

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο και γενικότερα στο βιβλίο αυτό γίνεται μια εισαγωγή στο αντικείμενο των επικοινωνιακών συστημάτων. Αρχικά γίνεται παρουσίαση των εννοιών όπως πληροφορία, βασικό επικοινωνιακό σύστημα, πομποί, δέκτες και θόρυβος. Στη συνέχεια ακολουθεί μια εισαγωγή στην διαμόρφωση πληροφορίας και διευκρινίζεται η χρησιμότητα της στη μεταφερόμενη πληροφορία. Το τελευταίο τμήμα του κεφαλαίου ασχολείται με το εύρος ζώνης και την αναγκαιότητα αυτής, ενώ γίνεται φανερό ότι το εύρος ζώνης που απαιτείται για την μετάδοση των σημάτων και η κυματομορφή είναι δύο πολύ σημαντικοί παράγοντες.

1-1 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Ο όρος επικοινωνίες στην βασική ηλεκτρική του έννοια, αναφέρεται στην αποστολή στην παραλαβή αλλά και στην επεξεργασία της πληροφορίας από ηλεκτρικά μέσα. Έτσι η επικοινωνία άρχισε το 1840 με τον τηλέγραφο, αναπτύχθηκε με την τηλεφωνία μερικές δεκαετίες αργότερα και με το ραδιόφωνο στις αρχές του αιώνα μας. Η ραδιοεπικοινωνία η οποία οφείλει την ύπαρξη της στην εφεύρεση της τριόδου λυχνίας, αναπτύχθηκε σημαντικά κατά τον Δεύτερο Παγκόσμιο πόλεμο. Επακολούθησε ευρεία χρήση της επικοινωνίας και βελτίωση αυτής με την εφεύρεση και την χρήση του τρανζίστορ, διαφόρων πολύπλοκων κυκλωμάτων και άλλων ημιαγωγικών στοιχείων. Πρόσφατα η χρήση των δορυφόρων και των οπτικών ινών έκανε τις επικοινωνίες ευρέως διαδεδομένες, με αυξημένη έμφαση στους υπολογιστές και σε άλλα μέσα επικοινωνίας.

Σε ένα μοντέρνο επικοινωνιακό σύστημα, πριν ακόμα έρθει το στάδιο της μετάδοσης, μας ενδιαφέρει η ταξινόμηση, η επεξεργασία και η αποθήκευση της πληροφορίας. Το επόμενο βήμα είναι η μετάδοση της πληροφορίας, η οποία συνοδεύεται από περαιτέρω επεξεργασία και φιλτράρισμα του θορύβου. Τελικά έχουμε την λήψη της πληροφορίας, που μπορεί να περιλαμβάνει κάποια βήματα επεξεργασίας όπως αποκωδικοποίηση, αποθήκευση και μεταγλώττιση. Τέτοιου είδους επικοινωνίες περιλαμβάνουν η ραδιοτηλεφωνία και η τηλεγραφία, η κινητή επικοινωνία (εμπορική ή στρατιωτική), η επικοινωνία υπολογιστών, τα ραντάρ, και η τηλεμετρία. Με όλα αυτά τα είδη επικοινωνίας θα ασχοληθούμε σε επόμενα κεφάλαια.

Για να εξοικειωθούμε με όλα τα παραπάνω συστήματα είναι απαραίτητο να μελετήσουμε αρχικά τους ενισχυτές και τους ταλαντωτές δηλαδή τους οικοδομικούς λίθους όλων των ηλεκτρονικών μεθόδων και των ηλεκτρονικών εξοπλισμών. Γνωρίζοντας καλά τα παραπάνω, μπορούμε να προσεγγίσουμε τις θεμελιώδεις αρχές του θορύβου, της διαμόρφωσης και της θεωρίας πληροφορίας όπως και τα διάφορα συστήματα. Οποιαδήποτε λογική σειρά μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όμως αυτή που έχει υιοθετηθεί εδώ και έχει χαρακτηριστεί ως η πιο κατάλληλη είναι: βασικά συστήματα, επικοινωνιακές διαδικασίες, κυκλώματα και περισσότερο σύνθετα συστήματα. Είναι εξίσου σημαντικό να λάβουμε υπόψη μας τους ανθρώπινους παράγοντες που επιδρούν στο συγκεκριμένο σύστημα, εφόσον πρέπει να επηρεάζουν τον σχεδιασμό τον προγραμματισμό και την χρήση του συστήματος.

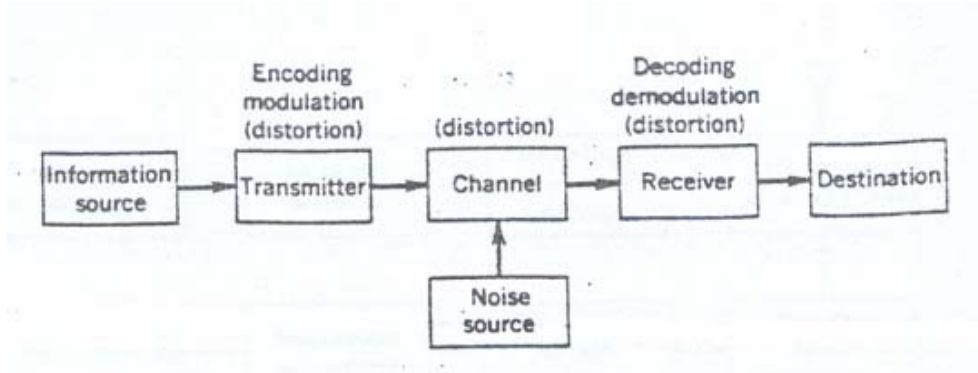
1-2 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Πριν ακόμα εξετάσουμε ανεξάρτητα συστήματα, πρέπει να καθορίσουμε και να συζητήσουμε κάποιους σημαντικούς όρους όπως είναι η πληροφορία, το μήνυμα, το σήμα, το κανάλι, ο θόρυβος και η αλλοίωση του σήματος, η διαμόρφωση και η αποδιαμόρφωση και τελικά η κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση. Συσχετίζουμε όλες αυτές τις αρχές στο διάγραμμα ενός γενικού επικοινωνιακού συστήματος στο Σχήμα 1-1.

1-2.1 Πληροφορία

Το επικοινωνιακό σύστημα υπάρχει ώστε να μεταδίδει ένα μήνυμα. Αυτό το μήνυμα προέρχεται από την πηγή πληροφορίας, η οποία το δημιουργεί, με την έννοια ότι επιλέγει ένα μήνυμα από ένα σύνολο μηνυμάτων. Αν και ένα τέτοιο επικοινωνιακό σύστημα βρίσκει εφαρμογή περισσότερο στην τηλεγραφία παρά σε ένα εκπεμπόμενο σήμα ραδιοφώνου ή τηλεόρασης, ωστόσο αποδεικνύεται ότι απευθύνεται σε όλες τις μορφές επικοινωνίας. Η ομάδα ή ακριβέστερα ο συνολικός αριθμός των μηνυμάτων αποτελείται από ανεξάρτητα μηνύματα τα οποία μπορούν να διαχωρίζονται το ένα από το άλλο. Τα μηνύματα αυτά μπορεί να είναι λέξεις, σύνολα από λέξεις, σύμβολα ή οποιαδήποτε άλλη προκαθορισμένη μονάδα.

Η πληροφορία σαν έννοια είναι αυτό που μεταφέρεται. Το ποσό της πληροφορίας που περικλείεται σε ένα δεδομένο μήνυμα μετριέται σε bits ή σε dits και εξαρτάται από τον αριθμό των επιλογών που πρέπει να πραγματοποιηθούν. Όσο μεγαλύτερος είναι ο συνολικός αριθμός των πιθανών επιλογών, τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσό πληροφορίας που μεταφέρεται. Έστω ότι θέλουμε να βρούμε την θέση μιας λέξης στην παρούσα σελίδα, μπορεί να είναι αρκετό να πούμε ότι η λέξη αυτή είναι στην αρχή ή στο τέλος ή στην δεξιά ή στην αριστερή πλευρά της σελίδας. Δηλαδή έχουμε δυο συνεχόμενες επιλογές του ενός από δυο πιθανότητες. Αν αυτή η λέξη εμφανίζεται σε οποιαδήποτε από δυο σελίδες, είναι τώρα αναγκαίο να πούμε σε ποια από τις δύο και με το τρόπο αυτό να δώσουμε περισσότερη πληροφορία. Η σημασία (ή έλλειψη σημασίας) της πληροφορίας δεν παίζει σημαντικό ρόλο από αυτή την σκοπιά, μόνο η ποσότητα είναι αυτή που μας ενδιαφέρει. Αν και πρέπει να συνειδητοποιήσουμε ότι καμία πραγματική πληροφορία δε μεταδίδεται από ένα υπεράριθμο (εντελώς προβλέψιμο) μήνυμα. Η αφθονία ωστόσο δεν είναι περιττή κάτω από άλλες συνθήκες. Εκτός από την προφανή χρησιμότητα της αφθονίας στην διασκέδαση και την διδασκαλία επιπλέον βοηθάει το μήνυμα να παραμείνει κατανοητό κάτω από δύσκολες και θορυβώδεις καταστάσεις.

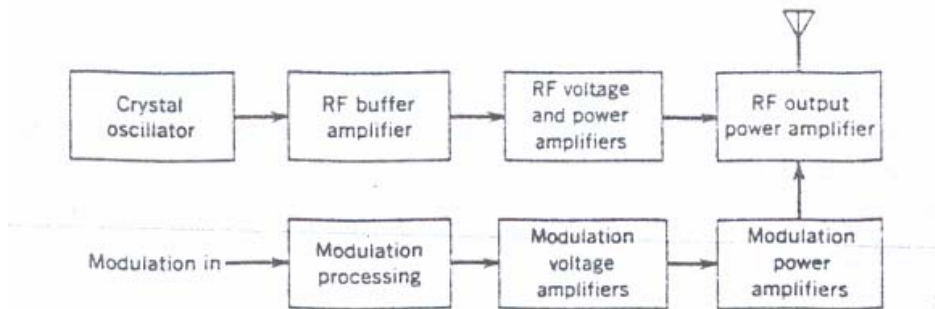


Σχήμα 1-1 Διάγραμμα ενός επικοινωνιακού συστήματος

1-2.2 Πομπός

Εκτός και αν το μήνυμα που προέρχεται από την πηγή πληροφορίας είναι ηλεκτρικό στη φύση θα είναι ακατάλληλο για άμεση διάδοση. Ακόμα και τότε πρέπει να γίνει πολύ δουλειά έτσι ώστε το μήνυμα να γίνει κατάλληλο για μετάδοση. Αυτό μπορεί να υλοποιηθεί σε μια πλευρική μπάντα συχνοτήτων διαμόρφωση, όπου είναι αναγκαίο να μετασχηματίσουμε τα εισερχόμενα ηχητικά σήματα σε ηλεκτρικές μεταβλητές ώστε να περιορίσουμε το εύρος των ακουστικών συχνοτήτων και στη συνέχεια να συμπίεσουμε πλάτος τους. Όλα τα προηγούμενα γίνονται πριν ακόμα γίνει διαμόρφωση. Στην καλωδιακή τηλεφωνία δεν απαιτείται κάποιου είδους επεξεργασία όμως σε μεγάλης εμβέλειας επικοινωνίες ο πομπός απαιτείται για να επεξεργαστεί και πιθανώς να κωδικοποιήσει την εισερχόμενη πληροφορία με τέτοιο τρόπο ώστε να την κάνει κατάλληλη για μετάδοση και συνεπώς για λήψη.

Ενδεχομένως, σε ένα πομπό, η πληροφορία διαμορφώνει το φέρον σήμα. Η μέθοδος διαμόρφωσης ποικίλει από ένα σύστημα σε κάποιο άλλο. Έτσι η διαμόρφωση μπορεί να είναι υψηλού επιπέδου ή χαμηλού και το σύστημα μπορεί να είναι διαμόρφωση κατά πλάτος, διαμόρφωση συχνότητας, διαμόρφωση παλμού ή οποιαδήποτε άλλη παραλλαγή ή συνδυασμός αυτών, ανάλογα με τις απαιτήσεις. Στο Σχήμα 1-2 φαίνεται μια υψηλού επιπέδου διαμόρφωση κατά πλάτος πομπού.



Σχήμα 1-2 Διάγραμμα ενός τυπικού ράδιο πομπού

1-2.3 Κανάλι – Θόρυβος

Το ακουστικό και το οπτικό κανάλι δεν χρησιμοποιούνται σε μεγάλης εμβέλειας επικοινωνίες. Οι επικοινωνίες σε αυτό το σημείο θα περιοριστούν σε κανάλια ραδιοφωνικά, καλωδιακά και επιπλέον σε κανάλια οπτικών ινών. Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί ότι ο όρος κανάλι συνήθως αναφέρεται στο εύρος της συχνότητας που κατανέμεται σε μια ειδική γραμμή μεταφοράς. Όπως είναι το κανάλι της τηλεόρασης.

Είναι αναπόφευκτο ότι το σήμα θα παραμορφωθεί κατά την διάρκεια της μεταφοράς του και της λήψης του, γεγονός που οφείλεται στην κάποια αλλοίωση που υφίσταται το επικοινωνιακό σύστημα ή ακόμα στον θόρυβο που εισάγεται στο σύστημα. Ο θόρυβος αυτός είναι ανεπιθύμητη ενέργεια συνήθως τυχαίου χαρακτήρα που παρουσιάζεται στο σύστημα μεταφοράς και μπορεί να προκαλείται με οποιοδήποτε τρόπο. Εφόσον ο θόρυβος θα ληφθεί μαζί με το σήμα είναι φανερό ότι θα πρέπει να ορίσουμε ένα όριο στο σύστημα μεταφοράς. Όταν ο θόρυβος είναι έντονος μπορεί να υπερκαλύψει το σήμα τόσο πολύ έτσι ώστε το σήμα να αποδυναμωθεί τόσο ώστε να γίνει πλέον άχρηστο. Στο Σχήμα 1-1, μόνο μια πηγή θορύβου απεικονίζεται, όχι γιατί μόνο μια πηγή υπάρχει αλλά για να απλουστεύσουμε το διάγραμμα. Ο θόρυβος μπορεί να αναμιγνύεται με το σήμα μας σε κάθε σημείο του

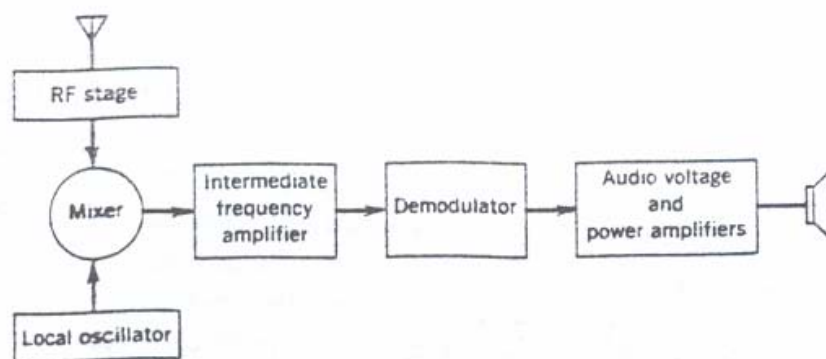
επικοινωνιακού μας συστήματος, όμως η επίδραση του θορύβου γίνεται μεγαλύτερη όσο το σήμα είναι ασθενέστερο. Αυτό σημαίνει ότι ο θόρυβος είναι ακόμα πιο αισθητός στο κανάλι ή στην είσοδο του δέκτη όπου το σήμα είναι αδύναμο. Το φαινόμενο αυτό μελετάται λεπτομερώς στο κεφάλαιο 2.

1-2.4 Δέκτης

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία δεκτών στα επικοινωνιακά συστήματα, εφόσον το σχήμα κάθε συγκεκριμένου δέκτη επηρεάζεται από πολλές απαιτήσεις. Ανάμεσα στις πιο σημαντικές απαιτήσεις είναι η το σύστημα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται, η συχνότητα λειτουργίας και το εύρος αυτής καθώς επίσης και ο τύπος απεικόνισης που απαιτείται, ο οποίος με την σειρά του εξαρτάται από τον προορισμό της λαμβάνουσας πληροφορίας. Αν και οι περισσότεροι δέκτες συμφωνούν με τον υπερετερόδυνο τύπο δέκτη, όπως κάνει ο απλός δέκτης του οποίου το σχηματικό διάγραμμα φαίνεται στο Σχήμα 1-3.

Οι δέκτες μπορούν να ποικίλουν σε πολυπλοκότητα, για παράδειγμα υπάρχει ο απλός κρυσταλλικός δέκτης με τα ακουστικά ωστόσο υπάρχουν και περισσότερο σύνθετοι δέκτες όπως ο δέκτης ραντάρ με την ενσωματωμένη κεραία και το σύστημα οπτικής απεικόνισης των δεδομένων. Όσο πολύπλοκος ή απλός μπορεί να είναι ένας δέκτης η σημαντικότερη λειτουργία του είναι η αποδιαμόρφωση (και κάποιες φορές η αποκωδικοποίηση). Και οι δυο προηγούμενες λειτουργίες είναι το αντίθετο της αντίστοιχης διαδικασίας που γίνεται στο δέκτη.

Αρχικά, ο σκοπός του δέκτη και το σχήμα της εξόδου του επηρεάζουν την κατασκευή του όσο περισσότερο χρησιμοποιείται ο τύπος του συστήματος διαμόρφωσης. Έτσι η έξοδος του δέκτη μπορεί με διάφορους τρόπους να τροφοδοτηθεί σε ένα μεγάφωνο, σε ένα βίντεο, σε μια τηλεγραφομηχανή, σε διάφορα radar, σε τηλεόραση, ή ακόμα και σε στυλό μαγνητόφωνο ή και σε υπολογιστή. Σε κάθε τέτοια διαδικασία θα πρέπει να γίνονται διαφορετικές τροποποιήσεις κάθε φορά ανάλογα την συσκευή εφόσον υπάρχει άμεση επίδραση στον δέκτη. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι ο εκπομπός και ο δέκτης θα πρέπει να βρίσκονται σε συμφωνία με τις μεθόδους διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που χρησιμοποιούνται, ενώ σε μερικά συστήματα θα πρέπει ο εκπομπός και ο δέκτης να βρίσκονται σε χρονισμό και συγχρονισμό.



Σχήμα 1-3 Διάγραμμα ενός AM υπερετερόδυνου(superheterodyne) δέκτη

1-3 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

1-3.1 Περιγραφή

Στη διαδικασία της διαμόρφωσης, κάποιο χαρακτηριστικό του ημιτονοειδούς σήματος στις υψηλές συχνότητες (το φέρον σήμα) μεταβάλλεται σε συμφωνία με την στιγμιαία τιμή του (διαμορφωμένου) σήματος. Ένα τέτοιο ημιτονικό σήμα μπορεί να αναπαρασταθεί από την εξίσωση $e = E \sin(\omega t + \phi)$, όπου e είναι η στιγμιαία τιμή του ημιτονικού σήματος και καλείται φέρον σήμα, E είναι το μέγιστο πλάτος του σήματος, ω είναι η γωνιακή ταχύτητα ή γωνιακή συχνότητα, ενώ ϕ είναι η φάση σε σχέση με κάποια πληροφορία. Κάθε ένα από αυτά τα τρία τελευταία χαρακτηριστικά ή παραμέτρους του φέρον σήματος μπορούν να είναι διαφορετικά από του διαμορφωμένου σήματος, έχοντας αυξήσει το πλάτος τους, ή διαμορφώνοντας την συχνότητα ή τη φάση αντίστοιχα.

Μια τέτοια διαδικασία είναι αρκετά πολύπλοκη, και δεν χρησιμοποιείται αν δεν υπάρχουν εξαιρετικά σοβαροί λόγοι. Αυτοί οι λόγοι θα συζητηθούν παρακάτω, διότι είναι άκρως σημαντικοί αλλά όχι και άμεσα προφανείς.

1-3.2 Ανάγκη για διαμόρφωση

Υπάρχουν δυο εναλλακτικές λύσεις στην χρήση του διαμορφωμένου φέροντος σήματος για την μεταφορά των μηνυμάτων σε μεγάλες αποστάσεις στο ραδιοφωνικό κανάλι. Η μια περίπτωση είναι να προσπαθήσει να στείλει το ίδιο το διαμορφωμένο (modulating) σήμα και η άλλη εκδοχή είναι να χρησιμοποιήσει ένα αποδιαμορφωτή φέροντος σήματος. Θα παρουσιάσουμε αρχικά την πιθανότητα να μεταφερθεί το σήμα από μόνο.

Αν και η ανάγκη για διαμόρφωση δεν έχει ακόμα συζητηθεί, ωστόσο εμπλέκονται πολλά προβλήματα όσον αφορά την διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε συχνότητες που ανταποκρίνονται στο ακουστικό φάσμα δηλαδή κάτω από 20KHz (βλέπε κεφάλαια 8 & 9). Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα στην απευθείας μετάδοση του σήματος είναι ότι για αποδοτική εκπεμπόμενη ενέργεια και λήψη, οι κεραίες εκπομπής και λήψης θα πρέπει να έχουν ύψος συγκρίσιμο με το $\frac{1}{4}$ του μήκους κύματος της συχνότητας που χρησιμοποιείται. Αυτό το ύψος είναι 75 μέτρα (75m) στο 1MHz, στην εκπεμπόμενη μπάντα, όμως στα 15 KHz έχει αυξηθεί στα 5000m (ή πάνω από 16.000πόδια)! Μια τέτοια κατακόρυφη κεραία είναι αδιανόητο να υπάρξει.

Υπάρχει ακόμα ένα δυνατό επιχείρημα όσον αφορά την απευθείας μετάδοση του σήματος: όλο το ακουστικό βεληνεκές εντοπίζεται μέσα στο διάστημα από 20Hz μέχρι 20KHz έτσι ώστε όλα τα άλλα σήματα που προέρχονται από άλλες πηγές θα συγχέονται μεταξύ τους. Σε κάθε πόλη, οι εκπεμπόμενοι σταθμοί από μόνοι τους θα κάλυπταν μεγάλη περιοχή του 'αέρα' και έτσι θα αντιπροσώπευαν μια μικρή αναλογία του συνολικού αριθμού των δεκτών που βρίσκονται σε χρήση.

Για να ξεχωρίσουμε μεταξύ τους τα διάφορα σήματα είναι αναγκαίο να αντιστοιχίσουμε κάθε ένα από αυτά σε διαφορετικά τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, δηλαδή πρέπει να δοθεί σε κάθε ένα σήμα ένα 'ράφι'. Με τον τρόπο αυτό ξεπερνιούνται οι δυσκολίες που οφείλονται στην ασθενή ακτινοβολία στις χαμηλές συχνότητες. Όταν πια το σήμα το έχουμε αντιστοιχίσει σε ένα μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, τοποθετείται ένα κύκλωμα συντονισμού στην αρχή του δέκτη έτσι ώστε να σιγουρέψουμε το γεγονός ότι στον δέκτη εισέρχεται το επιθυμητό τμήμα του φάσματος και όλα τα ανεπιθύμητα τμήματα τα οποία δεν

αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο σήμα αγνοούνται. Το κύκλωμα αυτό έχει ένα ρυθμιστή ο οποίος μεταβάλλεται και συνδέεται με τον ρυθμιστή ελέγχου, έτσι ώστε ο δέκτης να μπορεί να επιλέξει κάθε επιθυμητή μετάδοση πληροφορίας μέσα σε ένα προκαθορισμένο εύρος τιμών, όπως στη μεταδιδόμενη μπάντα πολύ υψηλών συχνοτήτων (VHF) που χρησιμοποιείται στην διαμόρφωση συχνότητας (FM).

Αν και έχοντας καταφέρει να διαχωρίσουμε μεταξύ τους τα σήματα και επομένως έχουμε καταφέρει να μειώσουμε τα διάφορα προβλήματα που παρουσιάζονταν ως τώρα λόγω της απουσίας της διαμόρφωσης του σήματος, ωστόσο παραμένει το γεγονός ότι μη διαμορφωμένα φέροντα σήματα από μόνα τους δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μετάδοση πληροφορίας. Ένα μη διαμορφωμένο φέρον σήμα έχει ένα μέγιστο σταθερό πλάτος έχει επίσης σταθερή συχνότητα και σταθερή σχέση φάσης. Για την ακρίβεια όλοι οι παράμετροι ενός τέτοιου σήματος είναι σταθερές. Όμως ένα μήνυμα αποτελείται από συνεχώς μεταβαλλόμενες ποσότητες. Για παράδειγμα ο λόγος περιλαμβάνει γρήγορες και απρόβλεπτες μεταβολές στο πλάτος (volume) και την συχνότητα (pitch). Εφόσον είναι αδύνατον να αναπαραστήσουμε αυτές τις δυο μεταβλητές από ένα σύνολο τριών σταθερών παραμέτρων, το μη διαμορφωμένο φέρον σήμα δεν είναι ικανό να χρησιμοποιηθεί για μεταφορά πληροφορίας. Σε ένα συνεχές ημιτονικό διαμορφωμένο σύστημα (διαμόρφωση κατά πλάτος ή συχνότητα αλλά όχι διαμόρφωση παλμού) μια από τις παραμέτρους του φέροντος σήματος ποικίλει ανάλογα με την πληροφορία. Έτσι κάθε στιγμή η απόκλιση του συστήματος από την μη διαμορφωμένη τιμή είναι ανάλογη της στιγμιαίας τιμής της διαμορφωμένης τάσης, και ο βαθμός με τον οποίο πραγματοποιείται αυτή η απόκλιση ισούται με την διαμορφωμένη συχνότητα. Με αυτόν τον τρόπο μεταφέρεται στο δέκτη αρκετή πληροφορία για την στιγμιαία συχνότητα και το στιγμιαίο πλάτος έτσι ώστε ο δέκτης να επανακατασκευάσει την αρχική πληροφορία.

1-4 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΥΡΟΥΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Είναι λογικό να περιμένουμε ότι το εύρος συχνοτήτων που απαιτείται για μια δεδομένη μεταφορά θα εξαρτάται από το εύρος συχνοτήτων που έχει καταληφθεί από τα ίδια τα διαμορφωμένα σήματα. Για παράδειγμα, παρατηρούμε ότι ένα υψηλής ακρίβειας ακουστικό σήμα καταλαμβάνει εύρος από 50 ως 15.000Hz και το εύρος συχνοτήτων από 300 μέχρι 3400Hz είναι επαρκές για μια τηλεφωνική διάλεξη, όταν ένα φέρον σήμα έχει διαμορφωθεί παρόμοια με κάθε ένα από τα προηγούμενα σήματα, τότε απαιτείται μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων για την μετάδοση του υψηλής ακρίβειας ακουστικού σήματος. Σε αυτό το σημείο αξίζει να πούμε ότι το εύρος ζώνης του μεταφερόμενου σήματος δεν χρειάζεται να είναι ακριβώς το ίδιο με το εύρος ζώνης που καταλαμβάνει το αρχικό σήμα, για λόγους που έχουν να κάνουν με τις διαφορετικές ιδιότητες των διαμορφωμένων συστημάτων.

Πριν προσπαθήσουμε να εκτιμήσουμε το εύρος ζώνης της διαμορφωμένης μεταφοράς, είναι βασικό να ξέρουμε το εύρος ζώνης που καλύπτεται από το ίδιο το διαμορφωμένο σήμα. Αν το τελευταίο αποτελείται από ημιτονοειδή σήματα δεν παρουσιάζεται κανένα πρόβλημα και η κατειλημμένη μπάντα συχνοτήτων απλά θα κυμαίνεται από την χαμηλότερη ως την υψηλότερη συχνότητα του ημιτονικού σήματος. Αν όμως τα διαμορφωμένα σήματα δεν είναι ημιτονοειδή, τότε έχουμε να αντιμετωπίσουμε μια περίπλοκη κατάσταση. Εφόσον τέτοια μη-ημιτονοειδή σήματα εμφανίζονται πολύ συχνά ως διαμορφωμένα σήματα στις επικοινωνίες, γι αυτό στη

συνέχεια θα εξετάσουμε τις απαιτήσεις που έχουν αυτά τα σήματα όσον αφορά την συχνότητα.

1-4.1 Το φάσμα συχνοτήτων των μη-ημιτονοειδών κυμάτων

Αν οποιαδήποτε μη-ημιτονοειδή κύματα, όπως τετραγωνικά κύματα, πρόκειται να μεταδοθούν από ένα επικοινωνιακό σύστημα, είναι σημαντικό να καταλάβουμε ότι ένα τέτοιο σήμα μπορεί να διαιρεθεί στις ημιτονικές του συνιστώσες. Τότε το απαιτούμενο εύρος συχνοτήτων θα είναι σημαντικά μεγαλύτερο από ότι ήταν αναμενόμενο αν ο ρυθμός επανάληψης ενός τέτοιου σήματος είχε ληφθεί υπόψη. Ακολουθεί μια περισσότερο επίσημη δήλωση του παραπάνω.

Μπορεί να αποδειχθεί ότι κάθε μη-ημιτονοειδής επαναληπτική κυματομορφή, που παίρνει μόνο μια τιμή, αποτελείται από ημιτονοειδή ή συνημιτονοειδή κύματα. Η χαμηλότερη συχνότητα ή θεμελιώδης του ημιτονικού σήματος ισούται με τον ρυθμό επανάληψης της μη-ημιτονοειδούς κυματομορφής. Όλες οι υπόλοιπες συχνότητες είναι αρμονικές της θεμελιώδους. Ο αριθμός αυτών των αρμονικών είναι άπειρος. Έτσι ένα μη-ημιτονοειδές κύμα που επαναλαμβάνεται με ρυθμό 200 περιόδους το δευτερόλεπτο, αποτελείται από ένα ημιτονοειδές κύμα θεμελιώδους συχνότητας 200Hz και αρμονικές στα 400, 600 και 800 Hz κ.τ.λ. δεν θα εμφανίζονται άλλες συχνότητες εκτός από μερικές κυματομορφές όπου εμφανίζονται μόνο οι ζυγές ή οι μονές αρμονικές. Σαν γενικότερο κανόνα μπορούμε να ορίσουμε ότι όσο πιο υψηλή είναι μια αρμονική τόσο χαμηλότερο θα είναι το αντίστοιχο πλάτος, επομένως στους υπολογισμούς του εύρους ζώνης οι υψηλές αρμονικές δεν λαμβάνονται υπόψη.

Η παραπάνω δήλωση μπορεί να επιβεβαιωθεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Μπορεί να αποδειχθεί μαθηματικά με την ανάλυση Fourier. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί γραφική σύνθεση, όπου σε κάθε περίπτωση προσθέτοντας τις κατάλληλες ημιτονικές συνιστώσες οι οποίες απορρέουν από την ανάλυση Fourier, μπορούμε να αποδείξουμε την αλήθεια της παραπάνω δήλωσης. Ένα επιπρόσθετο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε κατά πόσο θα επηρεαστεί η συνολική κυματομορφή όταν δεν υπάρχουν κάποιες συνιστώσες (για παράδειγμα οι υψηλές αρμονικές).

Τελικά, η παρουσία των ημιτονικών συνιστωσών στις σωστές αναλογίες μπορεί να περιγραφεί από έναν αναλυτή κυμάτων, ο οποίος είναι βασικά ένας υψηλής απολαβής ενισχυτής συντονισμού με στενή ζώνη διάβασης, και μπορεί να ρυθμίζεται σε κάθε ημιτονική συνιστώσα και να μετρά το πλάτος της. Παρακάτω δίνονται κάποιοι τύποι μη- ημιτονικών κυμάτων που συναντάμε συχνά και αν επιθυμούμε μπορούμε να βρούμε και άλλους τύπους σε διάφορα βιβλία. Αν A είναι το πλάτος του μη-ημιτονικού κύματος, ο ρυθμός επανάληψης του κύματος είναι $\omega/2\pi$ το δευτερόλεπτο τότε το κύμα αυτό μπορεί να γραφεί:

Τετραγωνικό κύμα:

$$e = \frac{4A}{\pi} (\cos \omega t - \frac{1}{3} \cos 3\omega t + \frac{1}{5} \cos 5\omega t - \frac{1}{7} \cos 7\omega t + \dots) \quad (1-1)$$

Τριγωνικό κύμα:

$$e = \frac{4A}{\pi} (\cos \omega t + \frac{1}{9} \cos 3\omega t + \frac{1}{25} \cos 5\omega t + \dots) \quad (1-2)$$

Πριονωτό κύμα:

$$e = \frac{2A}{\pi} (\sin \omega t - \frac{1}{2} \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t - \frac{1}{4} \sin 4\omega t + \dots) \quad (1-3)$$

Σε κάθε περίπτωση, αν το κύμα πρέπει να αναπαρασταθεί επαρκώς, απαιτούνται τόσο οι αρμονικές όσο και η θεμελιώδης συχνότητα. Το γεγονός αυτό αυξάνει το απαιτούμενο εύρος ζώνης.