



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Η τεχνολογία BPL στη Μέση Τάση  
Το Έξυπνο Δίκτυο**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χρήστος Π. Παπαθεοδώρου

Επιβλέπων : Παναγιώτης Κωττής

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2007





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

## Η τεχνολογία BPL στη Μέση Τάση Το Έξυπνο Δίκτυο

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χρήστος Π. Παπαθεοδώρου

Επιβλέπων : Παναγιώτης Κωττής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 31<sup>η</sup> Οκτωβρίου 2007

.....  
Παναγιώτης Κωττής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ιωάννης Δ. Κανελλόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Χρήστος Καψάλης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2007

.....  
Χρήστος Π. Παπαθεοδώρου

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

Copyright © Χρήστος Π. Παπαθεοδώρου, 2007  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

# Περίληψη

Η πρόσφατη ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας τηλεπικοινωνιών μέσω γραμμών ηλεκτρικής ισχύος (BPL), παρέχει τη δυνατότητα μετατροπής του σημερινού, παθητικού δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, σε ένα Έξυπνο Δίκτυο, το οποίο θα λειτουργεί ως ένα εύχρηστο, πολλαπλών χρήσεων μέσο παράλληλης μετάδοσης ηλεκτρικής ενέργειας και τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η καταγραφή των δυνατοτήτων που μπορεί να προσφέρει αυτό το Έξυπνο Δίκτυο στις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού αλλά και στους καταναλωτές.

Βασική επιδίωξη είναι η σύγκριση του παραδοσιακού τρόπου διαχείρισης και ελέγχου του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με αυτόν που βασίζεται στην τεχνολογία BPL. Στο πλαίσιο αυτό, κρίνουμε ότι καθίσταται αρχικά αναγκαία η εκτενής αναφορά στην τοπολογία και τη δομή του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, στις σημαντικότερες διατάξεις και τα μέσα προστασίας που απαρτίζουν το σύστημα αυτό, αλλά και στα προβλήματα που δημιουργούνται κατά τη λειτουργία του ολοκληρωμένου συστήματος. Παράλληλα, εξετάζεται η συμπεριφορά των γραμμών διανομής ηλεκτρικής σε υψηλές συχνότητες, ενώ περιγράφονται τα βασικά πρωτόκολλα και οι μέθοδοι που χρησιμοποιεί η τεχνολογία BPL για τη μετάδοση σήματος στο φυσικό επίπεδο αλλά και στο επίπεδο δικτύου. Σε άλλο κεφάλαιο της εργασίας, γίνεται μια προσπάθεια μελέτης της συμπεριφοράς βασικών διατάξεων του δικτύου διανομής σε υψηλές συχνότητες, καθώς είναι ενδιαφέρουσα η αντίδραση αυτών των στοιχείων σε συχνότητες κοντά σε αυτές που χρησιμοποιεί η τεχνολογία BPL.

Στο κύριο μέρος της εργασίας, παρουσιάζονται αρχικά οι βασικές υπηρεσίες που προσφέρει το Έξυπνο Δίκτυο στους καταναλωτές. Με την τεχνολογία BPL υπηρεσίες όπως η ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο, η δικτύωση εσωτερικών χώρων, υπηρεσίες VoIP, η διαδικτυακή τηλεόραση, η τηλεπαρακολούθηση χώρων αλλά και η αυτόματη ανάγνωση μετρητή ηλεκτρικού ρεύματος γίνονται διαθέσιμες σε κατοίκους αραιοκατοικημένων περιοχών, ενώ μπορούν να αξιοποιηθούν ως μια δεύτερη επιλογή για τους καταναλωτές που ήδη έχουν ευρυζωνική πρόσβαση μέσω κάποιας άλλης τεχνολογίας. Η πρόσβαση του καταναλωτή γίνεται κυρίως με ασύρματο τρόπο (Wi-Fi

access) είτε προς τη γραμμή Χαμηλής Τάσης (στο μετρητή του χρήστη) είτε απευθείας προς τη γραμμή Μέσης Τάσης.

Η αξιοποίηση της τεχνολογίας BPL από τις επιχειρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας παρέχει ιδιαίτερης σημασίας δυνατότητες. Ο έλεγχος φορτίου/ζήτησης, ο εντοπισμός βλαβών, η απομόνωση και ταχεία αποκατάσταση σφαλμάτων, η προληπτική συντήρηση του δικτύου διανομής, η διαγνωστική παρακολούθηση του δικτύου, η διαχείριση της ασφάλειας του δικτύου απαιτούν τεράστιο όγκο πληροφορίας και διακίνηση της σε πραγματικό χρόνο μέσω του δικτύου διανομής. Η τεχνολογία BPL υπερκαλύπτοντας αυτές τις βασικές απαιτήσεις προτείνεται ως μια επιλογή για τον εκσυγχρονισμό του πεπαλαιωμένου δικτύου διανομής και τη δημιουργία μιας πραγματικά αξιόπιστης και ευέλικτης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

## Λέξεις-κλειδιά

Επικοινωνίες ή Τηλεπικοινωνίες μέσω των Γραμμών Ηλεκτρικής Ισχύος (PLC ή PLT), Ευρυζωνικότητα Πάνω σε Γραμμές Ηλεκτρικής Ισχύος (BPL), Έξυπνο δίκτυο, Γραμμές Μέσης Τάσης (MT), Αυτόματη ανάγνωση μετρητή (AMR), έλεγχος φορτίου, διαχείριση της ζήτησης, έλεγχος σφαλμάτων, δίκτυα διανομής, DR, SR, Negawatt, Homeplug, Smart Home, Smart Grid.

# Abstract

The recent rapid progress of the Broadband over Power Line Communications (BPL) provides the opportunity of converting the actual, passive power grid, to a Smart Grid, which will function as a flexible, multi usage mean of parallel transmission of electric energy and telecommunication services. The goal of this thesis is to describe the potential that the Smart Grid may offer to the electric companies and also to the consumers.

The main purpose of this assignment is to compare the traditional way of management and control of the power supply grid to the one that is based on the BPL technology. According to this, we consider that it is principally necessary a detailed report of the topology and the structure of the power grid, at the most important components and the means of protection that consist on this system, but also at the problems that can be created from the function of the whole system. Moreover, the high frequency response of the power lines is examined, while the basic protocols and methods that are used in the BPL technology for the transmission of the signal in the Physical and Network Layer are analyzed. In another chapter of this thesis, we try to study the behavior of basic parts of the distribution network in high frequencies because it is interesting the response of these elements in frequencies similar to those used by BPL technology.

In the main part of this thesis, we present the basic services that the Smart Grid offers to the consumers. Through the BPL technology, services as broadband access to the Internet, in-house interconnectivity, Voice over IP services, monitoring of premises but also automatic meter reading are available to citizens of under populated areas, furthermore there can be utilized as a second choice for the consumers that already have broadband access through another technology. The access is established mainly with Wi-Fi through the low voltage (user meter) or directly towards the medium voltage power line.

The exploitation of BPL technology from the power companies provides special capabilities. The loads/demand side management, fault detection, the isolation and the

immediate restoration of faults, preventive maintenance of the distribution network, the diagnostic monitoring and the security management of the grid demands a vast amount of information and its transport in real time through the distribution network. BPL technology over covering these basic specifications is suggested as a choice for the modernization of the old distribution network and the creation of a truly reliable and flexible electric energy market.

## Keywords

Broadband over Power Lines (BPL), Power Line Communications (PLC), Distribution Network, Medium Voltage lines, Automatic Meter Reading (AMR), Demand Response (DR), Smart Read (SR), Load Control, Demand Side Management (DSM), Fault location in distribution power grid, Smart Home, Smart Grid, Negawatt, HomePlug.



# Ευχαριστήριο Σημείωμα

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Παναγιώτη Κωττή, για την συνολική του καθοδήγηση κατά την διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας, αλλά και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της μελέτης ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον υποψήφιο Διδάκτορα Ε.Μ.Π. και φίλο κ. Νικόλαο Σηφάκη, ο οποίος με την επιστημονική του πείρα και τις πολύτιμες παρατηρήσεις του, κατάφερε να διευρύνει το επιστημονικό μου πεδίο και να δώσει μεγαλύτερο κίνητρο στην συνολική μου προσπάθεια.

Η εργασία αυτή, αφιερώνεται στους γονείς μου, Παναγιώτη και Πολυτίμη, και στον αδερφό μου, Δήμο, για την συμπαράσταση και την υπομονή που έδειξαν κατά τον τελευταίο χρόνο των σπουδών μου.



# Περιεχόμενα

Περίληψη – Λέξεις Κλειδιά.....	5
Abstract – Keywords.....	7
Ευχαριστήριο Σημείωμα.....	9
Περιεχόμενα.....	11
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	
<b>ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....</b>	<b>15</b>
1.1. Γενικά.....	15
1.2. Σύστημα Παραγωγής.....	18
1.3. Σύστημα Διασυνδέσεως και Μεταφοράς.....	18
1.4. Σύστημα Υπομεταφοράς.....	20
1.5. Σύστημα Διανομής Μέσης Τάσης (ΜΤ).....	20
1.5.1. Ακτινωτή Τοπολογία.....	22
1.5.2. Τοπολογία Δακτυλίου.....	24
1.5.3. Τοπολογία Δικτύου.....	24
1.6. Σύστημα Διανομής Χαμηλής Τάσης (ΧΤ).....	25
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	
<b>ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ, ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ</b>	
<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....</b>	<b>27</b>
2.1. Υποσταθμοί (Υ/Σ).....	27
2.1.1. Γενικά.....	27
2.1.2. Υποσταθμοί Διανομής.....	28
2.1.3. Κέντρα Υπερύψηλης Τάσης (ΚΥΤ).....	29
2.2. Μετασηματιστές (ΜΣ).....	29
2.3. Αυτομετασηματιστές (ΑΜΣ).....	30
2.4. Ζυγοί.....	31
2.5. Διακοπτικά και προστατευτικά στοιχεία.....	32
2.5.1. Γενικά.....	32
2.5.2. Αποζεύκτες.....	33
2.5.3. Διακόπτες φορτίου.....	33
2.5.4. Διακόπτες ισχύος.....	34
2.5.5. Ασφαλειοαποζεύκτες.....	34
2.5.6. Διακόπτες αυτόματης επαναφοράς.....	35
2.5.7. Διακόπτες απομόνωσης.....	35
2.5.8. Ηλεκτρονόμοι.....	36
2.6. Καλώδια ΜΤ.....	38
2.7. Πίνακες του δικτύου ΜΤ της Δ.Ε.Η. ....	40
2.8. Σφάλματα και βλάβες στα δίκτυα Διανομής.....	42
2.8.1. Γενικά.....	42
2.8.2. Ανάλυση σφαλμάτων δικτύων Διανομής.....	44
2.8.3. Στατιστική σφαλμάτων.....	45
2.8.4. Πίνακες πλήθους βλαβών ανά αίτιο και είδος βλάβης στα δίκτυα διανομής ΜΤ.....	46
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	
<b>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ</b>	
<b>ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ.....</b>	<b>51</b>
3.1. Γενικά.....	51

3.2. Λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR).....	53
3.3. Ποιότητα καναλιού γραμμής ηλεκτρικής ενέργειας.....	53
3.4. Απώλειες καλωδίων δικτύου Διανομής σε υψηλές συχνότητες.....	54
3.5. Πολύοδη διάδοση.....	56
3.6. Συνάρτηση μεταφοράς γραμμής MT.....	61
3.7. Μετρήσεις εξασθένησης καναλιού MT.....	64
3.8. Κλασσικός υπολογισμός χωρητικότητας γραμμής MT.....	68
3.9. Θόρυβος σε γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας.....	69
3.9.1. Γενικά.....	69
3.9.2. Φασματική ανάλυση θορύβου περιβάλλοντος (background noise).....	72
3.9.3. Φασματική ανάλυση κρουστικού θορύβου.....	73
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	
<b>ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ BPL.....</b>	<b>75</b>
4.1. Εισαγωγή.....	75
4.2. In – House BPL.....	77
4.3. BPL πρόσβασης (Access BPL).....	79
4.3.1. Γενικά.....	79
4.3.2. Αμιγώς ενσύρματα δίκτυα BPL πρόσβασης.....	81
4.3.3. Υβριδικά δίκτυα BPL πρόσβασης .....	82
4.3.4. Παράδειγμα συστήματος αρχιτεκτονικών δικτύων BPL πρόσβασης.....	84
4.3.4.1. GEN 1 (Τεχνολογία BPL πρώτης γενιάς).....	84
4.3.4.1.1. Πρώτη αρχιτεκτονική GEN1.....	87
4.3.4.1.2. Δεύτερη αρχιτεκτονική GEN1.....	88
4.3.4.1.3. Τρίτη αρχιτεκτονική GEN1.....	90
4.3.4.2. GEN 2 (Τεχνολογία BPL δεύτερης γενιάς).....	91
4.3.5. Στοιχεία δικτύων BPL πρόσβασης.....	93
4.3.6. Παράδειγμα εξοπλισμού δικτύων BPL πρόσβασης.....	96
4.3.7. Διαμόρφωση δικτύου διανομής XT σε σχέση με την τεχνολογία BPL.....	98
4.3.8. Βελτιστοποίηση απόδοσης δικτύων BPL MT.....	100
4.3.9. Επανάληψη σήματος.....	101
4.3.10. Βελτιστοποίηση υπηρεσιών με απαίτηση χρονικής ακρίβειας.....	103
4.3.11. Σύζευξη σήματος.....	104
4.3.12. Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC).....	106
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	
<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΟΥ BPL.....</b>	<b>109</b>
5.1. Γενικά.....	109
5.2. Τεχνικές διαμόρφωση για συστήματα BPL.....	111
5.2.1. Ορθογώνια μέθοδος διαμόρφωσης με διάκριση συχνοτήτων (OFDM).....	112
5.2.2. Διαμόρφωση απλωμένου φάσματος.....	114
5.2.3. Σύγκριση τεχνικών διαμόρφωσης για συστήματα BPL.....	115
5.3. Διαχείριση σφαλμάτων.....	117
5.3.1. Γενικά.....	117
5.3.2. Forward error correction (FEC) .....	119
5.3.3. Μηχανισμοί ARQ.....	120
5.4. BPL MAC Στρώμα.....	121
5.4.1. Γενικά.....	121
5.4.2. Τεχνικής πολλαπλής πρόσβασης.....	122
5.4.3. Τεχνικές διαμοιρασμού των πόρων.....	125
5.5. Έλεγχος ποιότητας υπηρεσιών.....	126
5.6. Μηχανισμός CAC.....	128
5.7. Πιθανότητα εμφάνισης μεγέθους πακέτων σε δίκτυα BPL.....	128

5.8. Καθυστέρηση πακέτου.....	130
5.9. IPv6 και BPL.....	131
5.10 Ασφάλεια δικτύων BPL.....	132
5.11 Multicasting.....	133
5.12 Οικογένεια πρωτοκόλλων 802.11.....	135
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	
<b>ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ BPL.....</b>	<b>137</b>
6.1. Γενικά.....	137
6.2. Κομιστικές υπηρεσίες BPL.....	137
6.3. Τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες BPL.....	139
6.3.1. Πρόσβαση στο διαδίκτυο.....	139
6.3.2. Τηλεφωνία.....	140
6.3.3. Υπηρεσία VoIP (Voice over IP).....	140
6.3.4. Video on Demand (VoD).....	142
6.4. Τηλεπαρακολούθηση χώρων. ....	143
6.4.1. Τηλεπαρακολούθηση οικίας.....	143
6.4.2. Τηλεπαρακολούθηση δρόμων.....	144
6.4.3. Τηλεπαρακολούθηση δασικών περιοχών.....	145
6.4.4. Τηλεπαρακολούθηση κυκλοφορίας αυτοκινήτων.....	147
6.4.5. Τηλεπαρακολούθηση εισόδου οικίας.....	148
6.5. Έξυπνο Σπίτι.....	148
6.6. Τηλειατρική (e-Health) .....	152
6.7. Κλάσεις τηλεπικοινωνιακής κίνησης BPL συστήματος.....	154
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7</b>	
<b>ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ</b>	
<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....</b>	<b>157</b>
7.1. Γενικά.....	157
7.2. Αντιστάθμιση αέργου ισχύος.....	158
7.2.1. Γενικά.....	158
7.2.2. Μέθοδοι αντιστάθμισης αεργου ισχύος.....	161
7.3. Ανίχνευση και εντοπισμός σφαλμάτων.....	164
7.4. Κριτήρια επιτυχούς λειτουργίας του συστήματος.....	166
7.5. Τηλέελεγχος και αυτοματοποίηση των δικτύων MT.....	169
7.6. Χρήση των διακοπών ισχύος YT και MT.....	171
7.7. Τηλεχειρισμοί υποσταθμών.....	174
7.8. Θερμικές κάμερες.....	176
7.9. Συστήματα PLC στενής ζώνης.....	177
7.10 Συστήματα SCADA.....	179
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8</b>	
<b>ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ BPL ΠΡΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ</b>	
<b>ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>181</b>
8.1. Εισαγωγή.....	181
8.2. Βελτιώσεις που μπορεί να προσφέρει η τεχνολογία BPL στο δίκτυο ηλεκτρικής	
ενέργειας.....	187
8.2.1. Αναβάθμιση στις διακοπτικές και προστατευτικές λειτουργίες.....	187
8.2.2. Νέες δυνατότητες στο σύστημα μετρήσεων και ρυθμίσεων του δικτύου	
MT.....	188
8.2.3. Μείωση της ανάγκης για θερμικές κάμερες.....	191
8.2.4. Μείωση των απωλειών κατά τη διανομή της ενέργειας.....	192
8.2.5. Έλεγχος του φορτίου σε πραγματικό χρόνο.....	192
8.2.6. Αυτόματος έλεγχος συντελεστή ισχύος και σταθεροποίησης τάσης.....	195

8.2.7. Βελτίωση της αξιοπιστίας μέσω της τεχνολογίας BPL.....	199
8.2.8. Έλεγχος αρδευτικών συστημάτων.....	202
8.2.9. Αντιμετώπιση προβλημάτων υπερέντασης και έλεγχος καταναλισκόμενης ισχύος.....	204
8.2.10. Λειτουργικές βελτιώσεις.....	205
8.2.11. Αύξηση ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας.....	206
8.2.12. Διαχείριση απομονωμένων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	208
8.2.13. Αυτόματη ανάγνωση μετρητή (AMR).....	211
8.2.14. Διαχείριση της ζήτησης από την πλευρά του καταναλωτή.....	214
8.2.15. Η ιδέα του Negawatt.....	217
8.2.16. Σύνδεση/αποσύνδεση υπηρεσίας.....	220
8.2.17. Ανίχνευση θέσης σφάλματος μέσω BPL.....	221
8.3. Η επίλυση του προβλήματος.....	223
8.4. Το λογισμικό διαχείρισης BPL στο κέντρο εποπτείας και ελέγχου.....	226
8.5. Τυπικός υπολογισμός χωρητικότητας γραμμής ΜΤ.....	233
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9</b>	
<b>ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΒΑΣΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ.....</b>	
9.1. Γενικά.....	239
9.2. Υψίσυχα χαρακτηριστικά διατάξεων βιομηχανίας δικτύου διανομής ΧΤ.....	240
9.2.1. Γενικά.....	240
9.2.2. Ηλεκτρικοί κινητήρες.....	241
9.2.3. Αντιστροφείς.....	249
9.3. Υψίσυχα χαρακτηριστικά του μονωτικού υλικού PVC.....	253
9.4. Πυκνωτές.....	254
9.5. Γειωτές πλέγματος.....	257
9.6. Μετασηματιστές Διανομής.....	258
9.7. Υψίσυχο μοντέλο Μετασηματιστή για την ανάλυση μεταβατικών φαινομένων.....	260
Σχόλια – Παρατηρήσεις.....	263
Συγκριτικός πίνακας υπηρεσιών παραδοσιακού τρόπου τηλεχειρισμού σε σχέση με τη τεχνολογία BPL.....	267
Αναφορές - Βιβλιογραφία.....	269

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

# 1

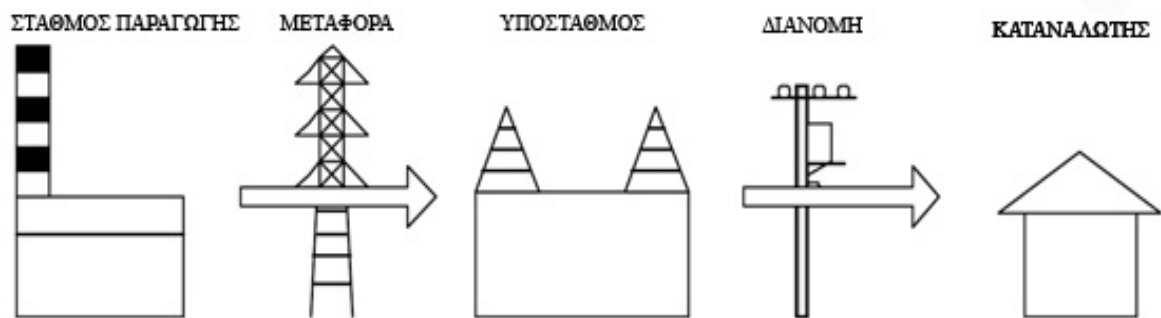
## **ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

### 1.1 Γενικά

Ο σκοπός των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας είναι η μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες παραγωγής στους τελικούς καταναλωτές. Βασική επιδίωξη είναι η παροχή υψηλής αξιοπιστίας και υψηλής ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας η οποία συνίσταται από την εξασφάλιση και την διατήρηση σταθερής συχνότητας και τάσης μέσα σε προδιαγραφόμενα όρια. Τα στάδια μεταβίβασης της ηλεκτρικής ενέργειας από τον σταθμό παραγωγής στον τελικό καταναλωτή φαίνονται στο Σχήμα 1.1. Κατά μήκος του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας διακρίνονται τρία επίπεδα τάσεως

- **Υψηλή Τάση YT** (High Voltage HV), με επίπεδα τάσης άνω των 35kV ενώ για τάση άνω των 275kV ονομάζεται Υπερύψηλη Τάση YYT.
- **Μέση Τάση MT** (Medium Voltage MV), με επίπεδα τάσης από 1kV έως 35kV.
- **Χαμηλή Τάση XT** (Low Voltage LV), με επίπεδα τάσης από 1kV έως 35kV 100V έως 1kV.

Οι παραπάνω τιμές αναφέρονται σε ενεργό (rms) τιμή πολικής τάσεως τριφασικού συστήματος.



**Σχήμα 1.1** Στάδια μεταβίβασης ηλεκτρικής ενέργειας

Το συνολικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας απαρτίζεται από επιμέρους συστήματα

- Σύστημα Παραγωγής.
- Σύστημα Διασυνδέσεως και Μεταφοράς.
- Σύστημα Υπομεταφοράς.
- Σύστημα Διανομής.

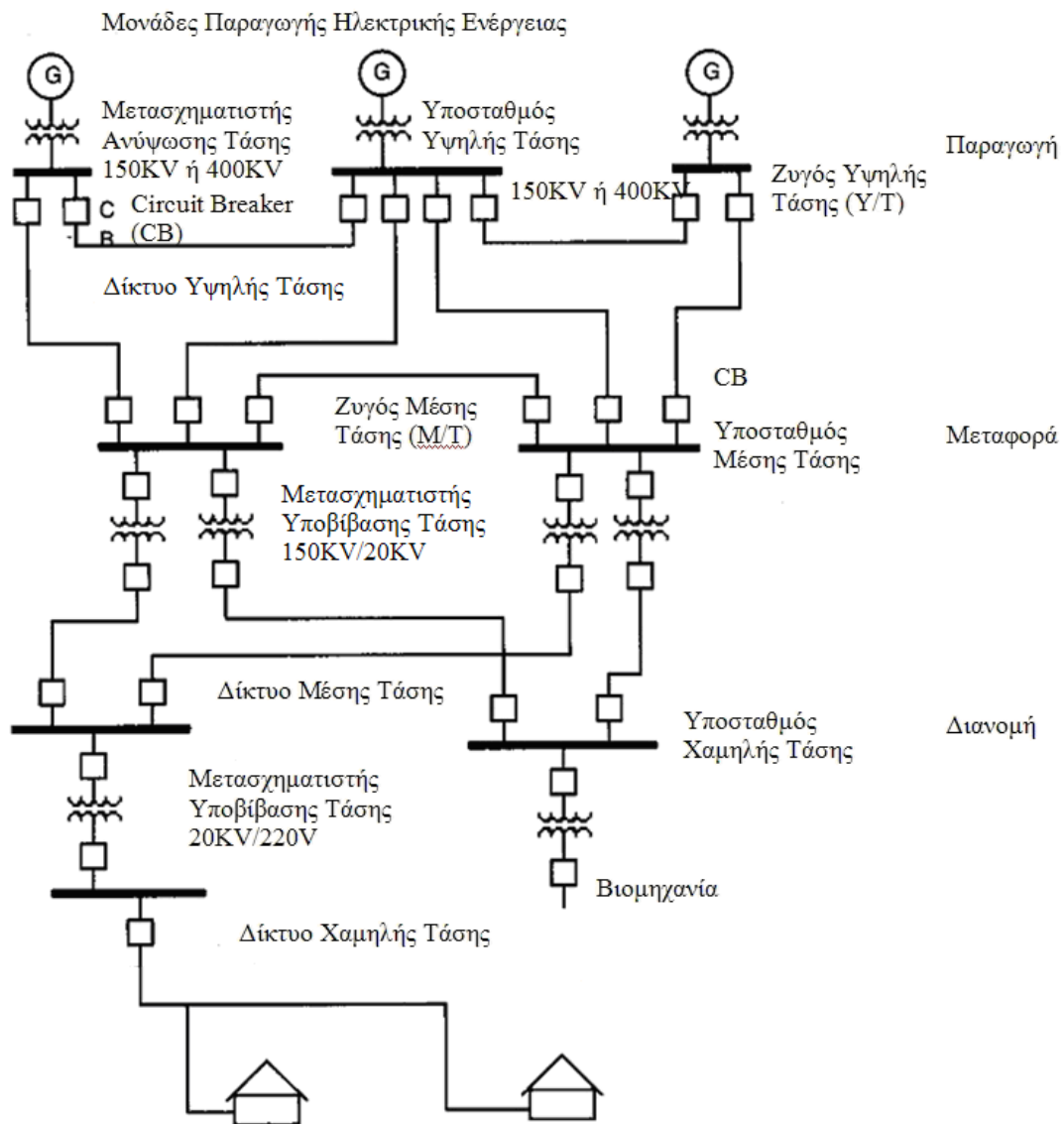
Τα σύγχρονα συστήματα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι τριφασικά και, επί πλέον, συμμετρικά. Η ομοιόμορφη φόρτιση των τριών φάσεων επιτυγχάνεται με ισοκατανομή των υπάρχοντων ή αναμενομένων φορτίων των καταναλώσεων στο δίκτυο. Επομένως, ένα συμμετρικό τριφασικό δίκτυο παριστάνεται μέσω μόνο μιας φάσης του και υπονοείται ότι η συμπεριφορά των τριών φάσεων είναι κοινή, με μόνη διαφορά μια φασική απόκλιση. Στο Σχήμα 1.2 παρουσιάζεται η μονογραμμική παράσταση των ηλεκτρικών δικτύων, όπου φαίνονται τα σημαντικότερα τμήματα ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις γεννήτριες, μεταφέρεται στους περίπου 7.000.000 καταναλωτές μέσω γραμμών μεταφοράς ΥΤ, γραμμών ΜΤ και γραμμών ΧΤ, οι οποίες έχουν αντίστοιχα συνολικά μήκη που δίνονται στον ακόλουθο Πίνακα 1.1.



Σύνολικο μήκος (km)	1999	2004	2006
Γραμμές μεταφοράς ΥΤ	9811	10985	11424
Γραμμές ΜΤ	76544	88025	93307
Γραμμές ΧΤ	87935	105522	113963

Πίνακας 1.1 Συνολικό μήκος γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 1.2 Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας

## 1.2 Σύστημα Παραγωγής

Το Σύστημα Παραγωγής περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος, και τους μετασχηματιστές ανύψωσης της τάσης για τη μεταφορά του υπό ΥΤ. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται με μετατροπή κάποιας άλλης μορφής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παρέχεται στην κατανάλωση σήμερα από συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακες, πετρέλαιο), από τη ροή ή την πτώση των υδάτων και από την κινητική ενέργεια του ανέμου. Μια γεννήτρια ισχύος παράγει 3 διαφορετικές φάσεις ισχύος ταυτόχρονα, η κάθε μία εκ των οποίων απέχει φασικά  $120^{\circ}$  από την άλλη όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.3.

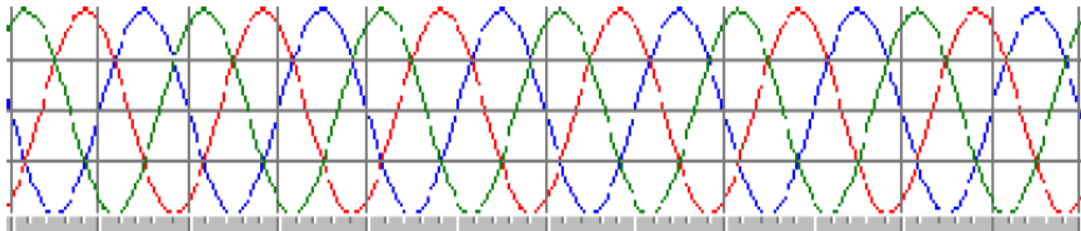
Το πλεονέκτημα της τριφασικής ισχύος είναι ότι σε κάθε χρονική στιγμή μία από τις τρεις φάσεις είναι κοντά σε ένα μέγιστο της και αυτό είναι θετικό για την λειτουργία διατάξεων και μηχανών σε βιομηχανικό περιβάλλον.

Οι διάφοροι τύποι των σταθμών παραγωγής κατατάσσονται σε θερμοηλεκτρικούς (ατμοηλεκτρικούς, νηζελοηλεκτρικούς, πυρηνικούς) και σε υδροηλεκτρικούς (υδατοπτώσεων, υδατίνων ρευμάτων, αντλητικούς).

## 1.3 Σύστημα Διασυνδέσεως και Μεταφοράς

Τα δίκτυα Μεταφοράς κομίζουν την ηλεκτρική ενέργεια από τις μονάδες παραγωγής στις ευρύτερες ζώνες κατανάλωσης. Λειτουργούν ως διασυνδεδεμένα, έχουν δηλαδή δυνατότητα αμφίδρομης ροής ενέργειας, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά παραγωγής/ζήτησης τη δεδομένη χρονική στιγμή ενώ μέσω των δικτύων Μεταφοράς γίνονται οι διεθνείς διασυνδέσεις, είτε για λόγους εφεδρείας είτε για ανταλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ χωρών, βάσει προσυμφωνημένων προγραμμάτων. Οι τάσεις λειτουργίας τους κυμαίνονται συνήθως από 150kV (σπανιότερα από 66kV) έως 400kV (ΥΤ), ενώ σε ορισμένες χώρες φτάνουν μέχρι τα 800 με 900 kV (ΥΥΤ). Η χρήση

ΥΤ οφείλεται σε οικονομικούς λόγους, επειδή για δεδομένη μεταφερόμενη ισχύ οι απώλειες ισχύος γραμμής αύξανονται με την μείωση της τάσης.



Σχήμα 1.3 Στιγμιότυπο τριφασικής ισχύος

Η επιλογή τάσης μεταφοράς γίνεται με τεχνικοοικονομικά κριτήρια και εξαρτάται από την καμπύλη του μεταφερόμενου φορτίου και από την απόσταση μεταφοράς. Τα δίκτυα μεταφοράς είναι συνήθως εναέρια κυρίως για τεχνικούς και οικονομικούς λόγους. Τα όρια των δικτύων Μεταφοράς είναι

- Οι Υ/Σ ανύψωσης των Σταθμών Παραγωγής, από τους οποίους εισρέει ενέργεια στο δίκτυο Μεταφοράς.
- Οι Υ/Σ υποβιβασμού της τάσης, στη στάθμη τάσης των δικτύων Υπομεταφοράς ή των δικτύων Διανομής ΜΤ, από τους οποίους εκρέει ενέργεια από τα δίκτυα Μεταφοράς.
- Οι Υ/Σ ηλεκτροδότησης λίγων μεγάλων καταναλωτών, από τους οποίους επίσης εκρέει ενέργεια.
- Τα σημεία των διεθνών διασυνδέσεων.

Το σύστημα προστασίας των δικτύων Μεταφοράς πρέπει να είναι πολύ υψηλών επιδόσεων, δεδομένου ότι σφάλματα στα δίκτυα αυτά μπορούν να προκαλέσουν πολύωρες διακοπές ηλεκτροδότησης σε εκατοντάδες χιλιάδες ή και εκατομμύρια καταναλωτές. Επειδή λειτουργούν συνήθως σε εθνικό επίπεδο (διασυνδεδεμένο δίκτυο Μεταφοράς), η παρακολούθησή και ο έλεγχος της λειτουργίας τους καθώς και η προστασία τους αναλαμβάνεται από ένα Κέντρο Ελέγχου. Το διασυνδεδεμένο δίκτυο Μεταφοράς της ΔΕΗ περιλαμβάνει περίπου 8.000km γραμμών 150kV και 2.500km γραμμών 400kV. Οι καταναλωτές ΥΤ είναι περίπου 20.

#### 1.4 Σύστημα Υπομεταφοράς

Τα δίκτυα αυτά μεταφέρουν ενέργεια από το δίκτυο Μεταφοράς στα κύρια κέντρα κατανάλωσης. Η στάθμη τάσης λειτουργίας τους κυμαίνεται από 25kV έως 250kV. Κατά κανόνα λειτουργούν ως διασυνδεδεμένα. Συνήθως οι γραμμές Υπομεταφοράς είναι εναέριες. Τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια είτε Υ/Σ υποβιβασμού σε ΜΤ είτε μεγάλους καταναλωτές (με ζήτηση ισχύος της τάξης π.χ. των 10 MVA). Η προστασία τους είναι παρόμοια με εκείνη των δικτύων Μεταφοράς, ενώ τα Κέντρα Ελέγχου είναι σε περιφερειακό (όχι σε εθνικό) επίπεδο. Σε ορισμένες χώρες, δεν υπάρχουν δίκτυα Υπομεταφοράς, αλλά το δίκτυο Μεταφοράς τροφοδοτεί απ' ευθείας τα δίκτυα ΜΤ. Στην Ελλάδα, τα δίκτυα 22kV στην Αττική, που τροφοδοτούν δίκτυα 6,6kV μπορούν να θεωρηθούν ως δίκτυα Υπομεταφοράς (τα δίκτυα των 22kV και 6,6kV είναι παλαιά δίκτυα, κατασκευασμένα έως τις αρχές της δεκαετίας του 60). Σε πολλές περιπτώσεις είναι δύσκολο να γίνει διάκριση μεταξύ δικτύων Υπομεταφοράς και δικτύων Διανομής ΜΤ.

#### 1.5 Σύστημα Διανομής Μέσης Τάσης (ΜΤ)

Από τους δημόσιους Υ/Σ υποβιβασμού της τάσης των δικτύων Μεταφοράς ή Υπομεταφοράς σε ΜΤ τροφοδοτούνται οι αναχωρήσεις ΜΤ, που μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια στα τοπικά κέντρα κατανάλωσης. Δημόσιοι Υ/Σ είναι όλοι οι Υ/Σ πλην εκείνων που καθένας τους εξυπηρετεί αποκλειστικά ένα μεγάλο καταναλωτή. Τα δίκτυα ΜΤ τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια τους Υ/Σ Διανομής ΜΤ/ΧΤ καθώς και τους Υ/Σ ΜΤ μεγάλων καταναλωτών. Οι καταναλωτές αυτοί είναι μικρό ποσοστό του συνόλου των καταναλωτών μιας ηλεκτρικής επιχείρησης. Η στάθμη τάσης λειτουργίας τους είναι συνήθως από 5kV έως 40kV (συνηθέστερες είναι οι στάθμες τάσης από 12kV έως 24kV). Οι αναχωρήσεις ΜΤ αποτελούνται από τον κορμό και τις διακλαδώσεις, αν και σε κάποιες περιπτώσεις η διάκριση μεταξύ τους δεν είναι ευχερής. Το μέσο πλήθος των αναχωρήσεων ΜΤ από Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ καθώς και το μέσο μήκος των αναχωρήσεων

παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ χωρών ή ηλεκτρικών επιχειρήσεων. Το πλήθος των αναχωρήσεων κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 4 και 25. Το μέσο μήκος των αναχωρήσεων είναι γενικά μικρότερο σε αστικές περιοχές (από 3km έως 10km σε αστικές και από 5km έως 35km σε μη αστικές). Παρά το μικρότερο μήκος τους, σε πολλές χώρες οι αναχωρήσεις σε αστικές περιοχές μεταφέρουν κατά μέσο όρο περισσότερο φορτίο. Μεταξύ των αναχωρήσεων MT υπάρχει δυνατότητα διασύνδεσης, σε πολλές περιπτώσεις. Αυτό σημαίνει ότι, με κατάλληλους χειρισμούς των στοιχείων ζεύξης των αναχωρήσεων είναι δυνατό τα φορτία μιας αναχώρησης ή μέρους αυτής να τροφοδοτηθούν από άλλη ή άλλες αναχωρήσεις του ίδιου ή, συνήθως, διαφορετικών υποσταθμών ΥΤ/MT.

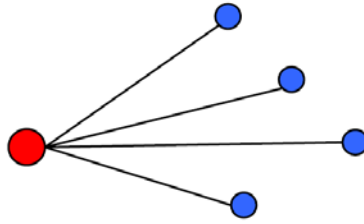
Η δυνατότητα διασύνδεσης αυξάνει την αξιοπιστία των δικτύων, μειώνοντας το χρόνο διακοπής σε περίπτωση σφάλματος. Γενικότερα, οι υπόγειες γραμμές MT κατασκευάζονται σχεδόν πάντοτε με δυνατότητα διασύνδεσης. Επιπλέον, οι εναέριες γραμμές που εξυπηρετούν περιοχές με σχετικά πυκνά φορτία (π.χ. αστικές, ημιαστικές) συνήθως έχουν δυνατότητα διασύνδεσης. Οι γραμμές με δυνατότητα διασύνδεσης λειτουργούν κατά κανόνα ακτινικά, δηλαδή σε κάθε χρονική στιγμή οποιοδήποτε φορτίο κατανάλωσης ηλεκτροδοτείται από μια μόνο αναχώρηση MT Υ/Σ ΥΤ/MT (δομή ανοικτού βρόχου). Είναι πολύ σπάνιες οι περιπτώσεις κατά τις οποίες σε δίκτυα MT υπάρχουν ταυτόχρονα περισσότεροι από ένας αγωγιμοί δρόμοι μεταξύ φορτίου κατανάλωσης και Υ/Σ ΥΤ/MT, γιατί μια τέτοια πρακτική γενικά δεν ενδείκνυται για οικονομοτεχνικούς λόγους (λόγω τεχνολογικής πολυπλοκότητας, κυρίως του συστήματος προστασίας που απαιτείται).

Στην Ελλάδα οι στάθμες MT είναι 20kV (συνηθέστερη), 22kV, 15kV και 6,6kV. Τα δίκτυα MT έχουν μήκος περίπου 95.000km, από τα οποία τα 85.000km έχουν στάθμη τάσης λειτουργίας 20kV. Το 92% του μήκους των δικτύων είναι εναέρια. Οι Υ/Σ Διανομής (MT/XT) είναι περίπου 135.000 και οι Υ/Σ καταναλωτών MT είναι 8.000. Τα εναέρια δίκτυα έχουν συνήθως δενδροειδή μορφή. Αποτελούνται δηλαδή από τον κορμό ή κύρια γραμμή που κατασκευάζεται με αγωγούς μεγάλης διατομής και τις διακλαδώσεις που κατασκευάζονται με αγωγούς μικρότερης διατομής πάνω στις οποίες συνδέονται οι Υ/Σ MT/XT. Η δενδροειδής μορφή επιτυγχάνεται σχετικά εύκολα στις αγροτικές περιοχές ενώ παρουσιάζει δυσκολίες στις ημιαστικές και αστικές περιοχές όπου οι

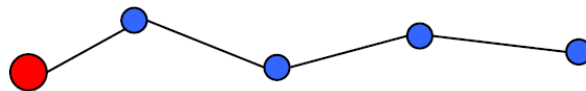
περιορισμοί στην όδευση των γραμμών δεν το επιτρέπουν. Γενικά τα εναέρια δίκτυα λειτουργούν ακτινικά, δηλαδή όλες οι γραμμές τροφοδοτούνται από το ένα άκρο τους. Στην Ελλάδα καθώς και στις Ευρωπαϊκές χώρες, οι γραμμές των εναέριων δικτύων διανομής περιλαμβάνουν μόνο τους τρεις αγωγούς των φάσεων και όχι τον ουδέτερο. Όσον αφορά στις βλάβες που παρουσιάζονται, ο εντοπισμός τους και η αποκατάσταση της κανονικής λειτουργίας είναι σχετικά εύκολος και απαιτείται χρόνος μερικών ωρών. Τα υπόγεια δίκτυα επειδή τροφοδοτούν περιοχές με μεγάλη πυκνότητα φορτίου αλλά και με αυξημένες απαιτήσεις συνεχούς τροφοδότησης δεν καλύπτονται επαρκώς από το ακτινικό μοντέλο. Αυτό συμβαίνει επειδή ο εντοπισμός και η αποκατάσταση μιας βλάβης υπογείου καλωδίου απαιτούν χρονικά διαστήματα της τάξης των 24 ωρών και είναι ιδιαίτερα σύνθετες εργασίες. Έτσι στα υπόγεια δίκτυα ακολουθείται ο κανόνας του να υπάρχει δυνατότητα για τροφοδότηση (αυτόματα ή χειροκίνητα) μετά από βλάβη από άλλη οδό χωρίς να απαιτείται η επισκευή της βλάβης. Συνήθως σε μη αστικές περιοχές είναι εναέρια, ενώ σε αστικές περιοχές είναι υπόγεια. Συχνές είναι και οι περιπτώσεις κατά τις οποίες στην ίδια αναχώρηση από υποσταθμό περιλαμβάνονται και εναέρια και υπόγεια τμήματα. Υπάρχουν τριων ειδών τοπολογίες για τις γραμμές MT και είναι η ακτινωτή, η δακτυλίου και η δικτυωτή.

### 1.5.1 Ακτινωτή Τοπολογία

Σε αυτής της μορφής την τοπολογία οι YT/MT ΜΣ συνδέονται με τους ΜΣ MT/XT σε απευθείας ακτινωτές γραμμές (Σχήμα 1.4). Αυτές οι γραμμές μπορούν να είναι αποκλειστικές για ένα ΜΣ ή να διασχίζουν διαφορετικούς ΜΣ. Ένα πλεονέκτημα αυτής της τοπολογίας είναι ο κεντρικός έλεγχος όλων των Υ/Σ ΜΣ. Η δομή μιας γραμμής MT η οποία τροφοδοτεί πολλαπλούς ΜΣ διασχίζοντας έναν προς έναν είναι μια πολύ συνηθισμένη περίπτωση (Σχήμα 1.5). Αυτά τα συστήματα απαιτούν διανεμημένες διατάξεις ελέγχου, μία για κάθε ΜΣ.

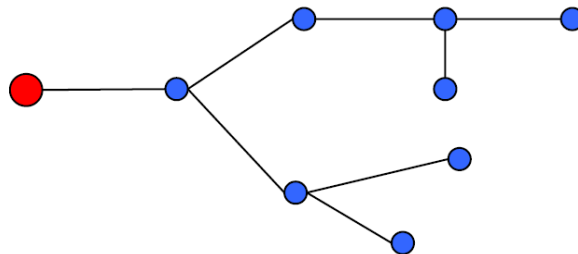


Σχήμα 1.4 Ακτινωτή τοπολογία γραμμών ΜΤ



Σχήμα 1.5 Ακτινωτή τοπολογία γραμμών ΜΤ

Η μορφή δέντρου είναι μια σύνθεση των δύο παραπάνω μορφών ακτινωτής τοπολογίας (Σχήμα 1.6). Η γραμμή ερχόμενη από έναν ΜΣ ΥΤ/ΜΤ διακλαδίζεται συνεχώς μέχρι να φθάσει τους ΜΣ ΜΤ/ΧΤ.



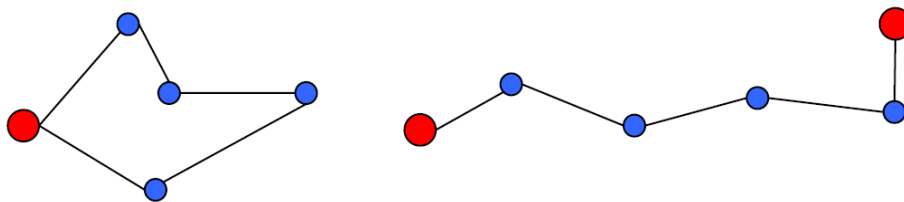
Σχήμα 1.4 Δεντρική τοπολογία γραμμών ΜΤ

Στα πλεονεκτήματα των ακτινωτών τοπολογιών είναι

- Μεγαλύτερη προστασία από σφάλματα ρεύματος.
- Ευκολότερος έλεγχος τάσης.
- Ευκολότερη πρόβλεψη και έλεγχος των πτώσεων τάσης.
- Χαμηλότερο κόστος.

### 1.5.2 Τοπολογία Δακτυλίου

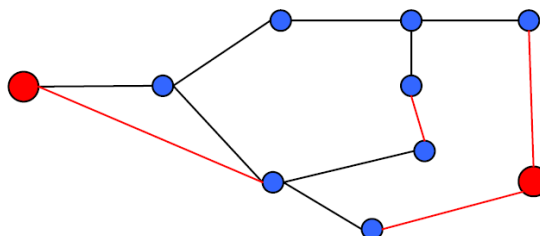
Η τοπολογία δακτυλίου έρχεται να λύσει ένα μείζον πρόβλημα των ακτινωτών τοπολογιών (Σχήμα 1.7). Στην περίπτωση της απώλειας για οποιονδήποτε λόγο ενός κόμβου ΜΤ προκαλείται διακοπή της παροχής ενέργειας αφού δεν τροφοδοτείται κανένας ΜΣ στην σειρά μετά από την βλάβη. Συνεπώς, η ακτινική τοπολογία μπορεί να θεωρηθεί ως η βελτιωμένη ακτινωτή τοπολογία που παρέχει άλλες πιθανές διαδρομές της παροχής ισχύος όταν παρουσιαστεί πρόβλημα σε κάποια μονάδα, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο έναν πλεονασμό.



Σχήμα 1.7 Τοπολογία δακτυλίου γραμμών ΜΤ

### 1.5.3 Τοπολογία Δικτύου

Στην τοπολογία δικτύου οι ΜΣ ΥΤ/ΜΤ και οι ΜΣ ΜΤ/ΧΤ συνδέονται σε ένα δίκτυο με πολλαπλές πιθανές διαδρομές μεταξύ τους (Σχήμα 1.8). Αν μια γραμμή αποκλειστεί, η ισχύς μπορεί να αναδρομολογηθεί επιλέγοντας μία άλλη βέλτιστη διαδρομή. Αυτή είναι η πιο συνηθισμένη τοπολογία στα σύγχρονα δίκτυα ισχύος.



Σχήμα 1.8 Τοπολογία δικτύου γραμμών ΜΤ



## 1.6 Σύστημα Διανομής Χαμηλής Τάσης (ΧΤ)

Ο σκοπός των δικτύων ΧΤ είναι η μεταφορά ενέργειας από τους Υ/Σ Διανομής στους καταναλωτές ΧΤ οι οποίοι αποτελούν τη μεγάλη πλειονότητα των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας. Στις αστικές περιοχές με μεγάλη πυκνότητα φορτίου, τα δίκτυα ΧΤ είναι συνήθως υπόγεια με δυνατότητα διασυνδέσεων (με δομή ανοικτού βρόχου), ενώ στις περιοχές με μικρότερη πυκνότητα φορτίου είναι συνήθως εναέρια, ακτινικά ή με δυνατότητα διασυνδέσεων. Η στάθμη τάσης κυμαίνεται από 100 έως 440V. Η λειτουργία (χειρισμοί) των δικτύων αυτών γίνεται συνήθως χειροκίνητα. Στην Ελλάδα (ΔΕΗ) η στάθμη ΧΤ είναι 230V/400V (φασική/πολική), που είναι και η συνηθέστερη στην Ευρώπη. Το 92% του μήκους των δικτύων είναι εναέρια (ίδιο ποσοστό με εκείνο της ΜΤ). Το πλήθος των καταναλωτών ΧΤ είναι περίπου 7.000.000.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

# 2

## *ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ, ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ*

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια παρουσίασης των βασικών διατάξεων που απαρτίζουν το σημερινό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτό το πλαίσιο, παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία του δικτύου, τα σφάλματα και οι βλάβες που παρουσιάζονται κατά την φυσιολογική λειτουργία του δικτύου αλλά και τα μέσα προστασίας που χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση αυτών των σφαλμάτων.

### 2.1 Υποσταθμοί

#### 2.1.1 Γενικά

Υποσταθμός (Υ/Σ) γενικά ονομάζεται η ηλεκτρική εγκατάσταση στην οποία γίνεται μετασχηματισμός τάσης, η κατανομή ή η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι γραμμές μεταφοράς αναχωρούν από και καταλήγουν στους Υ/Σ, οι οποίοι και αποτελούν κυρίως τους κόμβους του δικτύου. Οι Υ/Σ στους οποίους συνδέονται απλώς γραμμές, χωρίς απαραίτητως να γίνεται μετασχηματισμός τάσεως, λέγονται Υ/Σ ζεύξεως ή διασυνδέσεως. Εάν γίνεται επιπλέον και ΜΣ τάσεως από μια βαθμίδα τάσεως μεταφοράς σε άλλη χαμηλότερη, τότε πρόκειται για Υ/Σ μετασχηματισμού ή Υ/Σ υποβιβασμού ή και Υ/Σ ζεύξεως και μετασχηματισμού. Αντίστοιχοι προς τους Υ/Σ υποβιβασμού είναι οι

Υ/Σ ανυψώσεως, οι οποίοι βρίσκονται και ανήκουν, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στους σταθμούς παραγωγής και στους οποίους γίνεται ανύψωση της τάσεως από την τιμή της τάσεως παραγωγής, η οποία κυμαίνεται από 6 έως 20kV στην τιμή της τάσεως μεταφοράς. Τα στοιχεία συνδέσεως των γραμμών στους Υ/Σ καλούνται ζυγοί, σε αυτούς δε οι γραμμές συνδέονται μέσω των διακοπών. Οι διακόπτες, οι οποίοι χρησιμεύουν για τη διακοπή και αποκατάσταση της ροής του ηλεκτρικού ρεύματος και οι ΜΣ στους οποίους μετασχηματίζεται η ισχύς και αλλάζει η τάση, αποτελούν τις σπουδαιότερες συσκευές ισχύος των δικτύων μεταφοράς.

### 2.1.2 Υποσταθμοί Διανομής

Οι Υ/Σ διανομής ΥΤ/ΜΤ και ΜΤ/ΧΤ έχουν σαν προορισμό τον υποβιβασμό, ο μεν πρώτος της τάσης μεταφοράς των 150kV ή 400kV στη ΜΤ διανομής των 15kV ή 20kV και ο δεύτερος τον υποβιβασμό της ΜΤ στην τάση κατανάλωσης 230/400V. Οι Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ κατασκευάζονται εκτός των πόλεων για λόγους τεχνικούς, ασφάλειας αλλά και καλαισθησίας. Συνήθως κατασκευάζονται κοντά σε μεγάλα κέντρα κατανάλωσης (όπως βιομηχανικές περιοχές) και ο αριθμός τους καθορίζεται από τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια της κάθε περιοχής και από την εμβέλεια των γραμμών διανομής (περίπου 70km). Οι Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής μπορεί να είναι

- **Εναέριοι.** Κατασκευάζονται σε στύλους όπου ο χώρος και το περιβάλλον επιτρέπουν την εγκατάστασή τους.
- **Επίγειοι.** Κατασκευάζονται εκεί όπου το μέγεθος της ισχύος ή ο χώρος δεν επιτρέπουν την κατασκευή εναέριου υποσταθμού και εγκαθίστανται συνήθως μέσα σε κτίρια.
- **Υπόγειοι.** Κατασκευάζονται κάτω από την επιφάνεια της γης, σε κεντρικά σημεία πόλεων και σε θέσεις που δεν είναι δυνατή η κατασκευή υπέργειων σταθμών. Μεγάλη σημασία έχει σε αυτή την περίπτωση να γίνει σωστή μελέτη για τον αερισμό του ΜΣ αλλιώς υπάρχει ο κίνδυνος της αύξησης της θερμοκρασίας να φτάσει σε επικίνδυνα όρια για την λειτουργία του ΜΣ αλλά και των καλωδίων.

Σύμφωνα με το γεωγραφικό χάρτη, στο Σύστημα είναι συνδεδεμένοι

- 157 Υ/Σ υποβιβασμού 150kV/MT της ΔΕΗ, από τους οποίους 146 περιλαμβάνουν τμήματα, η διαχείριση των οποίων είναι στην αρμοδιότητα του ΔΕΣΜΗΕ ως Διαχειριστή του Συστήματος και 11 βρίσκονται στην περιοχή Αττικής και η διαχείρισή τους είναι στην αρμοδιότητα του Διαχειριστή του Δικτύου.
- 8 Υ/Σ για την υποδοχή της ισχύος αιολικών πάρκων (Α/Π), από τους οποίους 5 χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για τη σύνδεση Α/Π (Πολυπόταμος, Μυρτιά, Ηλιόλουστη, Κέχρος, Κέρβερος) και 3 χρησιμοποιούνται (Κάρυστος, Λειβάδι) ή πρόκειται να χρησιμοποιηθούν (Αργυρός) και (ή κατά κύριο λόγο) για εξυπηρέτηση φορτίων.
- 30 Υ/Σ ανύψωσης σε Σταθμούς Παραγωγής της ΔΕΗ. Σε 4 από τους παραπάνω Υ/Σ, οι μονάδες παραγωγής συνδέονται στα 400kV μέσω ΜΣ ανύψωσης MT/400kV, ενώ στους υπόλοιπους 26 Υ/Σ, οι μονάδες παραγωγής συνδέονται στα 150kV μέσω ΜΣ ανύψωσης MT/150kV.
- 26 Υ/Σ Ιδιωτών Καταναλωτών ΥΤ.

### 2.1.3 Κέντρα Υπερύψηλης Τάσης (ΚΥΤ)

Τα Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης (ΚΥΤ) αποτελούν τα σημεία σύνδεσης του Συστήματος 400kV με το Σύστημα 150kV. Σήμερα λειτουργούν 17 ΚΥΤ. Περιλαμβάνουν ένα ή περισσότερους αυτομετασχηματιστές (ΑΜΣ) τριών τυλιγμάτων 400kV/150kV/30kV. Από τα ΚΥΤ αυτά, τα 5 (Αμυνταίου, Καρδιάς, Αγ. Δημητρίου, Μελίτης και Λαυρίου) βρίσκονται πλησίον των ομωνύμων σταθμών παραγωγής της ΔΕΗ και εξυπηρετούν ανάγκες απομάστευσης ισχύος παραγωγής προς το Σύστημα.

## 2.2 Μετασχηματιστές (ΜΣ)

Η σημαντικότερη ηλεκτρική μηχανή στον Υ/Σ είναι ο ΜΣ. Ο ΜΣ είναι μια ηλεκτρική μηχανή με σταθερά μέρη. Έχει δύο πηνία για κάθε φάση, τα οποία είναι

μεταξύ τους ηλεκτρικά ανεξάρτητα και μαγνητικά συζευγμένα. Ο ΜΣ χρησιμοποιείται για την ανύψωση ή τον υποβιβασμό της τάσης. Το τύλιγμα που τροφοδοτούμε το ονομάζουμε πρωτεύον και αυτό από το οποίο παίρνουμε την ηλεκτρική ενέργεια με μετασχηματισμένη τάση, το ονομάζουμε δευτερεύον. Αν στο πρωτεύον η τάση είναι  $V_1$ , η ένταση του ρεύματος  $I_1$  και ο αριθμός σπειρών  $n_1$  και τα αντίστοιχα μεγέθη του δευτερεύοντος είναι  $V_2, I_2, n_2$ , τότε ισχύει

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2} = \kappa \quad (2.1)$$

όπου  $\kappa$  ο λόγος μετασχηματισμού του ΜΣ

Όταν τα τυλίγματα του ΜΣ διαρρέονται από ρεύμα εκλύεται, λόγω φαινομένου Joule, θερμότητα (απώλειες χαλκού). Επίσης θερμότητα εκλύεται και από τον πυρήνα, λόγω κυκλοφορίας μέσα σε αυτόν δινορρευμάτων (απώλειες σιδήρου). Πρέπει η εκλυόμενη θερμότητα να αποβάλλεται στο περιβάλλον για να μην πλησιάζει η θερμοκρασία του ΜΣ σε επικίνδυνα όρια. Σε τούτο βοηθά το μονωτικό λάδι που χρησιμεύει και σαν ψυκτικό μέσο. Για την καλύτερη απαγωγή της παραγόμενης θερμότητας τοποθετούνται εξωτερικά του δοχείου του ΜΣ τα ψυγεία που διαθέτουν εκτεταμένες επιφάνειες εναλλαγής της θερμότητας.

### 2.3 Αυτομετασχηματιστές (ΑΜΣ)

Ένας συνήθης μονοφασικός ΜΣ του οποίου τα πηνία (τύλιγμα σειράς, κοινό τύλιγμα) συνδέονται σε σειρά ονομάζεται αυτομετασχηματιστής (ΑΜΣ). Ο ΑΜΣ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετασχηματισμό ισχύος τάσεως  $V_H$  σε χαμηλότερης τάσεως  $V_X$  ή αντίστροφα. Η σχέση μεταφοράς μεταξύ των κυκλωμάτων ΥΤ και ΧΤ είναι  $E_H/E_X$  και διαφέρει από το λόγο των τάσεων ακροδεκτών μόνο κατά την επίδραση των σχετικών μικρών πτώσεων τάσεως στις σύνθετες αντιστάσεις σκεδάσεως, δηλαδή

$$\frac{V_H}{V_X} \cong \frac{E_H}{I_X} = \frac{N_1 + N_2}{N_2} \quad (2.2)$$

όπου  $N_1$  και  $N_2$  ο αριθμός ελιγμάτων στα δύο τυλίγματα αντίστοιχα.

Σε ένα ΜΣ ολόκληρη η ισχύς η οποία δίδεται στους ακροδέκτες ΧΤ μεταφέρεται με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή από την ΥΤ στη ΧΤ. Ο ΑΜΣ κατέχει το σημαντικό πλεονέκτημα ότι μόνον μέρος της ισχύος μεταφέρεται με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή και το υπόλοιπο δια απλής αγωγής. Προκύπτει λοιπόν ότι η ικανότητα του ΜΣ αν συνδεθεί ως ΑΜΣ είναι μεγαλύτερη από αυτήν εάν χρησιμοποιείται ως ΜΣ. Οι απώλειες υπό πλήρες φορτίο για λειτουργία ΑΜΣ είναι οι ίδιες όπως και για τον ΜΣ. Έτσι οι μεν απώλειες πυρήνα είναι οι ίδιες καθ' όσον η ροή στον πυρήνα παραμένει αμετάβλητη για τις δύο συνδέσεις. Ομοίως, αμετάβλητη παραμένει η απώλεια φορτίου διότι τα ρεύματα στα δύο τυλίγματα παραμένουν τα ίδια. Η απόδοση όμως είναι υψηλότερη για τον ΑΜΣ διότι η ικανότητά του είναι μεγαλύτερη από ότι στον αντίστοιχο ΜΣ. Μια από τις πιο διαδεδομένες χρήσεις των ΑΜΣ είναι ο υποβιβασμός της τάσης για την εκκίνηση μεγάλων κινητήρων επαγωγής. Οι ΑΜΣ χρησιμοποιούνται επίσης για την ανύψωση ή υποβιβασμό της τάσης ενός τριφασικού συστήματος ή για τη σύνδεση δύο τριφασικών συστημάτων διαφορετικής τάσης.

## 2.4 Ζυγοί

Ένας Υ/Σ ηλεκτρικής ισχύος συνίσταται από εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για να κατευθύνουν τη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα. Συγχρόνως οι αυτοματοποιημένες αυτές διατάξεις και τα μέσα προστασίας, τοποθετούμενα σε κατάλληλα σημεία του συστήματος, επιτρέπουν τη ροή ενέργειας σε εναλλακτικές οδούς και έτσι συμβάλλουν στην ομαλή λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας Υ/Σ μπορεί να συνδυασθεί με έναν σταθμό γεννήτριας ή με ΜΣ ισχύος, οι οποίοι μετατρέπουν την τάση παροχής σε υψηλότερο ή χαμηλότερο επίπεδο, ή να συνδέσει έναν αριθμό οδών παροχής στο ίδιο επίπεδο τάσης. Μία ή και περισσότερες από αυτές τις δυνατότητες μπορούν να εφαρμοσθούν σε κάθε Υ/Σ, ο οποίος βασικά αποτελείται από έναν αριθμό κυκλωμάτων, είτε εισερχόμενα είτε εξερχόμενα, συνδεδεμένα σε ένα κοινό ζυγό. Τα κύρια συνιστώσα μέρη ενός εισερχόμενου ή εξερχόμενου κυκλώματος είναι οι γραμμές, οι κόμβοι, οι διακόπτες, οι ΜΣ και απομονωτές. Ο πιο απλός τρόπος

για να ενωθούν τέτοια κυκλώματα είναι η σύνδεσή τους σε ένα απλό καλώδιο ή σε έναν ζυγό.

## **2.5 Διακοπτικά και προστατευτικά στοιχεία**

### **2.5.1 Γενικά**

Εκτός από τον εξοπλισμό των γραμμών και Υ/Σ, που έχει ως στόχο τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας (καλώδια, αγωγοί, μετασχηματιστές κλπ), στα δίκτυα ΜΤ, όπως και στα δίκτυα ΥΤ και ΧΤ, είναι εγκατεστημένος και εξοπλισμός που έχει ως στόχο την προστασία και τη λειτουργία τους. Με τον όρο προστασία υποδηλώνεται η αντιμετώπιση σφαλμάτων και υπερφορτίσεων των δικτύων. Κατά κανόνα, η προστασία συνίσταται στη διακοπή της ηλεκτροδότησης και την απομόνωση στοιχείων των δικτύων σε περίπτωση σφάλματος ή υπερφόρτισης, έγκαιρα, πριν δημιουργηθούν επικίνδυνες καταστάσεις για πρόσωπα και εγκαταστάσεις. Ο όρος λειτουργία αναφέρεται στην εκτέλεση χειρισμών σύνδεσης/αποσύνδεσης στοιχείων των δικτύων (αναχωρήσεων, τμημάτων αναχωρήσεων, ΜΣ κλπ) στις κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Ο εξοπλισμός προστασίας και λειτουργίας των δικτύων ΜΤ είναι εγκατεστημένος κατά κανόνα στους Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ, σε επιλεγμένες θέσεις των εναέριων γραμμών και στους Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ. Ορισμένες συσκευές εξυπηρετούν ταυτόχρονα τόσο την προστασία όσο και τη λειτουργία των δικτύων, άλλες μόνο την προστασία και άλλες μόνο τη λειτουργία. Επιπλέον, οι κύριες συσκευές προστασίας ελέγχονται από ηλεκτρονόμους (ρελέ), οι οποίοι ανιχνεύουν ή και εντοπίζουν τα σφάλματα (με εφαρμογή κατάλληλων αλγόριθμων, στο Κέντρο Ελέγχου Δικτύων) και δίνουν τις κατάλληλες εντολές λειτουργίας στις συσκευές προστασίας (π.χ. εντολές ανοίγματος των επαφών διακοπών) είτε στέλνουν κατάλληλα σήματα στο Κέντρο Ελέγχου Δικτύων. Ανίχνευση και εντοπισμός σφαλμάτων γίνεται και με ειδικές συσκευές τοποθετημένες σε κατάλληλες θέσεις των δικτύων (ενδεικτικά διέλευσης σφάλματος). Ο τηλεχειρισμός και η τηλεοπτεία των κύριων μέσων λειτουργίας και προστασίας των δικτύων ΜΤ από τοπικό Κέντρο Ελέγχου Δικτύων είναι μια πρακτική η οποία διευρύνεται σταδιακά στις



ηλεκτρικές επιχειρήσεις διεθνώς. Με τον τηλεχειρισμό και την τηλεοπτεία και ακόμη περισσότερο με την αυτοματοποίηση των δικτύων μειώνονται σημαντικά οι χρόνοι εντοπισμού και απομόνωσης σφαλμάτων και βελτιώνεται αντίστοιχα η ποιότητα ηλεκτροδότησης. Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά τα πλέον συνήθη μέσα προστασίας και λειτουργίας που συναντώνται στα δίκτυα MT.

### **2.5.2 Αποζεύκτες**

Οι αποζεύκτες είναι μέσα χειρισμών (λειτουργίας). Ο κύριος ρόλος τους είναι η δημιουργία επαρκούς διακένου απομόνωσης μεταξύ του τμήματος του δικτύου που τίθεται εκτός τάσης και του υπόλοιπου δικτύου, ώστε να μπορούν να γίνουν με ασφάλεια εργασίες στο απομονωμένο τμήμα. Έχουν τη δυνατότητα διακοπής σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας, υπό τάση αλλά χωρίς φορτίο (ή με μικρό φορτίο). Τοποθετούνται σε Υ/Σ (π.χ. πριν και μετά από διακόπτες φορτίου και ισχύος) και σε εναέριες γραμμές. Είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί ενώ δεν υπάρχει δυνατότητα τηλεχειρισμού τους, κατά κανόνα.

### **2.5.3 Διακόπτες φορτίου**

Οι διακόπτες φορτίου εκτελούν διακοπές/αποκαταστάσεις κυκλώματος, σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας. Είναι συνεπώς συσκευές που εξυπηρετούν τη λειτουργία του δικτύου. Εάν, διακόπτοντας το κύκλωμα, δημιουργούν επαρκές διάκενο απομόνωσης, χαρακτηρίζονται ως διακόπτες φορτίου/αποζεύκτες (switch/disconnectors ή switch/isolators). Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι τηλεχειριζόμενοι ή έχουν δυνατότητα τηλεχειρισμού και δίνουν ένδειξη για τη θέση των επαφών τους στα Κέντρα Ελέγχου Δικτύων (τηλεοπτευόμενοι). Τοποθετούνται σε επιλεγμένες θέσεις των εναέριων δικτύων, καθώς και σε Υ/Σ MT/XT.

#### 2.5.4 Διακόπτες ισχύος

Οι διακόπτες ισχύος (circuit breakers), ή αυτόματοι διακόπτες είναι τα μέσα με τα οποία επιτυγχάνεται η διακοπή των βραχυκυκλωμάτων στα ηλεκτρικά δίκτυα μεταφοράς και διανομής και επομένως ο ρόλος που διαδραματίζουν στην προστασία του δικτύου και την ταχεία αποκατάσταση της ομαλής λειτουργίας σε περίπτωση βλάβης είναι κύριος. Ο κύριος ρόλος τους είναι η προστασία (αυτόματο άνοιγμα του κυκλώματος σε περίπτωση σφάλματος), αλλά εκτελούνται με αυτούς και χειρισμοί διακοπής/ αποκατάστασης κυκλώματος. Για την προστασία των δικτύων, ελέγχονται από ηλεκτρονόμους. Κατά κανόνα εγκαθίστανται στους Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ, στις αρχές των αναχωρήσεων ΜΤ. Συχνά είναι τηλεχειριζόμενοι και δίνουν σήματα τηλεοπτείας (π.χ. σχετικά με τη θέση των επαφών τους) στα Κέντρα Ελέγχου Δικτύων. Κατά πρώτο λόγο, ο τηλεχειρισμός και η τηλεοπτεία εφαρμόζονται στους διακόπτες ισχύος που είναι εγκατεστημένοι στις αρχές των αναχωρήσεων ΜΤ.

#### 2.5.5 Ασφαλειοαποζεύκτες

Αποτελούνται από τηκτό (ασφάλεια) εγκατεστημένο στο εσωτερικό κοίλης μονωτικής ράβδου (ασφαλειοθήκης) και προορίζονται για την προστασία και την απομόνωση του δικτύου. Η προστασία επιτυγχάνεται με τη διακοπή του κυκλώματος λόγω τήξης και κοπής του τηκτού, όταν περάσει από αυτό ρεύμα υψηλής έντασης (π.χ. ρεύμα βραχυκυκλώματος). Μόλις κοπεί το τηκτό, με τη βοήθεια ελατηρίου απομακρύνεται η μία κεφαλή της κοίλης ράβδου από τον αντίστοιχο ακροδέκτη, σε ικανή απόσταση, και έτσι επιτυγχάνεται απομόνωση του εκτός τάσης τμήματος του δικτύου. Με τους ασφαλειοαποζεύκτες γίνονται επίσης και χειρισμοί διακοπής υπό τάση, αλλά χωρίς φορτίο. Εγκαθίστανται στα εναέρια δίκτυα για προστασία εναέριων υποσταθμών ΜΤ/ΧΤ και διακλαδώσεων (συνήθως μικρού μήκους). Είναι συνήθως μονοφασικοί και δεν τηλεοπτεύονται.

### **2.5.6 Διακόπτες αυτόματης επαναφοράς**

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

### **2.5.7 Διακόπτες απομόνωσης**

Είναι διακόπτες που τοποθετούνται στα τμήματα αναχώρησης που προστατεύονται από διακόπτη αυτόματης επαναφοράς ή από διακόπτη ισχύος με επανοπλισμούς. Είναι εφοδιασμένοι με μετρητές διελεύσεων ρευμάτων σφάλματος. Οι διελεύσεις σφάλματος αντιστοιχούν στο πλήθος των ενεργοποιήσεων του προτεταγμένου διακόπτη αυτόματης επαναφοράς. Όταν συμπληρωθεί προκαθορισμένο πλήθος διελεύσεων σφάλματος, ο διακόπτης απομόνωσης ανοίγει. Το άνοιγμα του διακόπτη γίνεται σε χρονική στιγμή κατά την οποία ο προτεταγμένος διακόπτης αυτόματης επαναφοράς είναι ανοικτός (ο διακόπτης απομόνωσης δεν έχει τη δυνατότητα διακοπής υπό φορτίο, πολύ περισσότερο δεν έχει τη δυνατότητα διακοπής ρεύματος σφάλματος).

Οι διακόπτες απομόνωσης δεν τηλεελέγχονται και, κατά κανόνα τουλάχιστον, δεν μεταφέρονται τηλενδείξεις της θέσης των επαφών τους στα Κέντρα Ελέγχου Δικτύων.

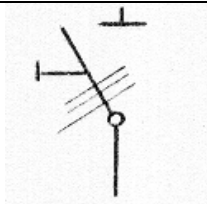
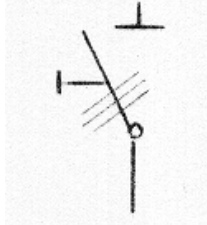
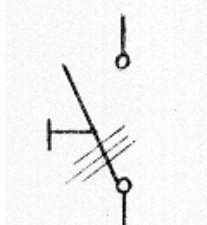

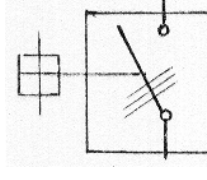

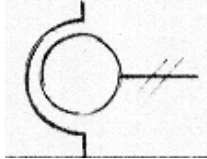
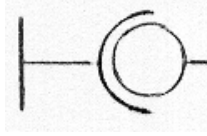
### 2.5.8 Ηλεκτρονόμοι

Οι ηλεκτρονόμοι, οι οποίοι «συνεργάζονται» με τους διακόπτες ισχύος και τους και τους διακόπτες αυτόματης επαναφοράς, αποτελούν σημαντικές συνιστώσες του συστήματος προστασίας ΜΤ. Αυτοί δίνουν την «εντολή» ανοίγματος ή κλεισίματος των επαφών των διακοπών, όταν διεγερθούν κατάλληλα.

Οι ηλεκτρονόμοι δέχονται ως εισόδους στοιχεία σχετικά με την κατάσταση του δικτύου (κατά κανόνα στοιχεία τάσεων και εντάσεων) μέσω εξοπλισμού μετρήσεων (μετασχηματιστών μετρήσεων συνήθως) και τα επεξεργάζονται. Εάν διαγνώσουν σφάλμα, δίνουν εντολή λειτουργίας (trip) στο μέσο προστασίας το οποίο ελέγχουν είτε δίνουν σήμα στο τοπικό Κέντρο Ελέγχου Δικτύων. Οι ψηφιακοί ηλεκτρονόμοι νεότερης γενιάς, με υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας και με δυνατότητα εκτέλεσης πολύπλοκης επεξεργασίας στοιχείων από πολλές εισόδους, σε σύντομο χρόνο, δίνουν την ευκαιρία να αναπτυχθούν νέες, περισσότερο αποτελεσματικές μέθοδοι προστασίας. Οι πιο διαδεδομένοι ηλεκτρονόμοι στα δίκτυα διανομής είναι

- Ηλεκτρονόμοι υπερέντασης.
- Ηλεκτρονόμοι τάσης.
- Ηλεκτρονόμοι απόστασης.
- Ηλεκτρονόμοι διαφορικής προστασίας.
- Ψηφιακοί ηλεκτρονόμοι.

Τα κυριότερα είδη ασφαλειών και διακοπών που χρησιμοποιούνται στους πίνακες ΜΤ της Δ.Ε.Η. αλλά και των καταναλωτών ΜΤ φαίνονται στον Πίνακα 2.1.

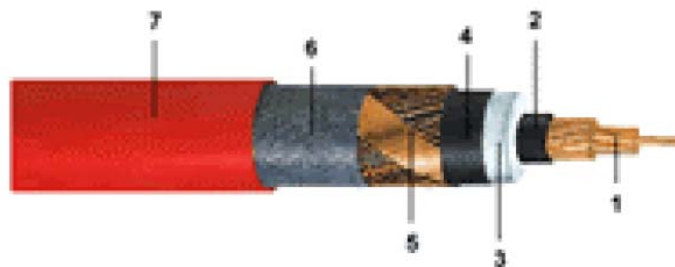
Είδος εξοπλισμού	Σύμβολο	Σκοπός χρησιμοποίησης
Τριπολικός αποζεύκτης		Απομονώνει από την παροχή ένα κύκλωμα που έχει τεθεί ήδη εκτός τάσης (δεν έχει ισχύ διακοπής).
Τριπολικός γειωτής		Γειώνει ένα κύκλωμα μετά την απόζευξη (δεν έχει ισχύ διακοπής).
Τριπολικός διακόπτης φορτίου		Επιτρέπει το χειρισμό ενός φορτίου με ισχύ ίση μέχρι την ονομαστική ισχύ του.
Ασφάλεια MT		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 βραχυκύκλωμα.
Μονοπολικό ακροκιβώτιο		Χρησιμοποιείται για τις συνδέσεις καλωδίων σε πίνακες.
Μετασχηματιστής έντασης		Χρησιμοποιείται για την παροχή τάσης σε κυκλώματα χειρισμών και προστασίας.
Μετασχηματιστής τάσης		Χρησιμοποιείται για την παροχή τάσης σε κυκλώματα χειρισμών και προστασίας.

Πίνακας 2.1 Διακοπτικά στοιχεία MT

## 2.6 Καλώδια MT

Τα καλώδια MT αποτελούνται από τα παρακάτω στοιχεία

- **Αγωγοί.** Ένας ή τρεις αγωγοί φέρουν το ρεύμα του φορτίου. Είναι από αλουμίνιο ή χαλκό.
- **Εξομαλυντικά (ημιαγώγιμα) στρώματα.** Εφαρμόζονται πάνω σε αγωγούς με ανώμαλη επιφάνεια, επιφέροντας μείωση του ηλεκτρικού πεδίου και ανύψωση της διηλεκτρικής αντοχής.
- **Μόνωση.** Η μόνωση είναι συνήθως χαρτί εμποτισμένο με λάδι ή παχύρρευστη μάζα, PVC, PE, XLPE κ.α.
- **Εξωτερικός γειωμένος αγωγός** (ή μανδύας ή μεταλλικός μανδύας ή ηλεκτρική θωράκιση ή μεταλλική θωράκιση). Είναι σχετικά λεπτός και δε φέρει μεγάλα ρεύματα παρά μόνο σε περίπτωση σφαλμάτων.
- **Ζώνη μηχανικής ενίσχυσης.** Είναι περίβλημα από ατσάλινα σύρματα ή ταινίες.
- **Εξωτερικό προστατευτικό στρώμα** (ή εξωτερικός μανδύας). Προστατεύει από την υγρασία. Κατασκευάζεται από συνθετικό (PVC), μόλυβδο ή ίνες γιούτας με πίσσα. Ο μόλυβδος παίζει ταυτόχρονα το ρόλο του μανδύα.



**Σχήμα 2.1** 1) Πολύκλωνος στρογγυλός αγωγός χαλκού (ή αλουμινίου), 2) Εσωτερικό ημιαγώγιμο στρώμα XLPE, 3) Μόνωση XLPE, 4) Εξωτερικό ημιαγώγιμο στρώμα XLPE, 5) Ηλεκτρική θωράκιση αποτελούμενη από σύρματα χαλκού τυλιγμένα ελικοειδώς (χάλκινη ταινία προαιρετική κατόπιν παραγγελίας), 6) Πλαστική ταινία (προαιρετική), 7) Εξωτερικός μανδύας PVC

Οι διηλεκτρικές απώλειες οφείλονται στις κινήσεις που εκτελούν τα δίπολα των μονωτικών, καθώς διεγείρονται από το εναλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο που επάγεται

μέσα στο καλώδιο. Οι διηλεκτρικές απώλειες είναι συνάρτηση του τετραγώνου της τάσης, της θερμοκρασίας και της κυκλικής συχνότητας, σύμφωνα με τη σχέση

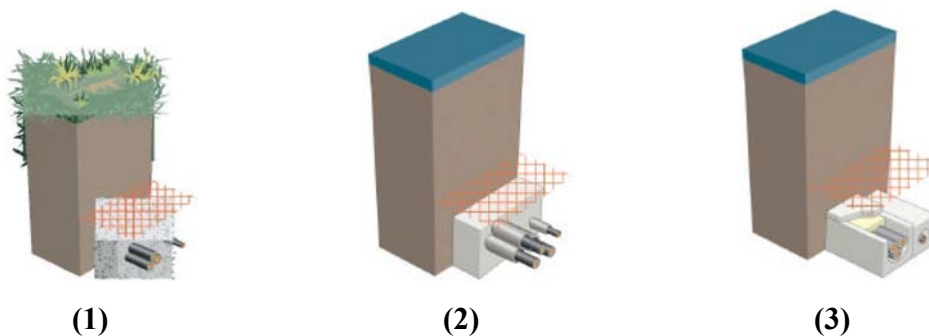
$$P_d = V^2 C' \omega \tan \delta \quad (2.3)$$

όπου  $P_d$  η ανηγμένη τριφασική ισχύς σε W/m,  $V$  η πολική τάση,  $C'$  η ανηγμένη χωρητικότητα λειτουργίας 0,2-0,9 nF/m,  $\tan \delta$  ο συντελεστής απωλειών.

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση οι διηλεκτρικές απώλειες μπορεί να θεωρηθεί ότι προέρχονται από ένα υποθετικό ρεύμα που διαρρέει μία αγωγιμότητα  $G'$  που βρίσκεται υπό τάση  $V/3$

$$G' = C' \omega \tan \delta \quad (\Omega^{-1} m^{-1}) \quad (2.4)$$

Οι διηλεκτρικές απώλειες είναι σταθερές και υφίστανται όσο το καλώδιο βρίσκεται υπό τάση, ενώ οι απώλειες λόγω ρεύματος μεταβάλλονται από μηδέν μέχρι του μεγίστου τους ανάλογα με τη φόρτιση.



**Σχήμα 2.3 Τοποθέτηση υπογείων καλωδίων. 1) Απευθείας θαμμένα, 2) Τοποθετημένα σε αγωγούς, 3) Τοποθετημένα σε στοά**

Τα υπόγεια καλώδια δεν μπορούν να φανούν με οπτική επαφή και έτσι υπάρχει μικρότερη πιθανότητα για τυχαία επαφή. Επίσης είναι πιο αξιόπιστα, παρουσιάζουν λιγότερες και μικρότερες διακοπές ενώ είναι και φθηνότερα από τα εναέρια. Τα υπόγεια καλώδια παρουσιάζονται με ένα από τους παρακάτω τρόπους (Σχήμα 2.3).

## 2.7 Πίνακες του δικτύου ΜΤ της Δ.Ε.Η.

Τα μονογραμμικά σχέδια των πινάκων του δικτύου της Δ.Ε.Η. φαίνονται στο Σχήμα 2.4. Υπάρχουν τέσσερα τυποποιημένα είδη συγκροτημάτων ΜΤ

1. Βροχοειδές σύστημα Ι.  $2ΚΔΦ + 1 ΒΚ Ι + 1 ΚΜΣ + 1 ΚΜ$ .
2. Βροχοειδές σύστημα ΙΙ.  $2ΚΔΦ + 1 ΒΚ ΙΙ + 1 ΚΜΣ + 1 ΚΜ$ .
3. Ακτινικό σύστημα Ι.  $1 ΚΑΚ + 1 ΒΚ Ι + 1 ΚΜΣ + 1 ΚΜ$ .
4. Ακτινικό σύστημα ΙΙ.  $1 ΚΑΚ + 1 ΒΚ ΙΙ + 1 ΚΜΣ + 1 ΚΜ$ .

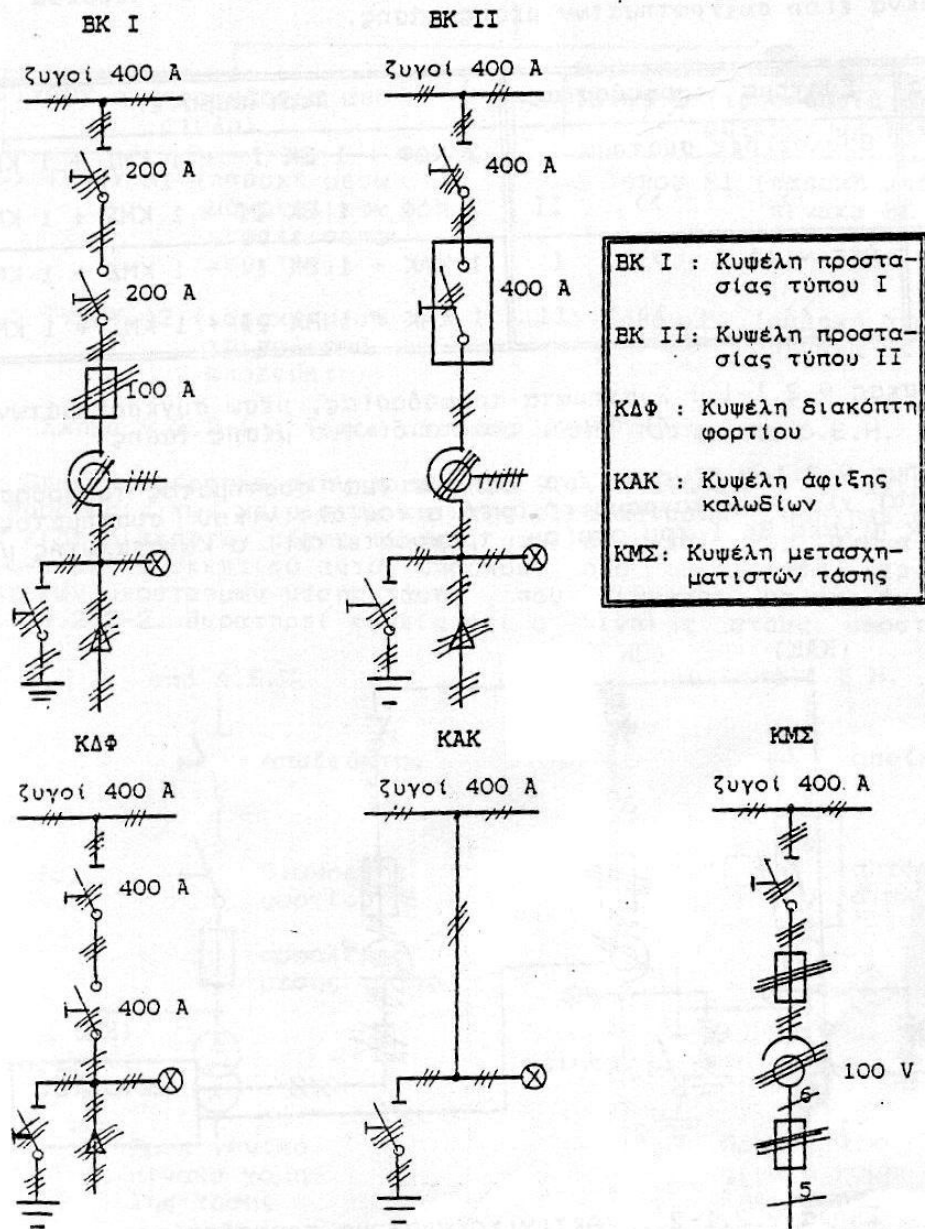
Η παροχή ΜΤ από τη Δ.Ε.Η. προς τους καταναλωτές γίνεται με τους ακόλουθους τρόπους.

- **Τύπου Α** όπου έχουμε τροφοδοσία από στύλο και χωρίζεται σε Α1 όπου η παροχή γίνεται μέσω μονοπολικών ασφαλειοαποζευκτών και Α2 όπου η παροχή γίνεται μέσω τριπολικού αποζεύκτη
- **Τύπου Β** όπου έχουμε τροφοδοσία από συγκρότημα πινάκων και χωρίζεται σε Β1 όπου η παροχή γίνεται από πίνακα ΒΚ Ι και Β2 όπου η παροχή γίνεται από πίνακα ΒΚ ΙΙ.

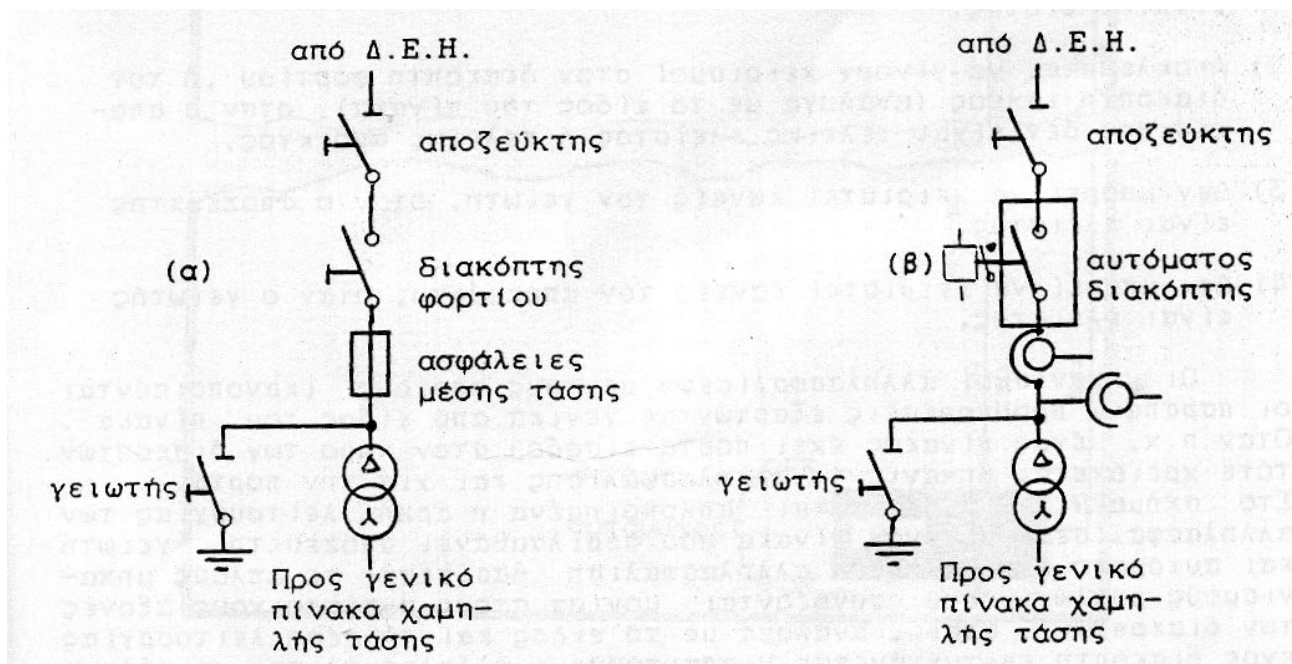
Έχουμε δύο περιπτώσεις Υ/Σ ΜΤ οι οποίες φαίνονται στο Σχήμα 2.5. Η διαφορά μεταξύ των δύο παραπάνω περιπτώσεων είναι ότι στη πρώτη έχουμε διακόπτη φορτίου και ασφάλειες για προστασία από ενδεχόμενο βραχυκύκλωμα ενώ στη δεύτερη έχουμε μόνο διακόπτη ισχύος. Σε ένα πίνακα ΜΤ ενός ιδιωτικού Υ/Σ πρέπει να υπάρχουν, για λόγους ασφαλείας αλληλασφαλίσεις μεταξύ των διακοπών οι οποίες έχουν ως εξής

- Είναι αδύνατη η χρήση του αποζεύκτη όταν ο διακόπτης φορτίου ή ισχύος είναι ανοιχτός.
- 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.





Σχήμα 2.4 Πίνακες της Δ.Ε.Η. στη ΜΤ



Σχήμα 2.5 Τύποι ιδιωτικών υποσταθμών

## 2.8 Σφάλματα και βλάβες στα δίκτυα Διανομής

### 2.8.1 Γενικά

Με τον όρο σφάλμα σε δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας δηλώνεται η

- Ανεπιθύμητη αποκατάσταση αγωγίμου δρόμου μεταξύ στοιχείων του δικτύου τα οποία, υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, βρίσκονται σε διαφορετικό δυναμικό ή μεταξύ στοιχείων του δικτύου σε δυναμικό και της γης. Η σύνθετη αντίσταση του αγωγίμου δρόμου μπορεί να κυμαίνεται από μηδενικές ή σχεδόν μηδενικές τιμές (βραχυκύκλωμα) έως τιμές που προσεγγίζουν το άπειρο.
- Ανεπιθύμητη διακοπή του αγωγίμου δρόμου σε στοιχείο του δικτύου ή μεταξύ στοιχείων του δικτύου τα οποία, υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους (π.χ. κοπή αγωγού, αποσύνδεση γέφυρας). Τα σφάλματα του είδους αυτού είναι πολύ πιο σπάνια.

Τα σφάλματα έχουν εν γένει δυσμενείς επιπτώσεις σε πρόσωπα και εγκαταστάσεις (κίνδυνος ηλεκτροπληξίας, πυρκαγιάς, καταστροφής εξοπλισμού), καθώς και στην ποιότητα παρεχόμενης ενέργειας (βυθίσεις τάσης, αρμονικές, διακοπές ηλεκτροδότησης) και για το λόγο αυτό είναι αναγκαίο να λαμβάνονται μέτρα αντιμετώπισής τους. Προϋπόθεση για τον προσδιορισμό μέτρων αντιμετώπισης των σφαλμάτων είναι η κατηγοριοποίηση τους και η ανάλυση των χαρακτηριστικών τους ανά κατηγορία. Επίσης, η ανάλυση της συχνότητας εμφάνισης των σφαλμάτων κάθε κατηγορίας. Οι κατηγορίες των βλαβών, ανάλογα με τη χρονική διάρκεια που τίθενται εκτός λειτουργίας τα στοιχεία ενός κυκλώματος και την επίδραση που έχουν στο σύστημα κατηγοριοποιούνται ως εξής

- **Μόνιμες βλάβες.** Οι μόνιμες βλάβες προκαλούν την αποσύνδεση του κλάδου στον οποίο ανήκουν τα στοιχεία αυτά για χρονικό διάστημα ίσο με το χρόνο επισκευής ή αντικατάστασής τους. Οι μόνιμες βλάβες χωρίζονται σε
  - Παθητικές βλάβες. Οι παθητικές βλάβες δεν έχουν επίδραση ή δεν αποσυνδέουν άλλα στοιχεία με αποτέλεσμα την αποσύνδεση μόνο των κλάδων στους οποίους ανήκουν τα στοιχεία που έχουν υποστεί βλάβη. Δηλαδή δεν προκαλούν την επενέργεια των διακοπών προστασίας του συστήματος και τίθενται εκτός λειτουργίας μόνο τα στοιχεία που ανήκουν στον κλάδο που παρουσιάστηκε η βλάβη.
  - Ενεργές βλάβες. Οι ενεργές βλάβες έχουν ως αποτέλεσμα τη λειτουργία των διακοπών της πρωταρχικής ζώνης προστασίας και επομένως την πιθανή αποσύνδεση και άλλων κλάδων εκτός από αυτούς στους οποίους ανήκουν τα στοιχεία που έχουν υποστεί βλάβη. Ο χρόνος αποκατάστασης της βλάβης είναι ο χρόνος επισκευής ή αντικατάστασης, για τους κλάδους που περιλαμβάνουν τα στοιχεία, και ο χρόνος που απαιτείται για να κλείσουν οι διακόπτες που άνοιξαν, για τους υπόλοιπους κλάδους.
- **Παροδικές βλάβες.** Οι παροδικές βλάβες είναι αυτές που μπορούν να μην προκαλέσουν φθορά των στοιχείων και έχουν ως αποτέλεσμα τη λειτουργία των διακοπών της πρωταρχικής ζώνης προστασίας. Ο χρόνος αποκατάστασης της βλάβης είναι μικρότερος των δύο ωρών.

- **Μεταβατικές βλάβες.** Οι μεταβατικές βλάβες έχουν ως αποτέλεσμα τη λειτουργία των διακοπών της πρωταρχικής ζώνης προστασίας, αλλά ο χρόνος αποκατάστασης είναι πολύ μικρός αφού η διαταραχή είναι μεταβατική και δεν προκαλείται βλάβη σε στοιχεία του συστήματος. Δεν προκαλούν φθορά των στοιχείων και η ομαλή λειτουργία του συστήματος αποκαθίσταται με την αυτόματη λειτουργία των διακοπών προστασίας. Κατά συνέπεια πρόκειται για βλάβες μικρής διάρκειας και η επίδρασή τους στους δείκτες αξιοπιστίας είναι συνήθως αμελητέα.

Στα συστήματα που αποτελούνται από δύο ή περισσότερα στοιχεία, οι βλάβες που μπορούν να συμβούν διαιρούνται στις παρακάτω κατηγορίες.

- **Ανεξάρτητες βλάβες.** Οι ανεξάρτητες βλάβες έχουν διαφορετική εξωτερική αιτία και προκαλούν βλάβες σε δύο ή περισσότερα στοιχεία του συστήματος. Κάθε στοιχείο επιστρέφει στην κατάσταση λειτουργίας του μόλις τελειώσει η επισκευή του.
- **Βλάβες κοινής αιτίας.** Σε αυτήν την περίπτωση, ενώ υπάρχει μία εξωτερική αιτία, προκαλείται βλάβη σε περισσότερα από ένα στοιχεία του συστήματος, οι οποίες δεν είναι αλυσιδωτές. Είναι τα ενδεχόμενα βλάβης τα οποία προκαλούνται από ένα εξωτερικό αίτιο, θέτουν δύο ή περισσότερα στοιχεία εκτός λειτουργίας ενώ αυτές οι βλάβες δεν μπορούν να θεωρηθούν σαν επακόλουθο η μία της άλλης.

### 2.8.2 Ανάλυση σφαλμάτων δικτύων Διανομής

Τα σφάλματα στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με τα στοιχεία μεταξύ των οποίων αποκαθίσταται αγωγίμος δρόμος, διακρίνονται σε

- Μονοφασικά σφάλματα προς γη.
- Πολυφασικά σφάλματα (με ή χωρίς γη).

Τα σφάλματα και των δυο πιο πάνω κατηγοριών, ανάλογα με τον χρόνο παραμονής τους στα δίκτυα και τρόπο εκκαθάρισής τους διακρίνονται σε

- **Παροδικά** που μπορεί να είναι
  - Αυτοαποσβενόμενα. Εξαλείφονται μόνα τους, ακόμη και αν δεν υπάρξει διακοπή της τάσης του δικτύου.
  - Κυρίως παροδικά. Μπορούν να εξαλειφθούν με στιγμιαία διακοπή της τάσης (διάρκειας δεκάτων του δευτερολέπτου).
  - Ημιμόνιμα. Για την εξάλειψη των οποίων δεν αρκεί μια στιγμιαία διακοπή, αλλά απαιτείται διακοπή μεγαλύτερης διάρκειας (μεγαλύτερης από 1s).
- **Μόνιμα**. Τα σφάλματα αυτά παραμένουν στα δίκτυα, ανεξάρτητα από τη διακοπή ή μη της τάσης. Απαιτείται επέμβαση προσωπικού των ηλεκτρικών επιχειρήσεων για την εξάλειψή τους.
- **Διαλείποντα ή σφάλματα με επανένανυση (restriking faults)**. Είναι παροδικά σφάλματα, συνήθως αυτοαποσβενόμενα, τα οποία δεν εξαλείφονται οριστικά, αλλά επανεμφανίζονται κατά διαστήματα. Έχουν ομοιότητα με τα μόνιμα σφάλματα ως προς το ότι απαιτείται επέμβαση προσωπικού για την εξάλειψή τους, αλλά προκαλούν στα δίκτυα μεγαλύτερες διηλεκτρικές καταπονήσεις από αυτά, λόγω των μεταβατικών υπερτάσεων που δημιουργούνται κατά τη διακοπή και επανεμφάνισή τους. Επιπλέον, η στατιστική αλλά και τα χαρακτηριστικά των σφαλμάτων επηρεάζονται από το είδος του δικτύου, δηλαδή από το εάν πρόκειται για εναέριο ή υπόγειο δίκτυο.

Στα εναέρια δίκτυα τα σφάλματα είναι συχνότερα απ' ό,τι στα υπόγεια, γιατί τα δίκτυα αυτά είναι περισσότερο εκτεθειμένα σε ατμοσφαιρικές επιδράσεις, σε βανδαλισμούς κλπ.. Ωστόσο, ο εντοπισμός των σφαλμάτων και οι επισκευές γίνονται ευκολότερα στα εναέρια δίκτυα. Η εκτέλεση διαδοχικών διακοπών-επανοπλισμών για την εκκαθάριση των παροδικών σφαλμάτων είναι συνήθης πρακτική που εφαρμόζεται για την προστασία των εναέριων δικτύων.

### 2.8.3 Στατιστική σφαλμάτων

Σημαντικό ρόλο στη στατιστική των σφαλμάτων παίζουν το είδος του δικτύου, η μέθοδος γείωσης και το σύστημα προστασίας. Τα Δίκτυα MT που αποτελούνται κυρίως

από υπόγεια καλώδια είναι αναμενόμενο να παρουσιάζουν αυξημένο ποσοστό μόνιμων σφαλμάτων, σε σύγκριση με δίκτυα που αποτελούνται κυρίως από εναέριες γραμμές, στα οποία αναμένεται το ποσοστό των παροδικών σφαλμάτων να είναι αυξημένο. Επίσης, δίκτυα που γειώνονται μέσω αντισταθμιστικού πηνίου αναμένεται να παρουσιάζουν μικρότερο πλήθος παροδικών σφαλμάτων προς γη σε σύγκριση με αυτό που θα παρουσίαζαν αν π.χ. είχαν ουδέτερο γειωμένο μέσω αντίστασης (υπό την προϋπόθεση ότι στα παροδικά σφάλματα δεν συνεκτιμώνται τα αυτοαποσβενόμενα). Ο λόγος είναι ότι στα δίκτυα με αντισταθμιστικό πηνίο είναι μεγαλύτερο το πλήθος των σφαλμάτων που αυτοαποσβένονται. Τα παροδικά σφάλματα αποτελούν προσεγγιστικά το 50% έως 90% του συνόλου των σφαλμάτων. Τα σφάλματα προς γη αποτελούν προσεγγιστικά το 25% έως 75% του συνόλου των σφαλμάτων.

Η συχνότητα του σφάλματος δίνεται κατά κανόνα ως σφάλματα ανά καταναλωτή το χρόνο, δηλαδή σε μορφή που είναι προσανατολισμένη προς την ποιότητα παρεχόμενης ενέργειας. Υπάρχει 2 έως 40 φορές μεγαλύτερη συχνότητα σφαλμάτων στους καταναλωτές ημιαστικών και αγροτικών περιοχών σε σύγκριση με εκείνους των αστικών περιοχών. Η μικρότερη συχνότητα σφαλμάτων στις αστικές περιοχές είναι αναμενόμενη, δεδομένου ότι σε αυτές συνήθως τα δίκτυα MT, αλλά και εκείνα της XT κατασκευάζονται κυρίως με υπόγεια καλώδια, ενώ στις αγροτικές είναι κυρίως εναέρια. Στα εναέρια δίκτυα, τα σφάλματα είναι κυρίως παροδικά (80-90%) και μονοφασικά (75%). Στα υπόγεια δίκτυα τα σφάλματα είναι σχεδόν πάντοτε μόνιμα (~100%) και πολυφασικά (90%).

#### **2.8.4 Πίνακες πλήθους βλαβών ανά αίτιο και είδος βλάβης στα δίκτυα διανομής MT**

Στους παρακάτω πίνακες φαίνεται το πλήθος βλαβών ανά αίτιο και ανα είδος βλάβης για 1 Υ/Σ και για πολλούς Υ/Σ που παρουσιάστηκε σε όλη την έκταση του δικτύου της ΔΕΗ στην Ελλάδα. Η μελέτη έγινε για λογαριασμό της ΔΕΗ βάσει του προγράμματος “ΣΑΒ” και τα στοιχεία συνελέγησαν από την διεύθυνση της ΔΕΗ υπ’ όψιν του κ.Βράνη.

Αίτιο	Περιγραφή	Πλήθος
1	Κεραυνός	6442
2	Άνεμος	2496
3	Ατάνυστοι αγωγ.	85
4	Πάγος-Χιόνι	1850
5	Ρύπανση	2184
6	Κλαδιά δέντρων	1333
7	Ξένα σώματα	607
8	Ανθρώπινη επέμβαση	1651
9	Ζώα-Πτηνά	3630
10	Κακοτεχνία	249
11	Υλικά δικτύου	6298
12	Άλλα αίτια	7422
13	Κακοκαιρία	16701
14	Κακός χειρισμός	84
15	Άγνωστο	15984

**Πίνακας 2.1 Πλήθος βλαβών MT με 1 Υ/Σ ανά Αίτιο**

Αίτιο	Περιγραφή	Πλήθος
1	Κεραυνός	13905
2	Άνεμος	2870
3	Ατάνυστοι αγωγ.	90
4	Πάγος-Χιόνι	1208
5	Ρύπανση	2464
6	Κλαδιά δέντρων	1394
7	Ξένα σώματα	763
8	Ανθρώπινη επέμβαση	1309
9	Ζώα-Πτηνά	14813
10	Κακοτεχνία	414
11	Υλικά δικτύου	9081
12	Άλλα αίτια	11525
13	Κακοκαιρία	29077
14	Κακός χειρισμός	168
15	Άγνωστο	32168

**Πίνακας 2.2 Πλήθος βλαβών ΜΤ με πολλούς Υ/Σ ανά Αίτιο**



Είδος βλάβης	Είδος	Πλήθος
1	Μόνιμο	39652
2	Παροδικό	82581
3	Υπερφόρτωση	606
4	Πελάτης ΜΤ	1567
5	Δίκτυο ΧΤ	198
6	Φασική απόκλιση	80
7	Βοηθ.κυκλ/τα	41
8	Διακοπή Μεταφοράς	63
9	Λειτουργία Η/Ν	28
10	Μ/Σ Μεταφοράς	160

**Πίνακας 2.3 Πλήθος βλαβών ΜΤ με 1 Υ/Σ ανά Είδος Βλάβης**

Είδος βλάβης	Είδος	Πλήθος
1	Μόνιμο	25195
2	Παροδικό	43525
3	Υπερφόρτωση	362
4	Πελάτης ΜΤ	203
5	Δίκτυο ΧΤ	27
6	Φασική απόκλιση	18
7	Βοηθ.κυκλ/τα	27
8	Διακοπή Μεταφοράς	150
9	Λειτουργία Η/Ν	41
10	Μ/Σ Μεταφοράς	56

**Πίνακας 2.4 Πλήθος βλαβών ΜΤ με πολλούς Υ/Σ ανά Είδος Βλάβης**



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

# 3

## *ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ*

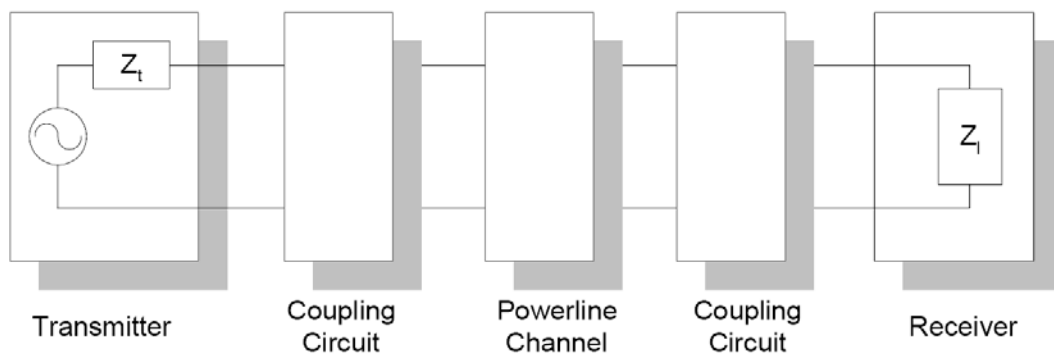
### 3.1 Γενικά

Ως επικοινωνιακό κανάλι (communication channel), ορίζεται κάθε φυσικό μονοπάτι επικοινωνίας μεταξύ δύο διαδοχικών κόμβων, μέσω του οποίου διαδίδονται σήματα πληροφορίας. Όλα τα επιμέρους καλώδια μπορούν να θεωρηθούν ως κανάλια μεταξύ του υποσταθμού και του αποδέκτη. Για κάθε κανάλι επικοινωνίας, ορίζονται ορισμένα χαρακτηριστικά μετάδοσης τα οποία και προσδιορίζουν την απόδοση του. Η απόδοση ενός καναλιού ορίζει πόσο καλή είναι η ποιότητα της μετάδοσης και αποτελεί συνάρτηση του θορύβου και της εξασθένησης που παρουσιάζει το σήμα καθώς διαδίδεται κατά μήκος του καναλιού. Όσο μεγαλύτερο είναι το επίπεδο θορύβου και η εξασθένηση του σήματος, τόσο δυσκολότερη είναι η σωστή επανάκτηση της πληροφορίας στο δέκτη. Στο δίκτυο των γραμμών ενέργειας ο θόρυβος μπορεί να προέρχεται από τα φορτία που συνδέονται σε αυτό. Επιπλέον, εξωτερικές ραδιοφωνικές εκπομπές προκαλούν παρεμβολές σε τέτοια κανάλια. Η εξασθένηση σχετίζεται με το φυσικό μήκος του καναλιού και την ασυμβατότητα που μπορούν να προκαλούν οι αντιστάσεις στο δίκτυο. Οι γραμμές ενέργειας γενικά θεωρούνται σαν «τραχύ» περιβάλλον μετάδοσης δεδομένων εξαιτίας των χρονικά μεταβαλλόμενων χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν.

Συγκεκριμένα πολλά προβλήματα προκύπτουν κυρίως όταν η πρόσβαση γίνεται από την πλευρά της χαμηλής τάσης αφού

- Πολλές παροχές εξόδου στο δίκτυο έχουν φορτία τερματισμού με διαφορετικές και μεταβαλλόμενες αντιστάσεις.
- Η απόκριση του καναλιού μεταβάλλεται στο πεδίο των συχνοτήτων.
- Ο θόρυβος στις γραμμές ενέργειας μεταβάλλεται ως προς το χρόνο με την είσοδο/έξοδο συσκευών από το δίκτυο.
- Ηλεκτρικές συσκευές (όπως ηλεκτρικές σκούπες, φώτα αλογόνου, ηλεκτρικοί φούρνοι κλπ.) προκαλούν παρεμβολές στο σύστημα. Παρεμβολές προκαλούν επίσης σε αυτό και οι ασύρματες εκπομπές.

Ένα σύστημα που χρησιμοποιεί μια γραμμή ενέργειας ως μέσο μεταφοράς δεδομένων θα έχει την εξής γενική μορφή που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.1. Χαρακτηριστικό του αποτελούν οι αντιστάσεις εισόδου  $Z_t$  στον πομπό και εξόδου στον δέκτη  $Z_r$ . Το κύκλωμα σύζευξης (coupling circuit) τοποθετείται μεταξύ πομπού/δέκτη και γραμμής ενέργειας για να αποτρέψει το υψηλής τάσης σήμα των 50Hz που πραγματοποιεί τη διανομή της ισχύος να εισέλθει στον εξοπλισμό αλλά και για να διασφαλίσει ότι το μεταδιδόμενο σήμα βρίσκεται μέσα στα πλαίσια του φάσματος συχνοτήτων που χρησιμοποιείται για επικοινωνίες.



Σχήμα 3.1 Γενική μορφή BPL τηλεπικοινωνιακού συστήματος

### 3.2 Λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR)

Προκειμένου να προσδιοριστεί και να εκτιμηθεί η απόδοση ενός συστήματος επικοινωνίας το μέγεθος που απαιτείται να υπολογιστεί είναι ο σηματοθορυβικός λόγος SNR (Signal to Noise Ratio), ο οποίος ορίζεται ως  $SNR = \frac{\text{ισχύς σήματος}}{\text{ισχύς θορύβου}}$ . Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος SNR τόσο καλύτερη είναι η απόδοση του συστήματος και τόσο καλύτερης ποιότητας επικοινωνία προσφέρει. Όσον αφορά τα συστήματα επικοινωνιών μέσω των γραμμών ενέργειας μεγάλη έμφαση πρέπει να δοθεί στον θόρυβο που εμφανίζεται σε αυτά. Ιδιομορφία τέτοιων συστημάτων, αποτελεί το γεγονός, ότι τα χαρακτηριστικά του θορύβου αλλάζουν με τον χρόνο ενώ εξαρτώνται από το φορτίο που παρουσιάζει κάθε χρονική στιγμή το δίκτυο. Όταν επιπλέον φορτία προστίθενται στο δίκτυο, ο θόρυβος μέσα στις γραμμές ενέργειας αυξάνεται. Διαταραχές στο δίκτυο μπορούν να προκαλέσουν και εξωτερικά συστήματα επικοινωνίας όπως τα ασύρματα δίκτυα. Επομένως ο θόρυβος στις γραμμές ενέργειας δεν μπορεί να θεωρηθεί ως λευκός Γκαουσιανός όπως ισχύει σε άλλα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Καθώς το σήμα μεταδίδεται από τον πομπό προς τον δέκτη εξασθενεί. Αν η εξασθένιση είναι πολύ μεγάλη τότε υπάρχει σοβαρή πιθανότητα το σήμα να υπερκαλυφθεί από το θόρυβο και τα δεδομένα να καταστραφούν. Στο πλέγμα των γραμμών ενέργειας η εξασθένιση αυτή είναι πολύ μεγάλη (μπορεί να φτάσει τα 100dB) με αποτέλεσμα να θέτει περιορισμούς στην απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη. Μία λύση για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος είναι η χρήση επαναληπτών/ενισχυτών καθώς και χρήση φίλτρων που να βελτιώνουν το λόγο SNR. Το τίμημα βέβαια για αυτό είναι η αύξηση του κόστους και της πολυπλοκότητας.

### 3.3 Ποιότητα καναλιού γραμμής ηλεκτρικής ενέργειας

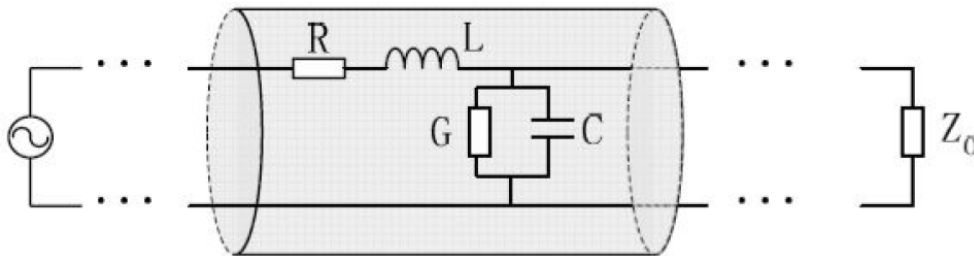
Όπως είναι γνωστό από τη θεωρία επικοινωνιών, οποιοδήποτε πρακτικό σύστημα επικοινωνιών θα έχει προβλήματα αν ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο στον δέκτη πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο τιμών. Αυτό είναι πιθανό να συμβεί και σε ένα σύστημα με γραμμές ενέργειας, ως αποτέλεσμα διάφορων φαινομένων, όπως η

εξασθένιση του σήματος, η υποβάθμιση του και η ύπαρξη πηγών θορύβου κατά μήκος της όδευσης. Ένα μέγεθος που θα μπορούσε να προσδιορίσει πόσο ικανοποιητική είναι η απόδοση ενός καναλιού είναι η ποιότητα του. Από πειραματικές μετρήσεις που έχουν γίνει πάνω σ' αυτόν τον τομέα, διαφαίνεται ότι η ποιότητα μιας γραμμής ενέργειας παρουσιάζει τυχαίες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια μιας μέρας. Αυτό βέβαια είναι αναμενόμενο, καθώς τυχαίες είναι και οι επιδράσεις/παραμορφώσεις που υφίσταται το μεταδιδόμενο σήμα μέσα σε αυτή. Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχει μία τάση η ποιότητα ενός καθορισμένου καναλιού να μεταβάλλεται τυχαία γύρω από ένα μέσο επίπεδο απόδοσης, το οποίο εξαρτάται από το μονοπάτι που ακολουθείται. Τα φορτία που συνδέονται στο δίκτυο ΧΤ έχουν σοβαρό αντίκτυπο στην απόδοσή του, μιας και συντελούν στην εξασθένιση/υποβάθμιση των σημάτων πληροφορίας. Επιπρόσθετα δημιουργούν παρεμβολές, αλλοιώνοντας τα δεδομένα. Ένα ειδικό πρόβλημα για τις γραμμές ενέργειας είναι ότι τα φορτία που συνδέονται σε αυτές, είναι χρονικά μεταβαλλόμενα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η συσχέτιση αυτών των μεταβολών με το επίπεδο της ενέργειας του σήματος που καταλήγει στο δέκτη. Σε ώρες υψηλής ενεργειακής κατανάλωσης (όπως πρωινά και απογεύματα) υπάρχει μία τάση να μειώνεται η απόδοση του δικτύου. Όμως αντίθετα από ότι θα περίμενε κανείς και το βράδυ η ποιότητα είναι χαμηλή. Μία πιθανή εξήγηση για αυτό το φαινόμενο θα μπορούσε να είναι ότι τα μόνιμα φορτία που υπάρχουν στο δίκτυο παράγουν έντονες παρεμβολές. Η επίτευξη ικανοποιητικής ποιότητας επικοινωνίας μέσω του καναλιού είναι ένας επιπλέον λόγος για εφαρμογή προηγμένων μεθόδων επικοινωνίας και διαμόρφωσης, με κύριες υποψηφίες τεχνικές αυτές του απλωμένου φάσματος (spread spectrum techniques) και της OFDM τεχνικής που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 5.

### **3.4 Απώλειες καλωδίων δικτύου Διανομής σε υψηλές συχνότητες**

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η απόσβεση του μεταδιδόμενου κύματος αυξάνεται όταν αυξάνεται το μήκος της γραμμής ή η συχνότητα. Ως γνωστόν, από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και το υλικό των καλωδίων υπολογίζονται οι παράμετροι C,L,R,G (χωρητικότητα ανά χιλιόμετρο, αυτεπαγωγή ανά χιλιόμετρο, αντίσταση ανά

χιλιόμετρο και αγωγιμότητα ανά χιλιόμετρο) που είναι χαρακτηριστικά μεγέθη κάθε γραμμής (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2 Ισοδύναμο κύκλωμα ΜΤ

Η απόκριση συχνότητας  $H(f)$ , ή ισοδύναμα,  $H(\omega)$  ( $\omega=2\pi f$ ) μια προσαρμοσμένης γραμμής ΜΤ μήκους  $l$  μπορεί να εκφρασθεί και μέσω της μιγαδικής σταθεράς διάδοσης  $\gamma(\omega)$ .

$$\gamma(\omega) = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha(\omega) + j\beta(\omega) \quad (3.1)$$

Η  $H(\omega)$  εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά και το μήκος του καλωδίου και τη συχνότητα. Σε σημείο το οποίο έχει τερματιστεί με χαρακτηριστική αντίσταση

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (3.2)$$

που απέχει απόσταση  $l$  από το σημείο εισόδου της γραμμής, η  $H(\omega)$  είναι ίση προς

$$H(\omega) = \frac{U(x=l)}{U(x=0)} = e^{-\gamma(\omega)l} = e^{-\alpha(\omega)l} e^{-j\beta(\omega)l} \quad (3.3)$$

Θεωρώντας συχνότητες της τάξης των MHz, η αντίσταση ανά μονάδα μήκους,  $R$ , καθορίζεται κατά κύριο λόγο από το επιδερμικό φαινόμενο. Η αγωγιμότητα ανά μονάδα μήκους  $G$  επηρεάζεται κυρίως από το συντελεστή διάσπασης του διηλεκτρικού υλικού (π.χ. PVC). Για μια τυπική γεωμετρία και ιδιότητες υλικού και για το εύρος συχνοτήτων που ενδιαφέρει ισχύει

$$R \ll \omega L \text{ και } G \ll \omega C$$

Έτσι, τα καλώδια θεωρούνται ως μικρών απωλειών με πραγματική τιμή χαρακτηριστικής αντίστασης  $Z_0$ . Η μιγαδική σταθερά διάδοσης  $\gamma$  ως συνάρτηση της συχνότητας λαμβάνεται υπόψη μέσω της ακόλουθης απλοποιημένης έκφρασης

$$\gamma = k_1 \sqrt{f} + k_2 f + j k_3 f = \text{Re}(\gamma) + j \text{Im}(\gamma) = \alpha + j\beta \quad (3.4)$$

όπου οι σταθερές  $k_1, k_2, k_3$  είναι παράμετροι που σχετίζονται με τη γεωμετρία και το υλικό που χρησιμοποιείται στα καλώδια. Το πραγματικό μέρος του συντελεστή διάδοσης είναι ο συντελεστής απόσβεσης  $\alpha$ , ο οποίος αυξάνεται με τη συχνότητα. Ωστόσο, η ακριβής σχέση μεταξύ  $\alpha$  και  $f$  για ένα καλώδιο μπορεί να είναι ανάλογη του  $\sqrt{f}$ , του  $f$  ή ενός συνδυασμού των δύο. Βασιζόμενοι σε πηγές από δημοσιεύσεις και εκτεταμένες έρευνες με αντικείμενο τη μέτρηση της απόκρισης συχνότητας υιοθετήθηκε η ακόλουθη σχέση για το συντελεστή απόσβεσης  $\alpha$

$$\alpha(f) = a_0 + a_1 f^k \quad (3.5)$$

Η ανωτέρω σχέση αποδίδει την απόσβεση μιας γραμμής ΜΤ συναρτήσει τριών παραμέτρων οι οποίες προκύπτουν εύκολα από μετρήσεις της συνάρτησης μεταφοράς την γραμμής. Έτσι, η απόσβεση γραμμής ΜΤ γράφεται

$$A(f, d) = e^{-\alpha(f)d} = e^{-(a_0 + a_1 f^k)d} \quad (3.6)$$

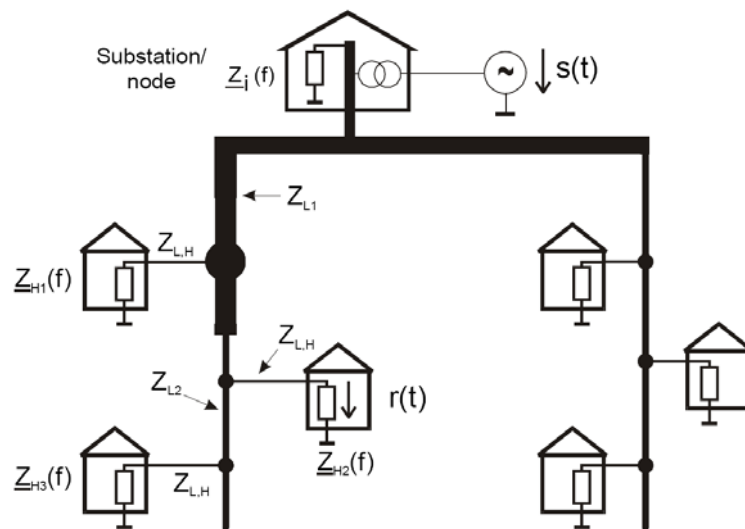
### 3.5 Πολύοδη διάδοση

Τα καλώδια των γραμμών ενέργειας και οι μεταξύ τους συνδέσεις δεν είναι σωστά εναρμονισμένα. Λόγω της δομής του δικτύου λαμβάνουν χώρα πολλαπλές ανακλάσεις. Το δίκτυο ΧΤ έχει συνήθως δομή αστέρος, παρόμοια με αυτήν ενός ασύρματου δικτύου που αποτελείται από κυψέλες και σταθμούς βάσης σε αυτές. Αντίθετα από το τηλεφωνικό δίκτυο, το δίκτυο γραμμών ενέργειας δεν περιλαμβάνει συνδέσεις από σημείο σε σημείο μεταξύ υποσταθμών και χρηστών αλλά χρησιμοποιεί ένα κοινό διαμοιραζόμενο μέσο σύνδεσης. Ένας τυπικός σύνδεσμος δικτύου μεταξύ ενός πελάτη και ενός υποσταθμού ενέργειας αποτελείται από τα εξής επιμέρους τμήματα.



1. Τη γραμμή διανομής που ξεκινάει από τον υποσταθμό βάσης και φτάνει σε έναν κεντρικό κόμβο με αντίσταση  $Z_{L1}$ .
2. Τα καλώδια διακλάδωσης που καταλήγουν σε ένα συγκεκριμένο κόμβο τερματισμού (κτίριο) με αντίσταση  $Z_{L,H}$ .
3. Την εσωτερικά του κτιρίου καλωδίωση που αντιπροσωπεύεται από μία αντίσταση τερματισμού  $Z_H(f)$ .

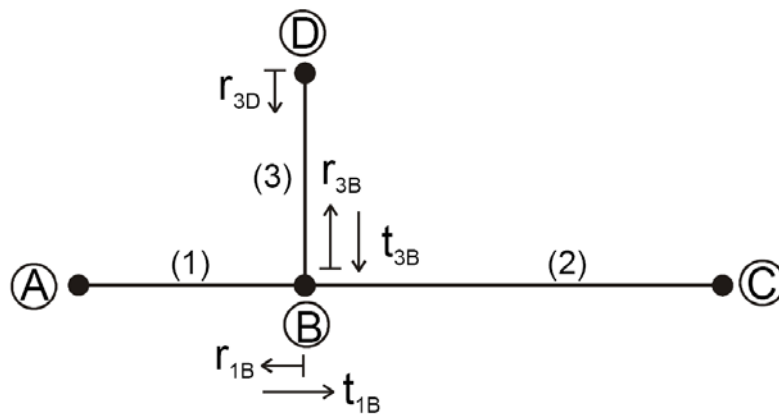
Κάθε διέλευση από τις συνδέσεις μεταξύ των διαδοχικών καλωδίων κατά μήκος της διαδρομής διάδοσης του σήματος αντιστοιχεί σε αλλαγή της αντίστασης και προκαλεί ανακλάσεις.



**Σχήμα 3.3** Χαρακτηριστικές αντιστάσεις τμημάτων του δικτύου διανομής

Οι πολλαπλές ανακλάσεις δημιουργούνται στους υποσταθμούς των φορτίων και στα σημεία διακλάδωσης λόγω της διαφοράς της χαρακτηριστικής αντίστασης των γραμμών και των διαφόρων σύνθετων αντιστάσεων τερματισμού τους. Για τη μετάδοση του σήματος από ένα σημείο A σε ένα σημείο B πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλες διαδρομές του σήματος με αποτέλεσμα να εμφανίζεται το φαινόμενο της πολύοδης διάδοσης (multipath propagation) με επιλεκτική απόσβεση συχνότητας.

Ένα παράδειγμα πολυόδης διάδοσης φαίνεται στο Σχήμα 3.4 με ένα απλό μοντέλο τριών τμημάτων (1), (2) και (3), μηκούς  $l_1, l_2, l_3$  και χαρακτηριστικής αντίστασης  $Z_{L1}, Z_{L2}, Z_{L3}$  αντίστοιχα.



Σχήμα 3.4 Πολυδιαδρομική διάδοση σήματος σε καλώδιο

Προς χάριν απλότητας, τα A και C είναι προσαρμοσμένα που σημαίνει  $Z_A=Z_{L1}$  and  $Z_C=Z_{L2}$ . Τα εναπομείναντα σημεία για ανάκλαση είναι τα σημεία B και D, με παράγοντες ανάκλασης  $\Gamma_{1B}, \Gamma_{3D}$  και  $\Gamma_{3B}$  και με παράγοντες διάδοσης τους  $t_{1B}$  και  $t_{3B}$ . Υπό αυτές τις υποθέσεις, είναι δυνατός ένας άπειρος αριθμός διαδρομών διάδοσης λόγω των πολλαπλών ανακλάσεων. Κάθε μονοπάτι χαρακτηρίζεται από έναν παράγοντα βάρους  $g_i$ , που αντιπροσωπεύει το ποσοστό ανακλάσεων ή μεταδόσεων κατά μήκος του. Όλοι οι συντελεστές ανάκλασης και μετάδοσης είναι μικρότεροι ή ίσοι της μονάδας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μετάδοση εμφανίζεται μόνο στις συνδέσεις, όπου το φορτίο της παράλληλης σύνδεσης από δύο ή περισσότερα καλώδια οδηγεί σε μια εμπέδηση που είναι μικρότερη από τη χαρακτηριστική εμπέδηση του καλωδίου τροφοδοσίας. Για το λόγο αυτό, ο συντελεστής βάρους  $g_i$  είναι επίσης μικρότερος ή ίσος της μονάδας, δηλαδή  $|g_i| \leq 1$ .

Όσο περισσότερες διαδρομές και ανακλάσεις γίνονται κατά μήκος ενός μονοπατιού τόσο μικρότερος είναι ο συντελεστής  $g_i$ . Επίσης, μεγαλύτερα σε μήκος μονοπάτια παρουσιάζουν μεγαλύτερη εξασθένηση, γεγονός που συμβάλλει στη λήψη

χαμηλότερου σήματος στο σημείο λήψης. Με βάση αυτές τις παρατηρήσεις, είναι λογικό να προσεγγιστεί ο άπειρος αριθμός μονοπατιών από τα  $N$  επικρατέστερα μονοπάτια. Η μέση καθυστέρηση τι ενός μονοπατιού είναι

$$\tau_i = \frac{d_i \cdot \sqrt{\epsilon_r}}{c_0} = \frac{d_i}{u_p} \quad (3.7)$$

Η καθυστέρηση αυτή μπορεί να υπολογιστεί αν είναι γνωστή η διηλεκτρική σταθερά  $\epsilon_r$  του μονωτικού υλικού, η ταχύτητα του φωτός  $c_0$ , και τα μήκη  $d_i$  των καλωδίων. Οι απώλειες των καλωδίων που οφείλονται στην εξασθένηση  $A(f,d)$  αυξάνουν με το μήκος και τη συχνότητα. Το συνολικό σήμα προκύπτει από την υπέρθεση των μεμονωμένων σημάτων από τα διάφορα μονοπάτια. Συνεπώς, η απόκριση συχνότητας από το  $A$  στο  $C$  μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i \cdot A(f, d_i) \cdot e^{-j2\pi f \tau_i} \quad (3.8)$$

Συμπερασματικά τα βασικά χαρακτηριστικά του πολυσύνθετου προβλήματος της πολύοδης διάδοσης είναι

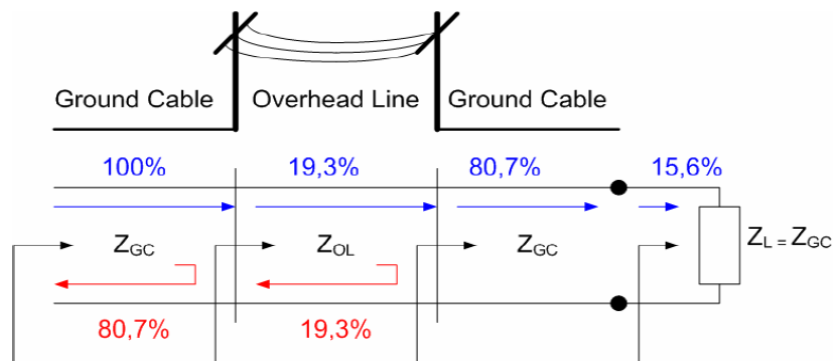
- Ο σταθμός  $C$  λαμβάνει το σήμα πολλές φορές στην διάρκεια σε διαφορετικές εκδοχές του, αποτέλεσμα των ανακλάσεων στα σημεία ασυνεχειών.
- Μια πολύπλοκη μορφή στάσιμου κύματος έχει δημιουργηθεί στην διαδρομή του δικτύου.
- Τα στάσιμα κύματα οδηγούν σε έντονη εξασθένηση των σημάτων κατά μήκος του δικτύου. Η θέση των σημείων υψηλής εξασθένησης εξαρτάται από την συχνότητα.

Η κατάσταση προφανώς γίνεται ακόμη χειρότερη στην συνήθη περίπτωση της μετάδοσης όχι απλά σήματος μίας συχνότητας αλλά ένα ενός σχετικά μεγάλου εύρους ζώνης σύνθετου σήματος όπως είναι το BPL σήμα. Μια ειδική περίπτωση ασυνέχειας που συναντάται στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας είναι αυτή που παρατηρείται στο σημείο αλλαγής μεταξύ υπόγειων και εναέριων γραμμών. Η αλλαγή αυτή δεν έχει κάποια επίδραση στο σήμα ισχύος, λειτουργεί όμως ως ισχυρός ανακλαστήρας στα υψίσυχνα σήματα.. Αν ένα σήμα πληροφορίας μεταδοθεί μεταξύ δύο φάσεων, τότε η

χαρακτηριστική αντίσταση ενός απλού εναέριου καλωδίου με απόσταση καλωδίου  $s=25\text{m}$  και διαμέτρο  $d=10\text{ mm}$  υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση στα  $470\Omega$ .

$$Z_{o\lambda} = 120\Omega \times \ln \frac{s}{d/2} = 470\Omega$$

Το υπόγειο καλώδιο συνήθως έχει τα χαρακτηριστικά του ομοαξονικού καλωδίου και χαρακτηριστική αντίσταση  $Z_{GC}=50\Omega$ . Αντικαθιστώντας τις τιμές αυτές στην εξίσωση του συντελεστή ανάκλασης παρατηρούμαι ότι ένα ποσοστό  $80,7\%$  του σήματος ανακλάται ενώ ένα  $19,3\%$  διέρχεται από την σύνδεση. Αν υπάρχει και δεύτερη αλλαγή χαρακτηριστικών στη διαδρομή του σήματος τότε υπολογίζουμε ότι ένα  $15,6\%$  του αρχικού σήματος καταφέρνει να περάσει από τα σημεία αλλαγής. Αυτό είναι το πιο ευνοϊκό σενάριο αφού έχει γίνει η υπόθεση ότι το φορτίο είναι προσαρμοσμένο στην υπόγεια γραμμή μεταφοράς δηλαδή οι χαρακτηριστικές αντιστάσεις τους είναι ίσες.



**Σχήμα 3.5** Ανάκλασεις σε μετάβαση από εναέριο σε υπόγειο καλώδιο

### 3.6 Συνάρτηση μεταφοράς γραμμής MT

Συνδυάζοντας τη διάδοση πολλαπλών διαδρομών, όπως περιγράφηκε προηγουμένως, και την έκφραση της απόσβεσης της γραμμής σε σχέση με το μήκος και τη συχνότητα, προκύπτει η γενικότερη εξίσωση

$$\underline{H}(f) = \sum_{i=1}^N \underbrace{|g_i(f)|}_{\text{Συντελεστής βαρύτητας}} \underbrace{e^{\phi_{g_i}(f)} e^{-(a_0+a_1 f^k)d_i}}_{\text{Παραγοντας αναλογος της αποσβεσης}} \underbrace{e^{-j2\pi f \tau_i}}_{\text{Παραγοντας αναλογος της καθυστερησης}} \quad (3.9)$$

Η ανωτέρω εξίσωση περιγράφει τη μετάδοση ενός σήματος κατά μήκος της γραμμής MT μέσω ενός παράγοντα ανάλογου της καθυστέρησης  $e^{-j2\pi f \tau_i}$  και ενός ανάλογου της απόσβεσης  $e^{-(a_0+a_1 f^k)d_i}$  που προσδίδει βαθυπερατά χαρακτηριστικά στο κανάλι, αφού η απόσβεση αυξάνεται με το μήκος και τη συχνότητα. Ο συντελεστής βαρύτητας

$$g_i = |g_i(f)| e^{\phi_{g_i}(f)} \quad (3.10)$$

συνοψίζει την επίδραση των διαφόρων συντελεστών ανάκλασης και μετάδοσης κατά μήκος της γραμμής. Οι συντελεστές  $g_i$  στη γενική περίπτωση είναι μιγαδικοί και εξαρτώνται από τη συχνότητα. Τα σήματα από όλες τις διαδρομές (διάδοση πολλαπλών διαδρομών) υπερτίθεται στο δέκτη. Ένα απλοποιημένο μοντέλο που έχει επαληθευθεί στην πράξη είναι το ακόλουθο. Σε πολλές περιπτώσεις και λόγω της δομής του δικτύου MT, μπορεί να θεωρηθεί ότι οι συντελεστές  $g_i$  είναι μιγαδικοί αλλά δεν εξαρτώνται από τη συχνότητα. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις, οι συντελεστές  $g_i$  μπορούν να θεωρηθούν πραγματικοί αριθμοί. Στην περίπτωση αυτή

$$\underline{H}(f) = \sum_{i=1}^N \left\{ \underbrace{g_i}_{\text{Συντελεστής βαρυτητας}} \cdot \underbrace{e^{-(a_0+a_1 f^k)d_i}}_{\text{Παραγοντας αναλογος της αποσβεσης}} \cdot \underbrace{e^{-j2\pi f \frac{d_i}{u_p}}}_{\text{Παραγοντας αναλογος της καθυστερησης}} \right\} \quad (3.11)$$

Οι Πίνακες 3.2 και 3.3 επεξηγούν τις παραμέτρους της συνάρτησης μεταφοράς.

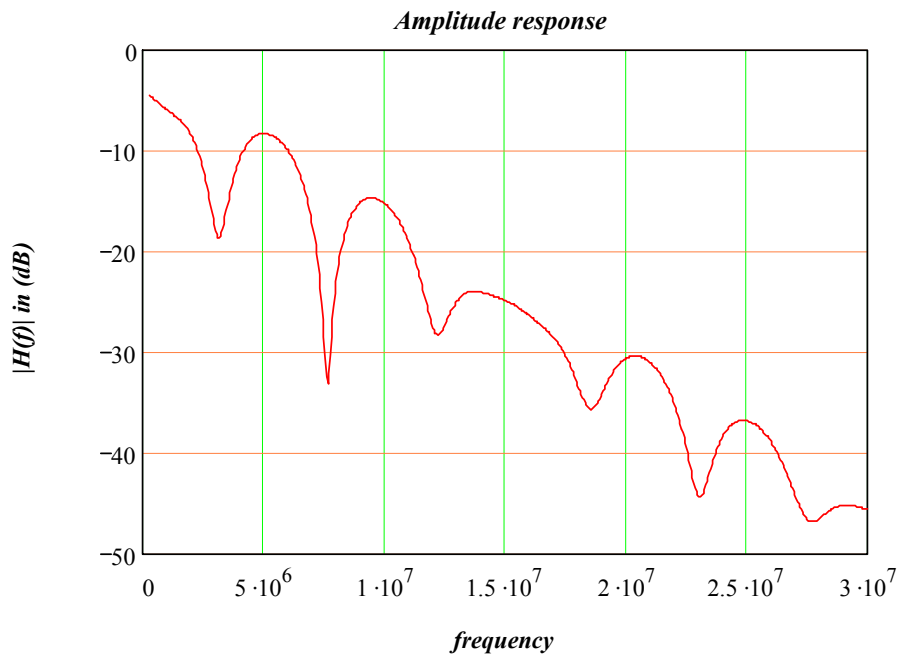
N	Πλήθος διαδρομών, η διαδρομή με τη μικρότερη καθυστέρηση i=1
$\alpha_0, \alpha_1$	Παράμετροι απόσβεσης
k	Εκθέτης του συντελεστή απόσβεσης (συνήθως τιμές 0.5 – 1)
$g_i$	Συντελεστής βάρους για την i διαδρομή
$d_i$	Μήκος διαδρομής i
$\tau_i$	Καθυστέρηση διαδρομής i

**Πίνακας 3.2** Παράμετροι μοντέλου της συνάρτησης μεταφοράς

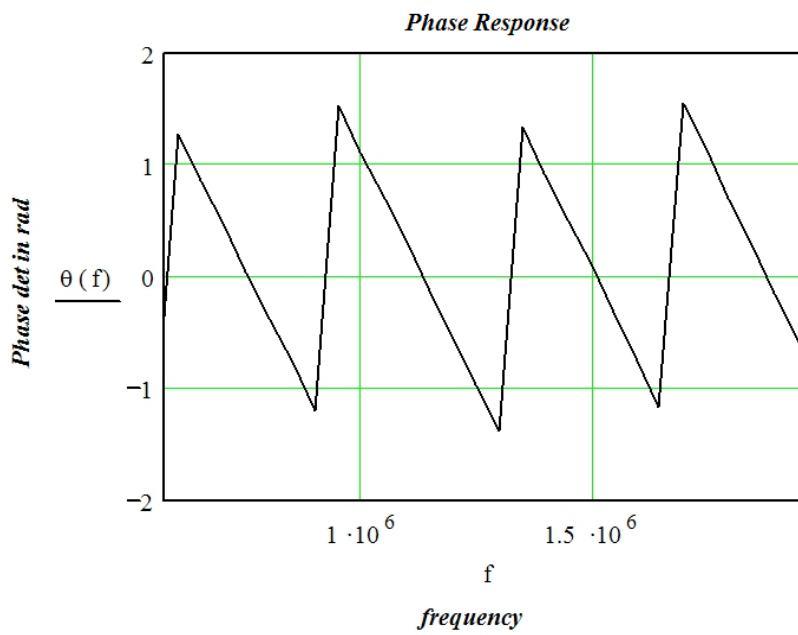
Μετά από προσομοίωση, η απόκριση πλάτους και φάσης ως συναρτήσεις της συχνότητας και η κρουστική απόκριση του συστήματος για τις τιμές του Πίνακα 3.3 έχουν τη γραφική παράσταση των Σχημάτων 3.6 , 3.7 και 3.8 αντίστοιχα.

	Παράμετροι απόσβεσης				
k=1	$a_0=0$ s/m	$a_1=7.8 \times 10^{-10}$ s/m			
<i>Παράμετροι διαδρομής</i>					
<i>i</i>	<i>g<sub>i</sub></i>	<i>d<sub>i</sub>/m</i>	<i>i</i>	<i>g<sub>i</sub></i>	<i>d<sub>i</sub>/m</i>
1	0,5	200	4	0,03	270
2	0,3	230	5	0,02	280
3	-0,2	240	6	0,01	300

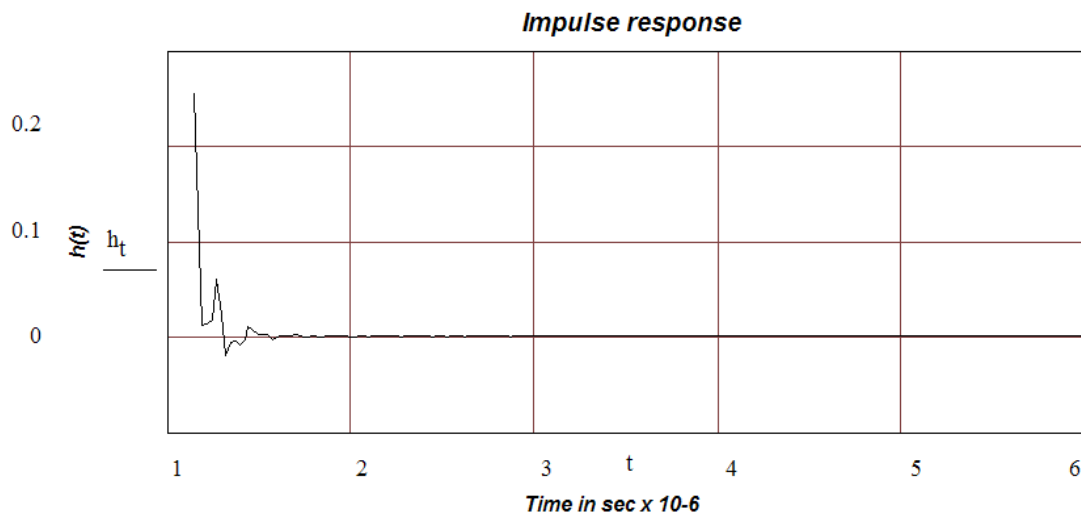
**Πίνακας 3.3** Παράμετροι μοντέλου της συνάρτησης μεταφοράς



Σχήμα 3.6 Απόκριση πλάτους συναρτήσει της συχνότητας



Σχήμα 3.7 .Απόκριση φάσης συναρτήσει της συχνότητας.



**Σχήμα 3.8 Κρουστική απόκριση του συστήματος**

Από την απόκριση πλάτους προκύπτει ότι λόγω των ανακλάσεων του σήματος σε σημεία διαφορετικής χαρακτηριστικής αντίστασης δημιουργούνται περιοδικές βυθίσεις (notches) σχήματος V.

### 3.7 Μετρήσεις εξασθένησης καναλιού MT

Πολλαπλές μετρήσεις έχουν γίνει για τον υπολογισμό των τιμών εξασθένησης στις γραμμές MT. Εδώ, παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα μετρήσεων για μια απλή τοπολογία ενός συστήματος υποσταθμών που περιλαμβάνει δύο ζεύξεις γραμμών MT. [14]. Στην συγκεκριμένη τοπολογία

- Ο σταθμός B συνδέεται με τον σταθμό C με μια υπόγεια σύνδεση 400 m.
- Ο σταθμός B συνδέεται με τον σταθμό A με μια υπόγειο σύνδεση 1000 m.
- Ο συζευκτήρας (coupler) λειτουργεί ως υπεραπλοποιημένο φίλτρο στο ηλεκτρικό σήμα των 50 Hz ενώ αφήνει το υψίσυχνο σήμα να περάσει αμετάβλητο.

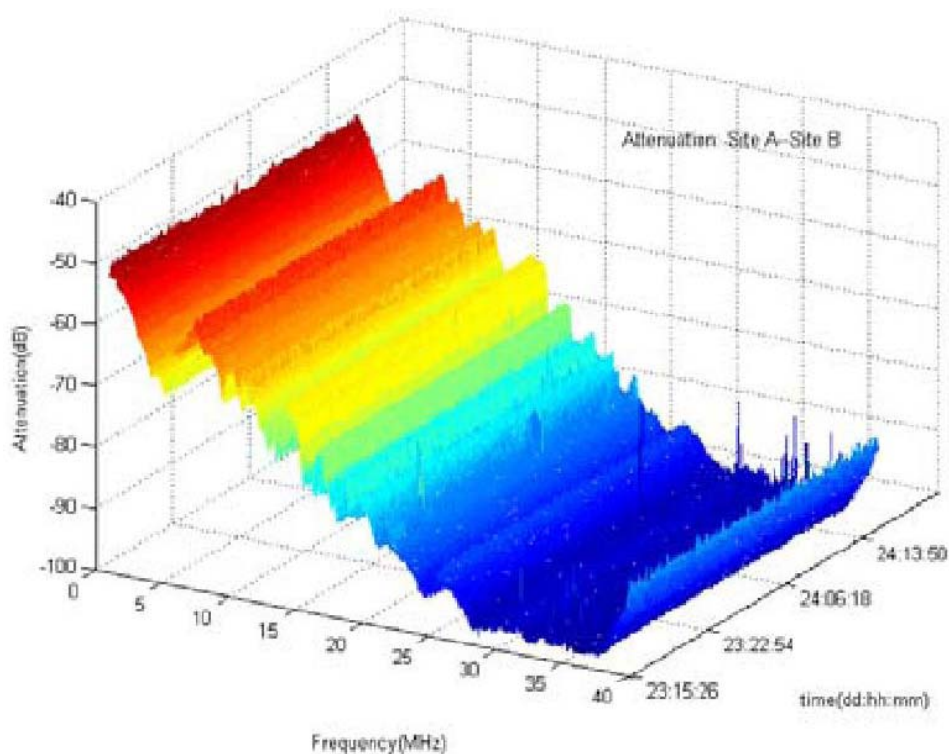
Ένας τρόπος μέτρησης της εξασθένησης είναι η διαβίβαση του σήματος μέσω του κυκλώματος σύζευξης και έπειτα η λήψη και η επεξεργασία του σήματος με τον αναλυτή φάσματος. Τα Σχήματα 3.9 έως 3.12 απεικονίζουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων του



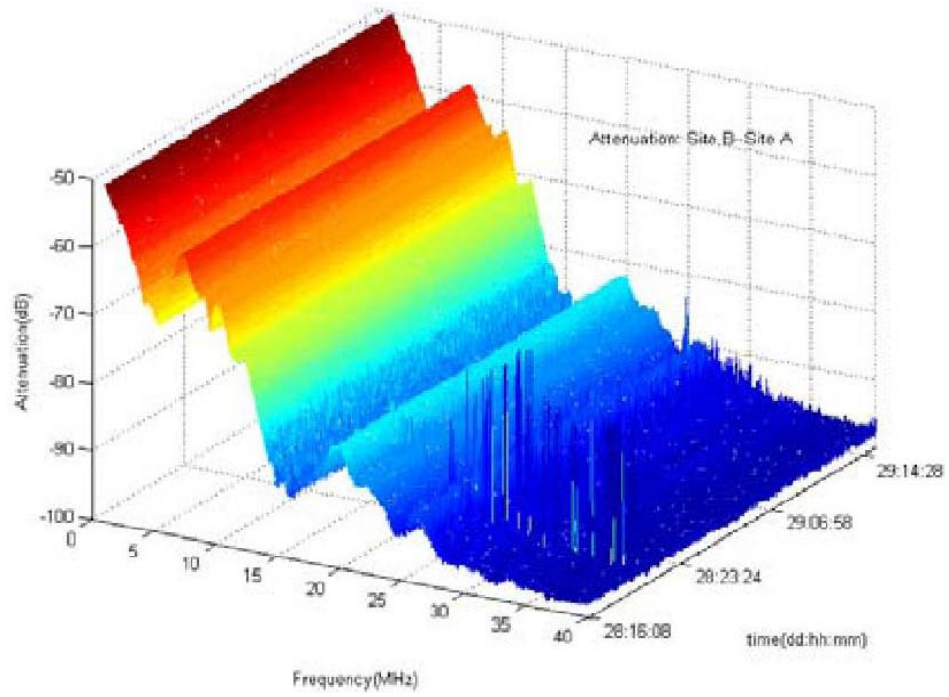
καναλιού για την σύνδεση μεταξύ των σταθμών A και B όπως και μεταξύ των σταθμών B και C κατά την διάρκεια ενός 24ώρου.Ετσι

- Η συνολική εξασθένηση αυξάνεται δραματικά με την αύξηση της συχνότητας.
- Παρατηρούνται βαθείς διαλείψεις.
- Τα χαρακτηριστικά της εξασθένησης δεν μεταβάλλονται ιδιαίτερα με τον χρόνο.
- Η εξασθένηση αυξάνεται δραματικά με την αύξηση της συχνότητας και καθορίζεται κατά ένα μεγάλο μέρος από την απόσταση.

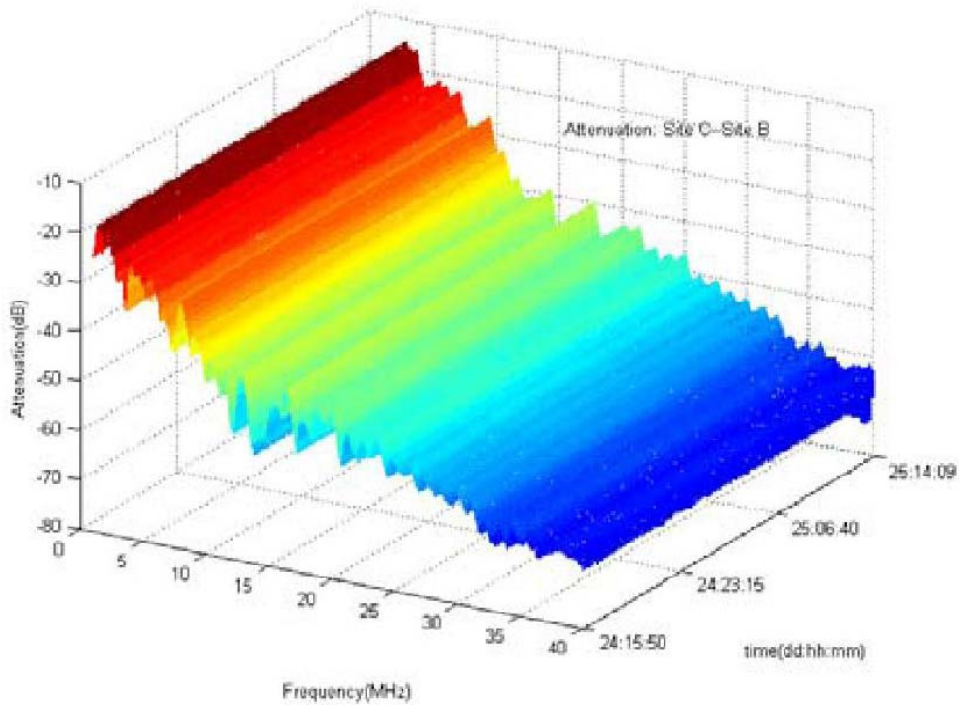
Στα Σχήματα 3.13 και 3.14 απεικονίζεται ο βέλτιστος καταμερισμός ισχύος στα υποκανάλια για τις συνδέσεις μεταξύ των σταθμών A και B αλλά και B και C. Ο βέλτιστος καταμερισμός ισχύος επιτρέπει την μείωση της εξασθένησης σε χαμηλά επίπεδα βάσει των μετρήσεων εξασθένησης που έχουν προηγηθεί και επιτρέπει την καλύτερη απόδοση του συνολικού συστήματος επικοινωνιών.



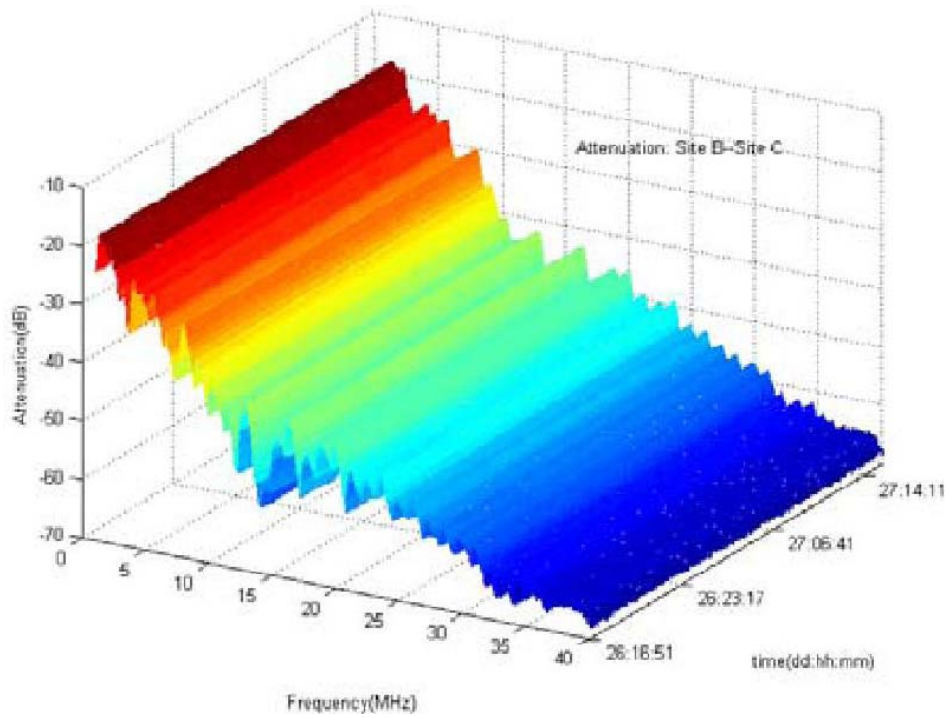
**Σχήμα 3.9** Εξασθένηση στην συνδέση A-B



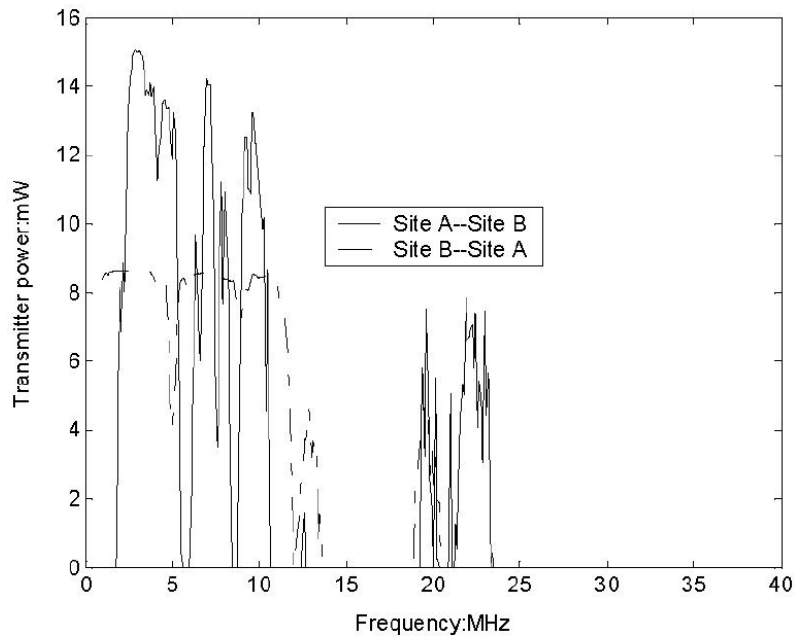
**Σχήμα 3.10** Εξασθένηση στην συνδέση B-A



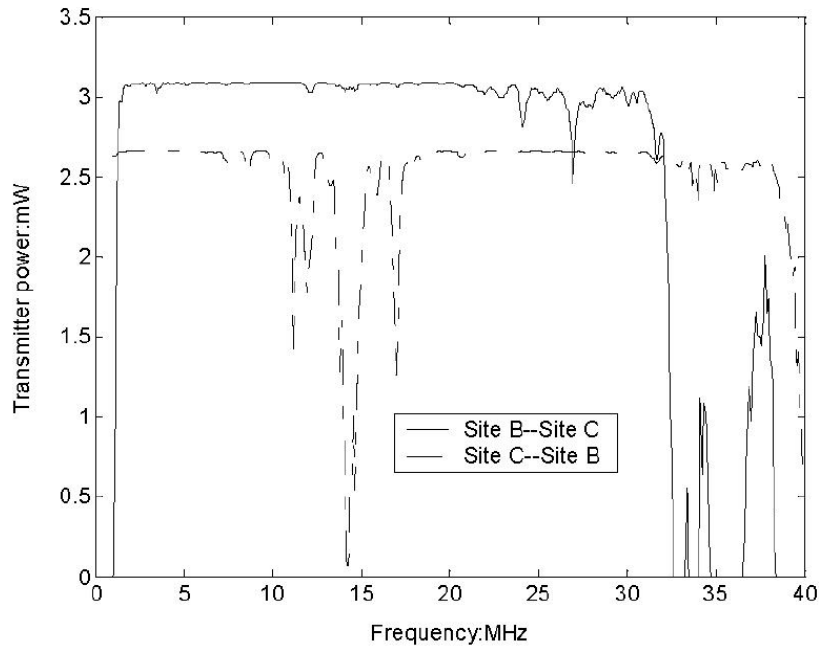
**Σχήμα 3.11** Εξασθένηση στην συνδέση C-B



Σχήμα 3.12 Εξασθένηση στην συνδέση B-C



Σχήμα 3.13 Βέλτιστος καταμερισμός ισχύος για την σύνδεση A-B



Σχήμα 3.14 Βέλτιστος καταμερισμός ισχύος για την σύνδεση B-C

### 3.8 Κλασσικός υπολογισμός χωρητικότητας γραμμής MT

Η ικανότητα μεταφοράς δεδομένων μπορεί να προσδιορισθεί για κάθε κανάλι βάσει του θεωρήματος του Shannon.

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (3.12)$$

όπου  $C$  είναι μέγιστη χωρητικότητα σε bps (bits per second) για την οποία είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί χωρίς σφάλμα θεωρητικά μια μετάδοση. Στην πράξη, αυτός ο ρυθμός δεν μπορεί να επιτευχθεί τεχνικά.  $B$  είναι το διαθέσιμο εύρος ζώνης και  $S/N$  ο σηματοθορυβικός λόγος στην είσοδο του δέκτη του καναλιού. Η ανωτέρω εξίσωση δεν είναι άμεσα εφαρμόσιμη στο κανάλι των γραμμών της MT, αφού ο σηματοθορυβικός λόγος δεν είναι σταθερός μέσα στο διαθέσιμο εύρος ζώνης  $B$ , αλλά μεταβάλλεται έντονα. Για αυτό το λόγο, πρέπει να ληφθεί υπόψη η μεταδιδόμενη πυκνότητα φάσματος ισχύος  $S_{\pi}(f)$  και η πυκνότητα φάσματος ισχύος του θορύβου που μεταβάλλονται με τη συχνότητα  $S_{\eta\eta}(f)$ . Τότε, η ανωτέρω εξίσωση προσαρμόζεται ως εξής

$$C = \int_{f_1}^{f_2} \log_2 \left( 1 + \frac{S_{rr}(f)}{S_{nn}(f)} \right) df \quad (3.13)$$

όπου  $(f_1, f_2)$  είναι η ζώνη συχνοτήτων όπου πραγματοποιείται η μετάδοση των σημάτων.

Η πυκνότητα φάσματος ισχύος μετάδοσης είναι  $S_{rr}(f) = S_{tt}(f) \cdot |H(f)|^2$ .

Άρα

$$C = \int_{f_1}^{f_2} \log_2 \left( 1 + \frac{S_{tt}(f) \cdot |H(f)|^2}{S_{nn}(f)} \right) df \quad (3.14)$$

Η συνάρτηση μεταφοράς και η φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου είναι σταθερά χαρακτηριστικά του καναλιού μετάδοσης των οποίων η ακριβής γνώση προσδιορίζεται μόνο από τις μετρήσεις που θα γίνουν όπως η μέτρηση των χαρακτηριστικών του δικτύου. Έτσι, μόνη μεταβλητή είναι η φασματική πυκνότητα ισχύος μετάδοσης  $S_{tt}(f)$  η οποία υπολογίζεται κατά κύριο λόγο από το εφαρμοζόμενο είδος διαμόρφωσης του σήματος. Από την προηγούμενη ανάλυση γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι εάν δεν πρέπει να περιορισθεί η πυκνότητα ισχύος του πομπού μπορούν να επιτευχθούν πολύ υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης ακόμη και σε κανάλια με «σκληρά» χαρακτηριστικά, όπως είναι αυτά των γραμμών ΜΤ. Ωστόσο, η απαιτήσεις για ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα ανάμεσα στο BPL και τις άλλες ασύρματες τεχνολογίες επιβάλλουν περιορισμούς στην ισχύ μετάδοσης σε όλο το φάσμα μετάδοσης.

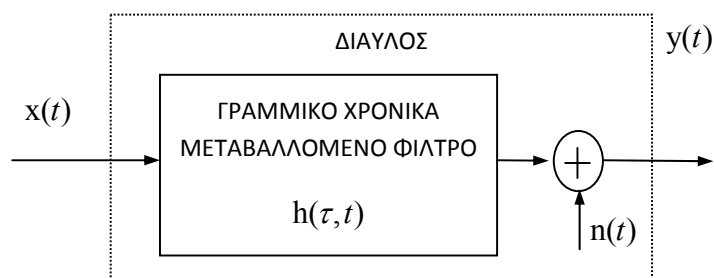
### 3.9 Θόρυβος σε γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας

#### 3.9.1 Γενικά

Εκτός από την παραμόρφωση του σήματος λόγω των απωλειών κατά μήκος των καλωδίων και τη διασπορά πολλαπλών μονοπατιών (multipath propagation), ο θόρυβος είναι ο πιο κρίσιμος παράγοντας για την επίτευξη ψηφιακών επικοινωνιών επί των γραμμών ενέργειας. Αντίθετα από τα κανάλια σε άλλα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, το κανάλι των γραμμών ενέργειας δεν χαρακτηρίζεται από προσθετικό λευκό Γκαουσιανό

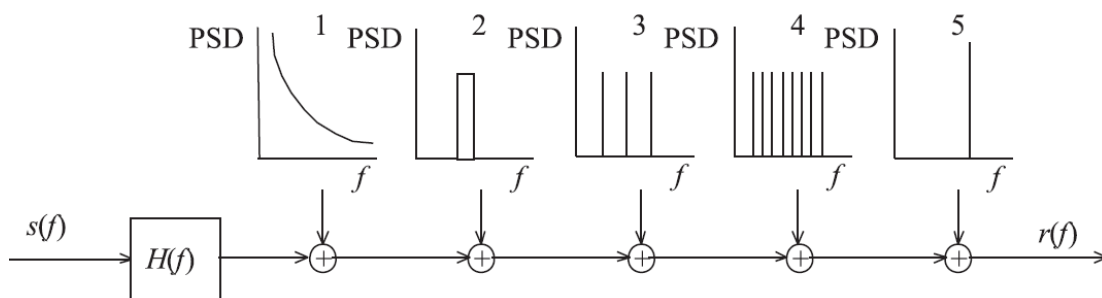
θόρυβο (AWGN). Στο διάστημα μάλιστα από μερικά kHz μέχρι και 20MHz επικρατούν ο κρουστικός θόρυβος (impulsive noise) και ο θόρυβος περιορισμένης ζώνης (narrow band noise). Αναγκαία είναι κατ'επέκταση η μοντελοποίηση του θορύβου στο φάσμα μέχρι τα 20MHz δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στον κρουστικό θόρυβο. Αν  $s(t)$  το σήμα του πομπού,  $h(t)$  η κρουστική απόκριση του καναλιού και  $n(t)$  ο συνολικός προσθετικός θόρυβος που επάγεται στο σήμα τότε στον δέκτη το λαμβανόμενο σήμα θα είναι

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) h(\tau, t - \tau) d\tau + n(t) \quad (3.15)$$



Σχήμα 3.15 Πρόσθεση θορύβου στο διάλυο μετάδοσης του σήματος

Ο προσθετικός θόρυβος στα κανάλια επικοινωνίας των γραμμών ενέργειας θεωρείται ως το άθροισμα πέντε διαφορετικών μορφών θορύβου.



Σχήμα 3.16 Πρόσθεση θορύβου στο κανάλι γραμμής ισχύος

1. **Χρωματιστός ή έγχρωμος θόρυβος περιβάλλοντος** (Coloured background noise). Προέρχεται από το άθροισμα διαφόρων πηγών θορύβου με χαμηλή ισχύ. Μεταβάλλεται αργά σε διάστημα λεπτών ή ακόμα και ωρών. Η φασματική πυκνότητα ισχύος του (PSD) μεταβάλλεται ως προς τη συχνότητα.

2. **Θόρυβος στενής ζώνης (Narrow-band noise).** Είναι θόρυβος που εμφανίζεται σε μία στενή ζώνησυχνοτήτων. Οι διαταραχές είναι, ουσιαστικά, ημιτονοειδή σήματα με διαμορφωμένα πλάτη. Αυτός ο τύπος του θορύβου προκαλείται κυρίως από εκπομπές ευρείας μετάδοσης στις μέσες και χαμηλότερες ζώνες συχνοτήτων. Η φασματική πυκνότητα ισχύος του (PSD) μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας.
3. **Περιοδικός κρουστικός θόρυβος, ασύγχρονος με την συχνότητας ρεύματος ισχύος (Periodic impulse noise synchronous with the main frequency).** Προκαλείται κυρίως από άνοιγμα/κλείσιμο τροφοδοτικών ισχύος. Οι παλμοί του εμφανίζονται στις περισσότερες περιπτώσεις μία επανάληψη με ρυθμό από 50kHz μέχρι 200kHz, δημιουργώντας ένα φάσμα με διακριτές γραμμές.
4. **Περιοδικός κρουστικός θόρυβος, σύγχρονος με την συχνότητας ρεύματος ισχύος (Periodic impulse noise synchronous with the main frequency).** Προκαλείται από τροφοδοτικά ισχύος που λειτουργούν σύγχρονα με τις κεντρικές συχνότητες. Οι παλμοί του εμφανίζονται στις περισσότερες περιπτώσεις μία επανάληψη με ρυθμό από 50kHz μέχρι 100kHz. Είναι μικρής διάρκειας (μερικών msec) και έχουν φασματική πυκνότητα ισχύος που μειώνεται ως προς τη συχνότητα.
5. **Ασύγχρονος κρουστικός θόρυβος (Asynchronous impulse noise).** Προκαλείται από την αιφνίδια μεταβολή τηςτάσης στο δίκτυο. Οι παλμοί έχουν διάρκεια μερικών ms μέχρι και μερικών ms με τυχαίους χρόνους εμφάνισης. Η πυκνότητα φασματικής ισχύος αυτού του τύπου θορύβου μπορεί να πάρει τιμές μεγαλύτερες μέχρι και 50dB από τον θόρυβο περιβάλλοντος.

Ο θόρυβος τύπου 1 αποτελεί καθαρά θόρυβο περιβάλλοντος. Όσον αφορά τον τύπο θορύβου 2, το επίπεδο του μεταβάλλεται κυρίως κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου (μεταξύ μέρας και νύχτας), οπότε τα OFDM συστήματα μπορούν να τον αντιμετωπίσουν ως θόρυβο περιβάλλοντος, αποφεύγοντας τη χρήση των συχνοτήτων που εμφανίζεται. Επίσης και ο θόρυβος τύπου 3 μπορεί να θεωρηθεί ως θόρυβος περιβάλλοντος, λόγω της χαμηλής φασματικής πυκνότητας ισχύος που εμφανίζει. Έτσι, οι θόρυβοι των τύπων 1-3 συνήθως παραμένουν σταθεροί για περιόδους διάρκειας λεπτών ή και ωρών και μπορούν να συμπεριληφθούν στην κατηγορία του θορύβου περιβάλλοντος, του οποίου τελικά το

φάσμα συντίθεται από το άθροισμα τους. Η φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου αυτού, μπορεί να θεωρηθεί σταθερή σε διάφορα διαστήματα του πεδίου συχνοτήτων. Έτσι η προσομοίωση ενός τέτοιου μοντέλου θορύβου μπορεί να περιλάβει πηγές λευκού θορύβου. Για κάθε ζώνη από γειτονικές μη επικαλυπτόμενες συχνότητες, το εύρος φάσματος και η φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου πρέπει να οριστούν. Καθώς ο θόρυβος περιβάλλοντος μπορεί να θεωρηθεί σταθερός κατά τη διάρκεια δευτερολέπτων, λεπτών ή ακόμα και ωρών, οι μεταβολές που παρατηρούνται κατά τακτά χρονικά διαστήματα στο περιβάλλον των γραμμών ενέργειας οφείλονται κυρίως στους θορύβους τύπου 4 και 5. Σε μεταξύ τους σύγκριση, ο θόρυβος τύπου 4 έχει χαμηλότερη πυκνότητα φασματικής ισχύος και μικρότερο ρυθμό επανάληψης (50 ή 100Hz) με διάρκεια μερικά ms. Μπορούμε λοιπόν να θεωρήσουμε ότι αυτού του είδους ο θόρυβος δεν προκαλεί ενοχλητικά σφάλματα με την επίδρασή του σε ένα OFDM σύστημα. Επίσης, η διάρκεια του θορύβου τύπου 5 μπορεί να φτάσει τα αρκετά ms με φασματική πυκνότητα ισχύος μεγαλύτερη από 50dB πάνω από το επίπεδο του θορύβου περιβάλλοντος. Αυτή η μορφή θορύβου είναι συμπερασματικά η πιο κρίσιμη για τη μετάδοση δεδομένων σε γραμμές ενέργειας και πρέπει να αντιμετωπιστεί.

### **3.9.2 Φασματική ανάλυση θορύβου περιβάλλοντος (background noise)**

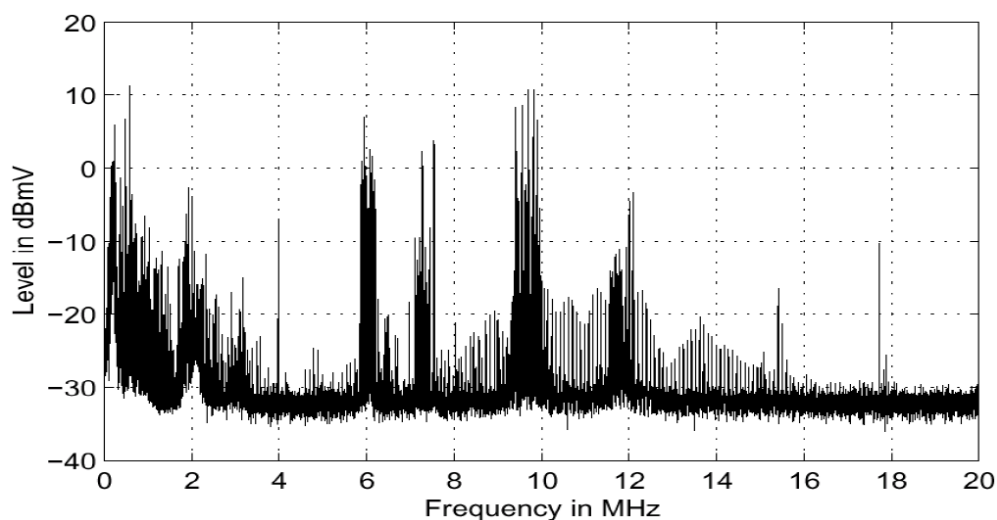
Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο θόρυβος περιβάλλοντος περιλαμβάνει τον χρωματιστό θόρυβο (colored noise), τον θόρυβο στενής ζώνης (narrow-band noise) και τον περιοδικό κρουστικό θόρυβο (periodic impulsive noise). Η φασματική αναπαράσταση μιας καταγραφής του θορύβου αυτού φαίνεται στο Σχήμα 3.17. Οι τιμές του πλάτους υποδεικνύουν την rms τιμή των αρμονικών. Ο επικρατέστερος τύπος θορύβου είναι αυτός της στενής ζώνης που προκαλείται από την εκπομπή ραδιοφωνικών σταθμών. Στις ζώνες 5,95-6,2MHz, 7,2-7,5MHz, 9,4-10,1MHz και 11,8-12,1MHz η επίδραση είναι εμφανής. Αλλά και στις συχνότητες κάτω από τα 5MHz η διαταραχή μπορεί να χαρακτηριστεί και αυτή ως θόρυβος στενής ζώνης. Η επίδραση αυτού του θορύβου είναι γενικά πιο έντονη κατά τη διάρκεια του απογεύματος και της νύχτας, όπου οι συνθήκες όδευσης για τα ραδιοφωνικά σήματα είναι καλές, ενώ είναι πολύ



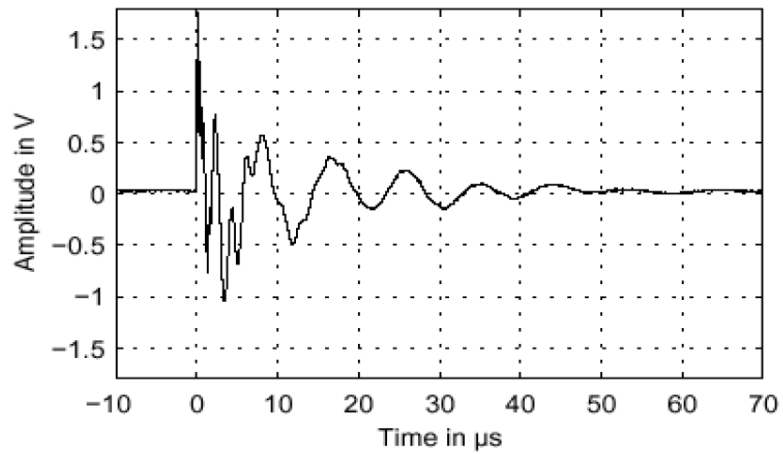
χαμηλότερη κατά τη διάρκεια της υπόλοιπης μέρας. Στις συχνότητες γύρω από τα 2MHz μπορούμε να διακρίνουμε χρωματιστό θόρυβο, ο οποίος είναι λίγο πάνω από τον λευκό θόρυβο. Μεταξύ 10 και 15MHz εντοπίζονται ισαπέχουσες φασματικές γραμμές με μεταβλητά πλάτη.

### 3.9.3 Φασματική ανάλυση κρουστικού θορύβου

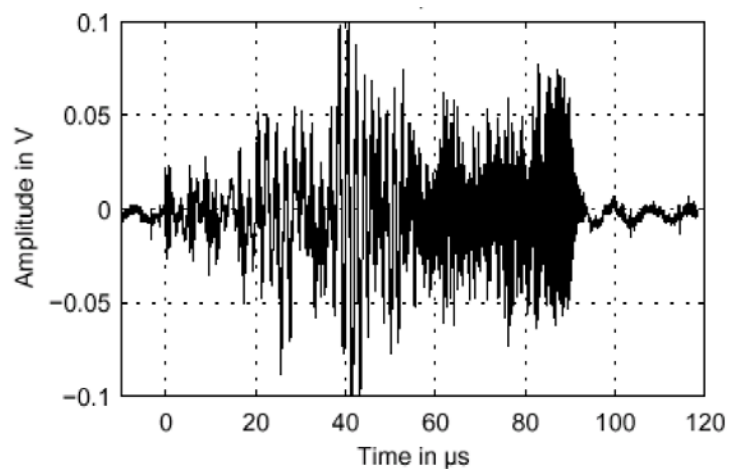
Ενώ ο θόρυβος περιβάλλοντος είναι στατικός για μακρά χρονικά διαστήματα, οι συχνές μεταβολές στο κανάλι των γραμμών ενέργειας συντελούνται κατά κύριο λόγο από κρουστικό θόρυβο. Τυπικοί ασύγχρονοι παλμοί τέτοιου θορύβου προκαλούνται από στιγμιαία μεταγωγή διακοπών, οπουδήποτε μέσα στο δίκτυο των γραμμών ενέργειας. Έχουν συχνά το σχήμα εξασθενημένων παλμών ημιτόνου ή αλληλοκαλυπτόμενων παλμών ημιτόνου. Δύο παραδείγματα της μορφής αυτού του θορύβου στο πεδίο του χρόνου φαίνονται παρακάτω (Σχήματα 3.18 και 3.19):



Σχήμα 3.17 Φασματική αναπαράσταση θορύβου περιβάλλοντος



Σχήμα 3.17 Αναπαράσταση κρουστικού θορύβου στο πεδίο του χρόνου



Σχήμα 3.18 Αναπαράσταση κρουστικού θορύβου στο πεδίο του χρόνου

***ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ BPL*****4.1 Εισαγωγή**

Η τεχνολογία τηλεπικοινωνιών μέσω γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (Power Line Communications ή Broadband over Power Lines) είναι ένας τύπος επικοινωνίας που χρησιμοποιεί τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως κανάλι μετάδοσης σημάτων πληροφορίας υψηλών συχνοτήτων. Η τεχνολογία BPL εκμεταλλεύεται την μη πρόσθετη ανάγκη για νέα δικτύωση λόγω της απανταχού παρουσίας του δικτύου ηλεκτρικής ισχύος για να δώσει στον τελικό καταναλωτή τεράστιες δυνατότητες για εκτεταμένες, γρήγορες και αξιόπιστες υπηρεσίες επικοινωνίας. Παρά την ραγδαία εξάπλωση των ευρυζωνικών τεχνολογιών τα τελευταία χρόνια υπάρχουν περιοχές που δεν έχουν πρόσβαση σε υψηλής ταχύτητας πρόσβαση στο διαδίκτυο. Το βασικό πλεονέκτημα που είναι παράλληλα και το σύνθημα διαφήμισης όλων των εταιριών που μπαίνουν στον εμπορικό ανταγωνισμό της παροχής BPL σήμερα είναι το ότι όπου υπάρχει ηλεκτρισμός μπορεί να υπάρχει και διαδίκτυο. Στις περιοχές που καλύπτονται ήδη από υψηλής ποιότητας ευρυζωνική πρόσβαση η BPL τεχνολογία μπορεί να γίνει μια δεύτερη επιλογή πρόσβασης που μπορεί να κερδίσει ένα κομμάτι της παγκόσμιας αγοράς. Πέρα από την υπηρεσία παροχής ευρυζωνικής πρόσβασης στο διαδίκτυο η BPL τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δικτύωση εσωτερικών χώρων με την εκμετάλλευση του υπάρχοντος δικτύου ηλεκτρικού ρεύματος XT.

Η BPL τεχνολογία μπορεί επίσης να δώσει λύση στην διαχείριση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας με τον σε πραγματικό χρόνο έλεγχο όλων των στοιχείων του δικτύου και την παροχή εκτεταμένων υπηρεσιών στους παρόχους ηλεκτρισμού, η παρουσίαση και ανάλυση των οποίων είναι ο βασικός στόχος της παρούσης εργασίας. Οι γραμμές μεταφοράς του ρεύματος είναι κατασκευασμένες από χαλκό υψηλής ποιότητας, που ως γνωστόν μπορεί να μεταδώσει σήματα ενός τεράστιου εύρους συχνοτήτων. Οι μόνες συχνότητες που χρησιμοποιούνται από τις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού είναι αυτές των 50Hz και 60Hz. Είναι λοιπόν απλή η ιδέα της εκμετάλλευσης των δυνατοτήτων ενός τέτοιου δικτύου, που είναι εύκολα προσβάσιμο από σχεδόν το σύνολο των κατοίκων μιας περιοχής, και η αναβάθμιση του σε ένα δίκτυο παροχής υψηλού εύρους ζώνης σήματος ικανό να κερδίσει ένα κομμάτι της ανταγωνιστικής σύγχρονης αγοράς τεχνολογιών παροχής ευρυζωνικών υπηρεσιών.

Η αρχή στην τεχνολογία BPL έγινε πριν από περίπου ογδόντα χρόνια όπου και επετεύχθη παράλληλη μετάδοση ενέργειας και δεδομένων χωρίς απώλειες σε έναν ικανοποιητικό βαθμό. Ωστόσο, δεν θεωρήθηκε τότε ως ένα ικανοποιητικό μέσο επικοινωνίας λόγω της χαμηλής ταχύτητας και του μεγάλου κόστους ανάπτυξης εν συγκρίσει με τις υπηρεσίες που παρείχε. Τα τελευταία χρόνια, οι νέες ισχυρές τεχνικές διαμόρφωσης, οδήγησαν την BPL τεχνολογία στο να θεωρείται ως ένας ρεαλιστικός και πρακτικός τρόπος επικοινωνίας. Η πρώτη τεχνική για την μετάδοση μηνυμάτων ελέγχου ήταν η Ripple Control μέθοδος, που χρησιμοποιούσε χαμηλές συχνότητες (100Hz έως 900Hz) δίνοντας ένα χαμηλό ρυθμό δεδομένων και απαιτώντας ταυτόχρονα μία πολύ μεγάλη ισχύ, της τάξεως των 10kW. Η μέθοδος παρείχε μετάδοση σε μία μόνο κατεύθυνση και χρησιμοποιήθηκε για την διαχείριση του φωτισμού των δρόμων και για τον έλεγχο του φορτίου ενέργειας. Στα μέσα της δεκαετίας του 80, έγιναν πολλές έρευνες για την ανάλυση των χαρακτηριστικών των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε υψηλότερες συχνότητες. Πραγματοποιήθηκαν διάφορες μετρήσεις σε εύρος συχνοτήτων από 5kHz έως 500kHz για την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την εξασθένιση που παρέχει η γραμμή μεταφοράς στο σήμα και ως προς τα επίπεδα σήματος προς θόρυβο (SNR) που μπορούν να επιτευχθούν. Η αμφίδρομη μετάδοση εφαρμόστηκε αρχικά στις αρχές της δεκαετίας του 90. Από τότε και μέχρι και σήμερα πλήθος εταιρειών προσπάθησε για την όσο το δυνατό καλύτερη μετάδοση δεδομένων σε

καλώδια ρεύματος σε υψηλότερες ακόμα συχνότητες με όσο το δυνατόν μικρότερη απόσβεση και ποσοστό σφαλμάτων. Στις 15 Οκτωβρίου 2004 η Federal Communication Commission (FCC) παρείχε την έγκριση για την δημιουργία και κατασκευή BPL συστημάτων με την έκδοση της τεχνικής μελέτης και των κανόνων για την λειτουργία των συστημάτων αυτών.

Στην παγκόσμια αγορά επικρατεί μια σύγχυση σχετικά με την ονομασία των τεχνολογιών BPL. Οι ονομασίες

- PLC (Power Line Communications).
- BPL (Broadband over Power Lines).
- PLT (Power Line Telecommunications).
- BPLC (Broadband over Power Lines Communications).

χαρακτηρίζουν την ίδια τεχνολογία και είναι στα πλαίσια του κάθε παρόχου η επιλογή του ονόματος που θέλει να δώσει στο εμπορικό του προϊόν. Ωστόσο, συνηθίζεται η ονομασία BPL να αναφέρεται σε συστήματα πρόσβασης, ενώ οι υπόλοιπες τρεις ονομασίες σε συστήματα ενδοκτιριακής δικτύωσης και διαχείρισης του δικτύου ηλεκτρικής ισχύος από τις επιχειρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας. Προφανώς, με την πάροδο του χρόνου και την ενδεχόμενη θεμελίωση της BPL τεχνολογίας ως μία εκ των βασικών λύσεων πρόσβασης στην παγκόσμια αγορά, μία από αυτές τις ονομασίες θα κυριαρχήσει έναντι των άλλων. Οι βασικές μορφές της BPL τεχνολογίας είναι οι παρακάτω και αναλύονται ξεχωριστά σε παρακάτω εδάφια.

- In-house BPL.
- BPL πρόσβασης (Access BPL).
- Control BPL/PLC ή DLC (Distribution Line Carrier).

#### **4.2 In - House BPL**

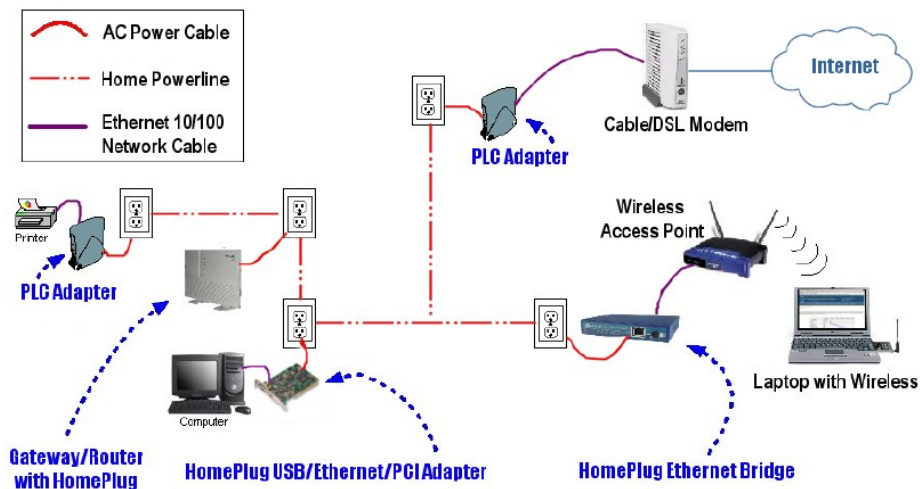
Με βάση την τεχνολογία In-House BPL ή Indoor BPL ή In-Home το εσωτερικό ηλεκτρικό δίκτυο XT ενός κτιριακού χώρου μετατρέπεται σε ένα τοπικό δίκτυο. Χρησιμοποιώντας εσωτερικούς προσαρμογείς το In-House BPL εκμεταλλεύεται τις πολυάριθμες ηλεκτρικές διαθέσιμες εξόδους μέσα σε ένα κτίριο για την μεταφορά

πληροφοριών μεταξύ των υπολογιστών και άλλων ηλεκτρονικών οικιακών συσκευών, εξαλείφοντας την ανάγκη να εγκατασταθούν επιπρόσθετα καλώδια μεταξύ των συσκευών. Η εκμετάλλευση και η χρήση του συστήματος βρίσκεται στον καθολικό έλεγχο του χρήστη, με την έννοια της μη μεσολάβησης κάποιας εταιρίας ή παρόχου για την εποπτεία του συστήματος. Οι ευρυζωνικές In-House BPL τεχνολογίες χρησιμοποιούν φάσμα συχνοτήτων άνω των 2 MHz (DS2, SPiDCOM, Homeplug 1.0 και AV) σε αντίθεση με άλλες παρεμφερείς τεχνολογίες για ενδοκτιριακές επικοινωνίες μέσω του δικτύου ισχύος που χρησιμοποιούν το φάσμα συχνοτήτων κάτω του 1MHz (X-10, CEBus, LonWorks κ.α), τα οποία όμως δίνουν και την πρόσβαση μέσω κάποιου παρόχου. Συγκριτικά με τις άλλες τεχνολογίες δικτύωσης σπιτιού το BPL υπερτερεί στο ότι παρέχει ικανοποιητικό ρυθμό μετάδοσης ενώ οι πολυάριθμες ηλεκτρικές έξοδοι μπορούν να συνδέσουν ένα μεγάλο πλήθος συσκευών. Στα αρνητικά βρίσκεται η αστάθεια του ηλεκτρικού δικτύου που μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητες διακοπές στην σύνδεση των συσκευών. Ο Πίνακας 4.1 δείχνει τα χαρακτηριστικά και το βασικό μέσο κόστος και τα χαρακτηριστικά μετάδοσης των κυριότερων τεχνολογιών δικτύωσης σπιτιού.

<b>Technology</b>	<b>Media</b>	<b>Data rate</b>	<b>QoS Support</b>	<b>Cost</b>
10 Base T	UTP	10 Mbps	No	\$20
100 Base T	UTP	100 Mbps	No	\$80
Bluetooth	Wireless	1 Mbps	Yes	\$5
HomeRF 2.0	Wireless	10 Mbps	Yes	\$110
802.11x	Wireless	11 Mbps	No	\$125
HomePNA 2.0	Phone line	10 Mbps	No	\$80
HomePlug	Power line	15 Mbps	Yes	\$120

**Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά μετάδοσης των κυριότερων τεχνολογιών δικτύωσης σπιτιού**

Η παγκόσμια αγορά των In-House BPL συστημάτων κυριαρχείται σήμερα από το πρότυπο HomePlug. Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται μια πρακτική υλοποίηση δικτύωσης σπιτιού με την χρήση HomePlug modems.

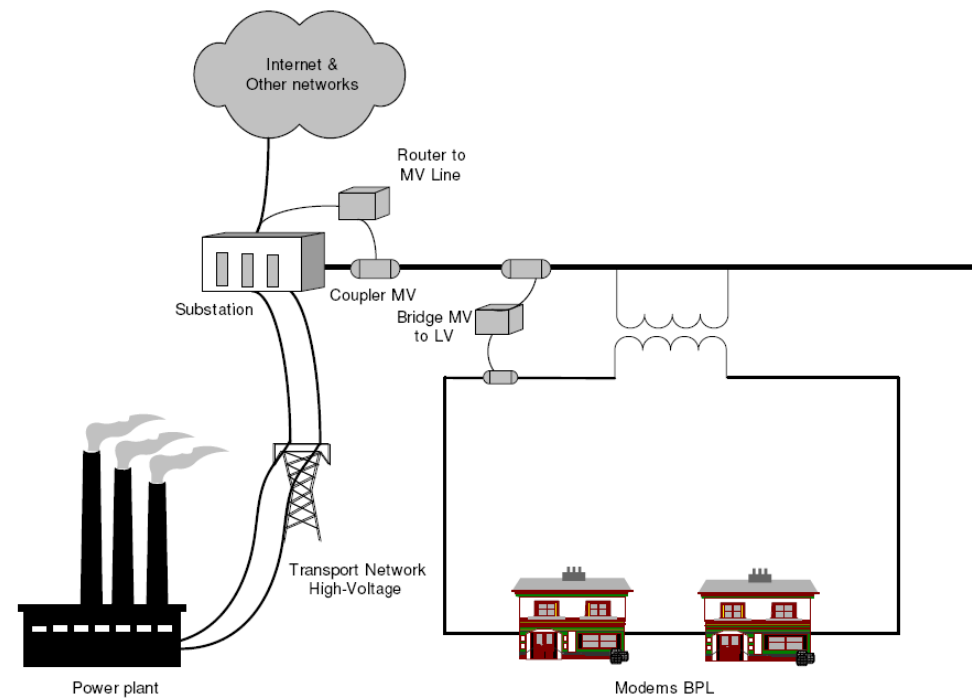


Σχήμα 4.1 Τυπική δομή ενός HomePlug συστήματος

### 4.3 BPL πρόσβασης (Access BPL)

#### 4.3.1 Γενικά

Για πολλά χρόνια ερευνητές και εταιρίες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας έκαναν προσπάθειες για την μεταφορά και παροχή σήματος υψηλής ποιότητας στο τελικό καταναλωτή προς αξιοποίηση του δικτύου ηλεκτρικής ισχύος. Η ιδέα της χρησιμοποίησης της ΥΤ ως κομμάτι της διαδρομής του σήματος από τον πάροχο στον καταναλωτή απορρίφθηκε σχεδόν αμέσως αφού στην γραμμή ΥΤ ο θόρυβος της γραμμής είναι αυξημένος, δυσχεραίνοντας έτσι τις τηλεπικοινωνίες και, αφετέρου, η παροχή του τηλεπικοινωνιακού σήματος στον καταναλωτή είναι πολύ δύσκολη λόγω της απόστασης που συνήθως χωρίζει την ΥΤ από τις αστικές περιοχές. Η πιο βιώσιμη λύση φάνταζε η με κάποιον τρόπο έγχυση του σήματος στην γραμμή ΜΤ η οποία βρίσκεται κοντά στους κόμβους του δικτύου κορμού και το πέρασμα του σήματος στην ΧΤ διαμέσου του ΜΣ ΜΤ/ΧΤ ώστε να φθάσει το σήμα στην ηλεκτρική έξοδο της οικίας και η μετ' έπειτα σύνδεση του τελικού χρήστη μέσω του BPL modem. Αυτό το σενάριο αποτυπώνεται απλοϊκά από το Σχήμα 4.2.



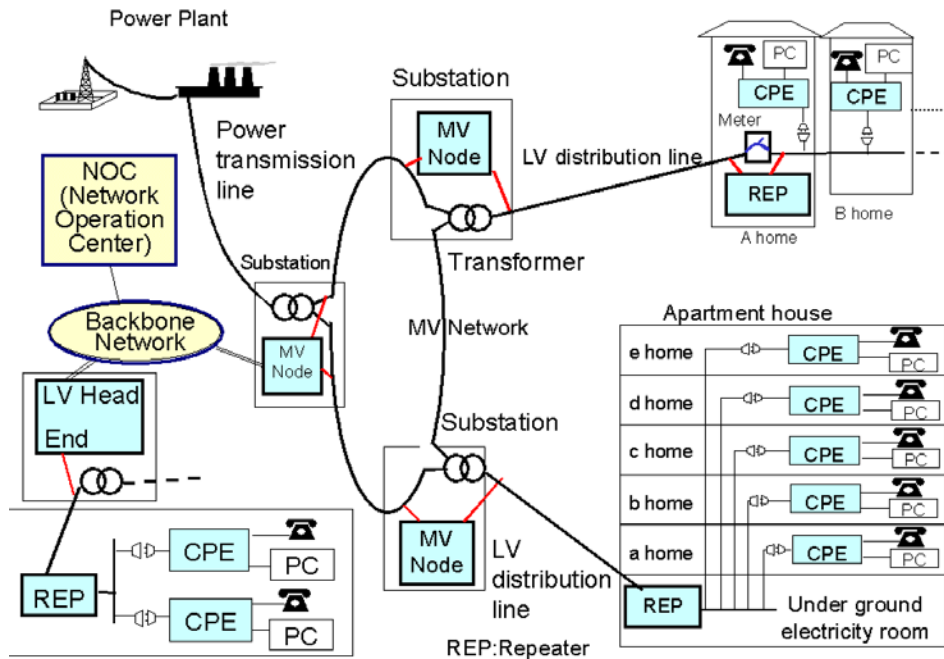
**Σχήμα 4.2** Τυπική δομή ενός BPL δικτύου πρόσβασης

Πέραν αυτής της λύσης η οποία είναι και η πλέον παραδοσιακή και η πιο διαδεδομένη σήμερα, τα τελευταία χρόνια έχουν κάνει την εμφάνισή τους νέες υβριδικές τεχνολογίες οι οποίες κερδίζουν έδαφος λόγω της απλότητας υλοποίησης και του κόστους κατασκευής τους. Στα περισσότερα συστήματα το εξωτερικό δίκτυο BPL (Access BPL) χρησιμοποιεί την χαμηλότερη ζώνη συχνοτήτων από (2-10MHz), ενώ το εσωτερικό δίκτυο BPL (In-House BPL) χρησιμοποιεί την υψηλότερη ζώνη από (15-30 MHz). Οι χαμηλότερες συχνότητες παρουσιάζουν μικρότερη παρενόχληση, και για αυτό είναι περισσότερο κατάλληλες για το εξωτερικό δίκτυο, ώστε να επιτύχουμε μέγιστη απόσταση κάλυψης. Επίσης πρέπει να υπάρχει επαρκής διαχωρισμός μεταξύ των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται για το εσωτερικό και το εξωτερικό δίκτυο. Οι αποστάσεις κάλυψης στο εσωτερικό δίκτυο είναι προφανώς μικρότερες από τις εξωτερικές αποστάσεις. Έτσι στο εσωτερικό δίκτυο μπορούν να χρησιμοποιηθούν υψηλότερες συχνότητες. Επιπλέον, ο θόρυβος καναλιού που παράγεται από ηλεκτρικές συσκευές είναι πολύ μικρότερος στις υψηλές συχνότητες από ότι στις χαμηλές.



### 4.3.2 Αμιγώς ενσύρματα δίκτυα BPL πρόσβασης

Στο σχήμα 4.3 αποτυπώνεται μια πρακτική δομή των αμιγώς ενσυρμάτων δικτύων BPL .



Σχήμα 4.3 Τοπική δομή αμιγώς ενσύρματου δικτύου BPL

Σύμφωνα με το σχήμα αυτό, το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο κορμού που έχει υλοποιηθεί με οπτικές ίνες, συνδέεται με το δίκτυο BPL στη MT, μέσω των κόμβων BPL MT (MV nodes). Έπειτα το δίκτυο MT συνδέεται με το ηλεκτρικό δίκτυο διανομής XT, όπου απολήγουν οι μονάδες τερματισμού του δικτύου BPL που ονομάζονται NTU ή CPE και βρίσκονται στο χώρο του τελικού χρήστη/καταναλωτή. Επομένως, η τοπολογία του δικτύου μπορεί να χωριστεί σε τρία κύρια τμήματα, καθένα από τα οποία έχει τη δική του αρχιτεκτονική.

- Το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο κορμού που είναι συνήθως ένας οπτικός δακτύλιος.
- Το δίκτυο (δακτύλιος) BPL στη MT
- Το δίκτυο (δακτύλιος) BPL στη XT, συνήθως υλοποιημένο με τοπολογία αστέρα ή δένδρου.

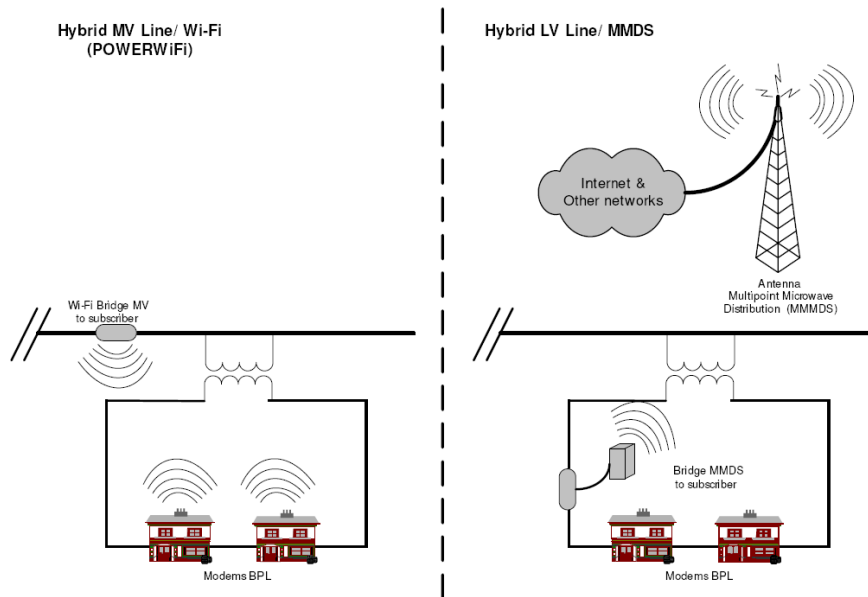
Στην πλέον απλή μορφή της, η αρχιτεκτονική αυτή μπορεί να περιλαμβάνει το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο κορμού και το δίκτυο BPL στη χαμηλή τάση σε τοπολογία αστέρα ή δένδρου όπου και αποφεύγεται η μεταβίβαση του σήματος από την MT. Αυτό προϋποθέτει ότι υπάρχει ένα δίκτυο κορμού άμεσα προσβάσιμο στους κόμβους του δικτύου BPL XT (ουσιαστικά στους Υ/Σ MT/XT, ΜΣ MT/XT) κάτι που στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι πρακτικά δύσκολο οπότε καταφεύγουμε στην λύση της συμμετοχής της MT στην διαδρομή του σήματος. Η ανωτέρω τυπική τοπολογία χρησιμοποιεί την τεχνική διαμόρφωσης OFDM. Τα δεδομένα από το δίκτυο κορμού του διαδικτύου μετατρέπονται σε μορφότυπο σήματος OFDM στις συσκευές BPL MT και, στη συνέχεια, γίνεται η σύζευξη με μια φάση της γραμμής μεταφοράς MT. Η διαδικασία είναι αμφίδρομη, δηλαδή αντίστοιχα και το σήμα μορφότυπου OFDM μετατρέπεται σε μορφότυπο σήματος που χρησιμοποιείται στο δίκτυο κορμού του τηλεπικοινωνιακού (PSTN, Internet). Η μεταφορά της πληροφορίας του δικτύου BPL από και προς τις γραμμές XT που παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές, γίνεται μέσω των συσκευών BPL XT. Οι συσκευές αυτές, αφενός, μετατρέπουν τα σήματα μορφότυπου OFDM σε σήματα μορφής κατάλληλης για δίκτυο BPL XT και, αφετέρου, τα δρομολογούν στην κατάλληλη γραμμή XT έχοντας παρακάμψει το ΜΣ MT/XT. Για να διατηρείται η στάθμη του σήματος BPL στα δίκτυα BPL XT για μεγάλες αποστάσεις, χρησιμοποιούνται επαναλήπτες (repeaters) BPL.

#### **4.3.3 Υβριδικά δίκτυα BPL πρόσβασης**

Τα υβριδικά δίκτυα BPL χρησιμοποιούν ασύρματη τεχνολογία

- είτε για πρόσβαση στον τελικό χρήστη αποφεύγοντας έτσι το δίκτυο BPL-XT
- είτε για σύνδεση με το δίκτυο κορμού του τηλεπικοινωνιακού δικτύου με το δίκτυο BPL-XT, αποφεύγοντας έτσι το δίκτυο BPL-MT (BPL MMDS).

Στο Σχήμα 4.4 αποτυπώνονται αυτοί οι τρόποι επικοινωνίας που στηρίζονται στα υβριδικά δίκτυα BPL.



Σχήμα 4.4 Τυπική δομή υβριδικών δικτύων BPL

Στη πρώτη περίπτωση, η ασύρματη δικτύωση για πρόσβαση στον τελικό χρήστη γίνεται με τεχνολογία 802.11 b/g που χρησιμοποιεί τις ελεύθερες ζώνες στα 2.4 και 5 GHz. Το υβριδικό αυτό δίκτυο σαφώς προσφέρει σαφώς βελτιωμένη συμπεριφορά από πλευράς παρεμβολών προς τους ραδιοερασιτέχνες σε σχέση με ένα αμιγώς ασύρματο δίκτυο BPL. Όμως, η λειτουργία στη ελεύθερη ζώνη συχνοτήτων δεν προσφέρει προστασία από παρεμβολές άλλων χρηστών στην ίδια ζώνη. Το μειονέκτημα αυτό γίνεται περισσότερο αισθητό στις αστικές περιοχές και μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα παροχής υπηρεσιών στον τελικό χρήστη. Στη δεύτερη περίπτωση, η πρόσβαση στον τελικό χρήστη γίνεται από το ενσύρματο δίκτυο BPL-XT. Η ασύρματη δικτύωση μεταξύ του δικτύου κορμού του τηλεπικοινωνιακού δικτύου και του δικτύου BPL-XT υλοποιείται χρησιμοποιώντας

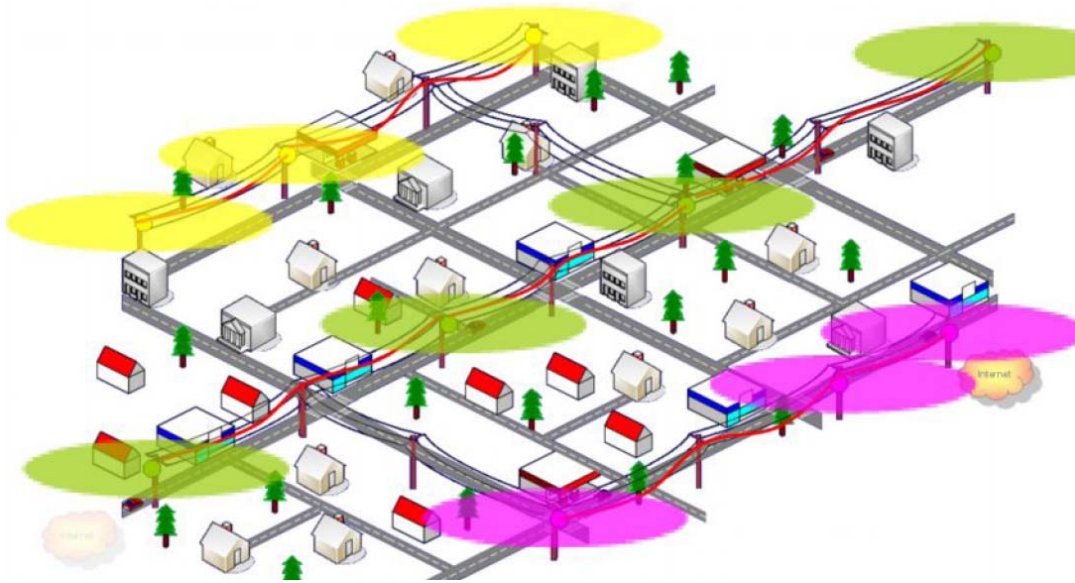
- είτε τεχνολογία 802.11 b/g (Wi-Fi) στις ελεύθερες ζώνες στα 2.4 και 5GHz.
- είτε ασύρματες σταθερές, μικροκυματικές ζεύξεις PMP (Point to Multipoint) σε αδειοδοτημένες συχνότητες. Η επιλογή αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι η επικοινωνία προστατεύεται από παρεμβολές που προκαλούνται από άλλα συστήματα.

#### **4.3.4 Παράδειγμα συστήματος αρχιτεκτονικών δικτύων BPL πρόσβασης**

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζουμε την τεχνολογία και τις αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιούνται από την εταιρία Amperion, μια εταιρία που κινείται στον χώρο της παροχής υπηρεσιών πρόσβασης σε καταναλωτές, κάτι το οποίο θα μας δώσει μια εποπτική ματιά στον τρόπο υλοποίησης των BPL δικτύων καθώς συνδυάζει τα αμιγώς ενσύρματα και υβριδικά δίκτυα BPL .

##### **4.3.4.1 GEN 1 (Τεχνολογία BPL πρώτης γενιάς)**

Η πρώτη γενιά (Gen 1) της τεχνολογίας BPL βασιζόταν στην λογική της παραγωγής και εγκατάστασης τριών διαφορετικών μονάδων που ονομάζονται συγκεντρωτές/εισαγωγείς (injectors), επαναλήπτες (repeaters) και εξαγωγείς (extractors). Οι εισαγωγείς έχουν το ρόλο της μεταφοράς των δεδομένων από ένα συμβατικό μέσο τηλεπικοινωνιών, όπως μία οπτική ίνα, στο δίκτυο MT. Οι εισαγωγείς είναι οι μονάδες που τοποθετούνται πάντα στην αρχή του κάθε κυκλώματος και δρομολογούν την κίνηση προς και από ένα δίκτυο BPL. Οι επαναλήπτες είναι οι μονάδες που χρησιμοποιούνται για την αναγέννηση του σήματος, όταν αυτό είναι απαραίτητο (κάθε 500 -800 μέτρα στο υπέργειο δίκτυο). Δρουν, επίσης, και ως δρομολογητές κίνησης από τους καταναλωτές που συνδέονται επί αυτών προς τη φυσική πύλη του δικτύου (gateway) που είναι ο εισαγωγέας. Οι επαναλήπτες πραγματοποιούν πλήρη αναγέννηση του σήματος εισάγοντας μια πολύ μικρή καθυστέρηση στο σήμα (της τάξης των μsec). Τέλος, οι εξαγωγείς είναι οι μονάδες που τερματίζουν το κύκλωμα και δρουν ως γέφυρες μεταφοράς του σήματος από τη MT στη XT. Όλες οι μονάδες είναι, εκτός από δρομολογητές του τηλεπικοινωνιακού σήματος, και σημεία ασύρματης πρόσβασης. Έτσι, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5, κάθε μονάδα μπορεί να παρέχει υπηρεσίες στους καταναλωτές που καλύπτει το ασύρματο δίκτυό της.

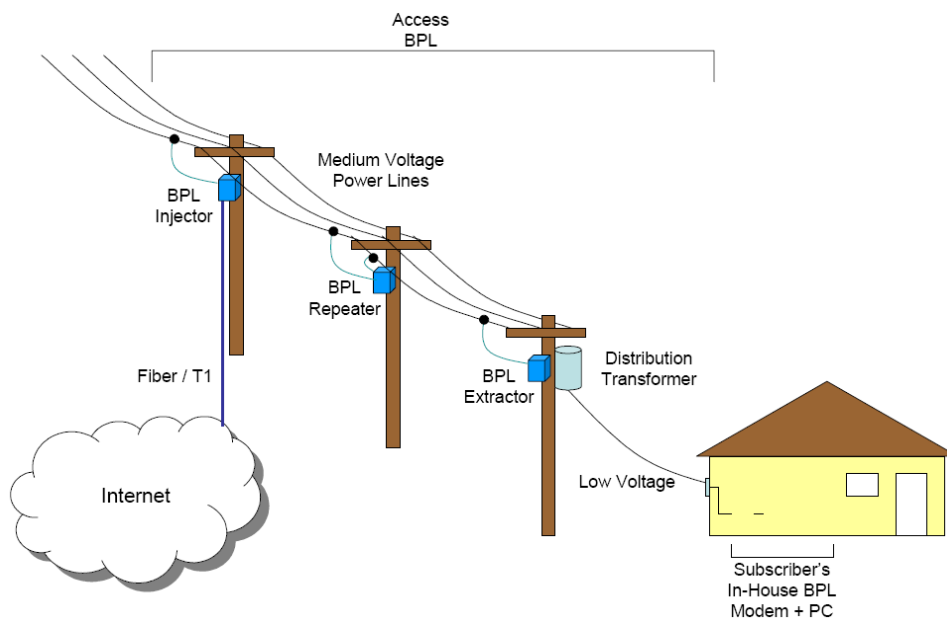


**Σχήμα 4.5** Ασύρματη κάλυψη μέσω μονάδων BPL GEN1

Κάθε μονάδα Gen1 μπορεί να εξυπηρετήσει μέχρι και 40 χρήστες ταυτόχρονα, παρέχοντας κυκλώματα ασύρματης δικτύωσης σε ρυθμιζόμενες ταχύτητες. Ο αριθμός των χρηστών εξαρτάται από την ποιότητα των υπηρεσιών (QoS) που θα ζητείται. Το κάθε τηλεπικοινωνιακό κύκλωμα από εισαγωγή σε εξαγωγή με τις Gen 1 μονάδες παρέχει ταχύτητες της τάξης των 20Mbps ασύγχρονα προς τις δύο κατευθύνσεις (Half-Duplex δίκτυο) στη ζώνη συχνοτήτων από 1-30MHz. Τέλος, οι ασύρματοι δρομολογητές των μονάδων GEN 1 χρησιμοποιούν τα πρωτοκόλλα 802.11 a,b,g,n της IEEE.

Ο εξοπλισμός του δικτύου πρόσβασης BPL πρώτης γενιάς αποτελείται από injectors (συγκεντρωτές), repeaters(επαναλήπτες) και extractors (εξαγωγείς). Οι εισαγωγείς BPL (injectors) είναι συνδεδεμένοι από τη μια πλευρά με το δίκτυο κορμού (Internet Backbone) μέσω κάποιας ευρυζωνικής σύνδεσης (για παράδειγμα οπτικής ίνας, γραμμής E1, γραμμής DSL ή μέσω ασύρματης σύνδεσης IEEE 802.11a/b/g/n WLAN) και εισάγουν το σήμα στις γραμμές MT. Οι γραμμές MT μπορεί να είναι εναέριες ή υπόγειες μέσα σε κάποιο σωλήνα προστασίας. Το ύψος των εναέριων γραμμών είναι περίπου στα 10 μέτρα πάνω από το έδαφος. Τα τριφασικά καλώδια της MT αποτελούν σε γενικές γραμμές ένα δίκτυο διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας από τον υποσταθμό ΥΤ προς τη MT. Η φυσική κατεύθυνση των καλωδίων μπορεί να είναι οριζόντια,

κατακόρυφη ή τριγωνική. Η δομή αυτή μπορεί να αλλάζει ώστε με κατάλληλη διακλάδωση μια ή περισσότερες φάσεις να μπορούν να εξυπηρετήσουν πολλούς καταναλωτές. Στην Ελλάδα, στη ΜΤ δεν υπάρχει ουδέτερος αγωγός και έτσι χρησιμοποιούνται μόνο οι τρεις φάσεις. Θεωρητικά, το σήμα BPL μπορεί να εισαχθεί στις γραμμές ΜΤ μεταξύ δύο αγωγών ή μεταξύ ενός αγωγού και της γης. Οι εξαγωγείς BPL (extractors) παρέχουν τη διεπαφή μεταξύ των γραμμών ΜΤ που μεταδίδουν σήματα BPL και των τελικών καταναλωτών. Οι εξαγωγείς BPL τοποθετούνται συνήθως σε κάθε ΜΣ ΧΤ παρέχοντας υπηρεσίες σε μια ομάδα καταναλωτών. Σε γραμμές μεγάλων αποστάσεων, η απόσβεση ή η παραμόρφωση που δέχεται το σήμα λόγω μετάδοσης μέσω του δικτύου ΜΤ είναι τέτοια ώστε οι BPL πάροχοι υπηρεσιών χρησιμοποιούν επαναλήπτες (repeaters) για να διατηρήσουν την απαιτούμενη ισχύ και πιστότητα του σήματος BPL. Στο Σχήμα 4.6 απεικονίζεται ένα βασικό σύστημα BPL που μπορεί να αναπτυχθεί σε μια μεγάλη περιοχή μέσω των υπάρχουσών γραμμών ΜΤ παρέχοντας μια κυψελωτή δομή δικτύου.



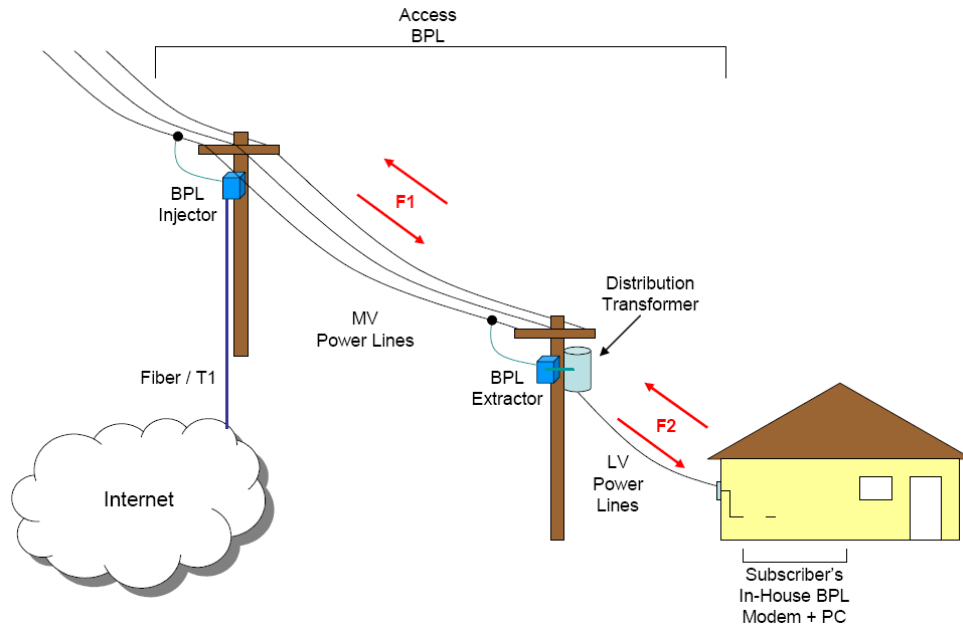
**Σχήμα 4.6 Βασική αρχιτεκτονική GEN1**

Με τη χρήση των μονάδων πρώτης γενιάς GEN1 δημιουργούνται τρεις διαφορετικές αρχιτεκτονικές δικτύων BPL οι οποίες περιγράφονται στη συνέχεια.

#### 4.3.4.1.1 Πρώτη αρχιτεκτονική GEN1

Η πρώτη αρχιτεκτονική BPL υλοποιείται όπως φαίνεται στο Σχήμα 7. Χρησιμοποιείται διαμόρφωση OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) για τη μετάδοση του BPL σήματος σε μεγάλο εύρος ζώνης χρησιμοποιώντας πολλά επιμέρους φέροντα στενής ζώνης. Στον εισαγωγέα BPL, η πληροφορία από το δίκτυο κορμού (internet backbone) διαμορφώνεται κατάλληλα σε σήματα OFDM και, στη συνέχεια, εγχύεται μέσω του συζεύκτη σε μια από τις φάσεις της γραμμής MT. Λόγω της αμφίδρομης λειτουργίας του διαδικτύου, ο εισαγωγέας μετατρέπει επίσης τα διαμορφωμένα OFDM σήματα της γραμμής MT στον τύπο δεδομένων που χρησιμοποιείται στο δίκτυο κορμού (internet backbone). Η αμφίδρομη αυτή διακίνηση των δεδομένων μεταφέρεται προς και από τις γραμμές XT σε κάθε ομάδα καταναλωτών χρησιμοποιώντας ένα BPL εξαγωγέα παρακάμπτοντας τους ΜΣ XT. Οι εξαγωγείς δρομολογούν τα δεδομένα και τα μετατρέπουν από σήματα BPL σημείου πρόσβασης (OFDM) σε σήματα BPL εσωτερικού τύπου, ώστε να επικοινωνούν με τα BPL modem στο χώρο του χρήστη και αντιστρόφως. Ο συνδρομητής/καταναλωτής έχει πρόσβαση στο δίκτυο BPL MT χρησιμοποιώντας ένα BPL modem. Για να καλυφθούν μεγάλες αποστάσεις μεταξύ ενός εισαγωγέα και του εξαγωγέα που εξυπηρετεί, παρεμβάλλονται αναγεννητές/επαναλήπτες που αναγεννούν και ενισχύουν το σήμα ώστε να μεταδοθεί σε μεγάλες αποστάσεις. Ο εισαγωγέας και ο εξαγωγέας της πρώτης αρχιτεκτονικής χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα F1 στη γραμμή MT διαφορετική από τη συχνότητα F2 που χρησιμοποιείται στις γραμμές XT και στο modem του συνδρομητή. Λόγω της κοινής χρήσης του καναλιού από τους συνδρομητές, για να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος διεκδίκησης του καναλιού χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και ανίχνευση σύγκρουσης (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, CSMA-CD). Αυτός ο τύπος αρχιτεκτονικής σχεδιάστηκε ώστε να είναι ανεκτή η διασυμβολική παρεμβολή ανάμεσα σε ημιανεξάρτητες γραμμές BPL χωρίς να είναι αναγκαία η χρήση απομονωτικών φίλτρων στις γραμμές διανομής καθώς όλες οι συσκευές στις γραμμές MT λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων. Η ισχύς του σήματος πρέπει να έχει τέτοια τιμή ώστε να αποφεύγεται η διασυμβολική παρεμβολή εξασφαλίζοντας την ανεξάρτητη υλοποίηση του συστήματος σε δύο ή τρεις διαφορετικές

γειτονικές γραμμές MT. Ο πρώτος τύπος αρχιτεκτονικής εισάγει το σήμα BPL σε μία φάση.



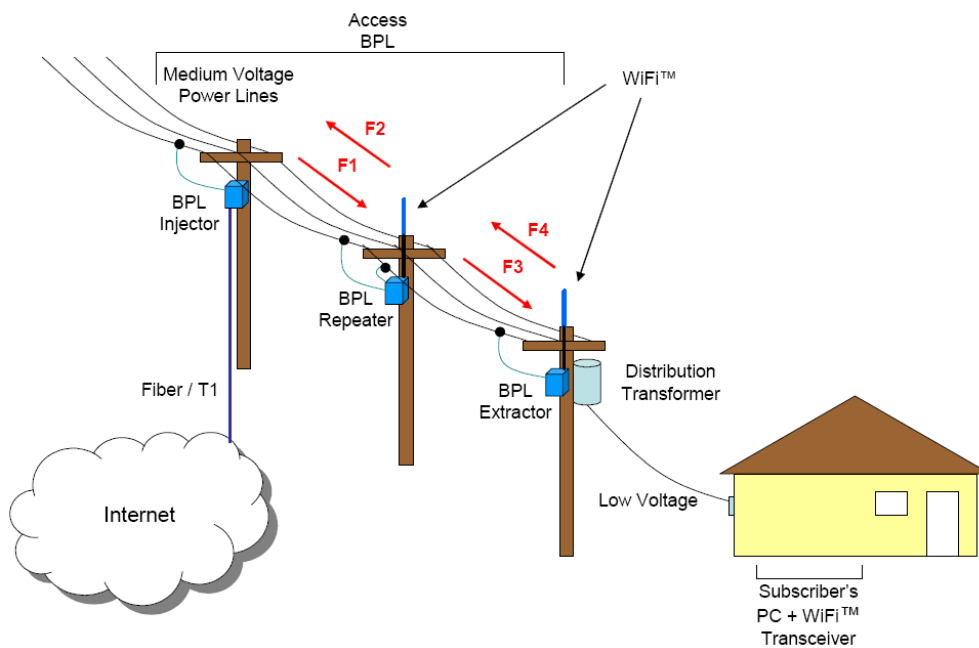
**Σχήμα 4.7** Πρώτη αρχιτεκτονική GEN1

#### 4.3.4.1.2 Δεύτερη αρχιτεκτονική GEN1

Και στη δεύτερη αρχιτεκτονική BPL, χρησιμοποιείται η OFDM ως σχήμα διαμόρφωσης. Η διαφορά από την πρώτη αρχιτεκτονική εντοπίζεται στον τρόπο που λαμβάνουν το σήμα οι συνδρομητές/καταναλωτές στις εγκαταστάσεις τους. Αντί να χρησιμοποιήσουν κάποια συσκευή που θα συνδέεται στη XT, για παράδειγμα κάποιο BPL modem, στη δεύτερη αρχιτεκτονική το BPL σήμα εξάγεται από τη γραμμή MT κατά ασύρματο τρόπο με βάση το πρωτόκολλο IEEE 802.11a/b/g/n Wi-Fi και μεταδίδεται στους υπολογιστές και στα laptops των συνδρομητών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.8. Με βάση αυτήν την αρχιτεκτονική, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες τεχνολογίες αντί για Wi-Fi (για παράδειγμα η τεχνολογία IEEE 802.16.2004 ή IEEE 802.16a|e WiMax), ώστε να επεκταθεί η κάλυψη και της εφαρμογής αυτής της αρχιτεκτονικής σε υψηλότερα επίπεδα. Στο Wireless IEEE 802.11b/g, η κάλυψη μπορεί



να φθάσει και τα 600m, ενώ στο μέλλον, με την εφαρμογή του WiMax, η κάλυψη ενδεχομένως επεκταθεί μέχρι μερικές δεκάδες χιλιόμετρα. Επομένως, πρέπει να επισημανθεί η επεκτασιμότητα αυτής της τεχνολογίας, η ευελιξία καθώς και η ευκολία παροχής της στον καταναλωτή. Το σημαντικό χαρακτηριστικό αυτής της δεύτερης αρχιτεκτονικής BPL είναι ότι δεν χρησιμοποιούνται οι γραμμές XT, όπως συμβαίνει στην πρώτη αρχιτεκτονική.



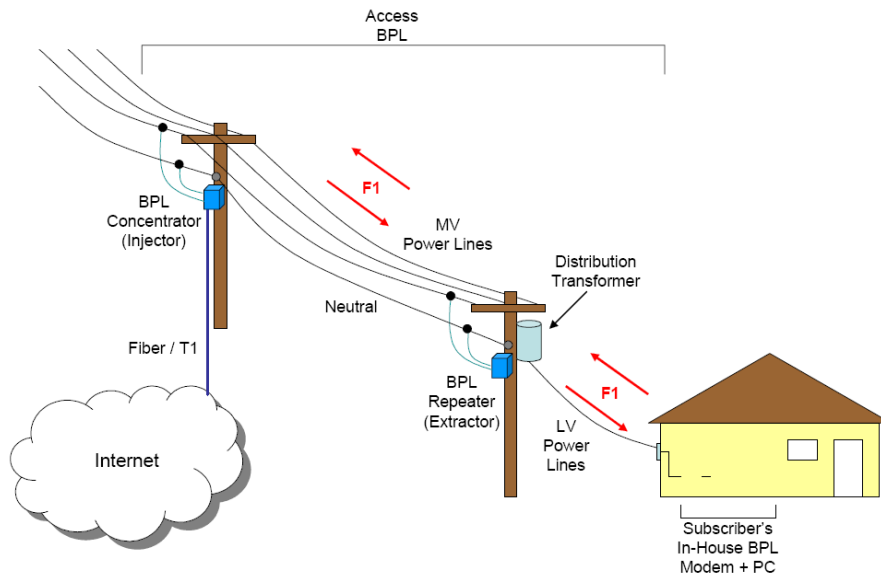
**Σχήμα 4.8 Δεύτερη αρχιτεκτονική GEN1**

Η αρχιτεκτονική αυτή χρησιμοποιεί διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων κατά τη μετάδοση μέσω των γραμμών MT. Αυτό γίνεται, αφενός, για το διαχωρισμό της κίνησης BPL από το χρήστη προς τη γραμμή MT (upstream) και της κίνησης από τη γραμμή MT προς στο χρήστη (downstream) και, αφετέρου, για να ελαχιστοποιηθεί η διασυμβολική παρεμβολή από άλλες γειτονικές μονάδες BPL. Αν το σήμα πρόκειται να διανύσει αρκετά χιλιόμετρα μέχρι να φθάσει στο συνδρομητή και για να αντισταθμισθούν οι αποσβέσεις που υφίσταται, χρησιμοποιούνται και σε αυτήν την περίπτωση αναγεννητές/επαναλήπτες, ώστε να φθάσει το σήμα από τον εισαγωγέα στον εξαγωγέα χωρίς αλλοιώσεις. Οι επαναλήπτες, όπως και οι εισαγωγείς, μεταδίδουν και λαμβάνουν σήματα σε διαφορετικές ραδιοσυχνότητες και χρησιμοποιούν διαφορετικές συχνότητες

από αυτές που χρησιμοποιούν οι γειτονικοί εισαγωγείς και επαναλήπτες. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την αποδοτική λειτουργία του συστήματος διότι μειώνεται στο ελάχιστο η πιθανότητα παρεμβολών από γειτονικούς κόμβους. Οι εισαγωγείς της δεύτερης αρχιτεκτονικής παρέχουν και τις δυνατότητες των εξαγωγέων, εφόσον έχουν στα κυκλώματα τους τον εξοπλισμό και τις προδιαγραφές του Wi-Fi. Ο δεύτερος τύπος αρχιτεκτονικής εισάγει το σήμα BPL σε μία φάση της γραμμής MT.

#### **4.3.4.1.3 Τρίτη αρχιτεκτονική GEN1**

Η τρίτη αρχιτεκτονική BPL χρησιμοποιεί DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) για τη μετάδοση των δεδομένων στη γραμμή MT. Όλοι οι χρήστες μέσα σε κάθε κυψέλη μοιράζονται μια κοινή ζώνη συχνοτήτων. Λόγω της κοινής χρήσης του καναλιού από τους συνδρομητές, για να ελαχιστοποιηθεί η διεκδίκηση του καναλιού χρησιμοποιείται και εδώ το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και ανίχνευση σύγκρουσης CSMA-CD. Όπως και στην πρώτη αρχιτεκτονική BPL, αυτός ο τύπος αρχιτεκτονικής σχεδιάστηκε ώστε να αντέχει διασυμβολική παρεμβολή ανάμεσα σε ημιανεξάρτητες γραμμές BPL, αφού όλες οι συσκευές στη γραμμές MT λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων. Σε μια δοκιμαστική υλοποίηση της τρίτης αρχιτεκτονικής, ο πάροχος της τεχνολογίας BPL εγκατέστησε σε δύο από τις τρεις φάσεις της γραμμής MT δύο ανεξάρτητα κανάλια BPL. Κάθε ομάδα εξυπηρέτησης της τρίτης αρχιτεκτονικής (Σχήμα 4.9) αποτελείται από ένα συγκεντρωτή concentrator (injector) ο οποίος παρέχει την διεπαφή μιας T1 ή μιας οπτικής σύνδεσης στο δίκτυο κορμού (internet backbone), ένα αριθμό από επαναλήπτες/αναγεννητές (repeaters) που τοποθετούνται κατά μήκος της γραμμής, έτσι ώστε να διατηρείται η ισχύς του σήματος σε ικανοποιητικά για την παροχή υπηρεσιών επίπεδα. Το σήμα BPL μέσα από τους ΜΣ XT τροφοδοτεί τις ομάδες των χρηστών που αναλογούν στον κάθε εξαγωγέα. Τα γειτονικά συστήματα της τρίτης αρχιτεκτονικής επικοινωνούν επικαλύπτονται μεταξύ τους και έτσι τα τερματικά BPL που βρίσκονται μέσα στις εγκαταστάσεις των χρηστών (modem) αλλά και οι επαναλήπτες είναι ικανοί να επικοινωνούν με τον εισαγωγέα ώστε να τους παρέχει την καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών κάθε στιγμή.



Σχήμα 4.9 Τρίτη αρχιτεκτονική GEN1

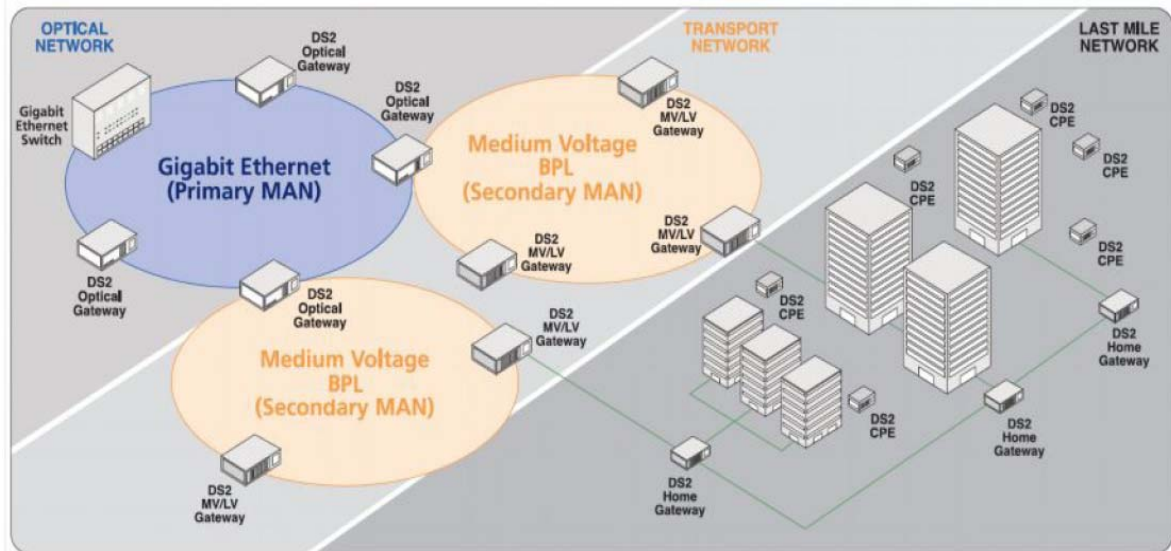
#### 4.3.4.2 GEN 2 (Τεχνολογία BPL δεύτερης γενιάς)

Η δεύτερη γενιά (Gen 2) κινείται σε μια διαφορετική λογική. Δεν υφίσταται διαχωρισμός μεταξύ των μονάδων σε injectors, repeaters και extractors και, πλέον, η μονάδα είναι μια και μοναδική δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στον κατασκευαστή αλλά και το μηχανικό να σχεδιάσουν ευκολότερα το δίκτυο που θα υλοποιήσουν. Η αλλαγή αυτή προέρχεται από το γεγονός ότι το νέο BPL chip των μονάδων (DS2 Gen2) έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει σε οποιαδήποτε κατάσταση προσφέροντας τη δυνατότητα επικοινωνίας με το φυσικό επίπεδο της επιλεγμένης σύνδεσης κορμού (backhaul). Ένα από τα πλέον σημαντικά χαρακτηριστικά της Gen 2 μονάδας είναι η αυξημένη ταχύτητα κυκλώματος που φθάνει τα 200Mbps στο φυσικό επίπεδο. Η δικτύωση προς τον καταναλωτή γίνεται ασύρματα με κεραίες τύπου MIMO (Multiple Input Multiple Output) και με χρήση των πρωτοκόλλων IEEE 802.11 a, b, g, που προσφέρουν αυξημένη κάλυψη, ταχύτητα και ασφάλεια (μέσω του νέου πρωτοκόλλου WPA). Ένα πρόσθετο βελτιωμένο χαρακτηριστικό των μονάδων Gen2 είναι η ευκολία εγκατάστασης και συντήρησης. Το μικρό μέγεθός τους, τις καθιστά εύκολες στην εγκατάσταση και η παθητική ψύξη χωρίς τη χρήση ανεμιστήρων, οικονομικότερες στην κατανάλωση.

Επιπλέον, είναι πλήρως αδιάβροχες και απρόσβλητες από αστοχίες υλικού. Η ανάπτυξη του δικτύου με τη χρήση μονάδων Gen2 είναι, επίσης αρκετά διαφορετική από αυτή με μονάδες Gen1. Κάθε νέα μονάδα έχει τη δυνατότητα multicast και έτσι μπορεί να επικοινωνεί με περισσότερες από 2 μονάδες ταυτόχρονα, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα σχεδίασης του δικτύου με βάση διδιάστατη αρχιτεκτονική. Τέλος, οι μονάδες Gen2 διαθέτουν τη δυνατότητα να αναγνωρίζουν αυτόματα τις νέες προσθήκες στο δίκτυο και να τις παραμετροποιούν ανάλογα, μειώνοντας σημαντικά το χρόνο της παραμετροποίησης και της σχεδίασης του συνολικού δικτύου. Κάθε μονάδα Gen2 έχει τη δυνατότητα παροχής υπηρεσίας σε 80 ταυτόχρονους χρήστες και να τους δρομολογεί μέσα από το δίκτυο χρησιμοποιώντας την αρχιτεκτονική της ταχύτερης δρομολόγησης (shortest route), παρέχοντας έτσι στον τελικό χρήστη πολλαπλούς τρόπους μετάδοσης της πληροφορίας μέσω διαφορετικών δρόμων. Το δίκτυο που δημιουργείται είναι full duplex και έχει δυναμική κατανομή της upload και download κίνησης κατά τρόπο συμμετρικό σε λογική Ethernet και όχι ασύμμετρο σε λογική ADSL. Αυτό συμβαίνει σε επίπεδο φυσικού δικτύου και όχι σε επίπεδο χρήστη, ο οποίος ανάλογα με την υπηρεσία που έχει πληρώσει, λαμβάνει και τις αντίστοιχες χωρητικότητες upload και download. Η διαχείριση των συσκευών μπορεί να γίνει μέσω κατάλληλης πλατφόρμας λογισμικού που χρησιμοποιεί SNMP (Simple Network Management Protocol) προσφέροντας έτσι διασυνδεσιμότητα με πολλές διαθέσιμες πλατφόρμες. Εκτός των άλλων, οι μονάδες της δεύτερης γενιάς χρησιμοποιούν νέου τύπου επαγωγικούς συζεύκτες (Couplers). Οι νέοι αυτοί συζεύκτες ονομάζονται Shunt Couplers και μπορούν να συζεύξουν προς και από τη γραμμή τηλεπικοινωνιακά σήματα στη ζώνη συχνοτήτων μεταξύ υπό λειτουργία, παρέχουν υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης και είναι ασφαλέστερες για το δίκτυο.

Οι κατασκευαστές συστημάτων BPL και οι πάροχοι υπηρεσιών προσβλέπουν στην παροχή πληθώρας εφαρμογών στους συνδρομητές τους. Από υψηλής ποιότητας multi-channel video, ήχο, φωνή πάνω από το πρωτόκολλο IP (VoIP) μέχρι εφαρμογές πραγματικού χρόνου που αναμένεται να αυξήσουν τις απαιτήσεις για πρόσθετο εύρος ζώνης μετάδοσης. Για να υποστηριχθεί τυπικός ρυθμός μετάδοσης της τάξης των 5Mbps για το μέσο συνδρομητή, τα συστήματα BPL πρέπει να λειτουργούν στις γραμμές MT με ταχύτητες της τάξης των 200Mbps ή και περισσότερο στο άμεσο μέλλον. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας BPL έχει οδηγήσει στη δεύτερη και τρίτη γενιά BPL, η οποία βασίζεται

στην τεχνολογία DS2 που επιτρέπει τη μετατροπή οποιουδήποτε ηλεκτρικού δικτύου σε ένα δίκτυο δεδομένων που διακινούνται με ταχύτητες της τάξης των 200Mbps και άνω.



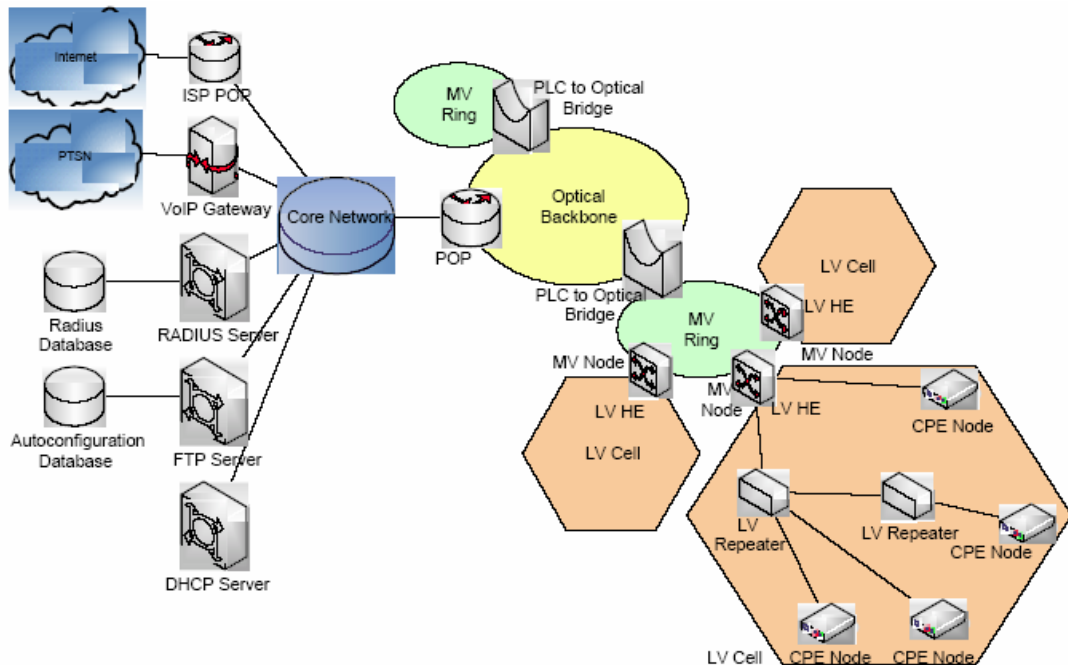
Σχήμα 4.10 Τυπική αρχιτεκτονική BPL συστήματος με μονάδες GEN2

Μια απλή δομή του μελλοντικού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται στο Σχήμα 4.10. Μέσω ενός οπτικού δικτύου (Gigabit Ethernet) παρέχεται η πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Στη συνέχεια, μέσα από τη γραμμή MT, μέσω των ενιαίου τύπου μονάδων Gen2, το σήμα φθάνει στους καταναλωτές (οικείες, ξενοδοχεία, σχολεία) που μπορούν να συνδεθούν άμεσα στο Διαδίκτυο εξασφαλίζοντας υψηλές ταχύτητες για εφαρμογές ευρείας ζώνης.

#### 4.3.5 Στοιχεία δικτύων BPL πρόσβασης

Παρακάτω παρουσιάζεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στο πλήθος των συστημάτων και των αρχιτεκτονικών BPL πρόσβασης. Βεβαίως, κάθε εταιρία αποδίδει ξεχωριστό όνομα σε κάθε στοιχείο του δικτύου της αλλά σχεδόν το σύνολο αυτών λειτουργεί με τον τρόπο που αναφέρεται παρακάτω. Ο εξοπλισμός ενός τυπικού δικτύου

BPL φαίνεται στο Σχήμα 4.11. Τα στοιχεία του δικτύου περιγράφονται συνοπτικά στις επόμενες παραγράφους διαχωριζόμενα σε στοιχεία δικτύου MT και XT.



Σχήμα 4.11 Μονάδες δικτύου BPL access

- **Κόμβος MT (MV Node).** Ο κόμβος MT είναι η μονάδα που μετατρέπει το σήμα επικοινωνίας από το τυπικό IP μορφότυπο σε σήμα BPL για μετάδοση μέσω των γραμμών ηλεκτρικής ισχύος MT. Για λόγους ασφαλείας, ο κόμβος MT δεν συνδέεται απευθείας με τη γραμμή MT αλλά μέσω μιας συσκευής σύζευξης, του συζεύκτη (Coupler). Η σύνδεση με το συζεύκτη γίνεται συνήθως με ομοαξονικό καλώδιο. Ο κόμβος MT υποστηρίζει συνήθως ένα σύνολο λειτουργιών όπως
  - Σύνδεση με το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο κορμού (Backhaul connections to the telecommunications backbone) και αφορά τις θύρες gateways από τηλεπικοινωνιακό δίκτυο στο δίκτυο BPL.
  - Σύνδεση με το δίκτυο BPL-XT (με τον κόμβο XT)
  - Συγκέντρωση των σημάτων BPL για μετάδοση μέσω των γραμμών MT/XT.

Σε κάποιες αρχιτεκτονικές γίνεται η διάκριση των κόμβων MT σε επιμέρους στοιχεία τα οποία επιτελούν διαφορετική λειτουργία στο δίκτυο. Αυτά είναι

- **MV Head end.** Διασφαλίζει την επαφή μεταξύ των MV modems που βρίσκονται στο ίδιο MV cluster και του δικτύου κορμού.
- **Modem MT (MV modem).** Το modem MT διασφαλίζει την επικοινωνία μεταξύ LV head end και MV head end χρησιμοποιώντας το δίκτυο MT.
- **Επαναλήπτης MT (MV Repeater).** Ο επαναλήπτης (Repeater) είναι η συσκευή που τοποθετείται κατά μήκος των γραμμών ηλεκτρικής ισχύος MT (εναερίων ή υπογείων) και χρησιμοποιείται για να αντισταθμίζει την απόσβεση λόγω μετάδοσης σε γραμμές MT μεγάλου μήκους ή σε γραμμές MT με υψηλή απόσβεση. Σε κάποια συστήματα οι κόμβοι MT μπορούν να επιτελούν και τη λειτουργία του επαναλήπτη.
- **Συζεύκτης (Coupler).** Ο συζεύκτης (coupler) είναι η διάταξη που επιτυγχάνει τη σύζευξη του σήματος με τη γραμμή ηλεκτρικής ισχύος. Χρησιμοποιούνται δύο τρόποι σύζευξης, ο χωρητικός και ο επαγωγικός.
  - Χωρητικός συζεύκτης. Προτιμάται συνήθως για τις εναέριες γραμμές.
  - Επαγωγικός συζεύκτης. Μπορεί να εγκατασταθεί χωρίς διακοπή της παροχής ηλεκτρικής ισχύος σε εναέριες και υπόγειες γραμμές και έχει ικανότητα αντοχής σε υψηλές τάσεις, αντίξοες καιρικές συνθήκες, κεραυνικές υπερτάσεις και υπερτάσεις που προέρχονται από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Κυψέλη MT (MV cell).** Σύνολο των modems MT που επικοινωνούν με το ίδιο MV head End.
- **Κόμβος XT (Low Voltage Head End-LVHE).** Είναι η μονάδα που εγκαθίσταται συνήθως στο χώρο του ΜΣ MT/XT και πραγματοποιεί δύο λειτουργίες. Συγκεκριμένα παρακάμπτει το ΜΣ MT/XT και επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ του δικτύου BPL στη γραμμή MT και του δικτύου BPL στη γραμμή XT ενώ ενεργεί ως επαναλήπτης (repeater) στη γραμμή MT.
- **Επαναλήπτης XT (LV Repeater).** Ο επαναλήπτης (Repeater) στο δίκτυο XT μεσολαβεί μεταξύ του LVHE και του CPE (NTU) και συνήθως τοποθετείται σε υπαίθρια ερμάρια, σε στύλους, σε υπόγεια πολυκατοικιών και σε χώρους/

κουβούκλια μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας για να αντισταθμίσει την απόσβεση λόγω μετάδοσης σε γραμμές XT μεγάλου μήκους ή σε γραμμές XT με υψηλή απόσβεση.

- **Κυψέλη XT (LV cell).** Κυψέλη XT ονομάζεται το σύνολο των LV repeaters και NTUs που επικοινωνούν με το ίδιο LV head end.
- **Εξοπλισμός τερματισμού δικτύου (Network Termination NTU Unit ή Customer Premises Equipment CPE).** Το CPE ή NTU είναι ο εξοπλισμός τερματισμού δικτύου BPL-XT και βρίσκεται στο χώρο του καταναλωτή/χρήστη. Ουσιαστικά αποτελεί τη διεπαφή στη γραμμή XT (230V) μεταξύ του δικτύου BPL και του τερματικού εξοπλισμού του χρήστη, όπως είναι ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, η τηλεφωνική συσκευή τύπου VoIP κλπ.

#### 4.3.6 Παράδειγμα εξοπλισμού δικτύων BPL πρόσβασης

Παρακάτω γίνεται αναφορά στον εξοπλισμό του υβριδικού BPL συστήματος της Amperion ώστε να γίνει πιο κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας των στοιχείων ενός BPL δικτύου πρόσβασης.

- **Griffin 1000 MV.** Το Griffin 1000MV ανήκει στις συσκευές πρώτης γενιάς (Gen1) της Amperion και είναι σχεδιασμένο για τοποθέτηση πάνω σε στύλους MT και συνδέεται με τις γραμμές μεταφοράς μέσω μονωμένου επαγωγικού συζευκτήρα ενώ είναι προστατευμένο από ένα στιβαρό NEMA 3R έγκλειστρο. Εμπεριέχει την μετάδοση 802.11 a/b/g σήματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σύνδεση με το δίκτυο κορμού ή ως υψηλής ταχύτητας WAP (Wireless Access Point) παρέχοντας συνδεσιμότητα στους τελικούς χρήστες. Με ένα δεύτερο Wi-Fi σήμα, το Griffin 1000MV μπορεί να επιτελεί ταυτόχρονα και τις δύο διαδικασίες ταυτόχρονα ενώ γεννά, δέχεται και επαναλαμβάνει το BPL σήμα.
- **Lynx 1500 MV.** Το Lynx 1500MV ανήκει στις συσκευές πρώτης γενιάς (Gen1) της Amperion και είναι σχεδιασμένο για τοποθέτηση σε ένα υπόγειο έγκλειστρο και συνδέει με το υπόγειο καλώδιο ηλεκτρικής ισχύος μέσω ενός επαγωγικού συζευκτήρα που προσαρμόζεται πάνω στο μονωμένο καλώδιο. Το Lynx 1500MV



παρέχει ένα 802.11 a/b/g σήμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σύνδεση με το δίκτυο κορμού ή ως υψηλής ταχύτητας WAP (Wireless Access Point) παρέχοντας συνδεσιμότητα στους τελικούς χρήστες. Με ένα δεύτερο Wi-Fi σήμα, το Lynx 1500MV μπορεί να επιτελεί ταυτόχρονα και τις δύο διαδικασίες ταυτόχρονα ενώ γεννά, δέχεται και επαναλαμβάνει το BPL σήμα. Επιπροσθέτως το Lynx 1500MV έχει μια Multi-mode 100 base Fx θύρα οπτικών ινών ως εναλλακτική λύση σε περιπτώσεις όπου η Wi-Fi σύνδεση δεν χρησιμοποιείται.

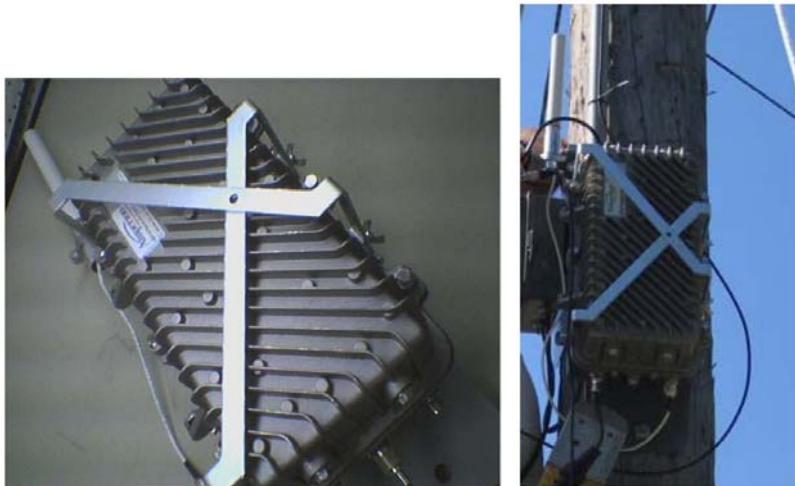
- **Griffin 2.0 (Gen 2).** Το Griffin δεύτερης γενιάς από την Ampereion είναι μια υβριδική τηλεπικοινωνιακή συσκευή που συνδυάζει δύο τεχνολογίες πρόσβασης σε μία ισχυρή last mile λύση. Η συμπαγής υλοποίηση του BPL με το Wi-Fi δημιουργεί ένα mesh ασύρματο δίκτυο που εξυπηρετεί τους χρήστες που χρησιμοποιούν το BPL. Η VoIP υπηρεσία μπορεί να υποστηριχθεί με την παροχή χαμηλής καθυστέρησης ανά βήμα και από άκρο σε άκρο QoS. Αυτή η συσκευή πωλείται παράλληλα με συζευκτήρα (coax shunt) που έχει βελτιστοποιηθεί για μέγιστη απόδοση. Χρησιμοποιεί ένα εξωτερικό εγκλειστρο που είναι σφραγισμένο και αδιάβροχο χωρίς ανεμιστήρες και άλλα κινούμενα μέρη για την επίτευξη βελτιωμένης αξιοπιστίας.



Σχήμα 4.12 Griffin 1000 MV



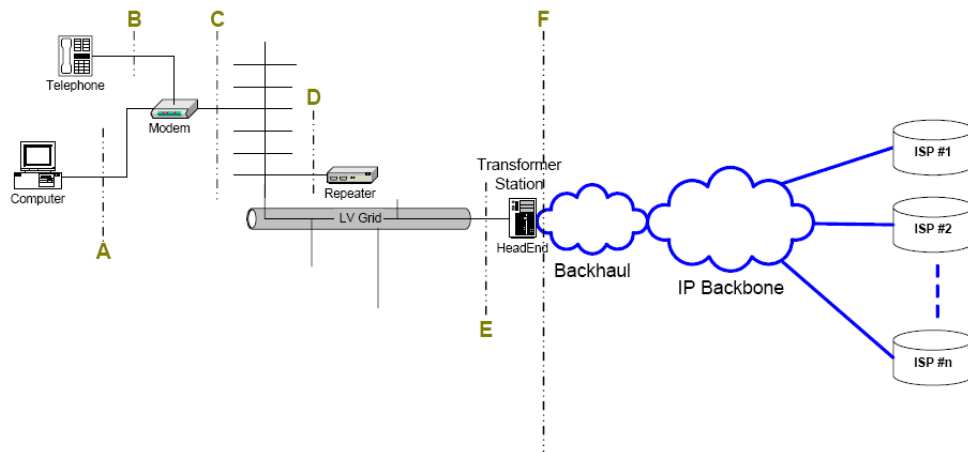
Σχήμα 4.13 Lynx 1500 MV



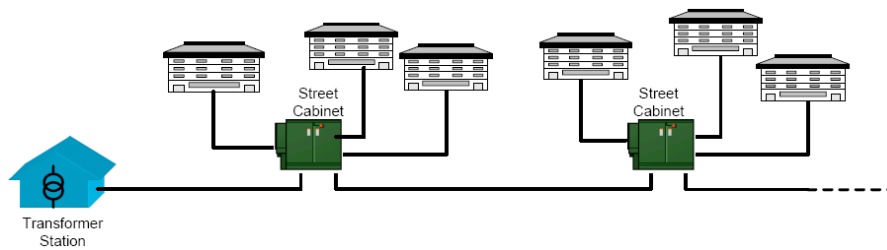
Σχήμα 4.14 Griffin 2.0 (Gen 2)

#### 4.3.7 Διαμόρφωση δικτύου διανομής XT σε σχέση με την τεχνολογία BPL

Στα Ευρωπαϊκά δίκτυα υπάρχουν πολλές διαφορετικές παραλλαγές τόσο για το εξωτερικό δίκτυο όσο και για το εσωτερικό δίκτυο [5]. Τα σημεία έναρξης και τερματισμού του εξωτερικού και του εσωτερικού δικτύου φαίνονται χαρακτηριστικά στο Σχήμα 4.15.

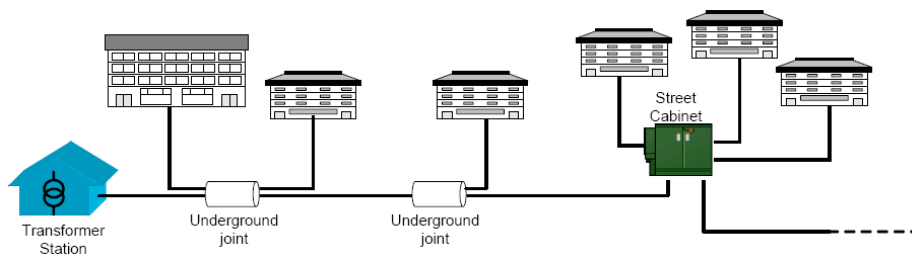


**Σχήμα 4.15 E-D : Εξωτερικό δίκτυο (Outdoor network), D-C : Εσωτερικό δίκτυο (Indoor network)**



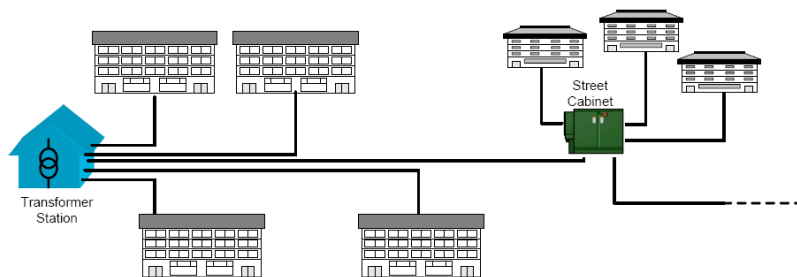
**Σχήμα 4.16 Πρώτη διαμόρφωση εξωτερικού δικτύου**

Στην πρώτη διαμόρφωση το εξωτερικό δίκτυο χωρίζεται σε κεντρικές γραμμές τροφοδοσίας οι οποίες συνδέουν τα ερμάρια και τα δευτερεύοντα καλώδια σύνδεσης που διανέμουν την ενέργεια στα διάφορα κτίρια. Τα ερμάρια είναι διακοπτικές διατάξεις που επιτρέπουν την σύνδεση και το άνοιγμα σημείων μεταξύ γραμμών XT. Κυρίως χρησιμοποιούνται σε δικτυωτά δίκτυα XT.



**Σχήμα 4.17 Δεύτερη διαμόρφωση εξωτερικού δικτύου**

Στην δεύτερη διαμόρφωση παρουσιάζεται συνήθως ως επέκταση παλαιότερων περιοχών όπου υπόγειοι κόμβοι χρησιμοποιούνται ως έναρξη κύριων γραμμών. Αυτή η διαμόρφωση είναι λιγότερο ελαστική ως προς την προηγούμενη και συνηθίζεται σε μικτό τύπο κτιριακής δόμησης. Τα καλώδια που εξέρχονται από τον υπόγειο κόμβο φθάνουν απευθείας στα κτίρια.



**Σχήμα 4.18 Τρίτη διαμόρφωση εξωτερικού δικτύου**

Στην τρίτη διαμόρφωση του εξωτερικού δικτύου συνηθίζεται σε περιοχές με πολυκατοικίες με άνω των 15 σπιτιών. Εδώ, τα σπίτια που περιβάλλουν τον ΜΣ συνδέονται άμεσα μέσω του καλωδίου XT. Το σύνολο κτιρίων που απέχουν κάποιο διάστημα της τάξεως των μερικών δεκάδων μέτρων συνδέονται μέσω ενός κεντρικής κύριας γραμμής που τροφοδοτεί το ερμάριο. Επειτά τα κουτιά συνδέονται χωρίς άλλο διαχωρισμό με τα κτίρια.

#### **4.3.8 Βελτιστοποίηση απόδοσης δικτύων BPL MT**

Το δίκτυο MT είναι το πρώτο τμήμα του δικτύου διανομής και συνεπώς πρέπει να έχει χαρακτηριστικά υψηλής αξιοπιστίας, χαμηλής καθυστέρησης και μέγιστου ρυθμού μετάδοσης. Η τοπολογία που μπορεί να πετύχει καλύτερη βελτιστοποίηση του δικτύου MT είναι η σημείου προς σημείο τοπολογία, η οποία επιτρέπει την διασφάλιση του υψηλότερου εύρους ζώνης και ταιριάζει καλύτερα στα δίκτυα MT. Η επιλογή του κυκλικών ή των δικτυωτών σημείου προς σημείο τοπολογιών εξαρτάται από την

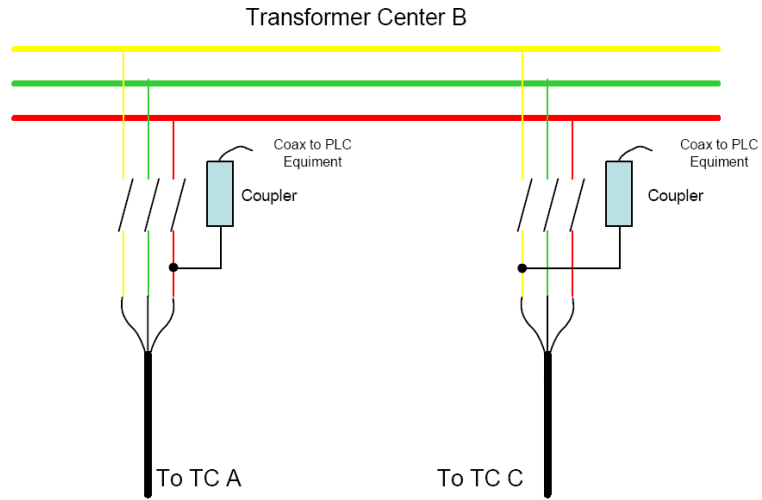
τοπολογία του δικτύου ισχύος και τα κέντρα μετασχηματιστών TCs (Transformer Centers) που πρέπει να συνδεθούν.

Για την βελτιστοποίηση αυτής της σημείο προς σημείο τοπολογίας πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν οι παρακάτω προτάσεις.

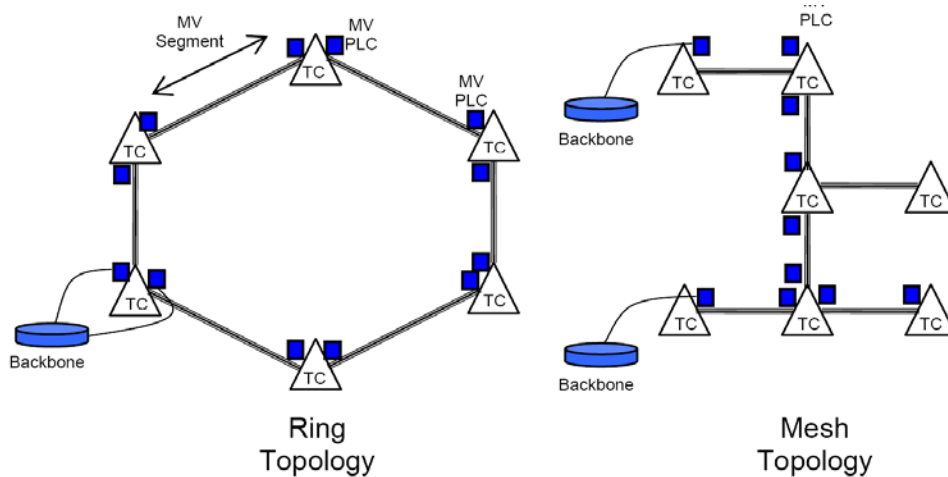
- Κάθε γειτονικός κόμβος πρέπει να χρησιμοποιεί διαφορετικές φάσεις και διαφορετικές συχνότητες με στόχο την μείωση των παρεμβολών.
- Η εγκατάσταση του συζευκτήρα πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην έξοδο του καλωδίου και να αποφεύγεται η διάσχιση του σήματος από τους διακόπτες και τους διαχωριστές. Με αυτόν τον τρόπο το BPL σήμα δεν επηρεάζεται από πιθανό άνοιγμα διακοπών για οποιονδήποτε λόγο
- Ο BPL εξοπλισμός MT πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στον συζευκτήρα ώστε να αποφεύγονται οι απώλειες του ομοαξονικού καλωδίου.
- Ο μέγιστος αριθμός των MT κόμβων για να φθάσουμε το δίκτυο κορμού δεν πρέπει να ξεπερνάει τους 4-5 για να κρατηθούν χαμηλές οι τιμές της καθυστέρησης για να επιτραπεί η υλοποίηση VoIP υπηρεσιών σε κάθε TC κυψέλη.
- Η μέγιστη απόσταση για ένα κόμβο MT πρέπει να ελέγχεται σε κάθε περίπτωση, καθώς η τιμή του μεταβάλλεται μέσω πολλών παραγόντων.
- Ο σχεδιασμός συχνοτήτων πρέπει να γίνεται βάσει των χαρακτηριστικών του ηλεκτρικού δικτύου και τις περισσότερες φορές πρέπει να προηγούνται έλεγχοι με τοπικές μετρήσεις για να βρεθούν τα επίπεδα εξασθένησης και θορύβου.

#### **4.3.9 Επανάληψη σήματος**

Η αναγέννηση και επανάληψη του σήματος είναι απαραίτητη για την μετάδοση υψίσυχων σημάτων σε μεγάλες αποστάσεις. Υπάρχουν όμως περιορισμοί όπως η έλλειψη του απαραίτητου εύρους ζώνης.



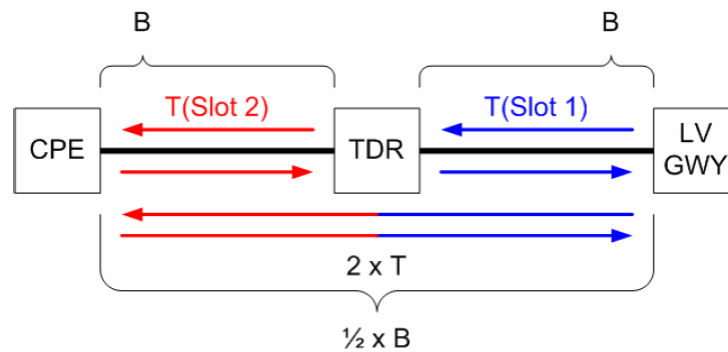
**Σχήμα 4.20 Κατάλληλο σημείο σύνδεσης συσκευτήρα**



**Σχήμα 4.19 Διάφορες τοπολογίες Κέντρων ΜΣ (TCs)**

Η επανάληψη του σήματος μπορεί να γίνει με τις ίδιες τεχνικές που γίνεται η πολύπλεξη διαφορετικών καναλιών στο κοινό μέσο (Time Division Repeating (TDR) ή Frequency Division Repeating (FDR)). Με την TDR τεχνική οι χρονοσχισμές χωρίζονται σε αυτές του λαμβανόμενου και του επαναμεταδιδόμενου σήματος ενώ με την FDR τεχνική το εύρος ζώνης χωρίζεται σε τομείς λήψης και επανάληψης. Στο Σχήμα 4.21 φαίνεται ο μηχανισμός της TDR τεχνικής. Ο συνολικός χρόνος μεταξύ

επαναμετάδοσης/λήψης ( $T$ ) διπλασιάζεται ενώ το συνολικό εύρος ζώνης ( $B$ ) μειώνεται στο μισό.



Σχήμα 4.21 Μηχανισμός της TDR τεχνικής επανάληψης σήματος

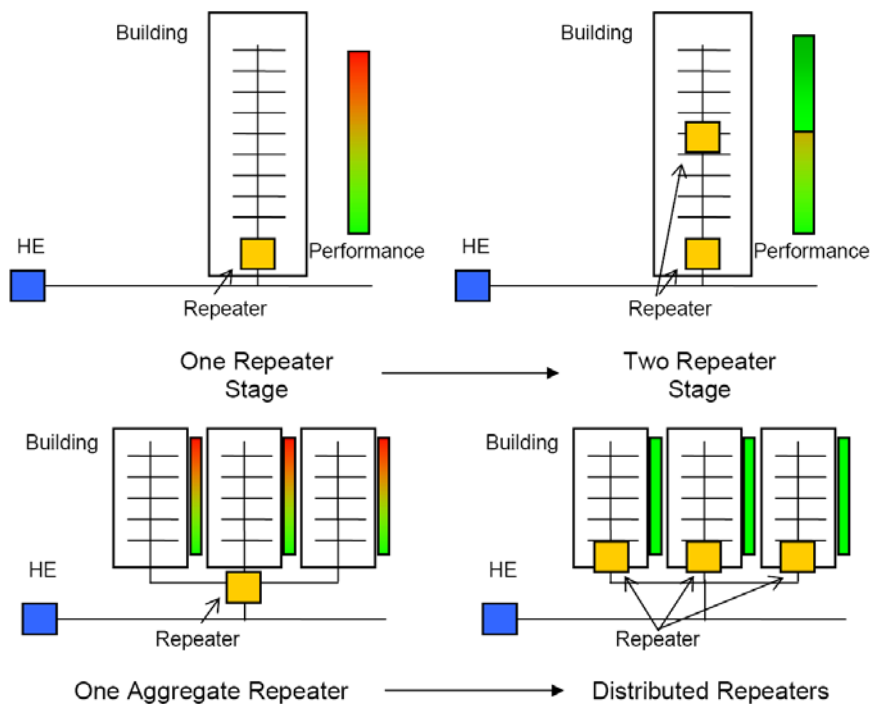
Η χρήση των επαναληπτών επηρεάζει σημαντικά τον ρυθμό μετάδοσης που μπορεί να επιτευχθεί στο δίκτυο. Βελτιστοποίηση λοιπόν του throughput μπορεί να γίνει μέσω των παρακάτω βημάτων:

- Χρησιμοποίηση TDD επαναληπτών αντί για FDD επαναληπτών καθώς πετυχαίνουν καλύτερη προσαρμογή του καναλιού και στις δύο διευθύνσεις μεγιστοποιώντας την αξιοποίηση του εύρους ζώνης .
- Χρησιμοποίηση περισσότερων επιπέδων επανάληψης για την εξασφάλιση καλύτερης απόδοσης για την ίδια περιοχή κάλυψης .Για παράδειγμα η χρήση δύο επαναληπτών σε περιοχές με χαμηλή απόδοση αντί του ενός μπορεί να προσεγγίσει την επίτευξη του 100% της απόδοσης όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.22.

#### 4.3.10 Βελτιστοποίηση υπηρεσιών με απαίτηση χρονικής ακρίβειας

Για την βελτιστοποίηση της απόδοσης υπηρεσιών με απαιτήσεις καθυστέρησης και χρονικής ακρίβειας όπως το VoIP χρειάζεται να ληφθούν υπ'όψιν οι παρακάτω προτάσεις:

- Χρησιμοποίηση FDD επαναληπτών αντί για TDD επαναληπτών επειδή οι πρώτοι επιτυγχάνουν μικρότερες καθυστερήσεις.
- Χρησιμοποίηση διαφορετικών VLANs για δεδομένα και για την VoIP κίνηση ώστε να δοθεί προτεραιότητα στην VoIP κίνηση.
- Χρησιμοποίηση 802.1p στην διεπαφή μεταξύ BPL συστημάτων πρόσβασης και του δικτύου διανομής ή του δικτύου κορμού ώστε να δοθεί προτεραιότητα στην VoIP κίνηση.
- Μείωση του αριθμού των κόμβων επανάληψης ώστε να μειωθούν οι χρόνοι καθυστέρησης.
- Χρησιμοποίηση CPEs με PPPoE στοίβα.



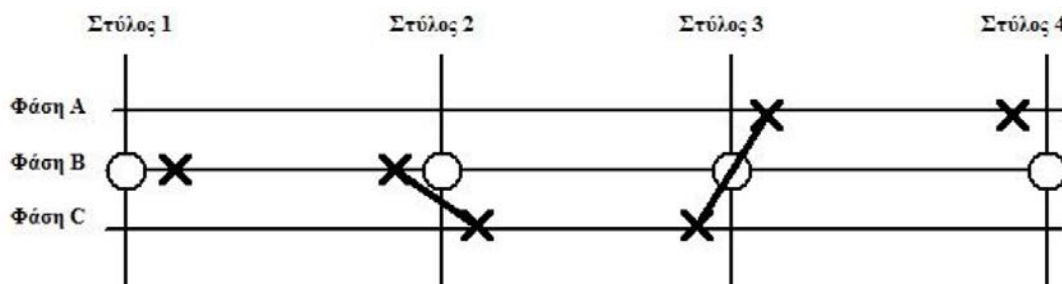
Σχήμα 4.22 Αύξηση απόδοσης με χρήση πολλών επαναληπτών

#### 4.3.11 Σύζευξη σήματος

Σε δίκτυα γραμμών ηλεκτρικής ισχύος τριών φάσεων πρέπει να χρησιμοποιηθεί σύζευξη φάση με φάση ή φάση με ουδέτερο. Σ' αυτή την προσπάθεια παρατηρήθηκε ότι



η σύζευξη φάση με φάση γενικά παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα και προκαλεί λιγότερη ακτινοβολία. Η αλλαγή στην αλληλουχία των φάσεων (Σχήμα 4.23) γίνεται για να υπάρχει συμμετρική και πλήρης αξιοποίηση των τριών φάσεων του δικτύου αλλά και για να μειωθούν οι παρεμβολές που θα προέκυπταν στο σήμα μετάδοσης αν η μετάδοση διατηρούνταν στην ίδια φάση λόγω συνεχούς άθροισης ενισχυμένου σήματος και οδεύοντος σήματος επί της γραμμής ΜΤ.



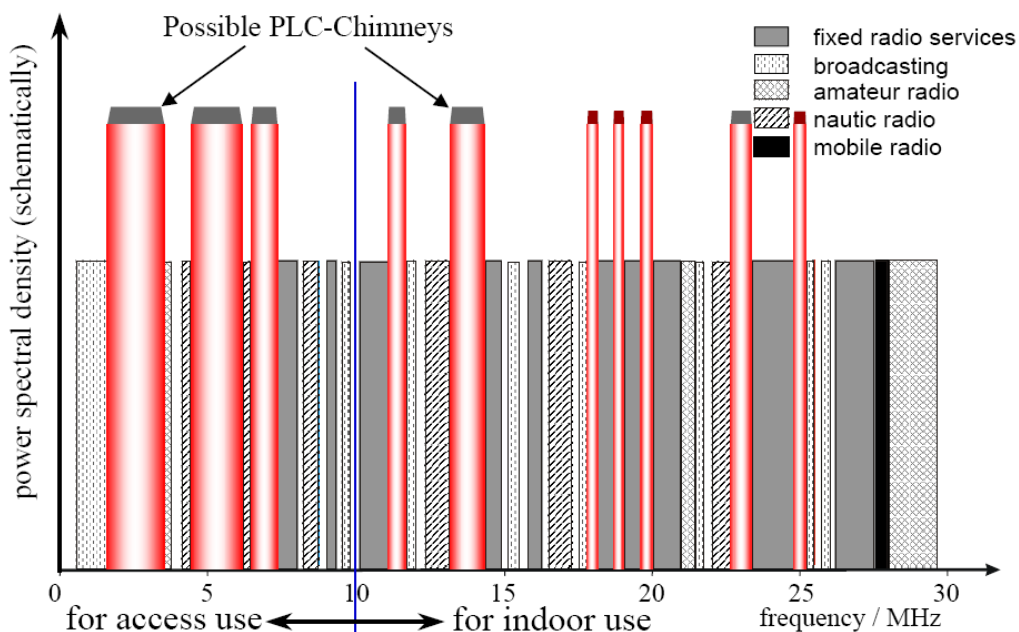
Σχήμα 4.23 Σύζευξη με αλλαγή στην αλληλουχία των φάσεων

Χρησιμοποιώντας την τεχνική της διαδοχικής σύζευξης του σήματος σε διαφορετικές φάσεις του τριφασικού δικτύου ΜΤ της ΔΕΗ δεν προκύπτουν προβλήματα παρεμβολών όπως θα προέκυπτε με την εισαγωγή του σήματος στην ίδια φάση. Αυτό οφείλεται στην απόσβεση που έχει υποστεί το αρχικό σήμα διανύοντας την απόσταση των 2 χιλιομέτρων που δεν επιδρά αθροιστικά στο αναγεννημένο σήμα που εισάγουν στη γραμμή οι επαναλήπτες. Μπορούν να εφαρμοσθούν τόσο επαγωγική όσο και χωρητική σύζευξη. Η επαγωγική σύζευξη θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε μέρη με χαμηλή σύνθετη αντίσταση, επομένως μέγιστο ρεύμα, ενώ η χωρητικότητα σύζευξης είναι πιο κατάλληλη για μέρη με υψηλή σύνθετη αντίσταση, επομένως υπό μέγιστη τάση. Η χωρητική σύζευξη είναι η τεχνική που προτιμάται να χρησιμοποιείται σε Υ/Σ ΜΣ, ιδιαιτέρως εάν το ρεύμα ξεπερνά το 2000 Α. Για Υ/Σ ΜΣ με μικρό και τυποποιημένο πίνακα διανομής, μία σύζευξη απλού σημείου με τον ζυγό (bus-bar) είναι η λύση. Για παλαιότερους τύπους Υ/Σ με μεγάλους πίνακες διανομής και πολλές καταναλώσεις (6 έως 10) είναι πλεονεκτικότερη η εφαρμογή μίας τεχνικής σύζευξης πολλαπλών καταναλώσεων μέσω χρησιμοποίησης μίας συσκευής Splitter/Combiner (S/C) χαμηλής απώλειας ισχύος. Για να εξυπηρετήσουμε μία απλή κατοικία, μία σύνδεση χωρητικής σύζευξης είναι η προτιμώμενη λύση λόγω της απλότητάς της. Σε κατοικίες πολλών

διαμερισμάτων εφαρμόζεται επαγωγική σύζευξη πολλαπλών σημείων, μετά τον μετρητή, για να παρακάμψουμε το οικιακό σύστημα διανομής. Γενικά η επιλογή της καταλληλότερης σύζευξης είναι κρίσιμη για την ακτίνα κάλυψης. Η σωστή επιλογή μπορεί να αποτρέψει απώλειες διάδοσης (10-30) dB.

#### **4.3.12 Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC)**

Ένα από τα σημαντικότερα θέματα που απασχολούν την τεχνολογία BPL και το οποίο αποτελεί ένα από τα τελευταία και ίσως δυσκολότερα βήματα για την ανάπτυξη της στην αγορά είναι αυτό της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Πολλές έρευνες έχουν γίνει και συνεχίζουν να γίνονται παγκοσμίως σχετικά με τα επιτρεπόμενα όρια λειτουργίας ενός BPL συστήματος. Όταν το σήμα μεταδίδεται μέσω μιας γραμμής ενέργειας, μέρος αυτού ακτινοβολείται και στον αέρα. Η γραμμή ενέργειας θα μπορούσε να θεωρηθεί σαν μία μεγάλη κεραία που λαμβάνει και εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά σήματα. Αυτά προκαλούν διαταραχές σε άλλα συστήματα επικοινωνιών, κυρίως ραδιοφωνικά, που χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο εύρος ζώνης. Υπάρχει λοιπόν η ανάγκη του εκμηδενισμού της αλληλεπαρεμβολής με σήματα άλλων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Η αυξημένη χρήση ηλεκτρικών συσκευών πάνω στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας οδηγεί σε αύξηση της «μόλυνσης» του πεδίου συχνοτήτων, η οποία πρέπει να κρατηθεί υπό έλεγχο. Οι αρχές που καθορίζουν τα standards λειτουργίας στοχεύουν να θέτουν με ακρίβεια τα αποδεκτά επίπεδα για τις μεταβολές τάσης (voltage variation), την εκπομπή αρμονικών (harmonics emission) και το αποδεκτό «τρεμόπαιγμα» της εκπομπής (flicker emission) των συσκευών. Είναι πολύ σημαντικό επομένως να βρεθούν τρόποι περιορισμού του μέγιστου επιπέδου εκπομπής ενέργειας. Στην περίπτωση όπου τα καλώδια βρίσκονται μέσα στο έδαφος η ακτινοβολήση τους είναι μηδαμινή όμως και τότε υπάρχει έντονη ακτινοβολία από τα κτίρια ενώ μέσα στα κτίρια τα καλώδια δεν είναι θωρακισμένα με αποτέλεσμα να ακτινοβολούν έντονα. Στο Σχήμα 4.24 φαίνονται τα πιθανά τμήμα του φάσματος συχνότητας που μπορεί να λειτουργεί ένα BPL δίκτυο χωρίς να παρενοχλεί τα αδειοδοτημένα συστήματα.



Σχήμα 4.24 Επιτρεπόμενο φάσμα συχνότητας για την λειτουργία BPL συστημάτων

Ορισμένα συμπεράσματα που έχουν οδηγήσει η έρευνα γύρω από το θέμα της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας για την παρούσα εποχή είναι τα εξής:

- Τα συστήματα επικοινωνιών μέσω γραμμών ηλεκτρικής ισχύος BPL με την πειραματική και εμπορική λειτουργία τους δημιούργησαν διεθνώς ανησυχία για παρεμβολές σε αδειοδοτημένους χρήστες ραδιοϋπηρεσιών, όπως είναι οι ραδιοερασιτέχνες.
- Οι ανησυχίες αυτές έχουν ληφθεί υπόψη και έχουν αντιμετωπιστεί σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης και FCC (Αμερικανική Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών - Federal Communications Commission) με συστάσεις και διατάξεις αντίστοιχα που προβλέπουν τεχνικές εξάλειψης παρεμβολών, όπως είναι η φασματική φραγή.
- Η νέα τεχνολογία των συστημάτων με διαμόρφωση OFDM παρέχει ήδη τη δυνατότητα της επιλεκτικής και προγραμματιζόμενης φασματικής φραγής και έχει ληφθεί υπόψη σε επιδείξεις, όπως το ευρωπαϊκό πρόγραμμα OPERA και δοκιμές σε ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο.

- Η τυποποίηση για τα συστήματα BPL δεν έχει ακόμη ολοκληρωθεί. Με την προσέγγιση των δικτύων, τα συστήματα BPL αντιμετωπίζονται ως ενσύρματα δίκτυα επικοινωνιών και οφείλουν να τηρούν τα ίδια όρια με άλλα ενσύρματα δίκτυα, όπως τα xDSL.
- Καίτοι δεν έχει ολοκληρωθεί η τυποποίηση, υπάρχει πληθώρα προδιαγραφών και αναφορών επιτόπιων μετρήσεων που μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για μετρήσεις σε εγκαταστημένα συστήματα BPL.
- Δεν υπάρχουν νομικοί ή ρυθμιστικοί περιορισμοί για την εγκατάσταση των συστημάτων BPL. Μάλιστα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή με τη σύσταση της 6/4/2005 προτρέπει τα κράτη μέλη να άρουν κάθε αδικαιολόγητο εμπόδιο κανονιστικού χαρακτήρα, ιδίως σε βάρος εταιρειών κοινής ωφέλειας, για την εγκατάσταση και λειτουργία συστημάτων ηλεκτρονικών επικοινωνιών μέσω γραμμών ηλεκτρικής ισχύος και για την παροχή υπηρεσιών ηλεκτρονικών επικοινωνιών μέσω των συστημάτων αυτών.

Έχουν προσδιοριστεί διάφορες τεχνικές και άλλα πιθανά μέσα για να μειωθούν οι κίνδυνοι παρεμβολής ή να διευκολυνθεί ο μετριασμός των προβλημάτων παρεμβολής όπως η ελαχιστοποίηση του επιπέδου ισχύος, η αποφυγή των τοπικά χρησιμοποιούμενων συχνοτήτων, η διαφορική μέθοδος έγχυσης σημάτων, η χρησιμοποίηση φίλτρων και τερματισμών σημάτων.

**ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ  
ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΟΥ  
BPL****5.1 Γενικά**

Η ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα σε απομακρυσμένους χρήστες αν και μοιάζει αρκετά απλή, είναι αρκετά πολύπλοκη. Οι τηλεπικοινωνιακές συσκευές μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους, ενώ η πληροφορία μπορεί να ανταλλάσσεται μέσω διαφορετικών δικτύων που χρησιμοποιούν διαφορετική τεχνολογία μετάδοσης. Για να γίνει κατανοητή αυτή η πολύπλοκη δομή η όλη τηλεπικοινωνιακή λειτουργία έχει μοντελοποιηθεί παγκοσμίως σε ξεχωριστά επικοινωνιακά στρώματα. Το ιεραρχικό αυτό μοντέλο θέτει συγκεκριμένες απαιτήσεις σε κάθε στρώμα και διασυνδέσεις ανάμεσα τους επιτρέποντας την ευκολότερη διαχείριση και μοντελοποίηση των διαφόρων πρωτοκόλλων. Σήμερα, τα περισσότερα τηλεπικοινωνιακά συστήματα βασίζονται στο πρότυπο ISO/OSI (International Standardization Organization/Open Systems Interconnection). Αυτό αποτελείται από επτά στρώματα, κάθε ένα από τα οποία αναλαμβάνει συγκεκριμένες διαδικασίες. Κάθε ανώτερο στρώμα αναλαμβάνει διαδικασίες όλο και πιο κοντά στις τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές. Παρακάτω παραθέτουμε εν συντομία τις λειτουργίες που αναλαμβάνει κάθε στρώμα του προτύπου.

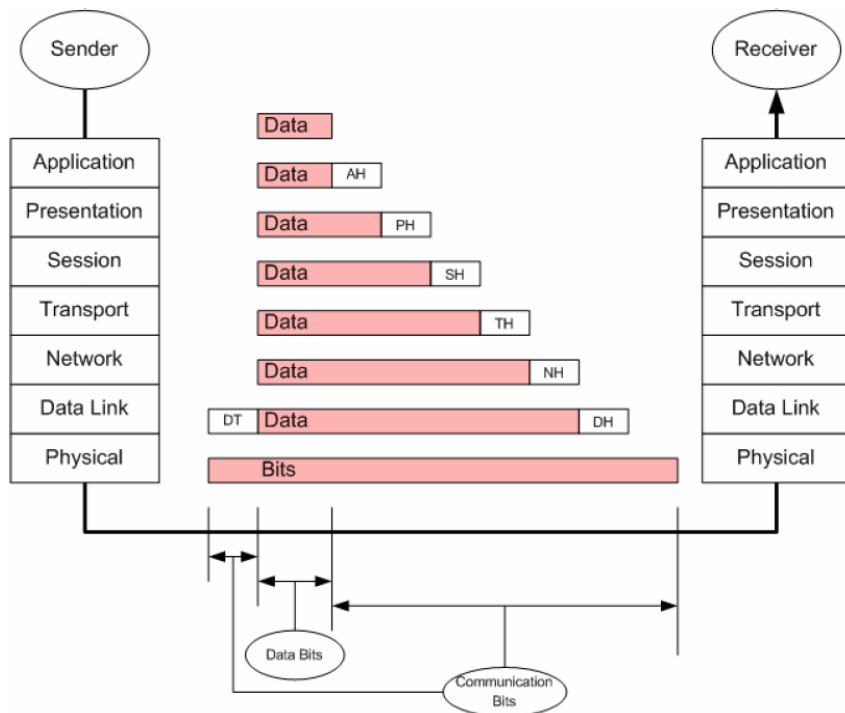
- **Στρώμα 1 ή Φυσικό Στρώμα.** Αναλαμβάνει την μετάδοση των bits στο τηλεπικοινωνιακό μέσο, την επίτευξη συγχρονισμού, την κωδικοποίηση, την διαμόρφωση κτλ.

- **Στρώμα 2 ή Στρώμα Σύνδεσης δεδομένων** το οποίο διαιρείται σε δύο υποστρώματα
  - **MAC - Ελέγχος πρόσβασης μέσου** (Medium Access Control). Καθορίζει τα πρωτόκολλα πρόσβασης.
  - **LLC - Ελέγχος λογικής σύνδεσης** (Logical Link Control). Καθορίζει την ανίχνευση σφαλμάτων και την διόρθωση τους,όπως και τον έλεγχο κυκλοφορίας.
- **Στρώμα 3 ή Στρώμα Δικτύου.** Είναι αρμόδιο για τη δημιουργία και τον τερματισμό των συνδέσεων,όπως και για την διαδικασία της δρομολόγησης.
- **Στρώμα 4 ή Στρώμα Μεταφοράς.** Καθορίζει τη μεταφορά της πληροφορίας από άκρο σε άκρο με τον τεμαχισμό των μηνυμάτων,τον έλεγχο ροής,την διαχείριση σφαλμάτων,την ασφάλεια δεδομένων κτλ.
- **Στρώμα 5 ή Στρώμα Συνόδου.** Ελέγχει την επικοινωνία μεταξύ των συμμετεχόντων τερματικών.
- **Στρώμα 6 ή Στρώμα Παρουσίασης.** Μετασχηματίζει τα δεδομένα σε τυπική μορφή που την αναμένει το επίπεδο εφαρμογών.
- **Στρώμα 7 ή Στρώμα Εφαρμογών.** Προσφέρει την διεπαφή στον τελικό χρήστη.

Τα στρώματα 5-7 είναι πιο κοντά στις εφαρμογές που αντιλαμβάνεται ο χρήστης και χαρακτηρίζονται ως Στρώματα Εφαρμογής Δικτύου (Application Network Layers). Αντιθέτως τα στρώματα 1-4 είναι υπεύθυνα για την διαδικασία της μετάδοσης σε ένα δίκτυο και ονομάζονται Στρώματα Μεταφοράς Δικτύου (Transport Layers). Όπως αναφέρθηκε το στρώμα Μεταφοράς αναλαμβάνει την από άκρο σε άκρο σύνδεση, εν αντιθέσει με τα στρώματα 1-3 που αναλαμβάνουν αποκλειστικά το κομμάτι της μετάδοσης δεδομένων πάνω σε διαφορετικά δίκτυα και υποδίκτυα. Έτσι,το στρώμα Μεταφοράς λειτουργεί σαν μια διεπαφή μεταξύ Στρωμάτων Μεταφοράς Δικτύου (Στρώματα 1-3) και των Στρωμάτων Εφαρμογής Δικτύου (Στρώματα 5-7).

Το Σχήμα 5.1 δείχνει το ISO/OSI μοντέλο και την μετάδοση δεδομένων από έναν αποστολέα σε ένα παραλήπτη. Παρατηρούμε πως τα bits που μεταδίδονται στο φυσικό στρώμα είναι πολλά περισσότερα από των αριθμό των αρχικών bits που στέλνει ο αποστολέας. Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε στρώμα αφού παραλάβει τα bits πληροφορίας από το παραπάνω επίπεδο προσάπτει σε αυτά δεδομένα επικεφαλίδας που

χρησιμοποιούνται για την επίτευξη των λειτουργιών που έχει αναλάβει το συγκεκριμένο επίπεδο.



Σχήμα 5.1 Μετάδοση δεδομένων κατά το ISO/OSI μοντέλο

## 5.2 Τεχνικές διαμόρφωσης για συστήματα BPL

Η επιλογή της τεχνικής διαμόρφωσης για ένα δεδομένο τηλεπικοινωνιακό σύστημα γίνεται βάσει της φύσης και των χαρακτηριστικών του μέσου στο οποίο θα γίνει η μετάδοση. Η γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργεί σε ένα εχθρικό περιβάλλον για μετάδοση σημάτων με υψηλά επίπεδα θόρυβου, πολλαπλή διάδοση και άλλα χαρακτηριστικά που γνωρίσαμε στο Κεφάλαιο 3. Η τεχνική διαμόρφωσης που θα επιλεγεί λοιπόν πρέπει να υπερπηδά αυτές τις δυσκολίες. Για παράδειγμα πρέπει να είναι ικανή να αντιμετωπίζει τα μη γραμμικά χαρακτηριστικά του καναλιού. Αυτή η μη γραμμικότητα του καναλιού μετάδοσης μπορεί να κάνει την αποδιαμόρφωση αρκετά πολύπλοκη και ακριβή αν όχι αδύνατη, για ρυθμούς μετάδοσης άνω των 10 Mbps για απλού φέροντος διαμόρφωση. Συνεπώς η διαμόρφωση πρέπει να λύνει αυτό το

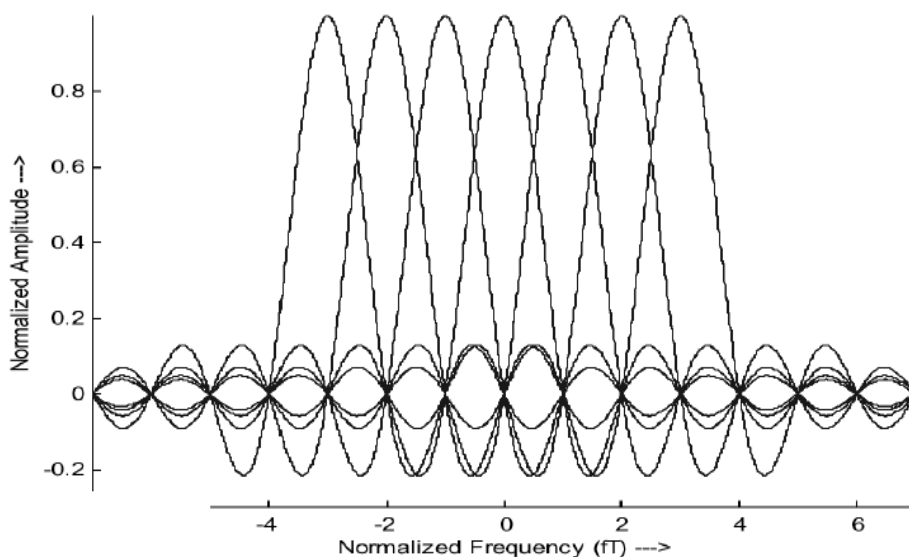
πρόβλημα χωρίς την ανάγκη για εξαιρετικά πολύπλοκη εξισορρόπηση (equalization). Η αναντιστοιχία αντιστάσεων των γραμμών μεταφοράς δημιουργούν κύματα ηχούς προκαλώντας διασπορά καθυστέρησης (delay spread) προκαλώντας επιπλέον προβλήματα. Επομένως η τεχνική που πρέπει να επιλεγεί πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλή προσαρμοστικότητα χρησιμοποιώντας και απορρίπτοντας συγκεκριμένες συχνότητες που μπορεί να ενοχλούν ή να χρησιμοποιούνται από άλλες υπηρεσίες όποτε δεν μπορούν προφανώς να χρησιμοποιηθούν για σήματα BPL. Σχετικές ερευνές επικεντρώθηκαν σε δύο συγκεκριμένες τεχνικές διαμόρφωσης που ικανοποιούν τα κριτήρια για υψηλή απόδοση σε περιβάλλοντα αφιλόξενα όπως αυτά του BPL. Αυτές είναι η πολυπλεξία με ορθογώνια διαίρεση συχνότητας OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) και η διαμόρφωση απλωμένου φάσματος (spread spectrum).

### **5.2.1 Ορθογώνια μέθοδος διαμόρφωσης με διαίρεση συχνοτήτων (OFDM)**

Στην πολλαπλού φέροντος διαμόρφωση (Multicarrier Modulation MCM) το συνολικό εύρος ζώνης του καναλιού χωρίζεται σε ένα πλήθος από υποκανάλια. Σε κάθε υποκανάλι, ένα φέρον διαμορφώνεται σε πολύ χαμηλότερο ρυθμό δεδομένων. Ένα τέτοιο σχήμα διαμόρφωσης μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από  $N$  ανεξάρτητα διαμορφωμένα φέροντα με διαφορετική συχνότητα το καθένα.

Η OFDM διαμόρφωση είναι μια ειδική εκδοχή της MCM διαμόρφωσης. Εδώ τα φέροντα είναι ορθογώνια μεταξύ τους, κάτι που επιτρέπει να επιλέγονται αρκετά κοντά το ένα με το άλλο από ότι στην απλή μέθοδο FDM. Συγκριτικά με μεθόδους όπως η BPSK και QPSK, η OFDM μεταδίδει σύμβολα που έχουν μεγάλη διάρκεια αλλά στενό εύρος ζώνης. Στην περίπτωση που η διάρκεια συμβόλου είναι μικρότερη ή ίση με την μέγιστη διασπορά καθυστέρησης, το λαμβανόμενο σήμα εμπεριέχει επικαλυπτόμενες εκδοχές των μεταδιδόμενων συμβόλων, φαινόμενο που ονομάζεται διασυμβολική παρεμβολή (Symbol Interference ISI).





**Σχήμα 5.2 Παρουσίαση OFDM συμβόλων ως προς τη συχνότητα**

Συνήθως τα συστήματα OFDM σχεδιάζονται έτσι ώστε το κάθε υποφέρον να είναι αρκετά στενό ώστε να υποστεί επίπεδη εξασθένηση. Αυτό επίσης επιτρέπει στα υποφέροντα να παραμένουν ορθογώνια όταν το σήμα μεταδίδεται σε ένα κανάλι επιλεκτικής εξασθένησης. Αν το διαμορφωμένο κατά OFDM σήμα μεταδοθεί σε ένα τέτοιο κανάλι κάθε υποφέρον θα υποστεί διαφορετική εξασθένηση. Κωδικοποιώντας τα υποκανάλια δεδομένων τα σφάλματα που επηρεάζουν ξεχωριστά τα εξασθενημένα υποφέροντα ανιχνεύονται και συνήθως διορθώνονται στο δέκτη. Για ένα σύστημα μετάδοσης, με δεδομένο εύρος φάσματος (bandwidth), ο ρυθμός μετάδοσης των συμβόλων στο OFDM είναι κατά πολύ μικρότερος από ότι σε ένα σύστημα απλού φέροντος (single carrier). Για παράδειγμα, για ένα σύστημα απλού φέροντος με BPSK διαμόρφωση ο ρυθμός συμβόλων συμπίπτει με το ρυθμό μετάδοσης των bits. Στην OFDM το εύρος φάσματος για μετάδοση χωρίζεται σε  $N_c$  φέροντα, έχοντας ως αποτέλεσμα ρυθμό μετάδοσης συμβόλων μικρότερο κατά  $N_c$  φορές από ότι για μονό φέρον. Η μείωση αυτή του ρυθμού μετάδοσης καθιστά το OFDM εκ φύσεως πιο ανθεκτικό σε φαινόμενα αλληλοπαρεμβολής συμβόλων (Inter Symbol Interference) που οφείλεται σε διάδοση πολλαπλών μονοπατιών (multipath propagation). Η διάδοση πολλαπλών μονοπατιών σε συστήματα με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δημιουργεί φαινόμενα αλληλοπαρεμβολής συμβόλων, όταν σήματα που μεταδίδονται σε

διαφορετικά μονοπάτια υφίστανται διαφορετική χρονική καθυστέρηση από το κύριο κανάλι με αποτέλεσμα στον δέκτη τμήματα αυτών να αλληλεπικαλύπτονται. Στην OFDM διαμόρφωση, τέτοιο πρόβλημα εμφανίζεται όταν ένα OFDM σύμβολο επικαλύπτει κάποιο άλλο. Καθώς δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ διαδοχικών OFDM συμβόλων, η μεταξύ τους παρεμβολή θα έχει ως αποτέλεσμα ένα διαταραγμένο σήμα. Μάλιστα, όσο πιο περιορισμένο είναι το χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης τόσο πιο έντονο είναι το φαινόμενο της αλληλοπαρεμβολής συμβόλων και πρέπει να αντιμετωπιστεί. Ένας τρόπος για να το αντιμετωπίσουμε αυτό, είναι να εισάγουμε ένα διάστημα ασφαλείας (Guard Interval) μεταξύ των OFDM συμβόλων. Επιπλέον με το να μεταδίδονται διαδοχικά σύμβολα σε παράλληλα διαφορετικά υποκανάλια, η αλλοίωση που θα συμβεί δεν θα είναι σε μεγάλο συνεχόμενο τμήμα του σήματος και έτσι θα είναι εφικτή η ανάκτηση του στον δέκτη. Το διάστημα ασφαλείας μπορεί να είναι είτε μηδενικά σύμβολα είτε ακόμα κυκλική επέκταση του ίδιου του OFDM συμβόλου. Όσο η καθυστέρηση πολυδιόδευσης (multipath propagation) που εισάγεται στο κανάλι δεν υπερβαίνει τη διάρκεια του διαστήματος ασφαλείας, δεν υπάρχει πρόβλημα αλληλοπαρεμβολής των συμβόλων και δεν απαιτείται εξισορρόπηση του καναλιού.

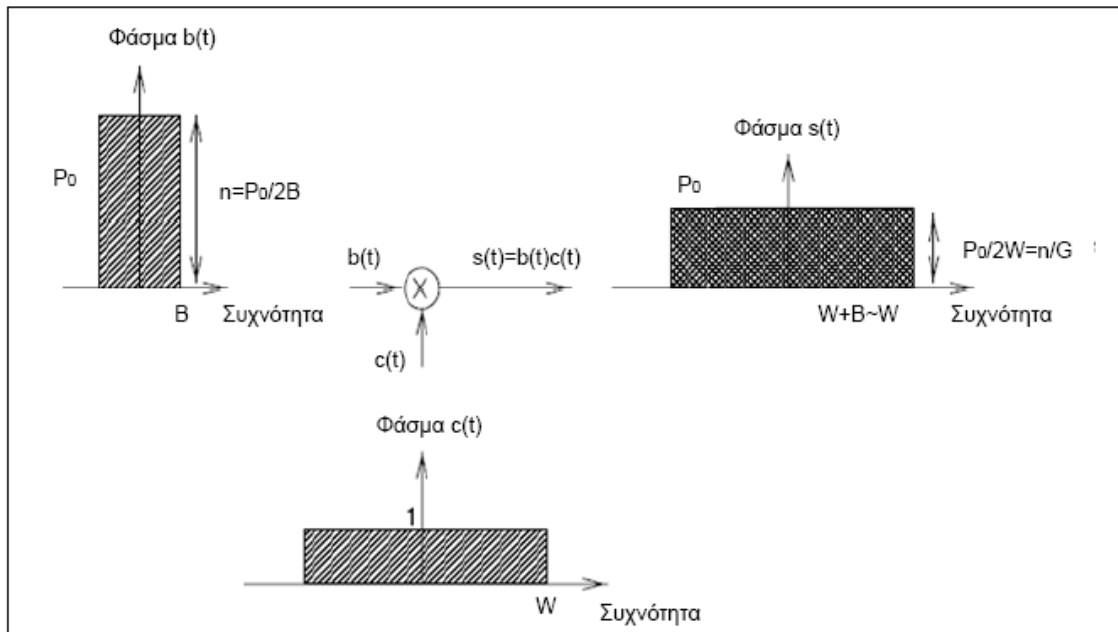
### 5.2.2 Διαμόρφωση απλωμένου φάσματος

Στην τεχνική απλωμένου φάσματος το σήμα πληροφορίας “απλώνεται” σε όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης για να γίνει η μετάδοση. Το αρχικό σήμα πληροφορίας  $b(t)$  με εύρος ζώνης  $B$  και διάρκεια  $T_s$  μετατρέπεται σε ένα σήμα με πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης ( $W \gg B$ ) μετά τον πολλαπλασιασμό του με ένα σήμα εξάπλωσης  $c(t)$  όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.3. Η διεύρυνση του φάσματος μπορεί να μετρηθεί από μια παράμετρο που λέγεται κέρδος επεξεργασίας ή κέρδος εξάπλωσης και ορίζεται ως

$$G = \frac{W}{B} = WT_s \quad (5.1)$$

Τα πλεονεκτήματα της τεχνικής απλωμένου φάσματος είναι η ασφάλεια μετάδοσης, η προστασία από παρεμβολές από άλλα συστήματα, η ανθεκτικότητα από φαινόμενα διαλείψεων και πολύοδης διάδοσης. Οι κυριότερες τεχνικές είναι το απευθείας σύστημα (DS), το σύστημα με διαπήδηση συχνότητας, με διαπήδηση χρόνου

και η πολυκαναλική τεχνική. Βεβαίως υπάρχει η δυνατότητα συνδυασμού των παραπάνω τεχνικών για την δημιουργία υβριδικών μορφών που συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα κάθε τεχνικής.



Σχήμα 5.3 Αρχή της διαπλάτυνσης του εύρους ζώνης

### 5.2.3 Σύγκριση τεχνικών διαμόρφωσης για συστήματα BPL

Πολλές έρευνες έχουν γίνει για την επιλογή των κατάλληλων τεχνικών διαμόρφωσης για τα δίκτυα BPL συγκρίνοντας διαφορετικές υλοποιήσεις και συνδυασμό αυτών με τις βασικές τεχνικές (OFDM και τεχνική απλωμένου φάσματος). Για την αποφυγή έντονης εξασθένησης του OFDM σήματος στο κανάλι, που μερικώς προκαλείται από την επιλεκτική ως προς την συχνότητα εξασθένηση, έχει προταθεί μια μέθοδος για έλεγχο της ισχύος των υποφερόντων. Αυτή η λύση αναφέρεται στον έλεγχο της ισχύος κάθε υποφέροντος του OFDM σήματος με στόχο την μεγιστοποίηση του μέσου SNR κάθε υποφέροντος που μεταδίδεται. Η υλοποίηση πρέπει να είναι ελαστική ώστε να μην αυξάνεται η συνολική ισχύς της εκπομπής. Το βασικό μειονέκτημα της τεχνικής απλωμένου φάσματος είναι ότι πετυχαίνει μικρότερο ρυθμό μετάδοσης

δεδομένων, συγκριτικά με την OFDM τεχνική. Η OFDM τεχνική εκτός από τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης παρέχει ικανοποιητική ανθεκτικότητα στις διαταραχές του καναλιού, μια ελαστικότητα με την επιλογή και την απόρριψη συγκεκριμένων καναλιών και την βέλτιστη χρησιμοποίηση του καναλιού. Ωστόσο, η τεχνική απλωμένου φάσματος πλεονεκτεί ως προς την συμμόρφωση στην ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, αφού εκπέμπει χαμηλό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο στο περιβάλλον. Μία γρήγορη σύγκριση του OFDM με άλλες υπάρχουσες μεθόδους διαμόρφωσης φανερώνει την υπεροχή της μεθόδου για χρήση της σε επικοινωνίες γραμμών ενέργειας.

- Η OFDM επιτυγχάνει πολύ καλύτερη εκμετάλλευση του διαθέσιμου φάσματος σε σχέση με τα συστήματα εξαπλωμένου φάσματος.
- Η OFDM επιτρέπει ιδιαίτερα ελαστική διανομή και χρήση ενός συγκεκριμένου εύρους φάσματος. Επιπρόσθετα, συγκεκριμένες συχνότητες μέσα στη ζώνη συχνοτήτων μπορούν να κατασταλούν, ώστε να αποτραπούν ενδεχόμενες παρεμβολές με άλλα συστήματα.
- Με την OFDM είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν δύο ή περισσότερες μη συνεχόμενες ζώνες συχνοτήτων για τη μετάδοση μίας και μόνο ροής δεδομένων.
- Κάθε φέρον μπορεί να διαμορφωθεί ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα, με διαφορετικές μεθόδους διαμόρφωσης, εάν χρειάζεται. Τυπικά παραδείγματα διαμόρφωσης φέροντος αποτελούν οι FSK, PSK και QAM με διαφορετικό πλήθος από bits για κάθε φέρον. Με αυτόν τον τρόπο ο λόγος σήμα προς θόρυβο μπορεί να οριστεί βέλτιστος για κάθε φέρον.
- Η OFDM είναι αξιολογώτα πιο εύρωστη ως προς την αλληλοπαρεμβολή συμβόλων και τις καθυστερήσεις που προκαλούνται κατά τη μετάδοση στο κανάλι σε σχέση με τα συστήματα στενής ζώνης. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η παράλληλη μετάδοση σε πολλαπλά φέροντα οδηγεί σε μεγαλύτερης διάρκειας σύμβολα. Επιπλέον, η αλληλοπαρεμβολή συμβόλων μπορεί τελείως να εκμηδενιστεί εισάγοντας διαστήματα ασφαλείας (Guard Intervals) ή κυκλικά προθέματα (Cyclic Prefixes) ανάμεσα στα σύμβολα.
- Η OFDM είναι πιο ανθεκτικό στην παρουσία θορύβου στενής ζώνης, επειδή τέτοιες παρεμβολές συνήθως καταστρέφουν ένα μόνο φέρον. Έτσι με

κατάλληλους κώδικες διόρθωσης λαθών τα κατεστραμμένα bits μπορούν θεωρητικά να ανακτηθούν.

- Σε συνδυασμό με έναν καλά σχεδιασμένο διαφυλλωτή (interleaver) και ένα forward error correction σχήμα κωδικοποίησης, το OFDM μπορεί να αντεπεξέλθει ουσιαστικά απέναντι στον κρουστικό θόρυβο (impulsive noise).

Παρά τα πολλαπλά πλεονεκτήματα για τη χρήση του OFDM σε συστήματα με γραμμές ενέργειας, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματά τα οποία οφείλουμε να επισημάνουμε.

- Η μέγιστη ισχύς που απαιτείται για μεγάλο αριθμό φερόντων είναι περίπου 10 dB μεγαλύτερη από ένα σύστημα μονού φέροντος. Όμως, υπάρχουν ήδη γνωστές μέθοδοι για τη μείωση αυτής της τιμής της μέγιστης ισχύος ενός OFDM συστήματος χωρίς να επηρεάζεται η απόδοσή του.
- Η πολυπλοκότητα ενός δέκτη OFDM είναι αισθητά μεγαλύτερη από έναν απλό δέκτη FSK αλλά τα πλεονεκτήματα, που αναφέρθηκαν προηγουμένως, δικαιολογούν την επιλογή του. Υπάρχουν δέκτες υλοποιημένοι με FFT (Fast Fourier Transform) που η πολυπλοκότητα τους είναι σχεδόν ανάλογη του αριθμού των φερόντων  $N$  και συγκεκριμένα  $N \log_2 N$ .
- Καθώς ένας αποδιαμορφωτής OFDM εκτελεί επεξεργασία σε επίπεδο blocks εμφανίζεται μία εγγενής καθυστέρηση. Πάντως για τις τυπικές εφαρμογές επικοινωνιών σε γραμμές ενέργειας αυτή η καθυστέρηση είναι αμελητέα.

## 5.3 Διαχείριση σφαλμάτων

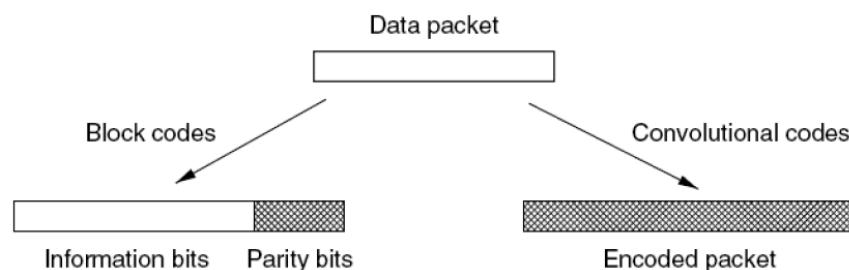
### 5.3.1 Γενικά

Η ισχύς των BPL σημάτων πρέπει βάσει των κανόνων να είναι κάτω από ένα θεσπισμένο όριο. Από την άλλη πλευρά, το επίπεδο σήματος πρέπει να καθιστά ικανή την μετάδοση μέσω των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, φτάνοντας σε ικανοποιητικά επίπεδα SNR. Από την στιγμή που το επίπεδο SNR βρίσκεται στα επιθυμητά όρια, οι μηχανισμοί διόρθωσης σφαλμάτων δεν χρειάζεται να λειτουργούν.

Περισσότερες δυσκολίες στα BPL συστήματα δημιουργούνται με την επιβολή κρουστικού θορύβου ο οποίος έχει μεγαλύτερη ισχύ από τον θόρυβο περιβάλλοντος. Σε αυτήν την περίπτωση ο SNR δεν είναι αρκετός και ο θόρυβος οδηγεί σε σφάλματα μετάδοσης. Αν η διάρκεια της διαταραχής είναι μικρή το φυσικό στρώμα μπορεί κατάλληλα να αντιμετωπίσει το αποτέλεσμα τέτοιου θορύβου. Αντιθέτως, αν η διαταραχή διαρκέσει περισσότερο, θα χρειαστεί απαραίτητα να λειτουργήσουν οι μηχανισμοί διόρθωσης λαθών και αναμετάδοσης δεδομένων. Σε πολλά συστήματα, ο Forward Error Correction (FEC) και οι μηχανισμοί διαφύλλωσης χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση των διαταραχών. Έτσι, το σύστημα καθίσταται ικανό να διαχειριστεί τέτοιου είδους καταστάσεις διορθώνοντας τα εσφαλμένα bits των πακέτων δεδομένων. Αν και οι FEC μηχανισμοί είναι αποτελεσματικοί, δεν μηδενίζεται η πιθανότητα τα μεταδιδόμενα δεδομένα να έχουν ακόμα σφάλματα. Σε αυτήν την περίπτωση, τα εσφαλμένα δεδομένα θα αναμεταδοθούν από έναν ARQ (Automatic Repeat reQuest) μηχανισμό. Η χρησιμοποίησή αυτού του μηχανισμού μπορεί να μειώσει την πιθανότητα σφάλματος σε ακόμα πιο χαμηλά επίπεδα, η οποία πλέον μπορεί μόνο να περιοριστεί από την παραμένουσα πιθανότητα σφάλματος του κώδικα CRC (Cyclic Redundancy Check) που χρησιμοποιείται για αναγνώριση σφαλμάτων. Άλλα συστήματα χρησιμοποιούν το υβριδικό ARQ/FEC μηχανισμό, που είναι ένας συνδυασμός των δύο τεχνικών, λύση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στα BPL συστήματα. Η τεχνική ARQ είναι αποτελεσματική σε μεταδόσεις που δεν θέλουν εγγυήσεις καθυστέρησης. Στις άλλες περιπτώσεις όπως είναι η τηλεφωνία ο ARQ μηχανισμός προσθέτει μια επιπλέον καθυστέρηση που δεν είναι αποδεκτή. Οι ARQ μηχανισμοί είναι χρήσιμοι σε περιπτώσεις διαταραχών που διαρκούν σχετικά μικρό χρονικό διάστημα και επηρεάζουν μία ή περισσότερες μονάδες δεδομένων. Οι διαταραχές που διαρκούν περισσότερο κάνουν ένα ή περισσότερα κανάλια μη διαθέσιμα για ένα μεγαλύτερο διάστημα. Σε αυτήν την περίπτωση ο ARQ μηχανισμός θα επαναμεταδίδει συνεχώς τα δεδομένα κάνοντας αναποτελεσματική την μετάδοση. Για τον λόγο αυτό τα διαταραγμένα για μεγάλο χρονικό διάστημα κανάλια δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται μέχρι την εξάλειψη της διαταραχής. Αν ένα τέτοιο κανάλι χρησιμοποιηθεί, κρίνεται αναγκαία η ανακατανομή καναλιών (channel reallocation) ώστε να η σύνδεση να συνεχίσει επιτυχώς χρησιμοποιώντας άλλα ελεύθερα κανάλια.

### 5.3.2 Forward error correction (FEC)

Η Forward Error Correction είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την βελτίωση της ποιότητας σύνδεσης σε ψηφιακά τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Πρόκειται για κώδικες διόρθωσης λαθών που λειτουργούν με την προσθήκη πλεοναζόντων bits, τα οποία εντοπίζουν και διορθώνουν τα λάθη στον δέκτη, στα πακέτα πληροφορίας πριν από την μετάδοση έτσι ώστε να αποφεύγονται οι επαναμεταδόσεις και να ελαχιστοποιούνται οι καθυστερήσεις. Αυτού του είδους η ανίχνευση και διόρθωση λαθών πραγματοποιείται στο φυσικό επίπεδο. Η προσθήκη πλεονασμού παρά το ότι κάνει την μετάδοση πιο αξιόπιστη μειώνει παράλληλα τον ωφέλιμο ρυθμό διάδοσης καθώς πλέον ένα μεγάλο μέρος από τα bits που αποστέλλονται δεν μεταδίδουν κάποια ωφέλιμη πληροφορία. Επίσης τα συνηθισμένα FEC σχήματα, στερούνται ευελιξίας και για τον λόγο αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να εγγυηθούν συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) λαμβάνοντας υπ' όψη τις χειρότερες συνθήκες καναλιού. Έτσι όταν ένα κανάλι είναι ελεύθερο λαθών (error free) αυτό οδηγεί σε μη απαραίτητες υπερχειλίσεις (overhead) και μειώνει το throughput.



**Σχήμα 5.4** Οι κύριες κατηγορίες FEC: block και συνελκτικοί κώδικες

Οι κώδικες αυτοί χωρίζεται σε block και συνελκτικούς κώδικες. Οι block κώδικες προσθέτουν ένα σταθερό αριθμό από bits ισοτιμίας σε ένα τμήμα πληροφορίας των οποίων το μήκος είναι σταθερό. Οι συνελκτικοί κώδικες δημιουργούν μια τροποποιημένη έξοδο δεδομένων που έχει μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης από την ροή εισόδου. Οι διάφοροι κώδικες έχουν διαφορετικές ιδιότητες αναφορικά με την εκτέλεση,

την απόδοση και την πολυπλοκότητα τους. Όλοι οι κώδικες πρέπει να ικανοποιούν τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Πρέπει να έχουν υψηλό ρυθμό ώστε να μεγιστοποιούν την ρυθμαπόδοση (throughput).
- Πρέπει να έχουν υψηλή απόδοση διόρθωσης σφαλμάτων στον επιθυμητό SNR για να ελαχιστοποιούν την ισχύ μετάδοσης που χρειάζεται η μετάδοση.
- Πρέπει να έχουν χαμηλή πολυπλοκότητα για να μειώσουν το μέγεθος και το κόστος των δεκτών.
- Πρέπει να εισάγουν πολύ χαμηλή καθυστέρηση, ώστε να μην είναι αισθητή η πτώση της ποιότητας υπηρεσιών ειδικά σε υπηρεσίες φωνής.

### 5.3.3 Μηχανισμοί ARQ

Το πρωτόκολλο ARQ είναι ικανό μόνο για εντοπισμό λαθών και είναι ανίκανο να διορθώσει οποιοδήποτε πακέτο που έχει με λάθη. Αντί για διόρθωση των λαθών του, το πακέτο αυτό αναμεταδίδεται αυτόματα γεγονός που επιμηκύνει τον χρόνο που απαιτείται για την επιτυχή μετάδοση του. Ο δέκτης επιβεβαιώνει κάθε επιτυχημένα μεταδομένο πακέτο μεταδίδοντας ένα πακέτο ACK το οποίο φέρει το ακολουθιακό αριθμό του πακέτου που επιβεβαιώνεται. Επίσης, χρησιμοποιούνται και τα πακέτα αρνητικής επιβεβαίωσης NAK όταν ο δέκτης για κάποιο λόγο θεωρεί ότι υπήρξε αποτυχία στη μετάδοση ενός πακέτου ή όταν αυτό ληφθεί με λάθη. Όταν ένα πακέτο δεν επιβεβαιώνεται ή λαμβάνεται το αντίστοιχο NAK τότε επαναμεταδίδεται. Η διαδικασία αυτή διαρκεί συνήθως μέχρι να αποσταλεί επιτυχώς το πακέτο ή να ξεπεραστεί κάποιο όριο επαναμεταδόσεων ή χρόνου. Είναι προφανές ότι το ARQ δε μπορεί να είναι αποδεκτό για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (real-time services) καθώς οδηγεί σε ποικίλες καθυστερήσεις (delays), που επιδεινώνονται όσο αυξάνει ο αριθμός των δεκτών, παρά το ότι επιτυγχάνει λογικά επίπεδα ρυθμαπόδοσης εξαιτίας της απλότητας του. Τα πρωτόκολλα ARQ αντιστοιχούν σε εκείνα τα πρωτόκολλα του στρώματος ζεύξης δεδομένων που ο πομπός περιμένει την επαλήθευση για να προχωρήσει στη νέα μετάδοση. Τα πιο αποδοτικά και ανθεκτικά πρωτόκολλα ARQ τα



οποία ανήκουν στην κατηγορία πρωτοκόλλων ολισθαίνοντος παραθύρου (sliding window) είναι το send-and-wait ARQ, το go back-n και το selective reject πρωτόκολλο.

## 5.4 BPL MAC Στρώμα

### 5.4.1 Γενικά

Βασικός ρόλος του MAC στρώματος είναι να ελέγχει την πρόσβαση πολλών χρηστών που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο χρησιμοποιώντας το ίδιο μέσο και η οργάνωση της πληροφορίας που τρέχει ανάμεσα σε χρήστες που χρησιμοποιούν διαφορετικές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες. Γενικότερα, οι διαδικασίες που αναλαμβάνει το MAC στρώμα μπορούν να χωριστούν σε τρεις τομείς που θα αναλυθούν παρακάτω. Αυτές είναι:

- Πολλαπλή πρόσβαση/προσπέλαση
- Διαμερισμός πόρων
- Έλεγχος συμφόρησης

Εδώ περιγράφονται τα στοιχεία του MAC στρώματος που εφαρμόζονται στα BPL δίκτυα και περιγράφονται τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του BPL MAC στρώματος. Το στρώμα MAC είναι βασικό κομμάτι της ιεραρχίας πρωτοκόλλων σε κάθε τηλεπικοινωνιακό σύστημα που χρησιμοποιεί μετάδοση σε κοινό μέσο. Οι συνθήκες μετάδοσης, το περιβάλλον και τα χαρακτηριστικά κάθε δικτύου μπορούν να διαφοροποιήσουν τον τρόπο υλοποίησης και τα ειδικά χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου. Στην περίπτωση της τεχνολογίας BPL, υπάρχει χαμηλού ρυθμού μετάδοση κάτω από την παρουσία θορύβου που δημιουργεί διαταραχές στην όλη διαδικασία. Από την άλλη πλευρά, για να καθίσταται το σύστημα ανταγωνιστικό έναντι των άλλων τεχνολογιών το BPL πρέπει να παρέχει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών και ικανοποιητική ποιότητα υπηρεσιών (QoS). Βασικοί παράγοντες που επιδρούν στην δημιουργία του κατάλληλου MAC στρώματος για το BPL είναι η τοπολογία δικτύου, τα φαινόμενα διαταραχών, οι παρεχόμενες υπηρεσίες και το σύστημα μετάδοσης. Η τεχνική για πολλαπλή πρόσβαση και η στρατηγική για διαμερισμό πόρων βρίσκονται στο πυρήνα

των απαιτήσεων του MAC στρώματος ενώ πρέπει να είναι εφαρμόζονται σύμφωνα με την τεχνική μετάδοσης όπως είναι η OFDM διαμόρφωση. Τα MAC πρωτόκολλα πρέπει να πρέπει να οργανώνουν σωστά την πρόσβαση των χρηστών μέσα στο αφιλόξενο περιβάλλον μετάδοσης των BPL δικτύων και να επιτρέπουν την ορθή ενσωμάτωση των διαφόρων μηχανισμών διόρθωσης σφαλμάτων (όπως ο ARQ) για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων. Επίσης, τα πρωτόκολλα πρέπει να προσφέρουν ικανοποιητική εξασφάλιση των QoS απαιτήσεων για την σύνθετη διακίνηση πληροφοριών που προκύπτει από την ταυτόχρονη λειτουργία συνδέσεων διαφορετικών υπηρεσιών. Μια ακόμα απαίτηση που έχουμε από το στρώμα, είναι η εξασφάλιση υψηλής λειτουργικότητας και οικονομικής αποδοτικότητας, κάτι το οποίο μπορεί να εξασφαλιστεί από τη βέλτιστη διαχείριση των διαθέσιμων πόρων από τους μηχανισμούς του BPL MAC στρώματος.

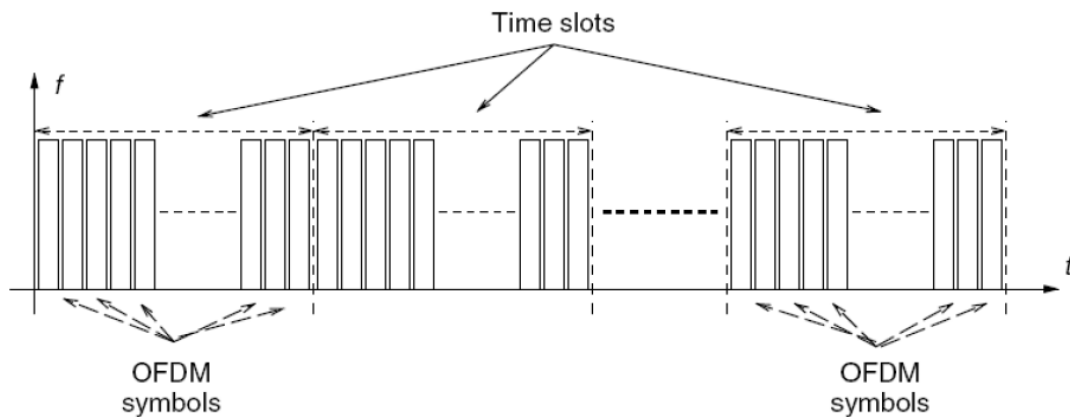
#### 5.4.2 Τεχνικής πολλαπλής πρόσβασης

Η πολλαπλή πρόσβαση ή πολλαπλή προσπέλαση είναι μια μέθοδος διαμοιρασμού των πόρων του δικτύου σε πολλαπλά τμήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους σταθμούς του δικτύου για την απόδοση τους σε υπηρεσίες διαφόρων τύπων για την εξυπηρέτηση των χρηστών. Διαφορετικοί χρήστες μπορούν να μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης χωρίς σφάλματα όταν τα σήματα τους είναι ορθογώνια μεταξύ τους, δηλαδή η ετεροσυσχέτιση τους που δίνει το μέτρο της ομοιότητας τους είναι μηδενική. Τέλεια ορθογωνιότητα είναι αδύνατο να επιτευχθεί στην πράξη οπότε στοχεύουμε στην όσο μικρότερη επίδραση μεταξύ των διαφορετικών σημάτων που μεταδίδονται πάνω στο κοινό μέσο. Γενικά, τρεις είναι οι βασικές τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιούνται από τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα:

- **TDMA** (Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου).
- **FDMA** (Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση συχνότητας).
- **CDMA** (Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα).

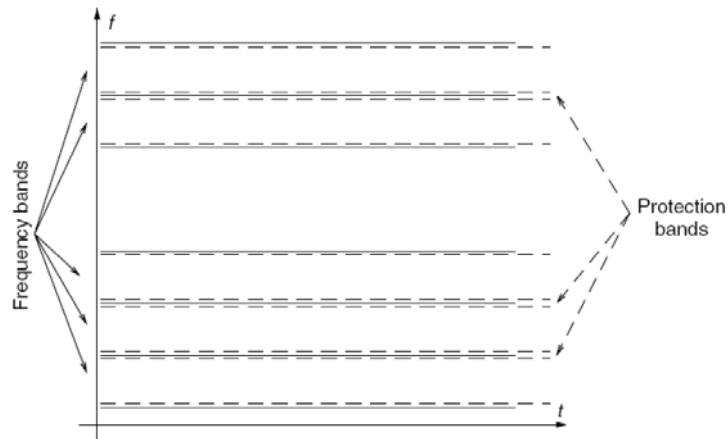
Στην TDMA ο χρόνος διαιρείται σε χρονικές σχισμές ή χρονοθυρίδες εκ των οποίων κάθε μία μπορεί να αναλαμβάνει την μετάδοση διαφόρων τύπων πληροφορίας όπως

φωνή, δεδομένα κτλ. Βασική προϋπόθεση είναι ο συγχρονισμός μεταξύ των χρηστών. Συνήθως μία χρονοθυρίδα αποδίδεται σε έναν μόνο χρήστη. Σύμφωνα με την TDMA τεχνική, οι μονάδες δεδομένων που μεταφέρονται στο χρόνο των σχισμών, χρησιμοποιούν ολόκληρο το διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων του μέσου διάδοσης. Τα OFDM συστήματα είναι και αυτά βασισμένα στο διαχωρισμό με χρονοθυρίδες, όπου η συνολική πληροφορία μεταδίδεται μέσα από έναν αριθμό από OFDM σύμβολα με συγκεκριμένη διάρκεια. Συνεπώς η εφαρμογή TDMA τεχνικών μοιάζει να είναι κατάλληλη λύση για ένα δίκτυο βασισμένο σε OFDM διαμόρφωση όπως είναι το BPL, σχηματίζοντας ένα OFDM/TDMA σύστημα. Σε αυτήν την περίπτωση η πληροφορία διαχωρίζεται σε χρονοθυρίδες όπου κάθε μία μεταφέρει ένα ακέραιο αριθμό από OFDM σύμβολα.



**Σχήμα 5.5 OFDM/TDMA Σύστημα**

Ενας άλλος τρόπος για τον διαμοιρασμό των διαθέσιμων πόρων σε διαφορετικούς χρήστες είναι αυτός του διαχωρισμού του συνολικού φάσματος συχνοτήτων σε επιμέρους τμήματα. Η FDMA τεχνική παρέχει έναν αριθμό από κανάλια μετάδοσης που είναι απλωμένα σε ένα εύρος συχνοτήτων. Ο ρυθμός δεδομένων ενός καναλιού εξαρτάται από το εύρος ζώνης που του αποδίδεται. Όπως και στην TDMA τεχνική μπορούν να υπάρχουν κανάλια με σταθερό ή μεταβλητό ρυθμό υλοποιώντας ένα δυναμικό καταμερισμό συχνοτήτων. Για την εξασφάλιση της ορθογωνιότητας χρησιμοποιείται ένα διάστημα φύλαξης μεταξύ των FDMA ζωνών συχνοτήτων.



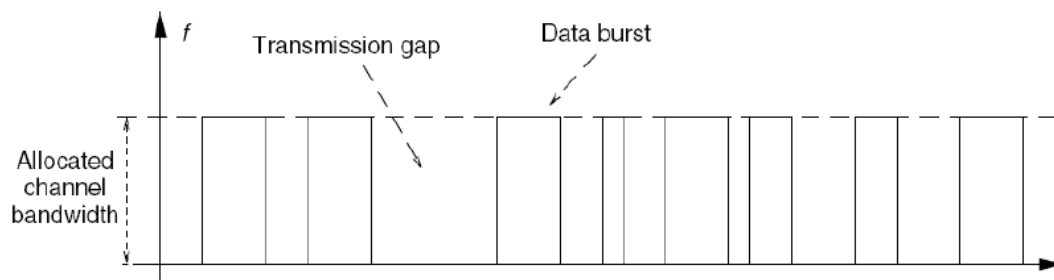
**Σχήμα 5.6 FDMA σύστημα**

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της FDMA έναντι της TDMA τεχνικής είναι η ανθεκτικότητά της στις διαταραχές στενής ζώνης και στις επιλεκτικής συχνότητας παρεμβολές. Έτσι, οι διαταραχές μπορούν εύκολα να αποφευχθούν με την ανακατανομή των υπάρχοντων συνδέσεων που υποφέρουν από θόρυβο σε άλλες ελεύθερες συχνότητες. Η ίδια διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις προβλήματων EMC στα BPL δίκτυα και αποφυγεί η χρήση των επικίνδυνων συχνοτήτων.

Στην CDMA τεχνική, η επικοινωνία μεταξύ των χρηστών γίνεται ταυτόχρονα στην ίδια περιοχή συχνοτήτων και κάθε χρήστης καταλαμβάνει συνεχώς όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης του καναλιού. Συνεπώς δεν υπάρχει απαίτηση για φασματικό ή χρονικό διαχωρισμό. Σε κάθε πομπό, το προς μετάδοση σήμα με πληροφοριακό περιεχόμενο συνδυάζεται με μια ψηφιακή ακολουθία που παράγεται τοπικά και έχει δύο σημαντικές ιδιότητες. Κατά πρώτον, κάθε ακολουθία μπορεί να διαχωριστεί από όλες τις παραλλαγές της που προκύπτουν με χρονική ολίσθηση της αρχικής ακολουθίας. Κατά δεύτερον, κάθε ακολουθία διαφοροποιείται από όλες τις άλλες που απαρτίζουν το σύνολο των ψηφιακών ακολουθιών που χρησιμοποιούνται. Οι ιδιότητες αυτές, καθιστούν δυνατό το διαχωρισμό των λαμβανόμενων σημάτων ακόμα και όταν χρησιμοποιούν το ίδιο εύρος ζώνης και εκπέμπονται στο ίδιο χρονικό διάστημα.

### 5.4.3 Τεχνικές διαμοιρασμού των πόρων

Ο σκοπός των στρατηγικών διαμερισμού πόρων είναι η οργάνωση της πρόσβασης των διαφόρων χρηστών που χρησιμοποιούν τους ίδιους πόρους του δικτύου. Η οργάνωση της μετάδοσης στην κάτω ζεύξη είναι εύκολη και πλήρως ελεγχόμενη από το σταθμό βάσης. Σε αυτήν την κατεύθυνση, ο σταθμός βάσης μεταβιβάζει δεδομένα σε ένα ή πολλούς σταθμούς του δικτύου ή μεταδίδει δεδομένα σε όλους μαζί τους σταθμούς. Σε κάθε περίπτωση, υπάρχουν δεδομένα μόνο από τον σταθμό βάσης στο κανάλι οπότε δεν απαιτείται συγχρονισμός μεταξύ των σταθμών. Από την άλλη πλευρά, πολλοί σταθμοί ανταγωνίζονται πρόσβαση στο μέσο στην άνω ζεύξη. Κάθε σταθμός ενεργεί ανεξάρτητα και μπορεί να μεταδίδει δεδομένα κάθε στιγμή. Επόμενως, καθίσταται αναγκαία η παρουσία κάποιου MAC πρωτοκόλλου για να επιβάλλει την σωστή αξιοποίηση του μέσου και να αποτρέψει συγκρούσεις πακέτων από διαφορετικούς στάθμους. Τα MAC πρωτόκολλα μπορούν να χωριστούν σε πρωτόκολλα με σταθερή πρόσβαση και σε πρωτόκολλα με δυναμική πρόσβαση. Τα σταθερής πρόσβασης πρωτόκολλα αναθέτουν μια σταθερή προκαθορισμένη χωρητικότητα σε κάθε χρήστη ανεξάρτητη της ανάγκης του, για όλη την διάρκεια μιας σύνδεσης όπως γίνεται στην σταθερή τηλεφωνία. Αυτές οι στρατηγικές είναι κατάλληλες για σταθερού εύρους ζώνης ζήτηση όπως αυτή της σταθερής τηλεφωνίας αλλά ακατάλληλες και ασύμφορες για υπηρεσίες που έχουν χαρακτηριστικό τις ριπές δεδομένων. Έτσι, αν ζητηθεί πρόσβαση στο διαδίκτυο, η αποδιδόμενη χωρητικότητα παραμένει αχρησιμοποίητη στα κενά μετάδοσης (transmission gaps), ενώ σε ανάγκη μεγάλου ρυθμού δεδομένων δηλαδή στα μέγιστα μετάδοσης (transmission peaks) δεν επαρκεί. Μια αναπαράσταση της τυχαίας αλληλουχίας των δύο τύπων καταστάσεων φαίνεται στο Σχήμα 5.7.



Σχήμα 5.7 Κενά και ενεργά τμήματα μετάδοσης κατά την αποστολή πακέτων

Αντιθέτως, τα πρωτόκολλα δυναμικής πρόσβασης, είναι κατάλληλα όπου υπάρχουν απαιτήσεις υψηλών ρυθμών και καλής ποιότητας υπηρεσιών. Αυτά τα πρωτόκολλα, μπορούν να χωριστούν σε πρωτόκολλα ανταγωνισμού (contention) και σε πρωτόκολλα διαιτησίας (arbitration). Σύμφωνα με την τεχνική ανταγωνισμού, οι σταθμοί χρησιμοποιούν το μέσο τυχαία, κάτι το οποίο δημιουργεί συγκρούσεις μεταξύ των δεδομένων των διαφόρων χρηστών αφού κάθε σταθμός δεν γνωρίζει πότε στέλνει ο άλλος σταθμός. Από την άλλη πλευρά, τα πρωτόκολλα διαιτησίας παρέχουν ένα συντονισμό μεταξύ των σταθμών, εξασφαλίζοντας μια εναρμονισμένη πρόσβαση στο μέσο. Σε αυτήν την περίπτωση, οι σταθμοί έχουν πρόσβαση στο μέσο σύμφωνα με ένα καθορισμένο τρόπο απόφεύγοντας έτσι τις συγκρούσεις αλλά προσθέτοντας παράλληλα μια επιπλέον καθυστέρηση για αυτήν την διαδικασία. Βασικές λύσεις όπως οι μέθοδοι ALOHA και CSMA μπορούν να αναπτυχθούν περαιτέρω βελτιώνοντας την απόδοσή τους. Έτσι, τα τυχαίας πρόσβασης πρωτόκολλα, μπορούν να αναπτύξουν καλύτερους μηχανισμούς αποφυγής συγκρούσεων για να μειώσουν το ποσοστό σφαλμάτων στο δίκτυο, ενώ τα πρωτόκολλα διαιτησίας μπορούν να γίνουν πιο ευέλικτα ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες στο δίκτυο μειώνοντας έτσι τις καθυστερήσεις μετάδοσης. Επιπλέον, οι δύο αυτές υποκατηγορίες πρωτοκόλλων μπορούν να συνδυαστούν δημιουργώντας τα υβριδικά πρωτόκολλα τα οποία ενσωματώντας τα πλεονεκτήματα κάθε ομάδας πρωτοκόλλων πετυχαίνουν μεγαλύτερη αποδοτικότητα και καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών στους χρήστες των διαφόρων υπηρεσιών.

## 5.5 Έλεγχος ποιότητας υπηρεσιών

Κάθε τηλεπικοινωνιακό σύστημα απαιτεί την εξασφάλιση συγκεκριμένης ποιότητας υπηρεσιών που πρέπει να διαρκεί καθ' όλη την διάρκεια μιας σύνδεσης. Οι εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσιών μπορούν να χαρακτηριστούν μέσω των παρακάτω παραμέτρων:

- **Πιθανότητα αποκλεισμού** (Blocking Probability). Είναι η πιθανότητα ένας χρήστης που κάνει αίτηση για συμμετοχή σε μια υπηρεσία να μην καταφέρει να εξασφαλίσει σύνδεση επειδή δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι.
- **Πιθανότητα τερματισμού σύνδεσης** (Dropping Probability). Είναι η πιθανότητα μια σύνδεση που λειτουργεί κανονικά να διακοπεί λόγω μείωσης της συνολικής χωρητικότητας του δικτύου (π.χ από εισερχόμενες αιτήσεις συνδέσεων με υψηλότερη προτεραιότητα ή από φαινόμενα διαταραχών και θορύβου).
- **Ρυθμός μετάδοσης**. Είναι ο απαραίτητος ρυθμός μετάδοσης για μια υπηρεσία.
- **Ποσοστό απωλειών** (Loss probability). Είναι η πιθανότητα τμήμα της μεταφερόμενης πληροφορίας να χαθεί κατά την μετάδοση.
- **Καθυστέρηση μετάδοσης** (Transmission delay). Είναι ο χρόνος μετάδοσης μιας μονάδας δεδομένων.

Κατά τη λειτουργία ενός συστήματος, οι συνθήκες που επικρατούν συνεχώς αλλάζουν. Αυτό οφείλεται κατά ένα ποσοστό στους χρήστες που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο και χρησιμοποιούν διαφορες υπηρεσίες του δικτύου με διαφορετική συχνότητα και ένταση κάθε φορά, παράγοντες συνεχώς μεταβαλλόμενοι καθ' ολη τη διάρκεια του χρόνου. Σε ένα δίκτυο με ιδιαίτερα και εχθρικά περιβάλλοντα θορύβου, ο διαθέσιμος ρυθμός μετάδοσης είναι φυσικό να αλλάζει συνεχώς συναρτήσει αυτών των διαταραχών. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν άμεσα την μετάδοση των δεδομένων και να υποβιβάσουν την ποιότητα υπηρεσιών σε μη αποδεκτά επίπεδα. Για την αποφυγή τέτοιων περιπτώσεων χρησιμοποιούνται διάφοροι CAC μηχανισμοί για να βάλουν όρια στον αριθμό των συνδέσεων στο δίκτυο. Παρά τους μηχανισμούς αυτούς όμως, η ποιότητα υπηρεσιών πρέπει να διαχειρίζεται μέσω των τεχνικών του MAC επιπέδου. Ο έλεγχος του ρυθμού μετάδοσης και της καθυστέρησης μετάδοσης των διαφόρων συνδέσεων μπορεί να ρυθμιστεί μέσω παραμέτρων των MAC πρωτοκόλλων σύμφωνα πάντα με τις συνθήκες που επικρατούν κάθε χρονική στιγμή. Με τον έλεγχο του χρόνου καθυστέρησης, επηρεάζονται άμεσα οι πιθανότητες αποκλεισμού και τερματισμού σύνδεσης καθώς και οι απώλειες πακέτων. Συνεπώς, αν παρατηρείται υποβιβασμός ποιότητας υπηρεσιών σε μια σύνδεση, αυτή πρέπει να έρθει σε προνομιακή θέση ώσπου το επίπεδο ποιότητας γίνει ικανοποιητικό. Προφανώς η προνομιούχα σύνδεση δεν πρέπει να γίνεται εμπόδιο σε άλλες συνδέσεις του δικτύου. Αυτή η αναβάθμιση της σύνδεσης με

την χαμηλή ποιότητα μπορεί να γίνει προβιβάζοντας την πρόσκαιρα σε κλάση με υψηλότερη προτεραιότητα από αυτήν που βρίσκεται έως ότου φτάσει στα επιθυμητά επίπεδα.

## **5.6 Μηχανισμός CAC**

Κάθε τηλεπικοινωνιακό σύστημα έχει την δυνατότητα να προσφέρει μια πεπερασμένη χωρητικότητα και να υποστηρίξει συγκεκριμένο αριθμό συνδέσεων ταυτόχρονα. Επομένως, αν οι υπηρεσίες με μεγαλύτερη QoS λειτουργούν ικανοποιητικά, η διαθέσιμη χωρητικότητα φτάνει εύκολα κοντά στα όρια της. Για τον λόγο αυτόν τέτοια δίκτυα χρησιμοποιούν συχνά Call/connection Admission Control μηχανισμούς (CAC), που περιορίζουν τον αριθμό των συνδέσεων στο δίκτυο σύμφωνα με την παραδεκτό επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών και ρυθμού μετάδοσης που μπορεί να εξασφαλιστεί για συγκεκριμένες συνδέσεις που ζητούν διαφορετικές υπηρεσίες. Ο περιορισμός του αριθμού των συνδέσεων σε ένα δίκτυο καθορίζεται από την λεγόμενη πολιτική ελέγχου αιτήσεων (admission policy). Στα συστήματα BPL τα επίπεδα διαταραχών και θορύβου πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν στον σχεδιασμό των καταλλήλων CAC μηχανισμών.

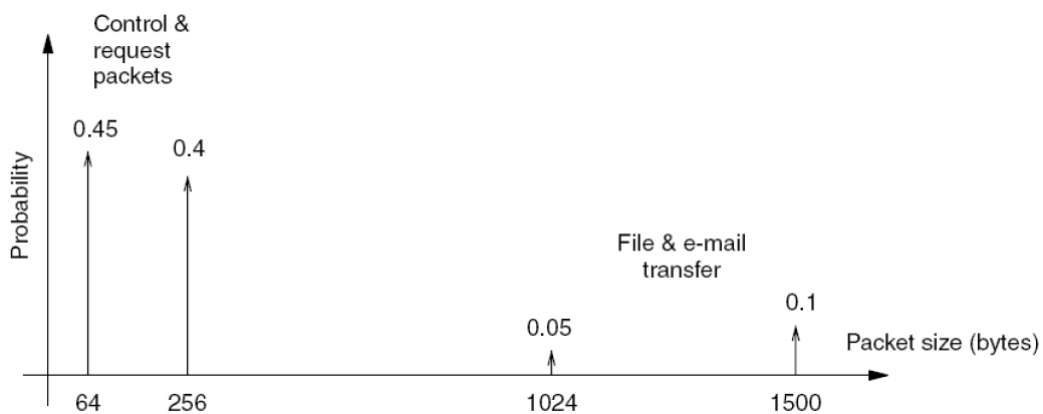
## **5.7 Πιθανότητα εμφάνισης μεγέθους πακέτων σε δίκτυα BPL**

Ενας τυπικός χρήστης πέρα από την πρόσβαση σε σελίδες και την χρήση www εφαρμογών χρησιμοποιεί και άλλου τύπου υπηρεσίες. Μηνύματα e-mail ανταλλάσσονται καθημερινά μεταξύ απομακρυσμένων χρηστών. Αυτά τα μηνύματα χρησιμοποιούν αρχεία μεγεθών πολύ μεγαλύτερα από το μέσο μέγεθος αρχείων. Ωστόσο, η συχνότητα μετάδοσης τέτοιων αρχείων στην άνω ζεύξη είναι πολύ μικρότερη από τις www αιτήσεις. Έτσι μπορεί να υποτεθεί ότι η e-mail κίνηση είναι καθορισμένη από το υπάρχων πρότυπο για την άνω ζεύξη στον τομέα των μεγάλων πακέτων (1500 και 1024bytes) με σχετικά μικρή πιθανότητα δημιουργίας.

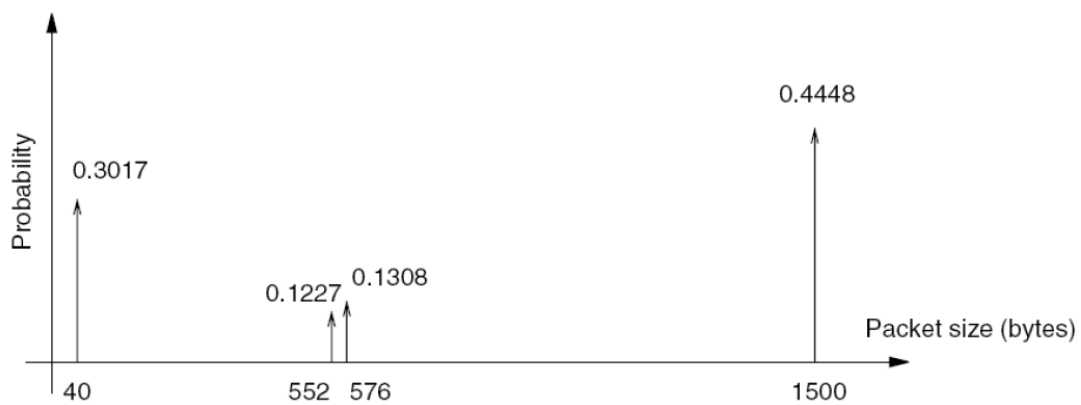


Μια ακόμη εφαρμογή είναι η FTP (File Transmission Protocol) που χρησιμοποιείται για την λήψη αρχείων από απομακρυσμένους εξυπηρετητές. Ωστόσο, η χρήση της FTP μειώνεται με την αύξηση της www διακίνησης που δύναται να παρέχει παρεμφερείς διεργασίες. Η μετάδοση video αρχείων είναι μια πολύ δημοφιλής υπηρεσία που φαίνεται να έχει ανάλογο μέλλον. Οι ρυθμοί μετάδοσης που απαιτούνται για video είναι πολύ μεγαλύτεροι από αυτούς για χρήση www εφαρμογών και τα χαρακτηριστικά κίνησης, καθορίζονται από μια συνεχή μετάδοση δεδομένων που συμφωνεί με την συμπεριφορά της streaming κλάσης διακίνησης. Οι streaming υπηρεσίες προκαλούν μεγάλο φορτίο στην κάτω ζεύξη. Στην άνω ζεύξη, τα μηνύματα ελέγχου μεταδίδονται με ένταση που εξαρτάται από την ποικιλομορφία των streaming ρυθμών μετάδοσης. Από την άλλη πλευρά, το μοντέλο για την κάτω ζεύξη που καθορίζει μεγαλύτερη πιθανότητα για μεγάλα αρχεία μπορεί να γίνει δεκτό προσεγγιστικά για την streaming κάτω ζεύξη.

Μια νέα μόδα στον χώρο των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, είναι τα διαδικτυακά παιχνίδια. Εδώ, οι χρήστες που παίζουν εδραιώνουν μια μόνιμη σύνδεση στο διαδίκτυο με τους άλλους χρήστες και τον εξυπηρετητή των παιχνιδιών. Ο αριθμός αυτού του είδους χρηστών συνεχώς αυξάνεται. Συνεπώς, είναι δύσκολη η θέσπιση αντίστοιχου ξεχωριστού προτύπου κίνησης και έτσι αναπαρίστανται ως τμήμα της συνολικής διακίνησης διαδικτύου. Είναι όμως γνωστό, ότι χαρακτηριστικά αυτής της κίνησης είναι η σε έντονο ρυθμό ανταλλαγή μικρών μηνυμάτων μεταξύ των συμβαλλόμενων χρηστών κάτι που μπορεί να παρασταθεί με μια μεγαλύτερη πιθανότητα μικρών πακέτων στο πολυτροπικό μοντέλο κίνησης. Στα παρακάτω Σχήματα, απεικονίζεται η σχέση μεταξύ μεταξύ του μεγέθους των πακέτων τυπικών εφαρμογών στα BPL δίκτυα και της πιθανότητας που έχουν να εμφανιστούν αυτά τα πακέτα σε σχέση με το σύνολο. Στο Σχήμα 5.8 φαίνεται η σχέση αυτή για την άνω ζεύξη ενώ στο Σχήμα 5.9 για την κάτω ζεύξη.



Σχήμα 5.8 Πιθανότητα εμφάνισης πακέτων στο δίκτυο BPL για την άνω ζεύξη



Σχήμα 5.9 Πιθανότητα εμφάνισης πακέτων στο δίκτυο BPL για την κάτω ζεύξη

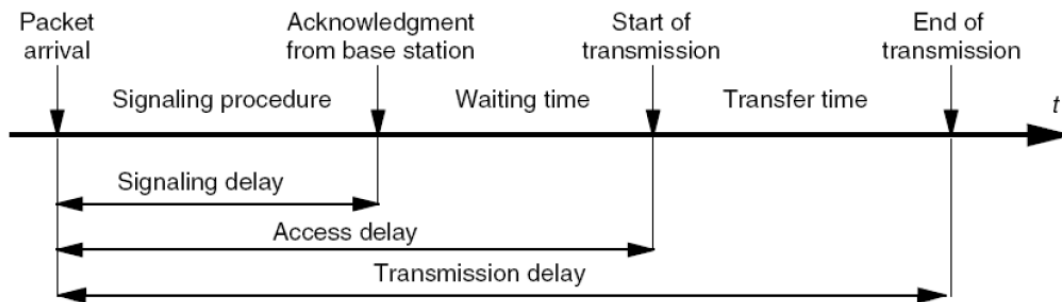
## 5.8 Καθυστέρηση πακέτου

Οι καθυστερήσεις που εισάγονται στο επίπεδο του MAC στρώματος είναι

- Καθυστέρηση σηματοδοσίας (signaling delay).
- Καθυστέρηση πρόσβασης (process delay).
- Καθυστέρηση μετάδοσης (transmission delay).

Η καθυστέρηση σηματοδοσίας ορίζεται σαν τον χρόνο που χρειάζεται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας σηματοδοσίας. Περιλαμβάνει τον χρόνο μεταξύ άφιξης του

πακέτου στην ουρά μετάδοσης ενός σταθμού και την λήψη βεβαιώσεων από τον σταθμό βάσης. Η καθυστέρηση πρόσβασης μετρείται από την άφιξη του πακέτου μέχρι την αρχή της μετάδοσης. Περιλαμβάνει την καθυστέρηση σηματοδοσίας και τον χρόνο αναμονής, που είναι ο χρόνος από την λήψη της βεβαιώσης από τον σταθμό βάσης έως την αρχή της μετάδοσης. Η καθυστέρηση μετάδοσης είναι ο χρόνος μεταξύ άφιξης του πακέτου και τέλους της μετάδοσης.



Σχήμα 5.10 Καθυστέρηση πακέτου

## 5.9 IPv6 και BPL

Η πιο αισιόδοξη εκτίμηση, θα κατατάξει τα BPL δίκτυα στα πιο εκτεταμένα δίκτυα στον κόσμο και είναι πιθανή η δημιουργία ενός παγκόσμιου Έξυπνου ηλεκτρικού δικτύου με δισεκατομύρια ηλεκτρικών και άλλων συσκευών και διαφορετικών χρηστών. Έτσι, κρίνεται υψηλή η ανάγκη για την παρουσία του IPv6 πρωτοκόλλου που θα μπορεί να καλύψει αυτόν τον μεγάλο αριθμό των συσκευών και θα οδηγήσει σε καλύτερα αποτελέσματα επικοινωνίας και διαχείρισης από τους παρόχους των υπηρεσιών. Το ήδη υπάρχον πρωτόκολλο Internet IPv4, αποδείχτηκε ένα σταθερό και δυνατό πρωτόκολλο, που κάλυψε σε πολύ μεγάλο βαθμό τις απαιτήσεις για τις οποίες είχε σχεδιαστεί και επικράτησε τελικά στο παγκόσμιο διαδίκτυο. Εντούτοις, εδώ και μερικά είχαν αρχίσει να διαφαίνονται σημαντικά προβλήματα στα οποία το συγκεκριμένο πρωτόκολλο αδυνατούσε να δώσει λύση. Μεγάλες εξελίξεις συντελέστηκαν στον τομέα των δικτυακών επικοινωνιών και νέες εφαρμογές ήρθαν στο προσκήνιο, τις οποίες όμως το IPv4 δεν μπορεί να υποστηρίξει και να εκμεταλλευτεί στον απαιτούμενο βαθμό. Οι

σημαντικότερες απαιτήσεις που κατέστησαν επιτακτική την ανάγκη για ένα νέο πρωτόκολλο δικτύου είναι

- Ο τεράστιος αριθμός των νέων διασυνδεδεμένων υπολογιστών και δικτύων.
- Η ανάγκη για υποστήριξη εφαρμογών πολυμέσων (multimedia) και real-time μεταδόσεων δεδομένων με επιπλέον απαιτήσεις για ποιότητα υπηρεσιών.
- Η εξάπλωση των ασύρματων δικτύων όπου κινούμενοι χρηστές που υποστηρίζουν το IPv4 πρωτόκολλο δεν έχουν τη δυνατότητα να διατηρήσουν την συνοδό και την διεύθυνση τους, όταν περνούν από το ένα υποδίκτυο στο άλλο .
- Η αδυναμία των εξυπηρετητών κορμού να κρατήσουν στους πίνακες τους τον τεράστιο αριθμό δικτύων που υπάρχουν σήμερα στο διαδίκτυο.
- Η ανάγκη για απλούστερο configuration. Οι IPv4 διευθύνσεις πρέπει να ανατεθούν είτε χειροκίνητα (manual) από τον διαχειριστή, είτε να χρησιμοποιηθεί κάποιο stateful address configuration protocol όπως το DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol).
- Οι απαιτήσεις για ασφάλεια σε επίπεδο IP.

Λύση στα πιο πάνω προβλήματα έρχεται να δώσει το IPng (IP next generation) ή αλλιώς IPv6 Πρωτόκολλο Δικτύου. Το μέγεθος της IPv6 διεύθυνσης είναι 16 bytes (128 bit), το τετραπλάσιο δηλαδή της μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενης IPv4 διεύθυνσεως, που με ένα αισιόδοξο υπολογισμό αντιστοιχίζει περίπου  $6 \times 10^{20}$  διευθύνσεις σε κάθε τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας της γης. Έτσι, πλέον ο κάθε χρήστης μπορεί να έχει πολλαπλές IP διευθύνσεις, εκτός από τους υπολογιστές του (κινητούς και σταθερούς), στα PDAs, στο κινητό τηλέφωνο, σε τηλεοράσεις, ραδιόφωνα και γενικά σε οποια ηλεκτρική οικιακή συσκευή επιθυμεί. Επιπλέον, δεν υπάρχει κανένας πλέον λόγος συνέχισης της χρήσης λύσεων τύπου NAT που χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό σήμερα.

## 5.10 Ασφάλεια δικτύων BPL

Το BPL δίκτυο είναι βασισμένο σε ένα διαμοιραζόμενο μέσο (γραμμές ηλεκτρικού δικτύου) και το θέμα της ασφάλειας είναι πολύ σημαντικό και την μεταφορά

δεδομένων. Σε ένα πολύ απλοποιημένο σενάριο, το θέμα της ασφάλειας μπορεί να διαχωριστεί σε δύο επίπεδα:

- Ένα σχετικό με τις εφαρμογές μεταξύ των servers των παρόχων και των τελικών χρηστών.
- Ένα σχετικό με τους ενσωματωμένους μηχανισμούς στις BPL δικτυακές διατάξεις.

Το πρώτο επίπεδο είναι προσανατολισμένο στο επίπεδο εφαρμογών κοινό για κάθε είδος δικτύου και σχετικά ανεξάρτητο από τις δικτυακές συσκευές (modems). Το BPL σύστημα είναι ένα επιπέδου 2 δίκτυο. Συνεπώς είναι διάφανο σε όλους τους μηχανισμούς ασφάλειας που πραγματοποιούνται σε ανώτερα στρώματα. Πέρα από τους απαραίτητους μηχανισμούς αυθεντικότητας, το BPL δίκτυο μπορεί να υποστηρίξει μηχανισμούς VLAN με VPN συνδεσιμότητα για να διασφαλίσει την ασφάλεια. Για το λόγο αυτό, μηχανισμοί κρυπτογραφίας πρέπει να υποστηρίζονται από τις BPL συσκευές. Ένα βασικό επίπεδο ασφάλειας μπορεί να εξασφαλιστεί από το DES-56 bit πρωτόκολλο κωδικοποίησης που πρέπει να υποστηρίζεται από τις BPL συσκευές. Σήμερα βεβαίως, το πρωτόκολλο αυτό δίνει περιορισμένη ασφάλεια οπότε το πιο ισχυρό AES-128 bit πρωτόκολλο πρέπει να υποστηρίζεται.

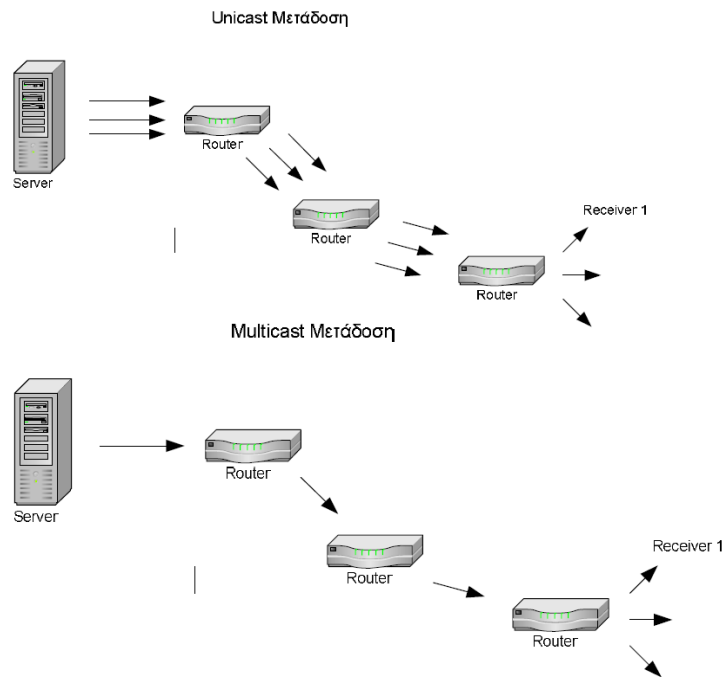
## 5.11 Multicasting

Η δυνατότητα multicast, επιτρέπει σε μια μονάδα να αποστέλλει δεδομένα σε πολλούς προορισμούς ταυτόχρονα εισάγοντας μόνο ένα αντίγραφο των δεδομένων στο δίκτυο BPL. Στη συνέχεια, το δίκτυο είναι σε θέση να αποστείλει τα δεδομένα στους πολλαπλούς χρήστες προορισμού. Η δυνατότητα multicast μπορεί να θεωρηθεί ως τμήμα μιας δέσμης που αποτελείται από τους ακόλουθους τρεις βασικούς τύπους επικοινωνιών.

- **Unicast.** Είναι η μετάδοση από μια πηγή σε ένα προορισμό (point-to-point).
- **Multicast.** Είναι η μετάδοση από μια πηγή σε πολλαπλούς προορισμούς (point-to-multipoint). Ο όρος, επίσης, περιλαμβάνει και τις περιπτώσεις όπου μπορεί να υπάρχουν περισσότερες από μια πηγές, όπως, για παράδειγμα, η τηλεδιάσκεψη,

όπου κάθε συμμετέχων μπορεί να θεωρηθεί ως μια πηγή που μεταδίδει δεδομένα στους υπόλοιπους συμμετέχοντες.

- **Broadcast.** Είναι η μετάδοση από μια πηγή σε όλους τους δέκτες που βρίσκονται μέσα σε ένα τομέα.



**Σχήμα 5.11 Unicast και Multicast μετάδοση**

Τα multicast πρωτόκολλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πληθώρα εφαρμογών, όπως η αναβάθμιση λογισμικού, τα καταναμημένα υπολογιστικά συστήματα (distributed computing), η διανομή περιεχομένου πολυμέσων (multimedia content distribution) κτλ. Το βασικό πλεονεκτήμα των multicast πρωτοκόλλων, είναι ότι αν είναι επιθυμητή η μετάδοση της ίδιας πληροφορίας σε πολλαπλούς αποδέκτες, δεν χρειάζεται να γίνουν πολλαπλά αντίγραφα και αρκεί μόνο ένα. Στη συνέχεια, το δίκτυο είναι υπεύθυνο να προωθήσει τα πακέτα προς όλους τους προορισμούς. Ως εκ τούτου, μειώνεται το φορτίο του δικτύου.

## 5.12 Οικογένεια πρωτοκόλλων 802.11

Σήμερα, υβριδικά δίκτυα BPL χρησιμοποιούν ασύρματο μέσο διάδοσης για την μετάδοση σήματος από τις μονάδες MT (π.χ GEN 2) στους τελικούς χρήστες όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 4. Το 802.11 και η οικογένεια πρωτοκόλλων του b,a και g είναι τα βασικά πρωτόκολλα ασύρματης δικτύωσης και περιγράφονται παρακάτω.

- **802.11b.** Το 802.11b έχει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης 11Mbps και χρησιμοποιεί το CSMA/CA ως μέθοδο προσπέλασης μέσου, όπως και το αρχικό πρότυπο. Λόγω του CSMA/CA, στην πράξη ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να πετύχει μια 802.11b εφαρμογή είναι 5.9Mbps σε TCP και 7.1Mbps σε UDP. Το 802.11b είναι μια άμεση επέκταση της τεχνικής διαμόρφωσης DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Τεχνικά, το 802.11b χρησιμοποιεί την Complementary Code Keying (CCK) ως τεχνική διαμόρφωσης, που είναι μία διαφοροποίηση του CDMA.
- **802.11a.** Το πρότυπο 802.11a, χρησιμοποιεί το ίδιο βασικό πρωτόκολλο με το αρχικό πρότυπο, λειτουργεί στη ζώνη 5GHz και χρησιμοποιεί 52 sub-carrier OFDM με ένα μέγιστο raw ρυθμό μετάδοσης 54Mbps, το οποίο παράγει ρεαλιστική καθαρή επιτεύξιμη ρυθμοαπόδοση περίπου στα 20Mbps. Ο ρυθμός μετάδοσης μπορεί να μειωθεί σε 48, 36, 24, 18, 12, 9 έπειτα 6Mbps, αν είναι απαραίτητο. Το 802.11a, δεν είναι διαλειτουργικό με το 802.11b, εκτός εάν χρησιμοποιηθεί εξοπλισμός που χρησιμοποιείται και στα δύο πρότυπα. Δεδομένου ότι η ζώνη συχνοτήτων 2.4GHz χρησιμοποιείται ευρέως, η χρησιμοποίηση της ζώνης 5GHz δίνει στο 802.11a το πλεονέκτημα της μικρότερης παρεμβολής αλλά περιορίζει τη χρήση του 802.11a σε LOS.
- **802.11g.** Αυτή η μορφή λειτουργεί στα 2.4GHz (όπως το 802.11b) αλλά επιτυγχάνει ένα μέγιστο ακατέργαστο ρυθμό μετάδοσης 54Mbps ή περίπου καθαρή ρυθμοαπόδοση 24.7Mbps. Το σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται στο 802.11g είναι OFDM για ρυθμούς μετάδοσης των 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 και 54Mbps, και μετατρέπεται (όπως το πρότυπο 802.11b) σε CCK για 5.5 και 11Mbps και DBPSK/DQPSK+DSSS για 1 και 2Mbps.

Στον Πίνακα 5.1 παρατίθενται προς σύγκριση, τα χαρακτηριστικά μετάδοσης των βασικών πρωτοκόλλων της οικογένειας 802.11.

<i>Standard</i>	<b>Max. Bit Rate</b>	<b>Fallback Rate</b>	<b>Number of Channels</b>	<b>Frequency Band</b>
802.11	2 Mbps	1 Mbps	3	2.4 GHz
802.11a	54 Mbps	48 Mbps 36 Mbps 24 Mbps 18 Mbps 12 Mbps 9 Mbps 6 Mbps	12	5 GHz
802.11b	11 Mbps	5.5 Mbps 2 Mbps 1 Mbps	3	2.4 GHz
802.11g	54 Mbps	Same as 802.11a	3	2.4 GHz

**Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά μετάδοσης των βασικών πρωτοκόλλων της οικογένειας 802.11**

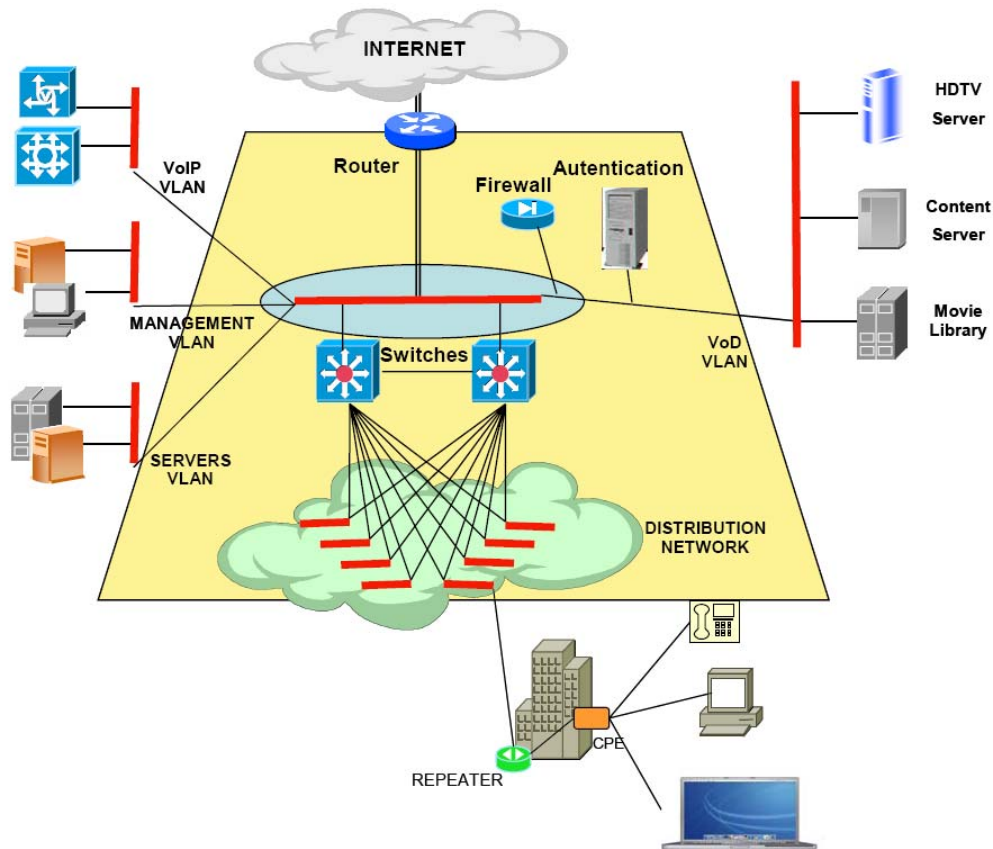


***ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ  
ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ BPL*****6.1 Γενικά**

Μέσω της BPL τεχνολογίας, ο τελικός χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών, από την απλή ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο μέχρι την υψηλής ευκρίνειας τηλεόραση (HDTV) και το έξυπνο σπίτι (Smart Home). Στο Σχήμα 6.1 φαίνεται μια τυπική δομή ενός μοντέρνου BPL συστήματος που δείχνει την συνδεσιμότητα μεταξύ των παρόχων των υπηρεσιών και του δικτύου BPL με τον τελικό χρήστη. Στην συνέχεια, περιγράφονται βασικές υπηρεσίες που μπορεί να προσφέρει η τεχνολογία BPL στους τελικούς καταναλωτές.

**6.2 Κομιστικές υπηρεσίες BPL**

Ένα δίκτυο πρόσβασης, παρέχει κομιστικές δυνατότητες για την παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών μεταξύ ενός κόμβου υπηρεσιών και των χρηστών του δικτύου. Μια κομιστική υπηρεσία, όπως είναι το κλασσικό τηλεφωνικό δίκτυο, το δίκτυο δεδομένων X.25, το ATM δίκτυο παρέχει τηλευπηρεσίες που επιτρέπουν την χρησιμοποίηση διαφόρων εφαρμογών.



Σχήμα 6.1 Τυπική δομή ενός μοντέρνου BPL συστήματος

Τα BPL δίκτυα, καλύπτουν μόνο το τελευταίο κομμάτι της διαδρομής στη σύνδεση δύο χρηστών. Η συνολική διαδρομή καλύπτει τα δίκτυα πρόσβασης και διανομής, όπως και το δίκτυο κορμού, τα οποία χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες. Οπότε, το BPL δίκτυο παρέχει την κομιστική υπηρεσία για ένα συγκεκριμένο τμήμα της συνολικής διαδρομής και συνεπώς πρέπει να ανταλλάσει στοιχεία με τα άλλα τηλεπικοινωνιακά συστήματα που χρησιμοποιούν ανάλογες κομιστικές υπηρεσίες. Με άλλα λόγια, το BPL πρέπει να είναι συμβατό με τις άλλες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες ώστε να επιτρέπεται η μεταξύ τους σύνδεση, κάτι το οποίο γίνεται με την συμβατότητα των διαφορετικών κομιστικών υπηρεσιών. Οι τηλεπηρεσίες καλύπτουν όλο το φάσμα των τηλεπικοινωνιακών λειτουργιών, συμπεριλαμβάνοντας

όλα τα επίπεδα που ορίζονται από το ISO/OSI πρότυπο. Η βασική λειτουργία των κομιστικών και των άλλων τηλευπηρεσιών μπορεί να επεκταθεί με επιπλέον χαρακτηριστικά, δημιουργώντας τις λεγόμενες συμπληρωματικές υπηρεσίες. Έτσι, για παράδειγμα η βασική τηλεφωνική υπηρεσία, μπορεί να επεκταθεί περιλαμβάνοντας νέα χαρακτηριστικά όπως υπηρεσία αφύπνισης, υπηρεσία αναγνώρισης κλήσης και άλλες υποψήφιας υπηρεσίες που μπορεί να προσφέρει το BPL δίκτυο. Οι χρήστες κρίνουν ένα δίκτυο, μία υπηρεσία ή ένα πάροχο υπηρεσιών σύμφωνα με την ποιότητα των εφαρμογών που τους παρέχεται. Έτσι πρέπει να εξασφαλίζεται μια ικανοποιητική ποιότητα υπηρεσιών (QoS) στο σύνολο των χρηστών του BPL δικτύου με την χρησιμοποίηση κομιστικών υπηρεσιών που θα μεταφέρουν διαφορετικές τεχνολογίες επιτρέποντας την χρήση διαφόρων εφαρμογών.

### **6.3 Τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες BPL**

Τα BPL δίκτυα προσφέρουν διάφορες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες ώστε να είναι ανταγωνιστικά έναντι των άλλων αντίστοιχων τεχνολογιών με σκοπό την προσέλκυση όλο και περισσότερων συνδρομητών.

#### **6.3.1 Πρόσβαση στο διαδίκτυο**

Η πιο διαδεδομένη και χρησιμοποιούμενη υπηρεσία στα μοντέρνα BPL δίκτυα είναι η πρόσβαση στο διαδίκτυο. Πολλαπλές μελέτες που περιλαμβάνουν πολυάριθμες μετρήσεις, έχουν γίνει για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σχετικά τα χαρακτηριστικά μετάδοσης των διαφόρων δικτύων και την δημιουργία μοντέλων που τα προσομοιώνουν. Ωστόσο, τα χαρακτηριστικά αυτά συνεχώς αλλάζουν λόγω της ταχύτατης ανάπτυξης νέων υπηρεσιών, την ωρίμανση των ενσύρματων δικτύων και της αύξησης του αριθμού των χρηστών των συστημάτων αυτών. Η εφαρμογή που κατά κόρον χρησιμοποιείται στο διαδίκτυο είναι το World Wide Web (www). Έτσι, τα τελευταία μοντέλα κίνησης αναπαριστούν την συμπεριφορά των χρηστών αναφορικά με

www πρότυπο. Ο χαρακτηρισμός και η μοντελοποίηση της www κίνησης γίνεται πάνω στα παρακάτω επίπεδα:

- **Επίπεδο συνόδου** (Session level). Αναπαριστά την σύνοδο ενός χρήστη με ένα www browser από την έναρξη της και καθ' όλη την διάρκειας της περιήγησης στον ιστό.
- **Επίπεδο σελίδας** (Page Level). Περιλαμβάνει επισκέψεις σε μια www σελίδα θεωρώντας την ως σύνολο αρχείων ( HTML, εικόνες, ήχους κ.α)
- **Επίπεδο πακέτου** (Packet Level). Είναι το χαμηλότερο επίπεδο που αναπαριστά την μετάδοση των IP πακέτων.

Μια σύνοδος καθορίζεται από την εργασία ενός χρήστη σε ένα www browser, όπως κατέβασμα και χρήση σελίδων. Η μετάδοση κάθε αντικειμένου της σελίδας προκαλεί την δημιουργία μιας ξεχωριστής TCP σύνδεσης. Κατά τη διάρκεια αυτής, ανάμεσα σε πομπό και δέκτη ανταλλάσσονται δεδομένα και διάφορα μηνύματα ελέγχου, όπως τα TCP acknowledgements. Για να μεταδοθούν πάνω σε ένα δίκτυο, τα IP πακέτα μεταφέρονται από το ανώτερο στρώμα στο φυσικό στρώμα. Από την οπτική του φυσικού στρώματος τα IP πακέτα φαίνονται ως μονάδες δεδομένων εισόδου.

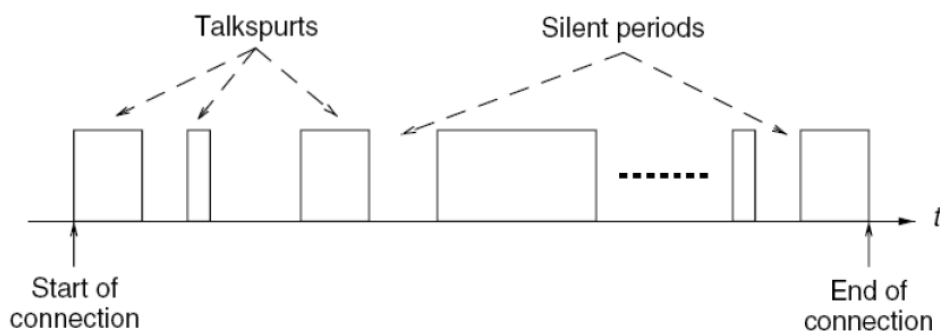
### 6.3.2 Τηλεφωνία

Τα BPL δίκτυα χρειάζεται να υποστηρίξουν την κλασική τηλεφωνία λόγω της μεγάλης σημασίας και της υψηλής δημοτικότητας που έχει έως και σήμερα αφού είναι εξαιρετικά απλή και οικεία για σχεδόν το σύνολο του πληθυσμού κάθε χώρας. Στην κλασική τηλεφωνία ένα σταθερό τμήμα της συνολικής χωρητικότητας κατανέμεται σε κάθε σύνδεση για όλη την διάρκεια που χρησιμοποιείται από τον χρήστη.

### 6.3.3 Υπηρεσία VoIP (Voice over IP)

Η φωνή ως τηλεπικοινωνιακή εφαρμογή είναι μη συνεχής διαδικασία και αποτελείται από κενές και ενεργές περιόδους. Αυτό οφείλεται στην φύση της ομιλίας

μεταξύ των ανθρώπων που περιέχει σιωπή μεταξύ των λέξεων ή των προτάσεων όταν ο συνομιλητής περιμένει τον ομιλητή να ολοκληρώσει το κομμάτι του λόγου του. Το εύρος ζώνης που ανατίθεται λοιπόν είναι το ίδιο κατά την διάρκεια των κενών διαστημάτων, κάτι που δεν είναι αποτελεσματικό. Πολλαπλές μέθοδοι έχουν προταθεί για την αξιοποίηση των κενών διαστημάτων μέσω κατάλληλων μηχανισμών που έχουν αναλυθεί σε διάφορες έρευνες. Η τηλεφωνία με μεταγωγή πακέτου, είναι ακόμη μια λύση για την πλήρη αξιοποίηση των πόρων του δικτύου και είναι από τις υπηρεσίες που είναι δυνατόν να παρέχουν τα BPL δίκτυα. Σε τέτοιου είδους συνδέσεις η πληροφορία της φωνής μεταδίδεται μόνο κατά τα ενεργά διαστήματα, ενώ στα νεκρά διαστήματα το διαθέσιμο εύρος ζώνης αξιοποιείται από άλλες υπηρεσίες. Με αυτό τον τρόπο, δεδομένα και φωνή από άλλη σύνδεση ομιλίας μπορούν να μεταδοθούν στο ίδιο κανάλι. Τα χαρακτηριστικά αυτών των συνδέσεων είναι η διάρκεια των ενεργών περιόδων (talkspurts) και η διάρκεια των σιωπηλών περιόδων (silent periods).



**Σχήμα 6.2** Ενεργά και παθητικά διαστήματα κατά την διάρκεια συνομιλίας

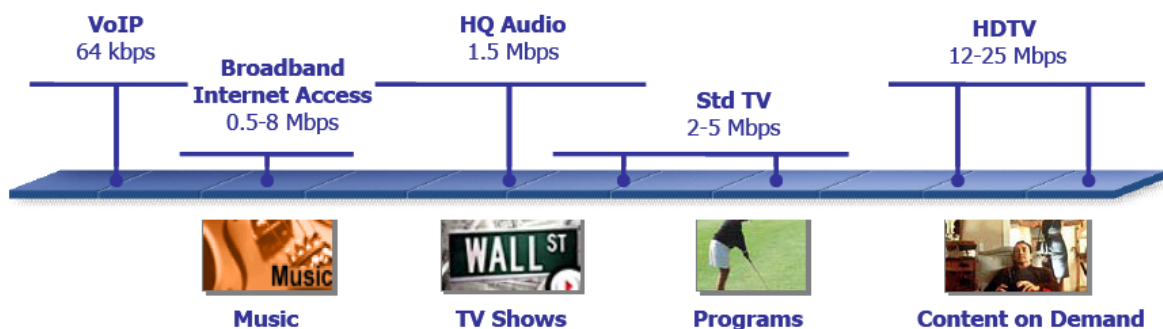
Το πρόβλημα με αυτού του τύπου τις μεταδόσεις είναι ότι η μη συνεχής ροή των δεδομένων που μπορεί να επιφέρει αισθητές καθυστερήσεις στην περίπτωση που πολλοί χρήστες χρησιμοποιήσουν το ίδιο μέσο. Για τον λόγο αυτό έχουν οριστεί κάποια όρια για την μέγιστη καθυστέρηση που μπορεί να υπάρχει στη μετάδοση των πακέτων. Η τεχνολογία VoIP επιτρέπει την δρομολόγηση των φωνητικών συνομιλιών πάνω στο διαδίκτυο και κάθε άλλο IP δίκτυο όπως είναι το BPL. Τα δεδομένα φωνής ρέουν ως IP πακέτα πάνω σε μια ευρυζωνική σύνδεση σε αντίθεση με την παραδοσιακή τηλεφωνική γραμμή. Η κίνηση φωνής μπορεί να παραμείνει πάνω στο IP δίκτυο ή να διασκορπιστεί από διαφορετικά επίπεδα του δικτύου στο PSTN δίκτυο. Το VoIP μπορεί να παρέχει και

άλλες υπηρεσίες όπως voice mail υπηρεσίες, εκτροπή κλήσης, συνομιλία για τρεις και συνομιλία συνακρόασης. Ένα από τα πλεονεκτήματα του BPL, είναι ότι οι κλήσεις μεταξύ τελικών χρηστών που βρίσκονται στο ίδιο δίκτυο διανομής δεν χρειάζεται να περάσουν σε άλλο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο PSTN. Αυτό σημαίνει πως η υπηρεσία φωνής παρέχεται χωρίς κανένα επιπλέον κόστος όταν και οι δύο χρήστες της συνομιλίας είναι χρήστες BPL. Μελέτες για την VoIP, έχουν δείξει πως οι QoS απαιτήσεις των υπηρεσιών αυτών είναι δυνατόν να ικανοποιηθούν σε δίκτυα με χαμηλή κίνηση. Αντιθέτως σε υπερφορτωμένα IP δίκτυα η απόδοση μειώνεται αισθητά. Λόγω του γεγονότος αυτού πολλοί μηχανισμοί για έλεγχο συμφόρησης (traffic control) έχουν μελετηθεί, ώστε να εξασφαλίσουν την απαραίτητη ποιότητα υπηρεσιών για αυτού του είδους τις υπηρεσίες.

### 6.3.4 Video on Demand (VoD)

Η VoD υπηρεσία παρέχει σε ξεχωριστούς χρήστες την δυνατότητα να επιλέξουν ένα πρόγραμμα video και να το δουν με την δική τους άνεση. Αυτό επιτρέπει στον πάροχο υπηρεσίας την παροχή υπηρεσιών όπως

- Ταινίες κατά ζήτηση, όπου ο χρήστης θα επιλέγει την ταινία της επιλογής του από μια βιβλιοθήκη ταινιών που είναι διαθέσιμες από τον πάροχο.
- Αποθηκευμένα προγράμματα, όπως αθλητικά γεγονότα, τηλεοπτικά shows και δελτία ενημέρωσης, που ο χρήστης μπορεί να δει μια άλλη χρονική στιγμή.
- Τηλεοπτικά κανάλια.



Σχήμα 6.3 Απαιτήσεις εύρους ζώνης για την παροχή triple play υπηρεσιών

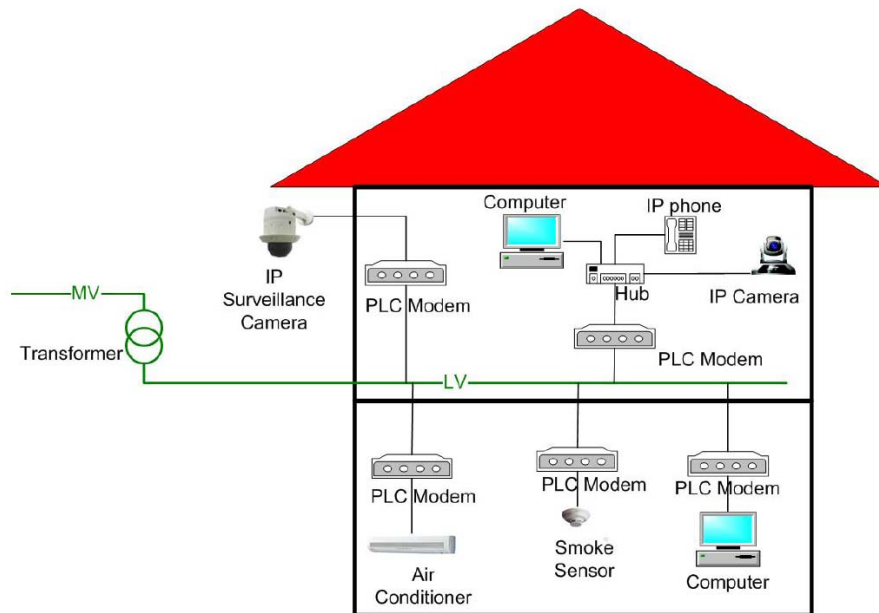
Ο συνδυασμός του VoD με την παροχή διαδικτυακής πρόσβασης και τηλεφωνίας ονομάζεται “triple play”. Οι απαιτήσεις εύρους ζώνης για την παροχή triple play υπηρεσιών φαίνεται στο Σχήμα 6.3.

## **6.4 Τηλεπαρακολούθηση χώρων**

Η BPL τεχνολογία μπορεί να βοηθήσει στον τομέα της τηλεπαρακολούθησης εσωτερικών και εξωτερικών χώρων αφού χωρίς την ανάγκη κάποιας επιπρόσθετης εγκατάστασης καλωδίων ή άλλων διατάξεων μπορεί να παρέχει την υπηρεσία αυτή σε οποιαδήποτε περιοχή έχει τροφοδοσία ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι, βάσει της BPL τεχνολογίας, είναι δυνατόν να παρέχεται εποπτεία από μακριά σε χώρους όπως σπίτια, γραφεία, επιχειρήσεις, εργοστάσια, δρόμοι, δασικές περιοχές, γκαράζ, χώροι στάθμευσης κ.α.

### **6.4.1 Τηλεπαρακολούθηση οικίας**

Παρά το γεγονός ότι μερικά νέα κτίρια έχουν ήδη εγκατεστημένο δίκτυο οπτικών ινών, η πλειοψηφία των οικιστικών κτιρίων δεν έχουν εγκατεστημένο κάποιου είδους δικτύωση. Τα δίκτυα BPL μπορούν να παρέχουν την δυνατότητα πολλών εφαρμογών τηλεπαρακολούθησης χωρίς την ανάγκη εγκατάστασης νέων καλωδίων. Στο Σχήμα 6.4 παρουσιάζεται ένα τυπικό σενάριο τηλεπαρακολούθησης κατοικίας που βασίζεται στην τεχνολογία BPL. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι συσκευές παρακολούθησης οι οποίες μπορεί να είναι μια τυπική camera θα χρειαστούν ένα BPL modem για την επικοινωνία με το BPL δίκτυο. Προφανώς, κάποιες συσκευές μπορούν να μοιραστούν ένα BPL modem. Για παράδειγμα ένα computer, ένα IP τηλέφωνο και μία IP camera μπορούν όλα μαζί να συνδεθούν σε ένα hub που με τη σειρά του συνδέεται με ένα BPL modem.



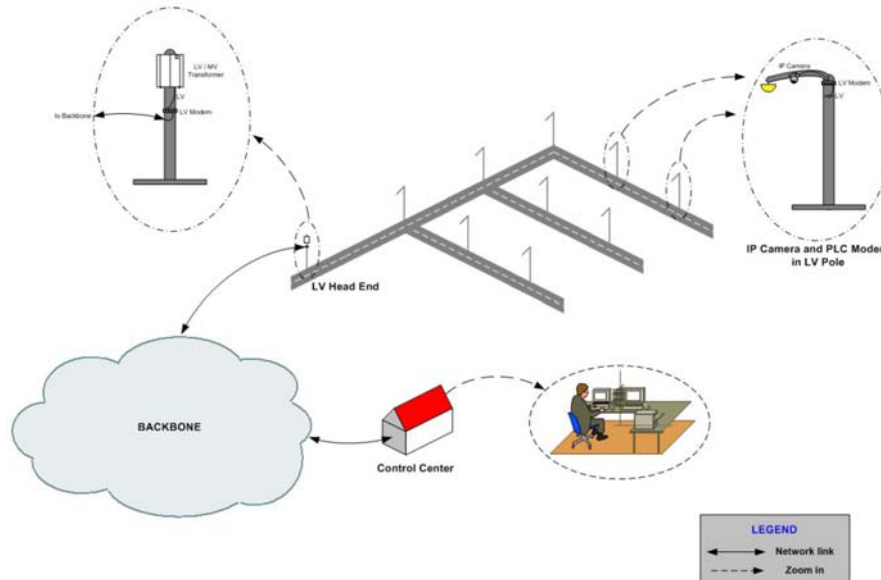
Σχήμα 6.4 Τηλεπαρακολούθηση οικίας μέσω BPL

#### 6.4.2 Τηλεπαρακολούθηση δρόμων

Με την χρήση της τεχνολογίας BPL υπάρχει η δυνατότητα της παρακολούθησης δημόσιων εξωτερικών χώρων και δρόμων. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι στύλοι XT είναι ιδανικά σημεία για την εγκατάσταση cameras παρακολούθησης, αφού μπορούν να καλύψουν ένα ευρύ οπτικό φάσμα λόγω του ύψους τους ενώ ο εξοπλισμός μπορεί να εγκατασταθεί με μεγάλη ασφάλεια και χωρίς κίνδυνο κατάρριψης ή καταστροφής. Οι cameras θα είναι τηλεχειριζόμενες και θα έχουν την δυνατότητα zoom ώστε να καλύψουν δυναμικά τον χώρο εποπτείας τους και σε συνδυασμό με την διαχείριση όλων των συσκευών από το κέντρο ελέγχου, θα παρέχουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου του χώρου κάλυψης. Στα θετικά βρίσκεται και η μη ανάγκη για επιπλέον φωτισμό τις βραδινές ώρες αφού οι στύλοι XT ήδη παρέχουν αυτήν την δυνατότητα. Από την στιγμή που οι στύλοι XT είναι διανεμημένοι ακόμα και σε τοποθεσίες που δεν υπάρχει κάποιου είδους άλλης δικτυακής κάλυψης, αυτή η μορφή παρακολούθησης μπορεί να επιβλέπει αυτοκίνητα, ανθρώπους, ατυχήματα, κλοπές, τρομοκρατικές



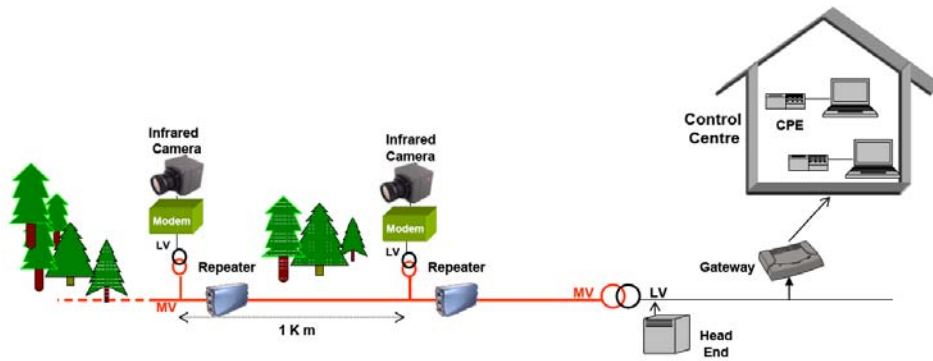
ενέργειες κ.α. Με άλλα λόγια, οτιδήποτε συμβαίνει στους δρόμους μπορεί να παρακολουθείται χωρίς την ανάγκη κάποιας νέας δικτυακής υποδομής.



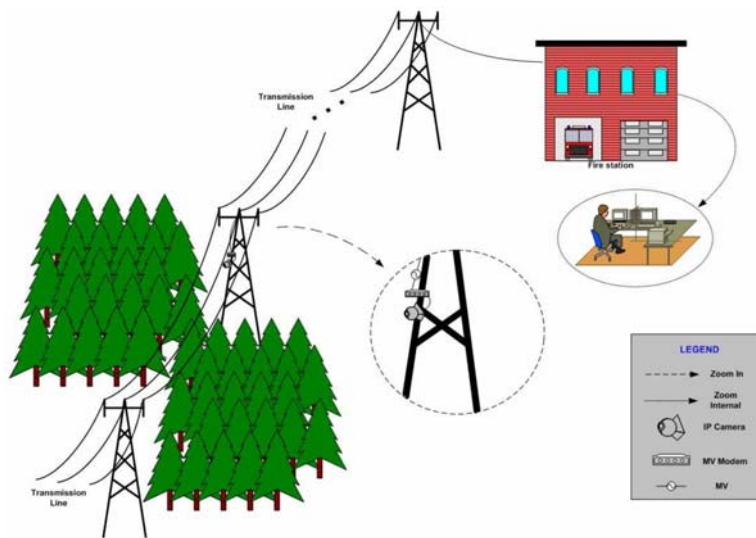
Σχήμα 6.5 Τηλεπαρακολούθηση οικίας μέσω BPL

### 6.4.3 Τηλεπαρακολούθηση δασικών περιοχών

Σε αγροτικές περιοχές η παρουσία τηλεπικοινωνιακών δικτύων είναι αρκετά ελλιπής και σπάνια ενώ ο χαμηλός πληθυσμός κάνει την ανάπτυξη ενσυρμάτων ή ασυρμάτων δικτύων αρκετά ασύμφορη. Η τεχνολογία BPL μπορεί να βοηθήσει στην παρακολούθηση τέτοιων περιοχών και με αρκετά χαμηλό κόστος. Επίσης μπορεί να υλοποιηθεί ένα σύστημα παρακολούθησης και προστασίας από πυρκαγιές και από άλλα αναπάντεχα ενδεχόμενα σε δασικές περιοχές. Οι IP cameras μπορούν να εγκατασταθούν πάνω στους στύλους MT για την παρακολούθηση των δασικών περιοχών. Οι στύλοι MT βρίσκονται αρκετά ψηλά από το έδαφος και έτσι ένα ευρύ οπτικό πεδίο μπορεί να καλυφθεί. Οι cameras μπορεί να έχουν την δυνατότητα περιστροφής 360 μοιρών αλλά και zoom.



Σχήμα 6.6 Τηλεπαρακολούθηση δασικών περιοχών μέσω BPL

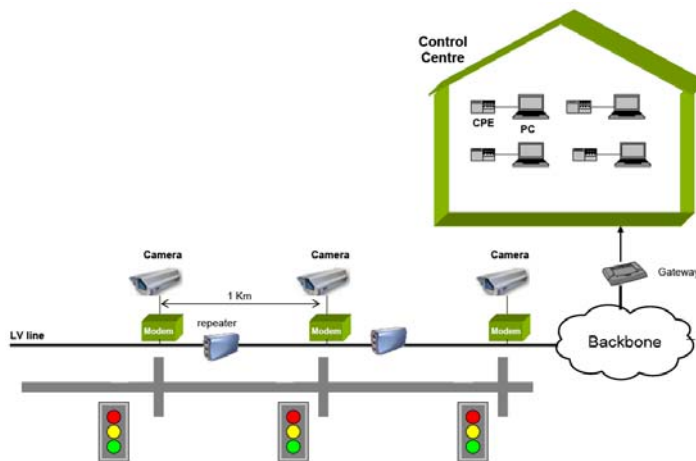


Σχήμα 6.7 Τηλεπαρακολούθηση δασικών περιοχών μέσω BPL

Αφού γίνει η λήψη, τα δεδομένα μεταδίδονται σε ένα κεντρικό δωμάτιο ελέγχου που αποφασίζει για τις κινήσεις που πρέπει να γίνουν όπως για παράδειγμα η κλήση της πυροσβεστικής στο ακριβές σημείο της ενδεχόμενης πυρκαγιάς για την πρόληψη και αποφυγή δυσάρεστων γεγονότων.

#### 6.4.5 Τηλεπαρακολούθηση κυκλοφορίας αυτοκινήτων

Στην παρούσα εποχή, ο αριθμός των αυτοκινήτων αυξάνεται κάθε χρόνο και κατά συνέπεια αυξάνεται ο αριθμός των τροχαίων ατυχημάτων. Η δυνατότητα τηλεπαρακολούθησης τοποθεσιών που γίνονται συχνότερα ατυχήματα μπορεί να βοηθήσει στο να μετριαστεί το πρόβλημα αυτό. Ο αριθμός των ριψοκίνδυνων οδηγών μπορεί να μειωθεί σε περιοχές που είναι γνωστό ότι παρακολουθούνται λόγω του φόβου του εντοπισμού κάποιας παράβασης ενώ μπορεί να επιτευχθεί μια πιο γρήγορη απόκριση της αστυνομίας ή και της πυροσβεστικής στην περίπτωση κάποιου γεγονότος.



Σχήμα 6.8 Τηλεπαρακολούθηση κυκλοφορίας αυτοκινήτων μέσω BPL

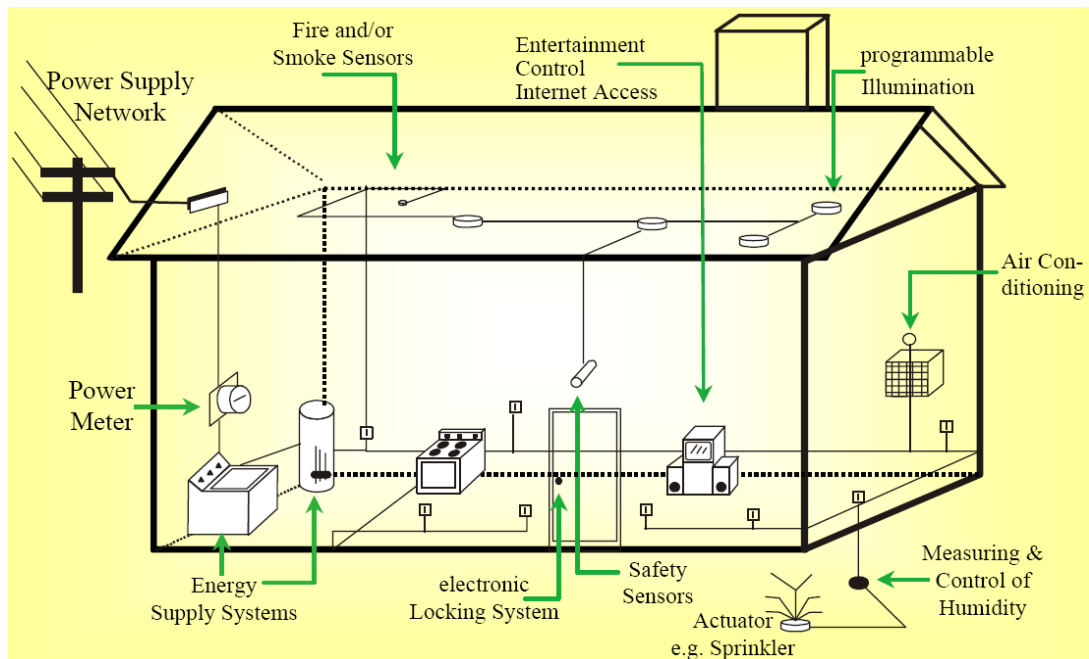
Πιθανή τοποθεσία για την εγκατάσταση τέτοιων cameras είναι η διασταύρωση οδών που συχνότερα γίνονται ατυχήματα. Κάποιες διασταυρώσεις έχουν φωτεινούς σηματοδότες κυκλοφορίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εγκατάσταση των συσκευών παρακολούθησης. Η χρησιμοποίηση της BPL τεχνολογίας για την τηλεπαρακολούθηση της κυκλοφορίας αυτοκινήτων έχει μεγάλα πλεονεκτήματα, αφού η τροφοδοσία ρεύματος ήδη φθάνει στους φωτεινούς σηματοδότες και έτσι μπορεί εύκολα να τροφοδοτηθεί με ηλεκτρικό ρεύμα κάποια camera.

#### 6.4.6 Τηλεπαρακολούθηση εισόδου οικίας

Στα περισσότερα κτίρια και ειδικότερα στις πολυκατοικίες παλαιάς κατασκευής, ένα άτομο σε ένα διαμέρισμα δεν μπορεί να δει τον επισκέπτη στην είσοδο της οικίας εκτός και αν στο κτίριο είναι εγκατεστημένο σύστημα παρακολούθησης με video (Video Intercom). Για μεγάλα κτίρια, η εγκατάσταση ενός τέτοιου είδους συστήματος απαιτεί την εγκατάσταση παρά πολλών καλωδίων δημιουργώντας έτσι πρόβλημα στην υλοποίηση ενός τέτοιου είδους τεχνολογίας. Ωστόσο, με βάση την τεχνολογία BPL αυτή η υπηρεσία μπορεί πραγματοποιηθεί χωρίς επιπρόσθετα καλώδια παρά μόνο με την ηλεκτρική τροφοδοσία των IP cameras. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα κάποιος που χρησιμοποιεί τον Η/Υ του να μπορεί να λάβει την ειδοποίηση και την εικόνα του επισκέπτη που βρίσκεται στην είσοδο του αλλά και δώσει εντολή για άνοιγμα της πόρτας με το απλό πάτημα ενός κουμπιού στο πληκτρολόγιο.

#### 6.5 Έξυπνο Σπίτι

Το Έξυπνο Σπίτι είναι το σπίτι του μέλλοντος όπως θέλουν να το ονομάζουν οι εταιρίες που μπαίνουν δυναμικά σε αυτήν την αγορά. Κάθε συσκευή του σπιτιού θα είναι δικτυωμένη με κάθε άλλη ενώ όλες θα έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο. Με αυτό τον τρόπο οι παραδοσιακές εργασίες που γίνονται καθημερινά αποκτούν διαφορετικό νόημα αφού μπορούν να γίνουν ευκολότερα και πιο διασκεδαστικά. Το BPL μπορεί να βοηθήσει σε αυτήν την κατεύθυνση αφού είναι το μόνο δίκτυο που μπορεί να έχει αυτόματα πρόσβαση κάθε συσκευή του σπιτιού. Στο Σχήμα 6.9 φαίνεται ένα μοντέρνο σπίτι που εκμεταλλεύεται την τεχνολογία BPL για την διαχείριση των συσκευών και των άλλων διατάξεων.



**Σχήμα 6.9 Το έξυπνο σπίτι**

Στο χώρο του έξυπνου σπιτιού και γενικότερα της αυτοματοποίησης συσκευών πολλά προϊόντα έχουν κάνει την εμφάνιση τους τα τελευταία χρόνια ενώ κάθε εταιρία προσπαθεί να δημιουργήσει το δικό της πρότυπο δικτύωσης σπιτιού που κερδίσει κομμάτι της όλο και περισσότερο ανταγωνιστικής αγοράς. Τα βασικότερα από αυτά τα πρότυπα δικτύωσης είναι

- LonWorks
- KONNEX (EIBA,BCI,EHSA)
- European Home System Association (EHSA)
- EIB
- BatiBus Club International (BCI)
- OSGi Alliance
- CECED Home Appliances Interoperating Network
- Home Electronic System (HES)
- BACNet
- CEBus
- Simple Control Protocol (SCP)

- PowerBus
- Echonet

Παρακάτω περιγράφονται οι βασικότερες εφαρμογές που συνιστούν το σύστημα του έξυπνου σπιτιού:

- **Ασφάλεια χώρου.** Αν και τα υπάρχοντα συστήματα ασφάλειας βρίσκονται σε ώριμο στάδιο, με την εισαγωγή της τεχνολογίας BPL και την σύνδεση όλων των συσκευών με το διαδίκτυο μπορούν να προκύψουν νέου είδους υπηρεσίες. Μερικές από αυτές είναι η χρήση έξυπνων αισθητήρων και ανιχνευτών κίνησης, η εποπτεία του χώρου με web-cameras κάθε στιγμή, ο κεντρικός έλεγχος του φωτισμού και των παραθυροφύλλων για την δημιουργία εντύπωσης παρουσίας σε εξωχικές κατοικίας για την πρόληψη κλοπής, ο συναγερμός φωτιάς, η άμεση επικοινωνία με την αστυνομία και την πυροσβεστική και η μετάδοσης αναλυτικών δεδομένων για το πρόβλημα και άλλα. Στα αρνητικά πρέπει να αναφέρουμε ότι η σύνδεση με το διαδίκτυο μπορεί να ελαχιστοποιήσει τα πρότυπα ασφάλειας με τις πιθανές επιθέσεις από hackers του διαδικτύου.
- **Αυτοματοποίηση εργασιών.** Ο στόχος της αυτοματοποίησης της οικίας είναι η σύνδεση όλων των συσκευών μεταξύ τους. Αυτό επιτρέπει την παρακολούθηση, τον έλεγχο και την βελτιστοποίηση όλων των εργασιών από οπουδήποτε ή καλύτερα από μια μοναδική συσκευή (π.χ τηλεόραση, Η/Υ, ψυγείο). Επιπρόσθετα, ο έλεγχος της εγκατάστασης της οικίας μπορεί να παρέχει αυτοματοποίηση εργασιών, κάτι που αυξάνει την άνεση για τους τελικούς χρήστες. Σήμερα οι περισσότερες συσκευές είναι περισσότερο ευφυής από ότι συμβατές για κάποια δικτυοποίηση. Η αυτοματοποίηση του σπιτιού φαίνεται πως είναι η υπηρεσία που θα καθυστερήσει περισσότερο αφού η πολυπλοκότητα της γλώσσας προγραμματισμού φαίνεται να περιορίζει την αγορά στον απλό ενθουσιασμό.
- **Ψυχαγωγία.** Ο τομέας της διασκέδασης γίνεται όλο και πιο σημαντικός τα τελευταία χρόνια. Σημαντικές προσδοκίες προκύπτουν από την αύξηση ευφυών εφαρμογών και την εύκολη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των συσκευών. Σε αυτό το στάδιο, πολλοί Η/Υ χρησιμοποιούνται για λόγους ψυχαγωγίας και συνδέονται με την τηλεόραση και τα συστήματα ήχου. Ετσι πολλές ευκαιρίες

παρουσιάζονται, όπως για παράδειγμα η προβολή ταινιών που είναι αποθηκευμένες στον Η/Υ στην οθόνη της τηλεόρασης ή να επιλεγεί ξεχωριστό μουσικό προφίλ για κάθε δωμάτιο του σπιτιού

- **Συστήματα τηλεϊδοποίησης.** Το έξυπνο σπίτι μέσω της τεχνολογίας BPL μπορεί να παρέχει παροχής φροντίδας και εποπτείας σε ηλικιωμένους ανθρώπους και σε μικρά παιδιά. Η αυξανόμενη ανάγκη για μετακινήσεις στο μοντέρνο τρόπο ζωής και τα επεκτεινόμενα ωράρια εργασίας έχουν οδηγήσει στην όλο και μειούμενη φροντίδα αυτών των ευαίσθητων ομάδων και έτσι με βάση την τεχνολογία BPL υπάρχει η δυνατότητα τηλεπαρακολούθησης και η τηλεϊδοποίηση μέσω αισθητήρων σώματος. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα μετάδοσης ιατρικών δεδομένων (π.χ παλμοί, αρτηριακή πίεση) και η επίβλεψη τους από το πλησιέστερο νοσοκομείο ώστε να ληφθεί γρήγορα κάποια αναγκαίο μέτρο.
- **Έξυπνη κουζίνα.** Η Έξυπνη κουζίνα είναι ένα σύστημα υπηρεσιών που μπορεί να προσφέρει πλήρη αυτοματοποίηση στις ηλεκτρικές συσκευές της κουζίνας μίας οικίας. Συσκευές όπως το ψυγείο ή ο ηλεκτρικός φούρνος μπορούν να έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο και με βάση την οθόνη LCD, ο χρήστης να βλέπει τα διαθέσιμα προϊόντα σε σύνδεση με τον server ενός καταστήματος και έπειτα να παραγγέλνει το προϊόν της επιθυμίας του. Ακόμα, για παράδειγμα ένα ψυγείο μπορεί να παραγγείλει φαγητό μέσω των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με το περιεχόμενό του και τον προγραμματισμό του ή επίσης να στείλει οδηγίες μαγειρικής στο φούρνο μικροκυμάτων. Στον Πίνακα 6.1 φαίνονται τα χαρακτηριστικά κάποιων εφαρμογών που μπορεί να προκύψουν από την χρήση της έξυπνης κουζίνας και γενικότερα του έξυπνου σπιτιού.

Row No.	From Node	To node	Estimated data size	Frequency	Possible time period
1	Refrigerator	Microwave	160 bytes	2 times a period	7:00-9:00,11:00-1:00, 17:00-19:00,21:00-23:00
2	Microwave	AC	72 bytes	2 times a day	7:00-9:00,11:00-1:00, 17:00-19:00,21:00-23:00
3	TV	Refrigerator	750 bytes	3 times a day	11:00-1:00,17:00-23:00
4	TV	VCR	11KBytes	3 times a day	11:00-1:00,17:00-23:00
5	TV	Computer	360 bytes	3 times a day	11:00-1:00,17:00-23:00
6	TV or Settop box	PDA or MP3 player	15 Mega bytes	3 times a day	11:00-1:00,17:00-23:00
7	Computer	PDA or MP3 player	50 Mega bytes	1 time a day	11:00-1:00,17:00-23:00
8	Computer	Computer	60 MB to 180 MB	1 time a day	6:00-24:00
9	Settop box	Computer	320 MB to 640 MB	1 time a day	11:00-1:00,17:00-23:00
10	Computer	Internet	44 MB to 131 MB	1 time a day	11:00-1:00,17:00-23:00
11	VCR	Computer	320 MB to 640 MB	1 time a day	6:00-24:00
12	Front door camera	Computer	110 MB to 1100 MB	3 times a day	6:00-24:00

**Πίνακας 6.1 Απαιτήσεις εφαρμογών της έξυπνης κουζίνας και του έξυπνου σπιτιού σε εύρος ζώνης**

## 6.6. Τηλειατρική (e-Health)

Με βάση την ανάπτυξη της τεχνολογίας BPL, το σπίτι μπορεί να γίνει ενδεικτικό σημείο για την παροχή της ιατρικής κάλυψης και φροντίδας. Οι περισσότερες ιατρικές υπηρεσίες που μέχρι πρότινος ανάγκαζαν τον ασθενή την μετακίνησή του σε ένα νοσοκομείο ή σε ένα γραφείο ιατρού με την υπηρεσία τηλειατρικής (e-Health) μπορούν να γίνουν πιο εύκολα, πιο άνετα και πιο οικονομικά στο σπίτι του ασθενή. Στο Σχήμα 6.10 φαίνεται η υλοποίηση εφαρμογών τηλειατρικής με την BPL τεχνολογία. Κάποιες υπηρεσίες που μπορούν να δωθούν με το e-Health σύστημα υπηρεσιών είναι

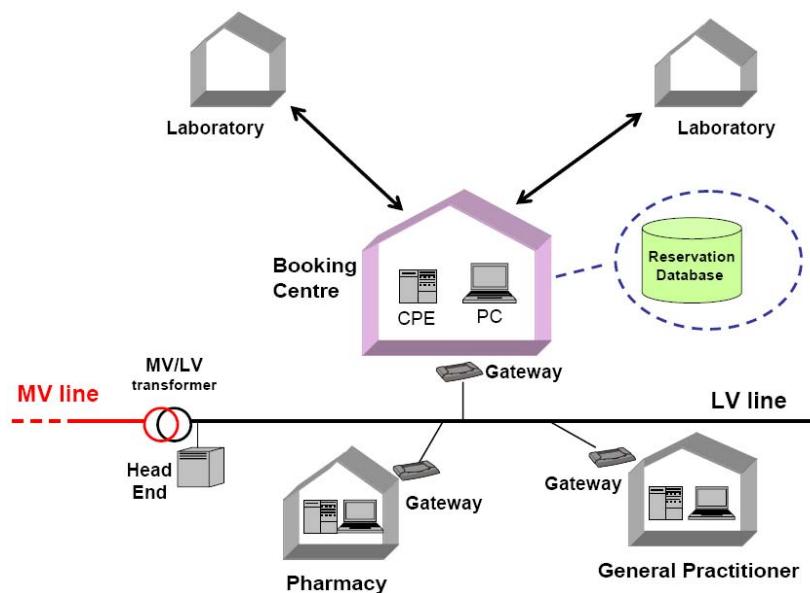
- **Αυτόματη παραγγελία φαρμάκων.** Ο ασθενής μπορεί να παραγγείλει από το σπίτι του κάποιο φάρμακο. Η εντολή έπειτα φθάνει στο γιατρό μέσω του τηλεπικοινωνιακού δικτύου όπου εκδίδει την συνταγή με την οποία ο φαρμακοποιός εκτελεί την εντολή του πελάτη.
- **Τηλεδιάγνωση και Διαγνωστική και εργαστηριακή διερεύνηση.** Η αίτηση και η απάντηση για μια διάγνωση ή ανάλυση ορμονών ή αίματος μπορεί να γίνει ηλεκτρονικά με την βοήθεια κάποιου επαγγελματία μέσω του τηλεπικοινωνιακού δικτύου. Στην περίπτωση τηλεδιάγνωση εικόνες ή video μπορού να μεταδωθούν



μέσω του δικτύου και έτσι το ιατρικό προσωπικό να έχει από μακριά την εικόνα της κατάστασης του ασθενή.

- **Πρόσβαση στις Βάσεις Δεδομένων.** Ιατρικό ή παραιατρικό προσωπικό μπορεί να έχει πρόσβαση σε ηλεκτρονικές ιατρικές βάσεις δεδομένων που διαχειρίζονται από ένα Ιατρικό Κέντρο που συλλέγει τα ιατρικά στοιχεία.
- **Ιατρική ή παρακολούθηση, βοήθεια και συναγερμός (Home Health).** Η παρακολούθηση της κατάστασης του ασθενή μπορεί να γίνεται από μακριά και σήματα όπως Ηλεκτροκαρδιογράφημα, πίεση αίματος, ρυθμός παλμών, θερμοκρασία σώματος μπορούν να μεταδίδονται σε κατάλληλα νοσοκομεία και σε περίπτωση κάποιου γεγονότος να χτυπά κάποιος συναγερμός είτε αυτόματα είτε με το βοηθητικό αισθητήρα από τον ίδιο τον ασθενή ώστε να ληφθούν πιο γρήγορα τα αναγκαία μέτρα.

Η τεχνολογία BPL μπορεί να βοηθήσει το σύστημα υπηρεσιών τηλειατρικής αφού χωρίς την δυνατότητα νέας δικτύωσης απομακρυσμένες περιοχές που συνήθως δεν έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο μπορούν να καρπωθούν τα πλεονεκτήματα μιας τόσο χρήσιμης υπηρεσίας.



Σχήμα 6.10 Κάλυψη υπηρεσιών τηλειατρικής με την τεχνολογία BPL

## 6.7 Κλάσεις τηλεπικοινωνιακής κίνησης BPL συστήματος

Στην παρακάτω ανάλυση, παρουσιάζεται η προτυποποίηση/ταξινόμηση των υπηρεσιών που χρησιμοποιούνται στα μοντέρνα τηλεπικοινωνιακά συστήματα και μπορεί κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί στα ευρυζωνικά BPL δίκτυα επίσης. Για την παροχή των διαφορών υπηρεσιών, τα ολοκληρωμένα δίκτυα πρέπει να διασφαλίζουν ταυτόχρονη μετάδοση διαφορετικών ειδών ροών δεδομένων με ξεχωριστή ποιότητα υπηρεσιών (QoS). Για αυτό τον λόγο έχουν δημιουργηθεί κατηγορίες υπηρεσιών που έχουν κοινά χαρακτηριστικά. Μια κατηγοριοποίηση υπηρεσιών έχει γίνει για τις ολοκληρωμένες υπηρεσίες που μπορεί να παρέχει ένα BPL δίκτυο και ορίζει τις τέσσερις παρακάτω κλάσεις με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.

- **Κλάση 1.**
  - Αυστηρή/συνεχής χρονική ακρίβεια
  - Σταθερός ρυθμός δεδομένων.
  - Ο τύπος σύνδεσης είναι connection oriented (δηλαδή απαιτεί κάποιου είδους σύνοδο πριν την μεταφορά δεδομένων μεταξύ των χρηστών).
- **Κλάση 2.**
  - Αυστηρή/συνεχής χρονική ακρίβεια.
  - Μεταβλητός ρυθμός δεδομένων.
  - Ο τύπος σύνδεσης είναι connection oriented.
- **Κλάση 3.**
  - Μη αυστηρή /μη συνεχής χρονική ακρίβεια.
  - Μεταβλητός ρυθμός δεδομένων.
  - Ο τύπος σύνδεσης είναι connection oriented.
- **Κλάση 4.**
  - Μη αυστηρή/μη συνεχής χρονική ακρίβεια
  - Μεταβλητός Ρυθμός Δεδομένων
  - Ο τύπος σύνδεσης είναι connectionless (δηλαδή δεν απαιτεί κάποιου είδους σύνοδο πριν την μεταφορά δεδομένων μεταξύ των χρηστών)

Έτσι κάθε μία από τις υπηρεσίες που αναλύθηκαν παραπάνω μπορούν να συμπεριληφθούν σε αντίστοιχη κλάση όπως περιγράφεται παρακάτω.

- **Διαδίκτυο.** Οι υπηρεσίες διαδικτύου όπως browsing και e-mailing δεν απαιτούν σταθερό ρυθμό μετάδοσης για μια ικανοποιητική ποιότητα υπηρεσιών. Η χρονική ακρίβεια δεν είναι κρίσιμος παράγοντας και συνήθως πραγματοποιείται μετάδοση χωρίς σύνδεση και συνεπώς συμπεριλαμβάνεται στην κλάση 4.
- **VoIP.** Το VoIP είναι υπηρεσία πραγματικού χρόνου και συνεπώς απαιτεί αυστηρή χρονική ακρίβεια με ένα σταθερό ρυθμό μετάδοσης και σύνδεση μεταξύ των χρηστών που επικοινωνούν. Συνεπώς κατατάσσεται στην κλάση 1.
- **Υπηρεσία Video.** Η συνδιάσκεψη μέσω video έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με την VoIP υπηρεσία δηλαδή απαιτεί αυστηρή χρονική ακρίβεια και σταθερό ρυθμό δεδομένων. Έτσι κατατάσσεται στη κλάση 1.
- **Video broadcasts ή VoD.** Η σταθερότητα του ρυθμού μετάδοσης δεν είναι τόσο σημαντική όσο στο πραγματικού χρόνου υπηρεσίες. Παρά το γεγονός αυτό, απαιτεί επίσης υψηλή ακρίβεια χρόνου και επικοινωνία μέσω σύνδεσης και κατατάσσεται στην κλάση 2.
- **Συστήματα τηλεπαρακολούθησης (Telesurveillance Systems).** Το Σύστημα τηλεπαρακολούθησης μπορεί να θεωρηθεί ως μια μονόδρομη Video συνδιάσκεψη. Οι MPEG και JPEG κωδικοποιητές μπορούν να παράγουν είτε σταθερό είτε μεταβλητό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (VBR) αλλά η πιο συνηθισμένη διαμόρφωση στο διαδίκτυο είναι η VBR. Αν χρησιμοποιηθεί UDP πρωτόκολλο που δεν επηρεάζεται από την συμφόρηση στο δίκτυο τότε η συνδιάσκεψη θα θεωρηθεί ως υπηρεσία κλάσης 2. Αν χρησιμοποιηθεί JPG πάνω από TCP που είναι το πιο συνηθισμένο, τότε η συνδιάσκεψη θα θεωρηθεί ως υπηρεσία κλάσης 4.
- **Τηλειατρική (e-Health).** Η Τηλειατρική συμπεριλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που αναφέρονται σε ιατρικά ζητήματα. Η υπηρεσία μπορεί να διαχωριστεί σε δεδομένα, φωνή και video. Ο παράγοντας δεδομένων κατατάσσεται στην κλάση 4, ο παράγοντας φωνής κατατάσσεται στην κλάση 1 και ο παράγοντας video κατατάσσεται στην κλάση 2 ή στην κλάση 4 όπως αναφέρθηκε παραπάνω.
- **Βιομηχανική αυτοματοποίηση (Industrial automation).** Η Βιομηχανική αυτοματοποίηση περιλαμβάνει υπηρεσίες όπως πραγματικού χρόνου

αυτοματοποίηση υποσταθμού κάτι που απαιτεί χρονική ακρίβεια, επικοινωνία κατόπιν σύνδεσης με σταθερό ρυθμό δεδομένων δηλαδή κατατάσσεται στην κλάση 1. Η παρακολούθηση σε monitor ενός υποσταθμού απαιτεί επικοινωνία κατόπιν σύνδεσης, όχι συνεχής μετάδοση με ένα μεταβλητό ρυθμό δεδομένων και συνεπώς κατατάσσεται στην κλάση 3. Η AMR υπηρεσία εστιάζεται στην καθαρή μετάδοσης δεδομένων και συνεπώς ανήκει στην κλάση 4.

- **Έξυπνο σπίτι** (Smart Home). Παρομοίως με την υπηρεσία τηλειατρικής το Έξυπνο Σπίτι παρέχει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών κυρίως σε οικισμούς και συνεπώς όλα τα είδη κλάσεων υπηρεσιών μπορούν να παρουσιαστούν.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ**

# **7**

## ***ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ***

### **7.1 Γενικά**

Σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στον παραδοσιακό τρόπο διαχείρισης του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και στα πιο σημαντικά ζητήματα που αφορούν την τυπική λειτουργία, αλλά και τον έλεγχο του από τους εκάστοτε παρόχους. Η κατανόηση και γνώση της αντιμετώπισης των ζητημάτων αυτών, κρίνεται απαραίτητη ώστε να μπορούν να καταδειχθούν πιο εύκολα τα οφέλη και τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την χρήση της τεχνολογίας BPL στην διαχείριση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, κάτι το οποίο παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 8.

## 7.2 Αντιστάθμιση αέργου ισχύος

### 7.2.1 Γενικά

Το πρόβλημα της διατηρήσεως της τάσεως μεταξύ των επιτρεπόμενων ορίων περιπλέκεται από το γεγονός ότι το σύστημα τροφοδοτείται από πολλές πηγές και τροφοδοτεί φορτία σε όλες τις βαθμίδες του συστήματος. Η ρύθμιση της τάσης δεν μπορεί να γίνεται μόνο από τις γεννήτριες, που είναι φυσιολογικά οι πηγές αέργου όπως και ενεργού ισχύος, αλλά πρέπει να γίνεται και με άλλα μέσα σε περισσότερες θέσεις του δικτύου. Το πρόβλημα επομένως, δεν αφορά μόνο τις μονάδες παραγωγής αλλά ολόκληρο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και απαιτεί τη διάθεση ειδικού εξοπλισμού για το σκοπό αυτό. Η κατάλληλη επιλογή και χρησιμοποίηση του εξοπλισμού αυτού είναι από τα σημαντικότερα προβλήματα της σχεδιάσεως και της λειτουργίας του συνολικού συστήματος. Τα μέσα με τα οποία επιτυγχάνεται η ρύθμιση ή ο έλεγχος της τάσεως είναι τα εξής

1. Τα συστήματα διεγέρσεως των γεννητριών.
2. Τα συστήματα αλλαγής της τάσης υπό φορτίο των ΜΣ ισχύος.
3. Οι ΜΣ ρυθμίσεως της τάσης.
4. Πηγές αέργου ισχύος όπως σύγχρονοι και στατοί εγκάρσιοι πυκνωτές.
5. Η χωρητική αντιστάθμιση σειράς και η εγκάρσια επαγωγική αντιστάθμιση των γραμμών μεταφοράς.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των φορτίων τα οποία τροφοδοτούνται από ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι επαγωγικού χαρακτήρα και συνεπώς απαιτεί τη χορήγηση αέργου ισχύος από το σύστημα. Επιπλέον αυτής, πρόσθετη αέργος ισχύς καταναλίσκεται ως απώλεια ( $I^2X$ ) αέργου ισχύος του δικτύου μεταφοράς και διανομής. Μερικές από τις επιπτώσεις της κυκλοφορίας της αέργου ισχύος στο σύστημα είναι

1. Πρόσθετες απώλειες ενεργού ισχύος ( $I^2R$ ) στις γραμμές και τον εξοπλισμό.
2. Αυξημένη εγκατεστημένη ισχύς γραμμών και εξοπλισμού και επομένως αυξημένες επενδύσεις κεφαλαίων.
3. Πτώση τάσης από την παραγωγή προς τις θέσεις των φορτίων.

Καταβάλλεται προσπάθεια να κατανεμηθεί η άεργος ισχύς στο σύστημα ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες ενεργού ισχύος. Στο εναλλασσόμενο υπάρχουν τρία είδη ισχύος

- Φαινομένη S [kVA]
- Ενεργός P [kW]
- Άεργος Q [kvar]

Η στιγμιαία ισχύς η οποία είναι το γινόμενο της στιγμιαίας τιμής της τάσης επί τη στιγμιαία τιμή ρεύματος αλλά δεν έχει κάποια πρακτική αξία.

Η φαινομένη ισχύς είναι το γινόμενο τάσης επί ρεύμα (rms τιμές) και δίδεται από τις σχέσεις

- $S=UI$  μονοφασικό εναλλασσόμενο
- $S=\sqrt{3} UI$  τριφασικό εναλλασσόμενο (πολικές τιμές)
- $S=3UI$  τριφασικό εναλλασσόμενο (φασικές τιμές)

Η ενεργός ισχύς ταυτίζεται με την μέση ισχύ δηλαδή  $P = \bar{p} = \frac{1}{T} \int_T p(t) dt$

Οι σχέσεις που δίδουν την ενεργό ισχύ είναι

- $P=UI \cos\phi$  μονοφασικό εναλλασσόμενο
- $P= \sqrt{3} UI \cos\phi$  τριφασικό εναλλασσόμενο (πολικές τιμές)
- $P=3UI \cos\phi$  τριφασικό εναλλασσόμενο (φασικές τιμές)

όπου  $\phi$  είναι η γωνία μεταξύ τάσης και ρεύματος

Αν αναλυθεί η φαινομένη ισχύς σε άθροισμα δύο συνιστωσών τότε θα είναι

$$S=|S|\cos\phi + |S|\sin\phi j \quad (7.1)$$

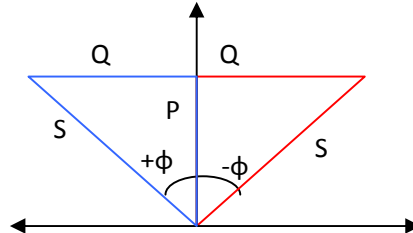
Ο 1<sup>ος</sup> προσθετός είναι σύμφωνα με τα παραπάνω η ενεργός ισχύς. Ο 2<sup>ος</sup> προσθετός είναι η λεγόμενη άεργος ισχύς. Συνεπώς η άεργος ισχύς δίδεται από τις σχέσεις

- $Q=UI \sin\phi$  μονοφασικό εναλλασσόμενο
- $Q= \sqrt{3} UI \sin\phi$  τριφασικό εναλλασσόμενο (πολικές τιμές)
- $Q=3UI \sin\phi$  τριφασικό εναλλασσόμενο (φασικές τιμές)

Η ενεργός ισχύς προκύπτει από την ηλεκτρομαγνητική ισχύ που μετατρέπεται σε άλλες μορφές ισχύος (θερμική, φωτεινή, μηχανική). Είναι η παράμετρος της ισχύος που ενδιαφέρει άμεσα αφού σχετίζεται με την ωφέλιμη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας

σε άλλες μορφές για κάθε χρήση. Η ενεργός ισχύς θεωρείται ότι καταναλώνεται στις ωμικές αντιστάσεις. Η άεργος ισχύς προκύπτει από την ηλεκτρομαγνητική ισχύ που δεν μετατρέπεται σε άλλες μορφές ισχύος διαφορετικές από αυτήν. Έτσι μετατρέπεται σε ηλεκτρική για να αποθηκευτεί στον πυκνωτή και σε μαγνητική για την μαγνήτιση του πηνίου. Παρόλο που λέγεται άεργη, είναι απαραίτητη και παρούσα όπου υπάρχουν πυκνωτές και πηνία. Χωρίς αυτή δεν μπορεί να λειτουργήσουν οι ηλεκτρικές μηχανές ή οι ηλεκτρονόμοι αφού χρειάζονται οπωσδήποτε άεργο ισχύ για να μαγνητιστούν. Θεωρείται λοιπόν ότι η συνισταμένη είναι η φαινομένη ισχύς και οι συνιστώσες κάθετες μεταξύ τους η ενεργός και η άεργος ισχύς. Η ενεργός ισχύς έχει να κάνει με τις αντιστάσεις, η άεργος με τους πυκνωτές και τα πηνία. Συμβατικά θεωρείται ότι οι πυκνωτές δίδουν άεργο ισχύ ενώ τα πηνία παίρνουν άεργο ισχύ. Στις ωμικές αντιστάσεις, η τάση και το ρεύμα είναι συμφασικά ( $\phi=0$ ). Σε επαγωγικά φορτία, το ρεύμα έπεται της τάσης ( $\phi<0$ ) ενώ σε χωρητικά φορτία, το ρεύμα προηγείται ( $\phi>0$ ) της τάσης.

Γενικά ισχύει ότι  $\tan\phi = \text{Im}Z / \text{Re}Z$  όπου  $Z = R + j(\omega L - 1/\omega C)$ . Επιπλέον όμως ισχύει ότι  $\tan\phi = \text{Im}S / \text{Re}S$  με  $S = P + jQ$ .



**Σχήμα 7.1** Τρίγωνο ισχύος για επαγωγικό (κόκκινο) και χωρητικό (μπλε) φορτίο

Στο Σχήμα 7.1 φαίνεται το τρίγωνο ισχύος για επαγωγικό (κόκκινο) και χωρητικό (μπλε) φορτίο. Η ενεργός ισχύς είναι και στις δύο περιπτώσεις ίδια. Το  $\cos\phi$  που ουσιαστικά καθορίζει την ενεργό ισχύ ονομάζεται συντελεστής ισχύος. Για την μεταφορά της ίδιας ενεργού ισχύος (η οποία ενδιαφέρει τον καταναλωτή) έχει μεγάλη σημασία το  $\cos\phi$ . Επειδή η τάση καθορίζεται από το δίκτυο (π.χ 380V) για παροχή ίδιας ενεργού ισχύος, αν το  $\cos\phi$  μικρό, το ρεύμα θα είναι μεγαλύτερο. Μεγαλύτερο όμως ρεύμα σημαίνει μεγαλύτερες απώλειες κατά τη μεταφορά ( $Ri^2$ ). Επιπλέον θα υπάρξει μεγαλύτερη πτώση τάσης (βύθιση). Για το λόγο αυτό γενικά επιδιώκεται το  $\cos\phi$  να είναι



μεγάλο. Η ΔΕΗ επιβάλλει  $\cos\phi \geq 0.85$  ή  $\cos\phi \geq 0.95$ . Η ενέργεια που πληρώνει ο καταναλωτής στη Δ.Ε.Η. δίνεται από τη σχέση

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P_W(t) \cdot dt \quad (7.2)$$

Σε περίπτωση λοιπόν που μια εγκατάσταση έχει μικρό συντελεστή ισχύος ζημιώνει τη Δ.Ε.Η. η οποία προκειμένου να αντιμετωπίσει το παραπάνω γεγονός επιβάλλει στους καταναλωτές τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος όταν αυτός είναι κάτω από 0.85 ή, εάν δεν γίνει η βελτίωση αυτή, ο καταναλωτής πληρώνει την τιμή της πραγματικής ισχύος που κατανάλωσε πολλαπλασιασμένης επί ενός συντελεστή προσαρμογής

$$k = \cos\phi / \cos\phi_1 \quad (7.3)$$

όπου  $\cos\phi = 0.85$  και  $\cos\phi_1$  ο μετρούμενος συντελεστής ισχύος της εγκατάστασης

### 7.2.2 Μέθοδοι αντιστάθμισης αέργου ισχύος

Κάποια φορτία είναι έντονα επαγωγικά με αποτέλεσμα να έχουν  $\cos\phi < 0.85$  και στην περίπτωση αυτή να απαιτείται βελτίωση του συντελεστή ισχύος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με πυκνωτή ο οποίος μετατοπίζει τη γωνία προς τα αριστερά. Η άεργος ισχύς που παρέχει ο πυκνωτής είναι ανάλογη με την χωρητικότητά του και το φορτίο μπορεί να αποκτήσει οποιαδήποτε γωνία και οποιοδήποτε  $\cos\phi$  ακόμη και χωρητικό. Εδώ πρέπει να επισημανθεί ότι όπως το έντονα επαγωγικό  $\cos\phi$  έχει επιπτώσεις, έτσι και με το έντονα χωρητικό  $\cos\phi$ , μπορεί να ανοίξει η γωνία ευστάθειας  $\theta$ , πράγμα δυσχερές για το δίκτυο. Γενικά λοιπόν η βελτίωση του συντελεστή ισχύος πρέπει να είναι κοντά στο 0.85 προς μονάδα. Η βελτίωση του συντελεστή ισχύος ονομάζεται και αντιστάθμιση και γίνεται με δύο τρόπους

- Αντιστάθμιση με πυκνωτή παράλληλα.
- Αντιστάθμιση με πυκνωτή σε σειρά.

Η πρώτη είναι που εφαρμόζεται στις περισσότερες περιπτώσεις. Υπάρχει δηλαδή κάποιο φορτίο επαγωγικό όπως ένας ασύγχρονος κινητήρας, ένα στραγγαλιστικό πηνίο, ένας

ΜΣ, ένας επαγωγικός φούρνος όπου είναι απαραίτητη για την μαγνήτιση του η άεργη ισχύς. Για τον σκοπό αυτό τοποθετείται ένας πυκνωτής παράλληλα. Αν δεν τοποθετηθεί ο πυκνωτής την απαραίτητη άεργο ισχύ θα δώσει το δίκτυο αλλά αυτό σημαίνει μικρό συντελεστή ισχύος αυξημένες απώλειες και πτώση τάσης και επιπλέον πρόστιμο από τη ΔΕΗ. Η τοποθέτηση πυκνωτή παράλληλα παρέχει την αναγκαία άεργο ισχύ. Πρέπει όμως να προσεχτεί το που θα τοποθετηθεί ο πυκνωτής. Αν ο πυκνωτής τοποθετηθεί σε έναν Υ/Σ που τροφοδοτεί μηχανές, θα υπάρξουν απώλειες και πτώση τάσης στη γραμμή από τον Υ/Σ ως τα μηχανήματα. Είναι φανερό ότι αν ο Υ/Σ απέχει αρκετή απόσταση από τα μηχανήματα η τοποθέτηση του πυκνωτή δεν έγινε σωστά. Η διαφορά από το να μην τοποθετηθεί καθόλου πυκνωτής είναι στο ότι αντί να δίδει την άεργο ισχύ το δίκτυο, την δίδει ο πυκνωτής. Ωστόσο εξακολουθούν να υπάρχουν απώλειες και πτώση τάσης. Αυτό μπορεί να μην φαίνεται από τη ΔΕΗ, όμως βλάπτεται το τοπικό δίκτυο και η πτώση τάσης μπορεί να οδηγήσει σε δυσλειτουργίες ή ακόμη και καταστροφή του κινητήρα λόγω υπότασης.

Η σωστή τοποθέτηση είναι επί του κινητήρα ή σε απόσταση μικρή και μέσα στα όρια της πτώσης τάσης. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται η αναγκαία άεργη ισχύς, το  $\cos\phi$  είναι καλό και το κυριότερο είναι ότι δεν υπάρχουν αυξημένες απώλειες και πτώση τάσης στη γραμμή.

Η δεύτερη περίπτωση που είναι η αντιστάθμιση σε σειρά γίνεται σπάνια και κυρίως σε μεγάλα δίκτυα στις γραμμές μεταφοράς. Σε μεγάλα δίκτυα μεταφοράς, η γραμμή έχει έντονα επαγωγικό χαρακτήρα και μπορεί να θεωρηθεί ως μια αυτεπαγωγή. Αυτό προκαλεί μεγάλη πτώση τάσης και επιπλέον ανοίγει την γωνία ευστάθειας  $\theta$ . Με τοποθέτηση πυκνωτή σε σειρά, η πτώση τάσης είναι μικρότερη και επιπλέον κλείνει η γωνία. Υπάρχει βεβαίως το ενδεχόμενο, η τάση στο τέλος να γίνει ίση με την τάση στην αρχή ή ακόμη και μεγαλύτερη. Συνεπώς μπορεί να λεχθεί ότι η αντιστάθμιση παράλληλα βελτιώνει το  $\cos\phi$  ενώ η αντιστάθμιση σε σειρά περιορίζει την βύθιση και βελτιώνει την ευστάθεια.

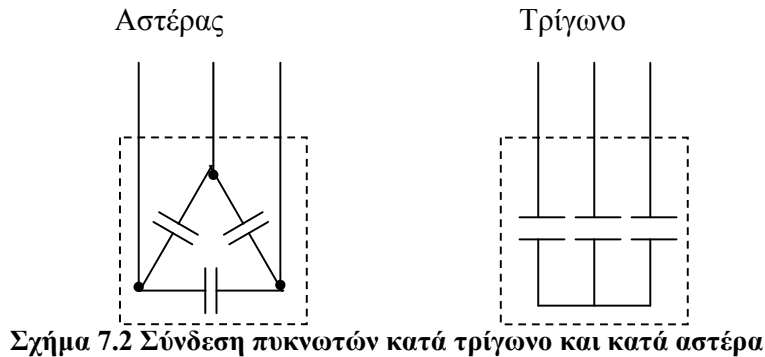
- Αντιστάθμιση με σταθερή ενεργό ισχύ

$$Q=P(\tan\phi_2-\tan\phi_1) \quad (7.4)$$

- Αντιστάθμιση με σταθερή φαινομένη ισχύ

$$Q=S(\sin\phi_2-\sin\phi_1) \quad (7.5)$$

Σε τριφασικές εγκαταστάσεις οι πυκνωτές μπορούν να συνδεθούν κατά τρίγωνο ή κατά αστέρα.



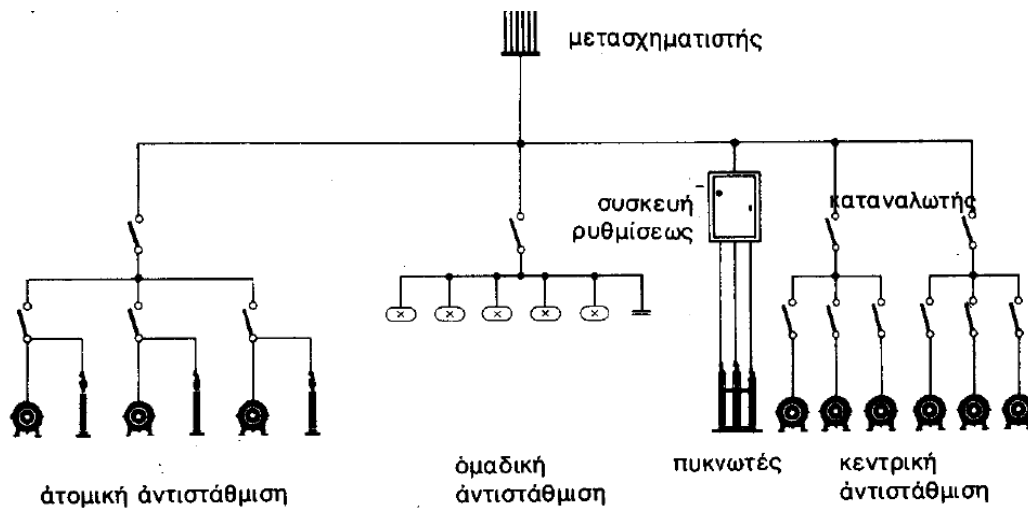
Σχήμα 7.2 Σύνδεση πυκνωτών κατά τρίγωνο και κατά αστέρα

Για την ίδια άεργη ισχύ απαιτείται τριπλάσια χωρητικότητα για τη σύνδεση σε αστέρα από ότι σε τρίγωνο. Παρόλα αυτά, στην ΜΤ προτιμάται ο αστέρας διότι σε κάθε πυκνωτή η τάση θα είναι  $V/\sqrt{3}$  που σημαίνει μικρότερη μόνωση. Έτσι συνιστάται

- Στην ΧΤ σύνδεση σε τρίγωνο (λιγότερη χωρητικότητα).
- Στην ΜΤ και ΥΤ σύνδεση σε αστέρα (λιγότερη μόνωση).

Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι ο πυκνωτής γενικά είναι μια διάταξη που συγκρατεί φορτία και για αυτό ακόμη και όταν είναι αποσυνδεδεμένος, παραμένει φορτισμένος και εγκυμονεί κινδύνους. Για το λόγο αυτό, πρέπει να συνοδεύεται πάντα από ειδικές αντιστάσεις εκφόρτισης. Γενικά ο πυκνωτής πρέπει να θεωρείται για λόγους ασφάλειας ότι είναι πάντα φορτισμένος και να αντιμετωπίζεται ως τέτοιος. Για το λόγο αυτό αλλά και για λόγους κόστους (αυξημένη μόνωση) συνιστάται η τοποθέτηση του στην πλευρά ΧΤ και όχι στην ΜΤ. Πέραν του διαχωρισμού της εν σειρά ή εν παραλλήλω σύνδεσης, υπάρχει και ο διαχωρισμός για το αν ο πυκνωτής θα τοποθετηθεί σε κεντρική παροχή, σε ομάδα φορτίων ή ατομικά στο φορτίο που χρειάζεται αντιστάθμιση (Σχήμα 7.3). Έτσι έχουμε

- Ατομική αντιστάθμιση (τοποθέτηση επί της συσκευής).
- Ομαδική αντιστάθμιση (τοποθέτηση σε υποπίνακα μιας ομάδας φορτίων).
- Κεντρική αντιστάθμιση (τοποθέτηση στον κεντρικό πίνακα).



Σχήμα 7.3 Έιδη αντίσταθμισης αεργου ισχύος

### 7.3 Ανίχνευση και εντοπισμός σφαλμάτων

Μεταξύ των λειτουργιών που εκτελούνται από το σύστημα προστασίας δικτύων MT είναι η ανίχνευση και ο εντοπισμός των σφαλμάτων.

Ανίχνευση σφάλματος είναι η διαπίστωση ότι σε κάποιο, συνήθως μεγάλης έκτασης, τμήμα των δικτύων υπάρχει σφάλμα, χωρίς να είναι γνωστά στοιχεία σχετικά με τη θέση του σφάλματος. Κατά κανόνα, η ανίχνευση σφάλματος αναφέρεται στη διαπίστωση ότι υπάρχει σφάλμα σε κάποια από τις αναχωρήσεις MT που τροφοδοτούνται από τους ίδιους ζυγούς Y/Σ YT/MT, χωρίς να είναι γνωστό ποια είναι η αναχώρηση με σφάλμα.

Εντοπισμός σφάλματος είναι η διαπίστωση ότι το σφάλμα υφίσταται σε συγκεκριμένη αναχώρηση ή σε συγκεκριμένο τμήμα αναχώρησης. Επιπλέον, ο όρος εντοπισμός υποδηλώνει και τον υπολογισμό απόστασης σφάλματος (fault distance computation). Στον υπολογισμό απόστασης σφάλματος το ζητούμενο είναι το μικρότερο μήκος αναχώρησης, από τον υποσταθμό έως το σημείο του σφάλματος. Η γνώση της απόστασης του σφάλματος από τον υποσταθμό δεν οδηγεί στην ακριβή γνώση της θέσης του σφάλματος, γιατί κάθε αναχώρηση έχει συνήθως πολλές διακλαδώσεις, συνεπώς πολλά σημεία της αναχώρησης είναι οι πιθανές θέσεις του σφάλματος. Η ακριβής θέση

του σφάλματος μπορεί να προκύψει από αυτές τις πιθανές θέσεις με άλλα μέσα, όπως με ενδεικτικά διέλευσης σφάλματος ή με δοκιμαστικές απομονώσεις/επανασυνδέσεις τμημάτων της αναχώρησης.

Τα ενδεικτικά διέλευσης σφάλματος είναι συσκευές που τοποθετούνται σε κατάλληλες θέσεις των δικτύων MT, εναέριων ή υπόγειων, και δίνουν ενδείξεις σε περίπτωση διέλευσης σφάλματος από τις θέσεις όπου είναι εγκατεστημένες. Κατά κανόνα, τα ενδεικτικά διέλευσης σφάλματος ανιχνεύουν υπερεντάσεις φάσεων ή μηδενικής ακολουθίας. Προϋπόθεση για την αποτελεσματικότητά τους, σε περίπτωση σφαλμάτων προς γη, είναι η υψηλή ένταση του ρεύματος σφάλματος φάσης ή μηδενικής ακολουθίας. Η ένταση αυτή, εξαρτάται από τη μέθοδο γείωσης και από την αντίσταση σφάλματος. Σε δίκτυα στα οποία οι εντάσεις των ρευμάτων σφάλματος προς γη, φάσης και μηδενικής ακολουθίας, είναι μικρές, λόγω της μεθόδου γείωσης (π.χ. σε δίκτυα γειωμένα μέσω αντισταθμιστικού πηνίου), γίνονται προσπάθειες να αναπτυχθούν αξιόπιστα και οικονομικά ενδεικτικά διέλευσης σφάλματος που βασίζονται σε άλλες, περισσότερο ενδεδειγμένες, αρχές λειτουργίας. Επιπλέον, έχουν αναπτυχθεί ενδεικτικά διέλευσης σφάλματος που δίνουν στοιχεία για τη διεύθυνση του ρεύματος σφάλματος. Σε δίκτυα χωρίς τηλεοπτεία, η ένδειξη του σφάλματος δίνεται επί τόπου. Για παράδειγμα, αν το ενδεικτικό διέλευσης σφάλματος είναι τοποθετημένο σε Υ/Σ εσωτερικού χώρου MT/XT, δίνεται φωτεινή ένδειξη, π.χ. στην πρόσοψη του κτιρίου του υποσταθμού. Σε δίκτυα που τηλεοπτεύονται, η ένδειξη σφάλματος μεταβιβάζεται στο Κέντρο Ελέγχου Δικτύων, μέσω τηλεπικοινωνιακού δικτύου. Με αυτό τον τρόπο, διαπιστώνεται ποιο τμήμα του δικτύου επηρεάζεται από το σφάλμα, είτε άμεσα, από το Κέντρο Ελέγχου, είτε με επίσκεψη προσωπικού στις θέσεις όπου είναι εγκατεστημένα ενδεικτικά διέλευσης σφάλματος, σε περίπτωση που δεν υπάρχει τηλεένδειξη. Από την ανάλυση των πληροφοριών που συλλέγονται από τα ενδεικτικά διέλευσης σφάλματος, εντοπίζεται σε σύντομο χρόνο το τμήμα της γραμμής που παρουσιάζει σφάλμα (τμήμα μεταξύ δυο διαδοχικών ενδεικτικών διέλευσης σφάλματος). Έτσι, δίνεται η δυνατότητα να απομονωθεί το τμήμα της γραμμής με σφάλμα και να τροφοδοτηθούν από εναλλακτικές οδεύσεις, εφόσον το επιτρέπει η τοπολογία του δικτύου, τα άλλα τμήματα της γραμμής. Η απομόνωση ή η εναλλακτική τροφοδότηση γίνεται με τηλεχειρισμούς (αν υπάρχει τέτοια δυνατότητα) ή με επί τόπου μετάβαση συνεργείων. Συνεπώς, η χρήση ενδεικτικών

διέλευσης σφάλματος συμβάλλει στη μείωση του χρόνου αποκατάστασης της ηλεκτροδότησης στους καταναλωτές που είναι εφικτό να ηλεκτροδοτηθούν εναλλακτικά μετά από σφάλμα, συντελώντας έτσι στη βελτίωση της αξιοπιστίας ηλεκτροδότησης.

#### **7.4 Κριτήρια επιτυχούς λειτουργίας του συστήματος**

Τα ηλεκτρικά δίκτυα μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελούνται από επιμέρους τμήματα, καθένα από τα οποία προστατεύεται από ένα όργανο διακοπής, σε συνδυασμό με όργανα μέτρησης/ανίχνευσης, όργανα (μονάδες) προστασίας και ελέγχου και όργανα ενεργοποίησης της διακοπής. Για παράδειγμα εάν το όργανο διακοπής είναι ένας διακόπτης ισχύος, οι ΜΣ μέτρησης τάσης ή έντασης είναι τα όργανα μέτρησης/ανίχνευσης, οι ηλεκτρονόμοι προστασίας, οι οποίοι συνδέονται στα δευτερεύοντα των ΜΣ μέτρησης και λαμβάνουν σήματα από αυτά, είναι οι μονάδες προστασίας και ο μηχανισμός διακοπής (μετακίνησης των κινητών επαφών) του διακόπτη φορτίου είναι το όργανο ενεργοποίησης της διακοπής. Όλα τα στοιχεία αυτά μαζί (όργανα μέτρησης/ανίχνευσης, οι μονάδες προστασίας, τα όργανα ενεργοποίησης της διακοπής και διακόπτης ισχύος) αποτελούν την αλυσίδα προστασίας, που έχει στόχο την απομόνωση του τμήματος του δικτύου που έχει σφάλμα (βλάβη). Εάν το όργανο προστασίας είναι π.χ. ασφαλειοαποζεύκτης, τότε το σύρμα του τηκτού παίζει ταυτόχρονα το ρόλο του οργάνου ανίχνευσης, της μονάδας προστασίας και του οργάνου ενεργοποίησης της διακοπής. Συνεπώς, σε απλούστερα μέσα προστασίας ένα εξάρτημα μπορεί να παίζει το ρόλο περισσότερων του ενός στοιχείων της αλυσίδας προστασίας, ωστόσο η λογική παραμένει η ίδια.

Η αλυσίδα προστασίας, πραγματοποιώντας τηλεδιακοπή και απομόνωση, εξασφαλίζει την προστασία ατόμων και εγκαταστάσεων από σφάλματα μόνωσης, μεταξύ φάσεων είτε μεταξύ φάσης και γης, καθώς και από υπερφορτίσεις. Πιο συγκεκριμένα, στόχος της αλυσίδας προστασίας είναι οι βηματικές τάσεις και οι τάσεις επαφής που είναι δυνατό να αναπτυχθούν, σε περίπτωση σφάλματος, σε συνδυασμό και με το χρόνο εκκαθάρισης του σφάλματος, να μην είναι επικίνδυνες για τον άνθρωπο. Επίσης, στόχος είναι να μειώνονται οι κίνδυνοι πυρκαγιάς, έκρηξης ή μηχανικής βλάβης, λαμβάνοντας

υπόψη τον χρόνο εκκαθάρισης καθώς και την αντοχή των στοιχείων του δικτύου σε υπερεντάσεις.

Το σύστημα προστασίας των δικτύων αποτελείται από το σύνολο των αλυσίδων προστασίας που περιλαμβάνει, οι οποίες είναι κατάλληλα οργανωμένες και συσχετισμένες μεταξύ τους. Η δομή και η οργάνωση ενός συστήματος προστασίας καθορίζουν το χρόνο εκκαθάρισης των σφαλμάτων, δηλαδή το μέγιστο χρόνο κατά τον οποίο ένα ρεύμα σφάλματος μπορεί να διαρρέει διάφορα τμήματα του δικτύου είτε μια υπέρταση λόγω σφάλματος να υφίσταται στο δίκτυο.

Η αποτελεσματικότητα ενός συστήματος προστασίας αξιολογείται με βάση τα ακόλουθα κριτήρια

- **Αξιοπιστία** (Reliability). Το κριτήριο αυτό αφορά κυρίως στην προστασία προσώπων και πραγμάτων. Μια συσκευή προστασίας του δικτύου συνήθως ενεργοποιείται σπάνια, ωστόσο όταν συμβεί σφάλμα θα πρέπει να λειτουργήσει αποτελεσματικά και σύμφωνα με τις προδιαγραφές της (ως προς το χρόνο διακοπής του ρεύματος σφάλματος π.χ.). Επιπλέον, δεν θα πρέπει να ενεργοποιείται χωρίς να υπάρχει σφάλμα ή ο χρόνος λειτουργίας της να μην είναι ο ενδεδειγμένος, γιατί αυτό οδηγεί σε ανεπιθύμητες και άσκοπες διακοπές ηλεκτροδότησης ή σε επικίνδυνες καταστάσεις. Συνεπώς, το κριτήριο αυτό σχετίζεται και με την αξιοπιστία ηλεκτροδότησης και το κόστος λειτουργίας του δικτύου .
- **Ευαισθησία** (Sensitivity). Επηρεάζει την ασφάλεια, την αξιοπιστία ηλεκτροδότησης και το κόστος λειτουργίας του δικτύου. Αφορά στην ικανότητα του συστήματος να ανιχνεύει ασθενείς ενδείξεις σφάλματος (π.χ. ασθενή ρεύματα σφάλματος), χωρίς ωστόσο να επηρεάζεται από διαταραχές του δικτύου που δεν αποτελούν σφάλματα (π.χ. μεταβατικά φαινόμενα λόγω χειρισμών) ή από εξωγενείς παράγοντες (π.χ. ηλεκτρομαγνητικά πεδία στο περιβάλλον). Έτσι, η ευαισθησία ενός συστήματος προστασίας εξασφαλίζει ότι το σύστημα θα λειτουργήσει έγκαιρα, ακόμη και σε περίπτωση σφάλματος το οποίο δίνει ασθενείς μόνο ενδείξεις, πριν παρουσιαστούν κίνδυνοι σε πρόσωπα ή πράγματα,

αλλά δεν θα λειτουργήσει με αφορμή «ερεθίσματα» που δεν αποτελούν σφάλματα, ώστε να αποφεύγονται ανεπιθύμητες διακοπές ηλεκτροδότησης.

- **Επιλογικότητα (Selectivity).** Έχει ιδιαίτερη βαρύτητα για το κόστος λειτουργίας και την αξιοπιστία ηλεκτροδότησης. Μέσω της επιλογικότητας εξασφαλίζεται ότι, σε περίπτωση σφάλματος θα τεθεί εκτός τάσης το μικρότερο δυνατό τμήμα του δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται με την οργάνωση του συστήματος προστασίας κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να έχει προτεραιότητα λειτουργίας το πλησιέστερο προς το σφάλμα προτεταγμένο μέσο προστασίας. Οι τεχνικές που ακολουθούνται για την επίτευξη επιλογικότητας διαφέρουν πολύ μεταξύ των ηλεκτρικών επιχειρήσεων. Σε πολλές περιπτώσεις παρατηρούνται διαφορές ακόμη και μεταξύ δικτύων της ίδιας ηλεκτρικής επιχείρησης. Οι τεχνικές αυτές, εξαρτώνται από τη μέθοδο γείωσης του ουδετέρου και από την αρχή προστασίας που ακολουθείται, η οποία συναρτάται με την αρχή λειτουργίας των ηλεκτρονόμων που χρησιμοποιούνται.
- **Ταχύτητα.** Η ταχύτητα λειτουργίας του συστήματος προστασίας μειώνει τις ζημιές που προκαλούνται από τα ηλεκτρικά τόξα και από τα ρεύματα σφάλματος ή υπερέντασης. Μειώνει επίσης τον κίνδυνο πυρκαγιάς, καθώς και τον κίνδυνο πρόκλησης θανάτων ή σοβαρών βλαβών στην υγεία σε περίπτωση ηλεκτροπληξίας. Συνεπώς το κριτήριο αυτό έχει σχέση με την ασφάλεια προσώπων και εγκαταστάσεων καθώς και με το κόστος (αποκατάστασης ζημιών π.χ.).
- **Προσαρμοστικότητα.** Η προσαρμοστικότητα ενδιαφέρει ιδιαίτερα τις επιχειρήσεις που διανέμουν ηλεκτρική ενέργεια. Δείχνει κατά πόσο το σύστημα προστασίας είναι σε θέση να λειτουργήσει ικανοποιητικά σε περίπτωση μεταβολών του δικτύου (επεκτάσεων γραμμών, μετακίνησης ηλεκτρικών τομών κλπ). Είναι προφανώς επιθυμητό να λειτουργεί εξ ίσου αποτελεσματικά το σύστημα προστασίας μετά τις μεταβολές, χωρίς να απαιτείται να υποστεί τροποποιήσεις (ή έστω με τις ελάχιστες δυνατές τροποποιήσεις).



## 7.5 Τηλέλεγχος και αυτοματοποίηση των δικτύων MT

Κομβικά σημεία για τον τηλεέλεγχο και την αυτοματοποίηση των δικτύων MT αποτελούν τα Κέντρα Ελέγχου Δικτύων Διανομής. Όπως προαναφέρθηκε, τα Κέντρα αυτά είναι τοπικής εμβέλειας. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει τάση μείωσης του πλήθους τους, με αύξηση των δικτύων που ελέγχουν. Τα Κέντρα Ελέγχου επικοινωνούν με τον εξοπλισμό που ελέγχουν μέσω των δημόσιων τηλεπικοινωνιακών δικτύων, είτε μέσω τηλεπικοινωνιακών δικτύων που ανήκουν στις ηλεκτρικές επιχειρήσεις. Τα δίκτυα αυτά περιλαμβάνουν ζεύγη καλωδίων χαλκού, είτε ομοαξονικά καλώδια, είτε οπτικές ίνες, είτε ασυρματικές ζεύξεις. Συχνά, οι τηλεπικοινωνιακές γραμμές αυτές χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για τον τηλεέλεγχο, για λόγους ασφάλειας και ταχύτητας. Οι πληροφορίες σχετικά με τη MT που μεταβιβάζονται αυτόματα από τον εξοπλισμό προστασίας και λειτουργίας των υποσταθμών ΥΤ/MT στα Κέντρα Ελέγχου Δικτύων, σε όλες τις περιπτώσεις που εφαρμόζεται τηλεοπτεία είναι

- Θέση διακοπών ισχύος των αναχωρήσεων (ανοικτοί – κλειστοί).
- Θέση διακοπών φορτίου και αποζευκτών.
- Λειτουργία ηλεκτρονόμων.

Επίσης, κατά κανόνα μεταβιβάζονται πληροφορίες σχετικά με την ανίχνευση σφάλματος, με τον τύπο και την αιτία του σφάλματος και με την εκτέλεση αυτόματων επαναφορών από τους διακόπτες ισχύος. Επιπλέον, μεταβιβάζονται συνήθως στοιχεία μετρήσεων για την τάση των ζυγών MT, για το ρεύμα των αναχωρήσεων, σε ορισμένες περιπτώσεις για το ρεύμα σφάλματος κλπ. Οι πληροφορίες σχετικά με τον εξοπλισμό προστασίας και λειτουργίας που είναι εγκατεστημένος σε άλλες θέσεις των γραμμών MT (εκτός των Υ/Σ ΥΤ/MT), οι οποίες μεταβιβάζονται στα Κέντρα Ελέγχου Δικτύων, αφορούν στη θέση των διακοπών φορτίου (ανοικτοί-κλειστοί) και στην ενεργοποίηση των ενδεικτικών διέλευσης σφάλματος. Κατά κανόνα, το πλήθος των διακοπών φορτίου που έχουν τη δυνατότητα επικοινωνίας με το Κέντρο Ελέγχου Δικτύων είναι μικρό ποσοστό του συνόλου των διακοπών φορτίου των ηλεκτρικών επιχειρήσεων. Επιπλέον, μέρος μόνο των ενδεικτικών διέλευσης σφάλματος έχουν τέτοια δυνατότητα. Σημειώνεται ότι, πολλές ηλεκτρικές επιχειρήσεις δεν έχουν αναπτύξει ακόμα τη δυνατότητα επικοινωνίας

του Κέντρου Ελέγχου Δικτύων με διακόπτες φορτίου και με ενδεικτικά διέλευσης σφάλματος των γραμμών. Οι πληροφορίες αυτές, που μεταβιβάζονται αυτόματα στο Κέντρο Ελέγχου Δικτύων, συνιστούν τις τηλενδείξεις του συστήματος προστασίας και λειτουργίας.

Από τα Κέντρα Ελέγχου Δικτύων δίνονται εντολές λειτουργίας (ανοίγματος-κλεισίματος) των διακοπών ισχύος των αναχωρήσεων και άλλων στοιχείων των Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ (διακοπών ζεύξης ζυγών κλπ). Επίσης, δίνονται εντολές λειτουργίας στους τηλεχειριζόμενους διακόπτες φορτίου των δικτύων (εφόσον υπάρχουν). Το πλήθος των τηλεχειριζόμενων διακοπών στις Ευρωπαϊκές ηλεκτρικές επιχειρήσεις είναι προς το παρόν μικρό, της τάξης των 0 έως 3 ανά αναχώρηση, αλλά υπάρχει τάση για αύξησή του.

Το σύνολο των τηλεχειρισμών που μπορούν να γίνουν και των ενδείξεων που μπορούν να μεταβιβαστούν στα Κέντρα Ελέγχου Δικτύων, σε συνδυασμό με τον αντίστοιχο εξοπλισμό (ηλεκτρονόμους, σύστημα τηλεπικοινωνιών, εξοπλισμό συγκέντρωσης και επεξεργασίας στοιχείων του Κέντρου Ελέγχου κλπ), τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, το λογισμικό του Κέντρου Ελέγχου, αποτελούν το σύστημα τηλελέγχου.

Η τάση διεθνώς είναι να επεκταθεί το σύστημα τηλελέγχου, κυρίως λόγω της διαρκώς αυξανόμενης βαρύτητας που δίνεται στην ποιότητα παρεχόμενης ενέργειας (το σύστημα αυτό μειώνει το χρόνο των διακοπών), αλλά και για άλλους λόγους, όπως η μείωση του κόστους λειτουργίας των δικτύων (αποφυγή μετάβασης συνεργειών κλπ), η υποβοήθηση στον εντοπισμό, τον προσδιορισμό των αιτιών και την αντιμετώπιση βλαβών. Στο σύστημα τηλελέγχου βασίζεται το λογισμικό διαχείρισης σφαλμάτων. Λίγες μόνο ηλεκτρικές επιχειρήσεις στην Ευρώπη έχουν εντάξει ή έχουν υπό ένταξη στις δραστηριότητές τους τη χρήση τέτοιου λογισμικού. Ωστόσο, όλο και περισσότερες επιχειρήσεις το χρησιμοποιούν δοκιμαστικά ή σκοπεύουν να το χρησιμοποιήσουν. Η κύρια λειτουργία του λογισμικού είναι ο αυτόματος εντοπισμός της θέσης του σφάλματος από την επεξεργασία των τηλενδείξεων. Προβλέπεται συνήθως η δυνατότητα να γίνεται συσχέτιση των τηλενδείξεων με στοιχεία που συγκεντρώνονται στο βλαβοληπτικό κέντρο, για τον εντοπισμό του σφάλματος. Πιο εξελιγμένη λειτουργία του λογισμικού διαχείρισης σφαλμάτων είναι η αυτόματη απομόνωση του σφάλματος και η εναλλακτική τροφοδότηση των τμημάτων της γραμμής που δεν έχουν σφάλμα, με τηλεχειρισμό διακοπτικών στοιχείων, χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση (οι εντολές

τηλεχειρισμών δίνονται απ' ευθείας από το λογισμικό διαχείρισης σφαλμάτων στα τηλεχειριζόμενα διακοπτικά στοιχεία). Ωστόσο, προς το παρόν, η λειτουργία αυτή εφαρμόζεται μόνο δοκιμαστικά από λίγες επιχειρήσεις.

## 7.6 Χρήση των διακοπών ισχύος YT και MT

Για την προστασία του δικτύου MT χρησιμοποιούνται διάφορα διακοπτικά στοιχεία. Ένα από αυτά είναι ο ελαιοδιακόπτης (circuit breaker) που αποτελεί ένα διακοπτικό στοιχείο με την ικανότητα να διακόπτει τμήματα του δικτύου σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Τοποθετείται μέσα στα πεδία των ζυγών της MT ή στα πεδία των ζυγών των 150kV της YT. Όλοι οι ελαιοδιακόπτες έχουν δυνατότητα τηλεχειρισμού από το κέντρο διαχείρισης με τις εξής λειτουργίες

- Αποκοπή φορτίων.
- Μέτρηση εντάσης.
- Μέτρηση τάσης.
- Μέτρηση ενεργού ισχύος.
- Μέτρηση αέργου ισχύος.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7.4, η μέτρηση πραγματοποιείται στον Υ/Σ υπό την προϋπόθεση ότι διαθέτει ολοκληρωμένο σύστημα τηλεχειρισμού, δηλαδή υπάρχει μια τερματική μονάδα τηλεχειρισμού RTU (Remote Terminal Unit) που αναλαμβάνει τη συλλογή των διαφόρων δεδομένων και την αποστολή τους μέσω modem PSTN ή με GSM στο κέντρο διαχείρισης. Διατίθενται οι κατάλληλοι αισθητήρες, όπως π.χ. ένας ΜΣ έντασης 400A/5A που λαμβάνει υπό πλήρες φορτίο τα 5A, μετατρέπει το αναλογικό σήμα σε ψηφιακό και το μεταβιβάζει στην πλακέτα κωδικοποίησης του συστήματος τηλεχειρισμού. Το σήμα θα κωδικοποιηθεί και θα αποσταλεί στο κέντρο διαχείρισης εφόσον ζητηθεί. Η δυνατότητα μέτρησης είναι εφικτή από όλα τα υπάρχοντα κέντρα διαχείρισης, ενώ ο χειρισμός και η αποκοπή φορτίων είναι δυνατοί μόνο από ένα συγκεκριμένο κέντρο διαχείρισης. Ο κάθε ελαιοδιακόπτης έχει ορισμένες ρυθμίσεις προστασίας. Οι ρυθμίσεις αυτές προστατεύουν το δίκτυο από σφάλματα φάσεων και από σφάλματα γείωσης.

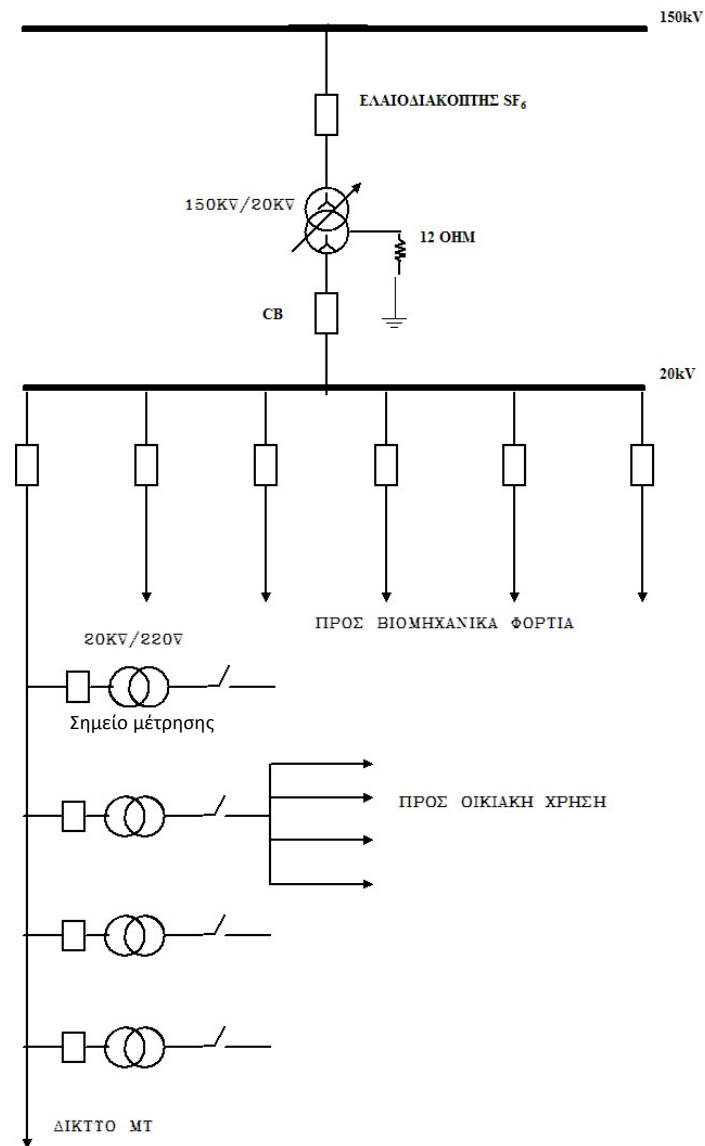
Η γραμμή ΜΤ εκκινεί από τον Υ/Σ ή από το κέντρο διανομής και τροφοδοτεί διάφορους καταναλωτές. Για τη ΜΤ, καταναλωτές θεωρούνται είτε οι Υ/Σ διανομής 20kV/220V που τροφοδοτούν το δίκτυο ΧΤ (σπίτια, καταστήματα, γραφεία, φωτισμός κτλ), είτε άλλοι μεγάλοι καταναλωτές, όπως π.χ. βιομηχανίες που έχουν ανάγκη από μεγαλύτερη ισχύ και διαθέτουν δικό τους ιδιωτικό υποσταθμό. Για τη ΔΕΗ, οι καταναλωτές ΜΤ (ιδιωτικός υποσταθμός) διαφοροποιούνται από τους υπόλοιπους καταναλωτές ως προς τη συνδεσμολογία. Η διαφορά στη συνδεσμολογία φαίνεται στο Σχήμα 7.5, όπου φαίνεται ο ζυγός των 20kV και η γραμμή που τροφοδοτεί το μεγάλο καταναλωτή μέσω προστατευτικής ασφάλειας.

Στη ΜΤ δεν υπάρχει ουδέτερος. Στο μετασχηματιστή 150kV/20kV σε συνδεσμολογία αστέρα-αστέρα, το δευτερεύον είναι γειωμένο μέσω αντίστασης ώστε να ελαχιστοποιούνται τα σφάλματα γείωσης. Η τιμή της αντίστασης είναι 12Ω πολύ μεγαλύτερη από την ισοδύναμη αντίσταση του ΜΣ.

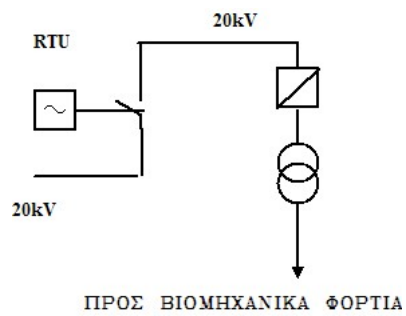
Η ΔΕΗ χρησιμοποιεί στις γραμμές ΜΤ τις εξής διατομές

- Για τα υπόγεια δίκτυα ΜΤ 3X240mm<sup>2</sup> Al (αλουμίνιο).
- Για τα εναέρια δίκτυα ΜΤ 3X95mm<sup>2</sup> ACSR, 3X70mm<sup>2</sup> ACSR, 3X35mm<sup>2</sup> ACSR Αλουμίνιο ή χαλκό με χαλύβδινη ψύχα για μηχανική αντοχή.

Οι διατομές αυτές χρησιμοποιούνται σε κάποιες διακλαδώσεις και σε ορισμένη απόσταση από το κέντρο διανομής, γιατί το μέγιστο δυνατό σφάλμα που μπορεί να εμφανισθεί στο σημερινό δομημένο ηλεκτρικό σύστημα έχει υπολογισθεί στα 7200Α. Επομένως, η ισχύς βραχυκύκλωσης είναι  $S = \sqrt{3}UI = \sqrt{3} \cdot 20000 \cdot 7200 = 250MVA$ . Αυτή είναι η ισχύς που πρέπει να αντέξουν όλα τα στοιχεία σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Οι αγωγοί 3X35mm<sup>2</sup> δεν αντέχουν σε ενδεχόμενο βραχυκύκλωμα αν τοποθετηθούν κοντά στο κέντρο διανομής. Για το λόγο αυτό, η εγκατάστασή τους γίνεται μετά από κάποια απόσταση. Σύμφωνα με το ισοδύναμο Thevenin, κατά τον υπολογισμό του ρεύματος βραχυκύκλωσης λαμβάνεται υπόψη και η αντίσταση του δικτύου από το κέντρο διανομής έως το σημείο του βραχυκυκλώματος.



Σχήμα 7.4 Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου ΜΤ



Σχήμα 7.5 Τροφοδοσία Ιδιωτικού υποσταθμού

Άρα, το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι

$$I = \frac{V}{R + R_{\text{ισοδ}}} \quad (7.9)$$

όπου  $R=12\Omega$  και  $R_{\text{ισοδ}}$  το ισοδύναμο Thevenin του κυκλώματος. Έτσι το ρεύμα βραχυκύκλωσης μειώνεται και οι αγωγοί έχουν τη δυνατότητα να αντέχουν σε ενδεχόμενα βραχυκύκλωμα. Όταν η ένταση σε κάποιο σημείο μειωθεί και δεν είναι δυνατή η τροφοδότηση των φορτίων, δημιουργείται νέα γραμμή ή πραγματοποιείται τροφοδότηση από κάποιο άλλο σημείο. Η σχετική απόφαση λαμβάνεται μετά από μέτρηση στον Υ/Σ που παρουσιάζει πρόβλημα.

## 7.7 Τηλεχειρισμοί υποσταθμών

Σε κάθε Υ/Σ (ομάδα ζυγών) υπάρχει εγκατεστημένο ένα RTU, το οποίο καταγράφει την τάση κάθε ζυγού, την ενεργό και άεργο ισχύ που παράγεται ή δαπανάται ανάλογα με το είδος του ζυγού (παραγωγής ή φορτίου αντίστοιχα). Ακόμη λαμβάνονται μετρήσεις στους ΜΣ, όπως τάσεις και ρεύματα σε πρωτεύον και δευτερεύον, θερμοκρασία κλπ. Όλα αυτά τα δεδομένα αποστέλλονται με τη χρήση ενσύρματων τηλεπικοινωνιακών ζεύξεων, στο Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας. Εκεί τα δεδομένα αυτά εισάγονται σε μια βάση δεδομένων πραγματικού χρόνου και χρησιμοποιούνται από ειδικά προγράμματα, οικονομικής ανάλυσης και εκτίμησης κατάστασης, τα οποία χρησιμοποιούν αλγορίθμους βελτιστοποίησης. Έτσι ελέγχεται αν υπάρχει πτώση τάσης σε κάποιο ζυγό ή αν υπάρχει υπερφόρτιση κάποιας γραμμής. Επίσης δίνονται εντολές για την εκκίνηση ή το σταμάτημα μιας γεννήτριας ενός σταθμού παραγωγής (θερμικού, υδροηλεκτρικού κλπ). Η βάση δεδομένων που αναφέραμε πιο πάνω μεταβάλλεται δυναμικά με την σάρωση των πληροφοριών από τους σταθμούς RTU. Υπάρχει όμως και μια δεύτερη βάση δεδομένων στην οποία αποθηκεύονται οι τιμές των μεταβλητών μιας δεδομένης χρονικής στιγμής. Έτσι είναι δυνατόν αργότερα να μελετηθεί η συμπεριφορά του συστήματος, για παράδειγμα σε ένα βραχυκύκλωμα ή ένα black-out και να βρεθεί ο καλύτερος χειρισμός που θα μπορούσε να γίνει σε περίπτωση επανάληψης του φαινομένου αυτού.

Στα διάφορα διακοπτικά στοιχεία του δικτύου της ΔΕΗ που βρίσκονται στους Υ/Σ ΜΤ, είναι δυνατή η αποκοπή ή η επανασύνδεση φορτίων με τηλεχειρισμό μέσω τηλεφωνικής σύνδεσης PSTN ή GSM. Λόγω του υψηλού κόστους εγκατάστασης, δεν γίνεται τοποθέτηση του κατάλληλου εξοπλισμού διαχείρισης (RTU και τηλεπικοινωνιακή σύνδεση) σε όλους στους υποσταθμούς αλλά, επιλεκτικά, η ΔΕΗ τοποθετεί τηλεχειρισμό ανάλογα με συγκεκριμένα κριτήρια απόστασης, κόστους, πλήθους υποσταθμών ανά κύκλωμα και άλλα. Η RTU ανάλογα με τη δομή της μπορεί να πραγματοποιήσει μια σύνδεση PSTN μέσω κάποιου modem ή μια σύνδεση GSM μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και να στείλει στο κέντρο διαχείρισης της ΔΕΗ διάφορα σήματα συναγερμού αλλά και μετρήσεις ρεύματος, τάσης και ισχύος όπως προαναφέραμε. Υπάρχουν 6 διαφορετικά κανάλια για την αποστολή σημάτων ελέγχου. Σύμφωνα με τον εξοπλισμό που έχει τοποθετηθεί στους υποσταθμούς της ΔΕΗ, τα βασικά σήματα συναγερμού προειδοποιούν για

- Ανίχνευση πυρκαγιάς.
- Ανίχνευση στάθμης υδάτων.
- Ανίχνευση υπερέντασης Imax.
- Ανίχνευση ανοιχτής θύρας.

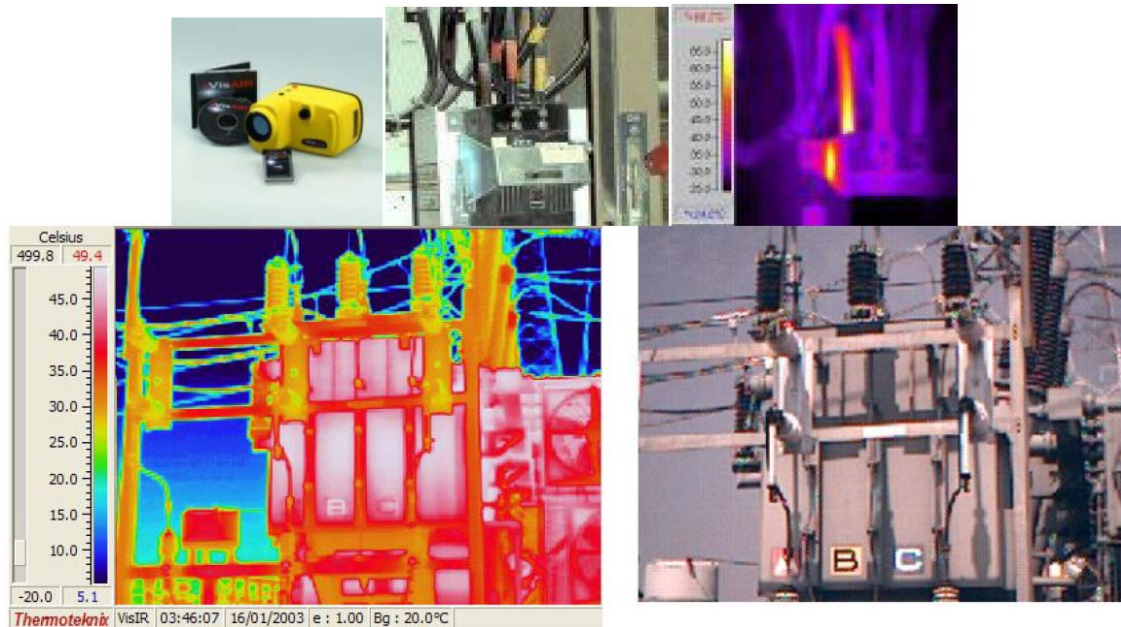
Για παράδειγμα, αν δημιουργηθεί βραχυκύκλωμα σε κάποιο σημείο του δικτύου, ο ΜΣ έντασης στην αρχή της γραμμής ΜΤ θα αντιληφθεί την υπερένταση και θα τη θέσει εκτός λειτουργίας, το σήμα διακοπής θα κωδικοποιηθεί και η RTU θα συνδεθεί μέσω Dial up σύνδεσης ή GSM σύνδεσης για να μεταδώσει το ψηφιακό σήμα συναγερμού στο κέντρο διαχείρισης. Το κέντρο διαχείρισης αντιλαμβάνεται ηχητικά και οπτικά το σφάλμα που έχει προκύψει στο δίκτυο αλλά δεν γνωρίζει ακριβώς τη θέση του. Γνωρίζει ότι το σφάλμα που προέκυψε βρίσκεται μέσα σε ένα από τα κυκλώματα της συγκεκριμένης γραμμής που εξέπεμψε συναγερμό. Ο χειρισμός της αποκοπής του φορτίου γίνεται χειρονακτικά και όχι αυτόματα. Για τον προσδιορισμό της βλάβης, συνεργεία της ΔΕΗ αποκόπτουν τμηματικά και ελέγχουν σταδιακά τα σημεία όπου μπορεί να έχει συμβεί το βραχυκύκλωμα. Αν από το ένα άκρο ενός τμήματος σταλεί σήμα ελέγχου και δεν το δεχθεί το άλλο άκρο, τότε το βραχυκύκλωμα εντοπίζεται στο συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου και πρέπει να γίνουν οι κατάλληλες διαδικασίες αποκατάστασης. Κατά τη διαδικασία προσδιορισμού και αποκατάστασης του

βραχυκυκλώματος παρατηρούνται οι εξής αδυναμίες κατά την αποκατάσταση σφαλμάτων.

## 7.8 Θερμικές κάμερες

Οι θερμικές κάμερες λειτουργούν με θερμοστοιχεία που εκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία και χρησιμοποιούνται για τον προληπτικό έλεγχο, συντήρηση και εντοπισμό σφαλμάτων και στις γραμμές ΜΤ. Για παράδειγμα, αν σε κάποιο σημείο μιας εναέριας γραμμής υπάρχει κάποιο σημείο υψηλής φόρτισης (πχ ελαττωματική επαφή ή βλάβη σε κάποιο μονωτήρα), αυξάνεται τοπικά η θερμοκρασία. Η θερμική κάμερα παρέχει τη δυνατότητα να ανιχνευθεί το σφάλμα και να συντηρηθεί ή να αντικατασταθεί το ελαττωματικό τμήμα. Αν δεν γίνει παρέμβαση και συντήρηση ή αντικατάσταση αυτής της επαφής, είναι εξαιρετικά πιθανό μετά από μικρό χρονικό διάστημα να παρουσιασθεί πρόβλημα στη γραμμή, με αποτέλεσμα τη διακοπή του κυκλώματος ή ακόμη και την καταστροφή κάποιας εγκατάστασης. Αυτό έχει ως επίπτωση την αύξηση του κόστους συντήρησης και την ταλαιπωρία των καταναλωτών. Η χρήση της θερμικής κάμερας για την προληπτική συντήρηση και τον έλεγχο των γραμμών γίνεται από εξειδικευμένα συνεργεία της ΔΕΗ σε όλες τις περιοχές της Ελλάδος. Στις απεικονίσεις που ακολουθούν (Σχήμα 7.6) παρουσιάζεται μία θερμική κάμερα και διάφορες φωτογραφίες που έχουν ληφθεί με τη χρήση της πάνω σε καλώδια ΜΤ και σε ΜΣ. Στις φωτογραφίες αυτές, διακρίνονται εύκολα τα σημεία υψηλής φόρτισης. Το κόστος αγοράς της θερμικής κάμερας είναι υψηλό. Όμως, μεγαλύτερο είναι το κόστος λειτουργίας της θερμικής κάμερας, αφού τα συνεργεία ελέγχου επιφορτίζονται με τον έλεγχο και την κάλυψη μιας τεράστιας απόστασης για να παρατηρούν αποδοτικά τις γραμμές αλλά και τον εγκατεστημένο εξοπλισμό της ΔΕΗ. Αν θεωρηθεί το σύνολο των συνεργείων που πρέπει να υπάρχουν ώστε να γίνεται σωστή προληπτική συντήρηση και οι ημέρες και ώρες κατά τις οποίες πρέπει τα συνεργεία να εργάζονται, προκύπτει ότι το κόστος λειτουργίας των θερμικών καμερών είναι ένα πολύ σημαντικό κόστος για την εταιρεία ηλεκτρικής ενέργειας.

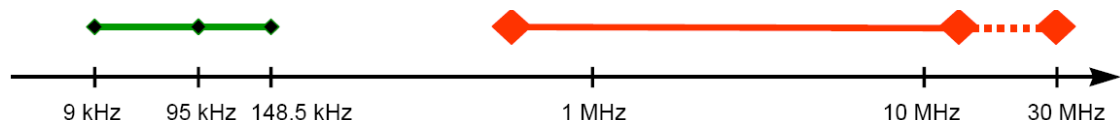




Σχήμα 7.6 ΜΣ διανομής όπως φαίνεται από θερμική κάμερα

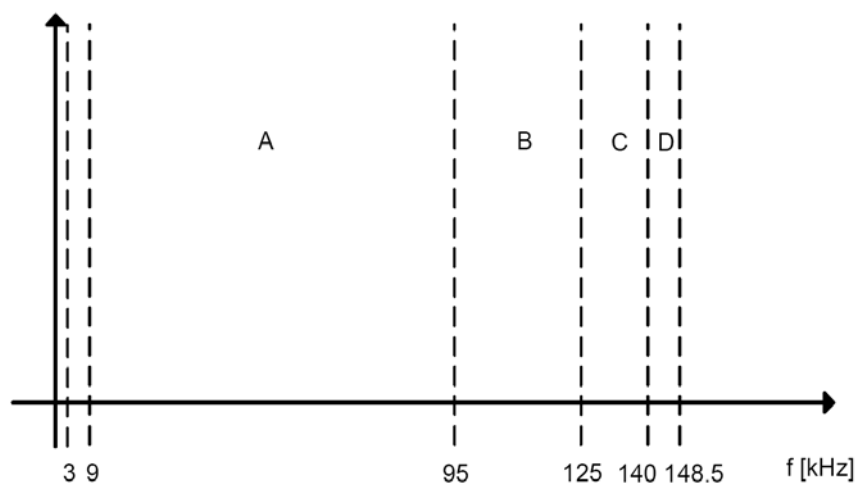
## 7.9 Συστήματα PLC στενής ζώνης

Τα PLC συστήματα στενής ζώνης έχουν ήδη τυποποιηθεί και οι εφαρμογές τους χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια τόσο από τους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ AMR) όσο και από απλούς καταναλωτές (π.χ αυτοματοποίηση σπιτιού). Προφανώς, η υλοποίηση συστημάτων στενής ζώνης σε ευρυζωνικά δίκτυα BPL θα επεκτείνει τις δυνατότητες ενός ολοκληρωμένου BPL συστήματος. Αυτού του είδους οι εφαρμογές χρησιμοποιούν χαμηλότερο ρυθμό δεδομένων από ότι εφαρμογές πρόσβασης όπως VoIP, internet ενώ συνήθως δεν απαιτούν εγγυήσεις QoS. Από την άλλη πλευρά, κάποιες υπηρεσίες στενής ζώνης απαιτούν πολύ μικρούς χρόνους απόκρισης και μικρές καθυστερήσεις για την διασφάλιση σημαντικών πληροφοριών .



Σχήμα 7.7 PLC στενής ζώνης ( πράσινη γραμμή) και PLC/BPL ευρείας ζώνης (κόκκινη γραμμή)

Στην Ευρώπη, η χρήση του εύρους ζώνης στα συστήματα PLC στενής ζώνης καθορίζεται από την επιτροπή CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization). Σύμφωνα με το πρότυπο EN50065 το εύρος συχνοτήτων που διατίθεται για χρήση από τις γραμμές ενέργειας είναι μεταξύ 3kHz και 148.5kHz. Αυτό βέβαια θέτει ισχυρούς περιορισμούς στη χρήση των γραμμών ενέργειας για επικοινωνίες δεδομένων αφού κάνει δύσκολη την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης. Το Σχήμα 7.8 δείχνει το εύρος φάσματος όπως προσδιορίζεται από το συγκεκριμένο πρότυπο.



**Σχήμα 7.7 Ζώνες συχνοτήτων που καθορίζει η CENELEC**

Το φάσμα αυτό χωρίζεται σε 5 διαστήματα συχνοτήτων. Οι συχνότητες 3-9kHz και 9-95kHz δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους παρόχους ενέργειας, ενώ οι συχνότητες 95-125kHz, 125-140kHz, 140-148.5kHz δε χρησιμοποιούνται από τους χρήστες της ενέργειας. Επιπλέον, προκειμένου το επιτρεπόμενο εύρος ζώνης να καθοριστεί ακριβώς, το πρότυπο θέτει περιορισμούς στην έξοδο ενέργειας από τον πομπό. Το διαθέσιμο εύρος ζώνης καθιστά εφικτούς ρυθμούς μετάδοσης της τάξης μερικών χιλιάδων bits ανά δευτερόλεπτο, οι οποίοι είναι επαρκείς μόνο για μετάδοση δεδομένων με πολύ χαμηλούς ρυθμούς και ίσως υλοποίηση λίγων καναλιών για υπηρεσίες φωνής.

## 7.10 Συστήματα SCADA - Συστήματα εποπτείας, ελέγχου και συλλογής πληροφοριών (Supervisory Control And Data Acquisition System)

Τα SCADA είναι συστήματα τηλεμετρίας και τηλεχειρισμού, τα οποία συλλέγουν πληροφορίες από διάφορες διεργασίες και χρησιμοποιούνται για τον εποπτικό τους έλεγχο. Οι εφαρμογές SCADA εκτελούνται σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές ή συστήματα HMI (Human Machine Interface) όπως είναι οι οθόνες αφής και συνδεδεμένες με εξωτερικά συστήματα ελέγχου όπως είναι τα PLC (Programmable Logic Controllers), μπορούν μέσω ενός εύχρηστου γραφικού περιβάλλοντος να δώσουν στο χρήστη τη δυνατότητα ελέγχου και καταγραφής των παραμέτρων μίας διεργασίας. Τα SCADA βρίσκουν τεράστιες εφαρμογές, τόσο σε βιομηχανικές μονάδες όσο και σε συστήματα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επιτρέπουν την διαχείριση και την εποπτεία συστημάτων τα οποία μπορεί να βρίσκονται αρκετά μακριά από το κέντρο ελέγχου. Σήμερα, χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό συστήματα SCADA για την διαχείριση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, τα περισσότερα εκ των οποίων όμως περιορίζεται στην δίκτυο Μεταφοράς ΥΤ ενώ πολύ λίγοι υποσταθμοί διανομής στην ΜΤ διαχειρίζονται σήμερα με συστήματα SCADA. Προκειμένου λοιπόν να υλοποιηθεί ένα SCADA απαιτούνται, εκτός των άλλων, ένα σύστημα τηλεμετρίας. Το σύστημα αυτό υλοποιείται με τη βοήθεια σταθμών RTU (Remote Telemetry Units), οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με τη παραγωγική διαδικασία, «διαβάζουν» τις τιμές διαφόρων φυσικών μεγεθών που μας ενδιαφέρουν, π.χ. πίεση, θερμοκρασία, συχνότητα, τα μετατρέπουν σε ηλεκτρικά σήματα και τα μεταδίδουν μέσω ενός ενσύρματου ή ασύρματου διαύλου (ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής) στον υπολογιστή που φέρει το λογισμικό SCADA, σε τακτά χρονικά διαστήματα. Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα στις διαδοχικές μεταδόσεις εξαρτάται αφενός από την ταχύτητα εξέλιξης της επιτηρούμενης διεργασίας και αφετέρου από την ακρίβεια που επιθυμούμε για το σύστημα μας. Εκτός των RTU, για την υλοποίηση του SCADA, απαιτούνται και ένας κεντρικός υπολογιστής, αρκετά μεγάλης υπολογιστικής ισχύος, που θα φέρει το λογισμικό SCADA και στον οποίο θα καταλήγουν οι μετρήσεις από όλους τους σταθμούς RTU καθώς και οι απαιτούμενες τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις ανάμεσα στους σταθμούς RTU και τον κεντρικό υπολογιστή.



***ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ BPL ΠΡΟΣ  
ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ  
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ***

**8.1 Εισαγωγή**

Ο έλεγχος και η διαχείριση του δικτύου ηλεκτρικής σε πραγματικό χρόνο εξασφαλίζει την καλύτερη λειτουργία, απόδοση, αλλά και την ευστάθεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση τηλεπικοινωνιών στον τομέα της διαχείρισης ηλεκτρικών δικτύων βρίσκεται ακόμα σε ένα μεταβατικό στάδιο αν και η παρουσία τους μετρά ήδη πολλά χρόνια ζωής. Γενικά, η υποψήφια τεχνολογία μετάδοσης πρέπει να είναι ικανή να παρέχει πληροφορία σε πραγματικό χρόνο σε όποιον την χρειάζεται την κατάλληλη χρονική στιγμή. Για την υποστήριξη των απαιτήσεων μετάδοσης η τεχνολογία μετάδοσης που χρησιμοποιείται πρέπει να πληροί δύο βασικές προϋποθέσεις. Έτσι, απαιτείται

- Μεγάλο εύρος ζώνης για την υποστήριξη υπηρεσιών με υψηλές απαιτήσεις ρυθμού μετάδοσης.
- Χαμηλή καθυστέρηση για την υποστήριξη ακριβούς ελέγχου και προστασίας του συστήματος σε πραγματικό χρόνο.

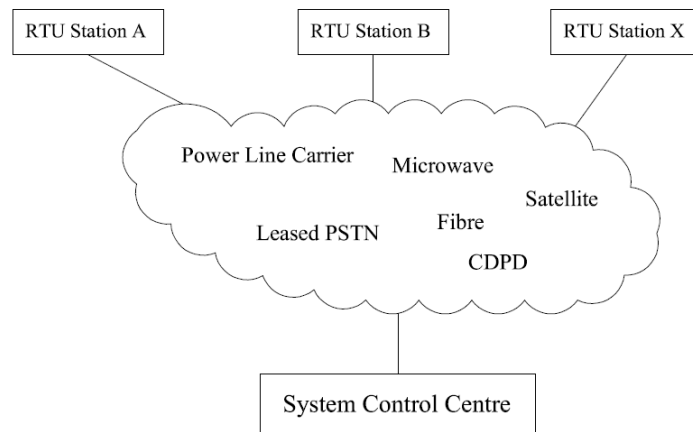
Στον Πίνακα 8.1 φαίνεται οι τεχνολογίες μετάδοσης που χρησιμοποιούνται παραδοσιακά από τις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού για τον έλεγχο του δικτύου της και παράλληλα ο ρυθμός μετάδοσης που μπορούν να πετύχουν.

<b>Transmission Media</b>	<b>Data Rate</b>
T1	1Mbps. Effective bandwidth considering network traffic, data collision etc is 125kbps.
Frame Relay	280 kbps
ISDN	140 kbps
T1 Fractional	62.5 kbps
56k leased line	56 kbps (Effective bandwidth lower than this)
Internet	Effective rate 40 kbps depends on network traffic
Radio Frequency	9.6 kbps

**Πίνακας 8.1 Μέσο μετάδοσης και ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να πετύχει**

Στην απλούστερη περίπτωση το τηλεπικοινωνιακό σύστημα αποτελείται από τους προς διαχείριση Υ/Σ (ή κάθε είδους διάταξη) οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι με μονάδες RTU, το τηλεπικοινωνιακό κανάλι που λειτουργεί ως αγωγός μετάδοσης των σημάτων ελέγχου και το κέντρο διαχείρισης όπου γίνεται η συλλογή, επεξεργασία και η λήψη αποφάσεων από κατάλληλο προσωπικό για την βέλτιστη απόδοση του ολοκληρωμένου συστήματος (Σχήμα 8.1). Η βελτίωση της ενεργειακής και λειτουργικής απόδοσης του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από την ανάπτυξη νέων τύπων και επιπέδων λειτουργικότητας στο σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι απαιτούμενες δυνατότητες θα υλοποιηθούν μέσω διαφόρων σημαντικών καινοτομιών που περιλαμβάνουν

- Αναβαθμισμένα συστήματα επικοινωνιών για τη μετάδοση της πληροφορίας.
- Αυτόματη απομακρυσμένη μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ψηφιακό έλεγχο του δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας
- Αυτοματισμό του συστήματος διανομής.
- Αναβάθμιση της κατανομής των ενεργειακών πόρων.



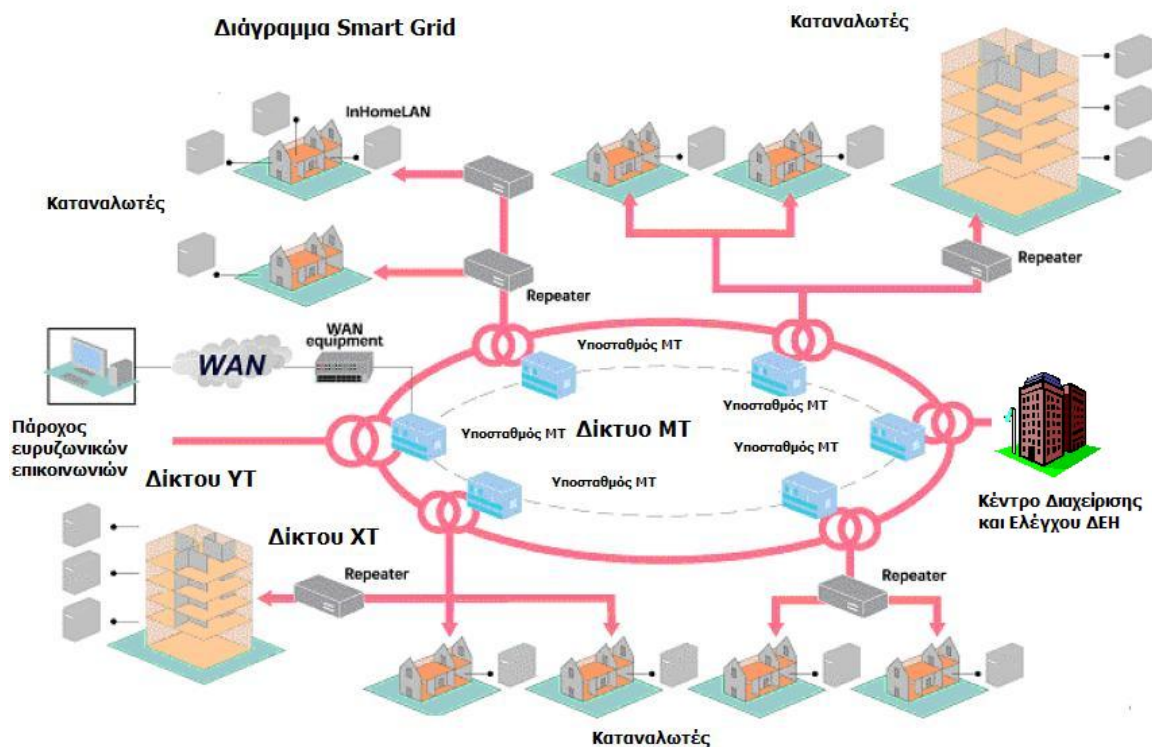
**Σχήμα 8.1 Σύστημα τηλεπικοινωνιακής διαχείρισης υποσταθμών**

Το δίκτυο του μέλλοντος με τις βελτιωμένες δυνατότητες και λειτουργίες για την παροχή ενέργειας θα εξελιχθεί με ταχείς ρυθμούς στο άμεσο μέλλον. Το Έξυπνο Δίκτυο μπορεί να υλοποιηθεί εγκαθιστώντας και ενσωματώνοντας την τεχνολογία BPL στο υπάρχον δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος. Με αυτόν τον τρόπο, θα αναβαθμισθούν τα υπάρχοντα συστήματα επικοινωνιών σε μια κατάλληλα επιλεγμένη αρχιτεκτονική εποπτείας και διαχείρισης. Επιπλέον, θα καταστεί εφικτή η αυτόματη μέτρηση και τιμολόγηση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και ο ψηφιακός έλεγχος του δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Το κέντρο ελέγχου θα έχει τη δυνατότητα πρόσβασης σε κάθε Υ/Σ ή σημείο κατανάλωσης ώστε να λαμβάνει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση λειτουργίας του δικτύου. Η τάση, η ένταση, η ισχύς, η θερμοκρασία σε κάθε σημείο του δικτύου είναι μόνο μερικά μεγέθη που μπορούν να τηλεμετρηθούν άμεσα με χρήση της τεχνολογίας BPL. Ταυτόχρονα, χειρισμοί, όπως διακοπή ή ένταξη φορτίων, γίνονται με ακρίβεια μέσα από κατάλληλο λογισμικό του κέντρου ελέγχου. Η βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης έγκειται κατά κύριο λόγο στη μείωση των απωλειών της παροχής ενέργειας και στην εξισορρόπηση του φορτίου για να επιτευχθεί η ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων κατά τις ώρες αιχμής. Για να επιτευχθούν όλα αυτά, η εταιρεία ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να είναι σε θέση να εποπτεύει και ελέγχει την υποδομή της παροχής ενέργειας. Αυτή η εποπτεία και ο έλεγχος της λειτουργίας πρέπει να πραγματοποιούνται συνεχώς από τη στιγμή της παραγωγής, κατά τη διάρκεια της μεταφοράς και διανομής της ενέργειας, και, τελικά, και στις εγκαταστάσεις του τελικού

καταναλωτή. Μέχρι πρόσφατα, οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας είχαν εστιάσει την προσοχή τους κυρίως στην παραγωγή και τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Σημαντικοί πόροι έχουν διατεθεί για την κεντρική εποπτεία και τον έλεγχο των εγκαταστάσεων ηλεκτρικής ενέργειας. Με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας BPL στο υπάρχον δίκτυο της ΔΕΗ και την υλοποίηση ενός Έξυπνου Δικτύου, η ανεπάρκεια της κεντρικής εποπτείας, η δυσκολία ελέγχου του πολύπλοκου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και η δυσκολία διαχείρισης και προστασίας του δικτύου θα μειωθούν μέχρις εξάλειψης. Ο έλεγχος και η διαχείριση του δικτύου θα διενεργούνται αυτόματα από τα κέντρα διαχείρισης με απλό και οικονομικό τρόπο. Η πρόληψη βλαβών, βραχυκυκλωμάτων, ασυνεχειών και κυρίως των blackouts καθώς και ο συστηματικός έλεγχος του δικτύου εξασφαλίζουν τη δυνατότητα στη ΔΕΗ να παρέχει στους καταναλωτές με ασφάλεια και αξιοπιστία την αδιάλειπτη λειτουργία του δικτύου. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης απαιτεί από το δίκτυο να ελαχιστοποιήσει τις απώλειες κατά την παροχή ενέργειας και να λειτουργεί αποτελεσματικά με στόχο να ισορροπεί κατά βέλτιστο τρόπο τη ζήτηση με την παραγωγή. Η επίτευξη αυτού του έργου απαιτεί μια μορφή έξυπνου χειρισμού του δικτύου διανομής, που μέχρι σήμερα δεν ήταν δυνατή. Το έξυπνο δίκτυο διανομής θα αυξήσει, αφενός, την ενεργειακή απόδοση λόγω μείωσης των απωλειών ενέργειας μέσω του ψηφιακού ελέγχου του δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και, αφετέρου, την παράλληλη χρήση τεχνολογιών βασισμένων στον καταναλωτή που θα μειώσουν τις αιχμές και το συνολικό φορτίο. Ένα απλοποιημένο διάγραμμα του Έξυπνου Δικτύου παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.2.

Ο κορμός του Έξυπνου Δικτύου υλοποιείται επί του δικτύου MT, μέσω του οποίου διασυνδέονται τηλεπικοινωνιακά οι Υ/Σ μεταξύ τους μέσω των μονάδων BPL. Η σύνδεση των καταναλωτών μπορεί να γίνει με ασύρματο τρόπο απευθείας από τη MT ή τη XT μέσω των διατάξεων BPL που λειτουργούν και ως σημεία ασύρματης πρόσβασης. Οι νέοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο συνεχώς και μέσω αυτού μεταδίδουν τα δεδομένα στο κέντρο διαχείρισης και ελέγχου (ΚΔ). Το ΚΔ έχει επιτελικό ρόλο και μπορεί να έχει πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο σε όλους του κόμβους (Υ/Σ) του δικτύου και σε όλους του καταναλωτές ΗΕ.





Σχήμα 8.2 Το Έξυπνο Δίκτυο

Από το Σχήμα 8.2, γίνεται αμέσως κατανοητό ότι το δίκτυο της ΔΕΗ αναβαθμίζεται με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας BPL και παύει να είναι ένα απλό δίκτυο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς εμπλουτίζεται με ένα διαδραστικό αμφίδρομο δίκτυο υψηλών ταχυτήτων μεταφοράς δεδομένων και ευρυζωνικών εφαρμογών. Η αναγκαιότητα απομακρυσμένου ελέγχου του δικτύου της ΔΕΗ και η απόκεντρωμένη δομή ελέγχου που πρέπει να υπάρχει ώστε να γίνεται σωστή επιτήρηση του δικτύου οδηγεί στο τηλεχειρισμό των Υ/Σ. Το πόσοι Υ/Σ πρέπει να είναι τηλεχειριζόμενοι και σε ποιες θέσεις, αποτελεί απόφαση της διοίκησης η οποία πρέπει να λάβει υπόψη της, εκτός από τα πλεονεκτήματα που σαφώς θα προκύψουν, και το κόστος εγκατάστασης του τηλεχειρισμού. Η τεχνολογία BPL μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στις παραπάνω αποφάσεις.

- Το κόστος εγκατάστασης των μηχανημάτων και εξαρτημάτων καθώς και ο χρόνος εγκατάστασης και εφαρμογής της τεχνολογίας BPL είναι σημαντικά χαμηλότερα σε σχέση με τον παραδοσιακό τρόπο εγκατάστασης μιας απλής RTU.

- Η εύρυθμη λειτουργία του δικτύου επιβάλλει την επέκταση του κέντρου ελέγχου, την εγκατάσταση νέων μηχανημάτων εποπτείας και ελέγχου, τη στελέχωση του κέντρου ελέγχου με νέο προσωπικό, την επιβάρυνση ανά μήνα του κόστους της επικοινωνίας των Υ/Σ με το κέντρο ελέγχου μέσω του τηλεπικοινωνιακού φορέα. Η τεχνολογία BPL μηδενίζει το κόστος επικοινωνίας με το τηλεπικοινωνιακό φορέα, αφού η επικοινωνία μεταξύ Υ/Σ και του κέντρου διαχείρισης θα πραγματοποιείται από το δίκτυο της ΔΕΗ.
- Μειώνεται το κόστος συντήρησης με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας BPL αφού παρέχεται η δυνατότητα πρόβλεψης και προγραμματισμού της αντικατάστασης ελαττωματικού εξοπλισμού.

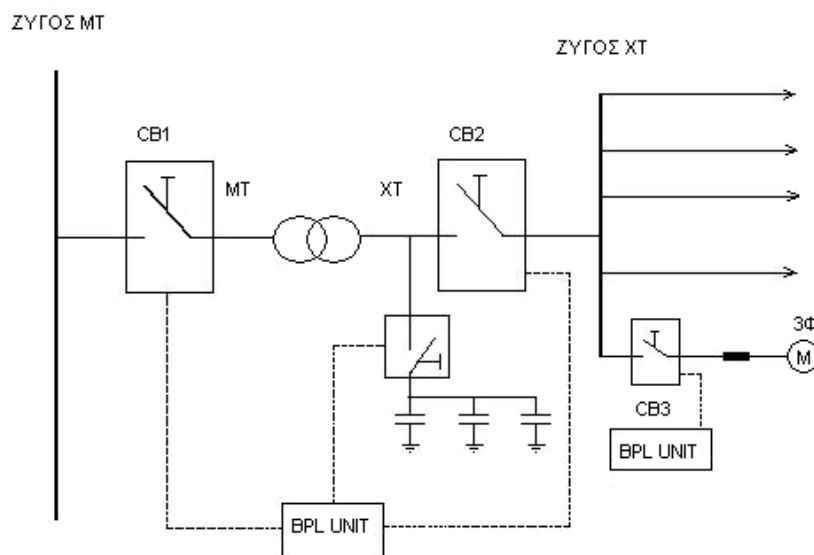
Συνηθεις βλάβες σε ένα Υ/Σ ΜΤ υφίστανται τα στοιχεία εκείνα που υπόκεινται σε υψηλές φορτίσεις. Για παράδειγμα, τα πρωτεύοντα κυκλώματα ενός ηλεκτρονόμου, οι επαφές σε διάφορα στοιχεία, οι ΜΣ, οι διάφοροι πυκνωτές οι οποίοι τοποθετούνται για βελτίωση του συντελεστή ισχύος. Το κόστος αντικατάστασης ή συντήρησης των ανωτέρω είναι ανάλογο της βλάβης που παρουσιάζεται, στατιστικά κάθε μέρα συμβαίνει κατά μέσο όρο τουλάχιστον «μικρή» βλάβη σε κάποιο σημείο του δικτύου της ΔΕΗ. Η επίπτωση που μπορεί να έχει στους καταναλωτές είναι μια διακοπή ολίγων λεπτών μέχρι και μερικών ωρών. Μια φωτιά σε ένα Υ/Σ μπορεί να τον καταστρέψει εξ' ολοκλήρου, με αποτέλεσμα υψηλό κόστος αποκατάστασης για την επιχείρηση ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοιες βλάβες δεν είναι συχνές αλλά, αν συμβούν, είναι πολύ επικίνδυνες. Στα επόμενα εδάφια, παρουσιάζονται μερικές από τις βελτιώσεις που μπορεί να επιφέρει η τεχνολογία BPL και το Έξυπνο Δίκτυο στο δίκτυο της ΔΕΗ.

## 8.2 Βελτιώσεις που μπορεί να προσφέρει η τεχνολογία BPL στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

### 8.2.1 Αναβάθμιση στις διακοπτικές και προστατευτικές λειτουργίες

Με την εισαγωγή και ενσωμάτωση της τεχνολογίας BPL στο δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος προσφέρονται νέες δυνατότητες στις διακοπτικές και προστατευτικές λειτουργίες που οδηγούν στη σημαντική αναβάθμιση του δικτύου της ΔΕΗ. Για παράδειγμα

- Οι απομακρυσμένοι χειρισμοί μπορεί να γίνουν άμεσα από το κέντρο διαχείρισης απευθείας μέσω της γραμμής MT, χωρίς να είναι αναγκαία πρόσθετη σύνδεση και επικοινωνία, όπως PSTN, ADSL, GSM.
- Δυνατότητα απομόνωσης φορτίων και προγραμματισμός επανένταξής του στο δίκτυο.
- Δυνατότητα πολλαπλών μετρήσεων (έντασης, τάσης, ισχύος) αυτόματα και καταγραφή αυτών σε βάσεις δεδομένων.
- Άμεση συλλογή πληροφοριών για την κατάσταση του δικτύου.



Σχήμα 8.3 Έλεγχος ελαιοδιακοπών (Circuit Breakers) μέσω μονάδων BPL

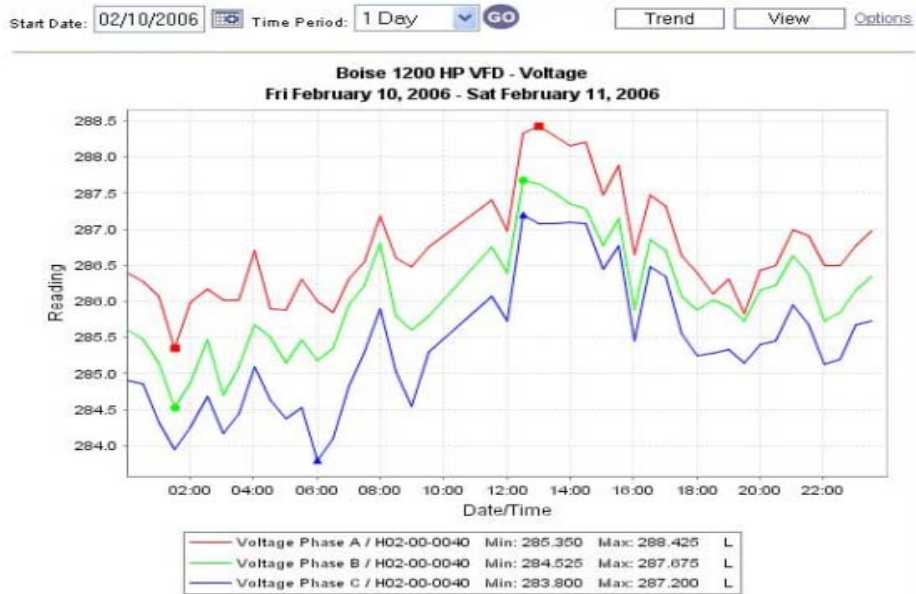
Το Σχήμα 8.3 απεικονίζει το πιθανό σημείο τοποθέτησης μονάδων BPL ώστε να έχουν την δυνατότητα ελέγχου φορτίων και ανοίγματος διακοπών για την δυναμική διαχείριση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως παρατηρούμε από το απλοποιημένο διάγραμμα μια μονάδα BPL έχει την δυνατότητα ελέγχου των CB1, CB2 και CB3 διακοπών ώστε να γίνει η άμεση αποκοπή φορτίων σε περίπτωση κάποιου προβλήματος ή ακόμα με το άνοιγμα του διακόπτη CB2 να γίνει η άμεση αποκοπή όλων των φορτίων που καλύπτει ο ΜΣ για την πιθανή αποφυγή πτώσης τάσης ή blackout. Αν υποθέσουμε ότι υπάρχει πτώση τάσης σε κάποιο φορτίο τότε ή λειτουργεί παράλληλα το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος με αυτόματη εντολή από την μονάδα BPL ή τίθενται εντός οι πυκνωτές αν η βύθιση είναι μικρή ή χρησιμοποιούμε τον συνδυασμό των δύο μεθόδων. Ο έλεγχος από την μονάδα BPL είναι διαρκής βάσει λογισμικού λειτουργίας και εφαρμογής των ανωτέρω.

### **8.2.2 Νέες δυνατότητες στο σύστημα μετρήσεων και ρυθμίσεων του δικτύου MT**

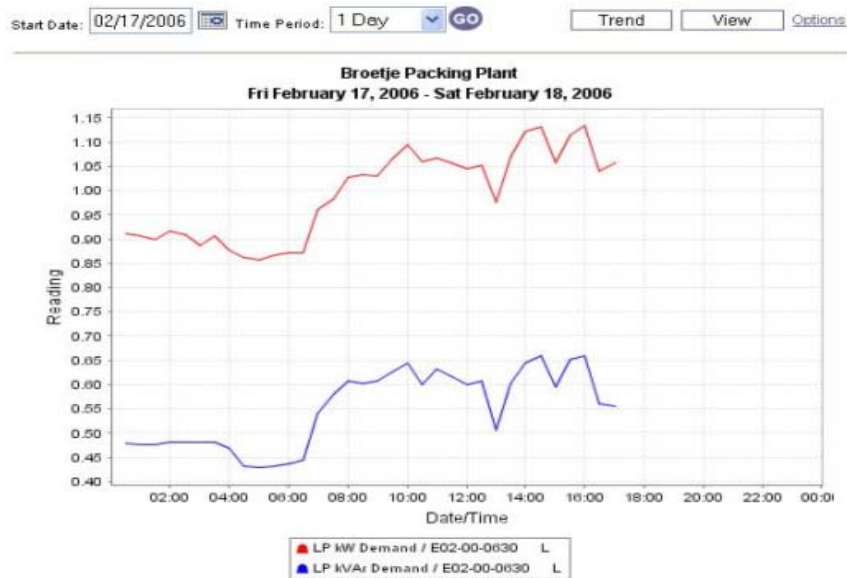
Οι απομακρυσμένοι χειρισμοί στους Υ/Σ αλλά και στα κέντρα μπορούν να πραγματοποιούνται άμεσα χωρίς κόστος μίσθωσης του τηλεπικοινωνιακού φορέα για γραμμές PSTN ή για τις συνδέσεις GSM. Τα σήματα μεταδίδονται απευθείας μέσω των γραμμών της MT στο κέντρο διαχείρισης και ελέγχου. Επομένως, υπάρχει άμεσο οικονομικό όφελος λόγω μηδενισμού του αντίστοιχου σημαντικού κόστους. Δεν χρειάζεται η προμήθεια και εγκατάσταση νέων RTU για τηλεχειρισμό, ενώ μέσω της τεχνολογίας BPL προσφέρεται η δυνατότητα αποστολής των σημάτων ελέγχου από τις ήδη εγκατεστημένες μονάδες RTU των Υ/Σ στο κέντρο διαχείρισης. Αυτό συνεπάγεται μεγάλη μείωση του κόστους εγκατάστασης, ελέγχου και εποπτείας για την επιχείρηση της τάξης των εκατομμυρίων ευρώ. Η ύπαρξη και η ακριβής θέση κάποιου σφάλματος στο δίκτυο μπορούν να προσδιορισθούν κατά άμεσο τρόπο από τα στοιχεία που παρέχουν οι μονάδες BPL με τη χρήση της τεχνολογίας GPS που μέσω δορυφόρου παρέχει το ακριβές στίγμα της βλάβης. Η δυνατότητα αυτή μειώνει το χρόνο και το κόστος αποκατάστασης της βλάβης και αυξάνει σημαντικά την αξιοπιστία της επιχείρησης. Με χρήση κατάλληλων αισθητήρων και λογισμικού, μπορεί πλέον να

γίνεται πρόβλεψη βλαβών με αποτέλεσμα τα συνεργεία συντήρησης και αποκατάστασης να είναι σε θέση ή να προλαμβάνουν αστοχίες και σφάλματα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ή να προετοιμάζονται για την αποκατάσταση της βλάβης με τα κατάλληλα μέσα και υλικά. Η προληπτική συντήρηση αποκτά ουσιαστικό νόημα χωρίς να βασίζεται αποκλειστικά στο χρόνο λειτουργίας των εγκαταστάσεων, με αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των βλαβών που συνεπάγεται τεράστιο όφελος, αφενός, για την επιχείρηση ηλεκτρικής ενέργειας και, αφετέρου, για τον καταναλωτή. Μεταξύ άλλων, για την επιχείρηση μειώνονται ο αριθμός των εργατοωρών που πληρώνει σε ανάλογες περιπτώσεις και η κατανάλωση καυσίμων από την κίνηση των οχημάτων της. Ο καταναλωτής επωφελείται διότι μειώνεται ο χρόνος διακοπής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με αποτέλεσμα λιγότερες απώλειες για τους επαγγελματίες (ψυγεία, εγκαταστάσεις, βιοτεχνίες κ.α) αλλά και λιγότερα ατυχήματα σε ανελκυστήρες, δρόμους, νοσοκομεία κλπ).

Με κατάλληλο λογισμικό διαχείρισης και ελέγχου, είναι δυνατή η μέτρηση τάσης και ισχύος από το κέντρο ελέγχου με άμεση και σε πραγματικό χρόνο παρακολούθηση της λειτουργίας κρίσιμων φορτίων, όπως φαίνεται στα Σχήματα 8.3 και 8.4. Τα σχετικά διαγράμματα έχουν πραγματοποιηθεί με χρήση τεχνολογίας BPL από την Cannon Technologies σε συνεργασία με την Columbia Rural Electric Association και την Yukon Advanced Energy Services Platform νοτιοδυτικά της Washington στην περιοχή Walla Dayton. Η περιοχή αυτή είναι αγροτική με οπωροφόρα δένδρα, αμπελώνες, λαχανικά κ.α. Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση περιλαμβάνει Υ/Σ με φορτία μεγάλες αντλίες. Η μέγιστη συνολική ισχύς της εγκατάστασης είναι 83MW από τα οποία τα 20-30MW είναι για μη αρδευτικά φορτία, ενώ τα 60MW περιλαμβάνουν φορτία άρδευσης. Η περιοχή περιλαμβάνει 60 διαφορετικές υπηρεσίες άρδευσης μερικές από τις οποίες είναι της τάξης των 7MW, όπως, για παράδειγμα, τη Georgia Pacific (καλλιέργειες δένδρων), τη Welchs (χυμοί σταφυλιών, μήλα, λαχανικά, αμπελώνες), αντλίες κ.α. Στη περιοχή αυτή, έχουν τοποθετηθεί περίπου 4000 «έξυπνοι» μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας.



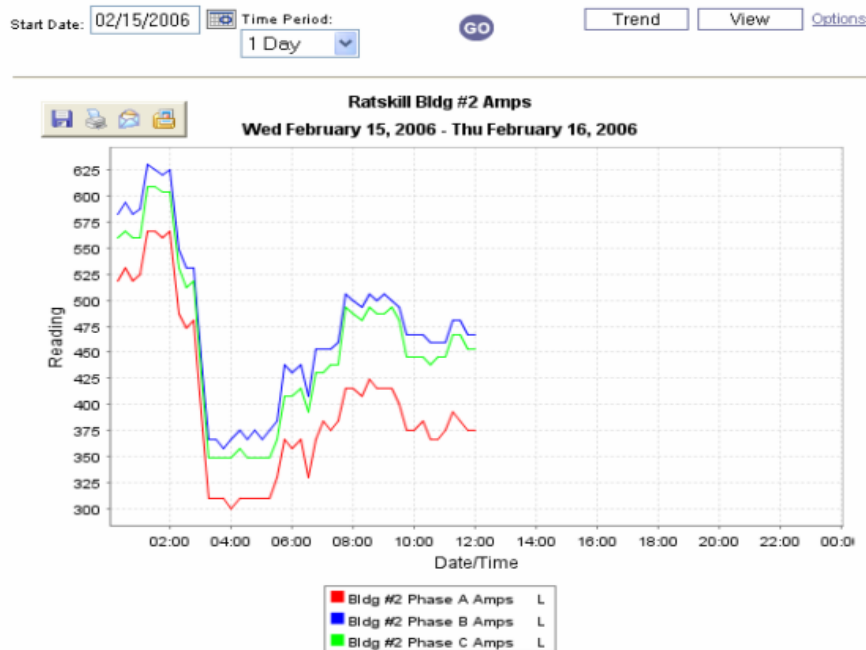
Σχήμα 8.3 Μέτρηση τριφασικής τάσης μέσω BPL



Σχήμα 8.4 Μέτρηση ισχύος μέσω BPL

Η παρακολούθηση των φορτίων (κινητήρες, βιομηχανίες κλπ) γίνεται σε καθημερινή βάση και οι μετρήσεις αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων στο κέντρο ελέγχου. Αν σε κάποια χρονική στιγμή, είναι επιθυμητή η γνώση της κατανομής της ισχύος κατά τη διάρκεια ενός μήνα, κατάλληλο λογισμικό επεξεργάζεται και παρουσιάζει

τις καταγραφές στην οθόνη. Εκτός από την τάση και την ισχύ, παρέχεται η δυνατότητα μέτρησης της έντασης σε κάθε φάση του τριφασικού φορτίου. Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου φαίνεται στο Σχήμα 8.5.



Σχήμα 8.5 Μέτρηση έντασης σε τριφασικό φορτίο κατά τη διάρκεια μιας μέρας.

### 8.2.3 Μείωση της ανάγκης για θερμικές κάμερες

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας BPL στο δίκτυο MT δίνει τη δυνατότητα προληπτικού ελέγχου σε σημεία φόρτισης, φθορές, κακές επαφές μεταξύ αγωγών. Έτσι, ταυτοποιούνται και ελέγχονται από τα συνεργεία αποκατάστασης και ελέγχου χρησιμοποιώντας τις νέες δυνατότητες του δικτύου BPL. Οι θερμικές κάμερες θα χρησιμοποιούνται μόνο σε κάποιες ιδιαίτερες περιπτώσεις, για παράδειγμα, σε σημεία όπου δεν έχει εγκατασταθεί ακόμη η τεχνολογία BPL. Το όφελος για τη ΔΕΗ είναι σημαντικό λόγω του ελαχιστοποίησης του κόστους χρήσης των θερμικών καμερών.

#### **8.2.4 Μείωση των απωλειών κατά τη διανομή της ενέργειας**

Η απώλεια ενέργειας κατά τη διανομή οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων και των δυναμικών αλλαγών στους υπερφορτωμένους και ελαττωματικούς εξοπλισμούς. Οι βελτιώσεις στην απόδοση, που θα προκύψουν με τη χρήση της τεχνολογίας BPL στο δίκτυο της ΔΕΗ και τη δημιουργία ενός Έξυπνου Δικτύου, είναι οι εξής

- Η διακύμανση της τάσης κατανάλωσης θα μειωθεί επειδή οι πυκνωτές και οι ρυθμιστές θα εποπτεύονται και θα ελέγχονται από το κέντρο διαχείρισης σε πραγματικό χρόνο.
- Μειώσεις της ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας θα αναγνωρίζονται αμέσως και οι συνθήκες (τάση, ρεύμα, πραγματική ισχύς, άεργος ισχύς, θερμοκρασία κ.τ.λ.) θα είναι γνωστές σε όλη την έκταση του δικτύου της ΔΕΗ σε πραγματικό χρόνο.
- Η ορθή λειτουργία του εξοπλισμού θα ελέγχεται συνεχώς και επικείμενες βλάβες σε καλώδια, ΜΣ και στον υπόλοιπο βασικό εξοπλισμό θα προβλέπονται με ανάλυση των αντίστοιχων υπογραφών θορύβου υψηλής συχνότητας.

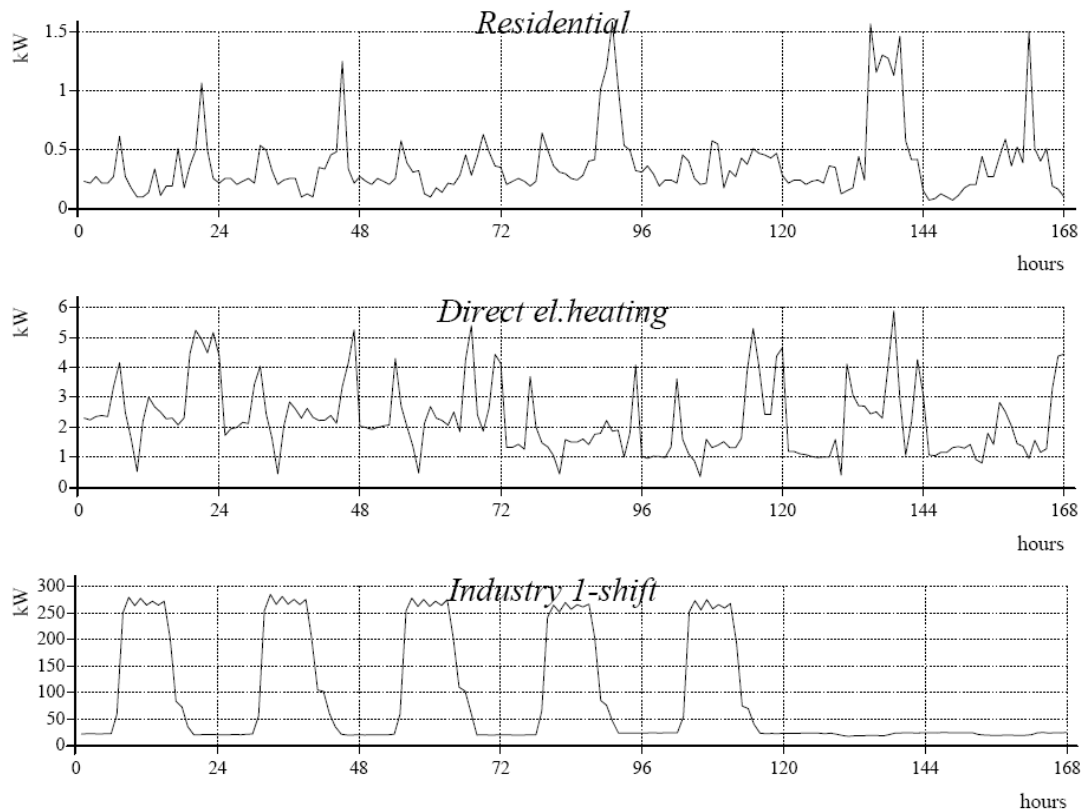
#### **8.2.5 Έλεγχος του φορτίου σε πραγματικό χρόνο**

Το ηλεκτρικό φορτίο στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλεται με τον χρόνο και την τοποθεσία (όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο Σχήμα 8.6 για τρεις διαφορετικές περιοχές). Συνεπώς, το σύστημα παραγωγής και διανομής πρέπει να ανταποκρίνεται άμεσα στις ανάγκες των καταναλωτών κάθε χρονική στιγμή. Οι σημαντικότεροι παράγοντες για την εκτίμηση της τιμής του φορτίου είναι

- Παράγοντες σχετιζόμενοι με τον καταναλωτή όπως ο τύπος κατανάλωσης, ο τύπος συστήματος θέρμανσης, το μέγεθος κτιρίου, οι ηλεκτρικές συσκευές, αριθμός εργαζομένων σε μια υπηρεσία κτλ.
- Παράγοντες που σχετίζονται με τον χρόνο όπως το σημείο της ημέρας, η ημέρα της εβδομάδας (ειδικές ημέρες,αργίες) και το σημείο του έτους.



- Κλιματολογικοί παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ηλιακή ακτινοβολία κτλ.
- Άλλα φορτία που σχετίζονται με το ενδιαφερόμενο φορτίο.
- Προηγούμενα στοιχεία, τιμές και καμπύλες φορτίου.



**Σχήμα 8.6** Συνολικό φορτίο σε σχέση με το χρόνο για τρεις τύπους περιοχών

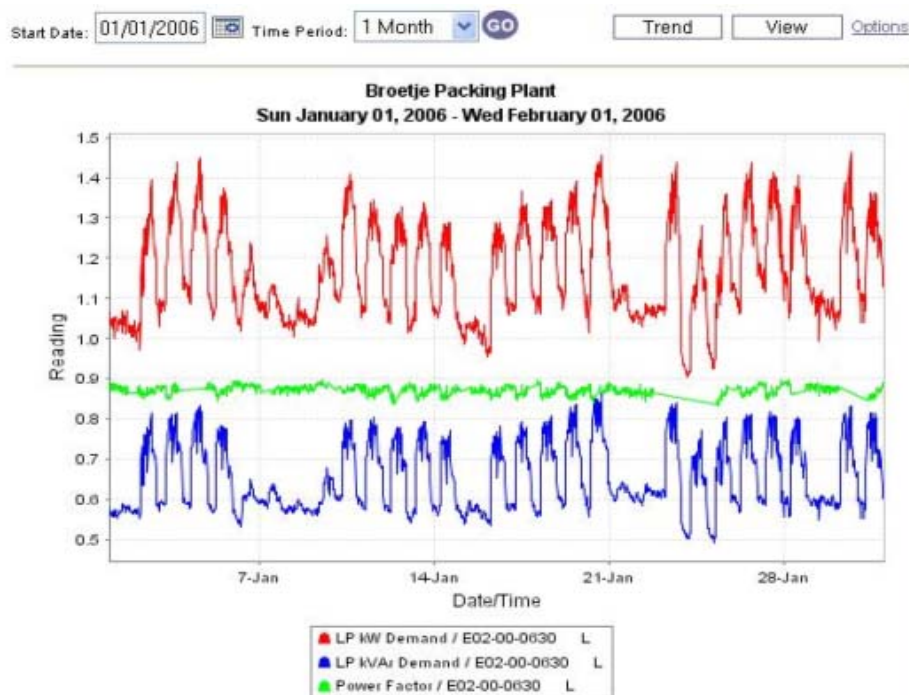
Το δίκτυο διανομής MT στερείται της ευφυΐας των συστημάτων SCADA που εντοπίζονται στα δίκτυα ΥΤ. Τα δίκτυα διανομής έχουν προφανώς την δυνατότητα της ενσωμάτωσης συστημάτων SCADA. Ωστόσο, η έκταση του δικτύου είναι τόσο μεγάλη που καθιστά αδύνατη μια τέτοια λύση. Λόγω αυτού του περιορισμού οι πάροχοι ηλεκτρισμού δεν έχουν την δυνατότητα εποπτείας σε πραγματικό χρόνο και συχνά είναι αβεβαιοί με τα ισχύοντα χαρακτηριστικά του δικτύου διανομής. Η τροφοδοσία ισχύος και το φορτίο ρεύματος πρέπει να είναι σταθερά ισορροπημένα για την εξασφάλιση της λήψης της σωστής τάσης από τους καταναλωτές. Αν η ισχύς και το φορτίο ρεύματος δεν βρίσκεται σε ισορροπία τότε η ισχύς που παρέχεται στους καταναλωτές θα

αυξομειώνεται συνεχώς. Ένα μεγάλο κύμα ζήτησης ρεύματος θα οδηγήσει σε φορτίο που δεν θα μπορέσει να καλύψει ο πάροχος και αυτό θα οδηγήσει σε επιλεκτικές πτώσεις τάσεις σε ορισμένες περιοχές για την αποφυγή πιθανών ευρείων blackouts. Με την σε πραγματικό χρόνο εποπτεία του συστήματος τροφοδοσίας στο κέντρο διανομής με BPL, οι πάροχοι θα έχουν την δυνατότητα της δυναμικής ρύθμισης της κατάστασης του φορτίου. Η εφαρμογή ελέγχου του φορτίου περιλαμβάνει την οικιακή και την εμπορική διαχείριση και έλεγχο του φορτίου σε όλο το δίκτυο. Τα πλεονεκτήματα του Έξυπνου Δικτύου, που μέσω της τεχνολογίας BPL μπορεί να υλοποιηθεί αξιόπιστα και αποτελεσματικά, περιλαμβάνουν

- Βελτιωμένο τρόπο μέτρησης, αφού τα όργανα μέτρησης θα παρέχουν και τη δυνατότητα κοστολόγησης σε πραγματικό χρόνο, την προπληρωμή λογαριασμών και περισσότερες επιλογές για τους καταναλωτές. Παράλληλα, παρέχονται στις εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περισσότερα εργαλεία για να βελτιστοποιήσουν την εκμετάλλευση των δυνατοτήτων τους.
- Το BPL μπορεί να θεωρηθεί ως διεπαφή μεταξύ της ΔΕΗ και των καταναλωτών, παρέχοντας πληροφορίες για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, μηνύματα για ενδεχόμενες διακοπές ρεύματος. Ο καταναλωτής μπορεί να προγραμματίζει τις εργασίες του και να αισθάνεται μεγαλύτερη ασφάλεια.
- Οι εταιρίες παραγωγής ενέργειας μπορούν επίσης, να συντάξουν εκπτωτικά προγράμματα, ώστε να επιτύχουν την αποτελεσματικότερη παραγωγή και διανομή της ενέργειας, χρεώνοντας περισσότερο την ενέργεια που ζητείται σε ώρες αιχμής, γεγονός που θα ωθήσει τους καταναλωτές να ζητούν ενέργεια σε άλλες ώρες.
- Οι συντελεστές φορτίου θα αυξηθούν ως αποτέλεσμα άμεσης και έμμεσης διαχείρισης του φορτίου. Θα αξιοποιηθεί, επίσης, η εποπτεία και ο έλεγχος των καταναμημένων γεννητριών και των τυχόν διατάξεων αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

## 8.2.6 Αυτόματος έλεγχος συντελεστή ισχύος και σταθεροποίησης τάσης

Η βελτίωση του συντελεστή ισχύος στο δίκτυο αλλά και στα φορτία αποκτά ξεχωριστό ενδιαφέρον με την χρήση της τεχνολογίας BPL. Η μονάδα BPL μετρά σε πραγματικό χρόνο τάση, ρεύμα και συντελεστή ισχύος (cosφ) και διορθώνει αυτόματα μέσω λογισμικού την τιμή του cosφ με την χρησιμοποίηση πυκνωτών ή σύγχρονων κινητήρων ώστε αυτός να μείνει στα προβλεπόμενα όρια. Κάθε σημαντικό φορτίο ή ομάδα φορτίων μπορεί να εποπτεύεται απομακρυσμένα ώστε κάθε αλλαγή της κατάστασης που έχει οριστεί βάσει συγκεκριμένων παραμέτρων να διορθώνεται αυτόματα. Στο Σχήμα 8.7 απεικονίζεται η μηνιαία κατανομή πραγματικής ισχύος, αέργου ισχύος και συντελεστή ισχύος ευαίσθητου φορτίου.



**Σχήμα 8.7 Μηνιαία κατανομή πραγματικής ισχύος, αέργου ισχύος και συντελεστή ισχύος ευαίσθητου φορτίου**

Η αυτοματοποίηση της διόρθωσης του συντελεστή ισχύος αλλά και της σταθεροποίησης της τάσης σε φορτία μπορεί να φανεί με ένα απλό παράδειγμα. Ας υποθεθεί ότι υπάρχουν δέκα διαφορετικά φορτία τα οποία έχουν συντελεστή ισχύος

$pf_{default}$  και ισχύ P (Watt) η οποία όπως φαίνεται στον Πίνακα 8.2. Θεωρώντας τυχαίες τιμές για τα ρεύματα φορτίων η τάση φορτίου προκύπτει από και  $V = \frac{P}{\sqrt{3}I_g pf_{default}}$  και

φαίνεται στον Πίνακα 8.3 σε kV. Αν επιθυμούμε σταθεροποίηση της τάσης στην τιμή των 20kV τότε η μονάδα BPL δίνει εντολή για την εισχώρηση των κατάλληλων πυκνωτών στο δίκτυο αφού υπολογίσει αυτόματα τον συντελεστή ισχύος που απαιτείται για την επίτευξη σταθερής τιμής. Η τιμή του συντελεστή ισχύος για κάθε φορτίο πρέπει συνεπώς να αλλάξει στην τιμή που φαίνεται στον Πίνακα 8.4.

Στο Σχήμα 8.8 παρουσιάζεται σχηματικά η διαφοροποίηση της τάσης του κάθε φορτίου η οποία πρέπει σύμφωνα με τις επιθυμίες μας να συγκλίνει σε αυτή των 20kV ενώ στο Σχήμα 8.9 φαίνεται η αλλαγή του συντελεστή ισχύος που θα οδηγήσει σε αυτό το αποτέλεσμα.

	$pf_{default}$
0	0.95
1	0.95
2	0.92
3	0.94
4	0.93
5	0.94
6	0.91
7	0.90
8	0.93
9	0.91

	P
0	1000
1	1030
2	1015
3	1010
4	1030
5	1000
6	1050
7	1050
8	1020
9	1050

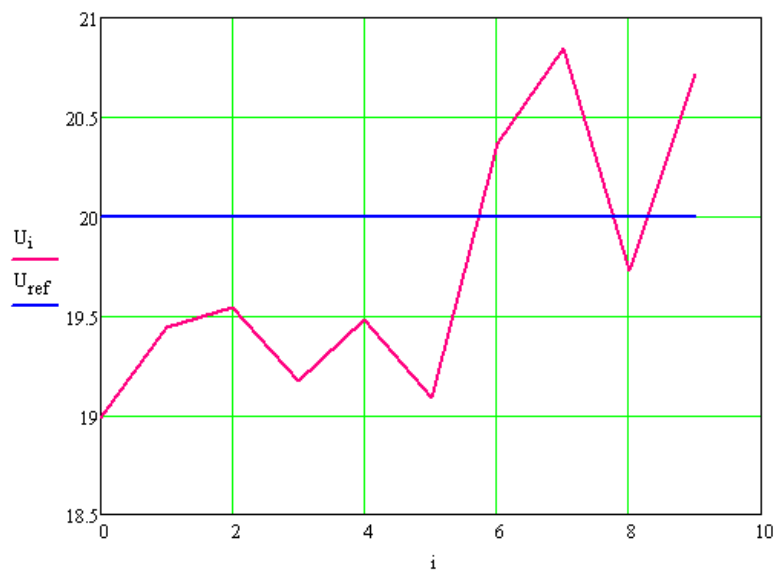
**Πίνακας 8.2 Τυχαίες τιμές cosφ και ισχύος για μια ομάδα δέκα φορτίων**

0	18.985
1	19.439
2	19.545
3	19.172
4	19.48
5	19.085
6	20.364
7	20.847
8	19.726
9	20.717

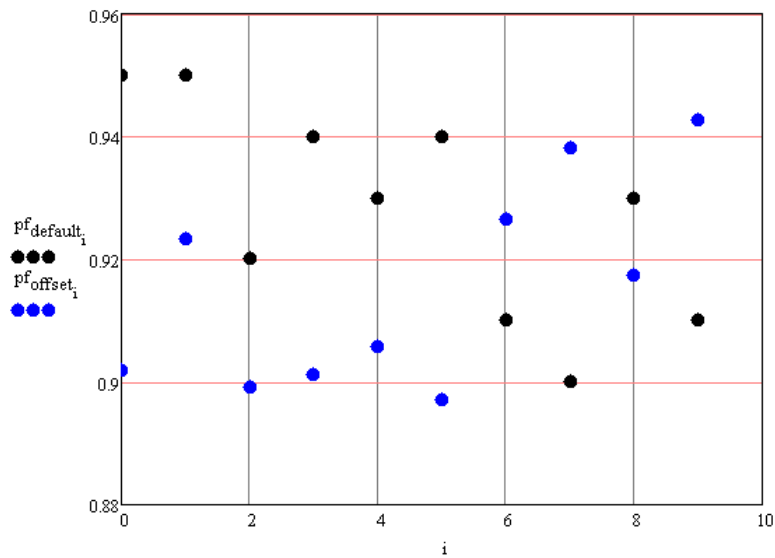
**Πίνακας 8.3 Τιμή της τάσης κάθε φορτίου της ομάδας**

0	0.902
1	0.923
2	0.899
3	0.901
4	0.906
5	0.897
6	0.927
7	0.938
8	0.917
9	0.943

**Πίνακας 8.4 Τιμή του συντελεστή ισχύος για σταθεροποίηση της τάσης**



**Σχήμα 8.8 Τιμή της τάσης κάθε φορτίου της ομάδας**



**Σχήμα 8.9** Τιμή του συντελεστή ισχύος για σταθεροποίηση της τάσης

Όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 7, η επιχείρηση ηλεκτρισμού θέτει κάποιες προδιαγραφές κατανάλωσης ισχύος και βάσει αυτών χρεώνει τους καταναλωτές της. Συνεπώς, με βάση συγκεκριμένες προδιαγραφές πρέπει για κάθε φορτίο να ισχύει  $pf_{default} \geq 0.95$ . Για την συμμόρφωση με τα όρια της επιχείρησης ηλεκτρισμού είναι απαραίτητη η διόρθωση του συντελεστή ισχύος με την πρόσθεση χωρητικότητας κατάλληλης τιμής οι οποίοι θα αντισταθμίζουν την άεργο ισχύ.

0	0
1	0
2	0.262
3	0.092
4	0.182
5	0.091
6	0.354
7	0.433
8	0.18
9	0.354

C =

**Πίνακας 8.5** Τιμή της χωρητικότητας του πυκνωτή (σε pF) που απαιτείται για την επιθυμητή βελτίωση του συντελεστή ισχύος σε κάθε φορτίο

Για το παραπάνω παράδειγμα, προκύπτει πολύ απλά βάσει της εξίσωσης (8.1) η τιμή της χωρητικότητας του πυκνωτή (σε pF) και σε συνδεσμολογία τριγώνου που απαιτείται για την επιθυμητή βελτίωση του συντελεστή ισχύος σε κάθε φορτίο και αποτυπώνεται στον Πίνακα 8.5.

$$C = \frac{P(\tan \phi_{\text{παλιό}} - \tan \phi_{\text{επιθυμητό}})}{400 \cdot 3 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 10^{-3}} \quad (8.1)$$

### 8.2.7 Βελτίωση της αξιοπιστίας μέσω της τεχνολογίας BPL

Η ανάλυση της αξιοπιστίας συστημάτων δεν είναι μία νέα μεθοδολογία αξιολόγησης των τεχνολογικών συστημάτων αλλά έχει χρησιμοποιηθεί εκτενέστατα στο παρελθόν από τους μηχανικούς για τη σχεδίαση συστημάτων που παρουσιάζουν ελάχιστο αριθμό βλαβών κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Όμως, στο παρελθόν η σχεδίαση τέτοιων συστημάτων έχει επιτευχθεί με τη χρησιμοποίηση μόνο εμπειρικών τεχνικών. Με βάση την τεχνολογία BPL η τεχνική ανάλυσης της αξιοπιστίας συστημάτων βασίζεται στην σε πραγματικό χρόνο παρακολούθηση του δικτύου και τον υπολογισμό ενός κατάλληλου συνόλου αριθμητικών δεικτών αξιοπιστίας. Επιπρόσθετα, οι τεχνικές αξιοπιστίας μπορούν να αναγνωρίσουν όλους τους τρόπους με τους οποίους το σύστημα μπορεί να υποστεί βλάβη, τις επιπτώσεις των βλαβών και να δώσουν πληροφορίες για τη συσχέτιση της ποιότητας λειτουργίας του συστήματος με το κόστος λειτουργίας και το κόστος επενδύσεων κεφαλαίου. Η ανάλυση της αξιοπιστίας ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται με τον υπολογισμό των δεικτών αξιοπιστίας σε κάθε ζυγό του συστήματος. Αυτοί οι δείκτες είναι οι ακόλουθοι

- Αναμενόμενος ρυθμός βλαβών  $\lambda$  (σε βλάβες/ έτος).
- Αναμενόμενη μέση διάρκεια εκτός λειτουργίας  $r$  (σε ώρες).
- Αναμενόμενος ετήσιος χρόνος εκτός λειτουργίας  $U$  (σε ώρες/ έτος).
- Μέσο μη τροφοδοτούμενο φορτίο  $L$  (σε MW ή KW).
- Μέση μη τροφοδοτούμενη ενέργεια  $E$  (σε MWh/ έτος ή KWh/ έτος).

Η μοντελοποίηση των λειτουργικών διαδικασιών που συμβαίνουν σε ένα πραγματικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης της αξιοπιστίας αυτού. Τα απαραίτητα δεδομένα προς αυτή την κατεύθυνση είναι

- Η τοπολογία του συστήματος.
- Δεδομένα αξιοπιστίας των στοιχείων του συστήματος.
  - Ολικός ρυθμός βλαβών (σε βλάβες ανά έτος) όπως ονομάζεται το άθροισμα του ρυθμού παθητικών και ενεργητικών βλαβών. Διαιρείται στο συνολικό ρυθμό βλαβών σε κανονικές και σε αντίξοες συνθήκες.
  - Ρυθμός ενεργών βλαβών (σε βλάβες ανά έτος).
  - Ρυθμός παροδικών βλαβών (σε βλάβες ανά έτος).
  - Ρυθμός εκτέλεσης της συντήρησης (αριθμός συντηρήσεων ανά έτος).
  - Μέσος χρόνος επισκευής (σε ώρες).
  - Μέσος χρόνος μεταγωγής διακόπτη (σε ώρες).
  - Μέσος χρόνος επαναφοράς (σε ώρες).
  - Μέσος χρόνος συντήρησης (σε ώρες).
  - Πιθανότητα αποτυχίας διακόπτη.
  - Ρυθμός βλαβών κοινής αιτίας (σε βλάβες ανά έτος).
  - Ρυθμός επισκευής βλαβών κοινής αιτίας (αριθμός επισκευής ανά έτος).
- Δεδομένα της μελέτης ροής - φορτίου του συστήματος.
  - Δεδομένα των ζυγών του συστήματος. Για κάθε ζυγό απαιτείται το μέγεθος της παραγόμενης ισχύος (η ενεργός σε MW και η άεργος σε MVAR), το μέγεθος του συνδεδεμένου φορτίου καθώς επίσης και το μέγεθος της τάσης α.μ. προκειμένου για ζυγούς παραγωγής.
  - Δεδομένα κλάδων του συστήματος. Για κάθε κλάδο του συστήματος απαιτείται η ισοδύναμη αντίσταση, αυτεπαγωγή, εγκάρσια αγωγιμότητα καθώς και η θερμική του αντοχή σε MVA. Αν ο κλάδος περιλαμβάνει ΜΣ με δυνατότητα της ρύθμισης της τάσης του ζυγού, τότε απαιτείται και ανώτερη και κατώτερη θέση ρύθμισης της τάσης του ζυγού όπου είναι συνδεδεμένο το δευτερεύον του ΜΣ, το βήμα ρύθμισης, η ονομαστική θέση ρύθμισης και η επιθυμητή τάση (σε α.μ.) του δευτερεύοντος.
  - Η βάση ισχύος σε MVA.



- Δεδομένα καμπύλης διάρκειας φορτίου. Δίνεται με ένα σύνολο σημείων, για καθένα από τα οποία δίνεται το επίπεδο φόρτισης, η πιθανότητα το ζητούμενο φορτίο να είναι μεγαλύτερο ή ίσο αυτού του επιπέδου φόρτισης και η μέση διάρκειά του εκφρασμένη σε ώρες. Αυτή η καμπύλη συνήθως αναφέρεται μόνο σε ορισμένους ζυγούς του συστήματος. Κατά συνέπεια υποτίθεται ότι όλοι οι ζυγοί έχουν τελικά την ίδια επεκταμένη καμπύλη διάρκειας φορτίου ώστε να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα.

Για πολλούς καταναλωτές το επίπεδο αξιοπιστίας είναι πολλές φορές σημαντικότερο από το επίπεδο τιμής μιας υπηρεσίας. Το σύστημα του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να παρέχει υψηλή αξιοπιστία και το BPL μπορεί να βοηθήσει σε αυτήν την κατεύθυνση. Η έλλειψη της σε πραγματικό χρόνο παρακολούθησης του δικτύου διανομής μειώνει αισθητά την ικανότητα παροχής υψηλού επιπέδου αξιοπιστίας. Το BPL παρέχει την δυνατότητα παροχής ευφυίας μέσα στο δίκτυο με την αύξηση των δυνατοτήτων παρακολούθησης και εποπτείας. Έτσι

- Η διακοπή ηλεκτρικού ρεύματος στο χώρο του πελάτη θα αναγνωρίζεται αμέσως και ο χρόνος αποκατάστασής της θα είναι σημαντικά μειωμένος.
- Ο συντονισμός των συσκευών προστασίας θα είναι πολύ ακριβής, με αποτέλεσμα λιγότεροι καταναλωτές να επηρεάζονται από μια ενδεχόμενη ηλεκτρική βλάβη.
- Τα κυκλώματα θα ελέγχονται από μακριά και σε πραγματικό χρόνο, με αποτέλεσμα τη μείωση των διακοπών ηλεκτρικού ρεύματος, της απώλειας ενέργειας και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της συντήρησης.
- Η άμεση επικοινωνία με τα ρελέ προστασίας επιτρέπει οι ρυθμίσεις τους να γίνονται βασισμένες στις εκάστοτε πραγματικές συνθήκες του συστήματος. Όταν συμβαίνουν βλάβες, η ακριβής θέση τους θα είναι άμεσα γνωστή μέσω της IP διεύθυνσης της διαγνωστικής μονάδας BPL σε συνδυασμό με σύστημα GPS και κατάλληλο λογισμικό. Η περίπτωση αυτή θα αναλυθεί περαιτέρω σε επόμενο εδάφιο.

Όταν επίκειται ένα ολικό blackout, η ισορροπία ανάμεσα στην παραγωγή και τη ζήτηση αρχίζει να χειροτερεύει δραματικά. Την ίδια στιγμή, κάποιες τάσεις του συστήματος μεταβάλλονται καθώς ορισμένες γραμμές μεταφοράς αρχίζουν να υπερφορτώνονται. Αυτές οι γραμμές βρίσκονται σε κίνδυνο, γιατί λόγω της υπερφόρτωσης καμπυλώνουν

και μπορεί να πέσουν σε δέντρα ή να τεθούν εκτός λειτουργίας από αυτόματα ρελέ προστασίας. Μια τέτοια κατάσταση πρέπει να αντιμετωπισθεί αμέσως. Ένας γρήγορος τρόπος είναι η αλλαγή των συνθηκών στο σύστημα, ενδεχομένως με αποκοπή φορτίων. Ενεργοποιώντας όλους τους πυκνωτές γραμμών διανομής μπορεί να παραχθεί η απαιτούμενη άεργη ισχύ στη γραμμή μεταφοράς ενέργειας. Όπως είναι γνωστό, η αιχμή του Συστήματος στην Ελλάδα εμφανίζεται κατά τους θερινούς μήνες και οφείλεται, κατά κύριο λόγο, στη διαρκώς αυξανόμενη χρήση συσκευών κλιματισμού και στη λειτουργία των αρδευτικών συστημάτων. Τα φορτία αυτά εμφανίζουν ισχυρό επαγωγικό χαρακτήρα με χαμηλό συντελεστή ισχύος, έναντι της ελάχιστης τιμής 0.95. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην ανάγκη αντιστάθμισης της αέργου ισχύος, ιδιαίτερα στο Νότιο Σύστημα και δευτερευόντως στο Κεντρικό Σύστημα και στα μεγάλα αστικά κέντρα. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, η αποτελεσματικότερη πρακτική είναι η τοπική αντιστάθμιση του φορτίου, ώστε να επιτυγχάνεται τοπική βελτίωση του συντελεστή ισχύος σε επίπεδο XT και MT. Το πρόβλημα της υψηλής και βραχύχρονης αιχμής πρέπει να αντιμετωπισθεί σε μόνιμη βάση. Είναι χαρακτηριστικό ότι, στις 12 Ιουλίου 2004, η ζήτηση υπερέβη τα 9.100MW μόνο επί τρεις ώρες. Παράλληλα, για όλο το έτος 2004, η ζήτηση υπερέβη τα 9.000MW μόνο επί 6 ώρες, ενώ υπερέβει τα 8.470MW επί 50 ώρες. Το κόστος λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος προκειμένου να καλύπτεται η ζήτηση αυτές τις ελάχιστες ώρες του έτους, είναι υπερβολικό και επιβαρύνει τον Έλληνα φορολογούμενο πολίτη. Δεν είναι δυνατό να μη γίνεται προσπάθεια για περικοπή της ζήτησης ενέργειας τουλάχιστον αυτές τις λίγες ώρες κατά τη διάρκεια ενός ολόκληρου έτους. Η εγκατάσταση νέων, πρόσθετων σταθμών παραγωγής που θα λειτουργούν μόνο επί ελάχιστες ώρες το έτος είναι ιδιαίτερα δαπανηρή λύση.

#### **8.2.8 Έλεγχος αρδευτικών συστημάτων**

Σημαντικό μέρος της αύξησης των αιχμών του φορτίου Ηλεκτρικού Συστήματος οφείλεται στα αρδευτικά συστήματα (αντλιοστάσια). Τα αρδευτικά συστήματα άντλησης ύδατος έχουν σημαντικά μειωμένο τιμολόγιο κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με τις σχετικές συμβάσεις προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας, υφίσταται

υποχρέωση των πελατών αυτών να μην απορροφούν ηλεκτρική ενέργεια κατά τις ώρες αιχμής του φορτίου του Συστήματος, όπως αυτές καθορίζονται από τη ΔΕΗ. Ο περιορισμός αυτός επιβλήθηκε, αφενός, για λόγους καλής λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος και, αφετέρου, για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος που σχετίζονται με την ορθολογική διαχείριση των υδάτινων πόρων. Ειδικότερα, εκτιμάται ότι στην περίπτωση της άρδευσης κατά τη διάρκεια της ημέρας, 40% του ύδατος εξατμίζεται πριν πέσει στο έδαφος, ενώ 20% της ποσότητας που φθάνει στο έδαφος εξατμίζεται πριν απορροφηθεί από αυτό. Συνεπώς, προκύπτουν συνολικές απώλειες ύδατος υψηλότερες του 50%. Παρ' όλα αυτά, σύμφωνα με στοιχεία της ΔΕΗ, παρατηρείται υψηλή φόρτιση των γραμμών διανομής με καθαρά αρδευτικό φορτίο και κατά τις μεσημβρινές ώρες του θέρους, που συμπίπτουν με την αιχμή ζήτησης του εθνικού Συστήματος, καίτοι για το διάστημα αυτό υφίσταται υποχρέωση μη λειτουργίας των αρδευτικών φορτίων. Δυστυχώς, η παραβίαση κατά τα προηγούμενα έτη των περιορισμών αυτών έχει οδηγήσει στην επιβάρυνση της συνολικής κατανάλωσης του ηλεκτρικού συστήματος που αντιστοιχεί σε ισχύ περίπου 700MW σε όλη την Ελλάδα, από τα οποία γύρω στα 400MW μόνο στη Θεσσαλία, κατά τις ώρες της θερινής αιχμής και μάλιστα σε περιοχές ιδιαίτερα σημαντικές για την ευστάθεια του συστήματος. Το BPL μπορεί να βοηθήσει στην διαχείριση των αρδευτικών συστημάτων με την κεντρική διαχείριση και τον συντονισμό των ενεργών ανά χρονική στιγμή φορτίων του συστήματος αλλά και με τον αυτόματο έλεγχο συγκεκριμένων διαδικασιών όπως

- Αύξηση της συνολικής απόδοσης με τό κεντρικό έλεγχο του χρόνου λειτουργίας ώστε να έχουμε μείωση του φορτίου σε ώρες αιχμής.
- Προσαρμογή διάρκειας συνεχόμενου χρόνου άρδευσης για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας καθώς και εξοικονόμηση πόρων.
- Αύξηση της αποδοτικότητας των αντλιών ή αντικατάσταση με άλλες αν παρατηρηθεί μείωση της απόδοσης.
- Έλεγχος κατανάλωσης ενέργειας και λογαριασμών.
- Μείωση της εξάρτησης από τις εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας με παραγωγή ΗΜΕ.
- Αυτόματη συλλογή καιρικών συνθηκών και στοιχείων εδάφους και μη χρησιμοποίηση των αντλιών κατά την διάρκεια βροχόπτωσης

- Έλεγχος TDH (Total Dynamic Head).
  - Διάρκεια ζωής αντλίας.
  - Πίεση λειτουργίας των συστημάτων ψεκασμού.
  - Απώλειες τριβής στα υδραυλικά, βαλβίδες, διακλαδώσεις.
  - Υψομετρικές διαφορές του εδάφους.
  - Απαιτήσεις ισχύος αντλιών.
  - Απαίτηση kW ανά αντλία.
  - Απαιτήσεις νερού.
  - Συντελεστής απόδοσης λειτουργίας εγκατάστασης.
- Βελτίωση του συντελεστή ισχύος.

### 8.2.9 Αντιμετώπιση προβλημάτων υπερέντασης και έλεγχος καταναλισκόμενης ισχύος

Σε περίπτωση που η μονάδα BPL ανιχνεύσει φαινόμενα υπερέντασης τότε υπάρχει κάποιο πρόβλημα στο φορτίο μας. Για την προστασία του φορτίου αλλά και του εξοπλισμού μας τερματίζουμε την λειτουργία του φορτίου θέτωντας τον CB3 (Σχήμα 8.3) σε κατάσταση off και απομονώνουμε το φορτίο μας. Στην περίπτωση πολλών διαδοχικών φορτίων οι μονάδες BPL ελέγχουν τις εντάσεις  $I_1, I_2, I_3$  και αν υπάρχει κάποιο πρόβλημα υπερέντασης δηλαδή αν  $I_1 > I_n$  ή  $I_2 > I_n$  ή  $I_3 > I_n$  τότε γίνεται η κατάλληλη αποκοπή φορτίου  $I_1, I_2, I_3$  αντίστοιχα και όχι όλης της ομάδας φορτίων.

Σε περίπτωση που η ΔΕΗ έχει θέσει κάποιο όριο παροχής ισχύος έστω  $P_n$  σε ώρες αιχμής τότε βάσει των φορτίων μας  $I_1, I_2, \dots, I_n$  πρέπει να έχουμε ως άνω όριο την ισχύ αυτή. Έτσι πρέπει

$$P_N \geq \sum_{i=1}^N P_{Li} \Rightarrow P_N \geq \sum_{i=1}^N (VI_{Li} \cos \phi_{Li}) \quad (8.2)$$

Αν υποθέσουμε ίδιο συντελεστή ισχύος για την ομάδα φορτίων τότε ισχύει

$$P_N \geq V \cos_L (I_{L1} + I_{L2} + \dots + I_{L3}) \quad (8.3)$$

Η μονάδα BPL μετρά σε πραγματικό χρόνο τάση, ρεύμα και συντελεστή ισχύος ( $\cos\phi$ ) και βάσει των παραπάνω υπολογίζει το σύνολο της πραγματικής καταναλισκόμενης ισχύος. Αν ισχύει

$$P_{Ltotal} > P_N \quad (8.4)$$

- Η μονάδα BPL έχει τότε την δυνατότητα της αποκοπής κάποιου φορτίου ώστε

$$P_{Ltotal} \leq P_N \quad (8.5)$$

- Η μονάδα BPL μειώνει την κατανάλωση με αυτόματο τρόπο είτε π.χ. μειώνοντας τις στροφές σε κάποιο κινητήρα είτε μειώνοντας την ένταση φωτισμού σε κάποια ενεργοβόρα περιοχή.

Είναι προφανές ότι αφού η ΔΕΗ χρεώνει σε ώρες αιχμής αλλά και όταν  $P_{Ltotal} \leq P_N$  συμφέρει οικονομικά την επιχείρηση να χρησιμοποιήσει για τον έλεγχο των φορτίων της την τεχνολογία BPL.

### 8.2.10 Λειτουργικές βελτιώσεις

Το Έξυπνο Δίκτυο θα βελτιώσει ιδιαίτερα τις καθημερινές λειτουργίες των εταιρειών ηλεκτρικής ενέργειας. Η βελτίωση αυτή δεν επηρεάζει άμεσα την αποτελεσματική αξιοποίηση των πόρων και την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά επηρεάζει θετικά την αποτελεσματικότητα των καθημερινών λειτουργιών των εταιρειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα

- Το προσωπικό συντήρησης θα έχει άμεση πρόσβαση στις αναγκαίες πληροφορίες μέσω δικτυακών συστημάτων επικοινωνίας και η διαχείριση θα είναι ακριβέστερη, βασισμένη σε στιγμιαίες πληροφορίες.
- Παρέχεται η δυνατότητα άμεσης πρόσβασης σε κεντρικές βάσεις δεδομένων που θα αυξήσει την αποτελεσματικότητα του προσωπικού συντήρησης, θα επιταχύνει την ανταπόκριση στις απαιτήσεις του πελάτη και θα καταστήσει ασφαλέστερες, τις διάφορες λειτουργίες. Οι βελτιώσεις αυτές, είναι πολύτιμες κατά την αποκατάσταση βλαβών που προκαλούνται από καταιγίδες.

- Η απόδοση της εργασίας θα αυξηθεί σημαντικά λόγω της στενής παρακολούθησης του προσωπικού συντήρησης κατά τη διάρκεια των εργασιών του.
- Μέσω της εφαρμογής απομακρυσμένης κάμερας με πρόσβαση στο Διαδίκτυο θα βελτιωθεί η φυσική ασφάλεια του δικτύου.

### **8.2.11 Αύξηση ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας**

Ο όρος «ποιότητα παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας» αναφέρεται αφενός στην αξιοπιστία ηλεκτροδότησης (πλήθος και διάρκεια διακοπών) και αφετέρου στις διαταραχές της τάσης. Ο προσδιορισμός και η ποσοτικοποίησή της γίνεται με τη χρήση κατάλληλων δεικτών. Οι πλέον συνήθεις δείκτες αφορούν στο πλήθος και στη συνολική διάρκεια διακοπών ανά καταναλωτή το έτος καθώς και στη μέση διάρκεια διακοπών. Επίσης, χρησιμοποιούνται και άλλοι δείκτες, που σχετίζονται με τη μη διανεμόμενη ενέργεια λόγω διακοπών, καθώς και με την ποιότητα της τάσης (βυθίσεις, αρμονικές κλπ.).

Οι νομοθετικές ρυθμίσεις που αφορούν στις υποχρεώσεις των ηλεκτρικών επιχειρήσεων απέναντι στους καταναλωτές ως προς την ποιότητα της παρεχόμενης ενέργειας γίνονται συνεχώς αυστηρότερες, τόσο στην Ευρώπη όσο και διεθνώς. Προς το παρόν, οι αποζημιώσεις σε καταναλωτές λόγω χαμηλής ποιότητας παρεχόμενης ενέργειας βρίσκονται σε χαμηλά σχετικά επίπεδα. Ωστόσο η τάση τους είναι έντονα αυξητική, λόγω της αυξανόμενης ευαισθησίας των καταναλωτών σε τέτοια θέματα, η οποία ωθεί τις αρμόδιες αρχές προς την κατεύθυνση της θέσπισης αυστηρών νομοθετικών ρυθμίσεων. Με συνεχώς αυξανόμενους ρυθμούς, συνάπτονται συμφωνίες μεταξύ ηλεκτρικών επιχειρήσεων και μεγάλων, προς το παρόν, καταναλωτών σχετικά με την ποιότητα της παρεχόμενης ενέργειας, οι οποίες προβλέπουν υποχρέωση των ηλεκτρικών επιχειρήσεων να καταβάλουν αποζημιώσεις, εάν η ποιότητα μειωθεί κάτω από προσυμφωνημένα επίπεδα.

Οι ηλεκτρικές επιχειρήσεις αναπτύσσουν σταδιακά ακριβέστερες διαδικασίες προσδιορισμού της ποιότητας της ενέργειας που παρέχουν. Οι διαδικασίες αυτές βασίζονται κυρίως στην ανάλυση των στοιχείων διακοπών και βλαβών που συγκεντρώνονται στα Κέντρα Ελέγχου. Ως προς την ποιότητα της τάσης, οι ηλεκτρικές επιχειρήσεις βασίζονται σε καταγραφείς τοποθετημένους σε σταθερές θέσεις του δικτύου είτε φορητούς.

Παράλληλα, οι ηλεκτρικές επιχειρήσεις παίρνουν μέτρα βελτίωσης της ποιότητας ενέργειας. Τα μέτρα αυτά, στη ΜΤ αφορούν κυρίως

- Στην επέκταση του τηλελέγχου και στην αυτοματοποίηση των δικτύων.
- Στην αλλαγή της δομής των δικτύων (συνήθως μετατροπή της ακτινικής δομής σε δομή ανοικτού βρόχου).
- Στην υπογείωση των δικτύων. Τα υπόγεια δίκτυα παρουσιάζουν λιγότερες βλάβες, κυρίως γιατί δεν είναι εκτεθειμένα στις ατμοσφαιρικές επιδράσεις. Ωστόσο συντρέχουν και άλλοι λόγοι οι οποίοι συνηγορούν υπέρ της επέκτασης των υπόγειων δικτύων σε βάρος των εναέριων, όπως η δυσκολία εξασφάλισης ζωνών διέλευσης για τα εναέρια δίκτυα και οι λόγοι αισθητικής.
- Στην αλλαγή της μεθόδου γείωσης του ουδετέρου.

Περίπου το 60 % των διακοπών ηλεκτροδότησης που υφίστανται οι καταναλωτές ΧΤ οφείλεται στα δίκτυα ΜΤ. Είναι προφανές ότι η αξιοπιστία των δικτύων ΜΤ είναι πολύ σημαντική για την αξιοπιστία ηλεκτροδότησης των καταναλωτών. Συνεπώς η τεχνολογία BPL πρόκειται να παίξει σημαντικό ρόλο στην αύξηση της ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας αφού θα έχουμε μείωση του πλήθους και της συνολικής διάρκειας διακοπών ανά καταναλωτή το έτος καθώς και της μέσης διάρκειας διακοπών. Η αυτόματη σταθεροποίηση της τάσης μέσω λογισμικού με τον συντονισμένο έλεγχο από τις διασκορπισμένες μονάδες BPL θα αυξήσει ακόμα περισσότερο την αξιοπιστία και την ασφάλεια που νιώθουν οι καταναλωτές ενώ θα επιφέρει μεγάλη μείωση των σημαντικών εξόδων που έχουν οι επιχειρήσεις ηλεκτρισμού για τις αποζημιώσεις σε καταναλωτές. Επομένως, κρίνεται άσκοπη η ανάληψη των μέτρων βελτίωσης που παρουσιάστηκαν παραπάνω, κάτι που θα επιφέρει ακόμα μεγαλύτερη μείωση εξόδων από την επιχείρηση ηλεκτρισμού.

### 8.2.12 Διαχείριση απομονωμένων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Εδώ και πολλά χρόνια το τηλεπικοινωνιακό μέσο που χρησιμοποιείται για την μετάδοση πληροφοριών από την επιχείρηση ηλεκτρισμού ήταν οι τηλεφωνικές γραμμές όπως αναφέραμε και στην αρχή του κεφαλαίου. Αυτή η μέθοδος είναι σίγουρα αποτελεσματική, αλλά είναι ακριβή και απαιτεί ξεχωριστή σύνδεση για κάθε ελεγχόμενη μονάδα. Η νέα τάση στον έλεγχο και την παρακολούθηση του δικτύου διανομής αλλά και των απομακρυσμένων περιοχών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, βασίζεται σε συστήματα που χρησιμοποιούν το διαδίκτυο ή την ασύρματη τεχνολογία ή τον συνδυασμό αυτών των δύο. Σε κάθε περίπτωση οι απαιτήσεις ρυθμού μετάδοσης από την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία είναι καθοριστικός παράγοντας όταν χρησιμοποιείται από ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Τα πιθανά προβλήματα από την χρήση μετάδοσης βασισμένης στο διαδίκτυο είναι τοπική συμφόρηση ή «πτώση» κάποιου εξυπηρετητή που μπορεί να προκαλέσει την διακοπή της σύνδεσης μεταξύ του κέντρου ελέγχου και της διαχειριζόμενης μονάδας. Όσον αφορά τις ασύρματες τεχνολογίες, τα τελευταία χρόνια αυτές που χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα είναι

- Wireless Application Protocols (WAP)
- Bluetooth
- IEEE 802.11
- Ultra WideBand (UWB)

Ωστόσο, η μετάδοση σήματος σε μεγάλες αποστάσεις χρειάζεται ένα GSM δίκτυο. Αν και αυτή φαίνεται να είναι μια απλή και φθηνή λύση, η χρησιμοποίησή της περιορίζεται από το γεγονός ότι σε εδάφη τα οποία είναι ανισόπεδα (κατά μεγάλο ποσοστό στην Ελλάδα) αυτή η τεχνολογία υστερεί αφού απαιτεί line of sight (LOS) τηλεπικοινωνία για μεγάλες αποστάσεις. Συνεπώς η χρήση της τεχνολογίας BPL προσφέρει μια απλή και ανέξοδη λύση στο πρόβλημα της διαχείρισης απομακρυσμένων μονάδων παραγωγής αλλά και του δικτύου διανομής γενικότερα.

Όταν υπάρχουν πολλές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συμβατικές αλλά και ήπιων μορφών τότε πολλές φορές παρατηρείται το φαινόμενο των διαφορετικών τιμών τάσης και συχνότητας στις μπάρες YT και MT. Με χρήση των μονάδων BPL μπορούμε να ελέγχουμε τις τιμές τάσης και συχνότητας και εφόσον υπάρχει κάποιο



πρόβλημα σε κάποιο τοπικό ανεξάρτητο παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας να τον θέσουμε εκτός του δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγουμε τον κίνδυνο δημιουργίας αστάθειας. Έτσι αν ένας παραγωγός (π.χ ανεμογεννήτρια) δίνει τάση πέραν ενός καθιερωμένου ορίου έστω  $18kV \leq V \leq 22kV$  τότε αυτόματα θέτουμε το κέντρο παραγωγής εκτός του δικτύου. Αντίστοιχα, αποκοπή του κέντρου παραγωγής από το δίκτυο γίνεται αν η συχνότητα βγει εκτός των ορίων  $49.9Hz \leq f \leq 50.1Hz$ .

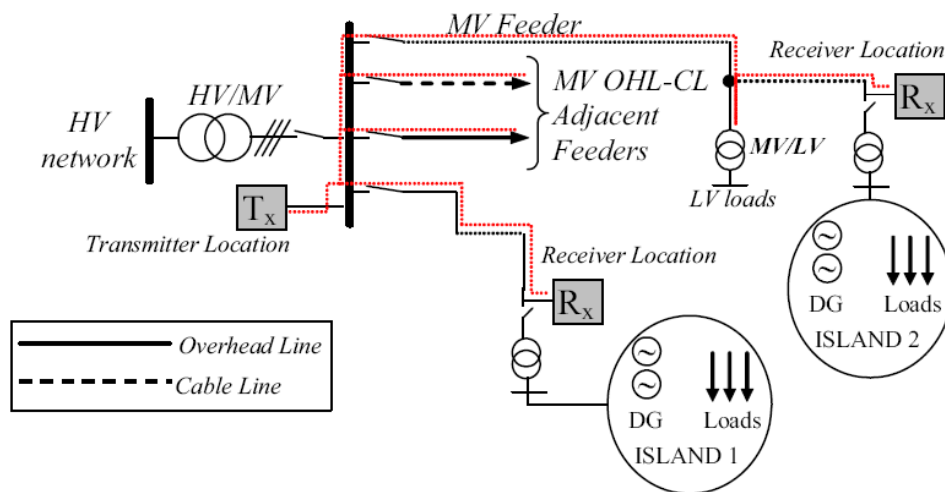
Ένα άλλο πρόβλημα που προκύπτει είναι το γεγονός ότι η εγκατάσταση πολλών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνει τα επίπεδα του ρεύματος βραχυκύκλωσης καθώς και την σύνθετη αντίσταση όπως παρατηρείται από κάποιο σημείο σφάλματος. Συνεπώς, αν ένα δίκτυο έχει ήδη υψηλό επίπεδο ρεύματος βραχυκύκλωσης είναι απαραίτητος ο έλεγχος της διακοπής ισχύος του αποζεύκτη και κρίνεται απαραίτητη η χρήση πιο ισχυρών προστατευτικών μέσων. Άλλη λύση μπορεί να δοθεί με την σύνδεση της μονάδας παραγωγής σε διαφορετικό σημείο στο δίκτυο με σκοπό της μείωσης της συνεισφοράς του στα ρεύματα βραχυκύκλωσης των γραμμών διανομής ή τοποθέτηση πυκνωτών σε σειρά με σκοπό την ελάττωση της συνεισφοράς τους στο ρεύμα βραχυκύκλωσης. Ο έλεγχος των τιμών του ρεύματος βραχυκύκλωσης μπορεί να γίνεται αυτόματα από τις μονάδες BPL που θα είναι κατανομημένες στο μεγαλύτερο τμήμα του δικτύου MT.

Ένα ακόμη σοβαρό ζήτημα που ανακύπτει από την παράλληλη λειτουργία πολλών παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας είναι το ότι είναι αρκετά δύσκολο να γίνει ρύθμιση της τάσης με τους παραδοσιακούς τρόπους. Η παρουσία της απομακρυσμένης μονάδας παραγωγής, με την έγχυση ενεργού και αέργου ισχύος στο δίκτυο, μεταβάλλει την αρχική παθητική φύση του δικτύου διανομής, επηρεάζοντας έτσι την τάση στο περιβάλλον της κάτι που απαιτεί την αναθεώρηση των στρατηγικών που χρησιμοποιούνταν μέχρι τώρα για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος. Παραδοσιακά η ρύθμιση της τάσης γίνεται με τον ΜΣ πολλαπλής λήψης. Όταν υπάρχει παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλά σημεία είναι αδύνατη η ρύθμιση της τάσης με αυτόν τον τρόπο. Έτσι αποδεκτός τρόπος ρύθμισης της τάσης είναι αυτός του ελέγχου του συντελεστή ισχύος σε κάθε τοπικό παραγωγό. Κάθε τοπικός παραγωγός συμμετέχει μαζί με τον ΜΣ πολλαπλής λήψης (OLTC On-Load Tap-Changer transformer) στην ρύθμιση της τάσης του αγωγού στο οποίο είναι συνδεδεμένος, εξασφαλίζοντας έτσι

καλύτερα αποτελέσματα στους αγωγούς του δικτύου διανομής. Το μεγάλο πρόβλημα οφείλεται στο γεγονός ότι σε κάθε αγωγό του δικτύου η ισχύς ρέει αμφίδρομα και στις δύο κατευθύνσεις, με αποτέλεσμα η τάση να μην είναι μειούμενη αλλά να έχει διαφορετικό χαρακτήρα σε κάθε αγωγό και έτσι να απαιτείται διαφορετική αντιμετώπιση για την ρύθμιση της τάσης σε κάθε τμήμα του δικτύου. Επιπροσθέτως, η διαφοροποίηση στην λειτουργία της κάθε απομακρυσμένης μονάδας παραγωγής καθιστά την οποιαδήποτε διαδικασία ρύθμισης της τάσης βάσει σταθερών και χρονικά αμετάβλητων στοιχείων ακατάλληλη για την συγκεκριμένη περίπτωση. Ο κανόνας ελέγχου βασίζεται στο γεγονός ότι σε ένα ακτινικό παθητικό δίκτυο διανομής η ΜΤ του δικτύου είναι στενά συνδεδεμένη με το ποσό της ενεργού και αέργου ισχύος που ρέει διαμέσω του κεντρικού Υ/Σ ΜΣ. Λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός ότι διαφορετικοί αγωγοί έχουν διαφορετικές απαιτήσεις ρύθμισης τάσης και συντελεστή ισχύος, η στρατηγική που μπορεί να εφαρμοστεί για την ρύθμιση της τάσης που διανέμεται βασίζεται στον τοπικό έλεγχο του συντελεστή ισχύος σε κάθε σημείο του δικτύου. Η βασική ιδέα είναι να δώσουμε εντολή στον OLTC κεντρικό Υ/Σ εκτός από την ρύθμιση της τάσης στον ζυγό ΜΤ, να ρυθμίζει την αέργο ισχύ διαμέσω του ΜΣ με στόχο την διατήρηση του επιθυμητού συντελεστή ισχύος και έτσι να δίνει ρεύμα σε εκείνα τα επίπεδα που απαιτούνται για την κάλυψη των αναγκών των φορτίων σε ενεργό ισχύ. Ως αποτέλεσμα αυτής της ενέργειας η ρύθμιση της αέργου ισχύος ανατίθεται πλέον στις απομακρυσμένες μονάδες παραγωγής που αναγκάζονται να εγχύουν ισχύ με ένα συγκεκριμένο συντελεστή ισχύος, η τιμή του οποίου καθορίζεται αυτόματα για κάθε αγωγό από τον κεντρικό ελεγκτή στην βάση των κόμβων των αγωγών. Με τον τρόπο αυτό, κάθε παραγωγός, όταν βρίσκεται σε λειτουργία, θα συμμετέχει στην ρύθμιση του επιπέδου της τάσης του αγωγού στον οποίο είναι συνδεδεμένος. Αυτό καθίσταται δυνατόν με την αμφίδρομη ανταλλαγή πληροφοριών βάσει της τεχνολογίας BPL ανάμεσα στις μονάδες παραγωγής και στον κύριο ΜΣ.

Η τεχνολογία BPL μπορεί να βοηθήσει και στην περίπτωση δημιουργίας κάποιας βλάβης ή σφάλματος σε μια απομονωμένη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (islanding) [17]. Σύμφωνα με το Σχήμα 8.10, όταν ο δέκτης Rx, που μπορεί να είναι μια απλή μονάδα BPL, δεν λάβει για οποιονδήποτε λόγο κάποιο σήμα ελέγχου από τον πομπό Tx τότε γίνεται αυτόματη και άμεση διακοπή της λειτουργίας της μονάδας

παραγωγής για την αποφυγή προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά συστήματα ελέγχου που δεν ήταν αξιόπιστα και ήταν επιρρεπή σε λανθασμένες ειδοποιήσεις η τεχνολογία BPL έχει το πλεονέκτημα του σε πραγματικό χρόνο εντοπισμού του σημείου βλάβης και της αποκοπής του συγκεκριμένου μόνο φορτίου.



Σχήμα 8.10 Έλεγχος απομακρυσμένων μονάδων παραγωγής

### 8.2.13 Αυτόματη ανάγνωση μετρητή (AMR)

Για το μεγαλύτερο διάστημα του 20ού αιώνα η χρέωση για την κατανάλωση ρεύματος βασιζόταν στην εξέταση των ηλεκτρομηχανικών ρολογιών κάθε χρήστη μέσω του κατάλληλου προσωπικού και την καταγραφή των τιμών κατανάλωσης σε ένα βιβλίο αρχείου. Μέσω των πρόσφατων εξελίξεων η χειροκίνητη εργασία δίνει την θέση της στα συστήματα αυτόματης μέτρησης (AMR). Με την αυτόματη αναγνώριση μετρητή, η ΔΕΗ θα είναι σε θέση να γνωρίζει σε πραγματικό χρόνο την κατανάλωση ενέργειας κάθε οικείας, επιχείρησης, βιομηχανίας κτλ. Αυτό και μόνο το γεγονός αποτελεί τεράστιο όφελος και εξοικονόμηση οικονομικών και ανθρωπίνων πόρων για τη ΔΕΗ, αφού σήμερα η ΔΕΗ απασχολεί σημαντικό τμήμα του ανθρώπινου δυναμικού της για τη μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας στους μετρητές ή υποθέτει ένα ποσό κατανάλωσης με

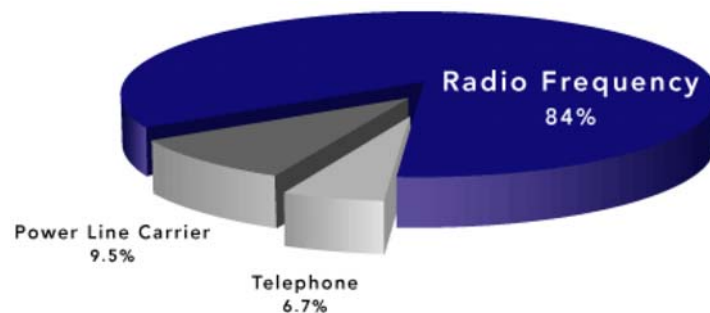
βάση στατιστικά δεδομένα και σε επόμενους λογαριασμούς διορθώνει τις αποκλίσεις από την πραγματικότητα. Αυτό το γεγονός, μειώνει την αξιοπιστία της ΔΕΗ και προβληματίζει τους πελάτες ως προς το ύψος των λογαριασμών τους. Τα κράτη μέλη πρέπει να εξασφαλίζουν ότι, κατά περίπτωση, η χρέωση που πραγματοποιείται από τους διανομείς ενέργειας, τους διαχειριστές συστημάτων διανομής και τις εταιρείες λιανικής πώλησης ενέργειας, πρέπει να βασίζεται στην πραγματική ενεργειακή κατανάλωση, και να παρουσιάζεται με σαφή και κατανοητό τρόπο. Στο λογαριασμό του τελικού καταναλωτή πρέπει να υπάρχουν κατάλληλες πληροφορίες, ώστε να έχει πλήρη εικόνα του τρέχοντος ενεργειακού του κόστους. Η χρέωση με βάση την πραγματική κατανάλωση ενέργειας πρέπει να είναι αρκετά συχνή, ώστε οι καταναλωτές να μπορούν να ρυθμίζουν την ενεργειακή τους κατανάλωση. Επιπλέον, τα κράτη μέλη πρέπει να εξασφαλίζουν ότι, ανάλογα με την περίπτωση, οι διανομείς ενέργειας, οι διαχειριστές συστημάτων διανομής, ή οι εταιρείες λιανικής πώλησης ενέργειας πρέπει να παρέχουν στους τελικούς καταναλωτές, ως μέρος ή μαζί με τους λογαριασμούς τους, τις συμβάσεις τους, τις συναλλαγές τους ή/και τις αποδείξεις των σταθμών διανομής τους, τις ακόλουθες πληροφορίες κατά σαφή και κατανοητό τρόπο

- Τις τρέχουσες πραγματικές τιμές και την πραγματική κατανάλωση ενέργειας.
- Συγκρίσεις της τρέχουσας κατανάλωσης του τελικού καταναλωτή προς την κατανάλωσή του κατά την ίδια περίοδο του προηγούμενου έτους, κατά προτίμηση υπό μορφή διαγράμματος.
- Συγκρίσεις με κάποιο μέσο κανονικό ή υποδειγματικό χρήστη ενέργειας της ίδιας κατηγορίας, εφόσον τούτο είναι εφικτό και χρήσιμο.
- Διευθύνσεις κ.λπ. οργανώσεων καταναλωτών, οργανισμών ενέργειας ή παρόμοιων οργάνων, μαζί με διευθύνσεις ιστοσελίδων, από τις οποίες μπορούν να λαμβάνονται πληροφορίες για τα διαθέσιμα μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης, συγκρίσεις των διαφόρων κατηγοριών τελικών χρηστών ή/και αντικειμενικές τεχνικές προδιαγραφές για εξοπλισμό που χρησιμοποιεί ενέργεια.

Τα κράτη μέλη οφείλουν να υιοθετήσουν μέτρα για την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και να παρέχουν υπηρεσίες μέτρησης της πραγματικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η τεχνολογία BPL παρέχει τη δυνατότητα προσαρμογής στις Κοινοτικές Διατάξεις υλοποιώντας το Έξυπνο Δίκτυο και τους Έξυπνους Μετρητές. Οι

Έξυπνοι μετρητές που θα λειτουργούν συμβατά με την τεχνολογία BPL θα έχουν την δυνατότητα να μετρούν άμεσα την κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος από απόσταση και να μεταδίδουν τις μετρήσεις στις βάσεις δεδομένων στο κέντρο διαχείρισης. Ο καταναλωτής μπορεί οποιαδήποτε στιγμή να έχει γνώση της πραγματικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Σε συνθήκες απελευθερωμένης αγοράς, οι εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας θα έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν με τους καταναλωτές μέσω μηνυμάτων πάνω στον Έξυπνο Μετρητή και να προσφέρουν δελεαστικές προσφορές χρέωσης ανά κιλοβατώρα ή να κάνουν προσφορές ώστε να καταρτίσουν ειδικά προγράμματα χρέωσης με βάση τις ώρες κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η αύξηση της τιμής της κιλοβατώρας σε περιόδους αιχμής είναι μια μέθοδος που μπορεί να μειώσει την αντίστοιχη ζήτηση με αποτέλεσμα τεράστιο όφελος για τη ΔΕΗ.

Σήμερα η υλοποίηση AMR μέσω BPL καλύπτει ένα μικρό κομμάτι της αγοράς όμως με την εμπορική εξάπλωση των δικτύων BPL αυτό προβλέπεται να αυξηθεί. Στο Σχήμα 8.11 φαίνονται οι τεχνολογίες που κυριαρχούν στην παγκοσμία AMR αγορά και το κομμάτι της πίτας που τους αναλογεί.



**Σχήμα 8.11** Σημαντικότερες τεχνολογίες που υποστηρίζουν AMR σήμερα

Συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες, η τεχνολογία BPL έχει επιπρόσθετα αποτελέσματα σε αυτήν την κατεύθυνση αφού

- Η υπάρχουσα δικτυακή υποδομή καλύπτει το σύνολο των πελατών.
- Παρέχει μεγαλύτερη κάλυψη από την λύση χρησιμοποίησης RF.
- Παρέχει πλήρη έλεγχο από ένα κεντρικό σημείο, κάτι το οποίο μειώνει το συνολικό κόστος διαχείρισης.

- Αποτρέπει την απώλεια εισοδήματος. Το BPL επιτρέπει απομακρυσμένη παρακολούθηση και εντοπίζει παραποίηση στον μετρητή. Βοηθάει στον έλεγχο απωλειών (αποτροπή κλεφτών) και στην συντήρηση σφαλμάτων του συστήματος.
- Επιτρέπει την ενοποίηση μεταξύ διαφορετικών παρόχων υπηρεσιών και τον έλεγχο των έξυπνων συσκευών μέσα στο σπίτι.
- Επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση άλλων αισθητήρων (φωτιάς, θερμοκρασίας, κ.α).
- Καταγράφει την καθημερινή κατανάλωση και διευκολύνει τις οικονομικές συνδιαλλαγές.
- Αυτοματοποιεί την προπληρωμή και την πληρωμή λογαριασμών.

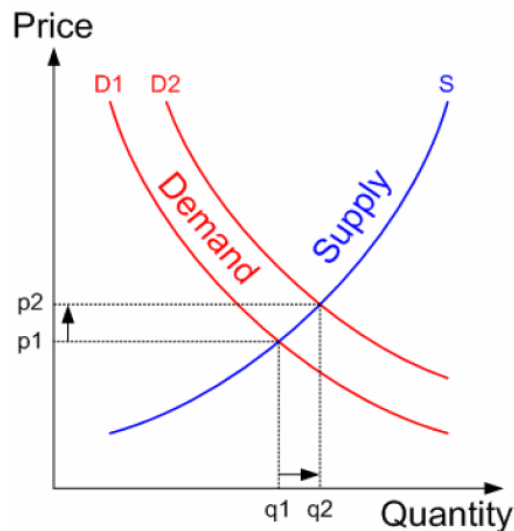
Οι απαιτήσεις του AMR δεν είναι μεγάλες για ένα OFDM σύστημα. Κάθε μήνα, μηνύματα AMR συνολικού μεγέθους μερικών εκατοντάδων bytes πρέπει να μεταδωθούν. Για μεγάλη διάρκεια του χρόνου το κανάλι μετάδοσης είναι ελεύθερο. Συνεπώς, ούτε ο ρυθμός μετάδοσης αλλά ούτε και η καθυστέρηση είναι σημαντικοί παράγοντες για το AMR σύστημα. Αντιθέτως, η αξιοπιστία του δικτύου και η ασφάλεια των δεδομένων είναι σημαντικοί παράγοντες και έτσι η OFDM τεχνική είναι η κατάλληλη μέθοδος για το ένα σύστημα AMR.

#### **8.2.14 Διαχείριση της ζήτησης από την πλευρά του καταναλωτή**

Οι παλαιότερες μέθοδοι προσέγγιζαν την λύση του προβλήματος της αξιοπιστίας και της διανομής από την μεριά του παρόχου. Το BPL δημιουργώντας ένα επίπεδο ευφυίας στο δίκτυο μπορεί να δώσει λύση σε αυτά τα προβλήματα από την πλευρά του καταναλωτή. Οι διακοπές ηλεκτρικού ρεύματος συνήθως δημιουργούνται από μεγάλη ζήτητη ενέργειας από την πλευρά του καταναλωτή. Από την στιγμή που η αποθήκευση ρεύματος είναι απαγορευτικά ακριβή, η μόνη λύση για τους παρόχους ενέργειας είναι η αγορά επιπλέον ενέργειας. Για τον λόγο αυτό, οι πάροχοι ηλεκτρισμού προτιμούν να έχουν την δυνατότητα να περάσουν το κόστος του υπέρμετρου φορτίου στην πλευρά του καταναλωτή. Η διαχείριση της ζήτησης από την πλευρά του καταναλωτή (Demand Side

Management) παρέχει τη δυνατότητα στους καταναλωτές ενέργειας να έχουν ενεργό ρόλο με εποπτεία του δικού τους μετρητή, μεταβάλλοντας το μέγεθος ή επιλέγοντας τον κατάλληλο χρόνο ροής της ενέργειας. Πρόσφατη έρευνα στο Chicago αποκάλυψε ότι οι καταναλωτές μείωσαν τους λογαριασμούς τους περίπου κατά 11% επιλέγοντας κατάλληλα το μέγεθος και το χρόνο κατανάλωσης.

Η κινητικότητα και η δραστηριότητα των πολιτών μεταβάλλεται συνεχώς κατά την διάρκεια της ημέρας με αποτέλεσμα τον σχηματισμό μιας ξεχωριστής καμπύλης κατανάλωσης. Κατά την διάρκεια μιας εβδομάδας είναι εμφανής η διαφορά μεταξύ εργάσιμων ή μη εργάσιμων ημερών. Κατά την διάρκεια ενός χρόνου ο καιρός παίζει μείζονα ρόλο στην συνολική κατανάλωση. Υπάρχει μια καθαρή εξάρτηση μεταξύ της καμπυλών κατανάλωσης και των καμπυλών ωριαίας τιμής. Όπως κάθε προϊόν σε μια ανταγωνιστική και ελεύθερη αγορά, το μοντέλο αυτό ακολουθεί το πρακτικό οικονομικό μοντέλο προσφοράς-ζήτησης. Το μοντέλο προσφοράς-ζήτησης επεξηγεί και προβλέπει τις αλλαγές στην τιμή και την ποσότητα των αγαθών που πωλούνται στην αγορά. Το Σχήμα 8.12 επεξηγεί το μοντέλο προσφοράς-ζήτησης και το πως η αλλαγή στο ισοζύγιο της ζήτησης (κατανάλωσης ρεύματος) και την προσφορά (παραγωγή ρεύματος) οδηγεί άμεσα σε ανάλογη αλλαγή στην ποσότητα και την τιμή του ρεύματος.



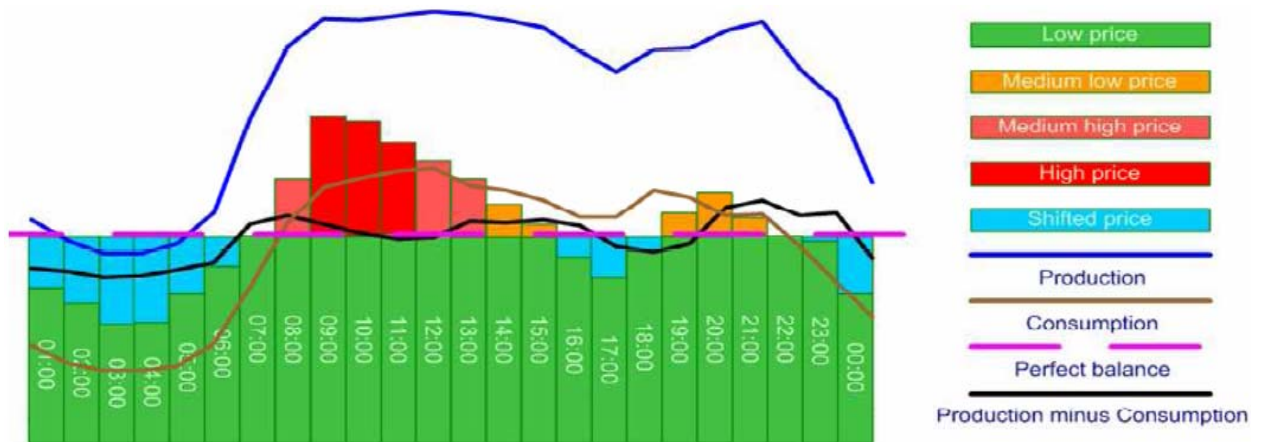
**Σχήμα 8.12 Μοντέλο προσφοράς ζήτησης για τον προϊόν του ηλεκτρικού ρεύματος**

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.12, ο x-άξονας είναι η ποσότητα (διαθέσιμος ηλεκτρισμός), ο y-άξονας είναι η τιμή, οι κόκκινες καμπύλες αποτυπώνουν την ζήτηση και οι μπλε την προσφορά (τροφοδότηση ρεύματος). Μια αύξηση στην ζήτηση από D1 σε D2 οδηγεί σε μια αύξηση στην ποσότητα και την τιμή από q1 σε q2 και από p1 σε p2 αντίστοιχα.

Η απόκριση ζήτησης (Demand Response DR) είναι μια παράμετρος που σχετίζεται με την αλλαγή στην συμπεριφορά του καταναλωτή, όσον αφορά την κατανάλωση ως αντίδραση στην σε πραγματικό χρόνο αλλαγή της καμπύλης ζήτησης ηλεκτρικού ρεύματος.

Η ελαστικότητα τιμής (Price Elasticity PE) είναι μια παράμετρος που έχει να κάνει με την ικανότητα ελέγχου της κατανάλωσης ή ως η αλλαγή στην κατανάλωση ενός πελάτη ανάλογα με την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος σε ωριαία βάση.

Καθώς υπάρχει μια καθαρή σχέση μεταξύ ωριαίας τιμής ρεύματος και καμπύλης ζήτησης κατά την διάρκεια της ημέρας, ο πελάτης θα διανείμει πιο συνειδητά, την κατανάλωση του κατά την διάρκεια της ημέρας και με τέτοιο τρόπο, ώστε οι ώρες κατανάλωσης να είναι οι φθηνές ώρες, δηλαδή τυπικά σε ώρες με την λιγότερη ζήτηση όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.13.



**Σχήμα 8.13 Σχέση μεταξύ παραγωγής ,κατανάλωσης ,ισορροπίας και τιμής ηλεκτρικού ρεύματος**

Το Σχήμα 8.13 επεξηγεί την σχέση μεταξύ παραγωγής, κατανάλωσης, ισορροπίας και τιμής ηλεκτρικού ρεύματος. Επίσης επεξηγεί πως η PE βοηθάει στην αποφυγή



αιχμών και ουσιαστικά οδηγεί θεωρητικά σε μια τέλεια ισορροπία. Για την υποστήριξη PE και DR εφαρμογών απαιτούνται τοπικές συσκευές, ένα κανάλι επικοινωνίας (BPL) και ένας κεντρικός έλεγχος. Οι τοπικές συσκευές στέλνουν τα δεδομένα της κατανάλωσης και δέχονται μηνύματα ελέγχου από τον κεντρικό σταθμό ελέγχου μέσω του καναλιού επικοινωνίας (BPL).

Μια άλλη μέθοδος διαχείρισης της ζήτησης που χρησιμοποιείται σήμερα είναι η AMM (Automatic Meter Management). Η μέθοδος AMM επιτρέπει στις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού την ανάγνωση των μετρητών ρεύματος σε τακτά χρονικά διαστήματα. Επίσης, επιτρέπει τον έλεγχο κατανάλωσης και την υποστήριξη PE και DR εφαρμογών. Σύμφωνα με την PE, ο πελάτης μπορεί να ρυθμίσει την κατανάλωση ρεύματος σύμφωνα με την τιμή του ρεύματος ανά ώρα. Με το DR, ο πάροχος και ο χειριστής συστήματος μπορεί να ρυθμίσει την κατανάλωση του πελάτη για να αυξήσει την αύξηση διαθέσιμου ρεύματος τις στιγμές ανεπάρκειας ρεύματος και να αυξήσει το κατώφλι για πτώσεις τάσης και blackouts.

Το AMM διαφέρει από το AMR, ως προς την δυνατότητα να παρέχει έλεγχο των συσκευών του πελάτη για την ρύθμιση τιμής και ζήτησης ρεύματος. Το DR μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί βάσει συμβολαίων μεταξύ πελάτη και παρόχου. Το συμβόλαιο μπορεί να υποστηρίξει την ρύθμιση της κατανάλωσης από τον πάροχο όταν το ηλεκτρικό σύστημα αντιμετωπίζει κάποια δύσκολη κατάσταση. Έτσι χρειάζεται η υλοποίηση ενός AMM συστήματος που να διαβάζει σε ωριαία βάση τον μετρητή του πελάτη ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης για να μεταδίδει σήματα ελέγχου (on/off) σε πραγματικό χρόνο στις συσκευές του πελάτη.

### **8.2.15 Η ιδέα του Negawatt**

Το negawatt είναι μια εικονική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και χρησιμοποιείται σήμερα για να περιγράψει την ηλεκτρική ενέργεια που προκύπτει από εξοικονόμηση και όχι από αντίστοιχη αύξηση της παραγωγής. Η όλη ιδέα βασίζεται στο γεγονός ότι ένας απλός καταναλωτής κάνοντας συντηρητική κατανάλωση για κάποιες ώρες της ημέρας, λειτουργεί ο ίδιος ως παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας ενώ καρπώνεται

τα οφέλη της δικής του φανταστικής παραγωγής. Έτσι τα megawatt που ο ίδιος παράγει είναι ουσιαστικά ισοδύναμα watt που παράγει μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι προφανές ότι, το όφελος που προκύπτει από την αύξηση της απόδοσης της κατανάλωσης είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό της δημιουργίας νέων μονάδων παραγωγής από την επιχείρηση ηλεκτρισμού ώστε να καλυφθεί η συνολική ζήτηση. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα νέο είδος αγοράς στην οποία η ηλεκτρική ενέργεια είναι το προϊόν ενώ έμπορος της μπορεί να είναι ένας απλός καταναλωτής που χρεώνεται λιγότερο όταν παράγει megawatt ή κάποιος ανεξάρτητος φορέας ο οποίος δημιουργεί κάποιο συμβόλαιο με μια επιχείρηση ώστε να εξοικονομεί ηλεκτρική ενέργεια με αντίστοιχο τρόπο και έπειτα να μεταπωλεί αυτήν την ενέργεια στην επιχείρηση με κάποια μειωμένη τιμή.

Αυτή η νέα αγορά αλλάζει εντελώς τα δεδομένα στο χώρο της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο καταναλωτής κατανέμει πλέον πιο συνειδητά την κατανάλωση του στο πεδίο του χρόνου με βάση την δυναμική αλλαγή της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας που προκύπτει από την συνολική ζήτηση και είναι γνωστή στον κάθε καταναλωτή με την σε πραγματικό χρόνο εποπτεία του δικού του μετρητή. Με την ανάπτυξη της αγοράς του megawatt και της διαχείρισης της ζήτησης από την πλευρά του καταναλωτή δημιουργούνται νέου τύπου συμβόλαια (service level agreements (SLAs)) ανάμεσα στους καταναλωτές και τους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας.

Έτσι για παράδειγμα, όρος ενός συμβολαίου μπορεί να είναι πως όταν η συνολική ζήτηση είναι υψηλή, η μονάδα κλιματισμού του καταναλωτή να απενεργοποιείται αυτόματα για κάποιες προβλεπόμενες ώρες της ημέρας. Τα τελευταία χρόνια η χρήση κλιματιστικών μηχανημάτων αυξάνεται συνεχώς στην χώρα μας. Το 1998 η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη τη χώρα εκτός του λεκανοπεδίου Αττικής αυξήθηκε κατά 6.3% σε σχέση με το 1997. Αντιστοίχως, η κατανάλωση στο λεκανοπέδιο Αττικής αυξήθηκε κατά 5.4% σε σχέση με το 1997, ενώ η συνολική ζήτηση ισχύος σε όλη τη χώρα αυξήθηκε το 1998 κατά 9.9% σε σχέση με το 1997. Σύμφωνα με στοιχεία του ΔΕΣΜΗΕ, η τάση αυτή συνεχίζεται με μέσο ποσοστό αύξησης 5% ανά έτος. Τα δύο στοιχεία σημαίνουν ότι, για πρώτη φορά στα χρονικά της ΔΕΗ, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην επαρχία αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό από τη ζήτηση στο λεκανοπέδιο Αττικής. Αποκαλυπτική είναι η διαπίστωση ότι κατά τον Αύγουστο του 2004, η

κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην επαρχία αυξήθηκε κατά 25%, γεγονός που σημαίνει ότι η χρήση κλιματιστικών στις εκτός λεκανοπεδίου Αττικής περιοχές της χώρας αυξήθηκε υπερβολικά. Επίσης, η αύξηση στη ζήτηση ισχύος κατά 9,9% απαιτεί από το δίκτυο της επιχείρησης ένα ακόμη σταθμό παραγωγής ισχύος 800MW. Η μέση ετήσια αύξηση στη ζήτηση ισχύος στην υπόλοιπη Ευρώπη είναι της τάξης του  $\pm 2\%$ , ενώ στη χώρα μας είναι της τάξης του 10%, γεγονός που δημιουργεί αστάθεια στο δίκτυο. Ωστόσο, παρατηρώντας τα ετήσια στοιχεία της ΔΕΗ, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η διοίκηση έχει προχωρήσει σε σχετική τακτοποίηση του τομέα των πηγών ενεργείας. Συγκεκριμένα, το 1998 αυξήθηκε η παραγωγή των λιγνιτικών μονάδων κατά 5.5%, ενώ μειώθηκε η παραγωγή των πετρελαϊκών (5.5%) και των υδροηλεκτρικών μονάδων (5.6%). Τα δύο αυτά γεγονότα είναι ασφαλώς θετικά, αφού οι λιγνιτικές μονάδες, πέραν του ότι αξιοποιούν μια εγχώρια πρώτη ύλη, είναι και εξαιρετικά φθηνές. Αντιστοίχως, η μείωση των δύο άλλων κατηγοριών σημαίνει εξοικονόμηση συναλλάγματος και υδατικών πόρων. Σε ό,τι αφορά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερο ενδιαφέρον εμφανίζει το γεγονός ότι η ζήτηση στην Αττική εμφανίζει αύξηση 5.4%, ενώ η αντίστοιχη ζήτηση των μεγάλων βιομηχανικών καταναλωτών παρουσιάζει αύξηση 3.1%. Η σημαντική αύξηση στην κατανάλωση, οφείλεται κυρίως στην αύξηση του οικιακού ρεύματος, το οποίο, ως γνωστόν, έχει μεγαλύτερο περιθώριο κέρδους από το αντίστοιχο βιομηχανικό ρεύμα. Αν μάλιστα ληφθεί υπόψη ότι η αύξηση αυτή προκύπτει από τη χρήση των κλιματιστικών, διαπιστώνεται ότι πρόκειται για κατανάλωση που υπερβαίνει συμβατικά όρια και άρα υπόκειται σε κυρώσεις. Το πρόβλημα λαμβάνει μεγαλύτερες διαστάσεις κυρίως κατά τα τελευταία χρόνια, καθώς οι πωλήσεις των κλιματιστικών στη χώρα μας αυξάνουν ραγδαία χρόνο με το χρόνο. Σύμφωνα με στοιχεία των εταιρειών εισαγωγής, από το 1987 που εμφανίσθηκαν μαζί τα κλιματιστικά στην ελληνική αγορά, έχουν πωληθεί 3.000.000. Από αυτά 1.950.000 έχουν πωληθεί στην Αττική. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι το 25% των νοικοκυριών διαθέτουν κλιματιστικά. Ένα κλιματιστικό 9.000BTU σε μια ώρα λειτουργίας καταναλώνει 900Watt/hr. Κάθε χρόνο, πωλούνται στη χώρα μας περίπου 300.000 κλιματιστικά. Η ταυτόχρονη λειτουργία και των 300.000 αυτών συσκευών ισοδυναμεί με την ισχύ ενός ολόκληρου εργοστασίου ισχύος 300MW. Από τα 10.000MW της αιχμής,

τα 3.500MW αφορούν τις οικιακές καταναλώσεις, δηλαδή σε μεγάλο βαθμό συσκευές κλιματισμού. Στο πλαίσιο αυτό, η τεχνολογία BPL προβλέπεται να έχει ουσιαστικό ρόλο

- με την απομακρυσμένη ενεργοποίηση πυκνωτών αντιστάθμισης στους ζυγούς MT πολλών Υ/Σ της ΔΕΗ, όπου και όταν αυτό είναι αναγκαίο ώστε να αντισταθμίζεται ο επαγωγικός χαρακτήρας των φορτίων
- με την υποστήριξη και την ανάπτυξη της αγοράς του megawatt. Με την προσαρμογή κατάλληλων συμβολαίων σε κάθε καταναλωτή και με τον απομακρυσμένο έλεγχο των ενεργοβόρων φορτίων, ώστε να διακόπτονται κατά τις ώρες αιχμής και να ενεργοποιούνται όταν δεν υπάρχει πρόβλημα στη ζήτηση ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται αιχμές στην καμπύλη του φορτίου και μειώνεται στο ελάχιστο η πιθανότητα blackout.

Η ανάπτυξη της αγοράς του megawatt απαιτεί την αποδοχή από ένα μεγάλο ποσοστό των καταναλωτών αφού μεμονωμένη ανταπόκριση προφανώς θα επιφέρει μηδαμινά αποτελέσματα. Σε αυτήν την κατεύθυνση, η τεχνολογία BPL και το Έξυπνο Δίκτυο είναι η κατάλληλη βάση για την εξέλιξη του σχεδίου. Η σε πραγματικό γνώση της κατάστασης του δικτύου διανομής και της συνολικής ζήτησης κάθε χρονική στιγμή, η άμεση απόκριση των αιτημάτων των καταναλωτών αλλά και η αυτοματοποίηση της αποκοπής συγκεκριμένων φορτίων την κατάλληλη χρονική στιγμή και βάσει πάντα του αντίστοιχου συμβολαίου οδηγεί σε ένα εναρμονισμένο σύστημα ελέγχου και διαχείρισης του συνολικού φορτίου.

#### **8.2.16 Σύνδεση/αποσύνδεση υπηρεσίας**

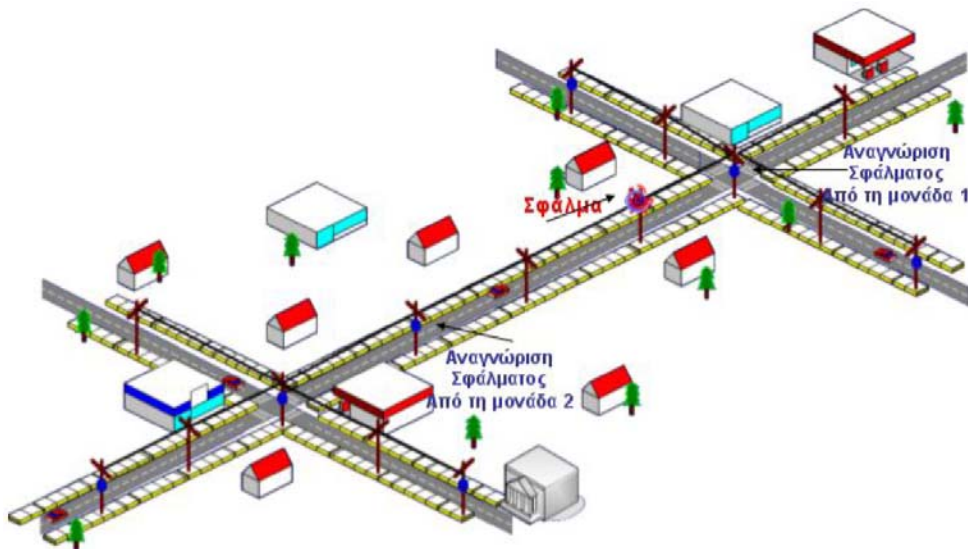
Εκτός από την αυτόματη αναγνώριση μετρητή, υπάρχει και η αυτοματοποιημένη υπηρεσία σύνδεσης/αποσύνδεσης. Η εταιρεία ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας αυτήν την υπηρεσία θα είναι σε θέση να κάνει άμεσα μια καινούργια σύνδεση ή να διακόψει μια ήδη λειτουργούσα σύνδεση. Η βελτιωμένη αυτή υπηρεσία θα επιφέρει τη μείωση του χρόνου εξυπηρέτησης των πελατών της εταιρείας.

### 8.2.17 Ανίχνευση θέσης σφάλματος μέσω BPL

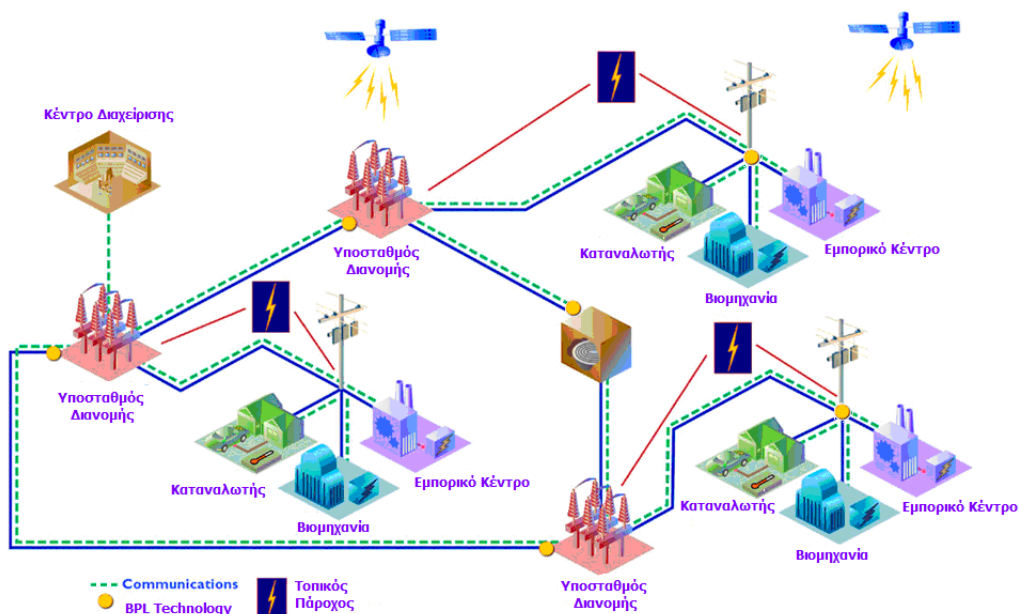
Όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 7, η γνώση της απόστασης του σφάλματος από τον Υ/Σ σήμερα, δεν οδηγεί στην ακριβή γνώση της θέσης του σφάλματος, γιατί κάθε αναχώρηση έχει συνήθως πολλές διακλαδώσεις, συνεπώς πολλά σημεία της αναχώρησης είναι οι πιθανές θέσεις του σφάλματος. Η ακριβής θέση του σφάλματος μπορεί να προκύψει από αυτές τις πιθανές θέσεις με άλλα μέσα, π.χ. με ενδεικτικά διέλευσης σφάλματος ή με δοκιμαστικές απομονώσεις/επανασυνδέσεις τμημάτων της αναχώρησης. Αυτές οι δοκιμαστικές απομονώσεις/επανασυνδέσεις τμημάτων της αναχώρησης αυξάνουν κατά πολύ τον χρόνο εντοπισμού και αποκατάστασης του σφάλματος ενώ αρκετές φορές απαιτείται η άφιξη προσωπικού στον πιθανό τόπο του σφάλματος για την επι τόπου παρατήρησης της γραμμής και της ένδειξης του σφάλματος. Σε δίκτυα χωρίς τηλεοπτεία, η ένδειξη του σφάλματος δίνεται επί τόπου. Για παράδειγμα, αν το ενδεικτικό διέλευσης σφάλματος είναι τοποθετημένο σε υποσταθμό εσωτερικού χώρου ΜΤ/ΧΤ, δίνεται φωτεινή ένδειξη π.χ. στην πρόσοψη του κτιρίου του Υ/Σ. Αυτό προφανώς οδηγεί σε απώλεια αρκετά μεγάλου χρονικού διαστήματος μέχρι την αποκατάσταση. Συνέπεια είναι μείωση της αξιοπιστίας του δικτύου ποιότητας και της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ενώ υπάρχουν οικονομικές απώλειες για την επιχείρηση. Με την σε πραγματικό χρόνο εποπτεία του δικτύου από το κέντρο ελέγχου BPL διαπιστώνεται άμεσα η δημιουργία κάποιας βλάβης σε κάποιο σημείο του δικτύου. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα να απομονωθεί το τμήμα της γραμμής που έχει σφάλμα και να τροφοδοτηθούν από εναλλακτικές οδεύσεις, εφόσον το επιτρέπει η τοπολογία του δικτύου, τα άλλα τμήματα της γραμμής.

Με την χρήση της τεχνολογίας GPS σε συνδυασμό με την τεχνολογία BPL είναι εφικτή η επακριβής γνώση του σημείου σφάλματος στο δίκτυο ΜΤ της ΔΕΗ. Στο Σχήμα 8.15 απεικονίζεται ο τρόπος ανίχνευσης κάποιου σφάλματος. Ας υποθεθεί ότι στο εγκατεστημένο δίκτυο BPL προκύπτει σφάλμα σε τυχαία θέση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.15. Οι μονάδες δεύτερης γενιάς που είναι εγκατεστημένες εκατέρωθεν του σημείου όπου υπάρχει το σφάλμα (μονάδα 1 και μονάδα 2) ανιχνεύουν την ύπαρξη του και αποστέλλουν μηνύματα στο κέντρο διαχείρισης και ελέγχου. Το μήνυμα αυτό περιλαμβάνει τη θέση και τον τύπο του σφάλματος καθώς και άλλες πληροφορίες. Τα

συνεργεία συντήρησης και αποκατάστασης καθοδηγούνται από το σύστημα GPS στη θέση του σφάλματος μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα. Η αρχιτεκτονική του συνδυασμού των τεχνολογιών BPL με GPS απεικονίζεται στο Σχήμα 8.16. Οι αισθητήρες BPL ανιχνεύουν το σφάλμα που υπάρχει στο δίκτυο. Το κέντρο διαχείρισης και ελέγχου ενημερώνεται για τη βλάβη μέσω του λογισμικού επικοινωνίας με τους αισθητήρες BPL. Το δορυφορικό σύστημα επικοινωνώντας με το κέντρο διαχείρισης με κατάλληλη διεπαφή (λογισμικό) και γνωρίζοντας την ακριβή θέση των αισθητήρων, δίνει το στίγμα του σφάλματος πάνω στον ψηφιακό χάρτη. Το συνεργείο αποκατάστασης βλαβών ενημερώνεται από το κέντρο διαχείρισης μέσω του δικτύου BPL για της υπάρχουσες βλάβες στο δίκτυο της ΔΕΗ. Το τεχνικό προσωπικό αναγνωρίζει τη θέση και τον τύπο του σφαλμάτος και εφοδιάζεται με τα απαραίτητα εργαλεία, υλικά και ανθρώπινο δυναμικό ούτως ώστε να προχωρήσει στην πλήρη αποκατάσταση του δικτύου. Τα συνεργεία εντοπίζουν το σφάλμα και σπεύδουν να αποκαταστήσουν την ορθή λειτουργία.



Σχήμα 8.15 Αναγνώριση σφάλματος μέσω των μονάδων BPL



Σχήμα 8.16 Μελλονικό δίκτυο ΔΕΗ με BPL και GPS συστήματα

### 8.3 Η επίλυση του προβλήματος

Οι λύσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας καθώς και της λειτουργικής αποδοτικότητας του δικτύου που περιγράφηκαν προηγουμένως εξαρτώνται από την ανάπτυξη νέων τύπων και επιπέδων λειτουργικότητας στο σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι λειτουργίες που θα υλοποιηθούν μέσω πολύ σημαντικών καινοτομιών περιλαμβάνουν, χωρίς να περιορίζονται μόνο σε αυτά, τα ακόλουθα

- Αναβαθμισμένα συστήματα επικοινωνιών, για την υλοποίηση ενός δυναμικού ενεργειακού συστήματος που ανταλλάσσει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο.
- Ψηφιακό έλεγχο του δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, με αντικατάσταση των σημερινών σχετικά αργών ηλεκτρομηχανικών διακοπών από ηλεκτρονικά χειριστήρια ενέργειας μακρόθεν ελεγχόμενα σε πραγματικό χρόνο.
- Αυτοματισμό του συστήματος διανομής, για τη βελτιωμένη κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών.

- Μετασχηματισμό των μετρητών σε πύλες επικοινωνίας των καταναλωτών που θα επιτρέπουν την αμφίδρομη επικοινωνία και την αποστολή σημάτων και αποφάσεων αποτελώντας κόμβους του Έξυπνου Δικτύου.
- Βέλτιστη κατανομή των ενεργειακών πόρων. Το νέο σύστημα θα είναι, επίσης, σε θέση να αναβαθμίζει σε συνεχή βάση ένα πίνακα που θα αποτυπώνει την κατανεμημένη παραγωγή ενέργειας

Το δίκτυο του μέλλοντος με τις βελτιωμένες δυνατότητες του θα εξελιχθεί με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η εξέλιξη του δικτύου ενέργειας αναμένεται ραγδαία σε βάθος και έκταση, όπως ακριβώς ραγδαία ήταν η ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών, των υπολογιστών και του διαδικτύου. Στη ραγδαία επιτάχυνση των ρυθμών ανάπτυξης του Έξυπνου Δικτύου αναμένεται να συμβάλει καταλυτικά η τεχνολογία BPL. Η εξέλιξη του Έξυπνου Δικτύου θα περάσει μέσα από 7 φάσεις.

- 1. Αισθητήρες – Ανίχνευση δεδομένων.** Η μετατροπή του δικτύου σε Έξυπνο Δίκτυο ξεκινά γνωρίζοντας τι ακριβώς συμβαίνει σε οποιοδήποτε σημείο οποιαδήποτε στιγμή, για κάθε τμήμα του εξοπλισμού (καλώδια, αυτόματοι διακόπτες, μετασχηματιστές). Ορισμένοι από τους ανιχνευτές θα ελέγχουν τη ροή και την ποιότητα της ενέργειας, ενώ κάποιοι άλλοι θα ανιχνεύουν βλάβες και σφάλματα. Επιπλέον, κάποιοι άλλοι θα ελέγχουν την κατάσταση του εξοπλισμού, καταργώντας την ανάγκη για επιτόπιες επιθεωρήσεις ή τις αντικαταστάσεις με βάση τη διάρκεια ζωής των διαφόρων μονάδων. Επεκτείνοντας αυτό τον ορισμό, αναμένεται ότι, τελικά, το Έξυπνο Δίκτυο θα χρησιμοποιεί εξελιγμένους μετρητές ως ένα νέο τύπο αισθητήρων. Η αξιοποίηση αυτών αισθητήρων έχει επιτευχθεί μέσω της τεχνολογίας BPL είτε με τις διατάξεις της πρώτης γενιάς (injectors, repeaters και extractors) είτε με αυτές της δεύτερης και τρίτης γενιάς (DS2 200Mbps) και είναι η καλύτερη λύση για τη δημιουργία του Έξυπνου Δικτύου.
- 2. Συστήματα Επικοινωνιών – Μεταφορά δεδομένων.** Καθώς ο αριθμός των αισθητήρων θα αυξάνεται, θα αυξάνεται αντίστοιχα και η ανάγκη για αποτελεσματική αρχιτεκτονική επικοινωνιών. Πλέον είναι πιθανή και πρακτικά χρήσιμη η διακίνηση μεγάλου όγκου ψηφιακών πληροφοριών σε κύριες γραμμές διανομής τάσης. Αυτό συμβάλλει στη δημιουργία της υποδομής παράλληλων



επικοινωνιών χαμηλού κόστους που λείπει και είναι απαραίτητη ώστε να υλοποιηθεί μια διαφορετική προσέγγιση για το σχεδιασμό και τη λειτουργία του δικτύου διανομής ενέργειας. Από τη στιγμή όπου ευρυζωνικές επικοινωνίες μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσω των γραμμών διανομής με χρήση της τεχνολογίας BPL, αυτό μπορεί να εφαρμοστεί παντού. Υπάρχουν οι γραμμές διανομής, που μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για μια τηλεπικοινωνιακή πλατφόρμα διαθέσιμη σε κάθε σημείο και κάθε στιγμή για να υποστηρίξει ένα ιδιαίτερος εξελιγμένο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

3. **Αναβάθμιση Πρώτου Επιπέδου – Συλλογή δεδομένων.** Χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες και την τηλεπικοινωνιακή υποδομή, η επόμενη φάση είναι η συλλογή των δεδομένων στο κέντρο ελέγχου σε μια κεντρική τράπεζα δεδομένων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση αποθηκευτικών μέσων υψηλής χωρητικότητας της τάξης των εκατοντάδων TeraBytes.
4. **Κεντρικός έλεγχος – Χρήση δεδομένων για εποπτεία και έλεγχο.** Καθώς το προσωπικό ελέγχου θα έχει πρόσβαση σε όλο και μεγαλύτερο όγκο πληροφοριών, θα χρειασθούν εργαλεία διαχείρισης (κυρίως κατάλληλο λογισμικό) για να πραγματοποιούν γενική επίβλεψη, να εντοπίζουν προβλήματα και σφάλματα στο δίκτυο, να ελέγχουν από μακριά τον εξοπλισμό, να διαχειρίζονται τις διακοπές ηλεκτρικού ρεύματος και να προβαίνουν σε μακροπρόθεσμο σχεδιασμό.
5. **Ασφάλεια – Προστασία των δεδομένων.** Η ασφάλεια των δεδομένων είναι ένα θέμα που απασχολεί συνεχώς. Θα κορυφωθεί ως αντικείμενο όταν μεγάλος όγκος δεδομένων θα εισρέει στα κέντρα ελέγχου και πολλές εντολές θα διακινούνται από και προς το κέντρο ελέγχου. Η δεύτερη και τρίτη γενιά BPL υποστηρίζει 3DES κρυπτογράφηση, πιστοποίηση RADIUS και VLANs, η οποία προσφέρει βελτιωμένη προστασία των δεδομένων.
6. **Πλήρης ενσωμάτωση στο υπάρχον σύστημα ελέγχου – Ενσωμάτωση των δεδομένων με τα υπόλοιπα μέρη της επιχείρησης.** Δεδομένα πραγματικού χρόνου και ιστορικά δεδομένα θα παρέχονται για έλεγχο της διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων, για τη διαχείριση του έμψυχου δυναμικού, για τη διαχείριση των διακοπών ρεύματος και για δευτερεύουσες εργασίες.

**7. Πλήρης αυτοματισμός και βελτιστοποίηση – Χρήση των δεδομένων για τον αυτοέλεγχο του δικτύου.** Όπως έχει ήδη διαπιστωθεί από την αλματώδη εξέλιξη του Διαδικτύου, το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί και πρέπει να είναι περισσότερο αυτοματοποιημένο από όσο είναι σήμερα. Προς τη σημαντικά μεγαλύτερη αυτοματοποίηση και αυτονομία αναμένεται να συμβάλει καθοριστικά η τεχνολογία BPL. Η παγκόσμια προσέγγιση του BPL θεωρεί ότι η χρήση των κεντρικών πλεονεκτημάτων του μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία έξυπνων εφαρμογών από πλευράς των εταιρειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι εφαρμογές θα βελτιώσουν άμεσα την ενεργειακή απόδοση και τις λειτουργίες του ενεργειακού δικτύου σε όποια χώρα εφαρμοσθούν. Η αρχική εστίαση του BPL είναι η ολοκλήρωση των πρώτων τριών βημάτων, όπως αυτά περιγράφηκαν στο προηγούμενο εδάφιο για ένα σύνολο βασικών εφαρμογών. Κάθε μια από αυτές τις εφαρμογές θεωρείται ως εξαιρετικά σημαντική από την πλειοψηφία των εταιριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκονται στη φάση σχεδιασμού του Έξυπνου Δικτύου. Παρακολουθώντας από το κέντρο ελέγχου τη ζήτηση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, προκύπτει η δυνατότητα αποδοτικής διαχείρισης της υπάρχουσας παραγωγής αλλά και της κατανομής της ανά τομέα. Η κεντρική αποστολή μετρήσεων και στοιχείων ελέγχου από Υ/Σ αλλά και από κρίσιμα φορτία που ενδιαφέρουν τη ΔΕΗ είναι σημαντικός παράγοντας για τη λήψη αποφάσεων. Η εξομάλυνση μεγίστων φορτίου μπορεί να επιτευχθεί μέσω σειράς διαδικασιών και χειρισμών από το κέντρο διαχείρισης. Η δυνατότητα του απομακρυσμένου ελέγχου και η εποπτεία του δικτύου σε πραγματικό χρόνο καθιστούν ανεκτίμητη τη συμβολή της τεχνολογίας BPL στις εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα.

#### **8.4 Το λογισμικό διαχείρισης BPL στο κέντρο εποπτείας και ελέγχου**

Με βάση την τεχνολογία BPL, το κέντρο διαχείρισης και ελέγχου γίνεται το κεντρικό σημείο χάραξης της στρατηγικής της επιχείρησης, αφού όλα τα δεδομένα που χρειάζεται να γνωρίζει η διοίκηση καθώς και συγκεντρωτικά στοιχεία για συγκεκριμένες

περιοχές είναι διαθέσιμα στη βάση δεδομένων. Το Σχήμα 8.17 παρουσιάζει την εικόνα της επικεντρωμένης διαχείρισης του δικτύου με βάση την τεχνολογία BPL. Ακόμη, σε Υ/Σ όπου υπάρχει ήδη μια RTU, είναι δυνατή η προσαρμογή της ώστε τα δεδομένα να αποστέλλονται μέσω BPL απευθείας από τις γραμμές διανομής στο κέντρο διαχείρισης. Τα διακοπτικά στοιχεία και τα ρελέ μπορούν να ελέγχονται από το κέντρο διαχείρισης, ενώ αυτόματοι μετρητές μπορούν να καταγράφουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και να τη μεταδίδουν στο κέντρο ελέγχου. Για την οπτική εποπτεία του χώρου του Υ/Σ, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια video camera IP στον εσωτερικό ή τον εξωτερικό χώρο του Υ/Σ. Εφαρμόζοντας την τεχνολογία BPL, η ΔΕΗ έχει τη δυνατότητα να εποπτεύει και ελέγχει πλήρως τις εγκαταστάσεις, τις διάφορες καταναλώσεις (κατοικίες, βιομηχανίες, καταστήματα) και να επεμβαίνει σε κάθε πιθανό πρόβλημα αποκόπτοντας ή στέλνοντας συνεργεία συντήρησης ή επισκευής βλαβών ώστε να γίνεται άμεσα η επίλυση του προβλήματος.

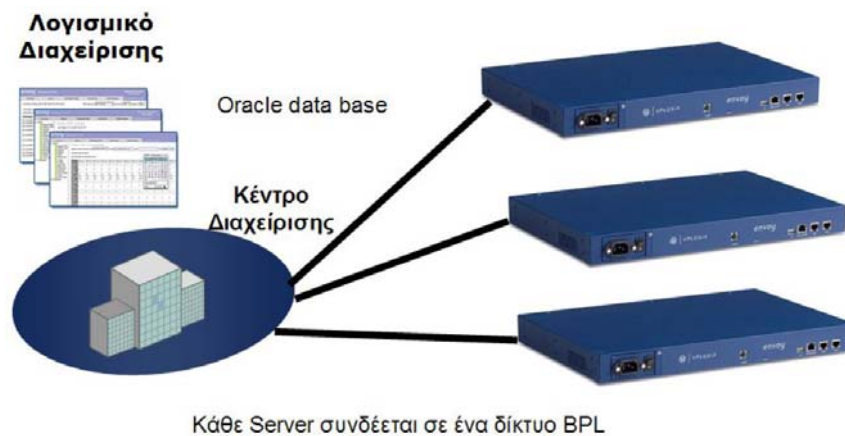
Το λογισμικό διαχείρισης που διατίθεται μέσω της τεχνολογίας BPL, παρέχει τη δυνατότητα προληπτικής συντήρησης, ελέγχου, εποπτείας και αναγνώρισης βλαβών και σφαλμάτων σε όλη την έκταση του δικτύου όπου έχει εγκατασταθεί η τεχνολογία BPL. Η κάθε μονάδα BPL διαθέτει λογισμικό εφοδιασμένο με αναλυτή φάσματος που σαρώνει το φάσμα συχνοτήτων από 4 μέχρι 34MHz και καταγράφει κάθε ασθενές σήμα που προέρχεται από εξωτερικές πηγές ή από ατέλειες στη λειτουργία των υλικών ή των τμημάτων του δικτύου διανομής. Στο κέντρο διαχείρισης υπάρχουν αποθηκευμένες σε βάση δεδομένων όλες οι υπογραφές θορύβου που μπορούν να επηρεάσουν την εύρυθμη λειτουργία του δικτύου. Τα σήματα υψηλών συχνοτήτων που έχουν καταγραφεί από τα μηχανήματα στα διάφορα σημεία του δικτύου (γραμμές, Υ/Σ, καταναλώσεις κτλ) μεταδίδονται στο κέντρο διαχείρισης όπου και αποθηκεύονται στις βάσεις δεδομένων του συστήματος (Σχήμα 8.18).

Στη συνέχεια, γίνεται συσχέτιση των λαμβανομένων σημάτων με γνωστές υπογραφές βλαβών, χαρακτηρίζεται η βλάβη και ανάλογα με το επίπεδο ισχύος του ασθενούς σήματος δίνεται προτεραιότητα στη επισκευή της αντίστοιχης μονάδας ή τμήματος του δικτύου. Έπειτα ειδοποιούνται τα συνεργεία αποκατάστασης βλαβών στα οποία διατίθεται ιεραρχημένο το πρόγραμμα αποκατάστασης βλαβών δικτύου καθώς και

οι θέσεις των σφαλαμάτων. Ακολουθεί η αποκατάσταση της εύρυθμης λειτουργίας του δικτύου από το συνεργείο συντήρησης του δικτύου.

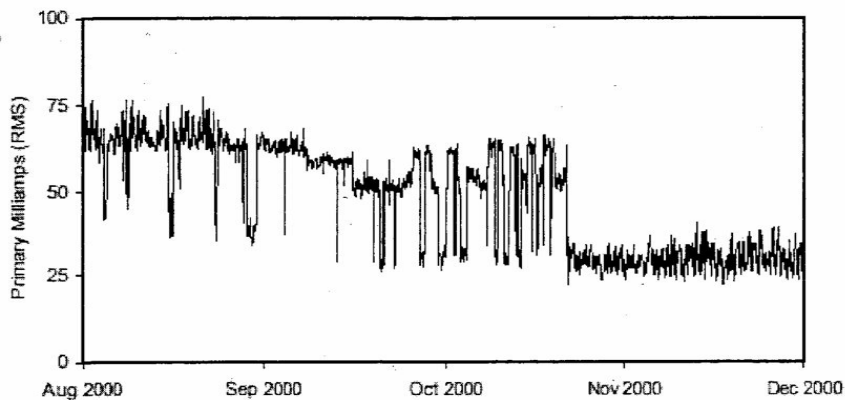


Σχήμα 8.17 Δομή κέντρου διαχείρισης και ελέγχου δικτύου BPL



Σχήμα 8.18 Αποθήκευση σημάτων υψηλών συχνοτήτων στις βάσεις δεδομένων του συστήματος

Ένα παράδειγμα αυτής της λειτουργίας απεικονίζεται στο Σχήμα 8.19, όπου διακρίνεται ο επαναλαμβανόμενος σχηματισμός θορύβου υψηλής συχνότητας στο λογισμικό διαχείρισης δικτύου για το χρονικό διάστημα από τον Αύγουστο του 2000 μέχρι το τέλος Οκτωβρίου. Η διαταραχή αυτή οφείλεται σε κλαδιά δένδρων τα οποία ακουμπούσαν τις γραμμές MT, με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος για την ασφάλεια των πολιτών αλλά και για το δίκτυο. Μετά το κλάδεμα των κλαδιών, το αποτέλεσμα των απεικονίσεων στον αναλυτή φάσματος, για το χρονικό διάστημα από το Νοέμβριο του 2000 έως το τέλος του χρόνου, έδειξε ότι ο θόρυβος είχε απαλειφθεί.



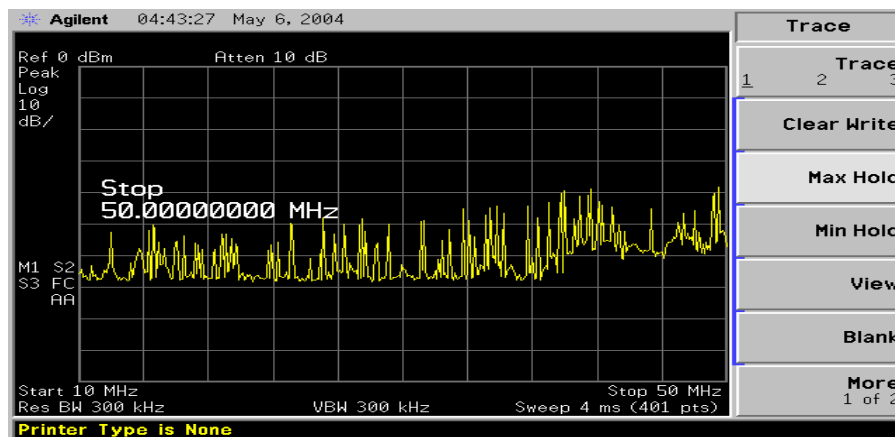
**Σχήμα 8.19 Υπογραφή HF πριν και μετά το κλάδεμα δένδρων**

Ο θόρυβος στις γραμμές MT μπορεί να προέρχεται από κακή σύνδεση υλικών, διαρραγέντες μονωτήρες, φθίνουσα μόνωση, φθαρμένα ή σπασμένα καλώδια, αστοχία υλικών, προβληματική λειτουργία διακοπών, διαρηγμένα βύσματα σε ΜΣ, ελαττωματικούς πυκνωτές κλπ. Ο θόρυβος που προκύπτει σε κάθε περίπτωση είναι ευρυζωνικός στη ζώνη συχνοτήτων από 4 μέχρι 34MHz.

Λόγω της δομής του δικτύου BPL και της ευαισθησίας των μονάδων του, η ακρίβεια εντοπισμού των σφαλμάτων είναι πολύ μεγάλη και ανέρχεται με βάση τα δεδομένα από τις χώρες όπου έχει εφαρμοσθεί η τεχνολογία BPL (Αυστραλία, Αμερική, Βρετανία) στο 90%. Εκμεταλλευόμενη την ανωτέρω δυνατότητα η ΔΕΗ θα είναι σε θέση να αντιμετωπίσει και να εξαλείψει μελλοντικά προβλήματα στο δίκτυό της. Παράλληλα, αξιοποιώντας τις δυνατότητες της τεχνολογίας BPL η ΔΕΗ θα είναι σε θέση να προγραμματίζει αποτελεσματικά και κατά άμεσο τρόπο τη συντήρηση του δικτύου της

και να προλαμβάνει βλάβες και σφάλματα που θα έθεταν σε αμφισβήτηση τη λειτουργία και την αξιοπιστία της.

Το όφελος από την εφαρμογή της τεχνολογίας BPL στο δίκτυο της ΔΕΗ αναμένεται τεράστιο. Η μείωση του χρόνου απόκρισης σε έκτακτες καταστάσεις και αποκατάστασης της ορθής λειτουργίας, από πολλές ώρες που είναι σήμερα σε μερικά λεπτά καθώς και η αύξηση της πιθανότητας πρόληψης δυσμενών καταστάσεων θα μειώσουν το κόστος συντήρησης, την πιθανότητα κατάρρευσης του δικτύου και την πιθανότητα εμφάνισης blackout. Άλλο ένα παράδειγμα εντοπισμού βλάβης στο δίκτυο διανομής παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.20, όπου απεικονίζεται η υπογραφή θορύβου μονωτήρα. Από την ισχύ του σήματος θορύβου λαμβάνεται πληροφορία για την κατάσταση του μονωτήρα και το ενδεχόμενο πιθανής αντικατάστασής του. Η σημασία της ανωτέρω δυνατότητας είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για την υλοποίηση του μελλοντικού Έξυπνου Δικτύου της ΔΕΗ. Η ικανότητα πρόσβασης και ελέγχου οποιουδήποτε σημείου του δικτύου σε πραγματικό χρόνο και οι μετρήσεις ρεύματος, τάσης, ισχύος, θερμοκρασίας, παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την αντιμετώπιση προβλημάτων μεγάλης σημασίας. Η διαχείριση μέσω κατάλληλου λογισμικού αλλά και καρτών καθορίζουν τη μελλοντική δομή διαχείρισης και εποπτείας του δικτύου της ΔΕΗ.



Σχήμα 8.20 Υπογραφή θορύβου μονωτήρα.

Το κέντρο ελέγχου διαθέτει τη δυνατότητα πρόσβασης σε κάθε Υ/Σ. Ο έλεγχος του Υ/Σ μπορεί να είναι

- **Οπτικός**, κατά τον οποίο χρησιμοποιώντας την κάμερα ελέγχου IP, ο διαχειριστής του συστήματος βλέπει σε πραγματικό χρόνο το εσωτερικό του Υ/Σ και την κατάσταση του εγκατεστημένου εξοπλισμού. Η πρόσβαση στο εσωτερικό του Υ/Σ γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου IP από το δίκτυο BPL. Στο κέντρο διαχείρισης, υπάρχει η δυνατότητα οπτικής εποπτείας οποιουδήποτε σημείου του δικτύου, στο οποίο έχει τοποθετηθεί μια απλή ψηφιακή κάμερα IP. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα ανίχνευσης πυρκαγιάς, ανίχνευσης ενδεχόμενης παραβίασης της εισόδου του υποσταθμού, ελέγχου ύπαρξης νερού στο εσωτερικό του Υ/Σ και οπτικής παρατήρησης των ενδείξεων των οργάνων του εγκατεστημένου εξοπλισμού.
- **Ψηφιακός**, κατά τον οποίο χρησιμοποιώντας το λογισμικό διαχείρισης και εποπτείας που θα είναι εγκατεστημένο στο κέντρο διαχείρισης και ελέγχου παρέχεται η δυνατότητα πρόσβασης σε κάθε Υ/Σ που υποστηρίζει την τεχνολογία BPL. Το λογισμικό διαχείρισης παρέχει τη δυνατότητα μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο της τάσης, του ρεύματος, της ισχύος αλλά και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου. Σε συνδυασμό με τα προηγούμενα ο έλεγχος καλής λειτουργίας του εγκατεστημένου εξοπλισμού γίνεται με το λογισμικό διαχείρισης και ανάλυσης φάσματος, με το οποίο ελέγχεται ο εκπεμπόμενος θόρυβος του εγκατεστημένου εξοπλισμού. Στη συνέχεια με βάση τις μετρήσεις που λαμβάνονται για τον υψίσυχο θόρυβο διασφαλίζεται η εύρυθμη λειτουργία του Υ/Σ. Αν μετά από έλεγχο που διενεργείται στο κέντρο ελέγχου, ανιχνευθεί σήμα θορύβου που αντιστοιχεί σε κάποιο τμήμα του εγκατεστημένου εξοπλισμού, τότε, ανάλογα με την ισχύ του σήματος, αξιολογείται η κρισιμότητα του προβλήματος και λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισής του. Αυτή η στρατηγική της βέλτιστης εποπτείας έχει ως αποτέλεσμα τη γνώση των αδύναμων σημείων του δικτύου και τη λήψη των αντίστοιχων μέτρων. Η σε πραγματικό χρόνο γνώση της κατάστασης στα διάφορα σημεία του δικτύου και η παρακολούθηση της ζήτησης σε πραγματικό χρόνο μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά τη διοίκηση να λάβει σημαντικές αποφάσεις ως προς τα εξής. Νέες επενδύσεις σε εγκατεστημένη ισχύ, εξοπλισμό, και ανθρώπινο δυναμικό. Η διοίκηση της ΔΕΗ θα είναι σε θέση να λαμβάνει αποφάσεις για νέες επενδύσεις βασιζόμενη στη τεχνολογία BPL ώστε

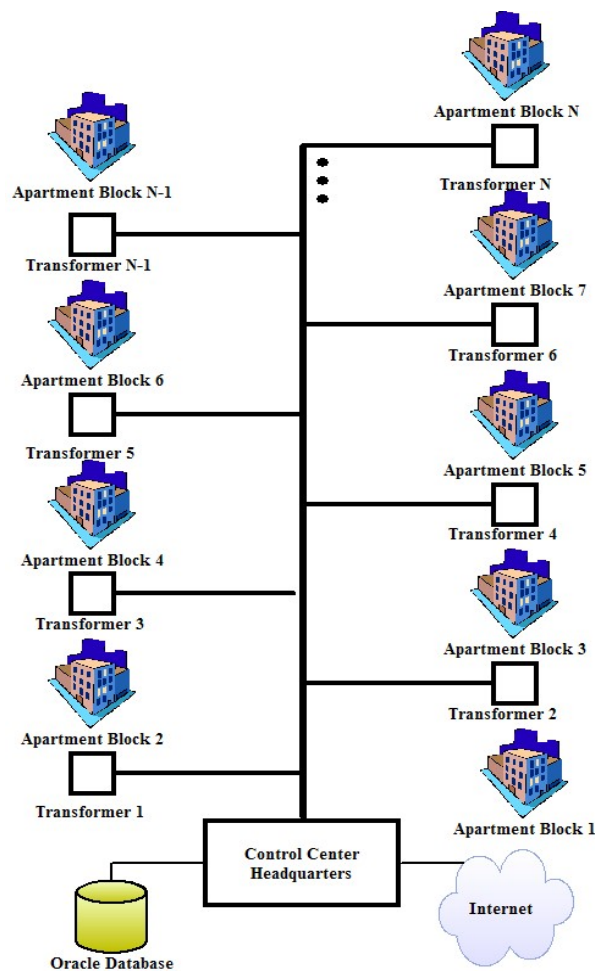
να γνωρίζει με ακρίβεια τις μελλοντικές ανάγκες για εγκατεστημένη ισχύ. Η προληπτική συντήρηση θα οδηγήσει στη μείωση του κόστους προμήθειας εξοπλισμού και τον περιορισμό της άσκοπης ενεργοποίησης του ανθρώπινου δυναμικού. Θα υπάρχει προληπτική οργάνωση των τμημάτων της επιχείρησης και εστίαση σε τομείς που παρουσιάζουν προβλήματα απόκρισης σε ενδεχόμενα σφάλματα. Με τη χρήση της τεχνολογίας BPL, θα υπάρχει εκτεταμένη πληροφόρηση για τις αδυναμίες του δικτύου. Η διαθέσιμη αυτή πληροφορία μπορεί να αξιοποιηθεί για την οργάνωση των τμημάτων της ΔΕΗ με τρόπο ώστε να μειωθεί ο χρόνος απόκρισης σε περιπτώσεις σφαλμάτων και να βελτιστοποιηθεί η οργάνωση των τμημάτων για παροχή υπηρεσιών υψηλών προδιαγραφών στους πελάτες της επιχείρησης. Η γνώση της ακριβούς θέσης κάποιου σφάλματος σε συνδυασμό με τη γνώση της φύσης του προβλήματος παρέχουν το πλεονέκτημα στα συνεργεία της ΔΕΗ να προετοιμάσουν τον εξοπλισμό τους και να εφοδιάζονται με τα εξαρτήματα εκείνα που χρειάζονται ώστε άμεσα και αποτελεσματικά να επιδιορθώσουν τις βλάβες που προκύπτουν στο δίκτυο. Αποτελέσματα αυτής της καινοτομίας αναμένεται να είναι

- Αύξηση της αξιοπιστίας του δικτύου.
- Μείωση του χρόνου αποκατάστασης βλαβών.
- Μείωση του κόστους αποκατάστασης βλαβών και συντήρησης του δικτύου.
- Αναβάθμιση του προγραμματισμού του ανθρώπινου δυναμικού της εταιρείας.
- Αναβάθμιση του προγραμματισμού της εφοδιαστικής αλυσίδας και των προμηθειών υλικών της ηλεκτρικής εταιρείας.
- Βάσει των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων του κέντρου διαχείρισης, αποτελεσματικός προγραμματισμός των εργασιών συντήρησης αλλά και αντικατάστασης του προβληματικού εξοπλισμού. Το αποτέλεσμα του προγραμματισμού είναι η μεθοδευμένη κατανομή των συνεργείων σε περιοχές που χρειάζονται άμεση παρέμβαση για να αποφεύγονται τα σφάλματα στο δίκτυο.



## 8.5 Τυπικός υπολογισμός χωρητικότητας γραμμής MT

Στο Κεφάλαιο 5 έγινε αναφορά στην διάκριση κάποιων βασικών κλάσεων υπηρεσιών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών (QoS) που αντιπροσωπεύουν την πλειοψηφία των εφαρμογών που καλύπτει ένα σύγχρονο υβριδικό δίκτυο BPL. Εδώ, γίνεται μια προσπάθεια υπολογισμού της ολικής χωρητικότητας για παροχή υπηρεσιών ευρείας ζώνης σε κατοικίες και Υ/Σ σε δίκτυο MT βάσει ενός απλού σεναρίου προσομοίωσης. Αρχικά θεωρείται μια τυπική αρχιτεκτονική ενός δικτύου BPL-MT που περιλαμβάνει  $N$  πολυκατοικίες και  $N$  ΜΣ (Σχήμα 8.21).



Σχήμα 8.21 Τυπική αρχιτεκτονική δικτύου BPL-MT

Έπειτα θεωρούνται τυπικοί ρυθμοί δεδομένων για εφαρμογές εποπτείας και ελέγχου σε ένα Υ/Σ (Πίνακας 8.6). Έτσι ένας σταθμός Υ/Σ απαιτεί 4Mbps για την

εποπτεία του με video σε πραγματικό χρόνο, 0,16Mbps για την τηλεφωνική επικοινωνία μέσω VoIP και 0,04 Mbps για τον έλεγχο των μέσων προστασίας που μπορεί να διαχειριστεί. Προφανώς κάποιο αναγκαίο τμήμα του διαθέσιμου εύρους ζώνης καταλαμβάνεται από overhead πληροφορία (1Mbps).

Έπειτα διαχωρίζονται τρεις ομάδες ποιότητας υπηρεσιών για εφαρμογές σε Υ/Σ (QoS<sub>Substation</sub>) (Πίνακας 8.7). Η πρώτη ομάδα ποιότητας υπηρεσιών περιλαμβάνει την λειτουργία της τηλεφωνικής σύνδεσης και του ελέγχου των προστατευτικών μέσων, η δεύτερη ομάδα την κάλυψη της παρακολούθησης του Υ/Σ με video ενώ η τρίτη την παράλληλη λειτουργία και των δύο.

Έπειτα αντίστοιχα θεωρούνται τυπικοί ρυθμοί δεδομένων για εφαρμογές σε μια κατοικία. Αυτοί φαίνονται στον Πίνακας 8.8.

A/A	Τυπικές Εφαρμογές Ελέγχου - Εποπτείας	Ρυθμοί δεδομένων
1	Video monitoring	4Mbps
2	Phone VoIP	0,16Mbps
3	Control Substation devices and switches	0,04Mbps
4	IP Data Overhead (20%-40%) of Total Data	1Mbps

**Πίνακας 8.6 Τυπικοί ρυθμοί δεδομένων για εφαρμογές εποπτείας και ελέγχου σε ένα Υ/Σ**

Ποιότητα Υπηρεσιών	Εφαρμογές	Ρυθμός δεδομένων
QoS <sub>1</sub>	Phone VoIP	0,24Mbps
	Control Devices, Circuit Breaker	
	IP Data OverHead	
QoS <sub>2</sub>	Video Monitoring IP OverHead	5,00Mbps
QoS <sub>3</sub>	QoS <sub>1</sub> +QoS <sub>2</sub>	5,24Mbps

**Πίνακας 8.7 Διαχωρισμός ομάδων ποιότητας υπηρεσιών για έναν υποσταθμό**

A/A	Τυπικές Εφαρμογές Ελέγχου - Εποπτείας	Ρυθμοί δεδομένων
1	HDTV Home Theater	12-27,8Mbps
2	SDTV	3-7Mbps
3	Home Theater Audio	5,4Mbps
4	CD Audio	1,6Mbps
5	Phone VoIP	0,16Mbps
6	Print Out	1Mbps
7	Control Home Devices	0,04Mbps
8	Visual Phone	1Mbps
9	Caching TV Programs	12Mbps
10	IP Data Overhead (20%-40%) of Total Data	4Mbps

**Πίνακας 8.8 Τυπικοί ρυθμοί δεδομένων για εφαρμογές εποπτείας και ελέγχου σε μια οικία**

Αντίστοιχα, διαχωρίζονται ομάδες ποιότητας υπηρεσιών για μια κατοικία (QoSHome) (Πίνακας 8.9)

Ποιότητα Υπηρεσιών	Εφαρμογές	Ρυθμός δεδομένων
QoS <sub>1</sub>	(1)-(10)	40-67Mbps
QoS <sub>2</sub>	(1),(4),(5),(7),(10)	22Mbps
QoS <sub>3</sub>	(2),(4),(5),(7),(10)	10Mbps
QoS <sub>4</sub>	(3),(5),(7),(10)	6,12Mbps
QoS <sub>5</sub>	(4),(5),(7),(10)	2,16Mbps

**Πίνακας 8.9 Διαχωρισμός ομάδων ποιότητας υπηρεσιών**

Ετσι πολύ απλά υπολογίζουμε την ολική χωρητικότητα για παροχή υπηρεσιών ευρείας ζώνης σε κατοικίες, Υ/Σ στο δίκτυο MT. Αυτή θα είναι θεωρώντας σταθερή ποιότητα υπηρεσιών

$$C_{HQ} = QoS_{Sub} \cdot N_{Sub} + QoS_{Home} \cdot N_{Home} \quad (8.6)$$

Για παράδειγμα, αν όλοι N<sub>1</sub> υποσταθμοί έχουν QoS<sub>sub</sub>=0.24Mbps ενώ N<sub>2</sub> καταναλωτές έχουν QoS<sub>home</sub>=2.16Mbps η ολική χωρητικότητα προκύπτει ίση με 0,24N<sub>1</sub>+2.16N<sub>2</sub> όπως φαίνεται στον Πίνακα 8.10.

Χώρος	Ρυθμός δεδομένων
Υποσταθμός1	0,24Mbps
Υποσταθμός2	0,24Mbps
.....	0,24Mbps
ΥποσταθμόςN <sub>1</sub>	0,24Mbps
Κατοικία1	2,16Mbps
Κατοικία2	2,16Mbps
.....	2,16Mbps
ΚατοικίαN <sub>2</sub>	2,16Mbps
Ολική χωρητικότητα	0,24*N <sub>1</sub> +2,16*N <sub>2</sub>

Πίνακας 8.10 Ολική χωρητικότητα δικτύο MT

Για μεταβλητή ποιότητα υπηρεσιών αντίστοιχα θα ισχύει

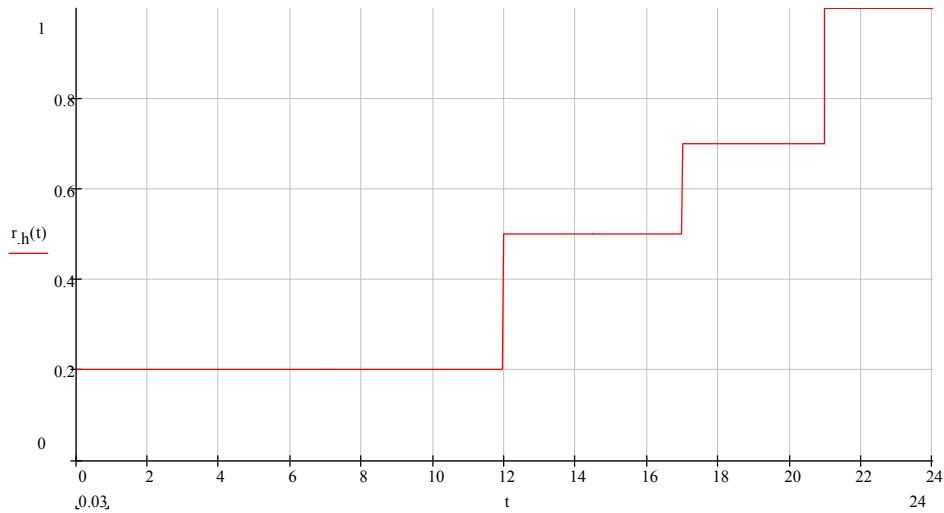
$$C_{HQ} = \underline{QoS}_{Sub} \cdot \underline{N}_{Sub} + \underline{QoS}_{Home} \cdot \underline{N}_{Home} \quad (8.7)$$

$$\text{Όπου } \underline{QoS}_{Sub} = \begin{bmatrix} QoS_{Sub_1} & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & QoS_{Sub_2} & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & QoS_{Sub_{N_1}} \end{bmatrix}, \underline{N}_{Sub} = \begin{bmatrix} N_{Sub_1} \\ N_{Sub_2} \\ \cdot \\ N_{Sub_{N_1}} \end{bmatrix} \text{ και}$$

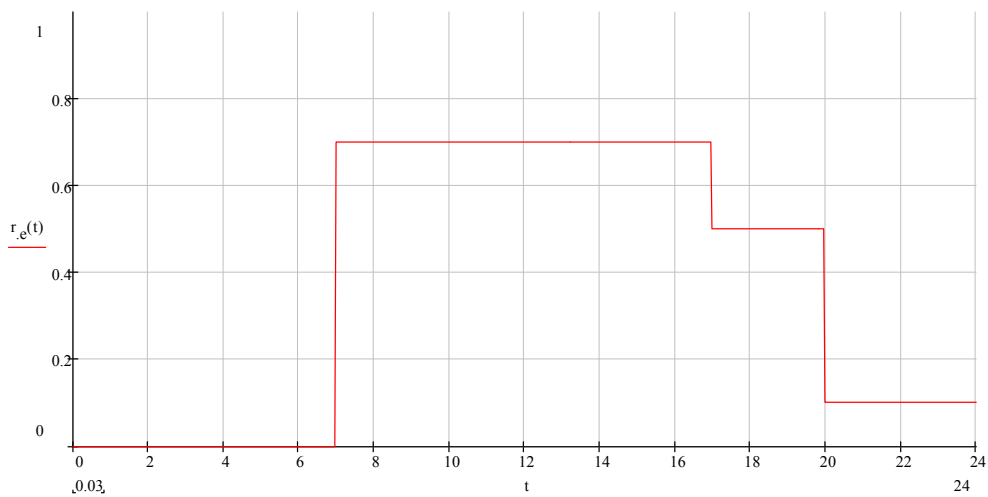
$$QoS_{Home} = \begin{bmatrix} QoS_{Home_1} & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & QoS_{Home_2} & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & QoS_{Home_{N_2}} \end{bmatrix}, \underline{N}_{Home} = \begin{bmatrix} N_{Home_1} \\ N_{Home_2} \\ \cdot \\ N_{Home_{N_2}} \end{bmatrix}$$

Η μήτρα ποιότητας υπηρεσιών των υποσταθμών  $\underline{QoS}_{Sub}$  και η μήτρα της ποιότητας υπηρεσιών των κατοικιών  $\underline{QoS}_{Home}$  λαμβάνουν τιμές σύμφωνα με τους πίνακες ποιότητας υπηρεσιών όπως παρουσιάστηκε παραπάνω. Τα διανύσματα  $\underline{N}_{Sub}$  και  $\underline{N}_{Home}$  λαμβάνουν τιμές 0 και 1 ανάλογα με τον αριθμό και τη περιοχή των Υ/Σ και των κατοικιών που χρειάζεται να υπολογιστεί τη χωρητικότητα. Στη γενική περίπτωση κρίνεται στον υπολογισμό της χωρητικότητας πρέπει να ληφθεί υπόψιν ο συντελεστής ετεροχρονισμού ο οποίος εξαρτάται από το λειτουργικό προφίλ των χρηστών. Για παράδειγμα, σε κατοικίες και επιχειρήσεις, με βάση τη στατιστική ανάλυση για τις ανάγκες η χρηστών υπολογίζεται ο στατιστικός μέσος συντελεστής ετεροχρονισμού

$\bar{r}_h = \frac{r_{h1} + r_{h2} + \dots + r_{hn}}{n}$  και  $\bar{r}_e = \frac{r_{e1} + r_{e2} + \dots + r_{en}}{n}$  αντίστοιχα. Τυπικές τιμές για τους παραπάνω συντελεστές δίνονται στα Σχήμα 8.22 και 8.23.



**Σχήμα 8.22** Στατιστικός μέσος συντελεστής ετεροχρονισμού για κατοικίες



**Σχήμα 8.23** Στατιστικός μέσος συντελεστής ετεροχρονισμού για επιχειρήσεις

Έτσι η συνολική χωρητικότητα για την περίπτωση παράλληλης λειτουργίας ΝΗ οικιών και ΝΕ επιχειρήσεων είναι πλέον ίση με

$$C_{total} = \underline{QoS}_H \cdot \underline{N}_H \cdot r_H + \underline{QoS}_E \cdot \underline{N}_E \cdot r_E \quad (8.8)$$

Ο στατιστικός μέσος συντελεστής ετεροχρονισμού για την λειτουργία Υ/Σ σε δίκτυα που χρησιμοποιείται η τεχνολογία BPL προσεγγίζει το μέσο όρο των δύο παραπάνω συντελεστών αφού η τυπική συμπεριφορά των χρηστών, των επιχειρήσεων αλλά και γενικά όλων των καταναλωτών επηρεάζει άμεσα το φορτίο, την δημιουργία βλαβών ή άλλων προβλημάτων που προκαλούν την ανάγκη της αποστολής των απαραίτητων δεδομένων για τις διαδικασίες ελέγχου και διόρθωσης των προβλημάτων αυτών.

***ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΒΑΣΙΚΩΝ  
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ  
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ  
ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ*****9.1 Γενικά**

Η συμπεριφορά των βασικών διατάξεων που απαρτίζουν το ολοκληρωμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας σε συχνότητες κοντά σε αυτή του ρεύματος τροφοδοσίας των 50Hz είναι γνωστή εδώ και πολλά χρόνια. Κάθε έρευνα προς βελτιστοποίηση διαδικασιών και άλλων λειτουργιών έχει ως δεδομένη την συμβατική χρησιμοποίηση των διατάξεων και κυκλωμάτων που χρησιμοποιούνται. Στα πλαίσια της ανάπτυξης της τεχνολογίας BPL, αποκτά ενδιαφέρον η αντίδραση και η συμπεριφορά αυτών των διατάξεων σε συχνότητες κοντά σε αυτή που χρησιμοποιεί η τεχνολογία BPL, δηλαδή σε συχνότητες της τάξεως των MHz. Παρακάτω γίνεται μια προσπάθεια μελέτης αυτής της συμπεριφοράς με την εξέταση κυρίως της αντίστασης εισόδου που εμφανίζουν τα κυκλώματα κάποιων βασικών διατάξεων σε υψηλές συχνότητες με τη βοήθεια απλοποιημένων μοντέλων. Η ανάπτυξη τέτοιων μοντέλων είναι μια αρκετά δύσκολη διαδικασία αφού στην προσπάθεια να συμπεριληφθούν σε αυτά όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την γενικότερη υψίσυχνη αντίδραση των διατάξεων αυτών, αυξάνεται κατά πολύ η πολυπλοκότητα των κυκλωμάτων. Συνεπώς η επινόηση απλοποιημένων μοντέλων τα οποία θα λαμβάνουν υπ' όψιν τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν

την υψίσυχη συμπεριφορά των διατάξεων είναι προτιμότερη λύση καθότι απαιτεί λιγότερους υπολογισμούς και προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό την πραγματική αντίδραση αυτών.

## **9.2 Υψίσυχα χαρακτηριστικά διατάξεων βιομηχανίας δικτύου διανομής XT**

### **9.2.1 Γενικά**

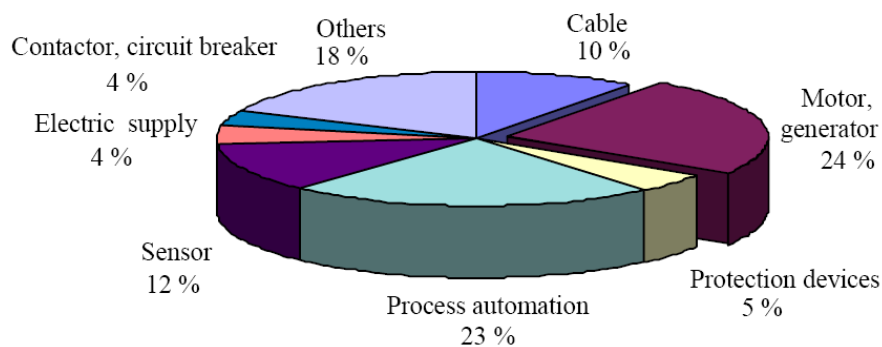
Η τοπολογία ενός βιομηχανικού δικτύου XT διαφέρει αρκετά από τις τοπολογίες των ενδοκτιριακών και δημόσιων δικτύων XT. Τα ενδοκτιριακά δίκτυα είναι μονοφασικά και το συνολικό μήκος του δικτύου είναι γενικά μικρότερο από το μήκος ενός βιομηχανικού δικτύου XT. Επιπροσθέτως, ο αριθμός των φορτίων και των πηγών θορύβου είναι γενικά υψηλότερος σε ενδοκτιριακά δίκτυα από ότι σε βιομηχανικά δίκτυα. Αντίστοιχα, τα δημόσια δίκτυα XT είναι τριφασικά και τα μήκη των γραμμών τους είναι πιο κοντά στα βιομηχανικά δίκτυα. Η τοπολογία ενός βιομηχανικού δικτύου είναι ακτινική ενώ κάθε μεγάλο φορτίο έχει το δικό του καλώδιο τροφοδοσίας. Αντίστοιχα, τα φορτία των δημόσιων δικτύων XT είναι συνδεδεμένα αλυσιδωτά. Η αντίσταση εισόδου ενός δικτύου XT εξαρτάται από την τοποθεσία και την συχνότητα και βρίσκεται τυπικά στο διάστημα από μερικά Ohms μέχρι μερικά kiloOhms. Η αντίσταση αυτή επηρεάζεται από την χαρακτηριστική αντίσταση του καλωδίου, την τοπολογία του δικτύου και τα συνδεδεμένα φορτία. Η συντήρηση των βιομηχανικών διατάξεων παίζει σημαντικό ρόλο στην εύρυθμη λειτουργία μιας βιομηχανίας. Αν η βασισμένη στο χρόνο συντήρηση των διατάξεων εξελιχθεί σε συντήρηση βασισμένη σε πρόβλεψη τότε θα έχουμε σημαντικά αποτελέσματα στο κόστος λειτουργίας και συντήρησης για ένα πάροχο ηλεκτρικού ρεύματος όπως και για μια βιομηχανία. Η υλοποίηση λειτουργιών συντήρησης και ελέγχου ηλεκτρικών διατάξεων με BPL έχει πολλά πλεονεκτήματα έναντι άλλων τεχνολογιών όπως ραδιοεπικοινωνίες, ομοαξονικό καλώδιο και οπτικές ίνες. Το δίκτυο διανομής XT σχηματίζει ένα επικοινωνιακό δίκτυο που είναι ήδη εγκατεστημένο και δεν χρειάζεται επιπλέον καλωδίωση. Πολλοί αισθητήρες μπορούν να στείλουν δεδομένα μέσω των γραμμών μεταφοράς στον ίδιο δέκτη. Η μεταφορά



δεδομένων μέσω των γραμμών ισχύος είναι απρόσβλητη από την φυσική δομή μιας βιομηχανικής εγκατάστασης (τοιχοί, πατώματα κτλ). Επίσης, η ισχύς τροφοδοσίας που απαιτείται για την λειτουργία συντήρησης μπορεί να δοθεί απευθείας από τα τερματικά της ηλεκτρικής διάταξης.

### 9.2.2 Ηλεκτρικοί κινητήρες

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες παίζουν σημαντικό ρόλο στην λειτουργία μιας βιομηχανίας. Μια βλάβη σε έναν κινητήρα μπορεί να οδηγήσει στην αναστολή διαδικασιών και συνεπώς σε οικονομική απώλεια. Οι κινητήρες είναι συνήθως αξιόπιστες συσκευές. Σύμφωνα με έρευνα λιγότερο από 40% του συνολικού αριθμού των διακοπών σε μια βιομηχανία προκαλούνται από ηλεκτρικά συστήματα [28]. Το ποσοστό των διακοπών που οφείλεται σε ηλεκτρικούς κινητήρες είναι μικρό στο σύνολο των διακοπών που οφείλονται σε ένα ηλεκτρικό σύστημα (Σχήμα 9.1). Ωστόσο μία βλάβη σε έναν κινητήρα προκαλεί ευκολότερα μία μεγάλου χρόνου διακοπής.



**Σχήμα 9.1 Κατανομή των διακοπών μιας βιομηχανίας που οφείλονται στο ηλεκτρικό σύστημα**

Οι εκτιμώμενοι ρυθμοί μετάδοσης που χρειάζονται οι διαδικασίες παρακολούθησης και ελέγχου ενός ηλεκτρικού κινητήρα φαίνονται στον Πίνακα 9.1. Γενικά οι ρυθμοί μετάδοσης που απαιτούνται για την σε πραγματικό χρόνο παρακολούθηση των ηλεκτρικών κινητήρων είναι χαμηλοί.

Measurement	Fault	Required data transfer rate/motor	
		Low sensor level data processing	High sensor level data processing
Vibration	Bearing failure	100 b/s	20 b/s
	Motor asymmetry	100 b/s	20 b/s
	Rotor failure	100 b/s	20 b/s
	Machine failure	100 b/s	20 b/s
	Machine asymmetry	100 b/s	20 b/s
Temperature	Contamination	1-10 b/s	1 b/s
	Fan failure	1-10 b/s	1 b/s
	Overloading	1-10 b/s	1 b/s
Humidity	Water leakage	1-10 b/s	1 b/s

**Πίνακας 9.1 Ρυθμοί μετάδοσης που χρειάζονται οι διαδικασίες παρακολούθησης και ελέγχου ενός ηλεκτρικού κινητήρα**

Μέχρι και πριν λίγα χρόνια, η αντίσταση εισόδου ενός ηλεκτρικού κινητήρα ήταν σημαντική παράμετρος για συχνότητες κοντά σε αυτή του ρεύματος ισχύος. Η σπουδαιότητα της αντίστασης εισόδου σε υψηλότερες συχνότητες αυξήθηκε λόγω της παγκόσμιας χρήσης των οδηγών μεταβλητής ταχύτητας (variable speed drives). Οι ταχείς διακοπτικές συχνότητες των ημιαγωγών ισχύος ενός αντιστροφέα εκπέμπουν παλμούς σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων και με υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο στο καλώδιο τροφοδοσίας του κινητήρα. Οι παλμοί δημιουργούν διάφορα προβλήματα όπως για παράδειγμα την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που προκαλούν βλάβες στα τυλίγματα μόνωσης του κινητήρα και προβλήματα στο σύστημα ελέγχου του αντιστροφέα. Η εμφάνιση αυτών των προβλημάτων είναι στενά συνδεδεμένη με την αναντιστοιχία αντιστάσεων μεταξύ του καλωδίου τροφοδοσίας του κινητήρα και του κινητήρα. Ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί ως τερματική αντίσταση όταν μεταδίδει δεδομένα σε ένα δίκτυο διανομής XT μεταξύ του modem που υπάρχει στον κινητήρα και του δέκτη που υπάρχει στον ΜΣ διανομής. Έτσι, τα χαρακτηριστικά υψηλών συχνοτήτων ενός ηλεκτρικού κινητήρα επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά υψηλών συχνοτήτων του καναλιού ηλεκτρικής ενέργειας.

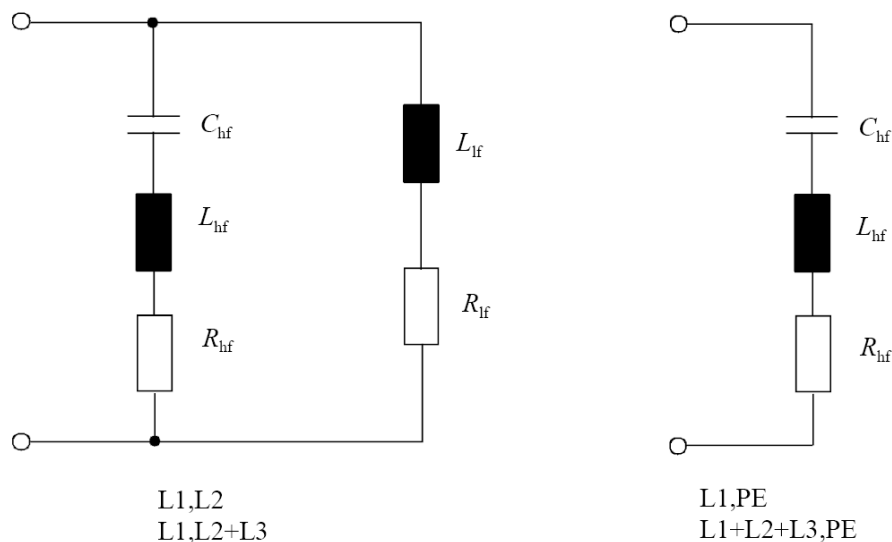
Η αντίσταση εισόδου ενός ηλεκτρικού κινητήρα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Σε συχνότητες κοντά σε αυτή της τροφοδοσίας, το ρεύμα που εισάγεται στα τερματικά του κινητήρα ρέει μέσω των τυλιγμάτων του στάτη. Σε αυτήν την περίπτωση, η αντίσταση εισόδου εξαρτάται από την μαγνητική αυτεπαγωγή και την αυτεπαγωγή απωλειών των πηνίων του στάτη, την αυτεπαγωγή απωλειών και την αντίσταση του δρομέα και το μηχανικό φορτίο του κινητήρα. Σε υψηλότερες συχνότητες, τυχαίες χωρητικότητες και άλλες αυτεπαγωγές απωλειών αρχίζουν να επηρεάζουν την αντίσταση εισόδου του κινητήρα. Επιπροσθέτως, σύμφωνα με τα επιδερμικά φαινόμενα, όλες οι αντιστάσεις του κινητήρα αυξάνονται συναρτήσει της συχνότητας. Κάποιες από τις παρασιτικές ποσότητες που επηρεάζουν την συμπεριφορά της αντίστασης εισόδου του κινητήρα σε υψηλές συχνότητες είναι

- Χωρητικότητα ανάμεσα στα πηνία του στάτη.
- Χωρητικότητα μεταξύ τυλιγματος στάτη και πλαισίου στάτη.
- Χωρητικότητα μεταξύ τυλιγμάτων φάσεων.
- Αμοιβαία αυτεπαγωγή μεταξύ τυλιγμάτων φάσεων.
- Αμοιβαία αυτεπαγωγή ανάμεσα στα πηνία του στάτη.
- Αντίσταση του πλαισίου του στάτη και των τυλιγμάτων του στάτη.

Έχει υιοθετηθεί ένα μοντέλο [22], για να περιγράψει τα βασικά χαρακτηριστικά της αντίστασης εισόδου του κινητήρα στο διάστημα 10kHz έως 30MHz. Τα βασικά χαρακτηριστικά της αντίστασης εισόδου είναι σημαντικά γιατί στην περίπτωση ενός καλωδίου διακλάδωσης που τερματίζεται σε ένα κινητήρα, η αντίσταση εισόδου του καλωδίου διακλάδωσης γίνεται μεταβαλλόμενη με την συχνότητα εξαιτίας της αναντιστοιχίας αντιστάσεων στην διεπαφή του καλωδίου με τον κινητήρα. Λόγω των χαμηλών απωλειών του καλωδίου και της υψηλής αναντιστοιχίας αντιστάσεων, η αντίσταση εισόδου του καλωδίου μπορεί να γίνεται σχεδόν μηδενική για ορισμένες συχνότητες. Σε αυτές τις συχνότητες, υπάρχουν απότομες εντομές στην απόκριση πλάτους του καναλιού ηλεκτρικής ενέργειας και παραμόρφωση στην απόκριση φάσης. Αυτές οι συχνότητες δεν είναι ευνοικές για μετάδοση δεδομένων μέσω γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Εξαιτίας της μεταβολής της αντίστασης εισόδου με την συχνότητα, ο κινητήρας δεν μπορεί να θεωρηθεί ως ανοιχτοκυκλωμένο ή βραχυκυκλωμένο τερματικό. Από την άλλη πλευρά, το φανταστικό μέρος της αντίστασης

εισόδου του κινητήρα επιδρά στο ηλεκτρικό μήκος του καλωδίου διακλάδωσης, που αντίστοιχα επηρεάζει τις συχνότητες που θα παρουσιαστούν οι εντομές στο φάσμα. Μια λύση που παρουσιάστηκε για την προσομοίωση της αντίστασης εισόδου του κινητήρα σε υψηλές συχνότητες αποτελείται από δύο βασικά δίθυρα μοντέλα που φαίνονται στο Σχήμα 9.2. Η επιλογή του μοντέλου εξαρτάται από τον τύπο της σύζευξης. Οι τύποι των συζεύξεων που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις αυτές είναι

- (L1, PE) : Φάση με γη (phase to protective earth).
- (L1, L2) : Φάση με φάση (phase to phase).
- (L1+L2+L3, PE): Όλες οι φάσεις μαζί ως αγωγός σήματος και η γη ως αγωγός επιστροφής.
- (L1, L2+L3) : Όλες οι φάσεις μαζί.



**Σχήμα 9.2** Υψίσυχνα μοντέλα προσομοίωσης σύνθετης αντίστασης εισόδου κινητήρα

Οι παράμετροι του παραπάνω μοντέλου είναι

- $L_{1f}$  η χαμηλής συχνότητας αυτεπαγωγή των πηνίων του στάτη.
- $R_{1f}$  η χαμηλής συχνότητας αντίσταση των πηνίων του στάτη.
- $C_{hf}$  η χωρητικότητα του υψίσυχνου ρεύματος.
- $L_{hf}$  η αυτεπαγωγή του υψίσυχνου ρεύματος.
- $R_{hf}$  η αντίσταση του υψίσυχνου ρεύματος.

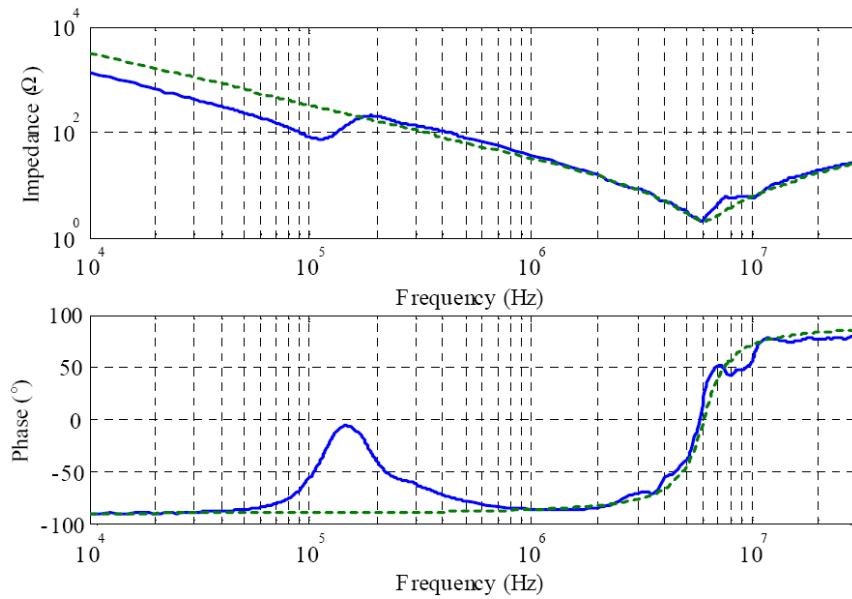
Οι εξισώσεις που δίνουν την αντίσταση εισόδου για τα δύο μοντέλα στο χώρο των συχνοτήτων είναι

$$\begin{aligned} Z_{in,1}(s) &= \frac{sC_{hf}L_{hf} + s(C_{hf}R_{hf} + L_{lf}) + R_{lf} + 1}{s^2C_{hf}(L_{lf} + L_{hf}) + sC_{hf}(R_{lf} + R_{hf}) + 1} \\ Z_{in,2}(s) &= \frac{s^2C_{hf}L_{hf} + sC_{hf}R_{hf} + 1}{sC_{hf}} \end{aligned} \quad (9.1)$$

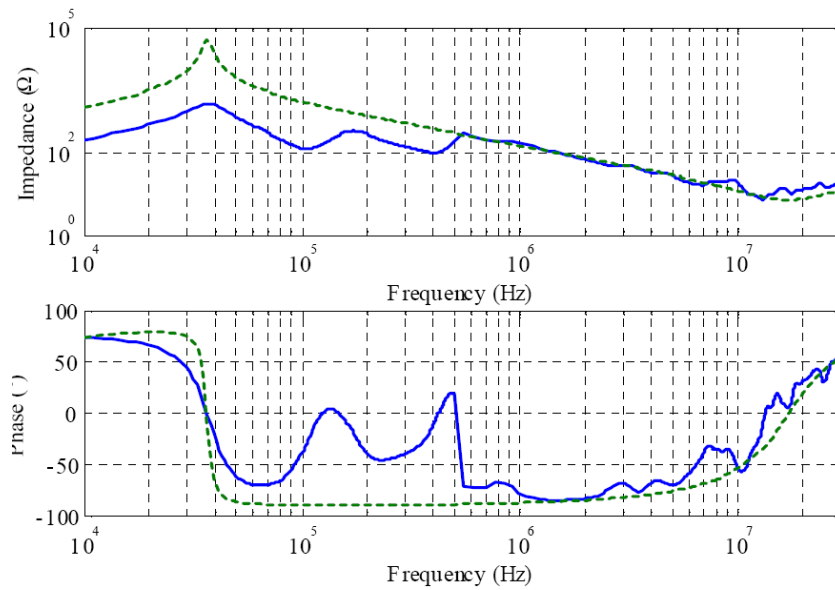
Σχετικά με τις επικοινωνίες μέσω γραμμών ηλεκτρικής ισχύος οι συζεύξεις (L1, PE) και (L1, L2) μοιάζουν να είναι οι πιο ενδιαφέρουσες. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης βάσει του μοντέλου αλλά και οι τιμές των μετρήσεων φαίνονται στα Σχήματα 9.3 και 9.4 για το διάστημα 10kHz έως 30MHz και για τους διάφορους τύπους σύζευξης και τιμές των παραμέτρων.

Όπως φαίνεται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με βάση το μοντέλο αυτό είναι σχετικά ανάλογα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων, ενώ οι αποκλίσεις οφείλονται σε διάφορα άλλα παρασιτικά συστατικά όπως αυτεπαγωγές και αντιστάσεις διαφόρων τύπων απωλειών που εξαρτώνται από την συχνότητα και παραλείπονται από το μοντέλο. Η αντίσταση εισόδου στις συζεύξεις (L1, L2+L3) και (L1, L2) έχει δύο ισχυρές συχνότητες συντονισμού. Η πρώτη παρατηρείται στο διάστημα 10-100kHz. Πριν το πρώτο συντονισμό, η αντίσταση εισόδου είναι επαγωγική ενώ μετά γίνεται χωρητική. Ο επόμενος δυνατός συντονισμός παρουσιάζεται στο διάστημα 1-20MHz. Μετά από τον δεύτερο συντονισμό η σύνθετη αντίσταση εισόδου του κινητήρα γίνεται ξανά επαγωγική. Η αντίσταση εισόδου στις συζεύξεις (L1, PE) και (L1+L2+L3, PE) έχει ένα δυνατό συντονισμό στο διάστημα 10kHz-30MHz. Βρίσκεται στο διάστημα 1-20MHz και εξαρτάται από τον κινητήρα τον τύπο της σύζευξης.

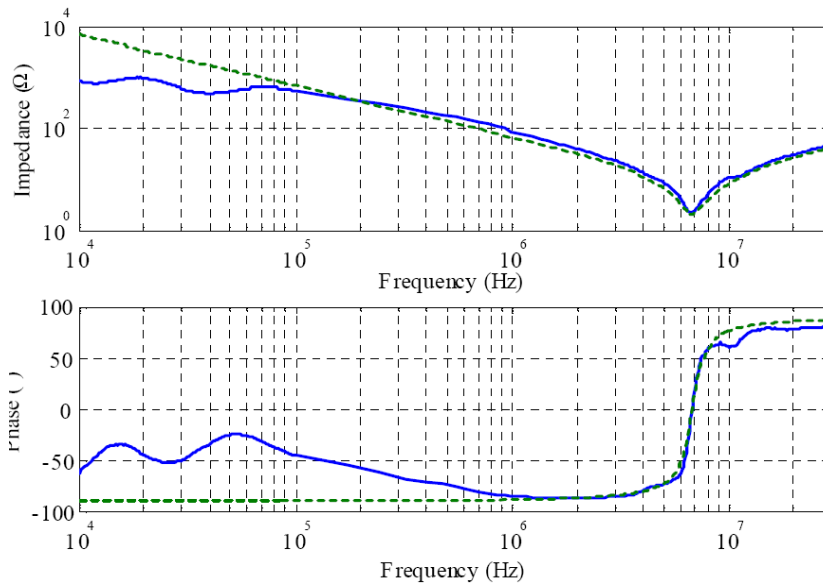
Πριν από τον συντονισμό η αντίσταση είναι χωρητική και μετά γίνεται επαγωγική. Στην συχνότητα συντονισμού η αντίσταση εισόδου είναι αμιγώς ωμική και το μέγεθος της κυμαίνεται από 1-10Ω. Όπως είπαμε ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί ως τερματική αντίσταση κατά την μετάδοση δεδομένων σε ένα βιομηχανικό δίκτυο διανομής χρησιμοποιώντας την BPL τεχνολογία.



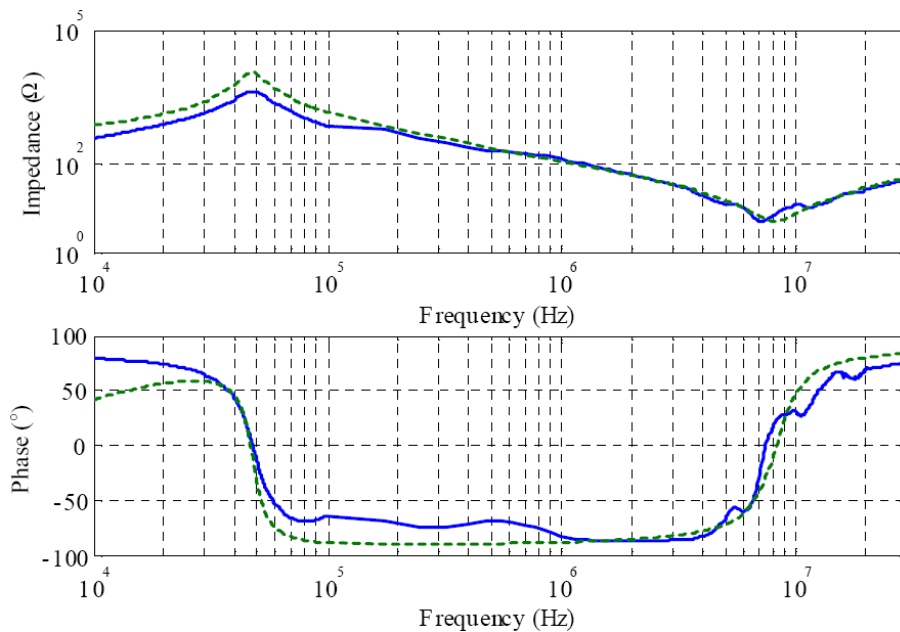
**Σχήμα 9.3** Τύπος κινητήρα : επαγωγικός (22 kW, 4 πόλοι), Τυπος σύζευξης : (L1+L2+L3, PE),  $L_{hf}=145$  nH,  $Chf=4.9$  nF και  $R_{hf}=2$  Ω.



**Σχήμα 9.4** Τύπος κινητήρα : επαγωγικός (22 kW, 4 πόλοι), Τυπος σύζευξης : (L1, L2+L3),  $L_{lf}=17$  mH,  $R_{lf}=300$  Ω,  $L_{hf}=78$  nH,  $Chf=1.1$  nF και  $R_{hf}=7$  Ω



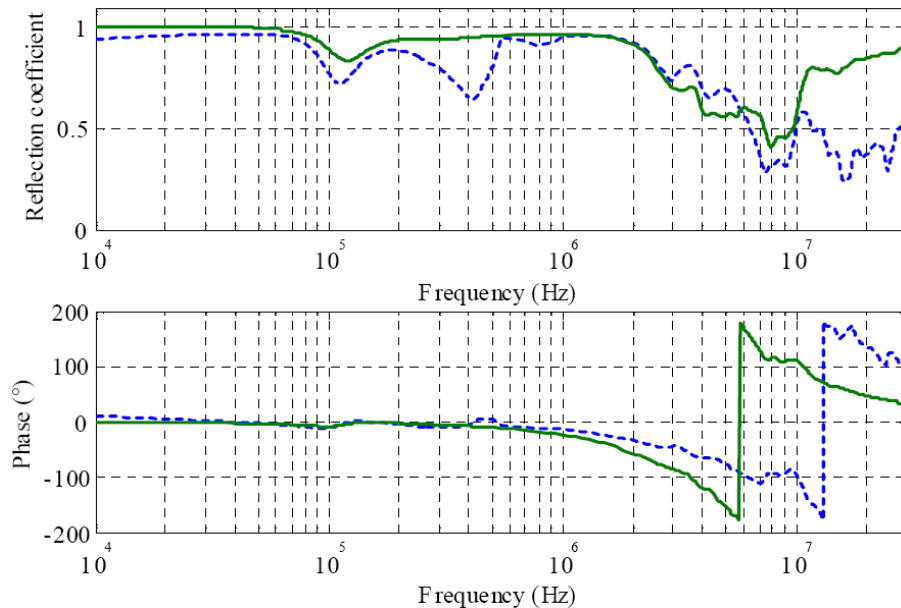
**Σχήμα 9.5 Τύπος κινητήρα : επαγωγικός (33 kW, 4 πόλοι), Τυπος σύζευξης (L1, PE),  
Lhf=239 nH, Chf=2.3 nF και Rhf=2 Ω**



**Σχήμα 9.6 Τύπος κινητήρα : επαγωγικός (15 kW, 4 πόλοι), Τυπος σύζευξης : (L1, L2),  
Llf=7.8 mH, Rlf=500 Ω, Lhf=266 nH, Chf=1.4 nF και Rhf=5 Ω.**

Στο διάστημα 10KHz-30MHz η αντίσταση εισόδου του κινητήρα κυμαίνεται από 1 Ω-10 kΩ και κυρίως είναι είτε αμιγώς επαγωγική είτε αμιγώς χωρητική. Η χαρακτηριστική αντίσταση των καλωδίων XT κυμαίνεται από 5Ω έως 50Ω. Συνεπώς

υπάρχει μια αναντιστοιχία αντιστάσεων στην διεπαφή καλωδίου και κινητήρα σε όλο το φάσμα από 10kHz–30 MHz η οποία οδηγεί σε ανακλάσεις και απώλειες ενέργειας. Ο συντελεστής ανάκλασης και οι φάσεις του συντελεστή ανάκλασης στην διεπαφή μεταξύ καλωδίου και κινητήρα φαίνονται στο Σχήμα 9.7.



**Σχήμα 9.7** Συντελεστή ανάκλασης στην διεπαφή μεταξύ καλωδίου και κινητήρα, Τύπος κινητήρα : επαγωγικός (22 kW, 4 πόλοι), Τυπος σύζευξης : (L1, L2+L3) : Μπλε γραμμή, (L1+L2+L3,PE): Πράσινη γραμμή

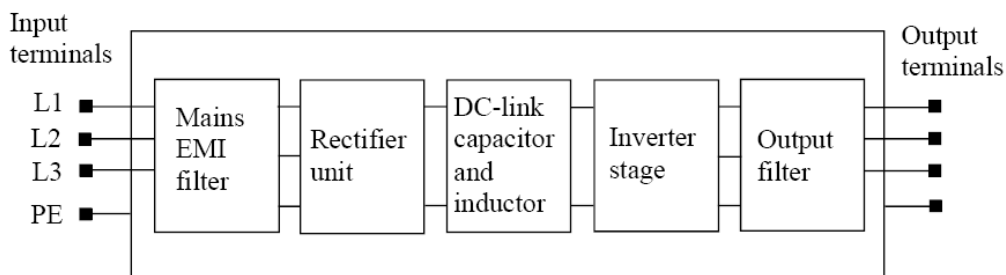
Η εξαρτώμενη από την συχνότητα αντίσταση εισόδου, όπως μετρείται στην είσοδο του καλωδίου είναι ένα πρόβλημα για την μετάδοση δεδομένων μέσω των γραμμών ισχύος. Ένα καλώδιο διακλάδωσης που τερματίζεται σε ένα κινητήρα μπορεί να θεωρηθεί ως μια αντίσταση φορτίου συνδεδεμένη παράλληλα με το κανάλι της γραμμής. Εξαιτίας της πλήρους ανάκλασης του σήματος στην διεπαφή καλωδίου-κινητήρα και λόγω των χαμηλών απωλειών του καλωδίου, σε κάποιες συχνότητες η αντίσταση εισόδου του καλωδίου πέφτει στο μηδέν. Αυτό σχεδόν βραχυκυκλώνει το κανάλι προκαλώντας απότομες εντομές στην απόκριση συχνότητας και παραμόρφωση της απόκρισης φάσης.



### 9.2.3 Αντιστροφείς

Οι ηλεκτρονικοί αντιστροφείς με πηγή τάσης, είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται σε συστήματα μετατροπής ηλεκτρικής ισχύος με σκοπό τη μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη τάση με σταθερό ή μεταβαλλόμενο πλάτος και σταθερή ή μεταβαλλόμενη συχνότητα. 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 υψίσυχο 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 9.8 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).



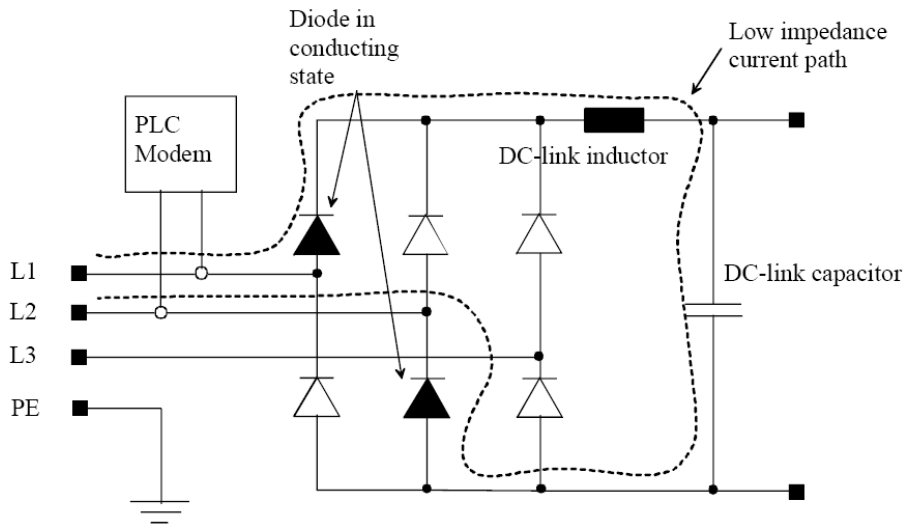
Σχήμα 9.8 Block διάγραμμα αντιστροφέα

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

κυρίως κρουστικός. Τα είδη των διαταραχών που προκαλώνται από τον αντιστροφέα στο δίκτυο διανομής είναι

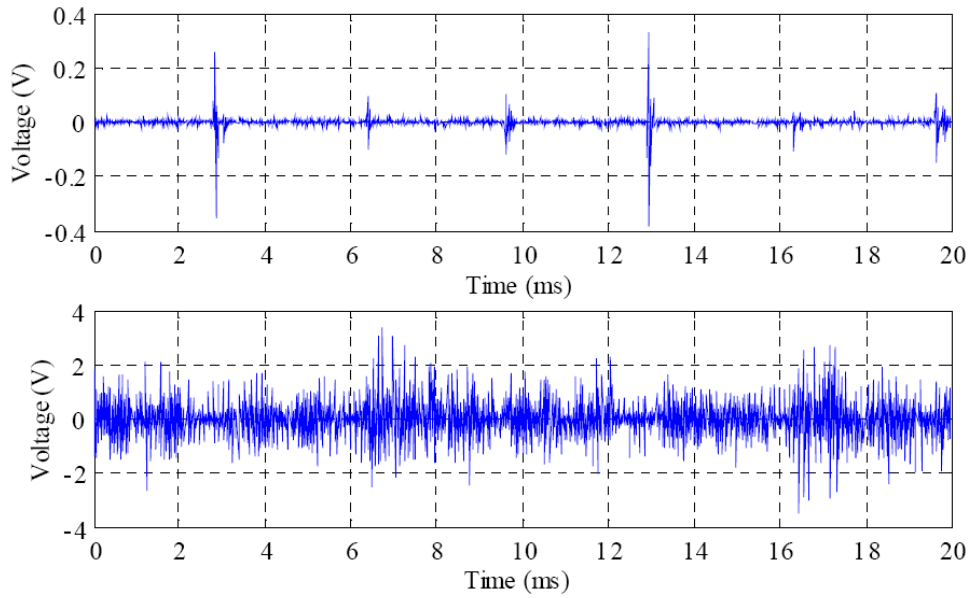
- Θόρυβος που προκαλείται από το τμήμα του ανορθωτή και το τμήμα του αντιστροφέα.
- Χρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση εισόδου που είναι σύγχρονη με την συχνότητα των γραμμών ισχύος.
- Πολύπλοκη διαμόρφωση πλάτους του φέροντος σήματος που πραγματοποιείται στον ανορθωτή.
- Ανάκλαση που προκαλείται από αναντιστοιχία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

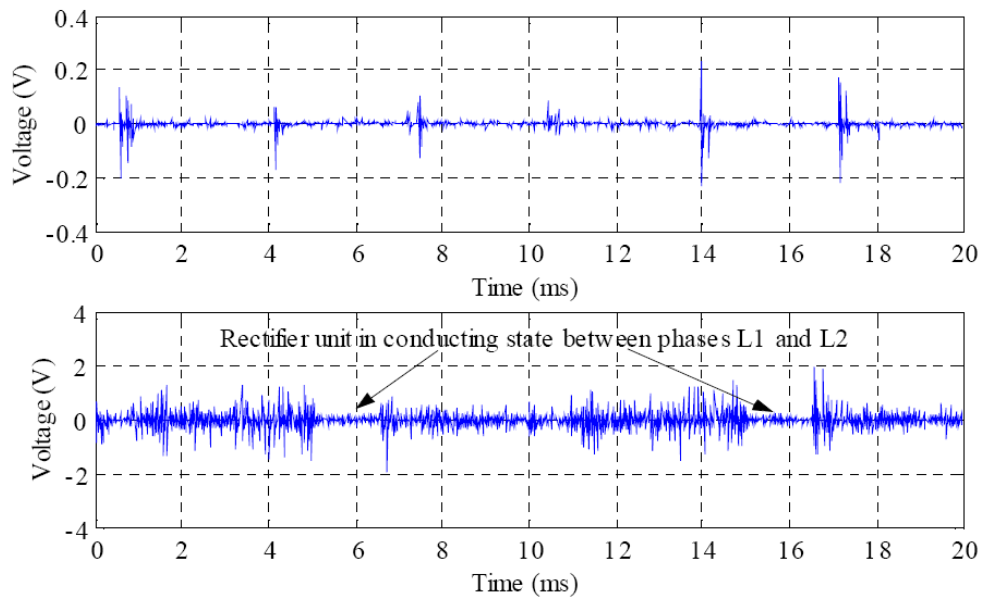


**Σχήμα 9.9 Χρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση εισόδου όταν το modem συνδέεται στις δύο φάσεις**

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 9.10 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 9.10 Σύγκριση θορύβου όταν ο αντιστροφέας δεν λειτουργεί (πάνω) με το όταν ο αντιστροφέας λειτουργεί (κάτω) σε σύζευξη (L1, PE)**



**Σχήμα 9.11 Σύγκριση θορύβου όταν ο αντιστροφέας δεν λειτουργεί (πάνω) με το όταν ο αντιστροφέας λειτουργεί (κάτω) σε σύζευξη (L1, L2)**

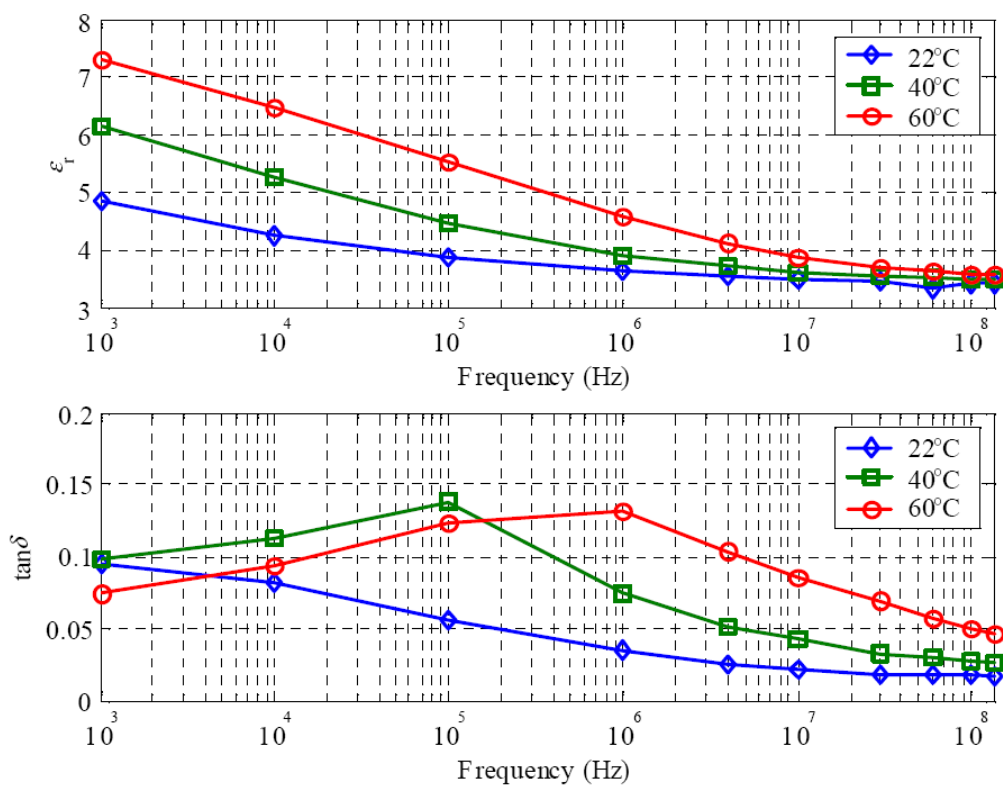
Αντιστοίχως στο Σχήμα 9.11 φαίνονται τα αντίστοιχα διαγράμματα για τον τύπο σύζευξης (L1, L2). Ο θόρυβος που δημιουργείται από το τμήμα του αντιστροφέα είναι

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.

### 9.3 Υψίσυχα χαρακτηριστικά του μονωτικού υλικού PVC

Το PVC χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό εφ' όσον αυτό επιτρέπεται από τεχνικούς λόγους, γιατί είναι φθηνό και ανθεκτικό από μηχανική και χημική άποψη. Λόγω των υψηλών διηλεκτρικών απωλειών δε χρησιμοποιείται σε πολύ υψηλές τάσεις. Επιπλέον, δεν είναι ανθεκτικό σε πολύ χαμηλές (< -30°C) ή πολύ υψηλές θερμοκρασίες (> 70°C). Σε διαρκή καταπόνηση πάνω από τους 70°C γίνεται εύθραυστο και σχηματίζει ρωγμές. Γενικότερα, επιτρέπεται η διαρκής καταπόνηση του μέχρι τους 70°C. Το PVC χρησιμοποιείται για την προστασία και την μόνωση των καλωδίων MT. Η συμπεριφορά του υλικού σε συχνότητες μεγαλύτερες από αυτές για τις οποίες είναι κατασκευασμένο να λειτουργεί αποκτά ενδιαφέρον στα πλαίσια της ανάπτυξης της τεχνολογίας BPL. Στο Σχήμα 9.12 φαίνεται η μεταβολή της διηλεκτρικής επιτρεπτότητας του μονωτικού υλικού PVC στο φάσμα συχνοτήτων (1kHz – 135MHz) και σε διαφορετικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Στο Σχήμα 9.12 φαίνεται επίσης, η μεταβολή του συντελεστή απωλειών  $\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$  με  $\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon''$ . Είναι γνωστόν πως για να έχουμε μικρή απόσβεση πρέπει  $\varepsilon'' \ll \varepsilon'$ . Από τα παρακάτω διαγράμματα παρατηρούμε την αύξηση της διηλεκτρικής επιτρεπτότητας του υλικού με την αύξηση της συχνότητας. Σε σχέση με το μέγεθος  $\tan \delta$  η θερμοκρασία γίνεται κρίσιμος παράγοντας για την μεγιστοποίηση του αλλά σε κάθε θερμοκρασία παρατηρείται μείωση του την αύξηση της συχνότητας.



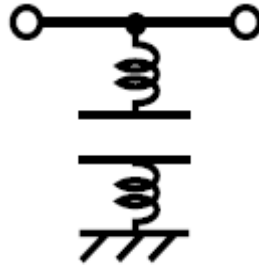
Σχήμα 9.12 Υψίσυχνα χαρακτηριστικά του μονωτικού υλικού PVC

#### 9.4 Πυκνωτές

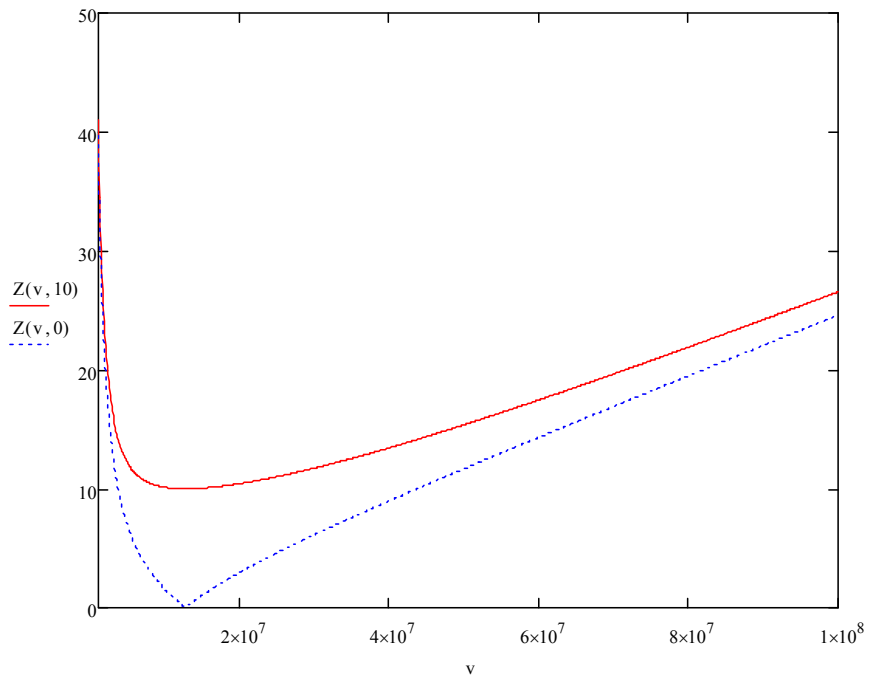
Η υψίσυχη συμπεριφορά ενός πυκνωτή σε υψηλές συχνότητες μπορεί να προσομοιωθεί μέσω των παρακάτω απλών μοντέλων. Στο πρώτο μοντέλο θεωρούμε ότι ο πυκνωτής δεν έχει ωμικές απώλειες. Αυτό το μοντέλο φαίνεται στο Σχήμα 9.13.

Όπως παρατηρούμε σε υψηλές συχνότητες ο πυκνωτής έχει διαφορετική συμπεριφορά και δεν παρουσιάζει αμελητέα αυτεπαγωγή. Έτσι η σύνθετη αντίσταση του θα είναι

$$Z_c = j\omega \frac{L}{2} + j\omega \frac{L}{2} + \frac{1}{j\omega C} = j\omega L + \frac{1}{j\omega C}$$



Σχήμα 9.13 Ισοδύναμο κύκλωμα πυκνωτή σε υψηλές συχνότητες



Σχήμα 9.14 Σύνθετη αντίσταση πυκνωτή σε υψηλές συχνότητες

Το μέτρο αυτής θα ισούται με

$$|Z_c| = \omega L - \frac{1}{\omega C}$$

Η συχνότητα συντονισμού είναι η συχνότητα κατά την οποία η σύνθετη αντίσταση του πυκνωτή γίνεται μηδεν. Αυτή προκύπτει όταν

$$Z_c = 0 \rightarrow j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = 0 \rightarrow j\omega L = -\frac{1}{j\omega C} \rightarrow -\omega^2 LC = -1 \rightarrow \omega^2 LC = 1 \rightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Σε ένα περισσότερο ρεαλιστικό μοντέλο θεωρούμε ότι ο πυκνωτής έχει ωμικές απώλειες τιμής R. Έτσι η σύνθετη αντίσταση του πλεόν θα είναι :

$$Z_c = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

Το μέτρο αυτής θα ισούται με

$$|Z_c| = \left( \frac{R^2\omega^2C^2 + \omega^4L^2C^2 - 2\omega^2LC + 1}{\omega^2C^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Η συχνότητα συντονισμού προκύπτει όταν

$$Z_c = 0 \rightarrow R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = 0$$

$$s = j\omega$$

$$R + sL + \frac{1}{sC} = 0 \rightarrow s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC} = 0$$

Λύνοντας την εξίσωση και βρίσκοντας τις ρίζες καταλήγουμε ότι η συχνότητα συντονισμού έχει την τιμή

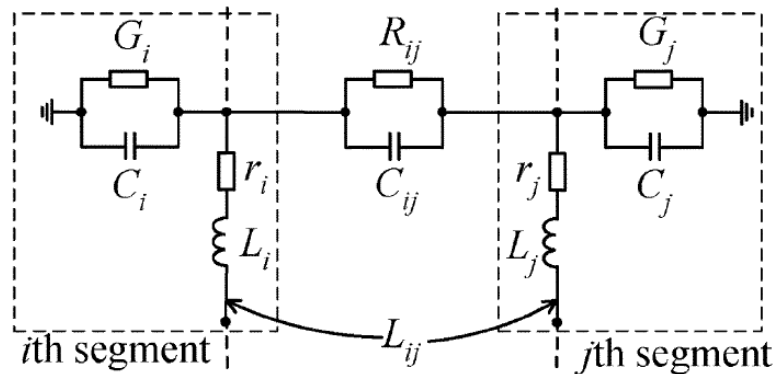
$$\omega = \sqrt{\frac{R}{2L} \sqrt{\left(\frac{R}{L} - \frac{2}{\sqrt{LC}}\right)\left(\frac{R}{L} + \frac{2}{\sqrt{LC}}\right)} - \frac{1}{4} \left[ \left(\frac{R}{L}\right)^2 + \left(\frac{R}{L} - \frac{2}{\sqrt{LC}}\right)\left(\frac{R}{L} + \frac{2}{\sqrt{LC}}\right) \right]} \quad (9.2)$$

Στο Σχήμα 9.14 φαίνεται η σύνθετη αντίσταση εισόδου του πυκνωτή συναρτήσει της συχνότητας για ένα εύρος τιμών από 1MHz έως 100 MHz. Η καμπύλη με το κόκκινο χρώμα αναπαριστά την συνθέτη αντίσταση όταν υπάρχει ωμική αντίσταση μεγέθους R=10 Ohm ενώ η μπλέ καμπύλη όταν η ωμική αντίσταση θεωρείται αμελητέα. Βάσει αυτού του απλού μοντέλου παρατηρούμε μεγαλύτερες τιμές όταν υπάρχει ωμικός χαρακτήρας στην σύνθετη αντίσταση ενώ στην άλλη περίπτωση παρατηρούμε μικρότερες τιμές της σύνθετης αντίστασης και μηδενισμό της κοντά στην συχνότητα των 12MHz. Η τιμή της χωρητικότητας που χρησιμοποιήσαμε είναι C = 25nF ενώ η τιμή της αυτεπαγωγής L = 0.25μH



## 9.5 Γειωτές πλέγματος

Γείωση είναι η αγώγιμη σύνδεση ενός σημείου ενός κυκλώματος ή ενός εκτεθειμένου αγώγιμου μέρους μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης ή ενός αγώγιμου ξένου στοιχείου, με την γη, μέσω μιας διάταξης γείωσης. Οι διατάξεις γείωσης μπορούν να χρησιμοποιούνται είτε συγχρόνως για την προστασία και για την λειτουργία μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης είτε μόνο για την προστασία ή μόνο για την λειτουργία της ηλεκτρικής εγκατάστασης [18].



Σχήμα 9.14 Ισοδύναμο διάγραμμα μεταξύ του i-ού και του j-ού τμήματος

Στην περίπτωση διάταξης γείωσης σε πλέγμα, δηλαδή στο επωνομαζόμενο γειωτή πλέγματος, αν διαχωρίσουμε το πλέγμα σε τμήματα, το ισοδύναμο διάγραμμα μεταξύ του i-ού και του j-ού τμήματος σε συχνότητες της τάξεως των MHz φαίνεται στο Σχήμα 9.14 όπου  $G_i$ ,  $C_i$ ,  $r_i$ ,  $L_i$  η αγωγιμότητα, η χωρητικότητα, η ωμική αντίσταση και η αυτεπαγωγή του i-ού τμήματος ενώ  $R_{ij}$ ,  $C_{ij}$  και  $L_{ij}$  η αμοιβαία αντίσταση, η αμοιβαία χωρητικότητα και αμοιβαία αυτεπαγωγή μεταξύ του i-ου και του j-ου τμήματος του πλέγματος γείωσης αντίστοιχα. Αν θεωρήσουμε εδάφη με ομοιογενή πυκνότητα εδάφους δεχόμαστε τις παρακάτω προσεγγίσεις

$$\begin{aligned}
r_i &= r_j = r_{ij} \\
R_i &= R_j = R_{ij} \\
L_i &= L_j = L_{ij} \\
G_i &= G_j = G_{ij} \\
C_i &= C_j = C_{ij}
\end{aligned}$$

Η αμοιβαία σύνθετη αντίσταση μεταξύ του i-στού και j-στού τμήματος είναι :

$$Z_{ij} = R_{ij} + \frac{1}{j\omega C_{ij}} = R - j \frac{1}{\omega C}$$

Υπολογίζουμε έπειτα τις αντιστάσεις:

$$Z_{GR} = G_i + \frac{1}{j\omega C_i} = G_i - j \frac{1}{\omega C_i} = G - j \frac{1}{\omega C}$$

$$Z_{GRN} = \frac{1}{N} \left( G - j \frac{1}{\omega C} \right)$$

$$Z_T = \frac{Z_{GRN} Z_{ij}}{Z_{GRN} + Z_{ij}}$$

Έτσι προκύπτει η συνολική σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος του Σχήματος 9.14 ως

$$Z_{tot} = N(r_i + j\omega L_i) + Z_T = N(r + j\omega L) + Z_T$$

$$Z_{tot} = N(r + j\omega L) + \frac{\frac{1}{N} \left( G - j \frac{1}{\omega C} \right) R - j \frac{1}{\omega C}}{\frac{1}{N} \left( G - j \frac{1}{\omega C} \right) + R - j \frac{1}{\omega C}} \quad (9.3)$$

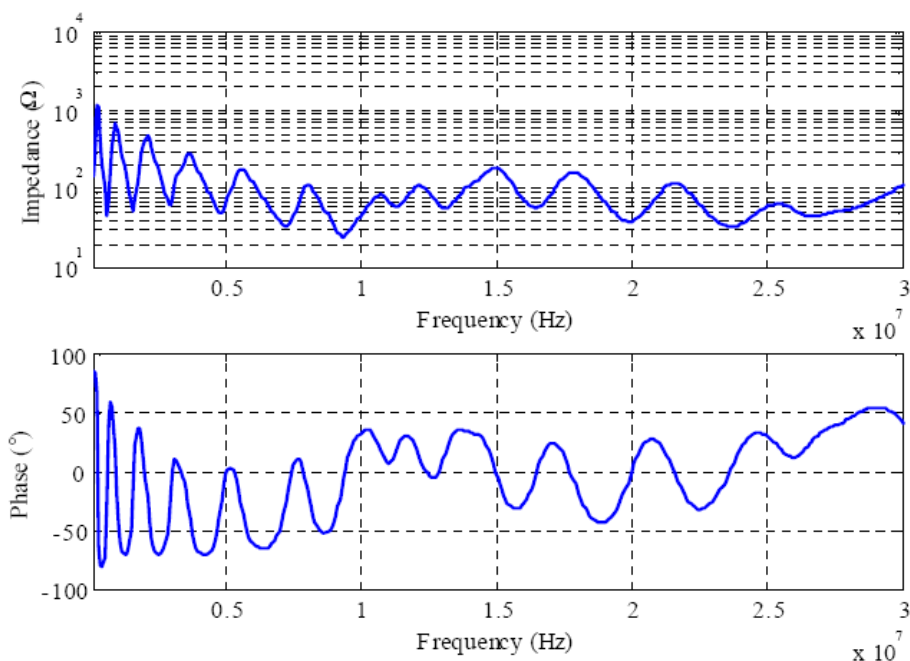
## 9.6 Μετασχηματιστές Διανομής

Ο ΜΣ διανομής μπορεί να θεωρηθεί ως μία τερματική αντίσταση στο BPL σύστημα όπως και οι ηλεκτρικοί κινητήρες, οι αντιστροφείς και οι άλλες διατάξεις που συνδέονται στο δίκτυο διανομής XT. Για τον λόγο αυτό, αντίστοιχα με τις περιπτώσεις του ηλεκτρικού κινητήρα και του αντιστροφέα έχει ιδιαίτερη συμπεριφορά. Παρακάτω παρουσιάζεται η αντίσταση εισόδου ενός ΜΣ διανομής για διαφορετικούς τύπους

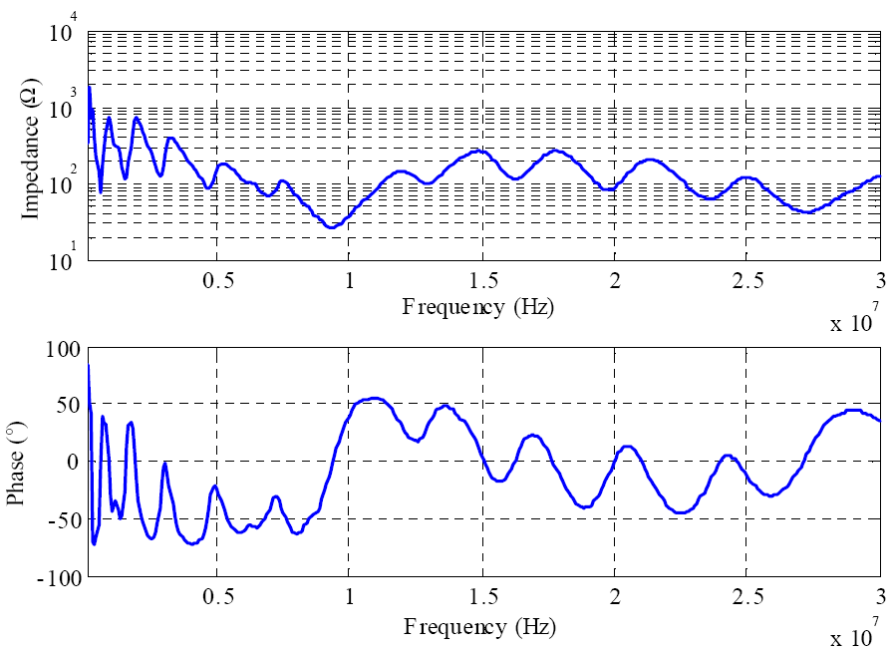
σύζευξης. Κατά την διάρκεια των μετρήσεων η υψηλής τάσης πλευρά του μετασχηματιστή είναι ανοιχτή. Το επίπεδο αντίστασης στην πλευρά υψηλής τάσης δεν επηρεάζει το επίπεδο αντίστασης στην πλευρά χαμηλής τάσης. Όπως φαίνεται η μέση τιμή της αντίστασης εισόδου κυμαίνεται από  $10\Omega$  έως  $1K\Omega$ .

Βάσει των μετρήσεων μπορούν να εξαχθούν κάποια χαρακτηριστικά για τους ΜΣ διανομής.

- Η αντίσταση εισόδου του ΜΣ διανομής είναι μεταβαλλόμενη με την συχνότητα και εμπεριέχει διαδοχικούς παράλληλους και σειριακούς συντονισμούς.
- Οσον αφορά τις επικοινωνίες μέσω γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας ο ΜΣ διανομής είναι φορτίο, που προκαλεί ανακλάσεις ισχύος και πολύοδη διάδοση στο δίκτυο διανομής.
- Παρά το γεγονός ότι αντίσταση εισόδου του ΜΣ μπορεί να είναι κοντά στην χαρακτηριστική αντίσταση του καλωδίου ισχύος, είναι είτε χωρητική είτε επαγωγική.
- Το επίπεδο αντίστασης στην πλευρά ΥΤ δεν επηρεάζει το επίπεδο αντίστασης στην πλευρά ΧΤ.



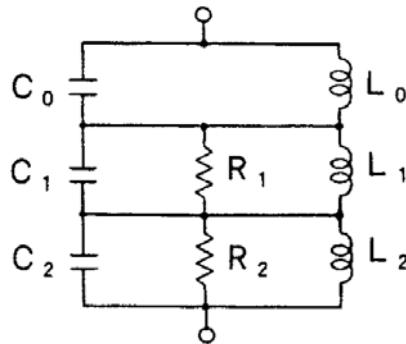
**Σχήμα 9.15** ΜΣ 50 kVA, 20 kV/400V, Τύπος σύζευξης : (L1, PE), Μέτρηση στην πλευρά της ΧΤ



**Σχήμα 9.16 ΜΣ 50 kVA, 20 kV/400V, Τύπος σύζευξης : (L1, L2), Μέτρηση στην πλευρά της XT**

### **9.7 Υψίσυχο μοντέλο Μετασχηματιστή για την ανάλυση μεταβατικών φαινομένων**

Ένα από τα μοντέλα που προσομοιώνει την συμπεριφορά ενός ΜΣ σε υψηλές συχνότητες και χρησιμεύει για την ανάλυση μεταβατικών φαινομένων παρουσιάζεται παρακάτω. Γενικότερα, με την αύξηση της συχνότητας οι αντιδράσεις σκεδάσεως του ΜΣ γίνονται σημαντικές. Η δημιουργία του ολοκληρωμένου υψίσυχνου κυκλώματος του ΜΣ (Σχήμα 9.18) βασίζεται στην σύνθεση τμημάτων τριών βαθμίδων της μορφής που απεικονίζεται στο Σχήμα 9.17 [20]. Σε αυτό το υψίσυχο μοντέλο τα μεγέθη  $L_0, C_0$  σχετίζονται με τα χαμηλής συχνότητας χαρακτηριστικά του ΜΣ ενώ τα  $R_1, L_1, C_1, R_2, L_2, C_2$  σχετίζονται με τα υψίσυχα χαρακτηριστικά του ΜΣ ενώ ισχύει ότι  $L_2 = L_1/2$  and  $C_2 = C_1/2$ . Ο ολοκληρωμένος ΜΣ που προκύπτει από σύνθεση πολλών μονάδων της παραπάνω μορφής και φαίνεται στο Σχήμα 9.18. Στο Σχήμα 9.19 απεικονίζονται η συμπεριφορά της αντίστασης του ΜΣ από την πλευρά της YT.



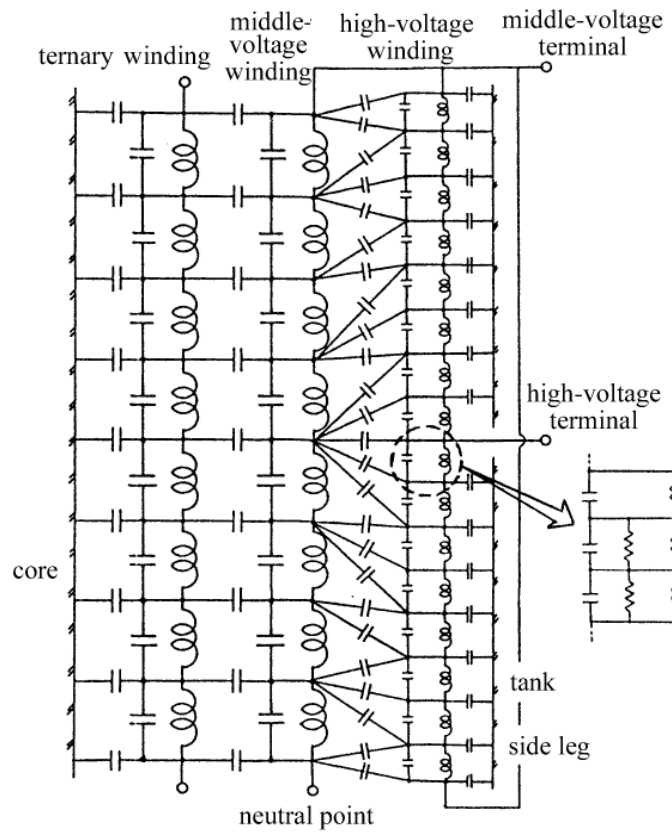
Σχήμα 9.17 Υψίσυχο μοντέλο τριών βαθμίδων

Η αντίσταση εισόδου του κυκλώματος του Σχήματος 9.17 είναι

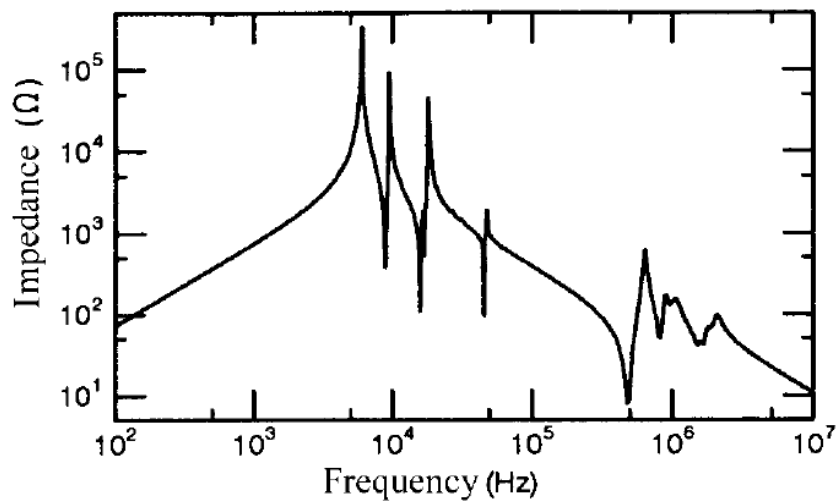
$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{\frac{1}{j\omega C_0} j\omega L_0}{\frac{1}{j\omega C_0} + j\omega L_0} + \frac{\frac{\frac{1}{j\omega C_1} j\omega L_1}{\frac{1}{j\omega C_1} + j\omega L_1} R_1}{\frac{1}{j\omega C_1} + j\omega L_1} + \frac{\frac{\frac{1}{j\omega C_2} j\omega L_2}{\frac{1}{j\omega C_2} + j\omega L_2} R_2}{\frac{1}{j\omega C_2} + j\omega L_2} = \\
 &= \frac{\frac{L_0}{C_0}}{\frac{1}{j\omega C_0} + j\omega L_0} + \frac{\frac{\frac{L_1 R_1}{C_1}}{\frac{1}{j\omega C_1} + j\omega L_1}}{\frac{1}{j\omega C_1} + j\omega L_1} + \frac{\frac{\frac{L_2 R_2}{C_2}}{\frac{1}{j\omega C_2} + j\omega L_2}}{\frac{1}{j\omega C_2} + j\omega L_2} = \\
 &= \frac{\frac{L_0}{C_0}}{\frac{1}{j\omega C_0} + j\omega L_0} + \frac{\frac{L_1 R_1}{C_1}}{\frac{1}{j\omega C_1} + j\omega L_1} + \frac{L_2 R_2}{C_2} \quad (9.5)
 \end{aligned}$$

Βάσει του διαγράμματος αυτού και της αντίστοιχης μελέτης μπορούμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις

- Η βασική συχνότητα συντονισμού  $f_0$  παρατηρείται στην συχνότητα των 6.2kHz.
- Η αντίσταση κάτω της  $f_0$  είναι χωρητική.
- Υπάρχουν τέσσερις συχνότητες συντονισμού μετά την  $f_0$  μεταξύ 5kHz και 50kHz. Πάνω από αυτές η αντίσταση είναι χωρητική. Μετά την συχνότητα των  $f=300$ kHz υπάρχουν τρεις άλλες συχνότητες συντονισμού στο διάστημα από 0.6 έως 4MHz.



Σχήμα 9.18 Ολοκληρωμένο υψίσυχο μοντέλο ΜΣ



Σχήμα 9.19 Αντίσταση εισόδου ΜΣ σε υψηλές συχνότητες

## Σχόλια – Παρατηρήσεις

Η βελτίωση της ενεργειακής και λειτουργικής απόδοσης του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από την ανάπτυξη νέων τύπων και επιπέδων λειτουργικότητας στο σύστημα παροχής ηλεκτρικής ισχύος. Οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι και σήμερα εστιάζουν την προσοχή τους κυρίως στα επίπεδα παραγωγής και μεταφοράς. Σημαντικοί πόροι έχουν διατεθεί για την κεντρική εποπτεία και τον έλεγχο των εγκαταστάσεων αυτών των επιπέδων. Η χρήση των συστημάτων SCADA περιορίζεται και αυτή στο δίκτυο Μεταφοράς ΥΤ ενώ πολύ λίγοι υποσταθμοί διανομής στην ΜΤ διαχειρίζονται σήμερα με συστήματα SCADA. Το τεράστιο εύρος εφαρμογών και η πολυπλοκότητα των συστημάτων διανομής παρέχει μια μερική εξήγηση για την ανεπάρκεια και δυσκολία ανάπτυξης κεντρικής εποπτείας, προστασίας και ελέγχου του δικτύου. Επομένως, τα συστήματα διανομής στερούνται ευφυΐας ώστε να ανταποκρίνονται κυρίως σε τοπικές ανάγκες. Τα διάφορα μέσα ελέγχου και προστασίας με βάση ηλεκτρομηχανικούς και ηλεκτρονικούς διακόπτες και μερικές φορές στηριζόμενα σε ψηφιακές εφαρμογές δεν αλλάζουν την κατάσταση αφού τα υλικά και οι διατάξεις είναι σαφώς βελτιωμένες αλλά τα βασικά στοιχεία παραμένουν τα ίδια. Οι διάφορες λειτουργίες είναι συχνά ανενεργές και σπανίως παρέχεται η έγκαιρη εικόνα των πραγματικών συνθηκών του συστήματος.

Η τεχνολογία BPL έχει ξεπεράσει το αρχικό μεταβατικό της στάδιο ενώ συνεχώς μειώνονται τα ζητήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και οι νομικοί ή ρυθμιστικοί περιορισμοί για την εγκατάσταση των συστημάτων BPL. Η δεύτερη γενιά της τεχνολογίας BPL (GEN2) με την αυξημένη ταχύτητα κυκλώματος που φθάνει τα 200Mbps στο φυσικό επίπεδο υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις ρυθμού μετάδοσης και καθυστέρησης σχεδόν όλων των εφαρμογών που καλύπτει η μοντέρνα τάση για τους καταναλωτές και όλων των λειτουργιών αυτοματοποίησης για τον έλεγχο των δικτύων διανομής.

Με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας BPL στο υπάρχον δίκτυο της επιχείρησης ηλεκτρισμού και την υλοποίηση ενός έξυπνου δικτύου, η ανεπάρκεια της κεντρικής εποπτείας, η δυσκολία ελέγχου του πολύπλοκου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και η

δυσκολία διαχείρισης και προστασίας του δικτύου θα μειωθούν μέχρι εξάλειψης. Ο έλεγχος και η διαχείριση του δικτύου, θα διενεργούνται αυτόματα από τα κέντρα διαχείρισης με απλό και οικονομικό τρόπο. Η πρόληψη βλαβών, βραχυκυκλωμάτων, ασυνεχειών και κυρίως blackouts καθώς και ο συστηματικός έλεγχος του δικτύου εξασφαλίζουν τη δυνατότητα στην επιχείρηση ηλεκτρισμού να παρέχει στους καταναλωτές με ασφάλεια και αξιοπιστία την αδιάλειπτη λειτουργία του δικτύου. Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι για την κάλυψη 10% των Υ/Σ Αττικής το συνολικό κόστος κάλυψης βασιζόμενο στην τεχνολογία BPL ανά έτος μειώνεται σε ποσοστό 50% σε σχέση με το κόστος κάλυψης με τον παραδοσιακό τρόπο τηλεχειρισμού πράγμα που σημαίνει τεράστια έσοδα για την επιχείρηση ηλεκτρισμού. Το Έξυπνο Δίκτυο δίνει την δυνατότητα του να περάσει η διαχείριση της ζήτησης και του συνολικού φορτίου στην πλευρά του καταναλωτή. Με την είσοδο της αγοράς του megawatt στο προσκήνιο, ο καταναλωτής, με την σωστή κατανομή του χρόνου κατανάλωσης του, μπορεί ο ίδιος να «παράγει» ενέργεια δημιουργώντας έσοδα άμεσα για τον ίδιο και έμμεσα για την επιχείρηση. Το BPL μπορεί να επίσης να βοηθήσει και στην διαχείριση απομονωμένων μονάδων παραγωγής αλλά και αρδευτικών συστημάτων αφού δεν αντιμετωπίζει προβλήματα εύρους ζώνης, LOS ασύρματης σύνδεσης αλλά και μεγάλου κόστους.

Για την περαιτέρω ανάπτυξη και την καθολική αναγνώριση της τεχνολογίας BPL κρίνεται απαραίτητη η ικανότητα υποστήριξης και παροχής εμπορικών υπηρεσιών προς τους καταναλωτές. Προς αυτήν την κατεύθυνση, προφέρονται υπηρεσίες όπως VoIP, ευρυζωνική πρόσβαση στο διαδίκτυο, διαδικτυακή TV, δυνατότητα φορητότητας και κινητικότητας των υπηρεσιών διαδικτύου, παιχνίδια διαδικτύου, η Έξυπνη Κουζίνα και το Έξυπνο Σπίτι.

Ένα ζήτημα που πρέπει να απασχολήσει την έρευνα των BPL επικοινωνιών σε μεγαλύτερο βαθμό είναι αυτό της μελέτης της συμπεριφοράς όλων των διατάξεων YT, MT αλλά και XT και όχι μόνο των αγωγών μετάδοσης, σε υψηλές συχνότητες κάτι που σε μικρό βαθμό παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 9 αυτής της εργασίας. Η αντίσταση εισόδου ενός ηλεκτρικού κινητήρα μεταβάλλεται με την αύξηση της συχνότητας ενώ σε συγκεκριμένα διαστήματα συχνότητας γίνεται τόσο υψηλή ώστε να καθίσταται απαγορευτική η μετάδοση σήματος σε αυτές τις συχνότητες. Επίσης, ο αντιστροφάς, είναι μια διάταξη που προκαλεί πολλά προβλήματα στην μετάδοση υψίσυχνων σημάτων



αφού παρουσιάζει έντονο μη γραμμικό χαρακτήρα και χρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση εισόδου.

Σήμερα, εν έτει 2007, η τεχνολογία BPL δεν εφαρμόζεται ευρέως στην Ελλάδα, αλλά μόνο για την ενδοκτιριακή δικτύωση οικιών. Το τελευταίο διάστημα, η ΔΕΗ εγκαθιστά την τεχνολογία αυτή σε τμήμα του δικτύου της στη Θεσσαλία, με στόχο τον απομακρυσμένο έλεγχο των αρδευτικών συστημάτων για την αποφυγή υψηλών καταναλώσεων.



<b>Υπηρεσίες</b>	<b>Παραδοσιακός τρόπος</b>	<b>Τεχνολογία BPL</b>
Αυτόματη Ανάγνωση Μετρητή	<i>Δεν παρέχεται</i>	<i>Παρέχεται</i>
Σύνδεση / Αποσύνδεση Υπηρεσίας	<i>Παρέχεται με κόστος (ΟΤΕ)</i>	<i>Παρέχεται</i>
Διάθεση 802.11 σε Αστυνομία / Πυροσβεστική	<i>Δεν παρέχεται</i>	<i>Παρέχεται</i>
Διαχείριση με βάση τη ζήτηση	<i>Δεν παρέχεται</i>	<i>Παρέχεται</i>
Κεντρική αποστολή στοιχείων καταναμημένης παραγωγής	<i>Δεν παρέχεται</i>	<i>Παρέχεται</i>
Εξομάλυνση μεγίστου φορτίου	<i>Παρέχεται με αυξημένο χρόνο απόκρισης</i>	<i>Άμεση αποκατάσταση</i>
Αυτοματοποίηση μεταγωγών, διακοπών	<i>Παρέχεται μέσω RTU , Ηλεκτρονόμων</i>	<i>Πλήρης Αυτοματοποίηση</i>
Έλεγχος VAR (πυκνωτές, ρυθμιστές, μετρητές τάσης)	<i>Παρέχεται τοπικά σε κάθε υποσταθμό χωρίς απομακρυσμένο έλεγχο</i>	<i>Πλήρης έλεγχος και δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου</i>
Απομόνωση αστοχίας μιας φάσης. Ταχύτατη Επαναφορά	<i>Παρέχεται μέσω κέντρον διαχείρισης σε συγκεκριμένα σημεία. Μεγάλος χρόνος αποκατάστασης.</i>	<i>Παρέχεται</i>
Αναγνώριση σημείου πτώσης του δικτύου και ειδοποίηση	<i>Δεν παρέχεται</i>	<i>Παρέχεται</i>
Παρακολούθηση διαγνωστικών σημάτων Θερμοκρασίας αγωγών, τάσης γραμμών, ασφαλειών, μετασχηματιστών γραμμής	<i>Παρέχεται τοπικά σε λίγους υποσταθμούς</i>	<i>Παρέχεται</i>
Ανάλυση θορύβου γραμμής	<i>Δεν παρέχεται</i>	<i>Παρέχεται</i>
Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και προληπτική συντήρηση υπογείων δικτύων	<i>Δεν παρέχεται</i>	<i>Παρέχεται</i>
Αναγνώριση κλοπής ενέργειας	<i>Δεν παρέχεται</i>	<i>Παρέχεται</i>
Πρόσβαση συνεργειών σε χάρτες, βάσεις δεδομένων, αποστολή στοιχείων, SOP	<i>Δεν παρέχεται</i>	<i>Παρέχεται</i>
Αναγνώριση βλάβης και τοποθεσίας	<i>Δεν παρέχεται</i>	<i>Παρέχεται</i>

**Πίνακας 10 Συγκριτικός πίνακας υπηρεσιών παραδοσιακού τρόπου τηλεχειρισμού σε σχέση με τη τεχνολογία BPL**



# Αναφορές – Βιβλιογραφία

[1] Ερευνητικό πρόγραμμα μελέτης και αξιολόγησης ευρυζωνικών συστημάτων σε γραμμές ΜΤ σε πιλοτική εγκατάσταση του Λαυρίου, Πηγή: Νικόλαος Σηφάκης, Υποψήφιος Διδάκτωρ Ε.Μ.Π., 2007.

[2] Opera, D10 - Reference guide on optimization of PLC access network and their connection to the backbone network, 2004.

[3] Opera, D4 - Theoretical Postulation of PLC channel model, 2005.

[4] Opera, D57 - Specification of interfaces between home automation and PLC and between AMR and PLC, 2004.

[5] Opera, D14 – Report on MV backbone system, 2005.

[6] Opera, D44 – Report presenting the architecture of PLC system, the electricity network topologies, the operating modes and the equipment over which PLC access system will be installed, 2007.

[7] Κατερινοπούλου Αφροδίτη, Κατσέλη Χρυσούλα, Δείκτες αξιοπιστίας λειτουργίας των υποσταθμών του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής.

[8] Συμμόρφωση με τις απαιτήσεις για ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, Ε.Μ.Π., Νοέμβριος 2006.

[9] Απόστολος Π. Παρασκευόπουλος, Υποσταθμός Μέσης Τάσης 10MVA, 20/6.6kV – 20 /0.4kV.

[10] Shinji Tsusuki, High-Speed Power-Line Communication and its Application to a Localization System.

[11] Μπουζιάνης Σ. Λεωνίδας, Ανάλυση Αξιοπιστίας και Ασφάλειας Λειτουργίας των Συστημάτων Παροχής Ηλεκτρικής Ισχύος.

[12] Σοφία Μ. Μάρακα, Αξιολόγηση των μεθόδων γείωσης του ουδετέρου στα δίκτυα διανομής μέσης τάσης – γείωση μέσω αντισταθμιστικού πηνίου.

[13] Halid Hrasnica, Abdelfatteh Haidine, Ralf Lehnert, Broadband Powerline Communications Networks, 2005.

[14] Haitao Liu, Jian Song, Bingzhen Zhao and Xiao Li, Channel study for medium-voltage power network.

[15] Atsumasa Sakai, Internet Service over Power Lines in Japan, Costs and Policy Implications, University of Tokyo, Japan, 1993.

[16] Π. Δ. Μπούρκας, Εφαρμογές κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων, Αθήνα, 1998.

[17] Roberto Benato, Application of PLC for the Control and the Protection of Future Distribution Networks.

[18] Rong Zeng, Peng Kang, Jinliang He, Bo Zhang, Shuiming Chen, and Jun Zou, Lightning Transient Performance Analysis of Substation Based on Complete Transmission Line Model of Power Network and Grounding Systems.

[19] B.Sc.E. Ali Farek Mohamad, PLC - the Access Technology for Realizing AMM and Broadband Services.

[20] Shigemitsu Okabe, Masanori Koutou, A High-Frequency Model of an Oil Immersed Transformer and its use in Lightning Surge Analysis.

[21] Χρήστος Αθ. Χριστοδούλου, Ηλεκτρικές δοκιμές σε καλώδια μέσης τάσης - Διαδικασίες επαλήθευσης και υπολογισμού αβεβαιότητας.

[22] Jero Ahola, Applicability of power-line communications to data transfer of on-line condition monitoring of electrical drives, Lappeenranta University of Technology, 2003.

[23] Matti Lehtonen, Fault management in electrical distribution systems, Final report of the CIRED Working Group WG03 Fault Management, Matti Lehtonen, 1998.

[24] Oleg Logvinov, Setting the standards: HomePlug Powerline Alliance.

[25] Markus Schneider, Patrick Favre, Marcos Rubinstein, EMC analysis of powerline systems.

[26] Anssi Seppälä, Load research and load estimation in electricity distribution, Anssi Seppälä, 1996.

[27] Πελαγία Κ. Κωνσταντάκη, Μελέτη OFDM διαμόρφωση για μετάδοση δεδομένων σε κανάλι γραμμών ενέργειας.