

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ



ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΖΕΥΞΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Νικολάου Σπυρίδων

Εξεταστική επιτροπή:

Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος
Ζερβάκης Μιχαήλ
Τσικαλάκης Αντώνιος

Καθηγητής Π.Κ.(Επιβλέπων)
Καθηγητής Π.Κ.
Διδάσκων 407 Π.Κ.

Χανιά 2014

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής, είναι να δούμε σφαιρικά τη σχέση ενέργειας – ενεργειακών εγκαταστάσεων, με τις επικοινωνίες γενικά και πιο συγκεκριμένα, με τα επικοινωνιακά συστήματα στις μέρες μας.

Ξεκινάμε από τη μελέτη των ενεργειακών αναγκών-απαιτήσεων και της ενεργειακής κατανάλωσης των τεχνολογιών επικοινωνίας, εξετάζοντας παραδείγματα τόσο από την Ελλάδα όσο και από το εξωτερικό. Συνεχίζουμε, μελετώντας τους περιορισμούς όδευσης των τηλεπικοινωνιακών αγωγών, τόσο σε εναέρια όσο και σε υπόγεια δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Στη συνέχεια εξετάζουμε πως οι Α/Γ επηρεάζουν τα συστήματα επικοινωνιών και προχωράμε στην ανάλυση του τρόπου με τον οποίο άλλες ενεργειακές εγκαταστάσεις επηρεάζουν την εύρυθμη λειτουργία των επικοινωνιακών συστημάτων. Περιγράφονται οι περιορισμοί που δημιουργούνται στις επικοινωνίες στο εξωτερικό περιβάλλον, αλλά και στο εσωτερικό κτιρίων.

Έπειτα, μελετώνται οι δυνατότητες εκμετάλλευσης των δικτύων ενέργειας για επικοινωνιακούς σκοπούς. Με στόχο να έχουμε μια ολοκληρωμένη εξέταση, περιγράφονται οι αντίστοιχες δυνατότητες για τα ηλεκτρικά δίκτυα μεταφοράς και διανομής, αλλά και για τα δίκτυα εντός των κτιρίων.

Στη συνέχεια, αφιερώνουμε ένα κεφάλαιο στις ανάγκες των ενεργειακών εγκαταστάσεων σε επικοινωνίες. Μελετούμε τα συστήματα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται σήμερα σε τέτοιες εγκαταστάσεις, ενώ περιγράφονται και μελλοντικές εφαρμογές. Τέλος διερευνώνται οι επιμέρους ανάγκες των ενεργειακών συστημάτων –εντός και εκτός κτιρίων- σε επικοινωνίες.

Abstract

The main target of this thesis, is to examine the links between electricity and communications especially modern telecommunication systems.

The estimation of the energy needs of several telecommunication technologies is described based on several examples in Greece and abroad. Then how energy systems could affect telecommunication systems is studied. Emphasis is given to Transmission Networks and Wind Turbines. There are some references on internal electrical installations.

Later on, the possibilities and the restrictions of using parts of the power systems equipment for communication purposes are presented. The possibilities of using Transmission, Distribution or even our home electrical installation for communication needs are investigated.

Finally, a chapter on the communication requirements of the power grids is provided. We study communications systems already used in power systems utilities, referring also to the future potential needs in view of transforming the grid into a smart grid.

Περιεχόμενα

1.1	Σκοπός και δομή της εργασίας	8
2.1	Δίκτυα τηλεπικοινωνιών.....	11
2.1.1	Δίκτυα πρόσβασης	12
2.1.2	Δίκτυα κορμού	13
2.2	Κατανάλωση ενέργειας ανά δίκτυο	14
2.2.1	Ενσύρματα δίκτυα	14
2.2.2	Ασύρματα δίκτυα	16
2.2.3	Εγκαταστάσεις εξοπλισμού συνδρομητή	17
2.2.4	Δίκτυα κορμού	18
2.3	Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας.....	19
2.4	PSTN	21
2.4.1	Μελέτη κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος σε δίκτυο PSTN μεγάλων διαστάσεων.....	21
2.4.2	Μελέτη κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος σε δίκτυο PSTN μικρών διαστάσεων	23
2.5	Data centers	31
2.6	Ικανοποίηση αναγκών επικοινωνιακών εγκαταστάσεων μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).....	36
2.6.1	ΑΠΕ Οργανισμού Τηλεπικοινωνιών Ελλάδος (OTE)	36
2.6.2	ΑΠΕ Κινητής τηλεφωνίας (Vodafone)	39
2.6.3	Γερμανός κουβούκλιο (Sunlight)	41
3.1	Περιορισμοί όδευσης τηλεπικοινωνιακών αγωγών σε εναέριες γραμμές μεταφοράς και διανομής	46
3.1.1	Περιορισμοί σε εναέριες γραμμές μεταφοράς	46
3.1.2	Περιορισμοί σε εναέρια δίκτυα διανομής	57
3.2	Περιορισμοί όδευσης τηλεπικοινωνιακών αγωγών σε υπόγειες γραμμές μεταφοράς και διανομής	58
3.2.1	Αποστάσεις αγωγών τηλεπικοινωνιών από γραμμές και ισχυρά ρεύματα	59
3.3	Προβλήματα που δημιουργούν οι Α/Γ σε επικοινωνιακές ζεύξεις	60
3.3.1	Ενεργητικοί μηχανισμοί παρεμβολής από ανεμογεννήτριες	60
3.4	Προβλήματα που δημιουργούνται στη μετάδοση πληροφορίας λόγω εγκαταστάσεων ισχυρών ρευμάτων στα κτίρια - Η/Μ παρεμβολές σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα από συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας	65
3.4.1	Απόσταση αναφοράς για την Η/Μ παρεμβολή / Reference influence distance (RID)	65
3.4.2	Αναφορά ITU-T K.68 (04/2008).....	66
3.4.3	Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις μέσα στο κτίριο	66
4.1	Γενικά – PLC/PLT	68
4.1.1	Γενικά προβλήματα χρήσης ηλεκτρικού δικτύου σε επικοινωνιακές εφαρμογές	69
4.2	Power Line Telecommunications (Last mile)	70
4.2.1	Γραμμές μέσης τάσης.....	70
4.2.2	Γραμμές χαμηλής τάσης.....	79
4.3	Power Line Communications (Last Inch).....	80
4.3.1	Προβλήματα που δημιουργούνται στη μετάδοση πληροφορίας λόγω εγκαταστάσεων ισχυρών ρευμάτων στα κτίρια	80

4.3.2	Home Plug.....	86
5.1	Τρόποι επικοινωνίας.....	90
5.1.1	Ασύρματες Τεχνολογίες (Wireless Technologies).....	91
5.1.2	Ενσύρματες Τεχνολογίες (Wireline/Wired Technologies)	97
5.2	Απαιτήσεις επικοινωνιών για επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας (Ηλεκτρικές εταιρείες - Utilities).....	98
5.2.1	Δίκτυα Υψηλής Τάσης	98
5.2.2	Δίκτυα Διανομής	101
5.2.3	Ανάγκες μεταφοράς δεδομένων στην εμπορία - χρέωση.....	104
5.2.4	Σταθμοί παραγωγής και Μονάδες ΑΠΕ και Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας.....	104
5.2.5	Ανάγκες για τη λειτουργία γραφείων	106
5.2.6	Ανάγκες για οικονομικές συνδιαλλαγές.....	106
5.2.7	Ανάγκες για εξυπηρέτηση πελατών βλάβες.....	106
5.2.8	για Διαχείριση Ζήτησης (Demand Side Management-DSM)	106
5.3	Απαιτήσεις επικοινωνιών για ενεργειακές εγκαταστάσεις εντός κτιρίων.....	107
5.3.1	Ενεργειακή Διαχείριση Σπιτιού (Home Energy Management - HEM)	107
5.3.2	Αναγνωρισμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας.....	108
5.4	Smart Grids.....	122
5.4.1	PLC στο Έξυπνο Δίκτυο	126
5.5	PLC και έξυπνο δίκτυο	127
5.5.1	Γενικά	127
5.5.2	Η κατάσταση της PLC προτυποποίησης.....	131
6.1	Ανακεφαλαίωση	134

Κεφάλαιο I

Εισαγωγή

Το παγκόσμιο ενδιαφέρον για την κλιματική αλλαγή, τους λόγους και τις επιπτώσεις της, έχει οδηγήσει την κοινωνία γενικότερα και την τεχνολογία ειδικότερα, σε λύσεις φιλικές προς το περιβάλλον. Έχει παρατηρηθεί μια στροφή προς τις πράσινες τεχνολογίες, τεχνολογίες δηλαδή που αξιολογούνται με βάση το αποτύπωμά τους σε άνθρακα [1]. Όσον αφορά στις Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών – ΤΠΕ (Information and Communication Technologies-ICT) είναι υπεύθυνες για το 2-4% περίπου των εκπομπών άνθρακα παγκοσμίως. Το 40-60% των εκπομπών άνθρακα των ΤΠΕ οφείλεται στην ενεργειακή κατανάλωση της χρήσης του εξοπλισμού τους. Οι εκπομπές αυτές αναμένεται να διπλασιαστούν μέσα στην επόμενη δεκαετία αν δεν ληφθούν πρωτοβουλίες για τη μείωση του αποτυπώματος. Ένα σημαντικό μέρος αυτών των εκπομπών, περίπου το ένα έκτο, αποδίδεται στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών [2].

Επίσης, οι ΤΠΕ θεωρούνται ως μια λύση με τη δυνατότητα να εξαλείψει το 15% του παγκόσμιου αποτυπώματος άνθρακα [3]. Εάν ο τομέας επιθυμεί να πραγματοποιήσει τις φιλοδοξίες του, θα πρέπει αρχικά να αποδείξει ότι είναι σε θέση να μειώσει το δικό του αποτύπωμα. Τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών αποτελούν ένα σημαντικό μέρος των ΤΠΕ και υφίστανται μια τεράστια ανάπτυξη. Θέματα χωρητικότητας και παροχής σύνθετων υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο είναι μερικές από τις κύριες ανησυχίες που αποφέρουν μοτίβα υψηλής κατανάλωσης ενέργειας. Στην ολοένα και πιο ανταγωνιστική αγορά κινητής τηλεφωνίας, οι φορείς εκμετάλλευσης των δικτύων, στρέφονται προς τις αναδυόμενες αγορές για το επόμενο βήμα ανάπτυξής τους, το οποίο αναμένεται να αυξήσει τον αριθμό των συνδρομητών και του απαιτούμενου εξοπλισμού ενός σταθμού βάσης. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για την εγκατάσταση του εξοπλισμού σε χώρους, όπου υπάρχει δυνατότητα εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών. Επιπλέον, η αύξηση της τιμής των καυσίμων και της ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνει το κόστος των λειτουργικών εξόδων του συστήματος. Τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών και η ευρυζωνική πρόσβαση αποδείχθηκε ότι καταναλώνουν ένα τεράστιο ποσό ενέργειας για την μετάδοση ψηφιακών δεδομένων. Σε γενικές γραμμές, ο τομέας των τηλεπικοινωνιών αντιπροσωπεύει περίπου το 4% της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας [4].

Η ταχέως αυξανόμενη ποικιλία των υπηρεσιών που προσφέρονται από το διαδίκτυο, καθώς και ο αυξανόμενος αριθμός των νέων τερματικών που συνδέονται στο διαδίκτυο, τα οποία για να εξυπηρετηθούν χρειάζονται ευρυζωνικές συνδέσεις, προκαλούν μια αύξηση στη ζήτηση για πρόσβαση στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Αυτό με τη σειρά του οδηγεί σε αύξηση του συνολικού όγκου της κίνησης στο διαδίκτυο περίπου 50 % έως 60% ανά χρόνο, απαιτώντας από τους φορείς εκμετάλλευσης των δικτύων την επέκταση της χωρητικότητάς του. Επεκτάσεις του δικτύου όμως, οδηγούν σε αύξηση του αριθμού των ενεργών στοιχείων του δικτύου. Στο πλαίσιο της δημόσιας συζήτησης σχετικά με την αλλαγή του κλίματος προκύπτει το ερώτημα, πώς θα εξελιχθεί η κατανάλωση της ενέργειας του δικτύου; Αυτό το ερώτημα είναι ζωτικού οικονομικού ενδιαφέροντος για τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων,

δεδομένου ότι οι σχετικές με την ενέργεια δαπάνες συμβάλλουν σημαντικά στις λειτουργικές δαπάνες τους. Τα τυπικά δίκτυα πρόσβασης αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό από ενεργά στοιχεία, τα οποία καταναλώνουν σήμερα μακράν το υψηλότερο μερίδιο της συνολικής ενέργειας που απαιτείται από ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο. Ωστόσο, σύμφωνα με θεωρητικές μελέτες, στο μέλλον, το μερίδιο της κατανάλωσης ενέργειας στο δίκτυο κορμού αναμένεται να αυξηθεί [5].

Τα αποτελέσματα πολυάριθμων μελετών, αποδεικνύουν πως τα οικονομικά οφέλη της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας που μπορούν να εξασφαλιστούν με σωστή χρήση του τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού, είναι μεγαλύτερα από οποιοδήποτε άλλο μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας. Για ένα μεταγωγέα (switch) ή ένα αστικό κέντρο/κεντρικό σταθμό (central office (CO)), εξοικονόμηση στη χρήση ενέργειας από τον τηλεφωνικό εξοπλισμό της τάξης του 25 ή 50% αντιστοιχεί σε ετήσια μείωση του κόστους κεφαλαίου της τάξης των 10.000 και 20.000\$ αντίστοιχα. Αυτά τα άμεσα κέρδη, μπορούν να αυξηθούν λόγω της μείωσης του κόστους κεφαλαίου που προέρχεται από την εξοικονόμηση πόρων. Αυτή η εξοικονόμηση πόρων προέρχεται με τη σειρά της από την αυξημένη αξιοπιστία του νέου βελτιωμένου ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Σύμφωνα με την ίδια μελέτη, μία μείωση στην κατανάλωση ενέργειας του εν λόγω εξοπλισμού, έχει δυνητικά μεγαλύτερο οικονομικό αντίκτυπο από όσο οποιαδήποτε άλλο μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας [6].

1.1 Σκοπός και δομή της εργασίας

Στην εργασία αυτή έχουμε αναλύσει τη σχέση ενέργειας και ενεργειακών εγκαταστάσεων, με τα σύγχρονα επικοινωνιακά συστήματα σε τέσσερα βήματα. Αρχικά μελετάμε τις απαιτήσεις των τηλεπικοινωνιών σε ενέργεια, προσεγγίζοντας το θέμα διεξοδικά. Ξεκινούμε με μία παρουσίαση των δικτύων τηλεπικοινωνιών, τόσο των δικτύων κορμού, όσο και των δικτύων πρόσβασης. Προχωρούμε με την περιγραφή των δύο τύπων δικτύων πρόσβασης, δηλαδή των ενσύρματων και ασύρματων και εξετάζουμε την κατανάλωση ενέργειας στα προαναφερόμενα δίκτυα. Έπειτα, παρουσιάζουμε την έρευνα για τις ενεργειακές απαιτήσεις των σταθμών βάσης της κινητής τηλεφωνίας και στην συνέχεια προχωρούμε στην ανάλυση των ενεργειακών απαιτήσεων των public switched telephone network (PSTN), καθώς και των data centers. Στην προσπάθεια αυτή μελετώνται οι απαιτήσεις των private branch exchange (PBX) τηλεφωνικών κέντρων και γίνεται έρευνα, συγκεκριμένα για το τηλεφωνικό κέντρο του Πολυτεχνείου Κρήτης. Αργότερα, αναλύουμε την δυνατότητα ικανοποίησης των ενεργειακών αναγκών των τηλεπικοινωνιών, μέσω Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Εξετάζουμε αρχικά την περίπτωση του Οργανισμού Τηλεπικοινωνιών Ελλάδος (OTE) όσον αφορά το δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας. Στη συνέχεια μελετάμε την ενεργειακή κατανάλωση μέσω ΑΠΕ ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας (Vodafone) και στη συνέχεια ερευνούμε την δυνατότητα ικανοποίησης των αναγκών ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου μέσω αυτόνομων-υβριδικών συστημάτων παροχής ενέργειας Germanos-Sunlight.

Το δεύτερο βήμα αποτελεί μια προσπάθεια εντοπισμού και περιγραφής των περιορισμών των επικοινωνιών, αλλά και των προβλημάτων που οφείλονται σε εγκαταστάσεις ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζουμε αρχικά τους περιορισμούς όδευσης που αντιμετωπίζουν τα σήματα σε εναέριες γραμμές μεταφοράς αλλά και εναέρια δίκτυα

διανομής και μελετάμε τα προβλήματα Corona. Στη συνέχεια, μελετούμε τους περιορισμούς όδευσης των τηλ/κών αγωγών σε υπόγειες γραμμές τόσο μεταφοράς, όσο και διανομής. Αφιερώνουμε μια παράγραφο της μελέτης, στα προβλήματα που δημιουργούν οι ανεμογεννήτριες στις επικοινωνιακές ζεύξεις, αναλύοντας τους μηχανισμούς παρεμβολής και εξετάζοντας την επίδρασή τους σε συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Έπειτα, επικεντρωνόμαστε στα προβλήματα που δημιουργούνται στη μετάδοση πληροφορίας λόγω εγκαταστάσεων ισχυρών ρευμάτων στα κτίρια. Πιο συγκεκριμένα, στις H/M παρεμβολές σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα από συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Για να μελετήσουμε το φαινόμενο, παρουσιάζουμε τις αποστάσεις αναφοράς για την H/M παρεμβολή, καθώς την αναφορά ITU-T K.68, η οποία σκοπό έχει να περιορίσει τον αριθμό των εγκαταστάσεων που θα πρέπει να εξεταστούν εξαιτίας του ότι προκαλούν επαγωγικά φαινόμενα στις τηλεπικοινωνίες, π.χ. κατά την κατασκευή ενός σπιτιού. Για να ολοκληρώσουμε την ενότητα που ασχολείται με τις H/M παρεμβολές εντός κτιρίων, μελετάμε κάποιες αρχές και προδιαγραφές για τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις εντός αυτών.

Στο τρίτο βήμα, μελετούμε την εκμετάλλευση δικτύων ενέργειας για επικοινωνιακούς σκοπούς. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφουμε τις έννοιες Power-Line Communications (PLC), που αναφέρεται σε μετάδοση τηλεπικοινωνιακού σήματος εντός κτιριακών εγκαταστάσεων διαμέσου των καλωδιώσεων ηλεκτρικού ρεύματος και Power-Line Telecommunications (PLT), που αφορά την παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στο τελευταίο μίλι. Συνεχίζοντας, μελετάμε τα γενικά προβλήματα χρήσης ηλεκτρικού δικτύου σε επικοινωνιακές εφαρμογές. Έπειτα επικεντρωνόμαστε στο PLT του τελευταίου μιλίου, μελετώντας ξεχωριστά τις γραμμές μέσης και τις γραμμές χαμηλής τάσης. Προχωρώντας στεκόμαστε στο PLT της «τελευταίας ίντσας» ή με άλλα λόγια στο τί συμβαίνει εντός των κτιρίων. Στα πλαίσια αυτού, περιγράφουμε τα προβλήματα που δημιουργούνται στη μετάδοση πληροφορίας λόγω εγκαταστάσεων ισχυρών ρευμάτων στα κτίρια. Ολοκληρώνουμε την παράγραφο με περιγραφή του πρωτοκόλλου Home Plug.

Στο τέλος, αφιερώνουμε ένα κεφάλαιο στις ανάγκες των ενεργειακών εγκαταστάσεων σε επικοινωνίες. Αρχικά μελετάμε τις τεχνολογίες με τις οποίες ενεργειακές εγκαταστάσεις και έξυπνα δίκτυα χρησιμοποιούν για να επικοινωνούν, ξεκινώντας από τις ασύρματες και προχωρώντας στους ενσύρματους τρόπους ανταλλαγής πληροφοριών. Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τομείς οι οποίοι παρουσιάζουν ανάγκες σε επικοινωνίες και τις αντίστοιχες εφαρμογές που τις δευκολύνουν. Ξεκινάμε με τις απαιτήσεις των ηλεκτρικών εταιρειών (επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας) σε τηλεπικοινωνίες. Αρχικά αναφερόμαστε στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής και συνεχίζουμε αναλύοντας τις επιμέρους ανάγκες. Έπειτα μελετάμε την χρήση των επικοινωνιών σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις εντός κτιρίων και τις τεχνολογίες που εξυπηρετούν την επικοινωνία μεταξύ έξυπνων οικιακών ή μικρής έκτασης δικτύων. Στη συνέχεια παραθέτουμε μια περιγραφή των πιο σημαντικών πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Συνεχίζουμε με τα δίκτυα smart grids και τη χρήση του PLC σε αυτά. Ολοκληρώνουμε με μια ανάλυση της έννοιας του PLC που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο και την κατάσταση της PLC προτυποποίησης.

Η μελέτη μας ολοκληρώνεται με μια σύντομη ανακεφαλαίωση των ενοτήτων που παρουσιάζονται και την εξαγωγή των σημαντικότερων συμπερασμάτων.

Κεφάλαιο II

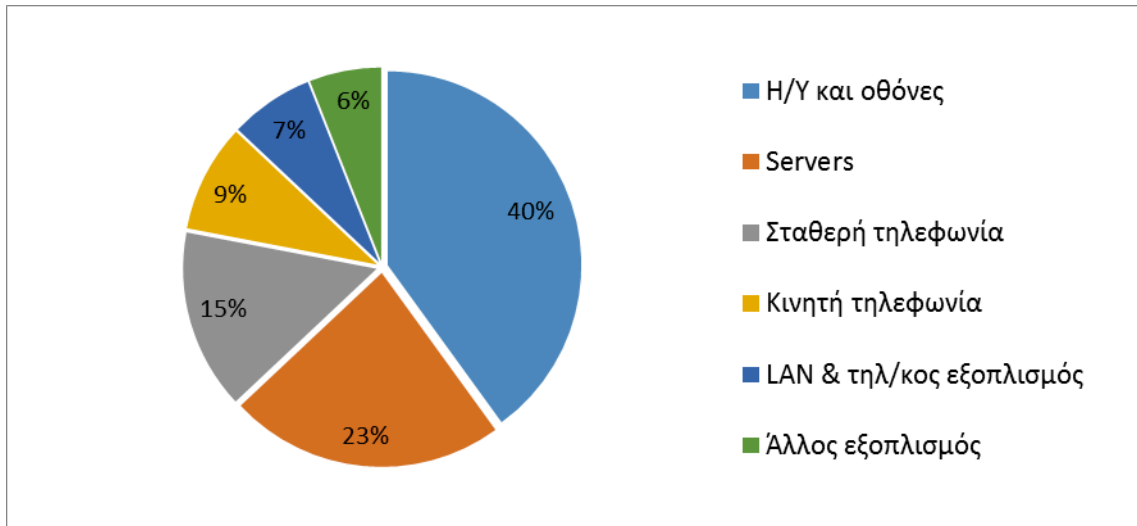
Απαιτήσεις τηλεπικοινωνιών σε ενέργεια

Η σημασία της ανάπτυξης ενεργειακά αποδοτικών δικτύων, έχει αυξηθεί πολύ λόγω της ταχέως αυξανόμενης κατανάλωσης ενέργειας στη βιομηχανία της τεχνολογίας των πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ). Σε αυτή την αύξηση της κατανάλωσης από τη βιομηχανία των ΤΠΕ, η οποία οδηγεί τόσο σε αύξηση του λειτουργικού τους κόστους όσο και σε υψηλότερες εκπομπές CO₂, οφείλεται η ανάπτυξη ενός έντονου ενδιαφέροντος για την εξοικονόμηση ενέργειας.

Η συνεχής ανοδική τάση στην κατανάλωση ενέργειας οφείλεται στις νέες υπηρεσίες που προσφέρονται, στην αύξηση του αριθμού των συσκευών που χρησιμοποιούν τα δίκτυα υπολογιστών και επικοινωνιών, αλλά και στην αύξηση του όγκου δεδομένων που κυκλοφορούν σε αυτά. Στόχος των ερευνητικών προσπαθειών, των διαχειριστών δικτύων και των κρατών στις μέρες μας, είναι η δημιουργία και χρήση δικτύων τηλεπικοινωνιών τα οποία να διευκολύνουν την εξοικονόμηση ενέργειας, καταναλώνοντας ένα μικρό ποσοστό των σημερινών απαιτούμενων Watts/Gbps και Watts/user [4].

Το Σχήμα 2.1 παρουσιάζει την κατανάλωση ενέργειας των διαφόρων κλάδων των ΤΠΕ. Έχει παρατηρηθεί, ότι σχεδόν το 50% αυτής οφείλεται στη λειτουργία των δικτύων τηλεπικοινωνιών (συμπεριλαμβανομένης της λειτουργίας των servers). Σε αυτά ανήκουν τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, WLAN, τοπικά δίκτυα και ενσύρματα δίκτυα σταθερής τηλεφωνίας.

Τα δίκτυα σταθερής τηλεφωνίας παρουσιάζουν ένα διαφορετικό μοτίβο κατανάλωσης ενέργειας από τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας [7]. Όσον αφορά τα δίκτυα σταθερής γραμμής, πάνω από το 70% της συνολικής κατανάλωσης ρεύματος πραγματοποιείται στο τμήμα του τελικού χρήστη και μόνο το 30% οφείλεται στα λειτουργικά κόστη του δικτύου από την πλευρά του παρόχου υπηρεσιών. Από την άλλη πλευρά, όσον αφορά τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, ένα τμήμα της τάξης του 10% της συνολικής κατανάλωσης ρεύματος αντιστοιχεί στην χρήση του κινητού, ενώ το 90% πραγματοποιείται από τον πάροχο [4].



Σχήμα 2.1. Ενεργειακή κατανάλωση σε τομείς ΤΠΕ [4]

Σε αυτό το κεφάλαιο, αφού παρουσιάσουμε επιγραμματικά τα δίκτυα που θα μελετηθούν, θα εστιάσουμε στα στοιχεία του εκάστοτε δικτύου που προκαλούν την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, καθώς και τις επιμέρους ενεργειακές τους απαιτήσεις. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τις προσπάθειες που έχουν γίνει για την τροφοδότηση τηλεπικοινωνιακών δικτύων μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), ενώ θα επικεντρωθούμε στις προσπάθειες του ΟΤΕ, της Vodafone και της Γερμανός (Sunlight) να καλύψουν μέρος των ενεργειακών τους δαπανών μέσω ΑΠΕ.

2.1 Δίκτυα τηλεπικοινωνιών

Τα δίκτυα των τηλεπικοινωνιών χωρίζονται σε δύο ομάδες. Πιο συγκεκριμένα, στα δίκτυα πρόσβασης (access networks) και στα δίκτυα κορμού (core ή backbone networks). Δίκτυα πρόσβασης ονομάζονται τα τοπικά δίκτυα, τα οποία συγκεντρώνουν τους χρήστες σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Για τη διασύνδεση αυτών των περιοχών και των επιμέρους τοπικών δικτύων, χρησιμοποιούνται τα δίκτυα κορμού. Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τα προαναφερθέντα δίκτυα λεπτομερειακά, ενώ γίνεται αναφορά και στα σημεία τους, στα οποία έχουμε την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

2.1.1 Δίκτυα πρόσβασης

2.1.1.1 Ενσύρματα δίκτυα (Fixed line networks).

Σε αυτά ο τελικός χρήστης συνδέεται μέσω ενός φυσικού καλωδίου. Εδώ χρησιμοποιούνται τρεις βασικοί τύποι τεχνολογίας:

Ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (Digital subscriber line-DSL) που χρησιμοποιεί το συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων χαλκού από τις παλιές τηλεφωνικές γραμμές. (PSTN). Ανάλογα με το ρυθμό της ταχύτητας των δεδομένων (bit) και το μέγιστο εύρος ζώνης συχνοτήτων υπάρχουν αρκετές τεχνολογίες ψηφιακών συνδρομητικών γραμμών. Οι πιο γνωστές από αυτές είναι οι ADSL (Asymmetric DSL) και VDSL (Very high bit rate DSL).

Τεχνολογία ομοαξονικού καλωδίου (Coax cable technology) για μεγαλύτερη ταχύτητα δεδομένων. Χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για μετάδοση τηλεοπτικού δικτύου.

Τεχνολογίες οπτικών ινών (Optical fiber technologies) χρησιμοποιούνται ήδη όπου χρειάζονται υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων [8]. Νέες τεχνολογίες βρίσκονται διαρκώς σε φάση ανάπτυξης, ενώ ήδη έχουν στηθεί δίκτυα από μεγάλους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους όπως ο ΟΤΕ, η Orange, η France telecom, η Telefonica στα οποία, ο τελικός χρήστης του δικτύου συνδέεται με το κεντρικό σταθμό είτε με μια αποκλειστική γραμμή προς τον κάθε χρήστη (Point-To-Point), είτε με ένα ενδιάμεσο ενεργό διαχωριστή (Active Star), ή με παθητικό ενδιάμεσο διαχωριστή (Passive Optical Network- PON). Σε διάφορες περιπτώσεις, ανάλογα με την προσφερόμενη ταχύτητα δεδομένων και την κυκλοφοριακή συμφόρηση (traffic), οι παραπάνω τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί σε ένα δίκτυο πρόσβασης. Παραδείγματα συνδυασμού: hybrid fiber coax-HFC, fiber to the building-FTTB, fiber to the home – FTTH. Ως μετρική κατά την αξιολόγηση κατανάλωσης ενέργειας στα δίκτυα πρόσβασης, θεωρούμε την κατανάλωση ενέργειας ανά συνδρομητή (w/subs), εφόσον η ενέργεια που καταναλώνεται από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται είναι σε μεγάλο βαθμό σταθερή στο χρόνο και ανεξάρτητη φορτίου, παρόλο που η κυκλοφορία είναι εξαιρετικά μεταβλητή [2].

2.1.1.2 Ασύρματα δίκτυα

Η σύνδεση των χρηστών παρέχεται μέσω μιας ασύρματης σύνδεσης. Οι συσκευές των χρηστών χρησιμοποιούν ραδιοκύματα για να συνδεθούν σε ένα σταθμό βάσης, ο οποίος στη συνέχεια συνδέεται με τα κεντρικά γραφεία μέσω ενός δικτύου κορμού. Διαφορετικές τεχνολογίες είναι διαθέσιμες και ποικίλουν ανάλογα με την ισχύ της μετάδοσης, τη συχνότητα μετάδοσης, το σύστημα διαμόρφωσης και την τεχνική πολυπλεξίας, παρέχοντας έτσι διαφορετικούς ρυθμούς πρόσβασης στα δεδομένα (bit) στους χρήστες. Οι τρεις κύριες αναδυόμενες ασύρματες τεχνολογίες:

Mobile worldwide interoperability for microwave access (WiMAX). Το WiMAX έχει αναπτυχθεί για ασύρματες εφαρμογές σε κινητά και επιτρέπει στους ανθρώπους να επικοινωνούν, ενώ βρίσκονται εν κινήσει.

High-speed packet access (HSPA) είναι ο διάδοχος του ευρέως καθιερωμένου παγκόσμιου συστήματος κινητών τηλεπικοινωνιών, γνωστό και ως τεχνολογία τρίτης γενιάς (3G). Προσφέρει αυξημένη απόδοση με τη χρήση βελτιωμένων συστημάτων διαμόρφωσης και την βελτίωση των πρωτοκόλλων, με τα οποία επικοινωνούν τηλέφωνα και βάσεις σταθμών επικοινωνούν.

Long term evolution (LTE) είναι η νεότερη ασύρματη ευρυζωνική τεχνολογία. Διατίθεται στην αγορά ως η τέταρτη γενιά (4G) των ράδιο-τεχνολογιών [2].

Εξοπλισμός Συνδρομητή (Customer premises equipment)

Στα *ενσύρματα δίκτυα* μπορεί να είναι μια πύλη στο σπίτι (home gateway), η οποία στη συνέχεια συνδέεται περαιτέρω με άλλες συσκευές. Η home gateway είναι και ο μεγαλύτερος καταναλωτής ενέργειας όσον αφορά τα ενσύρματα δίκτυα.

Στα *ασύρματα δίκτυα* ο εξοπλισμός αυτός έχει μεγαλύτερη ποικιλία. Μπορεί να είναι ένα κινητό τηλέφωνο, μια ασύρματη κάρτα δικτύου σε έναν υπολογιστή, ή μια πύλη στο σπίτι (home gateway). Για τις ασύρματες τεχνολογίες χρησιμοποιούμε ως εκ τούτου τον γενικότερο όρο σταθμός κινητών (mobile station), ο οποίος καταναλώνει και την περισσότερη ενέργεια.

2.1.2 Δίκτυα κορμού

Για τα δίκτυα επιχειρήσεων που εξυπηρετούν έναν οργανισμό, ο όρος backbone χρησιμοποιείται περισσότερο, ενώ για τους παρόχους υπηρεσιών συνηθίζεται να χρησιμοποιείται ο όρος core network. Ένα δίκτυο κορμού αποτελείται από έναν αριθμό κεντρικών κόμβων (core nodes) που είναι διασυνδεδεμένοι, μέσω πολυπλεγμένων κατά μήκος κύματος (WDM) οπτικών ινών, συνήθως σε ένα πλέγμα ή σε τοπολογία δακτυλίου.

Τα τρέχοντα δίκτυα κορμού είναι συνήθως ένα μείγμα από διάφορα στρώματα τεχνολογιών το ένα επάνω στο άλλο, όπως IP-over-ATM-over-SDH (Internet Πρωτόκολλο, ασύγχρονος τρόπος μεταφοράς, σύγχρονη ψηφιακή ιεραρχία). Ωστόσο, υπάρχει η τάση να στρέφονται προς πιο ομοιογενείς αρχιτεκτονικές, όπου το IP δρομολογείται άμεσα με WDM συνδέσμους.

Σε γενικές γραμμές, ένας κόμβος αποτελείται από ένα αριθμό WDM καρτών μετάδοσης και λήψης, που αναφέρονται και ως αναμεταδότες ή πομποδέκτες, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε ένα IP router. Ο IP δρομολογητής με τη σειρά του μπορεί να συνδέεται με μια σειρά δρομολογητών πρόσβασης [2].

2.2 Κατανάλωση ενέργειας ανά δίκτυο

Στην παράγραφο αυτή, παρουσιάζονται κάποιες εκτιμήσεις για την κατανάλωση ενέργειας στα διαφορετικά δίκτυα που περιγράφηκαν επιγραμματικά παραπάνω.

2.2.1 Ενσύρματα δίκτυα

Το πιο σημαντικό στοιχείο, για να έχουμε μια ενεργειακά αποδοτική σταθερή γραμμή ή ενεργειακά αποδοτικό ευρυζωνικό δίκτυο είναι η «οικολογική λειτουργία» των κέντρων δεδομένων (data centers), η αποστολή δεδομένων στον τελικό χρήστη μέσω ενός μέσου με μικρές απώλειες και η εφαρμογή συστημάτων διαχείρισης ενέργειας [4]. Τα data centers και οι servers αποτελούν σημαντικά στοιχεία των δικτύων, που παρέχουν επεξεργασία δεδομένων, αποθήκευση, αναπαραγωγή δεδομένων κλπ. Ένα ενεργειακά αποδοτικό κέντρο δεδομένων απαιτεί σωστό σχεδιασμό και διαχείριση. Η σωστή διαχείριση έγκειται στην χρήση ενεργειακά αποδοτικών server, την απόσυρση παλιών επεξεργαστών, τη μετάβαση σε πιο αποδοτικές ενεργειακά πλατφόρμες και τη χρήση δωρεάν τεχνικών ψύξης. Ο σωστός σχεδιασμός έγκειται στην χρήση τεχνικών προσομοίωσης, την εξ αποστάσεως παρακολούθηση και διαχείριση του data center, διαδικασίες αναδιαστασιολόγησης και βέλτιστου σχεδιασμού της κάτοψης, αλλά και σωστή διαρρύθμιση του εξοπλισμού, ώστε να μειωθούν οι ανάγκες ψύξης. Η σημασία της ενεργειακής απόδοσης μέσα στο κέντρο δεδομένων, μπορεί να δικαιολογηθεί αν σκεφτεί κανείς ότι η εξοικονόμηση ενός watt στο κέντρο δεδομένων, εξοικονομεί τουλάχιστον ένα watt στην ψύξη. Επιπλέον, η διαχείριση ισχύος των κέντρων δεδομένων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σημαντικό στοιχείο για την αποτελεσματική λειτουργία τους. Τέλος, η χρήση πολυπύρηνων τσιπ εντός των επεξεργαστών των data center, προκαλεί μια αξιοσημείωτη μείωση στη συνολική κατανάλωση ισχύος.

Τα δίκτυα σταθερής τηλεφωνίας αντιμετωπίζουν σημαντικές απώλειες κατά τη μεταφορά των δεδομένων από το δίκτυο στον τελικό χρήστη. Οι οπτικές ίνες θεωρούνται η καλύτερη λύση για την εξοικονόμηση ενέργειας με την ταυτόχρονη εξασφάλιση υψηλών ρυθμών δεδομένων. Συγκριτικές έρευνες στην κατανάλωση ενέργειας μεταξύ οπτικών και ηλεκτρονικών δικτύων, δείχνει μια ανωτερότητα των ινών όσον αφορά την κατανάλωση ισχύος. Έχει εκτιμηθεί πως ένα δίκτυο πρόσβασης Fiber-to-the-Home παθητικού οπτικού δικτύου, μειώνει δραστικά την απαιτούμενη ενέργεια, λόγω διαμερισμού της συνολικής ενέργειας μεταξύ των τελικών χρηστών. Επιπλέον το φως υφίσταται λιγότερες απώλειες σε σχέση με τα ηλεκτρικά σήματα και αυτό ελαχιστοποιεί της απαιτούμενες μονάδες ενίσχυσης και επεξεργασίας σήματος εντός του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, οι οπτικές ίνες προσφέρουν 1000 φορές μεγαλύτερο φάσμα σε αποστάσεις ακόμη και 100 φορές μεγαλύτερες [9].

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ενεργειακή απόδοση του δικτύου είναι η τάση των χρηστών του δικτύου να το έχουν μόνιμα ανοικτό (στην κατάσταση 'on' δηλαδή). Στα ευρυζωνικά δίκτυα πρόσβασης, έχει παρατηρηθεί ότι σε μια γραμμή ADSL, η ισχύς που καταναλώνεται από τον DSL πολυπλέκτη πρόσβασης (DSL Access Multiplexer (DSLAM)) δεν συνδέεται άμεσα με τις διακυμάνσεις κυκλοφορίας που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η κατάσταση αυτή αποδεικνύει πως το να

διατηρείται μονίμως η σύνδεση ανοιχτή, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη μεταφοράς δεδομένων, μειώνει την αποδοτικότητα ισχύος του δικτύου. Συστήνεται η χρήση ενός συστήματος διαχείρισης ισχύος για την βέλτιστη απόδοση των σταθερών ευρυζωνικών δικτύων. Συγκρίσεις μεταξύ DSL δικτύων στα οποία εφαρμόζεται διαχείριση ισχύος και άλλων στα οποία δεν εφαρμόζεται, δείχνει πως τα πρώτα καταναλώνουν περίπου 50% λιγότερη ισχύ. Το σύστημα το οποίο συστήνεται και το οποίο φαίνεται να καλύπτει καλύτερα της ανάγκες αυτής της προσέγγισης είναι ένα σύστημα τριών καταστάσεων, που μπορεί δηλαδή να βρίσκεται είτε 'on', είτε 'idle', είτε 'low power'.

Για τη μελέτη, θεωρούμε πως κάθε σύνδεση αντιστοιχεί σε ένα συνδρομητή (subscriber (subs)). Έτσι, η ισχύς ανά συνδρομητή είναι μια σταθερή ποσότητα. Στις DSL τεχνολογίες ο τελευταίος κόμβος πριν από το συνδρομητή είναι ο DSL πολυπλέκτης πρόσβασης (DSLAM). Ο ADSL εξοπλισμός καταναλώνει 1-2 W/sub, ο VDSL εξοπλισμός καταναλώνει περίπου 3-5W/sub. Η κατανάλωση ενέργειας στο VDSL εξοπλισμό είναι ελαφρώς υψηλότερη, αν και οι τάσεις δείχνουν να βελτιστοποιείται αυτή η τεχνολογία. Ο εξοπλισμός του οπτικού δικτύου καταναλώνει σήμερα 10-20 W/port. Ωστόσο, με τη χρήση της Gigabit Passive Optical Networks (GPON) τεχνολογίας, η οποία χρησιμοποιεί παθητικούς διακλαδωτές για να αντιστοιχήσει το κάθε port σε παραπάνω τελικούς χρήστες, μπορεί να διανεμηθεί ακόμη περισσότερο. Η μονάδα τερματισμού οπτικών γραμμών (Optical Line Terminal (OLT)) που βρίσκεται στο κεντρικό σταθμό, καταναλώνει 0,2 - 0,8 W/subs.

Πίνακας 2.1 Ιδιότητες διαφορετικών τεχνολογιών δικτύου πρόσβασης [2]

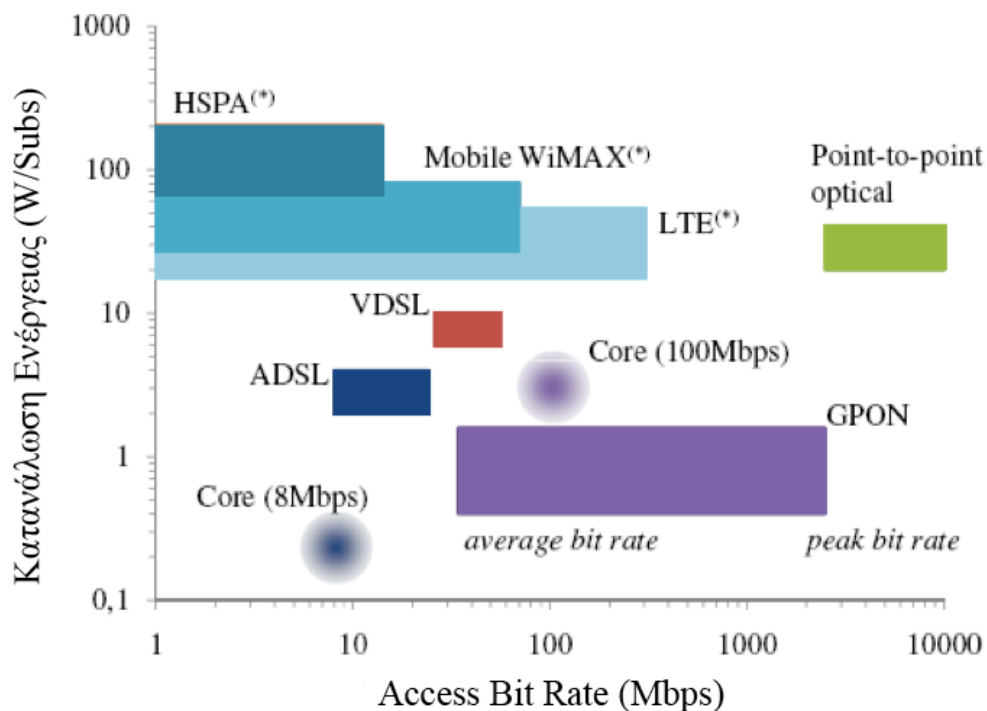
Τεχνολογία	Όρια (χλμ)	Bit rate (Mbps)	Χρήστες/κόμβο	Ελάχιστη πυκνότητα χρηστών (χρήστες/χλμ ²)	Ισχύς/χρήστη (W/χρήστη)
ADSL	5.5	8 (*)	384 - 768	4-8	2-4
ADSL2+	1.5	24 (*)		50-100	
VDSL	1.0	26 (*)	16 - 192	5-60	6-10
	0.3	55 (*)		50-700	
VDSL2+	0.3	100		50-700	
GPON (32)	20	2488/32	(4-72)*32	0.1-2	0.4-1.6
GPON (64)	10	2488/64	(4-72)*64	0.8-14	
Mobile WiMAX	0.340 (3Mbps)	1-70	272(**)	N/A	27(***)
HSPA	0.240 (3Mbps)	1-14	225(**)	N/A	68(***)
LTE	0.470 (3Mbps)	1-300	180(**)	N/A	18(***)

(*)Downstream

(**) Ταυτόχρονα Ενεργοί Χρήστες

(***) Μοντελοποιημένο για 300 χρήστες/χλμ²

Κατά την αξιολόγηση της ενεργειακής κατανάλωσης αυτών των συσκευών, πρέπει κανείς να λάβει υπόψη του, ότι οι χώροι όπου βρίσκονται, συνήθως πρέπει να βρίσκονται σε συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας, άρα στις περισσότερες περιπτώσεις, χρειάζεται να ψύχονται. Επίσης, λαμβάνονται μέτρα πρόληψης σε περίπτωση διακοπής ρεύματος. Αυτή η επιβάρυνση εκφράζεται σε αποτελεσματικότητα χρήσης ενέργειας (Power Usage Effectiveness- $PUE = \text{Total facility power} / \text{IT equipment Power}$), που δηλώνει τον συντελεστή με τον οποίο ο εξοπλισμός κατανάλωσης ενέργειας πρέπει να πολλαπλασιάζεται ώστε να γνωρίζουμε τη συνολική κατανάλωση ενέργειας. Με άλλα λόγια, το σύνολο κατανάλωσης που προκύπτει από τον εξοπλισμό και την επιβάρυνση. Η PUE είναι συνήθως ο συντελεστής 2. Αυτό σημαίνει στην πραγματικότητα ότι οι παραπάνω αριθμοί πρέπει να διπλασιαστούν για την εκτίμηση της πλήρους κατανάλωσης ενέργειας [2]. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της PUE και των ταχυτήτων των δεδομένων, συνοψίζονται για τις διάφορες τεχνολογίες στον Πίνακα 2.1 και το Σχήμα 2.2.



Βασίζεται σε 100 - 300 συνδρομητές / τετραγωνικό χιλιόμετρο

Σχ. 2.2 Κατανάλωση ισχύος σε διαφορετικές τεχνολογίες δικτύου ανά συνδρομητή [2]

2.2.2 Ασύρματα δίκτυα

Σε ασύρματα δίκτυα πρόσβασης, την υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας έχει ο σταθμός βάσης (base station). Ειδικότερα, το σύστημα ψύξης τους και οι ενισχυτές ρεύματος έχουν τις υψηλότερες απαιτήσεις σε ενέργεια [4]. Η ενέργεια ανά συνδρομητή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πυκνότητα του συνδρομητή στην περιοχή που καλύπτεται από το σταθμό βάσης. Έτσι, πρώτα υπολογίζουμε την ενέργεια/σταθμό βάσης και στη συνέχεια τη

μεταφράζουμε σε κατανάλωση ενέργειας ανά χρήστη. Ένας σταθμός βάσης, εδώ, ορίζεται ως ο εξοπλισμός που απαιτείται για την επικοινωνία με τους κινητούς σταθμούς και το δίκτυο backhaul. Για τον σταθμό βάσης υποθέτουμε εξωτερική τοποθέτηση σε προαστιακό περιβάλλον, σε ύψος 30m, που καλύπτουν τρεις τομείς, καθώς και έναν κινητό σταθμό σε ύψος 1,5m. Για να γίνει δίκαιη σύγκριση μεταξύ των υπό εξέταση τεχνολογιών, ορίζουμε ένα ποσοστό bit ανά ενεργό χρήστη περίπου 3Mb/s. Εξετάζεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας του σταθμού βάσης, που περιλαμβάνει την επιβάρυνση PUE.

Το WiMAX έχει τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας από περίπου 2,9kW/σταθμό βάσης, και ακτίνα 340 m. Το LTE έχει τη μεγαλύτερη κατανάλωση, 3,7kW/σταθμό βάσης, και τη μεγαλύτερη ακτίνα, περίπου 470μ. Το HSPA έχει την μικρότερη ακτίνα, 240τ.μ., όλων των υπό εξέταση τεχνολογιών και κατανάλωση ενέργειας 3,7kW/σταθμό βάσης, η οποία είναι συγκρίσιμη με την κατανάλωση ενέργειας του LTE. Στις αστικές και προαστιακές περιοχές είναι δίκαιο να εξεταστεί η πυκνότητα συνδρομητών, μεταξύ 100 και 300 users/km². Όταν υποθέτουμε μια πυκνότητα των 300 users/km² και συγκρίνουμε την κατανάλωση ρεύματος ανά χρήστη, βλέπουμε ότι το LTE καταναλώνει την λιγότερη ενέργεια, δηλαδή 18W/subs, ακολουθούμενη από το Mobile WiMAX με κατανάλωση 27W/subs. Η κατανάλωση ανά χρήστη είναι μικρότερη για το LTE, λόγω του μεγαλύτερου εύρους του. Το HSPA έχει τη μεγαλύτερη κατανάλωση ανά χρήστη, 68W/subs, που προκαλείται από την μικρότερη ακτίνα που αυτό καλύπτει. Αν όμως υπολογίσουμε τη μισή πυκνότητα συνδρομητών, τότε η κατανάλωση ενέργειας ανά συνδρομητή διπλασιάζεται [2]. Και για τις ασύρματες επικοινωνίες η συνολική κατανάλωση ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της PUE και των ταχυτήτων των δεδομένων, συνοψίζεται στον Πίνακα 2.1 και το Σχήμα 2.2.

2.2.3 Εγκαταστάσεις εξοπλισμού συνδρομητή

Ένα σημαντικό μέρος της κατανάλωσης ενέργειας του δικτύου, αποτελεί η κατανάλωση ενέργειας του εξοπλισμού του πελάτη. Προς το παρόν, για τεχνολογίες σταθερών γραμμών, η πύλη του σπιτιού (π.χ., ένα μόντεμ DSL) καταναλώνει 5-10W, που είναι υψηλότερη από την κατανάλωση ενέργειας στο δίκτυο πρόσβασης. Τα ασύρματα τηλέφωνα χρησιμοποιούν μεταξύ 2 και 3 watts σε χρήση και σε κατάσταση 'standby', σύμφωνα με τα εργαστήρια Lawrence Berkeley National Labs. Περίπου το 60% της κατανάλωσης ενέργειας των ασύρματων τηλεφώνων συμβαίνει ενόσω βρίσκονται σε κατάσταση 'standby'. Τα συμβατικά τηλέφωνα χρησιμοποιούν ελάχιστο ηλεκτρισμό, τον οποίο μάλιστα προμηθεύονται από την ίδια την τηλεφωνική γραμμή. Ένας wireless router καταναλώνει κατά μέσο όρο 6W. Οι πύλες σπιτιού για οπτικά δίκτυα, επίσης, τείνουν να έχουν υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας από τις αντίστοιχες του DSL. Αυτό αποτελεί ένα πρόβλημα, δεδομένου ότι μπορεί να αναιρεί το δυνητικό όφελος από τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας που προσφέρει η εγκατάσταση μιας GPON τεχνολογίας. Σε ασύρματα δίκτυα η κατανάλωση ενέργειας των κινητών σταθμών είναι πολύ χαμηλότερη εφόσον έχουν σχεδιαστεί για εφαρμογές σε κινητά, τα οποία απαιτούν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας για μεγάλο χρόνο αυτονομίας. Ένα μέσο κινητό τηλέφωνο καταναλώνει 5W για περίπου 3 ώρες την ημέρα.

Στους πίνακες που ακολουθούν αναφέρονται τα χαρακτηριστικά στοιχεία καθώς και οι αποδόσεις του εξοπλισμού τροφοδοσίας ορισμένων συσκευών με τυχαία επιλογή μοντέλου. Ο εξοπλισμός τροφοδοσίας των φορτίων λόγω της μετατροπής της τάσης (AC-DC) και των απωλειών που υπάρχουν δεν έχουν καλή απόδοση, ενώ στην περίπτωση που τα φορτία μας λειτουργούν μόνο στη συνεχή τάση χωρίς κανένα εξοπλισμό τροφοδοσίας για τη μετατροπή έχουν σαφώς καλύτερη απόδοση. Στον Πίνακα 2.2, μπορούμε να παρατηρήσουμε την απόδοση των συσκευών του εξοπλισμού τροφοδοσίας.

Πίνακας 2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού τροφοδοσίας φορτίων επικοινωνιών [4]

	Τάση εισόδου(V)	Ρεύμα εισόδου(A)	Ισχύς εισόδου (W)	Τάση εξόδου (Vdc)	Ρεύμα εξόδου(A)	Ισχύς εξόδου (W)
Φορτιστής κινητού	100-240	0.15	35	4.9	0.7	3.43
Cisco τροφοδοτικό για router	100-240	1	230	5.2/12	4.4/0.56	23/6.72
Φορτιστής ασύρματου τηλεφώνου	220-240	0.040	10	6	0.5	3
Adapter για modem router	100-240	0.5	115	22	0.818	18

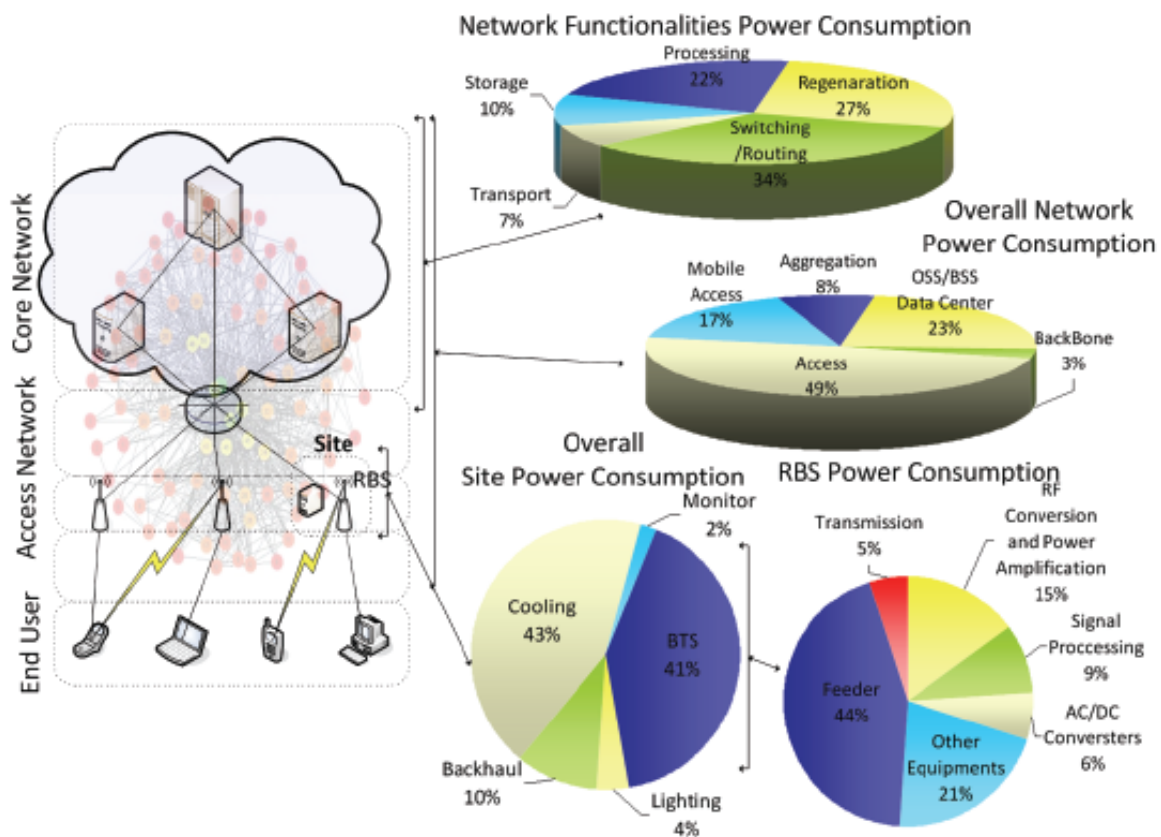
2.2.4 Δίκτυα κορμού

Το μεγαλύτερο μερίδιο, περίπου 90%, της κατανάλωσης ενέργειας των δικτύων κορμού συγκεντρώνεται στους κόμβους. Οι WDM συνδέσεις αποτελούν μόνο το 10% ή και λιγότερο της κατανάλωσης ενέργειας. Ο σκοπός των δικτύων αυτών είναι η μεταφορά των ροών κυκλοφορίας μεταξύ των διαφόρων τοποθεσιών. Έτσι, η κατανάλωση ενέργειας σε δίκτυο κορμού εκφράζεται συνήθως σε watt/bit. Οι high-end routers (με μεγάλο αριθμό ports) είναι ενεργειακά πιο αποδοτικοί από τους low-end routers (με μικρό αριθμό ports): ενώ καταναλώνουν περισσότερο σε απόλυτες τιμές, η ισχύς που απαιτείται για να μεταφερθεί ένα bit μειώνεται με την αύξηση της χωρητικότητας των δρομολογητών. Οι τρέχοντες δρομολογητές καταναλώνουν μεταξύ 0,1 και 0,01W/Mb/s. Κατά μέσο όρο, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός, ότι κοντά στην άκρη του δικτύου κορμού υπάρχουν πιο πολλοί low-end routers, οι core routers καταναλώνουν περίπου το 0,05 W/Mb/s. Αυτές οι τιμές περιλαμβάνουν ήδη επιβάρυνση PUE. Άλλη προτεινόμενη μέθοδος υπολογισμού είναι η κατανάλωση ενέργειας ανά συνδρομητή στο διαδίκτυο. Με βάση αυτή τη μέθοδο, εκτιμούμε ότι με ADSL ρυθμούς μετάδοσης bit (=8Mb/s) το δίκτυο κορμού καταναλώνει περίπου 0,24W/subs. Αν αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης bit σε 100Mb/s, η κατανάλωση θα αυξηθεί σε περίπου 3W/subs. Οι τιμές αυτές αναφέρονται διαγραμματικά στο Σχήμα 2. Προς το παρόν, η κατανάλωση ενέργειας σε δίκτυα κορμού είναι σημαντικά χαμηλότερη από ότι σε δίκτυα πρόσβασης. Με την αύξηση της ταχύτητας bit λόγω υιοθέτησης των PON τεχνολογιών, η

απόλυτη κατανάλωση ενέργειας των δικτύων κορμού θα αυξηθεί. Ωστόσο, υπολογίζοντας την κατανάλωση ενέργειας σε Watts/bit, οι τεχνολογίες των δρομολογητών αναμένεται να γίνουν πιο αποδοτικές [4].

2.3 Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας

Η μελέτη που παρουσιάζεται παρακάτω, έχει εστιάσει στον υπολογισμό της κατανάλωσης ισχύος των σταθμών βάσεων δύο συγκεκριμένων τεχνολογιών. Οι σταθμοί βάσης είναι τα πιο απαιτητικά σε ενέργεια στοιχεία των κυψελοειδών δικτύων. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται το διάγραμμα ενός τυπικού σταθμού βάσης που συνοδεύεται από τα τυπικά μοντέλα κατανάλωσης ισχύος των δικτύων WiMax και UMTS αντίστοιχα [10]. Η κατανάλωση ισχύος σε ένα σταθμό βάσης παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με αυτή των data centers. Η διαθέσιμη ενέργεια, προερχόμενη από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, από την μπαταρία ασφαλείας ή από τη μονάδα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), εισάγεται στο σταθμό βάσης και χωρίζεται σε ένα μονοπάτι σε σειρά και μια σε παράλληλη διαδρομή (μονοπάτι σε παραλληλία). Η λειτουργία του εξοπλισμού IT υποστηρίζεται από κάποιες συσκευές που δεν θεωρούνται τόσο σημαντικές από την άποψη της κατανάλωσης ενέργειας. Ο IT εξοπλισμός χωρίζεται σε μονάδες radio και μονάδες baseband. Το μοτίβο κατανάλωσης ενέργειας του σταθμού βάσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.3.



Σχ. 2.3 Κατανάλωση ισχύος στα διάφορα layers του δικτύου [4]

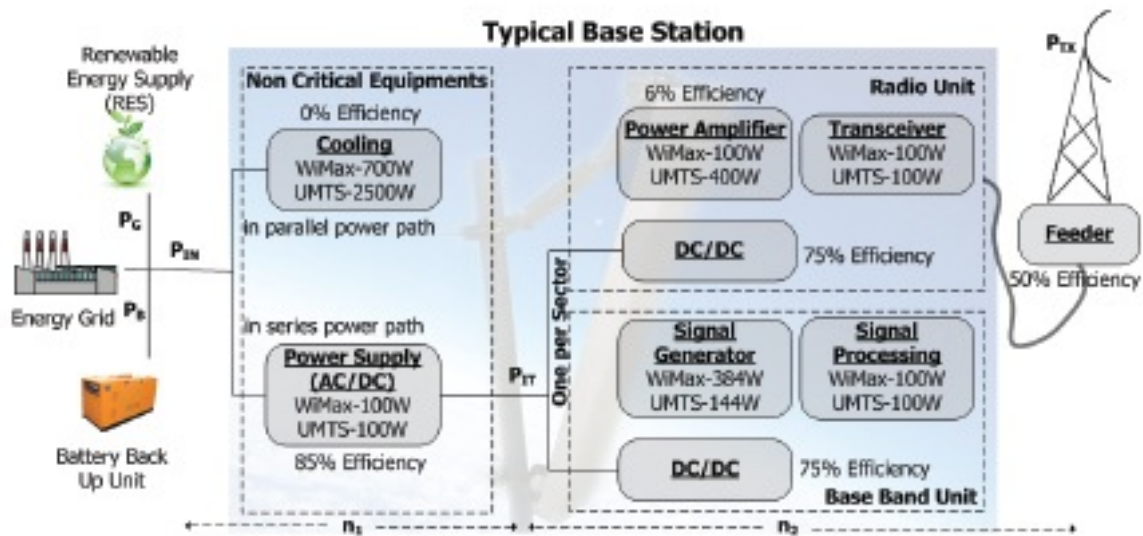
Οι πιο ενεργοβόρες συσκευές των σταθμών βάσης είναι η υποδομή ψύξης, οι ενισχυτές ισχύος, τα τροφοδοτικά των RF και οι μονάδες μετατροπής AC/DC και DC/DC. Ανάλογα με τον αριθμό των τομέων, n_{SC} , των κεραιών, n_{TX} , των σταθμών βάσης, η συνολική κατανάλωση ισχύος υπολογίζεται ως εξής:

$$P_{IN} = n_{SC}[n_{TX}P_{AMP} + P_{TRANS} + P_{PROC} + P_{DC/DC} + P_{GEN}] + P_{COOL} \quad (2.1)$$

Στον παραπάνω τύπο ένας επιπλέον παράγοντας συμβολίζει την κατανάλωση ενέργειας που προέρχεται από τις γραμμές RF του σταθμού βάσης. Για microcell και macrocell σταθμούς βάσης, η σχέση μεταξύ της ισχύος που φτάνει στην κεραία σε σχέση με την καταναλισκόμενη ισχύ του σταθμού βάσης μπορεί να περιγραφεί από εμπειρικούς τύπους [13]. Για τους σταθμούς βάσης macrocell η κατανάλωση ισχύος είναι σχεδόν ανεξάρτητη του φορτίου εισόδου (traffic) ενώ για σταθμούς microcell, η κατανάλωση ενέργειας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το φορτίο εισόδου. Η σχέση είναι:

$$\begin{aligned} P_{MACRO} &= a_M P_{TX} + b_M \\ P_{MACRO} &= L (a_N P_{TX} + b_N) \end{aligned} \quad (2.2)$$

Στον παραπάνω τύπο και για τυπικούς σταθμούς LTE, $a_M = 21$, $a_N = 7.84$ και αντιπροσωπεύουν την κατανάλωση ενέργειας που προκαλούν οι ενισχυτές ισχύος, τα τροφοδοτικά και το σύστημα ψύξης. Επίσης $b_M = 344$ Watts, $b_N = 71,5$ Watts και αντιπροσωπεύουν την κατανάλωση ενέργειας λόγω της επεξεργασίας σήματος, της μπαταρίας ασφαλείας, την υποδομή ψύξης και γενικά μεθόδους ανεξάρτητες από την ακτινοβολούμενη ισχύ του σταθμού. Η παράμετρος L εκπροσωπεί το μέσο φορτίο του σταθμού και ικανοποιεί την συνθήκη $0 < L < 1$. Η εξίσωση 2, αντιπροσωπεύει τη μέση κατανάλωση ισχύος και εξαρτάται τόσο από τον αριθμό των τομέων ανά περιοχή όσο και από τον αριθμό των microcell σταθμών ανά περιοχή. Οι συντελεστές αποτελεσματικότητας η_1 και η_2 σχετίζουν την P_{IT} με την P_{IN} και την P_{TX} με την P_{IT} αντιστοίχως (Σχ. 2.4).



Σχ. 2.4 Δομή ενός τυπικού σταθμού βάσης [4]

2.4 PSTN

Το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής (αγγλ. public switched telephone network (PSTN)) είναι το παγκόσμιο τηλεφωνικό δίκτυο. Αποτελείται από τηλεφωνικές γραμμές, οπτικές ίνες, συνδέσμους μέσω μικροκυμάτων, κυψελωτά δίκτυα, τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους, και υποθαλάσσια καλώδια, όλα διασυνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω κέντρων switching, τα οποία επιτρέπουν σε οποιοδήποτε τηλέφωνο στον κόσμο να επικοινωνήσει με οποιοδήποτε άλλο. Αν και αρχικά ήταν ένα πλήρως αναλογικό ενσύρματο δίκτυο, τα τελευταία χρόνια έχει μετατραπεί σχεδόν στο σύνολό του σε ψηφιακό, ενώ έχουν εισαχθεί και ασύρματα τμήματα.

Το PSTN περιγράφεται από τεχνικά πρότυπα που δημιουργεί κυρίως ο διεθνής οργανισμός ITU-T, τα οποία επιτρέπουν την απρόσκοπτη διασύνδεση μεταξύ τηλεφωνικών δικτύων διεθνώς. Για τη διευθυνσιοδότηση (τα κοινά τηλεφωνικά νούμερα) χρησιμοποιούνται τα πρότυπα E.163/E.164. Ο συνδυασμός των διασυνδεδεμένων δικτύων και του μοναδικού σχήματος αριθμοδοσίας κάνουν δυνατή την επικοινωνία μεταξύ δύο τηλεφωνικών συσκευών.

Με τον ερχομό του 21ου αιώνα, τα παλαιότερα τμήματα του τηλεφωνικού δικτύου εξακολουθούν να χρησιμοποιούν την αναλογική τεχνολογία για το last mile loop έως τον τελικό χρήστη. Οι ψηφιακές υπηρεσίες έχουν όλο και περισσότερο εξαπλωθεί στους τελικούς χρήστες που χρησιμοποιούν υπηρεσίες όπως το DSL, ISDN, FTTx, και τα συστήματα καλωδιακού modem.

Αρκετά μεγάλα ιδιωτικά τηλεφωνικά δίκτυα δεν συνδέονται με το PSTN. Υπάρχουν επίσης ιδιωτικά δίκτυα μεγάλων εταιρειών οι οποίες συνδέονται με το PSTN μόνο μέσω περιορισμένων πυλών, σαν ένα μεγάλο private branch exchange (PBX) [11].

2.4.1 Μελέτη κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος σε δίκτυο PSTN μεγάλων διαστάσεων

Τα δεδομένα που παρατίθενται παρακάτω, είναι βασισμένα σε έρευνα που έγινε από το πανεπιστήμιο Carnegie Mellon για την κατανάλωση ενέργειας στο δίκτυο τηλεπικοινωνιών των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (Η.Π.Α.). Αποτελεί μια μελέτη μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας του δικτύου ‘ομιλίας’ PSTN. Το δίκτυο PSTN αποτελείται από το δίκτυο κορμού, το σύστημα μεταγωγής του Αστικού Κέντρου ή Κεντρικής Υπηρεσίας (Central Office-CO), τα τηλεφωνικά κέντρα (PBXs) και τα περιφερειακά του τελικού χρήστη. Οι υποδομές του δικτύου κορμού αποτελούνται από μεγάλου μήκους διασυνδέσεις μέσω καλωδίων οπτικών ινών μεταξύ μεγάλων πόλεων. Το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, στον κυρίως κορμό των γραμμών οπτικών ινών μεταξύ hubs οφείλεται στα τερματικά τα οποία στέλνουν, λαμβάνουν και πολυπλέκουν δεδομένα. Το Αστικό Κέντρο (CO) είναι το κομβικό σημείο του τοπικού δικτύου. Παρέχει υπηρεσίες τοπικά σε μία περιοχή και συνδέεται με άλλες περιοχές μέσω του δικτύου κορμού. Το σύστημα μεταγωγής του αστικού κέντρου αποτελείται από πομπούς, πομποδέκτες, καθώς και μεταγωγείς. Το αστικό κέντρο περιέχει επίσης υποστηρικτικό εξοπλισμό όπως συστήματα ισχύος (μπαταρίες και τροφοδοτικά αδιάλειπτης παροχής

ενέργειας Uninterruptible power supply-UPS) γεννήτριες και συστήματα κλιματισμού για τον έλεγχο της θερμοκρασίας. Τα τηλεφωνικά κέντρα είναι εσωτερικά δίκτυα τηλεφωνίας που βρίσκονται σε επιχειρήσεις και οργανισμούς [12]. Αποτελούνται κυρίως από εξοπλισμό μεταγωγής και τροφοδοτικά. Στην μελέτη που παρουσιάζεται στο [13] και στο ενσύρματο σύστημα που εξετάζεται ο εξοπλισμός του τελικού χρήστη περιλαμβάνει τηλέφωνα, ασύρματα τηλέφωνα, συσκευές φαξ και αυτόματους τηλεφωνητές. Στην εργασία αυτή [12], έχουν χρησιμοποιηθεί τα αποτελέσματα της έκθεσης για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του σταθερού δικτύου τηλεπικοινωνιών στην Στοκχόλμη και το Σακραμέντο των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής [13]. Η έκθεση της Στοκχόλμης και του Σακραμέντο λαμβάνει υπόψη όλες τις υποδομές και τον εξοπλισμό του δικτύου ενσύρματων τηλεπικοινωνιακών δικτύων για δύο μεγάλες πόλεις . Επίσης, λαμβάνει υπόψη τον εξοπλισμό των τελικών χρηστών τόσο του εμπορικού/βιομηχανικού όσο και του οικιακού τομέα, όπως για παράδειγμα, φαξ και τηλεφωνητές.

Η προαναφερόμενη έκθεση [13], χρησιμοποιεί την μέθοδο ανάλυσης του κύκλου ζωής για να μελετήσει τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συστημάτων τηλεπικοινωνιών και πραγματοποιήθηκε το 1998 . Οι δύο περιοχές, δηλαδή η Στοκχόλμη και το Σακραμέντο, επιλέχθηκαν γιατί και έχουν συγκρίσιμο μέγεθος. Η Στοκχόλμη έχει πληθυσμό περίπου 1,6 εκατομμύρια, ενώ το Σακραμέντο έχει 1,1 εκατομμύρια κατοίκους. Επιπλέον, δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στη φυσική περιγραφή των ενσύρματων δικτύων και στις δύο περιοχές. Ένα μέρος της ανάλυσης του κύκλου ζωής των PSTN, αποτελεί μια απογραφή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας των τηλεπικοινωνιακών δικτύων των δύο πόλεων. Στο πλαίσιο της ανάλυσης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, σε αυτή εδώ την εργασία εξετάζουμε όλες τις συσκευές του ενσύρματου δικτύου, τα εξαρτήματα, τις περιφερειακές μονάδες όσον αφορά την άμεση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών.

2.4.1.1 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του ενσύρματου συστήματος PSTN

Αναλύοντας το ενσύρματο σύστημα, η έκθεση της Στοκχόλμης και του Σακραμέντο διαχωρίζει το PSTN σε δύο μέρη: τα σταθερά/μόνιμα συστήματα και τον τελικό χρήστη. Στα μόνιμα συστήματα, περιλαμβάνεται η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που σχετίζεται με τα αστικά κέντρα/κεντρικούς σταθμούς. Η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στους κεντρικούς σταθμούς περιλαμβάνει την κατανάλωση σε όλο τον εξοπλισμό δικτύου που χρησιμοποιείται για το ενσύρματο σύστημα, καθώς και την ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την υποστήριξη του εξοπλισμού αυτού, όπως η θέρμανση, ο κλιματισμός και η ηλεκτροδότηση του κτιρίου. Όσον αφορά τους τελικούς χρήστες περιλαμβάνεται η ετήσια κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας των τηλεφωνικών κέντρων PBX και τα περιφερειακά του τελικού χρήστη, όπως τηλεφωνητές, συσκευές φαξ και η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται για τη χρήση του διαδικτύου. Συνολικά επομένως, έχει γίνει αναφορά στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του κεντρικού σταθμού, των τηλεφωνικών κέντρων, συσκευών φαξ και τηλεφωνητών. Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει τη

καταγραμμένη κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος για τα ενσύρματα δίκτυα στη Στοκχόλμη και στο Σακραμέντο το 1998.

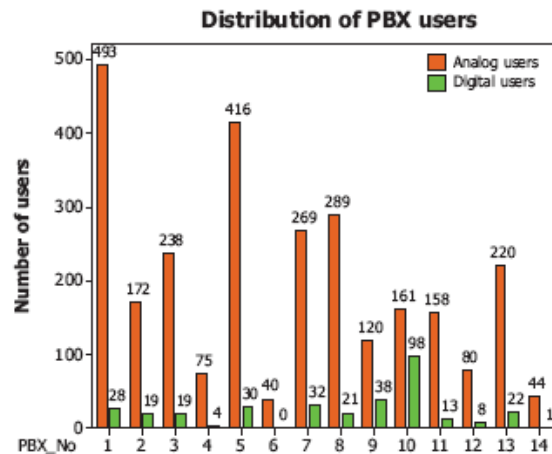
Πίνακας 2.3 Ετήσια κατανάλωση ισχύος ενσύρματου δικτύου [13]

Ενσύρματο δίκτυο	Στοκχόλμη '98	Σακραμέντο '98
Συνδέσεις (τηλεφωνικές γραμμές)	1300000	614400
Ισχύς κεντρικού σταθμού (MWh/χρόνο)	45000	15755
Τηλεφωνικό κέντρο PBX (MWh/χρόνο)	72278	28464
Αυτόματος τηλεφωνητής (MWh/χρόνο)	12308	4847
ΦΑΞ (MWh/χρόνο)	43168	17000
ΣΥΝΟΛΟ (MWh/χρόνο)	173245	66066
Ισχύς/σύνδεση (MWh/χρόνο)	0.13	0.11

Παρατηρούμε πως η ηλεκτρική ισχύς που δαπανάται ανά συνδρομητή είναι κοντά στις 0.12MWh/year.

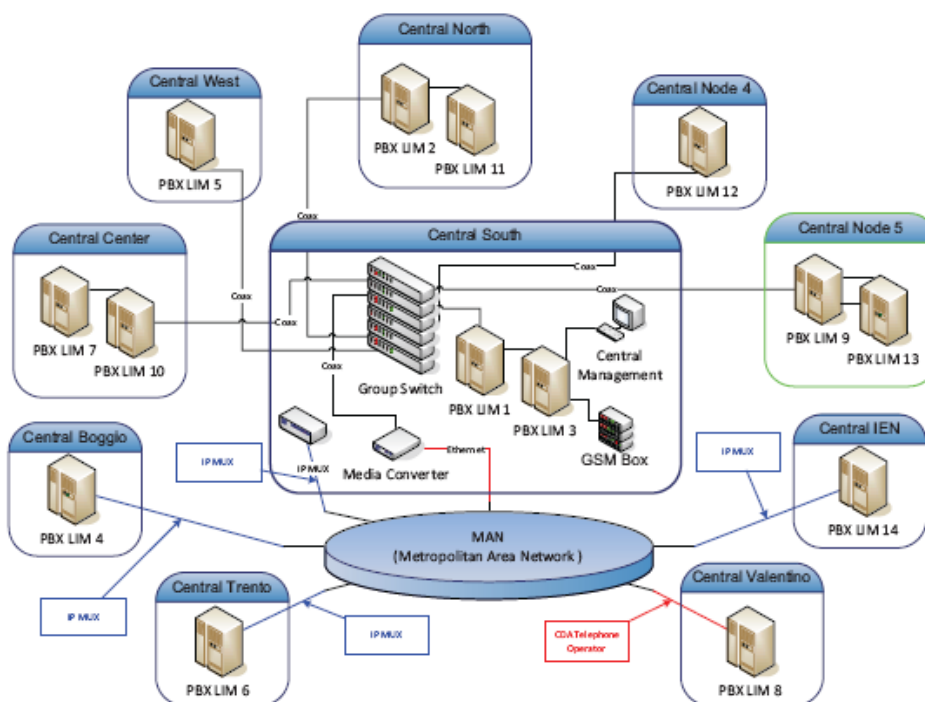
2.4.2 Μελέτη κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος σε δίκτυο PSTN μικρών διαστάσεων

Στη μελέτη που παρουσιάζεται παρακάτω, μελετάται το τηλεφωνικό σύστημα PSTN μιας πανεπιστημιούπολης και συγκεκριμένα του Politecnico di Torino στην Ιταλία [14]. Το ενσύρματο δίκτυο PSTN του πανεπιστημίου αποτελείται από 14 τηλεφωνικά κέντρα PBX, που εξυπηρετούν 3120 τηλέφωνα. Αυτές οι τηλεφωνικές γραμμές χωρίζονται σε 2787 αναλογικές και 333 ψηφιακές. Η ήδη γνωστή κατανομή του αριθμού των γραμμών στα 14 τηλεφωνικά κέντρα φαίνεται στο Σχήμα 2.5, και ο σχεδιασμός του ενσύρματου τηλεφωνικού δικτύου της πανεπιστημιούπολης φαίνεται στο Σχήμα 2.6. Τα 14 τηλεφωνικά κέντρα συνδέονται στον κεντρικό μεταγωγέα (group switch-GS) που βρίσκεται στον κεντρικό κόμβο (central node).



Σχ. 2.5 Αριθμός χρηστών στα τηλεφωνικά κέντρα της πανεπιστημιούπολης (αναλογικές/ψηφιακές γραμμές) [14]

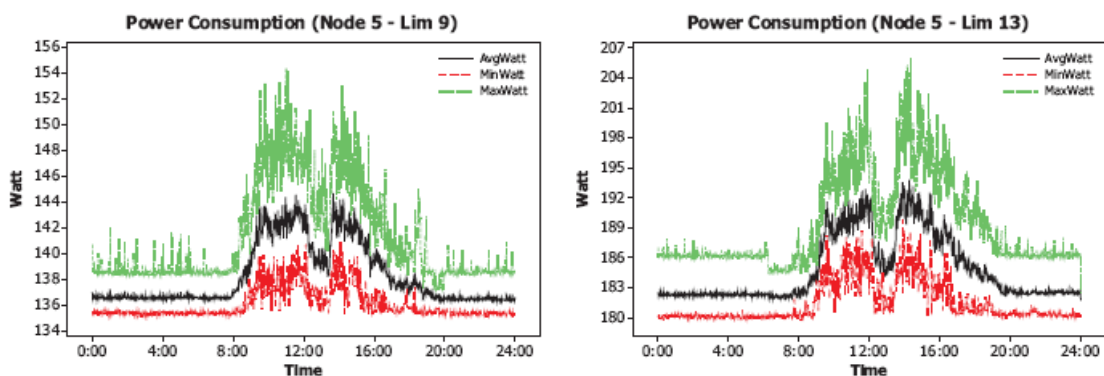
Ο κεντρικός μεταγωγέας παρέχει σύνδεση σε περίπου 500 τηλέφωνα ενώ υπάρχει η δυνατότητα να αυξηθεί ο αριθμός των τηλεφωνικών γραμμών με την εισαγωγή νέων καρτών γραμμής. Κάθε κάρτα γραμμής μπορεί να εξυπηρετήσει μέχρι και 16 τηλέφωνα. Οι αναλογικές τηλεφωνικές γραμμές εξυπηρετούνται από διαφορετική κάρτα γραμμής από ότι οι ψηφιακές και έχουν διαφορετικές τιμές κατανάλωσης ενέργειας.



Σχ. 2.6 Διασύνδεση των τηλεφωνικών κέντρων στο PSTN της πανεπιστημιούπολης - Politecnico di Torino [14]

2.4.2.1 Μετρήσεις στα PBX

Δύο τηλεφωνικά κέντρα, τα PBX LIM 9 και 13 αντίστοιχα, βρίσκονται υπό μέτρηση για την καταγραφή της κατανάλωσης της ισχύος στον κεντρικό κόμβο 5. Τα αποτελέσματα της καταγραφής της κατανάλωσης ισχύος των δύο τηλεφωνικών κέντρων συλλέγονται κατά τη διάρκεια δύο εβδομάδων και παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.7. Το Σχήμα 2.8 δείχνει την κατανάλωση ισχύος κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου. Οι τρεις καμπύλες με πράσινο, μαύρο και κόκκινο χρώμα αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα τα δείγματα μέγιστης, μέσης και ελάχιστης κατανάλωσης ενέργειας σε ένα 24ωρο, από ένα σύνολο δειγμάτων που συλλέγονται σε ένα αριθμό εργάσιμων ημερών και Σαββατοκύριακων. Η κατανάλωση ενέργειας είναι σταθερή κατά τη διάρκεια Σαββατοκύριακου και περίπου 137 Watts του στην περίπτωση του LIM 9, ακόμη και εάν δεν υπάρχει δραστηριότητα από την πλευρά του χρήστη. Κατά τη διάρκεια της εβδομάδας και όταν το σύστημα μεταφέρει τηλεφωνικές κλήσεις, καταναλώνει περίπου 10 % περισσότερο της συνολικής κατανάλωσης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως οι μετρήσεις έγιναν σε συγκεκριμένο μοντέλο PBX (Ericsson). Έτσι τα αποτελέσματα μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικά για κάθε σενάριο, αλλά μια γενίκευσή τους μπορεί να δώσει καλές εκτιμήσεις. Για παράδειγμα, παρόμοια πειράματα διεξήχθησαν με το PBX νέας γενιάς της AASTRA, όπου άδειο PBX, (χωρίς συνδεδεμένα τηλέφωνα ή κάρτες γραμμής) έδωσαν σαν αποτέλεσμα 66 Watts κατανάλωσης.



Σχ. 2.7 PSTN – κατανάλωση ισχύος τις καθημερινές [14]

2.4.2.2 Μοντελοποίηση ισχύος στο PSTN

Ένα απλό μαθηματικό μοντέλο εξάγεται από τις μετρήσεις με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της κατανάλωσης ανά χρήστη. Χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο, μπορεί κανείς να προσεγγίσει μια συνολική κατανάλωση για έναν δεδομένο αριθμό χρηστών σε οποιοδήποτε σενάριο campus ή εταιρικό. Θεωρώντας ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας όταν το σύστημα είναι σε κατάσταση αναμονής, υποθέτουμε ότι η ισχύς που καταναλώνεται από τις αναλογικές/ψηφιακές κάρτες γραμμής, καθώς και από τα τηλέφωνα, είναι περίπου η ίδια:

$$P_{PBX} + X \cdot P_{lc} + K \cdot P_{ph} = P_{TOTPBX} \quad (2.3)$$

Η παραπάνω έκφραση θεωρεί την συνολική κατανάλωση ισχύος ως το άθροισμα της ελάχιστης σταθερής κατανάλωσης ισχύος τηλεφωνικού κέντρου P_{PBX} , και της ισχύος που καταναλώνεται από τις κάρτες γραμμής P_{lc} και τις τηλεφωνικές γραμμές P_{ph} αντίστοιχα. Χ και Κ αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα τον αριθμό των καρτών γραμμών και των τηλεφωνικών γραμμών που συνδέονται με τα συγκεκριμένα PBX. Βασιζόμενοι στον αριθμό των διασυνδέσεων και των τηλεφωνικών γραμμών που συνδέονται με κάθε PBX, λαμβάνονται οι ακόλουθες δύο εξισώσεις:

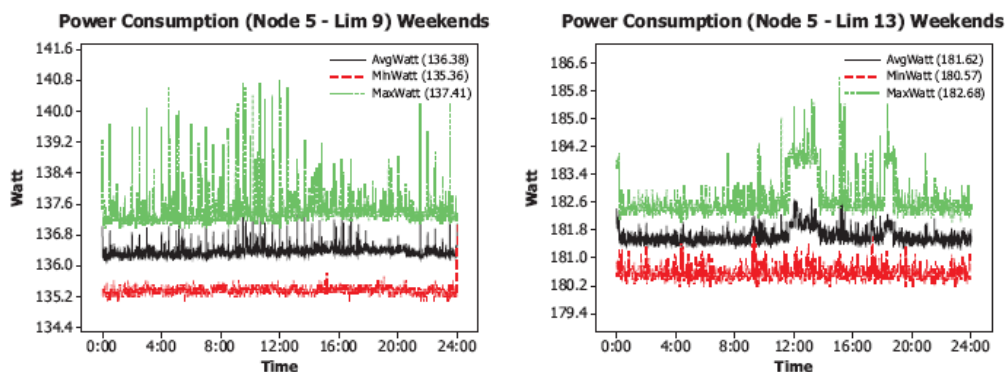
$$\begin{aligned} \text{LIM9: } P_{PBX} + 11 \cdot P_{lc} + 158 P_{ph} &= 135.10W \\ \text{LIM13: } P_{PBX} + 18 \cdot P_{lc} + 242 P_{ph} &= 180.06W \end{aligned} \quad (2.4)$$

Για την επίλυση των εξισώσεων θα πρέπει να ληφθεί η τιμή μίας εκ των μεταβλητών. Για το σκοπό αυτό, αποφασίστηκε να μετρηθεί η κατανάλωση ισχύος των τηλεφωνικών γραμμών με την προσθήκη δέκα νέων τηλεφώνων στο τηλεφωνικό κέντρο και να παρατηρηθεί η επίδρασή τους στην κατανάλωση ενέργειας του PBX. Παρατηρήθηκε πως η μέση κατανάλωση ενέργειας με χρήση ενός μόνο τηλεφώνου είναι:

$$P_{ph} = 0.53W.$$

Επιλύοντας την (2.4), προκύπτει πως η κατανάλωση ενέργειας των καρτών γραμμής και τηλεφώνου είναι αντίστοιχα:

$$P_{PBX} = 50.6686W \text{ και } P_{lc} = 0.0629W$$



Σχ. 2.8 PSTN – κατανάλωση ισχύος τα Σαββατοκύριακα [14]

2.4.2.3 Κατανάλωση ισχύος PBX πολυτεχνειούπολης Κρήτης

Μια αντίστοιχη μελέτη, εκπονήθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας, βασισμένη σε μετρήσεις που λάβαμε από το τηλεφωνικό κέντρο της πολυτεχνειούπολης. Οι μετρήσεις αφορούν το NOC, το HMMY και τις εστίες της πολυτεχνειούπολης. Το ενσύρματο δίκτυο PSTN του πολυτεχνείου αποτελείται από 3 τηλεφωνικά κέντρα PBX, που εξυπηρετούν 550

χρήστες συνολικά. Στον πίνακα 4 φαίνονται αναλυτικά ο αριθμός των χρηστών, ο αριθμός των racks ανά τηλεφωνικό κέντρο, η πραγματική ισχύς, δηλαδή η ισχύς που καταναλώνεται ανά rack –το στιγμιότυπο που μετρήσαμε- καθώς και η ονομαστική ισχύς ανά rack που αναγράφει το κάθε όργανο. Επίσης, φαίνεται ο συνολικός αριθμός χρηστών ανά PBX καθώς και ο αριθμός των racks αλλά και τα τηλεφωνικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στα αντίστοιχα PBX. Αναφέρεται τέλος ο αριθμός των χρηστών που εξυπηρετείται ανά rack και έχουμε υπολογίσει την εγκατεστημένη ισχύ. Το άθροισμα δηλαδή των ονομαστικών ισχύων όλων των οργάνων ανά PBX.

Πίνακας 2.4 Κατανάλωση ισχύος PBX πολυτεχνειούπολης

	NOC	HMMY	ΕΣΤΙΕΣ
Αριθμός χρηστών	250	200	100
Πραγματική Ισχύς (μετρήσεις)	245W 4,9A στα 50V	245W 5A στα 50V	100W 2A στα 50V
Ονομαστική ισχύς	385W 7A στα 55V	385W 7A στα 55V	135W 2,5A στα 54V
Τηλεφωνικό σύστημα	Coral Flexicom 5000	Coral iPx	Coral Flexicom 5000
Αριθμός racks	13	4	1
Αριθμός γραμμών που μπορεί να υποστηρίξει κάθε rack	24 - 2600	24 - 430	24 - 1300
Αριθμός χρησιμοποιούμενων racks	1	1	1
Εγκατεστημένη ισχύς	385W	385W	135W

Θεωρούμε τις στιγμιαίες ισχύεις περίπου σταθερές, επομένως οι στιγμιαίες ισχύεις είναι οι μέσες ισχύεις των καρτών.

Αν ταυτοχρονιστούν οι εγκαταστάσεις αυτές, η συνολική πραγματική (στιγμιαία, άρα βάση των προηγούμενων και μέση) ισχύς στο PSTN της πολυτεχνειούπολης θα είναι

$$P_{\text{total}} = P_{\text{total(NOC)}} + P_{\text{total(HMMY)}} + P_{\text{total(ΕΣΤΙΕΣ)}} \quad (2.5)$$

Θέτουμε ως ελάχιστη μέση ισχύ ανά χρήστη και ανά γραμμή P_u , το κλάσμα της πραγματικής ισχύος με τον αριθμό των χρηστών και προκύπτουν τα παρακάτω:

$$\text{NOC: } P_{u(\text{NOC})} = (245/250)W = 0.98W$$

$$\text{HMMY: } P_{u(\text{HMMY})} = (245/200)W = 1.225W$$

$$\text{ΕΣΤΙΕΣ: } P_{u(\text{ΕΣΤΙΕΣ})} = (100/100)W = 1W$$

Να σημειωθεί ότι αν και παραπάνω υπολογίσαμε την ελάχιστη μέση ισχύ ανά χρήστη, η μέση ισχύς είναι ίδια αν συμπεριλάβουμε και τη σταθερή κατανάλωση που υπάρχει ανεξάρτητα από την κατανάλωση των χρηστών.

Η συνολική πραγματική –στιγμιαία- ισχύς στο PSTN της πολυτεχνειούπολης είναι από την (2.5)

$$P_{\text{total}} = 245\text{W} + 245\text{W} + 100\text{W} = 590\text{W}$$

Πίνακας 2.5 Κατανάλωση ισχύος και μέσες ισχείς PBX πολυτεχνειούπολης

	NOC	HMMY	ΕΣΤΙΕΣ
Αριθμός χρηστών	250	200	100
Μέση μετρούμενη ισχύς (μετρήσεις) – στιγμιαία, την ώρα της μέτρησης	245W	245W	100W
Μέση εγκατεστημένη ισχύς	385W	385W	135W

Για να υπολογίσουμε την κατανάλωση ισχύος των καρτών του τηλεφωνικού κέντρου σε kWh, ακολουθούμε την παρακάτω σχέση:

$$P_{\text{total}} (\text{kWh}) = (P_{\text{total}} * 1\text{h})/1000 = (590\text{W} * 1\text{h})/1000 = 0.590\text{kWh} \quad (2.6)$$

Η κατανάλωση ισχύος των καρτών του τηλεφωνικού κέντρου σε kWh στη διάρκεια μιας ημέρας, είναι:

$$P_{\text{day}} (\text{kWh}) = (P_{\text{total}} * 24\text{h})/1000 = (590\text{W} * 24\text{h})/1000 = 14.16\text{kWh} \quad (2.7)$$

Η αντίστοιχη σχέση για τον υπολογισμό της κατανάλωσης σε kWh των καρτών, σε διάρκεια μιας εβδομάδας, έχει την παρακάτω μορφή:

$$P_{\text{week}} (\text{kWh}) = (P_{\text{total}} * 24\text{h} * 7)/1000 \quad (2.8)$$

$$(2.8) \Rightarrow P_{\text{week}} (\text{kWh}) = (590\text{W} * 24\text{h} * 7)/1000 = 99.12\text{kWh}$$

Όλοι οι υπολογισμοί έχουν γίνει κατά προσέγγιση, μιας και κατά τη διάρκεια της νύχτας και του Σαββατοκύριακου, η κατανάλωση ισχύος, όπως και η χρήση των τηλεφωνικών γραμμών, μεταβάλλεται.

Από το πείραμα του Τορίνο ισχύει ότι:

$$P_{\text{ph}} = 0.53\text{W} \text{ και} \quad (2.9)$$

ανά rack θέλουμε περίπου 0.1W, άρα

$$P_{lc} = 0.1W \quad (2.10)$$

Χρησιμοποιώντας τη σχέση 2.3, μέσω των σχέσεων 2.9 και 2.10, προκύπτει αντίστοιχα:
NOC:

$$P_{PBX1} + X \cdot P_{lc} + K \cdot P_{ph} = P_{total(NOC)} \Rightarrow$$

$$P_{PBX1} + 1 \cdot P_{lc} + 250 \cdot P_{ph} = 245W \Rightarrow$$

$$P_{PBX1} + 1 \cdot 0.1 + 250 \cdot 0.53 = 245W \Rightarrow$$

$$P_{PBX1} + 132.6 = 245W \Rightarrow$$

$$P_{PBX1} = 112.4W \quad (2.11)$$

ΕΣΤΙΕΣ:

$$P_{PBX2} + X \cdot P_{lc} + K \cdot P_{ph} = P_{total(ΕΣΤΙΕΣ)} \Rightarrow$$

$$P_{PBX2} + 1 \cdot P_{lc} + 100 \cdot P_{ph} = 100W$$

$$P_{PBX2} + 1 \cdot 0.1 + 100 \cdot 0.53 = 100W \Rightarrow$$

$$P_{PBX2} + 53.1 = 100W \Rightarrow$$

$$P_{PBX2} = 46.9W \quad (2.12)$$

HMMY:

$$P_{PBX3} + X \cdot P_{lc} + K \cdot P_{ph} = P_{total(HMMY)} \Rightarrow$$

$$P_{PBX3} + 1 \cdot P_{lc} + 200 \cdot P_{ph} = 245W$$

$$P_{PBX3} + 1 \cdot 0.1 + 200 \cdot 0.53 = 245W \Rightarrow$$

$$P_{PBX3} + 106.1 = 245W \Rightarrow$$

$$P_{PBX3} = 138.9W \quad (2.13)$$

Να σημειωθεί ότι η ισχύς ανά γραμμή μπορεί να είναι τελικά μικρότερη, αλλά ο ακριβής υπολογισμός της θα απαιτούσε περισσότερες μετρήσεις και γνώσεις (όπως για παράδειγμα πόσα τηλέφωνα λειτουργούν κ.λ.π.).

Στο σχήμα 2.9, βλέπουμε το Coral Flexicom 5000 και ένα rack του, καθώς και το Coral iPx και το αντίστοιχο rack.



Σχ. 2.9 Coral Flexicom 5000 και Coral iPx

2.5 Data centers

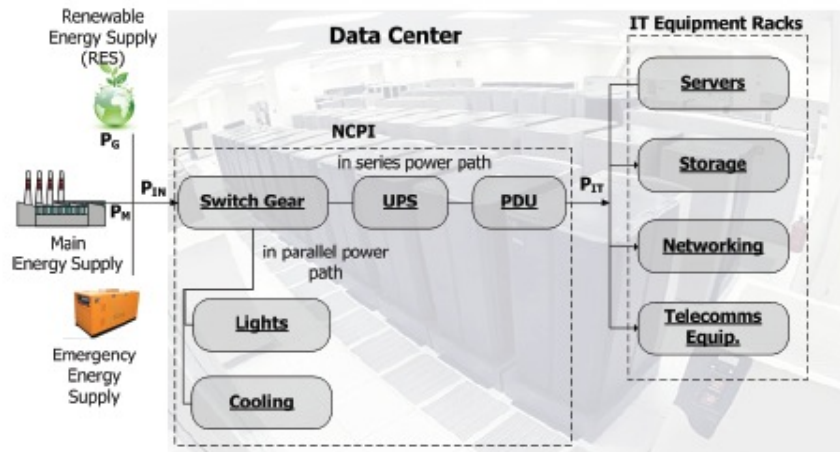
Ένα data center είναι μια εγκατάσταση που χρησιμοποιείται για να στεγάσει συστήματα υπολογιστών και σχετικά εξαρτήματα, όπως τα συστήματα τηλεπικοινωνιών και αποθήκευσης. Σε γενικές γραμμές περιλαμβάνει επιπλέον ή εφεδρικές παροχές ηλεκτρικού ρεύματος, επιπλέον συνδέσεις επικοινωνίας δεδομένων, συστήματα περιβαλλοντικού ελέγχου (π.χ. κλιματισμός, πυρόσβεση) και συσκευές ασφαλείας. Μεγάλα data centers μπορούν να έχουν μέγεθος βιομηχανικής κλίμακας και να χρησιμοποιούν τόση ηλεκτρική ενέργεια όσο μια μικρή πόλη.

Τα data centers έχουν τις ρίζες τους στις τεράστιες αίθουσες των ηλεκτρονικών υπολογιστών των πρώτων χρόνων του κλάδου της πληροφορικής. Τα πρώιμα συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών ήταν πολύπλοκα στη λειτουργία και συντήρησή τους και απαιτείτο ειδικό περιβάλλον για τη στέγαση τους. Πολλά καλώδια ήταν απαραίτητα για να συνδεθούν όλα τα στοιχεία και επινοήθηκαν μέθοδοι για να τα φιλοξενήσουν και να τα οργανώσουν, όπως ειδικά ράφια για την τοποθέτηση του εξοπλισμού, υπερυψωμένα δάπεδα και σχάρες καλωδίων (εγκατεστημένες εναέρια ή κάτω από το υπερυψωμένο δάπεδο). Επίσης, ένα ενιαίο mainframe απαιτούσε μεγάλη ηλεκτρική ισχύ και έπρεπε να ψύχεται για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση. Η ασφάλεια ήταν σημαντικό - οι υπολογιστές ήταν ακριβοί και συχνά χρησιμοποιούνταν για στρατιωτικούς σκοπούς [15].

Πλέον, τα data centers και τα κέντρα μεταγωγής των τηλεπικοινωνιών, (αστικά κέντρα ή κεντρικοί σταθμοί) παρέχουν σημαντική υποστήριξη στην καθημερινή λειτουργία όλων των ειδών των οργανισμών. Οι κεντρικοί σταθμοί των τηλεπικοινωνιών παρέχουν την υποδομή IT η οποία είναι μείζονος σημασίας για τις εταιρείες τηλεφωνίας, τους παρόχους υπηρεσιών διαδικτύου και άλλους οργανισμούς στον τομέα της επικοινωνίας. Τα data centers μεταποιούν και αποθηκεύουν ηλεκτρονική πληροφορία, εικόνες, αρχεία, αλληλογραφία - μια λειτουργία που είναι όλο και πιο κρίσιμη. Ανάλογα με το μέγεθος του χώρου και την ηλικία και το είδος του εξοπλισμού που περιέχει, η κατανάλωση ενέργειας κυμαίνεται συνήθως από 1.8 έως 9 Watt ανά τετραγωνικό μέτρο. Οι νεότεροι servers, παρόλο που είναι μικρότεροι και πιο ισχυροί, καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια. Ως εκ τούτου, μερικές high-end εγκαταστάσεις, που χρησιμοποιούν την πιο εξελιγμένη τεχνολογία καταναλώνουν έως 37.16 Watt ανά τετραγωνικό μέτρο (400 Watt / τετραγωνικό πόδι). Με λίγα λόγια, οι χώροι αυτοί καταναλώνουν πολλές φορές περισσότερη ενέργεια από ότι εγκαταστάσεις γραφείου ισοδύναμου μεγέθους [16].

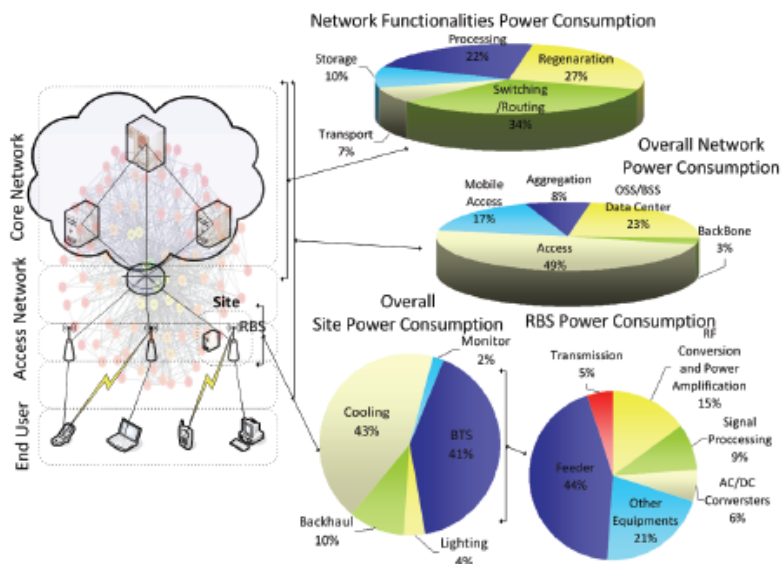
Η συνολική κατανάλωση ενέργειας ενός data center σχετίζεται με την σχετική ισχύ που καταναλώνει κάθε μονάδα του. Η αποδοτικότητα όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση στα επιμέρους τμήματά του (ενεργειακή απόδοση) είναι ένα σημαντικό βήμα για να γίνει πιο φιλικό προς το περιβάλλον ένα data center. Η βελτιστοποίηση όμως επιτυγχάνεται όταν η αποδοτικότητα στοχεύει στο συνολικό σχεδιασμό του data center. Η διανομή της ισχύος σε ένα τυπικό data center όπως και η δομή του, παρουσιάζονται λεπτομερώς στο Σχήμα 2.10. Η ισχύς εισόδου διαιρείται σε ένα μονοπάτι σε-σειρά και σε ένα μονοπάτι σε-παραλληλία για να τροφοδοτήσει τη συσκευή/διάταξη διακοπής (switchgear) και τα συστήματα ψύξης αντίστοιχα. Στη διάταξη διακοπής, **τα UPS και PDU, παρουσιάζουν κατά τη διάρκεια των μετατροπών AC/DC/AC μεγάλες απώλειες με τη**

μορφή θερμικής ενέργειας. Τα τυπικά UPS παρουσιάζουν μια ενεργειακή απόδοση της τάξης του 80%. Το μονοπάτι σε-παραλληλία τροφοδοτεί το σύστημα ψύξης, το οποίο είναι σημαντικό **για την προστασία του data center** από τη θερμότητα. Το σύστημα ψύξης αποτελείται από ανεμιστήρες και υγρά ψύξης [4].



Σχ. 2.10 Δομή ενός data center [4]

Οι κύριες λειτουργίες ενός δικτύου μπορεί να συνοψιστούν στις εξής: διαδικασία αναμετάδοσης, μεταφοράς, αποθήκευσης, δρομολόγησης, μεταγωγής και επεξεργασίας των δεδομένων. Στο Σχήμα 2.11 παρουσιάζεται, η κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος αυτών των λειτουργιών και μπορεί να παρατηρηθεί ότι το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας καταναλώνεται για τη δρομολόγηση / μεταγωγή, την αναμετάδοση και την επεξεργασία των δεδομένων.



Σχ. 2.11 Κατανάλωση ισχύος στα διάφορα layers data center [4]

Τόσο τα πρωτόκολλα επικοινωνίας όσο και οι ηλεκτρονικές συσκευές είναι υπεύθυνα για αυτή την κατανάλωση. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της ενεργειακής απόδοσης ηλεκτρονικού εξοπλισμού για αυτές τις λειτουργίες παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.6.

Πίνακας 2.6 Ενεργειακή απόδοση τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού [4]

Εξοπλισμός	Αποδοτικότητα ισχύος (W/Gbps)
Δρομολογητής	40
IP μεταγωγέας	25
TDM μεταφορέας	80
ATM μεταγωγέας	80

Η κατανάλωση ισχύος στα διαφορετικά layers του data center παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.7.

Πίνακας 2.7 Διανομή απωλειών ισχύος ενός data center [4]

Σημαντικός φυσικός δικτυακός εξοπλισμός	Ποσοστό (%) κατανάλωσης ισχύος [σύνολο 70%]
Ψύκτης	33
Κλιματιστικό του computer room	9
UPS	19
PDU	5
Συστήματα διακοπής, φώτα	4
IT εξοπλισμός	Ποσοστό (%) κατανάλωσης ισχύος σχετικά με το [σύνολο 30%]
Σύστημα	25
Δίσκοι	5
Παροχείς ρεύματος	13
Δικτύωση	9
CPU	40
Μνήμη	8

Μπορεί να παρατηρηθεί ότι το ωφέλιμο έργο του data center συνδέεται με ένα ποσοστό ισχύος μικρότερο από το 30% του οποίου καταλήγει στον εξοπλισμό IT. Το μοτίβο κατανάλωσης ενέργειας δεν είναι σταθερό στο χρόνο αλλά ποικίλλει ανάλογα με διάφορες παραμέτρους. Οι κύριες παράμετροι είναι ο φόρτος εργασίας εισόδου στο data center και τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται. Ο εξοπλισμός IT παρουσιάζει μη συνεχείς απώλειες και μεταβλητή ενεργειακή απόδοση που εξαρτάται από το φόρτο εργασίας στην είσοδο του. Η απώλεια ενέργειας οφείλεται κυρίως στις μονάδες παραγωγής ισχύος (UPS, μετασχηματιστές, κλπ) που λειτουργούν κάτω από τις δυνατότητες πλήρους φορτίου τους. Για παράδειγμα σε συστήματα UPS που είναι μεγάλου μεγέθους για τις πραγματικές απαιτήσεις του φορτίου, προκειμένου να αποφευχθεί η λειτουργία τους κοντά στο όριο χωρητικότητάς τους, σε κλιματιστικό εξοπλισμό που καταναλώνει επιπλέον ενέργεια

προκειμένου να παραδώσει ροή ψυχρού αέρα σε μεγάλες αποστάσεις καθώς και σε εμπόδια μεταξύ των κλιματιστικών και του εξοπλισμού. Επίσης στην έλλειψη προσομοιώσεων πριν την κατασκευή, στην έλλειψη διαχείρισης και παρακολούθηση της ενέργειας και τέλος, στην υπερ-διαστασολόγηση του data center.

Πιο αναλυτικά, τα data centers μιας και έχουν σχεδιαστεί για υπολογιστές και όχι για ανθρώπους, δεν έχουν συνήθως παράθυρα και ταυτόχρονα έχουν ελάχιστη κυκλοφορία αέρα. Κάποια από αυτά στεγάζονται σε νέες κατασκευές που έχουν σχεδιαστεί γι' αυτό το σκοπό και κάποια άλλα σε υπάρχοντα κτίρια που έχουν υποστεί μετατροπές. Τα μεγέθη των data centers κυμαίνονται από μικρά δωμάτια μέσα σε συμβατικά κτίρια, έως μεγάλα κτίρια που έχουν χτιστεί με σκοπό να στεγάσουν servers, συσκευές αποθήκευσης δεδομένων και εξοπλισμό δικτύου. Καθώς τα μικρά data centers ενοποιούνται, τα μεγαλύτερα σε μέγεθος κέντρα δεδομένων εμφανίζονται όλο και πιο συχνά.

Τα data centers είναι γεμάτα με σειρές από ράφια με IT εξοπλισμό, ο οποίος συμπεριλαμβάνει servers, συσκευές αποθήκευσης δεδομένων και δικτυακό εξοπλισμό. Περιλαμβάνουν επίσης συστήματα παροχής ενέργειας που παρέχουν back up ενέργεια, ρυθμίζουν την τάση και πραγματοποιούν τις απαραίτητες μετατροπές AC/DC. Πριν φτάσει το ράφι του IT εξοπλισμού το ηλεκτρικό ρεύμα παρέχεται πρώτα στο UPS. Το UPS λειτουργεί σαν εφεδρική μπαταρία, για την πρόληψη πιθανής διακοπής παροχής ισχύος, στον εξοπλισμό IT. Μια τέτοια διακοπή θα μπορούσε να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα σε επιχειρήσεις, ή και την απώλεια δεδομένων. Στο UPS η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται από AC σε DC για να φορτιστούν οι μπαταρίες. Η ισχύς από τις μπαταρίες μετατρέπεται ξανά από DC σε AC πριν βγει από αυτές. Η ισχύς που βγαίνει από το UPS, μπαίνει σε μια μονάδα διανομής ισχύος (power distribution unit ((PDU) που στέλνει την ισχύ κατευθείαν στον εξοπλισμό IT που βρίσκεται στα ράφια του data center. Ο ηλεκτρισμός που καταναλώνεται σε αυτή την αλυσίδα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί μεγάλο μέρος του συνολικού φορτίου του κτιρίου.

Η ηλεκτρική ενέργεια που εισέρχεται στους servers μετατρέπεται από AC σε ισχύ DC χαμηλής τάσης στην μονάδα παροχής ισχύος του server (power supply unit (PSU)). Η ισχύς DC χαμηλής τάσης χρησιμοποιείται από τα εσωτερικά στοιχεία του server, όπως την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU), την μνήμη, τους σκληρούς δίσκους, τα chipset και τους ανεμιστήρες. Η τάση DC που εξυπηρετεί την CPU ρυθμίζεται από ειδικούς ρυθμιστές τάσης φορτίου (voltage regulators (VRs)) πριν φτάσουν την CPU. Τα επίπεδα της απαιτούμενης ισχύος για τα διάφορα στοιχεία του server, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.8. Η ηλεκτρική ενέργεια κατευθύνεται επίσης προς τις συσκευές αποθήκευσης και τον δικτυακό εξοπλισμό τα οποία διευκολύνουν την αποθήκευση και την διαβίβαση των δεδομένων.

Η συνεχής λειτουργία του εξοπλισμού IT και τα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας παράγουν ένα σημαντικό ποσό θερμότητας το οποίο πρέπει να απομακρυνθεί από το data center, έτσι ώστε ο εξοπλισμός που στεγάζεται εκεί να λειτουργεί σωστά. Η ψύξη στα data centers παρέχεται συχνά από μονάδες κλιματισμού της αίθουσας υπολογιστών (computer room air conditioning (CRAC)), όπου ολόκληρη η μονάδα διαχείρισης αέρα (air handling unit (AHU)) τοποθετείται στο δάπεδο του data center. Η μονάδα AHU εμπεριέχει ανεμιστήρες, φίλτρα πηνία ψύξης και είναι υπεύθυνη για τη διανομή του αέρα σε ολόκληρο

το data center. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο αέρας εισέρχεται στο επάνω μέρος της μονάδας CRAC και ψύχεται καθώς περνάει από σπείρες που περιέχουν παγωμένο νερό που αντλείται από ένα ψύκτη τοποθετημένο έξω από το δωμάτιο του data center. Ο ψυχρός αέρας διοχετεύεται στη συνέχεια στον εξοπλισμό IT μέσω ενός συλλέκτη στο υπερυψωμένο δάπεδο. Ο κρύος αέρας περνά μέσω των διάτρητων πλακών του δαπέδου, ψύχει τους servers και στη συνέχεια τραβά αέρα από τους servers. Ο θερμός αυτός αέρας δημιουργεί ένα στρώμα στην οροφή του δωματίου και σταδιακά γυρίζει πίσω στη μονάδα πρόσληψης του CRAC.

Η πλειονοψηφία των data centers έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να εισέρχεται σε αυτά μια πολύ μικρή ποσότητα εξωτερικού αέρα. Ορισμένα data centers δεν έχουν καν αγωγό έτσι ώστε ο εξωτερικός αέρας να εισέρχεται στο εσωτερικό τους. Αντίθετα, ο εξωτερικός αέρας παρέχεται μόνο από διείσδυση από προσαρτούμενες ζώνες, όπως για παράδειγμα χώρους γραφείων. Άλλα data centers επιτρέπουν την εισαγωγή μιας μικρής ποσότητας εξωτερικού αέρα, έτσι ώστε να μένει ο χώρος στη σωστή πίεση.

Τα data centers χρησιμοποιούν ένα σημαντικό ποσό ενέργειας για να τροφοδοτήσουν τρία στοιχεία κλειδιά: τον εξοπλισμό IT, την ψύξη και την παροχή ισχύος. Αυτές οι ενεργειακές ανάγκες μπορούν να γίνουν καλύτερα αντιληπτές αν εξετάσουμε την ηλεκτρική ισχύ που είναι απαραίτητη για τον εξοπλισμό του data center και την απαιτούμενη ενέργεια για την απομάκρυνση θερμότητας από το data center [17]

Πίνακας 2.8 Ύψιστη κατανάλωση ισχύος ανά εξάρτημα για ένα τυπικό server [17]

Εξάρτημα	Ύψιστη ισχύς (Watts)
CPU	80
Μνήμη	36
Δίσκοι	12
Περιφερειακά	50
Μητρική	25
Ανεμιστήρας	10
Απώλειες PSU	38
Σύνολο	251

2.6 Ικανοποίηση αναγκών επικοινωνιακών εγκαταστάσεων μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ)

Στην παράγραφο αυτή μελετούνται οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η σχέση τους με τις τηλεπικοινωνίες. Οι καλύτερες πρακτικές για τη χρήση τους στις τηλεπικοινωνίες και για την τροφοδότηση των απομακρυσμένων τηλεπικοινωνιακών εγκαταστάσεων, είναι οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Στη συνέχεια θα μελετήσουμε πώς η εκμετάλλευση φυσικών πηγών ενέργειας, μπορεί να καλύψει τις ανάγκες τηλεπικοινωνιακών δικτύων.

Οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με εκείνες των συμβατικών πηγών ενέργειας. 1000 φορές περισσότερη ενέργεια φθάνει στην επιφάνεια της γης από τον ήλιο από όση απελευθερώνεται σήμερα από όλες τις συσκευές που καταναλώνουν ορυκτά καύσιμα.

Οι ΑΠΕ μπορούν να χρησιμοποιηθούν παντού, στις πιο απομακρυσμένες περιοχές και στις πιο δύσκολες κλιματολογικές συνθήκες. Ανά τον κόσμο, υπάρχουν πολλά νησιά τα οποία δεν είναι συνδεδεμένα στο ηλεκτρικό δίκτυο και από γεωγραφικής πλευράς είναι υψίστης σημασίας η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, λόγω του υψηλού κόστους διασύνδεσής τους (υποθαλάσσιες καλωδιώσεις), της απομάκρυνσής τους από τον υπόλοιπο αστικό πολιτισμό και της εξάρτησής τους από ρυπογόνες μεθόδους όπως το πετρέλαιο και η κηροζίνη, τα οποία έχουν ως μειονέκτημα περιβαλλοντολογικό και οικονομικό κόστος.

Σε πολλές νησιωτικές περιοχές υπάρχουν παραδείγματα καλών πρακτικών ηλεκτροδότησης μέσω ΑΠΕ ή και λειτουργίας τους, με ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά διείσδυσης ΑΠΕ. Όπως για παράδειγμα το νησί Samsø το οποίο έχει επιτύχει κάλυψη 100% των αναγκών του από χρήση ΑΠΕ. Επίσης η νήσος Eigg, πλέον τροφοδοτείται κατά 95% από αυτόνομο υβριδικό σύστημα. Όσο αφορά τον Ελλαδικό χώρο, η ενασχόληση και η διάδοση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας παρουσιάζει αυξητική τάση τα τελευταία χρόνια. Υπάρχουν ήδη ελληνικές εταιρείες παραγωγής φ/β πάνελ, αντιστροφών και συσσωρευτών. Παράδειγμα ΑΠΕ στην Ελλάδα, αποτελούν οι περιπτώσεις εγκατάστασης φ/β σταθμών ισχύος 37,5 kWp στο νησί Αρκιούς και στα Αντικύθηρα με 25kWp. Τέλος, στην Κρήτη έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος στην εγκατάσταση διασυνδεδεμένων μονάδων ΑΠΕ και παρόλο που το κόστος για την εγκατάστασή τους είναι αρκετά μεγάλο, αυτό αντισταθμίζεται από το γεγονός πως τόσο για τα ηλιακά όσο και για τα αιολικά συστήματα, το κόστος της παραγόμενης ενέργειας δεν είναι μόνο σταθερό, αλλά μηδενική για τη διάρκεια ζωής του συστήματος [18].

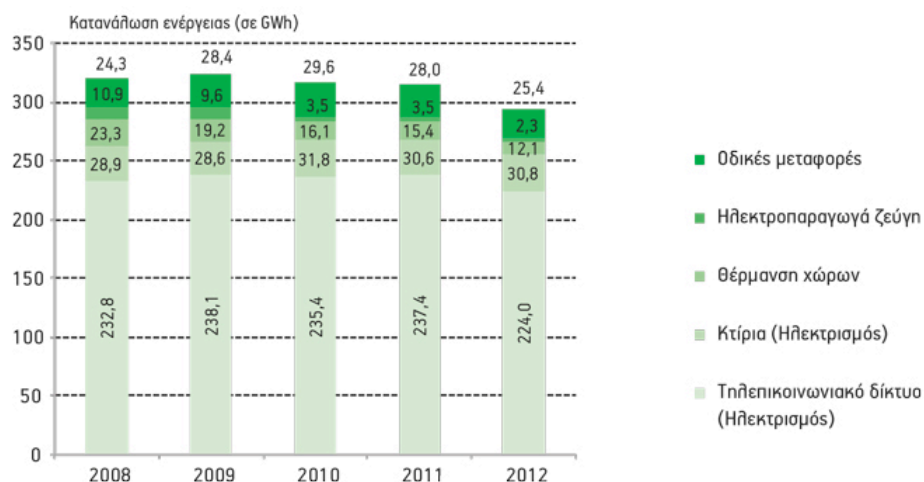
Στις επόμενες παραγράφους μελετώνται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια οι ΑΠΕ στον Ελλαδικό χώρο, τόσο του ΟΤΕ όσο και αυτές που κατασκευάζονται από την “Γερμανός” (Sunlight) για την εξυπηρέτηση ενεργειακών εγκαταστάσεων. Παρατίθενται επίσης πληροφορίες για τις βασισμένες σε φωτοβολταϊκά τόξα ΑΠΕ της VODAFONE στην Ιταλία.

2.6.1 ΑΠΕ Οργανισμού Τηλεπικοινωνιών Ελλάδος (ΟΤΕ)

Ο ΟΤΕ, έχει ήδη εφαρμόσει πρόγραμμα παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας σε διάφορα επίπεδα. Η κατανάλωση ενέργειας του ΟΤΕ και της COSMOTE αφορά στη λειτουργία των τηλεπικοινωνιακών υποδομών και των κτιρίων τους.

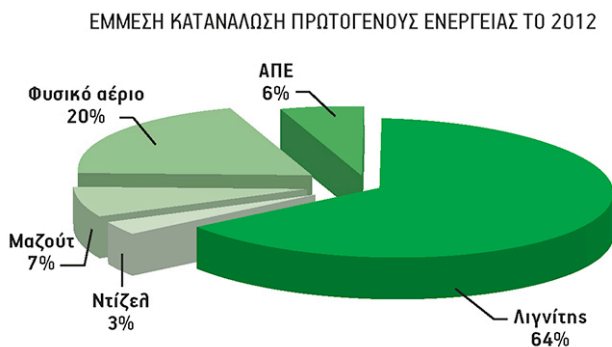
Σύμφωνα με στοιχεία που παρουσιάζονται στην ιστοσελίδα του παρόχου, το 2012, η συνολική κατανάλωση ανήλθε σε 477 GWh παρουσιάζοντας μείωση 3,5% σε σχέση με το 2011 (497 GWh). Σε όρους πρωτογενούς ενέργειας, η κατανάλωση αυτή ισοδυναμεί με 65 GWh (ή 234 TJ, τα οποία αφορούν αποκλειστικά σε ορυκτά καύσιμα) άμεσης κατανάλωσης ενέργειας και 963 GWh έμμεσης κατανάλωσης (με αναγωγή της κατανάλωσης ηλεκτρισμού και της τηλεθέρμανσης στην απαιτούμενη κατανάλωση καυσίμων για την παραγωγή τους).

Εάν ληφθούν υπόψη οι ΑΠΕ, η έμμεση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας μειώνεται στις 550 GWh. Όσον αφορά τον ΟΤΕ μόνο, το 2012, η συνολική κατανάλωση ενέργειας ανήλθε σε 295 GWh, παρουσιάζοντας μείωση 6,5% σε σχέση με το 2011 (315 GWh) [18].



Σχ. 2.12 Κατανάλωση ενέργειας ΟΤΕ 2008-2012[18]

Η λειτουργία του τηλεπικοινωνιακού δικτύου (σταθερής και κινητής τηλεφωνίας) αποτελεί την πλέον ενεργειοβόρα δραστηριότητα του ΟΤΕ καθώς η απαιτούμενη κατανάλωση ηλεκτρισμού αποτελεί το 75% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας το 2012. Η εταιρεία στοχεύει τόσο στον περιορισμό του ρυθμού αύξησης της κατανάλωσης ηλεκτρισμού και της κατανάλωσης ηλεκτρισμού, καθώς και στην παραγωγή της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.



Σχ. 2.13 Έμμεση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ΟΤΕ-ητπειρωτικό σύστημα [18]

186 μικρά φωτοβολταϊκά συστήματα (συνολικής ισχύος 432 kWp) έχουν εγκατασταθεί ήδη σε διάφορα μέρη για την κάλυψη των αναγκών ηλεκτροδότησης αντίστοιχων αναμεταδοτών καθώς επίσης και ένας μεγαλύτερος φωτοβολταϊκός σταθμός στον Α/Τ Αντικυθήρων (ισχύος 20 kWp). Η τροφοδοσία του ασυρματικού ευρυζωνικού δικτύου WiMAX του Αγίου Όρους, γίνεται μέσα από φωτοβολταϊκά συστήματα και τρεις μικρές ανεμογεννήτριες συνεχούς ρεύματος, ισχύος 1 kW η κάθε μία. Δύο φωτοβολταϊκά ισχύος 222,64 kWp, έχουν εγκατασταθεί από τον ΟΤΕ και βρίσκονται σε λειτουργία τα οποία αναμένεται να έχουν παραγωγή 304.900 kWh. Επίσης, η Cosmote έχει εγκαταστήσει φωτοβολταϊκά συστήματα για την υποστήριξη της λειτουργίας απομακρυσμένων σταθμών βάσης οι οποίοι δεν είναι συνδεδεμένοι με το ηλεκτρικό δίκτυο και λειτουργούν με ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη. Το 2012, η λειτουργία 18 σταθμών βάσης υποστηρίζονταν από φωτοβολταϊκά συστήματα [18].

2.6.1.1 Σταθμοί Αγ. Όρους, Αρκαδία, Καλαβρύτων, Εύβοιας

Από το 1994 έως το 1998 δημιουργήθηκαν 29 νέοι τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί οι οποίοι τροφοδοτήθηκαν από ηλιακή ενέργεια σε 4 διαφορετικές περιοχές της Ελλάδας. Η ονομαστική ισχύς των συστημάτων αυτών είναι 31kWp.

Πιο συγκεκριμένα ο πρώτος σταθμός τηλεπικοινωνιών που τροφοδοτείται από ηλιακή ενέργεια εγκαταστάθηκε το 1994 στο Άγιο Όρος. Ένα αυτόνομο ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα, το οποίο βρίσκεται στην κορυφή βουνού στην ορεινή Αρκαδία εξυπηρετεί το δίκτυο τηλεπικοινωνιών 16 χωριών στην Πελοπόννησο. Από τον Οκτώβριο του 1997, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα 2.5 kWp τροφοδοτεί έναν τηλεπικοινωνιακό επαναλήπτη ο οποίος είναι εγκατεστημένος κοντά στο χειμερινό θέρετρο του Χέλμου στα Καλάβρυτα. 8 φωτοβολταϊκά συστήματα συνολικής ονομαστικής ισχύος 14 kWp έχουν εγκατασταθεί σε διαφορετικές τοποθεσίες στο βουνό Δίρφη στην κεντρική Εύβοια. Είναι σε λειτουργία από τον Δεκέμβριο του 1997 ενώ η τελευταία εγκαταστάθηκε τον Απρίλιο του 1998.

Πίνακας 2.9 Διανομή απωλειών ισχύος ενός data center [4]

Τοποθεσία	Ισχύς	Εγκατάσταση
Αρκαδία	Φ/Β σύστημα 2 kWp	ΟΤΕ
Καλάβρυτα	Φ/Β σταθμός 2,5 kWp	ΟΤΕ
Όρος Δίρφυ(Εύβοια)	Φ/Β σύστημα 14 kWp	ΟΤΕ
Σύρος	Φ/Β σύστημα 880 W	ΟΤΕ
Μήλος	Φ/Β σταθμός 1320 W	TELESTET
Σε όλη τη χώρα	80 υβριδικά συστήματα φ/β+diesel)	TIM
	125 υβριδικά συστήματα φ/β+diesel)	Vodafone

2.6.1.2 Σταθμός Αντικυθήρων

Όσον αφορά τον αναμεταδότη, ο σταθμός βρίσκεται στο νησί των Αντικυθήρων και αναμεταδίδει Ελληνικά και Ευρωπαϊκά τηλεοπτικά και ραδιοφωνικά προγράμματα. Μέχρι το

1985 ο σταθμός ηλεκτροδοτούνταν από γεννήτριες ντίζελ. Μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση 20,9 kWp έχει πλέον εγκατασταθεί και μετά την αναμόρφωση, οι γεννήτριες ντίζελ λειτουργούν επικουρικά. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια παρέχει ισχύ στα 24V DC για τον πομπό και τον δέκτη, το σύστημα παρακολούθησης, τον εξαερισμό στο δωμάτιο μπαταρίας και το φως στο δωμάτιο έκτακτης ανάγκης, ενώ με τη χρήση ενός μετατροπέα ισχύος στα 220V AC παρέχει ισχύ για ένα αεραγωγό, συμπιεστή και στεγνωτήρα αέρα, εταιρεία τηλεφωνίας και αναμεταδότη.

Οι συστοιχίες φωτοβολταϊκών, που καλύπτουν συνολική έκταση περίπου 1000m² αποτελούνται από 8 επιμέρους μονάδες σε παράλληλη σύνδεση. Κάθε υπο-σειρά αποτελείται από 20 ενότητες Siemens, τύπου SM144 – 09, που έχουν εγκατασταθεί σε γωνία 60 μοιρών και συνδέεται με ένα μετατροπέα 2.4 kW DC/DC ο οποίος περιλαμβάνει έναν ελεγκτή μέγιστης ισχύος. Τέσσερις υπο-συστοιχίες συνδέονται παράλληλα για να σχηματίσουν μια γραμμή παροχής. Τα δύο ανεξάρτητα σετ 24-γραμμών τροφοδοσίας, είναι το καθένα συνδεδεμένο με μία μπαταρία Varta 6.800Ah και συνδέονται μέσω ενός αυτόματου διακόπτη κυκλώματος ρεύματος στην 24V DC ράβδο πίνακα διανομής καταναλωτή. Ο 220V AC ζυγός τροφοδοτείται από τον 24V ζυγό μέσω ενός 1 kVA μετατροπέα. Εάν ο inverter χαλάσει, ένας δεύτερος μετατροπέας που βρίσκεται σε stand-by, αναλαμβάνει μέσα σε 500 ms.

Μια γεννήτρια ντίζελ 10kVA ξεκινά αυτόματα όταν είναι αναγκαίο και τροφοδοτεί τις γραμμές τροφοδοσίας 24V μέσω ενός ανορθωτή. Μια γεννήτρια ντίζελ 23kVA είναι διαθέσιμη για περαιτέρω στήριξη. Η συνολική χωρητικότητα της μπαταρίας 13600Ah έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να παρέχει ισχύ για 9 ή 10 συνεχόμενες ημέρες χωρίς ήλιο. 3 επιπλέον μικρές φωτοβολταϊκές μονάδες έχουν εγκατασταθεί για να φορτίζουν τις μπαταρίες των γεννητριών ντίζελ. Η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση είναι εφοδιασμένη με αντικεραυνική προστασία και απαγωγέα υπερτάσης μεταξύ των φωτοβολταϊκών υπο – συστοιχιών και των μετατροπέων DC-DC, για την προστασία κατά της υπερβολικής τάσης [19].

2.6.2 ΑΠΕ Κινητής τηλεφωνίας (Vodafone)

Μια μελέτη που έγινε στην Ιταλία το 2008, μας επιτρέπει να δούμε πως η Vodafone, έχει αντιμετωπίσει το ζήτημα της κάλυψης των αναγκών των σταθμών βάσης της, από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Με τη βοήθεια της συνεργασίας και άλλων Ιταλικών παρόχων κινητής τηλεφωνίας, αρχικά συγκεντρώθηκαν στοιχεία προερχόμενα από ένα στατιστικό δείγμα 100 περίπου σταθμών βάσης οι οποίες ήταν διανεμημένες σε ολόκληρη τη χώρα –ενώ χρονικά τα δείγματα που αντιστοιχούσαν σε περισσότερες από 1000 μέρες παρακολούθησης και καταγραφής-. Δημιουργήθηκε στη συνέχεια μια βάση δεδομένων όπου τα στοιχεία αυτά καταγράφηκαν [20].



Σχ. 2.14 Φωτοβολταϊκά σε σταθμό βάσης (Vodafone-Italia) [20]

Ξεκινώντας από τα δεδομένα που προαναφέραμε, έγινε μια εκτίμηση της ημερήσιας μέσης κατανάλωσης ενός σταθμού βάσης η οποία αντιστοιχεί σε 96,9kWh/day ή αλλιώς 35368,5 kWh/year. Έτσι θεωρώντας τον αριθμό των σταθμών βάσης στην Ιταλία (61791 περίπου) η εθνική συνολική ενεργειακή κατανάλωση, η οποία σχετίζεται με την υπηρεσία της κινητής τηλεφωνίας αντιστοιχεί σε περίπου 2,19TWh/year, το οποίο αντιπροσωπεύει το 0,69% της συνολικής Ιταλικής κατανάλωσης (317,533TWh/year) και το 55% της ηλεκτρικής ενέργειας του τομέα των επικοινωνιών (3,99TWh/year).

Για να γίνει μια εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης που είναι δυνατό να επιτευχθεί μέσω μιας συνολικής ή μερικής αρχιτεκτονικής ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών στην υποδομή του σταθμού βάσης, μελετήθηκαν κάποιες πιλοτικές περιοχές. Αποδείχτηκε πως η ενεργειακή παραγωγικότητα εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση, το διαθέσιμο εμβαδό στο οποίο θα τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά και τα την επίδραση της σκίασης. Σε δύο από αυτές τις πιλοτικές περιοχές, εγκατάσταση φωτοβολταϊκών τόξων πραγματοποιήθηκε τόσο πάνω στις κεραίες όσο και στις υποστηρικτικές υποδομές. Το εμβαδό των φωτοβολταϊκών ποικίλλει από 16 έως 20m², το οποίο εξασφαλίζει 2 και 2,5kWp αντίστοιχα. Στα σχήματα 2.14 και 2.15 παρουσιάζονται οι εγκαταστάσεις αυτές.



Σχ. 2.15 Φωτοβολταϊκά σε σταθμό βάσης (Vodafone-Italia) [20]

Αυτές οι δύο κεραίες, ξεκίνησαν τη λειτουργία τους την 1/1/2008 και σύμφωνα με δεδομένα της Vodafone, τα δύο φωτοβολταϊκά συστήματα, παρήγαγαν ως τις 30/5/2008 1100 και 1200kWh αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει μια ετήσια παραγωγή της τάξης των 2640 και 2880kWh αντίστοιχα [20].

2.6.3 Γερμανός κουβούκλιο (Sunlight)

Η εταιρία Sunlight σχεδιάζει, παράγει και διανέμει συσσωρευτές και συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας. Τα προϊόντα αυτά είναι σχεδιασμένα ώστε να καλύπτουν τις ενεργειακές απαιτήσεις διαφόρων εφαρμογών ανάμεσα στις οποίες και οι τηλεπικοινωνίες. Η υποστήριξη των τηλεπικοινωνιακών σταθμών, γίνεται συνήθως με φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ενέργειας, ωστόσο η εταιρεία ειδικεύεται και σε ανεμογεννήτριες [21]. Επιπρόσθετα, στους τηλεπικοινωνιακούς σταθμούς, χρησιμοποιούνται τροφοδοτικά συστήματα για τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές της ίδιας εταιρείας.



Σχ. 2.16 Φωτοβολταϊκά σε σταθμό βάσης (Sunlight) [21]

Πιο συγκεκριμένα η Sunlight ειδικεύεται σε αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ενέργειας, αυτόνομα υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας (APS) και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών σταθμών. Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούνται σε τοποθεσίες όπου δεν υπάρχει δυνατότητα παραγωγής ενέργειας μέσω διασυνδεδεμένου δικτύου (Σχ. 2.16). Η λειτουργία τους είναι απλή. Τα φωτοβολταϊκά panels συγκεντρώνουν την ηλιακή ενέργεια και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρική. Η συσσωρευμένη ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται για την τροφοδότηση του φορτίου καθώς και τη φόρτιση των μπαταριών που φαίνονται στο σχήμα 2.17. Όσον αφορά τα αυτόνομα υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας (APS), αποτελούνται από σειρές φωτοβολταϊκών panels που τοποθετούνται σε ειδικούς θερμομονωμένους και κατάλληλα διαμορφωμένους οικίσκους στους οποίους φυλάσσονται οι μπαταρίες και τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη. Εναλλακτικά μπορεί να προστεθεί και ανεμογεννήτρια. Το βασικό στοιχείο που διαφοροποιεί ένα APS από το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής ενέργειας είναι η ύπαρξη της ηλεκτρογεννήτριας με την οποία διασφαλίζεται αδιάλειπτη τροφοδοσία αφού ενεργοποιείται αυτόματα σε περιπτώσεις έλλειψης ηλεκτροχημικής και ηλιακής ενέργειας. Ένα κουβούκλιο το οποίο διαθέτει ένα πλήρες σύστημα ΑΕΠ, δηλαδή φωτοβολταϊκά, μπαταρίες UPS, φαίνεται στα σχήματα 2.18, 2.19.



Σχ. 2.17 Sunlight μπαταρίες, UPS [21]



Σχ. 2.18 Sunlight [21]



Σχ. 2.19 Sunlight [21]

Στον Πίνακα 2.10, φαίνονται κάποιες τυπικές τιμές της ισχύος και ενέργειας κάποιων λύσεων που η Sunlight προσφέρει.

Πίνακας 2.10 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα Sunlight [21]

SUNLIGHT STANDARD	SUNLIGHT PREMIUM
SST1: 190Wp-0,5KWh	PST1: 380Wp-0,5KWh
SST2: 380Wp-1,0KWh	PST2: 760Wp-1,0KWh
SST3: 570Wp-1,5KWh	PST3: 800Wp-1,5KWh
SST4: 760Wp-2,5KWh	PST4: 1330Wp-2KWh
SST5: 950Wp-2,5KWh	PST5: 1710Wp-2,5KWh
SST6: 1140Wp-3KWh	PST6: 2090Wp-3KWh
SST7: 1330Wp-3,5KWh	PST7: 2470Wp-3,5KWh
SST8: 1520Wp-4KWh	PST8: 2850Wp-4KWh
SST9: 1710Wp-4,5KWh	PST9: 3230Wp-4,5KWh
SST10: 1900Wp-5KWh	PST10: 3610Wp-5KWh

Κεφάλαιο III

Προβλήματα – περιορισμοί επικοινωνιών λόγω εγκαταστάσεων ενέργειας

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετηθούν μεταξύ άλλων οι περιορισμοί όδευσης των τηλεπικοινωνιακών αγωγών σε εναέριες γραμμές μεταφοράς και διανομής. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν τα προβλήματα που δημιουργούν οι γραμμές μεταφοράς και διανομής στις επικοινωνιακές ζεύξεις, όπως για παράδειγμα τα φαινόμενα Cogona και ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC). Ακολουθεί μια μελέτη στην επιρροή των υψηλών ρευμάτων σε υπόγειες γραμμές μεταφοράς και διανομής.

Έπειτα μελετάται το φαινόμενο των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών που προκαλούνται στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα από την παρουσία ανεμογεννητριών (Α/Γ) σε ορισμένη απόσταση από αυτά. Η μελέτη γίνεται σε ευρύ φάσμα συχνοτήτων καλύπτοντας έτσι ένα σημαντικό ποσοστό τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Συγκεκριμένα εξετάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και ο τρόπος λειτουργίας των ανεμογεννητριών. Αναλύονται επίσης οι μηχανισμοί των παρεμβολών που προκαλούνται από τις Α/Γ στη διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Τέλος, παρουσιάζονται κάποιες αρχές και όρια για την αντιμετώπιση προβλημάτων που δημιουργούνται στη μετάδοση πληροφορίας, λόγω των εγκαταστάσεων ισχυρών ρευμάτων στα κτίρια.

3.1 Περιορισμοί όδευσης τηλεπικοινωνιακών αγωγών σε εναέρια γραμμές μεταφοράς και διανομής

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία σχηματίζονται γύρω από αγωγούς τους οποίους διατρέχει ηλεκτρικό ρεύμα. Η ηλεκτρική ενέργεια στη χώρα μας, παρέχεται στη συχνότητα των 50Hz. Στη συχνότητα αυτή οι δύο συνιστώσες του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου συμπεριφέρονται σχεδόν ανεξάρτητα, με συνέπεια το πεδίο να μην εμφανίζει ουσιαστικά τις ιδιότητες της ακτινοβολίας. Το ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να μονωθεί από τα συνήθη δομικά υλικά. Αντίθετα, το μαγνητικό πεδίο τα διαπερνά. Και τα δύο πεδία εξασθενούν με την απομάκρυνση από την πηγή. Στον πίνακα 3.1 αναγράφονται οι τιμές των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων γύρω από εναέρια αγωγούς [22].

Πίνακας. 3.1 Τιμές ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων εναέριων γραμμών σε ύψος 1,5 μ [22]

		Ένταση Ηλεκτρ. Πεδίου E (KV/m)	Μαγνητική Επαγωγή B (μT)
Γραμμές 400 KV	Κάτω από αγωγούς	2-4	1-4
	25 μ. παραπλεύρως	0,2-0,5	0,5-2
Γραμμές 150 KV	Κάτω από αγωγούς	0,5-2	0,3-2
	25 μ. παραπλεύρως	0,05-0,3	0,05-0,2
Γραμμές 20 KV	Κάτω από αγωγούς	0,2	0,2-0,5
	25 μ. παραπλεύρως	0,01-0,02	0,01-0,05

Τα εναέρια δίκτυα -που αποτελούν την πλειονότητα κάθε ηλεκτρικού δικτύου- διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Στα εναέρια δίκτυα μεταφοράς: Είναι οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Στα εναέρια δίκτυα διανομής: Είναι οι γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

3.1.1 Περιορισμοί σε εναέρια γραμμές μεταφοράς

Η τακτική που εφαρμόζεται κατά τη σχεδίαση και την κατασκευή μιας γραμμής υψηλής τάσης, ή ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος, είναι αρχικά να θεωρείται η θέση του ήδη υπάρχοντος συστήματος τηλεπικοινωνιών ή της ήδη υφιστάμενης γραμμής υψηλής τάσης ως δεδομένη. Με βάση αυτό το δεδομένο, επιλέγεται η ακριβής θέση της υπο κατασκευής γραμμής υψηλής τάσης ή του υπο κατασκευή τηλεπικοινωνιακού συστήματος αντίστοιχα.

Σε εναέρια γραμμές τηλεπικοινωνιών οι οποίες βρίσκονται σε ορισμένη απόσταση από εναέρια γραμμές υψηλής τάσης, εμφανίζονται σε κάποιες περιπτώσεις “ανωμαλίες”, δηλαδή προβλήματα στη λειτουργία τους. Ο τρόπος με τον οποίο προκαλούνται αυτά τα προβλήματα είναι ο παρακάτω:

Η επίδραση από μία γραμμή υψηλής τάσης σε κάποιο γειτονικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα (τηλεφωνικό, τηλεοπτικό ή ραδιοφωνικό) προκαλεί την εμφάνιση μιας τάσεως ή ενός ρεύματος, με τιμή σημαντικά μεγαλύτερη από τη τάση ή το ρεύμα που έχει το

τηλεπικοινωνιακό σύστημα υπό συνθήκες κανονικής λειτουργίας. Γενικά οι επιδράσεις διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Σε επιδράσεις υπό συνθήκες κανονικής λειτουργίας της γραμμής υψηλής τάσης
- Σε επιδράσεις εμφανιζόμενες σε περίπτωση βραχυκυκλωμάτων προς γη ή μεταξύ φάσεων.

Αυτό έχει τις εξής συνέπειες:

1. Εάν η επίδραση εμφανίζεται σαν ρεύμα ή τάση βιομηχανικής συχνότητας
 - δημιουργείται κίνδυνος για τους χειριστές των μηχανημάτων και των συσκευών
 - δημιουργείται κίνδυνος για τα ίδια τα μηχανήματα και τις συσκευές
2. Εάν η επίδραση εμφανίζεται σαν ρεύμα ή τάση υψηλής συχνότητας υπάρχει περίπτωση να επικαλυφθούν οι συχνότητες τηλεπικοινωνιών και αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την πρόκληση ανεπιθύμητου θορύβου. Ο θόρυβος αυτός μπορεί να φτάσει σε σημείο να καθιστά την επικοινωνία από πολύ δύσκολη έως αδύνατη

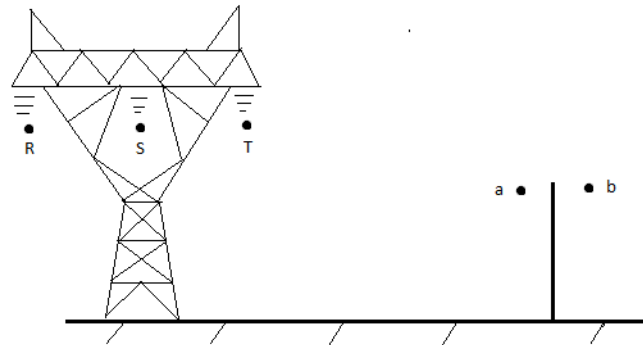
Από τα παραπάνω βγαίνει το συμπέρασμα, ότι οι επιδράσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι εξαιρετικά σοβαρές για τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, στην περίπτωση που οι αγωγοί τηλεπικοινωνιών αναρτώνται στους ίδιους πυλώνες που αναρτάται και η γραμμή υψηλής τάσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να λαμβάνονται πάντα ειδικά μέτρα προστασίας της τηλεπικοινωνιακής γραμμής. Στη συνέχεια θα δούμε πως επηρεάζει τις τηλεπικοινωνιακές γραμμές και την κανονική λειτουργία τους, τόσο το ηλεκτρικό όσο και το μαγνητικό πεδίο, αφού πρώτα εξετάσουμε τις συνθήκες κανονικής λειτουργίας της γραμμής υψηλής τάσης.

3.1.1.1 Συνθήκες κανονικής λειτουργίας της γραμμής υψηλής τάσης

Οι επιδράσεις στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα οφείλονται στο ηλεκτρικό πεδίο, που δημιουργείται γύρω από μία γραμμή υψηλής τάσης και στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, που οφείλεται στο ρεύμα που μεταφέρεται μέσω μιας γραμμής υψηλής τάσης.

3.1.1.1.1 Επιδράσεις λόγω του ηλεκτρικού πεδίου

Σχήμα 3.1. Επίδραση ηλεκτρικού πεδίου σε τηλεπικοινωνιακές γραμμές



Η γραμμή τηλεπικοινωνιών ab του σχήματος 3.1 βρίσκεται εντός του ηλεκτρικού πεδίου της γραμμής υψηλής τάσης RST . Στη γραμμή ab αναπτύσσονται τάσεις εξ επαγωγής. Οι τάσεις αυτές είναι υψηλότερες στο a από ότι στο b , με συνέπεια να κυκλοφορεί ρεύμα στον τηλεπικοινωνιακό βρόγχο. Επιπρόσθετα, αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού μεταξύ βρόγχου και γης, από την οποία διαφορά δυναμικού μπορεί να προκληθεί διάσπαση των εγκατεστημένων σπινθηριστών προστασίας. Τα παράσιτα που προκαλούνται, εξαλείφονται εντελώς με κυκλική εναλλαγή της θέσης των φάσεων της γραμμής υψηλής τάσης στο χώρο και ταυτόχρονη διασταύρωση των αγωγών της τηλεπικοινωνιακής γραμμής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι επαγόμενες τάσεις στα διάφορα επί μέρους τμήματα της τηλεπικοινωνιακής γραμμής να αλληλοαναιρούνται [23].

3.1.1.1.2 Επιδράσεις λόγω του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου

Οι επιδράσεις λόγω του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου είναι σε γενικές γραμμές ίδιες με αυτές που οφείλονται στο ηλεκτρικό πεδίο. Το ίδιο ισχύει και για τα παράσιτα που οφείλονται στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το οποίο δημιουργεί γύρω της η γραμμή υψηλής τάσης. Μοναδική διαφορά υπάρχει όταν η γραμμή υψηλής τάσης έχει γειωμένο ουδέτερο. Σε αυτήν την περίπτωση η κατάσταση είναι δυσμενέστερη λόγω των τάσεων από την n -οστή (όπου n είναι πολλαπλάσιο του 3) αρμονική της θεμελιώδους συχνότητας, που έχει το ίδιο πρόσημο και για τις τρεις φάσεις SRT . Αποτέλεσμα των τάσεων αυτών της τηλεπικοινωνιακής γραμμής, είναι να μην είναι δυνατή η εξάλειψη αυτών των θέσεων στο χώρο με κυκλική εναλλαγή. Όσον αφορά τον τηλεπικοινωνιακό βρόγχο υπάρχει δυνατότητα εξάλειψης της επαγόμενης τάσης, με διασταύρωση των αγωγών της τηλεπικοινωνιακής γραμμής. Το πρόβλημα εντοπίζεται στο γεγονός πως δεν εξαλείφεται η τάση μεταξύ της τηλεπικοινωνιακής και της γης, με αποτέλεσμα να ενεργοποιούνται οι σπινθηριστές προστασίας. Πιο αναλυτικά:

Η επαγόμενη τάση καθορίζεται από τη σχέση $U=I \cdot \omega \cdot M$ (3.1), όπου M είναι ο συντελεστής αλληλεπαγωγής μεταξύ των δύο γραμμών, I είναι το ρεύμα που διαπερνά τη γραμμή υψηλής τάσης και ω είναι η ταχύτητα με την οποία στρέφεται το μαγνητικό πεδίο (στη συγκεκριμένη περίπτωση πρόκειται για αρμονικά ω). Το ρεύμα I διαρρέει τη γραμμή υψηλής μεταφοράς και επιστρέφει στο γειωμένο κόμβο του συστήματος, μέσω της γης και της χωρητικότητας προς αυτήν.

Το πρόβλημα αυτό λύνεται με δύο τρόπους. Ο ένας τρόπος είναι οι γεννήτριες να δίνουν καθαρώς ημιτονοειδείς τάσεις, με αποτέλεσμα το φαινόμενο κόρου των μετασχηματιστών να είναι περιορισμένο. Ένας άλλος τρόπος είναι οι χρησιμοποιούμενοι γειωμένοι μετασχηματιστές να έχουν σύδεση αστέρα-τριγώνου, οπότε το ρεύμα να παρεμποδίζει τη ροή του ρεύματος της ν-οστής (όπου n είναι πολλαπλάσιο του 3) αρμονικής της θεμελιώδους συχνότητας.

3.1.1.2 Επιδράσεις σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα υπό ειδικές συνθήκες λειτουργίας της γραμμής υψηλής τάσης

3.1.1.2.1 Βραχυκύκλωμα μεταξύ μιας φάσεως και γης και δύο φάσεων και γης

Το βραχυκύκλωμα μεταξύ φάσης και γης, το οποίο ονομάζεται και βραχυκύκλωμα φάσης προς γη, συμβαίνει όταν ο αγωγός φάσης ενώνεται με τη γη. Τα αποτελέσματα βραχυκυκλώματος μεταξύ μιας φάσεως και γης χωρίζονται σε δύο περιπτώσεις ανάλογα με τον τρόπο που προκαλείται το βραχυκύκλωμα. Στην πρώτη περίπτωση η τηλεπικοινωνιακή γραμμή καθ' όλο το μήκος της οδεύει παράλληλα προς τη γραμμή υψηλής τάσης. Στη δεύτερη περίπτωση η τηλεπικοινωνιακή γραμμή καθ' όλο το μήκος της δεν οδεύει παράλληλα προς τη γραμμή υψηλής τάσης. Η δημιουργία οδευόντων κυμάτων στη γραμμή υψηλής τάσης συνεπάγεται ανάπτυξη εξ επαγωγής συνοδευόντων κυμάτων στην τηλεπικοινωνιακή γραμμή. Τα συνοδευόντα κύματα μόλις φτάνουν στο τέλος της τηλεπικοινωνιακής γραμμής ενεργοποιούν μηχανισμούς προστασίας που είναι τοποθετημένοι εκεί (όπως για παράδειγμα ασφάλειες).

Στη περίπτωση βραχυκυκλώματος μεταξύ δύο φάσεων και γης, όταν υπάρχουν δίκτυα kiloampere (kA), στις εγκαταστάσεις μέσης τάσης κοντά σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, δημιουργούνται ρεύματα μερικών kA. Σε ορισμένο βάθος κάτω από το έδαφος, και μεταξύ των δύο θέσεων βραχυκύκλωσης, το ρεύμα ρέει ακολουθώντας την πορεία της γραμμής υψηλής τάσης. Ως αποτέλεσμα αναπτύσσεται μία εξ επαγωγής τάση στο τηλεπικοινωνιακό κύκλωμα, και μία εξ επαγωγής αναπτυχθείσα τάση μεταξύ τηλεπικοινωνιακής γραμμής και γης. Η εξ επαγωγής τάση που αναπτύσσεται στο τηλεπικοινωνιακό κύκλωμα μπορεί να εξαλειφθεί αν γίνει διασταύρωση των αγωγών του τηλεπικοινωνιακού κυκλώματος, ενώ αντίθετα η εξ επαγωγής αναπτυχθείσα τάση μεταξύ τηλεπικοινωνιακής γραμμής και γης παραμένει και δεν μπορεί να εξαλειφθεί. Λόγω του βραχυκυκλώματος, δημιουργείται παραμόρφωση στο ΗΕΔ των γεννητριών, εξαιτίας της οποίας –και λόγω αστοχιών της μόνωσης της τηλεπικοινωνιακής γραμμής– δημιουργούνται

αρμονικές ταλαντώσεις, οι οποίες επιδεινώνουν την κατάσταση. Συμπερασματικά, όσο αυξάνεται η εξ επαγωγής αναπτυσσόμενη τάση, τόσο αυξάνονται και οι πιθανότητες αστοχίας της μόνωσης της τηλεπικοινωνιακής γραμμής, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ρεύματα διαρροής τα οποία καθιστούν αδύνατη τη συνεννόηση μέσω του συγκεκριμένου τηλεπικοινωνιακού κυκλώματος.

3.1.1.3 Τρόποι αντιμετώπισης των επιδράσεων και των παρασίτων

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να αντιμετωπιστούν οι επιδράσεις που εμφανίζονται στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα καθώς και τα παράσιτα που δημιουργούνται. Παραδείγματα αυτών παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους.

3.1.1.3.1 Αποφυγή τηλεπικοινωνιακών κυκλωμάτων που χρησιμοποιούν σαν αγωγό επιστροφής τη γη

Τέτοια κυκλώματα έχουν τα εξής μειονεκτήματα:

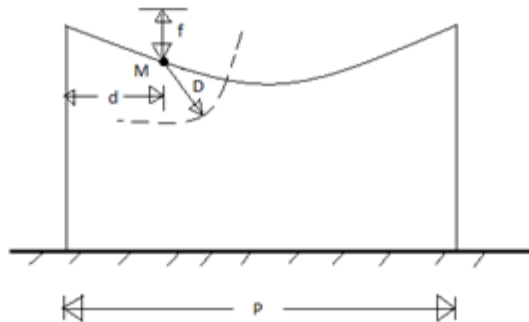
- i) Δεν είναι δυνατή η διασταύρωση των αγωγών του κυκλώματος.
- ii) Οι εξ επαγωγής αναπτυσσόμενες τάσεις είναι μεγαλύτερες. Αυτό συμβαίνει διότι στη συγκεκριμένη περίπτωση, ο τηλεπικοινωνιακός βρόγχος είναι μεγαλύτερης έκτασης, από την περίπτωση που χρησιμοποιούνται δύο αγωγοί, με αποτέλεσμα να περικλείεται στον αγωγό ένα σημαντικά μεγαλύτερο μέρος του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

3.1.1.3.2 Εγκατάσταση των γραμμών τηλεπικοινωνιών σε αρκετά μεγάλη απόσταση από τις γραμμές υψηλής τάσης

Με αυτόν τον τρόπο οι ασφάλειες της τηλεπικοινωνιακής γραμμής δεν ενεργοποιούνται από τις επαγόμενες τάσεις, ακόμα και στην περίπτωση που συμβεί κάποιο βραχυκύκλωμα στη γραμμή υψηλής τάσης. Αυτό περιλαμβάνει είτε βραχυκύκλωμα μεταξύ φάσεως-γης, είτε βραχυκύκλωμα μεταξύ δύο φάσεων και γης, είτε βραχυκύκλωμα κατά τους ζευτικούς χειρισμούς.

Σύμφωνα με τους κανονισμούς, με κέντρο ένα οποιοδήποτε σημείο της εναέριας γραμμής υψηλής τάσης, πρέπει να διαγράφεται σφαίρα ακτίνας D μέσα στα όρια της οποίας δεν πρέπει να βρίσκεται γραμμή τηλεπικοινωνιών, ούτε τμήμα γραμμής τηλεπικοινωνιών. Αυτό πρέπει να ισχύει για όλα τα σημεία της γραμμής τηλεπικοινωνιών. Στην πράξη, εγκαθίσταται πρώτα η γραμμή τηλεπικοινωνιών, και εφόσον αυτή είναι ήδη εγκατεστημένη, στη συνέχεια εγκαθίσταται η γραμμή υψηλής τάσης στη σωστή απόσταση. Η παραπάνω μέθοδος εξηγείται καλύτερα παρατηρώντας το παρακάτω σχήμα:

Σχήμα 3.2. Εγκατάσταση τηλ/κών αγωγών σε απόσταση από γραμμές υψηλής τάσης για αποφυγή παρασίτων



M: εκάστοτε σημείο της εναέριας γραμμής υψηλής τάσης

f: κατακόρυφη απόσταση ανάμεσα θέσεις στήριξης αγωγών γραμμής και σημείο M

d: απόσταση σημείου M από πλησιέστερο πυλώνα

P: άνοιγμα της γραμμής

D: ακτίνα σφαίρας μέσα στα όρια της οποίας δεν πρέπει να βρίσκεται γραμμή τηλεπικοινωνιών, ούτε τμήμα γραμμής τηλεπικοινωνιών.

Η τιμή του D δίνεται από τη σχέση: $D = 1 + \left(\frac{\sqrt{f}}{2} - 1\right) \frac{2d}{P} + 0.007u$ (3.2)

Όπου u είναι η πολιτική τάση της γραμμής υψηλής τάσης σε kV (με την προϋπόθεση ότι οι αποστάσεις και τα μήκη είναι σε μέτρα).

Από την παραπάνω σχέση βγαίνει το συμπέρασμα ότι η απόσταση D παίρνει τη μέγιστη τιμή της όταν μεγιστοποιούνται τα μεγέθη f και $\frac{2d}{P}$.

Δηλαδή όταν $f = f_{max}$ και $\frac{2d}{P} = 1 \Rightarrow d = \frac{P}{2}$ (3.3).

Το παραπάνω συμπέρασμα σημαίνει ότι το D γίνεται μέγιστο όταν το σημείο M βρίσκεται στο μέσο της απόστασης μεταξύ των δύο πυλώνων, και παίρνει την τιμή

$$D_{max} = \frac{f_{max}}{2} + 0.007u \quad (3.4).$$

3.1.1.3.3 Τοποθέτηση των γειωτών των ασφαλειών και των αγωγών γης της τηλεπικοινωνιακής γραμμής σε θέση μακριά από το σύστημα γείωσης της γραμμής υψηλής τάσης.

Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται ενδεχόμενη ανύψωση του δυναμικού της γης.

3.1.1.3.4 Λήψη μέριμνας για ικανοποιητική μόνωση σε γραμμές τηλεπικοινωνιών που αναρτώνται σε πυλώνες γραμμής υψηλής τάσης

Η ικανοποιητική μόνωση αντιστοιχεί περίπου στο 25% της φασικής υψηλής τάσης. Η μόνωση των τηλεφωνικών συσκευών έναντι της τηλεπικοινωνιακής γραμμής εξασφαλίζεται με μετασχηματιστές μονώσεως ή μετασχηματιστές 1:1.

Όλα τα προαναφερθέντα μέτρα εφαρμόζονται με άκρως ικανοποιητικά αποτελέσματα και σε δίκτυα ηλεκτροκίνητων σιδηροδρόμων, καθώς και σε συσκευές που χρησιμοποιούνται στην τηλεγραφία, μιας και οι συσκευές αυτές είναι λιγότερο ευαίσθητες από τα τηλέφωνα, με αποτέλεσμα να μην δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα όταν χρησιμοποιηθεί γραμμή ενός μόνο αγωγού (αγωγός επιστροφής είναι η γη).

3.1.1.4 Ραδιοφωνικά παράσιτα προκαλούμενα από γραμμή υψηλής τάσης

Από ηλεκτρομαγνητικές ταλαντώσεις, οι οποίες προέρχονται από εναέριες γραμμές υψηλής τάσης, προκαλούνται παράσιτα:

1. στη ραδιοφωνική λήψη της οποίας οι δέκτες βρίσκονται δίπλα στις εναέριες γραμμές υψηλής τάσης και
2. στα δίκτυα χαμηλής τάσης, τα οποία τροφοδοτούν ως άνω δέκτες.

Βασικές προϋποθέσεις για τη δημιουργία παρασίτων είναι οι προαναφερθείσες ηλεκτρομαγνητικές ταλαντώσεις να εμφανίζουν συχνότητες της ίδιας τάξεως με τις συχνότητες του πομπού, δηλαδή από 150 kHz έως 1,5 MHz (στην περίπτωση πομπών βραχέων κυμάτων οι συχνότητες αυτές πρέπει να παίρνουν μεγαλύτερες τιμές), και το εύρος των ταλαντώσεων να υπερβαίνει συγκεκριμένες τιμές.

Στην περίπτωση κατά την οποία προκαλούνται παράσιτα στη ραδιοφωνική λήψη, αν τα κύματα είναι μακρά ή μεσαία, τα άνω παράσιτα γίνονται αντιληπτά όταν βρίσκονται εντός μιας ζώνης πλάτους 100-200m γύρω από τη γραμμή μεταφοράς. Αν τα κύματα είναι βραχέα, το πλάτος της ζώνης ελαττώνεται σημαντικά, και μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 20m.

Στην περίπτωση κατά την οποία προκαλούνται παράσιτα στα δίκτυα χαμηλής τάσης, τα παράσιτα αυτά είναι δυνατόν να γίνουν αντιληπτά σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις, λόγω των συνθηκών μικρής αποσβέσεως που παρουσιάζουν αυτά τα δίκτυα. Όλα τα παράσιτα που αναφέρθηκαν παραπάνω, έχουν ως αίτια φαινόμενα υπερτάσεων ή ζευτικούς χειρισμούς στη γραμμή υψηλής τάσης. Καθώς τόσο τα φαινόμενα υπερτάσεων όσο και οι ζευτικοί χειρισμοί αποτελούν μοναδιαία φαινόμενα, τα παράσιτα που προκαλούν, μπορούν να αγνοηθούν.

Πολύ εντονότερα παράσιτα δημιουργούνται υπό συνθήκες κανονικής λειτουργίας της γραμμής υψηλής τάσης, τα οποία προκαλούνται λόγω διαρκών θυσανοειδών εκκενώσεων ή εκκενώσεων αίγλης, σε μονωτήρες αναρτήσεως, στηρίξεως ή διελεύσεως. Ο τρόπος δημιουργίας των παρασίτων γίνεται όπως αναφέρεται στη συνέχεια.

Αρχικά δημιουργείται ιονισμός του αέρα στις κρίσιμες θέσεις, δηλαδή στις θέσεις ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να σχηματίζεται ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ του αγωγού φάσεως, και της γης. Οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού αυτού πεδίου, ξεκινούν από τον αγωγό, μετά διέρχονται από τον αέρα και από το μονωτικό υλικό του μονωτήρα, και έπειτα συνεχίζουν προς το γειωμένο μεταλλικό στέλεχος του μονωτήρα. Λόγω ιονισμού και μεταφοράς ηλεκτρικών φορτίων στον διάκενο αέρα, δημιουργούνται στις επιφάνειες διαχωρισμού μεταξύ αέρα και στερεού μονωτικού, επιφανειακά φορτία. Στη συνέχεια τα επιφανειακά αυτά φορτία εκφορτίζονται, γεγονός που οφείλεται κατά κύριο

λόγο στη διαρκή εναλλαγή πολικότητας της τάσεως έναντι της γης. Οι διαρκείς εκφορτίσεις ενός μέρους της συνολικής χωρητικότητας του στερεού μονωτικού, γίνονται αντιληπτές λόγω του χαρακτηριστικού τους θορύβου. Εκτός αυτού έχουν ως αποτέλεσμα μία στιγμιαία βύθιση της τάσεως στο μονωτήρα.

Αν θεωρήσουμε ότι τη στιγμή που ο μονωτήρας χωρητικότητας C βρίσκεται υπό τάση U , δημιουργείται εκκένωση της μερικής χωρητικότητας C_μ , τότε η τάση U_μ , η οποία δίνεται από τη σχέση $U_\mu = U \cdot \frac{C}{C_\mu}$ (3.5) μηδενίζεται απότομα.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εφαρμόζεται ήδη στο μονωτήρα, η τάση $U - U_\mu$. Ο μονωτήρας, βρισκόμενος υπό την επίδραση του φορτίου που βρίσκεται στον αγωγό, αρχίζει αμέσως να επαναφορτίζεται στην τάση U , σύμφωνα με τη σχέση

$$u(t) = U - U_\mu \cdot e^{-t/ZC} \quad (3.6)$$

Στην παραπάνω σχέση $u(t)$, U και U_μ μετρούνται σε V ή kV, Z είναι η ωμική αντίσταση της γραμμής υψηλής τάσης και μετράται σε Ω , C μετράται σε μF και t μετράται σε μs .

Για την ένταση των παρασίτων αποφασιστικό ρόλο, εκτός από τη βύθιση τάξεως U_μ που αναφέρθηκε παραπάνω, παίζει και η διάρκειά τους (δηλαδή το γινόμενο $Z \cdot C$). Υπό δεδομένες τιμές των χωρητικοτήτων C και C_μ , και υπό δεδομένη τιμή της τάσης U , είναι δεδομένο το εύρος της διαταραχής U_μ . Επομένως η διάρκεια της διαταραχής U_μ εξαρτάται μόνο από την τιμή της κυματικής αντίστασης της γραμμής υψηλής τάσης. Όσο μικρότερη είναι η τιμή αυτή, τόσο μικρότερη είναι και η διάρκεια των παρασίτων.

Από τον τρόπο δημιουργίας των παρασίτων, καθώς και από την ανάλυση της κυματομορφής $u(t) = U - U_\mu \cdot e^{-t/ZC}$ (3.7) κατά Fourier συμπεραίνουμε ότι:

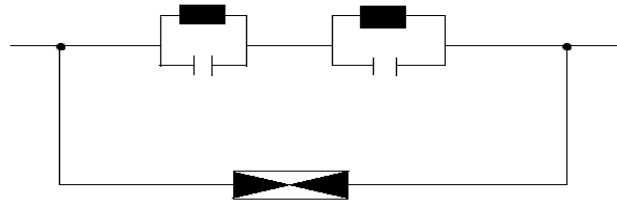
- i) Όλες οι αρμονικές ανωτέρας τάξεως έχουν μικρότερο εύρος από την κυματομορφή $u(t)$.
- ii) Το εύρος των αρμονικών, που βρίσκονται μέσα στη ζώνη συχνοτήτων όπου γίνεται η ραδιοφωνική λήψη, είναι πάρα πολύ μικρό. Για την ακρίβεια είναι μικρότερο του εύρους της αρχικής κυματομορφής κατά 10n φορές, όπου n =φυσικός αριθμός.

Με βάση λοιπόν τα δύο παραπάνω συμπεράσματα, και γνωρίζοντας ότι κάθε δέκτης “αντιλαμβάνεται” μόνο ένα μέρος, για την ακρίβεια μόνο μία ζώνη, του φάσματος συχνοτήτων των παρασίτων, είναι προφανές πως για την ελάττωση ή και εξουδετέρωση των παρασίτων υπάρχουν οι εξής τρόποι:

1. Απομάκρυνση εκείνων των μονωτήρων που εμφανίζουν ρωγμές από τη γραμμή. Η απομάκρυνση αυτών των μονωτήρων, συντελεί στην ουσιαστική ελάττωση των παρασίτων και εξυπηρετεί επίσης στην ασφαλή λειτουργία του δικτύου.
2. Χρήση συνθετικών μονωτήρων οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μονωτήρες ανάρτησης ή/και στήριξης, ως διαχωριστές φάσεων σε γραμμές μεταφοράς Υψηλής Τάσης, καθώς και σε δίκτυα διανομής [24].
3. Η χρησιμοποίηση μονωτήρων, οι οποίοι δεν παρουσιάζουν φαινόμενα μερικών εκκενώσεων, λόγω της ειδικής διαμόρφωσής τους, συντελεί στη σημαντική μείωση των παρασίτων. Η χρησιμοποίησή τους μπορεί να γίνει, αν όχι σε ολόκληρο το μήκος του δικτύου, τουλάχιστον σε τμήματα του δικτύου που βρίσκονται στο μέσο κατοικημένων περιοχών. Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν τέτοιοι μονωτήρες σε ορισμένα μόνο τμήματα του δικτύου, θα πρέπει αυτά τα τμήματα να συνδέονται

με τα υπόλοιπα τμήματα του δικτύου μέσω διατάξεων αποκοπής (φραγής) των παρασίτων, όπως για παράδειγμα στο παρακάτω σχήμα:

Σχήμα 3.3. Παράδειγμα χρήσης ειδικών μονωτήρων για την ελάττωση των παρασίτων



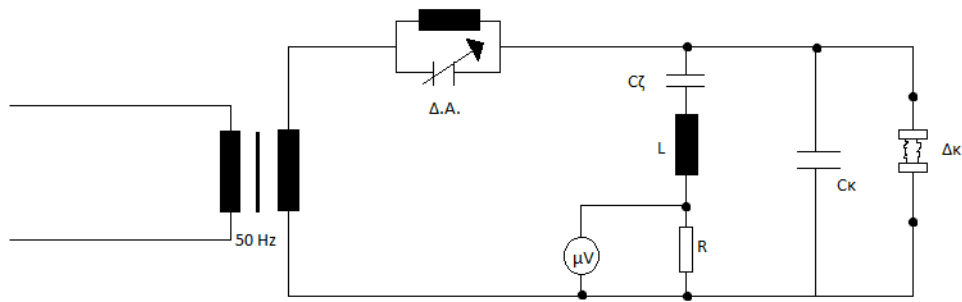
Γενικά οι χρησιμοποιούμενες διατάξεις αποκοπής παρασίτων ή έχουν υπολογιστεί έτσι ώστε να αποκόπτουν τις συχνότητες στις οποίες επιθυμείται να υπάρχει καλή ραδιοφωνική λήψη ή συνίστανται από απλά στραγγαλιστικά πηνία.

Αφού αναλύθηκε ο τρόπος δημιουργίας παρασίτων, ο τρόπος με τον οποίο τα παράσιτα αυτά γίνονται αντιληπτά, αλλά και ποιες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την ελάττωση (ή και εξουδετέρωση) των παρασίτων, θα αναφερθεί παρακάτω ο τρόπος με τον οποίο γίνεται έλεγχος σε κάθε στοιχείο ενός δικτύου υψηλής τάσης ως προς τα παράσιτα που δημιουργεί στη ραδιοφωνική λήψη.

Για να είναι δυνατός ο έλεγχος ενός στοιχείου δικτύου υψηλής τάσης ως προς τα παράσιτα που δημιουργεί στη ραδιοφωνική λήψη, έχει σχεδιαστεί από την ειδική διεθνή επιτροπή για τις ραδιοφωνικές διαταραχές (CISPR) μία συσκευή μετρήσεως ραδιοφωνικών παρασίτων, η οποία αργότερα διαμορφώθηκε από την ελβετική ηλεκτροτεχνική ένωση (SEV) κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει μετρήσεις σε δίκτυα υψηλής τάσης. Η συσκευή αυτή μετράει την πτώση τάσεως (σε μV) κατά μήκος μιας ωμικής αντίστασης R , η οποία είναι αντίστοιχη της κυματικής αντίστασης της εναερίου γραμμής υψηλής τάσης, λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις συχνότητες που βρίσκονται εντός μίας ορισμένης ζώνης.

Κατά τη δοκιμή, το στοιχείο που βρίσκεται προς έλεγχο, τίθεται υπό τάση μεγαλύτερη κατά 10% από τη φασική τάση του ηλεκτρικού δικτύου. Με τον τρόπο αυτό γίνεται προσομοίωση των συνθηκών κανονικής λειτουργίας, και αντιμετωπίζεται και το ενδεχόμενο διακύμανσης της τάσης. Να σημειωθεί ότι η ζώνη συχνοτήτων έχει εύρος 9 KHz με κεντρική συχνότητα $f_0 = 1 \text{ MHz}$. Το κύκλωμα μετρήσεως παρασίτων που περιγράφηκε παραπάνω φαίνεται αναλυτικά στο παρακάτω σχήμα:

Σχήμα 3.4. Κύκλωμα μέτρησης παρασίτων



Δ.Α.: Διάταξη αποκοπής υφισύχνων ταλαντώσεων (διαταραχών) που προέρχονται από το δίκτυο. Πρέπει δια $f_0 = 1 \text{ MHz}$, να εμφανίζει αντίσταση τουλάχιστον $1 \text{ k}\Omega$.

C_ζ : Πυκνωτής ζεύξεως για προστασία του οργάνου μετρήσεως έναντι της υψηλής τάσης, τιμής τουλάχιστον 500 pF .

L: Αυτεπαγωγή αντισταθμίσεως της χωρητικότητας C_ζ , τιμής τέτοιας ώστε για $f_0 = 1 \text{ MHz}$ να προκύπτει αντίσταση μικρότερη των 300Ω (χωρητικού χαρακτήρα).

R: Ωμική αντίσταση (η οποία έχει τιμή $Z/2$, όταν ο ελεγχόμενος μονωτήρας πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυο γραμμής κυματικής αντίστασης Z και σε θέση όπου δεν υπάρχει αλλαγή των χαρακτήρων της γραμμής).

μV : Μικροβολτόμετρο (συσκευή μετρήσεως ραδιοφωνικών διαταραχών) για τη μέτρηση της πτώσης τάσης, κατά μήκος της R, υπό μέση συχνότητα δέσμης συχνοτήτων $f_0 = 1 \text{ MHz}$ και και εύρος δέσμης συχνοτήτων ίσο με 9 kHz ($1 \text{ MHz} \pm 4,5 \text{ kHz}$).

C_κ : Χωρητικότητα του κυκλώματος δοκιμής (πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερης τιμής).

Δ_κ : Δοκίμιο (μονωτήρας).

Ανάλογα με την τάση λειτουργίας του δικτύου, εξασφαλίζονται συνθήκες καλής ραδιοφωνικής λήψης, μέσω μονωτήρων. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από τη ραδιοφωνική λήψη εξαρτώνται από παράγοντες όπως:

- 1) ο αριθμός των μονωτήρων στους οποίους εμφανίζονται εκκενώσεις,
- 2) η απόσταση των μονωτήρων στους οποίους εμφανίζονται εκκενώσεις, από τη θέση ραδιοφωνικής λήψης,
- 3) το πλήθος των διασυνδεδεμένων γραμμών υψηλής τάσης,
- 4) την απόσβεση που υφίστανται οι διάφορες συχνότητες,
- 5) τις θέσεις ανακλάσεως κ.α.

Προκειμένου να αποφευχθεί εμφάνιση μερικών εκκενώσεων σε μονωτήρες, πρέπει αυτοί να μην εμφανίζουν αιχμές και ακίδες σε θέσεις όπου θα μπορούσε να σημειωθεί μέγιστη τιμή της πεδιακής εντάσεως (μεγαλύτερη από 300 kV/cm) ή να περιβληθούν ηλεκτρόδια εξομαλύνσεως της πεδιακής κατανομής. Πρέπει επίσης τα διάκενα αέρα που βρίσκονται μεταξύ τεμαχίων πορσελάνης να μην υφίστανται υπερβολική ηλεκτρική καταπόνηση. Για να επιτευχθούν όλα τα παραπάνω πρέπει να υπολογιστεί το ηλεκτρικό

πεδίο που σχηματίζεται γύρω από ένα μονωτήρα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ακρίβεια, γρήγορα και οικονομικά με μία από τις παρακάτω μεθόδους:

- Μέθοδος των διαφορών
- Μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων
- Μέθοδος των ισοδύναμων φορτίων

Οι παραπάνω μέθοδοι είναι μέθοδοι αριθμητικού υπολογισμού ηλεκτρικών πεδίων, ενώ πολύ καλά αποτελέσματα δίνει και η εφαρμογή μεθόδου, η οποία βασίζεται σε συνδιασμό της μεθόδου των ισοδύναμων φορτίων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι σε όλα τα παραπάνω υποτέθηκε ότι η γραμμή υψηλής τάσης λειτουργεί υπό τάση μικρότερη από την τάση ενάρξεως (U_a) στεμματοειδών εκκενώσεων (Corona), πράγμα που συμβαίνει κατά κανόνα στην πράξη. Κοντά σε γραμμή υψηλής τάσης που λειτουργεί υπό τάση μεγαλύτερη από την U_a , η ραδιοφωνική καθώς και η τηλεοπτική λήψη γίνεται εξαιτίας των πολλών παρασίτων, σχεδόν αδύνατη. Ανάλογα φαινόμενα παρατηρούνται και κοντά σε κέντρα υπερυψηλής τάσης. Υπό ομαλές συνθήκες μία γραμμή μεταφοράς λειτουργεί πάντοτε υπό τάση μικρότερη της τάσης ενάρξεως U_a , για να αποφεύγονται άσκοπες απώλειες ισχύος.

3.1.1.5 Προβλήματα Corona

Στις γραμμές μεταφοράς που επικρατεί υψηλή ή υπερυψηλή τάση δημιουργείται ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο γύρω από την επιφάνεια των αγωγών, το οποίο μπορεί να επιταχύνει ορισμένα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στον αέρα (κοντά στον αγωγό), που με τη σειρά τους μπορούν να ιονίσουν τα μόρια του αέρα. Εάν η τάση υπερβεί μια ορισμένη τιμή, ο ιονισμός είναι αυξανόμενος, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικών εκκενώσεων, οι οποίες φαίνονται σαν μια αμυδρή λάμψη γύρω από τον αγωγό, χρώματος βιολετί. Αυτό είναι γνωστό ως φαινόμενο Corona και έχει ως αποτέλεσμα:

- Απώλειες ενέργειας, που σε κανονικές συνθήκες κυμαίνονται από 1 έως 2kW ανά km της γραμμής μεταφοράς.
- Ραδιοφωνικές παρεμβολές στην περιοχή συχνοτήτων 0,2 - 4MHz.

Οι απώλειες που δημιουργούνται από το φαινόμενο Corona επηρεάζονται πάρα πολύ από τις καιρικές συνθήκες. Η υγρασία και κυρίως η βροχή τις αυξάνουν πολύ, έως και 30kW ανά km γραμμής.

Στην πράξη περιορίζονται σε ανεκτά επίπεδα με την αύξηση της διαμέτρου των αγωγών, που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια αυτών. Στις υπερυψηλές όμως τάσεις η αύξηση της διαμέτρου των αγωγών, είναι πολλές φορές ασύμφορη. Γι'αυτό το λόγο προτιμάται η χρήση πολλαπλών αγωγών, που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση και πάλι του ηλεκτρικού πεδίου η οποία είναι η αιτία του φαινομένου Corona [25].

3.1.2 Περιορισμοί σε εναέρια δίκτυα διανομής

Οι εναέριες γραμμές διανομής διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Στις γραμμές μέσης τάσης: Είναι οι γραμμές οι οποίες πραγματοποιούν την πρώτη διανομή της ηλεκτρικής ισχύος (πρωτεύουσα διανομή) που παραλαμβάνουν από τις γραμμές μεταφοράς προς τους τοπικούς υποσταθμούς.
- Στις γραμμές χαμηλής τάσης: Είναι οι γραμμές οι οποίες πραγματοποιούν τη δεύτερη διανομή της ηλεκτρικής ισχύος (δευτερεύουσα διανομή) που παραλαμβάνουν από τους υποσταθμούς διανομής χαμηλής τάσης προς τους καταναλωτές.

3.1.2.1 Γραμμές μέσης τάσης

Τμήμα του δικτύου διανομής είναι και οι γραμμές μέσης τάσης (20kV), οι οποίες τροφοδοτούν τις γραμμές χαμηλής τάσης μέσω των υποσταθμών διανομής, που περιλαμβάνουν μετασχηματιστές μέσης προς χαμηλή τάση. Οι γραμμές μέσης τάσης μπορεί να είναι εναέριες ή υπόγεια καλώδια. Οι εναέριες γραμμές δημιουργούν τόσο ηλεκτρικά όσο και μαγνητικά πεδία, ενώ τα υπόγεια καλώδια μόνο μαγνητικά πεδία.

Λόγω της ηλεκτρικής συνδεσμολογίας τους, οι γραμμές αυτές δεν εμφανίζουν τις ασυμμετρίες στα ρεύματα που εμφανίζουν αυτά στις γραμμές χαμηλής τάσης. Περαιτέρω, υπολογίστηκε ο παράγοντας παράταξης (array factor) για δύο αγωγούς και παρατηρήθηκε μια αύξηση 17% από την ακτινοβολία στην περίπτωση του απλού αγωγού [26], [27], [28]. Θεωρείται ότι οι γραμμές μετάδοσης που μεταφέρουν κύματα εγκάρσια H/M - transverse electromagnetic (TEM) δεν πρέπει να συγκριθούν με τα γραμμικής παράταξης στοιχεία, δεδομένου ότι οι μηχανισμοί ακτινοβολίας τους είναι διαφορετικοί. Από τον πίνακα 3.1 στον οποίο αναγράφονται οι τιμές των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων γύρω από τους εναέριους αγωγούς, είναι εμφανές πως οι τιμές τόσο του ηλεκτρικού όσο και του μαγνητικού πεδίου των γραμμών μέσης τάσης είναι πολύ ασθενέστερο από αυτές των γραμμών υψηλής τάσης, το οποίο σημαίνει πως και η επιρροή τους τόσο στις τηλεπικοινωνίες όσο και στα ραδιοφωνικά σήματα θα είναι σαφώς χαμηλότερη.

3.1.2.2 Γραμμές χαμηλής τάσης

Οι εναέριες γραμμές χαμηλής τάσης δημιουργούν πολύ μικρά ηλεκτρικά πεδία. Τα μαγνητικά πεδία ανέρχονται σε μερικά μT πλησίον των αγωγών και είναι αμελητέα σε απόσταση μερικών μέτρων.

3.2 Περιορισμοί όδευσης τηλεπικοινωνιακών αγωγών σε υπόγειες γραμμές μεταφοράς και διανομής

Σε κατοικημένες περιοχές η μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με υπόγεια δίκτυα για λόγους χωροταξικούς, ασφαλείας, καλαισθητικούς, κ.λ.π. Ιδιαίτερα το δίκτυο διανομής είναι σε μεγάλο βαθμό υπόγειο. Βασικό όμως μειονέκτημα των υπόγειων δικτύων είναι το πολύ υψηλό κόστος σε σχέση με αυτό των εναέριων, κυρίως λόγω της καλής μόνωσης που απαιτείται σε όλο το μήκος της υπόγειας γραμμής. Το κόστος αυτό μειώνεται, όταν μειώνεται και η τάση. Ένα άλλο μειονέκτημα των υπόγειων δικτύων είναι η μειωμένη δυνατότητα φόρτισής τους, λόγω του περιορισμού στην ανύψωση της θερμοκρασίας του μονωτικού τους υλικού. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα να μπαίνουν κάποια όρια στο μέγεθος των αγωγών και στο ρεύμα που μπορούν να μεταφέρουν.

Τα χρησιμοποιούμενα καλώδια διακρίνονται σε:

- Καλώδια χαμηλής τάσης
- Καλώδια μέσης τάσης
- Καλώδια υψηλής τάσης
- Καλώδια υπερυψηλής τάσης

Στην πράξη η ανάπτυξη υπόγειων δικτύων απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή όσον αφορά το βάθος, την πίεση που δέχονται και τη διαδρομή τους. Η τοποθέτηση αυτών γίνεται σε βάθος 50cm έως 70cm και για τη μικρή τους καταπόνηση δίνεται ιδιαίτερη προσοχή, ώστε η διαδρομή του δικτύου να γίνεται από σημεία που η επιφάνεια του εδάφους δέχεται μικρές καταπονήσεις (π.χ. κάτω από τα πεζοδρόμια). Η διαδρομή τους πρέπει να είναι ευθύγραμμη και, όπου χρειάζεται αλλαγή κατεύθυνσης, να γίνεται με κυκλική καμπύλωση και όχι απότομα. Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε πως τα δίκτυα επικοινωνιών και ενέργειας ανταγωνίζονται για τη χρήση του διατιθέμενου χώρου.

Εντός αστικών περιοχών, καλώδια υψηλής τάσης τοποθετούνται υπογείως σε βάθος της τάξης του ενός με δύο μέτρων κάτω από δρόμους και πεζοδρόμια. Στα υπόγεια καλώδια οι ρευματοφόροι αγωγοί είναι μονωμένοι και έτσι μπορούν να τοποθετηθούν πολύ κοντά ο ένας στον άλλον, δημιουργώντας έτσι μικρότερα πεδία σε σχέση με τις αντίστοιχες διατάξεις εναερίων γραμμών. Παρόλα αυτά, στα σημεία που βρίσκονται ακριβώς πάνω τους δημιουργούνται σημαντικά μαγνητικά πεδία, τα οποία όμως φθίνουν πολύ γρηγορότερα με την απόσταση σε σχέση με αυτά που δημιουργούνται από αντίστοιχες εναέριες γραμμές.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, το ηλεκτρικό πεδίο έχει την ιδιότητα να μπορεί να μονωθεί από τα συνήθη δομικά υλικά. Αντίθετα, το μαγνητικό πεδίο τα διαπερνά. Συνεπώς, εντός κτιρίων κειμένων πλησίον των γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας σχηματίζονται μόνο μαγνητικά πεδία από την πηγή αυτή. Από τις υπόγειες γραμμές δημιουργούνται στον περιβάλλοντα χώρο μόνο μαγνητικά πεδία [29]. Τα μαγνητικά πεδία ανέρχονται σε μερικά μΤ πλησίον των αγωγών και είναι αμελητέα σε απόσταση μερικών μέτρων.

3.2.1 Αποστάσεις αγωγών τηλεπικοινωνιών από γραμμές και ισχυρά ρεύματα

Ο ΟΤΕ έχει εκδώσει κανονισμούς σύμφωνα με τους οποίους όσον αφορά τους αγωγούς του και τις αποστάσεις από γραμμές και ισχυρά ρεύματα της ΔΕΗ ισχύουν τα ακόλουθα:

1. Οι αγωγοί της ΔΕΗ που βρίσκονται πάνω από τις γραμμές του ΟΤΕ πρέπει να είναι πολύκλωνοι, εκτός και αν η τάση είναι μικρότερη των 400 V και το άνοιγμα των στύλων της ΔΕΗ μικρότερο από 80 m.
2. Απαγορεύεται η στήριξη των τηλεπικοινωνιακών γραμμών σε φορείς γραμμών υψηλών ρευμάτων.
3. Οι αποστάσεις μεταξύ των γυμνών γραμμών της ΔΕΗ και των τηλεπικοινωνιακών γραμμών του ΟΤΕ πρέπει να είναι μεγαλύτερες από:
 - i. 1,2m για ονομαστική τάση 0-8.7 kV
 - ii. 2m για ονομαστική τάση 8.7 - 50 kV
 - iii. 2m και άνω για τάσεις πάνω από τα 50 kV.
4. Όταν οι αγωγοί της ΔΕΗ είναι μονωμένοι τότε η απόσταση από τις γραμμές του ΟΤΕ πρέπει να είναι μεγαλύτερη από:
 - i. 0,60m για ονομαστική τάση 0-8.7 kV
 - ii. 1,20m για ονομαστική τάση 8.7- 50 kV
 - iii. 1,80m για ονομαστική τάση 50 kV
 - iv. 0,60 m για τους επιτόνους και αγωγούς προστασίας έναντι κεραυνών

Σε κάθε περίπτωση που δεν μπορούν να τηρηθούν οι κατάλληλες αποστάσεις αντικαθιστούμε τους γυμνούς αγωγούς με μονωμένους, (π.χ. PVC) ή με αυτοστήρικτα μονωμένα καλώδια. Όταν οι αποστάσεις των στύλων των ενεργειακών γραμμών είναι μεγαλύτερες των 75 m τότε αυξάνουμε κατά 1 εκατοστό ανά μέτρο υπερβάσεως των 75 m. Προτιμούμε οι τηλεπικοινωνιακές γραμμές να περνούν κάτω από τις ηλεκτροφόρες όταν είναι υποχρεωτική η διασταύρωση ή η συμπόρευση, αλλά πάντα θα είναι με PVC.

5. Επιβάλλεται η αντικατάσταση των γυμνών συρμάτων με μονωμένα (PVC) στο τμήμα εκείνο της γραμμής που βρίσκεται εντός ζώνης εύρους 16 m εκατέρωθεν του άξονα της γραμμής ισχυρών ρευμάτων.

Όσον αφορά την προστασία των τηλεπικοινωνιακών αγωγών από υπέρταση λόγω επαφής με ενεργειακές γραμμές, σύμφωνα και πάλι με τις οδηγίες του ΟΤΕ θα πρέπει να ισχύουν τα ακόλουθα:

Οι διασταυρώσεις και οι στενές προσπελάσεις των γραμμών ενεργείας με τηλεπικοινωνιακές γραμμές πρέπει να αποφεύγονται κατά την κατασκευή, γιατί υπάρχει κίνδυνος σε περίπτωση θραύσης στύλου ή σύρματος να έρθουν σε αμοιβαία εμπλοκή και οι τηλεπικοινωνιακές γραμμές να αποκτήσουν την τάση των ενεργειακών γραμμών. Πολλές φορές όμως αυτές οι επικίνδυνες θέσεις δεν μπορούν να αποφευχθούν. Στις επικίνδυνες θέσεις που αναφέραμε προηγουμένως λαμβάνουμε τα εξής ειδικά μέτρα προστασίας:

- i. Οι γυμνοί αγωγοί αντικαθίστανται από αγωγούς της ίδιας διαμέτρου και του ιδίου τύπου σύρματος μονωμένους με PVC

- ii. Γίνεται ενίσχυση των ακραίων στυλωμάτων του τμήματος της γραμμής που αντικαταστάθηκε με PVC
- iii. Γίνεται πύκνωση των ενδιάμεσων στυλωμάτων για ενίσχυση των γραμμών από υπερβολικές μηχανικές φορτίσεις [30].

3.3 Προβλήματα που δημιουργούν οι Α/Γ σε επικοινωνιακές ζεύξεις

Τα ασύρματα τηλεπικοινωνιακά συστήματα κάθε κατηγορίας συνηθίζεται να εγκαθίστανται στα υψηλότερα σημεία μιας περιοχής. Ωστόσο, τα ίδια σημεία θεωρούνται κατάλληλα για την παραγωγή αιολικής ενέργειας λόγω της αυξημένης ταχύτητας και της καλύτερης ποιότητας –λόγω της μεγαλύτερης ομαλότητας- του ανέμου σε μεγαλύτερα ύψη. Έτσι, μεγάλο εύρος τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών ενδεχομένως υφίστανται σε χώρους παραγωγής αιολικής ενέργειας. Ενδεικτικά αναφέρονται οι υπηρεσίες ραδιοφωνικής και τηλεοπτικής ευρυεκπομπής (broadcasting), τα κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας, εθνικές ζεύξεις δεδομένων, εκπαιδευτικές και κυβερνητικές εγκαταστάσεις και υπηρεσίες επειγόντων περιστατικών, όπως ασθενοφόρα ή λιμενικό. Επιπρόσθετα, οι διάφορες αυτές υπηρεσίες κάνουν χρήση διαφορετικών συχνοτήτων, τεχνικών μετάδοσης και κωδικοποίησης και κεραιών.

Οι βασικοί μηχανισμοί δημιουργίας ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών (electromagnetic interference (EMI)) από ανεμογεννήτριες μπορούν να διακριθούν σε *παθητικούς* και *ενεργητικούς*. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα φαινόμενα της παρεμπόδισης (ανάκλασης ή/και σκέδασης) και της διάθλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων λόγω της τους φυσικής παρουσίας αλλά και των υλικών από τα οποία κατασκευάζεται μία ανεμογεννήτρια. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκει η λεγόμενη επίδραση του κοντινού πεδίου και οι ενδεχόμενες εκπομπές H/M ακτινοβολίας. Συνολικά λοιπόν, διακρίνουμε 4 μηχανισμούς παρεμβολής. Από αυτούς οι δύο είναι ενεργητικοί και οι δύο παθητικοί και πρέπει να εξετάζονται κάθε φορά που πρόκειται να εγκατασταθεί ένα αιολικό πάρκο (Α/Π) σε μία περιοχή [31].

3.3.1 Ενεργητικοί μηχανισμοί παρεμβολής από ανεμογεννήτριες

3.3.1.1 Ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή EMI

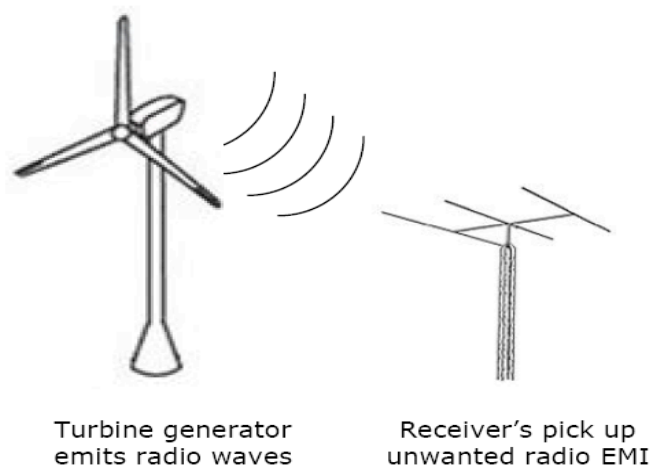
Πρόκειται για την παρεμβολή που εμφανίζεται σε περίπτωση που η Α/Γ ακτινοβολεί ραδιοσυχνότητες, οι οποίες ανήκουν σε μάντα συχνοτήτων που χρησιμοποιείται από κάποια τηλεπικοινωνιακή υπηρεσία. Η ακτινοβολία αυτή, αν υπάρχει, θα οφείλεται στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από τη γεννήτρια και τους διακόπτες που περιλαμβάνονται στο κέλυφος του στροφείου. Τα στοιχεία αυτά, οδηγούν σε έλλειψη H/M συμβατότητας στα διασυνδεδεμένα ηλεκτρικά και τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Οι σύγχρονοι όμως ηλεκτρικοί κινητήρες και γεννήτριες εκπέμπουν πολύ λίγο H/M θόρυβο και

σε πολύ μικρή συχνότητα, με αποτέλεσμα, η συχνότητα αυτή, σπάνια να συμπίπτει με τη μπάνα λειτουργίας τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.

Πηγή ανεπιθύμητης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι επίσης και η γραμμή μεταφοράς που συνδέει την ανεμογεννήτρια με το υπόλοιπο δίκτυο. Αυτό το είδος ακτινοβολίας αφορά κυρίως υπηρεσίες που χρησιμοποιούν διαμόρφωση πλάτους (amplitude modulation, AM), όπως για παράδειγμα είναι οι AM ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές εκπομπές. Η παρεμβολή των γραμμών μεταφοράς αποδεικνύεται μικρή σε σχέση με την παρεμβολή που προκαλούν οι Α/Γ λόγω του σαφώς μικρότερου ύψους τους και μπορεί να αποφευχθεί με κατάλληλο σχεδιασμό, όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 3.1.

Άλλες πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που προέρχονται από τα αιολικά πάρκα είναι οι ηλεκτρικοί μετασχηματιστές και οι υπόγειοι συλλέκτες του δικτύου καλωδίωσης, τα οποία λόγω της θέσης τους και των προστατευτικών καλυμμάτων τους δεν δημιουργούν αξιοσημείωτη ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή στο μεταδιδόμενο σήμα.

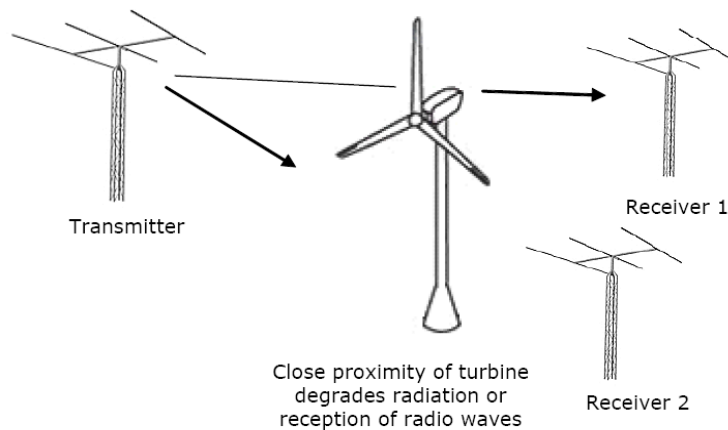
Σχήμα 3.5. Παρεμβολή λόγω EMI [31]



3.3.1.2 Φαινόμενο κοντινού πεδίου (Near field effect)

Κάθε κεραία εκπομπής ή λήψης περιβάλλεται από τη λεγόμενη ζώνη κοντινού πεδίου, η οποία απαιτεί καθαρότητα από οποιοδήποτε αντικείμενο ακτινοβολεί ή απορροφά ραδιοκύματα. Στη ζώνη αυτή, δεν είναι εύκολο να προβλέψουμε την επίδραση των διαφόρων σκεδαστών στην κεραία και ταυτόχρονα δεν υπάρχει βεβαιότητα για την αξιοπιστία των μετρήσεων. Το σίγουρο είναι πως η παρουσία οποιουδήποτε αντικειμένου μέσα σε αυτή τη ζώνη θα επιφέρει τη μείωση της αποτελεσματικότητας της κεραίας τροποποιώντας τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας της. Οι υπηρεσίες που επηρεάζονται πιο πολύ από το φαινόμενο αυτό, είναι αυτές που χρησιμοποιούν κινητούς δέκτες οι οποίοι μπορεί ανά στιγμές να λειτουργούν μερικά μόνο μέτρα μακριά από κάποια Α/Γ.

Σχήμα 3.6. Παρεμβολή λόγω κοντινού πεδίου [31]

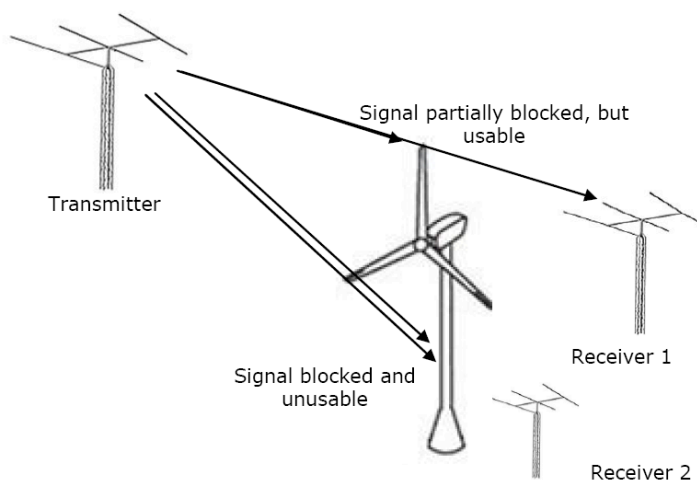


3.3.1.3 Παθητικοί μηχανισμοί Η/Μ παρεμβολής από ανεμογεννήτριες

3.3.1.3.1 Διάθλαση (Diffraction)

Αναφέρεται στην παρεμβολή που δημιουργείται όταν ένα εμπόδιο όπως μία Α/Γ παρακαλύψει μερικώς ή ολικά το ραδιοδρόμο και μεταβάλλει το μέτωπο κύματος που διαδίδεται στο χώρο εμποδίζοντας τη διάδοσή του. Πρέπει να τονιστεί ότι για να συμβεί το φαινόμενο της διάθλασης δεν είναι ανάγκη το εμπόδιο να έχει ανακλαστικές ιδιότητες. Αντιθέτως, μπορεί να συμβεί ακόμη και όταν το εμπόδιο είναι ένα αντικείμενο εντελώς απορροφητικό, αφού στον συγκεκριμένο μηχανισμό η φυσική παρουσία του εμποδίου αρκεί για την απώλεια ενέργειας και την πρόκληση παρεμβολής. Το φαινόμενο αυτό επηρεάζει όλες τις υπηρεσίες, αλλά εμφανίζεται εντονότερο στις μικροκυματικές σταθερές ζεύξεις και της υπηρεσίες ευρείας περιοχής κάλυψης. Στις τελευταίες, κάθε Α/Γ δημιουργεί μια στενή ζώνη διάθλασης πίσω της και ανατοποθετώντας την, απλά ανατοποθετούμε το πρόβλημα.

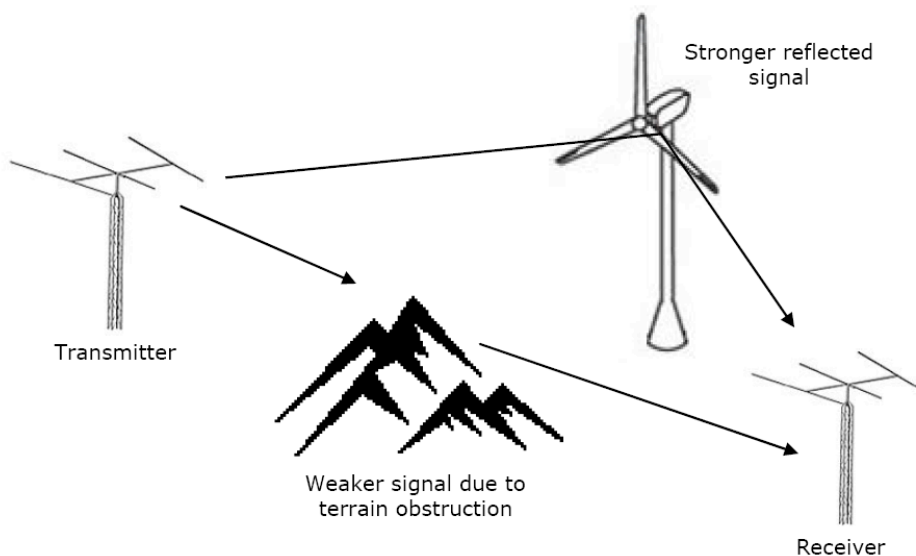
Σχήμα 3.7. Παρεμβολή λόγω διάθλασης [31]



3.3.1.3.2 Ανάκλαση (reflection) - σκέδαση (scattering)

Αποτελεί ίσως τον βασικότερο μηχανισμό παρεμβολής. Ένα τέτοιο φαινόμενο λαμβάνει χώρα όταν ένα εμπόδιο παρεμβάλλει στο ραδιοδρόμο με απαραίτητη όμως προϋπόθεση να είναι αγωγίμο, να διαθέτει δηλαδή ανακλαστικές ιδιότητες οπότε να ακτινοβολεί σήματα παρεμβολής στο δέκτη (αυτή είναι και η διαφορά με τη διάθλαση). Η επαναμετάδοση του αρχικού σήματος, υπό τη μορφή σκεδαζόμενου σήματος, από τα επιμέρους τμήματα της ανεμογεννήτριας και ιδιαίτερα από τα περιστρεφόμενα πτερύγιά της, έχει ως αποτέλεσμα ο δέκτης να λαμβάνει δύο σήματα. Ένα απευθείας και ένα σκεδαζόμενο, με το σκεδαζόμενο σήμα να δρα ως EMI καθώς εμφανίζει μία χρονική καθυστέρηση (διαφορά φάσης) ή παραμόρφωση σε σχέση με το αρχικό σήμα. Έτσι, δημιουργούνται φαινόμενα πολλαπλών διοδεύσεων και επαναχρησιμοποίησης συχνότητας. Η ανάλυση των φαινομένων σκέδασης και ανάκλασης γίνεται υπολογίζοντας το λόγο του σκεδαζόμενου σήματος προς το απευθείας σήμα.

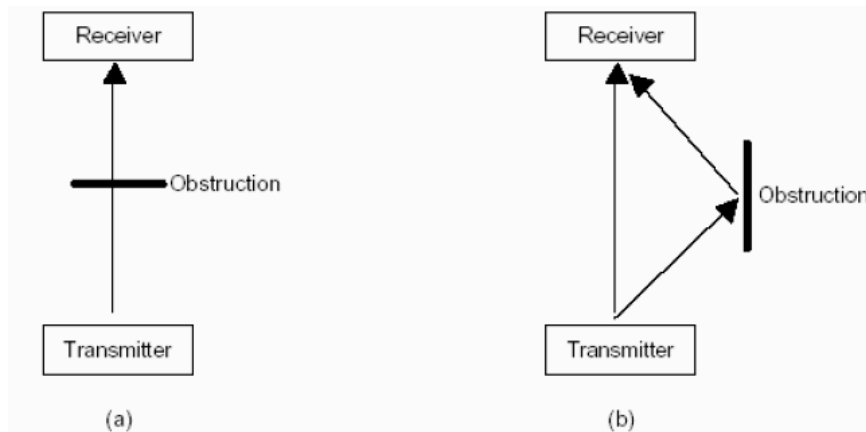
Σχήμα 3.8. Παρεμβολή λόγω ανάκλασης-σκέδασης [31]



Γενικά η δημιουργία εμποδίου, το οποίο προκαλεί φαινόμενα ανάκλασης, σκέδασης και διάθλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, λόγω της φυσικής παρουσίας και των υλικών από τα οποία κατασκευάζεται μία Α/Γ, μπορεί να οδηγήσει σε:

- Διακοπή ραδιοηλεκτρικής ζεύξης
- Σκίαση περιοχής υπηρεσίας (service area) κινητών τηλεπικοινωνιών ή τηλεόρασης
- Παρεμβολή στην τηλεοπτική λήψη
- Μείωση της ικανότητας του ραντάρ στην αναγνώριση αυθεντικών σημάτων από αεροσκάφη

Σχήμα 3.9. Φαινόμενα (α) Απευθείας παρεμπόδισης και (β) ανάκλασης λόγω εμποδίου [31]



Το είδος και το μέγεθος της EMI που δημιουργείται λόγω παθητικών και ενεργητικών μηχανισμών από την ανεμογεννήτρια εξαρτάται από:

- τη θέση της ανεμογεννήτριας σε σχέση με τον πομπό και το δέκτη
- την τοπογραφική μορφολογία μεταξύ πομπού και δέκτη
- την ύπαρξη άλλων ψηλών κατασκευών στην περιοχή του δέκτη
- τα υλικά κατασκευής των πτερυγίων της γεννήτριας
- το radar cross section (RCS) της Α/Γ
- το ρυθμό περιστροφής των πτερυγίων
- την κατεύθυνση των πτερυγίων
- το σχήμα διαμόρφωσης του σήματος
- τα χαρακτηριστικά της κεραίας του δέκτη (ισχύς, κατευθυντικότητα, ύψος)
- τα χαρακτηριστικά και το μήκος κύματος διάδοσης του ραδιοκύματος.

3.3.1.4 Επίδραση Α/Γ σε κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας (UHF:800-1900MHz)

Ένα κυψελωτό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας αποτελείται από γειτονικές περιοχές κάλυψης που ονομάζονται κυψέλες, και το μέγεθός τους μεταβάλλεται ανάλογα με την ακτίνα της περιοχής (2-10 km). Κάθε κυψέλη διαθέτει το δικό της σταθμό βάσης που εκπέμπει και δέχεται ραδιοσήματα εντός της καθορισμένης κυψέλης. Οι κεραίες των σταθμών βάσης απαιτείται να εγκαθίστανται σε θέσεις που δεν παρεμποδίζονται από κτίρια ώστε να μη δημιουργούνται «νεκρές ζώνες». Σε σχέση με την παρεμβολή από ανεμογεννήτριες και δεδομένου ότι τα αιολικά πάρκα εγκαθίστανται εκτός κατοικημένων περιοχών όπου η πυκνότητα σταθμών βάσης είναι μικρή σε σχέση με τις αστικές περιοχές, δεν υπάρχουν αναφορές στη διεθνή βιβλιογραφία για διαταραχή της επικοινωνίας σε ένα δίκτυο κινητών επικοινωνιών από ανεμογεννήτριες. Το GSM σύστημα που είναι το πιο

διαδεδομένο κυψελωτό σύστημα λειτουργεί στην Ευρώπη στα 900 MHz (και στα 1800 MHz που λέγεται DSC) και στην Αμερική στα 800 MHz (και στα 1900 MHz το DSC).

Η URS εντόπισε μέσω της βάσης δεδομένων της ACA (Australian Communications Authority) τρεις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας στην Αυστραλία οι οποίες έχουν σταθμούς βάσης σε ακτίνα 25 χμ. από εγκατεστημένο αιολικό πάρκο, την Optus, Telstra και Vodafone. Σύμφωνα με έρευνα που τους ανέθεσε επιβεβαιώθηκε ότι σε τέτοιες αποστάσεις δεν υπάρχει παρεμβολή από τις ανεμογεννήτριες.

Στην Αμερική η εταιρία Black and Veatch ανέλαβε το 2006 να διεκπεραιώσει για λογαριασμό της MTC (Massachusetts Technology Collaborative)-Renewable Energy Trust έρευνα σχετικά με τη δημιουργία παρεμβολών στον Eastham πύργο κινητής κυψελωτής τηλεφωνίας. Ως προς τις παρεμβολές κοντινού πεδίου βρέθηκε ότι το κοντινό πεδίο για UHF συχνότητες είναι περίπου 20 μέτρα. Δεδομένου ότι ο πύργος απείχε 115 μέτρα (380 feet) από την κοντινότερη Α/Γ το συγκεκριμένο Α/Π δεν δημιουργούσε παρεμβολές κοντινού πεδίου.

Ως προς τη διάθλαση βρέθηκε ότι για απόσταση πομπού-δέκτη 115 μέτρων η πρώτη ζώνη Fresnel θα είναι καθαρή, οπότε το σήμα δεν θα παρακωλύεται, μόνο αν ο επόμενος πύργος λήψης βρίσκεται μέσα σε απόσταση 25 μιλίων από τον πρώτο. Διαφορετικά, κάθε Α/Γ θα δημιουργεί μια στενή ζώνη διάθλασης εισάγοντας μία μικρή εξασθένιση στη διαθέσιμη ισχύ στο δέκτη και στην ένταση του σήματος. Ακόμη όμως και σε αυτή την περίπτωση η πιθανότητα απώλειας του σήματος είναι πολύ μικρή, οπότε τα φαινόμενα παρεμβολών λόγω διάθλασης είναι σχεδόν αμελητέα.

Τέλος, ως προς τη σκέδαση, επειδή τόσο τα πτερύγια όσο και ο πύργος της Α/Γ είναι πολύ λεπτά και καμπυλωτά, παρουσιάζουν αυξημένη τάση να διασκορπούν παρά να παρακωλύουν τα ραδιοκύματα. Ο απαιτούμενος ελάχιστος σηματοθορυβικός λόγος για την ομαλή λειτουργία των συστημάτων υπολογίζεται στα 12 dB για τη μετάδοση φωνής και 18 dB για τις υπηρεσίες του κυψελωτού συστήματος. Ένας τέτοιος SNR είναι εύκολα επιτεύξιμος από την τεχνολογία CDMA και υποδεικνύει απόσταση μεταξύ πύργου και Α/Γ ίση με 94.5 μέτρα (325 feet). Δεδομένου ότι η κοντινότερη Α/Γ απέχει από τον πύργο 114μ (380 πόδια), δεν υπάρχουν προβλήματα παρεμβολών λόγω σκέδασης και τα κυψελωτά συστήματα μπορούν να καταταγούν στις υπηρεσίες χαμηλού κινδύνου [31].

3.4 Προβλήματα που δημιουργούνται στη μετάδοση πληροφορίας λόγω εγκαταστάσεων ισχυρών ρευμάτων στα κτίρια - H/M παρεμβολές σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα από συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας

3.4.1 Απόσταση αναφοράς για την H/M παρεμβολή / Reference influence distance (RID)

Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη ή ίση με την απόσταση αναφοράς της H/M παρεμβολής (RID) από μια δεδομένη τηλεπικοινωνιακή

εγκατάσταση θεωρούνται εγκαταστάσεις ισχύος που επηρεάζουν τη συγκεκριμένη τηλεπικοινωνιακή εγκατάσταση [32].

3.4.2 Αναφορά ITU-T K.68 (04/2008)

Ο στόχος της RID είναι να περιορίσει τον αριθμό των εγκαταστάσεων που θα πρέπει να εξεταστούν καθώς προκαλούν επαγωγικά φαινόμενα στις τηλεπικοινωνίες, π.χ. κατά την κατασκευή ενός σπιτιού και για τις οποίες οι τιμές ηλεκτρικού ρεύματος / ηλεκτρικών τάσεων θα ήταν στην αντίθετη περίπτωση απαραίτητες. Ο RID έχει σαν πρακτικό στόχο να επιτρέπει να γνωρίζει κανείς ποιες είναι οι εγκαταστάσεις των οποίων τις προδιαγραφές πρέπει να ζητήσει από τη ΔΕΗ, τον ΟΤΕ ή τον διαχειριστή εκάστοτε δικτύου τηλεπικοινωνιών. Ωστόσο, η έννοια RID δεν εξαλείφει την ευθύνη των ενδιαφερομένων μερών σχετικά με τις παρεμβολές που μπορεί να συμβαίνουν σε αποστάσεις μεγαλύτερες από την RID. Η RID θα πρέπει να μετράται από την προβολή του κέντρου της γραμμής ισχύος προς τη γη. Οι RID τιμές που αναφέρονται στον πίνακα 3.2 πρέπει να εφαρμόζονται για συχνότητα ηλεκτρικού ρεύματος $f = 50/60$ Hz. Οι πίνακες αυτοί δίνουν τις τιμές της RID για δίκτυα πρόσβασης ή για τηλεπικοινωνιακές γραμμές μεγάλου μήκους ως συνάρτηση της ισοδύναμης αντίστασης του εδάφους, για υπέργεια και υπόγεια ac ηλεκτροφόρα καλώδια που είναι άμεσα γειωμένα, τόσο σε αγροτικές όσο και σε αστικές περιοχές [32].

Πίνακας. 3.2 Τιμές RID για a.c. ηλεκτρικές εγκαταστάσεις στα 50/60 Hz [32]

Μήκος τηλ/κου συστήματος	Αντίστοιχη αντίσταση εδάφους [Ω · m]	RID [m]			
		Ηλεκτρική εγκατάσταση			
		Υπέργεια		Υπόγεια	
		Αστική	Αγροτική	Αστική	Αγροτική
Γραμμή μικρού μήκους	50	550	70	Σημείωση	Σημείωση
	500	1700	100	Σημείωση	
	5000	5400	100	300	
Γραμμή μεγάλου μήκους	50	1200	500	300	20
	500	3700	1200	1000	
	5000	12000	2400	3100	
Σημείωση – Καμία παρεμβολή					

3.4.3 Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις μέσα στο κτίριο

3.4.3.1 Διευθέτηση κυκλωμάτων - Πορεία καλωδίων

Κατά κανόνα χρησιμοποιούμε ένα ιδιαίτερο κύκλωμα για κάθε μόνιμα εγκατεστημένη συσκευή ή έλεγχο. Αυτό για να μην παρενοχλεί η μια συσκευή την άλλη, για αποφυγή υπερφόρτισης των γραμμών και για λόγους απλότητας στη συντήρηση.

Οι αγωγοί δύο κυκλωμάτων ισχύος δεν συνυπάρχουν συνήθως στον ίδιο σωλήνα ή στο ίδιο καλώδιο. Κυκλώματα διαφορετικών τάσεων δεν τοποθετούνται στον ίδιο σωλήνα ή στο ίδιο καλώδιο. Επίσης διαχωρίζονται κυκλώματα ελέγχου από κυκλώματα ισχύος.

Τα καλώδια ασθενών ρευμάτων πρέπει να τρέχουν σε ξεχωριστό κανάλι. Τα καλώδια δομημένης καλωδίωσης πρέπει να απέχουν από τα καλώδια ισχυρών ρευμάτων τουλάχιστον 5 cm στην οριζόντια καλωδίωση και 30 cm στην κατακόρυφη. Ιδιαίτερα, πρέπει να τηρείται απόσταση 30 cm κατά την όδυσή τους από μηχανήματα ή συσκευές που προκαλούν ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Στην περίπτωση διασταύρωσης καλωδίων ασθενών και ισχυρών ρευμάτων τα καλώδια αυτά πρέπει να οδεύουν κάθετα, όπου αυτό είναι εφικτό [33].

3.4.3.2 Καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών εσωτερικών δικτύων ηλεκτρονικών επικοινωνιών

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ εναερίων γραμμών και υπερκείμενων γραμμών ηλεκτρικής τροφοδοσίας, διασταυρούμενων ή παράλληλων με αυτές, όπως ορίζονται από το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50174-3 [34].

Πίνακας. 3.3 πίνακας 2 προτύπου ΕΛΟΤ EN 50174-3 [34]

	Υπερκείμενες γραμμές ηλεκτρικής τροφοδοσίας >AC 1000V		Υπερκείμενες γραμμές ηλεκτρικής τροφοδοσίας <AC 1000V		
	καλώδια/αγωγοί	κολώνες	καλώδια	αγωγοί	κολώνες
Γραμμές ηλεκτρονικών επικοινωνιών	$[1,5 + (0,015 * U)]$ m	1,0 m	0,5 m	1,0 m	0,5 m
Κολώνες γραμμών ηλεκτρονικών επικοινωνιών	$[3 + (0,015 * U)]$ m	1,0 m	0,5 m	1,0 m	0,5 m
Σημείωση – U είναι η τάση της γραμμής ηλεκτρικής τροφοδοσίας σε kV					

Κεφάλαιο IV

Εκμετάλλευση δικτύων ενέργειας για επικοινωνιακούς σκοπούς

4.1 Γενικά – PLC/PLT

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η μελέτη των δυνατοτήτων εγκατάστασης και λειτουργίας τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών επί του ηλεκτρικού δικτύου. Αυτή η τεχνολογία αφορά στην μετάδοση τηλεπικοινωνιακού σήματος μέσω των γραμμών μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Στο συγκεκριμένο πλαίσιο υπάρχουν δύο βασικές κατευθύνσεις:

- Power-Line Communications (PLC) που αναφέρεται σε μετάδοση τηλεπικοινωνιακού σήματος εντός κτιριακών εγκαταστάσεων διαμέσου των καλωδίσεων ηλεκτρικού ρεύματος που είναι ήδη εγκατεστημένες στο κτίριο
- Power-Line Telecommunications (PLT) που αφορά την παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στο τελευταίο μίλι (last mile), όπως ονομάζεται το τμήμα του δικτύου από το κέντρο διανομής μέχρι τους καταναλωτές [35].

Το ηλεκτρικό δίκτυο προβάλλει ως υποψήφια λύση για την στήριξη υπηρεσιών επικοινωνίας σε φυσικό επίπεδο, σε δύο κύρια τηλεπικοινωνιακά θέματα:

1. Τη λειτουργία δικτύων επικοινωνιών υψηλών ταχυτήτων στα πλαίσια των καταναλωτών και αντίστοιχες εφαρμογές εντός των κτιρίων. Η τεχνολογία αυτή, γνωστή ως Power-Line Communications (PLC) , δοκιμάζεται ήδη και αποτελεί μία από τις εξεταζόμενες λύσεις στο χώρο της τελευταίας ίντσας (Last inch), όπως χαρακτηρίζονται τα εσωτερικά δίκτυα των κτιρίων. Το τελικό στάδιο στην ανάπτυξη των αντίστοιχων συστημάτων, θα είναι η αντικατάσταση του τηλεφωνικού κυκλώματος, αρχικά των σπιτιών και στη συνέχεια των μεγάλων κτιρίων, από το εσωτερικό ηλεκτρικό δίκτυο, μέσω του οποίου θα παρέχονται και υπηρεσίες τοπικού δικτύου (LAN) στον καλυπτόμενο χώρο
2. Την παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στο τελευταίο μίλι (last mile), όπως ονομάζεται το τμήμα του δικτύου από το κέντρο διανομής μέχρι τους καταναλωτές. Η έρευνα του αντικειμένου αυτού βρίσκεται ακόμα σε αρχικό στάδιο. Στόχος είναι η παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών σε τοπικό επίπεδο, με οργάνωση του ηλεκτρικού δικτύου διανομής σε τηλεπικοινωνιακό δίκτυο. Βασική φιλοδοξία είναι η υποκατάσταση των δικτύων των τερματικών τηλεφωνικών κέντρων από τα δίκτυα διανομής χαμηλής τάσης. Η τεχνολογία αυτή συνήθως καλείται Power-Line Telecommunications (PLT).

Ο όρος Power-Line Communications (PLC) αφορά εφαρμογές επικοινωνιών τοπικών δικτύων (LAN's), ενώ ο όρος Power-Line Telecommunications (PLT) δίκτυα παροχής

τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών σε ευρύτερες περιοχές με πολλούς πελάτες/καταναλωτές (το αντίστοιχο του τηλεφωνικού δικτύου που εξυπηρετείται από ένα τηλεφωνικό κέντρο). Τα συστήματα PLT, είναι μία τεχνολογία που αναπτύσσεται γρήγορα, στοχεύοντας στην εκμετάλλευση των γραμμών ηλεκτρικής ισχύος για μετάδοση δεδομένων. Το κύριο εμπόδιο στην κατεύθυνση της κοινωνίας της πληροφορίας είναι οι απαιτούμενες επενδύσεις για την κατασκευή της απαραίτητης υποδομής διασύνδεσης που θα προσεγγίσει το μέγιστο δυνατό αριθμό χρηστών για τις αντίστοιχες υπηρεσίες.

Οι ήδη διαθέσιμες τεχνολογίες, π.χ. ενσύρματες τηλεπικοινωνίες, οπτικές ίνες ή ασύρματες δορυφορικές δεν έχουν ακόμη δώσει λύση στο κρίσιμο αυτό πρόβλημα, το οποίο ενδέχεται να καθυστερήσει την υλοποίηση της κοινωνίας της πληροφορίας. Ωστόσο, αξίζει προσοχής το γεγονός ότι κάθε κτίριο είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο διανομής ρεύματος όπως και όλα τα δωμάτια των κτιρίων, μέσω καταλλήλων ρευματοδοτών. Όμως η σύνδεση του ηλεκτρικού δικτύου με την παροχή τηλεφώνου ή με το δίκτυο καλωδιακής τηλεόρασης δεν είναι εφικτή. Έτσι, η τεχνολογία PLT δημιουργεί καινούργιες προοπτικές για τη μαζική τοπική πρόσβαση σε τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες, με λογικό κόστος. Επιπλέον, μπορεί να παράσχει στους καταναλωτές ένα πλήθος νέων υπηρεσιών, όπως τηλεμετρία, έλεγχο και διαχείριση των συσκευών από απόσταση, διαχείριση ενέργειας, εφαρμογές οικιακού αυτοματισμού και άλλες εφαρμογές, οι οποίες είναι δύσκολο να υλοποιηθούν με άλλες τεχνολογίες.

Η εφαρμογή της τεχνολογίας PLT θα γίνει ιδιαίτερα αισθητή τόσο σε τεχνολογικό, όσο και σε επιχειρησιακό επίπεδο σε όλους τους φορείς που δραστηριοποιούνται στους κλάδους της ενέργειας και των επικοινωνιών. Θα επιτρέψει στις ενεργειακές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να λάβουν μέρος στον ανταγωνισμό για την παροχή πληροφοριακών υπηρεσιών σε τοπικό επίπεδο. Ως εκ τούτου θα λειτουργήσει ως παράγων επιτάχυνσης της πορείας προς την μαζική λειτουργία νέων πληροφοριακών εφαρμογών.

Η τοπική πρόσβαση είναι βασικό στοιχείο και προαπαιτούμενο για τη διασύνδεση της κοινωνίας της πληροφορίας, επί του οποίου πρόκειται να ανταγωνισθούν διάφορες προτεινόμενες λύσεις. Μία από αυτές είναι η τεχνολογία PLT και σε πολλές περιπτώσεις η τελική λύση που θα προκύψει θα έχει υβριδική μορφή, ενσωματώνοντας και διασυνδέοντας πολλές διαφορετικές τεχνολογίες.

Η ιδέα της χρησιμοποίησης των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ισχύος για μετάδοση τηλεπικοινωνιακών σημάτων είναι αρκετά παλιά. Ήδη, εδώ και αρκετά χρόνια έχει αναπτυχθεί η τεχνολογία τηλεχειρισμών Ripple control με βάση τον κώδικα Pulsadisi. Ωστόσο, μέχρι το πρόσφατο παρελθόν, οι εφαρμογές της συγκεκριμένης τεχνολογίας ήταν μόνο για μέτρηση της κατανάλωσης και έλεγχο του φορτίου και της κατάστασης του δικτύου. Εφαρμόζεται στο φάσμα των χαμηλών συχνοτήτων (100-900Hz) αλλά απαιτεί μεγάλη ισχύ εκπομπής (της τάξεως των 10kW), προσφέροντας μικρούς ρυθμούς μετάδοσης [35].

4.1.1 Γενικά προβλήματα χρήσης ηλεκτρικού δικτύου σε επικοινωνιακές εφαρμογές

Το ηλεκτρικό δίκτυο εμφανίζει ιδιότητες εξαιρετικά εχθρικές για επικοινωνιακές εφαρμογές. Συγκεκριμένα στις χαμηλές συχνότητες (LF), έως τα 300kHz, ο θόρυβος εξαιτίας των

διαφόρων συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο παρουσιάζεται ιδιαίτερος αυξημένος, ενώ από 1MHz και άνω έχει ήδη εξασθενήσει. Ο θόρυβος αυτός προκαλείται τόσο κατά την λειτουργία των συσκευών, όσο και κατά την σύνδεση και αποσύνδεσή τους από το δίκτυο (κρουστικός θόρυβος). Συχνά μάλιστα ο θόρυβος εμφανίζει συνιστώσες σε ανώτερες αρμονικές των 50Hz ή 60Hz, ανάλογα με ποια συχνότητα χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό δίκτυο.

Από την άλλη για μία σύγχρονη δικτυακή εφαρμογή θεωρούνται εκμεταλλεύσιμες ταχύτητες μετάδοσης από 1Mbps και άνω. Εξάλλου λόγω των παρασιτικών χωρητικοτήτων και των πυκνωτών που υπάρχουν στις διάφορες συσκευές (οι οποίες χωρητικότητες σε υψηλές συχνότητες λειτουργούν ως βραχυκυκλώματα) έχει βρεθεί ότι πάνω από τα 20MHz το χρήσιμο σήμα αποσβέννεται σε επίπεδα κάτω από το θόρυβο. Έτσι η εκμεταλλεύσιμη ζώνη συχνοτήτων θα αφορά τη ζώνη των συχνοτήτων HF (υψηλές συχνότητες) 1 MHz-20MHz. Στην μπάντα αυτή, όπως και σε μεγάλο τμήμα του φάσματος εκτός αυτής, δύο είναι τα βασικά χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού δικτύου: η χρονική εξάρτηση και η φασματική εξάρτηση. Η απόκριση συχνότητας των ηλεκτρικών δικτύων στο παραπάνω φάσμα παρουσιάζει εξάρτηση από τη συχνότητα με έντονα μέγιστα και ελάχιστα.

Επίσης παρατηρείται και χρονική μεταβλητότητα, εντονότερα κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου και της εβδομάδος και λιγότερο εποχιακά εξαρτώμενη. Όλα τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η μετάδοση δεν μπορεί να γίνει στη βασική ζώνη, δηλαδή τα bits να μεταδίδονται υπό μορφήν τετραγωνικών παλμών, αλλά θα πρέπει να επιχειρηθεί μέσω ψηφιακής διαμόρφωσης ενός φέροντος σήματος.

4.2 Power Line Telecommunications (Last mile)

4.2.1 Γραμμές μέσης τάσης

Η πτώση του ταχυδρομείου, των τηλεγραφημάτων, και το μονοπώλιο του τηλεφώνου στην Ευρώπη έχουν ανοίξει νέες δυνατότητες για αυτές: να προσφέρουν πρόσβαση σε μεγάλης έκτασης τηλεπικοινωνιακά δίκτυα μέσω γραμμών διανομής μέσης τάσης, και έτσι να συμπληρωθεί με άλλες "last mile" τεχνολογίες όπως ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (digital subscriber line-DSL), ασύρματο τοπικό κύκλωμα, ή τηλεφωνικές γραμμές [36].

Το δίκτυο ηλεκτροφόρων γραμμών, μπορεί εύκολα να προσφέρει αρκετό εύρος ζώνης για να υποστηρίξει πολλές υπηρεσίες χωρίς την εγκατάσταση πρόσθετων καλωδίων. Εξαιτίας της πανταχού παρουσίας του, η διανομή του ηλεκτρικού δικτύου ισχύος προσφέρει μια τεράστια δυνατότητα για εκτεταμένες γρήγορες και αξιόπιστες υπηρεσίες επικοινωνίας. Οι διάφοροι τομείς των εφαρμογών μπορούν να προβλεφθούν, ξεκινώντας, παραδείγματος χάριν, με τις απλές ανέξοδες υπηρεσίες που ενσωματώνονται στις οικιακές συσκευές, όπου ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων μερικών kilobits ανά δευτερόλεπτο είναι ικανοποιητικοί. Το επόμενο επίπεδο είναι πρόσβαση στο ίντερνετ μέσω της πρίζας στον τοίχο, όπου η ταχύτητα είναι στη χαμηλότερη έκταση των μεγαμπίτ μέχρι τη μεγάλη-ταχύτητα δικτύωσης που περιλαμβάνει γρήγορη πρόσβαση στο ίντερνετ, VoIP, και ψυχαγωγία στο σπίτι (δηλ., ροή ακουστική και τηλεοπτική σε ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στο ικανοποιητικό ρυθμό των 10 Mb/s). Ένας άλλος σημαντικός τομέας της έρευνας είναι η χρήση του μέσης τάσης δικτύου για λόγους επικοινωνίας. Το μέσης τάσης δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως

ραχοκοκαλιά για να συνδέσει τους χαμηλής-τάσης σταθμούς μετασχηματισμού με το ίντερνέτ εάν τα συμβατικά δίκτυα, όπως τα καλώδια οπτικών ινών, λείπουν. Σαφώς, η ανάπτυξη των κατάλληλων συστημάτων επικοινωνίας με ηλεκτροφόρες γραμμές – Power Line Communication (PLC) καταλήγουν να είναι μια πρόκληση καθώς αφορά κανάλια που δεν σχεδιάστηκαν ποτέ για τη μετάδοση σημάτων στις υψηλές συχνότητες.

Οι ευρυζωνικές επικοινωνίες πάνω από γραμμές ηλεκτρικής ισχύος-Broadband Power Line (BPL) communications έχουν τη δυνατότητα να φέρουν χαμηλού κόστους ευρυζωνική πρόσβαση σχεδόν σε κάθε σπίτι. Πριν αυτό γίνει μια πραγματικότητα, ωστόσο, ζητήματα συμβατότητας με τους άλλους χρήστες του ραδιοφάσματος πρέπει να επιλυθούν. Τα BPL συστήματα τυπικά λειτουργούν στην αποκαλούμενη υψηλής συχνότητας (HF) ζώνη, μια φασματική περιοχή εξαιρετική για μεγάλης απόστασης επικοινωνίες. Η δυνατότητα μεγάλης κλίμακας ανάπτυξης πιθανών παρεμβολών σε αυτή τη ζώνη έχει οδηγήσει σε μια συζήτηση που στρέφεται έντονα στον ανταγωνισμό μεταξύ του αναμενόμενου δημόσιου οφέλους του BPL ενάντια στην πιθανή ζημιά στους υπάρχοντες χρήστες. Μετά από την εκτενή αναθεώρηση των ζητημάτων, η αμερικανική ομοσπονδιακή επιτροπή επικοινωνιών - Federal Communications Commission (FCC) έχει παρουσιάσει μια έκθεση και κανόνες που επιτρέπουν στο BPL να λειτουργεί σε μία χωρίς άδεια βάση, υπό τον όρο ορισμένων τεχνικών και διοικητικών περιορισμών που προορίζονται για να προστατεύσουν τις εξουσιοδοτημένες ράδιο υπηρεσίες. Η διαμάχη δεν έχει υποχωρήσει εντούτοις, επειδή η άποψη παραμένει διχασμένη ως προς το εάν οι περιορισμοί της FCC παρέχουν την επαρκή προστασία για αυτούς τους επιβεβλημένους χρήστες.

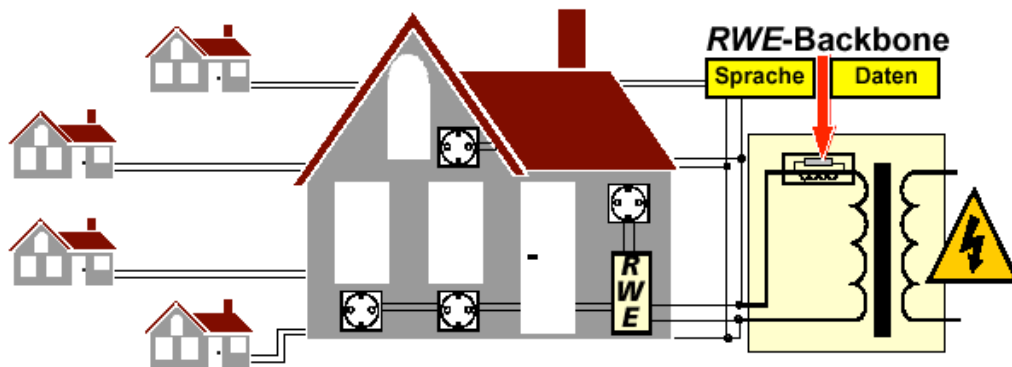
Το BPL είναι μια παραλλαγή μιας παλιάς ιδέας που προτείνει τη χρησιμοποίηση των γραμμών των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας μέσα στις γειτονιές και στα κτήρια, για να μεταφέρουν υψηλής ταχύτητας σήματα δεδομένων internet (ευρυζωνικό) για πρακτικές εφαρμογές. Αυτές οι σύγχρονες παραλλαγές είναι σε στάδιο που υποβάλλονται σε τεχνικές δοκιμές και βρίσκονται σε περιορισμένη υλοποίηση. Ανησυχίες έχουν προκληθεί ως προς την πιθανή παρεμβολή στους χρήστες του ράδιο φάσματος μεταξύ των 1,7 και 80 MHz.

Η PLT τεχνολογία επιτυγχάνει χαμηλό κόστος καθώς βασίζεται στο ήδη υπάρχον δίκτυο της εταιρίας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης αυτή η υπηρεσία είναι βολική διότι υπάρχει ήδη μέσα στη κατοικία ή σε οποιοδήποτε άλλο μέρος που έχει πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η πρόσβαση στο διαδίκτυο μπορεί να γίνει με 1Mbps το οποίο δίνει την δυνατότητα στους χρηστές να εξερευνήσουν το διαδίκτυο, να επικοινωνούν μέσω τηλεφωνικής γραμμής και να βλέπουν video από το διαδίκτυο ταυτόχρονα. Η τεχνολογία αυτή προσφέρεται σε δύο μορφές [36].

4.2.1.1 Server στον υποσταθμό

Σε αυτή την περίπτωση, η εταιρία παροχής διαδικτύου (internet provider) τοποθετεί το server της στον υποσταθμό, στην πλευρά της χαμηλής τάσης μετά τον μετασχηματιστή. Αυτό γίνεται, γιατί το σήμα καταστρέφεται όταν διαπερνά το μετασχηματιστή λόγω ισχυρών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Έτσι, χάρη του υπάρχοντος δικτύου διανομής κάθε κατοικία συνδέεται με τον server (είναι το λεγόμενο last mile). Στην κατοικία τώρα υπάρχουν δύο τρόποι σύνδεσης με την τελική συσκευή [36].

Σχήμα 4.1. Μεταφορά δεδομένων μέσω δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας κατευθείαν στο ρευματοδότη
[36]

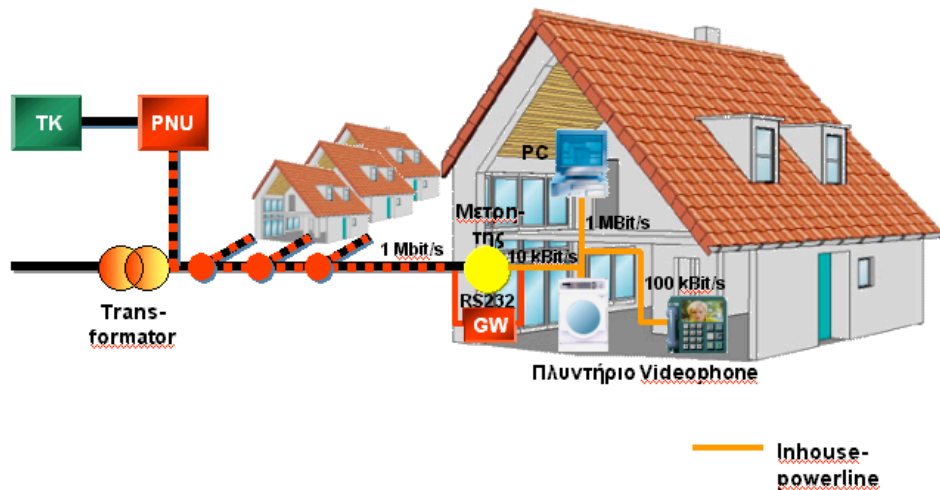


Η μία γίνεται απευθείας σε κάθε ρευματοδότη του σπιτιού με χρήση ειδικού modem όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Η άλλη γίνεται μέσω μιας συσκευής που τοποθετείται πριν τον μετρητή της ηλεκτρικής εταιρίας (Σχήμα 4.2) που ξεχωρίζει το σήμα πληροφορίας από το ηλεκτρικό όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.3. Μετά από αυτή την ηλεκτρονική συσκευή γίνεται σύνδεση με ομοαξονικό καλώδιο μέχρι τον τελικό αποδέκτη.

Σχήμα 4.2. Συσκευή που ξεχωρίζει ηλεκτρικό σήμα/σήμα πληροφορίας για τη μεταφορά δεδομένων μέσω δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας [36]



Σχήμα 4.3. Μεταφορά δεδομένων μέσω δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ειδικής συσκευής [36]



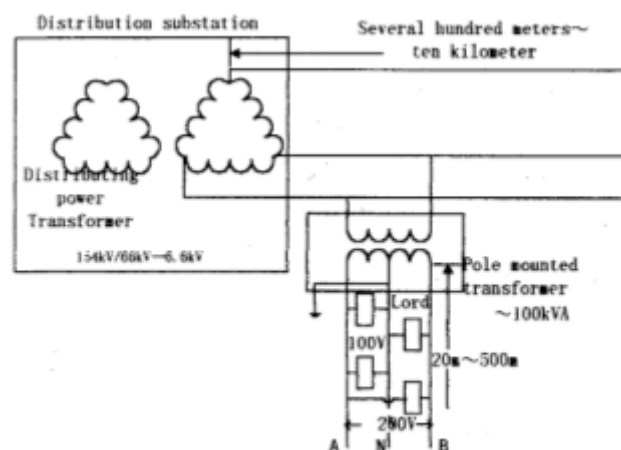
4.2.1.2 Server στον σταθμό παραγωγής

Η άλλη κατηγορία τοποθετεί τους server στους σταθμούς παραγωγής χρησιμοποιώντας έτσι και το δίκτυο υψηλής και μέσης τάσης. Ένα πρόβλημα εδώ είναι οι μεγάλες αποστάσεις από το server μέχρι τον αποδέκτη. Η μετάδοση πραγματοποιείται με ένα νέο τρόπο, ο οποίος χρησιμοποιεί μια νέα διαμόρφωση την ASCM. Πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι το σήμα δεν επηρεάζεται από μετασχηματιστές [36].

4.2.1.3 Παράδειγμα εναέριου δικτύου μέσης τάσης & PLT

Στην Ιαπωνία η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται στα περισσότερα νοικοκυριά μέσω ενός συστήματος 3 μονοφασικών καλωδίων [37]. Η δομή του δικτύου φαίνεται στο Σχήμα 4.4

Σχήμα 4.4. Δομή γραμμής διανομής [37]



Αν και οι εταιρείες παραγωγής και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν κάνει προσπάθειες για να κατασκευαστούν υπόγεια συστήματα παροχής, τα περισσότερα από τα

νοικοκυριά εξακολουθούν να εφοδιάζονται με εναέριες γραμμές μεταφοράς ενέργειας. Μια μέσης τάσης εναέρια γραμμή διανομής (6600 βολτ) μπορεί να παρέχει περίπου 3 Megavolt Ampere (MVA), με το μήκος της γραμμής διανομής να ποικίλλει ανάλογα με την πυκνότητα των καταναλωτών. Στην περίπτωση της Tokyo Electric Power Company (TEPCO), το μήκος μιας γραμμής διανομής μέσης τάσης ποικίλλει από μερικές εκατοντάδες μέτρα σε αστικές περιοχές, σε περισσότερα από 10 χιλιόμετρα στα προάστια και την ύπαιθρο, ενώ το μέσο μήκος είναι αρκετά χιλιόμετρα. Ένας μετασχηματιστής ενσωματωμένος σε στύλο μπορεί να καλύψει καταναλωτές σε μια απόσταση περίπου 20 έως 500 μέτρα, ενώ 100-200 μέτρα είναι ο μέσος όρος.

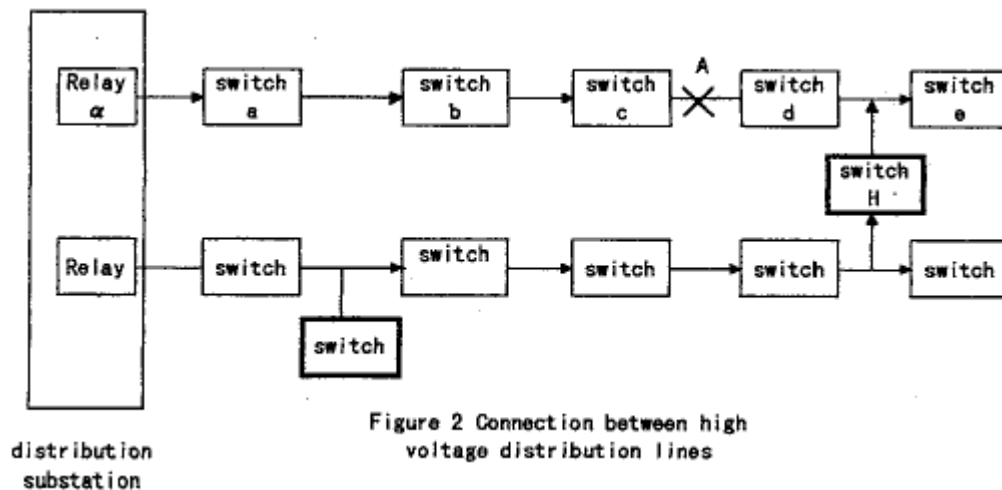
Στην Ιαπωνία, υπάρχουν νομικοί περιορισμοί σχετικά με την μετάδοση ηλεκτρομαγνητικών σημάτων άνω των 10 kHz, μέσω των γραμμών διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι περιορισμοί αυτοί αποσκοπούν στην πρόληψη της δημιουργίας ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών από τις γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος στις ραδιοεπικοινωνίες αλλά και στην πρόκληση παρεμβολών στην επικοινωνία στο εσωτερικό των κτιρίων.

Οι λεπτομέρειες έχουν ως εξής:

- εύρος ζώνης συχνοτήτων: από 10kHz έως 450kHz
- Tx ισχύς: 10mW / 10kHz
- Ισχύς εξόδου στο τερματικό του πομπού:
450kHz ~ 5MHz 56dB μ V
5mHz ~ 30MHz 60dB μ V
- Ακτινοβολία θορύβου του πομπού:
10 kHz ~ 450 kHz 100 μ V/m (40dB)
526.5kHz ~ 1606.5kHz 30 μ V/m (30dB)
Άλλες συχνότητες 100 μ V/m (40dB)
- Για να αποφευχθεί η παρεμβολή μεταξύ των γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητη η επαρκής μεταξύ τους απομόνωση μέσω της χρήσης των φίλτρων αποκλεισμού μέσα και έξω από τα νοικοκυριά. Διαφορετικά, κάθε μπλοκ δεδομένων θα πρέπει να αποστέλλεται μέσα σε χρονικό διάστημα 0.2 δευτερολέπτων [37].

Για να πραγματοποιηθεί αυτόματη αναδιάταξη των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, τα δεδομένα και οι εντολές υπερτίθενται πάνω από γραμμές 6600 βολτ ηλεκτρικής ενέργειας. Η δομή της γραμμής ισχύος 6600 volt ενός δικτύου μέσης τάσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.5.

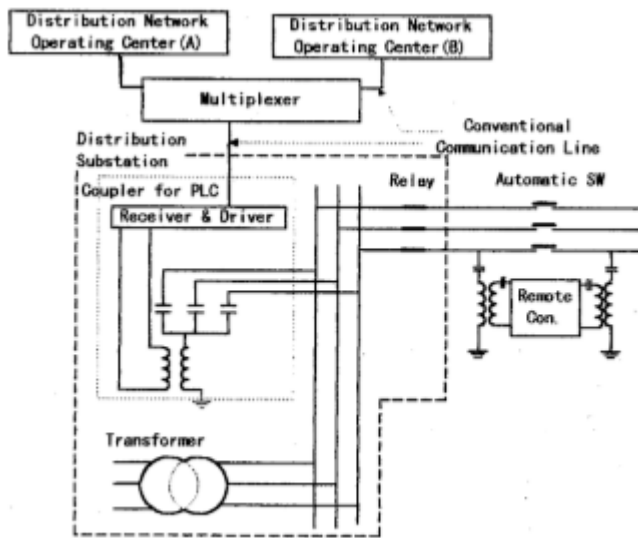
Σχήμα 4.5. Δομή βρόχου στη μέση τάση σε ιαπωνικά δίκτυα [37]



Υπό κανονικές συνθήκες, οι διακόπτες του τμήματος (a ~ e) διατηρούνται στο « ON » και ο διακόπτης διασύνδεσης (H) διατηρείται στο « OFF ». Όταν η γραμμή τροφοδοσίας βραχυκυκλώνεται στο σημείο A, ο ηλεκτρονόμος (relay - α) διακόπτει τη γραμμή ρεύματος και την ίδια στιγμή, οι διακόπτες a, b, c, d και e απενεργοποιούνται. Σε σύντομο χρονικό διάστημα, το ρελέ α και οι διακόπτες a, b και c ενεργοποιούνται διαδοχικά. Όταν ο διακόπτης c ανάβει, το ρελέ α ανιχνεύει το υπερβολικό ρεύμα και πάλι και δημιουργείται βραχυκύκλωμα μεταξύ των διακοπών c και d. Εκείνη την στιγμή, το ρελέ α και οι διακόπτες a, b, και c είναι απενεργοποιούνται και πάλι. Στη συνέχεια, το ρελέ α και οι διακόπτες a, b, e και H ενεργοποιούνται. Ως εκ τούτου, μόνο οι καταναλωτές που συνδέονται με τη γραμμή ισχύος μεταξύ των διακοπών c και d δεν τροφοδοτούνται με ρεύμα, ενώ όλοι οι άλλοι καταναλωτές τροφοδοτούνται κανονικά. Αυτή η διαδικασία αναδιαμόρφωσης του δικτύου διανομής λειτουργεί αυτόματα, έτσι ώστε να μειωθεί ο χρόνος διακοπής του ρεύματος και να ελαχιστοποιηθεί η περιοχή που επηρεάζεται. Στην περίπτωση αυτή, η τεχνολογία PLC χρησιμοποιείται για τη μετάδοση των δεδομένων που αφορούν τους διακόπτες και τις εντολές για τον έλεγχο των διακοπών. Το σύστημα μετάδοσης δεδομένων έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Data: ηλεκτρικό ρεύμα, κατάσταση του διακόπτη (ON ή OFF), εντολή ελέγχου διακόπτη
- Έλεγχος εκπομπής: half duplex, σύστημα δημοσκόπησης
- Modulation: Frequency shift keying (FSK)
- Ταχύτητα Δεδομένων: 200bit/s
- Συχνότητες φέροντων: 5040Hz + 7440 Hz, 5280Hz + 7680Hz, 7200Hz + 9600 Hz (ένας από τους δέκα συνδυασμούς έχει εκχωρηθεί σε κάθε περιοχή)
- Shift συχνότητας: $\pm 100\text{Hz}$
- Ισχύς: 10 Watts
- Μήκος μετάδοσης: έως 10km σύζευξης
- Power line coupling: φαίνεται στο Σχήμα 4.6

Σχήμα 4.6. Σύζευξη με γραμμή μέσης τάσης [37]



4.2.1.4 Παρεμβολές από το BPL-Γραμμές ισχύος ως ακούσιοι ακτινοβολητές των BPL σημάτων

Οι επικοινωνίες ενέργειας Ameren, A.E. (Ameren) ανέλυσαν τις γραμμές ισχύος μέσης τάσης (MV) με προσοχή στη δυνατότητά τους να ενεργήσουν ως ακούσια κεραία για συχνότητες κάτω από τα 30 MHz [36]. Στην ανάλυσή της, η Ameren δήλωσε ότι ένα ευθύγραμμο τμήμα γραμμής ισχύος δύο αγωγών, που οδηγείται διαφορετικά (π.χ., με έναν "εναέριο" τρόπο [38]), υποστηρίζει κυρίως εγκάρσιους ηλεκτρο-μαγνητικούς ρυθμούς (transverse electromagnetic modes (TEM)) διάδοσης και συμπεριφέρεται σαν ένας κυματοδηγός. Αυτή η γραμμή ακτινοβολεί μόνο στα σημεία ασυνέχειας, όπως στο τέλος των γραμμών, συνδέσεις με άλλες γραμμές, αιχμηρές στροφές γραμμών και στον εξοπλισμό διανομής ισχύος όπως οι μετασχηματιστές και οι πυκνωτές. Περαιτέρω δηλώνουν ότι οι αντανάκλασεις στο άκρο λήψης της γραμμής ισχύος προκαλούν το σχηματισμό δύο αντίθετων περιοδευόντων κυμάτων, με ακτινοβολία και στις δύο άκρες της γραμμής.

Η Ameren σημείωσε ότι κατά τον υπολογισμό της δραστηρότητας της ακτινοβολίας και του κέρδους της γραμμής ισχύος, η σύνθετη αντίσταση της πηγής στον πομπό BPL πρέπει να παραμένει αμετάβλητη και η σύνθετη αντίσταση φορτίου πρέπει να επιτρέπεται να μεταβάλλεται. Αυτό, έρχεται σε αντίθεση με μια γραμμή που λειτουργεί, δεδομένου ότι μια κεραία περιοδεύοντος κύματος σε αυτή την σύνθετη αντίσταση φορτίου πρέπει να ταιριάζει με τη χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση της γραμμής (μεταξύ 350 και 420 Ω για τις συχνότητες μεταξύ 1 και 30 MHz). Οι υπολογισμοί τους δείχνουν ότι καθώς το τέλος της γραμμής ποικίλλει, δεν αλλάζει μόνο η δραστηρότητα της ακτινοβολίας και το κέρδος της γραμμής, αλλά και η δυνατότητα της σταθερής πηγής να συνδέσει την ισχύ πάνω στην

γραμμή ισχύος μειώνεται με το κακό ταίριασμα του φορτίου. Έτσι, μια απλή γραμμή αναμένεται να είναι ένας αναποτελεσματικός ακτινοβολητής.

Η Ameren συζήτησε επίσης την περίπτωση των διασυνδεδεμένων τμημάτων της γραμμής διανομής ισχύος μέσης τάσης και επισήμανε ότι το πρότυπο ακτινοβολίας καθορίζεται από την τρέχουσα διανομή στις γραμμές οι οποίες λειτουργούν σε διαφορετικές κατευθύνσεις, και η ακτινοβολία είναι πιθανό να είναι πιο ισοτροπική. Αυτό, θεωρούν, θα οδηγήσει σε χαμηλότερα κέρδη και σε αυξανόμενη εξασθένηση των σημάτων καθώς διαιρούνται μεταξύ κάθε διασυνδεδεμένου τμήματος και αντανακλώνται στις ασυνέχειες. Εξήχθει το συμπέρασμα ότι η ισχυρότερη ακτινοβολία θα είναι στην πηγή και αυτό είναι το κρίσιμο μέρος του συστήματος για τον καθορισμό της ακτινοβολίας των BPL σημάτων.

Η εθνική ένωση ραδιοερασιτεχνών Αμερικής (American Radio Relay League - ARRL) υπέβαλε μια εργασία παρουσιάζοντας τα υπολογισμένα κέρδη και τύπους κεραίων ως μια λειτουργία της συχνότητας για ένα απλό μοντέλο γραμμής ισχύος [38]. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι καθώς αυξάνεται η συχνότητα, η γραμμή ισχύος λειτουργεί περισσότερο σαν μια κεραία, με ένα σύνθετο και ιδιαίτερα κατευθυντικό τρόπο ακτινοβολίας. Σε ένα άλλο έγγραφο, η ARRL περιέγραψε το πρότυπο μιας γραμμής ισχύος διανομής MV και συνέκρινε τις ακόλουθες τρεις μεθόδους έγχυσης του BPL σήματος μέσα σε αυτό το πρότυπο [38]:

- Διαφορική τροφοδοσία μεταξύ δύο φάσεων, με την τροφοδοσία στο ένα άκρο της γραμμής ισχύος
- Μια φάση στο έδαφος της γης, με την τροφοδοσία στο κέντρο της γραμμής
- Μονή φάση που τροφοδοτείται διαφορετικά με τον έναν αγωγό γειωμένο σε ένα σχετικά ανεπαρκές RF έδαφος και το σημείο τροφοδοσίας της μη γειωμένης φάσης μετατοπισμένο από το κέντρο.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, καθώς αυξάνεται η συχνότητα, η γραμμή ισχύος λειτουργεί περισσότερο σαν μια κεραία, με ένα σύνθετο και ιδιαίτερα κατευθυντικό τρόπο ακτινοβολίας. Με βάση το πρότυπο της ARRL, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα για το κέρδος κεραίας της γραμμής ισχύος, με τη μονή φάση – διαφορεικά τροφοδοτούμενη με τον έναν αγωγό γειωμένο καθώς είναι η χειρότερη περίπτωση. Αυτή η περίπτωση οδήγησε σε υψηλότερο κέρδος κεραίας για τη διαμορφωμένη γραμμή ισχύος, και καλύτερη σύζευξη στις προσομοιωμένες ερασιτεχνικές κεραίες ασύρματης λήψης που περιλήφθηκαν στο πρότυπό τους. Η ARRL σημείωσε ότι το υπολογισμένο κέρδος για αυτή τη γραμμή ισχύος στα 14 MHz ανταγωνίζεται πολλές ερασιτεχνικές κεραίες HF. Μια τελική παρατήρηση που έγινε, είναι ότι τα ακτινοβολούντα σχέδια εκπομπής για αυτό το πρότυπο ήταν πολύ σύνθετα και ότι η μέγιστη ακτινοβολία στα 3.5 MHz είναι με φορά προς τον ουρανό.

4.2.1.5 Οι υπάρχοντες κανόνες (Part 15) σχετικά με τα BPL σήματα

Η Ameren εξέτασε την εγκυρότητα της χρησιμοποίησης μιας βροχοκεραίας για να μετρηθεί η ένταση του μαγνητικού πεδίου [38]. Επισήμανθηκε ότι οι γραμμές ισχύος ενεργούν ως "μεγάλοι ακτινοβολητές" και οι μετρήσεις κοντά στις γραμμές ισχύος (π.χ. 30 μέτρα) είναι στο κοντινό πεδίο όπου η τιμή της σύνθετης αντίστασης του κενού που χρησιμοποιείται

χαρακτηριστικά στο μακρινό πεδίο, 377Ω (51,42 dB), δεν ισχύει πλέον. Παρουσίασαν τις γραφικές παραστάσεις ηλεκτρικών (E) και των μαγνητικών (H) πεδίων, και μαγνητικό πεδίο + 51,42 dB για να κάνουν την υπόθεση ότι η τιμή της σύνθετης αντίστασης του μακρινού πεδίου είναι ανακριβής στο κοντινό πεδίο.

Η Ameren δήλωσε ότι το εκτιμώμενο λάθος από τη χρήση μιας βροχοκεραίας θα μπορούσε να είναι τόσο υψηλό όσο 10 dB $\mu\text{V/m}$ για τις μετρήσεις που γίνονται κατά μήκος της γραμμής ισχύος, και τόσο υψηλές όπως 20 dB $\mu\text{V/m}$ καθώς απομακρυνόμαστε από την γραμμή ισχύος, ακόμα και τόσο μακριά όσο τα 700 μέτρα. Το πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε για αυτήν την ανάλυση έδειξε ότι η μέγιστη ισχύς του πεδίου είναι επάνω από τον ορίζοντα, σε μια γωνία ανύψωσης 12°. Εξήχθη το συμπέρασμα, ότι ο βρόχος εισάγει σημαντικά λάθη μέτρησης κοντά στις γραμμές ισχύος και πρότεινε τη χρήση μιας μονοπολικής κεραίας για τις μετρήσεις BPL.

Σε ένα άλλο έγγραφο, η ARRL υπολόγισε τα καθοδηγημένα επίπεδα ισχύος εκπομπών βασισμένα σε διάφορες υποβολές κατασκευαστών BPL. Οι υπολογισμοί τους παρουσίασαν ένα προκύπτον επίπεδο καθοδηγημένων εκπομπών που υπερβαίνει το 47 C.F.R. §15.107 (α). Η ARRL περαιτέρω δήλωσε ότι, βασισμένη στην κατανόηση για το πώς λειτουργούν οι BPL συσκευές, οι χαρακτηριστικές απώλειες για αυτούς τους συσκευές θα οδηγούσαν σε διαδεδομένες ακτινοβολούσες ή καθοδηγημένες εκπομπές.

Η ARRL εξέτασε την πιθανότητα ότι ανακρίβειες μπορούν να εμφανιστούν στα αποτελέσματα των μετρήσεων όταν ακολουθούνται οι τρέχοντες κανόνες του «part 15» [36]. Σύμφωνα με την ίδια εταιρεία, από το πρότυπο των γραμμών ισχύος της, τα σχέδια ακτινοβολίας BPL είναι σύνθετα και θα ήταν δύσκολο να προβλέψει πού να γίνουν οι μετρήσεις για να λάβει την μέγιστη τιμή του ηλεκτρικού πεδίου. Μια άλλη πιθανή πηγή λάθους μπορεί να προκύψει όταν φτάνουμε σε έναν παράγοντα εξαγωγής συμπεράσματος, καθώς έδειξαν ότι το ηλεκτρικό πεδίο HF δεν μειώνεται κατά 40 dB/δεκάδα μέσα στα 30 μέτρα. Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα από το πρότυπο γραμμής ισχύος τους, οι ίδιοι σημείωσαν ότι η ένταση πεδίου της γραμμής ισχύος είναι μεγαλύτερη πάνω από τις γραμμές ισχύος, επομένως, οι μετρήσεις που γίνονται κοντά στο έδαφος (1m) θα υποτιμήσουν χαρακτηριστικά τη μέγιστη ένταση του πεδίου.

Για να μεγιστοποιήσει την πιθανότητα ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων χαρακτηρίζουν ακριβώς την ένταση πεδίου του BPL, η ARRL σύστησε την επιτόπια δοκιμή σε πολύ κοντινά χωρισμένα κατά απόσταση διαστήματα πάνω, κάτω, και στις πλευρές των εγκαταστάσεων των BPL συστημάτων. Η πρακτική της χρησιμοποίησης τριών "χαρακτηριστικών" εγκαταστάσεων για να χαρακτηρίσει τις εκπομπές θεωρήθηκε μη ρεαλιστική και πως θα οδηγούσε σε μετρήσεις μη αντιπροσωπευτικές των εκπομπών σε μια πραγματική εγκατάσταση. Τέλος, σημειώθηκε ότι υπάρχουν συγκεκριμένα στάσιμα κύματα στα αποτελέσματα προσομοίωσης για τη σχεδιασμένη γραμμή ισχύος.

Χρησιμοποιώντας το πρότυπο γραμμής ισχύος της, η ARRL υπολόγισε το λαμβανόμενο επίπεδο σήματος από τις εκπομπές BPL κοντά σε μια ερασιτεχνική ραδιο κεραία και την αναμενόμενη αύξηση στο κατώτερο όριο του θορύβου. Υπολογίστηκε η εκπεμπόμενη φασματική πυκνότητα ισχύος και από αυτό, υπολογίστηκε ότι η ακτινοβολούσα ένταση πεδίου θα υπερβεί το όρια του «Μέρους 15-Part 15» [36]. Υποτέθηκε ιδανική (υψηλή) σύζευξη μεταξύ της γραμμής ισχύος και της ερασιτεχνικής ραδιο κεραίας

και ότι η κεραία βρίσκεται σε μια κατεύθυνση όπου οι ακτινοβολούσες εκπομπές των σημάτων BPL είναι στο μέγιστο τους. Επιπλέον η ARRL χρησιμοποίησε τα αποτελέσματα του προτύπου της των γραμμών ισχύος για να υπολογίσει το "κέρδος κεραίας" της γραμμής ισχύος. Τα πιθανά λάθη μέτρησης που μπορούν εσφαλμένα να οδηγήσουν τους προμηθευτές BPL να θεωρήσουν ότι ικανοποιούν τα όρια του «part 15» περιγράφηκαν περαιτέρω.

Σε ένα έγγραφο από το BBC, διάφορες προτάσεις εξετάστηκαν για τα όρια στις εκπομπές που είναι υπό αναθεώρηση στο CEPT SE35 (μία Ευρωπαϊκή Τεχνική Επιτροπή) και αξιολόγησαν τον βαθμό προστασίας που αυτά τα όρια θα παρείχαν στους δέκτες της μετάδοσης κοντά στην καλωδίωση μεταφέροντας xDSL και PLT (BPL) σήματα [38]. Ο συντάκτης κατέληξε στο συμπέρασμα ότι κανένα από τα προτεινόμενα όρια δεν προστατεύει επαρκώς την εκπεμπόμενη λήψη και ότι μια πρόταση που περιορίζει την αύξηση στο κατώτατο επίπεδο θορύβου εμφανίζεται να προσφέρει την μεγαλύτερη υπόσχεση.

4.2.2 Γραμμές χαμηλής τάσης

Οι περισσότερες προσπάθειες μεταφοράς δεδομένων μέσα από τα ηλεκτρικά δίκτυα περιορίζονται κυρίως στη χρήση του δικτύου χαμηλής τάσης. Ο βασικός λόγος είναι ότι τα σήματα πληροφορίας δεν μπορούν να προχωρήσουν πέρα από τους μετασχηματιστές διανομής.

Ο τεχνικός αυτός περιορισμός, καθιστά συνήθως ασύμφορη την επέκταση της επικοινωνίας στα άλλα τμήματα του δικτύου (μέση τάση 20KV). Τα σήματα, που εκπέμπονται, πρέπει προφανώς να είναι χαμηλής ισχύος για λόγους κόστους διότι η συνολική δαπάνη για την προμήθεια και την εγκατάσταση ενός ισχυρού πομπού σημάτων θα ήταν απαγορευτική ενώ οι ανάγκες τροφοδοσίας όλων αυτών των πομπών θα αύξαναν σημαντικά τις απώλειες του δικτύου και για ελαχιστοποίηση των παρεμβολών, που μπορεί να προκαλέσει η ακτινοβολία, που εκπέμπουν οι γραμμές. Από την άλλη μεριά (με εξαίρεση κάποια πολύ αργά συστήματα περιορισμένων δυνατοτήτων), τα χρησιμοποιούμενα σήματα πληροφορίας είναι σήματα υψηλής συχνότητας (τουλάχιστον της τάξεως των 100 kHz), για λόγους καλύτερης μετάδοσης των μηνυμάτων, που επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών διαμόρφωσης.

Η εξασθένηση, που προκαλούν οι μετασχηματιστές διανομής στα ασθενή και υψίσυχνα αυτά σήματα είναι τόσο μεγάλη, που πρακτικά μπορούμε να πούμε ότι η επικοινωνία σταματά σ' αυτούς. Ετσι λοιπόν το φυσικό όριο του δικτύου χαμηλής τάσης (δηλαδή ο μετασχηματιστής διανομής 20KV/400V) αποτελεί ένα φυσικό όριο και για το σύστημα επικοινωνίας. Αν κάποιος θέλει να συνεχίσει την επικοινωνία και μετά από το όριο αυτό θα πρέπει να εφοδιάσει τους υποσταθμούς με τις κατάλληλες συσκευές, που θα παρακάμπτουν τον μετασχηματιστή και θα επιτρέπουν τη μεταφορά των σημάτων από το δίκτυο χαμηλής τάσης στις γραμμές της μέσης και αντίστροφα. Το κόστος όμως των συσκευών αυτών, και ιδίως των βαθμίδων ζεύξης με τις γραμμές της μέσης τάσης (couplers) καθώς και των απαιτούμενων διατάξεων απομόνωσης και προστασίας (ασφάλειες και διακόπτες μέσης τάσης) είναι αρκετά υψηλό [35].

Από την άλλη μεριά, η εγκατάσταση συσκευών στο δίκτυο μέσης τάσης δεν είναι ούτε απλή ούτε χωρίς κινδύνους και απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό. Επιπλέον, η

επικοινωνία στο δίκτυο της χαμηλής τάσης διαφέρει ουσιαστικά από αυτήν στο δίκτυο της μέσης με αποτέλεσμα οι παράμετροι, που καθορίζουν τα συγκριτικά πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής έναντι των άλλων να είναι τελείως διαφορετικές στις δυο περιπτώσεις. Στο δίκτυο χαμηλής έχουμε μεγάλη πυκνότητα σημείων επικοινωνίας και μικρό όγκο δεδομένων από κάθε σημείο. Αντίθετα, στο δίκτυο της μέσης έχουμε μικρή πυκνότητα σημείων επικοινωνίας και περισσότερα δεδομένα από κάθε σημείο. Επιπλέον η μόνη συσκευή ενός συστήματος επικοινωνίας χαμηλής τάσης, που έχει υψηλό κόστος, είναι ο συγκεντρωτής δεδομένων, ο οποίος όμως είναι μόνο ένας σε κάθε δίκτυο, οπότε το κόστος του μοιράζεται στα πολλά σημεία. Αντίθετα, για επικοινωνία μέσω του δικτύου μέσης τάσης, χρειάζεται να εγκατασταθούν υψηλού κόστους συσκευές σε κάθε σημείο επικοινωνίας (υποσταθμό, ή αναμεταδότη).

Έτσι, ενώ στο δίκτυο της χαμηλής η επικοινωνία μέσω δικτύου φαίνεται να υπερτερεί σαφώς έναντι των άλλων τεχνολογιών στο δίκτυο της μέσης οι άλλες τεχνολογίες (υπάρχουσα τηλεπικοινωνιακή υποδομή, ραδιοζεύξεις) δείχνουν να προσφέρουν καλύτερη απόδοση και χαμηλότερο κόστος. Γι αυτό οι περισσότερες ηλεκτρικές εταιρείες, που αποφασίζουν να χρησιμοποιήσουν τα δίκτυά τους για μεταφορά δεδομένων, προτιμούν να επικεντρώνουν τις προσπάθειές τους στη χαμηλή τάση και να μεταχειρίζονται άλλους τρόπους για την επικοινωνία των συγκεντρωτών με τον κεντρικό σταθμό αντί να προβαίνουν σε μεγάλες επενδύσεις για το χτίσιμο συστημάτων επικοινωνίας μέσης τάσης με αμφίβολη αποδοτικότητα.

Τα τελευταία χρόνια οι επικοινωνίες μέσω των γραμμών χαμηλής τάσης έχουν αποκτήσει ένα ξεχωριστό ενδιαφέρον λόγω της απελευθέρωσης της αγοράς των τηλεπικοινωνιών και της ανάγκης για εξεύρεση εναλλακτικών λύσεων για την κάλυψη των τηλεπικοινωνιακών αναγκών σε επίπεδο «τοπικού βρόχου», δηλαδή από τα σημεία τερματισμού των τηλεπικοινωνιακών διαύλων μεγάλων αποστάσεων μέχρι τα σπίτια και τους επαγγελματικούς χώρους των καταναλωτών (Local loop access, "Last mile" communication). Παράλληλα παρατηρείται και μια αύξηση του ενδιαφέροντος για συστήματα επικοινωνίας μέσω του ηλεκτρικού δικτύου, που προχωρούν και στο εσωτερικό των κτιρίων ή συνδέονται με ανεξάρτητα συστήματα επικοινωνίας, που λειτουργούν εκεί.

4.3 Power Line Communications (Last Inch)

Πρωτόκολλα PLC για το last inch είναι τα Home plug και x10. Στις παρακάτω παραγράφους παραθέτουμε κάποια στοιχεία για τα προβλήματα που δημιουργούνται στη μετάδοση πληροφορίας λόγω εγκαταστάσεων ισχυρών ρευμάτων στα κτίρια και αναλύουμε σε περισσότερη λεπτομέρεια τα πρωτόκολλα αυτά.

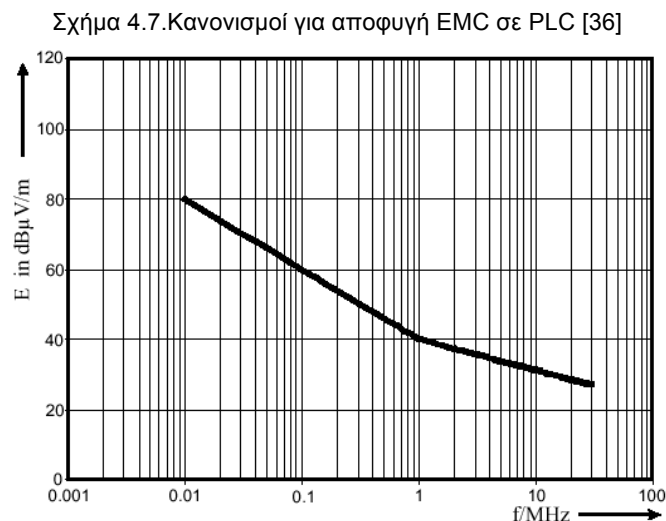
4.3.1 Προβλήματα που δημιουργούνται στη μετάδοση πληροφορίας λόγω εγκαταστάσεων ισχυρών ρευμάτων στα κτίρια

Εξαιτίας της απαίτησης για ταχύτητα μετάδοσης πληροφορίας με ταχύτητες μεγαλύτερες των 1Mbps πρέπει να ληφθεί υπόψη η συχνότητα των 30MHz. Για τη σχεδίαση ενός

κατάλληλου συστήματος και για τον σχεδιασμό δικτύων, είναι απαραίτητα τόσο τα αναλυτικά μοντέλα των χαρακτηριστικών μεταφοράς όσο και η πρόβλεψη των παρεμβολών. Στο παρελθόν οι περισσότερες έρευνες στις ιδιότητες των καναλιών γραμμών ισχύος συγκεντρώθηκαν σε ένα εύρος συχνοτήτων κάτω από τα 150KHz [36]. Έχουν παρουσιαστεί όμως και εργασίες που διαπραγματεύονται σε εύρος της τάξεως των MHz [36]. Κάποιες από αυτές εστιάζουν αποκλειστικά στα οικιακά κανάλια γραμμών ισχύος.

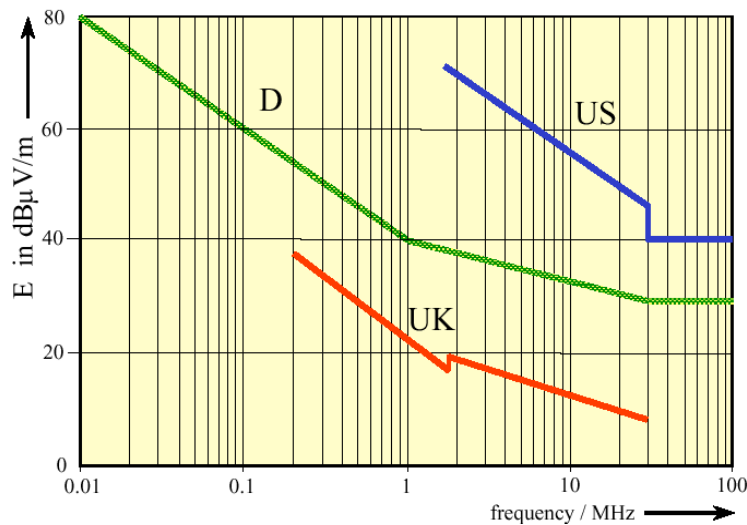
Με τις τηλεπικοινωνίες γραμμών ισχύος σκοπός είναι η λειτουργία δικτυακών υπηρεσιών ευρείας ζώνης, οι οποίες χρησιμοποιούν αθωράκιστα και διαφορετικού τύπου καλώδια. Κατά την μετάδοση υψίσυχνων σημάτων μέσω αθωράκιστων καλωδίων, ένα τέτοιο σύστημα καλωδίωσης θα λειτουργεί σαν μία κεραία και θα εκπέμπει σημαντική ακτινοβολία εξαιτίας της έλλειψης συμμετρίας. Έτσι είναι δυνατό να παρατηρηθούν ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (EMI) σε ασύρματα συστήματα που λειτουργούν στην ίδια συχνότητα. Κρίνεται επομένως απαραίτητη η εισαγωγή κανονισμών για την ακτινοβολία έξω από τα κύρια δίκτυα [36]. Παρακάτω αναπτύσσονται αναλυτικά διάφορα προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας EMC και λύσεις σε αυτά.

Το PLC μπορεί να θεωρηθεί σαν μία καλή τεχνική ευρείας ζώνης η οποία χρησιμοποιεί ένα αθωράκιστο και ετερογενές σύστημα καλωδίων. Οι εφαρμογές PLC εκτός οικίας χρησιμοποιούν μία περιοχή συχνοτήτων από 1MHz-10MHz και εντός οικίας μία περιοχή συχνοτήτων 10MHz-30MHz. Κατά την μετάδοση σημάτων σε αυτές τις συχνότητες πάνω από αθωράκιστες γραμμές παρατηρείται ακτινοβολία λόγω ασυμμετρίας του συστήματος. Η ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή με ασύρματα συστήματα είναι αναπόφευκτη. Για αυτόν τον λόγο ο καταμερισμός αυτών των συχνοτήτων και η ακτινοβολία από αυτά τα συστήματα πρέπει να ορίζονται από κανονισμούς. Στο Σχήμα 4.7 φαίνονται οι προτεινόμενοι κανονισμοί από REGTP (German regulatory authority) η οποία δημοσιεύτηκε σε draft paper το 1999.



Στο Σχήμα 4.8 φαίνονται και τα ανώτατα όρια στην Αγγλία και Ηνωμένες Πολιτειών.

Σχήμα 4.8. Ανώτατα όρια Έντασης/συχνότητα
για την αποφυγή EMC σε PLC (Αγγλία-ΗΠΑ) [36]

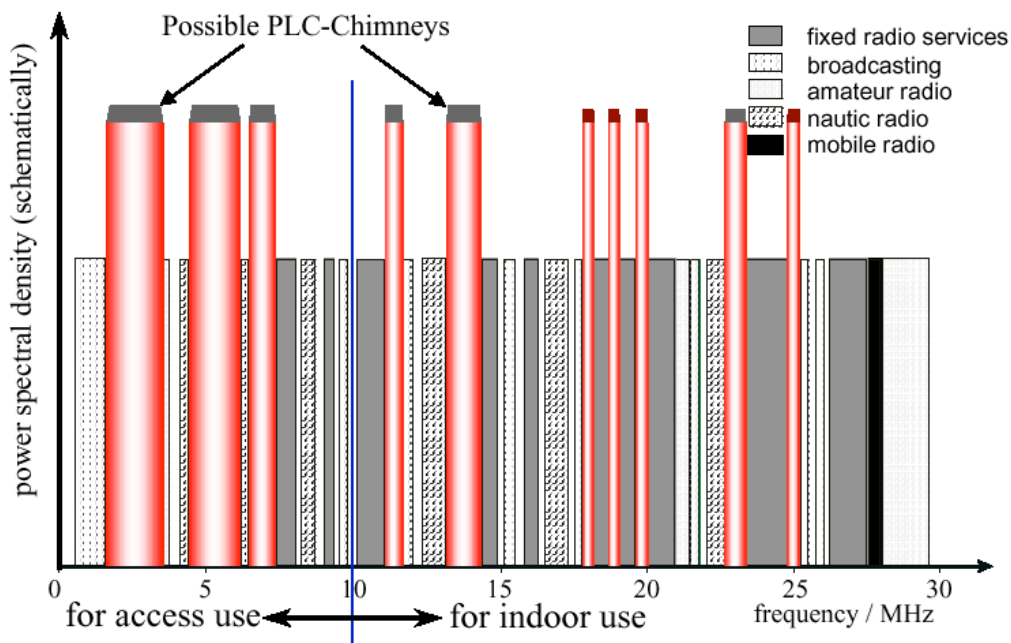


Η καμπύλη στο Σχήμα 4.6 δείχνει τα όρια της επιτρεπόμενης έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε μία απόσταση των 3m από το εξεταζόμενο δίκτυο. Αυτοί οι κανονισμοί δεν αφορούν μόνο τα συστήματα PLC αλλά και συστήματα που χρησιμοποιούν τηλεοπτικό καλώδιο και τηλεφωνικό καλώδιο, και καλώδιο για δίκτυα υπολογιστών αντί για γραμμές μεταφοράς ενέργειας.

Αυτό το draft paper προκάλεσε διάφορες αντικρουόμενες αντιδράσεις οι οποίες πρέπει να έχουν διευθετηθεί μέχρι το καλοκαίρι του 2001. Παρά τους πολύ σκληρούς κανονισμούς για τα ανώτατα όρια εκπομπής θα πρέπει να ισχύουν αυτοί σε ασύρματες επικοινωνίες και όχι στις εφαρμογές με καλώδια ανεξαρτήτως του επιπέδου ακτινοβολίας που προέρχεται από αυτά. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι για ασύρματες επικοινωνίες δεν έχουν οριστεί λεπτομέρειες για την ακριβή κατανομή των περιοχών συχνότητας. Οι συνέπειες για έναν τέτοιου είδους κανονισμό θα ήταν επιβλαβείς για την οικονομία. Έτσι θα έπρεπε η ακτινοβολία κατά τη μετάδοση δεδομένων πάνω από καλώδια να κατεβεί στο επίπεδο του ατμοσφαιρικού θορύβου το οποίο μπορεί να είναι κάτω από $-40\text{dB}\mu\text{V/m}$ σε διάφορες περιοχές συχνότητας (σημειωτέον ότι τα μετρητικά όργανα είναι δύσκολο να μετρήσουν κάτω από το $0\text{dB}\mu\text{V/m}$).

Επιπλέον, αν ίσχυαν οι παραπάνω κανονισμοί θα έπρεπε να ελεγχθεί κάθε δίκτυο μεταφοράς πληροφορίας. Πράγμα που σημαίνει ότι θα έπρεπε να ελεγχθεί κάθε υπολογιστής σε κάθε τοπικό δίκτυο (LAN) ακόμη και κάθε τηλεφωνική γραμμή για πιθανή ακτινοβολία. Πρακτικά όμως θα πρέπει να συνεργαστούν οι αρμόδιες αρχές, οι οποίες κάνουν τους κανονισμούς με τη βιομηχανία και με τα ινστιτούτα έρευνας για εφικτούς κανονισμούς. Η λεγόμενη «κοινότητα των power-lines» έκανε το πρώτο βήμα και δημιούργησε με τη δικιά της πρωτοβουλία κανονισμούς. Για τους κατασκευαστές των PLC συστημάτων ήταν σημαντικό να γνωρίζουν ποιες ήταν οι διαθέσιμες συχνότητες και ποια τα ανώτατα όρια ακτινοβολίας, για να καθορίσουν το επίπεδο τάσης για την εφαρμογή αυτή. Έτσι το πρώτο βήμα ήταν να βρεθούν περιοχές συχνότητας οι οποίες δεν χρησιμοποιούνται σε ασύρματες εφαρμογές. Με συνεργασία της RegTP δημιουργήθηκε το Σχήμα 4.9.

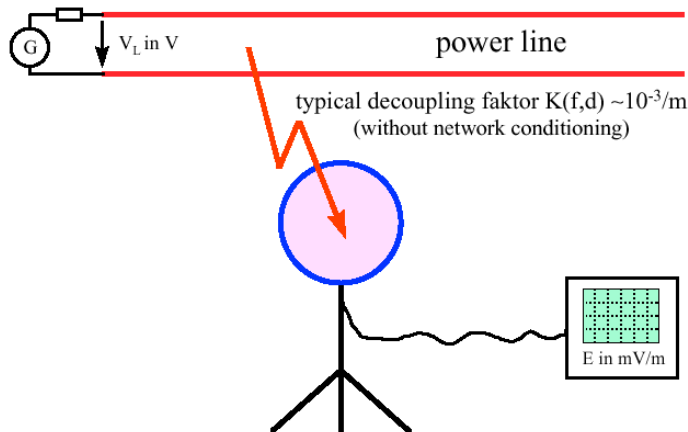
Σχήμα 4.9. Περιοχές συχνοτήτων που δεν χρησιμοποιούνται σε ασύρματες εφαρμογές [36]



Κατέληξαν ότι το κενό ήταν περίπου 7.5MHz το οποίο ήταν διασκορπισμένο μέσα στο φάσμα των συχνοτήτων. Δεν υπήρχαν δηλαδή ευρείες συνεχόμενες περιοχές συχνοτήτων για εφαρμογή των PLC συστημάτων. Αυτό το γεγονός επέβαλλε σημαντικούς περιορισμούς στην επιλογή της διαμόρφωσης και της κωδικοποίησης των σημάτων πληροφορίας. Έτσι ήταν απίθανο να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι που χρησιμοποιούν ένα φέρον. Επομένως οδηγήθηκαν στη χρήση διαμορφώσεων με πολλαπλά φέροντα. Ιδανικός υποψήφιος ήταν η OFDM που αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο όπως και στο [36]. Σύμφωνα με το CISPR/A η ένταση του πεδίου μετριέται με τη μετρητική διάταξη του σχήματος 14. Αυτή η διάταξη δίνει την ευκαιρία να μετρηθεί η ένταση του πεδίου ανεξάρτητα από την επιπλέον τάση που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση του σήματος.

Ο νεοοριζόμενος συντελεστής απόζευξης $K(f,d)$ θα πρέπει να καθορίζεται ξεχωριστά για κάθε καλώδιο ή υποσταθμό. Αφού είναι γνωστός ο συντελεστής K για μία συγκεκριμένη γεωμετρία είναι δυνατός ο υπολογισμός των ακτινοβολούμενων πεδίων για τυχαία σήματα. Τέτοια αποτελέσματα δίνουν τη δυνατότητα να συγκρίνουν τις μετρήσεις για διάφορα σήματα. Μπορεί να θεωρηθεί σαν συνάρτηση μεταφοράς στο σύστημα επικοινωνίας με είσοδο τα σήματα στις γραμμές και ως έξοδο τα ακτινοβολούμενα σήματα. Ο συντελεστής K συνοψίζει όλες τις επιδράσεις των παραμέτρων που επηρεάζουν την συνάρτηση μεταφοράς. Για να καθορίσουμε τον συντελεστή K διοχετεύουμε συμμετρικά στο καλώδιο της μεταφοράς ισχύος ένα συνεχές ημιτονοειδές σήμα. Η γεννήτρια σήματος σαρώνει πάνω από κάθε συχνότητα και με μία H-field loop κεραία μετριέται το εκπεμπόμενο πεδίο. Σύμφωνα με τα EMC πρότυπα για περιοχή συχνοτήτων κάτω από 30 MHz θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί τέτοιου είδους κεραία. Κατά τη διάρκεια του σαρώματος καθορίζονται τα πλάτη του H-field. Έτσι με τις μετρήσεις που γίνονται με αυτή την κεραία σύμφωνα με το Σχήμα 4.10 λαμβάνουμε αποκλειστικά τα στιγμιότυπα του μαγνητικού πεδίου.

Σχήμα 4.10. Κεραία για μέτρηση μαγνητικού πεδίου γύρω από γραμμή μεταφοράς [36]



Η συσχετισμένη ηλεκτρική πεδιακή ένταση μπορεί να υπολογιστεί με πολλαπλασιασμό της μαγνητικής έντασης του πεδίου με τη χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση $Z_H=377\Omega$ του περιβάλλοντος χώρου.

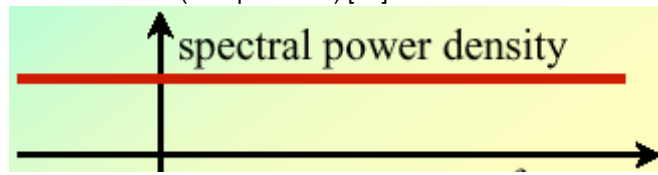
$$E=Z_H H \quad (4.1)$$

Η εξίσωση (4.1) ισχύει μόνο για μεγάλες αποστάσεις από το πείραμα. Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι η μετρούμενη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου λόγω ακτινοβολίας των PLC συστημάτων, δεν μπορεί να συγκριθεί με την ένταση του πεδίου ενός σταθμού μετάδοσης στον ίδιο χώρο.

Αν υποθέσουμε ότι για να έχουμε ένα αξιόπιστο PLC σύστημα είναι απαραίτητο κάποιο συγκεκριμένο επίπεδο τάσης μετάδοσης V_L (σε volt) στη γραμμή ισχύος, τίθεται τότε το ερώτημα ποια θα είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E_L (σε volt/m) σε μία συγκεκριμένη απόσταση. Η απάντηση είναι δύσκολη λόγω της κατασκευής του κτιρίου που περιέχει πολλά μεταλλικά μέρη. Στο παρακάτω παράδειγμα ο συντελεστής K θα είναι $10^{-3}/m$, η τάση μετάδοσης είναι $V_L=1\text{volt}$ στη γραμμή (για μη διαμορφωμένο φέρον). Για την παρακάτω ανάλυση η αντίσταση που έχει επιλεγεί είναι 1Ω για να απλοποιήσει τις πράξεις χωρίς ωστόσο να επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα. Η συνολικά μεταδιδόμενη ισχύς είναι $P_{\text{tot}}=1/\sqrt{2}V^2$. Για μία ταχύτητα μετάδοσης των 2Mbits/s με διαμόρφωση BPSK (binary phase shift keying) η μεταδιδόμενη ισχύς διανέμεται περίπου σε μία περιοχή συχνοτήτων των 4 MHz. Η πυκνότητα φασματικής ισχύος του μεταδιδόμενου σήματος δίνεται από τον τύπο και φαίνεται στο Σχήμα 4.11:

$$S_s=17.67 \cdot 10^{-8} \text{ V}^2/\text{Hz} \quad (4.2)$$

Σχήμα 4.11. Πυκνότητα φασματικής ισχύος/συχνότητα
(2MBps/BPSK) [36]



Χρησιμοποιώντας ένα 9KHz ζωνοδιαβατό φίλτρο λαμβάνεται μόνο η ισχύς που βρίσκεται μέσα σε αυτή την περιοχή συχνοτήτων. Έτσι:

$$P_9 = S_s(f) 9\text{kHz} = 1.59 \cdot 10^{-3} \text{V}^2 \quad (4.3)$$

Το P_9 αντιστοιχεί σε τάση γραμμής $V_L = 47\text{mV}$. Το εκπεμπόμενο πεδίο για συντελεστή $K(f,d) \approx 10^{-3}$ είναι

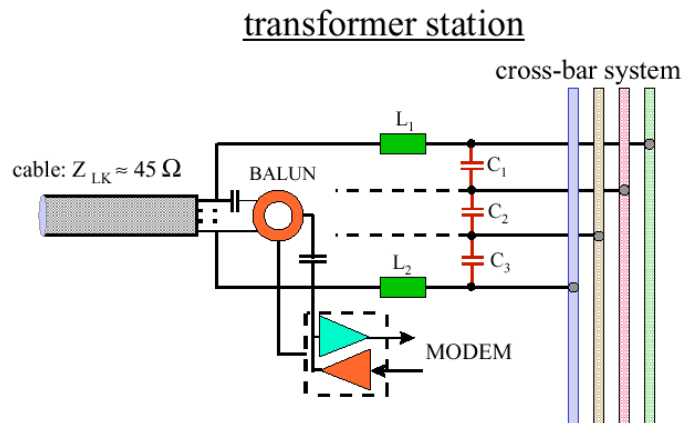
$$E_E = K V_L = 10^{-3} 47 \cdot 10^{-3} \text{V/m} = 33\text{dB}\mu\text{V/m} \quad (4.4)$$

Τα αποτελέσματα είναι κοντά στα όρια που περιγράφονται στο Σχήμα 4.1, οπότε η υλοποίηση για PLC μεγάλης ταχύτητας είναι δυνατή κάτω από ορισμένες συνθήκες και περιορισμούς. Για να μειωθεί το σήμα εκπομπής πρέπει να γίνουν οι παρακάτω ενέργειες:

- συμμετρική σύζευξη σήματος
- εισαγωγή ανωτάτων ορίων υψηλής συχνότητας για να αποτρέπει PLC σήματα να διασπαρθούν σε μη επιτρεπτές κατευθύνσεις.

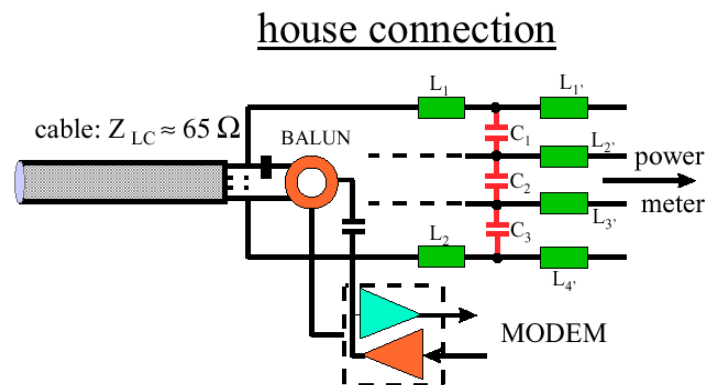
Όταν PLC σήματα διοχετεύονται συμμετρικά στο καλώδιο η διασπορά διατηρείται κατά μήκος του καλωδίου, οπότε δεν εμφανίζονται προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας EMC ακόμη και για μακρινές αποστάσεις μετάδοσης (πάνω από κάποια εκατοντάδες μέτρα).

Σχήμα 4.12. Πυκνότητα φασματικής ισχύος/συχνότητα
(2MBps/BPSK) [36]



Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.12, το πηνίο για εξασθένηση υψηλών συχνοτήτων, είναι τοποθετημένο ανάμεσα σε δύο πυκνωτές που έχουν επιλεγεί για να μεταφέρουν το PLC σήμα. Οι χωρητικότητες στις μπάρες μειώνουν την υπόλοιπη υψίσυχη ενέργεια που μπορεί να περάσει το πηνίο. Η αντίσταση στην έξοδο ενός MODEM μπορεί τώρα να συνδεθεί με τη χαρακτηριστική αντίσταση του καλωδίου.

Σχήμα 4.13. Πυκνότητα φασματικής ισχύος/συχνότητα (2Mbps/BPSK) [36]



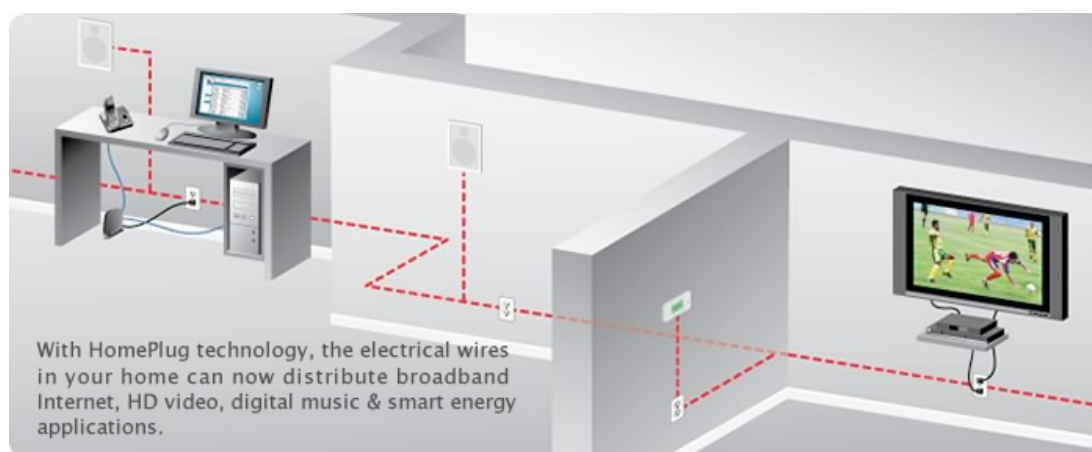
Τα PLC συστήματα εντός κτιρίων θα παραμείνουν μία πρόκληση EMC γιατί εκεί δεν υπάρχουν τρόποι βελτίωσης. Η μόνωση και η συμμετρία των σημάτων δεν έχει κανένα αποτέλεσμα. Η μέτρηση των πεδίων εντός οικίας δεν είναι δυνατή λόγω της αλληλεπίδρασης των γειτονικών PLC συστημάτων καθώς και λόγω της απόστασης των τριών μέτρων που χρησιμοποιήθηκε ως κριτήριο στο προαναφερθέν, Σχήμα 4.13 [36].

4.3.2 Home Plug

HomePlug είναι το όνομα της οικογένειας διάφορων προδιαγραφών επικοινωνίες μέσω γραμμών ισχύος (PLC) που υποστηρίζουν τη δικτύωση με χρήση της οικιακής ηλεκτρικής καλωδίωσης. Υπάρχουν διάφορα πρωτόκολλα υπό το όνομα HomePlug, με το καθένα να προσφέρει μοναδικές δυνατότητες απόδοσης καθώς και δυνατότητα συνύπαρξης ή συμβατότητα με άλλες προδιαγραφές HomePlug.

Ορισμένα πρωτόκολλα HomePlug στοχεύουν ευρυζωνικές εφαρμογές όπως η IPTV, gaming, καθώς και διάθεση Internet, ενώ άλλα εστιάζουν σε χαμηλή ισχύ, χαμηλή απόδοση, εκτεταμένες θερμοκρασίες λειτουργίας για εφαρμογές όπως οι έξυπνοι μετρητές ενέργειας και οι κατ' οίκον επικοινωνίες μεταξύ ηλεκτρικών συστημάτων και συσκευών. Όλες οι προδιαγραφές HomePlug αναπτύχθηκαν από την HomePlug Powerline Alliance, η οποία κατέχει επίσης το εμπορικό σήμα HomePlug [39].

Σχήμα 4.14. Παράδειγμα χρήσης Homeplug [40]



Επειδή κάθε οικιακή συσκευή συνδέεται αναγκαστικά με γραμμή εναλλασσόμενου ρεύματος, καταναλώνοντας μια σημαντική ποσότητα watt, το HomePlug έχει ιδιαίτερη σημασία για τον έλεγχο της κατανάλωσης ισχύος στο σπίτι και στα οικιακά δίκτυα. Σε αντίθεση με οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία ελέγχου, δεν απαιτείται επιπλέον καλωδίωση ή ασύρματη σύνδεση ώστε να επιτευχθεί ταχύτητα 100-1000megabit/sec σε κάθε συσκευή AC [38]. Το πρωτόκολλο HomePlug Green PHY εξυπηρετεί αυτούς τους σκοπούς, αλλά επίσης κλίμακώνεται στα ταχύτερα, μεγαλύτερης ισχύος, χαμηλότερου latency HomePlug AV και HomePlug AV2 - καθιστώντας το HomePlug ως την πιο αποδοτική τεχνολογία για τα εν λόγω δίκτυα ελέγχου. Για την ηλεκτρική φόρτιση οχημάτων, η προδιαγραφή SAE J1772 plug-in των ηλεκτρικών φορτιστών οχήματος απαιτεί επίσης HomePlug Green PHY για να δημιουργηθεί η επικοινωνία σε μια γραμμή ηλεκτρικής ενέργειας πριν το όχημα μπορέσει να ξεκινήσει την οποιαδήποτε διαδικασία φόρτισης.

Όλες οι εμπορικές εφαρμογές HomePlug πληρούν το πρότυπο κρυπτογράφησης AES - 128 που έχει καθοριστεί για προηγμένες υποδομές μέτρησης από την Αμερικάνικη Federal Energy Regulatory Commission FERC. Συνεπώς, αυτές οι συσκευές είναι κατάλληλες να χρησιμοποιηθούν ως μετρητές της ενέργειας που καταναλώνουν τα δίκτυα ισχύος, με το κατάλληλο λογισμικό.

Από τα τέλη του 2012, οι πιο συχνά εγκατεστημένες συσκευές HomePlug είναι οι "προσαρμογείς", οι οποίες είναι αυτόνομες ενότητες που συνδέονται σε πρίζες (ή πολύπριζα ή μπαλαντέζες) και παρέχουν μία ή περισσότερες θύρες Ethernet. Σε ένα απλό οικιακό δίκτυο, ο δρομολογητής πύλης Internet (router) συνδέεται μέσω ενός καλωδίου Ethernet σε έναν adapter ισχύος, ο οποίος με τη σειρά του συνδέεται σε μια κοντινή πρίζα. Ένας δεύτερος adapter, συνδεδεμένος σε οποιαδήποτε άλλη πρίζα στο σπίτι, συνδέεται μέσω καλωδίου Ethernet σε οποιαδήποτε συσκευή Ethernet (π.χ. υπολογιστή, εκτυπωτή, τηλέφωνο IP, κονσόλα παιχνιδιού). Οι επικοινωνίες μεταξύ του δρομολογητή (router) και των συσκευών Ethernet στη συνέχεια μεταφέρονται πάνω από την υπάρχουσα οικιακή ηλεκτρική καλωδίωση. Πιο πολύπλοκα δίκτυα μπορούν να υλοποιηθούν με τη σύνδεση σε πρόσθετους προσαρμογείς, όπου απαιτείται. Ένας προσαρμογέας powerline μπορεί επίσης να συνδεθεί σε

ένα διανομέα ή διακόπτη, έτσι ώστε να υποστηρίζει πολλαπλές συσκευές Ethernet που βρίσκονται σε κοινό χώρο.

Ολοένα και περισσότερο, η λειτουργικότητα που χαρακτηρίζει τους standalone adapters προσαρμόζεται σε τερματικές συσκευές, όπως τα κέντρα ελέγχου ισχύος, προσαρμογείς ψηφιακών μέσων μαζικής ενημέρωσης και κάμερες ασφαλείας Internet. Αναμένεται ότι η λειτουργικότητα της δικτύωση μέσω των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων θα ενσωματωθεί στο μέλλον σε τηλεοράσεις, DVRs, και άλλα καταναλωτικά ηλεκτρονικά προϊόντα, ειδικά με την εμφάνιση παγκόσμιων προτύπων δικτύωσης, όπως το πρότυπο IEEE 1901, που επικυρώθηκε το Σεπτέμβριο του 2010.

Αρκετοί κατασκευαστές πωλούν συσκευές που περιλαμβάνουν το πρότυπο 802.11n, HomePlug και τέσσερις θύρες ethernet με ικανότητα συνδεσιμότητας της τάξης των gigabit για λιγότερο από 100 δολάρια ΗΠΑ. Άλλες συσκευές περιλαμβάνουν επίσης συνδεσιμότητα 802.11ac, ο συνδυασμός της οποίας με το HomePlug πωλείται από την Qualcomm Atheros ως Hy - Fi υβριδική τεχνολογία δικτύωσης, μια πραγμάτωση δηλαδή του προτύπου IEEE P1905. Αυτό επιτρέπει σε μια συσκευή να χρησιμοποιεί ενσύρματο ethernet, powerline ή ασύρματης επικοινωνίας (ανάλογα με το τί είναι διαθέσιμο) για να παρέχει μια αξιόπιστη υπηρεσία σε περίπτωση failover. Αυτό θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικό σε εμπορικές εφαρμογές, όπου δεν υπάρχει συνήθως επιτόπια υπηρεσία τεχνικής υποστήριξης για τον εντοπισμό των σφαλμάτων σύνδεσης [39]. Από το διαδίκτυο οι τιμές για ένα Homeplug adaptor είναι περίπου 40\$ [41].

Τα προϊόντα Homeplug είναι διαθέσιμα για την εντός σπιτιού δικτύωση που χρησιμοποιεί τις γραμμές του τοπικού συστήματος ισχύος, επομένως υπάρχει ένα πλεονέκτημα χρησιμοποιώντας τα αυτά στη διασύνδεση πελατών σε μια BPL εφαρμογή και στο να χρησιμοποιείται ένα απολύτως διαφορετικό προϊόν που χρησιμοποιεί ένα διαφορετικό εύρος φάσματος και ενδεχομένως διαφορετικές τεχνικές για να αντιμετωπίσει τα ζητήματα των γραμμών μέσης τάσης [39]. Στα σχήματα 4.15 και

Σχήμα 4.15. Home Plug Modem [39]



4.16 παρουσιάζονται αντίστοιχα ένα HomePlug Modem και κάποιες άλλες συσκευές συμβατές με το πρωτόκολλο.

Σχήμα 4.16. Παραδείγματα HomePlug συσκευών [39]



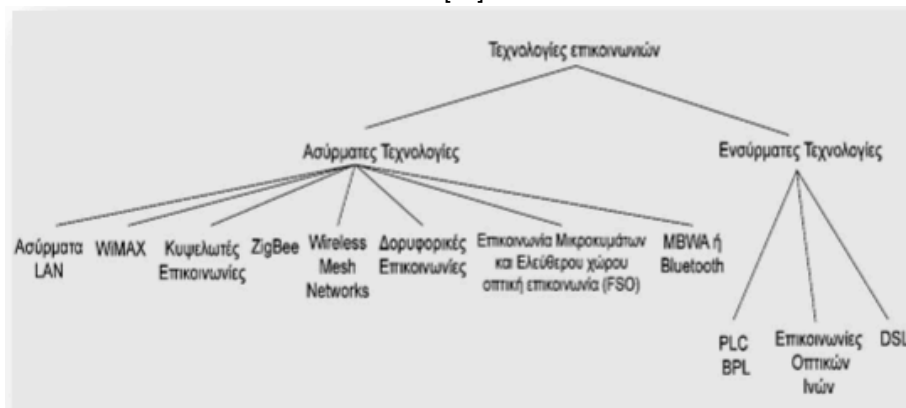
Κεφάλαιο V

Ανάγκες ενεργειακών εγκαταστάσεων σε επικοινωνίες

5.1 Τρόποι επικοινωνίας

Οι ανάγκες των ενεργειακών εγκαταστάσεων για επικοινωνία καλύπτονται με τη χρήση διαφορετικών φυσικών μέσων μετάδοσης. Επιπλέον, πολυάριθμες τεχνολογίες δικτύου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα έξυπνο δίκτυο στους τομείς της μεταφοράς, της διανομής και στο τελικό επίπεδο των καταναλωτών, αλλά καμία από αυτές δεν ταιριάζει απόλυτα σε όλες τις εφαρμογές. Κάποια τεχνολογία ή ακόμα καλύτερα ένα υποσύνολο τεχνολογιών θα ταιριάζει περισσότερο σε εφαρμογές συγκεκριμένου τομέα ή σε εφαρμογές που έχουν παρόμοιες επικοινωνιακές ανάγκες.

Σχήμα 5.1. Κατηγοριοποίηση των υποψήφιων Τεχνολογιών Επικοινωνιών [42]



Η υιοθέτηση των διάφορων τεχνολογιών για τις επικοινωνίες των έξυπνων δικτύων θα εξαρτηθεί τελικά από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του δικτύου και τις καθορισμένες απαιτήσεις. Μικρές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, για παράδειγμα, μπορεί να εκμεταλλευθούν τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα υπάρχοντα κυβελωτά δίκτυα και να συνεργαστούν με άλλους ώστε να μειώσουν το κεφαλαιουχικό και λειτουργικό κόστος. Αντιθέτως, οι μεγάλες επιχειρήσεις θα είναι σε θέση να φτιάξουν το δικό τους δίκτυο για να αποφύγουν την κοινή χρήση εύρους ζώνης, με στόχο να έχουν μεγαλύτερα κέρδη από το επενδυμένο κεφάλαιο. Επιπλέον, οι γεωγραφικές ανάγκες, οι στόχοι του έργου αλλά και οι εφαρμογές και οι υπηρεσίες που θα διατίθενται στους καταναλωτές, θα επηρεάσουν τις επιλογές των τεχνολογιών που θα εφαρμοστούν.

5.1.1 Ασύρματες Τεχνολογίες (Wireless Technologies)

Γενικά, τα σήματα στις ασύρματες επικοινωνίες υφίστανται σημαντική εξασθένηση λόγω μετάδοσης και αντιμετωπίζουν παρεμβολές από το περιβάλλον. Κατά συνέπεια, τα ασύρματα δίκτυα συνήθως παρέχουν συνδέσεις μικρών αποστάσεων, με συγκριτικά χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων.

Η εφαρμογή ασύρματων τεχνολογιών προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις ενσύρματες, όπως μικρό κόστος εγκατάστασης, κινητικότητα, κάλυψη απομακρυσμένων περιοχών, γρήγορη εγκατάσταση κ.ά. Ωστόσο, για κάθε τεχνολογία υπάρχουν ορισμένες προκλήσεις που πρέπει να διευθετηθούν πριν την χρήση της στο περιβάλλον των έξυπνων δικτύων. Κάποιες κοινές ανησυχίες για τις ασύρματες τεχνολογίες είναι:

- 1) Οι ασύρματες τεχνολογίες που λειτουργούν σε μη αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων, είναι πιο ευάλωτες σε φαινόμενα θορύβου και παρεμβολής
- 2) Οι ασύρματες τεχνολογίες με αδειοδοτημένο φάσμα, αντιμετωπίζουν λιγότερες παρεμβολές, αλλά είναι συγκριτικά μια δαπανηρή λύση
- 3) Η ασφάλεια για τα ασύρματα μέσα επικοινωνίας είναι, εκ φύσεως, μικρότερη.

Ασύρματες τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις διάφορες εφαρμογές των έξυπνων δικτύων παρουσιάζονται παρακάτω.

5.1.1.1 Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless LAN)

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Local Area Network-LAN), βασισμένα στο πρότυπο IEEE 802.11, παρέχουν εύρωστη, υψηλής ταχύτητας επικοινωνία σημείου-προς-σημείο (point-to-point) και σημείου-προς-πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint), σε ρυθμούς των 1 και 2Mbps. Στο πρότυπο αυτό, υιοθετήθηκε τεχνολογία απλωμένου φάσματος που επιτρέπει να χρησιμοποιείται η ίδια ζώνη συχνοτήτων από πολλούς χρήστες με ελάχιστη παρεμβολή σε άλλους χρήστες. Το πρότυπο IEEE 802.11b, γνωστό επίσης και ως Wi-Fi, προσφέρει μέγιστο ρυθμό δεδομένων στα 11Mbps και λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 2.4GHz με διαμόρφωση direct-sequence spread spectrum (DSSS). Επιπλέον, πρόσφατα διαθέσιμες τεχνολογίες βασισμένες στο IEEE 802.11a και 802.11g μπορούν να επιτύχουν ρυθμούς μέχρι 54 Mbps. Το IEEE 802.11a λειτουργεί στα 5.4GHz με orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) διαμόρφωση και το IEEE 802.11g, γνωστό ως ενισχυμένο Wi-Fi, λειτουργεί στα 2.4GHz με DSSS διαμόρφωση. Το IEEE 802.11n, βασισμένο σε τεχνολογία MIMO (Multiple Input Multiple Output) προορίζεται να αυξήσει τους ρυθμούς μεταφοράς, φτάνοντας τα 600Mbps, ενώ το IEEE 802.11i, γνωστό ως WPA-2, ενισχύει την ασφάλεια στα ασύρματα LANs χρησιμοποιώντας προηγμένα πρότυπα κρυπτογράφησης Advanced Encryption Standard (AES).

Η εφαρμογή ασύρματων LAN πλεονεκτεί σε σχέση με τα ενσύρματα γιατί είναι εύκολο να εγκατασταθούν, λιγότερο ακριβά και παρέχουν κινητικότητα των συσκευών. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές, όπως στον αυτοματισμό και την προστασία υποσταθμών διανομής και στην απεικόνιση και τον έλεγχο των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων (distributed energy sources - DERs), ειδικά σε περιπτώσεις

απομακρυσμένων, μικρών υποσταθμών και DERs, όπου οι απαιτήσεις για ρυθμούς μετάδοσης και ασύρματες παρεμβολές είναι συγκριτικά χαμηλότερες.

5.1.1.2 WiMAX

Η τεχνολογία WiMAX (Worldwide inter-operability for Microwave Access) είναι μέρος της σειράς προτύπων 802.16 για δίκτυα WMAN (Wireless Metropolitan Area Network). Κύριος στόχος του WiMAX είναι να επιτύχει διαλειτουργικότητα σε παγκόσμιο επίπεδο για μικροκυματική πρόσβαση. Το 2001, όταν εκδόθηκε το πρώτο σχέδιο του IEEE 802.16, όριζε το ευρύ φάσμα των 10-66GHz για τις επικοινωνίες. Κατόπιν, δημοσιεύτηκε ένα υποσύνολο του φάσματος για διαλειτουργικότητα. Στις σταθερές επικοινωνίες αφιερώθηκαν οι ζώνες 3.5 και 5.8GHz, ενώ στις κινητές επικοινωνίες ανατέθηκαν οι ζώνες 2.3, 2.5 και 3.5GHz. Τα φάσματα των 2.3, 2.5, 3.5GHz είναι αδειοδοτημένα, ενώ των 5.8GHz είναι μη αδειοδοτημένο. Το WiMAX παρέχει ρυθμούς δεδομένων μέχρι 70Mbps και απόσταση κάλυψης ως 48km. Ωστόσο, η κάλυψη και η ταχύτητα του δικτύου είναι μεγέθη αντιστρόφως ανάλογα το ένα προς το άλλο. Τα αδειοδοτημένα φάσματα επιτρέπουν μετάδοση υψηλότερης ισχύος και σε μεγαλύτερες αποστάσεις, κάτι που τα καθιστά πιο κατάλληλα για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων.

Μερικές από τις εφαρμογές των έξυπνων δικτύων όπου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το WiMAX είναι:

1. Ασύρματα Αυτόματα Συστήματα Ανάγνωσης Μετρητών (Wireless Automated Meter Reading Systems - WAMRS)
2. Τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο (Real-time Pricing)
3. Ανίχνευση και αποκατάσταση διακοπής λειτουργίας.

Στα πλεονεκτήματα της σημερινής τεχνολογίας WiMAX συμπεριλαμβάνονται το μικρότερο κόστος ανάπτυξης και λειτουργίας, η ομαλή επικοινωνία, οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης (ως τα 75Mbps), το επαρκές εύρος ζώνης και η επεκτασιμότητα.

Ένα από τα αρνητικά του WiMAX είναι ότι το εύρος ζώνης διαμοιράζεται με τους χρήστες. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι οι συχνότητες πάνω από 10GHz δεν μπορούν να διαδοθούν μέσω εμποδίων. Έτσι, ειδικά για αστικές περιοχές, οι χαμηλότερες συχνότητες είναι πιο χρήσιμες, όμως έχουν ήδη αδειοδοτηθεί. Άρα, ο πιο πιθανός τρόπος να χρησιμοποιήσουν οι πάροχοι των έξυπνων δικτύων αυτή την τεχνολογία είναι να τη μισθώσουν από άλλον. Επίσης, το WiMAX παρουσιάζει ασυμμετρία των ταχυτήτων στις ζεύξεις ανόδου και καθόδου, ενώ το trade off μεταξύ απόστασης και ρυθμού μετάδοσης αποτελεί μια ακόμη αδυναμία.

5.1.1.3 Κυψελωτές Επικοινωνίες (Cellular network Communication)

Το υπάρχον δίκτυο κυψελωτών επικοινωνιών είναι μια καλή επιλογή τόσο για την επικοινωνία μεταξύ των έξυπνων μετρητών και των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας, όσο και μεταξύ απομακρυσμένων κόμβων. Χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα υποδομή επικοινωνιών,

οι επιχειρήσεις αποφεύγουν σημαντικό κόστος και χρόνο που θα απαιτούνταν για τη δημιουργία μιας νέας και αποκλειστικής υποδομής.

Οι 3G (3rd Generation) / 4G (4rd Generation) τεχνολογίες λειτουργούν στο φάσμα 824-894MHz/1900MHz, που είναι οι αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων. Οι ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων αυτής της τεχνολογίας έχουν βελτιωθεί τελευταία, αλλά η απόσταση κάλυψης εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα της κυψελωτής υπηρεσίας. Η τοπολογία του δικτύου αποτελείται από κυψέλες, οι οποίες καλύπτουν μια ευρεία περιοχή και εξυπηρετούνται η καθεμία από τουλάχιστον ένα ασύρματο πομπό χαμηλής ισχύος, γνωστό ως σταθμό βάσης. Κάθε κυψέλη χρησιμοποιεί διαφορετικό σύνολο συχνοτήτων από τις γειτονικές της, ώστε να αποφεύγεται η παρεμβολή και να παρέχεται εγγυημένο εύρος ζώνης εντός των ορίων της.

Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα, το σημαντικότερο είναι ότι τα κυψελωτά δίκτυα υπάρχουν ήδη. Έτσι, όπως έχει αναφερθεί, οι πάροχοι δε θα επιβαρυνθούν με κόστος κατασκευής. Επίσης, παρέχεται επαρκές εύρος ζώνης για αρκετές από τις εφαρμογές, ενώ με την πρόσφατη ανάπτυξη στις 3G / 4G τεχνολογίες, ο ρυθμός δεδομένων και η ποιότητα υπηρεσίας (QoS) βελτιώνονται πολύ γρήγορα.

Από την άλλη, μερικές κρίσιμες εφαρμογές των έξυπνων δικτύων χρειάζονται αδιάλειπτη διαθεσιμότητα επικοινωνιών. Ωστόσο, το κυψελωτό δίκτυο θα χρησιμοποιείται παράλληλα και από την αγορά των καταναλωτών, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε συμφόρηση του δικτύου ή μείωση της επίδοσης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Ακόμη, οι κυψελωτές επικοινωνίες είναι πιθανόν ακατάλληλες για εφαρμογές που σχετίζονται με πολλά δεδομένα και απαιτούν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης.

5.1.1.4 ZigBee

Το ZigBee είναι μια αξιόπιστη, αποτελεσματική ως προς το κόστος, ασύρματη τεχνολογία επικοινωνιών, σχετικά χαμηλή σε κατανάλωση ισχύος, ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, κόστος εφαρμογής και πολυπλοκότητα. Είναι ιδανική τεχνολογία για έξυπνο φωτισμό, παρακολούθηση της ενέργειας, οικιακό αυτοματισμό κλπ. Το ZigBee και το ZigBee Smart Energy Profile (SEP) έχουν αναγνωριστεί ως τα πιο κατάλληλα πρότυπα για εφαρμογές έξυπνου δικτύου στον οικιακό τομέα. Λειτουργεί στη μη αδειοδοτημένη ζώνη των 868MHz στην Ευρώπη, 915MHz στην Βόρεια Αμερική και 2.4GHz παγκοσμίως. Στη ζώνη των 2.4GHz, που λειτουργούν πιο συχνά οι πομποδέκτες, έχει 16 κανάλια εύρους 5MHz το καθένα και χρησιμοποιεί την Offset quadrature phase-shift keying (OQPSK) τεχνική διαμόρφωσης. Επιλέγεται αυτό το σχήμα, που είναι μια παραλλαγή της κλασσικής QPSK, επειδή απαιτεί λιγότερη ισχύ συγκριτικά με παρόμοια σχέδια διαμόρφωσης, ενώ επιτυγχάνει την ίδια ή καλύτερη απόδοση (throughput). Το ZigBee προσφέρει ρυθμούς δεδομένων 20-250Kbps και κάλυψη 10-100m.

Θεωρείται πολύ καλή επιλογή για μετρήσεις (metering) και διαχείριση ενέργειας και είναι ιδανικό για εφαρμογές έξυπνων δικτύων χάρη στην απλότητα, την κινητικότητα που παρέχει, την ευρωστία, τις χαμηλές απαιτήσεις εύρους ζώνης, τη λειτουργία του σε μη αδειοδοτημένο φάσμα και την ευκολία εφαρμογής του. Υπάρχουν, όμως, κάποιοι περιορισμοί στη χρήση του ZigBee σε πρακτικές εφαρμογές, όπως οι μικρές ικανότητες

επεξεργασίας, το μικρό μέγεθος μνήμης, οι μικρές απαιτήσεις καθυστέρησης και οι παρεμβολές από άλλες συσκευές που μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης.

5.1.1.5 Ασύρματα Δίκτυα Πλέγματος (Wireless Mesh Networks – WMN)

Ένα δίκτυο πλέγματος (mesh network) είναι ένα ευέλικτο δίκτυο αποτελούμενο από μια ομάδα κόμβων, όπου νέοι κόμβοι μπορούν να ενταχθούν στην ομάδα και κάθε κόμβος μπορεί να δράσει ως ανεξάρτητος δρομολογητής. Τα WMN συχνά αποτελούνται από πελάτες πλέγματος (mesh clients), δρομολογητές πλέγματος (mesh routers) και πύλες. Οι πελάτες είναι συχνά φορητοί υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα και άλλες ασύρματες συσκευές, ενώ οι δρομολογητές πλέγματος προωθούν κίνηση από και προς τις πύλες, οι οποίες μπορούν, αλλά δεν είναι απαραίτητο, να είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο. Η περιοχή κάλυψης των ραδιοκόμβων, που λειτουργεί ως ένα ενιαίο δίκτυο, καλείται μερικές φορές σύννεφο πλέγματος. Τα δίκτυα αυτά είναι αξιόπιστα και προσφέρουν πλεονασμό. Αυτού του είδους τα δίκτυα έχουν, επίσης, την ιδιότητα της αυτό-θεραπείας, που επιτρέπει στα σήματα επικοινωνιών να βρίσκουν εναλλακτική διαδρομή μέσω των ενεργών κόμβων, σε περίπτωση που οποιοσδήποτε κόμβος εγκαταλείψει το δίκτυο.

Τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος και τα δίκτυα χαμηλής ισχύος και χαμηλού ρυθμού (low- power and low-rate, LPLR) παίζουν σημαντικό ρόλο στην επικοινωνιακή υποδομή των έξυπνων δικτύων. Τα WMN, αρχικά σχεδιασμένα για επικοινωνία σε επίπεδο κοινότητας ή γειτονιάς, θεωρούνται μία από τις προβλεπόμενες προσεγγίσεις για να υποστηρίξουν τα έξυπνα δίκτυα. Βασίζονται κυρίως στο πρότυπο IEEE 802.11 για να παρέχουν αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική δικτύωση πλέγματος, με εύκολη εγκατάσταση και εφαρμογή και αποτελούν μια προσιτή επένδυση. Μπορούν να διαχειρίζονται αποδοτικά εφαρμογές των έξυπνων δικτύων, ταυτόχρονα με άλλες χρήσεις που δεν αφορούν έξυπνα δίκτυα. Από την άλλη, τα LPLR δίκτυα εφαρμόζουν, γενικά, το πρότυπο IEEE 802.15.4 και αποτελούνται από πολυάριθμες συσκευές, οι οποίες είναι βασισμένες σε αισθητήρες.

5.1.1.6 Δορυφορικές επικοινωνίες

Οι δορυφορικές επικοινωνίες είναι μια καλή λύση για τον απομακρυσμένο έλεγχο και την παρακολούθηση, αφού παρέχουν παγκόσμια κάλυψη και γρήγορη εγκατάσταση. Σε ορισμένα σενάρια όπου δεν υπάρχει υποδομή επικοινωνίας, ιδιαίτερα σε απομακρυσμένους υποσταθμούς και παραγωγή, οι δορυφορικές επικοινωνίες είναι μια οικονομικά αποδοτική λύση. Τέτοιου είδους επικοινωνία μπορεί εύκολα να εγκατασταθεί και απαιτεί μόνο την απόκτηση του απαραίτητου εξοπλισμού δορυφορικής επικοινωνίας. Εδώ αξ σημειωθεί ότι ορισμένες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν ήδη εγκαταστήσει τέτοιον εξοπλισμό για την παρακολούθηση των απομακρυσμένων υποσταθμών.

Επιπλέον, μια αποκλειστικά επίγεια αρχιτεκτονική είναι ευάλωτη σε καταστροφές ή βλάβες του συστήματος επικοινωνίας. Κατά συνέπεια, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία και η παράδοση της κρίσιμης κίνησης δεδομένων σε περιπτώσεις καταστροφών ή βλαβών του επίγειου συστήματος επικοινωνιών, οι δορυφόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εφεδρικό σύστημα για τα υπάρχοντα δίκτυα επικοινωνιών.

Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθούν και τα μειονεκτήματα των δορυφορικών επικοινωνιών, καθώς υπάρχουν δυο σημαντικές αδυναμίες:

1. Πρώτον, ένα δορυφορικό σύστημα επικοινωνίας έχει σημαντικά υψηλότερη καθυστέρηση από αυτή ενός επίγειου συστήματος. Αυτό καθιστά κάποια πρωτόκολλα π.χ. transmission control protocol (TCP), τα οποία είχαν αρχικά σχεδιαστεί για επίγεια επικοινωνία, ακατάλληλα για τις δορυφορικές επικοινωνίες.
2. Δεύτερον, τα χαρακτηριστικά ενός δορυφορικού καναλιού ποικίλλουν ανάλογα με την επίδραση της εξασθένησης και τις καιρικές συνθήκες. Αυτή η ιδιότητα μπορεί να μειώσει σε μεγάλο βαθμό την επίδοση ολόκληρου του συστήματος επικοινωνίας.

5.1.1.7 Άλλες πιθανές Ασύρματες Τεχνολογίες

i) Mobile Broadband Wireless Access (MBWA)

Το πρότυπο 802.20 για MBWA παρέχει υψηλό εύρος ζώνης, μεγάλη κινητικότητα και χαμηλή καθυστέρηση (latency) στις αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων κάτω από τα 3.5GHz, χρησιμοποιώντας τα θετικά χαρακτηριστικά των IEEE 802.11 WLANs και IEEE 802.16 WMANs. Είναι επίσης γνωστό ως MobileFi. Προσφέρει σε πραγματικό χρόνο μέγιστο ρυθμό δεδομένων από 1Mbps έως 20Mbps. Αυτό το πρότυπο βελτιστοποιείται για να παρέχει πλήρη κινητικότητα μέχρι και ταχύτητα οχημάτων των 250km/h.

Το IEEE 802.20 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές έξυπνων δικτύων, όπως ευρυζωνική επικοινωνία για plug-in ηλεκτρικά οχήματα, για απεικόνιση ή στα συστήματα SCADA. Καθώς, όμως, είναι μία νέα αναδυόμενη τεχνολογία, δεν υπάρχουν άμεσα διαθέσιμες υποδομές επικοινωνίας για αυτή και, επί του παρόντος, η χρήση της μπορεί να είναι μια δαπανηρή επιλογή.

ii) Ψηφιακή Τεχνολογία Μικροκυμάτων (Digital Microwave Technology)

Η τεχνολογία αυτή λειτουργεί στην αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων των 2-40GHz και παρέχει ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων έως 155Mbps. Η μικροκυματική τεχνολογία προσφέρει κάλυψη πολύ μεγάλων αποστάσεων, ως 60km. Δέχεται δεδομένα από τη θύρα Ethernet ή ATM και τα μεταφέρει στην άλλη σαν μικροκύματα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα έξυπνα δίκτυα για να υποστηρίξει επικοινωνία σημείου προς σημείο, αλλά είναι επιρρεπής σε δυο είδη εξασθένησης σήματος, παρεμβολές λόγω πολλαπλών διαδρομών (multipath interference) και λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων. Τέλος, η κρυπτογράφηση, για λόγους ασφαλείας, μπορεί να επιφέρει πρόσθετη καθυστέρηση καθώς χρειάζεται μεγαλύτερου μεγέθους μηνύματα.

iii) Ελεύθερου χώρου οπτική επικοινωνία (Free-space optical communication)

Η οπτική επικοινωνία ελεύθερου χώρου είναι μια τεχνολογία οπτικής επικοινωνίας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιήσει το φως που μεταδίδεται στον ελεύθερο χώρο για τη μετάδοση δεδομένων από σημείο σε σημείο. Παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης με χαμηλό ρυθμό σφαλμάτων bit. Επιπρόσθετα, είναι πολύ ασφαλής λόγω της υψηλής κατευθυντικότητας και της στενότητας των ακτίνων. Πέρα από την παροχή μεγάλων αποστάσεων σημείου-προς-σημείο επικοινωνίας σε απομακρυσμένες ή αγροτικές περιοχές, οι ασύρματες οπτικές

τεχνολογίες παρέχουν επίσης λύσεις σημείου-προς-σημείο για χρήση σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, όπου οι λύσεις μικροκυμάτων δεν είναι πρακτικές από τη σκοπιά της παρεμβολής. Ωστόσο, η οπτική επικοινωνία ελεύθερου χώρου, όπως και η τεχνολογία μικροκυμάτων, είναι τεχνολογίες οπτικής επαφής (line-of-sight, LOS). Ως εκ τούτου, τα χαρακτηριστικά και η ποιότητα της επικοινωνίας επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τα εμπόδια (π.χ. από κτήρια και λόφους) και από περιβαλλοντικούς περιορισμούς (π.χ. βροχή).

iv) Bluetooth

Το Bluetooth συμπεριλαμβάνεται στο πρότυπο IEEE 802.15.1 για τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (wireless personal area network- WPAN). Είναι πρότυπο χαμηλής ισχύος και μικρού εύρους φάσματος. Λειτουργεί στη μη αδειοδοτημένη industrial, scientific and medical (ISM) ζώνη των 2.4- 2.4835GHz και παρέχει ρυθμό μεταφοράς 721Kbps. Οι συσκευές με ρύθμιση Bluetooth αποτελούνται από την πλήρη δομή 7 επιπέδων κατά το πρότυπο Open Systems Interconnection (OSI). Αυτή η τεχνολογία μπορεί να διευκολύνει τόσο την επικοινωνία σημείου προς σημείο, όσο και σημείου προς πολλαπλά σημεία. Ανάλογα με τη ρύθμιση παραμέτρων της επικοινωνίας, προσφέρει κάλυψη μεταξύ 1m-100m. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τοπικές, online εφαρμογές απεικόνισης ως μέρος των συστημάτων αυτοματισμού των υποσταθμών.

Οι συσκευές αυτές επηρεάζονται πολύ από τριγύρω επικοινωνιακές ζεύξεις και μπορεί να παρεμβάλουν με τα, βασισμένα στο IEEE 802.11, ασύρματα LAN δίκτυα. Γενικά, το Bluetooth προσφέρει ασθενή ασφάλεια συγκριτικά με άλλα πρότυπα. Στον πίνακα 5.1 βλέπουμε αναλυτικά κάποιες ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνιών οι οποίες χρησιμοποιούνται και στα έξυπνα δίκτυα

Πίνακας. 5.1 Ασύρματες Τεχνολογίες Επικοινωνιών με χρήση και στα έξυπνα δίκτυα [42]

Ασύρματη Τεχνολογία	Ρυθμός Δεδομένων	Κάλυψη (προσεγγιστικά)	Πιθανές εφαρμογές σε Έξυπνα δίκτυα
Ασύρματα LAN	1-54Mbps	100m	Προστασία και αυτοματισμός της διανομής
WiMAX	70Mbps	48km	WMAR (Wireless Automatic Meter Reading)
Κυψελωτές	60-240Kbps	10-50km	SCADA και παρακολούθηση απομακρυσμένης διανομής
ZigBee	20-250Kbps	10-100m	Άμεσος έλεγχος φορτίου οικιακών συσκευών
MobileFi	20Mbps	Vehicular Std	Επικοινωνία για PHEVs και απομακρυσμένη παρακολούθηση
Digital Microwave	155Mbps	60km	Transfer trip (point-to-point)
Bluetooth	721Kbps	1-100m	Τοπικές εφαρμογές online παρακολούθησης

5.1.2 Ενσύρματες Τεχνολογίες (Wireline/Wired Technologies)

Οι ενσύρματες τεχνολογίες, όπως οι οπτικές ίνες και το BPL (Broadband over Power lines), μπορεί να προτιμηθούν από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας όταν είναι ήδη διαθέσιμες στις εξυπηρετούμενες περιοχές και όταν μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις επίδοσης. Βέβαια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή επικοινωνιακών δικτύων και αποκλειστικών γραμμών που είναι διαφορετικές από τις ηλεκτρικές γραμμές. Αυτές οι αποκλειστικές γραμμές απαιτούν επιπλέον επένδυση για την εγκατάσταση των καλωδίων, αλλά μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερη χωρητικότητα και μικρότερη καθυστέρηση για την επικοινωνία.

Ανάλογα με το μέσο μετάδοσης που χρησιμοποιείται, τα ενσύρματα δίκτυα περιλαμβάνουν τα δίκτυα πρόσβασης SONET/SDH, Ethernet, DSL και ομοαξονικού καλωδίου. Το DSL και τα ομοαξονικά καλώδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πρόσβαση στο Διαδίκτυο ή στο intranet μιας επιχείρησης. Η προς το παρόν διαθέσιμη τεχνολογία επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων μέσω DSL και ομοαξονικών καλωδίων με ρυθμό ως 10Mbps.

Οι τεχνολογίες οπτικών ινών και οπτικών δικτύων, όπως η επόμενη γενιά Σύγχρονη Οπτική Δικτύωση και Σύγχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία (SONET/SDH), είναι ικανές να παρέχουν διαφορετικούς ρυθμούς δεδομένων στα επίπεδα δικτύου πρόσβασης και κορμού οι οποίοι κυμαίνονται μεταξύ 155Mbps και 160Gbps. Προσφέρουν πλατφόρμες που παρέχουν πολλαπλές υπηρεσίες, οι οποίες υποστηρίζουν εφαρμογές IP και Ethernet. Ως αποτέλεσμα της απλότητας του Ethernet και της αποδοτικότητάς του σε σχέση με το κόστος, η υιοθέτηση του IP με MultiProtocol Label Switching (MPLS) για την επίτευξη μεταφοράς πάνω από SONET/SDH στα υπάρχοντα δίκτυα μεταγωγής πακέτων (γνωστά ως carrier Ethernet) θα ενισχύσει την αξιοπιστία, την ποιότητα υπηρεσίας και την ασφάλεια για τις κρίσιμες εφαρμογές των έξυπνων δικτύων. Το Ethernet είναι σήμερα σε θέση να προσφέρει ταχύτητες ενός Gbps στο Gigabit Ethernet (GbE) και 10 Gbps στο 10GbE. Τα αναδυόμενα 40GbE/100GbE με άφθονη χωρητικότητα θα είναι επωφελή για τη συνολική κίνηση δεδομένων στο έξυπνο δίκτυο.

Ομοίως, τα Ethernet και Gigabit παθητικά οπτικά δίκτυα (EPON/GPON) χρησιμοποιούν οπτικές-ηλεκτρικές προσεγγίσεις για την παροχή επαρκούς χωρητικότητας για την παράδοση μεγάλων δεδομένων, καθώς και υψηλής ταχύτητας μετάδοση στα δίκτυα πρόσβασης. Εκμεταλλεύονται την πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing - WDM). Η χρήση διαφορετικών μηκών κύματος, τόσο για την κίνηση ανόδου (upstream) όσο και καθόδου (downstream), επιτρέπει μεγάλη ευελιξία στη δρομολόγηση και μεταγωγή οπτικών σημάτων.

5.2 Απαιτήσεις επικοινωνιών για επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας (Ηλεκτρικές εταιρείες - Utilities)

Οι ηλεκτρικές εταιρείες έχουν κατά σειρά τις παρακάτω ανάγκες για επικοινωνία:

1. Ανάγκες για τη μεταφορά δεδομένων που αφορούν την Υψηλή Τάση
2. Ανάγκες για την μεταφορά δεδομένων στη διανομή - μέση και χαμηλή τάση
3. Ανάγκες για τη μεταφορά δεδομένων στην εμπορία – χρέωση
4. Ανάγκες για τη μεταφορά δεδομένων από τους παραγωγούς
 - Θερμικές παραγωγές
 - ΑΠΕ
5. Ανάγκες για τη λειτουργία γραφείων
6. Ανάγκες για οικονομικές συναλλαγές
7. Ανάγκες για εξυπηρέτηση πελατών-βλάβες
8. Ανάγκες για Demand Side Management

Στη συνέχεια οι ανάγκες αυτές περιγράφονται διεξοδικά.

5.2.1 Δίκτυα Υψηλής Τάσης

Η υπερ-υψηλή και η υψηλή τάση εξυπηρετούν τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς παραγωγής στους καταναλωτές γεφυρώνοντας μεγάλες αποστάσεις. Κατά μεγάλη πλειοψηφία είναι τριφασικές εναέριες γραμμές. Όσον αφορά τη χρήση των γραμμών υψηλών τάσεων για μετάδοση πληροφοριών, είναι εκτός ενδιαφέροντος μιας και έχουμε ισχυρές συνδέσεις ευρείας ζώνης σε μορφή οπτικών ινών. Οι περισσότερες εναέριες γραμμές υπέρ-υψηλής και υψηλής τάσης είναι εξοπλισμένες με τέτοιες ίνες, ενωμένες με το σύρμα γείωσης στην κορυφή της στήλης [43].

Οι εταιρείες κοινής ωφέλειας χρησιμοποιούν ειδικούς πυκνωτές σύζευξης για να συνδέσουν μεταδότες ραδιοκυμάτων χαμηλής συχνότητας στους "power-frequency AC" αγωγούς. Οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται είναι μεταξύ 24 και 500 kHz, με ισχύ μεταδότη μέχρι εκατοντάδες Watt. Τα σήματα αυτά μπορεί να μεταδίδονται σε ένα, σε δύο ή και στους τρεις αγωγούς την γραμμή υψηλής τάσης. Διάφορα κανάλια PLC μπορούν να μεταδοθούν σε μία γραμμή υψηλής τάσης. Συσκευές-φίλτρα τοποθετούνται στους υποσταθμούς για να προληφθεί τυχόν παράκαμψη του σήματος μέσω των συσκευών του σταθμού και να επιβεβαιωθεί πως λάθη λόγω της απόστασης δεν επηρεάζουν τα μονωμένα τμήματα του συστήματος PLC. Τα κυκλώματα αυτά χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του "switchgear", και για την προστασία των γραμμών μετάδοσης. Για παράδειγμα, ένα προστατευτικό ρελέ μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα κανάλι PLC για να σταματήσει τη λειτουργία σε μια γραμμή αν εντοπίσει κάποιο πρόβλημα ανάμεσα στα τέρματά της, αλλά να την αφήσει σε λειτουργία αν το πρόβλημα βρίσκεται κάπου αλλού.

Καθώς οι εταιρείες κοινής ωφέλειας χρησιμοποιούν μικροκύματα και τώρα, αυξανόμενα, οπτικές ίνες για τις ανάγκες της άμεσης επικοινωνίας συστήματος, οι μηχανισμοί σημάτων γραμμής ρεύματος μπορούν ακόμα να φανούν χρήσιμοι ως ένα εφεδρικό κανάλι ή για απλές χαμηλού κόστους εγκαταστάσεις που δεν εγγυώνται πρόβλημα στην ίνα.

Η διαθεσιμότητα ενός αξιόπιστου δικτύου επικοινωνίας στο επίπεδο της μεταφοράς είναι εξαιρετικής σημασίας για την υποστήριξη διαφόρων εφαρμογών, όπως για

παράδειγμα την εκτίμηση της κατάστασης του δικτύου [44]. Οι φορείς εκμετάλλευσης των μεγάλων γραμμών μεταφοράς απαιτούν αξιόπιστες επικοινωνίες για τον έλεγχο του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και αρκετά συχνά, για τον έλεγχο των σχετικών εγκαταστάσεων παραγωγής. Τα προστατευτικά ρελέ ανίχνευσης βλάβων που βρίσκονται σε κάθε άκρο της γραμμής, πρέπει να επικοινωνήσουν για να ελέγξουν τη ροή του ρεύματος μέσα και έξω από το προστατευμένο τμήμα των γραμμών, έτσι ώστε οι αγωγοί ή ο εξοπλισμός που πιθανά δυσλειτουργεί, να μπορεί γρήγορα να απενεργοποιηθεί και έτσι να αποκατασταθεί η ισορροπία του συστήματος. Η προστασία της γραμμής μεταφοράς από βραχυκυκλώματα και άλλες βλάβες είναι συνήθως τόσο κρίσιμη, ώστε οι κοινοί τηλεπικοινωνιακοί φορείς να μη θεωρούνται αρκετά αξιόπιστοι. Επίσης σε απομακρυσμένες περιοχές ένας κοινός φορέας τηλεπικοινωνιών μπορεί να μην είναι διαθέσιμος. Τα συστήματα επικοινωνιών που χρησιμοποιούνται σε ένα δίκτυο μεταφοράς είναι:

- Φερέσυχνα
- Δορυφορικές επικοινωνίες σε απομακρυσμένες περιοχές (παράγραφος 5.1.1.6)
- Μικροκύματα (5.1.1.2, 5.1.1.7)
- Οπτικές ίνες (5.1.2) [44]

Τα φερέσυχνα είναι αλλιώς γνωστά ως Carrier/Power line (carrier) communication [45]. Η Carrier/Power line (carrier) communication ή αλλιώς επικοινωνία μέσω γραμμής ισχύος (PLC) φέρει δεδομένα σε έναν αγωγό που χρησιμοποιείται επίσης για την ταυτόχρονη μετάδοση εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος ή διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές [45].

Η συσκευή επικοινωνίας που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μέσω των γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα μόντεμ, κοινώς γνωστό ως Power Line MODEM (PLM). Λειτουργεί τόσο ως πομπός και δέκτης, δηλαδή, μεταδίδει και λαμβάνει δεδομένα μέσω των γραμμών τροφοδοσίας. Ένα μόντεμ γραμμής ρεύματος όχι μόνο διαμορφώνει τα δεδομένα που μεταδίδει πάνω από τις γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και αποδιαμορφώνει τα δεδομένα που λαμβάνει από τις γραμμές τροφοδοσίας. Με τη χρήση τεχνικών διαμόρφωσης, μια ροή δυαδικών δεδομένων διαμορφώνει ένα φέρον σήμα και στη συνέχεια με τη χρήση του PLM οδηγείται στο να συζευχθεί στις γραμμές τροφοδοσίας. Στον τερματικό δέκτη ένα άλλο PLM ανιχνεύει το σήμα και αποδιαμορφώνει την αντίστοιχη ροή bit. Το σχήμα 5.6 δείχνει τη λειτουργία ενός συστήματος PLCC. Τα δεδομένα υποβάλλονται σε επεξεργασία πριν από τη μετάδοση στις γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα. Πρώτα τα δεδομένα διαμορφώνονται και φιλτράρονται και στη συνέχεια συζεύγνυνται και αποστέλλονται πάνω από τις γραμμές τροφοδοσίας.

Υπάρχουν πολλά παραδείγματα όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί το PLC σε εφαρμογές κοινής ωφέλειας. Σε αυτή την περίπτωση, κατά μήκος του δικτύου υπάρχουν διασκορπισμένες μονάδες μέτρησης φάσορα (phasor measurement units – PMU), συγκεντρωτές δεδομένων φάσορα (phasor data concentrators - PDC) για να συγκεντρώνουν την πληροφορία και ένα σύστημα εποπτικού ελέγχου και ανάκτησης δεδομένων (Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA) στην κεντρική μονάδα ελέγχου. Το εν λόγω δίκτυο χρησιμοποιείται σε συστήματα μέτρησης ευρείας επιφάνειας (Wide Area Measurement Systems - WAMS). Η χρονοσήμανση του GPS μπορεί να προσφέρει θεωρητικά μια ακρίβεια συγχρονισμού καλύτερη του ενός μικροδευτερολέπτου. Το πλήρες δίκτυο απαιτεί γρήγορη

μετάδοση δεδομένων μέσα στη συχνότητα δειγματοληψίας των δεδομένων του φάσπορα. Για συστήματα 60Hz οι PMU πρέπει να μπορούν να παραδώσουν μεταξύ 10 με 30 σύγχρονα δείγματα ανά δευτερόλεπτο, αναλόγως την εφαρμογή. Ο PDC συσχετίζει τα δεδομένα και ελέγχει και παρακολουθεί τις PMU. Στη κεντρική μονάδα ελέγχου, το σύστημα SCADA παρουσιάζει τα δεδομένα όλου του συστήματος σε όλες τις γεννήτριες και τους υποσταθμούς, κάθε 2 έως 10 δευτερόλεπτα. Ο λόγος είναι πως με τη διαφορά γωνιών εκτιμάται η ροή ενεργού ισχύος. Οι PMU συχνά χρησιμοποιούν τηλεφωνικές γραμμές για να συνδεθούν με τους PDC και στη συνέχεια αποστέλλουν τα δεδομένα είτε στο SCADA είτε στο WAMS. Επιπλέον οι PMU μπορούν να χρησιμοποιήσουν κινητά δίκτυα για τη μεταφορά των δεδομένων, όπως π.χ. GRMS ή UMTS το οποίο εξασφαλίζει εξοικονόμηση σε κόστος υποδομών και ανάπτυξης, σε βάρος ωστόσο του χρόνου αναφοράς των δεδομένων (καθυστερήσει).

[http://en.wikipedia.org/wiki/Phasor_measurement_unit].

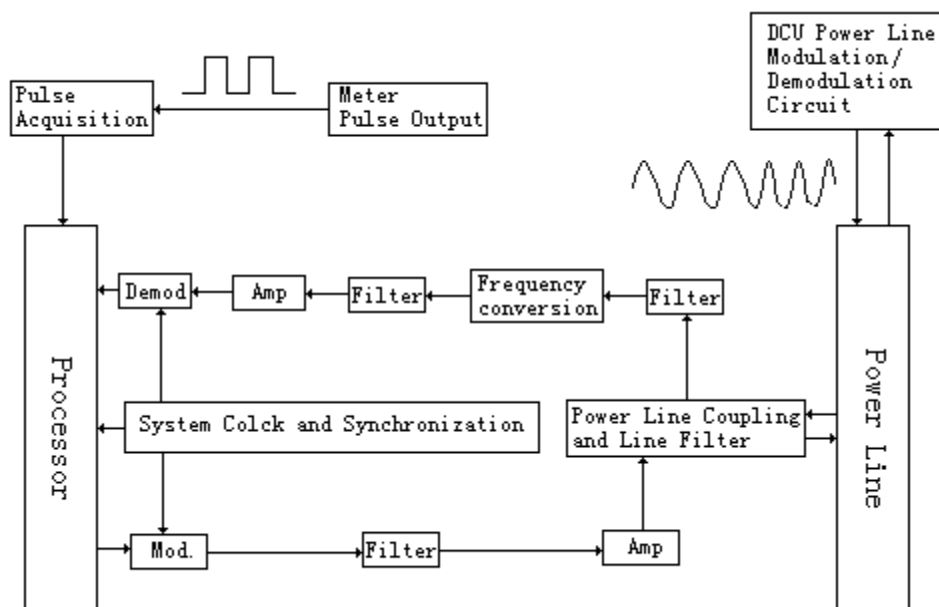
Η χρήση του WAMS επιτρέπει την εποπτεία απομακρυσμένων σταθμών και τον έλεγχο του συστήματος ενέργειας. Υπάρχουν εγκατεστημένες PLC τεχνολογίες που λειτουργούν στις AC και DC γραμμές υψηλής τάσης έως και 1.100 kV και στη ζώνη 40-500 kHz, που επιτρέπουν ρυθμούς λίγων εκατοντάδων kbps και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στα δίκτυα YT λόγω της υψηλής αξιοπιστίας τους, το σχετικά χαμηλό κόστος και επίτευξη μεγάλων αποστάσεων.

Οι πρώτες PLC συνδέσεις σε γραμμές YT εγκαταστάθηκαν γύρω στο 1920 με σκοπό την παροχή υπηρεσιών τηλεφωνίας και βασιζόταν στη διαμόρφωση SSB. Σήμερα, η χρήση PLC στις γραμμές υψηλής τάσης είναι καλά εδραιωμένη και χιλιάδες ζεύξεις έχουν εγκατασταθεί σε περισσότερες από 120 χώρες με συνολικό μήκος κάποιων εκατομμυρίων χιλιομέτρων.

Εκτός από την παροχή συνδεσιμότητας στο επίπεδο της μεταφοράς, η τεχνολογία PLC πάνω από γραμμές YT μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για απομακρυσμένη ανίχνευση σφαλμάτων. Για παράδειγμα, έχουν σημειωθεί πρόσφατα επιτυχή πειράματα για την ανίχνευση σπασμένων μονωτών, βραχυκυκλώματα μονωτών και θραύση καλωδίων. Σε άλλο παράδειγμα, η τεχνολογία αυτή φαίνεται χρήσιμη στον προσδιορισμό της αλλαγής του μέσου ύψους από το έδαφος των εναέριων αγωγών YT [46].

Το PLC είναι διαφορετικό από το Power-line carrier communication (PLCC) το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για τις τηλεπικοινωνίες, τηλε-προστασία και τηλε-παρακολούθηση των ηλεκτρικών υποσταθμών μέσω γραμμών ισχύος σε υψηλές τάσεις, όπως 110 kV, 220 kV, 400 kV [45]. Η πρώτη γενιά αυτού του εξοπλισμού είχε χαμηλές ταχύτητες. Τα χαμηλής συχνότητας φέροντα (περίπου 100-200kHz) στις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης μπορούν να μεταφέρουν ένα ή δύο αναλογικά κυκλώματα φωνής/τηλεμετρίας ή κυκλώματα ελέγχου, με ένα ρυθμό δεδομένων των λίγων εκατοντάδων bits ανά δευτερόλεπτο. Το σημαντικότερο όφελος είναι η ένωση των δύο εφαρμογών σε ένα ενιαίο σύστημα, το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την παρακολούθηση του ηλεκτρικού εξοπλισμού και για προηγμένες τεχνικές διαχείρισης ενέργειας [45]. Στο παρακάτω σχήμα (5.2) παριστάνεται σχηματικά η λειτουργία ενός συστήματος PLCC.

Σχήμα 5.2. [47]



Προς το παρόν, είναι δυνατό να εκφραστεί μόνο συγκρατημένη αισιοδοξία σχετικά με τη χρήση του BB-PLC στην πλευρά της μεταφοράς [46], καθώς είναι αναγκαίες περαιτέρω δοκιμές και επικύρωση για να το φέρουν σε εμπορικό στάδιο.

5.2.2 Δίκτυα Διανομής

5.2.2.1 Μέση Τάση

Ένα μεγάλο μέρος του εξοπλισμού MT έχει εγκατασταθεί εδώ και πάνω από 40 χρόνια. Η ανίχνευση βλαβών, καθώς και η παρακολούθηση για τη διασφαλιστεί μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε κρίσιμες καλωδιακές συνδέσεις αναδεικνύεται σε αναγκαιότητα, από άποψη λειτουργική, οικονομική αλλά και ασφάλειας. Οι περισσότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται σήμερα περιλαμβάνουν επί τόπου έλεγχο. Ωστόσο, λειτουργικά, τα online διαγνωστικά εργαλεία είναι προτιμότερα και σύντομα θα γίνουν η κύρια τάση.

Μια σημαντική απαίτηση για το μελλοντικό Έξυπνο Δίκτυο είναι η δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων σχετικά με την κατάσταση του δικτύου μέσης τάσης. Δηλαδή, πρέπει να μεταφερθούν μεταξύ των υποσταθμών, εντός του δικτύου, πληροφορίες για την κατάσταση του εξοπλισμού και τις συνθήκες της ροής ισχύος. Παραδοσιακά, οι υποσταθμοί μέσης τάσης δεν είναι εφοδιασμένοι με δυνατότητες επικοινωνίας, οπότε η χρήση της υπάρχουσας υποδομής γραμμών μεταφοράς αποτελεί μια ελκυστική λύση στο θέμα της εγκατάστασης νέων ζεύξεων επικοινωνίας.

Μερικές λειτουργίες αυτοματισμού υποσταθμών προϋποθέτουν οι έξυπνες συσκευές (Intelligent Electronic Devices-IEDs) να επικοινωνούν με μία ή περισσότερες εξωτερικές IEDs. Για παράδειγμα, στην περίπτωση εντοπισμού και απομόνωσης σφαλμάτων και αποκατάστασης της υπηρεσίας, οι IEDs του υποσταθμού πρέπει να επικοινωνήσουν με εξωτερικές συσκευές, όπως διακόπτες επαναφοράς. Σε ένα ακόμα παράδειγμα, η δυνατότητα

κατανομής της τάσης στο σύστημα διανομής απαιτεί επικοινωνία μεταξύ των IEDs του υποσταθμού και αυτών που τροφοδοτούν τη διανομή και εξυπηρετούνται από τον υποσταθμό. Όλες αυτές οι επικοινωνίες χρειάζονται συνδεσιμότητα χαμηλής ταχύτητας, που είναι εντός των δυνατοτήτων του PLC.

Στην αναφορά [48] μελετάται η σύνδεση PLC σημάτων έως 95 kHz (ζώνη CENELEC A) για τη μεταφορά online διαγνωστικών δεδομένων, όπου οι συγγραφείς τονίζουν επίσης το πλεονέκτημα της ενσωμάτωσης διαγνωστικών εργαλείων που εξυπηρετούν τον διττό σκοπό της ανίχνευσης και της επικοινωνίας. Τα συστήματα DG ενδέχεται να οδηγήσουν, ακούσια, στη δημιουργία νησίδων (islands) απομονωμένων από το υπόλοιπο δίκτυο. Είναι σημαντικό τέτοια γεγονότα να ανιχνεύονται γρήγορα. Η χρήση Low Data Rate (LDR) NB-PLC (ζώνη CENELEC A) για την είσοδο ενός σήματος στο σύστημα MT έχει αναλυθεί και δοκιμαστεί στην [49] και φαίνεται να είναι λιγότερο ακριβή σε σχέση με άλλες μεθόδους που βασίζονται σε τηλεφωνικά σήματα.

Τέλος, επιπλέον του απομακρυσμένου ελέγχου για την πρόληψη της νησιδοποίησης, έχουν συζητηθεί και αναλυθεί κι άλλες εφαρμογές που σχετίζονται με την παρακολούθηση στην πλευρά MT, όπως μετρήσεις θερμοκρασίας των μετασχηματιστών λαδιού, μετρήσεις τάσης στο δευτερεύον των μετασχηματιστών YT/MT, μελέτη σφαλμάτων, μέτρηση ποιότητας ισχύος, κ.ά.

5.2.2.2 Χαμηλή τάση

Οι περισσότερες εφαρμογές PLC στη χαμηλή τάση είναι στις περιπτώσεις Automatic Meter Reading (AMR)/Advanced Metering Infrastructure AMI, DSM και ενεργειακή διαχείριση σπιτιού.

5.2.2.2.1 AMR Automatic Meter Reading) και AMI (Advanced Metering Infrastructure)

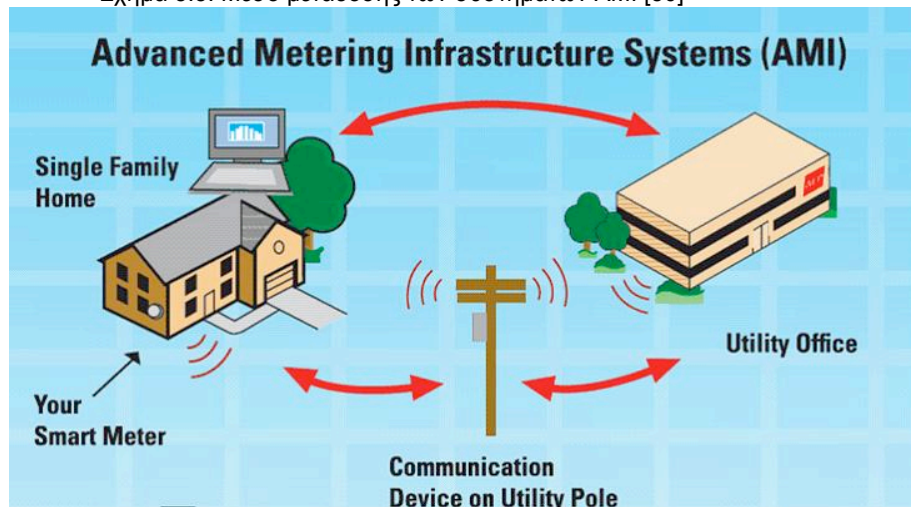
Οι συσκευές ΥπερΣτενής Ζώνης Ultra Narrow Band Power Line Communications (UNB-PLC) ήταν οι πρώτες που χρησιμοποιήθηκαν για εφαρμογές AMR/AMI. Παρά το γεγονός ότι τα συστήματα UNB-PLC χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, τα σήματα διαδίδονται εύκολα μέσω μετασχηματιστών MT και XT. Επιπλέον, η τεχνολογία UNB-PLC δεν απαιτεί κάποιου είδους PL προσαρμογής, όπως θα έκαναν άλλες PLC τεχνολογίες που λειτουργούν σε μεγαλύτερες συχνότητες λόγω του low pass φαινομένου από τους πυκνωτές διόρθωσης του συντελεστή ισχύος και τις αντιστάσεις των μετασχηματιστών διανομής. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες τα συστήματα UNB-PLC έχουν βιώσει σημαντική επιτυχία στην αγορά.

Ενδιαφέρον για AMI εφαρμογές κερδίζουν, επίσης, οι τεχνολογίες Narrow Band Power Line Communications (NB-PLC), το οποίο πηγάζει από την πρόσφατη δημιουργία δυο σχεδίων αφιερωμένων στην προτυποποίηση των NB-PLC πομποδεκτών (IEEE 1901.2 και ITU-T G.hnem). Η ικανότητα της High data rate (HDR) NB-PLC τεχνολογίας, όμως, να παρέχει σημαντικά υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς σε σχέση με την UNB-PLC έρχεται με το τίμημα του μειωμένου εύρους και, μερικές φορές, της σταθεροποίησης του μετασχηματιστή.

Πρέπει να τονίσουμε βέβαια, ότι δεν προσφέρουν όλες οι τεχνολογίες PLC την ίδια αξιοπιστία και ικανότητα να προσπερνούν το μετασχηματιστή διανομής και συχνά αυτή η

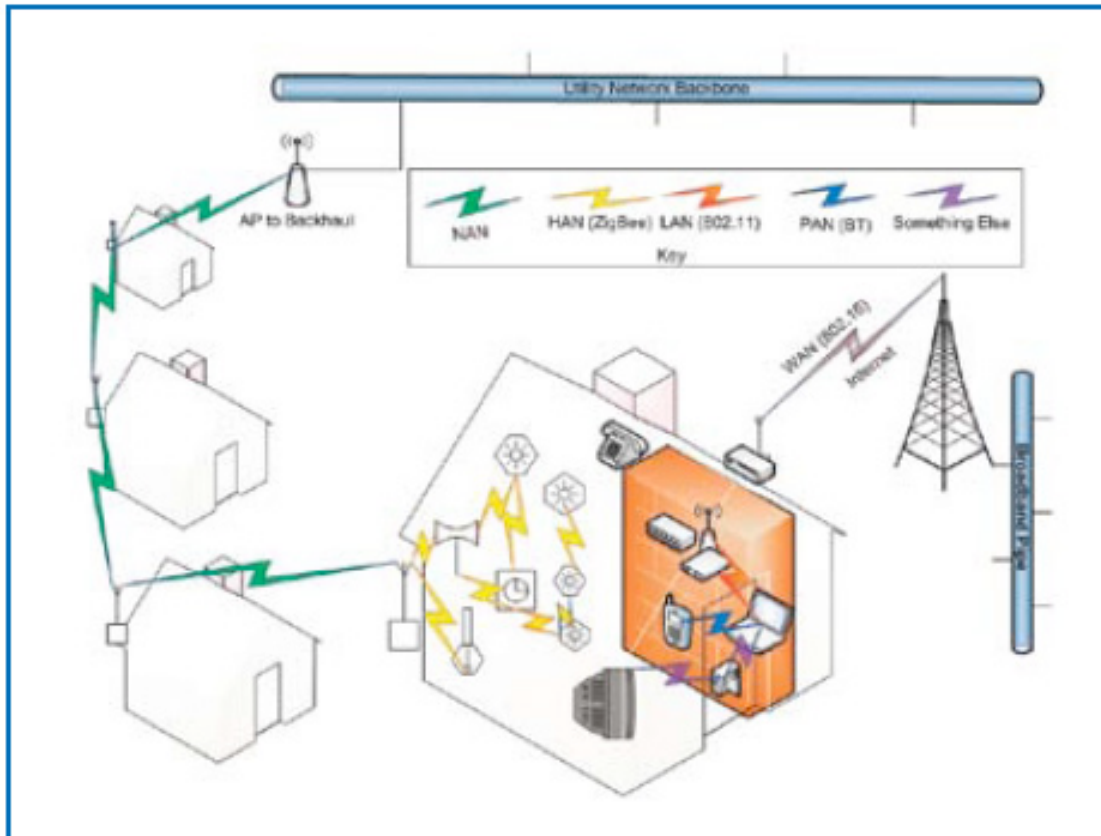
ικανότητα εξαρτάται από τον ίδιο το μετασχηματιστή. Στο σχήμα 5.3 βλέπουμε μια γραφική απεικόνιση της μετάδοσης της επικοινωνίας για συστήματα AMI.

Σχήμα 5.3. Μέσο μετάδοσης των συστημάτων AMI [50]



Το Advanced Metering Infrastructure χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο IEEE 802.15.4 PHY στο οποίο βασίζεται επίσης το πρωτόκολλο ZigBee. Το IEEE 802.15.4 PHY όμως, έχει σχεδιαστεί για να είναι σε θέση να χειριστεί μεγάλα δίκτυα και γι' αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια εφαρμογή ευφών συστημάτων μέτρησης. Σε ένα δικτυωμένο σύστημα μέτρησης, τα δεδομένα του μετρητή τροφοδοτούνται συνήθως σε ένα σταθερό συλλέκτη δεδομένων, ο οποίος συνήθως βρίσκεται σε έναν πόλο στο τέλος του δρόμου ή της γειτονιάς. Τα δεδομένα στη συνέχεια τροφοδοτούνται πίσω στο βοηθητικό πρόγραμμα μέσω μιας ευρυζωνικής σύνδεσης ή ενός κυψελωτού δικτύου κορμού. Το Σχήμα 5.4 απεικονίζει ένα παράδειγμα μιας προηγμένης υποδομής μέτρησης.

Σχήμα 5.4. Σχηματοποίηση των συστημάτων AMI [51]



5.2.3 Ανάγκες μεταφοράς δεδομένων στην εμπορία - χρέωση

Μια επιχείρηση κοινής ωφέλειας παρουσιάζει την ανάγκη μεταφοράς δεδομένων, σχετικών με τα τιμολόγια χρέωσης χρηστών.

5.2.4 Σταθμοί παραγωγής και Μονάδες ΑΠΕ και Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας

5.2.4.1 Σταθμοί παραγωγής

Στην περίπτωση των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών (ΜΔΝ) [52], ένα τοπικό ΚΕΕ (Κέντρο Κατανομής Φορτίου - ΚΚΦ) περιλαμβάνει όλο τον απαιτούμενο εξοπλισμό για την επικοινωνία και έλεγχο των Σταθμών παραγωγής και του δικτύου ΥΤ (όπως RTUs, Real Time Servers) καθώς και το απαιτούμενο γραφικό περιβάλλον για τη λειτουργία της κατανομής.

Η επικοινωνία των ΚΚΦ με τους σταθμούς παραγωγής γίνεται μέσω SCADA, καθώς και μέσω διαδικασιών επικοινωνίας και ενημέρωσης όπως η απευθείας τηλεφωνική επικοινωνία. Χρησιμοποιούνται ειδικοί κατάλογοι σημάτων, ιδίως για την περίπτωση των Σταθμών Παραγωγής. Οι κατάλογοι αυτοί περιλαμβάνουν έναν ελάχιστο αριθμό αναγκαίων σημάτων, που αφορούν κυρίως τον διακοπτικό εξοπλισμό ζεύξης και ορισμένες πρόσθετες μετρήσεις, πρόσθετα δεδομένα μετρήσεων εντολών και σημάνσεων που εφορούν τις

Μονάδες και τα οποία είναι αναγκαία για την εποπτεία των Μονάδων αυτών και τον έλεγχο τους από το σύστημα AGC και τους χειριστές του ΚΚΦ.

5.2.4.2 Μονάδες ΑΠΕ και Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας

Στην περίπτωση για παράδειγμα ενός φωτοβολταϊκού παραγωγού, ο εξοπλισμός που εγκαθίσταται είναι ο ακόλουθος:

- Συσκευές Φερεсуχνιακής επικοινωνίας
- Εξοπλισμός Τηλεχειρισμού, Τηλερύθμισης και Τηλεποπτείας

5.2.4.2.1.1 Συσκευές φερεсуχνιακής επικοινωνίας

Οι κυματοπαγίδες και οι πυκνωτές ζεύξης για το δίκτυο φερεсуχνων στην πύλη γραμμής μεταφοράς 150kV, πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις προδιαγραφών SS-38 και SS-50 του ΑΔΜΗΕ, αντίστοιχα [53]. Αναγκαίο είναι να γίνει ρύθμιση των παρακάτω χαρακτηριστικών των συσκευών: ονομαστική αυτεπαγωγή, ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας, περιοχή συχνοτήτων, ζώνες αποκλεισμού της κυματοπαγίδας και ονομαστική χωρητικότητα του πυκνωτή καθώς και του καθορισμού φάσης σύνδεσης των στοιχείων.

5.2.4.2.1.2 Εξοπλισμός Τηλεχειρισμού, Τηλερύθμισης και Τηλεποπτείας

Ο εξοπλισμός αυτός δίνει τη δυνατότητα τηλεχειρισμού, εκτός από τον εξοπλισμό του τμήματος σύνδεσης του Υ/Σ και, στους πυκνωτές 20kV. Για την παρακολούθηση του Φ/Β σταθμού και του Υ/Σ απαιτείται αφενός η συλλογή λειτουργικών στοιχείων και πληροφοριών από τις εγκαταστάσεις τους και η μετάδοσή τους στο Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας (ΚΕΕ) σε πραγματικό χρόνο και αφετέρου η δυνατότητα μετάδοσης προς αυτούς εντολών ελέγχου από το ΚΕΕ. Για το σκοπό αυτό εγκαθίστανται Τερματικές μονάδες ελέγχου (Remote Terminal Units –RTU) εντός του Κτιρίου ελέγχου του Υ/Σ. Μέσω της συσκευής αυτής ψηφιακά και αναλογικά δεδομένα συλλέγονται στο Κέντρο Ελέγχου, ενώ μεταδίδονται από το κέντρο Ελέγχου προς τον υποσταθμό και το Φ/Β πάρκο εντολές τηλεχειρισμού. Ο αναγκαίος εξοπλισμός και τα αναγκαία έργα για τον παραπάνω σκοπό είναι:

- 1) Εγκατάσταση RTU και σύνδεση στους ενδιάμεσους πίνακες (TDB, IR), modems καθώς και των τροφοδοτικών διατάξεων αδιάλειπτης τροφοδοσίας στο νέο υποσταθμό.
- 2) Εγκατάσταση διπλής τηλεπικοινωνιακής σύνδεσης ανάμεσα στην RTU και το ΚΕΕ. Μια μέσω της φερεсуχνιακής συσκευής στον Υ/Σ και δεύτερη από το Υ/Σ μέχρι το κέντρο ελέγχου.
- 3) Τροφοδοτικές διατάξεις αδιάλειπτης τροφοδοσίας και modems για τη μεταφορά πληροφοριών μέσω των δύο συνδέσεων στο ΚΕΕ.
- 4) Στο Φ/Β σταθμό και στο νέο Υ/Σ, απαραίτητος εξοπλισμός που στέλνει πληροφορίες στην RTU και λαμβάνει και εκτελεί αυτόματα κάθε εντολή από το ΚΕΕ, μέσω της RTU προς το Φ/Β σταθμό σε πραγματικό χρόνο. Η ροή πληροφοριών προς και από την RTU πρέπει να είναι αδιάλειπτη και μεγάλης αξιοπιστίας.

Για την τηλεμετάδοση των μετρήσεων, εγκαθίσταται αποκλειστική τηλεπικοινωνιακή σύνδεση ISDN ή PSTN [53].

5.2.5 Ανάγκες για τη λειτουργία γραφείων

Μια επιχείρηση κοινής ωφέλειας, υποχρεούται να μισθώσει και να λειτουργεί γραφεία. Η λειτουργία των γραφείων δημιουργεί παραπάνω απαιτήσεις σε επικοινωνίες, χρήση φάσματος κλπ.

5.2.6 Ανάγκες για οικονομικές συνδιαλλαγές

Σε μια εταιρεία κοινής ωφέλειας υπάρχει ανάγκη για τήρηση των αναγκαίων διαχειριστικών λογιστικών λογαριασμών. Επίσης για την είσπραξη των εσόδων από τη διαχείριση συμφόρησης των διασυνδέσεων, ή άλλων χρεώσεων που προκύπτουν από τη λειτουργία και τη διαχείριση τους.

5.2.7 Ανάγκες για εξυπηρέτηση πελατών βλάβες

Οι εταιρείες κοινής ωφέλειας, λειτουργούν κέντρα εξυπηρέτησης πελατών. Τηλεφωνικά κέντρα εξυπηρέτησης, ιστοσελίδες κλπ. Η χρήση των κέντρων αυτών, έχει απαιτήσεις σε φάσμα τόσο για την εξυπηρέτηση μεέσω website όσο και τηλεφωνικά για τη σωστή λειτουργία τους.

5.2.8 Ανάγκες για Διαχείριση Ζήτησης (Demand Side Management-DSM)

Μια από τις κύριες DSM εφαρμογές είναι η απόκριση ζήτησης (Demand Response – DR), που λαμβάνει συνεχώς μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Η DR λειτουργία αναφέρεται στους μηχανισμούς διαχείρισης της ζήτησης αποκρινόμενη στις συνθήκες προσφοράς, δεδομένου ότι η παραγωγή ενέργειας δεν μπορεί να προγραμματιστεί νομοτελειακά, π.χ. ηλιακή και αιολική ενέργεια. Έτσι, η απόκριση ζήτησης είναι ένα μέσο για να μετριαστεί η ζήτηση αιχμής, αλλά και να αποκτήσουν οι καταναλωτές καλύτερη επίγνωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Εξαιτίας της μεγαλύτερης εξασθένησης που υφίστανται τα PLC σήματα στην πλευρά της χαμηλής τάσης, οι λύσεις Broadband over power lines (BPL) δεν είναι πάντα ιδανικές για εφαρμογές DR όταν εφαρμόζεται άμεσος έλεγχος του φορτίου, καθώς η απόσταση μεταξύ των συσκευών και του σημείου όπου εισάγεται το σήμα (στον έξυπνο μετρητή, στο μετασχηματιστή MT/XT) μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι πολύ μεγάλη. Από την άλλη, όταν η απόκριση ζήτησης υλοποιείται με έμμεσο έλεγχο, μέσω μιας πύλης, π.χ. σε ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας σπιτιού/κτηρίου (home/building energy management system HEMS/BEMS), οι BPL λύσεις είναι τεχνικά επαρκείς και θα παρείχαν το πρόσθετο πλεονέκτημα της μεταφοράς με ασφάλεια δεδομένων από τις εφαρμογές του Έξυπνου Δικτύου στο Home Area Network (HAN) και vice versa. Αν και τεχνικά επαρκείς, μπορεί να προκύψουν ενδοιασμοί ως προς το κόστος τους και οι BPL τεχνολογίες να κριθούν υπερβολικές για την υλοποίηση DR. Χάρη στις πολύ μικρότερες απώλειες διαδρομής στις

χαμηλότερες συχνότητες, οι λύσεις NB-PLC φαίνονται καλή ιδέα για τις DR εφαρμογές, τόσο για άμεσο όσο και για έμμεσο έλεγχο του φορτίου.

5.3 Απαιτήσεις επικοινωνιών για ενέργειακές εγκαταστάσεις εντός κτιρίων

5.3.1 Ενεργειακή Διαχείριση Σπιτιού (Home Energy Management - HEM)

Η ιδέα της διασύνδεσης εφαρμογών Έξυπνου Δικτύου με ενεργειακή διαχείριση σπιτιού κερδίζει συνεχώς το ενδιαφέρον και είναι έντονη η πεποίθηση πως θα συμβάλλει στην αλλαγή του τρόπου με τον οποίο οι καταναλωτές διαχειρίζονται την κατανάλωση ενέργειας.

Ανεξάρτητα από οποιαδήποτε σύγκλιση στις επιλογές δικτύωσης για το Έξυπνο Δίκτυο, ποικίλες λύσεις BPL θα συνεχίσουν να εγκαθίστανται από τους καταναλωτές. Από αυτή την άποψη, η απομόνωση των Smart Grid εφαρμογών σε μία μπάντα (CENELEC/FCC/ARIB) και ο διαχωρισμός τους από τις παραδοσιακές εφαρμογές πρόσβασης στο Internet και ψυχαγωγίας που λειτουργούν με BroadBand Power Line Communication (BB-PLC) (αλλά επίσης με τη δυνατότητα σύνδεσής τους με ασφάλεια μέσω των συστημάτων διαχείρισης (HEMS)) φαίνεται μια καλή σχεδιαστική λύση, που εξισορροπεί αποτελεσματικά τις διάφορες απαιτήσεις αυτών των πολύ διαφορετικών εφαρμογών.

Αξίζει, ακόμη, να σημειωθεί πως σήμερα υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον προς τις υβριδικές AC/DC υποδομές καλωδίωσης. Εντός του σπιτιού, η ανάπτυξη μιας DC υποδομής θα επιφέρει μεγάλα οφέλη για την παραγωγή ενέργειας (φωτοβολταϊκά, κυψέλες καυσίμου) και την αποθήκευση (επαναφορτιζόμενη μπαταρία). Τόσο η NB-PLC όσο και η BPL τεχνολογίες επωφελούνται από τη λειτουργία πάνω από DC γραμμές γιατί το κανάλι είναι χρονικά αμετάβλητο (time-invariant) και εξαφανίζεται ο κυκλοστατικός θόρυβος των συσκευών, με εξαίρεση τον κρουστικό θόρυβο που δημιουργείται από τους AC/DC μετατροπείς [46]. Στο σχήμα 5.5 βλέπουμε ένα παράδειγμα συσκευής PLC για οικιακή χρήση.

Σχήμα 5.5 Σύγχρονος Power-line adaptor μάρκας devolo με επιπλέον υποδοχή ρεύματος ταχύτητα μεταφοράς μέχρι 600 Mbit/s - συνδεδεμένο με καλώδιο LAN [45].



5.3.2 Αναγνωρισμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας

Η βιομηχανική πρόοδος στην ανάπτυξη ημιαγωγών και η αυξανόμενη ζήτηση από τους τελικούς χρήστες, οδήγησε σε εξελιγμένα συστήματα ελέγχου. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται σε κτήρια για θέρμανση-εξαερισμό-κλιματισμό (HVAC), φωτισμό γενικά και φωτισμό σε περιπτώσεις ανάγκης, ενεργειακή διαχείριση, ασφάλεια και προστασία κ.α. Όλα αυτά τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου, υποστηρίζονται από πρωτόκολλα επικοινωνίας. Τα πιο γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενα είναι:

- Home automation – X10 Protocol
- BACNET
- European Installation Bus - EIB
- LonWorks
- CAN
- ARCNET
- BitBus
- PROFIBUS
- Modbus RTU

Αυτά τα πρωτόκολλα επικοινωνίας αναλύονται και παρακάτω:

5.3.2.1 Home automation- X10 Protocol

Το X10 είναι ένα πρωτόκολλο για την επικοινωνία μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών που χρησιμοποιούνται για την αυτοματοποίηση του σπιτιού (domotics). Χρησιμοποιεί κυρίως την καλωδίωση των γραμμών ηλεκτρικού ρεύματος για τη σηματοδότηση και τον έλεγχο, όπου τα σήματα περιλαμβάνουν σύντομα bursts ραδιοσυχνότητων που εκπροσωπούν ψηφιακή πληροφορία. Ορίζει επίσης ένα πρωτόκολλο που βασίζεται σε ασύρματη εκπομπή [54].

Το X10 αναπτύχθηκε το 1975 από την Pico Electronics στο Glenrothes της Σκωτίας, προκειμένου να επιτρέψει τον απομακρυσμένο έλεγχο των οικιακών συσκευών. Ήταν η πρώτη γενικού σκοπού domotic τεχνολογία δικτύου και παραμένει η πιο ευρέως διαθέσιμη.

Αν και υπάρχουν μια σειρά από εναλλακτικές λύσεις με υψηλότερο εύρος ζώνης, το πρωτόκολλο X10 παραμένει δημοφιλές στο περιβάλλον του σπιτιού με εκατομμύρια μονάδες σε χρήση παγκοσμίως, και ανέξοδη διάθεση νέων εξαρτημάτων [54]. Το πρωτόκολλο X10 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λάμπες, θερμοστάτες, ηχητικούς συναγερμούς και ρυθμιστές για διακόπτες χαμηλής τάσης. Στο σχήμα 5.6 παρουσιάζονται κάποιες συσκευές που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο X10.

Οι οικιακές ηλεκτρικές καλωδιώσεις (οι ίδιες οι οποίες τροφοδοτούν φώτα και ηλεκτρικές συσκευές) χρησιμοποιούνται για την αποστολή ψηφιακών δεδομένων μεταξύ συσκευών που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο X10. Αυτά τα ψηφιακά δεδομένα είναι

κωδικοποιημένα σε έναν φορέα 120 kHz που μεταδίδονται ως bursts κατά τη διάρκεια των zero crossings των 50 ή 60 Hz, του AC κύματος του εναλλασσόμενου ρεύματος. Ένα bit μεταδίδεται σε κάθε zero crossing. Τα ψηφιακά δεδομένα αποτελούνται από μια διεύθυνση και μια εντολή που αποστέλλονται από έναν «ελεγκτή» σε μία «ελεγχόμενη» συσκευή. Οι πιο εξελιγμένοι ελεγκτές μπορούν επίσης να κάνουν «ερώτηση» σε εξίσου προηγμένες συσκευές, έτσι ώστε αυτές να ανταποκριθούν με το status τους (π.χ. ON/OFF). Αυτό το status μπορεί να είναι τόσο απλό όπως "off" ή "on", ή ακόμα και η θερμοκρασία τους ή άλλη ανάγνωση του αισθητήρα.

Η σχετικώς υψηλή συχνότητα φορέως που φέρει το σήμα δεν μπορεί να περάσει διαμέσου ενός μετασχηματιστή ρεύματος ή σε όλες τις φάσεις ενός πολυφασικού συστήματος. Για τα συστήματα διαχωρισμού φάσης, το σήμα μπορεί να συζευχθεί παθητικά χρησιμοποιώντας ένα παθητικό πυκνωτή, αλλά για τρίφασικά συστήματα ή όπου ο πυκνωτής παρέχει ανεπαρκής σύζευξη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας ενεργός X10 επαναλήπτης. Για να επιτραπεί η σύζευξη των σημάτων με διαφορετικές φάσεις και να εξακολουθούν να ταιριάζουν τα zero crossings κάθε φάσης, κάθε bit μεταδίδεται τρεις φορές σε κάθε μισό κύκλο, με offset 1/6 του κύκλου.

Είτε χρησιμοποιώντας τη γραμμή τροφοδοσίας είτε ασύρματες επικοινωνίες, τα πακέτα που μεταδίδονται χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο ελέγχου X10 αποτελούνται από έναν κώδικα «οικίας» τεσσάρων bit που ακολουθείται από έναν ή περισσότερους κωδικούς «μονάδας» τεσσάρων bit, οι οποίοι τελικά ακολουθούνται και από μια εντολή τεσσάρων bit. Για να διευκολυνθούν οι χρήστες όταν διαμορφώνουν ένα οικιακό σύστημα, ο κωδικός «οικίας» που αποτελείται από τέσσερα bit είναι ένα γράμμα από το Α έως Π, ενώ ο κωδικός «μονάδας» τεσσάρων bit είναι ένας αριθμός από το 1 έως το 16. Όταν εγκατασταθεί το σύστημα, κάθε ελεγχόμενη συσκευή έχει ρυθμιστεί να ανταποκρίνεται σε μία από τις 256 πιθανές διευθύνσεις ($16 \text{ κωδικούς «οικίας»} \times 16 \text{ κωδικούς «μονάδας»}$). Κάθε συσκευή αντιδρά σε εντολές που απευθύνονται ειδικά σε αυτές, ή, ενδεχομένως, σε πολλές εντολές εκπομπής. Το πρωτόκολλο μπορεί να μεταδώσει ένα μήνυμα που λέει "επιλέξτε τον κωδικό Α3", ακολουθούμενο από "έναρξη", το οποίο δίνει την εντολή στην μονάδα "Α3" για να ενεργοποιήσει την αντίστοιχη συσκευή. Το σήμα μπορεί να απευθυνθεί σε αρκετές μονάδες προτού δώσει την εντολή, επιτρέποντας έτσι μια εντολή να επηρεάσει πολλές μονάδες ταυτόχρονα. Για παράδειγμα, οι εντολές "επιλέξτε Α3", "επιλέξτε Α15", "επιλέξτε Α4", προκαλεί "έναρξη", στις μονάδες Α3, Α4 και Α15 και ενεργοποιούνται όλες. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει κανένας περιορισμός που να αποτρέπει τη χρήση περισσότερων του ενός κωδικού «οικίας» μέσα σε ένα και μόνο σπίτι. Η εντολή "όλα τα φώτα στο on" και "όλες οι μονάδες στο off" θα επηρεάσει μόνο ένα ενιαίο κώδικα «οικίας», επομένως μια εγκατάσταση που κάνει χρήση πολλαπλών κωδικών «οικίας» πρέπει να τοποθετεί τις συσκευές σε ξεχωριστές ζώνες [54].

Ένα ζήτημα που αντιμετωπίζει το πρωτόκολλο X10 είναι το περιορισμένο εύρος ζώνης (bandwidth) του και ένα άλλο είναι η γνωστή έλλειψη αξιοπιστίας του. Επίσης, η χαμηλή διεκπεραιωτική του ικανότητα το αποκλείει ως λύση για εφαρμογές όπως το σερφάρισμα στο διαδίκτυο, την άμεση μηνυματοδότηση ή την εκπομπή και διανομή οπτικοακουστικού σήματος μέσα στο σπίτι. Από την άλλη μεριά όμως, είναι κατάλληλο για απλές αυτοματοποιήσεις, όπως άνοιγμα και κλείσιμο συσκευών ή λαμπτήρων ή αυτόματο

προγραμματισμό για ξυπνητήρια, θέρμανση, εγγραφείς βίντεο κ.α. Τέλος, αδιαμφισβήτητα αποτελεί μια πολύ καλή υποστηρικτική λύση που μπορεί να χειριστεί πολύ αποδοτικά τις παλαιότερες συσκευές του σπιτιού [55].

Σχήμα 5.6. X10 modules (δεξιόστροφα από επάνω αριστερά):
Μια πρωτότυπη μονάδα λυχνίας BSR, μια «μονάδα ηχητικής
προειδοποίησης», μια μονάδα της λάμπας, μια μονάδα εξόδου [39]



5.3.2.2 BACnet

Το BACnet είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας για αυτοματισμούς κτηρίων και δικτύων ελέγχου. Σχεδιάστηκε για να επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ των αυτοματισμών και τον έλεγχο του εξοπλισμού μέσα σε ένα κτήριο, όπως συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού, φωτισμού, ανίχνευσης πυρκαγιάς, ελέγχου πρόσβασης σε δωμάτια ενός κτηρίου κ.α.

Κύριος στόχος του πρωτοκόλλου είναι να αντικαταστήσει το διαφορετικό τμήμα επικοινωνίας κάθε συσκευής, που συνδέεται στο δίκτυο, με ένα πρότυπο σύνολο κανόνων επικοινωνίας ή αλλιώς με μια κοινή γλώσσα, έτσι ώστε όλες οι συσκευές να δείχνουν ίδιες πάνω στο καλώδιο-δίκτυο. Για να είναι επιτυχής η διεπικοινωνία μιας μεγάλης γκάμας συσκευών μεταξύ τους, το BACnet υλοποιήθηκε σε τρία κύρια μέρη.

Το πρώτο μέρος περιγράφει μια μέθοδο απεικόνισης για οποιοδήποτε τύπο συσκευής αυτοματισμού ενός κτηρίου, με έναν τυποποιημένο τρόπο.

Το δεύτερο μέρος καθορίζει το είδος των μηνυμάτων, που πιθανόν θέλουν να στείλουν μεταξύ τους οι συσκευές αυτοματισμού και ελέγχου σε ένα κτήριο. Επειδή το συγκεκριμένο πρωτόκολλο βασίζεται στο μοντέλο "Πελάτη - Εξυπηρετητή", τα μηνύματα διεξάγονται από τον εξυπηρετητή(server) εκ μέρους του πελάτη(client).

Τέλος, το τρίτο μέρος καθορίζει ένα σύνολο αποδεκτών LANs που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου.

5.3.2.3 European Installation Bus – EIB

Ο ευρωπαϊκός οργανισμός European Installation Bus (EIB) ιδρύθηκε το 1990 από 15 εταιρείες. Σήμερα ο οργανισμός αποτελείται από περισσότερες από 100 εταιρίες, οι οποίες ενώθηκαν με σκοπό τη δημιουργία ενός κοινού προτύπου διαύλου επικοινωνίας. Ο στόχος τους για ένα κοινό σύστημα διαχείρισης κτηρίων σε όλη την Ευρώπη, επιτυγχάνεται από τα παρακάτω:

- Καθορίζοντας τεχνικές οδηγίες για συστήματα και προϊόντα.
- Καθορίζοντας κανόνες για την ποιότητα των συσκευών.
- Καθορίζοντας τις διαδικασίες δοκιμής.
- Διαδίδοντας την τεχνογνωσία στα μέλη, σε θυγατρικές εταιρείες και σε άτομα που έχουν προμηθευτεί με άδειες.
- Δεσμεύοντας τα ινστιτούτα δοκιμών να εκτελούν τις ποιοτικές επιθεωρήσεις.
- Χορηγώντας σε τρίτους που περνούν τις δοκιμές, την άδεια χρήσης του σήματος "EIB".
- Συμμετέχοντας ενεργά στην τυποποίηση

Η διασύνδεση των συσκευών στο EIB πραγματοποιείται κυρίως χρησιμοποιώντας συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων. Οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές που συνδέονται πάνω στο δίκτυο ονομάζονται συνδρομητές διαύλου. Σε κάθε γραμμή διαύλου μπορούν να συνδεθούν μέχρι και 64 συνδρομητές διαύλου. Δυο περιοριστικά στοιχεία είναι ότι το συνολικό μήκος του διαύλου δεν μπορεί να ξεπερνά το 1Km και η απόσταση μεταξύ δυο συσκευών δεν μπορεί να ξεπερνά τα 700 m. Μέχρι 12 τέτοιες γραμμές μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους, χρησιμοποιώντας έναν συζευκτήρα γραμμής και δημιουργώντας μια περιοχή διαύλου. Μέχρι 15 τέτοιες περιοχές μπορούν είναι δυνατόν να συνδεθούν μεταξύ τους, μέσω ενός συζευκτήρα περιοχής.

5.3.2.3.1 Τοπολογία

Η τοπολογία του διαύλου σε ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί αυτό το πρωτόκολλο ποικίλει, ανάλογα το σύστημα. Μπορεί να ακολουθήσει τη συνδεσμολογία δέντρου (tree), αστέρα (star), δακτυλίου (ring) ή διαύλου (bus). Το δίκτυο μπορεί να σχεδιαστεί είτε με *κεντρικό έλεγχο* όπου υπάρχει ένας κύριος (master) – συνδρομητής (slave), ο οποίος ελέγχει την όλη εγκατάσταση, είτε ως *ομότιμο δίκτυο*, όπου ο έλεγχος της εγκατάστασης είναι μοιρασμένος στους συνδρομητές που την αποτελούν.

5.3.2.3.2 Μετάδοση πληροφορίας

Οι συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε ένα δίκτυο το οποίο υποστηρίζει το πρωτόκολλο EIB, επικοινωνούν μεταξύ τους με ταχύτητα από 1200bps, όταν χρησιμοποιείται γραμμή ισχύος 220V για τη διασύνδεση των συσκευών, έως 19200bps, όταν χρησιμοποιείται ασύρματη ραδιοσύζευξη για τη διασύνδεση των συσκευών.

Οι πληροφορίες που μεταδίδονται στο δίαυλο περιγράφονται ως τηλεγραφήματα. Κάθε τηλεγράφημα χωρίζεται σε τέσσερα πεδία: το πεδίο ελέγχου, το πεδίο διεύθυνσης, το πεδίο δεδομένων και το πεδίο επαλήθευσης. Το πρώτο και τελευταίο πεδίο εξασφαλίζουν τη χωρίς λάθη επικοινωνία, ενώ το πεδίο της διεύθυνσης παρέχει πληροφορίες σχετικά με το ποιος δίαυλος και ποιά συσκευή πρέπει να δεχτεί το τηλεγράφημα που αποστέλλεται. Επίσης, σύμφωνα με το πρότυπο, επιβάλλεται κάθε χρονική στιγμή ο δίαυλος να χρησιμοποιείται για εκπομπή πληροφορίας μόνο από ένα συνδρομητή. Γι' αυτό το λόγο, έχει αναπτυχθεί ένας μηχανισμός διαιτησίας που αποτρέπει τη ταυτόχρονη χρήση του διαύλου από 2 ή περισσότερους συνδρομητές την ίδια χρονική στιγμή.

5.3.2.4 LonWorks

Το πρότυπο LonWorks(local operation network) σχεδιάστηκε από την εταιρεία Echelon, για την ανάπτυξη δικτύων που σχετίζονται με αισθητήρες, λειτουργίες ελέγχου συστημάτων και αυτοματισμούς κτηρίων όπως φωτισμό, θέρμανση, εξαερισμό, ψύξη του χώρου κ.α. Επιτρέπει σε διαφορετικά συστήματα να επικοινωνήσουν, ανταλλάσσοντας πληροφορίες με βάση ένα τυποποιημένο τρόπο, ώστε να προκύψει ένα πιο απλό και αποδοτικό σύστημα.

5.3.2.4.1 LonTalk

Το πρωτόκολλο στο οποίο στηρίζεται η λειτουργία ενός δικτύου LonWorks ονομάζεται LonTalk. Ακολουθεί το πρότυπο OSI 7-επιπέδων και αυτό το κάνει πιο ευέλικτο και ευκολότερα επεκτάσιμο. Είναι βασισμένο στο CSMA πρωτόκολλο ή διαφορετικά, όπως είναι ευρύτερα γνωστό, στο Ethernet. Το LonTalk αξιοποιεί πληροφορίες που βρίσκονται στην επικεφαλίδα του πρωτοκόλλου και στο μήνυμα, για να προβλέψει την κίνηση των μηνυμάτων και δυναμικά αυξάνει ή μειώνει το αριθμό των τυχαίων σχισμών(slots). Έτσι όταν η κίνηση αυξάνεται, αυξάνεται και ο αριθμός των σχισμών και αντίστοιχα όταν η κίνηση μειώνεται, μειώνεται και ο αριθμός των σχισμών. Το αποτέλεσμα είναι ότι όταν αυξάνεται η κίνηση στο δίκτυο, η πιθανότητα δυο ή περισσότερες συσκευές να χρησιμοποιήσουν την ίδια τυχαία σχισμή, δηλαδή να επικοινωνήσουν ταυτόχρονα, παραμένει μικρή. Επίσης, το LonTalk υποστηρίζει από άκρη σε άκρη (peer -to- peer) επιβεβαιώσεις και αυτόματες επαναμεταδόσεις, δηλαδή όταν κάποιος κόμβος του δικτύου στέλνει κάποιο μήνυμα, περιμένει επιβεβαίωση από όλους τους υποτιθέμενους παραλήπτες, διαφορετικά επαναμεταδίδει το μήνυμα.

5.3.2.4.2 Neurons

Ένα δίκτυο LonWorks αποτελείται από έναν αριθμό κόμβων χρησιμοποιώντας ένα κοινό πρωτόκολλο, το LonTalk όπως αναφέραμε και προηγουμένως. Οι κόμβοι αυτοί, είναι απλές συσκευές μέτρησης και ελέγχου, όπως αισθητήρες, διακόπτες κλπ. Η καρδιά του κάθε κόμβου είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα που λέγεται Neuron, το οποίο εμπεριέχει το πρωτόκολλο LonTalk, αποτελείται από τρεις επεξεργαστές των 8-bit, ενσωματωμένη μνήμη, υποδοχές I/O και κατάλληλο λογισμικό. Το ολοκληρωμένο εκτελεί αρκετά καθήκοντα, όπως του επεξεργαστή, του ελεγκτή, της απλής μνήμης και της EEPROM μνήμης που περιέχει ρυθμίσεις δικτύου και πληροφορίες διευθυνσιοδότησης, κατέχει δε, έναν μοναδικό και μόνιμα προγραμματισμένο σειριακό αριθμό 48-bit και τον κώδικα της εφαρμογής γραμμένο με επιλογή του χρήστη. Τέλος, για τη διεπαφή μεταξύ του ολοκληρωμένου Neuron και του διαύλου LonWorks απαιτείται ένας ή περισσότεροι πομποδέκτες(transceivers).

5.3.2.5 CAN

Το πρωτόκολλο CAN (Controller Area Network) δημιουργήθηκε, από τον Robert Bosch το 1988 για εφαρμογές αυτοκινήτων, σαν μια μέθοδος σειριακής επικοινωνίας. Στόχος ήταν οι μικροελεγκτές και οι συσκευές σε ένα αυτοκίνητο, να επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς τη χρήση κάποιου κεντρικού υπολογιστή, καθώς επίσης τα αυτοκίνητα να γίνουν πιο αξιόπιστα, πιο ασφαλή και πιο οικονομικά από άποψη κατανάλωσης καυσίμου, αξιοποιώντας τη μείωση της καλωδίωσης, του βάρους και της πολυπλοκότητας. Στη συνέχεια, παρατηρήθηκε πως είναι χρήσιμο και για βιομηχανικά συστήματα ελέγχου μηχανών. Η ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων φθάνει το 1 Mbit/s, αν το μήκος του διαύλου είναι μέχρι 40 μέτρα. Αν αυξήσουμε το μήκος του διαύλου, πέρα από τα 40 μέτρα, μειώνεται η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων(π.χ. 125 kbps στα 500 μέτρα).

5.3.2.5.1 Διασύνδεση κόμβων

Η πρόσβαση των κόμβων στο δίαυλο ελέγχεται σύμφωνα με το πρωτόκολλο CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection ή Πολλαπλή Προσπέλαση με Ανίχνευση Φέροντος Σήματος και Ανίχνευση Σύγκρουσης. Αυτό σημαίνει ότι κάθε κόμβος πρέπει να παρακολουθεί το δίαυλο για ένα διάστημα στο οποίο δεν συμβαίνει καμία δραστηριότητα, προτού στείλει κάποιο μήνυμα. Επίσης όταν εμφανιστεί αυτή η περίοδος, όπου δεν υπάρχει καμία δραστηριότητα, κάθε κόμβος έχει την ίδια πιθανότητα να εκπέμψει κάποιο μήνυμα. Όσον αφορά την ανίχνευση σύγκρουσης, αν δυο ή περισσότεροι κόμβοι αρχίσουν να μεταδίδουν την ίδια χρονική στιγμή, θα ανιχνεύσουν τη σύγκρουση και θα κάνουν τις κατάλληλες κινήσεις. Η μη καταστρεπτική μέθοδος διαιτησίας που χρησιμοποιείται για τα μηνύματα, ακόμη και μετά από σύγκρουση διατηρεί τα μηνύματα άθικτα και δεν δημιουργεί καθυστέρηση στα μηνύματα υψηλότερης προτεραιότητας. Ένα επιπλέον όφελος του πρωτοκόλλου, όσον αφορά τη διασύνδεση των κόμβων, είναι ότι

μπορούμε να προσθέσουμε κάποιον κόμβο, χωρίς να χρειάζεται να επαναπρογραμματίσουμε όλους τους υπόλοιπους, ώστε να μπορούν να τον αναγνωρίζουν.

5.3.2.5.2 Μετάδοση πληροφορίας

Το πρωτόκολλο CAN είναι βασισμένο στο μήνυμα που μεταδίδεται και όχι στη διεύθυνση. Ενσωματωμένο στο ίδιο το μήνυμα, βρίσκεται η προτεραιότητα, ένας αναγνωριστικός κωδικός και τα περιεχόμενα των δεδομένων που μεταδίδονται. Όλοι οι κόμβοι του συστήματος, λαμβάνουν κάθε μήνυμα που στέλνεται στον δίαυλο. Ο κάθε κόμβος μπορεί να προγραμματιστεί έτσι ώστε να αποδέχεται μηνύματα που περιλαμβάνουν έναν συγκεκριμένο αναγνωριστικό κωδικό, και αυτά να τα κρατάει για περεταίρω επεξεργασία, ενώ τα υπόλοιπα να τα απορρίπτει. Επίσης άλλο ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου, το οποίο είναι και αυτό ενσωματωμένο, είναι η ικανότητα ενός κόμβου να ζητάει πληροφορίες από κάποιον άλλο κόμβο. Ονομάζεται RTR (Remote Transmit Request) και είναι διαφορετικό από το προηγούμενο χαρακτηριστικό, αφού αντί ένας κόμβος να περιμένει να σταλθεί η πληροφορία από κάποιον κόμβο, ζητάει ο ίδιος να του αποσταλούν τα δεδομένα. Τέλος η μετάδοση των δεδομένων γίνεται σειριακά και το κάθε μήνυμα έχει μεταβλητό μήκος 0-8 bytes. Τα δεδομένα που μεταδίδονται περιέχουν bits ελέγχου του τύπου Κυκλικού Κώδικα Πλεονασμού (CRC - Cyclic Redundancy Code).

5.3.2.6 ARCNET

Το ARCNET (Attached Resource Computer NETwork) τοποθετείται στην κατηγορία των τοπικών δικτύων επικοινωνίας (LAN), όπως το Ethernet. Αρχικά, ήταν το πρώτο διαθέσιμο πρωτόκολλο για μικροεπεξεργαστές και έγινε ιδιαίτερα γνωστό το 1980 για αυτοματισμούς γραφείων. Από τότε η χρήση του για αυτό το σκοπό έχει μειωθεί, παρόλα αυτά χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στην βιομηχανία εξαιτίας της ιδιαίτερης απόδοσής του, σε ότι αφορά τον έλεγχο. Είναι γρήγορο πρωτόκολλο, παρέχει σταθερή απόδοση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κάλυψη μεγάλων αποστάσεων, καθιστώντας το κατάλληλο για τεχνολογία διαύλου πεδίου (fieldbus). Ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων είναι 2.5Mbps, έχει μεταβαλλόμενο μήκος πακέτου από 0-507 bytes και υποστηρίζει μέχρι 255 κόμβους.

5.3.2.6.1 Πλεονεκτήματα πρωτοκόλλου

- Ευρεία αποδοχή
- Χαμηλό κόστος ανά κόμβο
- Υποστήριξη πολλών master στο ίδιο δίκτυο
- Υποστήριξη πολλαπλών μέσων με χρήση καλωδίων

Είναι από τα πιο ευέλικτα ενσύρματα δίκτυα. Χρησιμοποιεί τοπολογία διαύλου, αστέρα και κατανεμημένου αστέρα. Πιο συγκεκριμένα στην τοπολογία διαύλου, όλοι οι κόμβοι είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο καλώδιο. Η ίδια τοπολογία χρειάζεται μια συσκευή που ονομάζεται “hub” (κομβικό σημείο παθητικό ή ενεργητικό) που χρησιμοποιείται για να συγκεντρώνονται

καλώδια από τον κάθε κόμβο. Στον κατανεμημένο αστέρα οι κόμβοι συνδέονται σε ένα ενεργητικό “hub”, με όλα τα hub να ενώνονται διαδοχικά μεταξύ τους. Η συνδεσμολογία αυτή προσφέρει μεγάλη ευελιξία και επιτρέπει στο δίκτυο να επεκταθεί μέχρι και 6.4Km λειτουργώντας στα 2.5Mbps, χωρίς τη χρήση εκτεταμένων χρονικών ορίων. Επίσης, υποστηρίζεται ένα μεγάλο εύρος μέσου καλωδίων, συμπεριλαμβανομένου του ομοαξονικού, συνεστραμμένου ζεύγους και οπτικής ίνας.

- **Καθορισμένη απόδοση**

Το κλειδί της απόδοσης του ARCNET είναι στο token-passing δίκτυο. Σε ένα τέτοιο δίκτυο, ένας κόμβος μπορεί να μεταδώσει ένα μήνυμα, μόνο όταν λάβει το “token”. Αυτός ο τρόπος επικοινωνίας του μέσου προτιμάται, ώστε να περιορίζονται οι συγκρούσεις σε ένα απασχολημένο δίκτυο, αφού όλοι οι κόμβοι έχουν ισάξια πρόσβαση σε αυτό. Επίσης η χειρότερη περίπτωση από άποψη χρόνου για τη λήψη του “token” μπορεί να υπολογιστεί εκ των προτέρων, παράγοντας αρκετά σημαντικός για συστήματα πραγματικού χρόνου. Έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει μέχρι 10Mbps, ταχύτητα υπεραρκετή ακόμα και για μελλοντικά ενσωματωμένα συστήματα.

- **Απλό στην εγκατάσταση**

Το πρωτόκολλο αυτό έχει υλοποιηθεί σε hardware και δεν απαιτείται λογισμικό για εγκατάσταση, εκτός αν στο ενσωματωμένο σύστημα υπάρχει κάποιο λειτουργικό σύστημα. Ήδη ενσωματώνει διάφορες λειτουργίες επικοινωνίας και δικτύου, χωρίς επιπλέον λογισμικό. Επίσης το ARCNET αναγνωρίζει τους κόμβους που προστίθενται ή αφαιρούνται από το δίκτυο και με αυτόματο τρόπο το ρυθμίζει αναλόγως.

5.3.2.6.2 Χρησιμότητα

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο χρησιμοποιείται κυρίως σε:

- συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και ψύξης (HVAC)
- συστήματα παραγωγή ενέργειας
- αυτοματισμούς γραφείων
- αυτοματισμούς πλοίων
- συστήματα κατασκευής πληροφοριακών συστημάτων
- συστήματα απόκτησης δεδομένων και ελέγχου
- συστήματα ασφαλείας
- μηχανές παιχνιδιών
- τηλεπικοινωνίες

Γενικά χρησιμοποιείται σε κάθε εφαρμογή όπου η απόδοση σε πραγματικό χρόνο, η ασφάλεια και ο εύρωστος σχεδιασμός είναι σημαντικά.

5.3.2.7 BitBus

Το πρωτόκολλο BitBus είναι ένα ανοιχτό και μη ιδιόκτητο σύστημα διαύλου πεδίου (fieldbus). Αρχικά, δημιουργήθηκε από την Intel το 1984 και το 1991 υιοθετήθηκε παγκοσμίως με την ονομασία IEEE 1118. Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκαν δυο πολύ γνωστά πρότυπα ως βάση. Το RS485 χρησιμοποιήθηκε για τη φυσική επικοινωνία μεταξύ των συσκευών και από τη πλευρά του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε το SDLC (Synchronous Data Link Control).

5.3.2.7.1 Χαρακτηριστικά πρωτοκόλλου

- Μπορεί να καλύψει μεγάλες περιοχές, για παράδειγμα 1.2Km με ρυθμό μετάδοσης 62.5kBits/s, 300m με το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης που φθάνει τα 375kBit/s κτλ.
- Μπορεί να αυξήσει κατά πολύ το μήκος του δικτύου χρησιμοποιώντας επαναλήπτες.
- Χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο βασισμένο στην ανταλλαγή μηνυμάτων με αυτόματη ανίχνευση λάθους, που ονομάζεται SDLC. Τυποποιημένοι σειριακοί ελεγκτές όπως ο 85C30 είναι υπεύθυνοι για τον χειρισμό του SDLC στο υλικό(hardware), ενώ πρωτόκολλα που βασίζονται σε χαρακτήρες(ασύγχρονη μετάδοση) έχουν κατά πολύ, μικρότερο ρυθμό ανίχνευσης λάθους.
- Χρησιμοποιεί ζεύγος συνεστραμμένου καλωδίου ως μέσο μετάδοσης. Το δε, RS485 είναι αναγνωρισμένο για την ανοσία του στον θόρυβο. Επίσης χρησιμοποιεί κωδικοποίηση NRZI, όπου το ρολόι μεταδίδεται μαζί με τα δεδομένα και όπου δεν είναι αναγκαίο να υπάρχει πολικότητα σε ένα BitBus ζευγάρι καλωδίου. Ένας ελαττωματικός κόμβος ή ένας κόμβος χωρίς ενέργεια, δεν εμποδίζει τον διάυλο.
- Ο μέγιστος αριθμός κόμβων σε ένα δίκτυο BitBus είναι 250. Σε κάθε τμήμα του δικτύου υποστηρίζονται μέχρι 28 κόμβοι και έπειτα πρέπει να ακολουθήσει υποχρεωτικά επαναλήπτης.

5.3.2.7.2 Εφαρμογές πρωτοκόλλου

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο χρησιμοποιείται κυρίως σε:

- συστήματα καταγραφής, για τη συλλογή δεδομένων σε έναν κόμβο, την αποθήκευσή τους και την προβολή τους τοπικά. Επίσης για να μπορούν τα δεδομένα να είναι διαθέσιμα από τον διαχειριστή.
- συστήματα ελέγχου κίνησης
- αυτοματισμούς κτηρίων, όπως έλεγχος κλιματισμού, φωτισμού κτλ.
- συστήματα ελέγχου δεδομένων, όπως αλλαγή κατάστασης μηχανών, χρόνοι λειτουργείας, αριθμός παραγόμενων εξαρτημάτων κτλ.
- καταγραφικά συστήματα για ποιοτικό έλεγχο, όπως αναφορά δεδομένων ενός προϊόντος(βάρος, διαστάσεις κτλ.)
- συστήματα PLC
- συστήματα ασφαλείας, από απλούς συναγερμούς, μέχρι συστήματα ασφαλείας για φυλακές

5.3.2.8 PROFIBUS

Το πρωτόκολλο PROFIBUS (Process Field Bus) είναι ένα πρότυπο για την επικοινωνία συστημάτων διαύλου πεδίου, σε εφαρμογές αυτοματισμού. Το 1986 στη Γερμανία, 21 εταιρείες και ινστιτούτα συνεργάστηκαν με σκοπό να υλοποιήσουν και να διαδώσουν τη χρήση του σειριακού διαύλου πεδίου, το οποίο θα ήταν βασισμένο στις απαιτήσεις των διεπαφών των συσκευών πεδίου. Η προώθησή του ξεκίνησε το 1989 από το Γερμανικό οργανισμό BMBF και έπειτα χρησιμοποιήθηκε από τη Siemens. Σήμερα παγκοσμίως φθάνει να χρησιμοποιείται σε 43.8 εκατομμύρια συσκευές, εκ των οποίων πάνω από 7.5 εκατομμύρια είναι στη βιομηχανία.

5.3.2.8.1 Χαρακτηριστικά πρωτοκόλλου

- Μέσω ενός διαύλου, το PROFIBUS συνδέει συστήματα ελέγχου με αποκεντρωμένες συσκευές πεδίου (αισθητήρες, ενεργοποιητές κ.α.) και επίσης επιτρέπει τη συνεχή ανταλλαγή δεδομένων με συστήματα επικοινωνίας που βρίσκονται υψηλότερα στη διαβάθμιση.
- Είναι βελτιστοποιημένο για κατανεμημένες εφαρμογές εισόδου-εξόδου. Μέχρι 126 τέτοιες συσκευές μπορούν να συνδεθούν σε ένα δίκτυο. Από τη στιγμή που κάθε τέτοια συσκευή μπορεί να ελέγχει εκατοντάδες συνδέσεις σημείων, το PROFIBUS παρέχει ένα πολύ μεγάλο αριθμό πιθανών συνδέσεων για κάθε ελεγκτή.
- Χωρίζεται σε δυο μοντέλα το PROFIBUS DP (Decentralized Periphery) και το PROFIBUS PA(Process Automation). Το μεν πρώτο χρησιμοποιείται κυρίως για συσκευές εισόδου/εξόδου υψηλών ταχυτήτων. Μπορεί να χρησιμοποιεί διαφορετικά φυσικά στρώματα όπως RS485, ασύρματη επικοινωνία ή οπτική ίνα. Το δε, δεύτερο αναφέρεται σε λειτουργίες όπως: δίαυλο που χρησιμοποιεί το φυσικό στρώμα MBP(Manchester encoded Bus Powered) σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61158-2, ρύθμιση κάποια συσκευής μέσω διαύλου, ασφαλή σχεδιασμό
- Επίσης η αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών είναι τύπου master/slave. Οι master συσκευές καλούνται ενεργοί σταθμοί και χαρακτηριστικές τέτοιες συσκευές είναι τα PLC (Programmable Logic Controler), CNC (Compare Numerical Controler) και ελεγκτές κυττάρων. Οι slave συσκευές καλούνται παθητικοί σταθμοί στο πρωτόκολλο PROFIBUS και χαρακτηριστικές συσκευές είναι οι αισθητήρες, ενεργοποιητές και συσκευές αποστολής μηνυμάτων.

5.3.2.8.2 Πλεονεκτήματα πρωτοκόλλου

Τα οφέλη του PROFIBUS ποικίλουν ανάλογα το μέσο. Πιο συγκεκριμένα:

- Οι διευθυντές των εργοστασίων που χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο πρωτόκολλο στις εγκαταστάσεις τους επωφελούνται λόγω του ότι:
 - έχουν χαμηλότερο κόστος
 - πιο γρήγορη και ευέλικτη παραγωγή προϊόντων
 - καλύτερη ποιότητα προϊόντων
 - ασφαλέστερα εργοστάσια

- Οι τεχνικοί ενός εργοστασίου επωφελούνται γιατί:
 - έχουν λιγότερη καλωδίωση και λιγότερη χρήση υλικού
 - η εκάστοτε εργασία γίνεται σε λιγότερο χρόνο
 - έχουν μεγάλο φάσμα για επιλογή του κατάλληλου προμηθευτή
 - τα έγγραφα που συνοδεύουν τις συσκευές(εγχειρίδια χρήσης κτλ.) που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο είναι αρκετά πιο απλά σε σχέση με αυτά άλλων πρωτοκόλλων
- Το ίδιο το εργοστάσιο που είναι εξοπλισμένο με το PROFIBUS βρίσκεται σε πλεονεκτικότερη θέση έναντι άλλων, λόγω του ότι:
 - διαθέτει εξελιγμένη τεχνολογία
 - οι αναβαθμίσεις μπορούν να γίνουν πιο εύκολα και κοστίζουν αρκετά λιγότερα χρήματα
 - μεγαλύτερη διάρκεια ζωής
 - ευκολότερη μετακόμιση ολόκληρου του εργοστασίου, σε περίπτωση που χρειαστεί να αλλάξει τοποθεσία
- Τέλος, επωφελείται γενικότερο όλο το προσωπικό γιατί:
 - υπάρχει ευέλικτη παραγωγή
 - λιγότερες ώρες μη λειτουργίας του εργοστασίου
 - καλύτερες συνθήκες συντήρησης
 - η διαδρομή από το PROFIBUS μέχρι τον αισθητήρα είναι διαφανής, οπότε είναι ξεκάθαρο πιο σύστημα πρέπει να αντικατασταθεί σε περίπτωση βλάβης

5.3.2.9 Modbus

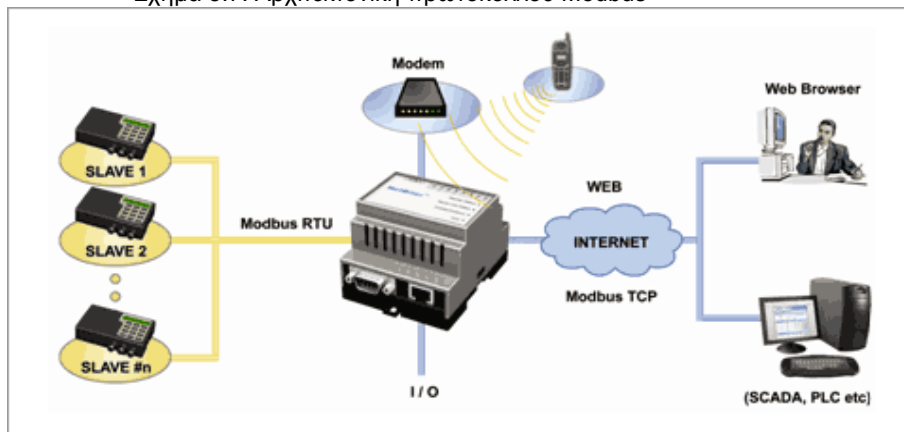
Το πρωτόκολλο Modbus είναι ένα σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας που εκδόθηκε από την εταιρεία Modicon(σημερινή Schneider Electric) το 1979, βασισμένο στην αρχιτεκτονική master/slave, για να χρησιμοποιηθεί σε προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC-programmable logic controllers). Λόγω της απλότητας και της αξιοπιστίας που το διακρίνει, έχει γίνει ένα πρότυπο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται αρκετά συχνά για να συνδέσει βιομηχανικές ηλεκτρονικές συσκευές. Η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων γίνεται μέσω μηνυμάτων, όπου υπάρχει ανοιχτό πρότυπο που περιγράφει τη δομή τους. Αρχικά, η διεπαφή του πρωτοκόλλου έτρεχε σε καλώδιο RS-232, αλλά αργότερα χρησιμοποιήθηκε RS-485 γιατί επιτρέπει την επικοινωνία σε μεγαλύτερες αποστάσεις και μπορεί να υποστηρίξει υψηλότερες ταχύτητες.

Επίσης, το Modbus είναι ένα ευέλικτο πρότυπο που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ πολλών συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο ίδιο δίκτυο, για παράδειγμα ένας μετεωρολογικός σταθμός που μετράει θερμοκρασία, ταχύτητα αέρα, υγρασία κτλ. και δίνει τα αποτελέσματα σε έναν H/Y.

Ανάλογα με το ποιο πρωτόκολλο Modbus χρησιμοποιείται, η επικοινωνία μπορεί να είναι είτε απλή είτε από άκρη σε άκρη (peer to peer). Οι διαφορές μεταξύ των εκδόσεων του πρωτοκόλλου είναι στην κωδικοποίηση των μηνυμάτων, στο μήκος του καλωδίου που τρέχει πάνω το εκάστοτε πρωτόκολλο, στον αριθμό των συσκευών που μπορούν να συνδεθούν στο

ίδιο δίκτυο κ.α. Έτσι οι εκδόσεις του προτύπου, οι οποίες αναλύονται και παρακάτω, είναι Modbus Plus, Modbus TCP, Modbus ASCII και Modbus RTU.

Σχήμα 5.7. Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου Modbus

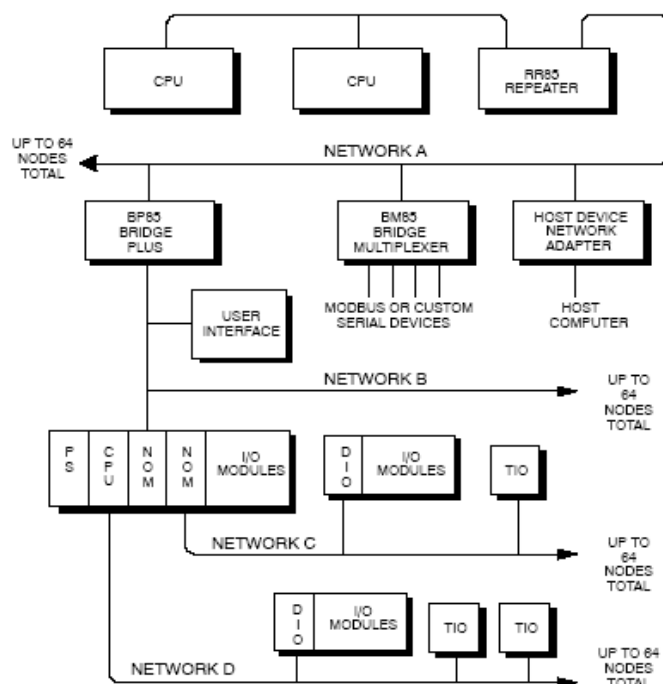


5.3.2.9.1 Modbus Plus

Το Modbus Plus αναπτύχθηκε από την εταιρεία Schneider & Modicon και σήμερα διαχειρίζεται από τον οργανισμό Modbus-IDA. Δεν είναι ένα ανοιχτό πρότυπο, όπως έχει γίνει το κλασσικό Modbus πρωτόκολλο. Αναπτύχθηκε με σκοπό να ξεπεραστεί το εμπόδιο του ενός master στο ίδιο δίκτυο και ήταν ένα από τα πρώτα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν “Token”, το οποίο πρωτοστάτησε για την ανάπτυξη άλλων περισσότερο εξελιγμένων και ντετερμινιστικών πρωτοκόλλων του σήμερα.

Τοποθετείται και αυτό στην κατηγορία των τοπικών δικτύων επικοινωνίας (LAN), με κύρια χρήση στον έλεγχο βιομηχανικών εφαρμογών. Οι συσκευές που βρίσκονται στο ίδιο δίκτυο, μπορούν να ανταλλάσσουν μηνύματα για τον έλεγχο, την παρακολούθηση και καταγραφή των διεργασιών σε διάφορους απομονωμένους σταθμούς στο βιομηχανικό πεδίο.

Σχήμα 5.8. Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου Modbus Plus



5.3.2.9.1.1 Επικοινωνία και συσκευές

Κάθε συσκευή που βρίσκεται στο ίδιο τμήμα δικτύου πρέπει να διαθέτει μια μοναδική διεύθυνση από 1-64. Μέχρι 32 κόμβοι μπορούν να συνδεθούν απευθείας σε καλώδιο δικτύου μήκους περίπου 450m. Χρησιμοποιώντας επαναλήπτες μπορούμε να επεκτείνουμε το καλώδιο σε απόσταση 1.8Km, φθάνοντας ταυτόχρονα τον αριθμό των κόμβων στο μέγιστο δυνατό, δηλαδή 64. Γεφυρώνοντας πολλαπλά τέτοια τμήματα δικτύου, μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα μεγάλο ενιαίο σύστημα. Οι πληροφορίες μέσα στο δίκτυο μεταδίδονται μέσω μηνυμάτων, τα οποία περνούν από τη μια συσκευή στην άλλη χρησιμοποιώντας κατάλληλη διαδρομή που αποτυπώνεται μέσα στο μήνυμα. Η διαδρομή περιλαμβάνει τη διεύθυνση του κόμβου προορισμού και του οποιοδήποτε άλλου εσωτερικού κόμβου απαιτείται, προκειμένου να φθάσει το μήνυμα στον προορισμό.

Οι συσκευές ή αλλιώς οι κόμβοι ενός δικτύου λειτουργούν σαν ομότιμα μέλη ενός λογικού δακτυλίου, αποκτώντας πρόσβαση στο δίκτυο μόλις λάβουν το “Token”. Το “Token” είναι ομαδοποιημένα bits που περνάνε, μέσω μιας περιστρεφόμενης ακολουθίας διευθύνσεων, από τον ένα κόμβο στον άλλο. Όσο κρατάει το “Token” ο κόμβος μπορεί να ανταλλάσσει μηνύματα με άλλους κόμβους, αν έχει κάτι να στείλει. Όταν ένας κόμβος λάβει κάποιο μήνυμα, στέλνει αμέσως μια επιβεβαίωση στον κόμβο απ’ όπου προήλθε το μήνυμα. Κάθε μήνυμα περιλαμβάνει πληροφορίες για το από πού προήλθε, για τον προορισμό και για τη διαδρομή δρομολόγησης.

Όσον αφορά τη σειρά που ακολουθεί το “Token”, καθορίζεται από τις διευθύνσεις των κόμβων. Η περιστροφή του στο δίκτυο αρχίζει από τον ενεργό κόμβο με τη μικρότερη διεύθυνση, μέχρι να φθάσει τον ενεργό κόμβο με τη μεγαλύτερη διεύθυνση. Έπειτα αυτός, περνάει πάλι το “Token” στον κόμβο με τη μικρότερη διεύθυνση, ώστε να ξεκινήσει καινούργια περιστροφή.

Αν κάποιος κόμβος βγει εκτός δικτύου, θα δημιουργηθεί μια καινούργια ακολουθία από “Token”, για να τον παρακάμψει. Αν ένας καινούργιος κόμβος μπει στο δίκτυο, τότε η διεύθυνσή του θα συμπεριληφθεί στην υπάρχουσα ακολουθία διευθύνσεων του “Token”.

Περίληπτικά, τα πρωτόκολλα Modbus παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Modbus Plus

- Τύπος δικτύου: Δίαυλος πεδίου τύπου Master/Slave ή Πελάτη/Εξυπηρετητή βασισμένο σε RS-485 με χρήση Token
- Τοπολογία: Γραμμή με τμήματα, στα οποία συνδέονται μέχρι 32 σταθμοί
- Εγκατάσταση: Μονωμένο συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων
Το μήκος του καλωδίου για κάθε τμήμα φθάνει τα 500m και είναι επεκτάσιμο με τη χρήση επαναληπτών(repeaters) φθάνοντας τα 2Km.
- Ταχύτητα: 2Mbps/s
- Μέγιστος αριθμός συνδεδεμένων κόμβων: 64
- Λειτουργίες δικτύου: Απλό δίκτυο Master/Slave για έλεγχο εφαρμογών πραγματικού χρόνου.

2. Modbus TCP/IP

- Τύπος δικτύου: Ethernet-TCP/IP βασισμένο σε απλό δίκτυο Πελάτη/Εξυπηρετητή. Αρκετά ευέλικτο με συνδεσμολογίες γραμμής, αστέρα και δενδροειδής.
- Τοπολογία: Υποστηρίζονται όλες οι τοπολογίες που μπορούν να υλοποιηθούν με το πρότυπο Ethernet, συμπεριλαμβανομένου και των δικτύων μεταγωγής.
- Εγκατάσταση: Πρότυπο Ethernet 10, 100, 1000 Mbits/s, βασισμένο σε καλώδια χαλκού, οπτικές ίνες ή ασύρματα πρότυπα.
- Ταχύτητα: 10, 100 ή 1000 Mbits/s
- Δεδομένα: Μέχρι 1500 Byte ανά πλαίσιο Τηλεγραφήματος
- Συνολικά: σχεδόν απεριόριστα
- Μέγιστος αριθμός συνδεδεμένων κόμβων: σχεδόν απεριόριστος
- Λειτουργίες δικτύου: Απλό δίκτυο Master/Slave βασισμένο στο πρότυπο Ethernet και στα πρωτόκολλα TCP/UDP/IP.

3. Modbus ASCII/RTU

Το Modbus ASCII(American Standard Code for Information Interchange)/RTU(Remote Terminal Unit) είναι ένα ανοιχτού κώδικα, σειριακό(RS-232 ή RS-485) πρωτόκολλο επικοινωνίας, βασισμένο στην αρχιτεκτονική, master/slave ή πελάτη/εξυπηρετητή, το οποίο τοποθετείται στο 7ο επίπεδο του μοντέλου OSI. Διασυνδέει εξοπλισμό πεδίου, όπως αισθητήρες, ενεργοποιητές, και ελεγκτές, και χρησιμοποιείται τόσο κατά την κατασκευή αυτοματισμών, όσο και στους ίδιους τους αυτοματισμούς. Είναι ευρέως αποδεκτό πρωτόκολλο λόγω της αξιοπιστίας του και της ευκολίας στη χρήση του, και χρησιμοποιείται κυρίως σε συστήματα διαχείρισης κτηρίων(BMS - Building Management Systems) και σε βιομηχανικά συστήματα αυτοματισμών(IAS - Industrial Automation Systems).

5.4 Smart Grids

Η αυξανόμενη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια, μαζί με την πολύπλοκη φύση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στο ήδη καταπονημένο δίκτυο, όπως διακοπές ρεύματος, βυθίσεις τάσης και υπερφορτίσεις, τα οποία μειώνουν σημαντικά την ποιότητα ρεύματος και την αξιοπιστία.

Το υπάρχον δίκτυο, λοιπόν, βρίσκεται υπό μεγάλη πίεση από τις διάφορες προκλήσεις και ανάγκες που προκύπτουν από το περιβάλλον, τους καταναλωτές, την αγορά αλλά και από θέματα της υπάρχουσας υποδομής. Αυτές οι προκλήσεις και ανάγκες είναι περισσότερο σημαντικές και επείγουσες από ποτέ και θα οδηγήσουν το δίκτυο σε επέκταση αλλά και σε ενίσχυση των λειτουργιών του προς εξυπνότερα χαρακτηριστικά, με τη βοήθεια των ταχύτατα αναπτυσσόμενων τεχνολογιών. Για να ξεπεράσουμε τέτοια προβλήματα, προέβλεψε μια νέα έννοια, ενός ηλεκτρικού δικτύου επόμενης γενιάς, ένα έξυπνο δίκτυο. Η στροφή στην ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς ώστε να είναι πιο έξυπνα έχει συνοπτικά οριστεί ως “Έξυπνο Δίκτυο”(Smart Grid), ενώ άλλες ονομασίες αποτελούν τα IntelliGrid [57], GridWise [58], FutureGrid [59], κλπ.

Τα αναμενόμενα οφέλη από ένα σύγχρονο ηλεκτρικό δίκτυο είναι πολλά καθώς ένα έξυπνο δίκτυο:

- Βελτιώνει την αξιοπιστία και την ποιότητα της ενέργειας
- Βελτιστοποιεί την αξιοποίηση των εγκαταστάσεων και αποτρέπει την κατασκευή εφεδρικών (για φορτία αιχμής) σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Ενισχύει τη χωρητικότητα και την αποδοτικότητα των υπαρχόντων ηλεκτρικών δικτύων
- Βελτιώνει την ανθεκτικότητα προς βλάβες/διακοπές
- Επιτρέπει την προληπτική συντήρηση και την αυτό-αποκατάσταση σε περίπτωση διαταραχών του συστήματος
- Διευκολύνει την ευρεία ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Χρησιμοποιεί καταναεμημένες πηγές ενέργειας
- Αυτοματοποιεί τη συντήρηση και τη λειτουργία
- Μειώνει την κατανάλωση πετρελαίου, μειώνοντας την ανάγκη για ανεπαρκή παραγωγή κατά τις περιόδους χρήσης αιχμής
- Μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα επιτρέποντας τη χρήση νέων πηγών ενέργειας
- Παρουσιάζει ευκαιρίες για τη βελτίωση της ασφάλειας του δικτύου
- Δίνει τη δυνατότητα μετάβασης σε plug-in ηλεκτρικά οχήματα και νέων επιλογών αποθήκευσης της ενέργειας
- Αυξάνει τις επιλογές των καταναλωτών
- Δίνει τη δυνατότητα για νέα προϊόντα, υπηρεσίες και αγορές και επιτρέπει την πρόσβαση των καταναλωτών σε αυτά

Ο όρος Έξυπνο Δίκτυο δεν έχει ακριβή έννοια. Η χροιά του μπορεί να αποδοθεί από διαφορετικές οπτικές γωνίες και η ερμηνεία του από τους ειδικούς των διαφόρων πεδίων πιθανότατα θα διαφέρει. Διαφορετικοί ορισμοί του Έξυπνου δικτύου περιλαμβάνουν:

- Η Ευρωπαϊκή Πλατφόρμα Τεχνολογίας (European Technology Platform) το ορίζει ως: Ένα Έξυπνο Δίκτυο είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο που μπορεί έξυπνα να ενοποιήσει τις δράσεις όλων των συνδεδεμένων σε αυτό χρηστών – παραγωγούς, καταναλωτές και αυτούς που κάνουν και τα δυο– με σκοπό την αποδοτική διανομή βιώσιμων, οικονομικών και ασφαλών ηλεκτρικών προμηθειών.
- Σύμφωνα με το Τμήμα Ενέργειας των ΗΠΑ (Office of Electricity Delivery & Energy Reliability-DOE) : Ένα Έξυπνο Δίκτυο χρησιμοποιεί την ψηφιακή τεχνολογία για να βελτιώσει την αξιοπιστία, την ασφάλεια και την αποδοτικότητα [60] (τόσο την οικονομική όσο και την ενεργειακή) του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας –από τη μεγάλη παραγωγή, μέσω των συστημάτων μεταφοράς, έως τους καταναλωτές– και έναν αυξανόμενο αριθμό μέσων αποθήκευσης και κατανεμημένης παραγωγής.
- Σε άλλη αναφορά [61] το Έξυπνο Δίκτυο ορίζεται: Ένα Έξυπνο Δίκτυο χρησιμοποιεί αισθητήρες, ενσωματωμένη επεξεργασία και ψηφιακές επικοινωνίες για να καταστήσει το ηλεκτρικό δίκτυο παρατηρήσιμο (ικανό να υπολογιστεί και να απεικονιστεί), ελέγξιμο (διαχειρίσιμο και ικανό να βελτιστοποιηθεί), αυτοματοποιημένο (ικανό να προσαρμοστεί και να αυτο-θεραπευτεί), πλήρως διασυνδεδεμένο (πλήρως διαλειτουργικό με τα υπάρχοντα συστήματα και με την ικανότητα να ενσωματώσει ένα διαφορετικό σύνολο πηγών ενέργειας).

Επιπλέον ορισμοί αναφέρονται σε ένα Έξυπνο Δίκτυο που:

- Συνεπάγεται τη μετατροπή σε ένα ικανό για μετάδοση πληροφοριών και άκρως διασυνδεδεμένο δίκτυο μεταξύ των καταναλωτών και των παρόχων ηλεκτρικής ενέργειας, που περικλείει την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή.
- Δημιουργεί την πλατφόρμα για την ανάπτυξη έξυπνων τεχνολογιών που βελτιώνουν τη διαχείριση φορτίου και την απόκριση ζήτησης.
- Θα κάνει τα συστήματα μεταφοράς ενέργειας των χωρών πιο αποδοτικά, θα ενθαρρύνει τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και θα παρέχει στους καταναλωτές καλύτερο έλεγχο της χρήσης και του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Είναι μια ακριβή μοντερνοποίηση του ηλεκτρικού δικτύου που περιλαμβάνει την υποστήριξη πραγματικού-χρόνου, αμφίδρομης ψηφιακής επικοινωνίας μεταξύ των επιχειρήσεων ηλεκτρισμού και των όλο και πιο συνειδητοποιημένων ενεργειακά καταναλωτών.
- Είναι μια συλλογή ιδεών/σχεδίων για την παροχή ενέργειας επόμενης γενιάς, που περιλαμβάνει νέα στοιχεία παροχής ισχύος, παρακολούθηση και έλεγχος σε όλο το δίκτυο ενέργειας και περισσότερες και πιο ενημερωμένες επιλογές για τους καταναλωτές.

- Είναι ένα σύγχρονο, βελτιωμένο, ανθεκτικό και αξιόπιστο ηλεκτρικό δίκτυο που στηρίζει την περιβαλλοντική διαχείριση, είναι ασφαλές, οικονομικά αποδοτικό και είναι ένας κύριος μοχλός για την οικονομική σταθερότητα και ανάπτυξη
- Είναι ένα σύγχρονο ηλεκτρικό σύστημα. Χρησιμοποιεί αισθητήρες, παρακολούθηση, επικοινωνίες, αυτοματισμό και υπολογιστικά συστήματα για να βελτιώσει την ευελιξία, την ασφάλεια, την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα του ηλεκτρικού συστήματος.
- Είναι μια υποδομή που δίνει έμφαση στον ενεργό αντί στον παθητικό έλεγχο.

Συνοψίζοντας κάποιους ορισμούς, θα λέγαμε ότι ο όρος Έξυπνο Δίκτυο αναφέρεται σε ένα τελειώς εκσυγχρονισμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο παρακολουθεί, προστατεύει και βελτιστοποιεί τη λειτουργία των διασυνδεδεμένων σε αυτό στοιχείων από άκρο σε άκρο. Πρόκειται για μια υποδομή που στόχο έχει την ενίσχυση της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας μέσω αυτομάτου ελέγχου, μετατροπών υψηλής ισχύος, σύγχρονης δομής επικοινωνιών, τεχνολογιών αισθητήρων/μετρητών και σύγχρονων τεχνικών διαχείρισης ενέργειας βασισμένων στη βελτιστοποίηση της ζήτησης, τη διαθεσιμότητα της ενέργειας και του δικτύου κ.ά. Το σύστημα περιλαμβάνει κεντρικές και κατακεντρωμένες ηλεκτρικές γεννήτριες μέσω του δικτύου υψηλής τάσης και σύστημα διανομής χαμηλής τάσης σε βιομηχανικούς χρήστες ή συστήματα αυτοματισμού οικιακών κτηρίων, σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας και σε τελικούς καταναλωτές.

Το έξυπνο δίκτυο θα χαρακτηρίζεται από αμφίδρομη ροή ηλεκτρικής ενέργειας και πληροφοριών για τη δημιουργία ενός αυτοματοποιημένου, ευρέως κατακεντρωμένου δικτύου διανομής ενέργειας. Ενσωματώνει στο δίκτυο τα πλεονεκτήματα των κατακεντρωμένων υπολογιστικών συστημάτων και των επικοινωνιών, για τη μεταφορά σε πραγματικό χρόνο πληροφοριών με σκοπό την εξισορρόπηση της παροχής και της ζήτησης ρεύματος.

Στην αναφορά [57] οι προσκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει και οι ανάγκες του μελλοντικού έξυπνου δικτύου μεταφοράς συνοψίζονται σε τέσσερις κατηγορίες.

α) Περιβαλλοντικές προκλήσεις. Η παραδοσιακή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όντας η μεγαλύτερη δημιουργημένη από τον άνθρωπο πηγή εκπομπής CO₂, πρέπει να αλλάξει ώστε να συμβληθεί η κλιματική αλλαγή. Παράλληλα, έχει προβλεφθεί ανεπάρκεια ορυκτών καυσίμων στις επόμενες δεκαετίες. Φυσικές καταστροφές, όπως θύελλες, σεισμοί και τυφώνες μπορούν εύκολα να καταστρέψουν το δίκτυο μεταφοράς. Τέλος, ο διαθέσιμος και κατάλληλος χώρος για τη μελλοντική επέκταση του δικτύου έχει μειωθεί δραματικά.

β) Ανάγκες αγοράς/καταναλωτών. Χρειάζεται να αναπτυχθούν ολοκληρωμένες τεχνολογίες λειτουργίας του συστήματος αλλά και πολιτικές για την αγορά ενέργειας, ώστε να στηρίξουν τη διαφάνεια και την ελευθερία της ανταγωνιστικής αγοράς. Η ικανοποίηση των πελατών από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να βελτιωθεί με την παροχή υψηλού λόγου ποιότητας/τιμής και με τη δυνατότητα των καταναλωτών να αλληλεπιδρούν με το δίκτυο.

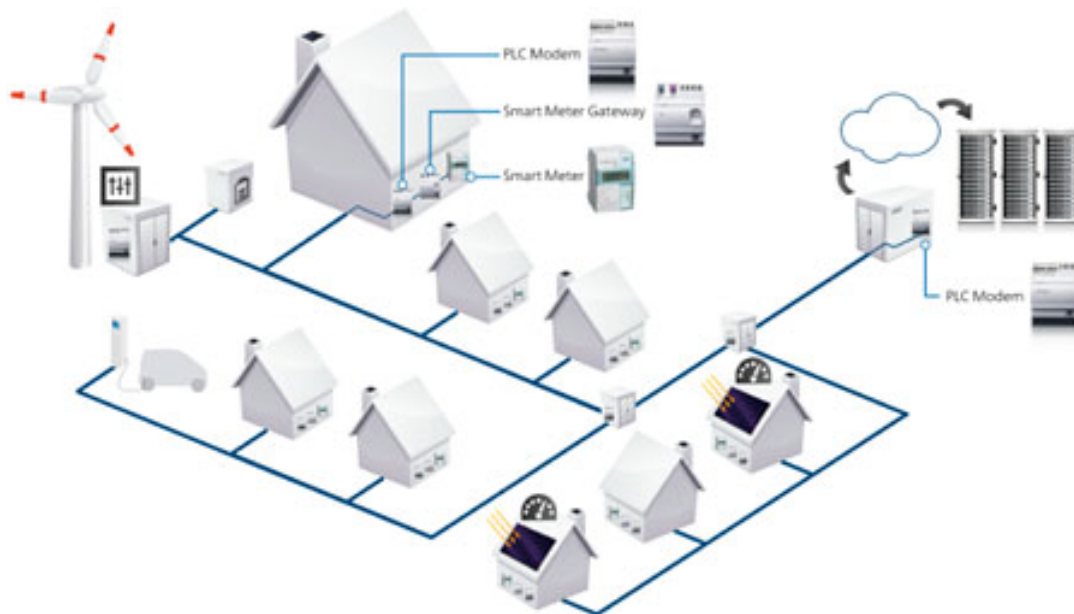
γ) Προκλήσεις Υποδομής. Η υπάρχουσα υποδομή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας περιέχει στοιχεία που γερνούν γρήγορα. Με την πίεση των αυξανόμενων απαιτήσεων φορτίου, η συμφόρηση του δικτύου γίνεται όλο και χειρότερη. Τα γρήγορα εργαλεία online ανάλυσης, η ευρείας ζώνης παρακολούθηση, οι μετρήσεις και ο έλεγχος, και η γρήγορη και

ακριβής προστασία κρίνονται ως απαραίτητα στοιχεία για να βελτιωθεί η αξιοπιστία των δικτύων.

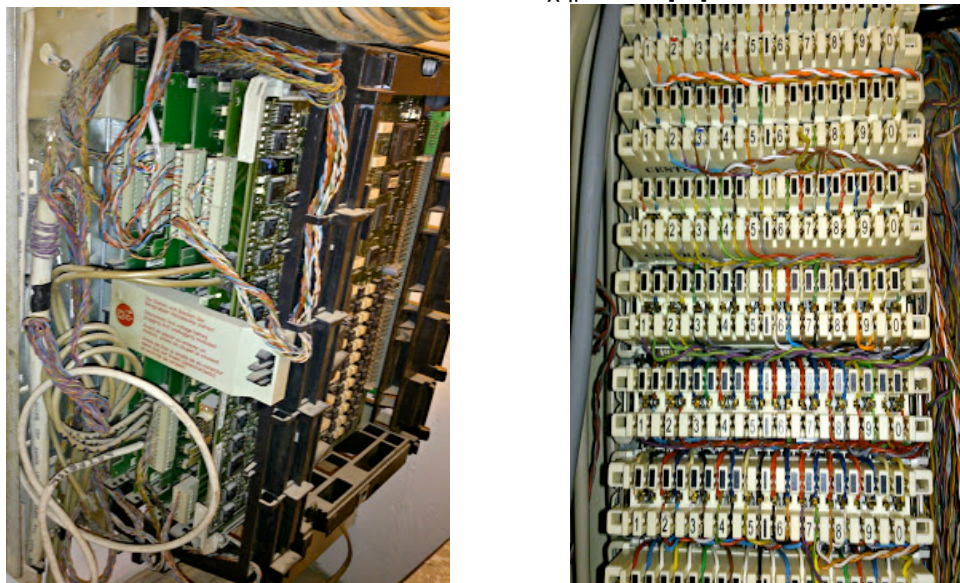
δ) Καινοτόμες Τεχνολογίες. Από τη μία πλευρά, οι καινοτόμες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων νέων υλικών, προηγμένων ηλεκτρονικών ισχύος και τεχνολογιών επικοινωνιών, δεν είναι ακόμα ώριμες ή εμπορικά διαθέσιμες για την επανάσταση των δικτύων μεταφοράς. Από την άλλη, στο υπάρχον δίκτυο υπάρχει έλλειψη συμβατότητας για να δεχθεί την εφαρμογή spear-point τεχνολογιών στα πρακτικά δίκτυα.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 5.9), βλέπουμε τη δομή ενός έξυπνου δικτύου, από άποψη επικοινωνιών (τηλεφωνικά κέντρα κλπ), ενώ στο σχήμα 5.10 βλέπουμε το εσωτερικό ενός τηλεφωνικού κέντρου, το οποίο δυνητικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα smart grid.

Σχήμα 5.9. [62]



Σχήμα 5.10. [63]



5.4.1 PLC στο Έξυπνο Δίκτυο

Η αντιπαράθεση για το ποιος είναι ο πραγματικός ρόλος του PLC στο Έξυπνο Δίκτυο είναι ακόμα ανοιχτή. Ενώ ορισμένοι συνιστούν ότι αποτελεί κατάλληλη επιλογή για πολλές εφαρμογές, άλλοι εκφράζουν ανησυχίες και εξετάζουν τις ασύρματες επικοινωνίες ως πιο σίγουρη εναλλακτική. Χωρίς αμφιβολία, το Έξυπνο Δίκτυο θα αξιοποιήσει πολλαπλά είδη τεχνολογιών, από οπτικές ίνες έως ασύρματες και ενσύρματες επικοινωνίες. Ως προς το PLC, οι σκεπτικιστές ισχυρίζονται ότι έχει ασαφές καθεστώς προτυποποίησης και ότι προσφέρει ρυθμούς δεδομένων που είναι πολύ μικροί, ενώ άλλοι ότι τα PLC μόντεμ είναι ακόμα πολύ ακριβά και ότι παρουσιάζουν θέματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Ωστόσο, οι πρόσφατες εξελίξεις στο τομέα των PLC επικοινωνιών ξεκαθαρίζουν αρκετά αυτές τις ανησυχίες. Μεταξύ των ενσύρματων επιλογών, το PLC είναι η μόνη τεχνολογία που έχει κόστος ανάπτυξης συγκρίσιμο με αυτό των ασύρματων λύσεων, μιας και οι γραμμές είναι ήδη εκεί.

Τα θεμελιώδη οφέλη που προσφέρει το PLC όταν υιοθετείται σε εφαρμογές Έξυπνων Δικτύων ή και πιο γενικά σε εφαρμογές εταιριών κοινής ωφέλειας είναι, συνοπτικά, τα παρακάτω:

1. Οι εφαρμογές των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας σχεδόν πάντα απαιτούν πλεονασμό (redundancy) στον τομέα της προστασίας και του ελέγχου και αυτή η ανάγκη για πλεονασμό προϋποθέτει πλεονάζοντα κανάλια επικοινωνίας. Η τεχνολογία PLC επιτρέπει την εκμετάλλευση της υπάρχουσας καλωδιακής υποδομής μειώνοντας έτσι σημαντικά το κόστος ανάπτυξης τέτοιων καναλιών.
2. Η χρήση του PLC επιτρέπει να συγχωνευτούν, κατά κάποιο τρόπο, οι παραδοσιακά ξεχωριστές λειτουργίες της ανίχνευσης και της επικοινωνίας, καθώς ένας PLC πομποδέκτης μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να εναλλάσσεται μεταξύ της λειτουργίας ως αισθητήρα και ως μόντεμ

3. Οι γραμμές μεταφοράς ισχύος συχνά αντιπροσωπεύουν την πιο άμεση διαδρομή μεταξύ των ελεγκτών και των έξυπνων ηλεκτρονικών συσκευών (IEDs), σε σύγκριση με τα δίκτυα μεταγωγής πακέτων. Επομένως, η επικοινωνία μέσω γραμμών ρεύματος προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα όταν πρόκειται για εφαρμογές όπως η τηλεπροστασία, όπου είναι αποφασιστικής σημασίας να εξασφαλίζεται χαμηλή και οριοθετημένη καθυστέρηση.
4. Οι γραμμές μεταφοράς παρέχουν μια οδό επικοινωνίας που είναι υπό τον άμεσο και πλήρη έλεγχο της εταιρίας κοινής ωφέλειας, θέμα αρκετά σημαντικό όταν η εταιρία λειτουργεί σε μια χώρα με απορρυθμισμένη αγορά τηλεπικοινωνιών.
5. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία τεχνολογιών PLC που μπορούν να βρουν θέση στις περισσότερες εφαρμογές Έξυπνων Δικτύων. Έτσι, το PLC μπορεί πράγματι να παρέχει μια ευρεία κλάση τεχνολογιών ικανών να εφαρμοστούν ως λύση για την επικοινωνία, από το επίπεδο της μεταφοράς ισχύος μέχρι τα δίκτυα HAN [46].

5.5 PLC και έξυπνο δίκτυο

5.5.1 Γενικά

Ο σκοπός της τεχνικής αυτής ήταν να χρησιμοποιήσει τις ηλεκτρικές γραμμές μεταφοράς ως επικοινωνιακό μέσο ώστε να παρέχει ένα δίκτυο επικοινωνιών όπως το Διαδίκτυο, αλλά ταυτόχρονα να υποστηρίζει τις κλασσικές υπηρεσίες που σχετίζονται με τη διανομή ενέργειας, π.χ. έλεγχο φορτίου και απομακρυσμένη ανάγνωση μετρητών. Η τεχνολογία PLC, ουσιαστικά περιλαμβάνει το δίκτυο μεταφοράς μέσης τάσης (MT) καθώς και το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (XT). Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στο PLC είναι κυρίως στενού εύρους ζώνης (narrowband -NB) που λειτουργούν σε χαμηλές συχνότητες (μερικά kHz) και ευρυζωνικές (broadband - BB) που λειτουργούν σε υψηλές συχνότητες (εκατοντάδες MHz). Τα σήματα δεδομένων μεταδίδονται με υψηλή ταχύτητα (2-3Mbps) μέσω του PLC. Σε ένα τυπικό PLC δίκτυο, οι έξυπνοι μετρητές συνδέονται στο συγκεντρωτή δεδομένων μέσω ηλεκτρικών γραμμών μεταφοράς και τα δεδομένα μεταφέρονται στο κέντρο δεδομένων με τεχνολογίες κυψελωτών δικτύων. Για παράδειγμα, οποιαδήποτε ηλεκτρική συσκευή, όπως ένας έξυπνος μετρητής με βάση πομποδέκτη, μπορεί να συνδεθεί στη γραμμή μεταφοράς και να χρησιμοποιηθεί για να μεταφέρει τα δεδομένα των μετρήσεων σε μια κεντρική τοποθεσία. Τα πρωτόκολλα πρόσβασης μέσου που χρησιμοποιούνται στην PLC υποδομή βασίζονται στις τοπολογίες master-slave αστέρα, δακτυλίου με σκυτάλη, αρτηρίας με TDM και την Aloha ή CSMA-CD τεχνική.

Το PLC μπορεί να θεωρηθεί μια υποσχόμενη τεχνολογία για τις εφαρμογές των έξυπνων δικτύων εξαιτίας του γεγονότος ότι η υπάρχουσα υποδομή μειώνει το κόστος εγκατάστασης μιας επικοινωνιακής υποδομής. Οι προσπάθειες προτυποποίησης στα PLC δίκτυα, η αποδοτικότητα ως προς το κόστος, η παρουσία τους παντού και η ευρέως διαθέσιμη υποδομή των PLC είναι οι λόγοι που το κάνουν δυνατό και δημοφιλές. Βέβαια, το στοιχείο της ασφάλειας είναι κρίσιμο. Η εμπιστευτικότητα, ο έλεγχος ταυτότητας-

αυθεντικότητας, η ακεραιότητα, η παρέμβαση του χρήστη είναι μερικά από τα κρίσιμα θέματα στις επικοινωνίες των έξυπνων δικτύων.

Η χρήση σε οικιακά δίκτυα (HAN) είναι η μεγαλύτερη εφαρμογή για την PLC τεχνολογία. Ακόμη, μπορεί να φανεί κατάλληλη σε αστικές περιοχές για εφαρμογές όπως έξυπνες μετρήσεις, παρακολούθηση και έλεγχος, μιας και η PLC υποδομή καλύπτει ήδη τις περιοχές που είναι στο εύρος της επικράτειας υπηρεσιών των εταιριών κοινής ωφελείας.

Παρόλα αυτά, το PLC αντιμετωπίζει προβλήματα εξασθένησης, θορύβου και παραμόρφωσης, που συναντώνται στις RF επικοινωνίες όταν υλοποιούνται μέσω των καλωδίων ηλεκτρικής ενέργειας. Μιας και οι ηλεκτρικές γραμμές δεν είχαν αρχικά σχεδιαστεί για μετάδοση δεδομένων, πρέπει να αντιμετωπιστεί ένας αριθμός σημαντικών θεμάτων και προκλήσεων στο PLC:

- Διαφορετική αντίσταση και κατάσταση καναλιού
- Μη-λευκός θόρυβος στη φύση
- Εξασθένηση εξαρτώμενη από τη συχνότητα που σχετίζεται με τη θέση των εξόδων (outlets), τις γεωγραφικά διαφορετικές δομές καλωδίωσης και τον αριθμό/τύπο των συνδεδεμένων ηλεκτρικών συσκευών
- Αλλαγή φάσης (από μονοφασική σε τριφασική και vice versa) μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών αρχιτεκτονικών.

Γενικά, οι ηλεκτρικές γραμμές μεταφοράς ως μέσο μετάδοσης είναι αντίξοο και θορυβώδες περιβάλλον που κάνει δύσκολη τη μοντελοποίηση του καναλιού. Το χαρακτηριστικό του χαμηλού εύρους ζώνης (20Kbps για δίκτυα σε επίπεδο γειτονιάς (Neighborhood area networks) περιορίζει την PLC τεχνολογία ως προς τις εφαρμογές που χρειάζονται μεγαλύτερο εύρος. Επιπλέον, η τοπολογία του δικτύου, ο αριθμός και τύπος των συνδεδεμένων συσκευών στις ηλεκτρικές γραμμές, η απόσταση καλωδίωσης μεταξύ πομπού και δέκτη, όλα επηρεάζουν δυσμενώς την ποιότητα του σήματος που μεταδίδεται πάνω από τις γραμμές. Η ευαισθησία του PLC στις διαταραχές και η εξάρτηση από την ποιότητα του σήματος είναι τα μειονεκτήματα που το καθιστούν ακατάλληλο για μεταφορά δεδομένων. Ωστόσο, έχουν προταθεί υβριδικές λύσεις στις οποίες η PLC τεχνολογία συνδυάζεται με άλλες, δηλαδή GPRS ή GSM, για την παροχή πλήρους συνδεσιμότητας [45].

Η επικοινωνία μέσω γραμμής ρεύματος είναι ένα σύστημα για τη μεταφορά δεδομένων μέσω ενός αγωγού που χρησιμοποιείται επίσης για τη μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος. Ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών PLC χρειάζεται για διαφορετικές εφαρμογές, που κυμαίνονται από αυτοματισμό σπιτιού μέχρι πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις χρησιμοποιώντας γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης, διανέμεται μέσω της μέσης τάσης και χρησιμοποιείται στα κτήρια σε χαμηλή τάση. Οι περισσότερες τεχνολογίες PLC περιορίζονται σε ένα σύνολο καλωδίων (όπως καλωδίωση σε ένα μόνο κτήριο), αλλά ορισμένες μπορούν να διέλθουν μεταξύ δύο επιπέδων, για παράδειγμα να διασχίσουν το δίκτυο διανομής αλλά και την κτηριακή καλωδίωση. Συνήθως οι μετασχηματιστές εμποδίζουν τη μετάδοση του σήματος, το οποίο απαιτεί πολλαπλές τεχνολογίες ώστε να σχηματιστούν πολύ μεγάλα δίκτυα. Διάφοροι ρυθμοί δεδομένων και συχνότητες χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές περιπτώσεις [46].

Τα συστήματα PLC λειτουργούν εισάγοντας στο σύστημα καλωδίωσης ένα σήμα διαμορφωμένου φέροντος. Διαφορετικοί τύποι PLC χρησιμοποιούν διαφορετικές ζώνες

συχνοτήτων, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά μετάδοσης σήματος του χρησιμοποιούμενου καλωδίου ρεύματος. Μιας και τα συστήματα διανομής ενέργειας προορίζονταν αρχικά για τη μετάδοση AC ρεύματος στις συχνότητες των 50 ή 60Hz, τα κυκλώματα ηλεκτρικών καλωδίων έχουν περιορισμένη ικανότητα να μεταφέρουν υψηλότερες συχνότητες. Το πρόβλημα της μετάδοσης είναι ένας περιοριστικός παράγοντας για κάθε τύπο επικοινωνίας PLC.

Οι ρυθμοί δεδομένων και τα όρια αποστάσεων ποικίλλουν ευρέως για τα διάφορα πρότυπα PLC. Τα χαμηλής συχνότητας φέροντα (περίπου 100-200kHz) στις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης μπορούν να μεταφέρουν ένα ή δύο αναλογικά κυκλώματα φωνής/τηλεμετρίας ή κυκλώματα ελέγχου, με ένα ρυθμό δεδομένων των λίγων εκατοντάδων bits ανά δευτερόλεπτο. Ωστόσο, αυτά τα κυκλώματα μπορεί να καλύπτουν απόσταση πολλών χιλιομέτρων. Υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων συνεπάγονται, γενικά, μικρότερη εμβέλεια –ένα τοπικό δίκτυο (LAN) που λειτουργεί με ρυθμούς εκατομμυρίων bits/sec μπορεί να καλύψει μόνο έναν όροφο ενός κτηρίου γραφείων, αλλά ελαχιστοποιεί την ανάγκη για εγκατάσταση ειδικής καλωδίωσης δικτύου.

Οι επικοινωνίες μέσω γραμμών ρεύματος είναι παλιά ιδέα, που χρονολογείται από τις αρχές του 1900, όταν υποβλήθηκαν οι πρώτες ευρεσιτεχνίες σε αυτόν τον τομέα. Από τότε, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ανά τον κόσμο χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία για την εξ αποστάσεως μέτρηση και τον έλεγχο του φορτίου, χρησιμοποιώντας αρχικά λύσεις μονού φέροντος στενού εύρους ζώνης (single carrier narrowband) που λειτουργούσαν στις χαμηλές ζώνες συχνοτήτων (Audio/Low Frequency bands) και πετύχαιναν ρυθμούς δεδομένων που κυμαίνονταν από λίγα bps σε λίγα kbps. Καθώς η τεχνολογία ωρίμαζε και ο χώρος εφαρμογής διευρύνθηκε, άρχισαν να εμφανίζονται στην αγορά τα ευρυζωνικά PLC συστήματα, λειτουργώντας στη ζώνη υψηλών συχνοτήτων (High Frequency band) 2-30 MHz και πετυχαίνοντας ρυθμούς μέχρι και 200Mbps. Τα τελευταία χρόνια, το ενδιαφέρον της βιομηχανίας έχει επίσης μεγαλώσει γύρω από το λεγόμενο «υψηλού ρυθμού δεδομένων» NB-PLC (high data rate NB-PLC), που είναι βασισμένο σε σχήματα πολλαπλού φέροντος και λειτουργεί στη ζώνη μεταξύ 3-500 kHz.

Η τεχνολογία PLC χρησιμοποιείται επίσης για την παροχή ευρυζωνικής πρόσβασης στο διαδίκτυο σε οικιακούς χρήστες, ευρυζωνικής συνδεσιμότητας LAN εντός σπιτιού/γραφείου /οχημάτων και την παροχή ικανοτήτων διοίκησης και ελέγχου για αυτοματισμό και απομακρυσμένες μετρήσεις. Το βασικό κίνητρο για τη χρήση PLC είναι ότι το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας παρέχει μια υποδομή η οποία είναι πολύ πιο εκτεταμένη και διεισδυτική από ότι οποιαδήποτε ενσύρματη ή ασύρματη εναλλακτική λύση, έτσι ώστε σχεδόν κάθε συσκευή που τροφοδοτείται από γραμμή ρεύματος μπορεί να παρέχει επιπρόσθετες υπηρεσίες.

Παρά την υπόσχεση του PLC να αποτελέσει καταλύτη μιας πληθώρας εφαρμογών του παρόντος και του μέλλοντος, δεν έχει ακόμα πετύχει τη μεγάλη διείσδυση στην αγορά που εμπίπτει στις δυνατότητές του. Ωστόσο, ένας νέος επιτακτικός λόγος για τη χρήση PLC προβάλλει πλέον: η πρόσφατη ώθηση για τον εκσυγχρονισμό του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας μέσω μιας πληροφοριακής οδού αφιερωμένη στη διαχείριση της μεταφοράς και διανομής ενέργειας, το λεγόμενο Έξυπνο Δίκτυο. Είναι κοινώς αποδεκτό ότι το Έξυπνο

Δίκτυο θα υποστηρίζεται από ένα ετερογενές σύνολο τεχνολογιών δικτύου, καθώς δεν υπάρχει μοναδική λύση που να ταιριάζει σε όλα τα σενάρια.

Η τεχνολογία PLC μπορεί να χωριστεί στις εξής κατηγορίες:

Υπέρ-Στενής Ζώνης - Ultra Narrow Band (UNB):

Τεχνολογίες που λειτουργούν σε πολύ χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων (~100 bps) στη ULF ζώνη συχνοτήτων (0.3-3 kHz) ή στο πάνω μέρος της SLF ζώνης (30-300 Hz). Ένα ιστορικό παράδειγμα μιας μονόδρομης ζεύξης επικοινωνίας που υποστηρίζει εφαρμογές ελέγχου φορτίου είναι η τεχνολογία RCS (Ripple Carrier Signaling), η οποία λειτουργεί στα 125 – 2.000 kHz και είναι σε θέση να μεταφέρει αρκετά bps χρησιμοποιώντας απλή ASK (Amplitude Shift Keying) διαμόρφωση. Πιο πρόσφατα παραδείγματα είναι τα συστήματα Turtle AMR (Automated Meter Reading) που μεταφέρουν δεδομένα σε εξαιρετικά χαμηλή ταχύτητα (~0.001 bps) και τα συστήματα TWACS (Two-Way Automatic Communications System) που μπορούν να μεταφέρουν δεδομένα με ένα μέγιστο ρυθμό μετάδοσης των bits ανά κύκλο συχνότητας δικτύου, δηλαδή 100 bps στην Ευρώπη και 120 bps στη Βόρεια Αμερική. Η UNB-PLC τεχνολογίες έχουν πολύ μεγάλο φάσμα λειτουργίας (150km και παραπάνω). Παρότι ο ρυθμός δεδομένων ανά σύνδεση είναι χαμηλός, τα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιούν διάφορες μορφές παραλληλοποίησης και αποτελεσματικής διευθυνσιοδότησης που προσφέρουν καλές δυνατότητες κλιμάκωσης. Παρά το γεγονός ότι αυτές οι UNB λύσεις είναι μονοπωλιακές, είναι πολύ ώριμες τεχνολογίες, βρίσκονται στον τομέα εδώ και τουλάχιστον δυο δεκαετίες και έχουν χρησιμοποιηθεί από εκατοντάδες υπηρεσίες κοινής ωφέλειας.

Στενής Ζώνης - Narrowband (NB):

Τεχνολογίες που λειτουργούν στις the VLF/LF/MF ζώνες (3-500 kHz), οι οποίες περιλαμβάνουν τις ευρωπαϊκές CENELEC (Comité Européen de Normalisation Électrotechnique) ζώνες (3-148.5 kHz), την FCC (Federal Communications Commission) ζώνη (10-490 kHz) των Η.Π.Α., την ιαπωνική ARIB (Association of Radio Industries and Businesses) ζώνη (10-450 kHz), και την κινεζική ζώνη (3-500 kHz).

Διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

- Χαμηλού Ρυθμού Δεδομένων - Low Data Rate (LDR): Τεχνολογίες μονού φέροντος που προσφέρουν ρυθμούς δεδομένων λίγων kbps. Τυπικά παραδείγματα LDR NB-PLC τεχνολογιών είναι συσκευές που ανταποκρίνονται στις ακόλουθες συστάσεις: ISO/IEC 14908-3 (LonWorks), ISO/IEC 14543-3-5 (KNX) , CEA-600.31 (CEBus), IEC 61334-3-1, IEC 61334-5 (FSK και Spread-FSK) κ.τ.λ.
- Υψηλού Ρυθμού Δεδομένων - High Data Rate (HDR): Τεχνολογίες πολλαπλού φέροντος (multicarrier technologies) με ρυθμούς δεδομένων εύρους από δεκάδες kbps μέχρι και 500 kbps. Τυπικά παραδείγματα HDR NB-PLC τεχνολογιών είναι αυτές οι συσκευές που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής των εν εξελίξει σχεδίων προτύπων: ITU-T G.hnem, IEEE 1901.2. Επιπλέον παραδείγματα, που δε βασίζονται

σε οργανισμούς ανάπτυξης προτύπων (SDO - Standards developing organization) είναι τα PRIME και G3-PLC.

Ευρείας ζώνης - Broadband (BB-PLC ή BPL):

Τεχνολογίες που λειτουργούν στις HF/VHF ζώνες (1.8-250 MHz) και έχουν ρυθμούς δεδομένων φυσικού στρώματος (PHY rate) από μερικά Mbps μέχρι αρκετές εκατοντάδες Mbps. Τυπικά παραδείγματα BB-PLC τεχνολογιών είναι οι συσκευές που είναι σύμφωνες με τις συστάσεις TIA-1113 (HomePlug 1.0), IEEE 1901 και ITU-T G.hn (G.9960/G.9961). Επιπλέον παραδείγματα είναι τα HomePlug AV/Extended, HomePlug Green PHY, HD-PLC, UPA Powermax και Giga MediaXtreme.

Ανάλογα με το πώς χρησιμοποιείται, η τεχνολογία BPL χωρίζεται σε access BPL, όταν η μετάδοση δεδομένων γίνεται μέσω του ηλεκτρικού δικτύου, και σε in-home BPL, όταν χρησιμοποιείται για μετάδοση δεδομένων εντός ενός κτηρίου (σπίτι, γραφείο) [46].

5.5.2 Η κατάσταση της PLC προτυποποίησης

Μια ολοκληρωμένη και ενημερωμένη ανάλυση των PLC προτύπων μπορεί να βρεθεί στην αναφορά [64]. Στη συνέχεια εστιάζουμε στις πιο πρόσφατες εξελίξεις προτυποποίησης που σημειώθηκαν τόσο στο NB όσο και στο BB-PLC.

5.5.2.1 Narrowband PLC Πρότυπα

Ένα από τα πρώτα LDR NB-PLC πρότυπα που επικυρώθηκαν είναι το πρότυπο ANSI/EIA 709.1, γνωστό επίσης και ως LonWorks. Εκδόθηκε από την μη κερδοσκοπική οργάνωση ANSI (American National Standards Institute) το 1999 και έγινε ένα διεθνές πρότυπο το 2008 (ISO/IEC 14908-1). Αυτό το επτά στρωμάτων OSI πρωτόκολλο παρέχει ένα σύνολο υπηρεσιών που επιτρέπουν στο πρόγραμμα εφαρμογής μιας συσκευής να στέλνει και να λαμβάνει μηνύματα από άλλες συσκευές στο δίκτυο χωρίς να χρειάζεται να ξέρει την τοπολογία του δικτύου ή τις λειτουργίες των άλλων συσκευών. Οι LonWorks πομποδέκτες είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν σε μία από δύο περιοχές συχνοτήτων ανάλογα με την τελική εφαρμογή. Όταν ρυθμίζονται για χρήση σε εφαρμογές ηλεκτρικών δικτύων χρησιμοποιείται η ζώνη CENELEC A, ενώ οικιακές/εμπορικές/βιομηχανικές εφαρμογές χρησιμοποιούν τη ζώνη C. Εφικτοί ρυθμοί δεδομένων είναι της τάξης των λίγων kbps. Οι πιο διαδεδομένες τεχνολογίες PLC που εφαρμόζονται σήμερα βασίζονται σε διαμόρφωση FSK ή Spread-FSK, όπως ορίζονται στα πρότυπα IEC 61334-5-2 και IEC 61334-5-1 αντίστοιχα.

Υπάρχει, βέβαια, σήμερα ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον σε λύσεις HDR NB-PLC που λειτουργούν στις CENELEC/FCC/ARIB ζώνες και είναι ικανές να παρέχουν υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων από τις LDR NB-PLC επιλογές. Για παράδειγμα, η πρόσφατη πρωτοβουλία PRIME (Powerline Related Intelligent Metering Evolution) έχει κερδίσει την υποστήριξη της βιομηχανίας στην Ευρώπη και έχει καθορίσει μια HDR NB-PLC λύση, βασισμένη στη διαμόρφωση OFDM, που λειτουργεί στη ζώνη CENELEC-A και παρέχει ρυθμούς δεδομένων έως 125 kbps. Μια παρόμοια πρωτοβουλία, η G3-PLC, επίσης

εμφανίστηκε πρόσφατα. Είναι μια προδιαγραφή για τις HDR NB-PLC εφαρμογές, βασίζεται στην OFDM διαμόρφωση, υποστηρίζει το IPv6 πρωτόκολλο Διαδικτύου και μπορεί να λειτουργήσει στη ζώνη 10 – 490 kHz.

Σήμερα υπάρχουν δυο προσπάθειες για την προτυποποίηση των HDR NB-PLC τεχνολογιών που υποστηρίζονται από Οργανισμούς Ανάπτυξης Προτύπων (SDO), οι οποίες ξεκίνησαν στις αρχές του 2010: η ITU-T G.hnem και η IEEE 1901.2. Ο στόχος των G.hnem και 1901.2 προτύπων είναι να καθορίσουν μια HDR NB-PLC τεχνολογία πολύ χαμηλής πολυπλοκότητας η οποία να παρέχει βελτιστοποιημένη διαχείριση ενέργειας, που εκτείνεται σε εφαρμογές οικιακών δικτύων (Home Area Networks) έως εφαρμογές προηγμένων υποδομών μέτρησης (AMI) ή σε εφαρμογές Υβριδικών Οχημάτων με Ηλεκτρική Ενέργεια από Εξωτερική Πηγή (Plug-in Hybrid Electric Vehicles – PHEV), και λειτουργεί πάνω από γραμμές τόσο εναλλασσόμενου όσο και συνεχούς ρεύματος. Τα πρότυπα θα υποστηρίζουν επικοινωνία μέσω του μετασχηματιστή MT/XT, πάνω από τις γραμμές μέσης τάσης και πάνω από τις εσωτερικές και εξωτερικές γραμμές χαμηλής τάσης, υποστηρίζοντας ρυθμούς δεδομένων μέχρι 500 kbps, αναλόγως τις απαιτήσεις των εφαρμογών. Στα πλαίσια του πεδίου εφαρμογής αυτών των προτύπων υπάρχει επίσης η σχεδίαση μηχανισμών συνύπαρξης μεταξύ των τεχνολογιών HDR NB-PLC και μεταξύ των HDR και των υφιστάμενων LDR NB-PLC προτυποποιημένων τεχνολογιών [46].

5.5.2.2 Το πρότυπο TIA-1113

Το πρώτο BB-PLC ANSI πρότυπο στο κόσμο προς έγκριση είναι το TIA-1113. Βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στις προδιαγραφές του HomePlug 1.0 που ορίζει ρυθμό δεδομένων φυσικού στρώματος 14 Mbps βασισμένο σε OFDM διαμόρφωση. Τα φέροντα διαμορφώνονται είτε με BPSK είτε με QPSK ανάλογα την ποιότητα των καναλιών και τη λειτουργικότητα. Το στρώμα MAC για το HomePlug 1.0 στηρίζεται στο σύστημα CSMA/CA που διαθέτει προσαρμοζόμενο μηχανισμό διαχείρισης παραθύρου σε συνδυασμό με τέσσερα επίπεδα προτεραιότητας. Προϊόντα με βάση τις προδιαγραφές TIA-1113/HomePlug 1.0 έχουν παρουσιάσει επιτυχία στις οικιακές και βιομηχανικές αγορές .

5.5.2.3 Το πρότυπο IEEE 1901 Broadband over Power Lines

Η ομάδα εργασίας για το πρότυπο IEEE 1901 συστάθηκε το 2005 για να ενοποιήσει τις τεχνολογίες γραμμών ρεύματος (PL), με στόχο την ανάπτυξη ενός προτύπου για συσκευές που υποστηρίζουν επικοινωνία υψηλής ταχύτητας (>100 Mbps) χρησιμοποιώντας συχνότητες κάτω των 100 MHz και αφορούν τόσο εφαρμογές οικιακών δικτύων όσο και εφαρμογές πρόσβασης. Το πρότυπο εγκρίθηκε το 2010 και ορίζει δύο BB-PLC τεχνολογίες, μία βασισμένη σε FFT-OFDM και μία σε Wavelet-OFDM. Ένα βασικό στοιχείο του προτύπου είναι η παρουσία ενός υποχρεωτικού μηχανισμού συνύπαρξης, που ονομάζεται πρωτόκολλο ISP (Inter-System Protocol), ο οποίος επιτρέπει στις, βασισμένες στο πρότυπο 1901, PLC συσκευές να μοιράζονται δίκαια το μέσο, ανεξάρτητα από τις διαφορές τους στο φυσικό στρώμα. Επιπλέον, επιτρέπει στις συσκευές αυτές να συνυπάρχουν με συσκευές που βασίζονται στο πρότυπο ITU-T G.hn. Το πρωτόκολλο ISP είναι ένα νέο στοιχείο που είναι μοναδικό στο περιβάλλον γραμμών ρεύματος.

Οι συσκευές που συμμορφώνονται με το πρότυπο πρέπει να είναι σε θέση να υποστηρίζουν ρυθμό δεδομένων τουλάχιστον 100 Mbps και να περιλαμβάνουν το ISP στην εφαρμογή τους. Υποχρεωτικά χαρακτηριστικά επιτρέπουν στις συσκευές που ακολουθούν το IEEE 1901 να πετύχουν ρυθμούς δεδομένων ~200 Mbps, ενώ η χρήση προαιρετικού εύρους ζώνης που εκτείνεται πάνω από τα 30 MHz επιτρέπει την επίτευξη κάπως μεγαλύτερων ρυθμών. Ωστόσο, οι βελτιώσεις στο ρυθμό λόγω της χρήσης υψηλότερων συχνοτήτων είναι συχνά οριακές και χαρακτηρίζονται από μικρή εμβέλεια, λόγω της μεγαλύτερης εξασθένησης του μέσου και την παρουσία τηλεοπτικών καναλιών πάνω από τα 80 MHz.

Κεφάλαιο VI

Ανακεφαλαίωση

6.1 Ανακεφαλαίωση

Στο 6^ο και τελευταίο κεφάλαιο, θα δούμε συγκεντρωμένα και σε συντομία, τα πιο σημαντικά σημεία της εργασίας αυτής. Η προσπάθειά, μας συνοψίζεται στον τίτλο της εργασίας: σύζευξη ενεργειακών και τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Σε όλη την έκταση της διπλωματικής αυτής, σκοπός μας είναι, να συνδέσουμε σε όλες τις πιθανές τους εκφάνσεις, τα συστήματα ενέργειας και τηλεπικοινωνιών, που μας περιβάλλουν σήμερα. Τα συστήματα αυτά, εξετάζονται στα επιμέρους σημεία τους, αλλά και γίνεται μια έρευνα στο πώς μπορούν να εξυπηρετηθούν μεταξύ τους με σκοπό να επιτευχθούν οι καλύτεροι, πιο λειτουργικοί και οικονομικά αποδοτικοί συνδυασμοί. Επιπλέον, βλέπουμε πώς επηρεάζει το ένα την εύρυθμη λειτουργία του άλλου.

Αυτές τις μέρες, συνεδριάζει το συμβούλιο των υπουργών μεταφορών, τηλεπικοινωνιών και ενέργειας στις Βρυξέλλες, για θέματα ενέργειας και αλλαγής του κλίματος. Η εκπομπή αερίων θερμοκηπίου και τα έξυπνα δίκτυα για την ηλεκτρική ενέργεια είναι δύο από τα σημαντικά θέματα προς συζήτηση [65]. Βλέπουμε λοιπόν, πως το θέμα μας δε θα μπορούσε να είναι πιο επίκαιρο. Η συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας στη βιομηχανία των ΤΠΕ, ρίχνει μεγάλο βάρος στη σημασία της ανάπτυξης ενεργειακά αποδοτικών δικτύων. Ο λόγος ανάπτυξης ενδιαφέροντος για την εξοικονόμηση ενέργειας και για τη χρήση των έξυπνων δικτύων, είναι η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας από τη βιομηχανία των ΤΠΕ, η οποία οδηγεί τόσο σε αύξηση του λειτουργικού τους κόστους όσο και σε υψηλότερες εκπομπές CO₂.

Σε αυτά τα δεδομένα στηρίζεται η μελέτη που παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 2. Πιο συγκεκριμένα, ξεκινάμε μια μελέτη των υπάρχοντων δικτύων που εξυπηρετούν τις ΤΠΕ σήμερα, δηλαδή των ενσύρματων και ασύρματων δικτύων. Μετά την αρχική τους παρουσίαση, μελετάμε την κατανάλωση ενέργειας ανά δίκτυο. Συμπεραίνουμε πως τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά για ένα ενεργειακά αποδοτικό κέντρο δεδομένων είναι ο σωστός σχεδιασμός και διαχείριση. Όταν μιλάμε για σωστό σχεδιασμό, εννοούμε τη χρήση τεχνικών προσομοίωσης, την εξ αποστάσεως παρακολούθηση και διαχείριση του data center, διαδικασίες αναδιαστασιολόγησης και βέλτιστου σχεδιασμού της κάτοψης, αλλά και σωστή διαρρύθμιση του εξοπλισμού, ώστε να μειωθούν οι ανάγκες ψύξης. Όταν μιλάμε για σωστή διαχείριση, εννοούμε την χρήση ενεργειακά αποδοτικών server, την απόσυρση παλιών επεξεργαστών, τη μετάβαση σε πιο αποδοτικές ενεργειακά πλατφόρμες και τη χρήση δωρεάν τεχνικών ψύξης. Η σημασία της ενεργειακής απόδοσης μέσα στο κέντρο δεδομένων, μπορεί να δικαιολογηθεί, αν σκεφτεί κανείς ότι η εξοικονόμηση ενός watt στο κέντρο δεδομένων, εξοικονομεί τουλάχιστον ένα watt στην ψύξη. Επιπλέον, η διαχείριση ισχύος των κέντρων δεδομένων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σημαντικό στοιχείο για την αποτελεσματική λειτουργία τους. Τέλος, η χρήση πολυπύρηνων τσιπ εντός των επεξεργαστών των data center, προκαλεί μια αξιοσημείωτη μείωση στη συνολική κατανάλωση ισχύος. Επιπλέον,

όσον αφορά τα ενσύρματα δίκτυα, είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως οι οπτικές ίνες θεωρούνται η καλύτερη λύση για την εξοικονόμηση ενέργειας με την ταυτόχρονη εξασφάλιση υψηλών ρυθμών δεδομένων. Όσον αφορά τα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης, την υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας έχει ο σταθμός βάσης, με τις υψηλότερες απαιτήσεις να εντοπίζονται στο σύστημα ψύξης τους και τους ενισχυτές ρεύματος.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου 2 μελετάμε την κατανάλωση ενέργειας σε PSTN μικρών και μεγάλων διαστάσεων. Στα PSTN μικρών διαστάσεων παρουσιάζεται μια έρευνα κατανάλωσης ενέργειας του τηλεφωνικού κέντρου του Politecnico di Torino και της Πολυτεχνειούπολης Κρήτης. Συγκεκριμένα στο δεύτερο, η μέση εγκατεστημένη ισχύς είναι 385W για το NOC, ενώ για τις εστίες 135W και 385W για το HMMY. Συνολικά δηλαδή η μέση εγκατεστημένη ισχύς για την Πολυτεχνειούπολη είναι 905W. Έπειτα παρουσιάζουμε μια μελέτη στην κατανάλωση των data centers. Από αυτή συμπεραίνουμε, πως όσον αφορά το ωφέλιμο έργο του data center, λιγότερο από το 30% αυτού καταλήγει στον εξοπλισμό IT.

Έπειτα, μελετήσαμε την ικανοποίηση των αναγκών των δικτύων επικοινωνιών μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Βλέπουμε τί συμβαίνει τόσο στην εγχώρια αγορά με τις ΑΠΕ του ΟΤΕ και της Γερμανός (sunlight), όσο και στο εξωτερικό με τη Vodafone Ιταλίας. Έχει ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε, πως δύο πιλοτικά προγράμματα ΑΠΕ (φωτοβολταϊκών σε σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας) στην Ιταλία, απέδωσαν μια ετήσια παραγωγή της τάξης των 2640 και 2880kWh αντίστοιχα.

Στο κεφάλαιο 3, ερευνούμε αρχικά τους περιορισμούς όδευσης που αντιμετωπίζουν οι τηλεπικοινωνιακοί αγωγοί σε εναέριες γραμμές μεταφοράς και εναέρια δίκτυα διανομής. Στη συνέχεια, μελετάμε προβλήματα που δημιουργούν οι γραμμές αυτές στις επικοινωνιακές ζεύξεις αλλά και τρόπους αντιμετώπισης των επιδράσεων και των παρασίτων. Παρουσιάζονται σε λεπτομέρεια τα φαινόμενα Corona και ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC).

Έπειτα μελετάμε την επιρροή των υψηλών ρευμάτων σε υπόγειες γραμμές μεταφοράς και διανομής. Βλέπουμε πως αποστάσεις μεταξύ των γυμνών γραμμών της ΔΕΗ και των τηλεπικοινωνιακών γραμμών του ΟΤΕ πρέπει να είναι μεγαλύτερες από 1,2m για ονομαστική τάση 0-8.7 kV, 2m για ονομαστική τάση 8.7 - 50 kV και 2m και άνω για τάσεις πάνω από τα 50 kV. Όμως, όταν οι αγωγοί της ΔΕΗ είναι μονωμένοι τότε η απόσταση από τις γραμμές του ΟΤΕ πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0,60m για ονομαστική τάση 0-8.7 kV, 1,20m για ονομαστική τάση 8.7- 50 kV και 1,80m για ονομαστική τάση 50 kV.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το φαινόμενο των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών που στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα από την παρουσία ανεμογεννητριών (Α/Γ) σε ορισμένη απόσταση από αυτά. Η μελέτη γίνεται σε ευρύ φάσμα συχνοτήτων καλύπτοντας έτσι ένα σημαντικό ποσοστό τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Αναλύονται επίσης οι μηχανισμοί των παρεμβολών που προκαλούνται από τις Α/Γ στη διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Οι ενεργητικοί μηχανισμοί είναι η Η/Μ ακτινοβολία ΕΜΙ και το φαινόμενο κοντινού πεδίου. Οι παθητικοί μηχανισμοί είναι η διάθλαση και η ανάκλαση και σκέδαση των Η/Μ κυμάτων. Στο τέλος του 3^{ου} κεφαλαίου, παρουσιάζονται κάποιες αρχές και όρια για την αντιμετώπιση προβλημάτων που δημιουργούνται στη μετάδοση πληροφορίας, λόγω των εγκαταστάσεων ισχυρών ρευμάτων στα κτίρια. Στο πλαίσιο αυτό, παρουσιάζουμε αναφορές από αρχές προτυποποίησης και πιο συγκεκριμένα την αναφορά ITU-T K.68.

Το κεφάλαιο 4 επικεντρώνεται στην εκμετάλλευση δικτύων ενέργειας για επικοινωνιακούς σκοπούς. Αρχικά περιγράφονται οι έννοιες: 1) Power-Line Communications (PLC), που αναφέρεται σε μετάδοση τηλεπικοινωνιακού σήματος εντός κτιριακών εγκαταστάσεων διαμέσου των καλωδίσεων ηλεκτρικού ρεύματος και 2) Power-Line Telecommunications (PLT), που αφορά την παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στο τελευταίο μίλι.

Έπειτα, βλέπουμε τα γενικά προβλήματα χρήσης ηλεκτρικού δικτύου σε επικοινωνιακές εφαρμογές. Έχει ενδιαφέρον να αναφέρουμε, πως στις χαμηλές συχνότητες (LF) - έως τα 300kHz, ο θόρυβος εξαιτίας των διαφόρων συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο παρουσιάζεται ιδιαιτέρως αυξημένος, ενώ από 1MHz και άνω έχει ήδη εξασθενίσει. Από την άλλη για μία σύγχρονη δικτυακή εφαρμογή θεωρούνται εκμεταλλεύσιμες οι υψηλές συχνότητες (HF) 1 MHz-20MHz. Το συμπέρασμα που βγαίνει είναι πως η μετάδοση δεν μπορεί να γίνει στη βασική ζώνη, δηλαδή τα bits να μεταδίδονται υπό μορφήν τετραγωνικών παλμών, αλλά θα πρέπει να επιχειρηθεί μέσω ψηφιακής διαμόρφωσης ενός φέροντος σήματος. Γίνεται μια διεξοδική περιγραφή του PLT του τελευταίου μιλίου, μελετώντας ξεχωριστά τις γραμμές μέσης και τις γραμμές χαμηλής τάσης καθώς και τα επιμέρους τμήματά τους. Παρατίθεται επίσης το παραδείγμα του δικτύου μέσης τάσης στην Ιαπωνία. Προχωρούμε αναφέροντας τα προβλήματα που δημιουργούν οι γραμμές ισχύος μέσης τάσης, αλλά και τους υπάρχοντες κανόνες για την αντιμετώπισή τους.

Προχωρώντας στεκόμαστε στο PLT της «τελευταίας ίντσας» ή με άλλα λόγια στο τί συμβαίνει εντός των κτιρίων. Στα πλαίσια αυτού, περιγράφουμε τα προβλήματα που δημιουργούνται στη μετάδοση πληροφορίας λόγω εγκαταστάσεων ισχυρών ρευμάτων στα κτίρια. Σκοπός της χρήσης των γραμμών ισχύος στις τηλεπικοινωνίες, είναι η λειτουργία δικτυακών υπηρεσιών ευρείας ζώνης, οι οποίες χρησιμοποιούν αθωράκιστα και διαφορετικού τύπου καλώδια. Όμως, κατά την μετάδοση υψίσυχνων σημάτων μέσω αθωράκιστων καλωδίων, ένα τέτοιο σύστημα καλωδίωσης θα λειτουργεί σαν μία κεραία και θα εκπέμπει σημαντική ακτινοβολία εξαιτίας της έλλειψης συμμετρίας. Έτσι είναι δυνατό να παρατηρηθούν ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (EMI) σε ασύρματα συστήματα που λειτουργούν στην ίδια συχνότητα. Γι' αυτό το λόγο, στο PLC εντός οικίας ο καταμερισμός των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται και η ακτινοβολία ορίζεται από κανονισμούς.

Στα πλαίσια αυτών των κανονισμών και ολοκληρώνοντας το κεφάλαιο, περιγράφουμε το πρωτόκολλο Home Plug. HomePlug είναι το όνομα της οικογένειας ορισμένων προδιαγραφών επικοινωνίας μέσω γραμμών ισχύος που υποστηρίζουν τη δικτύωση με χρήση της οικιακής ηλεκτρικής καλωδίωσης. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε, πως τα προϊόντα Homeplug είναι διαθέσιμα (off-the-shelf/έτοιμα προς πώληση) για την εντός σπιτιού δικτύωση που χρησιμοποιεί τις γραμμές του τοπικού συστήματος ισχύος.

Στο κεφάλαιο 5, αφιερώνουμε ένα κεφάλαιο στην παρουσίαση των τρόπων επικοινωνίας που μπορούν να χρησιμοποιήσουν ενεργειακές εγκαταστάσεις για να καλύψουν τις ανάγκες τους. Αρχικά μελετάμε τις τεχνολογίες με τις οποίες ενεργειακές εγκαταστάσεις και έξυπνα δίκτυα χρησιμοποιούν για να επικοινωνούν, ξεκινώντας από τις ασύρματες και προχωρώντας στους ενσύρματους τρόπους ανταλλαγής πληροφοριών. Στις ασύρματες τεχνολογίες, παρουσιάζονται τα: 1) ασύρματα τοπικά δίκτυα, 2) WiMAX, 3) κυψελωτές επικοινωνίες, 4) το πρωτόκολλο ZigBee, 5) ασύρματα δίκτυα πλέγματος, 6) δορυφορικές

επικοινωνίες και τέλος 7) όλες οι άλλες πιθανές τεχνολογίες. Στις ενσύρματες τεχνολογίες, αναλύουμε σε συντομία τις οπτικές ίνες και το BPL και γίνεται αναφορά στα πρωτόκολλα SONET/SDH, Ethernet, DSL, MPLS καθώς και EPON/GPON, WDM PON.

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τομείς οι οποίοι παρουσιάζουν ανάγκες σε επικοινωνίες και τις αντίστοιχες εφαρμογές που τις δευκολύνουν. Ξεκινάμε με τις απαιτήσεις των ηλεκτρικών εταιρειών (επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας) σε τηλεπικοινωνίες. Αρχικά, αναφερόμαστε στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής (υψηλή, μέση και χαμηλή τάση) και συνεχίζουμε αναλύοντας τις επιμέρους ανάγκες. Ποιο συγκεκριμένα, αναλύουμε τις ανάγκες για τη μεταφορά δεδομένων που αφορούν την Υψηλή Τάση, τη διανομή - μέση και χαμηλή τάση, την εμπορία – χρέωση, τη μεταφορά δεδομένων από τους παραγωγούς, τις ανάγκες για τη λειτουργία γραφείων, για οικονομικές συναλλαγές, για εξυπηρέτηση πελατών και τέλος για Demand Side Management.

Έπειτα, μελετάμε την χρήση των επικοινωνιών σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις εντός κτιρίων και τις τεχνολογίες που εξυπηρετούν την επικοινωνία μεταξύ έξυπνων οικιακών ή μικρής έκτασης δικτύων. Στη συνέχεια παραθέτουμε μια περιγραφή των πιο σημαντικών πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Βλέπουμε σε λεπτομέρεια το πρωτόκολλο Home energy management, καθώς και μια σειρά άλλων, όπως τα: Home automation – X10 Protocol, BACNET, European Installation Bus – EIB, LonWorks, CAN, ARCNET, BitBus PROFIBUS, Modbus RTU.

Συνεχίζουμε με τα δίκτυα smart grids. Το Smart grid ή Έξυπνο Δίκτυο αναφέρεται σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο παρακολουθεί, προστατεύει και βελτιστοποιεί τη λειτουργία των διασυνδεδεμένων σε αυτό στοιχείων. Το έξυπνο δίκτυο, σκοπό έχει να ενισχύσει την αποδοτικότητα και της αξιοπιστία του κλασσικού δικτύου, μέσω αυτομάτου ελέγχου, μετατροπών υψηλής ισχύος, σύγχρονης δομής επικοινωνιών, τεχνολογιών αισθητήρων/μετρητών και σύγχρονων τεχνικών διαχείρισης ενέργειας βασισμένων στη βελτιστοποίηση της ζήτησης, τη διαθεσιμότητας της ενέργεια και του δικτύου. Αποτελείται από κεντρικές και κατακεντρωμένες ηλεκτρικές γεννήτριες μέσω του δικτύου υψηλής τάσης και σύστημα διανομής χαμηλής τάσης σε βιομηχανικούς χρήστες ή συστήματα αυτοματισμού οικιακών κτηρίων, σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας και σε τελικούς καταναλωτές.

Ολοκληρώνουμε τη μελέτη του έξυπνου δικτύου με τη χρήση του Power Line Communication (PLC) σε αυτά. Αφού αναλύσουμε την έννοια του PLC γενικά, παραθέτουμε και την κατάσταση της PLC προτυποποίησης.

Συμπεραίνουμε πως το PLC μπορεί να θεωρηθεί μια υποσχόμενη τεχνολογία για τις εφαρμογές των έξυπνων δικτύων εξαιτίας του γεγονότος ότι η υπάρχουσα υποδομή μειώνει το κόστος εγκατάστασης μιας επικοινωνιακής υποδομής.

Το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουμε, είναι πως οι δύο κλάδοι έχουν μεγάλο βαθμό συσχέτισης, και προχωρώντας προς το μέλλον, αναμένουμε αυτή η συσχέτιση να αυξάνει σε σημείο που να μην είναι δυνατή η λειτουργία τους ξεχωριστά. Η πραγματικότητα δείχνει πως οι ερευνητικές προσπάθειες πρέπει να στραφούν προς την απόλυτη συσχέτιση για να προχωρήσουμε στις «έξυπνες» πόλεις του μέλλοντος.

Βιβλιογραφία

- [1] Lange C., Kosiankowski D., Hülsermann R., Weidmann R., Gladisch A., “Energy footprint of telecommunication networks”, Optical Communication (ECOC), 2010 36th European Conference and Exhibition on.
- [2] Vereecken W., Heddeghem W. V., Deruyck M., Puype B., Lannoo B., Joseph W., Colle D., Martens L., Demeester P., “Power consumption in telecommunication networks: overview and reduction strategies.” IEEE, Communications Magazine. Vol. 49, No. 6, 2011.
- [3] Report on Climate Change, International Telecommunication Union (ITU), Oct. 2008.
- [4] “SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age”, a report by The Climate Group on behalf of the Global eSustainability Initiative (GeSI).
- [5] Koutitas G., Demestichas P., “A Review of Energy Efficiency in Telecommunication Networks.” Telfor Journal, Vol. 2, No. 1, 2010.
- [6] Lange C., Kosiankowski D., Gerlach Christoph, Westphal F., Gladisch A., "Energy consumption of telecommunication networks", Optical Communication, 2009. ECOC '09. 35th European Conference on
- [7] Magnus K. Herrlin, “Economic Benefits of Energy Savings Associated with: (1) Energy-Efficient Telecommunications Equipment; and (2) Appropriate Environmental Controls”, Telecommunications Energy Conference, 1996. INTELEC '96., 18th International.
- [8] Διακονικολάου Γ., Αγιακάτσικα Α., Μπούρας Η., “Επιχειρησιακή διαδικτύωση” Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2004.
- [9] <http://www.thefoa.org/tech/fo-or-cu.htm>
- [10] Deruyck M., Vereecken W., Tanghe E., Joseph W., Pickavet M., Martens L., Demeester P. "Power consumption in wireless access network", Wireless Conference (EW), 2010 European.
- [11] <http://en.wikipedia.org/wiki/PSTN>
- [12] Matthews H.S, Woon Sien Loh, Hui Min Chong, “Electricity Use of Wired and Wireless Telecommunications Networks in the United States”, Electronics and the Environment, 2003. IEEE International Symposium on.
- [13] Scientific Certification Systems, “Final Report - Life- Cycle Stressor Effects Assessment of the Telecommunications Systems in Stockholm and Sacramento”, August 13 199.

[14] Bota F., Khuhawar F., Mellia M., Meo M., "Comparison of Energy Efficiency in PSTN and VoIP Systems", Future Energy Systems: Where Energy, Computing and Communication Meet (e-Energy), 2012 Third International Conference on.

[15] http://en.wikipedia.org/wiki/Data_center

[16] Abigail Gray, "Data Centers: Achieving Both Energy Efficiency And Reliability", <http://www.facilitiesnet.com>, September 2005.

[17] Bull S.R., "Renewable energy today and tomorrow", Proceedings of the IEEE, Vol. 89, Issue 8, Aug. 2001.

[18] www.ote.gr

[19] Touzopoulos, "PV powered RF station, Antikythira, report", Hellenic Organization for telecommunications, 1987.

[20] Lubritto C., Petraglia A., Vetromile C., Caterina F., D'Onofrio A., Logorelli M., Marsico G., Curcuruto S., "Telecommunication power systems: energy saving, renewable sources and environmental monitoring", Telecommunications Energy Conference, 2008. INTELEC 2008. IEEE 30th International

[21] www.systems-sunlight.com

[22] www.eeae.gr/gr/docs/president/_xamilosixna.pdf

Υπουργείο ανάπτυξης, Ελληνική επιτροπή ατομικής ενέργειας, χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία

[23] Σταθόπουλος Ιωαν. "Υψηλές Τάσεις", Εκδόσεις Συμεών, 1991, ISBN 960-7888-63-4, ISBN-13 978-960-7888-63-1

[24] Δ. Ν. Χατζηπέτρος, "Πεδιακή Ανάλυση Συνθετικών Μονωτήρων Υψηλής Τάσης", διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Μάρτιος 2012.

[25] <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C123/487/3182,12858/>

Εναέρια δίκτυα – Ηλεκτρολογία

[26] Ed Hare, "Exhibit A to Comments of ARRL,BPL Inquiry", July 7,2003

[27] <http://www.ece.msstate.edu/~donohoe/ece4990notes6.pdf>

[28] <http://www.antenna-theory.com/arrays/arrayfactor.php>

[29] www.ypeka.gr

[30] Ν. Ζαχαράκος, Β. Τούσης, Ι. Συρίγος, “Τηλεπικοινωνιακές υποδομές και υπηρεσίες σταθερής τηλεφωνίας. Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές”

http://www.ee.teihal.gr/labs/pkoukos/Documentation/tilep_ipodomes.pdf

[31] Ε. Οικονόμου, Ε. Π. Παντελοπούλου, “Μελέτη Ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας ασύρματων τηλ/κών συστημάτων με αιολικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας” Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Δεκέμβριος 2007

[32] ITU-T Recommendation K.68 (04/08)

<http://www.itu.int/rec/T-REC-K.68-200804-I>

[33] Τεχνολογία Δικτύων Υπολογιστών Β΄Τάξης του Τομέα Πληροφορικής των Επαγγελματικών Λυκείων, Κεφάλαιο 6. Οδηγίες εγκατάστασης δικτύου δομημένης καλωδίωσης

[34] Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50174-3

[35] Αν. Ιωάννου, “Διερεύνηση μετάδοσης τηλεπικοινωνιακού σήματος μέσω ηλεκτρικού δικτύου χαμηλής και μέσης τάσεως” Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Σεπτέμβριος 2004

[36] Δ. Θωμαΐδης, “Μετάδοση πληροφορίας σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας” Διπλωματική εργασία Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, Πολυτεχνικής σχολής ΑΠΘ, 2001

[37] Juuji Ibuki, “Power Line Communication in Japan”, Tokyo Electric Power Company

[38] Ν. Λειβαδέας, Π. Τοπάλογλου, “ Προβλήματα Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας σε Συστήματα Μετάδοσης Σημάτων Πάνω από Γραμμές Μέσης Τάσης” Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Ιούλιος 2006

[39] <http://en.wikipedia.org/wiki/Homeplug>

[40] Τσικαλάκης Αν. “Πρωτόκολλα Επικοινωνιών Συστημάτων BMS”, Παρουσίαση

[41] http://www.att.com/equipment/accessory-details/?q_categoryid=cat2020046&q_sku=sku3950259&q_manufacturer=&q_model=

[42]] Ζώτου Ευφ. , “ Σύγχρονες Τεχνολογίες Πρόσβασης και Διαδικτύου σε Έξυπνα Δίκτυα (Smart Grids) ”, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Οκτώβριος 2012

[43] Χασάν, Κιρ, “ Μοντελοποίηση γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας για τη μετάδοση τηλ/κών σημάτων ”, Διπλωματική εργασία ΑΠΘ

[44] http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_power_transmission

- [45] http://en.wikipedia.org/wiki/Power-line_communication
- [46] Ζώτου Ευφ. , “ Σύγχρονες Τεχνολογίες Πρόσβασης και Διαδικτύου σε Έξυπνα Δίκτυα (Smart Grids) ”, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Οκτώβριος 2012
- [47] <http://www.engineersgarage.com/articles/plcc-power-line-carrier-communication?page=2>
- [48] Wietfeld C., Georg H., Groening S., Lewandowski C., Mueller C., Schmutzler J., “Wireless M2M Communication Networks for Smart Grid Applications,” in 11th European Wireless Conference, April 27-29, 2011
- [49] Yan Zhang, Rong Yu, Nekovee M., Yi Liu, Shengli Xie, Gjessing S., “Cognitive machine-to-machine communications: visions and potentials for the smart grid”, IEEE Network, vol. 23, no. 3, May-June 2012
- [50] <http://www.orwelltoday.com/smartmeter1.jpg>
- [51] <http://www.mpdigest.com/issue/Articles/2010/june/analog/>
- [52] Κώδικας διαχείρισης μη διασυνδεδεμένων νησιών
http://www.rae.gr/old/K2/Consult_KDMN/Code_MDN.pdf
- [53] Σχέδιο σύμβασης σύνδεσης στο σύστημα Φ/Β παραγωγού ΑΔΜΗΕ, 10/12
- [54] http://en.wikipedia.org/wiki/X10_%28industry_standard%29
- [55] EPRI specification IEC/PAS 62559
- [56] L. D. Kannberg; M. C. Kintner-Meyer, D. P. Chassin, R. G. Pratt, J. G. DeSteele, L. A. Schienbein, S. G. Hauser, W. M. Warwick (November 2003). “GridWise: The Benefits of a Transformed Energy System”. Pacific Northwest National Laboratory under contract with the United States Department of Energy. p. 25.
- [57] Fangxing Li, Wei Qiao, Hongbin Sun, Hui Wan, Jianhui Wang, Yan Xia, Zhao Xu, Pei Zhang, “Smart Transmission Grid: Vision and Framework”, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 1, no. 2, Sep. 2010
- [59] www.futuregrid.org.au
- [60] <http://energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid>
- [61] AMI: Smart Enough? Metering potential and limitations for smart grid design, Accenture
- [62] <http://www.devolo.com/en/g3-plc>
- [63] <http://greekelectrician.blogspot.com.es/2013/01/telephone.center.html>

[64] Oksman, V., Jin Zhang, “G.HNEM: the new ITU-T standard on narrowband PLC technology”, IEEE Communications Magazine, vo. 49, no. 12, pp. 36-44, Dec. 2011

[65] www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/trans/146130.pdf