα αποθέματα σε καύσιμα ή το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών το οποίο μπορεί να χρησιμοποιήσει για να πραγματοποιήσει τους στόχους του. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η δυνατότητα του να έχουν μερική ή καθόλου αναπαράσταση του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ο ευφυής πράκτορας που ελέγχει μία γεννήτρια γνωρίζει μόνο την τάση στον δικό του ζυγό αλλά δεν ξέρει πότε τις τάσεις σε όλο το

δίκτυο. Τέλος ο κάθε ευφυής πράκτορας έχει μια συγκεκριμένη συμπεριφορά και προσπαθεί να ικανοποιήσει κάποιους στόχους χρησιμοποιώντας τους πόρους, τις ικανότητες του αλλά και τις υπηρεσίες που μπορεί να προσφέρει. Ο τρόπος με τον οποίο ο ευφυής πράκτορας χρησιμοποιεί τα παραπάνω καθορίζει την συμπεριφορά του. Για να γίνουν τα παραπάνω ποιο κατανοητά ας θεωρήσουμε μια μικρή μονάδα diesel. Τα καύσιμα της είναι οι πόροι που διαθέτει, η παραγωγή ενεργού και άεργου ισχύος είναι δύο από τις ικανότητές της και τέλος η συμμετοχή σε επικουρικές εργασίες του ηλεκτρικού συστήματος (ancillary services) για την διατήρηση της τάσης είναι μία υπηρεσία που μπορεί να προσφέρει.

Ο ευφυής πράκτορας λειτουργεί στα πλαίσια μία κοινωνίας που αποτελείται από πολλούς άλλους πράκτορες. Η οργάνωση της κοινωνίας των πρακτόρων μπορεί να διακριθεί σε τρία επίπεδα ανάλογα με αυτά που ορίζει η κοινωνιολογία:

1. Το μικρο-κοινωνιολογικό επίπεδο το οποίο αφορά την αλληλεπίδραση δύο ή ενός πολύ μικρού αριθμού πρακτόρων
2. Το επίπεδο των ομάδων οι οποίες είναι το συστατικό μιας ολοκληρωμένης κοινωνίας. Σε αυτό το επίπεδο οι πράκτορες μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά και προσπαθούν να επιτελέσουν μια συγκεκριμένη λειτουργία.
3. Το τελευταίο επίπεδο είναι το σύνολο της κοινωνίας. Στο επίπεδο αυτό ανήκουν όλοι οι πράκτορες και δημιουργούνται πολύπλοκες σχέσεις και αλληλεπιδράσεις.

#### 4.12 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΤΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ

Ένα βασικό χαρακτηριστικό όλων των κοινωνιών ευφυών οντοτήτων είναι η ικανότητα για επικοινωνία. Η επικοινωνία είναι η βάση για οποιαδήποτε λειτουργία αλλά και κοινωνική συμπεριφορά. Το γεγονός ότι οι πράκτορες επικοινωνούν τους δίδει την δυνατότητα να μαθαίνουν, να συνεργάζονται αλλά και να συντονίζονται. Τα συστήματα πολλαπλών ευφυών πρακτόρων προκειμένου να μπορούν να αναπτύξουν την συλλογική ευφυΐα θα πρέπει να είναι εφοδιασμένα με ένα εργαλείο που θα τους επιτρέπει να πραγματοποιούν σύνθετους διαλόγους παρόμοιους με τους ανθρώπους.

Η επικοινωνία των πρακτόρων θα πρέπει να έχει τα εξής τρία χαρακτηριστικά:

- Μία κοινή γλώσσα.
- Μία κοινή παράσταση της γνώσης και των εννοιών
- Να υπάρχει τρόπος να ανταλλάξουν οτιδήποτε ανήκει και στις δύο προηγούμενες κατηγορίες.

Μία γλώσσα που έχει την δυνατότητα για την περιγραφή σύνθετων εννοιών είναι η KIF [Knowledge Interchange].



## 4.13 Η ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ

Το βασικό στοιχείο της συμπεριφοράς ενός πράκτορα σε ένα γενικότερο σύστημα είναι η αλληλεπίδραση που έχει με τους άλλους πράκτορες. Η αλληλεπίδραση αυτή σχετίζεται τόσο με τις πράξεις του πράκτορα όσο και με την δυνατότητα που έχει για επικοινωνία και είναι το ανώτερο στοιχείο για την δημιουργία μίας ολοκληρωμένης λειτουργίας. Το ερώτημα που τίθεται είναι πως ακριβώς μπορεί να καθορισθεί ο τρόπος που αλληλεπιδρούν οι πράκτορες μεταξύ τους.

Το πρώτο κριτήριο αφορά τους στόχους που θέτουν οι πράκτορες.

Το δεύτερο κριτήριο αφορά τους πόρους που διαθέτει το σύστημα συνολικά και ο κάθε πράκτορας ξεχωριστά.

Το τρίτο κριτήριο σχετίζεται με τις ικανότητες του κάθε πράκτορα για την επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων του συστήματος.

### **Μέθοδοι συνεργασίας των πρακτόρων**

Η έννοια της συνεργασίας δύο οι περισσότερων πρακτόρων είναι σύνθετη δεδομένου ότι υπάρχουν πολύ τρόποι για να επιτευχθεί.

Επειδή αναφερόμαστε σε πολύπλοκα συστήματα αυτή θα πρέπει να μελετηθεί και να κατηγοριοποιηθεί. Οι τρόποι με τους οποίους θα μπορούσαν να συνεργαστούν οι πράκτορες είναι :

A) Ομαδοποίηση.

B) Επικοινωνία.

Γ) Ειδίκευση.

Δ) Συνεργασία στο μοίρασμα καθηκόντων και πόρων.

E) Συντονισμός πράξεων.

ΣΤ) Διαπραγμάτευση.

Z) Πολλαπλασιασμός.

## 4.14 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ

Η μηχανική μάθηση αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της τεχνητής νοημοσύνης αφού ένα σύστημα προκειμένου να αποκτήσει νοημοσύνη θα πρέπει αρχικά να εκπαιδευτεί. Η μηχανική μάθηση περιλαμβάνει μεθόδους όπου χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα ή δεδομένα από προσομοιώσεις προσπαθούν να μοντελοποιήσουν την λειτουργία του υπό μελέτη συστήματος και να βελτιστοποιήσουν την λειτουργία του. Το πρόβλημα που τίθεται είναι η εύρεση του τρόπου που ο κάθε πράκτορας θα μαθαίνει τι πρέπει να κάνει έτσι ώστε να βελτιστοποιήσει την λειτουργία του συστήματος. Υπάρχει όμως ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό στο σύστημα μας. Ο έλεγχος του μικροδικτύου αποτελείται από μία σειρά από μικρότερα προβλήματα τα οποία πιθανόν να είναι και αντικρουόμενα. Για παράδειγμα ο πράκτορας που διαχειρίζεται μία μπαταρία θα πρέπει να αναλάβει την διαχείριση της μπαταρίας, την παρακολούθηση της τάσης και της συχνότητας στο σύστημα και σίγουρα την συμμετοχή σε μία αγορά ενέργειας.

Θα πρέπει λοιπόν να χρησιμοποιηθεί μία αρχιτεκτονική που να επιτρέπει την ομαλή συνύπαρξη όλων αυτών των δυνατοτήτων. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική είναι αυτή της πολυεπίπεδης μάθησης.

#### 4.15 ΠΟΛΥΕΠΙΠΕΔΗ ΜΑΘΗΣΗ

Η ιδέα για την οργάνωση του τρόπου λειτουργίας των πρακτόρων σε ένα μικροδίκτυο προήλθε από την εργασία των Stone και Veloso που αφορούσε τον έλεγχο μίας ομάδας ρομπότ που παίζουν ποδόσφαιρο.

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η έννοια της πολυεπίπεδης μάθησης θα παρουσιαστεί πρώτα ο τρόπος λειτουργίας της ομάδας των ρομπότ.

Κάθε ένα από τα ρομπότ έχει να επιτελέσει μια σειρά από λειτουργίες κάποιες από τις οποίες είναι συνθέτες ενώ άλλες είναι πολύ απλές.

Μερικές λοιπόν από αυτές τις λειτουργίες σε σειρά πολυπλοκότητας είναι:

- Μετάβαση σε συγκεκριμένη τοποθεσία του γηπέδου
- Κλωτσιά στην μπάλα με συγκεκριμένο στόχο
- Μεταβίβαση της μπάλας προς έναν συμπαίκτη
- Κλέψιμο της μπάλας από έναν αντίπαλο
- Στρατηγική για επίτευξη τέρματος
- Στρατηγική για νίκη στο παιχνίδι

Η πολυεπίπεδη μάθηση είναι ένα μοντέλο προκειμένου να οργανωθούν όλοι αυτοί οι διαφορετικοί τύποι πράξεων και λειτουργιών.

Το μοντέλο εισαγάγει τρία επίπεδα συμπεριφοράς του πράκτορα και κάθε ένα από αυτά περιλαμβάνει κάποιες από τις προηγούμενες πράξεις και λειτουργίες, όπως φαίνεται στον πίνακα .

Το πρώτο επίπεδο αφορά πράξεις και λειτουργίες του πράκτορα σε τοπικό επίπεδο οι οποίες δεν απαιτούν την συνεργασία με άλλους πράκτορες.

Απλά θα πρέπει το ρομπότ να μάθει να πηγαίνει σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία ή να κλωτσά την μπάλα. Στο δεύτερο επίπεδο έχουμε απλές πράξεις και λειτουργίες οι οποίες απαιτούν την παρουσία τουλάχιστον δύο ρομπότ όπως είναι η μεταβίβαση της μπάλας. Τέλος το τρίτο επίπεδο αφορά το σύνολο της ομάδα και τον τρόπο που θα μπορέσει να φέρει σε πέρας το στόχο του δηλαδή την νίκη στο παιχνίδι.

Αντίστοιχη είναι και η λειτουργία του πράκτορα σε ένα μικροδίκτυο.

Ο κάθε πράκτορας ελέγχει μία μονάδα παραγωγής-αποθήκευσης είναι κάποια φορτία και καλείται να οργανώσει όλες τις λειτουργίες που πρέπει να επιτελέσει. Η αντιστοίχιση των λειτουργιών του μικροδικτύου σε σχέση με τα ρομπότ φαίνεται επίσης στον πίνακα 1.

Επίπεδο	Πράκτορες	Συμπεριφορά	Ποδόσφαιρο	Μικροδίκτυο
1	1	Ατομική	Σουτ της μπάλας	Διαχείριση μπαταριών
2	Πολλοί	Πολλών πρακτόρων	Μεταβίβαση σε συμμαίκτη	Διαχείριση πόρων, Άνοιγμα διακόπτη
3	Πολλοί / όλοι	Ομαδική	Νίκη στο παιχνίδι	Συμμετοχή σε αγορά ενέργειας

Πίνακας 1 : Τα επίπεδα μάθησης



Σχήμα 4.4 : Τα επίπεδα της μάθησης στον πράκτορα που ελέγχει την μπαταρία

Το πρώτο επίπεδο περιλαμβάνει όλες τις ενέργειες και διαδικασίες που απαιτούνται προκειμένου να ελεγχθεί τοπικά η μονάδα. Για παράδειγμα στην λειτουργία που αφορά την διαχείριση μίας μπαταρίας ο πράκτορας θα πρέπει να παρατηρεί το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας. Στην περίπτωση που η φόρτιση είναι κάτω από ένα όριο τότε θα πρέπει να σταματήσει την ενδεχόμενη παροχή ενέργειας προς το δίκτυο και αυτή είναι μία τοπική απόφαση για την οποία δεν απαιτείται να διαπραγματευτεί με κανέναν άλλο πράκτορα. Αντίθετα όμως η διαδικασία της φόρτισης δεν είναι τοπική απόφαση αφού σε διασυνδεδεμένη λειτουργία συσχετίζεται με την οικονομική λειτουργία του συστήματος ενώ σε απομονωμένη λειτουργία του συστήματος επηρεάζει την παραγωγή των άλλων μονάδων.

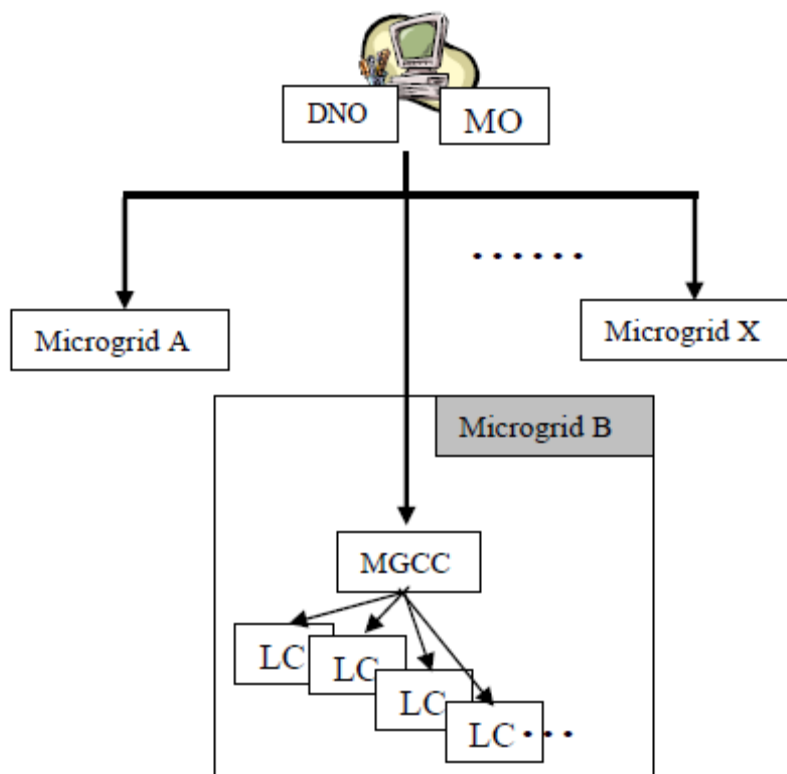
Για αυτόν τον λόγο η απόφαση για το πότε πρέπει να ξεκινήσει η φόρτιση των μπαταριών πρέπει να ληφθεί σε ανώτερο επίπεδο.

Το δεύτερο επίπεδο αφορά απλές λειτουργίες για τις οποίες απαιτείται η συμμετοχή πολλών πρακτόρων. Τέτοιες λειτουργίες θα μπορούσαν να είναι η απόφαση για το πώς θα καταναμηθεί η εφεδρεία του συστήματος ανάμεσα στις μονάδες ή το πώς θα παραχθεί μία συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας. Στο ανώτερο επίπεδο ουσιαστικά περικλείεται η στρατηγική του συστήματος και οι πραγματικοί στόχοι που αφορούν την οικονομική αλλά και ασφαλή λειτουργία. Σε αυτό το επίπεδο εμφανίζονται πολλές προκλήσεις που συνοψίζονται στα εξής:

- Η συνολική κατάσταση του συστήματος καθορίζει τις αποφάσεις χωρίς όμως να είναι πλήρως γνωστή.
  - Θα πρέπει να γίνει επεξεργασία μεγάλου όγκου πληροφοριών με περιορισμένα υπολογιστικά μέσα.
  - Το περιβάλλον είναι στοχαστικό.
  - Οι αποφάσεις δεν είναι τοπικές αλλά τα αποτελέσματα μπορεί να φανούν μετά από πολλά βήματα.
- Ένα παράδειγμα λειτουργίας σε αυτό το επίπεδο είναι η συμμετοχή σε μία αγορά ενεργείας. Η απόφαση για την πώληση ή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να περικλείει τις ανάγκες όλων των πρακτόρων και σίγουρα ο ορίζοντας της απόφασης πρέπει να είναι σχετικά μεγάλος.

#### 4.16 Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ

Θεωρούμε ότι έχουμε ένα ιεραρχικό μοντέλο λειτουργίας όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 4.5 .



Σχήμα 4.5 : Μοντέλο ενός μικροδικτύου  
 URL : <http://microgrids.power.ece.ntua.gr>

Το μοντέλο αυτό λειτουργίας του συστήματος έχει τρία βασικά επίπεδα λειτουργίας:

- Ο διαχειριστής του δικτύου (Distribution Network Operator -DNO) και ο διαχειριστής της αγοράς (Market Operator - MO) στην πλευρά της μέσης τάσης.

- Ο κεντρικός ελεγκτής του Microgrid (Microgrid Central Controller -MGCC)
- Οι τοπικοί ελεγκτές των μονάδων παραγωγής / αποθήκευσης ενέργειας (Local Controllers - LC)

Ο διαχειριστής του δικτύου (DNO) είναι υπεύθυνος για την τεχνική λειτουργία του συστήματος στην χαμηλή και μέση τάση.

Στο κομμάτι αυτό του δικτύου μπορεί να υπάρχουν πλέον του ενός μικροδικτύου. Ο διαχειριστής της αγοράς (MO) είναι υπεύθυνος για την λειτουργία της αγοράς ενέργειας στην συγκεκριμένη περιοχή του δικτύου διανομής. Είναι προφανές ότι ανάλογα με το μοντέλο της αγοράς ενέργειας μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι του ενός MO.

Αυτές οι δύο οντότητες δεν ανήκουν στο Microgrid αλλά αποτελούν τους εκπροσώπους του δικτύου με τους οποίους επικοινωνεί το κάθε Microgrid.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι παρά την αυτονομία του Microgrid, εφόσον είναι συνδεδεμένο με το κυρίως δίκτυο θα πρέπει να υπάρχει ένα ελάχιστο επίπεδο συντονισμού με τους DNO/MO και αυτό είναι γίνεται πιο απαραίτητο θεωρώντας ότι ο αριθμός των μικροδικτύων στο μέλλον θα αυξηθεί κατακόρυφα.

Οι DNO/MO επικοινωνούν με το Microgrid μέσω του Κεντρικού ελεγκτή (**Microgrid Central Controller -MGCC**).

Ο τελευταίος σε ένα παραδοσιακό μοντέλο κεντρικού ελέγχου θα είναι υπεύθυνος για την βέλτιστη λειτουργία του Microgrid τόσο από την οικονομική όσο και από την τεχνική πλευρά στέλνοντας απλές εντολές στους τοπικούς ελεγκτές. Στο μοντέλο όμως που υιοθετείται στην εργασία αυτή ο MGCC απλά αναλαμβάνει να συντονίσει τους τοπικούς ελεγκτές.

Οι τελευταίοι έχουν την ευφυΐα και κατόπιν διαπραγμάτευσης ή βασισμένοι σε άλλους εξελιγμένους αλγορίθμους μπορούν να φτάσουν στην επιθυμητή λύση. Στο χαμηλότερο επίπεδο ελέγχου ανήκουν οι τοπικοί ελεγκτές.

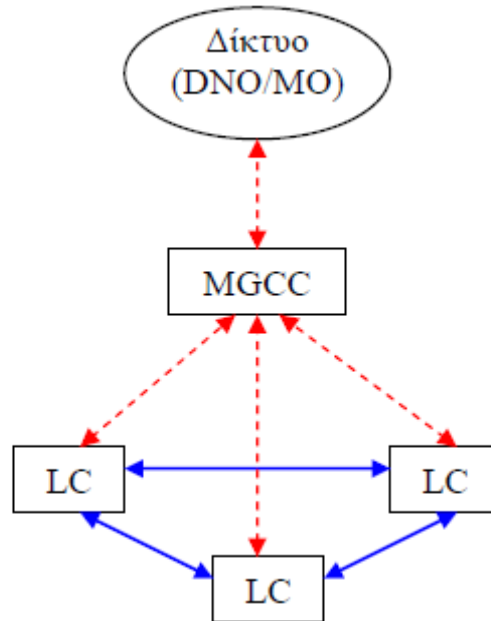
Οι τοπικοί ελεγκτές μπορούν να ελέγχουν μονάδες παραγωγής, μονάδες αποθήκευσης της ενέργειας αλλά και κάποια από τα φορτία.

Ανάλογα με το μοντέλο λειτουργίας έχουν και ένα βαθμό ευφυΐας, ωστόσο ένα μεγάλο ποσοστό των αποφάσεων για πρακτικούς λόγους μπορεί να ληφθεί μόνο τοπικά. Για παράδειγμα η παρακολούθηση και συντήρηση των μπαταριών (εφόσον έχουμε τέτοια μονάδα) είναι μία λειτουργία που μπορεί να γίνει τοπικά.

### **Αναλυτική περιγραφή του τρόπου ελέγχου**

Στη παράγραφο αυτή θα δοθεί μια πιο αναλυτική περιγραφή του τρόπου λειτουργία του μικροδικτύου. Στο πλαίσιο της περιγραφής αυτής θεωρούμε ότι ο έλεγχος του συστήματος είναι κατακεκολλημένος και ο κεντρικός ελεγκτής απλά συντονίζει την λειτουργία του συστήματος.

Το μοντέλο λειτουργίας φαίνεται στο σχήμα 4.6 .

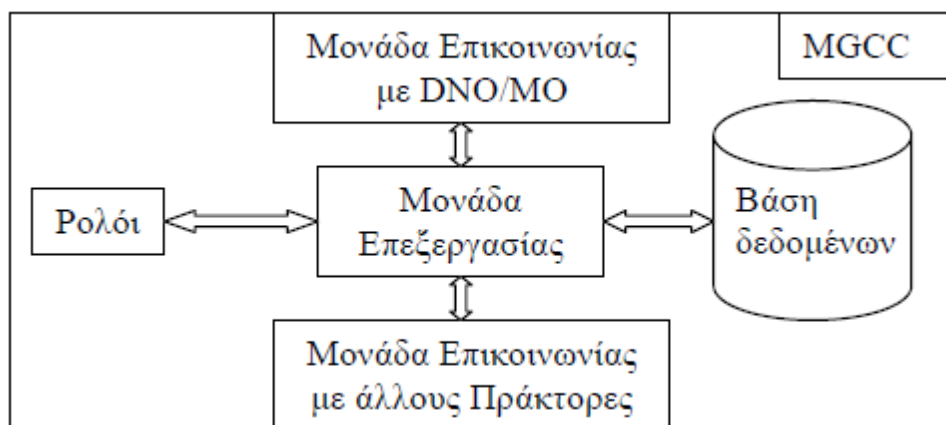


Σχήμα 4.6 : Μοντέλο λειτουργίας του κατακευμαμένου συστήματος ελέγχου

Στο σχήμα αυτό φαίνονται πάλι κάποια από τα τμήματά του αλλά τονίζεται κυρίως η ροή πληροφορίας και ελέγχου του συστήματος. Με τονισμένη γραμμή έχουμε τα σήματα ελέγχου και διαπραγμάτευσης των τοπικών ελεγκτών ενώ με διακεκομμένη γραμμή τα σήματα συγχρονισμού και επικοινωνίας με το κυρίως δίκτυο (DNO/MO).

### Η Δομή του κεντρικού ελεγκτή του μικροδικτύου (MGCC)

Η αρχιτεκτονική του κεντρικού ελεγκτή του μικροδικτύου (Microgrid Central Controller - MGCC) παρουσιάζεται στο σχήμα 4.7 .



Σχήμα 4.7 : Η αρχιτεκτονική του κεντρικού ελεγκτή του μικροδικτύου (MGCC)

Σύμφωνα με αυτή την αρχιτεκτονική τα κύρια τμήματα που συνθέτουν τον MGCC είναι:

1. Οι μονάδες επικοινωνίας που είναι τα υποσυστήματα που τον βοηθούν να επικοινωνεί τόσο με το δίκτυο (DNO/MO) αλλά και με τους τοπικούς ελεγκτές

(LC). Στο σχήμα θεωρούμε δύο διαφορετικές μονάδες διότι έχουμε διαφορετικούς χρόνους ανταλλαγής δεδομένων καθώς και διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας.

2. Το ρολόι είναι μία βασική μονάδα η οποία απαιτείται για την δημιουργία των σημάτων συγχρονισμού. Για παράδειγμα ένα σήμα συγχρονισμού θα μπορούσε να είναι η εκκίνηση της διαδικασίας διαπραγμάτευσης για την πώληση ή αγορά ενέργειας. Η εμφάνιση του υποσυστήματος αυτού στο σχήμα δεν είναι υπερβολική αφού για πολλές λειτουργίες απαιτείται υψηλής ακρίβειας συγχρονισμός.

3. Η βάση δεδομένων περιέχει τόσο τεχνικά όσο και λειτουργικά δεδομένα. Τεχνικά δεδομένα είναι για παράδειγμα οι τεχνικές δυνατότητες των LC ενώ λειτουργικά δεδομένα είναι για παράδειγμα η τρέχουσα κατάσταση του συστήματος. Η βάση δεδομένων ουσιαστικά απλοποιεί πολλές διαδικαστικές διεργασίες του συστήματος. Για παράδειγμα ένα φορτίο θέλει να βρει ποιες μονάδες παραγωγής υπάρχουν στο σύστημα.

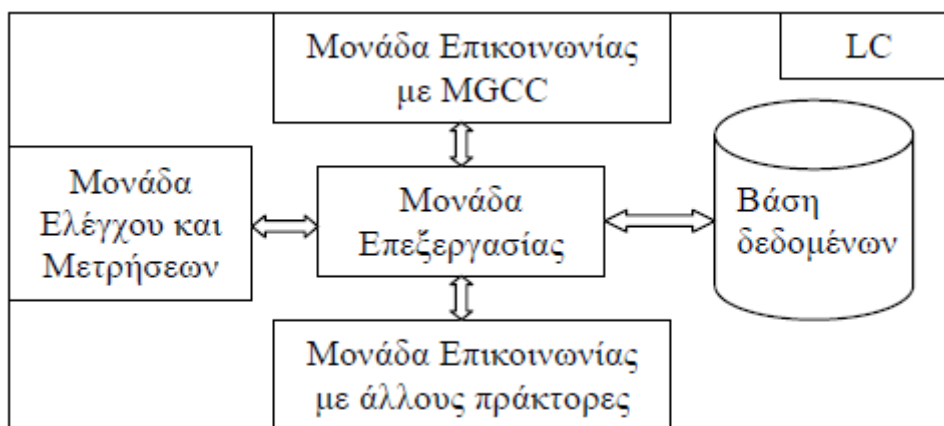
Η μία δυνατότητα είναι να ρωτήσει όλους τους LC εάν είναι διαθέσιμη μονάδα παραγωγής ή όχι. Η δεύτερη δυνατότητα είναι να απευθυνθεί στον MGCC και να ρωτήσει ποιες μονάδες έχουν δηλώσει ότι μπορούν να παράγουν ενέργεια.

4. Η μονάδα επεξεργασίας είναι η μηχανή που διαχειρίζεται τα δεδομένα και τα μηνύματα του MGCC.

Προοικονομώντας την συνέχεια, θα δούμε ότι στην πράξη ο MGCC δεν είναι μία οντότητα αλλά δύο τουλάχιστον ανεξάρτητα τμήματα.

## Η δομή του τοπικού ελεγκτή

Η αρχιτεκτονική του τοπικού ελεγκτή (Local Controller) LC παρουσιάζεται στο σχήμα 4.8 .



Σχήμα 4.8 : Η αρχιτεκτονική του τοπικού ελεγκτή

Σύμφωνα με αυτή την αρχιτεκτονική ο LC αποτελείται από:

- Οι μονάδες επικοινωνίας είναι τα υποσυστήματα που τον βοηθούν να επικοινωνεί τόσο με το κεντρικό ελεγκτή (MGCC) αλλά και με άλλους τοπικούς ελεγκτές (LC). Θεωρούμε δύο διαφορετικές μονάδες διότι έχουμε διαφορετική πληροφορία που ανταλλάσσεται στις δύο περιπτώσεις.

- Η μονάδα ελέγχου και μετρήσεων ουσιαστικά αποτελεί το κομμάτι με το οποίο ο τοπικός ελεγκτής (LC) ενώνεται με τον φυσικό κόσμο και δίνει εντολές στην μονάδα που ελέγχει αλλά και παίρνει μετρήσεις.
  - Η βάση δεδομένων περιέχει τόσο τεχνικά όσο και λειτουργικά δεδομένα. Τεχνικά δεδομένα είναι για παράδειγμα οι τεχνικές δυνατότητες των LC ενώ λειτουργικά δεδομένα είναι για παράδειγμα η τρέχουσα κατάσταση του συστήματος.
  - Η μονάδα επεξεργασίας είναι η μηχανή που διαχειρίζεται τα δεδομένα και τα μηνύματα του τοπικού ελεγκτή (LC). Προφανώς σε ένα πλήρως καταναμημένο σύστημα οι αλγόριθμοι που ενσωματώνονται στο σύστημα αυτό είναι αρκετά προηγμένοι. Και στην περίπτωση του τοπικού ελεγκτή (LC) η πλήρης κατανόηση της λειτουργίας του θα γίνει αφού δοθούν κάποιες βασικές αρχές των συστημάτων πολλαπλών ευφυών πρακτόρων.
- Στην περίπτωση του τοπικού ελεγκτή (LC) όμως το καίριο σημείο είναι η λειτουργία της μονάδας επεξεργασίας. Επιπλέον θα δούμε ότι οι προηγμένες τεχνικές επικοινωνίας που παρέχει η τεχνολογία των συστημάτων πολλαπλών ευφυών πρακτόρων όχι μόνο δικαιολογεί την ύπαρξη ανεξάρτητων τμημάτων σε ότι αφορά την επικοινωνία αλλά και το ότι ο τρόπος επικοινωνίας που θα υιοθετηθεί ενισχύει κατά ένα μεγάλο ποσοστό την ευφυΐα του συστήματος.

### **Διάγραμμα λειτουργίας του συστήματος**

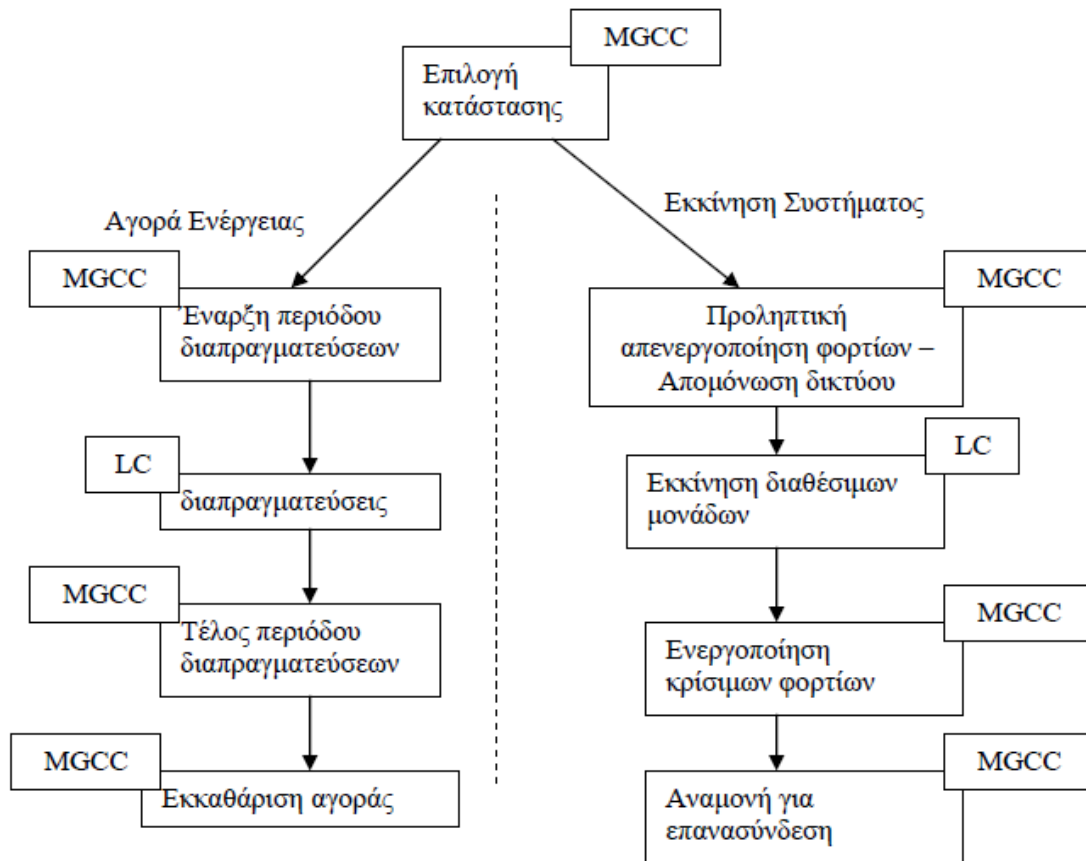
Παρακάτω θα δοθεί μια βασική περιγραφή του διαγράμματος ροής του καταναμημένου συστήματος ελέγχου δεδομένης της πολυπλοκότητας του συστήματος θα περιοριστούμε σαν παράδειγμα σε δύο βασικές λειτουργίες αυτή της αγοράς ενέργειας και της εκκίνησης μετά από διακοπή ισχύος.

Το απλοποιημένο διάγραμμα ροής φαίνεται στο σχήμα 4.9 που ακολουθεί. Στο σχήμα αυτό φαίνονται οι διάφορες φάσεις του συστήματος και το ποιος είναι ο κύριος υπεύθυνος να περατώσει κάθε μία από αυτές.

Τα πλήρη διαγράμματα ροής είναι προφανές ότι είναι εξαιρετικά σύνθετα και εκτεταμένα για να εμφανιστούν σε μία σελίδα.

Ο MGCC καλείται κάθε στιγμή να επιλέξει σε πια κατάσταση είναι το σύστημα. Εάν βρισκόμαστε σε κανονική κατάσταση λειτουργίας και είναι η στιγμή που θα πρέπει να αρχίσουν οι διαπραγματεύσεις για την διαχείριση της παραγωγής και του φορτίου θα πρέπει να στείλει τα κατάλληλα μηνύματα στους τοπικούς ελεγκτές. Αντίθετα εάν διαγνώσει ότι το σύστημα έχει διακοπή τάσης θα πρέπει να απομονώσει το δίκτυο (islanding) και να προχωρήσει στους αναγκαίους χειρισμούς για την ταχεία εκκίνηση του. Αυτό που μας λέει αυτό το σχήμα είναι ότι ο ευφυής πράκτορας καλείται να πραγματοποιήσει πολλές λειτουργίες. Το πρόβλημα λοιπόν που προσπαθούμε να επιλύσουμε δεν είναι η λύση σε κάθε ένα από αυτά αλλά το πώς θα υλοποιηθεί μία αρχιτεκτονική που θα συνδυάζει όλες αυτές τις λειτουργίες.





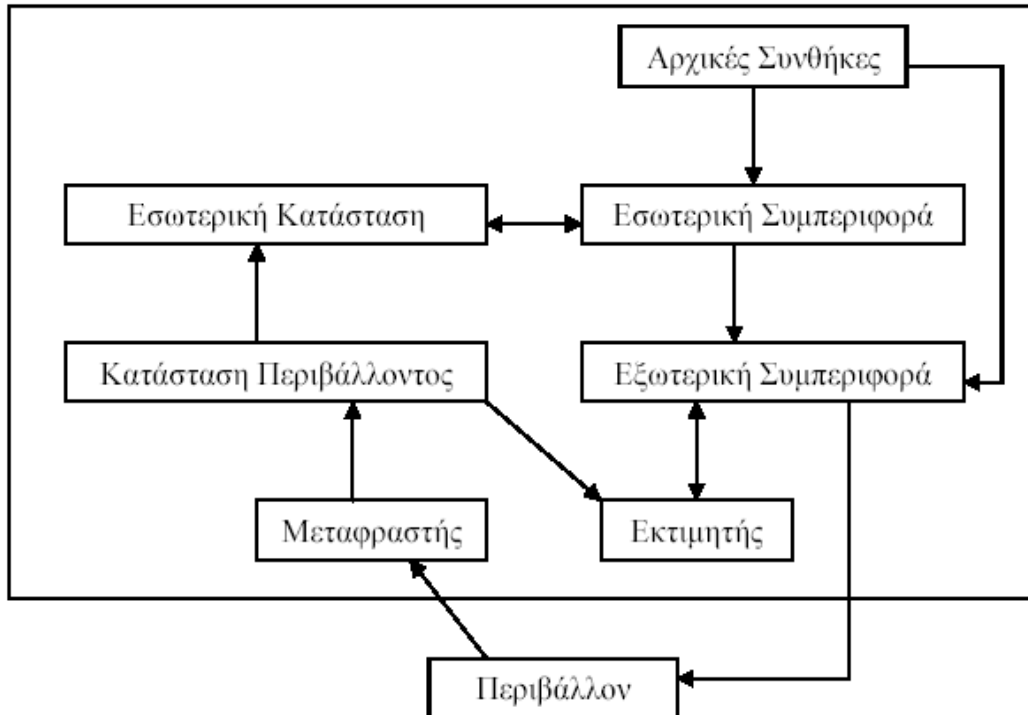
Σχήμα 4.9 : Διάγραμμα λειτουργίας του συστήματος

#### 4.17 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΥΦΥΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ

Σε ένα σύστημα ελέγχου βασισμένο στην τεχνητή νοημοσύνη ο βασικός πυρήνας είναι ο τρόπος με τον οποίο το σύστημα θα μάθει να διαχειρίζεται την γνώση του συστήματος συνολικά.

Αναφέροντας την λειτουργία του συστήματος συνολικά εννοούμε τόσο τις πολύ χαμηλές λειτουργίες όπως για παράδειγμα την παρακολούθηση της θερμοκρασίας των μπαταριών όσο και τις πολύ υψηλού επιπέδου λειτουργίες όπως αυτή της συμμετοχής στην αγορά ενέργειας.

Για αυτό τον λόγο προτείνεται το παρακάτω μοντέλο λειτουργίας του ευφυή πράκτορα όπως αυτό απεικονίζεται στο σχήμα 4.10 .



Σχήμα 4.10 : Αρχιτεκτονική του ευφυή πράκτορα

Αναλυτικά έχουμε:

**Αρχικές συνθήκες:** οι αρχικές συνθήκες είναι οι στοιχειώδεις κανόνες που διέπουν την συμπεριφορά του ευφυή πράκτορα.

Για παράδειγμα αν αυτός συμμετέχει σε μία αγορά ενέργειας τότε μία αρχική συνθήκη είναι ότι θα συνεργάζεται με τους υπόλοιπους ευφυείς πράκτορες (agents) ή αν τους ανταγωνίζεται. Σε ότι αφορά την εσωτερική λειτουργία μία αρχική συνθήκη θα μπορούσε να είναι να κλείνει αν η τάση πέσει κάτω από το 10% της ονομαστικής.

**Εσωτερική κατάσταση:** η εσωτερική κατάσταση αφορά τις εσωτερικές λειτουργίες και ελέγχους του συστήματος.

Για παράδειγμα σε μία μικροτουρμπίνα, τμήμα της εσωτερικής κατάστασης είναι οι στροφές του άξονα, των οποίων ο έλεγχος καθορίζει την ροπή του συστήματος αλλά και τον ρυθμό αλλαγής του φορτίου.

**Μεταφραστής:** ο μεταφραστής είναι το τμήμα που λαμβάνει τις μετρήσεις από τους αισθητήρες και τις μετατρέπει σε πληροφορία για την κατάσταση του εξωτερικού περιβάλλοντος.

**Εξωτερική κατάσταση:** η εξωτερική κατάσταση είναι η αντίληψη που έχει το σύστημα για τον εξωτερικό κόσμο. Ο ευφυής πράκτορας δεν έχει πλήρη γνώση του περιβάλλοντος αλλά μόνο το κομμάτι που αντιλαμβάνεται από τους αισθητήρες του.

**Εσωτερική συμπεριφορά:** η εσωτερική συμπεριφορά αφορά τις ενέργειες που πραγματοποιεί ο ευφυής πράκτορας για τον έλεγχο του συστήματος.

**Εκτιμητής:** ο εκτιμητής είναι ένα υποσύστημα το οποίο εκτιμά με βάση την συμπεριφορά του ευφυή πράκτορα την κατάσταση του περιβάλλοντος στο μέλλον.

**Εξωτερική συμπεριφορά:** η εξωτερική συμπεριφορά αφορά τις αποφάσεις του ευφυή πράκτορα που λαμβάνονται σε συνδυασμό με τους άλλους ευφυείς

πράκτορες. Η αρχιτεκτονική από παρουσιάστηκε στο σχήμα αυτό υποδηλώνει ότι ο έλεγχος θα κινείται σε δύο επίπεδα. Στο εσωτερικό όπου ο ευφυής πράκτορας θα ελέγχει μία μονάδα παραγωγής ή αποθήκευσης ενέργειας ή ένα φορτίο. Το άλλο επίπεδο του ελέγχου αφορά την ομαδική συμπεριφορά όλων των ευφυών πρακτόρων με σκοπό τον συνολικό έλεγχο του μικροδικτύου.

#### **4.18 ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ**

Όπως αναφέραμε και στις προηγούμενες παραγράφους η τεχνολογία των συστημάτων πολλαπλών ευφυών πρακτόρων θα πρέπει να θεωρηθεί ως εξέλιξη των κεντρικών συστημάτων εποπτείας και ελέγχου, γνωστά ως SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

Ο ενδιάμεσος συνδετικός κρίκος είναι τα κατανεμημένα SCADA σε περιβάλλον διαδικτύου. Την μετάβαση αυτήν δεν θα πρέπει να την αντιμετωπίσουμε σαν μεμονωμένη εξέλιξη στην τεχνολογία ελέγχου των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Θα πρέπει να ενταχθεί στην μετάβαση στα έξυπνα δίκτυα που αναφέρθηκε στο εισαγωγικό κεφάλαιο.

Η τωρινή εικόνα που υπάρχει για τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας είναι η μεταφορά ενέργειας από ένα σημείο στο άλλο μονόδρομα.

Αυτή η μορφή των δικτύων συμπληρώνεται από την κλασική μορφή της παραγωγής που βασίζεται σε μεγάλους κεντρικούς σταθμούς.

Ωστόσο όπως προαναφέρθηκε η κατάσταση αυτή αλλάζει γοργά κυρίως λόγω δύο βασικών εξελίξεων. Η πρώτη εξέλιξη είναι η δημιουργία αγορών ενέργειας ενώ η δεύτερη είναι η εγκατάσταση διεσπαρμένων μονάδων παραγωγής.

Τα δίκτυα διανομής πλέον γίνονται ενεργά δεδομένου ότι έχουν εσωτερικές μονάδες παραγωγής αλλά και η φορά της ισχύος είναι αμφίδρομη.

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε κάποιες από τις τεχνολογίες της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών (Information and Communication Technology) που πιθανόν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στον έλεγχο των έξυπνων δικτύων.

#### **4.19 Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΣΤΑ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ**

Η τεχνολογία της πληροφορικής καλείται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην λειτουργία των έξυπνων δικτύων γενικά αλλά και των μικροδικτύων.

Και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει ένα βασικό χαρακτηριστικό.

Το χαρακτηριστικό αυτό είναι ότι ο πελάτης-καταναλωτής αποκτά ενεργό ρόλο στην λειτουργία του δικτύου. Ο ρόλος είναι ενεργός είτε επειδή ενδεχομένως έχει τοπική παραγωγή είτε επειδή ελέγχει σε συνδυασμό με το τι συμβαίνει στο περιβάλλον του την συμπεριφορά του.

Σήμερα σχεδόν όλοι οι μικροί πελάτες του δικτύου και πολλοί από τους μεγάλους είναι απλά φορτία χωρίς καμία ουσιαστική συμμετοχή στην

διαχείριση του συστήματος. Η απελευθέρωση όμως της αγοράς θα οδηγήσει πιθανότατα κάποια στιγμή στην ενεργή συμμετοχή των καταναλωτών στην λειτουργία του συστήματος.

Κάτι τέτοιο δεν θα μπορεί να συμβεί αν δεν υπάρχει η κατάλληλη υποδομή για επικοινωνία και έλεγχο. Το κλασικό μοντέλο του κεντρικού συστήματος ελέγχου και εποπτείας θεωρείται πλέον ανεπαρκές.

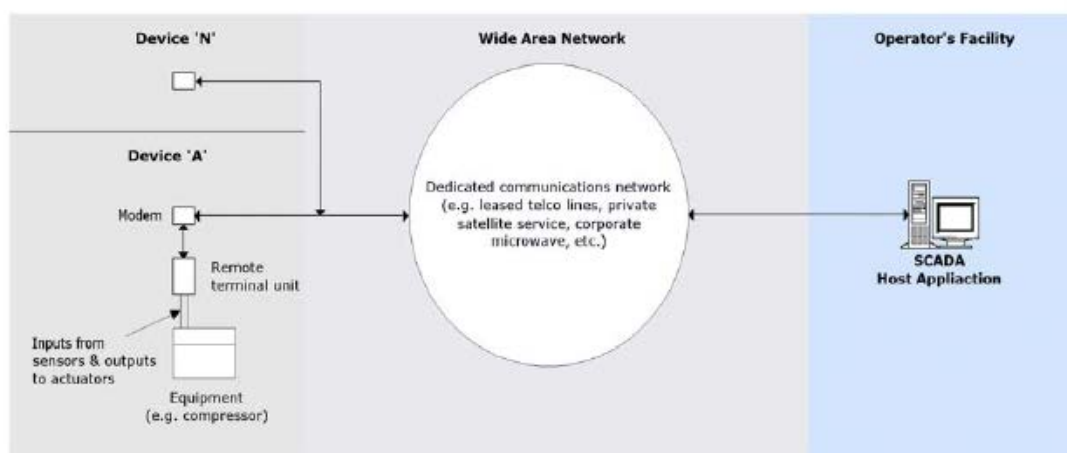
Από την μία η απελευθέρωση της αγοράς συνεπάγεται τον περιορισμό του κεντρικού ελέγχου. Από την άλλη η εισαγωγή πολλών μικρών μονάδων παραγωγής αλλά και στοιχείων ελέγχου στο δίκτυο συνεπάγεται ένα τεράστιο όγκο πληροφορίας που είναι πρακτικά αδύνατο να επεξεργαστεί σε ένα κεντρικό σημείο.

Μια από τις βασικότερες τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων χρόνων σαφώς και είναι το διαδίκτυο και οι τεχνολογίες που το ακολουθούν.

Οι ευκολίες και το χαμηλό κόστος λειτουργίας που παρέχει το διαδίκτυο σαφώς το καθιστά σαν την κύρια πλατφόρμα ανάπτυξης των όποιων συστημάτων πληροφορικής.

#### 4.20 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΟΠΤΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (SCADA)

Ο σκοπός ενός τυπικού συστήματος SCADA είναι εξ' αποστάσεως παρακολούθηση και ο έλεγχος του εξοπλισμού αλλά και η λήψη δεδομένων. Τα συστήματα SCADA συνήθως περιλαμβάνουν απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (remote terminal unit - RTU) ή απλούς προγραμματιζόμενους ελεγκτές με αισθητήρες και ελεγκτές συνδεδεμένα στον βασικό εξοπλισμό που πρόκειται να ελεγχθεί. Επιπλέον περιλαμβάνουν τηλεπικοινωνιακές γραμμές για την μεταφοράς των δεδομένων αλλά και έναν κεντρικό υπολογιστή που λαμβάνει τα δεδομένα, τα επεξεργάζεται και στην συνέχεια δίδει εντολές στις συσκευές αλλά και επικοινωνεί με τον χρήστη μέσω γραφικού περιβάλλοντος.



Εικόνα 11 : Τυπική δομή ενός συστήματος SCADA

Η πρώτη γενεά συστημάτων SCADA χρησιμοποιούσε συσκευές με περιορισμένη ή ανύπαρκτη νοημοσύνη. Οι συσκευές απλά έστελναν δεδομένα και λάμβαναν εντολές. Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας λάμβανε τα δεδομένα και στην συνέχεια τα επεξεργαζόταν. Το μοντέλο αυτό έχει αρχίσει πλέον να θεωρείται απαρχαιωμένο και ο λόγος είναι ότι πολλές διεργασίες πλέον απαιτούν την επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων. Οι λύσεις για αυτό είναι δύο. Η πρώτη λύση είναι η χρήση εξαιρετικά ισχυρών υπολογιστών αλλά και υψηλών δυνατοτήτων τηλεπικοινωνιακών γραμμών, με αποτέλεσμα βέβαια το κόστος να ανεβαίνει δραματικά. Η δεύτερη λύση είναι να κατακερματιστεί η διαδικασία ελέγχου σε πολλές μικρότερες και στην συνέχεια να καταμεριστεί σε μικρότερους υπολογιστές του εμπορίου. Επιπλέον για περαιτέρω μείωση του κόστους θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί το διαδίκτυο σαν μέσο επικοινωνίας. Η δεύτερη επιλογή είναι αυτή που υιοθετείται πλέον από όλους και σίγουρα αποτελεί τον προάγγελο των συστημάτων πολλαπλών ευφυών πρακτόρων.

#### 4.21 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΟΠΤΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

Το πλέον βασικό πρόβλημα που έχει προκύψει στα συστήματα SCADA είναι το γεγονός ότι υπάρχει μεγάλος αριθμός πρωτοκόλλων επικοινωνίας αλλά και διαφορετικού είδους εφαρμογών.

Η μεγάλη πρόκληση πλέον είναι η συνύπαρξη όλων αυτών των συστημάτων. Οι κατασκευαστές πλέον έχουν συνειδητοποιήσει τις δυνατότητες που προσφέρει σήμερα το διαδίκτυο και προσπαθούν να μεγιστοποιήσουν την χρήση του. Στην συνέχεια πέρα από την βασική τεχνολογία XML θα παρουσιαστούν και μία σειρά από πρότυπα που αφορούν κυρίως την περιοχή των τηλεπικοινωνιών και ελέγχου των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και της διεσπαρμένης παραγωγής.

##### **XML και Web services**

Η γλώσσα XML (Extensible Markup Language) σύμφωνα με το W3C (World Wide Web Consortium) είναι ουσιαστικά μια ευέλικτη διάταξη κειμένου που προέρχεται από την γλώσσα Standard Generalized Markup Language (SGML). Η XML δεν είναι ακριβώς γλώσσα προγραμματισμού, αλλά ένα σύνολο συντακτικών κανόνων και προτύπων για την περιγραφή και παράσταση δεδομένων. Η XML δεν έχει προκαθορισμένες ετικέτες όπως η γλώσσα περιγραφής ιστοσελίδων (HTML) αλλά επιτρέπει στον χρήστη την δημιουργία των δικών του δομών.

Από την στιγμή που έχει δημιουργηθεί το αρχείο με τα δεδομένα είναι έτοιμο να διανεμηθεί στους χρήστες μέσα από τα κανάλια επικοινωνίας..

Οι υπηρεσίες διαδικτύου γνωστές ως Web services είναι ένα νέο είδος ανταλλαγής δεδομένων ανάμεσα σε εφαρμογές.

Η ικανότητα να έχει κάποιος πρόσβαση σε μία απομακρυσμένη διαδικτυακή υπηρεσία και να εκτελέσει εκεί μία λειτουργία δίδει στους προγραμματιστές την δυνατότητα να παράσχουν γρήγορα υψηλών δυνατοτήτων εφαρμογές.

Με τον τρόπο αυτό ο προγραμματιστής δεν χρειάζεται να αναπτύσσει όλες τις διαδικασίες και λειτουργίες μέσα στην δική του εφαρμογή.

Οι υπηρεσίες διαδικτύου είναι ουσιαστικά αντικείμενα και μέθοδοι που μπορούν να κληθούν από οποιονδήποτε πελάτη μέσω του διαδικτύου.

Οι υπηρεσίες διαδικτύου έχουν βασιστεί στο Simple Object Access Protocol (SOAP) και αντίθετα με τα Distributed Component Object Model (DCOM) και Common Object Request Broker Architecture (CORBA) χρησιμοποιούν μηχανισμούς αποστολής μηνυμάτων μέσω του HTTP με ευρέως αποδεκτούς τρόπους περιγραφής των δεδομένων (XML).

Οι βασικές λειτουργίες αποστολής δεδομένων ή απομακρυσμένης κλήσης συναρτήσεων βασίζεται σε υπάρχουσες τεχνολογίες και επιτρέπει την χρήση διάφορων πλατφορμών. Οι υπηρεσίες διαδικτύου σε πρώτη ματιά φαίνονται να παρουσιάζουν κοινά σημεία με την λειτουργία των ευφυών πρακτόρων και ειδικότερα σε σχέση με την ιδέα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των εφαρμογών. Ωστόσο η βασική διαφορά είναι ότι στις εφαρμογές των πολλαπλών πρακτόρων η επικοινωνία δεν είναι μονόδρομη αλλά βασίζεται στην διαπραγμάτευση (negotiation).

Επιπλέον οι εφαρμογές στις υπηρεσίες διαδικτύου είναι στατικές σε αντίθεση με την αυτονομία που έχουν οι πράκτορες.

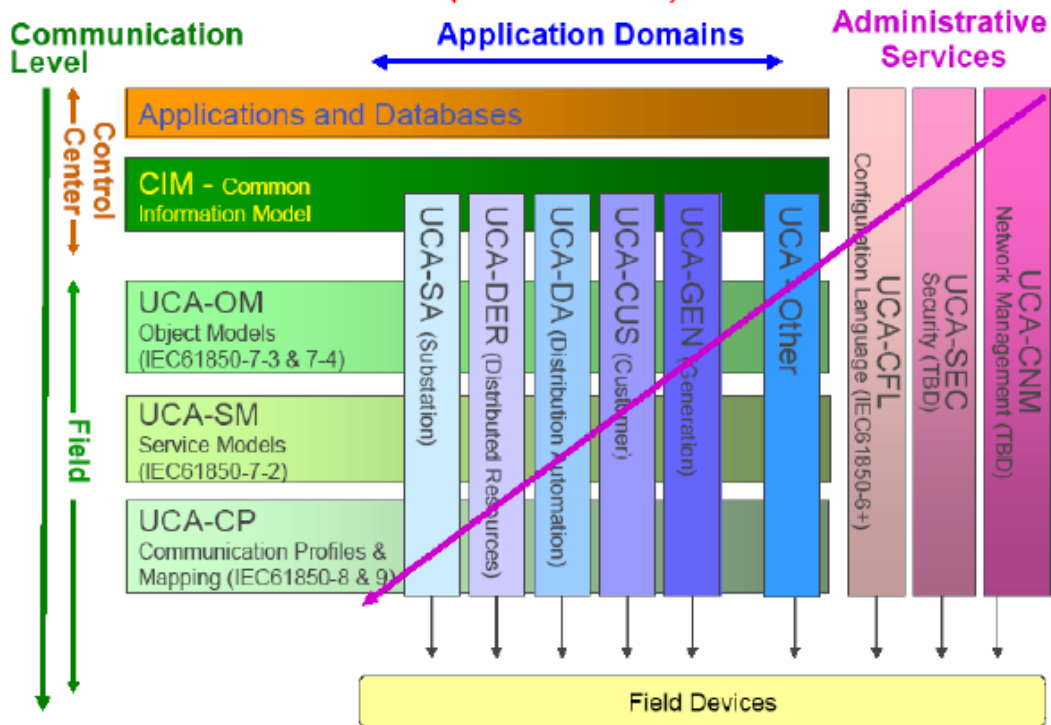
### **UCA και UCA-DER**

Η χρήση της ψηφιακής τεχνολογία στον αυτοματισμό των συστημάτων των υποσταθμών μπορεί να δώσει σημαντικές δυνατότητες αλλά και προκλήσεις. Μία βασική πρόκληση είναι η παρουσία διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο αλλά και πελατών του δικτύου με ειδικές απαιτήσεις που μέχρι τώρα δεν λαμβάνονται υπ' όψιν στα συστήματα ελέγχου των υποσταθμών αλλά και των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας γενικά.

Ο σκοπός του Utility Communications Architecture (UCA) – Object Models for Distributed Energy Resources (UCA-DER) είναι να δημιουργηθεί ένα πρότυπο με βάση το οποίο οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής θα μπορέσουν να ενταχθούν στο ευρύτερο σύστημα ελέγχου με στόχο την εποπτεία, τον έλεγχο, την συντήρηση αλλά και τον λογιστικό έλεγχο.

Το UCA-DER σκοπεύει να αποτελέσει τμήμα των ευρύτερων προτύπων του χώρου όπως φαίνεται στο σχήμα 4.11 και για αυτό τον λόγο είναι συμβατό με πρότυπα όπως το IEC61850 (UCA-SA), IEC61970 (CIM), IEC60870-5 (telecontrol protocol), and IEC60870-6 (ICCP/TASE.2)

## Utility Communications Architecture: UCA® (Still Controversial)



Σχήμα 4.11 : Η αρχιτεκτονική του UCA

Το UCA-DER έχει σαν στόχο να λάβει υπ' όψιν τις κύριες τεχνικές προκλήσεις που προέρχονται από την παρουσία διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο.

Ορισμένες από τις προκλήσεις που καλούνται να ληφθούν υπ' όψιν είναι:

- Οι μονάδες παραγωγής λειτουργούν πλέον και σαν αρνητικά φορτία αφού έχουμε την παρουσία αποθηκευτικών συστημάτων.
- Πολλές μονάδες παραγωγής καλούνται να παρακολουθήσουν και να καλύψουν ένα τοπικό φορτίο. Η παρακολούθηση δεν σημαίνει κατ' ανάγκη ότι θα είναι στιγμιαία αλλά με βάση χρονικά παράθυρα.
- Μείωση αιχμών του συστήματος.
- Διατήρηση ισχύος εφεδρείας. Χρησιμοποιώντας πολλές διεσπαρμένες μονάδες για εφεδρεία μπορεί να βοηθήσει την οικονομική λειτουργία του συστήματος.
- Παροχή ισχύος σε καταστάσεις ανάγκης.
- Επιτήρηση της τάσης.
- Βελτίωση συντελεστή ισχύος.
- Φιλική προς το περιβάλλον λειτουργία.
- Συμμετοχή σε αγορά ενέργειας.

Οι παραπάνω λειτουργίες δημιουργούν επιπρόσθετες ανάγκες στην λειτουργία του συστήματος ελέγχου και εποπτείας.

Οι βασικές ομάδες λειτουργιών που προτείνονται από το UCA-DER είναι:

1. Τοπικές λειτουργίες
2. Απομακρυσμένες λειτουργίες μεταξύ συσκευών
3. Αυτόματες λειτουργίες δικτύου διανομής
4. Λειτουργίες Επείγουσας Ανάγκης
5. Λειτουργίες Σχεδιασμού και Διαχείρισης και Συντήρησης του Συστήματος

## IEC 61850 UCA-SA

Η επιτροπή της IEC TC57 καθόρισε το πρότυπο IEC 61850 για τα δίκτυα επικοινωνιών και συστημάτων σε υποσταθμούς (Communication Networks and Systems in Substations).

Ο κύριος στόχος είναι η δημιουργία ενός προτύπου για την επικοινωνία του υλικού των υποσταθμών με τον υπόλοιπο εξοπλισμό καθώς και τα SCADA. Το IEC 61850 βασίζεται σε ευρέως διαδεδομένες τεχνολογίες διαδικτύου όπως το Ethernet και το TCP/IP.

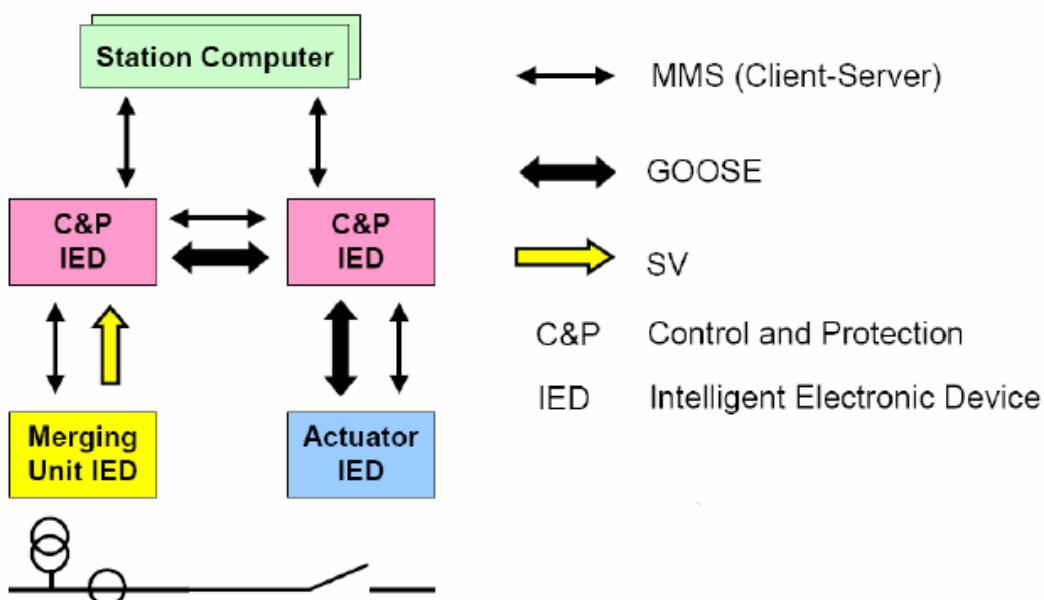
Το σχήμα παρουσιάζει τις βασικές υπηρεσίες επικοινωνιών του IEC 61850, οι υπηρεσίες αυτές είναι απαραίτητες για την επικοινωνία μεταξύ των ευφυών ηλεκτρονικών συσκευών (Intelligent Electronic Devices IED) αλλά και των άλλων υπολογιστικών συστημάτων που διαθέτει ο υποσταθμός (SCADA).

Να επισημάνουμε ότι με τον όρο ευφυής ηλεκτρονική συσκευή εννοούμε οποιαδήποτε συσκευή η οποία έχει έναν ή περισσότερους επεξεργαστές. Η πληροφορία που ανταλλάσσουν περιέχει λειτουργικά δεδομένα (π.χ. τάσεις, συχνότητα κλπ.) αλλά και πληροφορίες ρύθμισης (π.χ. χρόνοι απόκρισης προστασιών). Σε σχέση με την λειτουργία του υποσταθμού υπάρχουν δύο βασικές απαιτήσεις:

- Η μετάδοση μεγάλου όγκου πληροφοριών όπως μετρήσεις τάσεως και ρεύματος. Η μετάδοση γίνεται κυκλικά με συνεχή ροή και θα πρέπει να ορίζονται προτεραιότητες.

Για τα υψηλής προτεραιότητας δεδομένα η καθυστέρηση δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 4ms αριθμός που σχετίζεται με τους χρόνους ενεργοποίησης των προστασιών του υποσταθμού.

- Η μετάδοση εντολών ενεργοποίησης διακοπών (trip) και άλλων σημάτων ελέγχου απαιτεί εξαιρετικά υψηλή ταχύτητα και αξιοπιστία που σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να επηρεάζεται από άλλες ροές δεδομένων.



Σχήμα 4.12 : Οι βασικές υπηρεσίες επικοινωνιών του IEC 61850



Για τον λόγο αυτό τρεις βασικές κατηγορίες επικοινωνιών έχουν οριστεί:

- SV (Sampled Values) .ειγματοληπτικές τιμές που αφορά μετρήσεις τάσεως και ρεύματος και απαιτούν την μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων με προτεραιότητες, κυκλικά και με κοινά πρότυπα.
- GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) οι εντολές ενεργοποίησης διακοπών (trip) και άλλων σημάτων ελέγχου απαιτούν την μετάδοση με εξαιρετικά υψηλή ταχύτητα και αξιοπιστία και με κοινά πρότυπα
- MMS (Manufacturing Message Specification) Λειτουργικές πληροφορίες των συσκευών που απαιτούν χαμηλή προτεραιότητα.

Επιπλέον το πρότυπο δίδει ιδιαίτερη προσοχή σε θέματα συγχρονισμού των συσκευών.

## **CIM**

Το πρότυπο Common Information Model – CIM ανήκει στην σειρά IEC 61970 και καθορίζει μία μέθοδο διασύνδεσης εφαρμογών (API Application Program Interface) και βασίζεται στην εργασία του EPRI Control Center API (CCAPI). Ο ρόλος του προτύπου αυτού είναι να μπορούν να συνδυαστούν εφαρμογές λογισμικού από διαφορετικούς κατασκευαστές σε ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας (EMS Energy Management System).

Οι βασικοί στόχοι είναι:

- Να μειωθεί το κόστος ανάπτυξης εφαρμογών για ενεργειακά συστήματα.
- Να είναι δυνατή η χρήση των υπάρχοντων δοκιμασμένων συστημάτων.

Το CIM είναι ουσιαστικά ένα αφαιρετικό αντικειμενοστραφές μοντέλο που περιγράφει όλα τα αντικείμενα που περιλαμβάνονται σε ένα ηλεκτρικό σύστημα καθώς και μία επιχείρηση ηλεκτρισμού.

Παρέχει μία πρότυπη μέθοδο περιγραφής του υλικού σαν αντικείμενα λογισμικού με τις ιδιότητες καθώς και τις σχέσεις τους.

Η πολυπλοκότητα ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι τεράστια.

Το μοντέλο CIM έχει αναπτυχθεί σε γλώσσα UML (Unified Modeling Language) .

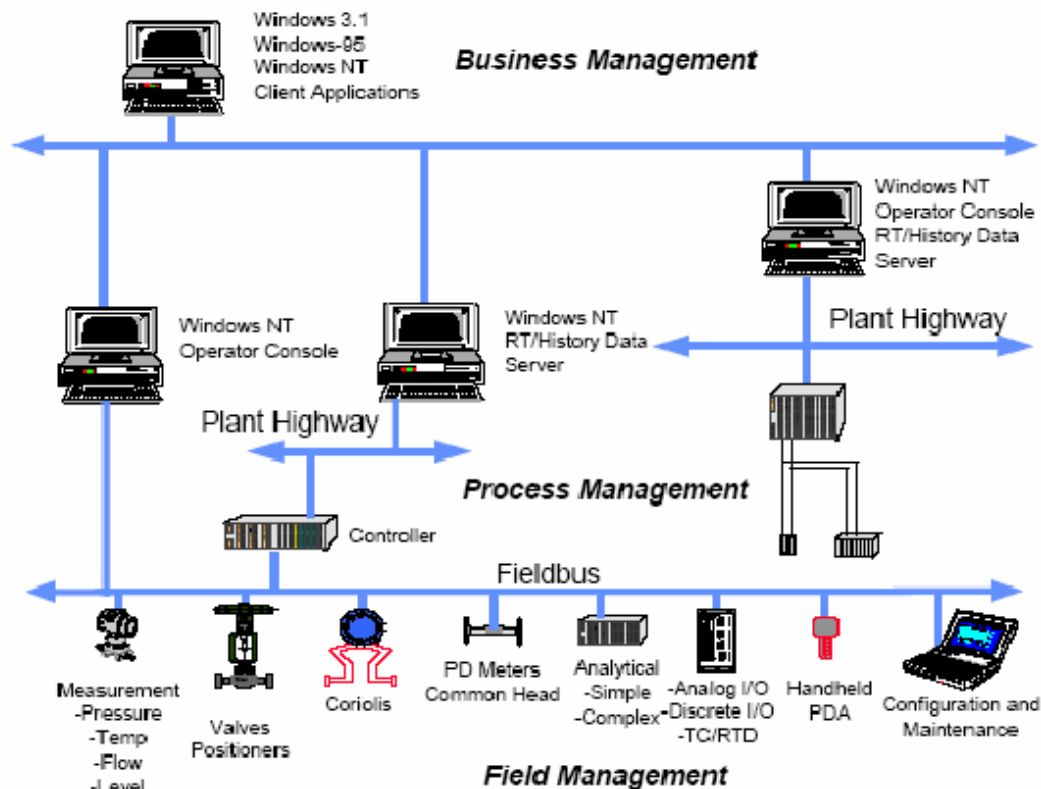
## **OPC**

Το ακρωνύμιο OPC σημαίνει Object Linking and Embedding for Process Control δηλαδή χρήση της τεχνολογίας διασύνδεσης αντικειμένων της Microsoft σε εφαρμογές ελέγχου διαδικασιών.

Πρόκειται για έναν μηχανισμό που επιτρέπει την επικοινωνία πολλών πηγών δεδομένων.

Μία πηγή δεδομένων μπορεί να είναι μία βάση δεδομένων ή μία συσκευή.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος πληροφοριών όπως φαίνεται στο σχήμα 4.13



Σχήμα 4.13 : Τα επίπεδα οργάνωσης του ελέγχου διαδικασιών

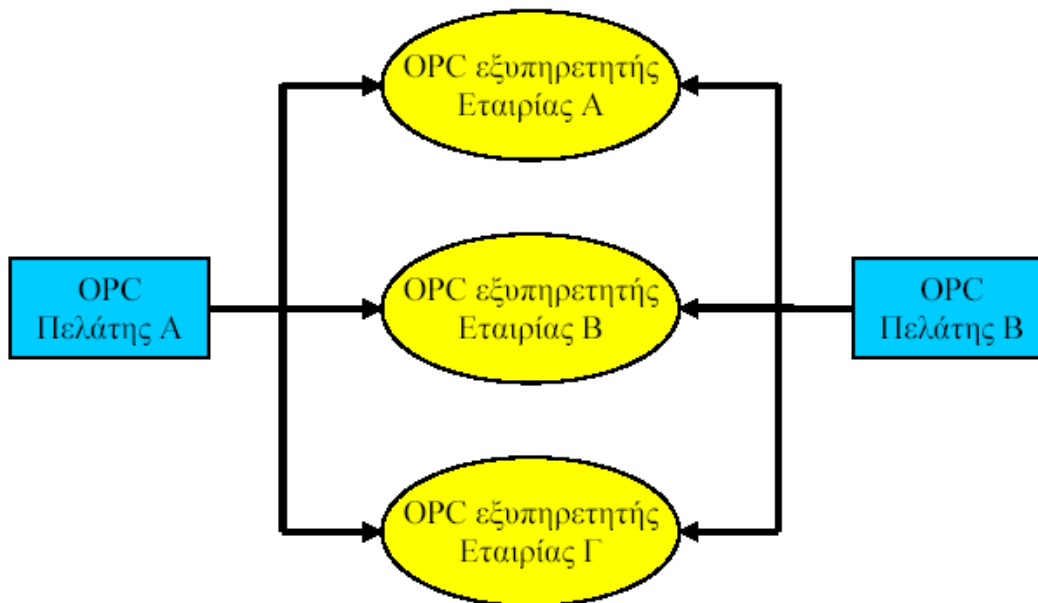
Προκειμένου να λειτουργήσει το μοντέλο αυτό θα πρέπει να είναι διαθέσιμη η πληροφορία σε όλα τα επίπεδα του συστήματος.

Ο σκοπός του OPC είναι να παράσχει ένα τέτοιο εργαλείο με ανοιχτή αρχιτεκτονική που θα επιτρέπει την επικοινωνία των διαφόρων εφαρμογών του συστήματος χρησιμοποιώντας τις υπάρχουσες μορφές επικοινωνίας και κυρίως τα τοπικά δίκτυα Ethernet καθώς και το διαδίκτυο. Η δομή του OPC βασίζεται κυρίως στην αρχιτεκτονική πελάτης/εξυπηρετητής (client/server).

Ο εξυπηρετητής είναι η εφαρμογή που παρέχει τις πληροφορίες ενώ ο πελάτης είναι αυτός που τα χρησιμοποιεί.

Η κατασκευή του συστήματος βασίζεται στην τεχνολογία COM της Microsoft και χρησιμοποιεί διασυνδέσεις για την επικοινωνία των εφαρμογών.

Οι εξυπηρετητές παρέχονται από διάφορους κατασκευαστές και οι βασικές προδιαγραφές είναι να είναι συμβατοί με τα πρότυπα που θέτει το ίδρυμα για το OPC .



Σχήμα 4.14 : Τα επίπεδα οργάνωσης του ελέγχου διαδικασιών

Το βασικό μειονέκτημα μέχρι πριν λίγο καιρό του OPC ήταν η χρήση της τεχνολογίας DCOM (Distributed COM) η οποία έχει αποδειχτεί ανασφαλής σε περιβάλλον διαδικτύου.

Για τον λόγο αυτό στις νέες εκδόσεις των πελατών/εξυπηρετητών χρησιμοποιείται η τεχνολογία XML.

## 4.22 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ SCADA ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΥΟ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Η πρώτη εφαρμογή αφορά την ανάπτυξη ενός συστήματος SCADA για την εποπτεία και τον έλεγχο των μικροπηγών του εργαστηρίου συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Οι βασικοί στόχοι ήταν δυο:

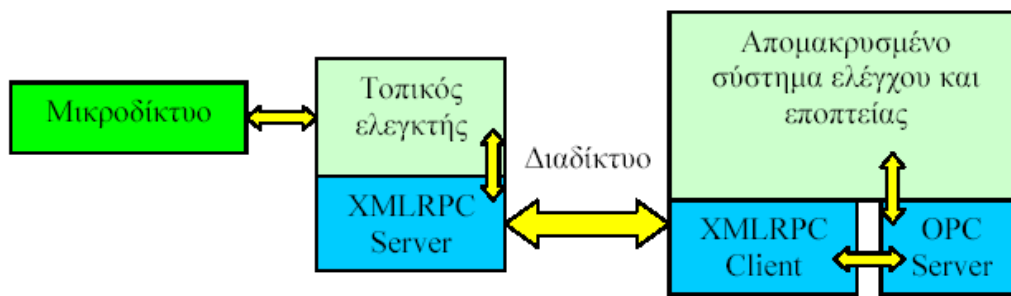
Ο πρώτος ήταν ότι υπήρχε απαίτηση για την συνολική παρακολούθηση και τον έλεγχο του μικροδικτύου μέσα από ένα εύχρηστο γραφικό περιβάλλον.

Ο δεύτερος στόχος ήταν η δοκιμή διαφόρων νέων τεχνολογιών σε ότι αφορά την επικοινωνία με τις μικροπηγές και ειδικά εστίασαμε στην τεχνολογία OPC.

Η βάση του συστήματος SCADA είναι το πακέτο WinCC v6.0 της Siemens το οποίο είναι ουσιαστικά μία διασύνδεση ανθρώπου μηχανής (HMI Human Machine Interface) και το οποίο λειτουργεί σε περιβάλλον Windows.

Το WinCC παρέχει μία σειρά από εργαλεία για την οπτικοποίηση και τον έλεγχο της διεργασίας και επιπλέον χρησιμοποιεί σημαντικές λειτουργίες για την διασύνδεση με το διαδίκτυο.

Η διασύνδεση του WinCC με τις μικροπηγές βασίστηκε στον OPC Server που παρείχε η SMA για τα συστήματά της.



Σχήμα 4.15 : Απλή αρχιτεκτονική του συστήματος

Το σύστημα SCADA συνδέεται με τον υπολογιστή επικοινωνεί κατευθείαν με τους αντιστροφείς του μικροδικτύου.

Ο τοπικός υπολογιστής έχει εγκατεστημένο έναν XMLRPC server.

Στο απομακρυσμένο σύστημα που είναι εγκατεστημένο το SCADA τρέχει ένας δεύτερος OPC server που έχει παράλληλα και έναν XMLRPC client.

Το SCADA συνδέεται στον OPC server.

Από την υλοποίηση αυτή εξήχθησαν ορισμένα πολύ σημαντικά συμπεράσματα:

1. Το πρώτο από τα βασικά πλεονεκτήματα της εφαρμογής αυτής είναι ότι κατέστη δυνατός ο έλεγχος και η παρακολούθηση του μικροδικτύου από απόσταση μέσω του διαδικτύου χρησιμοποιώντας απλές τεχνολογίες.
2. Το δεύτερο βασικό συμπέρασμα αφορά το θέμα της ασφάλειας των δικτύων επικοινωνίας το οποίο θα πρέπει να είναι σημαντικό τμήμα της ανάπτυξης των όποιων συστημάτων ελέγχου πάνω από το διαδίκτυο.

Η δεύτερη εφαρμογή αφορά την διασύνδεση του SCADA της AREVA e-terra με την πλατφόρμα EMS MORE CARE.

Το MORE CARE είναι ένα προηγμένο σύστημα διαχείρισης ενέργειας που απευθύνεται σε απομονωμένα ηλεκτρικά δίκτυα και στοχεύει στην βέλτιστη εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το MORE CARE είναι προϊόν ερευνητικής δραστηριότητας που με χρηματοδότηση από την ευρωπαϊκή ένωση.

Το MORE CARE αποτελείται από μία σειρά πακέτων λογισμικού που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη

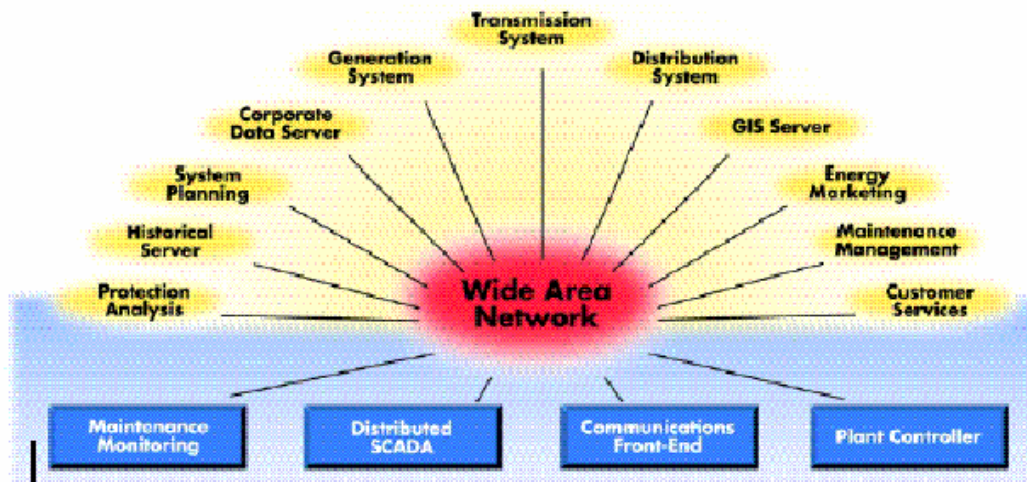
Το SCADA της AREVA με το όνομα e-Terra είναι ένα προηγμένο σύστημα που απευθύνεται σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

Χρησιμοποιεί εκτεταμένα τις τεχνολογίες του διαδικτύου και διαθέτει πλήθος λειτουργιών όπως φαίνεται στο σχήμα 4.16 .

Είναι ένα πλήρως καταναμημένο σύστημα και εξασφαλίζει απόλυτα ασφαλή και ομαλή λειτουργία.

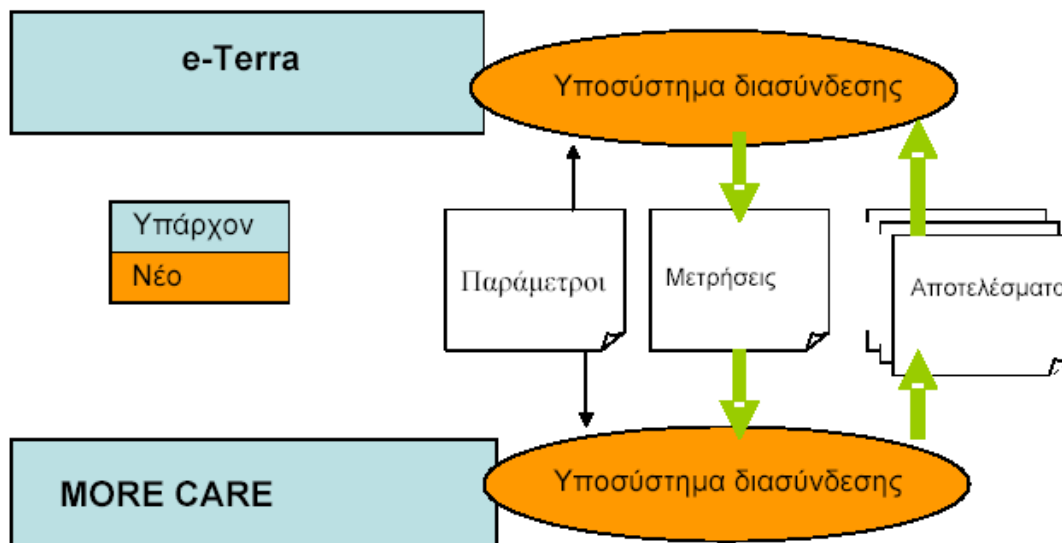
Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος DISPOWER αναπτύχθηκε μία εφαρμογή για την ένταξη των λειτουργιών του MORE CARE στο SCADA e-Terra. Η ανταλλαγή των δεδομένων βασίστηκε σε web services και στην τεχνολογία XML. Η βασική δουλειά ήταν να αναπτυχθούν οι διασυνδέσεις με

τις οποίες θα ανταλλάσουν δεδομένα οι δύο εφαρμογές, καθώς και οι ορισμοί (DTD Document Type Definition) των XML αρχείων.



Σχήμα 4.16 : Οι βασικές λειτουργίες του e-Terra

Επιπλέον τμήματα του γραφικού περιβάλλοντος του MORE CARE τροποποιήθηκαν σαν ανεξάρτητα ActiveX components με ενσωματωμένους XML parsers με σκοπό την εμφάνιση των δεδομένων στο γραφικό περιβάλλον του e-Terra.



Σχήμα 4.17 : Η διασύνδεση των δύο συστημάτων

Από το σχήμα 4.17 βλέπουμε τρεις ροές δεδομένων

1. **Παράμετροι:** που αφορούν το ποια δεδομένα ανταλλάσουν τα δύο συστήματα.
2. **Μετρήσεις:** που αφορούν τις μετρήσεις πραγματικού χρόνου που στέλνει το e-Terra στο MORE CARE.
3. **Αποτελέσματα:** που αφορούν την εξαγωγή των αποτελεσμάτων του MORE CARE προς το e-Terra.

Επιπλέον αναπτύχθηκε ένας προσομοιωτής με βάση το ηλεκτρικό σύστημα της Κρήτης προκειμένου να δοκιμαστεί το σύστημα.

Από την εφαρμογή αυτή εξήχθησαν μια σειρά από σημαντικά πρακτικά συμπεράσματα.

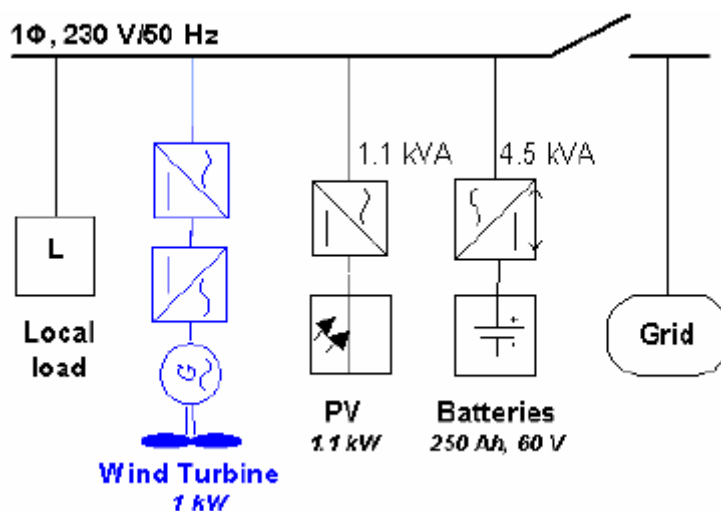
- Το πρώτο και βασικό συμπέρασμα είναι ότι η τεχνολογία XML δίνει σημαντικές δυνατότητες σε ότι αφορά την ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων με εύκολο και σαφή τρόπο.
- Το δεύτερο βασικό θέμα ήταν η ανάπτυξη του τμήματος εκείνου του συστήματος που αφορά τον συγχρονισμό των δύο εφαρμογών και για την ακρίβεια έχουμε μία real time εφαρμογή (e-terra) και μία εφαρμογή online (MORE CARE). Σε ένα σύστημα ελέγχου που αφορά καταναλωμένες εφαρμογές, ο συγχρονισμός είναι ίσως το δυσκολότερο τεχνικά τμήμα. Ειδικότερα όταν έχουμε εφαρμογές που χτίζονται πάνω στην τεχνολογία του διαδικτύου.

#### 4.23 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

Η σύνθεση του συστήματος φαίνεται στο σχήμα 4.18. Παρακάτω ακολουθεί μία φωτογραφία του πραγματικού συστήματος.

Πρόκειται για ένα αρθρωτό σύστημα που αποτελείται από μια φωτοβολταϊκή συστοιχία 1.1 kW (10\*110W) σαν κύρια πηγή ενέργειας, μία μικρή ανεμογεννήτρια 1kW, μία συστοιχία μπαταριών 250Ah/4.5kW μία μικρή φωτοβολταϊκή γεννήτρια 110 W και διάφορα ελεγχόμενα φορτία.

Επίσης παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία του συστήματος περιληπτικά. Οι μικροπηγές είναι συνδεδεμένες παράλληλα σε ένα ζυγό AC μέσω αντιστροφών.



Σχήμα 4.18 : Σύνθεση του συστήματος



Εικόνα 12 : Το εργαστηριακό μικροδίκτυο

### **Στοιχείο Περιγραφή**

Γεννήτρια PV 1 10 Στοιχεία κρυστάλλου πυριτίου 110W/12V

Αντιστροφέας SMA/Sunny Boy/1100 W

Γεννήτρια PV 2 1 Στοιχεία κρυστάλλου πυριτίου 110W/12V

Αντιστροφέας Soladin 120 W

Μπαταρία Κυψέλες: Μολύβδου- οξέος, 30 Κυψέλες, 2 V, 250/370 Ah

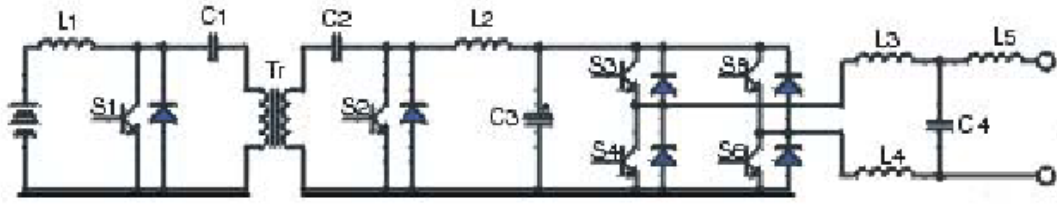
Αντιστροφέας: SMA/Sunny Island/4.5 kVA

Ανεμόγεννήτρια 1 AC κινητήρας 1.1kW

Αντιστροφέας SMA/Windy Boy/1100 W

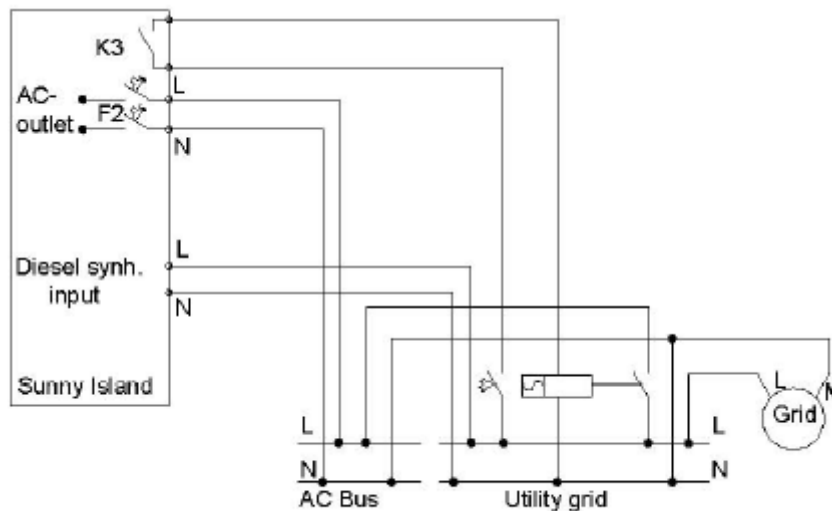
Φορτία Παθητικά, φωτισμός, κινητήρας ελεγχόμενα

Ο αντιστροφέας των μπαταριών λειτουργεί σε κατάσταση ελέγχου τάσης (voltage control mode) , δηλαδή ελέγχει την συχνότητα, το πλάτος και την γωνία της τάσης όταν το μικροδίκτυο λειτουργεί σε απομονωμένη κατάσταση (“grid-forming”). Αντίστοιχα όταν το μικροδίκτυο λειτουργεί παράλληλα με το δίκτυο τότε η συχνότητα, το πλάτος και η γωνία της τάσης καθορίζονται από το δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή λειτουργεί ο αντιστροφέας σαν ακόλουθος του δικτύου (“grid-following”).



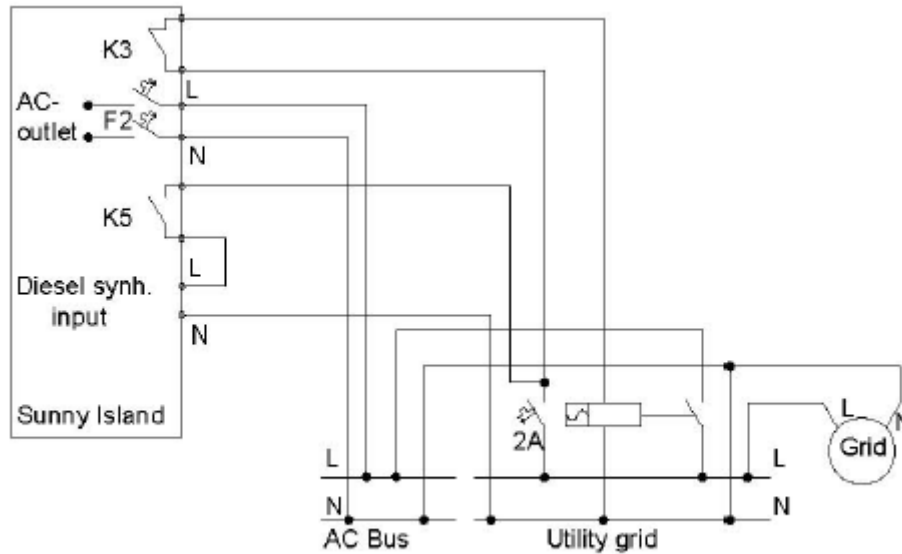
Σχήμα 4.19 : Το κύκλωμα ισχύος του αντιστροφέα

Οι αντιστροφείς των φωτοβολταϊκών επιτελούν λειτουργία MPPT (Maximum Power Point Tracking) προσπαθώντας να μεγιστοποιήσουν την ισχύ εξόδου τους. Οι αντιστροφείς αυτοί δεν συμμετέχουν στον έλεγχο της συχνότητας ή της τάσης. Η αρχική σύνδεση του αντιστροφέα Sunny Island φαίνεται στο σχήμα. Η βασική ιδέα της σύνθεσης του σχήματος αυτού είναι να γίνει απομόνωση της λειτουργίας του συστήματος όταν το δίκτυο θα παρουσιάσει πρόβλημα. Για τον σκοπό αυτό η αντίστοιχη είσοδος του αντιστροφέα που ονομάζεται “Diesel synch. input” όταν εντοπίσει απώλεια του δικτύου δίνει εντολή στον K3 να ανοίξει. Με την επαναφορά του δικτύου, ο αντιστροφέας Sunny Island εντοπίζει την τάση στον K3 και δίνει αντίστοιχη εντολή να κλείσει. Με τον τρόπο αυτό η απώλεια του δικτύου γινόταν αυτόματα αντιληπτή και έτσι το μικροδίκτυο μεταφερόταν σε κατάσταση απομόνωσης. Το πρόβλημα που υπήρχε όμως ήταν ότι η μετάβαση γινόταν με μικρή διακοπή της τάσης εντός του μικροδικτύου.



Σχήμα 4.20 : Αρχική σύνδεση στο μικροδίκτυο





Σχήμα 4.21 : Νέα σύνδεση στο μικροδίκτυο

Στην συνέχεια αναβαθμίστηκε το πρόγραμμα του ελεγκτή και ακολουθείται η τοπολογία που φαίνεται στο σχήμα στο οποίο η μετάβαση από την συνδεδεμένη κατάσταση με το δίκτυο προς την απομονωμένη γίνεται με την χρήση του διακόπτη K5 ο οποίος οδηγεί την είσοδο “Diesel synch input”. Όταν η είσοδος αυτή δεν βλέπει τάση τότε ο αντιστροφέας απομονώνει το μικροδίκτυο. Αντίστροφα όταν βλέπει τάση θεωρεί ότι το κυρίως δίκτυο επανήλθε και προσπαθεί να συνδεθεί σε αυτό.

Η μετάβαση με τον τρόπο αυτό γίνεται χωρίς διακοπή.

Το πρόβλημα ωστόσο είναι ότι η λειτουργία αυτή δεν μπορεί να εντοπίσει βλάβες στο κυρίως δίκτυο. Οπότε η μετάβαση εξασφαλίζεται αν δεν υπάρχει βλάβη στο δίκτυο. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό απαιτείται πολύ γρήγορη μέτρηση και εντοπισμός του σφάλματος στο δίκτυο.

Σε ότι αφορά τον έλεγχο των φορτίων χρησιμοποιήθηκε ένα PLC (Programmable Logic Controller) της Siemens και επιπλέον μία κάρτα εισόδων εξόδων για υπολογιστή. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε και ένας πίνακας με ηλεκτρονόμους 24V/230V προκειμένου να οδηγούνται τα φορτία.

Ο πίνακας συνδέεται με την κάρτα εισόδων εξόδων χρησιμοποιώντας ενδιαμέσους ηλεκτρονόμους 5 σε 24V

Επίσης χρησιμοποιήθηκαν μια σειρά από φορτία.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ**

#### **5.1 ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ**

Τα ηλεκτρικά δίκτυα μέσης τάσης εντάσσονται στα δίκτυα διανομής και έχουν ως σκοπό την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τους υποσταθμούς που μετατρέπουν την υψηλή τάση (Υ.Τ.) σε μέση τάση (Μ.Τ.) στους καταναλωτές μέσης τάσης ή στους υποσταθμούς που μετατρέπουν την μέση τάση σε χαμηλή τάση (Χ.Τ.). Έτσι η ηλεκτρική ενέργεια ξεκινά από τους σταθμούς παραγωγής, όπου παράγεται χρησιμοποιώντας κάποια πηγή ενέργειας, όπως π.χ. λιγνίτη ή πετρέλαιο, και μέσω του δικτύου μεταφοράς φτάνει ως τους υποσταθμούς Υ.Τ./Μ.Τ.. Κατόπιν διανέμεται σε μια ευρύτερη περιοχή μέσω των δικτύων μέσης τάσης τροφοδοτώντας υποσταθμούς Μ.Τ./Χ.Τ. και καταναλωτές Μ.Τ.. Τελικά, φτάνει μέσω των δικτύων διανομής Χ.Τ. στους οικιακούς καταναλωτές και γενικά στους καταναλωτές Χ.Τ.. Η ονομαστική ενδεικνυόμενη τιμή  $V_{n,rms}$  των δικτύων Υ.Τ. στη Ελλάδα είναι 400KV ΚΑΙ 150KV , Μ.Τ. 6,6KV, 15KV, 20KV, ή 22KV και των δικτύων Χ.Τ. 400V. Τα περισσότερα δίκτυα Μ.Τ. έχουν σήμερα ονομαστική ενδεικνυόμενη τιμή τα 20KV. Στόχος των διευθύνσεων διανομής της ΔΕΗ είναι τελικά όλα τα δίκτυα Μ.Τ. να γίνουν 20KV.

Τα δίκτυα διανομής Μ.Τ. έχουν συνήθως ακτινική τοπολογία και όχι βροχοειδή, σε αντίθεση με τα δίκτυα μεταφοράς. Αυτό σημαίνει ότι από ένα υποσταθμό 150/20 ξεκινούν κάποιες βασικές γραμμές, πάνω στις οποίες συνδέονται άλλες δευτερεύουσες γραμμές, προκειμένου να καταλήξουν σε ένα υποσταθμό 20/0.4.

#### **5.2 ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ**

Τα δίκτυα μέσης τάσης αποτελούνται από τα ακόλουθα στοιχεία:

1. Εναέριες γραμμές και καλώδια μεταφοράς
2. Κολώνες ή πύργους για στήριξη των εναέριων γραμμών ή των υποσταθμών Μ.Τ. /Χ.Τ.
3. Μετασχηματιστές 20/0.4KV
4. Στοιχεία προστασίας

## 5. Διατάξεις χειρισμών

Η ανάλυση των παραμέτρων βασίστηκε σε δύο τύπους στοιχείων , αυτά που αποτελούν κόμβους και αυτά που αποτελούν δίθυρα.

### 5.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Για να αποτυπώσουμε το ηλεκτρικό δίκτυο μέσης τάσης χρησιμοποιήσαμε **κωδικοποίηση κόμβων**.

Αυτό σημαίνει ότι η αναφορά όλων των στοιχείων θα γίνεται με βάση τους κόμβους, οι οποίοι θα είναι κωδικοποιημένοι με μοναδικό κωδικό αριθμό. Μεταξύ δύο κόμβων θα μπορεί να υπάρχει ένα ή περισσότερα δίθυρα στοιχεία.

Δίθυρα στοιχεία θεωρούμε όλα τα μη σημειακά στοιχεία του ηλεκτρικού δικτύου, όπως τις γραμμές, τα καλώδια, τα στοιχεία προστασίας, τους πυκνωτές και τους μετασχηματιστές.

### 5.4 ΟΙ ΚΟΜΒΟΙ

Κόμβο θεωρούμε κάθε σημείο της γραμμής μεταφοράς (ή καλωδίου) ενός δικτύου όπου παρουσιάζεται μια τουλάχιστον ασυνέχεια.

Πιο συγκεκριμένα, κόμβους θεωρούμε τα σημεία που:

1. Αλλάζει ο τύπος της γραμμής (ή του καλωδίου) ως προς τη διανομή ή το σχήμα της
2. Από γραμμή περνάμε σε καλώδιο (ειδική περίπτωση της προηγούμενης) και αντίστροφα
3. Υπάρχει διακλάδωση της γραμμής με περισσότερες γραμμές
4. Αλλάζει η όδευση της γραμμής, για παράδειγμα σε ένα γωνιακό σημείο
5. Τερματίζει τη γραμμή (εκτός του τερματισμού σε μετασχηματιστή)

Σε αντιστοιχεία με τις παραπάνω περιπτώσεις θεωρούμε τους ακόλουθους τύπους κόμβων:

1. Κόμβος διακλάδωσης. Αυτή είναι και η πιο συνηθισμένη περίπτωση που συναντάται.

2. Κόμβος αλλαγής τύπου γραμμής, διατομής ή σχήματος κολόνας ή πύργου.
3. Κόμβος τερματισμού γραμμής. Σε αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να υπάρχει πεδίο που να μπορεί να καταγραφεί αν στον κόμβο αυτό συνδέεται καταναλωτής ΜΤ, καθώς και τα τεχνικά στοιχεία αυτού.
4. Κόμβος γείωσης. Θα αναφέρεται στα μοντέλα με αριθμό 0.
5. Κόμβος χαμηλής τάσης. Θα αναφέρεται στα μοντέλα με αριθμό – 1. Αυτός ο τύπος κόμβου θα χρησιμοποιηθεί στα δίθυρα μοντέλα για τον μετασχηματιστή.
6. Κόμβος υποσταθμού. Αναγκαστικά είναι ένας σε κάθε περιοχή.
7. Κόμβος παραγωγής. Θα χαρακτηρίζει τις μικρές μονάδες παραγωγής που συνδέονται απευθείας στο δίκτυο Μ.Τ.

Μια διαφορετική προσέγγιση θα ήταν να θεωρούμε στην εφαρμογή κόμβο κάθε πραγματικό κόμβο, δηλαδή να καταγράφονται όλες οι κολόνες του δικτύου.

Η κωδικοποίηση των κόμβων γίνεται με μοναδικούς κωδικούς αριθμούς.

Έτσι οι κόμβοι αποτελούν το πρωτεύον όρισμα βάσης.

Στην πρώτη καταγραφή του δικτύου οι γειτονικοί κόμβοι θα έχουν διαδοχική αρίθμηση. Σε οποιαδήποτε όμως μελλοντική τροποποίηση των στοιχείων του δικτύου, η παραπάνω κατάσταση ενδεχομένως να αλλάξει, καθώς ένας επιπλέον κόμβος μεταξύ των δύο προηγούμενων θα έχει τελείως ανεξάρτητη αρίθμηση από αυτούς. Αυτό δεν επηρεάζει την μοντελοποίηση καθώς η γειτνίαση ή μη των κόμβων προσδιορίζεται από την μεταξύ τους ζεύξη ή μη με ένα δίθυρο στοιχείο και όχι από τους κωδικούς αριθμούς αυτών.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η ψηφιοποίηση του ηλεκτρικού δικτύου μέσης τάσης μπορεί να βασιστεί στους προαναφερθέντες τύπους κόμβων και στο ενιαίο δίθυρο μοντέλο.

## 5.5 ΔΙΘΥΡΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Δίθυρα στοιχεία στην ηλεκτροτεχνία χαρακτηρίζουμε όλα τα στοιχεία που έχουν δύο θύρες.

Τα δίθυρα στοιχεία συνδέονται μεταξύ των κόμβων και ανάλογα με την κατασκευή τους αναλαμβάνουν έναν συγκεκριμένο ρόλο.

Μερικά δίθυρα στοιχεία που υπάρχουν είναι τα εξής:

- \* Γραμμές και καλώδια
- \* Μετασχηματιστές
- \* Πυκνωτές αντιστάθμισης
- \* Στοιχεία προστασίας

Όλα τα δίθυρα στοιχεία ανάλογα με τον τύπο του στοιχείου προστίθενται ή αφαιρούνται στον πίνακα ιδιοτήτων αυτού μερικά ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.

### 5.5.1 Η ΓΡΑΜΜΗ ΚΑΙ ΤΟ ΚΑΛΩΔΙΟ

Μια γραμμή μεταφοράς ξεκινά από ένα σημείο, καταλήγει σε ένα άλλο και έχει ως σκοπό την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από το ένα σημείο στο άλλο. Αποτελείται από τα στοιχεία προστασίας στην αρχή και στο τέλος της, τους αγωγούς και τις κολώνες ανάρτησης των αγωγών.

Η γραμμή μεταφοράς μέσης τάσης αποτελείται από 3 αγωγούς, τις 3 φάσεις και η διάταξή τους είναι συνήθως οριζόντια.

Το μοντέλο της γραμμής μεταφοράς κωδικοποιείται με βάση το ενιαίο δίθυρο μοντέλο. Θεωρούμε ότι σε κάθε γραμμή υπάρχουν δύο στοιχεία προστασίας, ένα στην αναχώρηση της και ένα στον τερματισμό της.

Οι πληροφορίες που πρέπει να καταγραφούν για κάθε γραμμή είναι οι ακόλουθες:

- \* Ο τύπος της γραμμής
- \* Χαρακτηριστικά μεγέθη της γραμμής όπως ωμική αντίσταση  $R$ , επαγωγική αντίδραση  $X$  και χωρητική αντίδραση  $C$
- \* Μήκος της γραμμής
- \* Σημείο αναχώρησης και άφιξης
- \* Σημεία προστασίας της γραμμής
- \* Διαθεσιμότητα ή μη
- \* Ιδιοκτησία της γραμμής. Συνήθως είναι η ΔΕΗ Α.Ε. αλλά σε περιπτώσεις ιδιωτικών επιχειρήσεων διανομής μπορεί να διαφοροποιείται

## 5.5.2 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ

Τα βασικά στοιχεία που πρέπει να καταγραφούν για έναν μετασχηματιστή είναι τα ακόλουθα:

- \* Ο τύπος του μετασχηματιστή, δηλαδή αν είναι αστέρα τριγώνου (Dy), τριγώνου γειωμένου αστέρα κ.τ.λ.
- \* Η ενδεικνυόμενη τιμή της ονομαστικής τάσης του πρωτεύοντος τυλίγματος του μετασχηματιστή  $V_1, \text{rms}$
- \* Η ενδεικνυόμενη τιμή της ονομαστικής τάσης του δευτερεύοντος τυλίγματος του μετασχηματιστή  $V_2, \text{rms}$
- \* Η ονομαστική ισχύς
- \* Η τάση βραχυκυκλώσεως
- \* Η αντίδραση διαρροής
- \* Οι απώλειες σε κενό, δηλαδή οι απώλειες σιδήρου και δινορευμάτων
- \* Οι απώλειες υπό φορτίο, για την ονομαστική φόρτιση
- \* Ο τύπος του, δηλαδή ελαίου ή ξηρός
- \* Τα στοιχεία προστασίας του μετασχηματιστή

Δεν χρειάζεται να καταγράψουμε τα ονομαστικά ρεύματα του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος τυλίγματος του μετασχηματιστή διότι υπολογίζονται από την ονομαστική τάση λειτουργίας και την ονομαστική ισχύ του. Επίσης εάν καταγράψουμε την αντίδραση διαρροής δεν χρειάζεται να καταγράψουμε τις απώλειες με φορτίο. Η αντίδραση διαρροής ή αντίδραση σκέδασης είναι σε σειρά με το πρωτεύον τυλίγμα και διαρρέεται από το ονομαστικό ρεύμα πρωτεύοντος, οπότε αυτές μπορούν να υπολογιστούν. Ο κόμβος άφιξης του μετασχηματιστή χαρακτηρίζεται ως κόμβος χαμηλής τάσης.

## 5.5.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Τα στοιχεία προστασίας χρησιμεύουν στην προστασία του δικτύου μέσης τάσης από περιπτώσεις βραχυκυκλωμάτων, υπερφορτίσεων ή άλλων φαινομένων που διαταράσσουν την ομαλή λειτουργία του συστήματος. Σαν στοιχείο προστασίας θεωρείται και ο απλός διακόπτης. Στα δίκτυα μέσης τάσης συναντούμε τα ακόλουθα στοιχεία προστασίας:

- \* Διακόπτης φορτίου
- \* Ασφαλειαποζεύκτης
- \* Διακόπτης αυτόματης επαναφοράς(Δ/ΑΕ) ή recloser
- \* Αποζεύκτης
- \* Ασφάλεια Μ.Τ.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός στοιχείου προστασίας είναι:

- \* Η ενδεικνυόμενη τιμή της ονομαστικής τάσης λειτουργίας του
- \* Η ενδεικνυόμενη τιμή της ονομαστικής έντασης λειτουργίας του
- \* Η μέγιστη ισχύς διακοπής
- \* Το μέγιστο ρεύμα διακοπής
- \* Το επίπεδο μόνωσης
- \* Ο αριθμός των επαναφορών, αν πρόκειται για recloser
- \* Ο χρόνος για κάθε επαναφορά, αν πρόκειται για recloser

Τα στοιχεία προστασίας τοποθετούνται στα άκρα ενός δίθυρου στοιχείου, δηλαδή στα άκρα της γραμμής ή του μετασχηματιστή.

#### 5.5.4 ΕΓΚΑΡΣΙΟΙ ΠΥΚΝΩΤΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ

Στα δίκτυα διανομής μέσης τάσης συχνά τοποθετούνται εγκάρσιοι πυκνωτές αντιστάθμισης προκειμένου να αντισταθμίσουν την άεργο ισχύ που απαιτούν οι καταναλωτές του δικτύου. Έτσι η άεργος ισχύς δεν μεταφέρεται μέσω του δικτύου στις καταναλώσεις αλλά παράγεται τοπικά.

Αυτό έχει ως συνέπειες λιγότερες θερμικές απώλειες στα δίκτυα και υποστήριξη της τάσης των κόμβων. Ο ένας ακροδέκτης του πυκνωτή συνδέεται με τη φάση και ο άλλος με τη γη. Οι τριφασικοί πυκνωτές αντιστάθμισης συνδέονται κατά αστέρα, με γειωμένο τον ουδέτερο, ή κατά τρίγωνο. Για τους πυκνωτές χρειάζεται να καταγράψουμε:

- \* Το σημείο σύνδεσης. Πρόκειται για ένα, καθώς το άλλο σημείο είναι η γη
- \* Τα ονομαστικά Var άεργου ισχύος που προσφέρουν στο δίκτυο
- \* Την ενδεικνυόμενη τιμή της ονομαστικής τάσης λειτουργίας τους
- \* Την χωρητικότητά τους

## 5.6 ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

### ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

Θα γίνει αναφορά σε μια σειρά από στοιχεία που αφορούν τους υποσταθμούς Μ.Τ. καθώς και την σύνδεση παραγωγών στο δίκτυο Μ.Τ.

#### 5.6.1 Γενικές Αρχές και Προϋποθέσεις Σύνδεσης

Η σύνδεση παραγωγών στο δίκτυο διανομής είναι αποδεκτή όταν δεν επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα ισχύος που παρέχεται στους άλλους συνδεόμενους, δεν διαταράσσει την ορθή λειτουργία των μέσων ρύθμισης και προστασίας του δικτύου και δεν δημιουργεί προβλήματα ασφάλειας σε πρόσωπα και άλλες εγκαταστάσεις.

Είναι αυτονόητο ότι η βασικότερη προϋπόθεση για τη σύνδεση εγκαταστάσεων παραγωγής στο δίκτυο είναι η επάρκεια των στοιχείων του δικτύου (υποσταθμού, μετασχηματιστών και γραμμών).

Εάν οι υφιστάμενες γραμμές δεν επαρκούν (ή εάν προκύπτουν ανεπίτρεπτες διαταραχές στην τάση του δικτύου), τότε εξετάζονται κατά σειρά οι ακόλουθες λύσεις:

- Ενίσχυση του υφιστάμενου δικτύου Μ.Τ.
- Απ' ευθείας σύνδεση στους ζυγούς Μ.Τ. του Υ/Σ Υ.Τ./Μ.Τ. μέσω αποκλειστικής γραμμής
- Προσθήκη νέου Μ/Σ Υ.Τ. / Μ.Τ. και
- Κατασκευή ιδιαίτερου Υ/Σ Υ.Τ. / Μ.Τ. (οπότε η σύνδεση πραγματοποιείται απ' ευθείας στο δίκτυο Υ.Τ.)

Ο τρόπος σύνδεσης μιας δεδομένης εγκατάστασης παραγωγής δεν προκύπτει μονοσήμαντα από την ονομαστική ισχύ της.

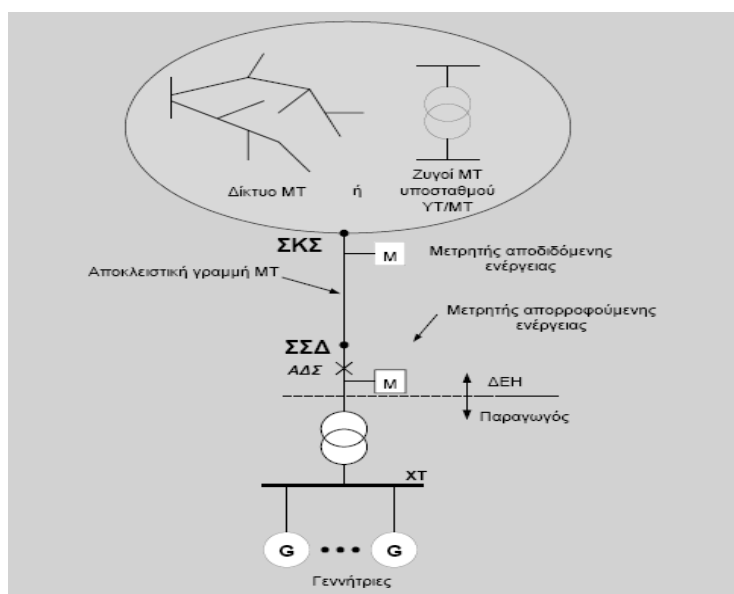
Δηλαδή σταθμοί παραγωγής ίδιας ισχύος μπορεί να συνδέονται στο δίκτυο κατά τελείως διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με τα ειδικά τεχνικά τους χαρακτηριστικά, την κατά περίπτωση υφιστάμενη κατάσταση δικτύων και την προβλεπόμενη ανάπτυξή τους.

Όσον αφορά τις επιπτώσεις στην ποιότητα τάσης του δικτύου, κριτήρια και προϋποθέσεις που εξετάζονται προκειμένου να επιτραπεί η σύνδεση νέων εγκαταστάσεων είναι οι προκαλούμενες αργές και ταχείες διακυμάνσεις της τάσης, καθώς και οι εκπομπές flicker και αρμονικών.



Η εξέταση πραγματοποιείται στο Σ.Κ.Σ.<sup>1</sup>, το οποίο δεν βρίσκεται κατ' ανάγκην στην έξοδο των εγκαταστάσεων (δηλαδή δεν συμπίπτει με το Σ.Σ.Δ.<sup>2</sup>).

Σχηματικά τα παρακάτω αποδίδονται ως ακολούθως:



Εικόνα 13 : Σ.Σ.Δ. και Σ.Κ.Σ. για μια τυπική περίπτωση σύνδεσης παραγωγού στο Δίκτυο Μ.Τ.

Εάν οι απαιτήσεις που τίθενται, και οι οποίες θα αναφερθούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια παρακάτω, δεν ικανοποιούνται πρέπει να επιλεγεί σημείο σύνδεσης με μεγαλύτερη ισχύ βραχυκυκλώσεως (σημείο πλησιέστερο προς τον υποσταθμό, επαύξηση της ικανότητας του δικτύου μέσω ενισχύσεων ή κατασκευής νέων γραμμών ή σύνδεση στους ζυγούς του Υ/Σ μέσω αποκλειστικής γραμμής). Στην περίπτωση μεγάλων εγκαταστάσεων παραγωγής μπορεί να είναι αναγκαία η σύνδεση στο Σύστημα Υ.Τ. μέσω ανεξάρτητου Μ/Σ Υ.Τ. / Μ.Τ. ή ιδιαίτερου Υ/Σ Υ.Τ. / Μ.Τ.

<sup>1</sup> Είναι το πλησιέστερο προς τις εγκαταστάσεις του παραγωγού σημείο του δικτύου, στο οποίο συνδέεται (ή μπορεί να συνδεθεί μελλοντικά) άλλος καταναλωτής ή παραγωγός. Το Σ.Κ.Σ. αποτελεί το σημείο αναφοράς για τον προσδιορισμό των προκαλούμενων επιπτώσεων στο δίκτυο από την εγκατάσταση παραγωγής.

<sup>2</sup> Είναι το σημείο του δικτύου Μ.Τ. ή Χ.Τ. όπου συνδέονται οι εγκαταστάσεις του παραγωγού και βρίσκεται πάντοτε στην έξοδο των εγκαταστάσεων αυτών. Στο Σ.Σ.Δ. εγκαθίσταται η διάταξη μέτρησης της ενέργειας την οποία απορροφούν οι εγκαταστάσεις του παραγωγού από το δίκτυο της ΔΕΗ. Η ενέργεια που αποδίδει ο παραγωγός στο δίκτυο και αυτή που απορροφά από το δίκτυο ως καταναλωτής, μεταφέρεται πάντοτε μέσω της ίδιας παροχής.

## 5.6.2 Μέσα Ζεύξης και Προστασίας

Τα μέσα ζεύξης / απόζευξης και προστασίας της διασύνδεσης παραγωγού-δικτύου έχουν ιδιαίτερη σημασία για την εξασφάλιση της συνεργασίας με τις διατάξεις προστασίας του δικτύου και την αποφυγή επικίνδυνων καταστάσεων. Συγκεκριμένα, το σύστημα προστασίας του παραγωγού θα πρέπει να συνεργάζεται με το σύστημα προστασίας του δικτύου, ώστε σφάλματα σε οποιαδήποτε πλευρά να ανιχνεύονται σωστά και να εκκαθαρίζονται. Οι ρυθμίσεις των προστασιών θα πρέπει να εξασφαλίζουν την άμεση απόζευξη των γεννητριών σε περίπτωση σφάλματος, ώστε να μην υφίσταται κίνδυνος απομονωμένης λειτουργίας των εγκαταστάσεων (ενδεχομένως με τμήμα του δικτύου). Για την προστασία των εγκαταστάσεων παραγωγής από υψηλές υπερεντάσεις και μηχανικές καταπονήσεις, όταν στο δίκτυο χρησιμοποιούνται διατάξεις αυτόματου επανοπλισμού, η απόζευξη θα πρέπει να επιτυγχάνεται πριν τη λειτουργία επαναφοράς των διακοπών του δικτύου.

Προκειμένου να αποφευχθούν κίνδυνοι για το προσωπικό που μπορεί να εκτελεί εργασίες σε τμήμα του δικτύου κοντά στις εγκαταστάσεις παραγωγής, θα πρέπει να εξασφαλίζεται η αυτόματη ή χειροκίνητη απομόνωση των εγκαταστάσεων του παραγωγού, όποτε αυτό είναι αναγκαίο. Επίσης ζητείται η διασύνδεση να διαθέτει μέσο ορατής απόζευξης, με ικανότητα διακοπής ρεύματος φορτίου, προσιτό ανά πάσα στιγμή στο προσωπικό της ΔΕΗ.

Η ζεύξη περισσότερων γεννητριών σε ένα σημείο σύνδεσης (Σ.Σ.Δ.) είναι εφικτή και αποδεκτή, πρέπει όμως να λαμβάνεται πρόνοια ώστε να αποφεύγεται η ταυτόχρονη εκκίνησή τους. Στην περίπτωση εγκαταστάσεων με ασύγχρονες γεννήτριες, για την αποφυγή υπερεντάσεων και βυθίσεων της τάσης του δικτύου, οι γεννήτριες δεν παραλληλίζονται άμεσα στο δίκτυο, αλλά εκκινούν μέσω ηλεκτρονικού εκκινήτη. Εάν χρησιμοποιούνται σύγχρονες γεννήτριες ή μετατροπείς ελεγχόμενης τάσης εξόδου, τότε είναι αναγκαία η ύπαρξη διάταξης παραλληλισμού (κατά προτίμηση αυτόματου), η οποία επιτρέπει τη ζεύξη των εγκαταστάσεων μόνο όταν οι συνθήκες φασικής απόκλισης των διανυσμάτων των τάσεων εκατέρωθεν του διακόπτη διασύνδεσης (Α.Δ.Δ.<sup>3</sup>) το επιτρέπουν.

Εγκαταστάσεις παραγωγής που συνδέονται στο δίκτυο συμβάλλουν στην ένταση σφαλμάτων, αυξάνοντας έτσι τη στάθμη βραχυκύκλωσης. Η συμβολή αυτή λαμβάνεται υπόψη, ώστε να μην υπερβαίνεται το όριο αντοχής του εξοπλισμού του δικτύου. Ταυτόχρονα, ο εξοπλισμός των εγκαταστάσεων

---

<sup>3</sup> Είναι το στοιχείο εκείνο που επιτρέπει τη ζεύξη ή απομόνωση των εγκαταστάσεων παραγωγής από το δίκτυο. Ο Α.Δ.Δ. ελέγχεται μέσω κατάλληλου εξοπλισμού (ηλεκτρονόμων προστασίας).

πρέπει να είναι προδιαγεγραμμένος για τη στάθμη βραχυκύκλωσης του δικτύου στο σημείο όπου συνδέονται (Σ.Σ.Δ.).

Πιο συγκεκριμένα η σύνδεση εγκατάστασης παραγωγής (ή εγκατάστασης καταναλωτή που περιλαμβάνει μονάδες παραγωγής) στο δίκτυο γίνεται μέσω διάταξης ζεύξης, η οποία πρέπει να διαθέτει τη δυνατότητα διακοπής ρεύματος φορτίου, να περιλαμβάνει μέσο ορατής απόζευξης και να είναι ανά πάσα στιγμή προσιτή στο προσωπικό της ΔΕΗ. Όπως και στην περίπτωση των καταναλωτών Μ.Τ., η διάταξη ζεύξης πρέπει να διαθέτει τα αναγκαία μέσα προστασίας έναντι βραχυκυκλωμάτων στο εσωτερικό των εγκαταστάσεων, τα οποία πρέπει να συνεργάζονται με τα μέσα προστασίας του δικτύου της ΔΕΗ.

Σε εγκαταστάσεις παραγωγής με περισσότερες από μία μοναδιαίες εγκαταστάσεις, οι οποίες συνδέονται στον υποσταθμό ζεύξης μέσω εσωτερικού δικτύου Μ.Τ. (π.χ. αιολικά πάρκα), συνιστάται η εγκατάσταση προτασσόμενης προστασίας απόζευξης, η οποία αποσυνδέει κεντρικά το σύνολο των εγκαταστάσεων παραγωγής. Η προστασία αυτή πρέπει να επενεργεί σε διακόπτη ισχύος, ο οποίος μπορεί να αναλάβει και τη λειτουργία της διάταξης ζεύξης.

Για την επιλογή των διατάξεων ζεύξης πρέπει να ληφθεί υπόψη η μέγιστη ισχύς βραχυκυκλώσεις, στην οποία συμβάλλει τόσο το δίκτυο όσο και οι μονάδες των γεννητριών (ιδιαίτερα στην περίπτωση εγκαταστάσεων με σύγχρονες γεννήτριες). Η στάθμη βραχυκυκλώσεις που προκύπτει δεν πρέπει να υπερβαίνει το όριο των 250 MVA. Σε αντίθετη περίπτωση ο παραγωγός πρέπει να λαμβάνει μέτρα περιορισμού του ρεύματος βραχυκύκλωσης των εγκαταστάσεών του.

Για τις γειώσεις του υποσταθμού ζεύξης της εγκατάστασης θα εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στις σχετικές Οδηγίες της ΔΕΗ (π.χ. Οδηγία Διανομής 34). Γενικά, η μέθοδος γείωσης των εγκαταστάσεων παραγωγών θα είναι αυτή που εφαρμόζει η ΔΕΗ, δηλαδή η ουδετέρωση (εκτός ορισμένων περιοχών της Αττικής, όπου εφαρμόζεται ακόμα η άμεση γείωση). Επίσης, πρέπει να υφίσταται η δυνατότητα γείωσης μέσω καταλλήλων συσκευών των στοιχείων που πρέπει να γειώνονται για την εκτέλεση εργασιών.

### **5.6.3 Αυτόματος Διακόπτης Διασύνδεσης (Α.Δ.Δ.)**

Για τη σύνδεση των μονάδων παραγωγής με το δίκτυο της ΔΕΗ, ή με την υπόλοιπη εγκατάσταση, πρέπει να εγκατασταθεί διακόπτης με ικανότητα διακοπής τουλάχιστον ρεύματος φορτίου (διακόπτης ισχύος, ασφαλειοδιακόπτης φορτίου, επαφίας με ασφάλειες προστασίας έναντι βραχυκυκλωμάτων), ο οποίος εξασφαλίζει τον γαλβανικό διαχωρισμό όλων των φάσεων. Ο διακόπτης αυτός αναφέρεται ως Αυτόματος Διακόπτης

Διασύνδεσης (Α.Δ.Δ.) και σε αυτόν επενεργεί το σύστημα προστασίας απόζευξης που θα δούμε παρακάτω.

Ως Α.Δ.Δ. μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο διακόπτης που συνδέει την όλη εγκατάσταση με το δίκτυο (οπότε και είναι εγκατεστημένος στον Υ/Σ ζεύξης), ή διακόπτης που συνδέει τις εγκαταστάσεις παραγωγής με την υπόλοιπη εγκατάσταση. Ο Α.Δ.Δ. μπορεί γενικά να βρίσκεται στην πλευρά Μ.Τ. ή Χ.Τ.. Σε εγκαταστάσεις που δεν διαθέτουν τη δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας, τον ρόλο του Α.Δ.Δ. μπορεί να παίξει ο διακόπτης της γεννήτριας (ή των γεννητριών), εφόσον διαθέτει την απαιτούμενη προστασία απόζευξης. Εάν προβλέπεται η δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας των εγκαταστάσεων, τότε ο Α.Δ.Δ. εγκαθίσταται στο όριο των εγκαταστάσεων που λειτουργούν απομονωμένα και πρέπει να διαθέτει σύστημα συγχρονισμού ακριβείας για τον παραλληλισμό με το δίκτυο.

#### **5.6.4 Προστασία Απόζευξης**

Για την προστασία της εγκατάστασης του παραγωγού, αλλά και άλλων συνδεδεμένων εγκαταστάσεων, απαιτείται η τοποθέτηση συστήματος προστασίας απόζευξης, το οποίο επενεργεί στον Α.Δ.Δ. της εγκατάστασης παραγωγής και εξασφαλίζει την άμεση απόζευξή της όταν εμφανιστούν ανεπίτρεπτες διακυμάνσεις της τάσης και της συχνότητας.

Εάν η εγκατάσταση παραγωγής συνδέεται σε γραμμή Μ.Τ. με σύστημα αυτόματης επανάζευξης, τότε είναι αναγκαίο το σύστημα προστασίας απόζευξης να αποσυνδέει τις μονάδες παραγωγής οπωσδήποτε πριν από τη λειτουργία επαναφοράς του διακόπτη<sup>4</sup>.

Το σύστημα προστασίας απόζευξης περιλαμβάνει προστασίες υπότασης, υπέρτασης, υποσυχνότητας και υπερσυχνότητας.

Η επιτήρηση της τάσης πρέπει να γίνεται και στις τρεις φάσεις ενώ η επιτήρηση της συχνότητας αρκεί να γίνει μόνο σε μια φάση. Ενδεικτικά παρουσιάζουμε τον παρακάτω πίνακα προστασίας απόζευξης μιας εγκατάστασης παραγωγής (οι τιμές σε παρένθεση αφορούν τα νησιωτικά συστήματα):

---

<sup>4</sup> Εάν κατά τον επανοπλισμό του διακόπτη οι γεννήτριες δεν έχουν αποσυνδεθεί και άρα το απομονωμένο τμήμα του δικτύου βρίσκεται υπό τάση, μπορεί να προκληθούν ανεπίτρεπτες μηχανικές καταπονήσεις στις γεννήτριες λόγω των αναπτυσσόμενων μεταβατικών ταλαντώσεων της ροπής. Ο κίνδυνος αυτός είναι μεγαλύτερος για σύγχρονες γεννήτριες μέσου και μεγάλου μεγέθους.

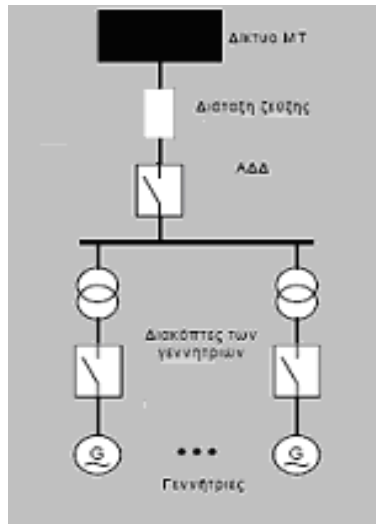
Τύπος Ηλεκτρονόμου	Περιοχή Ρύθμισης Τιμής Διέγερσης	Ενδεικτική Τιμή Διέγερσης	Ενδεικτική Τιμή Χρονικής Καθυστέρησης
Υπότασης (mV)	$0,70 \cdot U_n \div 1,00 \cdot U_n$	$0,90 \cdot U_n$	0,3 sec
Υπέρτασης (mV)	$1,00 \cdot U_n \div 1,15 \cdot U_n$	$1,10 \cdot U_n$	0,3 sec
Υποσυχνότητας (mf)	$48 \div 50$ Hz	49,5 (48) Hz	0,3 sec
Υπερσυχνότητας (Mf)	$50 \div 52$ Hz	50,5 (51)Hz	0,3 sec

Πίνακας 2 : Πίνακας προστασίας απόζευξης μιας εγκατάστασης παραγωγής

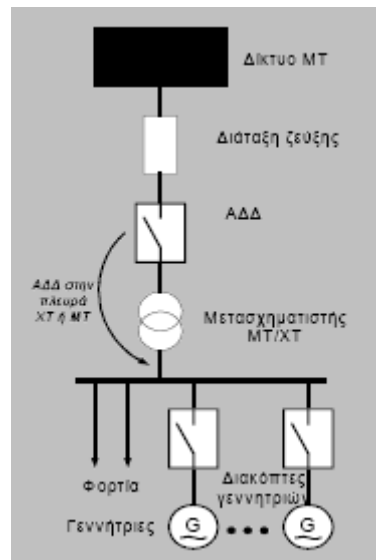
Οι συγκεκριμένες ρυθμίσεις των τιμών διέγερσης και των χρονικών καθυστερήσεων του συστήματος προστασίας επιλέγονται λαμβάνοντας υπ' όψιν την ανάγκη της ταχύτερης δυνατής απόζευξης σε περίπτωση σφάλματος στο δίκτυο Μ.Τ.. Για μονάδες παραγωγής που εγκαθίστανται σε αυτόνομα νησιωτικά συστήματα εφαρμόζουμε ελαστικότερη ρύθμιση των ορίων τάσης και συχνότητας λόγω των αυξημένων διακυμάνσεων τους.

Το σύστημα προστασίας απόζευξης μπορεί να περιλαμβάνει και επιτήρηση της ομοπολικής συνιστώσας της τάσης,  $U_0$ , για την ανίχνευση σφαλμάτων γης επί της γραμμής όπου συνδέεται η εγκατάσταση παραγωγής. Μπορεί ακόμη να διαθέτει ηλεκτρονόμο υπερέντασης για την ανίχνευση της τροφοδότησης εξωτερικών σφαλμάτων από την εγκατάσταση παραγωγής, εφόσον όμως μπορεί να εξασφαλιστεί η επιλογική του συνεργασία με τα λοιπά μέσα προστασίας έναντι υπερεντάσεων της εγκατάστασης και η μη διέγερσή του από τα ρεύματα ζεύξης αυτής.

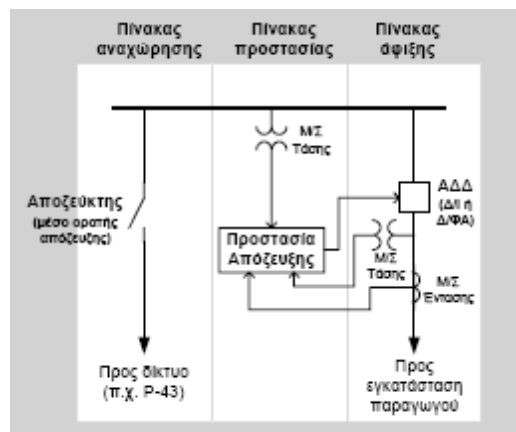
Έχοντας όλα τα ανωτέρω υπ' όψιν μας παρουσιάζουμε στα σχήματα που ακολουθούν κάποια παραδείγματα σύνδεσης εγκαταστάσεων παραγωγής στο δίκτυο Μ.Τ. και καθώς και μια ενδεικτική διαμόρφωση του Υ/Σ ζεύξης μιας εγκατάστασης παραγωγής.



Εικόνα 14 : Εγκατάσταση Παραγωγής με Κεντρικό Διακόπτη Διασύνδεσης με Προτασόμενη Προστασία Απόζευξης



Εικόνα 15 : Εγκατάσταση Παραγωγής με Δυνατότητα Απομονωμένης Λειτουργίας



Εικόνα 16 : Ενδεικτική Διαμόρφωση του Υ/Σ ζεύξης Εγκατάστασης Παραγωγής

Σε εγκαταστάσεις παραγωγής μεγάλου μεγέθους μπορεί να εφαρμοστεί αλληλένδεση (transfer trip) του Α.Δ.Δ. της εγκατάστασης με τον διακόπτη στην αναχώρηση της γραμμής Μ.Τ.. Με τον τρόπο αυτόν εξασφαλίζεται η άμεση απόζευξη της εγκατάστασης για οποιαδήποτε διαταραχή προκαλεί το άνοιγμα του διακόπτη της γραμμής και αποκλείεται η ασύγχρονη επανόζευξή του. Το ίδιο επιτυγχάνεται με την εφαρμογή συστήματος διαφορικής προστασίας σε εγκαταστάσεις που συνδέονται μέσω αποκλειστικών καλωδιακών γραμμών.

Μετά από λειτουργία απόζευξης του Α.Δ.Δ., η ζεύξη του πρέπει να καθυστερήσει μέχρι να επανέλθει η τάση και η συχνότητα του δικτύου εντός της προβλεπόμενης ζώνης κανονικής λειτουργίας. Για την προστασία της εγκατάστασης παραγωγής, συνιστάται να προβλεφθεί μια χρονική καθυστέρηση της τάξης των λεπτών της ώρας μεταξύ της επανόδου της τάσης και της ζεύξης της εγκατάστασης, ώστε να έχουν ολοκληρωθεί ενδεχόμενοι χειρισμοί ζεύξεων στο δίκτυο. Για εγκαταστάσεις με δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας, η ζεύξη αυτή θα πρέπει να πραγματοποιείται από αυτόματο σύστημα συγχρονισμού ακριβείας.

Οι λειτουργίες της προστασίας απόζευξης της εγκατάστασης μπορεί να υλοποιούνται μέσω συμβατικών ηλεκτρονόμων ή να αποτελούν μέρος ολοκληρωμένων ψηφιακών συστημάτων προστασίας. Σε κάθε περίπτωση, η απώλεια της τάσης τροφοδότησης των συσκευών προστασίας και ζεύξης πρέπει να οδηγεί αυτομάτως στην απόζευξη της εγκατάστασης παραγωγής, επειδή, σε αντίθετη περίπτωση, σφάλματα στο δίκτυο της ΔΕΗ δεν οδηγούν σε λειτουργία των ηλεκτρονόμων και απόζευξη.

### **5.6.5 Αντιστάθμιση Αέργου Ισχύος**

Ο συντελεστής ισχύος στην έξοδο της εγκατάστασης παραγωγής (ή της συνολικής εγκατάστασης καταναλωτή, ο οποίος διαθέτει και εγκαταστάσεις παραγωγής) πρέπει να ανταποκρίνεται στα συμφωνημένα στη σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας. Συνήθως περιοχή αποδεκτών τιμών του είναι μεταξύ 0.95 επαγωγικού και 0.95 χωρητικού.

Δεδομένου ότι η απορρόφηση σημαντικής αέργου ισχύος από μια εγκατάσταση συνεπάγεται αυξημένες απώλειες και πτώσεις τάσεως στο δίκτυο, μπορεί να είναι αναγκαία η αντιστάθμιση της καταναλισκόμενης αέργου ισχύος, συνήθως με τη βοήθεια αποζεύξιμων συστοιχιών πυκνωτών. Η αντιστάθμιση μπορεί να πραγματοποιείται τοπικά για κάθε μονάδα γεννήτριας ή ομάδα γεννητριών, ή/και κεντρικά για το σύνολο της εγκατάστασης. Όταν η ενεργός ισχύς εξόδου της εγκατάστασης παραγωγής παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις (όπως π.χ. στις αιολικές εγκαταστάσεις), τότε είναι συνήθως αναγκαία η αυτόματη ρύθμιση της

αντιστάθμισης, προκειμένου να διατηρείται ο συντελεστής ισχύος κοντά στην επιθυμητή τιμή. Η αναγκαία αντιστάθμιση γενικά καθορίζεται από το είδος και τον τρόπο λειτουργίας των εγκαταστάσεων, αλλά και από τις προκαλούμενες επιπτώσεις στην τάση του δικτύου<sup>5</sup>.

Οι ασύγχρονες γεννήτριες καταναλώνουν άεργο ισχύ, η οποία ανέρχεται περίπου στο 50% της φαινόμενης ισχύος εξόδου υπό ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας. Συνεπώς, σε εγκαταστάσεις αυτού του τύπου είναι αναγκαία η εγκατάσταση πυκνωτών αντιστάθμισης. Κατά την απόζευξη της γεννήτριας, οι πυκνωτές πρέπει να αποσυνδέονται ταυτόχρονα με το άνοιγμα του διακόπτη, προκειμένου να αποφευχθούν φαινόμενα αυτοδιέγερσης. Επίσης, οι πυκνωτές δεν πρέπει να συνδέονται πριν από τη ζεύξη της γεννήτριας<sup>6</sup>.

Οι σύγχρονες γεννήτριες διαθέτουν τη δυνατότητα ελέγχου της διέγερσής τους, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη ρύθμιση του συντελεστή ισχύος εξόδου τους<sup>7</sup> και άρα γενικά δεν απαιτείται η εγκατάσταση πυκνωτών αντιστάθμισης.

Οι ανάγκες αέργου ισχύος των μετατροπέων ισχύος εξαρτώνται από τον τύπο του μετατροπέα. Μετατροπείς με μεταγωγή από την τάση του δικτύου (όπως οι ανορθωτές/αντιστροφείς γέφυρας με thyristors) καταναλώνουν σημαντική άεργο ισχύ και απαιτούν την εγκατάσταση διατάξεων αντιστάθμισης<sup>8</sup>. Οι σύγχρονοι αυτομεταγόμενοι (self-commutated) μετατροπείς (όπως οι μετατροπείς τύπου πηγής τάσης με IGBTs που χρησιμοποιούνται ευρέως σε διατάξεις διεσπαρμένης παραγωγής) παρουσιάζουν ελάχιστες ανάγκες

---

<sup>5</sup> Σε δίκτυα με μεγάλο μήκος καλωδιακών γραμμών, η παραγόμενη άεργος ισχύς από την εγκάρσια χωρητικότητα των καλωδίων μπορεί να προκαλεί αυξημένα επίπεδα τάσεων, ιδιαίτερα σε διαστήματα χαμηλού φορτίου. Στις περιπτώσεις αυτές μπορεί να απαιτηθεί περιορισμός της αντιστάθμισης αέργου ισχύος των εγκαταστάσεων παραγωγής.

<sup>6</sup> Η ίδια απαίτηση υφίσταται και για τις συστοιχίες κεντρικής αντιστάθμισης εγκαταστάσεων παραγωγής χωρίς δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας (π.χ. αιολικά πάρκα). Οι πυκνωτές πρέπει να αποσυνδέονται με την απόζευξη της εγκατάστασης από το δίκτυο και να μην συνδέονται πριν από τη ζεύξη αυτής.

<sup>7</sup> Ανάλογα με το είδος και το μέγεθος της εγκατάστασης, μπορεί να αρκεί η λειτουργία υπό σταθερή διέγερση, ή να απαιτείται αυτόματη ρύθμιση του συντελεστή ισχύος ή της τάσης ακροδεκτών.

<sup>8</sup> Συνήθως η αντιστάθμιση τέτοιων μετατροπέων πραγματοποιείται μέσω συντονισμένων φίλτρων LC στην πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος.



αέργου ισχύος και συνήθως παρέχουν τη δυνατότητα ρύθμισης του συντελεστή ισχύος στην έξοδο τους εντός μιας περιορισμένης περιοχής (π.χ. 0.95 επαγ. - 0.95 χωρ.).

Κατά τη μελέτη των πυκνωτών αντιστάθμισης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επίπτωσή τους στις αρμονικές του δικτύου. Συγκεκριμένα, οι εγκάρσιες χωρητικότητες σε συνδυασμό με τις επαγωγικές αντιδράσεις σειράς του δικτύου (π.χ. αντιδράσεις σκεδάσεως των Μ/Σ) δημιουργούν συχνότητες συντονισμού οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση της αρμονικής παραμόρφωσης της τάσης. Για τον λόγο αυτό μπορεί να απαιτηθεί, κατόπιν ειδικής μελέτης και σε συνεννόηση με τη ΔΕΗ, η εγκατάσταση στραγγαλιστικών πηνίων σε σειρά με τους πυκνωτές. Επίσης πρέπει να εξετάζεται και ενδεχόμενη επίπτωση στη λειτουργία του συστήματος Τηλεχειρισμών Ακουστικής Συχνότητας του δικτύου.

Γενικά, η επιλογή και ο τρόπος ρύθμισης και ζεύξης της εγκατάστασης αντιστάθμισης αέργου ισχύος πρέπει να συμφωνούνται με τη ΔΕΗ.

#### **5.6.6 Συνθήκες Ζεύξης**

Η ζεύξη των εγκαταστάσεων παραγωγής στο δίκτυο είναι δυνατή μόνον όταν η τάση και συχνότητα του δικτύου είναι κοντά στις ονομαστικές τους τιμές και συγκεκριμένα διαφέρουν από αυτές λιγότερο από τα όρια ρύθμισης των σχετικών προστασιών τάσης και συχνότητας.

Ασύγχρονες γεννήτριες είναι επιθυμητό να συνδέονται στο δίκτυο χωρίς τάση, με αριθμό στροφών μεταξύ 95% και 105% των σύγχρονων, κατά προτίμηση μέσω διάταξης ομαλής εκκίνησης. Για σύγχρονες γεννήτριες απαιτείται διάταξη συγχρονισμού η οποία εξασφαλίζει κατ' ελάχιστον τις παρακάτω συνθήκες συγχρονισμού:

$$\text{Διαφορά τάσης } \Delta U < \pm 10 \%$$

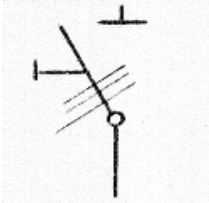
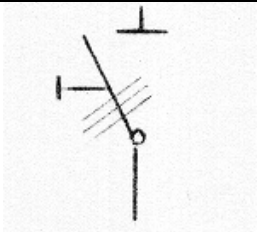
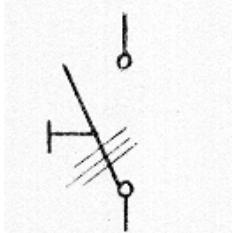
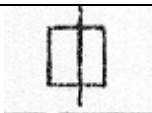
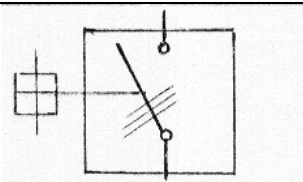
$$\text{Διαφορά συχνότητας } \Delta f < \pm 0.5 \text{ Hz}$$


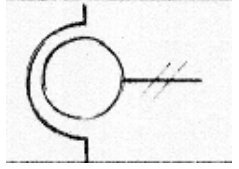

$$\text{Διαφορά φασικής γωνίας } \Delta \varphi < \pm 10^\circ$$

Ο χρόνος καθυστέρησης κατά την επανάζευξη μιας γεννήτριας και η διαβάθμιση των χρόνων επανάζευξης περισσότερων γεννητριών πρέπει να είναι επαρκούν ώστε να έχουν αποκατασταθεί πλήρως τα μεταβατικά φαινόμενα και οι διαδικασίες ρύθμισης που σχετίζονται αφενός με την αποκατάσταση της τάσης του δικτύου και αφετέρου με την ένταξη των γεννητριών. Συνήθως, χρόνοι της τάξης των λίγων λεπτών της ώρας είναι επαρκείς.

### 5.6.7 Διακόπτες και Ασφάλειες στη Μέση Τάση

Τα κυριότερα είδη ασφαλειών και διακοπών που χρησιμοποιούνται στους πίνακες μέσης τάσης της Δ.Ε.Η. αλλά και των καταναλωτών μέσης τάσης φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Είδος εξοπλισμού	Σύμβολο	Σκοπός χρησιμοποίησης
Τριπολικός αποζεύκτης		Απομονώνει από την παροχή ένα κύκλωμα που έχει τεθεί ήδη εκτός τάσης (δεν έχει ισχύ διακοπής)
Τριπολικός γειωτής		Γειώνει ένα κύκλωμα μετά την απόξευση (δεν έχει ισχύ διακοπής)
Τριπολικός διακόπτης φορτίου		Επιτρέπει το χειρισμό ενός φορτίου με ισχύ ίση μέχρι την ονομαστική ισχύ του
Ασφάλεια μέσης τάσης		Παρέχει προστασία από βραχυκύκλωμα
Τριπολικός διακόπτης ισχύος (ή αυτόματος διακόπτης)		Επιτρέπει το χειρισμό ενός φορτίου ισχύος μέχρι την ονομαστική του ισχύ και ταυτόχρονα προστατεύει από

		<b>βραχυκύκλωμα</b>
<b>Μονοπολικό ακροκιβώτιο</b>		Χρησιμοποιείται για τις συνδέσεις καλωδίων σε πίνακες
<b>Μετασχηματιστής έντασης</b>		Χρησιμοποιείται για την παροχή τάσης σε κυκλώματα χειρισμών και προστασίας
<b>Μετασχηματιστής τάσης</b>		Χρησιμοποιείται για την παροχή τάσης σε κυκλώματα χειρισμών και προστασίας

Πίνακας 3 : Είδη ασφαλειών και διακοπών στους πίνακες Μ.Τ. της ΔΕΗ

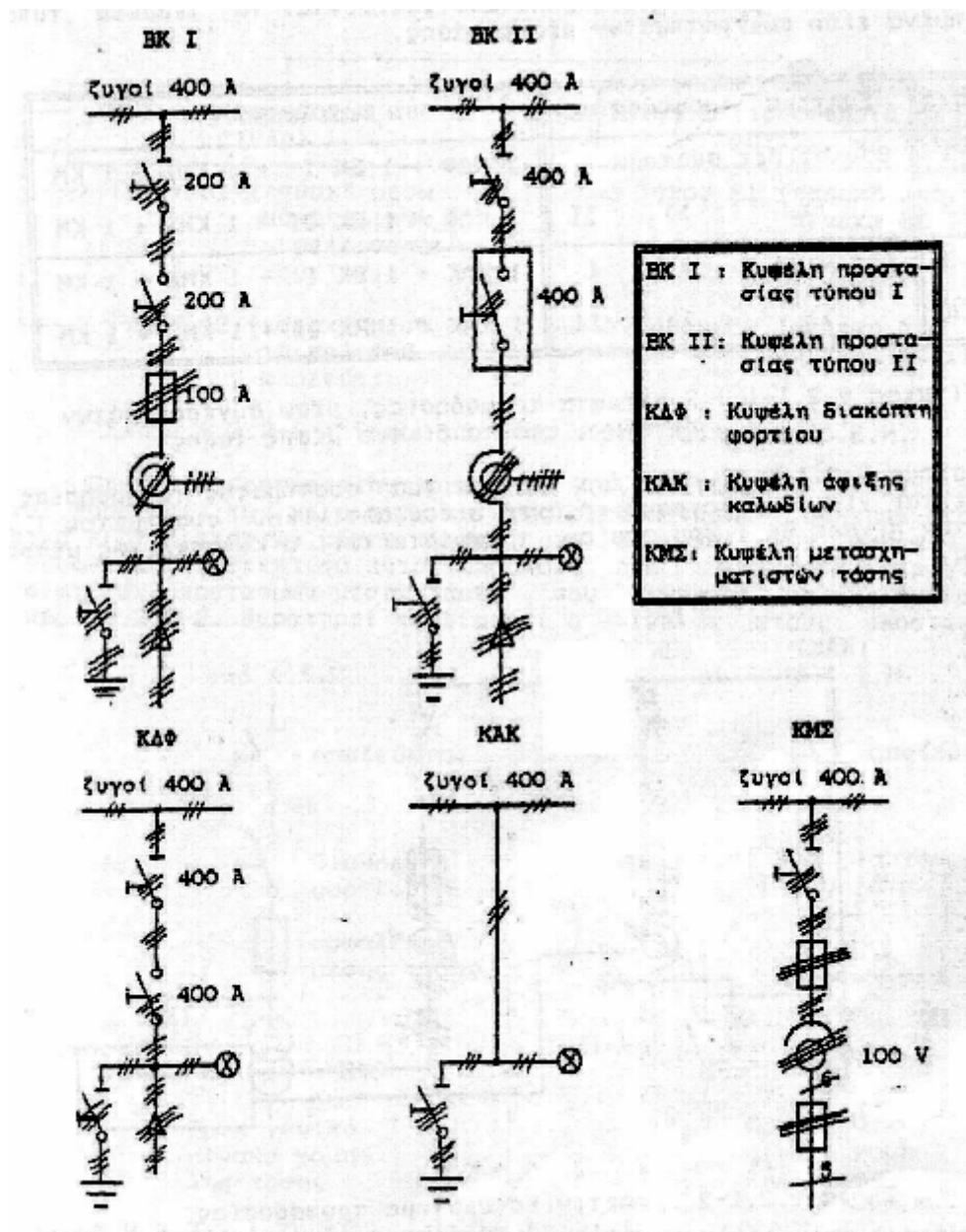
Η ανάγκη για χειρισμούς και προστασία των χειριστών και της εγκατάστασης οδήγησε σε ορισμένα είδη διακοπών που χρησιμοποιούνται στους πίνακες Μ.Τ. της ΔΕΗ.

Οι διακόπτες χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες ανάλογα αν έχουν ισχύ διακοπής ή όχι. Οι διακόπτες ισχύος και οι διακόπτες φορτίου έχουν ισχύ διακοπής και μπορούμε να τους χειριζόμαστε υπό φορτίο. Αντίθετα ο αποζεύκτης και ο γειωτής δεν έχουν ισχύ διακοπής και δεν μπορούμε να τους χειριζόμαστε υπό φορτίο. Ο αποζεύκτης χρησιμεύει για την απομόνωση της εγκατάστασης από την τάση και ο γειωτής για την απομάκρυνση των ηλεκτροστατικών φορτίων της εγκατάστασης όταν εκτελούμε εργασίες συντήρησης και επισκευής, αφού ο πίνακας έχει τεθεί εκ των προτέρων εκτός τάσης. Σε πολλές περιπτώσεις είναι χρήσιμος ο συνδυασμός ενός αποζεύκτη και ενός γειωτή σε ένα διακόπτη και μάλιστα με τέτοιο τρόπο ώστε όταν ο ένας είναι κλειστός ο άλλος να είναι ανοιχτός. Ο συνδυασμός αυτός προστατεύει από τυχόν λανθασμένους χειρισμούς.

Οι ασφάλειες στους πίνακες Μ.Τ. προστατεύουν την εγκατάσταση από το βραχυκύκλωμα και χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με το διακόπτη φορτίου. Οι διακόπτες ισχύος προστατεύουν οι ίδιοι την εγκατάσταση από το βραχυκύκλωμα και γι' αυτό δεν συνδυάζονται με ασφάλειες. Προτιμούνται έναντι των διακοπών φορτίου στις μεγάλες εγκαταστάσεις και στους πίνακες της ΔΕΗ και είναι πιο πολύπλοκοι στην κατασκευή και τη συντήρησή τους. Η ισχύς διακοπής των διακοπών ισχύος είναι τουλάχιστον ίση με την ισχύ βραχυκύκλωσης στη θέση εγκατάστασης του.

### 5.6.8 Πίνακες του Δικτύου Μέσης Τάσης της ΔΕΗ

Στο σχήμα που ακολουθεί δίνονται τα μονογραμμικά σχέδια των πινάκων του δικτύου της ΔΕΗ.



Εικόνα 17 : Μονογραμμικά σχέδια πινάκων δικτύου ΔΕΗ

Υπάρχουν τέσσερα τυποποιημένα είδη συγκροτημάτων μέσης τάσης:

1. **Βροχοειδές σύστημα I** : **2ΚΔΦ + 1 ΒΚ I + 1 ΚΜΣ + 1 ΚΜ**
2. **Βροχοειδές σύστημα II** : **2ΚΔΦ + 1 ΒΚ II + 1 ΚΜΣ + 1 ΚΜ**
3. **Ακτινικό σύστημα I** : **1 ΚΑΚ + 1 ΒΚ I + 1 ΚΜΣ + 1 ΚΜ**
4. **Ακτινικό σύστημα II** : **1 ΚΑΚ + 1 ΒΚ II + 1 ΚΜΣ + 1 ΚΜ**

Σε ένα πίνακα Μ.Τ. της ΔΕΗ (ή ενός ιδιωτικού υποσταθμού) πρέπει να προβλέπονται τους πίνακες αλληλασφαλίσεις (μανδαλώσεις) μεταξύ των χειριστηρίων οι οποίες έχουν ως ακολούθως:

- Είναι αδύνατη η χρήση του αποζεύκτη όταν ο διακόπτης φορτίου ή ισχύος είναι κλειστός.
- Είναι αδύνατη η χρήση του διακόπτη φορτίου ή ισχύος αν ο αποζεύκτης δεν είναι τελείως ανοιχτός ή κλειστός.
- Είναι αδύνατη η χρήση του γειωτή με κλειστό τον αποζεύκτη.
- Είναι αδύνατη η χρήση του αποζεύκτη με το γειωτή κλειστό.



## 5.7 ΚΑΛΩΔΙΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

### ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Τα καλώδια αυτά κατασκευάζονται με αγωγούς από χαλκό ή αλουμίνιο, μόνωση από XLPE, θωράκιση από ταινία ή σύρματα χαλκού και στρώσεις από θερμοπλαστικά υλικά για μηχανική προστασία.

### ΑΓΩΓΟΙ

Είναι πολύκλωνοι κυκλικής μορφής. Οι ονομαστικές διατομές των αγωγών και η ηλεκτρική τους αντίσταση καθορίζονται από τις αντίστοιχες προδιαγραφές. Οι αγωγοί μπορούν να κατασκευαστούν με διαμήκη υδατοστεγανότητα.

### ΜΟΝΩΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Η μόνωση είναι εξωθημένο XLPE.

## ΘΩΡΑΚΙΣΗ

Πάνω και κάτω από τη μόνωση εφαρμόζονται ημιαγώγιμες στρώσεις οι οποίες εξωθούνται ταυτόχρονα με την μόνωση μέσω τριπλής κεφαλής. Πάνω από την εξωτερική ημιαγώγιμη στρώση εφαρμόζεται μεταλλική θωράκιση αποτελούμενη από ταινία χαλκού ή από συρματίδια χαλκού κατάλληλης διατομής. Η μεταλλική θωράκιση μπορεί να έχει διαμήκη ή ακτινική υδατοστεγανότητα.

## ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ

Πάνω από τη θωράκιση, το καλώδιο προστατεύεται με στρώση θερμοπλαστικού υλικού PVC, LSF ή PE (MDPE ή HDPE). Κάτω από την εξωτερική επένδυση μπορεί να εφαρμοστεί οπλισμός για μεγαλύτερη μηχανική προστασία αποτελούμενος από χαλύβδινα σύρματα ή χαλύβδινες ταινίες (ή σύρματα και ταινίες από αλουμίνιο για μονοπολικά καλώδια).

## **5.8 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ**

Ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα πολύπλοκο σύστημα που αποτελείται από τις γεννήτριες, τις γραμμές μεταφοράς, τους μετασχηματιστές, τις διατάξεις αντιστάθμισης και τα κάθε λογής φορτία. Για να μπορούμε να κάνουμε μια ενδελεχή ανάλυση αλλά και κυρίως προσομοίωση της συμπεριφοράς του κάτω από διάφορες συνθήκες είναι αναγκαίο να εξάγουμε το συνολικό μοντέλο του δικτύου. Θα πρέπει λοιπόν να διαμορφώσουμε το μοντέλο που παριστάνει ακριβώς τη λειτουργία κάθε μιας συνιστώσας του δικτύου που προαναφέραμε.

Ο συνδυασμός αυτών των μοντέλων θα μας δώσει το συνολικό μοντέλο του δικτύου μας.

Τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει δώσει νέα ώθηση στη μοντελοποίηση των διαφόρων φαινομένων και όχι μόνο αυτών που σχετίζονται με την ηλεκτρολογία και την ηλεκτρονική.

Η αύξηση της υπολογιστικής ισχύος μας δίνει τη δυνατότητα να προσομοιώσουμε μοντέλα με μεγάλη ακρίβεια και ταχύτητα.

Παρακάτω μελετάμε μια γραμμή μέσης τάσης 20KV.

Μια τέτοια γραμμή ξεκινά από έναν υποσταθμό υψηλής/μέσης τάσης και μέσω εναέριων γραμμών μεταφοράς καταλήγει σε υποσταθμούς διανομής μέσης/χαμηλής τάσης. Από εκεί τροφοδοτούνται τα διάφορα φορτία ή ακόμη και μικροί παραγωγοί.

Θα θεωρήσουμε ότι το μοντέλο αυτό είναι συμμετρικό έτσι ώστε να μπορέσουμε να δουλέψουμε με το μονοφασικό ισοδύναμο του δικτύου (η υπόθεση αυτή δεν ισχύει σχεδόν ποτέ αλλά μας δίνει τη δυνατότητα να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα που δεν απέχουν πολύ από την πραγματικότητα).

### 5.8.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΦΟΡΤΙΩΝ

Τα φορτία σε ένα ΣΗΕ μπορεί να είναι ωμικά, επαγωγικά, χωρητικά και συνδυασμός αυτών (ωμικά-επαγωγικά ή ωμικά-χωρητικά).

Θεωρούμε όλα τα φορτία ως φορτία σταθερής σύνθετης μιγαδικής αντίστασης. Έτσι κάθε φορτίο μοντελοποιείται με έναν από τους εξής τρόπους:

1. εν σειρά συνδυασμός αντίστασης και πηνίου όταν πρόκειται για φορτίο επαγωγικής συμπεριφοράς (π.χ. ασύγχρονη μηχανή).

2. εν σειρά συνδυασμός αντίστασης και πυκνωτή όταν πρόκειται για φορτίο χωρητικής συμπεριφοράς (πρόκειται για φορτία που τα συναντάμε σπανιότερα σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης).

Αν έχουμε ως δεδομένα την φαινόμενη ισχύ  $S$  και το συντελεστή ισχύος του τριφασικού φορτίου στη θεμελιώδη αρμονική, τότε ο υπολογισμός των στοιχείων του μονοφασικού ισοδύναμου γίνεται ως εξής :  
Αρχικά υπολογίζουμε το ρεύμα το φορτίου.

$$S = \sqrt{3}V_{\pi}I_{\pi} \Rightarrow I_{\pi} = \frac{S}{\sqrt{3}V_{\pi}} \quad \text{σχέση (1)}$$

όπου  $V_{\pi}$  η πολική τάση του δικτύου 20KV και  $I_{\pi}$  το ζητούμενο ρεύμα.  
Η ενεργός ισχύς  $P$  του φορτίου δίνεται από τη σχέση :

$$P = S \cos \phi \quad \text{σχέση (2)}$$

Η κάθε φάση του δικτύου καταναλώνει το ένα τρίτο της ενεργού ισχύος  $P/3$ . Αυτή η ισχύς καταναλώνεται πάνω στο ωμικό κομμάτι του φορτίου σύμφωνα με τη σχέση :

$$P = I^2 R \quad \text{σχέση (3)}$$

Άρα η ωμική αντίσταση του φορτίου θα είναι σύμφωνα με τις σχέσεις (1) και (3) :

$$I^2 R = \frac{P}{3} \Rightarrow I_{\pi}^2 R = \frac{S \cos \phi}{3} \Rightarrow R = \frac{S \cos \phi}{3I_{\pi}^2} \quad \text{σχέση (4)}$$

Το μέτρο της σύνθετης αντίστασης του φορτίου δίνεται από τη σχέση :

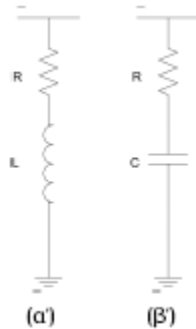
$$Z = \frac{V_{\pi}}{\sqrt{3}I_{\pi}} \quad \text{σχέση (5)}$$

Θα πρέπει τώρα να προσδιορίσουμε το φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης φορτίου το οποίο είναι ίσο με :

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

σχέση (6)

Εδώ θα πρέπει να διακρίνουμε δύο περιπτώσεις :



Σχήμα 5.1 : (α) ωμικό-επαγωγικό φορτίο,(β) ωμικό-χωρητικό φορτίο

Αν το φορτίο είναι ωμικό-επαγωγικό, τότε :

$$X = j\omega L \Rightarrow L = \frac{X}{j\omega}$$

σχέση (7)

και τελικά η ισοδύναμη αντίσταση θα είναι :

$$Z = R + j\omega L$$

σχέση (8)

Αν τώρα το φορτίο είναι ωμικό-χωρητικό φορτίο :

$$Q = \frac{1}{j\omega C} \Rightarrow C = \frac{1}{j\omega X}$$

σχέση (9)

Η ισοδύναμη αντίσταση θα είναι :

$$Z = R - j\frac{1}{\omega C}$$

σχέση (10)

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς και με δεδομένο τυποποιημένες τιμές ισχύος, για τους μετασχηματιστές, στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι τιμές για τα φορτία.



$S (KVA)$	$80\%S KVA$	$I_{\phi}(A)$	$R_{\phi}(W)$	$Z_{\phi}(\Omega)$	$R_{\phi}(\Omega)$	$L_{\phi}(H)$
100	80	115.47	21333.3	1.999999161	1.6	0.003821652
160	128	184.752	34133.3	1.249999475	1	0.002388532
250	200	288.6751	53333.33	0.799999664	0.64	0.001528661
400	320	461.8802	85333.33	0.49999979	0.4	0.000955413

Πίνακας 4 : Τιμές για τα φορτία, για φόρτιση μετασχηματιστών στο 80% και  $\Sigma I$ : 0,8 επαγωγικό

## 5.8.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

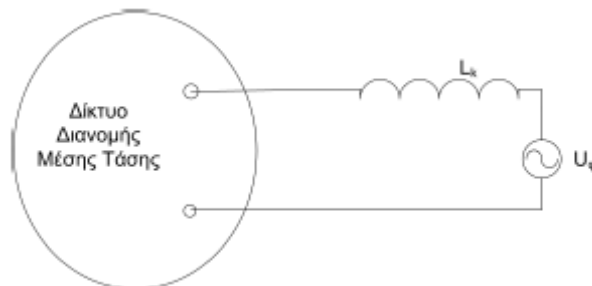
Μια γραμμή μέσης τάσης τροφοδοτείται από ένα μετασχηματιστή υψηλής τάσης, ο οποίος μετατρέπει την υψηλή τάση (150KV ή 400KV) στην οποία γίνεται η μεταφορά, στο επίπεδο της τάσης διανομής (20KV). Η τροφοδότηση των οικιακών καταναλωτών γίνεται από μετασχηματιστές μέσης τάσης, οι οποίοι υποβιβάζουν την τάση στα 400V δηλ. χαμηλή τάση.

Παρακάτω περιγράφουμε το μοντέλο των μετασχηματιστών.

Ουσιαστικά πρόκειται για το κλασικό π-ισοδύναμο μοντέλο και πως αυτό εξήχθη με βάση πραγματικά στοιχεία μετασχηματιστών που χρησιμοποιούνται από τη ΔΕΗ.

### 5.8.2.1 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΥΨΗΛΗΣ/ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

Από το σημείο έναρξης της γραμμής διανομής και πίσω λειτουργούν ο μετασχηματιστής υψηλής/μέσης τάσης, το δίκτυο μεταφοράς και οι γεννήτριες. Άρα θα πρέπει όλο αυτό το ισοδύναμο που βρίσκεται προ της έναρξης της γραμμής διανομής να το εισάγουμε σαν ένα νέο μοντέλο. Ο υπολογισμός αυτού είναι πολύπλοκος. Αντί αυτού θα απλοποιήσουμε το μοντέλο, αντικαθιστώντας ότι βλέπει η γραμμή προς τα πίσω με μια πηγή τάσης σε σειρά με μια επαγωγή.



Σχήμα 5.2 : Μετασχηματιστής υψηλής-μέσης

Η τιμή της πηγής τάσης θα είναι ίση με 20KV δηλ. η πολική τάση του δικτύου. Η τιμή της επαγωγής σχετίζεται άμεσα με την ισχύ βραχυκύκλωσης στο επίπεδο της μέσης τάσης. Παρακάτω ακολουθεί ο υπολογισμός αυτής της επαγωγής. Η ισχύς βραχυκύκλωσης ανά φάση θα είναι :  $S_{k,\phi} = S_k/3$ .

Ακόμη θα ισχύει ότι :

$$S_{k,\phi} = \frac{U_{\phi}^2}{X_k} = \frac{U_{\phi}^2}{\omega L_k} \Rightarrow L_k = \frac{U_{\phi}^2}{\omega S_{k,\phi}}$$

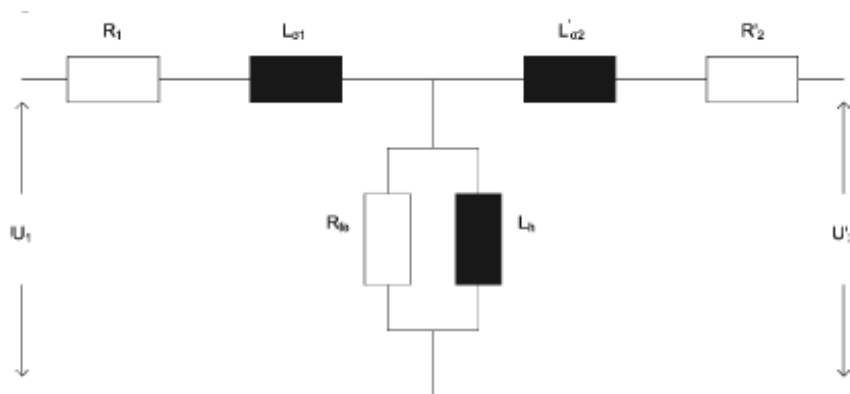
σχέση (11)

### 5.8.2.2 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Για την τροφοδότηση των καταναλωτών είναι απαραίτητο να υποβιβαστεί η μέση τάση του δικτύου διανομής σε χαμηλή. Η διαδικασία αυτή γίνεται με τους μετασχηματιστές διανομής που βρίσκονται ή πάνω σε στύλους ή σε κλειστούς εσωτερικούς χώρους. Κάθε τερματικό σημείο μιας γραμμής διανομής μέσης τάσης τερματίζεται από έναν τέτοιο μετασχηματιστή.

Είναι σημαντικό για τη συνολική μοντελοποίηση του δικτύου να δούμε ενδελεχώς το μοντέλο ενός τέτοιου μετασχηματιστή. Παρακάτω φαίνεται το T-ισοδύναμο μοντέλο ενός τέτοιου μετασχηματιστή. Εδώ θα σταθούμε στον υπολογισμό όλων των παραμέτρων και κάποιων από αυτές που σχετίζονται με τις αρμονικές.

- $R_1$  είναι η ωμική αντίσταση του πρωτεύοντος τυλίγματος
- $R'_2$  είναι η ωμική αντίσταση του δευτερεύοντος τυλίγματος, ανηγμένη στο πρωτεύον
- $L_{\sigma 1}$  είναι η επαγωγή λόγω σκέδασης του πρωτεύοντος
- $L'_{\sigma 2}$  είναι η επαγωγή λόγω σκέδασης του δευτερεύοντος, ανηγμένη στο πρωτεύον
- $L_h$  είναι η κύρια αυτεπαγωγή μαγνήτισης του μετασχηματιστή
- $R_{fe}$  είναι η αντίσταση που αναφέρεται στις απώλειες υστέρησης και δινορρευμάτων του πυρήνα του μετασχηματιστή



Σχήμα 5.3 : Μοντέλο μετασχηματιστή διανομής

- $U_1$  είναι η φασική τάση του πρωτεύοντος τυλίγματος
- $U'_2$  είναι η φασική τάση του δευτερεύοντος τυλίγματος, ανηγμένη στο πρωτεύον

Για τα προηγούμενα μεγέθη του δευτερεύοντος που είναι ανηγμένα στο πρωτεύον ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις, όπου  $a=w_1/w_2$  ο λόγος μετασχηματισμού.

$$U'_2 = U_2 \alpha \quad \text{σχέση (12)}$$

$$R'_2 = R_2 \alpha^2 \quad \text{σχέση (13)}$$

$$L'_{\sigma 2} = L_{\sigma 2} \alpha^2 \quad \text{σχέση (14)}$$

Για έναν μετασχηματιστή φαινομένης ισχύος  $S_f$ , το ονομαστικό ρεύμα γραμμής δίνεται από τη παρακάτω σχέση :

$$I_N = \frac{S_f}{\sqrt{3}U_{\pi}} \quad \text{σχέση (15)}$$

όπου  $U_{\pi}$  η πολική φάση της γραμμής. Επειδή έχουμε συνδεσμολογία  $Dy$ , το φασικό ρεύμα στην πλευρά του τριγώνου θα είναι :

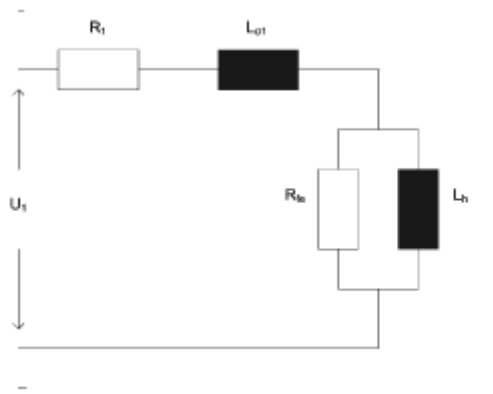
$$I_{\phi, N} = \frac{I_N}{\sqrt{3}} \quad \text{σχέση (16)}$$

και η φασική τάση θα ισούται με την πολική,  $U_{1, \Phi} = U_{\pi}$

### 5.8.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ Μ/Σ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Ο υπολογισμός των παραμέτρων του μονοφασικού ισοδύναμου ενός μετασχηματιστή μπορεί να υπολογιστεί με βάση κάποια στοιχεία που μας δίνει ο κατασκευαστής του. Το σύννηθες είναι να δίνονται τα εξής :

- Οι απώλειες χαλκού  $P_k$
- Οι απώλειες κενής λειτουργίας  $P_0$
- Η σχετική τάση βραχυκύκλωσης  $u_k$



Σχήμα 5.4 : Δοκιμή ανοιχτοκυκλώσεως

Από αυτά για τον υπολογισμό των στοιχείων του μετασχηματιστή θα πρέπει να εκτελέσουμε δύο δοκιμές :

1. Τη ανοιχτοκύκλωση του δευτερεύοντος για τον υπολογισμό των στοιχείων του πυρήνα.
2. Τη βραχυκύκλωση του δευτερεύοντος για τον υπολογισμό των στοιχείων των τυλιγμάτων.

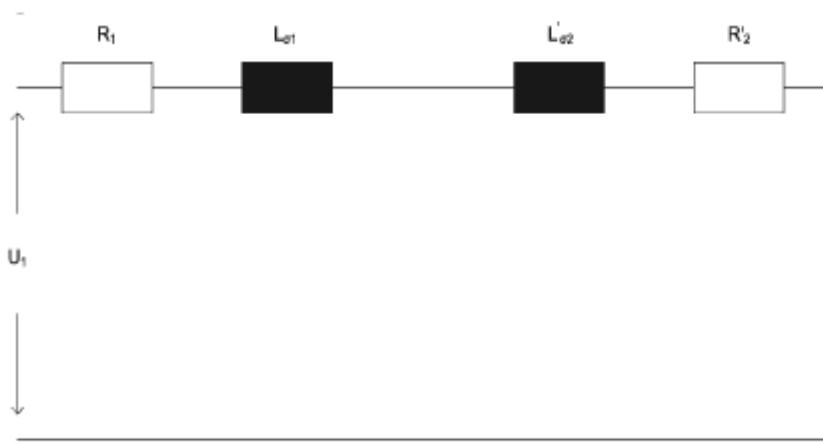
#### 5.8.4 ΔΟΚΙΜΗ Μ/Σ ΜΕ ΤΟ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝ ΕΝ ΚΕΝΩ

Κατά τη λειτουργία του μετασχηματιστή εν κενώ, το μονοφασικό ισοδύναμο απλοποιείται και γίνεται όπως στο προηγούμενο σχήμα. Οι απώλειες κενής λειτουργίας  $P_0$  είναι η ισχύς που καταναλώνεται πάνω στην αντίσταση  $R_{fe}$  που για κάθε φάση θα ισούται με  $P_0/3$ . Άρα για τον υπολογισμό της  $R_{fe}$  θα έχουμε ότι :

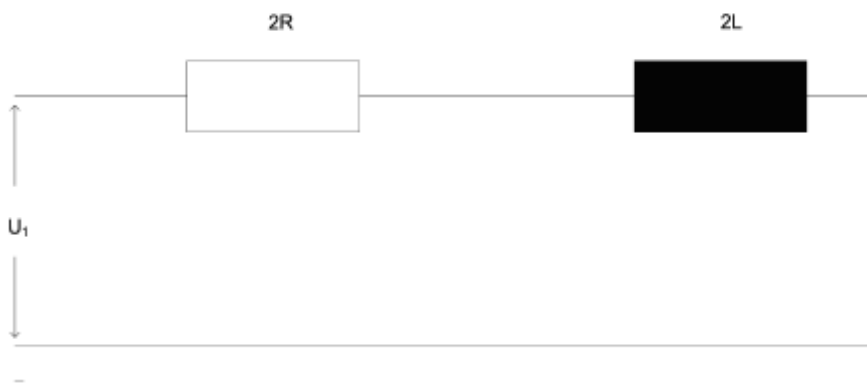
$$\frac{P_0}{3} = \frac{U_{1,\phi}^2}{R_{fe}} = \frac{U_{\pi}^2}{R_{fe}} \Rightarrow R_{fe} = \frac{3U_{\pi}^2}{P_0} \quad \text{σχέση (17)}$$

και λόγω της επαγωγικής μαγνήτισης θα είναι ίση με :

$$L_h = \frac{R_{fe}}{10\omega} \quad \text{σχέση (18)}$$



Σχήμα 5.5 : Δοκιμή βραχυκυκλώσεως



Σχήμα 5.6 : Δοκιμή βραχυκυκλώσεως με βάση τις αναλογίες πρωτεύοντος-δευτερεύοντος

### 5.8.5 ΔΟΚΙΜΗ Μ/Σ ΜΕ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΕΝΟ ΤΟ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝ

Κατά τη δοκιμή βραχυκυκλώσεως, το ρεύμα έχει την ονομαστική του τιμή και άρα καταναλώνει την ισχύ των απωλειών χαλκού  $P_k$ . Σε αυτήν την περίπτωση μπορούμε να παραλείψουμε τον εγκάρσιο κλάδο διότι η αντίστασή του είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τις αντιστάσεις των δύο τυλιγμάτων και άρα ένα αμελητέο ρεύμα θα τον διαπερνά και θα καταναλώνει κάποια ενέργεια σε αυτό.

Οι μετασχηματιστές διανομής που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ για το ελληνικό ηλεκτρικό δίκτυο έχουν τυποποιημένες τιμές ισχύος.

Ονομαστική ισχύς $KVA$	Απώλειες χαλκού $P_k W$	Απώλειες εν κενώ $P_o W$	Τάση βραχυκύκλωσης $u_k\%$
50	875	125	4%
100	1475	210	
160	2000	300	
250	2750	425	
400	3850	610	
630	5400	860	
1000	9500	1100	6%
1600	14000	1700	
2500	22000	2500	

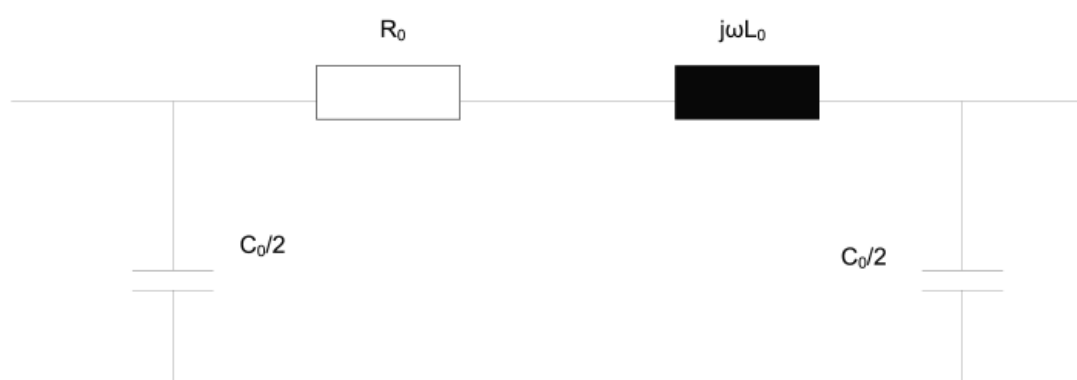
Πίνακας 5 : Τυποποιημένες τιμές των μετασχηματιστών για το ελληνικό δίκτυο διανομής.

### 5.8.6 ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

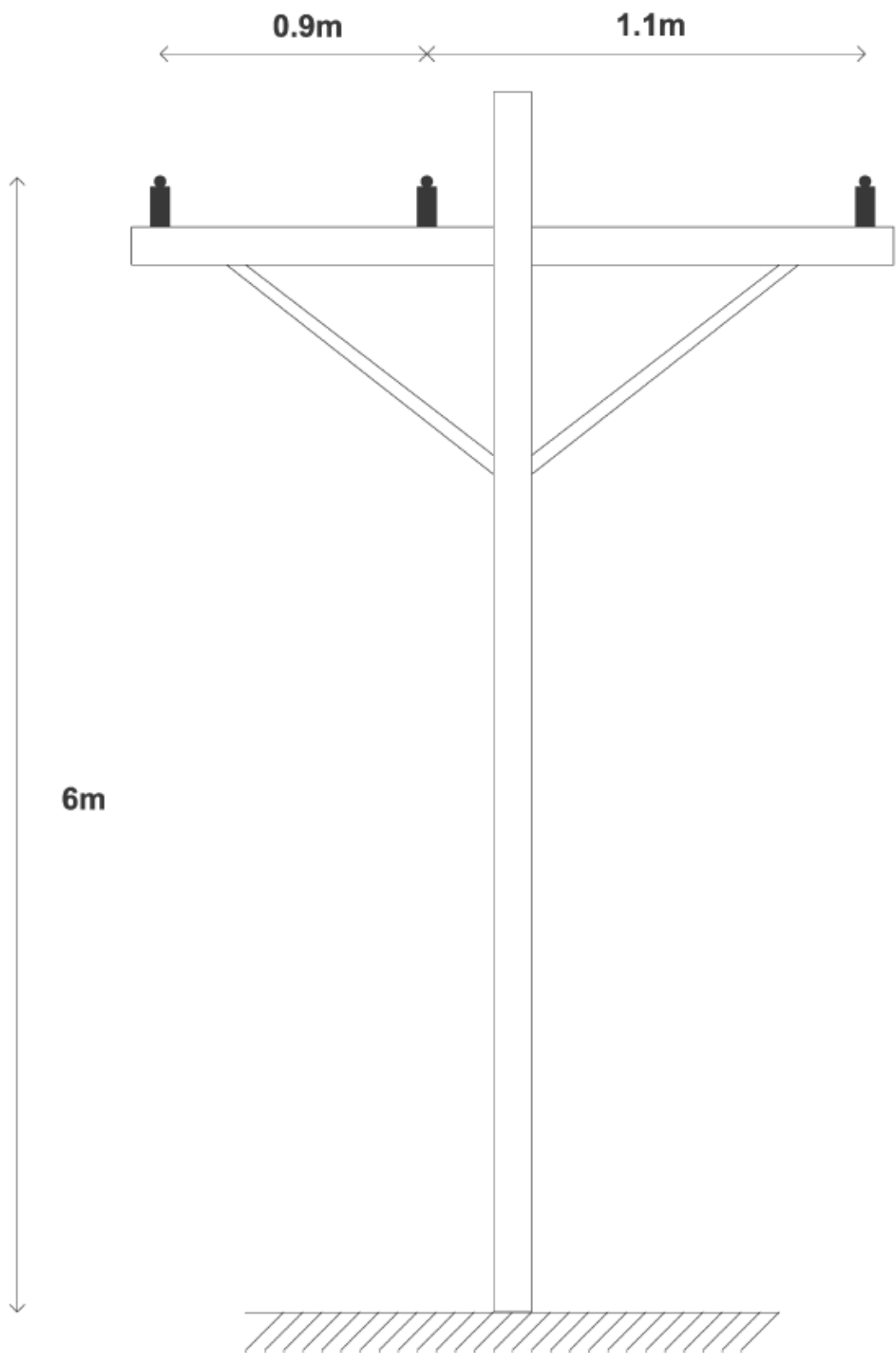
Μια γραμμή μεταφοράς δεν είναι τίποτε άλλο παρά ένα μέσο για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας από το σημείο παραγωγής στα σημεία κατανάλωσης. Ειδικότερα, οι γραμμές διανομής μέσης τάσης για τις οποίες ενδιαφερόμαστε είναι συνήθως εναέριες και στηρίζονται πάνω σε ξύλινους στύλους. Συχνά μέσα στην πόλη, οι γραμμές διανομής είναι υπόγειες υπό τη μορφή καλωδίων. Υπάρχουν αρκετοί τύποι γραμμών μεταφοράς μέσης τάσης που διαφοροποιούνται ως προς την κατασκευή του στύλου αλλά και την διάταξη των αγωγών των φάσεων. Ο πιο συνηθισμένος τύπος φαίνεται στο σχήμα 5.7.

### 5.8.7 ΟΜΟΠΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το σχήμα δείχνει το ισοδύναμο κύκλωμα για το ομοπολικό σύστημα



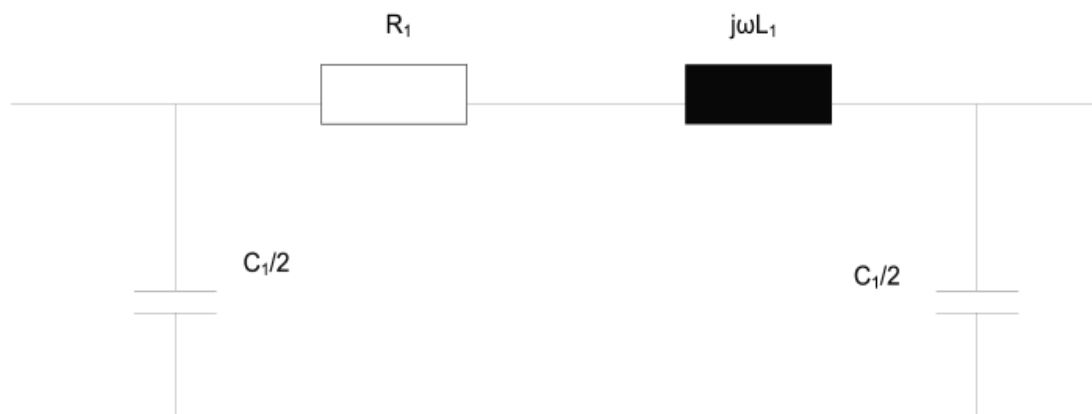
Σχήμα 5.8 : Ισοδύναμο κύκλωμα ομοπολικού συστήματος για εναέρια γραμμή μεταφοράς.



Σχήμα 5.7 : Τυπική διάταξη γραμμής μέσης τάσης

### 5.8.8 ΕΥΘΥ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το σχήμα 5.9 δείχνει το ισοδύναμο κύκλωμα εναέριας γραμμής για το ευθύ σύστημα, το οποίο ισχύει και για το αντίστροφο σύστημα.



Σχήμα 5.9 : Ισοδύναμο κύκλωμα ευθέως συστήματος για εναέρια γραμμή μεταφοράς.

Οι αγωγοί μιας γραμμής ηλεκτρικής ενέργειας, ανάμεσα στους οποίους παρεμβάλλεται ως διηλεκτρικό αέρας, συμπεριφέρεται ουσιαστικά σαν οπλισμοί πυκνωτή. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των αγωγών των φάσεων προκαλεί φόρτιση αυτών κατά τον ίδιο τρόπο που φορτίζονται οι οπλισμοί ενός πυκνωτή όταν μεταξύ τους υπάρχει μια διαφορά δυναμικού. Η χωρητικότητα μιας γραμμής είναι το αποτέλεσμα της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των αγωγών και των αγωγών και της γης.



# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

## **ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**

### **6.1 ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ**

#### **ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια το ευφυές δίκτυο είναι μια αναβάθμιση του ηλεκτρικού δικτύου, που χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες επικοινωνιών αυτοπονημένου ελέγχου, έξυπνες σύσκευες μέτρησης και γενικότερα αξιοποιεί την τεχνολογία πληροφορίας.

Σκοπός του έξυπνου δικτύου είναι η καλύτερη παροχή, ο έλεγχος και γενικότερα η διαχείριση της ενέργειας.

Τα πλεονεκτήματα του ευφυούς δικτύου σε σχέση με τα υπόλοιπα δίκτυα είναι τα εξής :

#### 1. Αυξημένη αξιοπιστία

Το ευφυές δίκτυο προσφέρει αλληλεπίδραση μεταξύ φορτίου και παραγωγής σε πραγματικό χρόνο που επιτρέπει τον καλύτερο υπολογισμό του ισοζυγίου και επιτρέπει στους χειριστές να ανιχνεύουν σφάλματα και να βρίσκουν ταχύτατα εναλλακτική διαδρομή για τη ροή ενέργειας παρακάμπτοντας το σφάλμα, έτσι αυξάνεται η αξιοπιστία.

#### 2. Ορθολογική διαχείριση ζήτησης

Προηγμένες επικοινωνιακές ικανότητες επιτρέπουν την άμεση ενημέρωση για την τιμολόγηση της ενέργειας, για τα κίνητρα μείωσης ζήτησης και για σήματα άμεσης διακοπής φορτίων.

Λόγω ότι η ζήτηση δεν είναι σταθερή αλλά έχει διακυμάνσεις απαιτούνται στρεφόμενες εφεδρείες για να καλύψουν την επιπλέον ζήτηση όταν χρειαστεί.

#### 3. Εξοικονόμηση ενέργειας - Μείωση απωλειών

Με τη χρήση έξυπνων συσκευών και έξυπνων μετρητών επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, της παράδοσης και των ενεργειακών απαιτήσεων του τελικού χρήστη.

#### 4. Προστασία περιβάλλοντος

Με τη σωστή διαχείριση της ζήτησης εκμεταλλευόμαστε το φορτίο και έτσι μειώνεται σημαντικά η συμβατική ρυπογόνος-παραγωγής ενέργειας.

## 5. Αποκεντρωμένη παραγωγή

Οι οικιακοί καταναλωτές γίνονται και παραγωγοί.

### Πλεονεκτήματα του Smart Grid σε σχέση με τα υπόλοιπα δίκτυα

- Διαφορά σε σχέση με τα μικροδίκτυα : Τα έξυπνα δίκτυα έχουν αυξημένη αντοχή σε βλάβες υποδομών και επικοινωνιών.
- Διαφορές σε σχέση με όλα τα δίκτυα : Το smart grid χρησιμοποιεί μοντέρνα ψηφιακή τεχνολογία και προχωρημένους ICT αλγόριθμους για τον ευφυή έλεγχο της ροής ενέργειας(τα υπόλοιπα δίκτυα δεν διαθέτουν τέτοιου είδους προηγμένες τεχνολογίες). Σε συνδυασμό με τους έξυπνους μετρητές για να εμποτεύουν αυτόματα την ενεργειακή κατανάλωση.  
Επίσης τα απλά δίκτυα δεν έχουν νοημοσύνη όπως έχουν τα αντίστοιχα έξυπνα δίκτυα.
- Διαφορά σε σχέση με τα δίκτυα μέσης τάσης και τα υπερδίκτυα : Τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες δεν αρκούν για να μειωθεί το 20% των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και να αυξηθεί στο 20% το μερίδιο των εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Πρέπει να συνδεθούν μεταξύ τους σε ένα δίκτυο διαχείρισης ενέργειας δηλαδή να εξελιχθούν σε ένα σύστημα ολοκληρωμένο όπως είναι το έξυπνο δίκτυο. Για τη βελτίωση των απλών δικτύων με σκοπό την εξέλιξή τους σε έξυπνα δίκτυα θα χρειαστεί καινούργιος εξοπλισμός.

Αναβαθμίζοντας ένα απλό υπερδίκτυο σε ευφυή θα έχουμε τα εξής πλεονεκτήματα που αφορούν τις διασυνорικές ηλεκτρικές διασυνδέσεις :

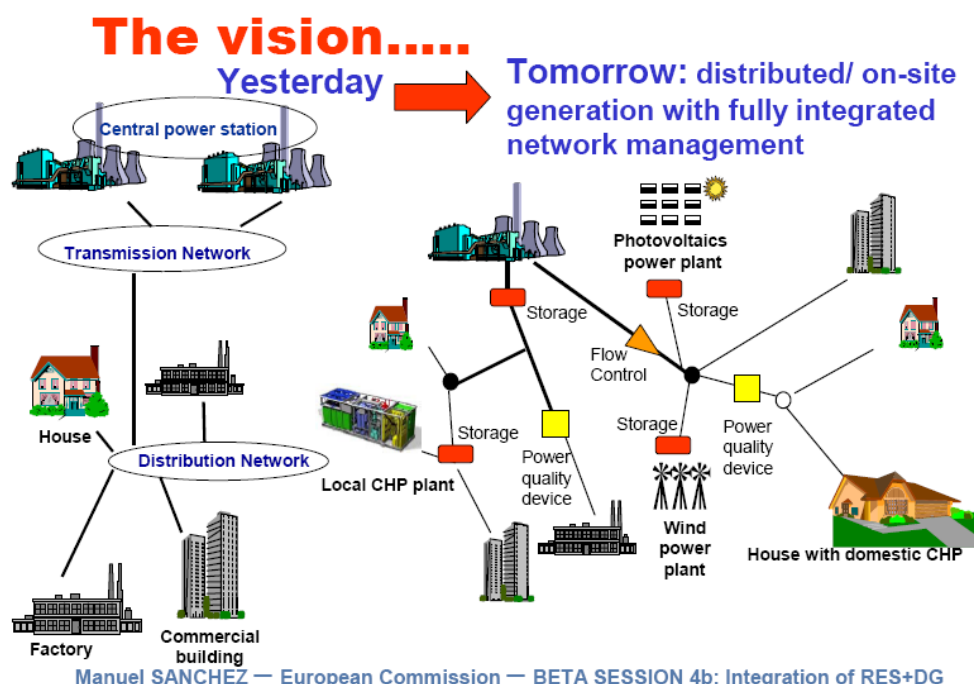
- Ενεργειακή ασφάλεια
- Εξοικονόμηση ενέργειας (με τη χρήση καλωδίων υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος μπορούμε να μειώσουμε τις μεγάλες απώλειες ενέργειας κατά τη μεταφορά της σε μεγάλες αποστάσεις).
- Ανάπτυξη ενός ηλεκτρικού συστήματος που βασίζεται στις ΑΠΕ

Αναβαθμίζοντας ένα απλό μικροδίκτυο (τηλεπικοινωνιακό) σε ευφυή θα έχουμε τα εξής πλεονεκτήματα :

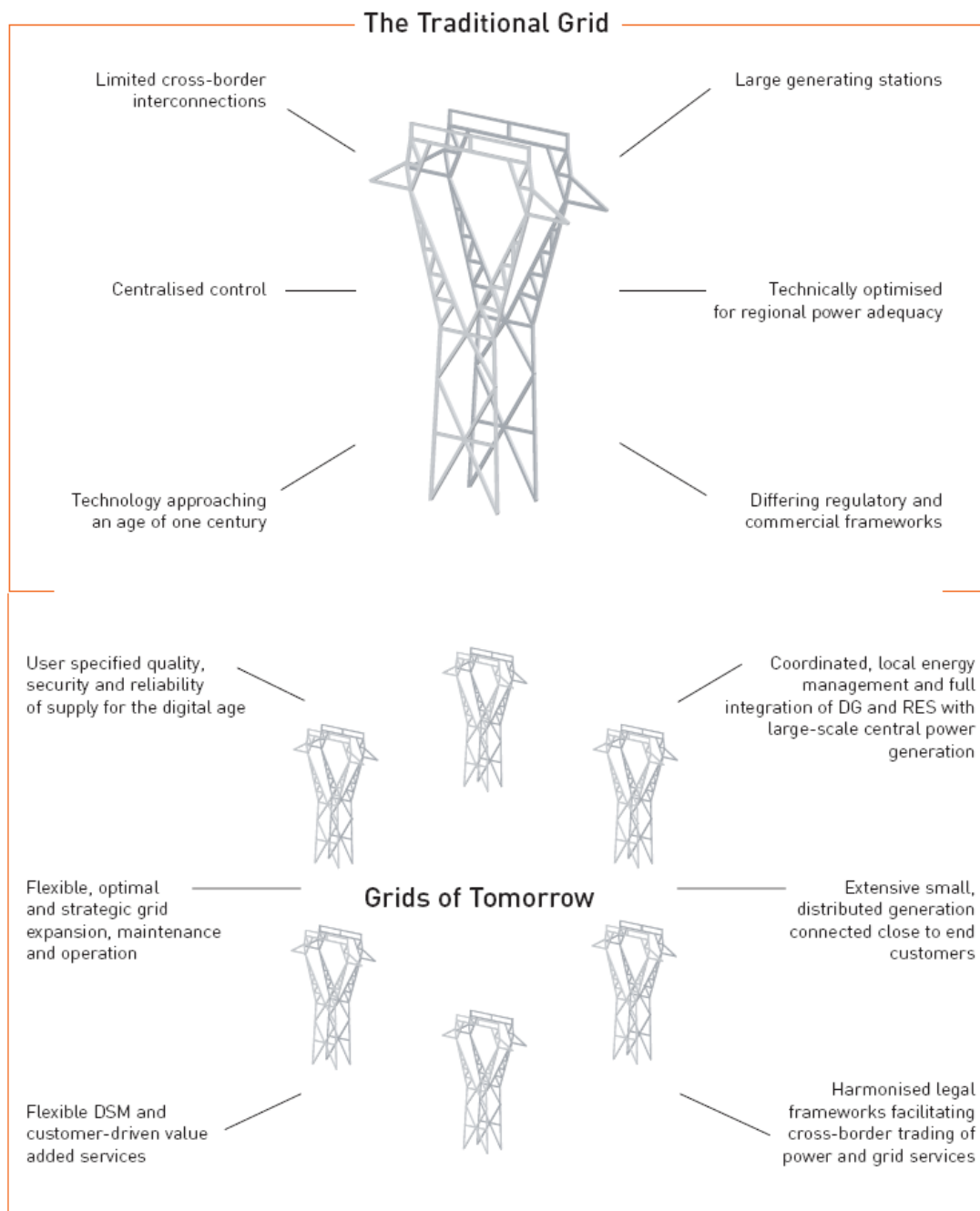
- Η δυνατότητα εγκατάστασης μικρών μονάδων συμπαραγωγής αυξάνει την αποδοτικότητα της παροχής ηλεκτρισμού και θέρμανσης και σε συνδυασμό με τη χρήση ΑΠΕ σε τοπικό επίπεδο συμβάλλει στην μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αέριων ρύπων.

- Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να παρέχουν υψηλή απόδοση λειτουργίας.
- Λόγω της χρήσης ευφύων πρακτόρων (πολύ φτηνοί μικροεπεξεργαστές πλακέτας) το κόστος του εξοπλισμού είναι μικρό.
- Σε αντίθεση με τα μεγάλα ηλεκτρικά συστήματα όπου απασχολούν ένα μεγάλο μέρος προσωπικού, στα μικρά συστήματα δεν είναι απαραίτητο αλλά ούτε εφικτό να υπάρχει προσωπικό που να επιτηρεί συνεχώς το σύστημα.
- Η παρουσία εφεδρικών συστημάτων ελέγχου σημαίνει περαιτέρω αύξηση του κόστους λειτουργίας. Αντίθετα, στα μικροδίκτυα η απώλεια ενός ελεγκτή θα συνεπάγεται την απώλεια μόνο της μονάδος αυτής και όχι ολόκληρου του συστήματος.
- Σημαντικό πλεονέκτημα των μικροδικτύων είναι η χρησιμοποίηση τοπικά της θερμότητας που αποβάλλεται κατά την μετατροπή του καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η χρήση αυτής της θερμότητας μειώνει τις εκπομπές αέριων ρύπων και αυξάνει την αποδοτικότητα της χρήσης πρωτογενών πηγών ενέργειας κατά 30% περίπου. Τα μικροδίκτυα μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και το μετριασμό της αλλαγής του κλίματος.

Η τυπική δομή ενός ευφυούς δικτύου, σε σύγκριση με το παραδοσιακό δίκτυο διανομής ενέργειας και παραγωγής, φαίνεται στα παρακάτω σχήματα :



Σχήμα 6.1 Παρελθόν – Μέλλον Δικτύων Ενέργειας (Smart Grid)



Σχήμα 6.2 Παρελθόν – Μέλλον Δικτύων Ενέργειας (Smart Grid)

### Μειονεκτήματα του Smart Grid σε σχέση με τα υπόλοιπα δίκτυα

Λόγω της χρήσης πολλών έξυπνων συσκευών και έξυπνων μετρητών έχουμε υψηλό αρχικό κόστος συν το κόστος συντήρησης και δεύτερον έχουμε υψηλή κατανάλωση ρεύματος όταν ο μετρητής επεξεργάζεται δεδομένα.

### Μειονεκτήματα ενός έξυπνου υπερδικτύου

- Η μαζική αξιοποίηση των ΑΠΕ ορισμένων χωρών μέσω ενός συστήματος έξυπνων δικτύων έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός έξυπνου υπερδικτύου π.χ. το ευρωπαϊκό υπερδίκτυο. Στα υπερδίκτυα λόγω ότι χρειάζεται να εγκαταστήσουμε διαφορετικά είδη συστημάτων υψηλής τάσης κατάλληλα για μεταφορά φορτίων σε μεγάλες αποστάσεις, θα έχουμε μεγάλο κόστος κατασκευής και συντήρησης.
- Λόγω της ελλιπούς γνώσης που διαθέτουμε ως σήμερα για τα ευφυή υπερδίκτυα χρειάζεται περισσότερη έρευνα έτσι ώστε τα υπερδίκτυα να μην μολύνουν το περιβάλλον και οι υποδομές τους να είναι πιο αποδοτικές, σύγχρονες και φιλικές για το κλίμα.

### Μειονεκτήματα ενός ευφυούς μικροδικτύου

- Σημαντικό μειονέκτημα είναι η μεγάλη πολυπλοκότητα που διαθέτουν.
- Οι κυψέλες καυσίμου αν και έχουν υψηλή απόδοση λειτουργίας έχουν πολύ υψηλό κόστος.
- Βασικό πρόβλημα είναι η μεταφορά θερμότητας λόγω του μεγέθους των μονάδων που χρησιμοποιούμε στα μικροδίκτυα. Η μεταφορά θερμότητας είναι πολύ δύσκολη έως αδύνατη.
- Η εισαγωγή μονάδων παραγωγής στα επίπεδα χαμηλής τάσης αλλά και μέσης δεν είναι απλό θέμα από τεχνικής πλευράς. Δημιουργούνται μια σειρά από τεχνικά ζητήματα τα οποία μπορούν να εξελιχθούν σε σημαντικά προβλήματα αν δεν υπάρχει επαρκής γνώση και ενημέρωση από τη πλευρά μας. Μερικά από αυτά είναι τα εξής :
  1. Μεταβολές στην τάση του δικτύου
  2. Αύξηση στη στάθμη βραχυκυκλώσεως του δικτύου
  3. Ποιότητα ισχύος
  4. Προστασία
  5. Ευστάθεια δικτύου

## 6.2 ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΟΦΕΛΗ

Οι αντιστροφείς όπως γνωρίζουμε είναι ένα είδος μετατροπέων, οι οποίοι έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν μια πηγή συνεχούς τάσης ή ρεύματος σε εναλλασσόμενη με μεταβλητή συχνότητα και πλάτος.

Εφαρμογές που χρησιμοποιούνται οι αντιστροφείς :

- Σε συστήματα ΑΠΕ
- Σε συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από κυψέλες υδρογόνου
- Σε ενεργά φίλτρα
- Σε συστήματα UPS
- Σε συστήματα διορθώσης συντελεστή ισχύος

Ο αντιστροφέας δεν αποτελεί ειδοποιό διαφορά μεταξύ των δικτύων ίσα ίσα είναι αναπόσπαστο κομμάτι για οποιοδήποτε δίκτυο και η χρήση του σ' αυτά είναι απαραίτητη. Χρησιμοποιείται κυρίως στα δίκτυα χαμηλής τάσης π.χ. ΔΕΗ όπου η γέφυρα του αντιστροφέα διατηρεί τα 230V στο δίκτυο. Είναι μια συσκευή η οποία βρίσκει εφαρμογή σε όλα τα έξυπνα δίκτυα λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που μας προσφέρει.

Τώρα όσον αφορά τον τρόπο σύνδεσης του αντιστροφέα σε ένα έξυπνο δίκτυο, σε αντίθεση με ένα απλό δίκτυο, δεν θα έχει σημαντικές αλλαγές. Ουσιαστικά η σύνδεση και η χρήση του θα είναι ίδια, απλά λόγω ότι το έξυπνο δίκτυο είναι πιο πολύπλοκο και πιο ποικιλόμορφο ίσως θα χρειαστούν περισσότεροι αντιστροφείς. Για τη μετατροπή ενός απλού δικτύου σε έξυπνο, θα χρειαστεί να συνυπάρξουν πολλά δίκτυα μαζί τα οποία θα ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες π.χ. φωτοβολταϊκά, αιολικά πάρκα κ.τ.λ. και το καθένα από αυτά θα χρειαστεί σημαντικό αριθμό μετατροπέων έτσι ώστε η λειτουργία τους να είναι ομαλή.

Πλεονεκτήματα : Οι αντιστροφείς που χρησιμοποιούνται σε ευρέως γνωστά δίκτυα προσφέρουν πολλά όπως μείωση κόστους, αξιοπιστία, απλότητα στον σχεδιασμό και αυξημένη απόδοση.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως γίνεται κατανοητό τα έξυπνα δίκτυα θα κατέχουν πρωταγωνιστικό ρόλο στο άμεσο μέλλον όσον αφορά την καλύτερη αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Βέβαια επιτακτική και αναγκαία σε αυτά τα προηγμένα συστήματα είναι και η παρουσία των αντιστροφών λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που μπορούν να μας παρέχουν όπως αυξημένη απόδοση, μεγαλύτερη αξιοπιστία κ.τ.λ. Ωστόσο χρειάζεται μεγάλη προσοχή όσον αφορά τον τρόπο χρησιμοποίησης αυτών των δικτύων διότι ελοχεύουν πολλοί κίνδυνοι.

1. Η σημερινή επικρατούσα λογική αναφορικά με τον σχεδιασμό τους βασίζεται στην προσφορά ενέργειας και όχι στη διαχείριση της ζήτησης και εξυπηρετεί κυρίως τις υπάρχουσες “βρώμικες” μονάδες. Η δημιουργία νέων δικτύων χωρίς προϋποθέσεις, θα μπορούσε να ωφελήσει τη βρώμικη παραγωγή και να παρεμποδίσει την εξοικονόμηση ενέργειας.
2. Λόγω του υψηλού αρχικού κόστους του καινούργιου εξοπλισμού π.χ. έξυπνες συσκευές, καλώδια για τα έξυπνα υπερδίκτυα, έξυπνοι μετρητές, εξελιγμένες κυψέλες καυσίμων κ.τ.λ. μπορούν να δημιουργηθούν προβλήματα και οι απλοί καταναλωτές αλλά και αρκετές μεγάλες εταιρείες να μην δουν με τόσο καλό μάτι την αγορά αυτών λόγω των ασύμφορων τιμών τους. Γιαυτό από τις διάφορες εταιρείες πρέπει τα smart grids να παρουσιάζονται με ελκυστικό τρόπο έτσι ώστε κόσμος να τα γνωρίσει και να τα αποδεχθεί γιατί ουσιαστικά η συνεργασία μας με τα έξυπνα δίκτυα μόνο οφέλη έχει να μας προσφέρει.
3. Τέλος το πιο σημαντικό κριτήριο για όλους εμάς που έχουμε οικολογική συνείδηση αφορά το περιβάλλον. Οι νέες εγκαταστάσεις πρέπει έχουν όσο το δυνατόν λιγότερες ή τουλάχιστον μικρότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Τα περιβαλλοντικά κριτήρια θα πρέπει να υπερτερούν των οικονομικών και δεν θα πρέπει να τα απαξιώνουμε για το βωμό του χρήματος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. EU Research Project Microgrids [Online]. Available:  
<http://microgrids.power.ece.ntua.gr>
2. Technical Annex, EU research project Microgrids Available on line  
<http://microgrids.power.ece.ntua.gr>
3. <http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/EETD-microgrids.html>
4. <http://lightingcontrolpros.com/>
5. [http://news.cnet.com/8301-11128\\_3-10241102-54.html](http://news.cnet.com/8301-11128_3-10241102-54.html)
6. <http://www.dw-world.de/dw/article/0,,5977776,00.html>
7. <http://www.iqsolarpower.com/inverter.htm>
8. R. Lasseter, A. Akhil, C. Marnay, J. Stephens, J. Dagle, R. Guttromson, A. Meliopoulos, R. Yinger, and J. Eto, "White Paper on Integration of Distributed Energy Resources. The CERTS MicroGrid Concept," Consortium for Electric Reliability Technology Solutions (CERTS), CA, Tech. Rep. LBNL-50 829, 2002
9. <http://www.re-public.gr/?p=1867>
10. [http://biozein.blogspot.com/2010/01/blog-post\\_13.html](http://biozein.blogspot.com/2010/01/blog-post_13.html)
11. Ηλεκτρική κίνηση, 2η έκδοση, Παντελής Β. Μαλατέστας, Στέφανος Ν. Μανιάς  
Εκδόσεις Τζιόλα
12. <http://www.schneider-electric.com.gr>
13. [http://www.deitzis.com/2010/03/blog-post\\_09.html#ixzz104QMC1mt](http://www.deitzis.com/2010/03/blog-post_09.html#ixzz104QMC1mt)
14. Σ. Μανιάς. "Ηλεκτρονικά Ισχύος", Εκδόσεις Συμείων, 2000
15. J. Mayfield, Y. Labrou, and T. Finin, "Evaluating KQML as an agent communication language," in Intelligent Agents II, M. Wooldridge, J.P. Müller, and M. Tambe, Eds. New York: Springer, 1995, pp. 347-360
16. Jade (Java Agent Development Framework) at <http://jade.tilab.com/>
17. Μανιάς Σ., *Ηλεκτρονικά Ισχύος*, Τόμος Ι, Εκδόσεις Συμείων, Πέμπτη έκδοση, Αθήνα 2002
18. Μανιάς Σ., *Ανώτερα Κεφάλαια Ηλεκτρονικών Ισχύος*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου – Ε.Π.Ι.Σ.Ε.Υ./Ε.Μ.Π., Αθήνα 1997
19. G. Bopp, H. Gabler, K. Preiser, D.U. Sauer, H. Schmidt, "Energy Storage in Photovoltaic Stand-alone Energy Supply Systems", *Prog. Photovolt. Res. Appl.* 6, (1998), 271-291
20. Στέφανος Μανιάς, *Ηλεκτρονικά Ισχύος*, Εκδόσεις Συμείων, Έκτη έκδοση, Αθήνα 2007
21. Instruction Manual for BE1-851, Overcurrent, Protection System, Basler Electric, Publication 9-2899-00-990, Revision D 03/1998
22. Π.Γ. ΜΙΧΑΛΗΣ, *ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ*, Εγκαταστάσεις Χ.Τ., Εγκαταστάσεις Κίνησης, Υποσταθμοί, Κανονισμοί Εσωτερικών Ηλ. Εγκαταστάσεων, Παραδείγματα, Εκδοσεις ΙΩΝ
23. <http://www.greenpeace.org/greece/news/24-7>
24. <http://www.cosmo.gr/Environment/Europe/262685.htm>



25. <http://www.cisco.com/web/GR/index.html>
26. Electric Machinery Fundamentals, Third Edition by Stephen J. Chapman
27. Εργαστηριακές ασκήσεις ηλεκτρικής κίνησης, με συνοπτική θεωρία Παντελής Β. Μαλατέστας – Ηρακλής Αθ. Βυλλιιώτης
28. E. M. Davidson, S. D. J. McArthur, J. R. McDonald, T. Cumming, I. Watt, "Automating the analysis and management of Power System Data using Multiagent Systems Technology" Application and Innovations in Intelligent Systems XII (AI2004), Springer 2004, pp. 151-164
29. W. Junpu, C. Hao, X. yang, L. Shuhui, "An Architecture of Agent Based Intelligent Control systems," in Proc. 2000 the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation, pp. 404-407.
30. D. P. Buse, P. Sun, Q. H. Wu, J. Fitch, "Agent-based substation automation" IEEE Power and Energy Magazine, Volume 1, Issue 2, Mar-Apr 2003, pp.50 – 55.
31. W3C at <http://www.w3.org/XML/>
32. XML Specification at <http://www.w3.org/TR/2004/REC-xml-20040204/>
33. <http://www.fipa.org/>
34. [http://chaos.c4lab.el.teithe.gr/kioskeridis/Power\\_Electronics\\_08\\_Inverters.pdf](http://chaos.c4lab.el.teithe.gr/kioskeridis/Power_Electronics_08_Inverters.pdf)
35. <http://www.solar-systems.gr/inverters-off-grid.html>
36. [http://climate.wwf.gr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=29](http://climate.wwf.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=29)
37. <http://www.ypan.gr/ape/index.php>
38. <http://www.consumerenergyreport.com/2010/04/12/us-invests-in-smart-grid-training/>
39. <http://www.openscience.gr/node/762>
40. <http://3g4g.blogspot.com/2009/07/smart-grids-new-wireless-revolution.html>
41. <http://www.examiner.com/sustainability-in-national/smart-grid-architecture>