



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Διερεύνηση μεταδόσης τηλεπικοινωνιακού σηματος
μέσω ηλεκτρικού δικτύου χαμηλής και μέσης τάσεως**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανδρέας Χ.Ιωάννου

Επιβλέπων : Π.Δ. Μπούρκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τον Σεπτέμβριο 2004

.....
Π.Δ. Μπούρκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Ν.Ι Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Κ.Γ Καραγιαννοπουλος
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π

Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των δυνατοτήτων εγκατάστασης και λειτουργίας τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών επι του ηλεκτρικού δικτύου χαμηλής και μεσης τάσεως. Αυτή η τεχνολογία αφορά στην μετάδοση τηλεπικοινωνιακού σήματος μέσω των γραμμών μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Στο συγκεκριμένο πλαίσιο υπάρχουν δυο βασικές κατευθύνσεις:

- *Power-Line. Communications (PLC)* που έγκειται σε μετάδοση τηλεπικοινωνιακού σήματος εντός κτιριακών εγκαταστάσεων διαμέσου των καλωδιώσεων 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

Συγκριμένα μετά από μια θεωρητική ανάλυση της ενσύρματης μετάδοσης τηλεπικοινωνιακού σήματος μέσω γραμμών μεταφοράς και μιας εισαγωγής στις τηλεπικοινωνίες μελετήθηκε η τεχνολογία ripple control με χρήση της κωδικοποίησης Pulsadis. Επίσης αναπτύχθηκε διεξοδικά μια συγκεκριμένη και εμπορικά εκμεταλεύσιμη εφαρμογή της τεχνολογίας PLC και PLT στην τηλεμέτρηση και εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Λέξεις κλειδιά

Power-Line. Communications (PLC), Power-Line. Telecommunications (PLT), ripple control, τηλεμέτρηση και εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Abstract

The aim of present thesis is the study of possibilities of installation and operation of telecommunications applications on the electric network of low and medium Voltage .This technology concerns in the transmission of telecommunications signal via the lines of transport and distribution of electric energy . There are two basic directions:

- Power-Line Communications (PLC) that lies in transmission of telecommunications signal inside building installations through the wirings of electric current that are already installed in the building.
- Power-Line. Telecommunications (PLT) that concerns the benefit of telecommunications services in the last mile, as is named the part of network from the centre of distribution up to the consumers.

After a theoretical analysis of wired transmission of telecommunications signal via lines of transport and distribution ,the principles of Telecommunications was studied and the technology of ripple control with use of Pulsadis coding. There was also developed extensively a specific commercial application of the technology of PLC and PLT for the telemetering and saving of electric energy.

Words keys

Power-Line. Communications (PLC), Power-Line. Telecommunications (PLT), ripple control, telemetering and saving of electric energy.

Μια διπλωματική εργασία, προσφέρει τη χαρά της δημιουργίας, την ευχαρίστηση να βλέπει τη συνεισφορά του να συνδράμει στις τελευταίες εξελίξεις της τεχνολογίας και να συντελεί σε μικρό ή μεγάλο βαθμό στην κατάκτηση της γνώσης. Αυτή η ευχαρίστηση υπήρξε ο οδηγός για την υπερπήδηση των δυσκολιών που προέκυψαν κατά τη διάρκεια των έξι περίπου μηνών της παρούσας εργασίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τον Επιβλέποντα κ. Π.Μπούρκα, Καθηγητή Ε.Μ.Π και τα μέλη της Τριμελούς Επιτροπής κ. Ν.Θεοδώρου, καθηγητή Ε.Μ.Π. και κ. Κ.Καραγιαννόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή Ε.Μ.Π για τη συνεχή καθοδήγηση και συμπαράσταση, το ενδιαφέρον και τις χρήσιμες υποδείξεις τους κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	Σελίδα
1.1 Εισαγωγή	7
1.2 Τεχνολογία PLC	9
1.3 Εναλλακτικές Τεχνολογίες	11
1.4 Επικοινωνίες μέσω του δικτύου διανομής τεχνολογία PLT.	12
1.5 Βασικές αρχιτεκτονικές δομές	15
1.6 Προβλήματα	17
1.7 Τεχνολογία μεταφοράς δεδομένων μέσω δικτύου χαμηλής τάσης	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
ΕΝΣΥΡΜΑΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	
2.1 Γραμμές μεταφοράς μικρού και μεγάλου μήκους.	26
2.2 Γραμμή άπειρου μήκους χωρίς απώλειες	30
2.3 Ανακλάσεις των κυμάτων στις γραμμές πεπερασμένου μήκους	32
2.4 Στάσιμα κύματα και φαινόμενα συντονισμού στις γραμμές μεταφοράς.	37
2.5 Διάδοση παλμών και απότομων μεταβολών σήματος σε γραμμή μεταφοράς	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	
3.1 Αναλογικά συστήματα διαμόρφωσης	47
3.2 Ψηφιακή μετάδοση αναλογικών σημάτων	50
3.3 Ψηφιακά συστήματα διαμόρφωσης	51
3.4 Πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας FDM	52
3.5 Ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας OFDM	58
3.6 Διαμόρφωση – Κωδικοποίηση ASK και FSK	60
3.7 Ψηφιακή απόδοση διαύλου	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ RIPPLE CONTROL ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ PULSADIS	
4.1 Εισαγωγή	68

4.2 Περιγραφή κώδικα Pulsadis	69
4.3 Τεχνικές εγχύσεως	70
4.4 Εμβέλεια σήματος	73
4.5 Εξασθένηση σήματος	73
4.6 Επίδραση του σήματος στους πυκνωτές χωρητικής αντιστάθμισης	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ PLC ΚΑΙ PLT ΣΤΗΝ ΤΗΛΕΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

5.1 Εισαγωγή	77
5.2 Κεντρικό υπολογιστικό σύστημα	87
5.3 Εισαγωγή στο EHS πρωτοκολο επικοινωνίας	97
5.4 Το EHS από τη πλευρά του πρωτοκόλου	100
5.5 Τερματικό καταναλωτή	111

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	118
---------------------------------------	-----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	121
--------------	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία θα γίνει μελέτη των δυνατοτήτων εγκατάστασης και λειτουργίας επικοινωνιακών εφαρμογών επι του ηλεκτρικού δικτύου χαμηλής τάσεως. Το ηλεκτρικό δίκτυο προβάλλει ως υποψήφια λύση για την στήριξη υπηρεσιών επικοινωνίας σε φυσικό επίπεδο σε δύο κύρια τηλεπικοινωνιακά θέματα:

α) *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 στο εξωτερικό και αποτελεί μία από τις εξεταζόμενες λύσεις στο χώρο της *τελευταίας ίντσας (Last inch)*, όπως χαρακτηρίζονται τα εσωτερικά δίκτυα των κτιρίων. Ωστόσο εξ' αιτίας της μοναδικότητας κάποιων χαρακτηριστικών του ηλεκτρικού δικτύου σε κάθε χώρα, τα αποτελέσματα των παραπάνω ερευνών δεν μπορούν να εφαρμοσθούν εδώ αυτούσια, αλλά χρειάζεται εξ' αρχής μελέτη του προβλήματος. Το τελικό στάδιο στην ανάπτυξη των αντίστοιχων συστημάτων θα είναι η αντικατάσταση του τηλεφωνικού κυκλώματος, αρχικά των σπιτιών και εν συνεχεία και μεγάλων κτιρίων, από το εσωτερικό ηλεκτρικό δίκτυο, μέσω του οποίου θα παρέχονται και υπηρεσίες *τοπικού δικτύου (LAN)* στον καλυπτόμενο χώρο.

β) *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 ευρίσκεται ακόμα σε πολύ 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 Te/communications (PLT)*.

Ο όρος *Power-Line Communicafions (PLC)* αφορά εφαρμογές επικοινωνιών τοπικών δικτύων (*LAN's*), ενώ ο όρος *Power-Line Te/communicafions (PLT)* δίκτυα παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών σε ευρύτερες περιοχές με πολλούς πελάτεςκαταναλωτές (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 οπωσδήποτε θα καθυστερήσει την υλοποίηση της *κοινωνίας της πληροφορίας*. Ωστόσο αξίζει προσοχής το γεγονός ότι κάθε κτίριο είναι συνδεδεμένο στο *δίκτυο διανομής* ρεύματος και επίσης όλα τα δωμάτιά του 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 ιδιαίτερος 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 εξ αυτών 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 .

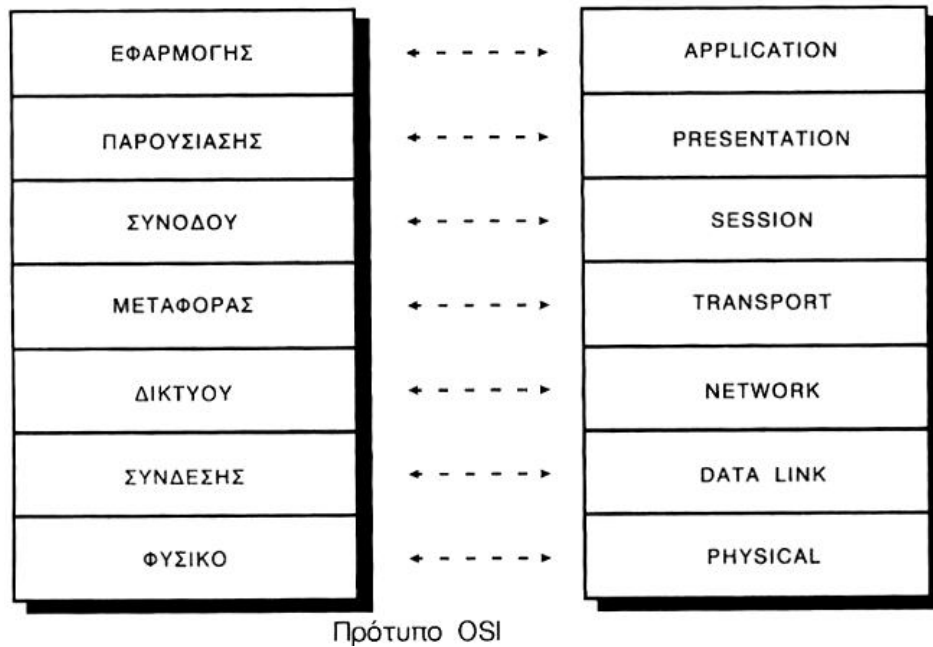
Ήδη εδώ και αρκετά χρόνια έχει αναπτυχθεί η τεχνολογία τηλεχειρισμών *Ripple control* με βάση τον κώδικα *Pulsadis*. Ωστόσο μέχρι το πρόσφατο παρελθόν οι εφαρμογές της συγκεκριμένης τεχνολογίας ήταν μόνο για μέτρηση της κατανάλωσης και έλεγχο του φορτίου και της κατάστασης του δικτύου. Εφαρμόζεται στο φάσμα των χαμηλών συχνοτήτων (100-900HZ) αλλά απαιτεί μεγάλη ισχύ εκπομπής (της τάξεως των 10kW), προσφέροντας μικρούς ρυθμούς μετάδοσης. Λόγω της σπουδαιότητας αυτής της τεχνολογίας, καθώς αποτελεί προπομπό και βάση για την ανάπτυξη των *PLC* και *PLT* θα αναλυθεί εκτενέστερα στο παρακάτω κεφάλαιο.

1.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ PLC

Οι μελέτες σχετικά με την εκμετάλλευση του ηλεκτρικού δικτύου για παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στοχεύουν σε δυο κατευθύνσεις. Η πρώτη είναι η μετατροπή της εσωτερικής καλωδίωσης ενός καταναλωτή (κτιρίου ή κτιριακού χώρου) σε (*LAN*). Στά αντίστοιχα προϊόντα περιλαμβάνονται συσκευές δύο ειδών. Η μία συνδέεται μεταξύ της τηλεφωνικής παροχής και ενός ρευματοδότη και μετατρέπει το ηλεκτρικό δίκτυο του χώρου σε τηλεπικοινωνιακή γραμμή. Μία άλλη συσκευή, η οποία λειτουργεί ως *modem*, είναι απαραίτητη κάθε φορά που ένας χρήστης (τηλέφωνο, υπολογιστής κλπ.) προσπαθεί να συνδεθεί με το δίκτυο για να λάβει ή να στείλει δεδομένα, ή να εγκαταστήσει μια συνδιάλεξη. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται τόσο η επικοινωνία μεταξύ χρηστών εντός του κτιρίου, όσο και με τον έξω κόσμο

μέσω του παροχέα τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.

Σχετικά με τα δίκτυα επικοινωνιών στον παρακάτω πίνακα αναφέρεται και περιγράφεται συνοπτικά το πρότυπο αναφοράς για τη διασύνδεση ανοικτών συστημάτων (OSI) του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (ISO) που είναι το μοντέλο αναφοράς για την αρχιτεκτονική των δικτύων, όπως φαίνεται και από τον πιο κάτω πίνακα



Το πρότυπο *OSI* είναι μία διαστρωματωμένη αρχιτεκτονική με επτά επίπεδα παροχής υπηρεσιών. Σήμερα οι προπάθειες επικεντρώνονται στην επίτευξη μέσω του ηλεκτρικού πλέγματος επιδόσεων· κατά το πρωτόκολλο *CSMA/CD*: το γνωστό *Ethernet*, το οποίο στηρίζεται στο πρότυπο *IEEE802.3*, σύμφωνα με το οποίο το στρώμα ζεύξεως δεδομένων του *OSI* αντικαθίσταται από τα υποεπίπεδα *ελέγχου της λογικής ζεύξης (LLC)* και *ελέγχου πρόσβασης στο μέσον (MAC)*, ενώ στο φυσικό επίπεδο η μετάδοση των σημάτων γίνεται με κοινή για όλους τους σταθμούς *γραμμή μεταφοράς* - συνήθως ομοαξονικό καλώδιο.

Στο υποεπίπεδο *MAC* κάθε σταθμός αποκτά πρόσβαση στο μέσον, αφού πρώτα το κανάλι περιέλθει σε απραξία (ανίχνευση φέρροντος) και μόλις προκύψει σύγκρουση (δηλαδή ταυτόχρονη απόπειρα δύο ή περισσότερων

σταθμών να μεταδώσουν), οι εμπλεκόμενοι σταθμοί σταματούν την μετάδοση (ανίχνευση σύγκρουσης), ακολουθώντας εν συνεχεία κάποιον αλγόριθμο χρονικού προγραμματισμού των επαναμεταδόσεων. Κατά μήκος του δικτύου η ταχύτητα μεταγωγής (δηλαδή ο ρυθμός αποστολής bits, όχι όμως μόνο χρήσιμης πληροφορίας) είναι 10Mbps.

Εναλλακτικά, στοχεύοντας όμως στις ίδιες επιδόσεις, εξετάζονται διάφορα πρωτόκολλα με κουπόνι. Το κουπόνι είναι ένας καθορισμένος σχηματισμός bits που κυκλοφορεί στον δίαυλο και κάθε σταθμός που θέλει να μεταδώσει πρέπει να περιμένει μέχρις ότου το λάβει, οπότε και το δεσμεύει.

Το κύριο πλεονέκτημα για την περίπτωση μας στις διάφορες παραλλαγές του μοντέλου είναι ότι ο μέγιστος χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών στιγμών που κάποιος σταθμός αποκτά την δυνατότητα να μεταδώσει καθορίζεται ντετερμινιστικά. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η αντιστάθμιση των ιδιαίτερος αφιλόξενων για επικοινωνιακές εφαρμογές και αστάθμητων ιδιοτήτων του ηλεκτρικού δικτύου, με αποτέλεσμα η πιθανότητα αστοχίας μιάς απόπειρας μετάδοσης δεδομένων να είναι μεγάλη.

Ωστόσο η τεχνολογία PLC δεν είναι η μόνη που διεκδικεί την εσωτερική επικοινωνιακή δικτύωση των κτιρίων. Διάφορες εναλλακτικές τεχνολογίες προτείνουν καθεμιά την δική της λύση στο πρόβλημα, πέραν του ότι ενδέχεται να εισβάλει και σε αυτό το πεδίο και η αναπτυσσόμενη τεχνολογία υπερύθρων.

1.3 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

- ETHERNET

Κατ'αρχήν, λοιπόν, υπάρχουν τα συμβατικά δίκτυα Ethernet, για τα οποία έγινε λόγος και παραπάνω. Βασίζουν την λειτουργία τους στα πρότυπα IEEE 802.3 και 802.5. Ουσιαστικά σε κάθε σπίτι εγκαθίσταται τοπικό δίκτυο με την πρόσθετη καλωδίωσή του. Για να καταστεί δυνατή η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος απαιτείται επιπροσθέτως ένας εξυπηρετητής, ένας κεντρικός κόμβος και ένας δρομολογητής. Είναι δαπανηρή τεχνολογία, αλλά έχει δοκιμασθεί για πολλά χρόνια και αποδεικνύεται ιδιαίτερος αξιόπιστη και αποδοτική. Ως μέσο διάδοσης χρησιμοποιεί συνεστραμμένα καλώδια ή ομοαξονικές γραμμές. Επιτυγχάνει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που

ποικίλλουν από 10Mbps έως και 100Mbps.

- HOME PNA

Μία άλλη υποψήφια λύση για τις ενδοκτιριακές επικοινωνίες είναι η χρησιμοποίηση της υπάρχουσας τηλεφωνικής καλωδίωσης (Home Phoneline Networking Alliance, HomePNA). Η τεχνολογία HomePNA, καθώς χρησιμοποιεί το υπάρχον τηλεφωνικό δίκτυο του χώρου, δε χρειάζεται πρόσθετη καλωδίωση. Για την ταυτόχρονη λειτουργία πολλών διαφορετικών επικοινωνιακών εφαρμογών χρησιμοποιείται πολύπλεξη διαιρέσεως συχνότητας, FDM (πρόκειται να περιγραφεί παρακάτω, όπως και άλλες μέθοδοι πολύπλεξης). Οι επιτευχθείσες ταχύτητες μετάδοσης φθάνουν τα 2Mbps.

- ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Τέλος υπάρχουν και οι ασύρματες επικοινωνίες, βάσει των οποίων έχουν αναπτυχθεί τρεις διαφορετικές δικτυακές τεχνολογίες. Πρόκειται για το ασύρματο Ethernet, το οποίο λειτουργεί βάσει του προτύπου IEEE 802.11, την τεχνολογία HomeRF και το Bluetooth. Οι τρεις αυτές τεχνολογίες διαφέρουν και ως προς τους ρυθμούς μετάδοσης και ως προς την έκταση της περιοχής κάλυψης. Το ασύρματο Ethernet επιτυγχάνει 11 Mbps ρυθμό μετάδοσης και απόσταση κάλυψης 45m, έναντι 1.6Mbps και 100m της HomeRF ή 1Mbps και 11m της τεχνολογίας Bluetooth αντιστοίχως.

1.4 Επικοινωνίες μέσω του δικτύου διανομής -τεχνολογία PLT.

Η δεύτερη κατεύθυνση που αποκτά ενδιαφέρον είναι η παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στο τελευταίο μίλι μέσω του δικτύου χαμηλής τάσεως με συστήματα PLT. Με τον όρο «τελευταίο μίλι» εννοείται το τμήμα του τηλεπικοινωνιακού δικτύου από το κέντρο διανομής μέχρι τους πελάτες, το οποίο χωρικά εκτείνεται περίπου όσο και οι γραμμές χαμηλής τάσης στην πλευρά των καταναλωτών ενός μετασχηματιστή από μέση σε χαμηλή τάση (M.T./X.T.).

Μέχρι στιγμής δεν ενδιαφέρει η επέκταση του τηλεπικοινωνιακού δικτύου στην άλλη πλευρά του μετασχηματιστή επί των γραμμών μέσης

τάσεως, καθώς το πρόβλημα αυτό παρουσιάζει επί του παρόντος σημαντικές δυσκολίες. Εξ' άλλου η σύνδεση των δικτύου διανομής με τα δίκτυα άλλων φορέων παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών (π.χ. Ο.Τ.Ε) και η χρήση της υφισταμένης τηλεπικοινωνιακής υποδομής μακρινών αποστάσεων προβάλλει ως τεχνικά εφικτή και συμφέρουσα λύση.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί πως εξαιτίας της δομής του δικτύου διανομής ένα σύστημα PLT θα έχει διαφορετική αρχιτεκτονική από τα τηλεφωνικά δίκτυα. Τα τελευταία λειτουργούν με σύνδεση και μεταγωγή κυκλώματος. Δηλαδή όσο διαρκεί μία τηλεπικοινωνιακή υπηρεσία μεταξύ δύο τερματικών σταθμών, διατίθεται για την μεταξύ των σύνδεση ένα σταθερό εύρος ζώνης από τη χωρητικότητα του δικτύου.

ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ

Η μεταγωγή κυκλώματος στην περίπτωση πολλών συνδέσεων μπορεί να γίνει με του εξής τρόπους:

- Με αποκατάσταση μιας ζεύξεως σε φυσικό επίπεδο μέσω μεταγωγέων,
- Με πολύπλεξη διαιρέσεως χρόνου (TDM),
- Με πολύπλεξη διαιρέσεως συχνότητας (FDM)
- Με συνδυασμό των δύο μεθόδων.

ΠΟΛΥΠΛΕΞΗ TDM

Στην πολύπλεξη TDM ο χρόνος διαιρείται περιοδικά και διαδοχικά σε σταθερό αριθμό μικρών διαστημάτων που ονομάζονται σχισμές ή θυρίδες, καθένα εκ των οποίων αντιστοιχεί σε ένα κανάλι. Η συνολική περίοδός τους, που επαναλαμβάνεται συνεχώς, λέγεται πλαίσιο και στην διάρκειά του μεταβιβάζεται ένα δείγμα από όλα τα κανάλια που εξυπηρετούνται από την αντίστοιχη ζεύξη.

ΠΟΛΥΠΛΕΞΗ FDM

Κατά την πολύπλεξη FDM η διατιθέμενη περιοχή συχνοτήτων διαιρείται σε ένα πλήθος ζωνών και έτσι σχηματίζονται ισάριθμα

κανάλια, ώστε καθένα από αυτά να μεταδίδει σε ένα σταθερό εύρος ζώνης του συνολικού φάσματος. Οι τεχνικές TDM και FDM εφαρμόζονται στον σύγχρονο τρόπο μετάδοσης (STM), ο οποίος χρησιμοποιεί μεταγωγή κυκλώματος και αποτελεί την αρχή λειτουργίας των σημερινών ψηφιακών τηλεφωνικών συστημάτων.

Το δίκτυο διανομής ρεύματος έχει τέτοια δομή, που η τεχνολογία PLT δεν μπορεί να στηριχθεί σε μεταγωγή κυκλώματος για δέσμευση του απαραίτητου εύρους ζώνης. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη σε περιπτώσεις αρχιτεκτονικής τηλεφωνικών δικτύων, όπου η παροχή σε κάθε πελάτη ξεκινάει από το τηλεφωνικό κέντρο και αποτελείται από μία γραμμή με εύρος ζώνης ενός χρήστη, ενώ τα τηλεφωνικά κέντρα συνδέονται μεταξύ των με πολλές γραμμές φυσικές ή νοητές.

Αντιθέτως στο ηλεκτρικό δίκτυο όλοι οι καταναλωτές, επομένως και υποψήφιοι πελάτες τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, παίρνουν μια παροχή του ιδίου εύρους ζώνης, ενώ η γραμμή που δίνει τις παροχές από το κέντρο διανομής έως και τον πιο απομακρυσμένο καταναλωτή διατηρεί σε όλο της το μήκος σταθερή χωρητικότητα. Δηλαδή οι πελάτες μοιράζονται έναν κοινό δίαυλο, του οποίου η χωρητικότητα πρέπει κάπως να κατανεμηθεί.

Η τεχνολογία PLT θα πρέπει να δομηθεί επί τη βάση τεχνικών μεταγωγής πακέτου σε συνδυασμό με την αρχή λειτουργίας ATM (ασύγχρονος τρόπος μετάδοσης). Τα πακέτα είναι ομάδες από bits και συνιστούν τις βασικές μονάδες με τις οποίες πραγματοποιείται η επικοινωνία. Ένα μήνυμα μπορεί να σπάσει σε πολλά πακέτα που καθένα θα περιέχει ένα πεδίο με την πληροφορία που μεταφέρει και κάποια άλλα πεδία σχετικά με τις διευθύνσεις του εκπομπού και του δέκτη, το μήνυμα στο οποίο ανήκει, κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων κλπ. Στους κόμβους του δικτύου υπάρχουν δρομολογητές και πολυπλέκτες που κατευθύνουν τα πακέτα από την πηγή στον προορισμό διαμέσου των διαφόρων ζεύξεων

.Το ATM είναι η τελευταία εξέλιξη στον τομέα των επικοινωνιακών συστημάτων και έχει υιοθετηθεί ως αρχή λειτουργίας για τα μελλονικά ευρείας ζώνης ψηφιακά δίκτυα ολοκληρωμένων υπηρεσιών (B-ISDN). Χρησιμοποιεί μεταγωγή πακέτου, αλλά λειτουργεί με προσανατολισμένο σε σύνδεση τρόπο, ώστε να εξυπηρετεί και αιτήσεις για υπηρεσίες με σύνδεση,

π.χ. μια τηλεφωνική συνδιάλεξη. Η πολύπλεξη γίνεται με ασύγχρονη διαίρεση χρόνου (ATD), ασύγχρονη παραλλαγή της TDM. Το ATM είναι πολύ γρήγορο σύστημα, όμως έχει σχεδιασθεί για εφαρμογή σε οπτικά ψηφιακά συστήματα μετάδοσης, τα οποία χαρακτηρίζονται από εξαιρετική ποιότητα και αξιοπιστία, με αποτέλεσμα το πρωτόκολλο του να μην προβλέπει διαδικασίες ελέγχου ροής ή αναγνώρισης και διόρθωσης σφαλμάτων από σημείο σε σημείο μετάδοσης.

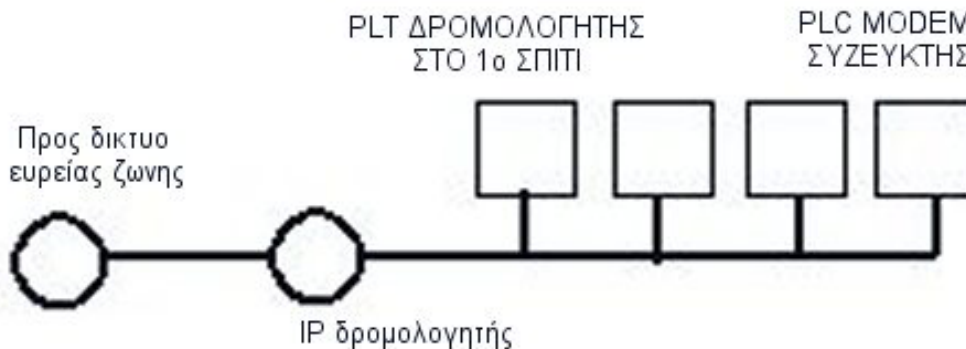
Χωρίς τους ελέγχους αυτούς είναι αδύνατο να λειτουργήσει οποιαδήποτε εφαρμογή επικοινωνιών με χρήση ενός μέσου διάδοσης τόσο αφιλόξενου και εχθρικού, όσο οι γραμμές διανομής. Έτσι η λύση στο πρόβλημα του τελευταίου μιλίου που θα προκύψει από την τεχνολογία PLT θα είναι στη ουσία ένα σύστημα μεταγωγής πακέτου βασισμένο στις αρχές λειτουργίας του ασύγχρονου τρόπου μετάδοσης ATM. Η πολύπλεξη θα μπορεί και πάλι να γίνει με διαφόρους τρόπους διάκρισης των καναλιών ως προς τις χρονικές θυρίδες ή ως προς την συχνότητα του εκπεμπόμενου σήματος.

1.5 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ

Όσον αφορά στην δομή των δικτύων PLT, δύο είναι οι κύριες αρχιτεκτονικές που μελετώνται .

- FIRST HOUSE

.Η πρώτη λέγεται πρώτο σπίτι (First House). Η βασική της φιλοσοφία φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



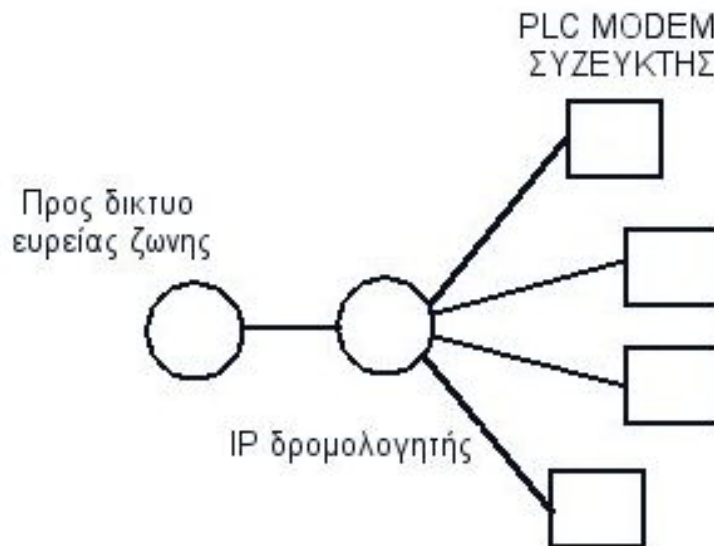
Σε κάθε μετασχηματιστή ΜΤ./Χ.Τ. γίνεται η δρομολόγηση από και προς το αντίστοιχο δίκτυο διανομής, καθώς και η σύνδεση με το καθαρά τηλεπικοινωνιακό δίκτυο ευρείας ζώνης.

Η παροχή του «πρώτου σπιτιού» λειτουργεί ως κεντρικός κόμβος του συστήματος και σε αυτήν πραγματοποιείται η δρομολόγηση από και προς όλους τους κόμβους (τα σπίτια του δικτύου). Σε κάθε σπίτι-κόμβο τοποθετείται ένα PLC modem/συζεύκτης που συνδέει την καλωδίωση του χώρου με το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο τελευταίου μιλίου.

Έτσι Οι καταναλωτές σχηματίζουν ένα LAN και στο φυσικό επίπεδο η επικοινωνία γίνεται με μεταγωγή πακέτων με ιδεατά κυκλώματα. Δηλαδή χρησιμοποιείται μεταγωγή πακέτου και τα πακέτα που ανήκουν στην ίδια διακίνηση πληροφορίας ακολουθούν στο δίκτυο την ίδια διαδρομή.

- HEAD-END

Η δεύτερη υπό συζήτηση αρχιτεκτονική έχει τη δομή αρχή-τέλος (Head-End) και παρίσταται στο παρακάτω σχήμα



Εδώ χρησιμοποιείται τοπολογία αστέρα με κέντρο ένα δρομολογητή για τη ρύθμιση της κίνησης από και προς τους καταναλωτές. Σε κάθε σπίτι-κόμβο

υπάρχει PLC modem/συζεύκτης για την σύνδεση του εσωτερικού κτιριακού ηλεκτρικού δικτύου με το δίκτυο επικοινωνιών που σχηματίζεται.

Δηλαδή η κύρια διαφορά από το πρώτο σπίτι είναι ότι η δρομολόγηση από και προς τους χρήστες γίνεται σε έναν κεντρικό κόμβο. Η δρομολόγηση από και προς την γραμμή διανομής χαμηλής τάσεως και η σύνδεση με το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο ευρείας ζώνης γίνεται στον μετασχηματιστή Μ.Τ./Χ.Τ.

Εκτός όμως από την τεχνολογία PLT υπάρχουν και άλλες υποψήφιες λύσεις για την παροχή μαζικής δικτυακής πρόσβασης υπηρεσιών επικοινωνίας σε τοπικό επίπεδο.

Οποιαδήποτε σύγκριση μεταξύ των παραπάνω προτάσεων θα πρέπει να γίνει όχι μόνο βάσει της παροντικής κατάστασης, αλλά λαμβάνοντας υπόψιν τις δυνατότητες εξέλιξης. Έτσι η τεχνολογία PLT εμφανίζει αξιόλογη δυναμική ως υποψήφια λύση για την παροχή υπηρεσιών επικοινωνίας στο τελευταίο μίλι, με σοβαρές πιθανότητες επιλογής. Η τεχνολογία ADSL λειτουργεί στην πλευρά του καταναλωτή και παρέχει επικοινωνίες υψηλών ταχυτήτων, από 512Kbps έως 6Mbps, μέσα από το τηλεφωνικό δίκτυο.

1.6 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

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. Εξ'άλλου λόγω των παρασιτικών χωρητικότητων 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.

1.7 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΣΩ ΔΙΚΤΥΟΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

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, που αναλύεται περισσότερο αμέσως παρακάτω, 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. 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).

Ετσι, 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.

Γενικά μπορεί κανείς να πεί ότι τα συστήματα επικοινωνίας μέσω των γραμμών χαμηλής τάσης, που έχουν κατά καιρούς εμφανιστεί, είναι δύο ειδών Αυτά, που προορίζονται για αποκλειστική χρήση των ηλεκτρικών εταιρειών

και αυτά, που αποσκοπούν στην κάλυψη ευρύτερων τηλεπικοινωνιακών αναγκών. Τα συστήματα, που ανήκουν στο πρώτο είδος, έχουν σχεδιαστεί για να μεταφέρουν δεδομένα σχετικά με τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιούν χαμηλές ταχύτητες επικοινωνίας (300 -2400 bps, ενώ έχουν αναφερθεί και κάποια πειράματα στα 19.2 kbps) και λειτουργούν μέσα στις ζώνες συχνοτήτων, που καθορίζει το πρότυπο EN50065 της CENELEC και συνήθως στη ζώνη A (3-95 kHz), που προορίζεται για τις ηλεκτρικές επιχειρήσεις.

Εχει βρεθεί ότι οι χαμηλές αυτές ταχύτητες επικοινωνίας είναι υπεραρκετές για την κάλυψη των αναγκών της μεταφοράς των ενεργειακών δεδομένων ενώ επιτρέπουν την αξιόπιστη μεταφορά των μηνυμάτων με ιδιαίτερα χαμηλή ισχύ εκπομπής με σχετικά απλές τεχνικές διαμόρφωσης (συνήθως S-FSK1- Spread Frequency Shift Keying και διάφορες παραλλαγές της). Τέτοια συστήματα λειτουργούν ήδη επί αρκετά χρόνια σε διάφορες χώρες.

Συμπερασματικά μπορεί κανείς να πεί ότι πρόκειται για μια τεχνολογία ώριμη, που χρειάζεται την κατάλληλη αξιοποίηση για να γίνει αποδοτική και από πλευράς κόστους.

Το δεύτερο είδος συστημάτων, που άρχισαν να εμφανίζονται την τελευταία τριετία και τα πιο εξελιγμένα από αυτά βρίσκονται ακόμη στα στάδια της επίδειξης ή της δοκιμαστικής λειτουργίας, είναι συστήματα επικοινωνίας υψηλών ταχυτήτων (της τάξεως των Mbps), που σκοπό έχουν να προσφέρουν γενικές υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών μέσω των ηλεκτρικών δικτύων (μεταφορά φωνής, δεδομένων, internet, ενδεχομένως ψηφιακής τηλεόρασης ή video, κ.λ.π.). Η ανάγκη για την ανάπτυξή τους προέκυψε, όπως προαναφέρθηκε, από την απελευθέρωση της αγοράς των τηλεπικοινωνιών, που επέτρεψε τη δυνατότητα εναλλακτικών επικοινωνιακών προσβάσεων στα σπίτια και στους χώρους εργασίας.

Η εξέλιξη αυτή, όπως είναι γνωστό, έδωσε αφορμή για να ξεκινήσουν πάρα πολλά έργα έρευνας και ανάπτυξης σε Αμερική και Ευρώπη, που σκοπό έχουν να διερευνήσουν τις διάφορες τεχνολογικές δυνατότητες εναλλακτικής πρόσβασης, να προσδιορίσουν ποιές θα είναι οι προσφερόμενες υπηρεσίες και

να δημιουργήσουν τα προϊόντα, που θα καταστήσουν δυνατή την πρόσβαση αυτή. Το ποιές από τις τεχνολογίες αυτές τελικά θα επικρατήσουν είναι άγνωστο.

Πολλοί πάντως πιστεύουν ότι η επικοινωνία μέσω των γραμμών μεταφοράς θα κατορθώσει να βρεί θέση στη μελλοντική αγορά των τηλεπικοινωνιών, που θα κυριαρχείται από νέες τεχνολογίες, όπως είναι η ADSL(asynchronous digital subscriber line. μια τεχνική, που επιτυγχάνει υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων μέσα από τα υπάρχοντα τηλεφωνικά δίκτυα χρησιμοποιώντας προηγμένες μεθόδους διαμόρφωσης βασισμένες στη διάχυση του φάσματος) και οι συναφείς ADSL-Lite, HDSL, VDSL (που συχνά αναγράφονται συνοπτικά ως xDSL), τα αμφίδρομα καλωδιακά δίκτυα (κυρίως στις χώρες, που υπάρχουν ήδη εγκατεστημένα δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης) ή το νέο παγκόσμιο πρότυπο κινητής τηλεφωνίας UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) (όταν καθιερωθεί).

Αν και η μεταφορά δεδομένων μέσω δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας που αποτελεί το κύριο αντικείμενο αυτής της μελέτης, είναι δευτερεύον θέμα για τα γρήγορα αυτά συστήματα (αν κριθεί σκόπιμο, μπορούν να εξυπηρετήσουν και αυτή την ανάγκη αλλά δεν έχουν σχεδιαστεί γι' αυτό το σκοπό) αξίζει τον κόπο να αναφερθούμε λίγο στην τεχνολογία τους, που προβάλλεται κατά καιρούς ως πρωτοποριακή .Τα συστήματα αυτά βασίζονται σε εξελιγμένες τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης (συνήθως στην OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing -Μια πολύ ισχυρή μέθοδος ψηφιακής διαμόρφωσης, που επιτυγχάνει την ταυτόχρονη απόστολή ενός μεγάλου αριθμού από bits, διαμορφώνοντας πολλές συχνοτητες παράλληλα και συνδυάζοντας αυτές σε ένα σήμα με χρήση του διακριτού μετασχηματισμού Fourier) και πολύπλοκα πρωτόκολλα, που έχουν αναπτυχθεί ειδικά για τα γρήγορα δίκτυα υπολογιστών.

Προκειμένου να επιτύχουν τις υψηλές ταχύτητες μετάδοσης, που χρειάζονται, είναι αναγκασμένα να χρησιμοποιούν συχνότητες πολύ έξω από τα επιτρεπόμενα όρια του προτύπου της CENELEC (της τάξεως των MHz). Αυτό όμως δημιουργεί τον κίνδυνο παρεμβολών λόγω της ακτινοβολίας, που εκπέμπουν οι γραμμές. Το πρόβλημα αυτό είναι σοβαρότατο, δεδομένου ότι οι συχνότητες αυτές εξυπηρετούν ένα πλήθος από νόμιμους χρήστες του

ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, μερικοί από τους οποίους είναι πολύ σημαντικοί (οι ραδιοφωνικές εκπομπές, συστήματα επικοινωνίας του στρατού και των μυστικών υπηρεσιών, ιδιωτικά συστήματα επικοινωνίας ξένων πρεσβειών, συστήματα ελέγχου της ναυσιπλοΐας και της εναέριας κυκλοφορίας, κ.λ.π.).

Το όλο θέμα γίνεται πίο πολύπλοκο αν σκεφτεί κανείς ότι οι συχνότητες, που χρησιμοποιούν οι χρήστες αυτοί, δεν είναι παντού οι ίδιες αλλά διαφέρουν από τόπο σε τόπο. Για το λόγο αυτό οι κατασκευαστικές εταιρείες έχουν ήδη ξεκινήσει μια συνεργασία με τις επιτροπές και τους οργανισμούς, που ασχολούνται με τις ραδιοεπικοινωνίες και την τυποποίηση, προσπαθώντας να βρουν μια συμβιβαστική λύση στο πρόβλημα (π.χ. να αυξηθούν τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπής για ορισμένες συχνότητες ή να επιτρέπονται οι επικοινωνίες μέσω δικτύου μόνο σε περιοχές, που δεν υπάρχει κίνδυνος παρεμβολών).

Το πρόβλημα πάντως είναι αρκετά πολύπλοκο και πολυδιάστατο και θεωρείται μάλλον απίθανο να βρεθεί μια λύση, που θα μπορεί να εφαρμοστεί παντού χωρίς προβλήματα. Παράλληλα οι κατασκευαστές ψάχνουν και για τεχνικές λύσεις, που θα επιτρέψουν τον περιορισμό της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Αυτό μπορεί να γίνει είτε μειώνοντας την ισχύ του σήματος είτε τροποποιώντας κατάλληλα τα χαρακτηριστικά των γραμμών (conditioning) ώστε να ακτινοβολούν λιγότερο.

Η μείωση της ισχύος του σήματος, που ήδη είναι πολύ μικρή, καθιστά δύσκολη τη διατήρηση της υψηλής ταχύτητας επικοινωνίας ενώ η προσαρμογή των χαρακτηριστικών της γραμμής απαιτεί τη σύνδεση σ' αυτήν ειδικών συσκευών (φίλτρων, διατάξεων προσαρμογής σύνθετης αντίστασης και τερματισμού). Τέτοιες συσκευές είχαν αρχικά χρησιμοποιηθεί στα πρώτα συστήματα επίδειξης με σκοπό να βελτιώσουν τα χαρακτηριστικά μετάδοσης της γραμμής και να εξασφαλίσουν ότι η μεταφορά των δεδομένων στις υψηλές αυτές ταχύτητες θα μπορεί να γίνεται αξιόπιστα. Αφαιρέθηκαν όμως για το λόγο ότι καθιστούσαν τα συστήματα τελείως αντιοικονομικά (τα φίλτρα πρέπει να υπολογίζονται ξεχωριστά για κάθε γραμμή, να τοποθετούνται στα κατάλληλα σημεία της και να αναπροσαρμόζονται κάθε φορά, που αλλάζουν τα χαρακτηριστικά της λόγω π.χ. κάποιας μεταβολής στην τοπολογία του

δικτύου).

Το εάν τελικά η χρήση τέτοιων συσκευών είναι απαραίτητη για την επικοινωνία ή όχι παραμένει ένα ανοιχτό ερώτημα και οι γνώμες των κατασκευαστών διχάζονται. Μερικοί πιστεύουν τα συστήματά τους μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς προσαρμογή των γραμμών και χρησιμοποιούν ως επιχειρήματα την επιτυχία κάποιων επιδείξεων και δοκιμών μικρής κλίμακας και τη μεγάλη δυσκολία υλοποίησης της εναλλακτικής λύσης.

Άλλοι πάλι θεωρούν ότι η αξιόπιστη λειτουργία των γρήγορων συστημάτων σε οποιοδήποτε δίκτυο είναι αδύνατον να εξασφαλιστεί εάν δεν υπάρχει η δυνατότητα προσαρμογής των χαρακτηριστικών μετάδοσης των γραμμών, όπου αυτό απαιτείται. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι όλες οι δοκιμές και οι μετρήσεις, που έχουν γίνει μέχρι τώρα, αφορούν υπόγεια καλώδια με μεταλικό μανδύα, που περιβάλλει και τις τρεις φάσεις. Πειράματα με άλλου τύπου καλώδια ή με εναέριες γραμμές (που αναμένεται ότι θα εκπέμπουν περισσότερο) βρίσκονται ήδη σε εξέλιξη.

Ένας άλλος προβληματισμός είναι το ποιές τηλεπικοινωνιακές ανάγκες θα μπορέσουν τελικά να καλύψουν τα γρήγορα συστήματα επικοινωνίας μέσω των γραμμών χαμηλής τάσης όταν λυθούν τα τεχνικά και νομικά προβλήματα.. Δεν θεωρείται πιθανό να αντικαταστήσουν τις κύριες τηλεφωνικές συνδέσεις διότι λόγω των διαρκώς μεταβαλλόμενων χαρακτηριστικών του καναλιού επικοινωνίας και των επιπέδων του θορύβου δεν μπορούν να εγγυηθούν τα υψηλά επίπεδα διαθεσιμότητας, που απαιτούν από τις τηλεφωνικές εταιρείες οι νέοι διεθνείς κανονισμοί. Επίσης είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν για μετάδοση σημάτων ψηφιακής τηλεόρασης ή video διότι οι εφαρμογές αυτές απαιτούν υψηλότερες ταχύτητες.

Οι πιο πιθανές εφαρμογές είναι η σύνδεση με το internet χωρίς να απασχολείται η κύρια τηλεφωνική γραμμή του κτιρίου και η δυνατότητα χρήσης τους για επικοινωνίες φωνής, ως δεύτερη τηλεφωνική γραμμή. Όμως στην περίπτωση αυτή το σύστημα δεν θα συνδέεται με όλους τους καταναλωτές αλλά μόνο με τους συνδρομητές των υπηρεσιών αυτών. Άρα θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεταφορά δεδομένων.

Επιπλέον, τα σημεία επικοινωνίας θα είναι λιγότερα με αποτέλεσμα να

ανεβαίνει το κόστος ανά σημείο, που ενδέχεται να είναι υψηλότερο από αυτό των εναλλακτικών λύσεων. Από την άλλη μεριά, το να εγκατασταθούν σε όλους τους καταναλωτές μονάδες επικοινωνίας υψηλής ταχύτητας και να χρησιμοποιούνται οι εφαρμογές υψηλής ταχύτητας μόνο από λίγους θα είναι πιθανότατα μια λύση τελείως αντιοικονομική.

Τέλος δεν πρέπει να παραγνωρίζεται το γεγονός ότι ο χώρος των επικοινωνιών και των υπηρεσιών μετάδοσης πληροφορίας χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά έντονο ανταγωνισμό, που αναμένεται να αυξηθεί ακόμη περισσότερο στο μέλλον, με την εξάπλωση των νέων τεχνολογιών. Έτσι λοιπόν αν μια ηλεκτρική επιχείρηση αποφασίσει να εγκαταστήσει ένα γρήγορο σύστημα στο δίκτυό της με σκοπό να προσφέρει υπηρεσίες επικοινωνιών και internet δεν θα μπορέσει να συνδέσει με αυτό παρά ένα μέρος μόνο των καταναλωτών, που χρησιμοποιούν τέτοιες υπηρεσίες.

Προκειμένου όμως η επιχείρηση να είναι σε θέση να προσφέρει τις υπηρεσίες αυτές θα πρέπει να έχει δημιουργήσει την κατάλληλη υποδομή σε ένα μεγάλο αριθμό υποσταθμών χωρίς να γνωρίζει αν τελικά θα μπορέσει να βρεί πελάτες στους συγκεκριμένους υποσταθμούς ή όχι. Με άλλα λόγια η επιχείρηση θα έχει προβεί σε μια σημαντική επένδυση με αμφίβολη απόδοση ενώ παράλληλα θα έχει εισέλθει σε ένα νέο επιχειρηματικό τομέα και θα είναι αναγκασμένη να ανταγωνιστεί με το πλήθος των εταιρειών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ενσύρματη μετάδοση ηλεκτρικού σήματος μέσω γραμμών μεταφοράς

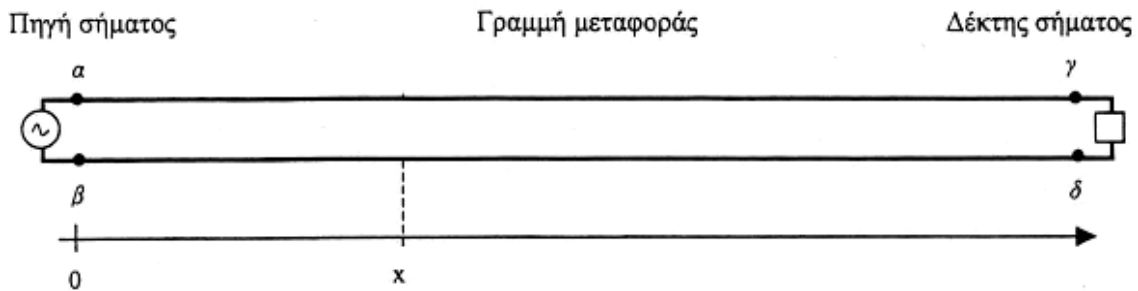
Παρακάτω θα μελετηθούν οι βασικές ιδιότητες των γραμμών μεταφοράς και τα φαινόμενα διάδοσης και ανάκλασης των παλμών που παρατηρούνται σε προσαρμοσμένες και μη προσαρμοσμένες γραμμές. Θα μελετηθούν η χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής, η καθυστέρηση και η ταχύτητα διάδοσης του σήματος καθώς επίσης και η κατανεμημένη χωρητικότητα και αυτεπαγωγή

Η μετάδοση του ηλεκτρικού σήματος σε μεγάλες αποστάσεις κατά κανόνα γίνεται με τα μέσα της ασύρματης τηλεπικοινωνίας. Αλλά, επειδή ο χώρος είναι επιβαρυσμένος με διάφορα παράσιτα τα οποία προκαλούν οι κεραυνοί και οι κάθε είδους ηλεκτρικές συσκευές, το ηλεκτρικό σήμα μεταδίδεται πιο αξιόπιστα με καλώδια που είναι προστατευμένα από παρεμβολές. Όταν το ηλεκτρικό σήμα είναι ασθενές, προτιμάται το ομοαξονικό καλώδιο, στο οποίο επιτυγχάνεται η μέγιστη προστασία του σήματος. Όμως το καλώδιο που χρησιμοποιείται στις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι ομοαξονικό. Μας ενδιαφέρει η μετάδοση του σήματος να γίνεται με τη μικρότερη δυνατή εξασθένηση και λιγότερες δυνατές παραμορφώσεις. Η εξασθένηση του σήματος μπορεί να αντιμετωπιστεί με κατάλληλη ενίσχυση του σήματος με ενισχυτή χαμηλού θορύβου.

2.1 Γραμμές μεταφοράς μικρού και μεγάλου μήκους.

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται μία απλή γραμμή μεταφοράς, τα δύο άκρα της οποίας είναι συνδεδεμένα με μία γεννήτρια και ένα δέκτη ηλεκτρικού σήματος. Τα σημεία σύνδεσης με τη γεννήτρια, α,β, ονομάζονται είσοδος της γραμμής, τα δε σημεία γ,δ, έξοδος της γραμμής. Εστω ότι η γεννήτρια παράγει εναλλασσόμενη τάση ημιτονικής μορφής, το πλάτος της οποίας είναι 1 V. Εάν η φάση του σήματος σε κάθε σημείο της γραμμής είναι σχεδόν ίδια με αυτήν της γεννήτριας, τότε λέμε ότι η γραμμή μεταφοράς είναι μικρού μήκους, ακόμα και όταν το γεωμετρικό της μήκος είναι μερικά χιλιόμετρα. Αν λάβει κανείς υπόψη τη μεγάλη ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρικού σήματος στις γραμμές, τέτοιες καταστάσεις

δημιουργούνται όταν η γραμμή τροφοδοτείται με σχετικά χαμηλή συχνότητα. Αντίθετα, όταν η συχνότητα του σήματος είναι μεγάλη και η περίοδος του σήματος είναι συγκρίσιμη με τον χρόνο διάδοσης του σήματος στη γραμμή, τότε η φάση του σήματος στα διάφορα σημεία της γραμμής δεν θα είναι ίδια



Στις περιπτώσεις αυτές λέμε ότι η γραμμή μεταφοράς είναι μεγάλου μήκους ακόμα και όταν το γεωμετρικό της μήκος είναι μερικά εκατοστά

Γραμμές μικρού μήκους

Στη γραμμή μικρού μήκους, επειδή το σήμα είναι συμφασικό σε κάθε της σημείο, οι όποιοι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν με τον ίδιο τρόπο που αυτό γίνεται στις περιπτώσεις με τα διακριτά στοιχεία R, L, C, που είναι συγκεντρωμένα σε κάποιο σημείο του χώρου. Εδώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι νόμοι του Κίρχωφ και να αγνοηθούν πλήρως οι μεγάλες διαστάσεις της γραμμής και το γεγονός ότι η αυτεπαγωγή και η χωρητικότητα της γραμμής είναι κατανομημένες κατά μήκος της γραμμής. Π.χ., εάν το μήκος της γραμμής είναι 1000 m, η συνολική αντίσταση των αγωγών της 10 Ω, ο δέκτης είναι απλή ωμική αντίσταση των 90 Ω, η συχνότητα της γεννήτριας 50Hz και το πλάτος του σήματος 1 V, τότε το ρεύμα που θα ρέει σε κάθε σημείο της γραμμής θα έχει πλάτος $1 \text{ V} / (90 \text{ Ω} + 10 \text{ Ω}) = 10 \text{ mA}$, θα είναι ημιτονικής μορφής και σε φάση με την τάση. Στο φορτίο, η τάση θα είναι 0,9 V και τα υπόλοιπα 0,1 V θα είναι κατανομημένο κατά μήκος της γραμμής.

Στις γραμμές μεταφοράς μικρού μήκους, αυτό που πρέπει να προσέξει κανείς είναι η χωρητικότητα της γραμμής. Άλλοτε η τιμή της παίζει ρόλο, άλλοτε όχι.

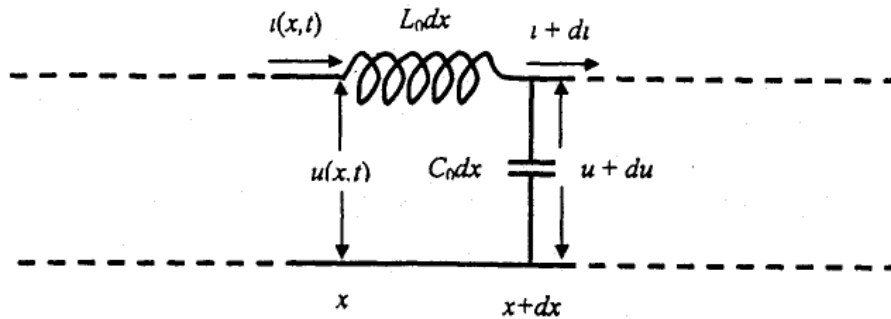
Πράγματι, έστω ότι στο προηγούμενο παράδειγμα η χωρητικότητα της γραμμής είναι 100 pF/m και συνεπώς η συνολική χωρητικότητα της γραμμής είναι 0,1 μF. Η

χωρητική αντίσταση του πυκνωτή είναι $1/\omega C = 33 \text{ K}\Omega$, δηλαδή 330 φορές μεγαλύτερη από 100Ω .

Συνεπώς εδώ ο ρόλος του πυκνωτή μπορεί να αγνοηθεί. Αντίθετα, όταν η πηγή παράγει σήμα με συχνότητα 5000HZ , τότε η χωρητική αντίσταση της γραμμής είναι 330Ω , δηλαδή είναι συγκρίσιμη με τα 100Ω και θα πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Γραμμές μεγάλου μήκους

Στις γραμμές μεγάλου μήκους ο χρόνος διάδοσης του σήματος είναι συγκρίσιμος με την περίοδό του, και συνεπώς η ένταση του σήματος και η φάση του θα είναι και συναρτήσεις της θέσης. Το γεγονός αυτό δεν επιτρέπει την εφαρμογή των νόμων του Κίρχωφ για όλη τη γραμμή ως ενιαίο σύνολο. .Ομως οι νόμοι αυτοί μπορούν να εφαρμοστούν για ένα μικρό τμήμα της γραμμής, τα ηλεκτρικά δυναμικά του οποίου μεταβάλλονται στην ίδια φάση..Εστω ότι η αυτεπαγωγή και η χωρητικότητα της γραμμής ανά μονάδα μήκους είναι L_0 και C_0 αντίστοιχα. Σε μία ιδανική γραμμή, δηλαδή σε μία γραμμή χωρίς απώλειες, ένα μικρό της τμήμα, το μήκος του οποίου είναι dx , μπορεί να αντικατασταθεί με δύο εντοπισμένα στοιχεία $L_0 dx$ και $C_0 dx$.



Θα εξετάσουμε την απλή περίπτωση όταν η αυτεπαγωγή του κάτω αγωγού είναι πολύ μικρότερη από αυτήν του άνω αγωγού. Η εξίσωση που περιγράφει τη διάδοση μίας διαταραχής της τάσης ή του ρεύματος μπορεί να εξαχθεί αν εξεταστούν οι μεταβολές των μεγεθών αυτών σε δύο γειτονικά σημεία της γραμμής. .Εστω ότι τη χρονική στιγμή t , στο σημείο x , η τάση και το ρεύμα είναι $u(x,t)$ και $i(x,t)$ αντίστοιχα.Την ίδια χρονική στιγμή στο σημείο $x + dx$ οι τιμες αυτές είναι $u + du$ και $I+di$.Γράφουμε τις μεταβολες των du, di ως

$$du = \frac{\partial u}{\partial x} dx \quad \text{και} \quad di = \frac{\partial i}{\partial x} dx .$$

Η διαφορά δυναμικού du μεταξύ των σημείων x και $x + dx$ οφείλεται στην αυτεπαγωγή $L_0 dx$ και είναι ίση με την πτώση τάσης στα άκρα της

$$du = -L_0 dx \frac{\partial i}{\partial t}.$$

Συνεπώς, στο διάστημα dx , η μεταβολή της τάσης είναι

$$\frac{\partial u}{\partial x} dx = -L_0 dx \frac{\partial i}{\partial t}.$$

Από τη σχέση αυτή προκύπτει η σχέση

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -L_0 \frac{\partial i}{\partial t}.$$

Από την άλλη πλευρά, το ρεύμα στο σημείο $x + dx$ έχει μικρότερη τιμή από αυτό στο σημείο x λόγω του ότι ένα μέρος του διακλαδώνεται προς τον πυκνωτή για τη φόρτισή του. Συνεπώς η μείωση ή η μεταβολή του είναι

$$di = \frac{\partial i}{\partial x} dx = -\frac{\partial(uC_0 dx)}{\partial t} = -C_0 dx \frac{\partial u}{\partial t}.$$

Απλοποιώντας, η σχέση γίνεται:

$$\frac{\partial i}{\partial x} = -C_0 \frac{\partial u}{\partial t}.$$

Ετσι έχουμε τις εξισώσεις:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -L_0 \frac{\partial i}{\partial t} \quad \text{και} \quad \frac{\partial i}{\partial x} = -C_0 \frac{\partial u}{\partial t}.$$

Οι εξισώσεις αυτές περιέχουν δύο μεταβλητές, την $u(x,t)$ και την $i(x,t)$. από αυτές, παραγωγίζοντας την πρώτη ως προς τη μεταβλητή t και την άλλη ως προς την x και αν εξισωθούν οι μικτές παράγωγοι προκύπτουν οι σχέσεις:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = L_0 C_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad \text{και} \quad \frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = L_0 C_0 \frac{\partial^2 i}{\partial t^2}$$

που είναι δύο μορφές της γνωστής κυματικής εξίσωσης. Οι λύσεις των εξισώσεων αυτών είναι συναρτήσεις τύπου $f(ct + x)$ οι οποίες περιγράφουν διάδοση κάποιας διαταραχής κατά μήκος της γραμμής με ταχύτητα $c = 1/\sqrt{L_0 C_0}$. Το πρόσημο - αντιστοιχεί στη διάδοση προς τις θετικές τιμές του X , ενώ το + προς τις αρνητικές. Οι λύσεις των εξισώσεων είναι της μορφής:

$$u(x, t) = U_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda} (ct - x) \quad \text{και} \quad i(x, t) = I_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda} (ct - x)$$

όπου λ είναι το μήκος κύματος του ηλεκτρικού σήματος. Οι συναρτήσεις αυτές περιγράφουν τη διάδοση κυμάτων τάσης και ρεύματος προς τις θετικές τιμές του x . Κύματα αυτού του τύπου δημιουργούνται εύκολα στη γραμμή όταν στη θέση $x = 0$ η πηγή παράγει σήμα που είναι της μορφής

$$u = U_0 \sin(\omega t) ,$$

όπου U_0 και ω είναι το πλάτος και η κυκλική συχνότητα του σήματος.

2.2 Γραμμή άπειρου μήκους χωρίς απώλειες

Στις εφαρμογές, τα μήκη των γραμμών ασφαλώς είναι πεπερασμένα, αλλά η ανάλυση των φαινομένων που διαδραματίζονται στη γραμμή είναι ευκολότερη αν θεωρήσουμε ότι το μήκος της είναι άπειρο. Έτσι παρακάμπτονται τα όποια φαινόμενα που σχετίζονται με την ανάκλαση του σήματος στο τέλος της γραμμής.

Από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει το συμπέρασμα ότι στη γραμμή η διαταραχή της τάσης και του ρεύματος διαδίδονται με ίδια ταχύτητα. Η ταχύτητα αυτή είναι:

$$c = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}$$

Η ιδιότητα αυτή ισχύει για σήμα οποιασδήποτε μορφής και για τις δύο κατευθύνσεις διάδοσής του. Από τις παραπάνω εξισώσεις και τις λύσεις αυτών προκύπτει ότι στις γραμμές που έχουν άπειρο μήκος, το κύμα τάσης συνοδεύεται από το αντίστοιχο κύμα ρεύματος η συνάρτηση του οποίου έχει την ίδια μορφή και την ίδια φάση με το κύμα τάσης. Επιπλέον, στις γραμμές όπου τα κύματα της τάσης και του ρεύματος διαδίδονται προς τις θετικές τιμές του x , σε κάθε σημείο της γραμμής, ο λόγος των πλατών της τάσης και του ρεύματος έχει την ίδια τιμή .0

λόγος αυτός είναι

$$\frac{U_0}{I_0} = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}.$$

Ο λόγος των πλατών είναι πραγματικός αριθμός και ονομάζεται χαρακτηριστική ή κυματική αντίσταση της γραμμής. Η τιμή της είναι

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}.$$

Όταν τα κύματα τάσης και ρεύματος μεταδίδονται προς τις αρνητικές τιμές του x τότε έχουμε:

$$\frac{U_0}{I_0} = -Z_0.$$

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι σε μία γραμμή χωρίς απώλειες που έχει άπειρο μήκος, σε κάθε σημείο της γραμμής, το κύμα τάσης συνοδεύεται από το αντίστοιχο κύμα ρεύματος που είναι σε φάση με την τάση και έχει πλάτος

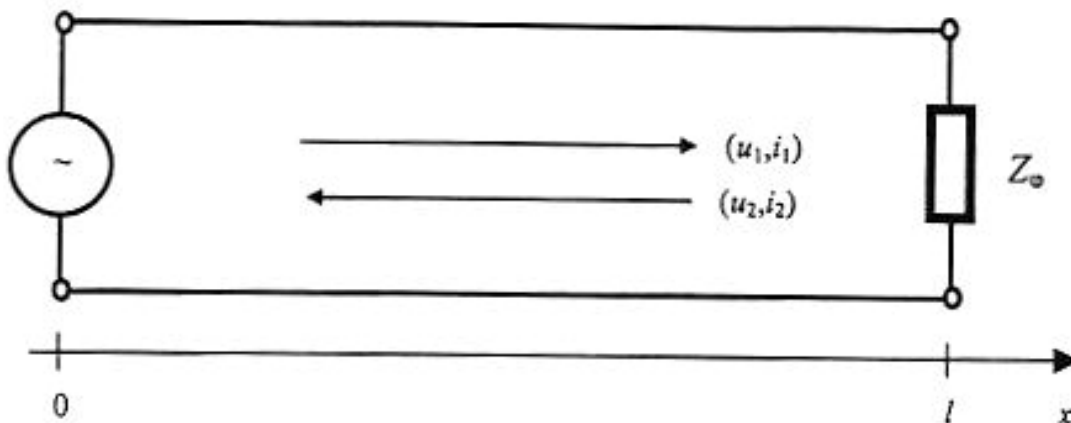
$$I_0 = \frac{U_0}{Z_0}.$$

Έτσι, π.χ., αν η γεννήτρια παράγει εναλλασσόμενη τάση με πλάτος 5 V, η συχνότητά της είναι 10^7 HZ, οι απώλειες στη γραμμή είναι μηδέν και η κυματική της αντίσταση είναι 50 Ω, τότε σε κάθε σημείο της γραμμής, το πλάτος ταλάντωσης της τάσης θα είναι 5 V, το ρεύμα θα είναι σε φάση με την τάση και το πλάτος του θα είναι 0,1A. Όσο για τη γεννήτρια, η συμπεριφορά της θα είναι όμοια με αυτήν που παρατηρείται όταν στην έξοδό της συνδέεται μία απλή ωμική αντίσταση των 50 Ω.

2.3 Ανακλάσεις των κυμάτων στις γραμμές πεπερασμένου μήκους

Κύματα που οδεύουν μόνο προς μία κατεύθυνση δημιουργούνται στις γραμμές που έχουν άπειρο μήκος ή στις γραμμές που δεν πάσχουν από ασυνέχειες στις ιδιότητές τους. Τέτοιες ασυνέχειες δημιουργούνται στα σημεία σύνδεσης δύο γραμμών που έχουν διαφορετική χαρακτηριστική αντίσταση, ή σε μία γραμμή που τερματίζεται με φορτίο η αντίσταση του οποίου διαφέρει από αυτήν της γραμμής. Στις ακραίες περιπτώσεις, η γραμμή τερματίζεται με φορτίο που έχει μηδενική (βραχυκυκλωμένη γραμμή) ή άπειρη αντίσταση (ανοικτή γραμμή).

Έστω ότι το μήκος της γραμμής είναι συγκρίσιμο με το μήκος κύματος του σήματος και τερματίζεται σε φορτίο Z_f το οποίο γενικά είναι σύνθετο. Εδώ θα αναλύσουμε την περίπτωση που τη συναντά κανείς συχνότερα δηλαδή την περίπτωση όταν το φορτίο έχει καθαρά ωμικό χαρακτήρα.



Όταν το Z_f είναι διάφορο του Z_0 , στη γραμμή θα υπάρχουν ταυτόχρονα δύο κύματα τάσης, το κύμα που διαδίδεται από τη γεννήτρια προς το φορτίο και το ανακλώμενο, που διαδίδεται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Σε κάθε σημείο της γραμμής η ολική τάση είναι

$$u(x,t) = u_1(x,t) + u_2(x,t)$$

όπου $u_1(x, t)$ και $u_2(x, t)$ είναι το προσπίπτον και το ανακλώμενο κύματα τάσης αντίστοιχα. Όμοια έκφραση ισχύει και για το κύμα του ολικού ρεύματος,

$$\mathbf{i}(x,t) = \mathbf{i}_1(x,t) + \mathbf{i}_2(x,t)$$

όπου $i_1(x,t)$ και $i_2(x,t)$ είναι το προσπίπτον και το ανακλώμενο κύμα ρεύματος στη γραμμή αντίστοιχα

Συντελεστής ανάκλασης

Στις γραμμές μεταφοράς, μεγάλη σημασία έχει ο λόγος των πλατών του ανακλώμενου σήματος προς το προσπίπτον. Ο λόγος αυτός ονομάζεται συντελεστής ανάκλασης της γραμμής και μπορεί εύκολα να υπολογιστεί αν λάβει κανείς υπόψη το γεγονός ότι στην έξοδο της γραμμής, είναι $U_1 + U_2 = U_\varphi$, όπου U_φ είναι η τάση στο φορτίο, και ότι $i_1 + i_2 = I_\varphi$. Επίσης, για τα κύματα τάσης και ρεύματος που διαδίδονται προς την ίδια κατεύθυνση έχουμε:

$$\frac{u_1}{i_1} = Z_0, \quad \frac{u_2}{i_2} = -Z_0 \quad \text{και} \quad \frac{u_\varphi}{i_\varphi} = Z_\varphi.$$

Από τις σχέσεις αυτές προκύπτει ότι ο συντελεστής ανάκλασης της τάσης και του ρεύματος είναι αντίστοιχα,

$$G = \frac{u_2}{u_1} = \frac{Z_\varphi - Z_0}{Z_\varphi + Z_0} \quad \text{και} \quad G = \frac{-i_2}{i_1} = \frac{Z_\varphi - Z_0}{Z_\varphi + Z_0}.$$

Επίσης, για την τάση στο φορτίο και για το ρεύμα που το διαρρέει μπορούν να γραφτούν οι σχέσεις:

$$\frac{u_\varphi}{u_1} = \frac{2Z_\varphi}{Z_\varphi + Z_0} \quad \text{και} \quad \frac{i_\varphi}{i_1} = \frac{2Z_0}{Z_\varphi + Z_0}.$$

Στην έρευνα και στις εφαρμογές, τρεις είναι οι περιπτώσεις που συναντά κανείς συχνότερα, συγκεκριμένα οι περιπτώσεις $Z_\varphi = Z_0$, $Z_\varphi = Q$, και $Z_\varphi = \infty$.

Περίπτωση $Z_\varphi = Z_0$

Στην περίπτωση $Z_\varphi = Z_0$, και οι δύο συντελεστές ανάκλασης είναι μηδέν. Αυτό ισοδυναμεί με την συνθήκη $U_2 = 0$, και $I_2 = 0$, δηλαδή στη γραμμή απουσιάζουν τα ανακλώμενα κύματα της τάσης και του ρεύματος. Συνεπώς, στη γραμμή διαδίδονται μόνο τα προσπίπτοντα κύματα U_1 και I_1 . Αυτό

σημαίνει ότι όταν $Z_f = Z_o$, το κύμα τάσης και το κύμα ρεύματος που την συνοδεύει, διαδίδονται στη γραμμή όπως και στη γραμμή που έχει άπειρο μήκος, δηλαδή περιγράφονται με όμοιες συναρτήσεις, είναι συμφασικά μεταξύ τους και η μεταφερόμενη από τα κύματα αυτά ενέργεια απορροφάται πλήρως στο φορτίο. Στην περίπτωση αυτή λένε ότι η γραμμή και το φορτίο είναι προσαρμοσμένα μεταξύ τους. Συνεπώς, εκεί όπου οι ανακλάσεις του σήματος είναι ανεπιθύμητες, η γραμμή πρέπει να τερματίζεται σε φορτίο του οποίου η τιμή είναι Z_o .

Περίπτωση $Z_f = 0$

Στην περίπτωση $Z_f = 0$, παρατηρείται πλήρης ανάκλαση του σήματος. Αυτή είναι μία από τις δύο ακραίες περιπτώσεις της μη προσαρμοσμένης γραμμής. Στην έξοδο της γραμμής, ο συντελεστής ανάκλασης της τάσης είναι -1 , ενώ του ρεύματος, $+1$. Το γεγονός αυτό ισοδυναμεί με τους όρους $U_2 = -U_1$ και $I_2 = I_1$ που ερμηνεύονται ως πλήρης ανάκλαση της τάσης με αλλαγή της φάσης της κατά 180 μοίρες και πλήρης ανάκλαση του ρεύματος στην ίδια φάση με το προσπίπτον κύμα. Υπό τις συνθήκες αυτές, στη γραμμή δημιουργούνται στάσιμα κύματα τάσης και στάσιμα κύματα ρεύματος, με τη διαφορά ότι οι φάσεις των στάσιμων αυτών κυμάτων διαφέρουν μεταξύ τους κατά 90 μοίρες.

Πράγματι, αν η διέγερση της γραμμής γίνεται με ημιτονικό σήμα τότε οι τάσεις U_1 και U_2 μπορούν να γραφτούν στη μορφή:

$$U_1(x,t) = U_{01} \exp[j(\omega t - kx)]$$

και

$$U_2(x,t) = U_{02} \exp[j(\omega t + kx)]$$

όπου $j^2 = -1$. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι το πλάτος του ανακλώμενου κύματος βρίσκεται σε διαφορά φάσης 180° με το προσπίπτον, θα είναι

$$U_{02} = -U_{01}$$

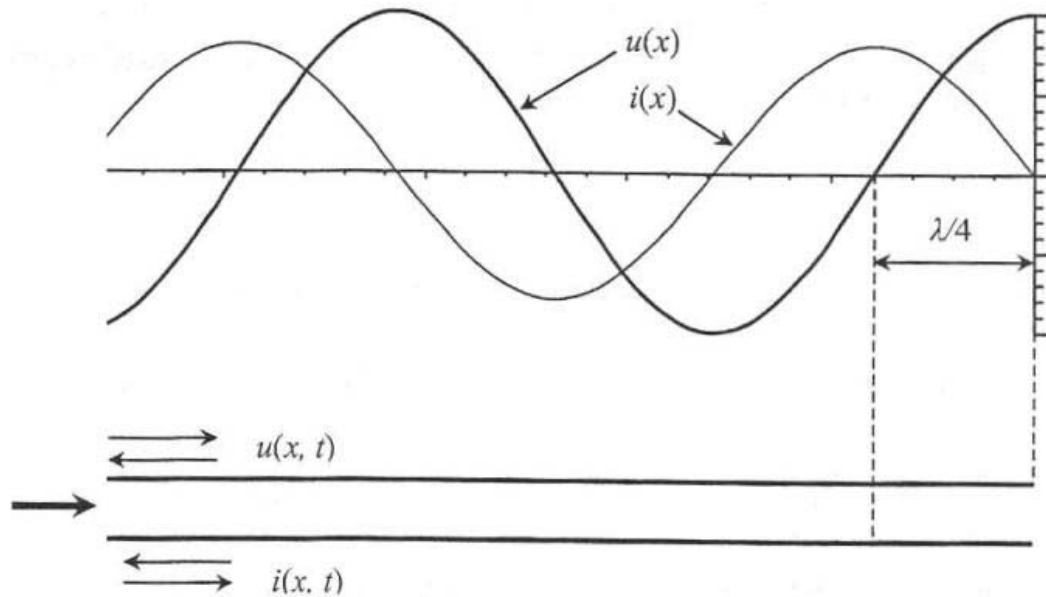
Έτσι, για την ολική τάση στο σημείο x μπορεί να γραφτεί η σχέση

$$U(x,t) = U_1 + U_2 = U_0[\exp(-jkx) - \exp(jkx)]\exp(j\omega t) = -j(2U_0 \sin kx)(\exp j\omega t)$$

Ομοίως, το ολικό ρεύμα στο σημείο x είναι

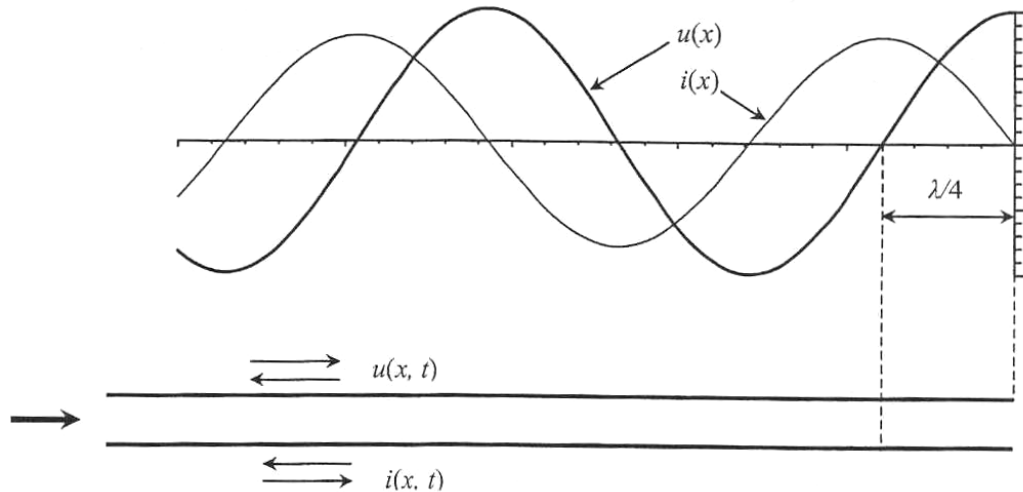
$$i(x, t) = i_1 + i_2 = (U_0/Z_0)[\exp(-jkx) + \exp(jkx)] = 2(U_0/Z_0)(\cos kx)(\exp j\omega t)$$

όπου ελήφθη υπόψη το γεγονός ότι στα ανακλώμενα κύματα της τάσης και του ρεύματος ο λόγος των πλατών τους, ή η χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής, έχει αρνητικό πρόσημο. Η αντίσταση της γραμμής υπολογίζεται από τον λόγο της τάσεως προς το ρεύμα. Η τιμή της δεν είναι πραγματικός αριθμός, είναι συνάρτηση της θέσης και έχει τη μορφή: $Z(x) = U(x,t) / i(x,t) = -jZ_0 \tan(kx)$. Στο κάτω σχήμα δίνεται η κατανομή των πλατών της τάσης και του ρεύματος κοντά στο τέλος της βραχυκυκλωμένης γραμμής. Όπως βλέπουμε, η πρώτη κοιλία της τάσης και ο πρώτος δεσμός ρεύματος βρίσκονται σε απόσταση $\lambda/4$ από το βραχυκυκλωμένο άκρο της γραμμής.



Περίπτωση $Z_f = \infty$

Αυτή είναι η περίπτωση της ανοιχτής γραμμής. Και σε αυτήν την περίπτωση παρατηρείται πλήρης ανάκλαση του σήματος και είναι η δεύτερη ακραία περίπτωση της μη προσαρμοσμένης γραμμής.

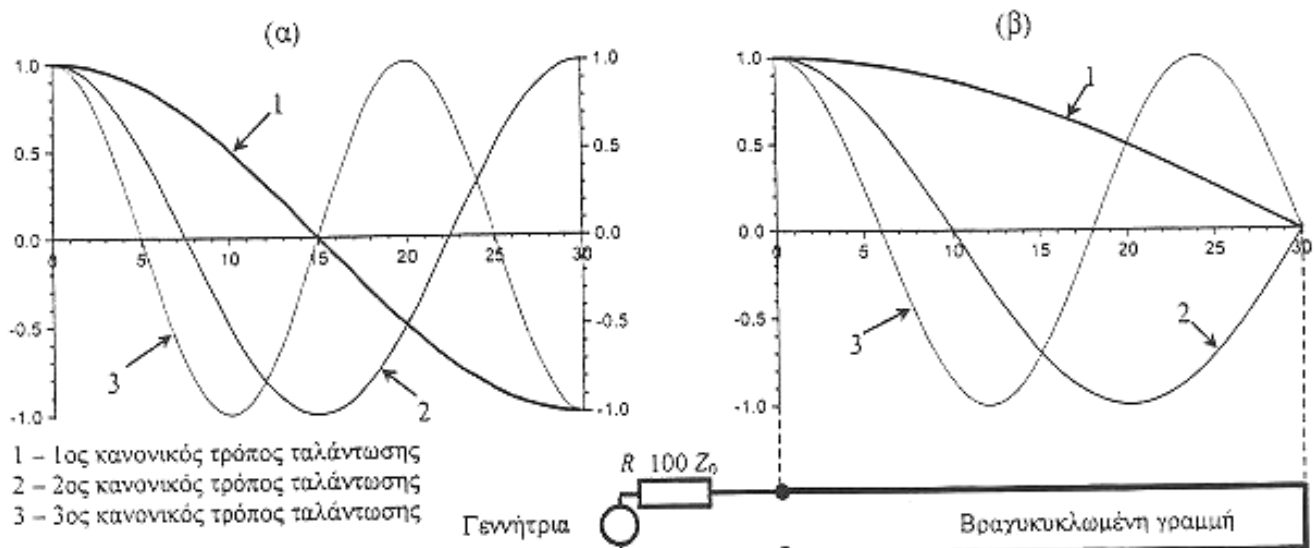


Στο βαθμό που μπορεί να αγνοηθεί η ακτινοβολία των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από το ελεύθερο άκρο της γραμμής, στο τέρμα της γραμμής, οι συντελεστές ανάκλασης της τάσης και του ρεύματος είναι + 1 και -1 αντίστοιχα. Και εδώ δημιουργούνται στάσιμα κύματα τάσης και ρεύματος αλλά, σε αντίθεση με την περίπτωση $Z_f = 0$, οι καμπύλες της τάσης και του ρεύματος ανταλλάσσουν θέσεις. Εκεί όπου στη βραχυκυκλωμένη γραμμή υπάρχει δεσμός τάσης, στην ανοιχτή γραμμή υπάρχει κοιλία. Το ίδιο συμβαίνει και με το ολικό ρεύμα στη γραμμή. Στο πιο πάνω σχήμα δίνεται η κατανομή του ολικού ρεύματος και της ολικής τάσης κοντά στο τέλος της ανοιχτής γραμμής.

Για συχνότητα 50 HZ και ταχύτητα διάδοσης ίση με την ταχύτητα του φωτός, το μήκος $\lambda/4$ είναι 1500 χιλιόμετρα. Είναι ενδιαφέρον να εξετάσει κανείς τις συνέπειες σύνδεσης με τη ΔΕΗ μιας γραμμής που αποτελείται από δύο καλώδια το μήκος των οποίων είναι 1500 km. Στο σημείο σύνδεσης με τη ΔΕΗ, τέτοια γραμμή θα συμπεριφέρεται ως βραχυκύκλωμα ($Z(\chi = \lambda/4) = 0$) παρά το ότι το άλλο άκρο της γραμμής είναι ανοιχτό (φυσικά, στο βαθμό που η αντίσταση των αγωγών της είναι μηδέν). Αντίθετα, η γραμμή θα συμπεριφέρεται ως να έχει άπειρη αντίσταση ($Z(\chi = \lambda/4) = \infty$) παρά το ότι το άλλο άκρο της γραμμής είναι βραχυκυκλωμένο!

2.4 Στάσιμα κύματα και φαινόμενα συντονισμού στις γραμμές μεταφοράς.

Είναι γνωστό ότι η απόκριση (σε διάφορες συχνότητες) ενός παράλληλου κυκλώματος LC αποδίδεται από την καμπύλη συντονισμού. Όταν οι απώλειες είναι μηδέν, ο συντονισμός λαμβάνει χώρα στην ιδιοσυχνότητα του κυκλώματος LC ενώ στα κυκλώματα με απώλειες, η συχνότητα συντονισμού μετατοπίζεται ελαφρώς προς τις χαμηλότερες τιμές. Ομοια φαινόμενα παρατηρούνται και στις μη προσαρμοσμένες γραμμές μεταφοράς. Όμως το κύκλωμα LC συντονίζεται μόνο σε μία συχνότητα ενώ η γραμμή σε άπειρες, όπως και η χορδή. Προφανώς, ο συντονισμός θα εκδηλωθεί σε έναν από τους κανονικούς τρόπους ταλάντωσης της γραμμής. Όπως και στη χορδή, το φάσμα των συχνοτήτων είναι διακριτό: $\omega_0, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots$, όπου ω_0 είναι η θεμελιώδης, η ω_1 είναι η δεύτερη αρμονική κ.λ.π. Ο συντονισμός της γραμμής μπορεί να μελετηθεί σε μία διάταξη όπως αυτή που δίνεται στο κάτω σχήμα όπου καταγράφεται η τάση της γραμμής, συνήθως στην είσοδό της, συναρτήσει της συχνότητας της πηγής. Όπως και στο παράλληλο κύκλωμα LC , για να εκδηλωθεί ο συντονισμός, η γραμμή συνδέεται με την πηγή μέσω μιας μεγάλης αντίστασης R .



Στη μηδενική και στις χαμηλές συχνότητες η στάθμη του σήματος είναι μικρή. Όμως, καθώς η συχνότητα της πηγής αυξάνεται, κάποια στιγμή το πλάτος του

σήματος θα γίνει όσο και της πηγής. Αυτό θα συμβεί στη συχνότητα ω_0 που προκαλεί κοιλία τάσης στην είσοδο της γραμμής και η αντίσταση της γραμμής στο σημείο αυτό είναι άπειρη (ή πολύ μεγαλύτερη από την R στις γραμμές με απώλειες).

Συνεπώς, η βραχυκυκλωμένη γραμμή θα συντονιστεί όταν το μήκος της θα είναι ίσο με $\lambda_0/4$ του κύματος που διαδίδεται στη γραμμή. Αλλά κοιλία τάσης στην είσοδο μίας βραχυκυκλωμένης γραμμής δημιουργείται και όταν στη γραμμή διαδίδεται κύμα με υψηλότερη συχνότητα (2η αρμονική) το μήκος κύματος του οποίου είναι 3 φορές μικρότερο. Σε μία ιδανική γραμμή, το πλήθος των συχνοτήτων που παράγουν κοιλία τάσης στην είσοδο της γραμμής είναι άπειρο. Επιπλέον, το είδος της ταλάντωσης στη γραμμή εξαρτάται και από τις οριακές συνθήκες στα άκρα της γραμμής. Έτσι, το σύνολο των συχνοτήτων σε μία ανοιχτή γραμμή δεν συμπίπτει με αυτό της βραχυκυκλωμένης. Στο πάνω σχήμα δίνεται η κατανομή της τάσης σε μία γραμμή το μήκος της οποίας είναι 30 cm. Στην περίπτωση (α) το άλλο άκρο της γραμμής είναι ανοιχτό, στην περίπτωση (β) βραχυκυκλωμένο. Η κατανομή δίνεται σε κανονικοποιημένη μορφή για τρεις συχνότητες. Η καμπύλη (1) παριστάνει την κατανομή των πλατών που διαμορφώνεται στη γραμμή όταν αυτή διεγείρεται με τη θεμελιώδη συχνότητα, η καμπύλη (2) με τη δεύτερη αρμονική και η καμπύλη (3) με την τρίτη αρμονική.

Το πρόσημο της τιμής στην κατανομή υποδηλώνει ότι τα διάφορα σημεία της γραμμής δεν ταλαντώνονται στην ίδια φάση. Π.χ. στην ανοιχτή γραμμή, στον πρώτο κανονικό τρόπο ταλάντωσης, τα σημεία της γραμμής που βρίσκονται στο διάστημα 0 -15 cm ταλαντώνονται στην ίδια φάση που συμπίπτει με τη φάση της πηγής αλλά σε διαφορά φάσης 180° , με τα σημεία του υπόλοιπου ήμισυ της γραμμής. Στον δεύτερο τρόπο, σε φάση με την πηγή ταλαντώνονται τα σημεία που είναι στο διάστημα 0 -7,5 cm, και 22,5 -30 cm, σε διαφορά φάσης 180° , στο διάστημα 7,5 -22,5 cm κ.λ.π.

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι στον συντονισμό τάσης, σε κάθε περίπτωση, η αντίσταση της γραμμής στην είσοδο της είναι άπειρη (ή πολύ μεγάλη, στις γραμμές με απώλειες) και η τάση έχει τη μέγιστη τιμή. Αντίθετα, στις συχνότητες που διαφέρουν από τις συχνότητες συντονισμού, η αντίσταση της γραμμής είναι πολύ μικρότερη από την αντίσταση R με επακόλουθο η τάση που παράγει η πηγή να κατανέμεται μεταξύ της R και της αντίστασης της γραμμής. Συνεπώς, στις συχνότητες όπου $Z \ll R$ το πλάτος του σήματος είναι μικρό, ενώ εκεί

όπου $Z \gg R$ το σήμα αποκτά το πλάτος της πηγής. Η ιδιότητα της γραμμής να συντονίζεται σε πολλές συχνότητες αξιοποιείται στην κατασκευή φίλτρων τύπου “χτένα” τα οποία φιλτράρουν και διαχωρίζουν ένα ειδικά επιλεγμένο διακριτό σύνολο συχνοτήτων.

2.5 Διάδοση παλμών και απότομων μεταβολών σήματος σε γραμμή μεταφοράς

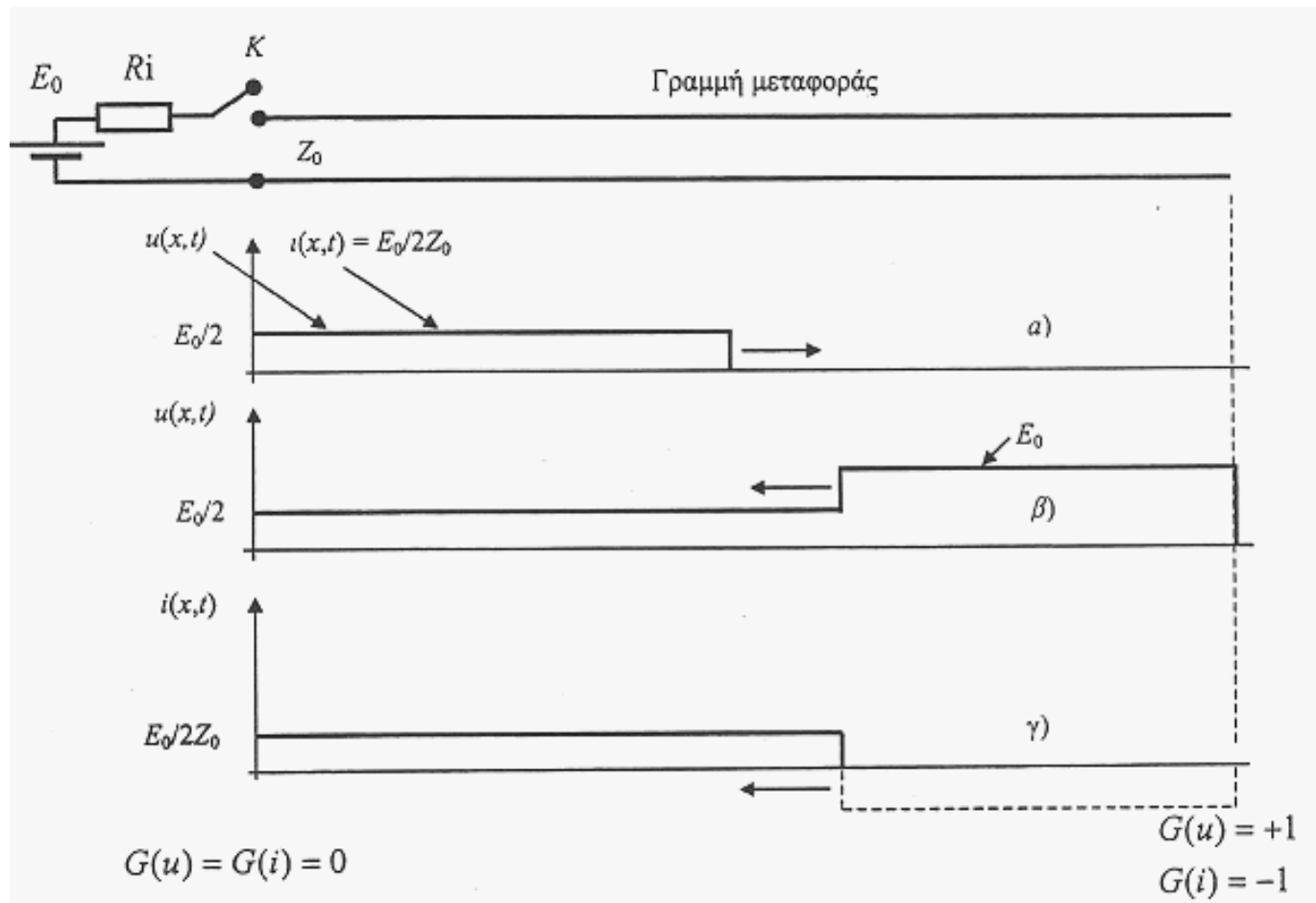
Στα ψηφιακά συστήματα, η επεξεργασία και η μετάδοση της πληροφορίας γίνεται με παλμούς τάσης τύπου «Π -παλμός». Οι παλμοί αυτοί έχουν μικρή διάρκεια (0,1-10 ns) και δύο απότομα μέτωπα, το μέτωπο της ανόδου και το μέτωπο της καθόδου. Κατά τη διάρκεια του παλμού, η στάθμη της οροφής του παραμένει σταθερή. Η μετάδοση τέτοιων παλμών μέσω καλωδίων είναι δύσκολη υπόθεση και σε κάθε περίπτωση πρέπει να αποτρέπεται η παραμόρφωσή τους και οι ανακλάσεις από τις άκρες των καλωδίων. Οι ανακλάσεις εξαλείφονται όταν οι γραμμή είναι προσαρμοσμένη. Η προσαρμογή μπορεί να γίνει ή στην είσοδο, ή στην έξοδο της γραμμής. Συνήθως η προσαρμογή γίνεται στην είσοδο της γραμμής με κατάλληλη ρύθμιση της εσωτερικής αντίστασης της πηγής των παλμών. Όταν η προσαρμογή στην είσοδο είναι αδύνατη, η προσαρμογή γίνεται στην έξοδο της γραμμής μέσω τερματισμού της με φορτίο (συνήθως απλή ωμική αντίσταση) η τιμή του οποίου είναι Z_0 .

Για λόγους ευκολίας, είναι προτιμότερο, η σχετική ανάλυση να γίνει στο ήμισυ του παλμού, στο μέτωπο της ανόδου, δηλαδή να εξεταστεί η περίπτωση διάδοσης μόνο μίας απότομης ανόδου της τάσης. Στην κάθοδο του παλμού τα φαινόμενα θα επαναληφθούν.

Όπως έχουμε ήδη δει, η ανάκλαση του σήματος στη γραμμή εξαρτάται από τον λόγο R_0/Z_0 . Στις εφαρμογές, ο λόγος αυτός συνήθως είναι μονάδα. Έτσι, είναι σκόπιμο να εξετάσουμε πρώτα την περίπτωση αυτή.

Περίπτωση $R_0 = Z_0$ -προσαρμοσμένη γραμμή

Έστω ότι η προσαρμογή γίνεται στην είσοδο της γραμμής. Τότε το άλλο άκρο της γραμμής μπορεί να είναι ελεύθερο. Αυτό δεν σημαίνει ότι η είσοδος της γραμμής πρέπει να συνδεθεί με μία ωμική αντίσταση Z_0 . Τον ρόλο αυτό μπορεί να τον παίξει η εσωτερική αντίσταση R_i της πηγής, βέβαια υπό την προϋπόθεση ότι η τιμή της είναι Z_0 .

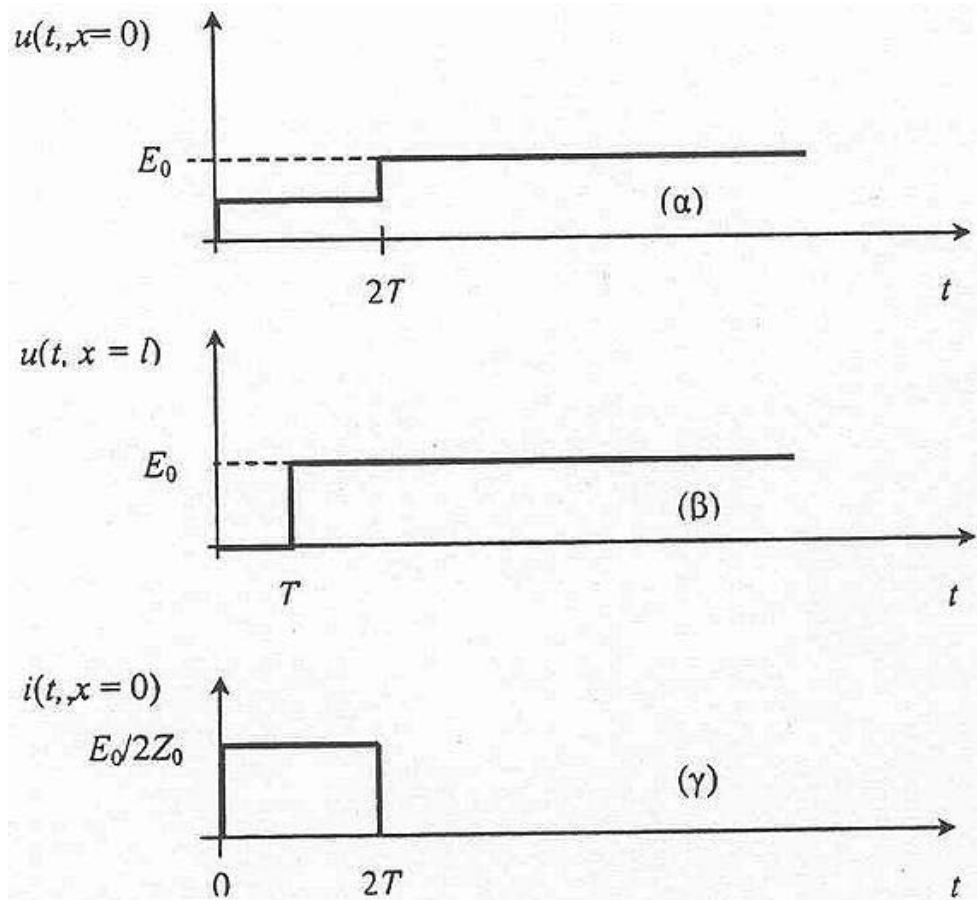


Έστω μία πηγή συνεχούς τάσης, η εσωτερική αντίσταση της οποίας $R_i = Z_0$. Έστω ότι τη χρονική στιγμή $t = 0$, με τη βοήθεια του διακόπτη K , η πηγή συνδέεται με μία ανοιχτή γραμμή μεταφοράς η χαρακτηριστική αντίσταση της οποίας είναι Z_0 . Όταν ο διακόπτης K κλείσει, προφανώς, αργά ή γρήγορα, η τάση σε όλα τα σημεία της γραμμής θα γίνει E_0 . Όμως είναι ενδιαφέρον να παρακολουθήσει κανείς την εξέλιξη της τάσης στη γραμμή τις πρώτες στιγμές σύνδεσής της με την πηγή. Το θέμα αυτό έχει και ξεχωριστό ενδιαφέρον.

Πράγματι, την πρώτη στιγμή ($t = 0$), στην είσοδο της γραμμής θα εμφανιστεί απότομα μία τάση. Αμέσως μετά, στη γραμμή θα αρχίσει να διαδίδεται ένα κύμα φόρτισης της κατανεμημένης χωρητικότητας υπό μορφή ενός μετώπου τάσης που διαδίδεται προς τα δεξιά με ταχύτητα $1/\sqrt{L_0 C_0}$. Έστω ότι ο χρόνος διάδοσης των κυμάτων στη γραμμή είναι T και ότι το κύμα φόρτισης ακόμα δεν έφτασε στο τέλος της γραμμής ($0 < t < T$), Στο στάδιο αυτό, τα φορτισμένα τμήματα της γραμμής θα

έχουν τάση $E_0/2$ και όχι E_0 . Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι η ηλεκτρεγερτική δύναμη της πηγής, E_0 , θα κατανομηθεί στις αντιστάσεις R_i και Z_0 που είναι ίσες. Παράλληλα, στη γραμμή θα διαδίδεται και το κύμα ρεύματος, το μέτωπο του οποίου συμπίπτει με το μέτωπο της τάσης και η τιμή του είναι $I_0 = E_0/(Z_0 + R_i) = E_0/2Z_0$. Το ρεύμα και η τάση στη γραμμή υπολογίζονται εύκολα αν λάβει κανείς υπόψη το γεγονός ότι για την πηγή, καθώς τα δύο κύματα διαδίδονται προς τα δεξιά, η γραμμή συμπεριφέρεται ως μία απλή ωμική αντίσταση Z_0 .

Τα δύο μέτωπα θα φτάσουν στο τέρμα της γραμμής τη χρονική στιγμή $T = \sqrt{L_0 C_0}$. Τη στιγμή αυτή τα κύματα θα ανακλαστούν, η τάση με συντελεστή ανάκλασης $+1$, ενώ το ρεύμα με -1 . Αυτό σημαίνει ότι η ανακλώμενη τάση θα προστίθεται στην προηγούμενη τιμή ενώ το ρεύμα θα αφαιρείται. Με άλλα λόγια, το ανακλώμενο κύμα τάσης θα έχει μπροστά του την τιμή $E_0/2$ και θα αφήνει πίσω του την τιμή E_0 , ενώ το μέτωπο του ανακλώμενου ρεύματος θα έχει μπροστά του την τιμή $E_0/2Z_0$ και θα αφήνει πίσω του μηδενική τιμή. Έτσι, στο διάστημα αυτό ($T < t < 2T$), η ανακλώμενη τάση θα προκαλέσει περαιτέρω φόρτιση της γραμμής έως την τιμή E_0 ενώ το ανακλώμενο ρεύμα θα μηδενίζει το ρεύμα στη γραμμή.

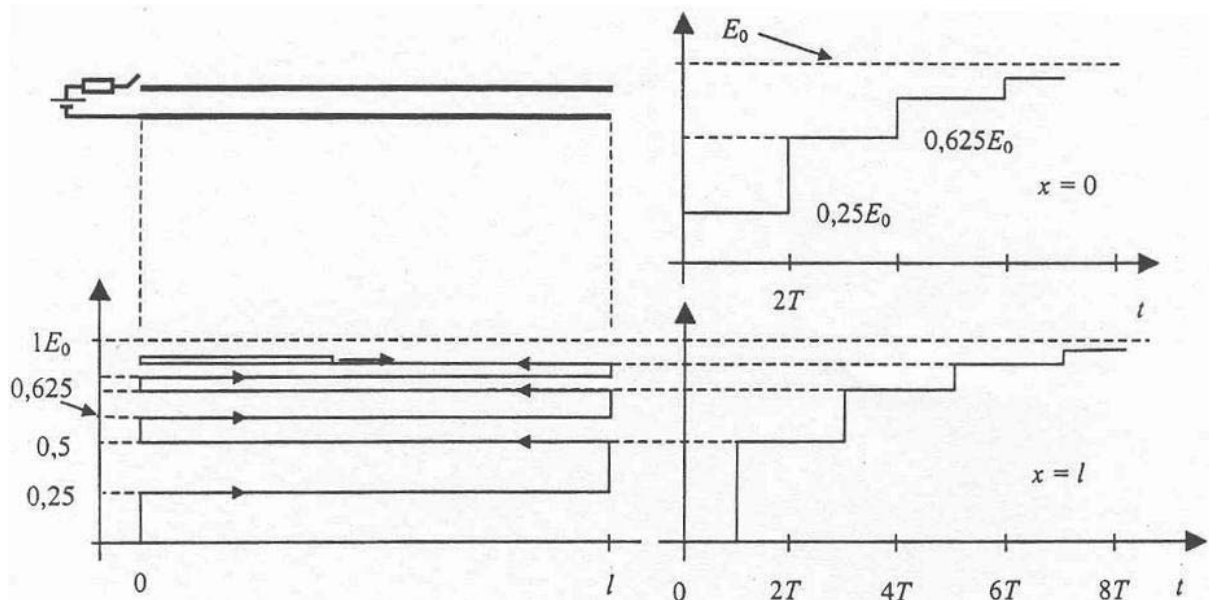


Τα μέτωπα της ανακλώμενης τάσης και ρεύματος θα φτάσουν στην αρχή της γραμμής την χρονική στιγμή $2T$ οπότε και θα απορροφηθούν από την εσωτερική αντίσταση της που δρα ως φορτίο της γραμμής. Εδώ οι συντελεστές ανάκλασης είναι μηδέν. Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι η τελική κατάσταση στη γραμμή διαμορφώνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο ($0 < t < T$), διαδοχικά, η γραμμή φορτίζεται έως $0,5E_0$, στο δεύτερο στάδιο ($T < t < 2T$), και πάλι διαδοχικά, έως την τιμή E_0 . Συνεπώς, η τελική και προφανής κατάσταση στη γραμμή, $U(x) = E_0$ και $i(x) = 0$, διαμορφώνεται σε χρόνο $2T$. Στο παραπάνω σχήμα δίνεται η χρονική εξέλιξη του ρεύματος που καταναλώνεται από την πηγή καθώς επίσης και των τάσεων που παρατηρεί κανείς στην είσοδο και στην έξοδο της γραμμής. Όπως βλέπουμε, στην έξοδο της γραμμής η τάση εμφανίζεται μετά από χρόνο T . Βλέπουμε ακόμη ότι η πηγή τροφοδοτεί τη γραμμή με σταθερό ρεύμα και ότι η τροφοδοσία αυτή διαρκεί μόνο για χρόνο $2T$.

Στις περιπτώσεις όπου η πηγή είναι πηγή ρεύματος και όχι τάσεως και συνεπώς η εσωτερική της αντίσταση είναι άπειρη, δηλαδή η πηγή παράγει ένα στενό παλμό ρεύματος I_0 , τότε η προσαρμογή της γραμμής επιτυγχάνεται με μία αντίσταση που συνδέεται, ή στην είσοδο, ή στην έξοδο της γραμμής. Πάντως, στην πράξη παρατηρήθηκε ότι στις γραμμές μεγάλου μήκους, οι παραμορφώσεις των παλμών (κορυφή, μέτωπα, ανακλάσεις κ.λ.π.) ελαχιστοποιούνται όταν οι γραμμή προσαρμόζεται και στα δύο της άκρα έστω και αν αυτό το μέτρο οδηγεί σε διπλή κατανάλωση ρεύματος από την πηγή.

Η ιδιότητα της γραμμής να καθυστερεί το σήμα χρησιμοποιείται από τους ερευνητές αλλά χρησιμοποιείται και στη μοντέρνα τεχνολογία όπου οι γραμμές καθυστέρησης παράγονται μαζικά και χρησιμοποιούνται στις έγχρωμες τηλεοράσεις και στις οθόνες των υπολογιστών. Έτσι, στην έγχρωμη τηλεόραση, το μαυρόασπρο σήμα υφίσταται καθυστέρηση κατά $0,7 \mu\text{s}$ ως προς το έγχρωμο, Καθυστέρηση της τάξης 100 ns επιτυγχάνεται με ένα ομοαξονικό καλώδιο των 50Ω το μήκος του οποίου είναι 20 m . Μεγαλύτεροι χρόνοι επιτυγχάνονται σε ειδικές γραμμές με συνεχή κατανομή των L και C . Ακόμη μεγαλύτεροι χρόνοι επιτυγχάνονται στις γραμμές που είναι κατασκευασμένες από διακριτά στοιχεία L , C αν και οι παραμορφώσεις του σήματος στις γραμμές αυτές είναι κάπως μεγαλύτερες, Στις γραμμές αυτού του τύπου, ο συνολικός χρόνος καθυστέρησης είναι $T = nLC$, όπου n είναι ο αριθμός των κυψελίδων.

Μη προσαρμοσμένη γραμμή μεταφοράς. Περίπτωση $R_i > Z_0$



Η εικόνα των τάσεων στα δύο άκρα της γραμμής αλλάζει όταν αυτή δεν είναι προσαρμοσμένη, δηλαδή όταν $R_i > Z_0$. Στο παραπάνω σχήμα δίνονται οι διαδοχικές φάσεις φόρτισης της γραμμής όταν π.χ.

$R_i = 3Z_0$ Δίπλα δίνεται η χρονική εξέλιξη της τάσης στην είσοδο ($x = 0$) και στην έξοδο ($x = l$) της γραμμής.

Την πρώτη χρονική στιγμή ($t = 0$), στην είσοδο της γραμμής ($x = 0$) θα αρχίσουν να διαδίδονται τα κύματα ρεύματος και τάσης, οι τιμές των οποίων είναι ανάλογες μεταξύ τους: $U(x,t) = Z_0 I(x,t)$. Η σχέση αυτή ισχύει και για $x = 0$ και $t = 0$. Από την άλλη, το ρεύμα φόρτισης της γραμμής ασφαλώς διαρρέει και την R_i . Οπότε, τις τιμές $U(0,0)$ και $I(0,0)$ μπορούμε να τις υπολογίσουμε πολύ εύκολα αν αγνοήσουμε την εικόνα διάδοσης των δύο κυμάτων και η γραμμή αντικατασταθεί με μία απλή ωμική αντίσταση Z_0 . Έτσι, τη στιγμή $t = 0$, στην είσοδο της γραμμής, ή στην αντίσταση Z_0 , θα εμφανιστεί απότομα μία τάση, η τιμή της οποίας είναι $1/4$ της E_0 . Τα $3/4$ της E_0 κατανέμονται στην R_i λόγω του ότι αυτή είναι 3 φορές μεγαλύτερη. Την ίδια χρονική στιγμή, το ρεύμα θα είναι $I(0,0) = E_0/(R_i + Z_0) = E_0/4Z_0$. Από τη στιγμή αυτή, στη γραμμή θα διαδίδονται τα κύματα ρεύματος και τάσης με τις αρχικές τιμές έως ότου αυτά φτάσουν στο τέλος της γραμμής ($t = T$). Εκεί, ο συντελεστής ανάκλασης της τάσης είναι $+1$, ενώ του ρεύματος, -1 .

Συνεπώς, αν θέλουμε να παρακολουθήσουμε την εξέλιξη μόνο της τάσης θα δούμε ότι στο τέλος της γραμμής, η τάση θα ανακλαστεί πλήρως διατηρώντας το πρόσημό της. Έτσι, προς την αντίθετη κατεύθυνση θα αρχίσει να διαδίδεται το δεύτερο κύμα τάσης που θα την φορτίζει σε διπλάσια τιμή από την αρχική. Η κατάσταση αυτή θα διατηρηθεί έως τη στιγμή που το κύμα θα φτάσει στην είσοδο της γραμμής ($t = 2T$). Τη στιγμή αυτή, για το κύμα τάσης, η γραμμή τερματίζεται σε φορτίο R_i που είναι 3 φορές μεγαλύτερο από τη Z_0 . Αυτό σημαίνει ότι στην είσοδο της γραμμής, ο συντελεστής ανάκλασης της τάσης είναι $+0,5$. Το γεγονός αυτό θα προκαλέσει την ανάκλαση μόνο της μισής τιμής του δεύτερου κύματος. Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι το πρώτο κύμα τάσης ($0 < t < T$) φορτίζει την κατανομημένη χωρητικότητα της γραμμής με τάση $0,25E_0$, το δεύτερο, το ανακλώμενο ($T < t < 2T$), με τάση $0,25E_0 + 0,25E_0 = 0,5E_0$, το τρίτο ($2T < t < 3T$) με τάση $0,5E_0 + 0,5$ επί $0,25E_0 = 0,625E_0$ κτλ. Έτσι, βήμα-βήμα, τελικά η γραμμή θα αποκτήσει την τάση της πηγής E_0 , Όσο μεγαλύτερη είναι η R_i τόσο μικρότερα είναι τα σκαλοπάτια και μεγαλύτερος είναι ο χρόνος φόρτισης της γραμμής. Το φαινόμενο τείνει να μοιάσει με τη φόρτιση ενός πυκνωτή με σταθερά χρόνου $\tau = R_i C_0 l$ όπου $C_0 l$ είναι η συνολική χωρητικότητα της γραμμής.

Έστω ότι θέλουμε να παρακολουθήσουμε την εξέλιξη του ρεύματος που φορτίζει την κατανομημένη χωρητικότητα. Θα δούμε ότι το πρώτο κύμα ($0 < t < T$) έχει την τιμή $+ E_0/4Z_0$, το δεύτερο ($T < t < 2T$), πίσω του θα αφήνει τη μηδενική τιμή, το τρίτο ($2T < t < 3T$), πίσω του θα αφήνει την τιμή $G(i) E_0/4Z_0 = (-0,5)$ επί $(-E_0/4Z_0) = + E_0/8Z_0$ κ,λ π. Έτσι, βήμα-βήμα, το ρεύμα τελικά θα μηδενιστεί.

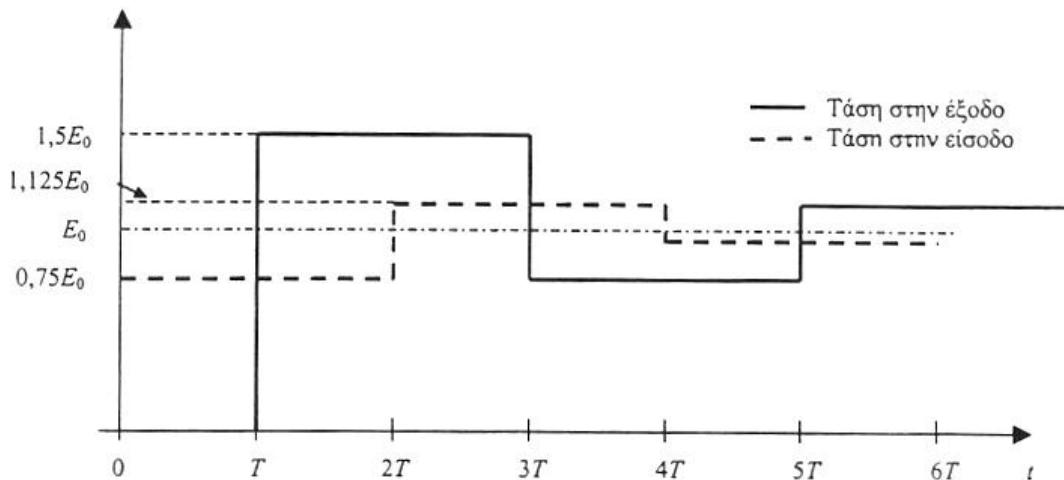
Περίπτωση $R_i < Z_0$

Έστω τώρα $Z_0 = 3R_i$, Θα εξετάσουμε πρώτα την εξέλιξη της τάσης στη γραμμή, Ο συντελεστής ανάκλασης της τάσης στην είσοδο της γραμμής είναι $-0,5$ και όχι $+0,5$ όπως ήταν στην προηγούμενη περίπτωση. Στο τέλος της γραμμής ο συντελεστής ανάκλασης είναι $+1$. Συλλογισμοί όμοιοι με αυτούς που κάναμε στο προηγούμενο παράδειγμα μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το πρώτο κύμα τάσης θα φορτίσει ($0 < t < T$) την κατανομημένη χωρητικότητα της γραμμής με τάση $0,75E_0$, Στο τέλος της γραμμής, η τάση αυτή, ανακλώμενη, απότομα θα γίνει $1,5E_0$ και στο επόμενο στάδιο ($T < t < 2T$) η γραμμή θα φορτίζεται στην τιμή αυτή.

Όταν το κύμα φτάσει στην αρχή της γραμμής, θα ανακλαστεί με συντελεστή $-0,5$. Τη στιγμή αυτή, η τάση στη γραμμή, από $1,5E_0$ θα γίνει $1,5E_0 - 0,75 \cdot 0,5E_0 = 1,125E_0$.

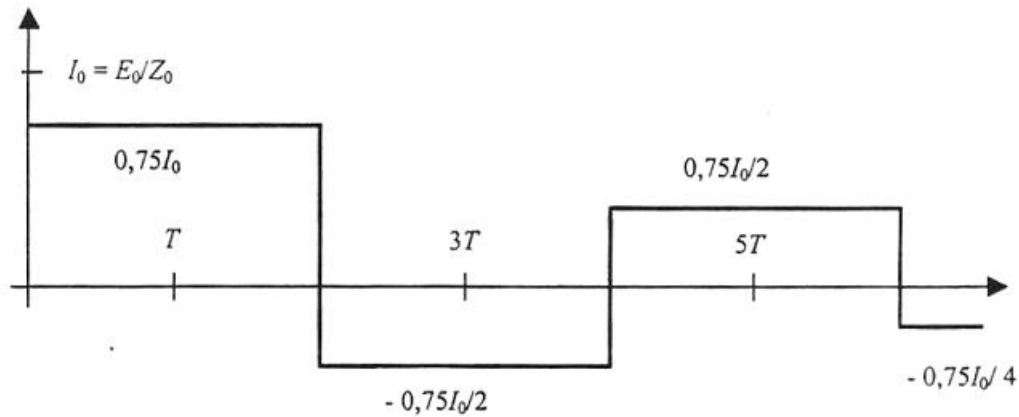
Συνεπώς, στο διάστημα ($2T < t < 3T$), στη γραμμή θα διαδίδεται ένα κύμα τάσης που μπροστά του βρίσκει την τιμή $1,5E_0$ και πίσω του αφήνει την τιμή $1,125E_0$. Το κύμα αυτό έχει πλάτος $-0,75$ επί $0,5E_0$, Μόλις φτάσει στο τέλος της γραμμής ($t = 3T$), θα ανακλαστεί πλήρως και θα αρχίσει να διαδίδεται προς τα αριστερά ($3T < t < 4T$) με το ίδιο πλάτος αλλά και πάλι με αρνητικό πρόσημο. Το μέτωπο αυτό μπροστά του έχει την τιμή $1,125E_0$ και πίσω του αφήνει την τιμή $1,125E_0 - 0,75 \cdot 0,5E_0 = 0,75E_0$ κτλ.

Όπως βλέπουμε οι τάσεις στα δύο άκρα της γραμμής παρουσιάζουν διακυμάνσεις που κυμαίνονται γύρω από την E_0 και τείνουν προς την τιμή αυτή. Στο μεθεπόμενο σχήμα δίνεται η χρονική εξέλιξη του ρεύματος που καταναλώνεται από την γραμμή. Για το ρεύμα, ο συντελεστής ανάκλασης είναι $+0,5$ στην είσοδο και -1 στην έξοδο της γραμμής. Η τιμή του πρώτου κύματος ($0 < t < T$) είναι $I_0 = E_0 / (R_i + Z_0) = 0,75E_0 / Z_0$.



Στο τέλος της γραμμής, το κύμα αυτό θα ανακλαστεί με αρνητικό πρόσημο και στο διάστημα $T < t < 2T$, το ανακλώμενο κύμα θα αφήνει πίσω του μηδενική τιμή. Όταν το δεύτερο κύμα φτάσει στην αρχή της γραμμής ($t = 2T$), θα ανακλαστεί με συντελεστή $+0,5$, συνεπώς το πρόσημό του και πάλι θα είναι αρνητικό αλλά με μισό πλάτος από το προηγούμενο κύμα. Στο τέλος της γραμμής ($t = 3T$) θα ανακλαστεί αλλάζοντας πρόσημο και θα αρχίσει να διαδίδεται προς τα αριστερά με

το ίδιο πλάτος που είχε το τρίτο κύμα κτλ. Βλέπουμε πως εδώ το ρεύμα αλλάζει πρόσημο και κυμαίνεται γύρω από το 0 και τείνει προς την τιμή αυτή.



Υπεραγώγιμη βραχυκυκλωμένη γραμμή

Έστω ότι η συνολική αντίσταση του κύκλωματος είναι μηδέν όταν ο διακόπτης είναι κλειστός. Τότε, προφανώς, το ρεύμα στο κύκλωμα θα τείνει προς το άπειρο. Είναι όμως ενδιαφέρον να παρακολουθήσει κανείς τα διάφορα στάδια αύξησης της τιμής του. Στο κλειστό κύκλωμα, ο συντελεστής ανάκλασης του ρεύματος είναι + 1 και στα δύο άκρα της γραμμής. Συνεπώς, μόλις κλείσει ο διακόπτης, στη γραμμή θα αρχίσουν να διαδίδονται τα κύματα τάσης (E_0) και ρεύματος (E_0/Z_0) έως ότου αυτά φτάσουν στο βραχυκυκλωμένο άκρο. Εκεί τα κύματα θα ανακλαστούν, η τάση με αλλαγή του πρόσημου ενώ το ρεύμα το πρόσημο θα το διατηρήσει. Έτσι, το ανακλώμενο κύμα τάσης θα αφήνει πίσω του μηδενική τιμή ενώ το ανακλώμενο κύμα ρεύματος θα αφήνει πίσω του διπλάσια τιμή από αυτήν που βρίσκει μπροστά του. Τη χρονική στιγμή ($t = 2T$), δηλαδή όταν τα κύματα φτάσουν στην αρχή της γραμμής, τα κύματα θα ανακλαστούν και πάλι. Το κύμα τάσης θα αφήνει πίσω του την τιμή E_0 ενώ το κύμα ρεύματος μπροστά του θα έχει την τιμή $2E_0/Z_0$ και πίσω του θα αφήνει την τιμή $3E_0/Z_0$ κτλ.

Οι ανακλάσεις αυτές θα επαναλαμβάνονται επ'άπειρο. Η γραμμή κάθε φορά θα φορτίζεται όταν το κύμα της τάσης διαδίδεται προς τα δεξιά και θα αποφορτίζεται όταν αυτό διαδίδεται προς τα αριστερά. Η κβαντωμένη ποσότητα του ρεύματος E_0/Z_0 , κάθε φορά θα προστίθεται στην προηγούμενη τιμή και έτσι, βήμα-βήμα θα τείνει προς το άπειρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

3.1 ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Για τη μετάδοση ενός σήματος σε μακρινή απόσταση χρειάζεται ένας πομπός (transmitter) που μετατρέπει το σήμα πληροφορίας σε μορφή κατάλληλη για μετάδοση μέσω του καναλιού. Η διαδικασία που επιτυγχάνει την μετατροπή αυτή λέγεται διαμόρφωση (modulation).

- Διαμόρφωση (modulation) είναι η διαδικασία μέσω της οποίας κάποιο χαρακτηριστικό ενός σήματος που ονομάζεται φέρουσα κυματομορφή ή φέρον σήμα (carrier wave or carrier) μεταβάλλεται σύμφωνα με ένα σήμα διαμόρφωσης (modulating wave). Το φέρον είναι μια ημιτονική κυματομορφή. Ως διαμορφώνον σήμα χρησιμοποιείται το σήμα πληροφορίας και η παράμετρος του φέροντος που μεταβάλλεται κατά τη διαμόρφωση μπορεί να είναι το πλάτος (AM) ή συχνότητα (FM).
- Το κανάλι επικοινωνίας (communication channel) είναι το φυσικό μέσο επί του οποίου διαδίδεται το σήμα που στέλνει ο πομπός. Μπορεί να είναι μια γραμμή μεταφοράς συνεστραμμένων καλωδίων ή ομοαξονική. Το σήμα κατά την μετάδοσή του υφίσταται παραμόρφωση (distortion), επίδραση θορύβου (noise) και παρεμβολών (interference).
- Πολυπλεξία (multiplexing) είναι η τεχνική κατά την οποία ένας αριθμός ανεξαρτήτων σημάτων συνδυάζεται σε σύνθετο σήμα.
- Μετάδοση χωρίς παραμόρφωση (distortionless transmission) έχουμε όταν το σήμα εξόδου του διαύλου επικοινωνίας είναι ένα ακριβές αντίγραφο του σήματος εισόδου. Σε διαφορετική περίπτωση λέμε ότι το μεταδιδόμενο σήμα υφίσταται παραμόρφωση (distortion).

- Ο θόρυβος (noise) περιλαμβάνει τις ανεπιθύμητες κυματομορφές που τείνουν να ενοχλούν τη μετάδοση και την επεξεργασία των σημάτων.
- Παρεμβολές (interference) εννοούμε τη μερική ή ολική συνύπαρξη στο ίδιο εύρος συχνοτήτων με το επιθυμητό σήμα άλλων, ανεπιθύμητων σημάτων.
- Αποδιαμόρφωση ή φώραση (demodulation) είναι η αντίστροφη της διαμόρφωσης διαδικασία που γίνεται στο δέκτη και συνίσταται στην αναδημιουργία του σήματος πληροφορίας .
- Ισχύς εκπομπής (transmitted power) είναι η μέση ισχύς του σήματος που φεύγει από τον πομπό.
- Εύρος ζώνης του διαύλου (channel bandwidth) είναι το εύρος της περιοχής συχνοτήτων, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετάδοση μέσω του διαύλου.
- Η χωρητικότητα (capacity) του διαύλου είναι η μέγιστη τιμή ρυθμού μετάδοσης (transfer mode) bits (σε bits/sec) που μπορεί να επιτευχθεί.

Θόρυβος.

Ο θόρυβος αποτελείται από ασυσχέτιστα σήματα διαφορετικής προελεύσεως, τα οποία συντίθενται κατά τυχαίο τρόπο και περιγράφεται μαθηματικά ως στοχαστική ανέλιξη. Οι πηγές του θορύβου μπορεί να είναι εξωτερικές του συστήματος, π.χ. θόρυβος λόγω φυσικών φαινομένων, ή εξαιτίας της λειτουργίας διαφόρων μηχανημάτων και συσκευών, ή εσωτερικές στο σύστημα, εξ αιτίας στιγμιαίων διακυμάνσεων (spontaneous fluctuations) του ρεύματος ή της τάσεως στα ηλεκτρικά κυκλώματα.

.Θερμικός θόρυβος (thermal noise) ονομάζεται ο θόρυβος που προκαλείται από την τυχαία κίνηση των ελευθέρων ηλεκτρονίων σε ένα παθητικό στοιχείο ή κύκλωμα.

.Θόρυβος βολής (shot noise) ονομάζεται ο θόρυβος που οφείλεται στην κατά τυχαίο τρόπο διακύμανση της παραγωγής φορέων σε ένα ενεργό κυκλωματικό στοιχείο.

- Η βασική ζώνη (baseband) είναι η ζώνη συχνοτήτων, όπου παριστάνεται το σήμα πληροφορίας.

Διαμόρφωση πλάτους AM

Κατά τη διαμόρφωση πλάτους (amplitude modulation, AM) το πλάτος του φέροντος μεταβάλλεται γύρω από μία μέση τιμή γραμμικά σε σχέση με το σήμα βασικής ζώνης.

- Ως περιβάλλουσα (envelope) του διαμορφωμένου κατά AM σήματος ορίζεται η συνεχής καμπύλη που προκύπτει από την ένωση των ακροτάτων του.
- Φέρον $c(t) = A \cos(2\pi f t)$
- Σήμα βασικής ζώνης είναι $m(t)$,
- Διαμορφωμένη AM κυματομορφή $s(t) = A [1 + k \cdot m(t)] \cos(2\pi f t)$
- Σταθερά k καλείται ευαισθησία πλάτους (amplitude sensitivity)
- Η περιβάλλουσα του σήματος $s(t)$ έχει την ίδια μορφή με το σήμα $m(t)$

Διαμόρφωση συχνότητας FM

Διαμόρφωση συχνότητας (frequency modulation FM) είναι η μορφή της διαμόρφωσης γωνίας, όπου η στιγμιαία συχνότητα $f(t)$ μεταβάλλεται γραμμικά με το σήμα βασικής ζώνης $m(t)$, δηλαδή

$$f(t) = f_c + k_f m(t)$$

Όπου f_c η συχνότητα του αδιαμόρφωτου φέροντος.

K_f η ευαισθησία συχνότητας (frequency sensitivity) του διαμορφωτή.

Πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας FDM

Η διαδικασία κατά την οποία πολλά σήματα διαμορφώνονται έτσι, ώστε τα φάσματα των διαμορφωμένων κυματομορφών που μεταδίδονται να καταλαμβάνουν διαδοχικές περιοχές στο πεδίο της συχνότητας, ονομάζεται πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας (Frequency Division Multiplexing), FDM. Αποτελεί μία μέθοδο πολύπλεξης με διαχωρισμό των σημάτων στη συχνότητα και χρησιμοποιείται κατ'εξοχήν σε αναλογικά συστήματα μετάδοσης.

3.2 ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ

Όταν τα μεταδιδόμενα σήματα (διαμορφωμένα ή βασικής ζώνης) είναι ψηφιακά, ενώ τα αντίστοιχα σήματα πληροφορίας είναι από τη φύση τους αναλογικά, όπως τα σήματα φωνής, εικόνας κ.λ.π., απαιτείται τα αναλογικά αυτά σήματα να μετατραπούν σε ψηφιακά, προκειμένου να καταστεί δυνατή η μετάδοση. Η διαδικασία της μετατροπής αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά καλείται αναλογική σε ψηφιακή μετατροπή (Analog to Digital conversion), A/D μετατροπή, ή ψηφιακή διαμόρφωση παλμών (digital pulse modulation). Δύο είναι οι τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης παλμών: η παλμοκωδική διαμόρφωση παλμών (PCM) και η διαμόρφωση Δέλτα (Delta Modulation), DM.

- Η παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM) περιλαμβάνει δειγματοληψία του αρχικού σήματος πληροφορίας, κβαντοποίηση των δειγματοληπτούμενων τιμών πλάτους και κωδικοποίηση αυτών.
- Η διαμόρφωση Δέλτα (Delta Modulation), DM, είναι μια τεχνική με την οποίαν αναλογικά σήματα κωδικοποιούνται σε ψηφιακούς αριθμούς του δυαδικού συστήματος. Κατά τη διαδικασία αυτή το σήμα πληροφορίας $m(t)$ προσεγγίζεται από το σήμα $M(t)$ με πεπερασμένα βήματα πλάτους Δ . Η ποσότητα Δ ονομάζεται πλάτος βαθμίδος (step amplitude)

3.3 ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Η ψηφιακή διαμόρφωση , δηλαδή διαμόρφωση ημιτονικού φέροντος από ψηφιακό σήμα πληροφορίας, ονομάζεται και κωδικοποίηση (keying). Η διαμόρφωση γίνεται από το σήμα βασικής ζώνης $m(t)$, όπως αυτό προκύπτει μετά τη εφαρμογή της ακολουθίας των δυαδικών ψηφίων πληροφορίας στον κωδικοποιητή.

Η κωδικοποίηση μετατόπισης πλάτους ASK

Η κωδικοποίηση μετατόπισης πλάτους (Amplitude Shift Keying), ASK, αντιστοιχεί στην ψηφιακή κωδικοποίηση On-Off και συνίσταται στη μεταβολή του πλάτους του φέροντος σύμφωνα με το σήμα πληροφορίας. Το διαμορφωμένο σήμα που μεταδίδεται είναι

$s(t) = Am(t)\cos(2\pi ft + \phi)$ όπου το σήμα πληροφορίας $m(t)$ είναι 1 όταν $a_k = 1$ και μηδέν όταν $a_k = 0$.

Η κωδικοποίηση μετατόπισης συχνότητας FSK

Η κωδικοποίηση μετατόπισης συχνότητας (Frequency Shift Keying), FSK, υλοποιείται με την μεταβολή της συχνότητας του υψίσυχνου φέροντος σύμφωνα με το σήμα βασικής ζώνης. Το σήμα FSK δίνεται ως

$$s(t) = A \cos[2\pi(f + m(t))t + \phi]$$

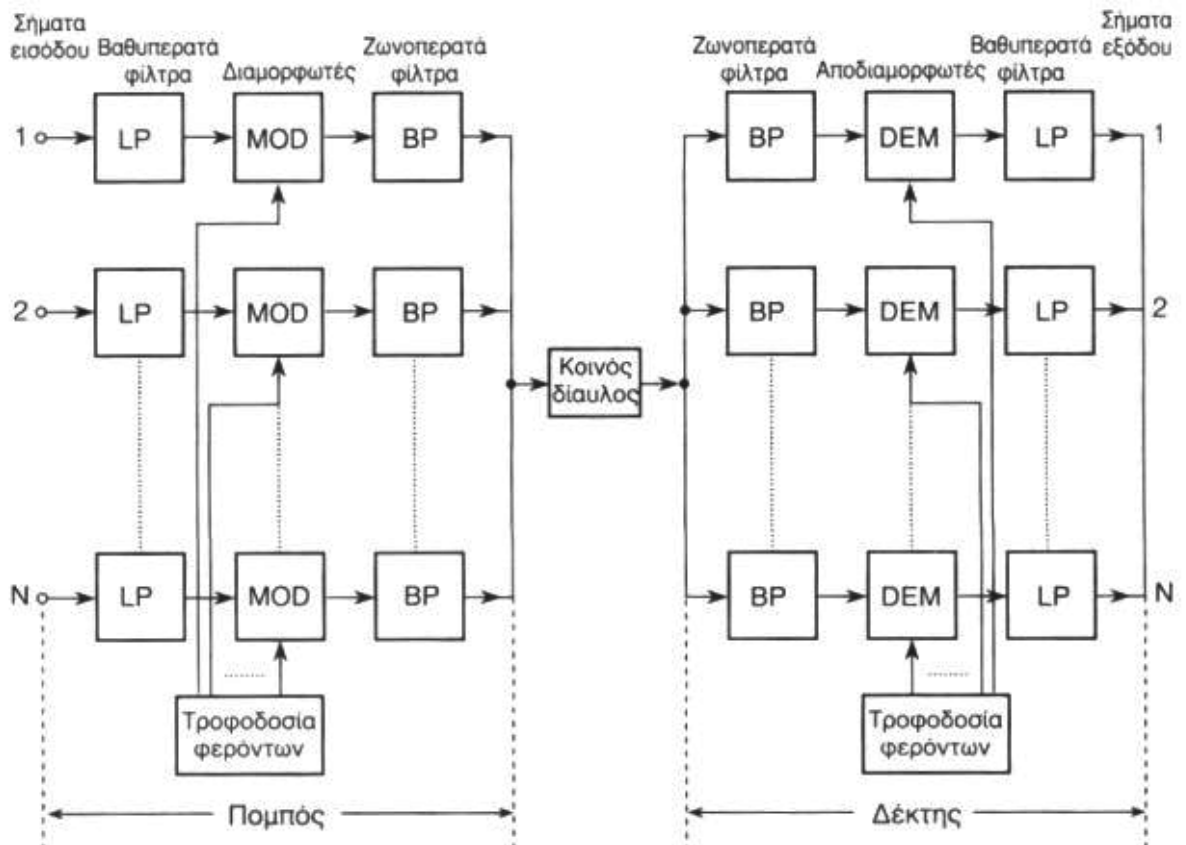
όπου $m(t)$ το σήμα βασικής ζώνης.

Ομως στην τεχνολογία των PLC οι πιο αξιοποιήσιμες μέθοδοι διαμορφώσεων που αναπτύσσονται πληρέστερα παρακάτω είναι :

- Πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας FDM
- Ορθογωνική Πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας OFDM
- Η κωδικοποίηση μετατόπισης πλάτους ASK
- Η κωδικοποίηση μετατόπισης συχνότητας FSK.

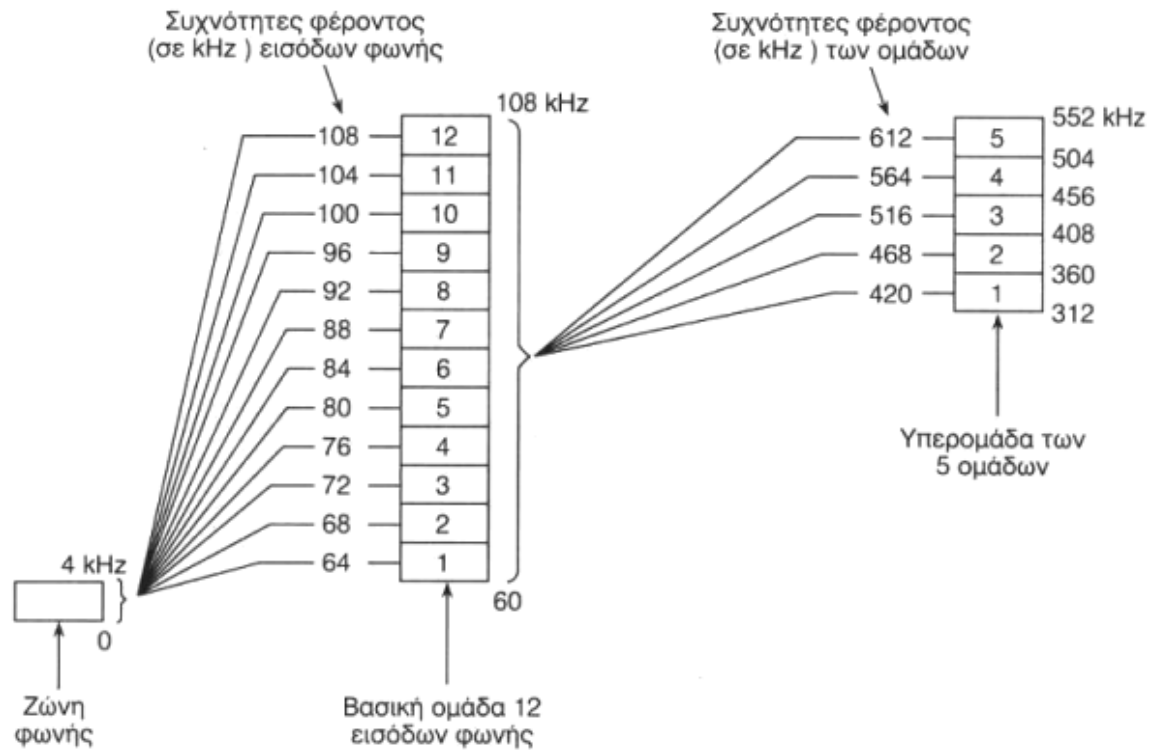
3.4 ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΔΙΑΙΡΕΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ (FDM)

Η πολυπλεξία (*multiplexing*) είναι μία τεχνική στην οποία ένας αριθμός ανεξάρτητων σημάτων μπορεί να συνδυαστεί σε σύνθετο σήμα κατάλληλο για μετάδοση σε ένα κοινό δίαυλο. Οι συχνότητες φωνής που μεταδίδονται στα τηλεφωνικά συστήματα, για παράδειγμα, κυμαίνονται από 300-3.400 Hz. Για να μεταδώσουμε έναν αριθμό τέτοιων σημάτων στον ίδιο δίαυλο, πρέπει τα σήματα να κρατηθούν απομακρυσμένα, έτσι ώστε να μην επηρεάζονται μεταξύ τους και έτσι ώστε να μπορούν να διαχωριστούν στη λήψη. Αυτό επιτυγχάνεται διαχωρίζοντας τα σήματα είτε στη συχνότητα είτε στο χρόνο. Η τεχνική διαχωρισμού των σημάτων στη συχνότητα αναφέρεται σαν πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (*Frequency Division Multiplexing, FDM*), ενώ η τεχνική διαχωρισμού των σημάτων στο χρόνο ονομάζεται πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (*Time Division Multiplexing, TDM*).



Το δομικό διάγραμμα συστήματος FDM φαίνεται στο πιο πάνω σχήμα. Τα εισερχόμενα σήματα πληροφορίας θεωρούνται βαθυπερατά, αλλά τα φάσματά τους δεν έχουν απαραίτητα μη μηδενικές τιμές όσο πλησιάζουμε τη μηδενική συχνότητα. Μετά το κάθε σήμα εισόδου φαίνεται ένα βαθυπερατό φίλτρο, το οποίο είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε ν' απαλείφει συνιστώσες υψηλής συχνότητας που δεν συνεισφέρουν σημαντικά στην αναπαράσταση του σήματος, αλλά είναι δυνατόν να παρενοχλούν άλλα σήματα πληροφορίας που μοιράζονται τον κοινό δίαυλο. Αυτά τα βαθυπερατά φίλτρα μπορούν να παραλειφθούν μόνο αν τα σήματα εισόδου είναι επαρκώς περιορισμένα σε εύρος ζώνης από την αρχή. Τα φιλτραρισμένα σήματα εφαρμόζονται σε διαμορφωτές που μετατοπίζουν τις περιοχές συχνοτήτων των σημάτων, έτσι ώστε να καταλαμβάνουν διαφορετικά μεταξύ τους διαστήματα συχνοτήτων. Οι απαραίτητες συχνότητες φέροντος για αυτές τις μετατοπίσεις συχνοτήτων, λαμβάνονται μέσω μιας γεννήτριας φερόντων. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος διαμόρφωσης στην πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας είναι η διαμόρφωση απλής πλευρικής ζώνης που στην περίπτωση των σημάτων φωνής απαιτεί εύρος ζώνης, που είναι περίπου ίσο με αυτό του αρχικού σήματος φωνής. Στην πράξη, σε κάθε είσοδο φωνής συνήθως αντιστοιχεί εύρος ζώνης 4 kHz. Τα ζωνοπερατά φίλτρα που ακολουθούν τους διαμορφωτές χρησιμοποιούνται για να περιορίσουν τη ζώνη κάθε διαμορφωμένης κυματομορφής στο προδιαγεγραμμένο της εύρος. Οι προκύπτουσες έξοδοι των ζωνοπερατών φίλτρων, στη συνέχεια συνδυάζονται παράλληλα, έτσι ώστε να σχηματίσουν την είσοδο στον κοινό δίαυλο. Στην πλευρά της λήψης χρησιμοποιείται μια τράπεζα από ζωνοπερατά φίλτρα, με τις εισόδους τους συνδεδεμένες παράλληλα, για να διαχωρίσει τα σήματα πληροφορίας με βάση τη ζώνη συχνοτήτων που καταλαμβάνουν. Τελικά, τα αρχικά σήματα πληροφορίας επανακτώνται με ξεχωριστούς αποδιαμορφωτές. Το σύστημα FDM, που φαίνεται στο πιο πάνω σχήμα λειτουργεί μόνο κατά τη μία κατεύθυνση. Για να εξασφαλίσουμε μετάδοση δύο κατευθύνσεων, όπως π.χ. στην τηλεφωνία, θα πρέπει να διπλασιάσουμε πλήρως όλη αυτή τη διάταξη πολυπλεξίας, με τα στοιχεία της συνδεδεμένα με αντίθετη φορά και με τα σήματα να προχωρούν από δεξιά προς τ' αριστερά.

Η πρακτική υλοποίηση ενός συστήματος FDM συνήθως περιλαμβάνει πολλά στάδια διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης όπως απεικονίζεται στο πιο κάτω σχήμα



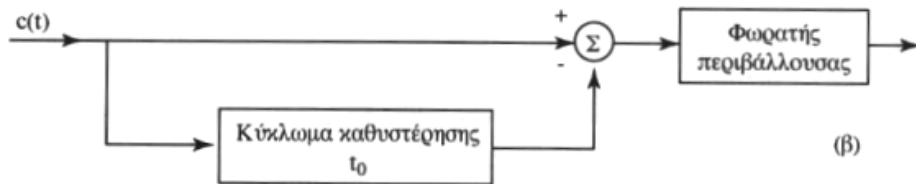
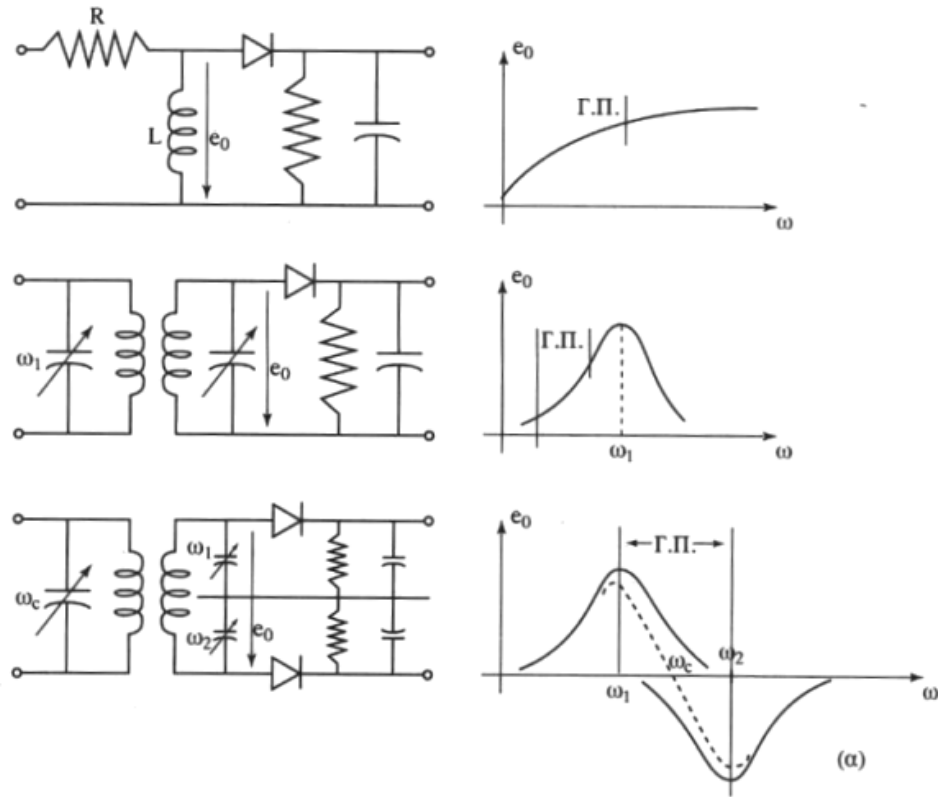
Απεικόνιση των βημάτων διαμόρφωσης σε ένα σύστημα FDM.

Το πρώτο στάδιο πολύπλεξης συνδυάζει 12 εισόδους φωνής σε μία *βασική ομάδα* (*basic group*) που σχηματίζεται έχοντας τη n -στή είσοδο να διαμορφώνει φέρον συχνότητας $f_c = 112 - 4n$ kHz, όπου $n = 1, 2, \dots, 12$. Οι κάτω πλευρικές ζώνες, στη συνέχεια, επιλέγονται μέσω ζωνοπερατού φιλτραρίσματος και συνδυάζονται για να σχηματίσουν ομάδα από 12 κάτω πλευρικές ζώνες (μία για κάθε είσοδο φωνής). Έτσι, η βασική ομάδα καταλαμβάνει τη ζώνη συχνοτήτων 60-108 kHz. Το επόμενο βήμα στην ιεραρχία FDM περιλαμβάνει το συνδυασμό 5 βασικών ομάδων σε μία *υπερομάδα* (*super group*). Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τη n -στή ομάδα για τη διαμόρφωση φέροντος με συχνότητα $f_c = 372 + 48n$ kHz, όπου $n = 1, 2, \dots, 5$. Εδώ ξανά, επιλέγονται οι κάτω πλευρικές ζώνες με φιλτράρισμα και συνδυάζονται

στη συνέχεια για να σχηματίσουν μία υπερομάδα που καταλαμβάνει τη ζώνη 312-552 kHz. Έτσι, μία υπερομάδα είναι σχεδιασμένη για να εξυπηρετεί 60 ανεξάρτητες εισόδους φωνής. Ο λόγος για το σχηματισμό της υπερομάδας, με αυτόν τον τρόπο, είναι ότι μόνο σε μία περιορισμένη περιοχή συχνοτήτων διατίθενται φτηνά φίλτρα με τ' απαιτούμενα χαρακτηριστικά. Με ανάλογο τρόπο οι υπερομάδες συνδυάζονται σε κύριες ομάδες

Όπως έχει ήδη γίνει φανερό από τα προηγούμενα, είναι δυνατό να μεταδοθούν περισσότερα από ένα σήματα με επιλογή διαφορετικής φέρουσας συχνότητας για κάθε ένα από τα επιμέρους σήματα. Οι επιμέρους φέρουσες συχνότητες επιλέγονται έτσι ώστε να μην υπάρχει επικάλυψη των αντιστοίχων σημάτων πληροφορίας στο πεδίο της συχνότητας. Προκύπτει έτσι η πολύπλεξη με διαίρεση συχνότητας FDM που μπορεί να ορισθεί ως η διαμόρφωση πολλών σημάτων, έτσι ώστε τα φάσματά τους να καταλαμβάνουν διαδοχικές περιοχές στο πεδίο της συχνότητας. Ο διαχωρισμός των επιμέρους σημάτων γίνεται με χρήση κατάλληλων φίλτρων.

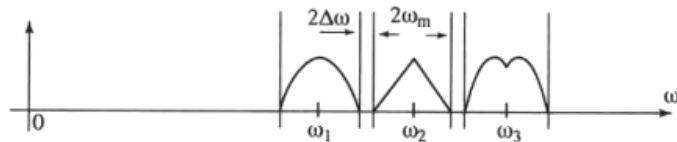
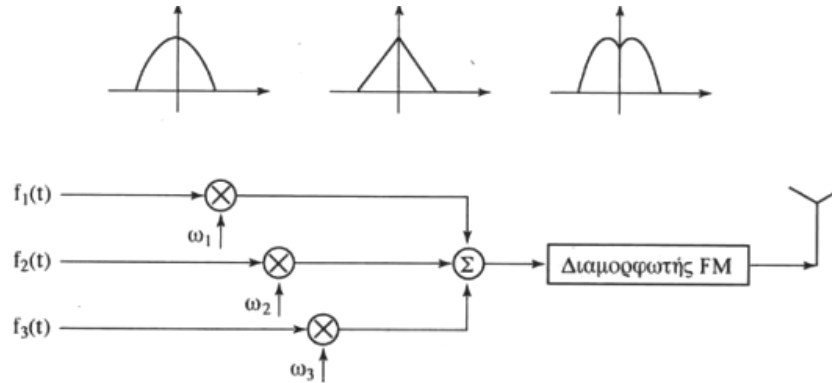
Διακρίνονται δύο κύρια είδη πολύπλεξης FDM αντίστοιχα με τον τρόπο διαμόρφωσης των επιμέρους σημάτων για τη δημιουργία του συνολικού FDM σήματος. Σύμφωνα με αυτό κατά την πολύπλεξη AM-FM (αντίστοιχα πολύπλεξη FM-FM) τα επιμέρους σήματα διαμορφώνουν κατά AM (αντίστοιχα FM) κάποια από τις υποφέρουσες συχνότητες, ώστε να καταλάβουν την αντίστοιχη περιοχή στο πεδίο των συχνοτήτων. Κοινό χαρακτηριστικό και των δύο τύπων πολύπλεξης FDM είναι ότι το συνολικό FDM σήμα που προκύπτει συνήθως διαμορφώνει κατά FM το τελικό πολύ υψηλής συχνότητας φέρον. Ας θεωρηθεί η περίπτωση του πιο κάτω σχήματος όπου 3 σήματα περιορισμένου εύρους συχνοτήτων πολυπλέκονται κατά AM-FM στις φέρουσες συχνότητες ω_1 , ω_2 , ω_3 . Αν υποτεθεί ότι καθένα από τα 3 σήματα έχει εύρος ω_m προκύπτει ότι για να είναι διαχωρίσιμα τα επιμέρους φάσματα πρέπει οι διαδοχικές υποφέρουσες συχνότητες να απέχουν μεταξύ τους κατά $2\omega_m$ τουλάχιστον.



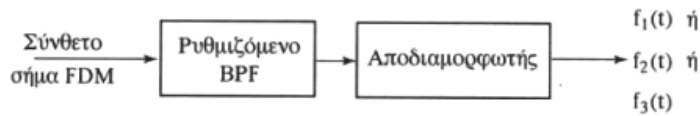
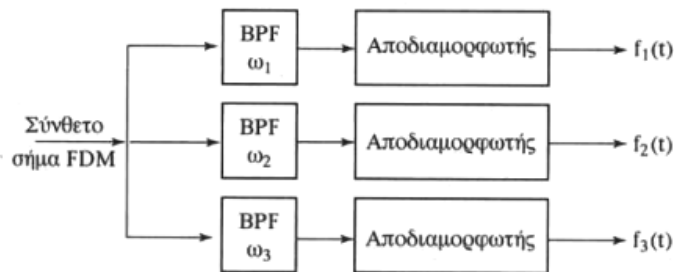
Υλοποίηση του διευκρινιστή. α. Με χρήση συντονισμένων κυκλωμάτων.
β. Με χρήση κυκλώματος καθυστέρησης.

Συνήθως αυτό εξασφαλίζεται με το διαχωρισμό των συχνοτήτων αυτών κατά $2(\omega_m + \Delta\omega)$. Η ζώνη συχνοτήτων $2\Delta\omega$ καλείται ζώνη διαχωρισμού. Στο δέκτη ενός FDM σήματος υπάρχουν δύο δυνατότητες, όπως φαίνεται και στο επόμενο σχήμα. Σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο αποδιαμόρφωσης τα διάφορα επιμέρους σήματα που συνυπάρχουν στο συνολικό σήμα διαχωρίζονται με χρήση κατάλληλων ζωνοπερατών φίλτρων και στη συνέχεια αποδιαμορφώνονται.

Σημειώνεται ότι το συνολικό FDM σήμα συνήθως προκύπτει από την αποδιαμόρφωση ενός FM σήματος.



Πολύπλεξη με διαίρεση συχνότητας.



Αποπολύπλεξη FDM.

Ο δεύτερος τρόπος αποδιαμόρφωσης βασίζεται στην επιλογή μέσω ρυθμιζόμενου ζωνοπερατού φίλτρου κάποιου από τα επιμέρους φέροντα και στην αποδιαμόρφωσή του στη συνέχεια.

3.5 Ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας OFDM

Στις επικοινωνίες μέσω ηλεκτρικού δικτύου εμφανίζεται το πρόβλημα των διαφορετικών διαδρομών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να φτάνουν με καθυστέρηση στη λήψη εξασθενημένα αντίγραφα του εκπεμπόμενου σήματος και έτσι να προκαλείται διασυμβολική παρεμβολή (intersymbol interference). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται διασπορά καθυστέρησης πολλαπλών διαδρομών (multipath delay spread).

Για την μετάδοση πληροφοριών στο δίκτυο χαμηλής τάσης δεν αρκεί ένα απλό σύστημα ψηφιακής διαμόρφωσης, αλλά θα πρέπει να επιλεγεί μία μέθοδος αποστολής των δεδομένων που στο φυσικό επίπεδο θα συνδυάζει διαμόρφωση και τεχνικές μετάδοσης, περιλαμβάνοντας περισσότερα από ένα στάδια συσχέτισης σήματος πληροφορίας και φέροντος.

Η ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), OFDM ικανοποιεί τις παραπάνω απαιτήσεις με τη διαίρεση του διατιθέμενου φάσματος σε πολλά διαμορφωμένα φέροντα στενής ζώνης και χαμηλών ρυθμών μετάδοσης, τα οποία λέγονται υποφέροντα (subcarriers) και λειτουργούν σε χαμηλά επίπεδα ισχύος.

Για την επίτευξη αποδοτικής χρησιμοποίησης του εύρους ζώνης και του υψηλού ρυθμού μετάδοσης που απαιτείται, τα διαφορετικά υποφέροντα υπερτίθενται και είναι ανά δύο ορθογώνια μεταξύ των. Δηλαδή η μέθοδος διαμόρφωσης και μετάδοσης OFDM συνίσταται στην ταυτόχρονη μετάδοση μεγάλου αριθμού (εκατοντάδων ή και χιλιάδων) διαμορφωμένων φερόντων στενής ζώνης. Κάθε υποφέρρον μπορεί να διαμορφωθεί με κάποιο από τα ήδη υπάρχοντα σχήματα, π.χ. BPSK, QPSK, QAM ή τα διαφορεικά αντίστοιχά τους και εφόσον είναι στενής ζώνης, αντιμετωπίζει σχεδόν επίπεδη απόκριση συχνότητας. Η επιλογή διαφορετικού μοντέλου μεταλλαγής για τα υποφέροντα επιτυγχάνει καλύτερες επιδόσεις σε περιβάλλοντα όπου είναι πιθανές απότομες αλλαγές στη φάση. Η μέθοδος OFDM επιλύει σε μεγάλο βαθμό το πρόβλημα διασποράς καθυστέρησης πολλαπλών διαδρομών, διότι ο χαμηλός ρυθμός μετάδοσης που επικρατεί σε κάθε δευτερεύον κανάλι στενής ζώνης

συνεπάγεται μήκος συμβόλου σημαντικά μεγαλύτερο από την μέγιστη καθυστέρηση λόγω πολλαπλών διαδρομών στην πλειοψηφία των περιπτώσεων. Η επιλεκτική χρησιμοποίηση των υποφερόντων επιτρέπει την αποφυγή περιοχών συχνοτήτων, όπου η συμπεριφορά του διαύλου είναι ιδιαίτερα εχθρική ή αστάθμητη, καθώς και τη δυναμική συμμόρφωση με πιθανούς περιορισμούς ως προς τη χρήση του φάσματος.

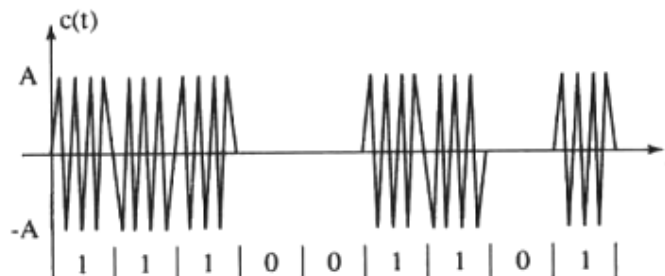
Ένα άλλο υποψήφιο μοντέλο διαμόρφωσης και μετάδοσης είναι μέθοδος εκτεταμένου φάσματος (Spread Spectrum), SS. Πρόκειται για μία μέθοδο όπου το μεταδιδόμενο σήμα καταλαμβάνει πολύ μεγαλύτερη περιοχή συχνοτήτων από το σήμα πληροφορίας.

3.6 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ-ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ASK ΚΑΙ FSK

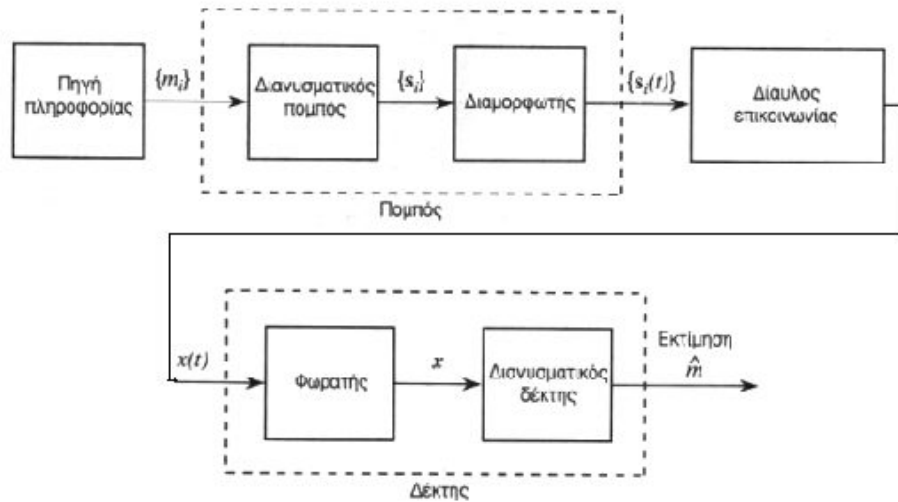
Όταν απαιτείται μετάδοση ψηφιακών δεδομένων μέσω ζωνοπερατού διαύλου, είναι αναγκαία η διαμόρφωση των εισερχόμενων δεδομένων πάνω σε φέρον (συνήθως ημιτονικό) με καθορισμένα, από το δίαυλο, όρια συχνότητας. Τα δεδομένα μπορεί να αντιπροσωπεύουν εξόδους ψηφιακού υπολογιστή, ή κυματομορφές PCM που παράγονται από ψηφιοποιημένα σήματα φωνής ή εικόνας, κ.λ.π.. Η διαδικασία διαμόρφωσης περιλαμβάνει μεταγωγή ή μεταλλαγή του πλάτους, της συχνότητας ή της φάσης του φέροντος σύμφωνα με τα εισερχόμενα δεδομένα. Έτσι, υπάρχουν τρεις βασικές τεχνικές σηματοδότησης γνωστές σαν μεταλλαγή μετατόπισης πλάτους (amplitude-shift keying, ASK), μεταλλαγή μετατόπισης συχνότητας (frequency-shift keying, FSK), μεταλλαγή μετατόπισης φάσης (phase-shift keying, PSK), οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν σαν ειδικές περιπτώσεις της διαμόρφωσης πλάτους, της διαμόρφωσης συχνότητας και της διαμόρφωσης φάσης, αντίστοιχα.

Στην ιδανική περίπτωση, τα σήματα FSK έχουν σταθερή περιβάλλουσα. Αυτό το χαρακτηριστικό τα κάνει ανεπηρέαστα σε μη γραμμικότητες του πλάτους του σήματος .

Ένα βαθυπερατό σύστημα μετάδοσης δεδομένων μπορεί να μοντελοποιηθεί όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα. Αρχικά, θεωρείται ότι υπάρχει μια πηγή πληροφορίας (message source) η οποία εκπέμπει ένα σύμβολο (symbol) ανά T δευτερόλεπτα, με τα σύμβολα να ανήκουν σε ένα αλφάβητο M συμβόλων και τα οποία συμβολίζουμε με m_1, m_2, \dots, m_M . Η σύνδεση δύο ψηφιακών υπολογιστών, εκ των οποίων ο ένας χρησιμοποιείται σαν πηγή πληροφορίας υπολογίζοντας ψηφιακές εξόδους με βάση παρατηρήσεις και τις εισόδους που τον τροφοδοτούν. Η προκύπτουσα έξοδος του υπολογιστή εκφράζεται σαν μια ακολουθία μηδενικών και μονάδων, η οποία μεταδίδεται στο δεύτερο υπολογιστή αποτελούμενο απλά από τα δύο δυαδικά σύμβολα 0 και 1.



Μορφή του σήματος ASK.



Μοντέλο ζωνοπερατού συστήματος μεταδόσης δεδομένων.

Σε σύστημα μεταλλαγής μετατόπισης πλάτους ASK, το δυαδικό σύμβολο 1 παριστάνεται από τη μετάδοση ενός ημιτονικού φέροντος σταθερού πλάτους και σταθερής συχνότητας για τη διάρκεια T_b δευτερολέπτων του bit, ενώ το σύμβολο 0 παριστάνεται από τη διακοπή του φέροντος για T_b δευτερόλεπτα,

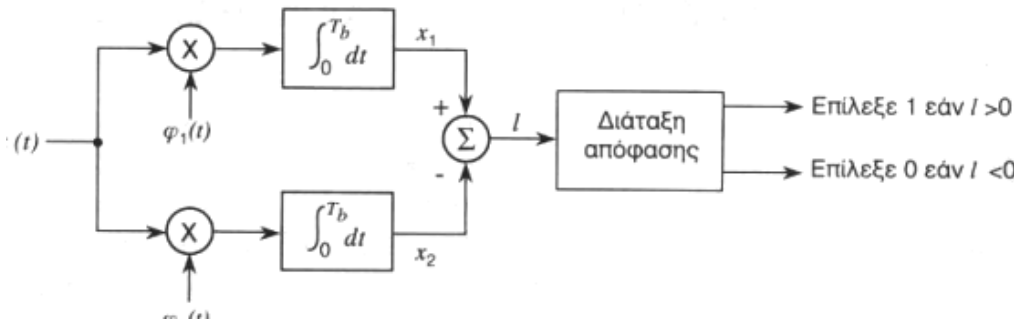
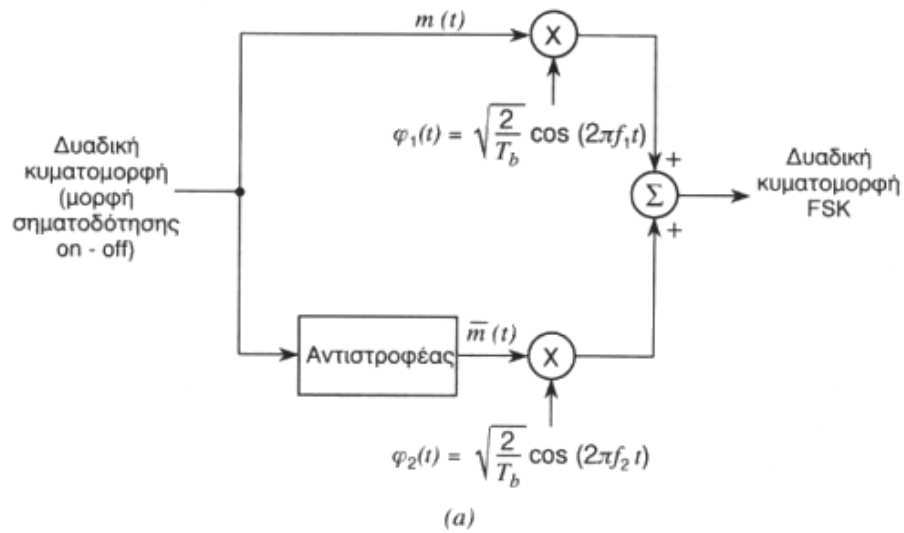
Σε σύστημα μεταλλαγής μετατόπισης συχνότητας FSK, χρησιμοποιούνται δύο ημι τονικές κυματομορφές του ίδιου πλάτους αλλά διαφορετικών συχνοτήτων για να παραστήσουν τα δυαδικά σύμβολα 0 και 1.

Σε δυαδικό σύστημα FSK, τα σύμβολα 1 και 0 διακρίνονται μεταξύ τους μεταδίδοντας μια από τις δύο ημιτονικές κυματομορφές που διαφέρουν στη συχνότητα κατά μια σταθερή ποσότητα. Ένα τυπικό ζευγάρι ημιτονικών κυματομορφών περι γράφεται από

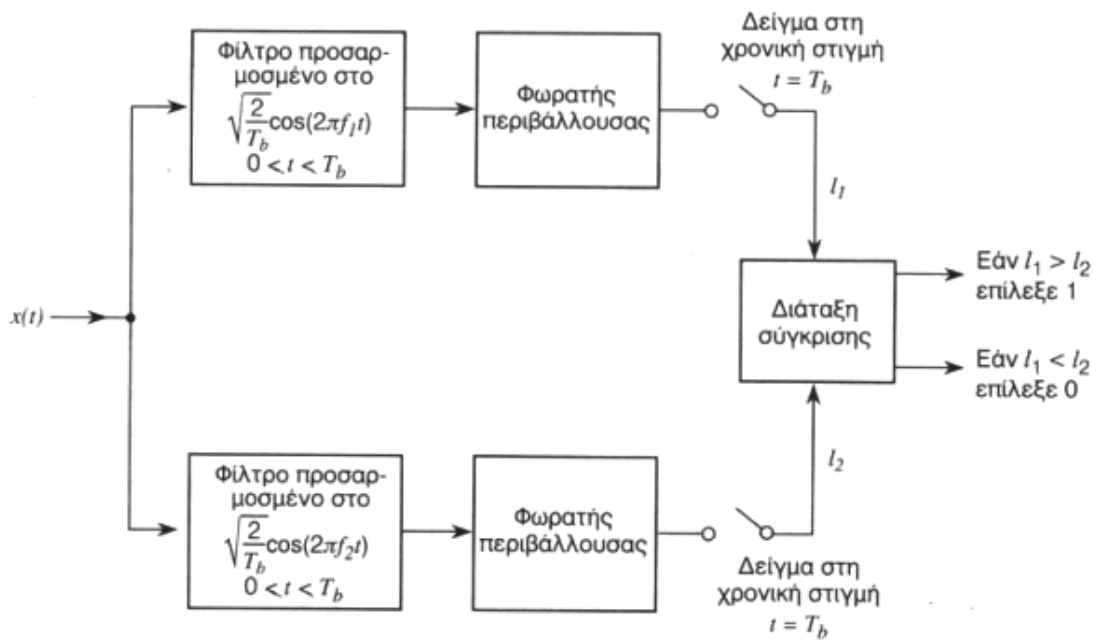
$$s_i(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t), & 0 \leq t \leq T_b \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases}$$

Όπου E_b είναι η ενέργεια του μεταδιδόμενου σήματος ανα bit.

Η δυαδική ακολουθία εισόδου παρουσιάζεται με το σύμβολο 1 για $0 < t < T_b$ και 0 αλλού.



Δομικό διάγραμμα για (α) δυαδικό πομπό FSK και ομόδουνο δυαδικό δέκτη FSK



Μη ομόδουνος δέκτης για τη φώραση δυαδικών σημάτων FSK.

Σύμφωνα με το πιο κάτω λειτουργικό διάγραμμα η προς μετάδοση πληροφορία, είτε απευθείας σε ψηφιακή μορφή, είτε κατόπιν μετατροπής από αναλογική σε ψηφιακή μορφή διοχετεύεται υπό τη μορφή δυαδικών συνήθως ψηφίων στον κωδικοποιητή. Ο κωδικοποιητής από την ακολουθία δυαδικών ψηφίων.

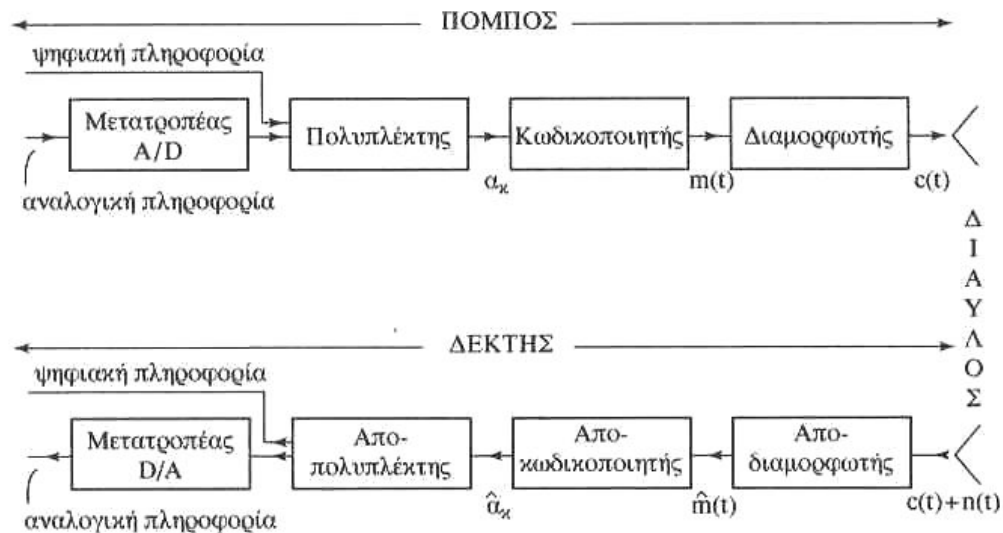
$$\{\alpha_k\} = \{\dots, \alpha_{-2}, \alpha_{-1}, \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots\} \alpha_k = \pm 1$$

δημιουργεί το σήμα βασικής ζώνης

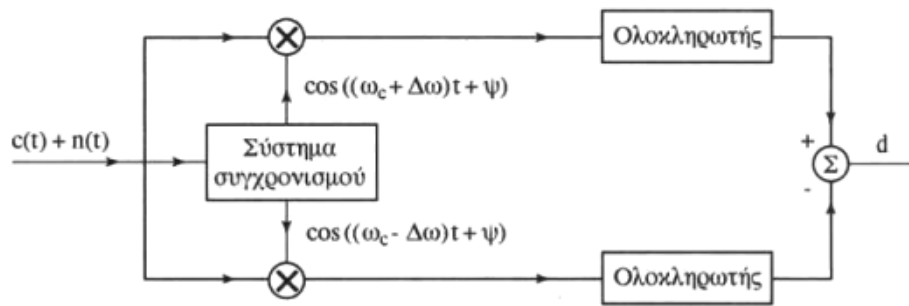
$$m(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \alpha_k p(t - kT)$$

όπου $p(t)$ είναι ο μορφοποιητικός παλμός και T η διάρκεια ψηφίου. Συνήθως ο παλμός $p(t)$ είναι και αυτός διάρκειας T , ενώ, προκειμένου για δυαδικά ψηφία, η διάρκειά τους σχετίζεται προς το ρυθμό μετάδοσης ψηφίων με τη σχέση $T=1/R$

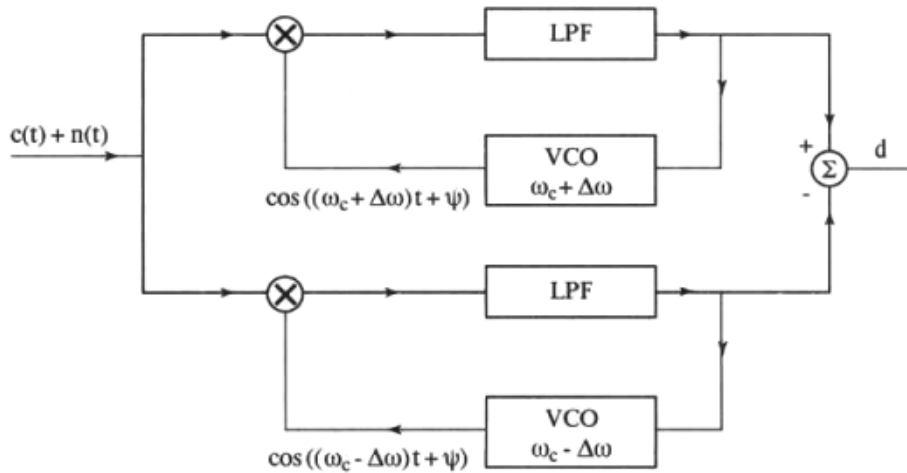
Στη συνέχεια το σήμα βασικής ζώνης $m(t)$ διαμορφώνει μέσω του διαμορφωτή ένα υψίσυχο φέρον. Η διαμόρφωση για τη δημιουργία του σήματος RF είναι σχεδόν πάντα γωνιακή διαμόρφωση, δηλαδή FM ή PM.



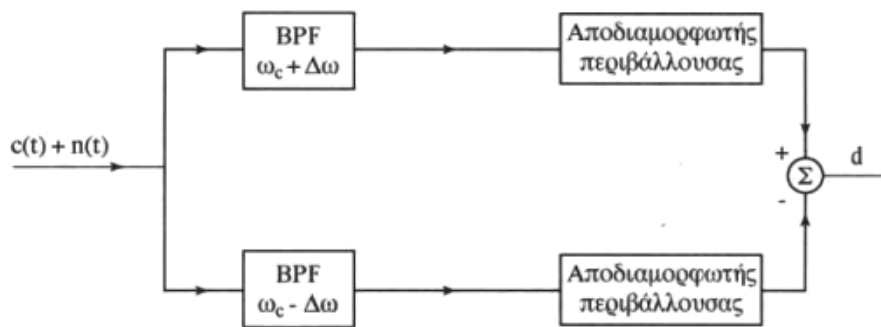
Λειτουργικό διάγραμμα ψηφιακού τηλεπικοινωνιακού συστήματος.



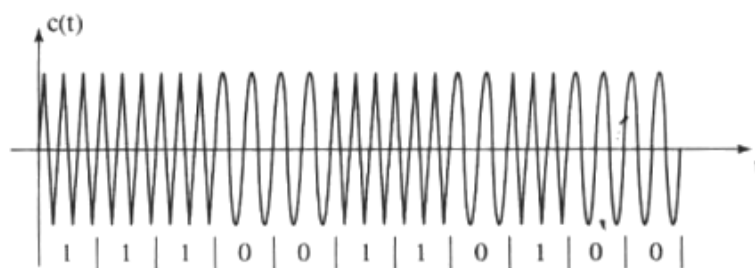
Χρονικός συσχετιστής για σήματα FSK.



Σύμφωνος αποκωδικοποιητής FSK.



Μη σύμφωνος αποκωδικοποιητής FSK.



Μορφή του σήματος FSK.

Στη μετάδοση ψηφιακών σημάτων ο πομπός FSK εκπέμπει δυο συχνότητες μια για τη στάθμη 1 του ψηφιακού παλμού και μια μικρότερη για τη στάθμη 0 του παλμού. Στη ψηφιακή μετάδοση ο ρυθμός αύξησης των δεδομένων την είσοδο του διαμορφωτή ονομάζεται ταχύτητα μετάδοσης (bit rate) και μετράται σε bps (bit per second).

Ο ρυθμός μεταβολών στην έξοδο του διαμορφωτή ονομάζεται ταχύτητα διαμόρφωσης (baud rate) και μετράται σε baud και μας δίνει τον αριθμό των μεταβολών (διαμορφώσεων) του σήματος σε κάθε δευτερόλεπτο.

Ο πομπός FSK μπορεί να είναι αναλογικός ή ψηφιακός. Ο αναλογικός βασίζεται σε έναν ταλαντωτή, ελεγχόμενο από τάση VCO (voltage controlled oscillator), του οποίου η συχνότητα ελεύθερης ταλάντωσης είναι μεταξύ των συχνοτήτων f_1 και f_0 . (f_1 όταν το bit εισόδου είναι 1 και f_0 όταν είναι 0). Στους ψηφιακούς πομπούς ένα διακοπτικό κύκλωμα ελεγχόμενο από τα δεδομένα εισόδου, μετάγει μεταξύ δύο ψηφιακών κυματομορφών με συχνότητες f_1 και f_0 . Στη συνέχεια το σήμα φιλτράρεται από κατωδιαβατά φίλτρα ώστε να αποκτήσει ημιτονική μορφή πριν οδηγηθεί στην έξοδο.

Στα επικοινωνιακά συστήματα το απαιτούμενο bandwidth και η ελαχιστο-ποίησή του είναι ένα από τα σοβαρότερα θέματα. Καθώς η FSK είναι παραλλαγή της FM, η ανάλυσή της βασίζεται στη μαθηματική ανάλυση της FM. Εδώ σαν απόκλιση συχνότητας έχουμε τη $\Delta f = (f_1 - f_0)/2$ και το διαμορφώνον σήμα έχει βασική συχνότητα $f = f_{BR}/2$, όπου f_{BR} είναι το bit rate των δεδομένων εισόδου.

Σαν παρατήρηση αναφέρουμε ότι στη χειρότερη περίπτωση που τα δεδομένα αποτελούνται από συνεχείς εναλλαγές bit 1 και 0, η βασική συχνότητα του σήματος των δεδομένων f_1 είναι το 1/2 του bit rate.

Κωδικοποίηση MFSK (πολυσταθμική FSK)

Κατά την κωδικοποίηση MFSK λέξεις k ψηφίων αντιστοιχίζονται σε μία συχνότητα που επιλέγεται μεταξύ $M = 2k$ διαφορετικών τιμών. Οι συχνότητες αυτές πρέπει να είναι διαχωρισμένες μεταξύ τους τουλάχιστον κατά $2/T_w$ Hz, όπου T_w η διάρκεια αποστολής μιας λέξης.

Η αποκωδικοποίηση γίνεται συνήθως κατά μη σύμφωνο τρόπο ως επέκταση της αντίστοιχης κωδικοποίησης FSK με χρήση κατάλληλων φίλτρων.

3.7 Ψηφιακή απόδοση διαύλου

Λόγω της συνεχούς ανάπτυξης των τηλεπικοινωνιών εμφανίζεται μία ολοένα αυξανόμενη στενότητα στο διατιθέμενο εύρος ζώνης. Για το λόγο αυτό προτιμώνται οι τεχνικές διαμόρφωσης που επιτυγχάνουν την πλέον αποδοτική χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης που διατίθεται σε μία εφαρμογή. Η ψηφιακή απόδοση ενός διαύλου σε κάποιο σχήμα κωδικοποίησης εκφράζει ποσοτικά το πόσο αποδοτικά χρησιμοποιείται το διατιθέμενο εύρος ζώνης συχνοτήτων και ορίζεται ως ο λόγος $n=R/B_{RF}$ bps/Hz.

Όπου R είναι ο ρυθμός μετάδοσης των ψηφιακών δεδομένων και B_{RF} το εύρος ζώνης ραδιοσυχνοτήτων που καταλαμβάνει το τελικό φέρον σήμα. Με βάση τη σχέση $E = Pc/R$ (όπου Pc η ισχύς του φέροντος σήματος) είναι δυνατόν να ενσωματωθεί στη πιο πάνω σχέση η παράμετρος E/n_0 από την οποία εξαρτάται η αξιοπιστία. Σημειώνεται ότι E είναι η ενέργεια του ψηφίου (1 ή 0) και n_0 είναι η μονόπλευρη φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου στην είσοδο του αποκωδικοποιητή.

Έτσι η ψηφιακή απόδοση είναι δυνατόν να εκφρασθεί συναρτήσει της παραμέτρου E/n_0 και της ισχύος του φέροντος σήματος Pc μέσω της σχέσης

$$n=Pc/n_0B_{RF}*(n_0/E)$$

Από τη πιο πάνω σχέση γίνεται φανερό ότι για να αυξηθεί η ψηφιακή απόδοση ενός διαύλου για δεδομένη πιθανότητα λάθους πρέπει να αυξηθεί η ισχύς του φέροντος σήματος. Στην αποδοτική χρήση της διατιθέμενης ισχύος για αύξηση της ψηφιακής απόδοσης επικεντρώνεται η σχεδίαση ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος

Στην περίπτωση κωδικοποίησης MFSK που είναι πολυσταθμική FSK η ψηφιακή απόδοση προκύπτει $n=\log_2 M/2M$ bps/Hz.

Από την ανωτέρω σχέση γίνεται φανερή η μείωση της ψηφιακής απόδοσης με την αύξηση του πλήθους των σταθμών της κωδικοποίησης. Χαρακτηριστική εξάλλου είναι η μείωση της ψηφιακής απόδοσης όταν χρησιμοποιούνται κώδικες για διόρθωση λαθών. Στην περίπτωση αυτή για τη βελτίωση της

αξιοπιστίας εκτός από τα ψηφία πληροφορίας μεταδίδονται και πλεονάζοντα ψηφία που, εκτός από τη διορθωτική δυνατότητα που παρέχουν, μειώνουν την ψηφιακή απόδοση.

Μία ιδιαίτερη σημαντική παράμετρος ενός διαύλου είναι η χωρητικότητα που ορίζεται ως η οριακή τιμή ρυθμού μεταδοσης δεδομένων που μπορεί να επιτευχθεί. Το θεώρημα του Shannon προβλέπει ότι, εφόσον ο ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας σε ένα τηλεπικοινωνιακό δίαυλο δεν υπερβαίνει τη χωρητικότητά του, υπάρχει τεχνική κωδικοποίησης που καθιστά οσοδήποτε μικρή την πιθανότητα λάθους. Ένα πολύ καλό τρόπο σύγκρισης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων προσφέρει το θεώρημα Hartley και Shannon. Σύμφωνα με αυτό, η χωρητικότητα C ενός διαύλου δίνεται από τη σχέση

$$C = B \log_2(1 + S/N) \text{ bits/sec}$$

όπου B είναι το εύρος ζώνης συχνοτήτων του διαύλου και S/N η ενεργός τιμή του σηματοθορυβικού λόγου. Αν και η ανωτέρω σχέση περιορίζεται στην περίπτωση λευκού θορύβου τύπου Gauss, εφαρμόζεται ευρέως, αφού ο θόρυβος των περισσοτέρων διαύλων προσεγγίζεται ικανοποιητικά από θόρυβο τύπου Gauss. Από την πιο πάνω σχέση υπολογίζεται η μέγιστη δυνατή ψηφιακή απόδοση ενός διαύλου, αφού σε κάθε περίπτωση πρέπει $R \leq C$. Επομένως

$$n \leq \log_2(1 + S/N) \text{ bps/Hz}$$

ανεξάρτητα από το σχήμα κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται. Κάθε προσπάθεια βελτίωσης της ψηφιακής απόδοσης υπό τον πιο πάνω περιορισμό οδηγεί σε σχήματα αυξημένης πολυπλοκότητας ή σε εκπομπή μεγαλύτερης ισχύος.

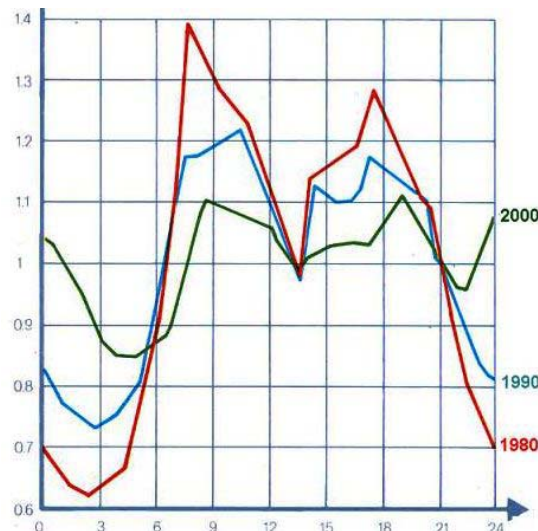
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ RIPPLE CONTROL ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ PULSADIS

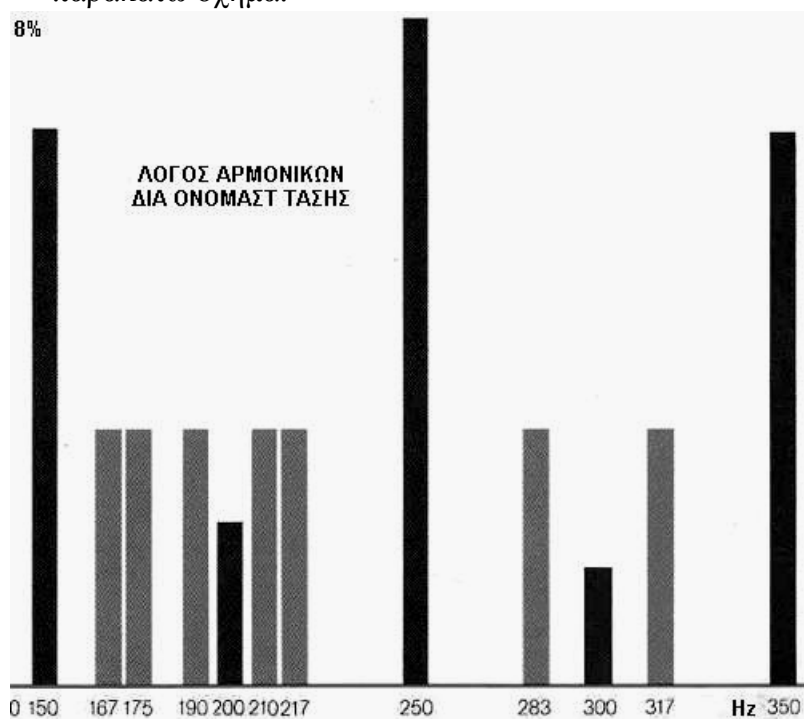
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τεχνολογία ripple control εφαρμόζεται στα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και διευκολύνει, τον κεντρικό έλεγχο αρκετών χιλιάδων δεκτών που είναι τοποθετημένοι δίπλα στους μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας των καταναλωτών και στοχεύουν στην οικονομικότερη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας.(Αλλαγή ταρίφας χρέωσης νυχτερινού τιμολογίου)

Χρησιμοποιείται το σύστημα κωδικοποίησης Pulsadis σε χαμηλές συχνότητες μεταξύ 167 Hz και 340 Hz , το οποίο εγχύεται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας των 50 Hz μέσω μετασχηματιστών εγχύσεως στους ζυγούς των 20KV.Προσφέρει το πλεονέκτημα της εξομάλυνσης της ημερήσιας καμπύλης καταναλώσεως ηλεκτρικής ενέργειας μέσω κεντρικού ελέγχου από τα Κέντρα Κατανομής φορτίου των υποσταθμών 150KV/20KV.Η διαχείριση φορτίου επιτρέπει την αποφυγή εμφάνισης αιχμών ζήτησεως φορτίου.Αυτό το χαρακτηριστικό είχε ιδιαίτερη σημασία όχι μόνο για την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας αλλά πολύ περισσότερο για την ευστάθεια του συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και αποτρέπει τον κίνδυνο κατάρρευσης αυτού σε περιπτώσεις αυξημένης ζήτησης φορτίου.Το συγκριτικό αυτό όφελος της πρακτικής εφαρμογής του Ripple Control φαίνεται από την εξομάλυνση που επήλθε στην τυπική ημερήσια καμπύλη ζήτησης φορτίου των ετών 1980,1990 και 2000 που παρουσιάζεται στο πιο κάτω διάγραμμα.



Το σύστημα Pulsadis είναι ένα κεντρικό σύστημα τηλεχειρισμών χωρίς πρόσθετα καλώδια ελέγχου. Χρησιμοποιούνται τα καλώδια διανομής ηλεκτρικής ενέργειας 50Hz. Στην συχνότητα αυτή υπερτίθεται η παλμοσειρά του σήματος ελέγχου που έχει συχνότητα μεταξύ 167Hz έως 340Hz. Για την αποφυγή των αρμονικών των 50Hz και ειδικότερα της 3^{ης}, 5^{ης} και 7^{ης} αρμονικής χρησιμοποιούνται οι συχνότητες που παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΩΔΙΚΑ PULSADIS

Τα σήματα εκπέμπονται σε μορφή παλμών. Κάθε σήμα αναγνωρίζεται με βάση τον χρόνο διακοπής μεταξύ 2 παλμών στην συχνότητα εκπομπής. Ο πρώτος παλμός ονομάζεται παλμός εκκινήσεως και ακολουθούν ένας ή περισσότεροι παλμοί εκτέλεσης. Οι δέκτες των σημάτων συνεργάζονται με ένα ενεργό φίλτρο επιλογής συχνοτήτων και ένα αποκωδικοποιητή.

Το πλάτος του παλμού εκκινήσεως ελέγχεται από ένα μικροεπεξεργαστή που το συγκρίνει με μια προγραμματισμένη τιμή. Αν ο έλεγχος του πλάτους προκύψει αποδεκτός τότε ο επεξεργαστής αρχίζει τη αποκωδικοποίηση του σήματος. Οι παλμοί που επακολουθούν ελέγχονται ως προς την χρονική διάρκεια τους και την χρονική απόσταση μεταξύ τους.

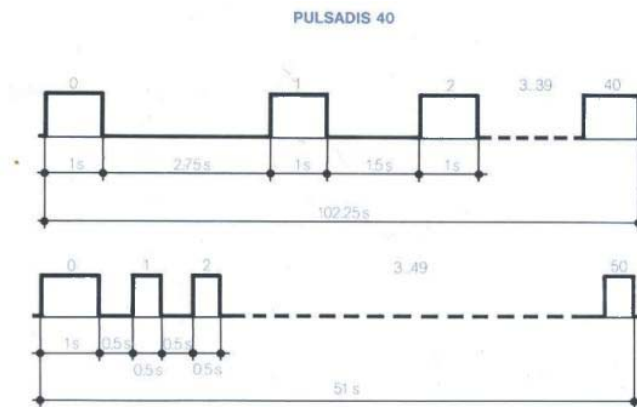
Μετά την λήψη κάθε παλμοσειράς ο επεξεργαστής συγκρίνει το περιεχόμενο της εκπομπής με τον αποθηκευμένο κώδικα λειτουργίας. Αρα οι κώδικες που χρησιμοποιούνται είναι κώδικες χρονικής διακοπής οι οποίοι καθορίζονται από τα εξής χαρακτηριστικά:

α) ο αριθμός των παλμών

β) η χρονική τους διάρκεια

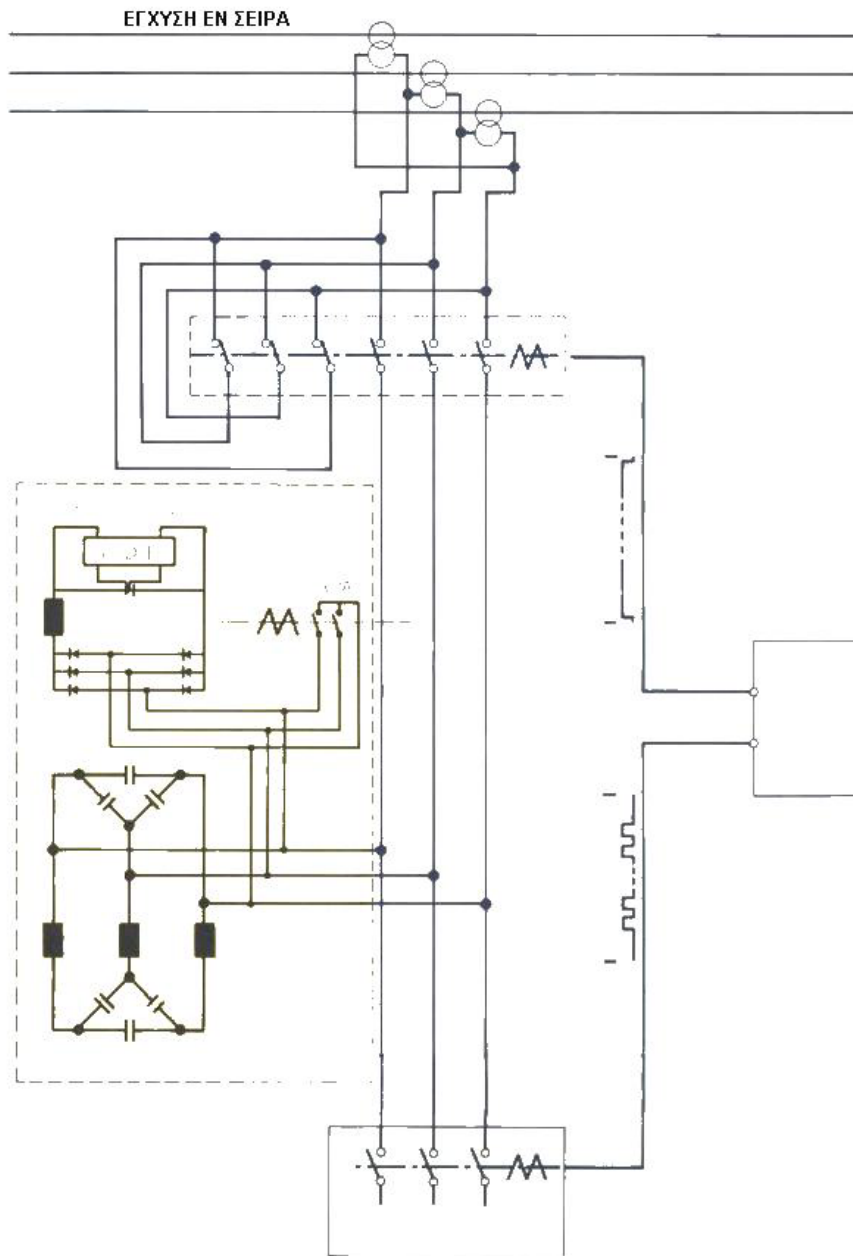
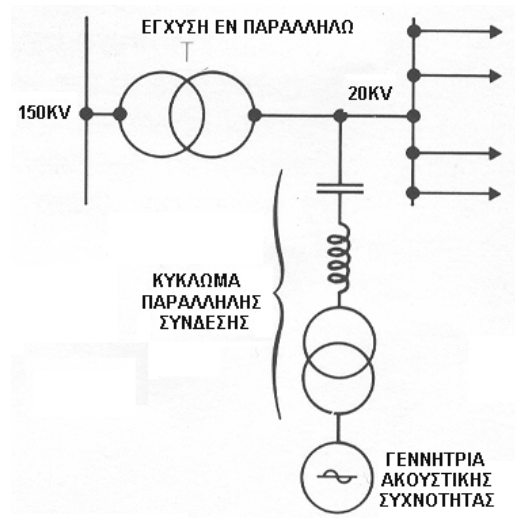
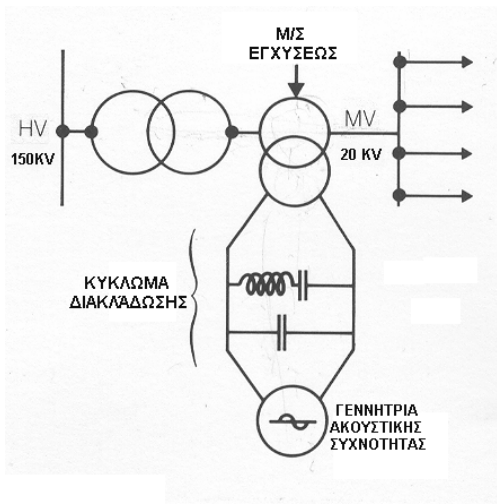
γ) η διάρκεια των χρονικών διακοπών μεταξύ των διαδοχικών παλμών

Στην αρχική μορφή του ο κώδικας Pulsadis περιείχε μόνο 40 εντολές που αργότερα αυξήθηκαν. Στο πιο κάτω σχήμα φαίνεται η δομή μιας παλμοσειράς 40 εντολών και μιας των 50. Σήμερα μπορούμε να δημιουργήσουμε χιλιάδες συνδυασμούς εντολών διαφοροποιώντας τα χρονικά διαστήματα μεταξύ δυο διαδοχικών παλμών. Υπάρχει όμως η ανάγκη να αποθηκευτεί στην μνήμη κάθε επεξεργαστή η αλληλοσυσχέτιση παλμοσειράς και επιθυμητής λειτουργίας για υλοποίηση. Στοιχείο αρκετά σημαντικό γιατί ικανοποιεί τις απαιτούμενες προδιαγραφές για την επέκταση του κώδικα αυτού σε μελλοντικές εφαρμογές όπως αυτή του <<έξυπνου σπιτιού>> που στοχεύει στην δημιουργία ενός εσωτερικού δικτύου επικοινωνίας μεταξύ των βασικών ηλεκτρικών συσκευών που εμπεριέχονται σε ένα σπίτι. Το θέμα αυτό θα αναπτυχθεί εκτενέστερα σε παρακάτω κεφάλαιο.

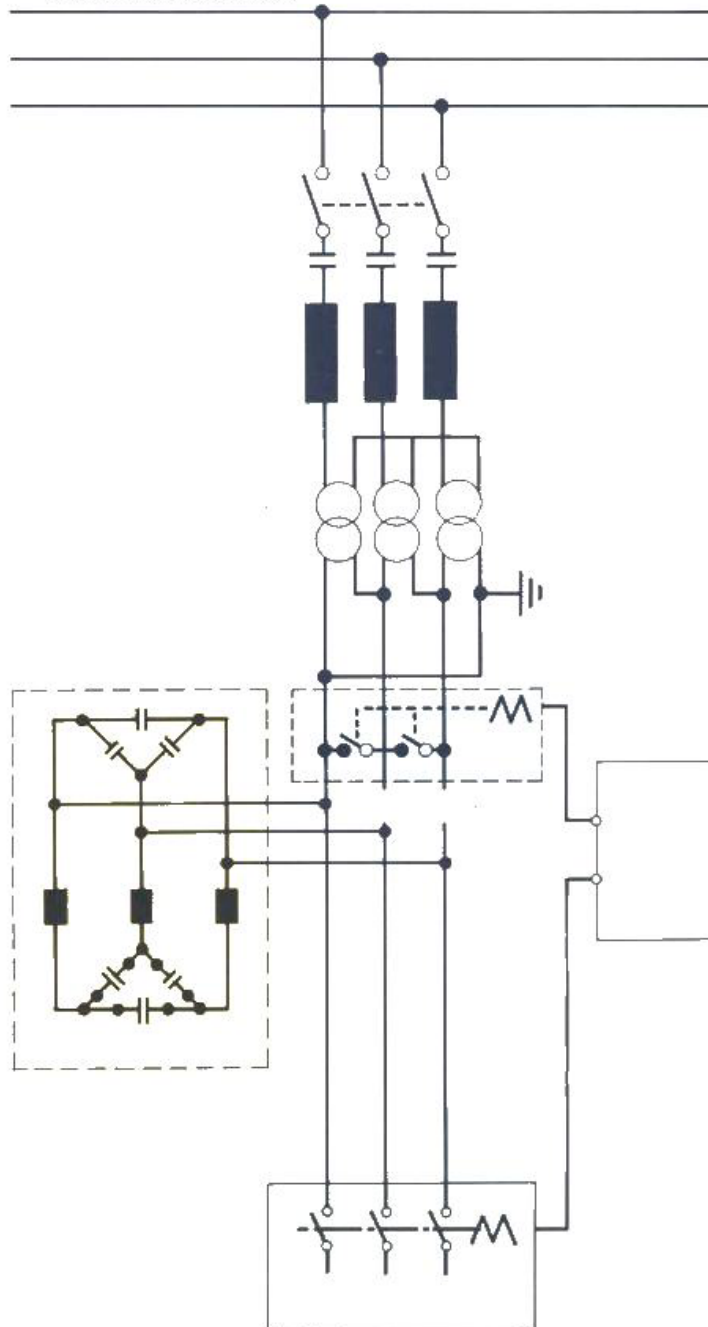


4.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΓΧΥΣΕΩΣ

Η έγχυση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας των 50 Hz μέσω μετασχηματιστών εγχύσεως στους ζυγούς των 20KV γίνεται είτε εν σειρά είτε εν παραλλήλω με τη χρήση κατάλληλων χωρητικοτήτων και επαγωγικών πηνίων όπως φάνεται στα πιο κάτω σχήματα.



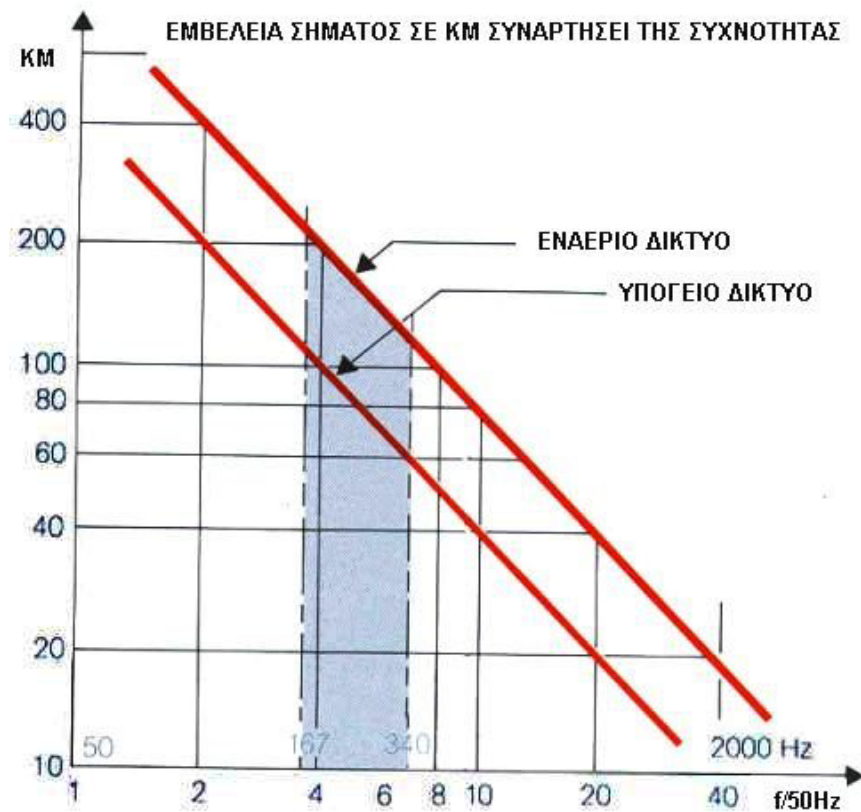
ΕΓΧΥΣΗ ΕΝ ΠΑΡΑΛΛΗΛΩ



4.4 ΕΜΒΕΛΕΙΑ ΣΗΜΑΤΟΣ

Η εμβέλεια του σήματος εξαρτάται από την συχνότητα εκπομπής. Και αυτό διότι υπάρχει το φαινόμενο συντονισμού στο ένα τέταρτο του μήκους κύματος. Θεωρητικά για συχνότητα εκπομπής 175Hz σε εναέριες γραμμές 20KV η εμβέλεια είναι 400 χιλιόμετρα για πλήρη εξασθένηση του σήματος. Ενώ ικανοποιητικό σήμα έχουμε στα 200 χιλιόμετρα.

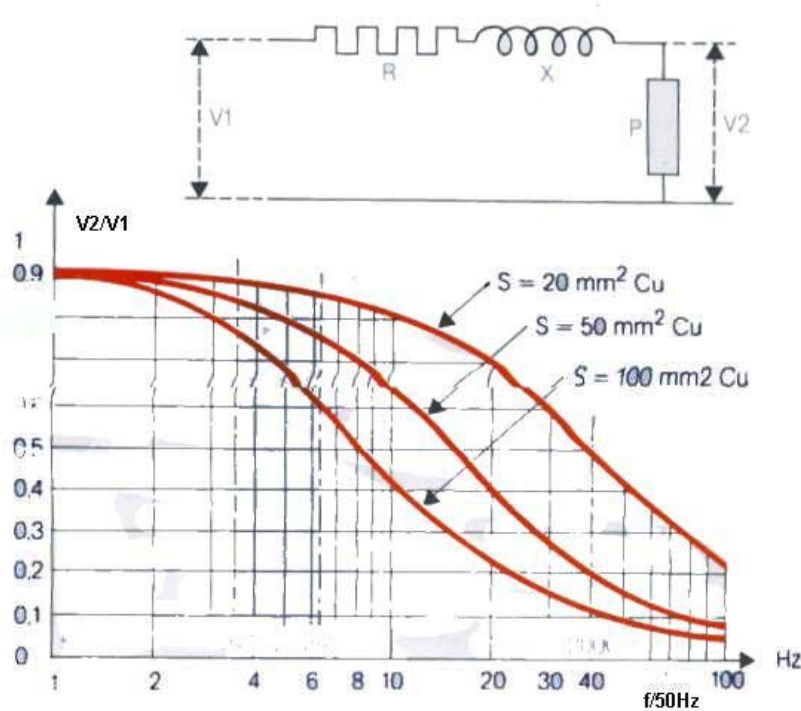
Για συχνότητα εκπομπής 1750Hz ικανοποιητικό σήμα έχουμε στα 20 χιλιόμετρα. Στο πιο κάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η εμβέλεια του σήματος συναρτήσει της συχνότητας εκπομπής.



4.5 ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ

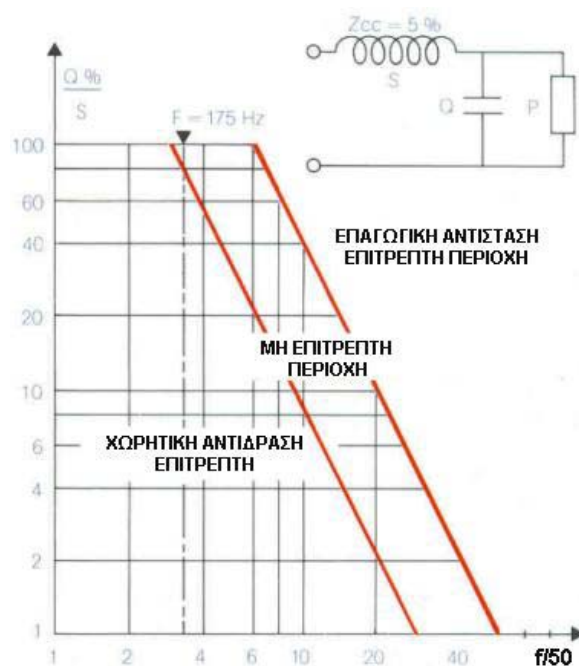
Επίσης έχουμε εξασθένηση του σήματος στους μετασχηματιστές 20KV/400V και στις γραμμές μέσης τάσης 20KV και διανομής 400V ανάλογες της συχνότητας. Ο γενικός κανόνας είναι ότι όσο ψηλότερη είναι η συχνότητα του σήματος τόσο μεγαλύτερη είναι η εξασθένηση αυτού (λόγος V_2/V_1).

Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



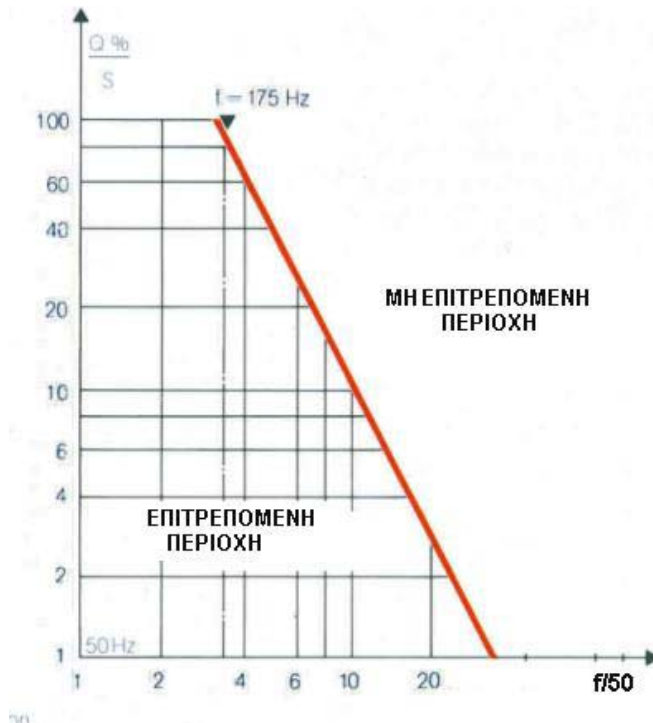
4.6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟΥΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ ΧΩΡΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ

Ως γνωστό στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας εγκαθίστανται πυκνωτές χωρητικής αντιστάθμισης για την βελτίωση του συντελεστού ισχύος ($\cos\phi$) και την αύξηση της ικανότητας φορτίσεως των γραμμών. Αν χρησιμοποιηθεί σήμα ripple control υψηλής συχνότητας επηρεάζεται η χωρητική αντιστάθμιση όπως φαίνεται στα πιο κάτω διαγράμματα. Γιαντό προτιμούνται σήματα χαμηλής συχνότητας.

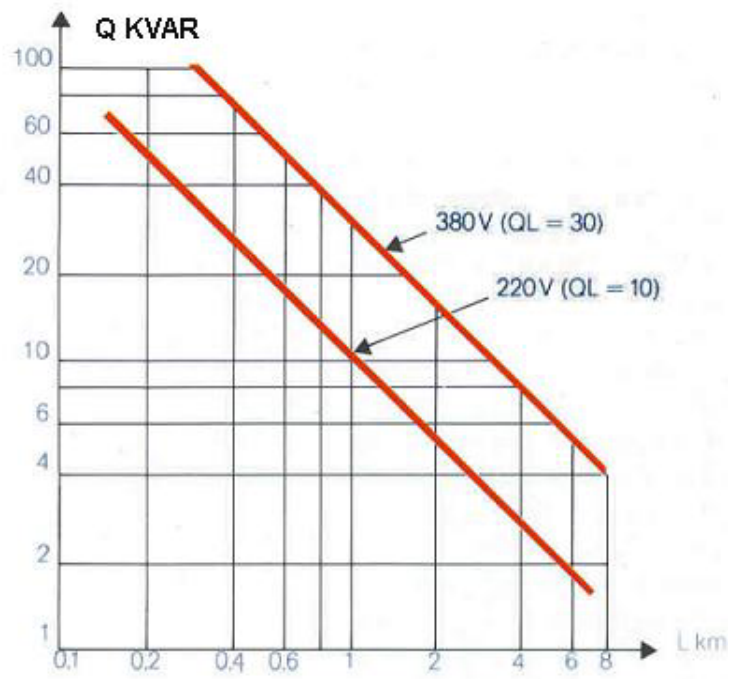


Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται ο λόγος μεγίστης αέργου ισχύος Q δια της φαινομένης ισχύος S πυκνωτών που μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο σε καταναλωτές μέσης τάσεως.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται ο λόγος μεγίστης αέργου ισχύος Q δια της φαινομένης ισχύος S πυκνωτών που μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο στους υποσταθμούς διανομής.



Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η μέγιστη αέργος ισχύς Q μη παρεμποδιζόντων πυκνωτών χαμηλής τάσεως που επιτρέπεται να συνδεθούν στο δίκτυο (όταν η συχνότητα εκπομπής είναι 175 Hz) συναρτήσει του μήκους L (KM) της εναέριας γραμμής μεταξύ της θέσης εγκατάστασης των πυκνωτών και του μετασχηματιστή διανομής 20KV/400V



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ PLC ΚΑΙ PLT ΣΤΗΝ ΤΗΛΕΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

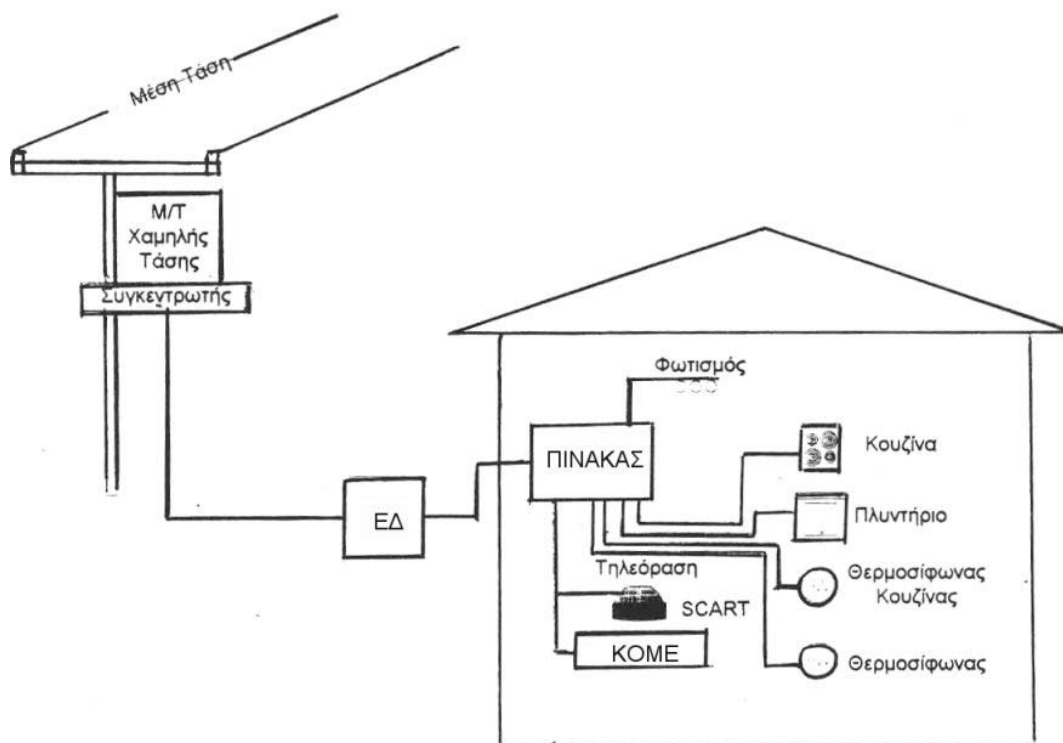
Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας και η ενδεχόμενη ενεργειακή κρίση από την εξάντληση των αποθεμάτων πετρελαίου προβληματίζει τις ηλεκτρικές επιχειρήσεις και καθιστά επιτακτική την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της εφαρμογής πολυζωνικών τιμολογίων χρέωσης της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Δηλαδή υψηλή χρέωση των κιλοβατωρών σε ώρες αιχμής και χαμηλή σε ώρες μη αιχμής.

Η τεχνολογία PLC και PLT θα μπορέσει να βοηθήσει στην τηλεμέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας και στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των <<εξυπνων>> ηλεκτρικών συσκευών των καταναλωτών ώστε να υπάρχει δυνατότητα στον καταναλωτή να μειώσει τον λογαριασμό του προγραμματίζοντας την χρησιμοποίηση των ηλεκτρικών του συσκευών του σε ώρες μειωμένου τιμολογίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι δεν απαιτούνται επιπρόσθετες καλωδιώσεις μέσα στο σπίτι αφού το μέσο επικοινωνίας είναι η υπάρχουσα ηλεκτρική εγκατάσταση του σπιτιού.

Η πληροφορία που αφορά τον πελάτη της επιχείρησης ηλεκτρισμού μεταφέρεται στο σπίτι του μέσα από τις γραμμές χαμηλής τάσης. Η εξωτερική εγκατάσταση του παροχέα ηλεκτροδότησης (ΔΕΗ) περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα ηλεκτρονικά για την μέτρηση της κατανάλωσης σε κάθε μία από τις τιμολογιακές ζώνες που θα καθοριστούν και επιπλέον έχει την δυνατότητα να στείλει αυτές τις πληροφορίες στον οικιακό καταναλωτή μέσω των καλωδίων παροχής ρεύματος (PLC) με βάση το πρωτόκολλο EHS (EUROPEAN HOME SYSTEMS).

Για να γίνει δυνατή η χρήση αυτών των πληροφοριών είναι αναγκαία η ύπαρξη μιας Κεντρικής Οικιακής Μονάδας Ελέγχου (ΚΟΜΕ) που περιλαμβάνει τον Home Manager (HM) και το user interface (UI).

Επιπλέον είναι αναγκαία η ύπαρξη ευφών συσκευών που θα συνεργάζονται με τον HM και θα ελέγχουν την λειτουργία διαφόρων συμβατικών οικιακών συσκευών .



Η σχηματική απεικόνιση αυτού φαίνεται στο παραπάνω σχήμα

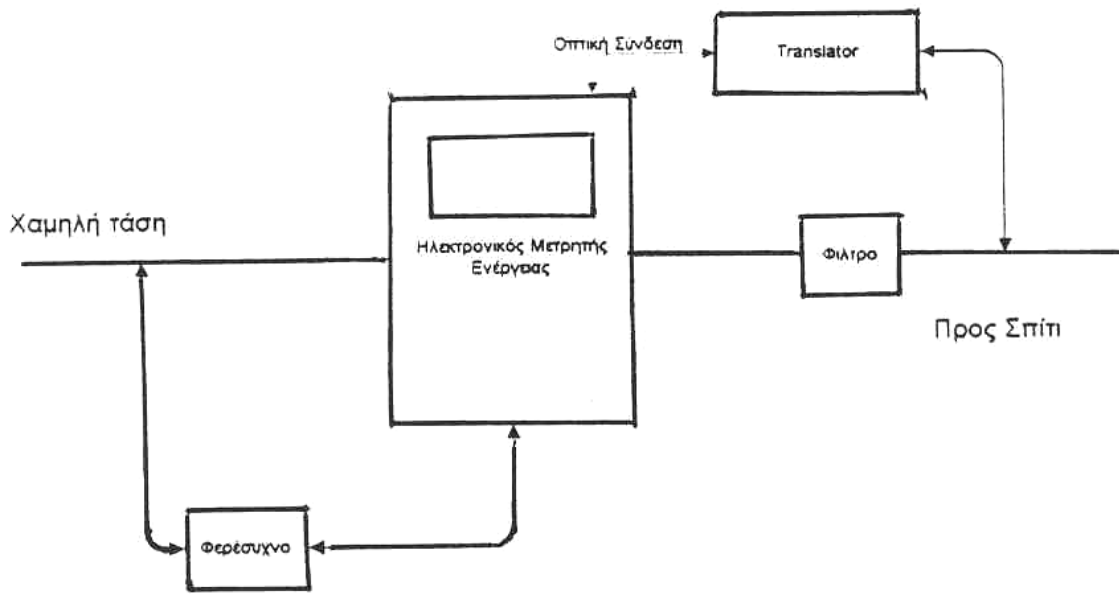
Ο οικιακός καταναλωτής έχει την δυνατότητα να προγραμματίσει τον ΗΜ έτσι ώστε να κάνει χρήση της τιμολογιακής πολιτικής της εταιρίας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας και επιπλέον να καθορίσει αυτοματοποιημένες διαδικασίες που ανεβάζουν την ποιότητα ζωής και φροντίζουν την ασφάλεια του σπιτιού από ατυχήματα ή από διάρρηξη.

Το μεγάλο πλεονέκτημα του PL-EHS είναι το γεγονός ότι η εγκατάσταση του δεν απαιτεί πολυέξοδες αρχικές διαδικασίες, αφού το μέσο επικοινωνίας είναι οι γραμμές μεταφοράς ισχύος που ήδη υπάρχουν .

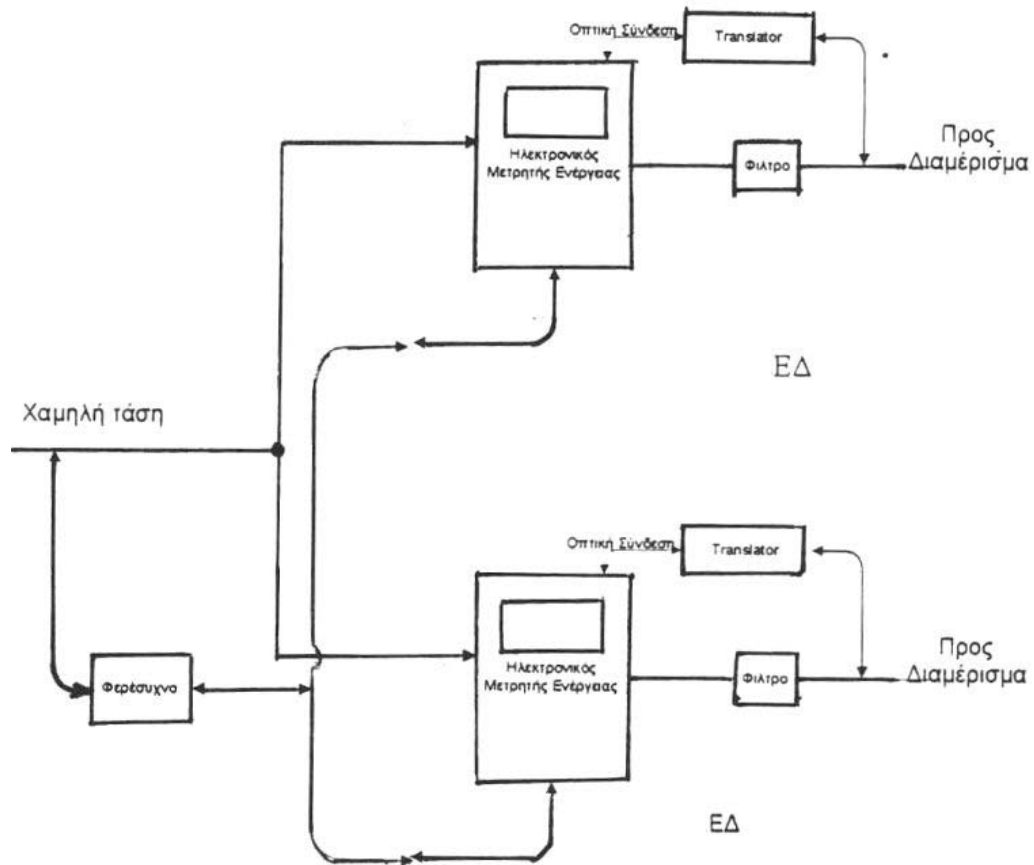
Η εξωτερική εγκατάσταση της ΔΕΗ .

Η Εξωτερική Εγκατάσταση της ΔΕΗ (ΕΔ) αποτελείται από Τα εξής:

- Το Φερέσυχο ή αλλιώς POWER LINE MODEM (PLM)
- Τον Ηλεκτρονικό μετρητή ενέργειας ΗΜΕ
- Τον Translator T
- και το κατωδιαβατό φίλτρο F.



Το πάνω σχήμα δείχνει την απαιτούμενη εγκατάσταση σε μια μονοκατοικία
 Παρακάτω παρατίθεται η αντίστοιχη εγκατάσταση σε μια πολυκατοικία.

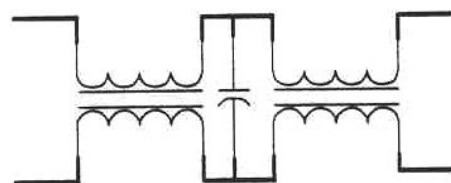


Το Φερέσυχο PLM αναλαμβάνει την μετατροπή του σήματος που έρχεται από τον συγκεντρωτή (DATA CONCENTRATOR CD) από FSK σε ASK. Το Φερέσυχο PLM έχει την δυνατότητα να επικοινωνήσει με περισσότερους από έναν Ηλεκτρονικούς μετρητές ενέργειας HME όπως σε συνδέσεις πολυκατοικιών που υπάρχει μόνο ένα Φερέσυχο PLM που εξυπηρετεί όλους τους Ηλεκτρονικούς μετρητές.

Ο HME μετρά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και χρεώνει τους πελάτες της ΔΕΗ. Επιπλέον επικοινωνεί με τον Συγκεντρωτή και ανταλλάσσει πληροφορίες που αφορούν στις τιμολογιακές ζώνες και σε διάφορες άλλες πληροφορίες όπως ή τρέχουσα ένδειξη σε κάθε ζώνη, στατιστικά στοιχεία για την κατανάλωση ενέργειας, ή ακόμη και πληροφορίες που παρέχονται σαν επιπλέον υπηρεσίες από την ΔΕΗ στους πελάτες της.

Τέτοιες πληροφορίες μπορεί να είναι διάφορα σήματα συναγερμού που μεταδίδονται από τον Home Manager (HM) (πχ. Φωτιά , Διάρρηξη, Επείγουσα Νοσοκομειακή υποστήριξη, ή ακόμη και η κλήση TAXI).

Το φίλτρο κρίνεται αναγκαίο για την απομόνωση του σήματος του Συγκεντρωτή από αυτό του Home Manager (HM). Επιπλέον βοηθά στην απομόνωση των ηλεκτρικών θορύβων που παράγονται στο σπίτι και επηρεάζουν τις επικοινωνίες μεταξύ του ηλεκτρονικού μετρητή HME και Συγκεντρωτή. Τέλος το φίλτρο απομονώνει πληροφοριακά τις διαφορετικές οικιακές εγκαταστάσεις που βρίσκονται κοντά όπως στην περίπτωση της πολυκατοικίας.



Κατωδιαβατό Φίλτρο για μονοφασικές συνδέσεις

Ο Translator μεταδίδει τις πληροφορίες που αφορούν στον HME και στην τιμολογιακή χρέωση της ΔΕΗ στον Home Manager (HM). Ο Home Manager έχει την δυνατότητα να δώσει στατιστικές πληροφορίες που αφορούν στην χρήση των φορτίων που ελέγχει και επιπλέον έχει την δυνατότητα να στείλει

πληροφορίες έκτακτης ανάγκης ή πληροφορίες που αφορούν στις επιπλέον υπηρεσίες που η ΔΕΗ μπορεί να παρέχει.

Κεντρική Οικιακή Μονάδα Ελέγχου (KOME)

Η Κεντρική Οικιακή Μονάδα Ελέγχου (KOME) είναι η συσκευή που ενσωματώνει τον Home Manager και το User Interface. Η KOME στον ρόλο του σαν Home Manager είναι υπεύθυνη για την διαχείριση των συσκευών του σπιτιού με βάση το EHS πρωτόκολλο και την εφαρμογή που ανταποκρίνεται στις ανάγκες του και συνήθειες του πελάτη. Η Κεντρική Οικιακή Μονάδα Ελέγχου στον ρόλο του σαν user interface δίνει την δυνατότητα στον οικιακό καταναλωτή να καθορίσει τις παραμέτρους έλεγχου των ευφών συσκευών .

Φυσική περιγραφή της KOME

Η Κεντρική Οικιακή Μονάδα Ελέγχου είναι μία συσκευή που συνδέεται με την τηλεόραση του σπιτιού είτε μέσω του SCART κονέκτορα είτε μέσω της κεραίας της τηλεόρασης. Επιπλέον υποστηρίζει την επικοινωνία με ένα τηλεκοντρόλ μέσω του οποίου ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ελέγξει τις ευφείς συσκευές του σπιτιού, να παρακολουθήσει εισερχόμενες πληροφορίες και να στείλει μηνύματα προς τα έξω. Η KOME τροφοδοτείται από το ένα κοινό ρευματοδότη (π.χ. αυτόν που τροφοδοτεί και την τηλεόραση) και συγχρόνως μέσω του ίδιου ρευματοδότη επικοινωνεί με τις ευφείς ηλεκτρικές συσκευές με βάση το πρωτόκολλο EHS.

Έλεγχος των Ευφών συσκευών

Η KOME έχει την δυνατότητα να αναγνωρίσει τις ευφείς συσκευές που υπάρχουν σ' ένα σπίτι. Επιπλέον δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει ή να κατασκευάσει ένα σύνολο από κανόνες λειτουργίας στις οποίες πρέπει να υπακούει η κάθε συσκευή. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ελέγξει όλες τις λειτουργικές παραμέτρους των συσκευών και να καθορίσει σενάρια λειτουργίας και συνεργασίας των συσκευών. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα

να ορίσει λογικές ενότητες και να κατατάξει τις συσκευές σε μία ή περισσότερες εξι αυτών.

Επικοινωνία με τον χρήστη

Η ΚΟΜΕ δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να ελέγξει τις ευφυείς συσκευές του σπιτιού. Ο έλεγχος των παραμέτρων γίνεται μέσα από ένα ιεραρχικά δομημένο menu και έχει την δυνατότητα να υποστηρίξει κάθε είδος ευφυούς συσκευής. Το User Interface δίνει επιπλέον την δυνατότητα του καθορισμού λογικών οντοτήτων που αποτελούνται από περισσότερες από μία ευφυείς συσκευές και που σχετίζονται με μία συγκεκριμένη υπηρεσία (πχ Θέρμανση, Φωτισμός δωματίου από ένα σύνολο φωτιστικών, Σύστημα συναγερμού κλπ) .

Η ΚΟΜΕ θα έχει ενδοκτισμένη την δυνατότητα για ανάπτυξη συστήματος (προαιρετικά) σύνδεσης με άλλα περιφερειακά, όπως είναι το modem για σύνδεση με τηλεφωνική γραμμή ή να υποστηρίξει το EHS πρωτόκολλο για twisted pair (TPO).

Επικοινωνία Home Manager (HM) με τον Ηλεκτρονικό μετρητή ενέργειας

Ο HM πρέπει να επικοινωνεί με τον HME ώστε να ανταλλάσσει στοιχεία που είναι χρήσιμα για την πληροφόρηση του οικιακού χρήστη, αλλά και για την διαχείριση των συσκευών που ελέγχει.

Για να γίνει δυνατή η επικοινωνία αυτή θα πρέπει οι πληροφορίες που βρίσκονται στον HME να μεταφερθούν μέσω ενός μεταφραστή και με την χρήση του EHS πρωτοκόλλου.

Ο HM λαμβάνει τις παρακάτω πληροφορίες από τον μετρητή:

- Αριθμός ζωνών χρέωσης
- Τιμή ζώνης. Δηλαδή την τιμή της kWh κάθε ζώνης
- Τρέχουσα ένδειξη μετρητή ζώνης.
- Τελευταία μέτρηση-χρέωση ζώνης.

Είναι η κατανάλωση σε κάθε ζώνη από την τελευταία μέτρηση-χρέωση της ΔΕΗ.

- Το προφίλ της κατανάλωσης του σπιτιού.

Ο ΗΜ αποστέλλει πληροφορίες που σχετίζονται με τα φορτία που διαχειρίζεται στον ΗΛΜΕ.

Αυτές οι πληροφορίες αφορούν για κάθε φορτίο:

- Τον τύπο του φορτίου (Θερμοσίφωνα, Θερμοσυσσωρευτής. ..)
- Τον μέσο εβδομαδιαίο χρόνο χρήσης του φορτίου
- Την ισχύ του φορτίου.
- Πληροφορίες που αφορούν σε άλλες υπηρεσίες που παρέχει η ΔΕΗ.

Το λογισμικό του HOME MANAGER ΗΜ

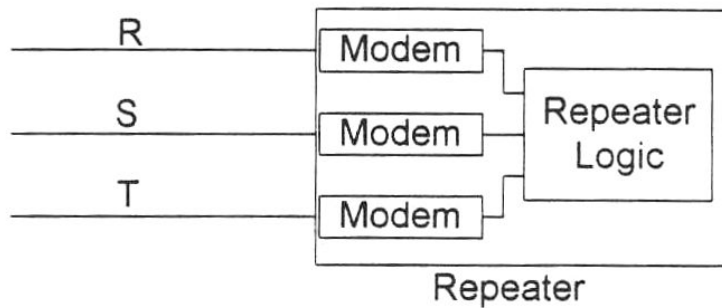
Για να γίνει δυνατή η επεξεργασία όλων αυτών των δεδομένων και γεγονότων που εμφανίζονται με τυχαία σειρά σ' ένα οικιακό δίκτυο είναι απαραίτητο το λογισμικό του ΗΜ να μπορεί να χειριστεί ταυτόχρονα πολλές διαδικασίες (Multi Tasking περιβάλλον). Επιπλέον, είναι προφανές ότι πρέπει να αναπτυχθεί ένα ευέλικτο και ισχυρό User Interface το οποίο να δίνει την δυνατότητα στον χρήστη με απλές μεθόδους να μπορεί να καθορίσει με ακρίβεια πολύπλοκες διεργασίες για κάθε μία συσκευή αλλά ακόμη και συσχετίσεις μεταξύ των συσκευών.

Ο ΗΜ πρέπει να έχει προκατασκευασμένα έτοιμα εικονίδια για την γραφική αναπαράσταση των οικιακών συσκευών και των πιθανών εφαρμογών. Συνεπώς οι απαιτήσεις σε επεξεργαστική ισχύ, χώρο αποθήκευσης και δυνατότητες απεικόνισης στην τηλεόραση είναι ιδιαίτερα αυξημένες.

Εκτιμάται ότι η υπολογιστική ισχύς ενός ισχυρού CPU (πχ 80486) είναι ικανή να αντεπεξέλθει στις αυξημένες ανάγκες του ΗΜ. Το λειτουργικό σύστημα στο οποίο θα βασιστεί ή ανάπτυξη της εφαρμογής πρέπει να δίνει την Multi Tasking ικανότητα και επιπλέον να παραθέτει εύκολη δόμηση πολύπλοκου αλλά ταυτόχρονα και εύχρηστου User Interface σαν αυτό που είναι διαθέσιμο στο περιβάλλον Windows.

Τριφασικές Εγκαταστάσεις

Οι τριφασικές εγκαταστάσεις εξυπηρετούνται από το ίδιο σύστημα που περιγράφηκε παραπάνω και ισχύει για τις μονοφασικές εγκαταστάσεις. Επιπλέον όμως απαιτείται η ύπαρξη ενός repeater που να μεταδίδει τις πληροφορίες και στις τρεις φάσεις.

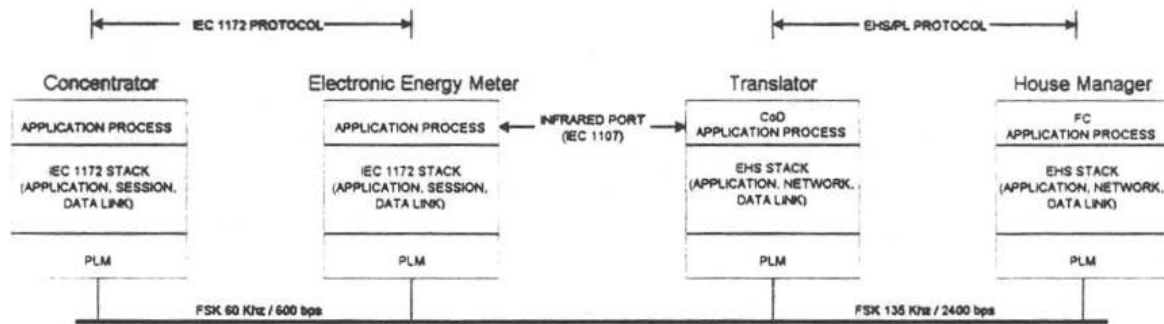


Διάγραμμα του repeater για τριφασικές εγκαταστάσεις

Ο repeater αποτελείται από τρία modems και ένα απλό σύστημα συνδυαστικής λογικής που εξασφαλίζει την αναμετάδοση της πληροφορίας που εμφανίζεται σε μία γραμμή στις άλλες δύο.

Επικοινωνιακή αρχιτεκτονική του συστήματος από άκρο- σε άκρο

.Στο παρακάτω σχήμα δείχνεται η επικοινωνιακή αρχιτεκτονική του συστήματος από άκρο-σε- άκρο. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική περιλαμβάνει το λογισμικό εφαρμογής, τα πρωτόκολλα και τα δίκτυα επικοινωνίας. Συγκεκριμένα, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική εξασφαλίζει τη διαφανή επικοινωνία από το συγκεντρωτή μέχρι το κόμβο διαχείρισης εντός της οικίας. Όπως δείχνεται στο σχήμα περιλαμβάνει δύο μέρη. Το πρώτο σχετίζεται με την επικοινωνία εκτός οικίας και το δεύτερο με την επικοινωνία εντός οικίας.



Επικοινωνία Συγκεντρωτή και Ηλεκτρονικού Μετρητού Ενέργειας

Η εκτός οικίας αρχιτεκτονική υποστηρίζει την επικοινωνία μεταξύ του Συγκεντρωτή και του Ηλεκτρονικού Μετρητή Ενέργειας (ΗΜΕ). Αυτή υλοποιείται σε φυσικό επίπεδο με τη χρήση των γραμμών διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (χαμηλής τάσης) με ταχύτητα μετάδοσης 600bps και σύστημα μετάδοσης FSK 60 KHZ, μέσω modems γραμμών ισχύος. Η επικοινωνία σε υψηλότερο επίπεδο πραγματοποιείται από το πρωτόκολλο IEC 1172, το οποίο υλοποιεί τα επίπεδα εφαρμογής, συνόδου και συνένωσης δεδομένων του μοντέλου αναφοράς OSI.

Η επικοινωνία μεταξύ συγκεντρωτή και ΗΜΕ θα υποστηρίζει υπηρεσίες ανάγνωσης δεδομένων που αφορούν στο προφίλ κατανάλωσης από τον ΗΜΕ και προγραμματισμού ταρίφας σ' αυτόν. Θα μπορούσαν επίσης να αναπτυχθούν νέες υπηρεσίες, όπως επαύξηση των δεδομένων προφίλ φορτίου χρήστη, τηλε-έλεγχος και ίσως μεταφορά στο χρήστη πληροφορίας που ίσως τον ενδιαφέρει.

Επικοινωνία Μεταφραστή και Διαχειριστή Οικίας

Η εντός οικίας αρχιτεκτονική υποστηρίζει την επικοινωνία μεταξύ του Μεταφραστή (translator T) και του Διαχειριστή Οικίας (HM). Αυτή υλοποιείται σε φυσικό επίπεδο με τη χρήση των γραμμών ισχύος οικίας (μετρητής-πίνακας διανομής -γραμμές φορτίων) με ταχύτητα μετάδοσης 2400 bps και σύστημα μετάδοσης FSK 135 KHZ, μέσω modems γραμμών ισχύος.

Η επικοινωνία σε υψηλότερο επίπεδο πραγματοποιείται από το πρωτόκολλο European Home Systems (EHS) προσανατολισμένο σε επικοινωνία γραμμών ισχύος, το οποίο υλοποιεί τα επίπεδα εφαρμογής,

δικτύου και συνένωσης δεδομένων του μοντέλου αναφοράς OSI. Οι διεργασίες εφαρμογής των μονάδων Translator και home manager ακολουθούν το μοντέλο επικοινωνίας κατά EHS, το οποίο καθορίζει την επικοινωνία σε επίπεδο εφαρμογής μεταξύ ενός ελεγκτή (Feature Controller -FC) και μιας διάταξης (Complex Device - CoD).

Από εδώ και στο εξής το σενάριο αυτό θα καλείται FC-CoD. Ο HM παίζει τον ρόλο του FC, λόγω του ότι θα εντολοδοτεί διάφορες συσκευές εντός οικίας (π. χ. ~ θερμοσίφωνα), θα υποστηρίζει πιθανά νέες υπηρεσίες και ακόμη θα διαχειρίζεται το προσαρμοστικό προς το χρήστη (user interface).

Προκειμένου να υποστηρίξει τα συγκεκριμένα επεξεργαστικά έργα, ο HM θα είναι εφοδιασμένος τόσο με αλγορίθμους εφαρμογής (π.χ. διαχείριση φορτίων εντός οικίας και διαχείριση αλληλεπίδρασης με το χρήστη), όσο και με επικοινωνιακούς αλγορίθμους. Οι επικοινωνιακοί αλγόριθμοι θα εξασφαλίζουν την επικοινωνία με τη διάταξη translator, προκειμένου ο HM να αντλήσει όλη τη πληροφορία που αφορά στο ενεργειακό προφίλ της οικίας και το οποίο θα είναι αποθηκευμένο στον HME.

Για το σκοπό αυτό ο HM επικοινωνεί με τη διάταξη translator η οποία με τη σειρά της επικοινωνεί με τον HME (η επικοινωνία αυτή αναλύεται στη συνέχεια). Η διάταξη translator επιδέχεται εντολοδότησης από το HM, δηλαδή εντολές εγγραφής και ανάγνωσης. Η ανάγνωση αφορά στην άντληση δεδομένων από τον HME, ενώ η εγγραφή αφορά στην αποθήκευση δεδομένων στον HME. Λόγω του ότι η διάταξη translator " ελέγχεται" από το HM παίζει το ρόλο του CoD.

Επικοινωνία μεταξύ Μεταφραστή και Ηλεκτρονικού Μετρητή Ενέργειας
Προκειμένου να εξασφαλιστεί δικατευθυντήρια επικοινωνία μεταξύ των διατάξεων translator και HME, θα χρησιμοποιηθεί η οπτική θύρα η οποία είναι διαθέσιμη από μεριάς Ηλεκτρονικού Μετρητή Ενέργειας HME. Η επικοινωνία μέσω της οπτικής θύρας υλοποιεί τη προδιαγραφή IEC 1107.

Σύμφωνα με αυτή σε φυσικό επίπεδο εξασφαλίζεται δι-κατευθυντήρια επικοινωνία, ενώ σε λογικό επίπεδο η επικοινωνία είναι half-duplex. Η επικοινωνία μεταξύ Μεταφραστή και HME εξασφαλίζει τη μεταφορά δεδομένων από τον HME προς την οικία (HM) και αντίστροφα

5.2 ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (ΚΥΣ)

Το ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (ΚΥΣ) θα είναι εγκατεστημένο σε κτίριο της επιχείρησης παροχής ηλεκτρισμού και θα είναι υπεύθυνο για την επίβλεψη και διαχείριση ενός δικτύου που μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε Συγκεντρωτές Δεδομένων (Data Concentrators). Το Κεντρικό υπολογιστικό Σύστημα Διαχείρισης επικοινωνεί με τους Συγκεντρωτές Δεδομένων (CD) .

Κάθε Συγκεντρωτής Δεδομένων είναι τοποθετημένος κοντά στον υποσταθμό διανομής –μετασχηματιστής διανομής 20/0,4KV- και μέσω των γραμμών χαμηλής τάσεως που αναχωρούν από τον υπόψη μετασχηματιστή ελέγχει όλους τους μετρητές που τροφοδοτούνται από τον συγκεκριμένο μετασχηματιστή.

Το ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (ΚΥΣ) θα παρέχει τις παρακάτω λειτουργίες:

- Συλλογή δεδομένων χρέωσης και κατανάλωσης από όλους τους μετρητές που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο
- Συλλογή όλων των συναγεμίων από όλους τους μετρητές και όλους τους συγκεντρωτές που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο
- Παραγωγή στατιστικών αναφορών που αφορούν στη κατανάλωση μεμονωμένων καταναλωτών ή ομάδων καταναλωτών και που θα βασίζονται στα στοιχεία τα οποία έχουν συλλεχθεί από τους μετρητές
- Αποστολή μηνυμάτων που αφορούν είτε στη κατανάλωση μεμονωμένων καταναλωτών είτε γενικού ενδιαφέροντος οπότε και αποστέλλονται σε όλους τους καταναλωτές

Οι προαναφερθείσες λειτουργίες θα υλοποιηθούν μέσα από την αρχιτεκτονική client- server, με το κομμάτι του server υλοποιημένο σε πλατφόρμα με

λειτουργικό σύστημα UNIX το οποίο θα παρέχει την απαραίτητη σταθερότητα και πιστότητα.

Το Κεντρικό Υπολογιστικό Σύστημα θα έχει τη δυνατότητα τηλεπίβλεψης και διαχείρισης των Συγκεντρωτών Δεδομένων και των Μετρητών Ηλεκτρικής Ενέργειας και τη δυνατότητα επεξεργασίας των πληροφοριών για την εξαγωγή στατιστικών δεδομένων για τις περιοχές τηλεπίβλεψης.

Δομή του Συστήματος

Το λογισμικό εφαρμογής θα αποτελείται από τις εξής μονάδες λογισμικού:

- Τη μονάδα επικοινωνίας, όπου θα υλοποιείται το πρωτόκολλο επικοινωνίας. Η μονάδα αυτή αναλαμβάνει την ανταλλαγή των πληροφοριών μεταξύ του Κεντρικού Συστήματος και των Συγκεντρωτών Δεδομένων.
- Τη μονάδα διαχείρισης της βάσης δεδομένων (DBMS), με δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων για 10.000 Μετρητές Ηλεκτρικής Ενέργειας για χρονική διάρκεια ενός έτους. Ο αριθμός των Μετρητών, καθώς και η χρονική διάρκεια αποθήκευσης των δεδομένων τους θα μπορούν να επεκταθούν ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη.
- Τη μονάδα γραφικών για την επικοινωνία με το χρήστη (graphical user interface -GUI), που θα αποτελείται από εικονίδια, πλήκτρα, μπάρες κύλισης, πλαίσια διαλόγου και θα προσφέρει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιβλέπει το δίκτυο των Μετρητών και των Συγκεντρωτών Δεδομένων και επιπλέον να επεξεργάζεται τα δεδομένα τους.

Αναλυτικότερα οι προαναφερθείσες μονάδες λογισμικού θα έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

Μονάδα Επικοινωνίας

Τα τρία βασικά χαρακτηριστικά της μονάδας επικοινωνίας είναι: .

- Η διαδικασία ερώτησης –απόκρισης
- το πρωτόκολλο επικοινωνίας
- και το πακέτο αλληλουχίας της διαδικασίας ερώτησης -απόκρισης.

Φυσική Σύνδεση

Η σύνδεση μεταξύ του Συγκεντρωτή δεδομένων και του Κεντρικού Συστήματος Διαχείρισης θα γίνεται μέσω POWER LINE COMMUNICATION PLC ή συστήματος GSM ή κοινής τηλεφωνικής γραμμής. Στη περίπτωση της κοινής τηλεφωνικής γραμμής το σύστημα θα ανταλλάσσει πακέτα δεδομένων μήκους μέχρι 256 bytes με ταχύτητα έως και 1200 baud.

Μετά την εγκατάσταση ενός Συγκεντρωτή Δεδομένων στο δίκτυο, το Κεντρικό Σύστημα Διαχείρισης θα το προγραμματίζει με τις εξής πληροφορίες:

- Τον Σειριακό Αριθμό Αναγνώρισης κάθε Μετρητή Ηλεκτρικής Ενέργειας που έχει υπό την επίβλεψή του
- τον αριθμό ταριφών , που υπάρχει σε κάθε μετρητή Ηλεκτρικής Ενέργειας
- και το ζεύγος προγραμματισμού για κάθε ταρίφα του Δέκτη Ακουστικής Συχνότητας που περιλαμβάνει ο Μετρητής Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Η αυτόματη λειτουργία αυτή θεωρείται η κύρια λειτουργία του συστήματος. Σκοπός της είναι η επίβλεψη των Μετρητών Ηλεκτρικής Ενέργειας και των Συγκεντρωτών καθώς και η συλλογή των δεδομένων και συναγερμών. Τα προς συλλογή δεδομένα θα αφορούν σε ενδιαφέρουσες παραμέτρους όπως για παράδειγμα, αριθμός ταριφών, χρέωση kWh ανά ταρίφα, τρέχουσα ένδειξη, τελευταία μέτρηση, τρέχουσα ταρίφα. Η συλλογή των δεδομένων χρέωσης και

των συναγερμών θα γίνεται σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα τα οποία θα είναι προγραμματιζόμενα από τον Χρήστη (για παράδειγμα κάθε μία ώρα).

Το δίκτυο των Συγκεντρωτών Δεδομένων θα εμφανίζεται στην οθόνη και θα περιλαμβάνει ένα χάρτη της περιοχής που έχει υπό την επίβλεψη του το σύστημα πάνω στον οποίο ο κάθε Συγκεντρωτής θα εμφανίζεται με ένα εικονίδιο. Επιπλέον θα εμφανίζεται και το όνομα του Συγκεντρωτή δίπλα στο εικονίδιο.

Η επιλογή του Συγκεντρωτή θα εκτελείται με το πάτημα του ποντικιού στο αντίστοιχο εικονίδιο. Όλες οι λειτουργίες, που θα μπορεί να εκτελέσει ο χρήστης και αναφέρονται παραπάνω, θα εμφανίζονται σε αυτή την οθόνη. Η σπουδαιότητα των συναγερμών που περιέχει κάθε Συγκεντρωτής θα χαρακτηρίζεται από το χρώμα του αντίστοιχου εικονιδίου του στο χάρτη της περιοχής που εμφανίζεται στην οθόνη. Ενεργοποιώντας τη λειτουργία ZOOM στο εικονίδιο ενός Συγκεντρωτή, θα μεταφερόμαστε στην Επίβλεψη του Δικτύου των Μετρητών Ηλεκτρικής Ενέργειας.

ΕΠΙΒΛΕΨΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΗΜΕ

Ο χρήστης εδώ θα έχει στη διάθεση του δεδομένα από τους μετρητές τα οποία θα περιέχουν και πληροφορίες από τους ευφυείς κόμβους. Γενικά ο διαχειριστής θα έχει στη διάθεσή του τα εξής :

- Τρέχοντα δεδομένα χρέωσης των Μετρητών Ηλεκτρικής Ενέργειας
- Μηνιαία δεδομένα χρέωσης των Μετρητών Ηλεκτρικής Ενέργειας
- Συναγερμούς των Μετρητών Ηλεκτρικής Ενέργειας
- Δεδομένα κατάστασης των Μετρητών Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ηλεκτρονικός Μετρητής Ενέργειας

Ο ηλεκτρονικός μετρητής ενέργειας είναι μονοφασικός η τριφασικός και θα έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Οθόνη για την ένδειξη των δεδομένων
- Αποθήκευση δεδομένων σε EEPROM κάθε ώρα ή σε περίπτωση διακοπής ισχύος .
- Επικοινωνία για μεταφορά δεδομένων με μονάδα φορητού τερματικού που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο IEC 11 07 .Τοπικό δίαυλο (Local Bus) που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο IEC 1142

Συγκεντρωτής Δεδομένων (CD)

Ο Συγκεντρωτής Δεδομένων είναι η μονάδα που επιβλέπει τους Ηλεκτρονικούς Μετρητές, συλλέγει τα δεδομένα και τους συναγερμούς, τους αποθηκεύει και τα μεταφέρει στον Κεντρικό Σταθμό.

- Ο Συγκεντρωτής Δεδομένων αποτελείται από τις ακόλουθες μονάδες :
τροφοδοτικό τριών φάσεων
- Φερέσυχο χαμηλής τάσης
- Κεντρική μονάδα μικροεπεξεργαστή (CPU)
- Modem τηλεφωνικής γραμμής

Τα βασικά χαρακτηριστικά του συγκεντρωτή είναι:

- Πρωτόκολλο επικοινωνίας με τους μετρητές ενέργειας βασισμένο στο IEC 1142
- Αποθήκευση των δεδομένων χρέωσης και των συναγερμών σε μνήμη EEPROM με ένδειξη του χρόνου που συνέβησαν
- Κρυπτογράφηση δεδομένων σε όλα τα επίπεδα επικοινωνίας

Φερέσυχο χαμηλής τάσης (Power line Modem-PLM)

Το φερέσιγχο χαμηλής τάσης χρησιμοποιείται για επικοινωνία μέσω του υπάρχοντος δικτύου χαμηλής τάσης μεταξύ των Μετρητών Ενέργειας και του Συγκεντρωτή.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι τα εξής :

- Διαμόρφωση FSK για επικοινωνία μέσω του δικτύου χαμηλής τάσης
- Κεντρική συχνότητα λειτουργίας 66.225 kHz
- Ταχύτητα επικοινωνίας δεδομένων 600 bps
- Συμβατότητα με το διεθνές πρότυπο CENELEC EN 500065-1

Σύστημα Διαχείρισης Κεντρικού Υπολογιστή

Το Κεντρικό Σύστημα παρακολουθεί και διαχειρίζεται το δίκτυο των Συγκεντρωτών και των Μετρητών Ενέργειας. Η πληροφορία που συγκεντρώνεται μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία στατιστικών στοιχείων σχετικά με τις περιοχές υπό επίβλεψη.

Το σύστημα είναι UNIX-full graphics windowing. Η εφαρμογή S/W του συστήματος αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Τη Μονάδα Επικοινωνίας που υλοποιεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας. Η Μονάδα είναι υπεύθυνη για την ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ του σταθμού εργασίας και των συγκεντρωτών δεδομένων .
- Το Σύστημα Διαχείρισης Βάσης (Data Base Management System-DBMS) που χειρίζεται την αποθήκευση δεδομένων για τους μετρητές ενέργειας.
- Τη μονάδα Γραφικών Χρήστη. (Graphic User Interface (GUI) που αποτελείται από οθόνες με εικονίδια, κουτιά διαλόγου και scroll bars που παρέχουν στο χρήστη τη δυνατότητα να παρακολουθεί το δίκτυο των συγκεντρωτών και των μετρητών ενέργειας και να χειρίζεται τα δεδομένα από τους μετρητές.

Μονάδα Επικοινωνίας

Τα τρία κύρια χαρακτηριστικά της μονάδας επικοινωνίας είναι :

- Η διαδικασία επικοινωνίας με τους Συγκεντρωτές Δεδομένων που αποτελείται από μία ερώτηση και την αντίστοιχη απάντηση
- Το πρωτόκολλο επικοινωνίας και
- Το αναλυτικό πακέτο επικοινωνίας για τη διαδικασία ερώτησης - απάντησης.

Χαρακτηριστικά συγκεντρωτή δεδομένων

Ο Συγκεντρωτής Δεδομένων (CD) είναι η μονάδα που επιβλέπει τους Ηλεκτρονικούς Μετρητές: συλλέγει τα δεδομένα και τους συναγερμούς τους, τα αποθηκεύει και τα μεταφέρει στον Κεντρικό Υπολογιστικό Σύστημα.

Εκτελεί κρυπτογράφηση δεδομένων σε όλα τα επίπεδα της επικοινωνίας Εκπέμπει την τρέχουσα ταρίφα κάθε μισή ώρα για να επιβεβαιώσει ότι οι Μετρητές χρεώνουν σύμφωνα με το προγραμματισμένο πρόγραμμα που αποφασίζει η ΔΕΗ.

Ο συγκεντρωτής αποτελείται από τις παρακάτω μονάδες :

- Τροφοδοτικό τριών φάσεων
- φερέσυχο χαμηλής τάσης,
- κύρια πλακέτα μικροεπεξεργαστή CPU και
- Modem επικοινωνίας μεταξύ του Συγκεντρωτή και του Κεντρικού Υπολογιστή

Φερέσυχο χαμηλής τάσης(Power Line Modem-PLM)

Το Φερέσυχο χαμηλής τάσης χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μέσω του υπάρχοντος δικτύου χαμηλής τάσης μεταξύ των μετρητών ενέργειας και του Συγκεντρωτή.

Όλοι οι μετρητές συνδέονται με το αντίστοιχο Φερέσυχο χαμηλής τάσης (PLM) το οποίο είναι εγκατεστημένο κοντά στους μετρητές. Η σύνδεση μεταξύ των μετρητών και του PLM πραγματοποιείται με ένα θωρακισμένο καλώδιο το συνολικό μήκος του οποίου θα πρέπει να είναι μικρότερο από 500 μέτρα ενώ οι μετρητές που συνδέονται δεν πρέπει να ξεπερνούν τους 100.

Η μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ του PLM και του Συγκεντρωτή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της γραμμής χαμηλής τάσης και τυπικά κυμαίνεται μεταξύ 300 και 500 μέτρων.

Το PLM λειτουργεί αμφίδρομα και μη ταυτόχρονα (half duplex) και λαμβάνει δεδομένα στην είσοδο χρησιμοποιώντας ψηφιακή διαμόρφωση πλάτους (Amplitude Shift Keying -ASK) και τα μεταδίδει στην γραμμή χαμηλής τάσης χρησιμοποιώντας ψηφιακή διαμόρφωση συχνότητας (Frequency Shift Keying -FSK)

Ένα παρόμοιο PLM περιλαμβάνεται στο Συγκεντρωτή ώστε να είναι δυνατή η επικοινωνία του Συγκεντρωτή με τους μετρητές.

Το φερέσυχο χαμηλής τάσης αποτελείται από τις ακόλουθες μονάδες:

- Τροφοδοτικό
- Μονάδα για επικοινωνία με την πλακέτα της CPU
- Μονάδα για επικοινωνία μέσω της γραμμής χαμηλής τάσης που είναι ένας πομποδέκτης με διαμόρφωση FSK σε κεντρική συχνότητα λειτουργίας 66,225 KHZ συμβατή με το πρότυπο CENELEC EN 50065-1

Το μήκος των πακέτων δεδομένων είναι πάντα μικρότερο από 1,5 sec και έτσι η μετάδοση στη γραμμή χαμηλής τάσης δεν διαρκεί ποτέ περισσότερο από 1,5 sec συνεχόμενα για κάθε PLM, Το PLM σε κατάσταση ηρεμίας είναι σε ετοιμότητα να δεχτεί δεδομένα από τη γραμμή τάσης ή από τη γραμμή επικοινωνίας με την κάρτα CPU, Αν ένα σήμα ανιχνεύεται από τη μία πλευρά. τότε αυτή η κατεύθυνση ενεργοποιείται για τουλάχιστον 40msec πριν επιστρέψει σε κατάσταση ηρεμίας,

Μονάδα για την Επικοινωνία μεταξύ του Συγκεντρωτή και του Κεντρικού Υπολογιστή

Σε περίπτωση που ο Συγκεντρωτής επικοινωνεί με το Κεντρικό Σύστημα μέσω τηλεφωνικής γραμμής θα έχει Modem για Τηλεφωνική γραμμή για επικοινωνία ταυτόχρονα αμφίδρομη (full duplex), σειριακή σύγχρονη /ασύγχρονη συμβατή

με το πρότυπο CCITT V22bis, Λειτουργεί με επιλεγόμενη ή με μισθωμένη γραμμή.

Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία μονάδα GSM για την επικοινωνία μεταξύ Συγκεντρωτή και του Κεντρικού Υπολογιστή .

Η πλακέτα CPU συγκεντρωτή δεδομένων

Η πλακέτα CPU συγκεντρωτή δεδομένων περιέχει το μικροεπεξεργαστή και τα κυκλώματα υποστήριξης για τον έλεγχο των μονάδων του.

Η πλακέτα CPU αποτελείται από:

- Το κύκλωμα μικροελεγκτή
- το κύκλωμα αποκωδικοποίησης,
- Τα EEPROMs για την ασφαλή αποθήκευση των δεδομένων χρέωσης και συναγεργμών
- Τα κυκλώματα κωδικοποίησης/αποκωδικοποίησης ASK για την επικοινωνία με Μετρητές μέσω της μονάδας γραμμής τάσης
- Τα κυκλώματα RS-232 για τη επικοινωνία με τον κεντρικό σταθμό μέσω του modem .

τους σειριακούς αριθμούς των μετρητών και τη διάρθρωσή τους .Κάθε πότε θα επικοινωνεί με τους μετρητές

Περιοδική Συλλογή Δεδομένων Χρέωσης

Ο Συγκεντρωτής θα συλλέγει περιοδικά τα δεδομένα χρέωσης και τους συναγεργμούς από όλους τους μετρητές υπό την επίβλεψή του. Η πληροφορία που συγκεντρώνεται "σφραγίζεται" χρονικά. ούτως ώστε να έχουμε ένα ενημερωμένο αρχείο δεδομένων χρέωσης και συναγεργμών.

Ο Κεντρικός Υπολογιστής μπορεί να προγραμματίσει το Συγκεντρωτή να επικοινωνεί με τους μετρητές κάθε μία ώρα ή κάθε πολλαπλάσιο της ώρας, π.χ. κάθε δύο ώρες. Με αυτήν την πληροφορία το Σύστημα Διαχείρισης Κεντρικού Σταθμού μπορεί να εκδώσει αναφορές σχετικά με λογαριασμούς, φόρτωση δικτύου, κατάσταση δικτύου, συναγεργμούς δικτύου, στατιστικά στοιχεία κ.α.

Αποθήκευση Δεδομένων Χρέωσης

Τα δεδομένα χρέωσης που συλλέγονται από τους μετρητές ενέργειας που συνδέονται στο συγκεντρωτή αποθηκεύονται σε EEPROMs. Ο συγκεντρωτής αποθηκεύει τα δεδομένα χρέωσης που συλλέγονται από τις πιο πρόσφατες επικοινωνία με τους μετρητές. Ένας αλγόριθμος προστασίας χρησιμοποιείται όταν τα δεδομένα αποθηκεύονται σε EEPROMs, ώστε να αυξάνεται η ασφάλεια του συστήματος και η ακεραιότητα των δεδομένων.

Περιοδική Εκπομπή Ταρίφας

Κάθε μισή ώρα ο Συγκεντρωτής εκπέμπει την τρέχουσα ταρίφα σε όλους τους Μετρητές που βρίσκονται υπό την εποπτεία του. Ο χρόνος ενεργοποίησης κάθε ταρίφας καθορίζεται από τη ΔΕΗ και προγραμματίζεται κατά το στάδιο της παραγωγής του Συγκεντρωτή. Ο Συγκεντρωτής μπορεί να προγραμματισθεί ώστε να εκπέμπει μέχρι οκτώ ταρίφες ημερησίως. Επίσης κάθε ημέρα της εβδομάδας μπορεί να προγραμματίζεται διαφορετικά.

Αποθήκευση των μετρήσεων στη μνήμη

Οι τιμές όλων των ταριφών που έχουν καταγραφεί αποθηκεύονται στην περιοχή RAM του μικροεπεξεργαστή και αντιγράφονται σε μία ασφαλή, μόνιμη EEPROM σε τακτικά χρονικά διαστήματα ή σε περίπτωση διακοπής της τάσης.

5.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ EHS ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.

Το EHS πρωτόκολλο βασίζεται σε μία υπηρεσία ελέγχου (Network Control) η οποία είναι υπεύθυνη για την ανταλλαγή μηνυμάτων μικρού μήκους για την λειτουργία των μονάδων του δικτύου. Αυτή η υπηρεσία είναι κοινή για όλα τα μέσα μετάδοσης και όλες τις συσκευές του δικτύου και γι' αυτό θεωρείται ως η ραχοκοκαλιά του EHS πρωτοκόλλου. Η αρχιτεκτονική του EHS βασίζεται στο μοντέλο OSI ωστόσο οι λειτουργίες ορισμένων επιπέδων επειδή είναι αμελητέες έχουν ενσωματωθεί σε άλλα επίπεδα.

Επομένως το EHS υλοποιεί τα τρία χαμηλότερα επίπεδα του OSI-RM (Φυσικό επίπεδο, επίπεδο σύνδεσης δεδομένων, επίπεδο δικτύου) και ένα υψηλό επίπεδο (επίπεδο εφαρμογής) ενσωματώνοντας όλα τα υπόλοιπα επίπεδα στο επίπεδο εφαρμογής και στο επίπεδο δικτύου.

Όσον αφορά στις επικοινωνιακές ανάγκες των εφαρμογών, το EHS δίνει την δυνατότητα να αναγνωρίζεται οποιοσδήποτε τύπος συσκευής και λειτουργίας μέσα στο δίκτυο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μίας γλώσσας επικοινωνίας ανάμεσα στην εφαρμογή και το επίπεδο εφαρμογής, η οποία περιγράφεται παρακάτω. Επίσης το EHS πρωτόκολλο επικοινωνίας παρέχει αξιόπιστη επικοινωνία των συσκευών στο φυσικό μέσο, αυτό επιτυγχάνεται από τις λειτουργίες των επιπέδων φυσικού μέσου και σύνδεσης δεδομένων, όπως αυτές περιγράφονται σε επόμενη παράγραφο .

Όσον αφορά στο φυσικό μέσο επικοινωνίας, το πρωτόκολλο EHS υποστηρίζει επικοινωνίες μέσω ραδιοσυχνοτήτων, συνεστραμμένων ζευγών καλωδίων, ομοαξονικών καλωδίων και μέσω των γραμμών ισχύος. Η μετάδοση μέσω των γραμμών ισχύος είναι το σπουδαιότερο μέσο μετάδοσης για το πρωτόκολλο EHS. Επίσης υποστηρίζεται η επικοινωνία ανάμεσα σε συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε διαφορετικά φυσικά μέσα δημιουργώντας υποδίκτυα.

Το πρωτόκολλο έχει σχεδιαστεί και αναπτυχθεί με στόχο την μετάδοση δεδομένων μέσα από την ήδη υπάρχουσα ηλεκτρική εγκατάσταση.

Τα βασικά του χαρακτηριστικά (Baud Rate 2,4Kbps+ FSK στα 132.5KHz + FEC) εγγυώνται την αξιόπιστη σηματοδότηση μέσα από την υπάρχουσα ηλεκτρική εγκατάσταση.

Το EHS είναι ένα μοντέρνο πρωτόκολλο και έχει σχεδιασθεί έτσι ώστε να καλύπτει κάθε πιθανή ανάγκη που θα εμφανιστεί στο μέλλον .

Έχει την δυνατότητα να υποστηρίξει από τις πιο απλές συσκευές όπως διακόπτης φωτισμού, έως και τις πιο πολύπλοκες όπως είναι το DVD Video. Επιπλέον παρέχει αυξημένη ασφάλεια δεδομένων.

Το EHS V1.3 καλύπτει 190 συσκευές σε ένα σπίτι, ενώ έχει την δυνατότητα να υποστηρίξει σε μεγάλες κτιριακές εγκαταστάσεις μέχρι 65000 συσκευές. Το μήκος καλωδίωσης σπιτιού μπορεί να είναι μέχρι 500 μέτρα, ενώ με ειδικές διατάξεις μπορεί να επεκταθεί σημαντικά. Τέλος ένα από το πιο σημαντικά του πλεονεκτήματα είναι η δυνατότητα Plug and Play .

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

EHS..... European Home Systems

FC..... Feature Controller

CoD..... Complex Device

PLPower Line

PLCPower Line Communications

HMEΗλεκτρονικός Μετρητής Ενέργειας

CLSECommand Language Service Element

LMSE..... Local Management Service Element

FEC..... Forward Error Control

MACMedium Access Control

LLCLink Layer Control

CSMA..... Carrier Sense Multiple Access

CRCCyclic Redundancy Code

Το EHS ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Μια εφαρμογή ελέγχου η οποία βασίζεται σε ένα δίκτυο του οποίου το πρωτόκολλο επικοινωνίας είναι το EHS περιέχει τις εξής βασικές μονάδες: μονάδες ελέγχου και ελεγχόμενες μονάδες. Σύμφωνα με την ορολογία του EHS πρωτοκόλλου οι μονάδες ελέγχου αναφέρονται ως Feature Controllers (FC) που σημαίνει ότι είναι ελεγκτές προσανατολισμένοι στην εφαρμογή και οι μονάδες πόρων αναφέρονται ως Complex Devices (CoD) και αποτελούν το μέσο της εφαρμογής.

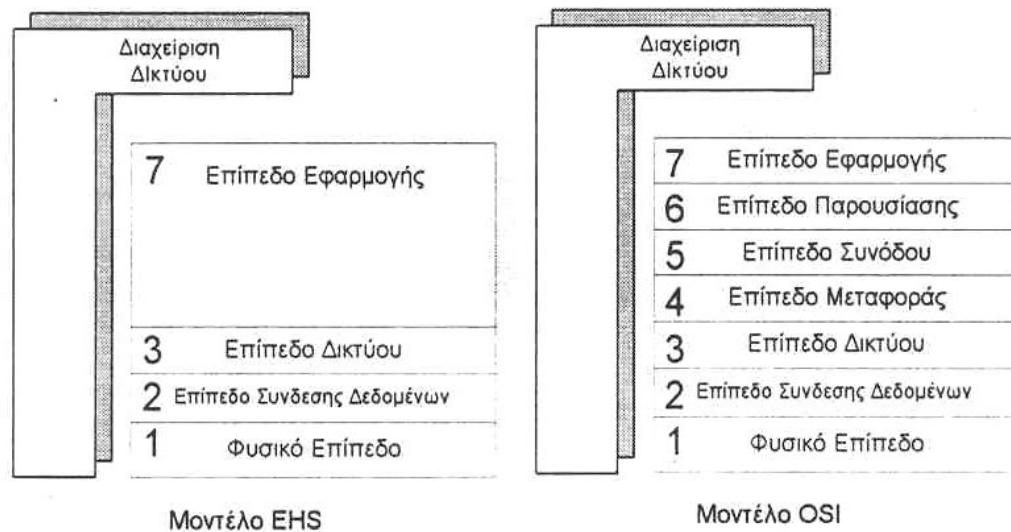
Οι μονάδες ελέγχου (application control entities) είναι μονάδες στις οποίες εκτελούνται οι εφαρμογές και μπορούν να μοιράζονται τους ίδιους πόρους ενός EHS δικτύου έστω και αν αυτοί βρίσκονται σε ξεχωριστά υποδίκτυα ή είναι προσανατολισμένοι σε διαφορετικές εφαρμογές. Επίσης το μοντέλο του EHS δεν εμποδίζει την επικοινωνία ανάμεσα σε διαφορετικές μονάδες ελέγχου.

Οι ελεγχόμενες μονάδες, που θεωρούνται οι πόροι ενός EHS δικτύου αποτελούν το μέσο μιας εφαρμογής και είναι πάντα συσχετισμένοι σε μία περιοχή λειτουργίας της εφαρμογής. Για να επιτευχθεί η κοινή χρήση των πόρων μεταξύ των μονάδων ελέγχου υπάρχει ο μηχανισμός της διέλευσης κουπονιού (token passing). Με αυτό τον μηχανισμό εξασφαλίζεται ότι μία μονάδα ελέγχου κάθε φορά παίρνει τον έλεγχο μιας μονάδας πόρων. Για να γνωρίζουν οι μονάδες ελέγχου τις μονάδες πόρων που επικοινωνούν, οι μονάδες πόρων κατηγοριοποιούνται και περιγράφονται με δύο bytes. Το πρώτο byte προσδιορίζει την περιοχή της εφαρμογής που εξυπηρετεί η μονάδα και το δεύτερο προσδιορίζει τον τύπο της συσκευής (type of device). Τα δύο αυτά bytes αναφέρονται ως Device Descriptor.

Σύμφωνα με τα παραπάνω το τερματικό του καταναλωτή αποτελεί ένα FC για το πρωτόκολλο επικοινωνίας ενώ οι ευφυείς κόμβοι αποτελούν τα CoDs.

5.4 ΤΟ EHS ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ

Το τμήμα αυτό περιγράφει το μοντέλο αναφοράς του EHS, και εξηγεί το πρωτόκολλο με δομημένο τρόπο, όπως απορρέει από το μοντέλο αναφοράς OSI, παρουσιάζοντας την αρχιτεκτονική και τις λειτουργίες των επιμέρους επιπέδων.



Το μοντέλο αναφοράς του EHS Η γενική δομή του μοντέλου αναφοράς του EHS έχει απευθείας παραχθεί από το μοντέλο αναφοράς OSI. Τέσσερα από τα επτά επίπεδα έχουν οριστεί στο μοντέλο EHS: Το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων, το επίπεδο δικτύου (το οποίο είναι απλοποιημένο γιατί δεν χρειάζεται η διαχείριση λογικών καναλιών) και το επίπεδο εφαρμογής. Οι περαιτέρω λειτουργίες διαχείρισης ομαδοποιούνται σε μία ολική οντότητα που λέγεται διαχείριση δικτύου.

Συγκρίνοντας το μοντέλο αναφοράς του EHS με αυτό του OSI βλέπουμε ότι λείπουν τα επίπεδα μεταφοράς, συνόδου και παρουσίασης. Ορισμένες λειτουργίες αυτών των επιπέδων έχουν ενσωματωθεί στα επίπεδα δικτύου και εφαρμογής. Σε περίπτωση που χρειαστεί να μεταφέρουμε μεγάλα μηνύματα τότε ο χειρισμός θα γίνει από το επίπεδο της εφαρμογής. Γενικά τα επίπεδα του πρωτοκόλλου EHS περιέχουν μόνο αυτές τις λειτουργίες που είναι αναγκαίες απ' όλες τις μονάδες. Ειδικές λειτουργίες όπως registration, enrolment, token passing κλπ. Παρέχονται από το επίπεδο διαχείρισης δικτύου.

Με εξαίρεση τους δρομολογητές που το επίπεδο δικτύου τους πρέπει να περιέχει ικανότητα δρομολόγησης, τα επίπεδα του δικτύου είναι ίδια σε όλες τις μονάδες, βέβαια το φυσικό επίπεδο και το υποεπίπεδο προσπέλασης του μέσου εξαρτώνται από το ίδιο το μέσο.

Η διαχείριση δικτύου στο EHS . Οι λειτουργίες διαχείρισης του δικτύου, επιτρέπουν σε κάθε συσκευή EHS να εγκατασταθεί σε μία διεύθυνση (διαδικασία registration) και καταγράψει τις διευθύνσεις των σταθμών που ενδιαφέρεται επικοινωνήσει (διαδικασία enrolment). Ένα από τα σημαντικά στοιχεία του EHS είναι η αυτόματη διάρθρωση (configuration) της κάθε μονάδας από την στιγμή που θα μπει στο δίκτυο.

Διευθύνσεις δικτύου και υποδικτύου

Κάθε μονάδα σε δοσμένο υποδίκτυο ή φυσικό μέσο έχει διεύθυνση ενός byte. Αυτό σημαίνει ότι θεωρητικά μέχρι 256 μονάδες μπορούν να υπάρχουν σε ένα υποδίκτυο, όμως επειδή ένας αριθμός διευθύνσεων είναι δεσμευμένος από το πρωτόκολλο, οι πραγματικά ελεύθερες διευθύνσεις ανά υποδίκτυο είναι περίπου 150.

Στο επίπεδο του δικτύου κάθε μονάδα μπορεί να απευθυνθεί στην άλλη είτε ατομικά είτε ως μέρος μίας ομάδας (group). Επομένως όταν στέλνεται μια εντολή καθορίζεται και το αν ο προορισμός είναι ένας μεμονωμένος σταθμός ή μία ομάδα σταθμών.

Υπάρχουν τρεις τύποι διεύθυνσης δικτύου:

- Ατομικές (individual) διευθύνσεις. Οι ατομικές διευθύνσεις πρέπει να περιέχουν όλη τη διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσει ένα μήνυμα από την πηγή ως τον προορισμό του. Ο προορισμός όταν δεν βρίσκεται στο ίδιο υποδίκτυο η μετάδοση γίνεται με την ενδιάμεση χρήση δρομολογητών (routers). Ο μέγιστος αριθμός δρομολογητών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι 7 , δηλαδή η συνολική διεύθυνση να σχηματισθεί από την τελική διεύθυνση υποδικτύου συν 7 διευθύνσεις ενδιάμεσων δρομολογητών. Αυτό σημαίνει ότι κάθε μονάδα μπορεί να

απευθυνθεί σε περίπου 150 μονάδες (παραδεχόμενοι έναν αριθμό δεσμευμένων διευθύνσεων).

- Καθολικές (global) διευθύνσεις οι οποίες είναι δεσμευμένες διευθύνσεις και χρησιμοποιούνται για την μετάδοση μηνυμάτων προς όλες Τις συσκευές. Οι προδιαγραφές του EHS χρησιμοποιούν προκαθορισμένες Τιμές διευθύνσεων για τους Device Co-ordinators.
- Ομαδικές (group) διευθύνσεις. Η κάθε μονάδα μπορεί να απευθυνθεί σε μία ομάδα χρησιμοποιώντας ένα byte διεύθυνσης χαρακτηριστικό της ομάδας διευκρινίζοντας με ένα bit ότι απευθύνεται σε ομάδα.

Εκχώρηση διευθύνσεων -διαδικασία Registration

Κάθε μονάδα σε ένα υποδίκτυο έχει μοναδική διεύθυνση υποδικτύου. Στο EHS αυτή η διεύθυνση εκχωρείται δυναμικά ώστε να διευκολύνονται οι διαδικασίες εγκατάστασης, εξασφαλίζοντας την μοναδικότητα της διεύθυνσης. Η λειτουργία αυτή ονομάζεται registration.

Υπάρχουν δύο περιπτώσεις εκχώρησης διευθύνσεων:

- Εκχώρηση μέσω Medium Controllers .Στη πρώτη περίπτωση μια ειδική μονάδα συστήματος, που λέγεται Medium Controller (MdC -ελεγκτής μέσου) πρέπει να είναι διαθέσιμη σε κάθε υποδίκτυο. Ο MdC είναι υπεύθυνος να καταγράφει όλες τις διευθύνσεις και να τις κατανέμει σωστά. Έχει την προκαθορισμένη διεύθυνση 0X00 και όλες οι μονάδες που θέλουν να μπουν στο δίκτυο, στην φάση της αρχικοποίησης, απευθύνονται στον MdC για να καθορίσουν την διεύθυνσή τους. Συνήθως ο ελεγκτής μέσου (MdC) είναι ενσωματωμένος στον FC για αν περιοριστεί το κόστος και ο αριθμός των συσκευών στο δίκτυο.
- .Κατανεμημένη εκχώρηση διευθύνσεων (Distributed Address Assignment -DAA) Στη δεύτερη περίπτωση, κάθε μονάδα πρέπει να χρησιμοποιήσει έναν πολύ απλό μηχανισμό κατανομής διεύθυνσης με συνεννόηση που λέγεται Distributed Address Assignment ή DAA .Όταν μία μονάδα μπαίνει σε λειτουργία αναζητεί κάποια διεύθυνση στο δίκτυο η οποία δεν είναι σε χρήση και όταν την βρει την δεσμεύει.

Ανταλλαγή διευθύνσεων μέσω Enrolment

Στη φάση του enrolment δημιουργούνται λογικές συνδέσεις μεταξύ της εφαρμογής και των πόρων. Η διαδικασία πραγματοποιείται δυναμικά στο EHS κατά την διάρκεια της αρχικοποίησης. Έχοντας ορίσει τις διευθύνσεις τους, οι μονάδες του δικτύου πρέπει να δημιουργήσουν λογικές συνδέσεις μεταξύ τους ώστε να μπορεί να επιτευχθεί επικοινωνία στα πλαίσια μίας εφαρμογής. Αυτό απαιτεί οι μονάδες του δικτύου να ανταλλάξουν τις διευθύνσεις τους, ώστε να μάθει η μία συσκευή την ύπαρξη της άλλης στο δίκτυο, και αν και πως μπορούν να συνεργαστούν.

Όταν τελειώσει η φάση της ανταλλαγής διευθύνσεων οι μονάδες μπορούν να στέλνουν εντολές η μία στην άλλη ενώ στην φάση του registration περιορίζονταν στην αποστολή εντολών ομάδας (group commands).

Σύνδεση CoDs με FCs. Η Λειτουργία Enrolment

Ο αριθμός των CoD που είναι λογικά συνδεδεμένα με τον FC δεν είναι σταθερός και μπορεί να αλλάζει όταν μέρη του εξοπλισμού προστίθεται η αφαιρούνται στο δίκτυο. Επομένως χρειάζεται μία λειτουργία που να επιτρέπει στους FCs και τους CoDs να ανταλλάσσουν δυναμικά πληροφορίες διάρθρωσης. Αυτή η λειτουργία θεωρείται λειτουργία διαχείρισης δικτύου και λέγεται enrollment (εγγραφή μέλους).

Η διαδικασία αρχίζει με την εκκίνηση του εξοπλισμού αμέσως μετά το registration και συνίσταται στην ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ FC και CoD. Η διαδικασία του enrolment καθιστά ικανά τα FCs και CoDs να μάθουν το ένα την ύπαρξη του άλλου, και δημιουργεί λογικό σύνδεσμο μεταξύ τους ανταλλάσσοντας τα DDs και αποκομίζοντας την ατομική διεύθυνση του καθενός.

Ωστόσο η γενική ιδέα με τα device descriptors όπου βάσει του οποίου γίνεται δεκτό ένα CoD από τον FC μερικές φορές δεν φθάνει. Επομένως ο FC πρέπει να ελέγξει όλες τις διαθέσιμες λειτουργίες που υποστηρίζει ο CoD για να ξέρει αν θα συνεργαστεί μαζί του. Η λύση είναι να στείλει ο FC επιπρόσθετες εντολές σχετικές με τις λειτουργίες που θέλει ώστε να επαληθεύσει την ύπαρξή τους, αυτή η διαδικασία ονομάζεται Extended Enrolment.

Επίπεδο Εφαρμογής

Η επικοινωνία μια υπομονάδας με μια άλλη βασίζεται στην ανταλλαγή μηνυμάτων που λέγονται εντολές. Το επίπεδο εφαρμογής του EHS χειρίζεται αυτές τις εντολές παρέχοντας επικοινωνιακή ικανότητα μεταξύ των υπομονάδων.

Οι λειτουργίες του Επιπέδου Εφαρμογής

- Η λειτουργία της ομαδοποίησης και απο-ομαδοποίησης εντολών (command blocking and de-blocking) επιτρέπει σε μία σειρά εντολών να ομαδοποιηθεί σ'ένα μοναδικό μήνυμα για την μετάδοση στο επίπεδο του δικτύου. Παρομοίως αν ένα μήνυμα έρχεται από το επίπεδο του δικτύου και αποτελείται από αρκετές εντολές, το επίπεδο εφαρμογής πρέπει να κάνει την απο-ομαδοποίηση. Αυτή η λειτουργία παρέχει πιο αποτελεσματική προσπέλαση μέσου γιατί μόνο ένα πλαίσιο μεταδίδεται αντί για αρκετά, επίσης είναι χρήσιμη στην περίπτωση που μια ακολουθία εντολών πρέπει να ληφθεί από μία συσκευή χωρίς να διακοπεί από εντολή που προέρχεται από άλλη συσκευή.
- Υποστήριξη απομακρυσμένης επιβεβαίωσης (remote confirmation). Αυτή η λειτουργία υποστηρίζει την μετάδοση πλαισίων με επιβεβαίωση σωστής λήψης από τον παραλήπτη του πλαισίου.

- Υποστήριξη προτεραιοτήτων. Προτεραιότητα μετάδοσης μπορεί να συσχετιστεί με τη δεδομένη εντολή και είναι σημαντική λειτουργία για εφαρμογές που χρειάζεται να μεταδώσουν επείγοντα μηνύματα. Η υποστήριξη προτεραιοτήτων είναι διαθέσιμη αν το υποεπίπεδο MAC στο υφιστάμενο μέσο παρέχει την ικανότητα χειρισμού τέτοιων προτεραιοτήτων.
- Υποστήριξη δοκιμής για την ικανότητα εκτέλεσης εντολών από ορισμένες μονάδες.. Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται από ως extended enrolment και επιτρέπει σε μία συσκευή στέλνει μια εντολή με την ένδειξη ότι αυτή η εντολή απαιτεί μόνο επιβεβαίωση και όχι εκτέλεση, έτσι μπορούμε να γνωρίζουμε τις λειτουργίες που υποστηρίζει η απομακρυσμένη συσκευή.
- Δημιουργία ταυτότητας εφαρμογής. Αυτή η λειτουργία καταγράφει όλες τις διευθύνσεις των απομακρυσμένων συσκευών και αναθέτει σε κάθε συσκευή μια ταυτότητα (ID) εφαρμογής. Η ταυτότητα αυτή μπορεί να είναι μόνιμη αν απαιτείται. Με την ταυτότητα εφαρμογής επιλέγεται η απομακρυσμένη υπομονάδα που θέλουμε να επικοινωνήσουμε. Η διαχείριση δικτύου δυναμικά ανανεώνει τις πληροφορίες ταυτότητας εφαρμογής μέσα από το enrolment ή το contracting.
- Διαχείριση ταυτότητας. Το επίπεδο εφαρμογής μετατρέπει την ταυτότητα εφαρμογής σε κατάλληλη πληροφορία διεύθυνσης.

Ο Μηχανισμός Διαχείρισης Ταυτότητας Εφαρμογής

Οι ταυτότητες εφαρμογής χρησιμοποιούνται για να αναγνωρίζονται οι απομακρυσμένες υπομονάδες. Η ταυτότητα εφαρμογής χρησιμοποιείται ως

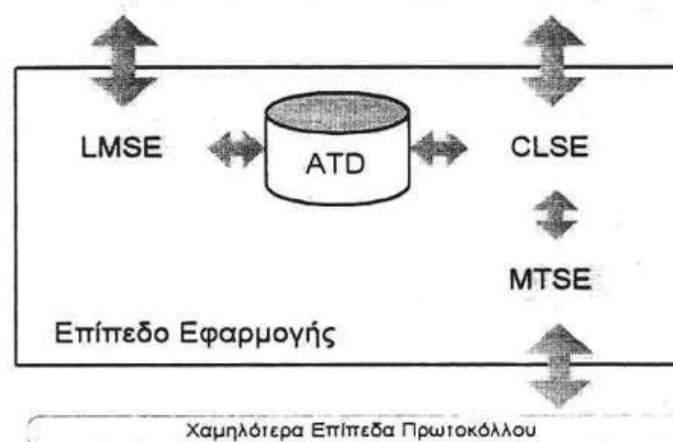
δείκτης θέσης σε μία δομή δεδομένων που ονομάζεται ATD και η οποία περιέχει πληροφορίες για όλες τις απομακρυσμένες μονάδες.

Η δομή δεδομένων ATD περιέχει την συνολική διεύθυνση προορισμού και την ταυτότητα υπομονάδας στην περίπτωση πρόσβασης σε ξεχωριστές μονάδες ή την διεύθυνση ομάδας στη περίπτωση πρόσβασης σε ομάδες υπομονάδων.

Η απομακρυσμένη διεύθυνση δικτύου κατασκευάζεται από τη διεύθυνση του τελικού υποδικτύου, την ταυτότητα υπομονάδας και την διαδρομή. Η διεύθυνση υποδικτύου στέλνεται ως παράμετρος στο επίπεδο δικτύου ενώ οι υπόλοιπες τιμές προστίθενται από το επίπεδο δικτύου.

Όταν λαμβάνεται ένα μήνυμα, η εφαρμογή ψάχνει αν περιέχεται ο αποστολέας στο ATD. Αν η καταχώρηση βρεθεί το επίπεδο εφαρμογής μας δίνει την θέση του πίνακα που είναι καταχωρημένος ο σταθμός, αλλιώς δημιουργεί μια καινούρια προσωρινή καταχώρηση στο ATD και μας δίνει την καινούρια θέση. Με αυτό τον τρόπο γνωρίζοντας τη θέση στον πίνακα που είναι καταχωρημένος ο αποστολέας έχουμε στην ουσία και όλα τα στοιχεία του, ενώ παράλληλα μπορούμε χρησιμοποιώντας αυτή τη καταχώρηση να δώσουμε πίσω μια απάντηση.

Η δομή του Επιπέδου Εφαρμογής: Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τη δομή του επιπέδου εφαρμογής στο EHS η οποία περιέχει τα εξής δομικά στοιχεία.



- Command Language Service Element (CLSE) -Στοιχείο εξυπηρέτησης γλώσσας εντολών. Το CLSE είναι υπεύθυνο για τον συντακτικό χειρισμό της γλώσσας εντολών. Επομένως αλληλεπιδρά απευθείας με την εφαρμογή και μετατρέπει τα μηνύματα από το επίπεδο δικτύου σε εντολές και αντίστροφα, χωρίζει ακόμα τις εντολές από τις επιβεβαιώσεις. Το CLSE είναι επίσης υπεύθυνο για την παράδοση των εντολών στη σωστή υπομονάδα.
- Message Transfer Service Element (MTSE) -Στοιχείο εξυπηρέτησης μεταφοράς μηνυμάτων. Το MTSE είναι υπεύθυνο για τον χειρισμό διευθύνσεων και ταυτοτήτων εφαρμογής. Μετατρέπει την ταυτότητα εφαρμογής, σε ταυτότητα υπομονάδας και διεύθυνση δικτύου και το αντίστροφο. Επίσης χειρίζεται την ομαδοποίηση των εντολών σε ένα μοναδικό πλαίσιο (command blocking) ώστε να γίνει περαιτέρω επεξεργασία από το επίπεδο δικτύου.
- Application Title Directory (ATD) -Κατάλογος τίτλου εφαρμογής. Το ATD είναι μία δομή δεδομένων που χρησιμοποιείται για να αποθηκεύσει πληροφορίες απομακρυσμένων υπομονάδων που έγιναν γνωστές στην εφαρμογή. Αυτή η πληροφορία λαμβάνεται κατά την διάρκεια της αρχικοποίησης (enrolment και contracting).
- Local Management Service Element (LMSE) -Στοιχείο εξυπηρέτησης τοπικής διαχείρισης. Το LMSE επιτρέπει στην εφαρμογή να επιθεωρεί και πιθανώς να τροποποιεί το ATD. Για παράδειγμα ενεργοποιείται από το enrolment και το contracting για να ανανεώνει και να επιθεωρεί τις πληροφορίες σύνδεσης της εφαρμογής.

Επίπεδο δικτύου

Το επίπεδο δικτύου επιτρέπει σε δυο μονάδες σε διαφορετικά υποδίκτυα να επικοινωνούν μεταξύ τους, αυτή η επικοινωνία είναι διάφανη στα υψηλότερα επίπεδα ανεξάρτητα από τον αριθμό των υποδικτύων και των μέσων που εμπλέκονται. Δυο τύποι επιπέδου δικτύου απαιτούνται, ένα για μια τερματική μονάδα, που συνδέεται σ'ένα μόνο υποδίκτυο, και ένα για την μονάδα του δρομολογητή που συνδέει δυο υποδίκτυα.

Λειτουργίες του επιπέδου δικτύου

Η κύρια λειτουργία του επιπέδου του δικτύου είναι ο χειρισμός της επικοινωνίας πάνω από διασυνδεδεμένα υποδίκτυα, και η υποστήριξη δυναμικής σύνδεσης των μονάδων μέσω του μηχανισμού εκμάθησης διαδρομής.

Οι ακόλουθες λειτουργίες παρέχονται από το επίπεδο δικτύου σε μια τερματική μονάδα.

- Μετατροπή των δεδομένων του επιπέδου εφαρμογής σε δεδομένα του επιπέδου δικτύου και το αντίστροφο.
- Ασφάλεια μηνυμάτων. Τα επίπεδα εφαρμογής χρειάζεται να γνωρίζουν πότε ένα λαμβανόμενο μήνυμα είναι ασφαλές ή όχι δηλαδή αν έχει μεταδοθεί από ασφαλή μέσα μετάδοσης όπως είναι τα συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων και τα ομοαξονικά καλώδια.

Οι ακόλουθες λειτουργίες παρέχονται από το επίπεδο δικτύου σε μια μονάδα δρομολογητή.

- Δρομολόγηση (routing), επιτρέπει μηνύματα με ατομική διεύθυνση να αποτελούνται από μια σειρά από διευθύνσεις υποδικτύων.
- Αναμετάδοση (Interception), χειρίζεται μηνύματα που απευθύνονται σε καθολικές διευθύνσεις.
- Αναεκπομπή (re-broadcast), αυτή η λειτουργία επιτρέπει σε μηνύματα με μη τοπική διεύθυνση ομάδας να εκπεμφθούν σ'ολόκληρο το δίκτυο. Ο αποστολέας ορίζει την διεύθυνση ομάδας και θέτει το re-broadcast flag, έτσι όλοι οι δρομολογητές μόλις λάβουν αυτό το μήνυμα το

αναεκπέμπουν. Αυτό γίνεται διαδοχικά σε όλα τα υποδίκτυα. Ένα μήνυμα δεν μπορεί να αναεκπέμπεται επ'άοριστον γιατί οι δρομολογητές δεν έχουν κυκλικές τοπολογίες.

- Μηχανισμός εκμάθησης διαδρομής (route Learning mechanism). Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται από την διαχείριση δικτύου και επιτρέπει στους δρομολογητές να καταγράφουν την διαδρομή που έκανε ένα μήνυμα και να μεταφέρουν αυτή την διαδρομή στον αποδέκτη. Έτσι ο αποδέκτης μαθαίνει την διεύθυνση του αποστολέα είτε το μήνυμα έχει σταλθεί με ατομική, καθολική ή διεύθυνση ομάδας

Επίπεδο σύνδεσης δεδομένων

Το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων αναλαμβάνει την επικοινωνία δυο μονάδων στο ίδιο υποδίκτυο. Το υποεπίπεδο LCC (υποεπίπεδο) είναι σχεδόν ανεξάρτητο του μέσου ενώ το υποεπίπεδο MAC (υποεπίπεδο) είναι διαφορετικό για κάθε μέσο.

Λειτουργίες του υποεπιπέδου LCC

- Μετάδοση με επιβεβαίωση στη περίπτωση επικοινωνίας με μεμονωμένη διεύθυνση.
- Επαναμετάδοση. Όταν δεν υπάρχει επιβεβαίωση ή είναι αρνητική το υποεπίπεδο LCC μπορεί να αποφασίσει την επαναμετάδοση.
- Έλεγχος ροής. Οι αιτήσεις επαναμετάδοσης μπορεί να καθυστερήσουν αν υπάρχουν προβλήματα όπως ανεπαρκής μνήμη λήψης στον παραλήπτη.

Λειτουργίες του υποεπιπέδου MAC

- Ανίχνευση σφαλμάτων. Η ακεραιότητα των πλαισίων ελέγχεται από μια ακολουθία ελέγχου πλαισίου (frame check sequence -FCS).
- Διόρθωση σφαλμάτων. Σε μερικά μέσα όπως η γραμμή ισχύος, πληροφορίες ανάκτησης εσφαλμένων bytes μεταδίδονται με κάθε byte ,

επιτρέποντας στον παραλήπτη αυτόματη διόρθωση λαθών με μεγάλο βαθμό.

- Προσπέλαση του μέσου. Αυτή η λειτουργία δίνει προσπέλαση στο φυσικό μέσο, σε κάποιον σταθμό που θέλει να μεταδώσει, ανάλογα με την προτεραιότητα που έχει ο σταθμός.
- Η προσπέλαση στο φυσικό μέσο γίνεται σύμφωνα με το πρωτόκολλο CSMA (carrier sense multiple access) το οποίο, υλοποιείται από το υποεπίπεδο MAC.
- Αναγνώριση διεύθυνσης υποδικτύου κατά την λήψη. Με την λήψη, το υποεπίπεδο MAC αναγνωρίζει την διεύθυνση του αποστολέα και ελέγχει σε ποίον απευθύνεται το πλαίσιο.
- Διαχείριση επιβεβαίωσης. Με τη λήψη ενός πλαισίου το MAC αναγνωρίζει αν η διεύθυνση προορισμού ήταν διεύθυνση ομάδας ή όχι. Στη περίπτωση ατομικής διεύθυνσης προορισμού εκκινείται ο μηχανισμός επιβεβαίωσης.

Φυσικό επίπεδο

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει το φυσικό μέσο μετάδοσης για το σύστημα που θα υλοποιηθεί είναι οι γραμμές ισχύος. Η μετάδοση γίνεται μεταξύ της γραμμής της φάσης και της γραμμής του ουδέτερου και η οικιακή ηλεκτρική εγκατάσταση όπου γίνεται αυτή η μετάδοση πρέπει να πληρεί τις προδιαγραφές της ΔΕΗ.

Διαμόρφωση

Η διαμόρφωση είναι MSK

Με κεντρική συχνότητα $132.5 \text{ KHZ} \pm 0.2\%$

Υψηλή συχνότητα $133.1 \text{ KHZ} \pm 0.2\%$

Χαμηλή συχνότητα $131.9 \text{ KHZ} \pm 0.2\%$

Ενώ ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι 2400kbps

5.5 ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ

Αντικειμενικός σκοπός του συστήματος αυτού είναι να παρέχει την δυνατότητα στον καταναλωτή να ελέγχει και να διαχειρίζεται τα ηλεκτρικά του φορτία με σκοπό την μείωση της ηλεκτρικής του κατανάλωσης με βάση την πολυζωνική χρέωση.

Το σύστημα περιλαμβάνει ένα γραφικό περιβάλλον για την επικοινωνία με τον χρήστη, το οποίο συνήθως προβάλλεται στην οθόνη της τηλεόρασης, ενώ για την υλοποίηση του χρησιμοποιούνται ισχυροί μικροεπεξεργαστές. Θα παρέχεται ένα γραφικό περιβάλλον (graphic user interface, GUI) στον καταναλωτή, το οποίο θα εμφανίζεται στην οθόνη της τηλεόρασης και θα περιλαμβάνει το κατάλληλο κείμενο, πλαίσια διαλόγου, πλήκτρα, εικονίδια κλπ για τον έλεγχο και επίβλεψη των ηλεκτρικών φορτίων του καταναλωτή. Επίσης το σύστημα θα έχει την δυνατότητα να παρέχει πιθανές υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας που θα είναι δυνατό να φθάσουν από το κεντρικό φορέα μέσω του δικτύου ηλεκτρισμού.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΠΟΥ ΘΑ ΕΞΥΠΗΡΕΤΕΙ ΤΟ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΤΟΥ ΧΡΗΣΤΗ.

Αντικειμενικός σκοπός του τερματικού του χρήστη θα είναι να του δίνει την δυνατότητα να επιβλέπει και να ελέγχει τις ηλεκτρικές του συσκευές όταν αυτός το επιθυμεί. Ο έλεγχος και η επίβλεψη των ηλεκτρικών συσκευών θα γίνεται μέσω αλγορίθμων ελέγχου οι οποίοι βασίζονται στην επικοινωνία του τερματικού με τους ευφυείς κόμβους και το gateway. Οι λειτουργίες που θα πρέπει να εκπληρώνει το τερματικό του χρήστη είναι οι εξής:

- Στο τερματικό του χρήστη θα εκτελούνται οι αλγόριθμοι διαχείρισης των ηλεκτρικών συσκευών του χρήστη.
- Επομένως το τερματικό του χρήστη θα είναι μία συσκευή που συνδέεται με την τηλεόραση του σπιτιού είτε μέσω του SCART κονέκτορα είτε μέσω της κεραίας της τηλεόρασης. Το γραφικό περιβάλλον, το οποίο θα προβάλλεται στην οθόνη της τηλεόρασης, θα περιλαμβάνει το κατάλληλο κείμενο, πλαίσια διαλόγου, πλήκτρα,

εικονίδια κ.λ.π., μέσω των οποίων ο καταναλωτής θα έχει πλήρη έλεγχο και επίβλεψη των ηλεκτρικών του συσκευών.

- Επιπλέον το τερματικό υποστηρίζει την επικοινωνία με ένα τηλεχειριστήριο μέσω του οποίου ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αλληλεπιδρά με το γραφικό περιβάλλον του τερματικού.
- Το τερματικό τροφοδοτείται από το ένα κοινό ρευματοδότη (π.χ. αυτόν που τροφοδοτεί και την τηλεόραση) και συγχρόνως μέσω του ίδιου ρευματοδότη επικοινωνεί με τους ευφυείς κόμβους και το gateway με βάση το πρωτόκολλο EHS .
- Το EHS δίκτυο αποτελείται από όλες τις επιμέρους συσκευές, στην πλευρά του καταναλωτή, οι οποίες επικοινωνούν μέσω των γραμμών ισχύος. Το τερματικό του χρήστη θα έχει την πλήρη εποπτεία και διαχείριση των συσκευών αυτών, επομένως σύμφωνα με την ορολογία του EHS πρωτοκόλλου θα αποτελεί έναν feature controller (F.C.) υλοποιώντας όλες Τις λειτουργίες που προκύπτουν από το πρωτόκολλο επικοινωνίας EHS

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.

Λειτουργικές απαιτήσεις που προκύπτουν από την αποθήκευση και εκτέλεση της εφαρμογής ελέγχου. Στο τερματικό του χρήστη θα πρέπει να είναι αποθηκευμένη και να εκτελείται η εφαρμογή ελέγχου των ηλεκτρικών φορτίων του καταναλωτή. Δεδομένης της πολυπλοκότητας του EHS πρωτοκόλλου, των αλγορίθμων ελέγχου και της απαίτησης να υποστηρίζει ένα γραφικό περιβάλλον, το τερματικό του χρήστη θα πρέπει να υποστηρίζει την εκτέλεση εφαρμογών με μέγεθος της τάξεως από 1 ως 2Mbyte.

Η εφαρμογή ελέγχου βασίζεται σε αλγόριθμους ελέγχου οι οποίοι επικοινωνούν με το επίπεδο εφαρμογής του EHS πρωτοκόλλου και με τον χρήστη μέσω του γραφικού περιβάλλοντος. Για να γίνει δυνατή η επεξεργασία όλων αυτών των δεδομένων και γεγονότων που εμφανίζονται με τυχαία σειρά σ' ένα οικιακό δίκτυο είναι απαραίτητο το τερματικό του χρήστη να

περιλαμβάνει ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα το λογισμικό του οποίου να μπορεί να χειριστεί ταυτόχρονα πολλές διαδικασίες (Multi Tasking περιβάλλον).

Το τερματικό του χρήστη θα πρέπει να υπάρχει τη δυνατότητα μόνιμης αποθήκευσης της εφαρμογής και των δεδομένων της ώστε σε περίπτωση διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος το σύστημα να μπορεί να επανεκκινήσει ομαλά χωρίς την παρέμβαση του χρήστη.

Λειτουργικές απαιτήσεις που προκύπτουν από την υλοποίηση του user interface:

- Μία από τις κύριες λειτουργίες του τερματικού θα είναι η υλοποίηση του user interface ανάμεσα στον χρήστη και την εφαρμογή ελέγχου. Το τερματικό θα πρέπει να έχει την δυνατότητα απεικόνισης γραφικών στην οθόνη της τηλεόρασης Στην οθόνη της τηλεόρασης θα εμφανίζεται ένα γραφικό περιβάλλον με το κατάλληλο κείμενο, πλαίσια διαλόγου, πλήκτρα, εικονίδια, κλπ, μέσω των οποίων ο χρήστης θα λαμβάνει όλες τις πληροφορίες που τον αφορούν και θα έχει την δυνατότητα να επέμβει με σκοπό να καθορίσει τον τρόπο με τον οποίο η εφαρμογή ελέγχου θα διαχειρίζεται τα ηλεκτρικά του φορτία.

Λειτουργικές απαιτήσεις που προκύπτουν από το πρωτόκολλο επικοινωνίας EHS:

Σύμφωνα με το EHS πρωτόκολλο το τερματικό αποτελεί έναν FC (Feature Controller) δηλαδή αποτελεί την μονάδα ελέγχου του δικτύου πράγμα που σημαίνει ότι θα έχει την πλήρη εποπτεία και διαχείριση όλων των συσκευών του οικιακού δικτύου. Επομένως :

- Θα πρέπει να περιλαμβάνει το κατάλληλο υλικό για την επικοινωνία μέσω των γραμμών ισχύος
- Θα είναι υπεύθυνο για την αυτόματη αναγνώριση και εκχώρηση διευθύνσεων στους ευφυείς κόμβους.

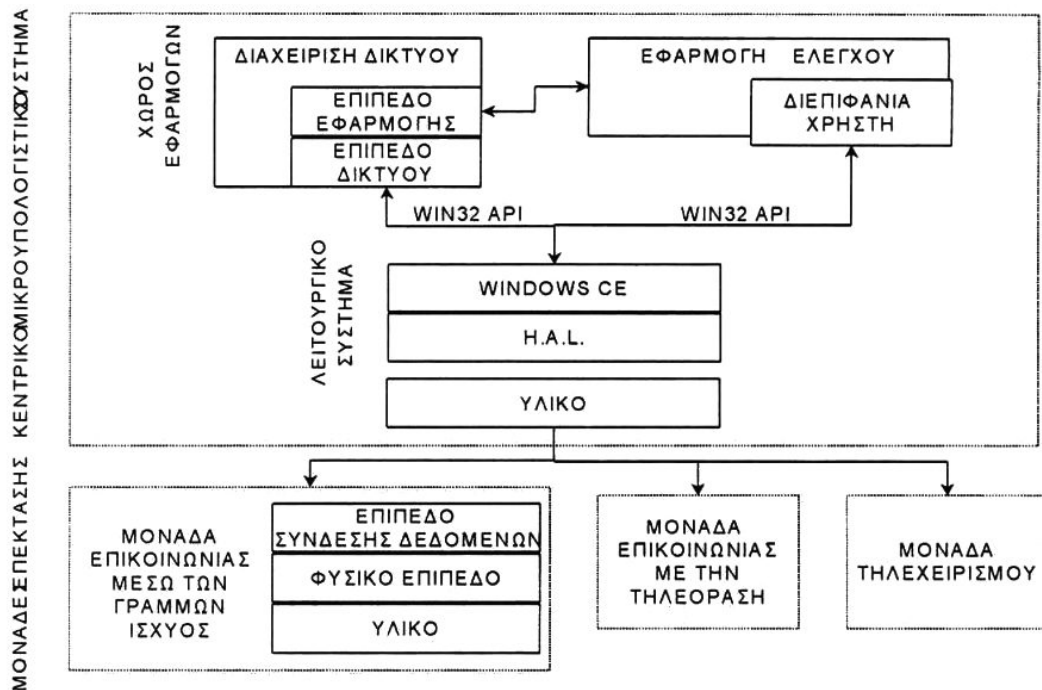
- Θα διαχειρίζεται τις λογικές συνδέσεις ανάμεσα στις λειτουργικές οντότητες των ευφών κόμβων, του gateway και της εφαρμογής ελέγχου

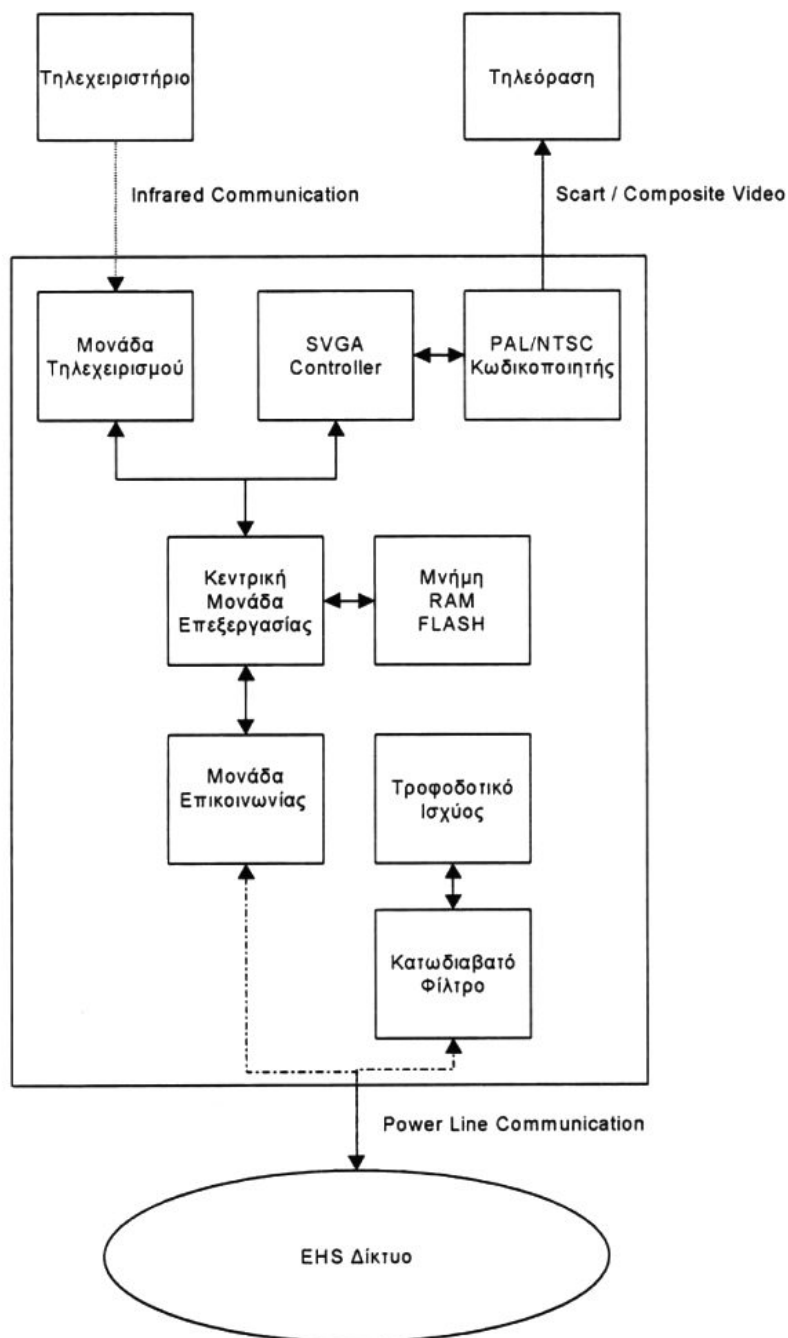
ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.

Για να ικανοποιηθούν οι παραπάνω λειτουργικές απαιτήσεις η σχεδίαση του συστήματος βασίστηκε σε ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα και διάφορες περιφερειακές συσκευές.

Η εφαρμογή ελέγχου περιλαμβάνει την υλοποίηση του user interface και τους αλγόριθμους ελέγχου και η οποία επικοινωνεί με το επίπεδο εφαρμογής του EHS δικτύου και με το λειτουργικό σύστημα.

Κάτω από την περιοχή του λειτουργικού σύστημα βρίσκεται το επίπεδο ΗΑΙ (Hardware Abstraction Layer) το οποίο είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο το περιφερειακών μονάδων του ΚΜΣ και περιλαμβάνει ρουτίνες εξυπηρέτησης διακοπών κλπ.





Το παραπάνω δομικό διάγραμμα αποτελείται από τις εξής συσκευές: το τερματικό του χρήστη, το τηλεχειριστήριο και την τηλεόραση. Το τερματικό συνδέεται σε κάποιον ρευματοδότη μέσω του οποίου επικοινωνεί με τις υπόλοιπες συσκευές του δικτύου οι οποίες είναι οι ευφυείς κόμβοι και το Gateway .Οι πληροφορίες της εφαρμογής προβάλλονται στην οθόνη της τηλεόρασης. Η σύνδεση του τερματικού με την τηλεόραση γίνεται μέσω του

SCART connector ή της κεραίας. Ο χρήστης θα αλληλεπιδρά με την εφαρμογή μέσω του τηλεχειριστηρίου.

Το Κεντρικό Μικροϋπολογιστικό Σύστημα (ΚΜΣ). Το λειτουργικό σύστημα στο οποίο θα βασιστεί ή ανάπτυξη της εφαρμογής πρέπει να είναι Multi - Tasking, Multi -Threaded και επιπλέον να παραθέτει εύκολη δόμηση πολύπλοκου αλλά ταυτόχρονα και εύχρηστου User Interface μέσω ενός γραφικού περιβάλλοντος σαν αυτό που είναι διαθέσιμο στο περιβάλλον Windows.

Η Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) έχει ως μονάδα επεξεργασίας έναν 32bit επεξεργαστή με μονάδα διαχείρισης μνήμης (MMU) και ο οποίος υποστηρίζεται από το λειτουργικό σύστημα Windows CE, το οποίο θα αποτελέσει και το λειτουργικό σύστημα του ΚΜΣ.

. Η απεικόνιση όλων των πληροφοριών που είναι διαθέσιμες στον καταναλωτή θα εμφανίζονται στην οθόνη μιας τηλεόρασης. Η έξοδος της μονάδας αυτής δίνει σήμα composite video που είναι standard για τις περισσότερες τηλεοράσεις που έχουν είσοδο audio-video. Η περιφερειακή μονάδα για την επικοινωνία με τις υπόλοιπες συσκευές του δικτύου μέσω των γραμμών ισχύος.

επικοινωνεί με την γραμμή ισχύος με το κατάλληλο υλικό που υλοποιεί ένα power line modem.

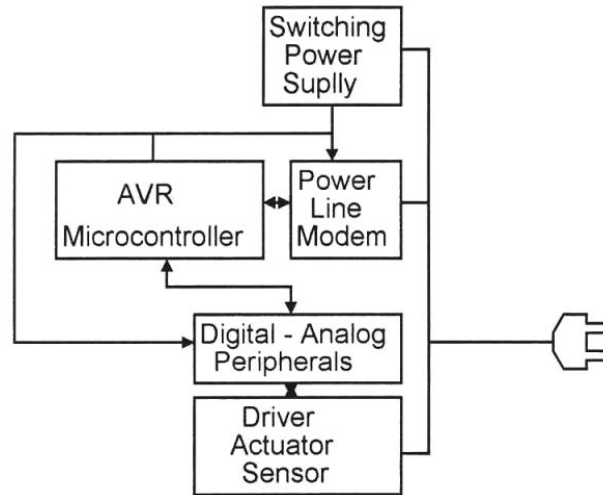
Το κατωδιαβατό φίλτρο.

Σε περίπτωση χρήσης ενός διακοπτικού τροφοδοτικού για την τροφοδοσία του ΚΜΣ και των περιφερειακών συσκευών είναι απαραίτητη η χρήση ενός κατωδιαβατού φίλτρου στην είσοδο του τροφοδοτικού ώστε να περιοριστούν οι αρμονικές του ρεύματος που περνούν στο δίκτυο και να μειωθεί ο θόρυβος στο Power Line modem.

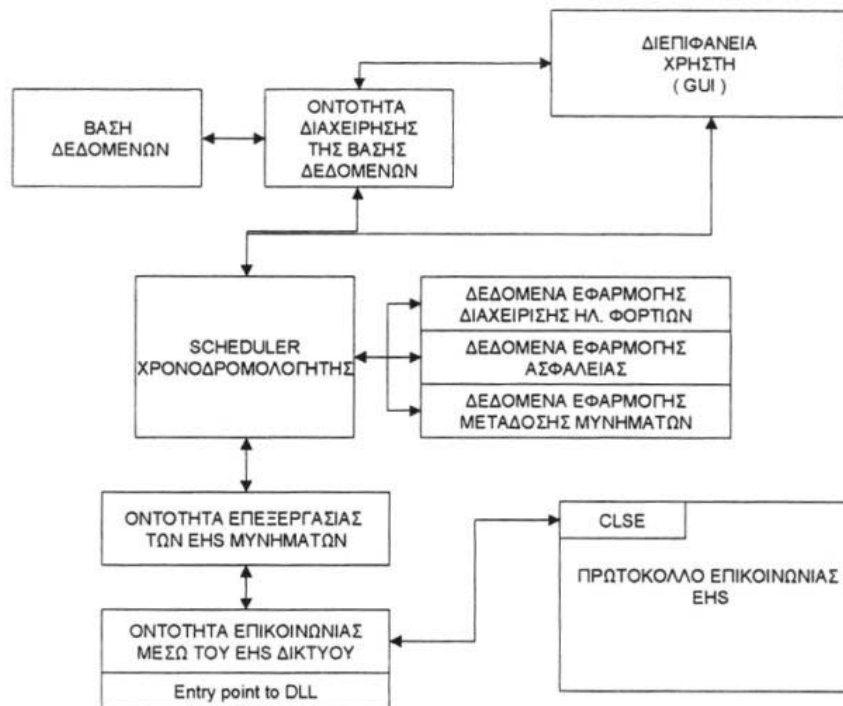
Η ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΥΦΥΟΥΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

Η ευφυής συσκευή αποτελείται από ένα microcontroller που έχει την απαραίτητη ROM, RAM και EEPROM.Ο microcontroller διαθέτει τις

απαραίτητες αναλογικές και ψηφιακές εισόδους και εξόδους με αποτέλεσμα να μπορεί να καλύψει οποιαδήποτε απαίτηση ευφυούς συσκευής. Μία ευφυής συσκευή διαθέτει επίσης το Power Line Modem (PLM και έχει ένα switching power supply που παράγει τις κατάλληλες τάσεις και τροφοδοτεί τα στοιχεία του κυκλώματος. Το γενικό διάγραμμα της ευφυούς συσκευής δείχνεται στο παρακάτω σχήμα.



Γενικό διάγραμμα της ευφυούς συσκευής



Οι κύριες λειτουργικές οντότητες του λογισμικού διαχείρισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ασχοληθήκαμε με την διερεύνηση της μετάδοσης τηλεπικοινωνιακού σήματος μέσω του ηλεκτρικού δικτύου χαμηλής και μέσης τάσης.

Στο πρώτο κεφάλαιο έγινε μια εισαγωγή στην τεχνολογία PLC και PLT και στις προοπτικές παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών και εφαρμογών μέσω του ήδη εγκατεστημένου ηλεκτρικού δικτύου χαμηλής και μέσης τάσης χωρίς να χρειαστεί η εγκατάσταση νέας καλωδίωσης. Εξετάστηκαν οι δυο δομές της τεχνολογίας PLT :

First house – όπου το πρώτο σπίτι λειτουργεί ως κεντρικός κόμβος δρομολόγησης.

Head end- όπου ο κεντρικός κόμβος δρομολόγησης τοποθετείται κεντρικά και συνδέεται ακτινικά με τα γύρω σπίτια.

Εξετάστηκαν τα προβλήματα που παρουσιάζονται λόγω θορύβων, λόγω αρμονικών ανώτερων των 50Hz και παρασιτικών χωρητικοτήτων και λόγω της εξάρτησης της απόκρισης συχνότητας από τη συχνότητα (1Mz έως 20Mz).

Οι μετασχηματιστές διανομής 20KV/400V προκαλούν μεγάλη εξασθένηση σε ασθενή υψίσυχνα σήματα άνω των 100KHz και το κόστος των βαθμίδων ζεύξης με τις γραμμές μέσης τάσης και των απαιτούμενων διατάξεων απομόνωσης και προστασίας είναι αρκετά υψηλό.

Όλα τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η μετάδοση του σήματος πρέπει να γίνει με τη χρησιμοποίηση εξελιγμένων τεχνικών ψηφιακής διαμόρφωσης όπως η ASK,FSK και OFDM.

Στο δεύτερο κεφάλαιο μελετήθηκαν οι βασικές ιδιότητες των γραμμών μεταφοράς και τα φαινόμενα διάδοσης και ανάκλασης των παλμών που παρατηρούνται σε προσαρμοσμένες και μη προσαρμοσμένες γραμμές. Μελετήθηκε η χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής η καθυστέρηση της διάδοσης του σήματος καθώς επίσης και κατανομημένη χωρητικότητα και αυτεπαγωγή της γραμμής. Αναπτύχθηκαν τα προβλήματα ανακλάσεων των σημάτων σε γραμμές πεπερασμένου μήκους, η δημιουργία

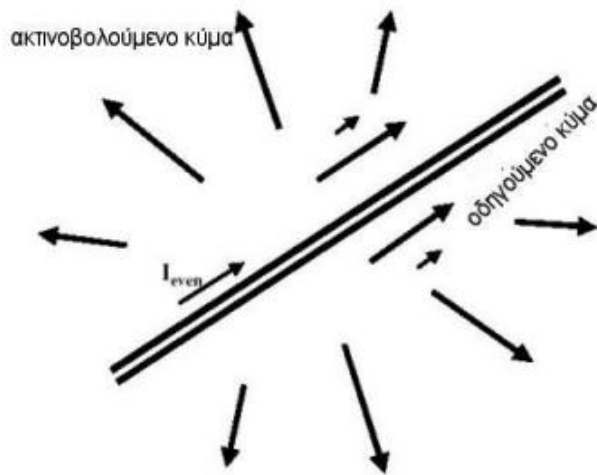
στασίμων κυμάτων και φαινομένων συντονισμού, καθώς επίσης και η διάδοση ψηφιακών παλμών και απότομων μεταβολών σήματος σε προσαρμοσμένες και μη προσαρμοσμένες γραμμές μεταφοράς.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάστηκε μια εισαγωγή στις τηλεπικοινωνίες, στα αναλογικά και ψηφιακά συστήματα διαμόρφωσης και στη ψηφιακή μετάδοση αναλογικών σημάτων. Μελετήθηκε η πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας FDM και η ορθογωνική πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας OFDM και οι διαμορφώσεις-κωδικοποιήσεις ASK και FSK.

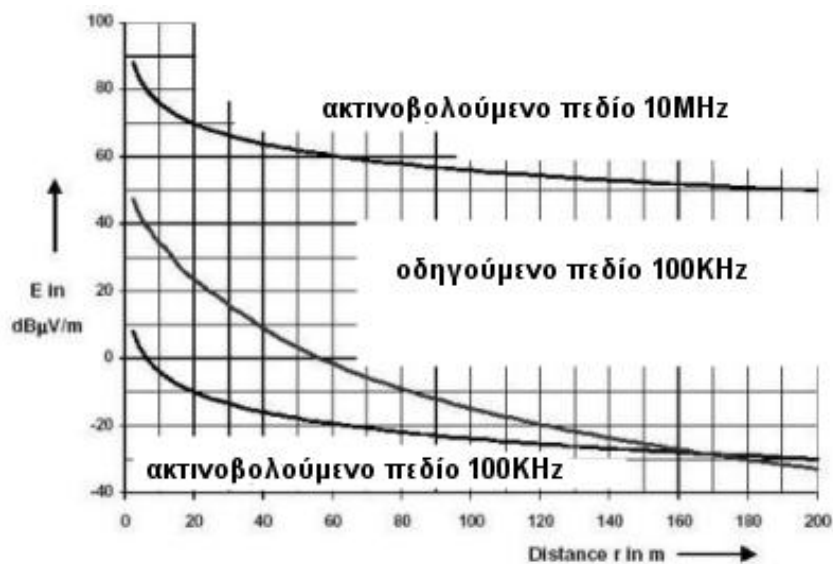
Στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύχθηκε η τεχνολογία Ripple control με τη χρήση της κωδικοποίησης Pulsadis. Η τεχνολογία ripple control εφαρμόζεται στα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και διευκολύνει, τον κεντρικό έλεγχο αρκετών χιλιάδων δεκτών που είναι τοποθετημένοι δίπλα στους μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας των καταναλωτών και στοχεύουν στην οικονομικότερη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας. (Αλλαγή ταρίφας χρέωσης νυχτερινού τιμολογίου) Χρησιμοποιείται το σύστημα κωδικοποίησης Pulsadis σε χαμηλές συχνότητες μεταξύ 167 Hz και 340 Hz , το οποίο εγχύεται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας των 50 Hz μέσω μετασχηματιστών εγχύσεως στους ζυγούς των 20KV. Παραστήθηκε γραφικά η εμβέλεια του σήματος σε χιλιόμετρα συναρτήσει της συχνότητας, η εξασθένηση του σήματος συναρτήσει της συχνότητας και η επίδραση του σήματος στους πυκνωτές χωρητικής αντιστάθμισης.

Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο αναπτύχθηκε διεξοδικά μια συγκεκριμένη και εμπορικά εκμεταλεύσιμη εφαρμογή της τεχνολογίας PLC και PLT στην τηλεμέτρηση και εξοικονόμηση ενέργειας και στον καθορισμό των τεχνικών χαρακτηριστικών και λειτουργικών απαιτήσεων για μια πρωτοποριακή πιλοτική εφαρμογή στα πλαίσια της απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας.

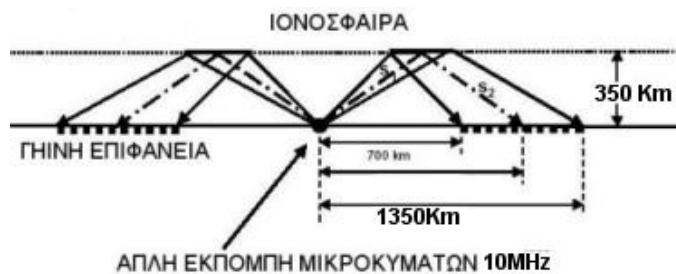
Ενα προτεινόμενο θέμα για περαιτέρω έρευνα είναι το πρόβλημα της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας EMC (electromagnetic compatibility) λόγω της ακτινοβολούμενης ενέργειας από μία εναέρια γραμμή μεταφοράς που διαρρέεται από υψίσυχο ρεύμα.



Στο πιο κατω διάγραμμα παρουσιάζεται η ένταση του εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου E dB μ V/m συναρτήσει της απόστασης (μέτρα) από ένα εναέριο αγωγό που διαρρέεται από υψίσυχο ρεύμα 100KHz και 10 MHz.



Ένα σήμα συχνότητας 10MHz που εκπέμπεται από ένα πομπό ανακλάται στη ιονόσφαιρα (που απέχει περίπου 350 χμ από την επιφάνεια της γης) και μπορεί να δημιουργήσει παρεμβολή σε αποστάσεις έως και 1300 χμ μακριά από τον πομπό.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ν.Θεοδώρου, «Ηλεκτρικές Μετρήσεις (Τεύχος 1: Κλασσικές Μετρήσεις)», Αθήνα, 2000.
- Ν.Θεοδώρου, «Ηλεκτρικές Μετρήσεις (Τεύχος 2: Ηλεκτρονικές και Ψηφιακές μετρήσεις)», Αθήνα, 2000.
- Ε.Μπίλλης, «Σύγχρονα Τηλεπικοινωνιακά Θέματα», Αθήνα, 1999.
- Χ.Καψάλης, Π.Κωττής, «Κεραίες-Ασύρματες Ζεύξεις», Αθήνα, 1999
- Ι.Βενιέρης, «Δίκτυα Ευρείας Ζώνης», Αθήνα, 1998

Β. ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .

- S.Haykin, «Συστήματα Επικοινωνίας», Ελληνική Έκδοση, Αθήνα, 1994.
- J. Warland, «Δίκτυα Επικοινωνιών», Ελληνική Έκδοση, Αθήνα, 1997
- S.Ramo, J.R. Whinnery, and T .van Duzer , «Fields and Waves -in Communication Electronics», New York: John Wiley & .
- P.R. Clayton, «Introduction to Electromagnetic Compatibility», New York: John Wiley and Sons Inc., 1992.
- A.Tanenbaum, «Δικτυα Υπολογιστών», Ελληνική Έκδοση, Αθήνα, 1991.
- I.C.Papaleonidopoulos,C.G. Karagiannopoulos, N.J. Theodorou, C.E. Anagnostopoulos and I.E. Anagnostopoulos, «Modelling of Indoor Low- Voltage Cables in the High Frequency range» ISPLC2002, 2002
- D.Anastasiadou and T .Antonakopoulos, «An experimental setup for characterizing the residential power grid variable behavior» ISPLC2002
- F.Issa and A. Abdouss, «Indoor PLC Network Simulator» ISPLC2002, 2002, pp. 36-39.
- F.J.Cafiete Corripio, L. Díez del Río and J.T .Entrambasaguas Munioz, «A Time Variant Model for Indoor Power-Line Channel» ISPLC2001

- C.Assimakopoulos and F.-N. Pavlidou, «Measurements and Modelling of In-House Power Lines Installation for Broadband- Communications ISPLC2001
- J.Yazdani, M. Naderi, and B. Honary, «PowerLines Analysing Tool (PLAT) for Channel Modelling» ISPLC 2001
- C.Papaleonidopoulos,C.G.Karagiannopoulos, D.P.Agoris, P.D. Bourkas, and N.J. Theodorou, «HF Signal Transmission over Power Lines and Transfer Function Measurements» EUROPES 2000
- Philips, «Modelling of Powerline Communication Channels» ISPLC '99
- D.Raphaeli and E.Bassin: «A Comparison between OFDM, Single Carrier and Spread Spectrum for High Data Rate PLC» 1999 International Symposium on Power-Line Communications and its applications
- Standards, «ETSI Standard for 1 St Generation PLC systems» ETSI 2000.

Ανδρέας Χ. Ιωάννου
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών
Ε.Μ.Π.

Copyright © Ανδρέας Χ. Ιωάννου, 2004

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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