

2

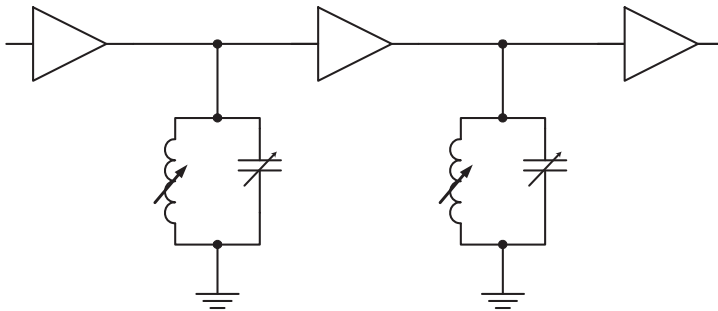
ΔΕΚΤΕΣ

Η ιστορία εξέλιξης των δεκτών είναι παράλληλη με αυτήν της ανάπτυξης των αντίστοιχων πομπών. Στην “αρχή” όλο το φάσμα συχνοτήτων ήταν πλήρως διαθέσιμο. Δηλαδή, υπήρχε απόλυτη ελευθερία ως προς την επιλογή της συχνότητας εκπομπής, η οποία πρακτικά καθοριζόταν μόνο από τη διαθέσιμη τότε τεχνολογία. Στα πρώτα βήματα της ηλεκτρομαγνητικής επικοινωνίας, της ασύρματης δηλαδή επικοινωνίας, οι πομποί αποτελούνταν από σπινθηριστές, οι οποίοι ήταν συστήματα παραγωγής υψηλής τάσης σχετικά υψηλής συχνότητας, στην περιοχή των μερικών εκατοντάδων ΚHz. Οι αντίστοιχοι δέκτες είχαν μόνη αποστολή τη μεταφορά του σήματος πληροφορίας στη βασική ζώνη συχνοτήτων. Η πρώτη ιστορικά εμφανισθείσα διαμόρφωση ήταν η διαμόρφωση πλάτους, και συνεπώς ο δέκτης εκφυλίζεται την περίοδο αυτή σε έναν απλό ενισχυτή ικανό να αντισταθμίσει τις απώλειες του τηλεπικοινωνιακού καναλιού, συνοδευόμενο από έναν κορυφοφωρατή για την αποδιαμόρφωση του σήματος πληροφορίας.

ΟΜΟΔΥΝΟΙ ΔΕΚΤΕΣ

Με την εμφάνιση παράλληλων εκπομπών για την ταυτόχρονη μεταφορά περισσότερων πληροφοριών, έγινε αναγκαία η λειτουργία συντονισμέ-

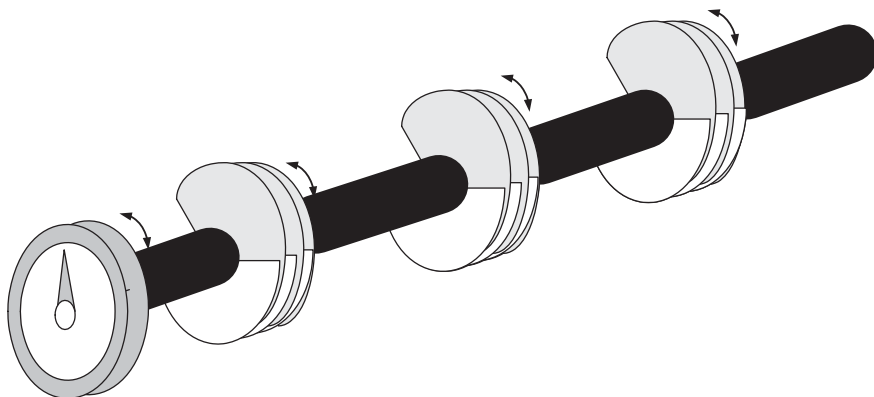
νων κυκλωμάτων για τη φασματική απομόνωση της συγκεκριμένης εκπομπής, που μεταφέρει το επιλεχθέν σήμα πληροφορίας. Στα πρώτα βήματα της ανάπτυξης των συστημάτων λήψης, η ανάγκη υλοποίησης ενός φασματικού παράθυρου όσο το δυνατόν μικρότερου εύρους, ώστε να είναι δυνατή η απομόνωση της επιθυμητής εκπομπής και η αποφυγή παρεμβολής από γειτονικές φασματικά εκπομπές, οδήγησε στη δημιουργία επάλληλων εν σειρά συντονισμένων κυκλωμάτων για την υλοποίηση ενός μεταβλητής συχνότητας ζωνοδιαβατού φίλτρου. Η συνολική συνάρτηση μεταφοράς είναι το γινόμενο των συναρτήσεων μεταφοράς των επιμέρους συντονισμένων κυκλωμάτων και συνεπώς το αποτέλεσμα είναι ένα μεγάλο συντελεστή ποιότητας, μεταβλητής συχνότητας ζωνοδιαβατό φίλτρο. Βέβαια, αυτό απαιτεί την ταυτόχρονη μετακίνηση της κεντρικής συχνότητας των επιμέρους ζωνοδιαβατών φίλτρων, που υλοποιούνται με απλά συντονισμένα κυκλώματα. Συνεπώς για τη μεταβολή της συχνότητας απαιτείται συγχρονισμένη μηχανική κίνηση, η οποία μεταβάλλει ένα από τα δύο στοιχεία του συντονισμένου κυκλώματος. Δηλαδή μεταβάλλει είτε τη χωρητικότητα, είτε την αυτεπαγωγή στο συντονισμένο κύκλωμα που αποτελεί το ζωνοδιαβατό φίλτρο.



Σχήμα 2.1. Συστοιχία μεταβλητών φίλτρων

Στους παλαιότερους δέκτες, η περιστροφή του κεντρικού κομβίου για την επιλογή της επιθυμητής εκπομπής στην ουσία μετακινεί απομονωμένα μεταξύ τους συντονισμένα κυκλώματα με σύγχρονο τρόπο, ώστε να επιτευχθεί ακριβώς η υλοποίηση του ζωνοδιαβατού φασματικού παράθυρου. Οι δέκτες αυτοί απαιτούσαν πολύωρη και επίπονη διαδικασία ρύθμισης, ώστε αυτά τα εν σειρά ζωνοδιαβατά φίλτρα να παραμένουν συντονισμένα σε όλη την περιοχή λειτουργίας τους. Βέβαια υπόκειντο στις συνέπειες της γήρανσης των παθητικών κυκλωμάτων, όπως επίσης

και στις επιπτώσεις της γήρανσης του μηχανικού συστήματος περιστροφής, δηλαδή του μηχανικού συστήματος μεταβολής των κυκλωματικών στοιχείων για την επίτευξη της μεταβλητής συχνότητας λήψης, και συνεπώς η αξιοπιστία τους ήταν περιορισμένη.



Σχήμα 2.2. Μηχανική συστοιχία μεταβλητών πυκνωτών

Η παραπάνω όμως τεχνική λύση επέτρεψε τη συνύπαρξη πολλών εκπομπών για την αποστολή ταυτόχρονα πολλών σημάτων πληροφορίας, με αποτέλεσμα η νέα αυτή μέθοδος επικοινωνίας μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σύντομα να τείνει να εξαπλωθεί στο σύνολο του πλανήτη. Για να περάσουν ωστόσο οι πληροφορίες στην άλλη όχθη του Ατλαντικού, από την Ευρώπη, υφίστανται πολύ μεγάλη εξασθένηση, και κατά συνέπεια οι απαιτήσεις στα συστήματα λήψης, δηλαδή στους δέκτες, άρχισαν να γίνονται ιδιαίτερα μεγάλες. Οι λυχνίες, που κατ' αρχάς χρησιμοποιήθηκαν για την ενίσχυση των σημάτων λήψης, δεν είχαν ικανοποιητικό κέρδος. Έτσι, πολύ σύντομα ο Armstrong εμφάνισε το δέκτη υπερανάδρασης: προσπάθησε, βάζοντας θετική ανάδραση στο σύστημα ενίσχυσης, να αυξήσει το κέρδος του οδηγώντας στα όρια τη λειτουργία των λυχνιών. Αυξάνοντας βέβαια με αυτόν τον τρόπο το κέρδος, και πάνω από ένα όριο θετικής ανάδρασης, υπάρχει ο κίνδυνος αυτοταλάντωσης του ενισχυτή, με συνέπεια την αδυναμία λήψης. Η ελεγχόμενη υπερανάδραση έδωσε ωστόσο τη δυνατότητα δημιουργίας δεκτών πολύ μεγάλου κέρδους, οι οποίοι ικανοποίησαν την απαίτηση που δημιούργησε η εξασθένηση των σημάτων σε μεγάλες, πλανητικές διαδρομές.

Εξασθένιση διάδοσης

Είναι γνωστό ότι η διάδοση ηλεκτρομαγνητικού κύματος στον ελεύθερο χώρο διέπεται από το νόμο του Friis:

$$W_R = W_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi d)^2}$$

όπου W_R η λαμβανόμενη ισχύς, W_T η ισχύς πομπού, G_T και G_R τα κέρδη των κεραιών εκπομπής και λήψης αντίστοιχα, λ το μήκος κύματος και d η απόσταση της ζεύξης.

Από τον ισοδύναμο τύπο υπολογισμού απωλειών διάδοσης:

$$L_{db} = 122 + 20 \log d_{(km)} - G_{R(db)} - G_{T(db)} - 20 \log \lambda_{(cm)}$$

βλέπουμε ότι ήδη με την έξοδο του κύματος από την κεραία εκπομπής υπάρχουν σημαντικές απώλειες, οι οποίες εκφράζονται από το σταθερό όρο 122 db, και οι οποίες οφείλονται στη φυσική της διάδοσης κύματος.

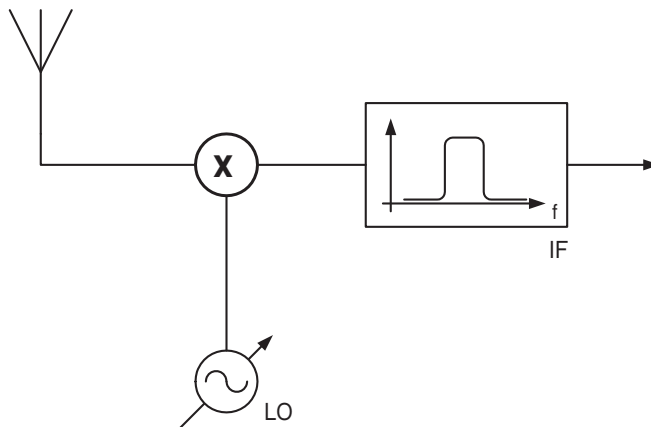
Οι δέκτες υπερανάδρασης, λόγω της θετικής ανάδρασης, είχαν ταυτόχρονα τα χαρακτηριστικά ενός ζωνοδιαβατού ενισχυτή πολύ μεγάλου κέρδους γύρω από την κεντρική συχνότητα λήψης. Έτσι οι δέκτες αυτοί ονομάστηκαν ομόδουνοι, δηλαδή δέκτες οι οποίοι δεν έκαναν καμία φασματική ετεροδύναση, δεν ήταν δηλαδή ετερόδουνοι, δεδομένου ότι αποτελούντο από ένα μεταβλητής κεντρικής συχνότητας ζωνοδιαβατό φίλτρο υψηλού κέρδους, ενώ στη συνέχεια η πληροφορία αποδιαμορφώνεται με τη βοήθεια ενός κορυφοφωρατή, δηλαδή μιας διόδου και ενός χαμηλοπερατού φίλτρου.

ΕΤΕΡΟΔΥΝΟΙ ΔΕΚΤΕΣ

Η ταυτόχρονη εμφάνιση και παρουσία ακόμη περισσότερων εκπομπών και η ανάγκη ζεύξης πολύ απομακρυσμένων σημείων, και συνεπώς η απαίτηση όσο το δυνατόν ιδανικών ζωνοδιαβατών φίλτρων και όσο το δυνατόν μεγαλύτερου κέρδους, οδήγησαν γρήγορα τα παραπάνω συστήματα σε αδυναμία να ικανοποιήσουν τις νέες αυτές απαιτήσεις. Κύρια, η τεχνολογία δεν μπορούσε πλέον να εξασφαλίσει ένα μεταβλητής κεντρικής συχνότητας ζωνοδιαβατό φίλτρο που θα κάλυπτε ένα ολοένα αυξανόμενο

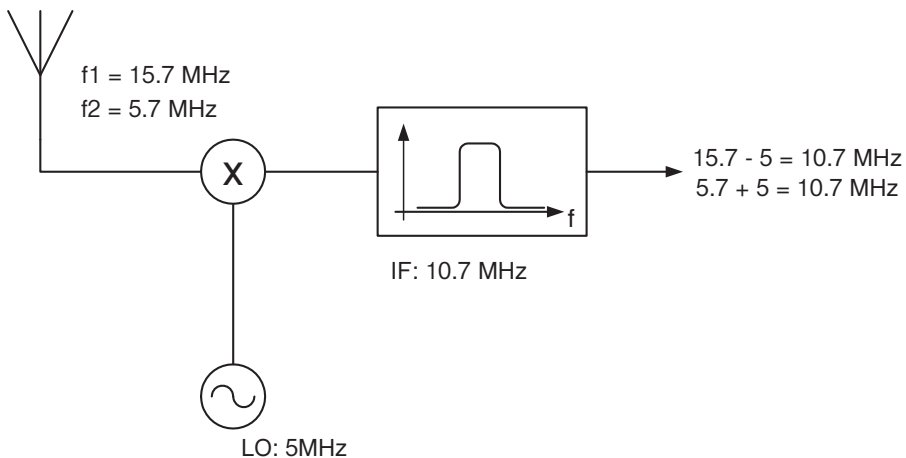
φάσμα συχνοτήτων, δεδομένου ότι το αρχικό φάσμα, που εκτείνονταν από μερικές δεκάδες μέχρι μερικές εκατοντάδες KHz, δεν ήταν πλέον αρκετό για να καλύψει την παράλληλη αποστολή πληροφοριών, δηλαδή την ταυτόχρονη εμφάνιση πολλών εκπομπών. Έτσι, η τεχνολογική αυτή αδυναμία υλοποίησης ενός τέτοιου φίλτρου οδήγησε στην ανάπτυξη νέων συστημάτων, κάνοντας τους απαραίτητους τεχνολογικούς συμβιβασμούς με την εκάστοτε πρόοδο της τεχνολογίας των υλικών.

Δεδομένου ότι είναι δυνατή η κατασκευή ενός ζωνοδιαβατού φίλτρου υψηλού συντελεστή ποιότητας, και άρα μικρού εύρους διέλευσης, αλλά σταθερής κεντρικής συχνότητας, η επόμενη προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος λήψης εστιαστική στην ετεροδύωση του συνολικά λαμβανόμενου φάσματος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε το επιθυμητό φάσμα να μεταφερθεί στην κεντρική συχνότητα του τεχνολογικά εφικτού ζωνοδιαβατού φίλτρου. Δηλαδή, αντί να μετακινήσουμε το φασματικό παράθυρο λήψης, διατηρούμε ένα σταθερό φασματικό παράθυρο στην περιοχή συχνοτήτων όπου αυτό είναι τεχνολογικά εφικτό, και μετακινούμε, δηλαδή ετεροδυνώνουμε το συνολικά λαμβανόμενο φάσμα μπροστά από το παράθυρο αυτό. Έτσι απομονώνεται η φασματική περιοχή που μας ενδιαφέρει κάθε φορά, χωρίς να χρειάζεται να υλοποιηθούν δύσκολα τεχνολογικά μεταβλητής συχνότητας φίλτρα. Η ετεροδύνη αυτή λήψη άνοιξε τις πύλες στη νεώτερη γενιά των δεκτών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα, συνήθως βέβαια με τη μορφή του υπερετεροδυνου δέκτη, δηλαδή με τη μορφή του δέκτη με διπλή φασματική μεταφορά, η οποία, όπως θα δούμε, εξασφαλίζει την αποφυγή των ειδώλων λήψης στο σύστημα αποδιαμόρφωσης.



Σχήμα 2.3. Φασματική μεταφορά του σήματος στην κεντρική συχνότητα του φίλτρου

Τα είδωλα δημιουργούνται επειδή υπάρχουν δύο συχνότητες από το φάσμα λήψης, οι οποίες πολλαπλασιαζόμενες με τον ίδιο τοπικό ταλαντωτή, δηλαδή με το ίδιο φέρον, μπορούν να δώσουν φασματικό περιεχόμενο στην κεντρική περιοχή του ζωνοδιαβατού φίλτρου λήψης. Εάν συνεπώς η πρώτη φασματική περιοχή είναι αυτή που μας ενδιαφέρει, τότε οποιαδήποτε άλλη εκπομπή στη δεύτερη φασματική περιοχή, που δίνει φασματικό περιεχόμενο στην περιοχή της μέσης συχνότητας, αποτελεί παρεμβολή στο σήμα πληροφορίας. Η συχνότητα αυτή, ή η περιοχή συχνοτήτων που μπορεί να δώσει τέτοιου είδους παρεμβολές, αποτελούν τις συχνότητες είδωλα και είναι χαρακτηριστικές για κάθε είδους ετερόδουνο δέκτη. Η αδυναμία αυτή είναι μια ενδογενής αδυναμία των ετερόδυνων μεθόδων λήψης, που ωστόσο μπορεί να αντιμετωπιστεί εύκολα με την προσθήκη χαμηλοπερατών φίλτρων κατάλληλα επιλεγμένων ώστε να απομονωθούν μεταξύ τους οι δύο αυτές φασματικές περιοχές.

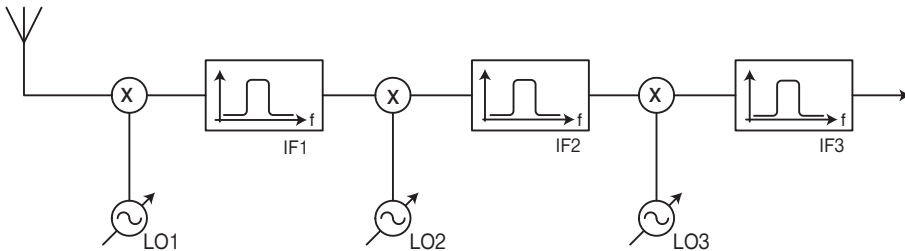


Σχήμα 2.4. Συχνότητα είδωλο

Με την ακόμη μεγαλύτερη φασματική κατάληψη λόγω της αύξησης του αριθμού των ταυτόχρονων εκπομπών, οι απαιτήσεις στους ετερόδυνους δέκτες μεγάλωσαν ακόμη περισσότερο, δεδομένου ότι αυτοί καλούνταν να αποδιαμορφώσουν το σήμα πληροφορίας από μια συνεχώς διευρυνόμενη φασματική περιοχή. Αυτό όμως έχει σαν συνέπεια την προσέγγιση των δύο παραπάνω φασματικών περιοχών, οι οποίες αντιστοιχίζονται στο είδωλο και στο σήμα πληροφορίας. Συνεπώς, σύντομα φάνηκε αναγκαία η χρήση της τεχνικής της *up - conversion*, δηλαδή η

χρήση της τεχνικής της ετεροδύωσης σε μέση συχνότητα υψηλότερη από τη μέγιστη συχνότητα που είναι επιθυμητή να γίνει η λήψη της, έτσι ώστε να επιτευχθεί η απομάκρυνση της περιοχής ειδώλου και κατά συνέπεια και η εύκολη απομόνωσή της με σχετικά απλά χαμηλοπερατά φίλτρα. Αυτό με τη σειρά του κατέστησε αναγκαία την ανάπτυξη νέων ζωνοπερατών φίλτρων υψηλότερης κεντρικής συχνότητας, για την υλοποίηση του φασματικού παράθυρου της μέσης συχνότητας.

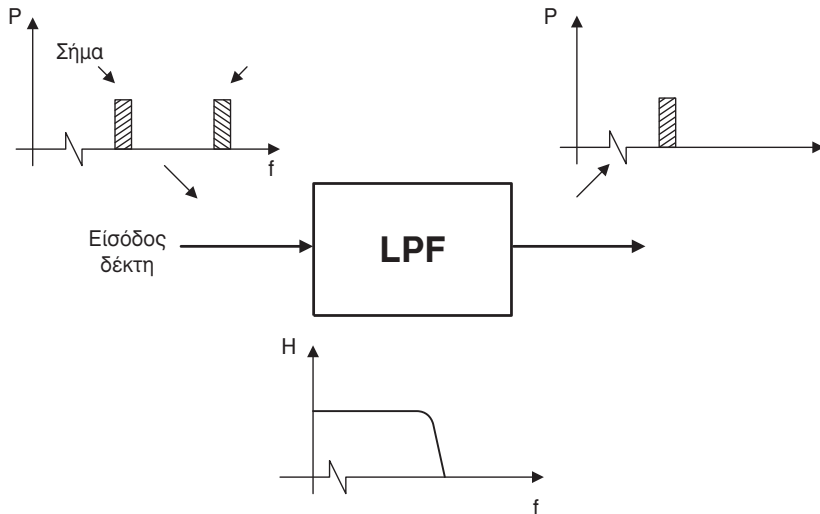
Η τεχνολογία όμως έχει τη δυνατότητα να παράγει φίλτρα μέχρι έναν μέγιστο και πρακτικά σταθερό για τις περισσότερες συχνότητες συντελεστή ποιότητας, όπως αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο. Συνεπώς ανεβάζοντας την κεντρική συχνότητα του ζωνοδιαβατού αυτού φίλτρου το εύρος του μεγαλώνει και αυτό ποσοστιαία με την αύξηση της κεντρικής συχνότητας. Άρα, όσο μεγαλώνει η κεντρική συχνότητα λήψης, τόσο διευρύνεται και το φασματικό παράθυρο του φίλτρου, και τόσο απομακρύνεται από το ιδεατό παράθυρο που απαιτείται για την φασματική απομόνωση των συνήθων μεθόδων διαμόρφωσης των σημάτων πληροφορίας. Συνεπώς καθίσταται δύσκολος πλέον ο διαχωρισμός μιας μόνο εκπομπής από τις γειτονικές της, οι οποίες μπορούν πλέον να διέλθουν από το διευρυμένο αυτό φασματικό παράθυρο του υψηλότερης συχνότητας ζωνοδιαβατού φίλτρου.



Σχήμα 2.5. Βαθμίδες ετεροδύωσης

Για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία, απαιτείται μια δεύτερη ετεροδύωση του φασματικού αυτού παράθυρου, σε μια χαμηλότερη, πλέον, συχνότητα, στην οποία είναι τεχνολογικά εφικτή η κατασκευή ενός ιδανικού σχεδόν, ζωνοδιαβατού φίλτρου, ικανού να απομονώσει την επιθυμητή εκπομπή για να την αποδιαμορφώσει. Η διάταξη αυτή που εκτελεί δύο, ή σε αρκετές περιπτώσεις περισσότερες από δύο ετεροδυνώσεις, ονομάζεται *υπερετερόδυνος δέκτης*. Σε αυτή την περίπτωση, η πρώτη φασματική μεταφορά προς μέση συχνότητα υψηλότερη από τη μέγιστη συχνότητα λήψης εξασφαλίζει την απομάκρυνση της φασματικής περιοχής ειδώλου, ενώ η δεύτερη ή και πιθανόν η τρίτη ετεροδύωση προς

χαμηλότερες συχνότητες εξασφαλίζουν την καλύτερη διακριτική ικανότητα του συστήματος λήψης.



Σχήμα 2.6. Χρήση χαμηλοπερατού φίλτρου για την απόρριψη της συχνότητας ειδώλου

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι για την ετεροδύναση μιας μεγάλης φασματικής περιοχής, ώστε να έρθει στο σταθερό παράθυρο παρατήρησης της μέσης συχνότητας, απαιτείται ο πρώτος τοπικός ταλαντωτής να έχει τη δυνατότητα παραγωγής κατάλληλων συχνοτήτων με ένα μεγάλο εύρος μεταβολής. Παρά όμως τη δυσκολία αυτή, η παραγωγή μεγάλου εύρους μεταβολής συχνοτήτων είναι πολύ πιο απλή από την κατασκευή ενός μεταβλητής μέσης συχνότητας ζωνοδιαβατού φίλτρου. Δεύτερη σημαντική παρατήρηση είναι ότι με την τεχνική της *up-conversion*, δηλαδή της ετεροδύνασης πάνω από τη μεγαλύτερη συχνότητα λήψης, εξασφαλίζεται ότι η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή δεν περιλαμβάνεται ποτέ μέσα στο φάσμα λήψης.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

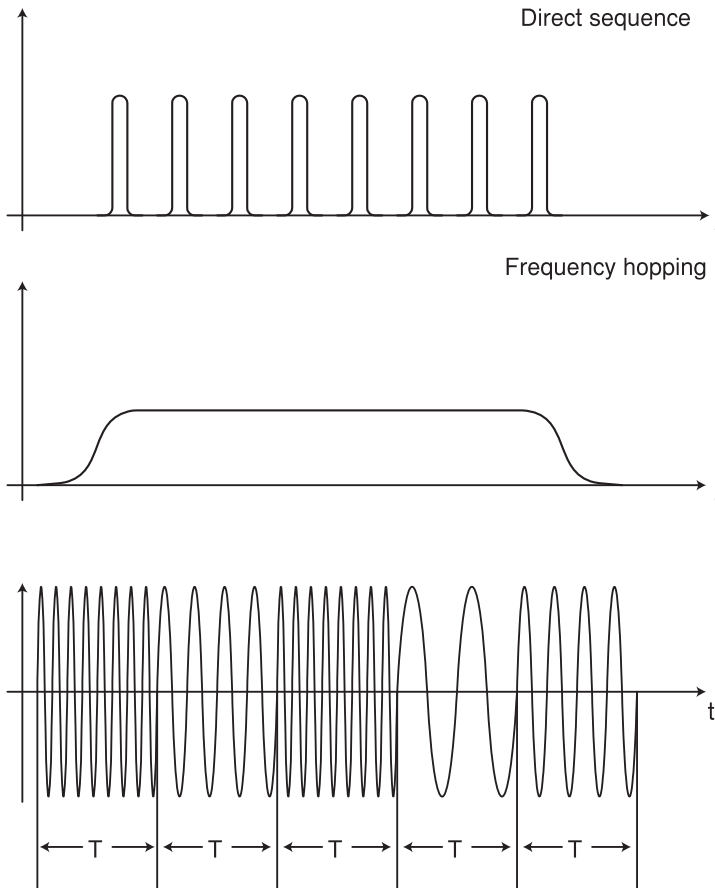
Με τη διαδικασία της ετεροδύνασης επιτεύχθηκε η ανάπτυξη και η κατασκευή δεκτών εξαιρετικά μεγάλης διακριτικής ικανότητας, τέλειαις και σχεδόν ιδανικής, προσαρμοσμένης δηλαδή στο φασματικό παράθυρο εκπομπής των επιμέρους διαμορφώσεων. Πρόσθετα και η ανάγκη σχεδίασης δεκτών με τη μέγιστη δυνατή ενίσχυση του σήματος που λαμβάνεται στην είσοδο του δέκτη επιλύεται με τη διαδικασία της ετεροδύνασης. Η

απαίτηση μεγάλου κέρδους προκύπτει κατά τη λήψη πολύ μακρινών σταθμών εκπομπής, δηλαδή όταν υπάρχει η ανάγκη ενίσχυσης σημάτων εξασθενημένων από τη διάδοσή τους στον ελεύθερο χώρο ή στο γενικευμένο τηλεπικοινωνιακό κανάλι λήψης. Η κατασκευή των ετερόδυνων δεκτών επιτρέπει την ουσιαστικά απεριόριστη ενίσχυση του λαμβανόμενου σήματος, σε αντίθεση με τους ομόδυνους, όπου η ενίσχυση στην ίδια φασματική περιοχή τείνει να δημιουργήσει συστήματα ταλάντωσης, λόγω της αναπόφευκτης θετικής ανάδρασης εισόδου και εξόδου από τις συζεύξεις των κυκλωματικών στοιχείων, όπως θα δούμε παρακάτω. Υπάρχει δηλαδή ένα μέγιστο περιορισμένο κέρδος που μπορεί να ενισχύσει ο δέκτης σε κάθε φασματική περιοχή. Συνεπώς, η ενίσχυση του σήματος σε δύο ή τρεις ή και περισσότερες φασματικές περιοχές δίνει ένα συνολικό κέρδος πολύ μεγάλο και αποκλείει, πρακτικά, τη δημιουργία αναδράσεων, δεδομένου ότι το κέρδος διανέμεται σε διαφορετικές φασματικές περιοχές, δηλαδή ετεροδυνώσεις.

Ποιο είναι, ωστόσο, το όριο ενίσχυσης που μπορεί κανείς να αναμένει από ένα δέκτη; Προφανώς το όριο αυτό περιορίζεται από το θερμικό θόρυβο, ο οποίος αναπτύσσεται σε οποιοδήποτε ηλεκτρονικό σύστημα στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Ο θόρυβος αυτός, που προέρχεται από την κίνηση των ηλεκτρονίων μέσα στους αγωγούς, όπως και ο θόρυβος που προέρχεται από την κίνηση των ηλεκτρονίων μέσα στους ημιαγωγούς, και που λόγω της διαφορετικής νομοτέλειας παρουσιάζει ιδιαίτερες φασματικές εξάρσεις, αποτελούν το κάτω όριο που καθορίζει τη δυνατότητα λήψης του δέκτη. Θεωρείται, δηλαδή, πως δεν είναι δυνατόν να λάβουμε ένα σήμα χαμηλότερης ισχύος από αυτό της ισχύος του θερμικού θορύβου, στην ιδανική περίπτωση, στην είσοδο του δέκτη.

Θεωρώντας ότι το σήμα πληροφορίας είναι ένα στοχαστικό σήμα, δεν είναι δυνατή η λήψη σήματος χαμηλότερης ισχύος από αυτή που αντιστοιχίζεται στη στάθμη ισχύος του θερμικού θορύβου, και βέβαια δεν είναι δυνατή η βελτίωση αυτού του αποκλεισμού ούτε καν μέσα από επεξεργασία σήματος. Είναι δυνατή η εξαγωγή σήματος από θόρυβο μόνον υπό συνθήκες, εάν δηλαδή είτε είναι γνωστά κάποια στατιστικά χαρακτηριστικά του σήματος, είτε είναι δυνατή η πολλαπλή αποστολή του ίδιου σήματος πληροφορίας, η αποθήκευση του και η εν συνεχεία εφαρμογή στατιστικών μεθόδων αποθορυβοποίησης. Στη γενικευμένη ωστόσο περίπτωση, πρέπει το σήμα που φθάνει στην είσοδο του δέκτη να έχει ισχύ αρκετές φορές μεγαλύτερη από αυτή του θερμικού θορύβου. Ανάλογα με τη φύση της πληροφορίας, εάν πρόκειται δηλαδή για φωνή ή για δεδομένα, ένα κατώφλι της τάξεως των 5 έως 15 dB πάνω από το θόρυβο είναι απαραίτητο για την ορθή του αποδιαμόρφωση.

Σύγχρονες τεχνικές, όπως αυτή του *διανεμημένου ή διασκορπισμένου φάσματος* (spread spectrum) χρησιμοποιούν το “κρύψιμο” του σήματος μέσα στο θόρυβο, για να αξιοποιήσουν βέλτιστα μια διαθέσιμη φασματική περιοχή. Αυτό επιτυγχάνεται αποστέλλοντας σήμα πληροφορίας μέσα σε ένα μεγάλο φασματικό παράθυρο, είτε μετακινώντας γρήγορα την κεντρική συχνότητα εκπομπής είτε εκπέμποντας ταυτόχρονα σε πολλές φασματικές υποσυχνότητες, έτσι ώστε η φασματική πυκνότητα ισχύος του σήματος πληροφορίας να είναι πολύ μικρή σε κάθε υποπεριοχή λήψης. Ένα τέτοιο σήμα εμφανίζεται σε ένα συμβατικό δέκτη ως ένας θόρυβος, και κατά συνέπεια δεν είναι δυνατόν να αποδιαμορφωθεί, αλλά και δεν είναι δυνατόν να παρεμβληθεί σημαντικά από μια μικρής φασματικής έκτασης εκπομπή. Αντίθετα, ένας κατάλληλος δέκτης, ο οποίος



Σχήμα 2.7. Τεχνικές διανεμημένου φάσματος - Spread Spectrum

ακολουθεί τη φασματική αυτή μετακίνηση, ή παρακολουθεί ταυτόχρονα περισσότερες συχνότητες, είναι ικανός να αποδιαμορφώσει και να εξάγει βέβαια από το θόρυβο το εκπεμπόμενο σήμα πληροφορίας. Οι τεχνικές αυτές, που χρησιμοποιούνται σήμερα στην κινητή τηλεφωνία, είναι ικανές να εξυπηρετήσουν ταυτόχρονα πολλούς χρήστες επιτυγχάνοντας βέλτιστη αξιοποίηση μιας δεδομένης φασματικής περιοχής.

Στη γενικευμένη ωστόσο περίπτωση λήψης σημάτων, ο δέκτης καλείται να λάβει σήματα τόσο ισχυρά, από κοντινές πηγές εκπομπής, όσο και πολύ εξασθενημένα, από μακρινές πηγές εκπομπής που μπορεί να βρίσκονται στην άλλη πλευρά του πλανήτη, και κατά συνέπεια το σήμα που εκπέμπουν να έχει εξασθενήσει πολύ σημαντικά κατά τη διάδοσή του στον ελεύθερο χώρο. Εάν κανείς υπολογίσει το κατώφλι που επιβάλλει ο θερμικός θόρυβος και επίσης εκτιμήσει τη μέγιστη πιθανή ισχύ λήψης ενός σήματος από το δέκτη, διαπιστώνει ότι το εύρος της μεταβολής αυτής είναι δυνατόν να ξεπεράσει πολλές τάξεις μεγέθους.

Θεωρώντας ότι το κάτω όριο λήψης προσδιορίζεται μόνο από το θερμικό θόρυβο και όχι από τον προσθετικό θόρυβο των ηλεκτρονικών διατάξεων, τότε η ελάχιστη αναμενόμενη ισχύς στην είσοδο ενός δέκτη είναι -174 dBm ανά Hz, δεδομένου ότι η ισχύς του θερμικού θορύβου μεταβάλλεται ανάλογα με το φασματικό παράθυρο παρατήρησης. Κατά συνέπεια, εάν θεωρήσουμε ότι το φασματικό παράθυρο παρατήρησης αντιστοιχίζεται βέλτιστα στο φάσμα που καταλαμβάνει μία διαμορφωμένη πληροφορία, τότε για ένα συνηθισμένο φασματικό παράθυρο παρατήρησης 3 KHz το “θερμικό” αυτό κατώφλι μεγαλώνει κατά 35 dB περίπου. Συνεπώς, για μια συνηθισμένη εκπομπή διαμόρφωσης πλάτους, το κάτω όριο αναμενόμενης ισχύος λήψης στην είσοδο του δέκτη αντιστοιχίζεται περίπου στα -140 dBm.

Υπολογισμός θορύβου

Σε ένα δέκτη, η κύρια πηγή θορύβου είναι η θερμική κίνηση των ηλεκτρονίων στις αντιστάσεις. Η ισχύς αυτού του θορύβου δίνεται από τη σχέση:

$$P_n = kT\Delta f$$

όπου $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K η σταθερά του Boltzman, T η απόλυτη θερμοκρασία σε Kelvin και Δf το εύρος ζώνης.

Έτσι, για εύρος ζώνης 1Hz και θερμοκρασία 290K (θερμοκρασία δωματίου) έχουμε:

$$P_n = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J / K} \times 290\text{K} \times 1\text{Hz}$$

Αντίστοιχα, για εύρος ζώνης 3kHz, παίρνουμε:

$$P_n = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J / K} \times 290\text{K} \times 3000\text{Hz} = 1.2 \times 10^{-17}\text{W} = -139\text{dBm}$$

Με δεδομένη την εξάρτηση του θερμικού θορύβου από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, μια τεχνική που χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου αναμένονται πολύ χαμηλά επίπεδα σήματος είναι η ψύξη του συστήματος λήψης με υγρό ήλιο ή άζωτο. Η χρήση αυτής της τεχνικής είναι συχνή σε ειδικές εφαρμογές, όπως στο ραδιοτηλεσκόπιο Hubble.

Θόρυβος σε ψηφιακά συστήματα

Σε κάποιες περιπτώσεις, δεν είναι ο θερμικός θόρυβος αυτός που ορίζει το κατώφλι θορύβου ενός συστήματος. Έτσι, σε μια ψηφιακή εγγραφή, όπως αυτή σε ένα CD ήχου, το κατώφλι θορύβου καθορίζεται από το θόρυβο κβάντισης. Είναι γνωστό όμως ότι η μέση ισχύς θορύβου (ανηγμένη σε αντίσταση 1Ω) για ομοιόμορφη κβάντιση δίνεται από τη σχέση:

$$N = \frac{q^2}{12}$$

όπου q το βήμα κβάντισης. Ισχύει, όμως ότι $q = 2A_{\max} / 2^n$, όπου A_{\max} το μέγιστο πλάτος του σήματος, και n ο αριθμός των bit κβάντισης. Άρα, η ισχύς θορύβου γίνεται $N = A_{\max}^2 / 3 \cdot 2^{2n}$. Θεωρώντας ημιτονοειδές σήμα μέγιστου πλάτους, παίρνουμε ισχύ σήματος $S = A_{\max}^2 / 2$. Συνεπώς, ο βέλτιστος λόγος σήματος προς θόρυβο που μπορούμε να πάρουμε στην έξοδο ενός τέτοιου συστήματος, είναι:

$$S / N = 6 \cdot \left(\frac{A_{\max}}{q} \right)^2 = 3 \cdot 2^{2n-1}$$

ή, σε dB,

$$S/N = 10\log_{10}(3 \cdot 2^{2n-1}) = 6n + 1.77[\text{dB}]$$

Έτσι, σε ένα CD player των 16 bit, ο ιδεατός λόγος σήματος προς θόρυβο αναμένεται να είναι 97.77 dB.

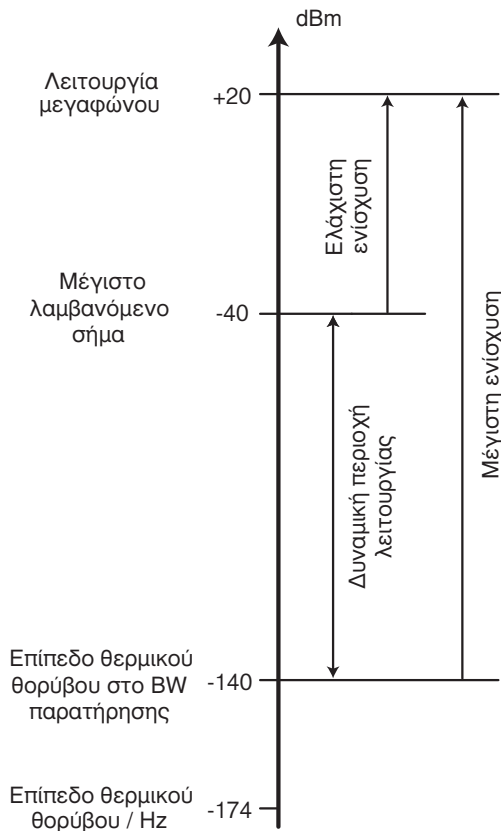
Το μέγιστο όριο ισχύος που αναμένεται στην είσοδο ενός δέκτη είναι, θεωρητικά, απεριόριστο. Πρακτικά ωστόσο, πρέπει κανείς να θεωρήσει ότι το όριο αυτό αντιστοιχίζεται στην ισχύ που φθάνει στην είσοδο του δέκτη από μια εκπομπή ενός συμβατικού πομπού στη γειτονιά του δέκτη. Η αναμενόμενη, λοιπόν, ισχύς μπορεί εύκολα να ξεπεράσει τα -30 dBm, και εύλογα μπορεί κανείς να εκτιμήσει την αναμενόμενη δυναμική περιοχή λειτουργίας ενός δέκτη να είναι περίπου 100 dB, ή και παραπάνω. Δηλαδή, ένας δέκτης καλείται να λάβει σήματα, να τα ενισχύσει και να τα αποδιαμορφώσει σε μία περιοχή 10 τάξεων μεγέθους διαφοράς του μικρότερου από το μεγαλύτερο. Είναι συνεπώς προφανής η ανάγκη ύπαρξης συστημάτων μεταβλητού κέρδους, μεταβλητής δηλαδή ενίσχυσης, έτσι ώστε να είναι δυνατή η κάλυψη της παραπάνω δυναμικής περιοχής λειτουργίας του συστήματος.

Σπάνια, ωστόσο, μια ηλεκτρονική διάταξη έχει δυνατότητα μεταβολής κέρδους σε τόσο μεγάλη περιοχή. Για αυτό το λόγο συνηθίζεται η ύπαρξη χειροκίνητων εξασθενητών, που τίθενται κατά την κρίση του χρήστη του δέκτη, ώστε να μικρύνει η απαιτούμενη δυναμική περιοχή λειτουργίας του δέκτη. Θεωρείται, δηλαδή, πως οι μέγιστες τιμές λήψης ενός σήματος είναι μια ιδιαίτερη περίπτωση, και πρέπει να αντιμετωπιστούν με επέμβαση του χρήστη του δέκτη. Ωστόσο, και πάλι η εναπομένουσα δυναμική περιοχή με εύρος της τάξεως των 60 dB είναι μια ιδιαίτερα δύσκολη άσκηση σχεδίασης ενός μεταβλητού κέρδους συστήματος λήψης.

Για να προσδιοριστεί η μέγιστη αναγκαία ενίσχυση του σήματος θα πρέπει πρώτα να καθορισθεί η τελική στάθμη ισχύος του αποδιαμορφωμένου σήματος πληροφορίας. Εάν θεωρήσουμε ότι το σήμα πληροφορίας είναι ένα ακουστικό σήμα, τότε για τη διέγερση ενός συνήθους μεγαφώνου σε ένα ήσυχο περιβάλλον και την αντίστοιχη διέγερση του ανθρώπινου συστήματος ακοής, μία ισχύς της τάξεως των 20 dBm, δηλαδή περίπου 100 mW, θεωρείται αρκετή για την οδήγηση ενός μεγαφώνου και την εύληπτη λήψη - αντίληψη του σήματος πληροφορίας. Θεωρώντας, για ευκολία, μια διαμόρφωση πλάτους, ώστε να είναι εύκολη η αντιστοίχιση της στάθμης ισχύος από τη βασική ζώνη συχνοτήτων έως τη συχνότητα εκπομπής, περνώντας από όλες τις μέσες συχνότητες

ετεροδύωσης του συστήματος λήψης, αντιλαμβάνεται κανείς ότι θα πρέπει ο δέκτης να ενισχύσει ένα σήμα, που στην ιδανική περίπτωση θα βρίσκεται στο κατώφλι του θερμικού θορύβου, δηλαδή στα -140 dBm, έως τα $+20$ dBm για την οδήγηση ενός μεγαφώνου. Συνεπώς, το σύστημα θα πρέπει στη μέγιστη δυνατή ενίσχυσή του να ενισχύσει περίπου 160 dB το σήμα το οποίο εμφανίζεται στην είσοδό του.

Εάν θεωρήσουμε ότι ένα ισχυρό σήμα, γειτονικής εκπομπής, μπορεί να φέρει ισχύ της τάξεως των -40 dBm στην είσοδο του δέκτη, τότε το ελάχιστο όριο ενίσχυσης του δέκτη πρέπει να είναι της τάξης των 60 dB. Άρα λοιπόν ο δέκτης καλείται να ενισχύσει με το κατάλληλο κέρδος κάθε φορά, ώστε ένα σήμα από το θερμικό κατώφλι έως το μέγιστο αναμενόμενο να μπορεί πάντα να φθάσει στο επίπεδο των περίπου $+20$ dBm, ώστε να γίνει καταληπτό από το χρήστη. Άρα το κέρδος του δέκτη πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 160 και 60 dB.

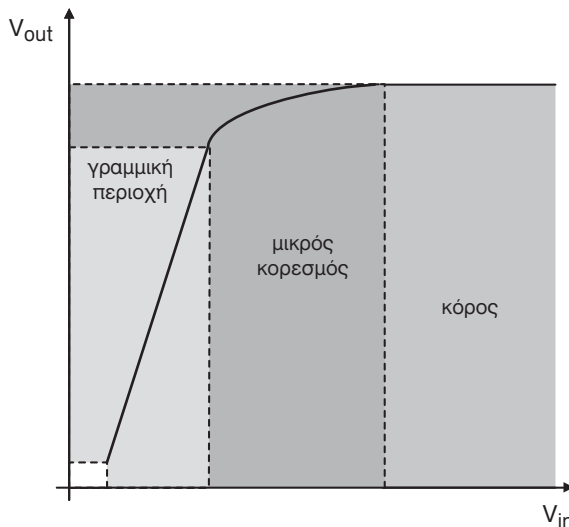


Σχήμα 2.8. Δυναμική περιοχή λειτουργίας και μέγιστο κέρδος

Ο δέκτης, λοιπόν, καλείται να έχει τις κατάλληλες ηλεκτρονικές διατάξεις, για την αναγνώριση της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος, και την προσαρμογή των ενισχυτικών του διατάξεων ώστε να φθάσει το λαμβανόμενο σήμα πάντοτε στην περιοχή, περίπου, των +20 dBm. Το κύκλωμα αυτό, το οποίο χαρακτηρίζεται διεθνώς ως AGC (Automatic Gain Control), *σύστημα αυτόματης ρύθμισης κέρδους*, παραλαμβάνει αυτή την απαίτηση χρησιμοποιώντας ως κριτήριο την ισχύ του σήματος μετά την τελευταία μέση συχνότητα και έτσι με τη βοήθεια ανάδρασης προσαρμόζεται στο εκάστοτε κέρδος.

Πρόσθετα, το σύστημα αυτόματης ρύθμισης κέρδους οφείλει να διασφαλίσει ομοιόμορφα το κέρδος σε όλες τις επιμέρους βαθμίδες ενίσχυσης, και άρα σε όλες τις μέσες συχνότητες όπου έχει ετεροδυναθεί το σήμα πληροφορίας, διότι καμία επιμέρους βαθμίδα δεν πρέπει να φθάσει σε κορεσμό λόγω της μεγάλης ενίσχυσης του σήματος από την προηγούμενη της. Ο κορεσμός είναι το αποτέλεσμα της εισόδου υπερβολικά μεγάλου πλάτους σήματος σε μία ενισχυτική βαθμίδα, το οποίο οδηγεί τη βαθμίδα αυτή σε αδυναμία περαιτέρω λειτουργίας.

Εάν κάποια ενισχυτική βαθμίδα κορεσθεί, αυτό θα αποτελέσει ουσιαστικά έναν αποκλεισμό του σήματος προς τις επόμενες βαθμίδες, και κατά συνέπεια αδυναμία λήψης του σήματος πληροφορίας. Το AGC, συνεπώς, εξασφαλίζει δύο συνθήκες, πρώτον τη σωστή τελική ενίσχυση, και δεύτερον το σωστό διαμερισμό του κέρδους στις επιμέρους ενισχυτικές βαθμίδες.



Σχήμα 2.9. Περιοχές λειτουργίας ενισχυτή

Ωστόσο, ιδιαίτερα στην πρώτη ενισχυτική βαθμίδα, όπου εμφανίζεται συνήθως όλο το φάσμα στο οποίο μπορεί να κάνει λήψη ο δέκτης, το πρόβλημα του κορεσμού είναι ιδιαίτερα αυξημένο, δεδομένου ότι στο λαμβανόμενο φασματικό παράθυρο υπάρχει η πιθανότητα συνύπαρξης ισχυρών, πολύ ισχυρών, καθώς και ασθενών σημάτων εκπομπής. Για παράδειγμα, εάν είναι επιθυμητή η λήψη ενός ασθενούς σήματος εκπομπής, τότε το AGC λαμβάνει ως κριτήριο την ισχύ αυτού του σήματος, όπως αυτή φαίνεται στο ζωνοδιαβατό παράθυρο της τελικής μέσης συχνότητας. Τότε, επειδή η πρώτη βαθμίδα δεν δέχεται μόνο την επιθυμητή εκπομπή, αλλά και όλες τις πιθανές και δυνατές να φθάσουν στην είσοδό της, κινδυνεύει η ενίσχυση αυτή να είναι υπερβολική για το άθροισμα των σημάτων στην είσοδό της. Δηλαδή κινδυνεύει άμεσα να έρθει στην κατάσταση του κορεσμού, με αποτέλεσμα την αδυναμία λήψης του ίδιου του ασθενούς σήματος. Οι πρώτες λοιπόν βαθμίδες του δέκτη, ή το front end, όπως ονομάζεται, είναι ιδιαίτερα ευάλωτες σε όλες αυτές τις πιθανές να υπάξουν δύσκολες καταστάσεις λήψης.

Για την αποφυγή, ή για τον περιορισμό συνήθως, της πιθανότητας αυτής, είναι απαραίτητη η ύπαρξη ζωνοδιαβατών φίλτρων στην είσοδο του δέκτη, όχι βέβαια προσαρμοσμένων στην εκάστοτε εκπομπή, ζωνοδιαβατών όμως κατά περιοχές, ώστε το άθροισμα της ισχύος των πιθανών ισχυρών σημάτων στην είσοδο της πρώτης βαθμίδας να είναι το δυνατόν μικρότερο. Ο ιδανικός δέκτης θα έπρεπε πράγματι να έχει ένα ιδανικό ζωνοδιαβατό φίλτρο μεταβλητής συχνότητας στην είσοδό του, απαίτηση όμως που μας επαναφέρει στα πρώτα χρόνια των συστημάτων λήψης, και που είναι, όπως προαναφέρθηκε, δύσκολο να υλοποιηθεί τεχνολογικά. Οι σύγχρονοι δέκτες έχουν συνεπώς στην είσοδό τους ζωνοδιαβατά παράθυρα μεγάλου εύρους, αρκετών MHz, όπου αναμένεται ότι το άθροισμα της ισχύος ανά φασματικό παράθυρο δεν θα φτάσει το όριο κορεσμού της βαθμίδας εισόδου. Στη βαθμίδα εισόδου λαμβάνεται ιδιαίτερη πρόνοια ώστε η δυναμική περιοχή λειτουργίας της, πέρα από τη ρύθμισή της μέσω του AGC, να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη, σε σχέση με τις επόμενες βαθμίδες, οι οποίες πρακτικά είναι προστατευμένες λόγω της ετεροδύωσης και του μικρού φασματικού εύρους στο οποίο εκτίθενται.