

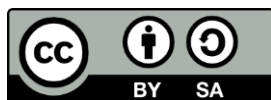
**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΕ**

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ 1

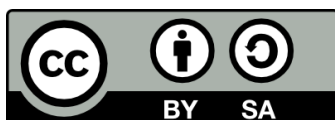
Δρ. ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΠΑΠΑΤΣΩΡΗΣ
Καθηγητής

ΣΕΡΡΕΣ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2015



Άδειες Χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Το έργο αυτό αδειοδοτείται από την Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνές Άδεια. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής, επισκεφτείτε <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.el>.

Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.

Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.

Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

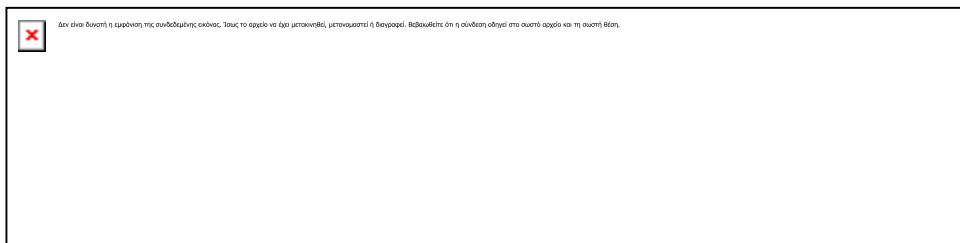


3. Διαμόρφωση ΑΜ: Λήψη

Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάσαμε τρόπους για την παραγωγή κυματομορφών διαμορφωμένων κατά πλάτος. Το θέμα του παρόντος κεφαλαίου είναι η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή η αποδιαμόρφωση με την οποία επανακτάται η πληροφορία από την ΑΜ κυματομορφή. Διαισθητικά θα έλεγε κανείς ότι σε ένα δέκτη ΑΜ θα πρέπει να ακολουθηθούν οι ακόλουθες διαδικασίες:

- Το σήμα που συλλαμβάνει η κεραία είναι συνήθως ασθενές και επομένως χρειάζεται ενίσχυση. Ο ενισχυτής θα πρέπει να έχει πολύ καλά χαρακτηριστικά θορύβου (δηλαδή χαμηλό παράγοντα θορύβου) και θα πρέπει να είναι συντονισμένος έτσι ώστε να 'περνά' μόνο τον επιθυμητό σταθμό (φορέα και τις παρελκόμενες πλευρικές ζώνες) προκειμένου να αποφευχθούν παρεμβολές από άλλους σταθμούς και να ελαχιστοποιηθεί ο θόρυβος στο δέκτη.
- Μετά την ενίσχυση θα πρέπει να επανακτηθεί η πληροφορία από την κυματομορφή ΑΜ, δηλαδή να αποδιαμορφωθεί με τη χρήση κατάλληλης διάταξης.
- Μετά την αποδιαμόρφωση, το σήμα της πληροφορίας θα πρέπει να ενισχυθεί κατάλληλα, έτσι ώστε η έξοδος να οδηγηθεί σε ηχείο.

Οι διαδικασίες αυτές απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 3-1, στο οποίο παρουσιάζεται ένας RF ενισχυτής, ένας ανιχνευτής (αποδιαμορφωτής) και ένας ενισχυτής ακουστικών συχνοτήτων.



Σχήμα 3-1. Δέκτης συντονισμένης συχνότητας (TRF receiver).

Με αυτό τον τρόπο ήταν κατασκευασμένοι οι πρώτοι ραδιοφωνικοί δέκτες ΑΜ, οι οποίοι ονομάζονταν **δέκτες συντονισμένης συχνότητας (tuned radio frequency**

receivers –TRF receivers). Οι πρώιμοι αυτοί δέκτες είχαν συνήθως τρεις βαθμίδες ενίσχυσης, κάθε μία της οποίας προηγείτο ένα ξεχωριστό συντονιζόμενο κύκλωμα. Προκειμένου ο χρήστης να συντονιστεί σε ένα σταθμό, έπρεπε να ρυθμίσει με πυκνωτές μεταβαλλόμενης χωρητικότητας και τα τρία συντονιζόμενα κυκλώματα και στη συνέχεια να ρυθμίσει το κέρδος της κάθε βαθμίδας. Με άλλα λόγια η χρήση των πρώιμων αυτών δεκτών απαιτούσε αρκετή ικανότητα κι εξοικείωση με την ‘τέχνη’ της λήψης ραδιοφωνικού προγράμματος!

3.1 Ευαισθησία και Επιλεκτικότητα Δεκτών

Δύο σημαντικά χαρακτηριστικά κάθε δέκτη είναι η **ευαισθησία (sensitivity)** και η **επιλεκτικότητα (selectivity)**. Η ευαισθησία ενός δέκτη ορίζεται ως η ικανότητά του να οδηγήσει τον μετατροπέα εξόδου (output transducer) σε μια εν γένει αποδεκτή στάθμη. Ένας πιο αυστηρός τεχνικά ορισμός για την ευαισθησία, είναι το ελάχιστο απαιτούμενο σήμα εισόδου για την επίτευξη μιας καθορισμένης στάθμης σήματος εξόδου. Το εύρος της ευαισθησίας ποικίλλει από την περιοχή των mV για φθηνούς AM δέκτες έως την περιοχή των nV για πάρα πολύ εξελιγμένους δέκτες που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μεγάλης ακρίβειας. Στην ουσία, η ευαισθησία ενός δέκτη καθορίζεται κατ’ αρχήν από την στάθμη θορύβου στην είσοδό του και κατά δεύτερο λόγο από το κέρδος του. Στην περίπτωση των δεκτών AM το σήμα εισόδου πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το θόρυβο στην είσοδο του δέκτη. Η στάθμη θορύβου στην είσοδο του δέκτη ονομάζεται **κατώφλι θορύβου (noise floor)**. Μια παράμετρος που αποτελεί δείκτη της ευαισθησίας ενός δέκτη είναι ο λόγος SINAD (signal plus noise and distortion). Ο λόγος αυτός ορίζεται ως:

$$(3.1) \quad SINAD = \frac{Signal + Noise + Distortion}{Noise + Distortion}.$$

Για την εκτίμηση του λόγου SINAD, ένα RF σήμα διαμορφωμένο από ένα ακουστικό σήμα συνήθως 1kHz εφαρμόζεται στην είσοδο ενός ενισχυτή ή δέκτη. Κατόπιν μετράται η σύνθετη έξοδος η οποία αντιστοιχεί στην τιμή του αριθμητή. Στη συνέχεια, ένα υψηλά επιλεκτικό φίλτρο απόρριψης ζώνης χρησιμοποιείται για

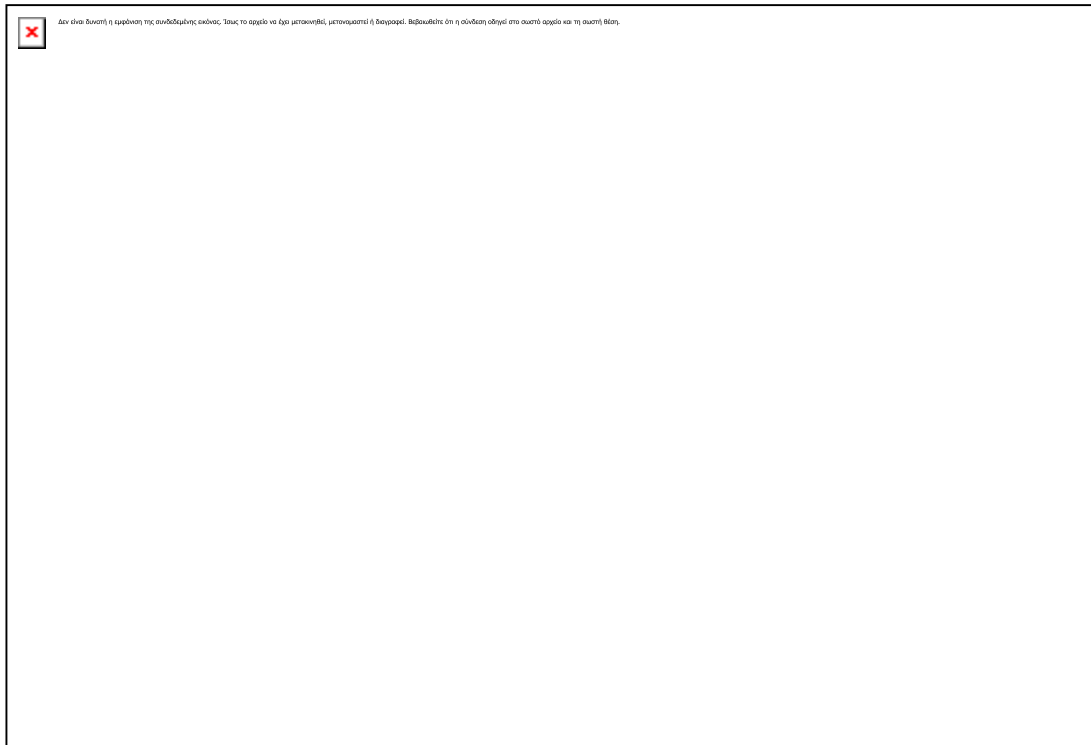
εξάλειψη του διαμορφώνοντος ακουστικού σήματος από την έξοδο. Το αποτέλεσμα δίνει την τιμή του παρονομαστή, δηλαδή το θόρυβο και την παραμόρφωση.

Επιλεκτικότητα είναι η ικανότητα του δέκτη να διαχωρίζει το επιθυμητό σήμα στο οποίο είναι συντονισμένος από άλλα ανεπιθύμητα σήματα συμπεριλαμβανομένου και του θορύβου. Η επιλεκτικότητα SEL ενός δέκτη μετράται σε εύρος ζώνης και θα πρέπει να δοθεί προσοχή ώστε ο δέκτης να μην είναι ούτε υπερεπιλεκτικός ($SEL < BW_i$) ούτε υποεπιλεκτικός ($SEL > BW_i$) αναφορικά στο εύρος ζώνης BW_i του σήματος εισόδου (Γιατί;). Οι πρώιμοι TRF δέκτες παρουσίαζαν σημαντικά προβλήματα επιλεκτικότητας και αυτός ήταν ένας από τους κύριους λόγους που οδήγησε στην αντικατάστασή τους από τον λεγόμενο **υπερετερόδυνο δέκτη (superheterodyne receiver)**. Για να αντιληφθούμε το πρόβλημα επιλεκτικότητας στους δέκτες TRF, ας υποθέσουμε ότι το φίλτρο συντονισμού στην πρώτη βαθμίδα του δέκτη υλοποιείται από ένα LC συντονιζόμενο κύκλωμα με πυκνωτή μεταβλητής χωρητικότητας. Επίσης η τυπική περιοχή λειτουργίας της ραδιοφωνικής ζώνης AM είναι από 525kHz έως 1.6MHz, ενώ το τυπικό εύρος ζώνης ενός ραδιοφωνικού σταθμού είναι 10kHz. Τότε, για ένα σταθμό που εκπέμπει στον 1MHz, η τιμή του Q του φίλτρου θα πρέπει να είναι: $Q = \frac{f_r}{BW} = \frac{1000 \text{ kHz}}{10 \text{ kHz}} = 100$. Καθότι ο δείκτης Q ενός συντονισμένου κυκλώματος παραμένει σχετικά σταθερό καθώς η χωρητικότητά του μεταβάλλεται, συντονισμός του δέκτη σε νέο σταθμό στα 1600kHz θα αυξήσει το εύρος ζώνης λήψης από τα 10kHz στα 16kHz. Ομοίως, συντονισμός στα 600kHz θα οδηγήσει στη μείωση του εύρους ζώνης λήψης στα 6kHz.

3.2 Ανίχνευση AM

Εάν ένα σήμα AM εφαρμοστεί στην είσοδο μιας μη γραμμικής διάταξης τότε όπως έχουμε ήδη εξηγήσει, στην έξοδο θα εμφανιστούν διάφορες συχνοτικές συνιστώσες συμπεριλαμβανομένης και της πληροφορίας. Επομένως, η διέλευση ενός AM σήματος δια μέσου μιας μη γραμμικής διάταξης οδηγεί στην ανίχνευση (αποδιαμόρφωση) της κυματομορφής AM. Η ιδανική καμπύλη για τη

χαρακτηριστική εισόδου/εξόδου μιας μη γραμμικής διάταξης θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να επηρεάζει κατά τη διάρκεια του θετικού κύκλου το διαμορφωμένο σήμα με διαφορετικό τρόπο απ' ότι το επηρεάζει κατά τη διάρκεια του αρνητικού κύκλου. Μια τέτοια χαρακτηριστική εισόδου/εξόδου απεικονίζεται στο Σχήμα 3-2.



Σχήμα 3-2. Χρήση μη γραμμικής διάταξης για την ανίχνευση σήματος AM.

Η χαρακτηριστική της μη γραμμικής διάταξης συνεπάγεται την αλλοίωση της εφαρμοζόμενης τάσης εισόδου της οποίας η μέση τιμή είναι μηδενική, με αποτέλεσμα τη μέση τιμή του ρεύματος εξόδου να μεταβάλλεται ανάλογα με το σήμα της πληροφορίας. Η χαρακτηριστική που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3-2(a) ονομάζεται **ιδανική καμπύλη (ideal curve)** διότι είναι γραμμική σε αμφότερες τις περιοχές του σημείου λειτουργίας P και δεν εισάγει αρμονικές συχνότητες.

Υπενθυμίζεται, ότι όταν στην είσοδο ενός μη γραμμικού κυκλώματος εφαρμόζεται ο φορέας και οι πλευρικές του ζώνες, η έξοδος περιέχει τις ακόλουθες συχνότητες:

1. Τη συχνότητα του φορέα.
2. Την άνω πλευρική ζώνη.
3. Την κάτω πλευρική ζώνη.

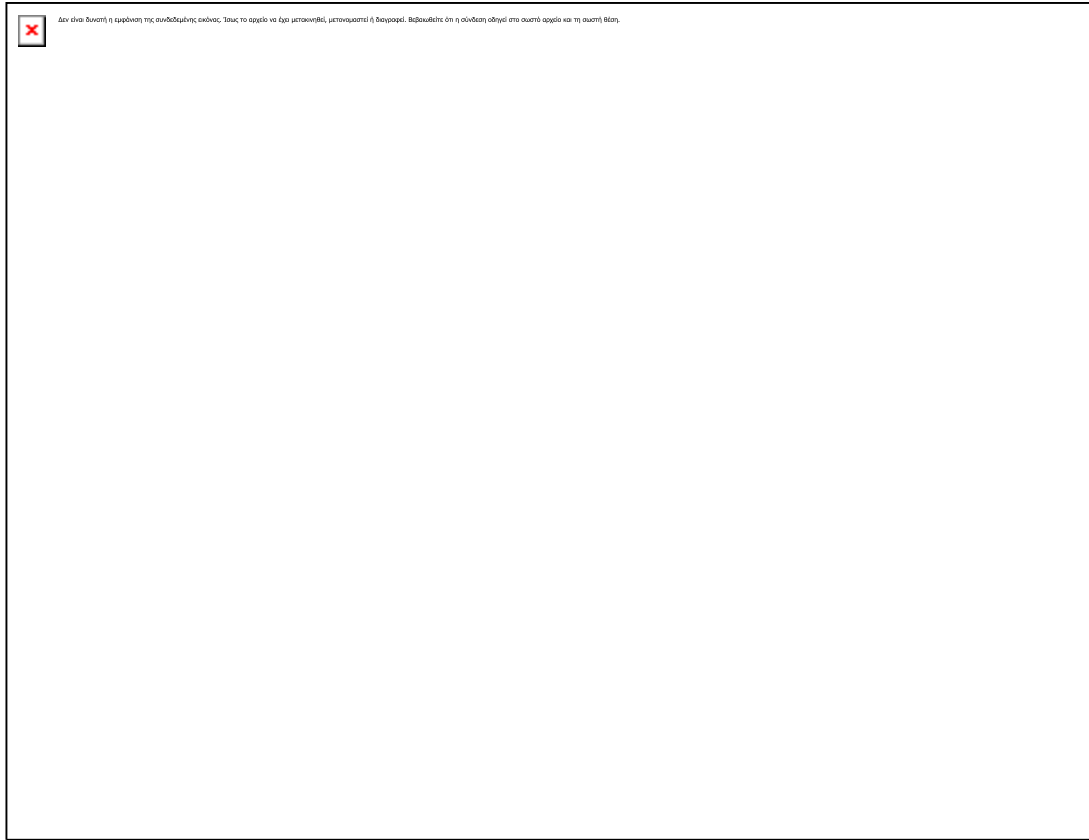
4. Μια στάθμη dc.
5. Μια συχνότητα ίση με τη διαφορά του φορέα με την κάτω πλευρική ζώνης, και τη διαφορά της άνω πλευρικής ζώνης με το φορέα, δηλαδή την αρχική συχνότητα της πληροφορίας.

Ο ανιχνευτής αναπαράγει την αρχική συχνότητα του σήματος προκαλώντας μια επιθυμητή αλλοίωση στην έξοδό του. Όταν η έξοδος του ανιχνευτή εφαρμοστεί σε φίλτρο που επιτρέπει τη διέλευση μόνο χαμηλών συχνοτήτων (χαμηλοπερατό), οι υψηλές συχνότητες αποκόπτονται και παραμένουν μόνον η πληροφορία και η στάθμη dc, όπως δείχνει η διακεκομμένη καμπύλη στο Σχήμα 3-2(a). Η εγγύτερη προσέγγιση της ιδανικής καμπύλης στα πρακτικά κυκλώματα ανιχνευτών, είναι η καμπύλη που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3-2(b), όπου το ρεύμα εξόδου μεταβάλλεται ανάλογα με το τετράγωνο της τάσεως εισόδου. Λέμε τότε ότι μια τέτοια διάταξη ή κύκλωμα έχει **απόκριση τετραγωνικού νόμου (square law characteristic)**. Η έξοδος μιας διάταξης με αυτή τη χαρακτηριστική εισόδου/εξόδου περιέχει εκτός από τις συχνοτήτες που προαναφέρθηκαν και τις αρμονικές των. Οι αρμονικές των RF συχνοτήτων μπορούν να αποκοπούν με κατάλληλο φιλτράρισμα, αλλά οι προκύπτουσες αρμονικές από τα αθροίσματα και τις διαφορές των διαφόρων συχνοτήτων θα πρέπει να γίνουν ανεκτές καθότι μπορεί να εμπίπτουν εντός του εύρους ζώνης ακουστικών συχνοτήτων, παρά την πιθανή πρόκληση ανεπιθύμητης αλλοίωσης.

3.2.1 Η δίοδος ως ανιχνευτής

Ένας από τους απλούστερους και πιο αποτελεσματικούς τύπους ανιχνευτών και μάλιστα προσεγγίζοντας την ιδανική χαρακτηριστική εισόδου/εξόδου είναι είναι το κύκλωμα με τη δίοδο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3-3(a). Η I-V χαρακτηριστική της διόδου διακρίνεται στο Σχήμα 3-3(b), και παρατηρώντας τη προσεκτικά διαπιστώνουμε ότι για χαμηλές τιμές της τάσης του διαμορφωμένου σήματος AM η έξοδος του ανιχνευτή μεταβάλλεται ανάλογα με το τετράγωνο της εισόδου. Για σήματα AM μεγαλύτερου πλάτους η έξοδος μεταβάλλεται γραμμικά σε σχέση με την τάση εισόδου. Στην περίπτωση λειτουργίας της διόδου εντός του θετικού κύκλου και εντός της γραμμικής περιοχής δεν παράγονται αρμονικές. Δεν ισχύει το ίδιο όμως

όταν η διόδος λειτουργεί εντός της μη γραμμικής περιοχής, είτε κατά τη διάρκεια του θετικού είτε κατά τη διάρκεια του αρνητικού κύκλου.



Σχήμα 3-3. Κύκλωμα ανιχνευτή με δίοδο.

Ας εξηγήσουμε τώρα τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ο ανιχνευτής διόδου. Ο διαμορφωμένος φορέας εφαρμόζεται στο συντονιζόμενο LC_1 κύκλωμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-3(a). Η κυματομορφή AM που εφαρμόζεται στην είσοδο της διόδου διακρίνεται στο Σχήμα 3-3(c). Η διόδος άγει μόνο κατά την διάρκεια του θετικού κύκλου (δηλαδή για θετικές τιμές της τάσης εισόδου) και έτσι στην έξοδό της εμφανίζεται η ανορθωμένη κυματομορφή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-3(d). Η μέση τιμή της τάσης στην έξοδο της διόδου διακρίνεται στο Σχήμα 3-3(e) και είναι όπως βλέπουμε μη μηδενική παρά το γεγονός ότι η μέση τιμή της τάσεως εισόδου είναι μηδενική. Το χαμηλοπερατό φίλτρο που αποτελείται από τον πυκνωτή C_2 και την αντίσταση R , αποκόπτει την υψηλή συχνότητα του φορέα, που ούτως ή άλλως δεν μεταφέρει χρήσιμη πληροφορία. Ο πυκνωτής C_2 φορτίζεται πολύ γρήγορα δια μέσου της πολύ μικρής ωμικής αντίστασης της διόδου όταν αυτή άγει, και εκφορτίζεται με αργό ρυθμό δια μέσου της αντίστασης R που έχει μεγάλη τιμή. Οι τιμές των R και

C_2 επιλέγονται με τέτοιον τρόπο έτσι ώστε η προκύπτουσα σταθερά χρόνου να είναι μικρή για τις συχνότητες της πληροφορίας (audio frequencies) και πολύ μεγάλη για τις συχνότητες του φορέα (radio frequencies). Η παρουσία του πυκνωτή C_2 στο κύκλωμα, έχει ως αποτέλεσμα μια τάση που ακολουθεί την μεταβολή των μεγίστων τιμών της ανορθωμένης κυματομορφής και η οποία απεικονίζεται στο Σχήμα 3-3(f). Γι αυτό άλλωστε το λόγο το κύκλωμα του ανιχνευτή διόδου ονομάζεται και **ανιχνευτής περιβάλλουσας (envelope detector)**. Τέλος, η παρουσία του πυκνωτή C_3 απομακρύνει την dc συνιστώσα που δημιουργεί το κύκλωμα ανίχνευσης, παράγοντας τελικά στην έξοδο την κυματομορφή που εικονίζεται στο Σχήμα 3-3(g). Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι η dc συνιστώσα που παράγει το κύκλωμα του ανιχνευτή χρησιμοποιείται συχνά σε δέκτες επικοινωνιών για την υλοποίηση του κυκλώματος αυτόματου ελέγχου κέρδους (AGC).

Τα πλεονεκτήματα των ανιχνευτών διόδου είναι τα εξής:

1. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές που τα σήματα εισόδου είναι πολύ υψηλής ισχύος.
2. Τα επίπεδα αλλοίωσης που δημιουργούν είναι γενικά αποδεκτά για τις περισσότερες AM εφαρμογές. Λόγω δε της I-V χαρακτηριστικής της διόδου, η αλλοίωση ελαττώνεται όταν το πλάτος της εισόδου αυξάνεται.
3. Έχουν πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης, ο οποίος μπορεί να φθάσει σε κατάλληλα σχεδιασμένα κυκλώματα μέχρι και 90%.
4. Παρέχουν μια άμεσα χρησιμοποιήσιμη dc στάθμη, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση κυκλωμάτων αυτομάτου ελέγχου κέρδους.

Μειονεκτήματα των ανιχνευτών διόδου είναι τα ακόλουθα:

1. Το κύκλωμα της διόδου απορροφά ισχύ (κυρίως δια μέσου της αντίστασης R) από το συντονιζόμενο κύκλωμα, με συνέπεια την μείωση του Q και της επιλεκτικότητας.
2. Το κύκλωμα διόδου δεν μπορεί να παρέχει ενίσχυση.

3.2.1.1 Τύποι διόδων ανίχνευσης

Για μη απαιτητικές εφαρμογές στις περιοχές συχνοτήτων LF, HF, και στη χαμηλή VHF, μπορούν να χρησιμοποιηθούν κοινές διόδοι επαφής p-n. Έτσι, οι τύποι 1N914 και 1N4148 χρησιμοποιούνται συχνά. Για πιο απαιτητικές εφαρμογές σε υψηλότερες συχνότητες χρησιμοποιείται ένα είδος διόδου που **ονομάζεται δίοδος σημείου επαφής (point contact diode)**. Το χαρακτηριστικό της διόδου αυτής είναι ότι η pn επαφή ευρίσκεται στην επιφάνεια του υποστρώματος ενώ η επαφή με το υλικό τύπου p γίνεται δια μέσου ενός μικρού κομματιού σύρματος. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται πολύ μικρή χωρητικότητα επαφής, καθιστώντας τις διόδους αυτές λειτουργικές σε μικροκυματικές συχνότητες που μπορεί να φθάσουν μέχρι και τους 40GHz. Συνηθισμένοι τύποι διόδων σημείου επαφής είναι οι 1N21, 1N23 και 1N34.

Μια πολύ σημαντική προδιαγραφή των διόδων ανίχνευσης είναι η ευαισθησία τάσης, η οποία αποτελεί μέτρο της στάθμης εξόδου της διόδου ανά μονάδα RF ισχύος εισόδου. Η ευαισθησία μετράται σε V/mW ή mV/μW για δεδομένο dc ρεύμα πόλωσης.

3.2.2 Σύγχρονη ανίχνευση

Ο ανιχνευτής διόδου χρησιμοποιείται στην μεγάλη πλειοψηφία των κυκλωμάτων ανίχνευσης AM. Σε εφαρμογές όμως που η παραμόρφωση που εισάγεται από το κύκλωμα ανιχνευτή διόδου δεν είναι αποδεκτή και απαιτείται καλύτερη απόδοση, χρησιμοποιείται η τεχνική της **σύγχρονης ανίχνευσης (synchronous detection)**. Η τεχνική σύγχρονης ανίχνευσης προσφέρει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

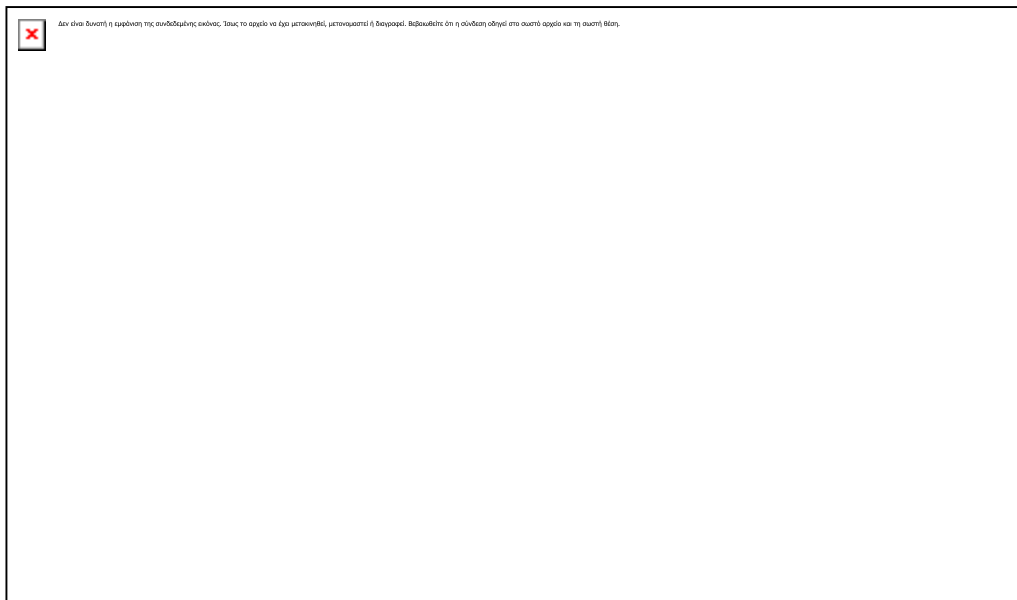
1. Πολύ χαμηλή παραμόρφωση, τυπικά πολύ λιγότερο από 1%.
2. Μεγαλύτερη ικανότητα παρακολούθησης κυματομορφών 'γρήγορης' διαμόρφωσης, όπως η διαμόρφωση παλμού ή εφαρμογές υψηλής πιστότητας.
3. Την ικανότητα να ενισχύσουν το σήμα εισόδου σε αντιδιαστολή με τα κυκλώματα ανιχνευτού διόδου.

Οι σύγχρονοι ανιχνευτές ονομάζονται επίσης και **πολλαπλασιαστικοί (product)** ή **ετερόδυννοι (heterodyne)** ανιχνευτές. Η αρχή λειτουργίας των ετερόδυνων

ανιχνευτών βασίζεται στη μη γραμμική διαδικασία της μίξης (ουσιαστικά του πολλαπλασιασμού) της ΑΜ κυματομορφής εισόδου με μια τοπικά παραγόμενη έκδοση ημιτονικού κύματος του οποίου η συχνότητα είναι ίδια με την συχνότητα του φορέα. Ένα κύκλωμα που χρησιμοποιείται ευρέως για την ετερόδουνη ανίχνευση είναι ο **ισοσταθμισμένος διαμορφωτής (balanced modulator)**. Λόγω του ότι η υλοποίηση σύγχρονων ανιχνευτών απαιτεί πολύπλοκα κυκλώματα είναι προτιμότερη η χρήση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων LIC. Για παράδειγμα τα ολοκληρωμένα CA3067 και LM3067 των RCA και National Semiconductors, τα οποία έχουν σχεδιαστεί ειδικά για αποδιαμόρφωση έγχρωμης τηλεόρασης, μπορούν με απλή και κατάλληλη προσαρμογή να χρησιμοποιηθούν εύκολα ως σύγχρονοι ανιχνευτές ΑΜ.

3.3 Υπερετερόδουνοι Δέκτες

Τα προβλήματα επιλεκτικότητας με τους δέκτες TRF λύθηκαν με την εισαγωγή του υπερετερόδουνου δέκτη στις αρχές της δεκαετίας του 1930. Το πόσο αποτελεσματική ήταν η σχεδίαση του υπερετερόδουνου δέκτη αποδεικνύεται από το γεγονός ότι παραμένει μέχρι σήμερα η κυρίαρχη διάταξη υλοποίησης δεκτών ΑΜ. Ο υπερετερόδουνος δέκτης παρουσιάζεται διαγραμματικά στο Σχήμα 3-4.



Σχήμα 3-4. Διάγραμμα αρχιτεκτονικής του υπερετερόδουνου δέκτη.

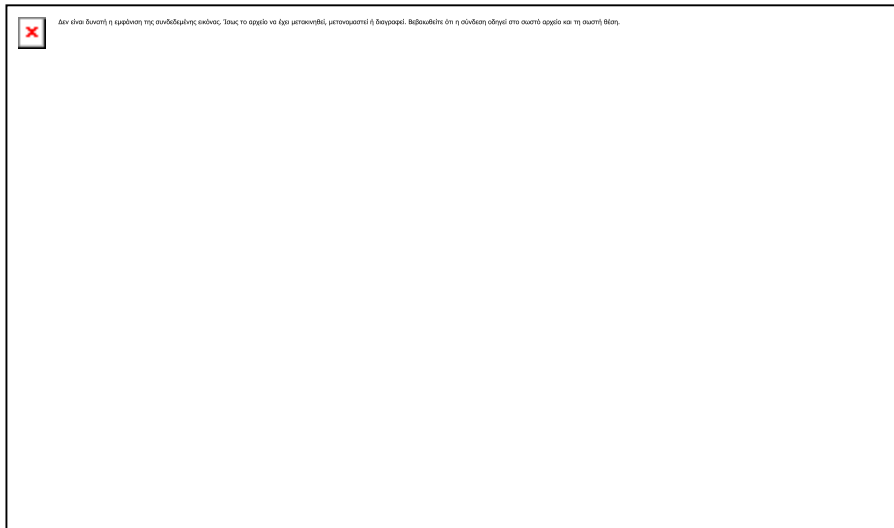
Η πρώτη βαθμίδα είναι ένας τυποποιημένος RF ενισχυτής που εκτός από την προφανή χρήση του, δηλαδή να ενισχύσει το κατά κανόνα ασθενές σήμα εισόδου, αποσκοπεί στην βελτίωση μιας σειράς χαρακτηριστικών του δέκτη, αναφορικά στο θόρυβο, την ευαισθησία και την απόρριψη ανεπιθύμητων συχνοτικών ειδώλων. Ο RF ενισχυτής χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλες τις σύγχρονες εφαρμογές, αν και η χρήση του δεν είναι αυστηρά επιβεβλημένη και σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να παραληφθεί. Η επόμενη βαθμίδα είναι ο μείκτης, ο οποίος δέχεται ως εισόδους την έξοδο του RF ενισχυτή (ή την έξοδο της κεραιάς όταν δεν υφίσταται RF ενισχυτής) και ένα σταθερό ημιτονικό σήμα που προέρχεται από ένα κύκλωμα **τοπικού ταλαντωτή (local oscillator – LO)**. Ο μείκτης είναι μια μη γραμμική διάταξη που χρησιμοποιείται ευρέως σε δέκτες όλων των τύπων, συμπεριλαμβανομένων και δεκτών AM. Η λειτουργία του αποσκοπεί στη μίξη του RF σήματος με το ημιτονικό σήμα του τοπικού ταλαντωτή για την παραγωγή συχνοτήτων ίσων με το άθροισμα και τη διαφορά των συχνοτήτων εισόδου. Από την έξοδο του μείκτη προκύπτει πάντα μια σταθερή **ενδιάμεση συχνότητα (intermediate frequency – IF)**, η οποία περιέχει την πληροφορία. Στην επόμενη βαθμίδα ευρίσκεται ο IF ενισχυτής, ο οποίος παρέχει και την κύρια ενίσχυση του σήματος σε συγκεκριμένο IF εύρος ζώνης. Επομένως, ανεξάρτητα από την συχνότητα του φορέα το εύρος ζώνης του υπερετεροδύνου δέκτη παραμένει σταθερό και αυτός είναι ο λόγος που εμφανίζει εξαιρετικά καλή επιλεκτικότητα. Επιπροσθέτως, λόγω του ότι η IF συχνότητα είναι συνήθως χαμηλότερη από την RF συχνότητα, η ενίσχυση και η επεξεργασία του σήματος επιτυγχάνεται πιο εύκολα στην IF συχνότητα. Την επόμενη βαθμίδα αποτελεί η διάταξη του ανιχνευτή (αποδιαμορφωτή), του οποίου στόχος είναι η εξαγωγή της πληροφορίας από την IF κυματομορφή. Στην τελευταία βαθμίδα η πληροφορία ενισχύεται από τον ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων και οδηγείται στην είσοδο του μετατροπέα εξόδου (ηχείο στην περίπτωσή μας). Επίσης, στη βαθμίδα του ανιχνευτή παράγεται μια στάθμη dc η οποία είναι ανάλογη της ισχύος του λαμβανομένου σήματος και συνδέεται μέσω βρόχου ανάδρασης με τον IF ενισχυτή ή σε ορισμένες (σπανιότερα) περιπτώσεις με τον μείκτη ή/και τον RF ενισχυτή. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται **αυτόματος έλεγχος κέρδους ενίσχυσης (automatic gain control – AGC)**, ο οποίος επιτρέπει στο δέκτη να διατηρεί μια σταθερή στάθμη σήματος εξόδου για μεγάλες διακυμάνσεις των σημάτων εισόδου.

3.3.1 Μετατροπή συχνότητας

Η λειτουργία ενός μείκτη είναι η μίξη (πολλαπλασιασμός) του σήματος RF ($f_c - f_s, f_s, f_c + f_s$) με το σήμα του τοπικού ταλαντωτή (f_{LO}). Καθότι ο μείκτης είναι ένα μη γραμμικό κύκλωμα, στην έξοδό του παράγονται οι ακόλουθες συνιστώσες:

1. Όλες οι συχνότητες εισόδου, δηλαδή $f_c - f_s, f_s, f_c + f_s$ και f_{LO} .
2. Το άθροισμα και η διαφορά όλων των συχνοτήτων εισόδου, δηλαδή $f_{LO} \pm (f_c - f_s, f_s, f_c + f_s)$.
3. Αρμονικές όλων των παραπάνω συχνοτήτων και μια συνιστώσα dc.

Καθώς οι παραπάνω έξοδοι οδηγούνται στην επόμενη βαθμίδα, δηλαδή τον ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας, μόνο οι συχνότητες αυτές που εμπίπτουν εντός του εύρους ζώνης του IF ενισχυτή διαδίδονται στις υπόλοιπες βαθμίδες. Η κεντρική συχνότητα του IF ενισχυτή είναι συνήθως $f_{LO} - f_s$ ενώ το εύρος ζώνης του είναι τουλάχιστον ίσο με το εύρος των πλευρικών ζωνών του σήματος εισόδου¹. Έτσι, στην έξοδο του μείκτη προκύπτουν ουσιαστικά οι ακόλουθες συχνότητες $f_{IF} = f_{LO} - (f_c - f_s, f_s, f_c + f_s)$. Η παραπάνω διαδικασία μετατροπής συχνότητας για ένα τυπικό δέκτη AM απεικονίζεται στο Σχήμα 3-5.

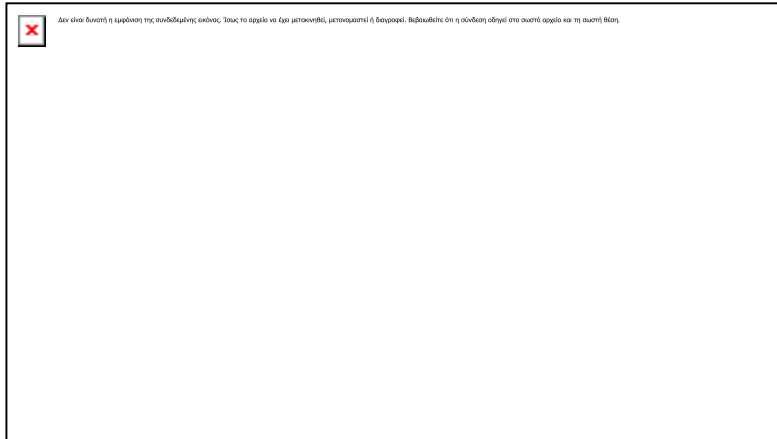


Σχήμα 3-5. Διαδικασία μετατροπής συχνότητας.

Στο Σχήμα 3-5 διακρίνεται και ένα κύκλωμα συντονισμού στην είσοδο του μείκτη που καθορίζει και την συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή. Ο σκοπός του κυκλώματος

¹ Το εύρος ζώνης του ενισχυτή IF μπορεί να καθοριστεί από ένα συντονιζόμενο LC κύκλωμα. Στην περίπτωση αυτή, η κεντρική συχνότητα του ενισχυτή συμπίπτει με την συχνότητα συντονισμού του κυκλώματος.

αυτού είναι η διατήρηση συχνοτικών συνιστωσών στην έξοδο του μείκτη περί τη σταθερή συχνότητα IF. Πράγματι, ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να συντονιστούμε σε ένα διαφορετικό σταθμό του οποίου η συχνότητα είναι 1600kHz, όπως δείχνει το Σχήμα 3-6. Το κύκλωμα συντονισμού στην είσοδο του μείκτη συντονίζεται στη συχνότητα των 1600kHz ενώ ταυτόχρονα η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή αυξάνεται στα 2055kHz.



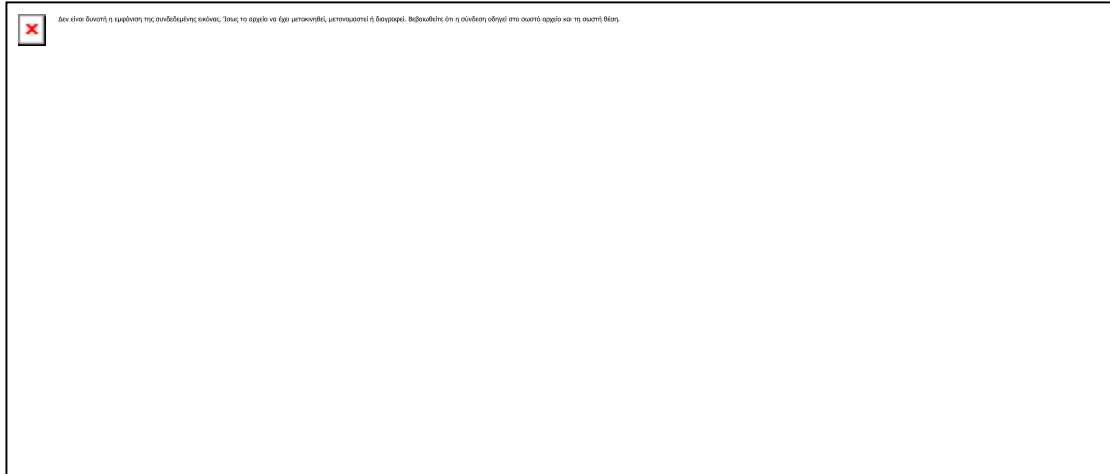
Σχήμα 3-6. Συνδυασμένο κύκλωμα συντονισμού μείκτη και τοπικού ταλαντωτή.

Με αυτόν τον τρόπο, η έξοδος του μείκτη περιέχει και πάλι συχνοτικές συνιστώσες περί την IF συχνότητα, ανεξάρτητα από τη συχνότητα του ελάχιστου σταθμού. Τα λοιπά συχνοτικά παράγωγα είναι βέβαια διαφορετικά, αλλά απορρίπτονται από τα φίλτρα διέλευσης του ενισχυτή IF. Η διαδικασία του συγχρονισμού της αλλαγής αφενός μεν της συχνότητας συντονισμού του μείκτη, αφετέρου δε της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή, επιτυγχάνεται στους σύγχρονους δέκτες με την τεχνική της **ηλεκτρονικής σύνθεσης συχνότητας (electronic frequency synthesis)**.

3.3.2 Συχνότητα ειδώλου

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η τεχνική του υποβιβασμού της συχνότητας στους υπερετερόδονους δέκτες μπορεί να επιτρέψει τη διάδοση του σήματος ενός ανεπιθύμητου σταθμού στην IF βαθμίδα. Στο Σχήμα 3-7 απεικονίζεται η διαδικασία με την οποία μια τέτοια κατάσταση καθίσταται δυνατή. Εκεί, παρατηρούμε ότι τόσο ο σταθμός στη συχνότητα των 20MHz όσο και ο σταθμός στα 22MHz παράγουν στην έξοδο του μείκτη μια συνιστώσα στον 1MHz. Βεβαίως, το συντονιζόμενο

κύκλωμα που λειτουργεί ως ζωνοπερατό φίλτρο στην είσοδο του μείκτη είναι συντονισμένο στη συχνότητα των 20MHz, αλλά δεν είναι σε θέση όπως βλέπουμε να εξασθενήσει τελείως το σήμα στους 22MHz. Οι επιπτώσεις στην περίπτωση αυτή ποικίλουν ανάλογα με την ισχύ του ανεπιθύμητου σήματος και μπορούν να δημιουργήσουν παρεμβολές ή να 'σκειπάσουν' τελείως τον επιθυμητό σταθμό.



Σχήμα 3-7. Απεικόνιση του προβλήματος της συχνότητας ειδώλου.

Στα πλαίσια της προηγούμενης ανάλυσης το ανεπιθύμητο σήμα στα 22MHz ονομάζεται **συχνότητα ειδώλου (image frequency)**.



Σχήμα 3-8. Διαγραμματική περιγραφή της αρχής λειτουργίας της τεχνικής διπλής μετατροπής συχνότητας.

Η απόρριψη συχνοτήτων ειδώλου στην καθιερωμένη ζώνη ραδιοφωνίας AM δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολη (Γιατί;). Για δέκτες επικοινωνίας όμως που λειτουργούν σε υψηλότερες συχνότητες, το πρόβλημα της συχνότητας ειδώλου είναι πιο σοβαρό. Σε αυτές τις περιπτώσεις για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιείται η ιδιαίτερα

αποτελεσματική τεχνική της **διπλής μετατροπής συχνότητας (double conversion)**. Η τεχνική της διπλής μετατροπής συχνότητας απεικονίζεται στο Σχήμα 3-8. Όπως εύκολα προκύπτει από την ανάλυση του δέκτη στο Σχήμα 3-8, η συχνότητα ειδώλου είναι διπλάσια της συχνότητας του επιθυμητού σήματος (40MHz) και εξαλείφεται τελείως ακόμα κι αν τα φίλτρα διέλευσης του ενισχυτή RF και του πρώτου μείκτη είναι ευρείας ζώνης.

3.3.3 Ενισχυτές RF

Ο αριθμός των ενισχυτών RF που χρησιμοποιούνται σε υπερετεροδύδονους δέκτες ποικίλει από κανένα για μη απαιτητικές χρήσεις έως τρεις ή ακόμα και τέσσερις βαθμίδες σε πολύπλοκους και υψηλών απαιτήσεων δέκτες επικοινωνιών. Όπως έχουμε ήδη εξηγήσει, τα κύρια πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι RF ενισχυτές είναι:

1. Βελτίωση της απόρριψης ανεπιθύμητων συχνοτικών ειδώλων.
2. Επίτευξη μεγαλύτερου κέρδους και επομένως καλύτερη ευαισθησία.
3. Βελτιωμένα χαρακτηριστικά θορύβου.

Τα δύο πρώτα πλεονεκτήματα γίνονται εύκολα αντιληπτά, αλλά το τρίτο απαιτεί επιπρόσθετη ανάλυση. Η διαδικασία της μίξης διενεργείται σε μη γραμμική περιοχή λειτουργίας προκειμένου να παραχθούν συχνότητες ίσες με την διαφορά και το άθροισμα των συχνοτήτων που εφαρμόζονται στις εισόδους του μείκτη. Η διαδικασία αυτή είναι ενδογενώς πιο θορυβώδης, δηλαδή ο παράγοντας θορύβου ενός μείκτη είναι υψηλότερος από αυτόν ενός γραμμικού ενισχυτή τάξης Α. Επομένως, με την τοποθέτηση μιας βαθμίδας ενίσχυσης πριν το μείκτη, επιτυγχάνεται η σημαντική βελτίωση των χαρακτηριστικών θορύβου του δέκτη, όπως προκύπτει από την εφαρμογή της σχέσης που δίνει τον ολικό παράγοντα θορύβου n βαθμίδων στο κύκλωμα ενός δέκτη.

Το ενεργό στοιχείο ενός ενισχυτή RF είναι συνήθως ένα FET τρανζίστορ, λόγω των ακόλουθων πλεονεκτημάτων:

1. Η υψηλή σύνθετη αντίσταση των FET δεν επιβαρύνει το δείκτη Q του συντονιζόμενου κυκλώματος που προηγείται του FET και έτσι η επιλεκτικότητα του δέκτη μπορεί να διατηρηθεί σε υψηλά επίπεδα.

2. Η διαθεσιμότητα FET διπλής πύλης (dual gate), παρέχει ένα ανεξάρτητο σημείο εισαγωγής του σήματος της AGC ανάδρασης.
3. Η χαρακτηριστική εισόδου/εξόδου στη γραμμική περιοχή λειτουργίας (στην ωμική περιοχή λειτουργίας, $I \propto V^2$) έχει ως αποτέλεσμα ιδιαίτερα χαμηλή παραμόρφωση.

Ένα τυπικό κύκλωμα ενός RF ενισχυτή που χρησιμοποιεί ένα τρανζίστορ MOSFET, ως ενεργό στοιχείο απεικονίζεται στο Σχήμα 3-9.



Σχήμα 3-9. Ενισχυτής RF με MOSFET διπλής πύλης.

3.3.4 Μείκτες

Ένα κύκλωμα μείκτη απεικονίζεται στο Σχήμα 3-10. Χρησιμοποιώντας το μονολιθικό ολοκληρωμένο κύκλωμα AD831 της εταιρείας Analog Devices, προκύπτει μείκτης πολύ χαμηλής παραμόρφωσης και μεγάλου δυναμικού εύρους για εφαρμογές των οποίων οι συχνότητες φθάνουν μέχρι και τα 500MHz.



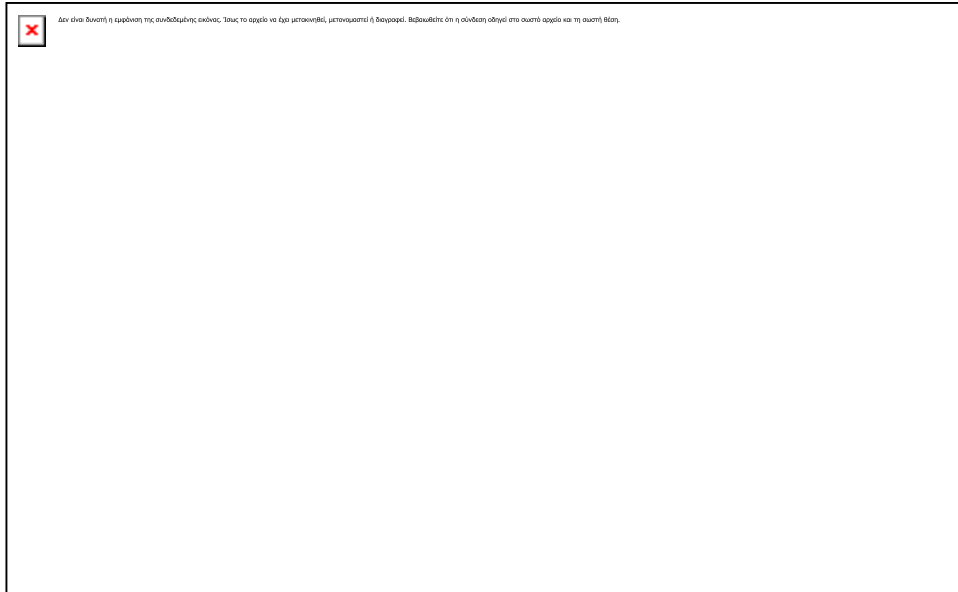
Σχήμα 3-10. Κύκλωμα μείκτη βασισμένο στο ολοκληρωμένο AD831 της Analog Devices.

Ο ενσωματωμένος ενισχυτής χαμηλού θορύβου παρέχει έξοδο (ακίδα 16) η οποία δύναται να οδηγήσει απευθείας φορτία χαμηλής σύνθετης αντίστασης εισόδου, όπως π.χ. φίλτρα, εισόδους ενισχυτών εμπέδησης 50Ω και αναλογικούς-ψηφιακούς μετατροπείς (analogue to digital converters – ADC).

3.3.5 Ενισχυτές IF

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι ενισχυτές IF χρησιμοποιούνται για την επίτευξη του κύριου μέρους της ενίσχυσης στο δέκτη, επηρεάζοντας σημαντικά την ευαισθησία του και καθορίζοντας πρακτικά την επιλεκτικότητά του. Ένας IF ενισχυτής δεν διαφέρει ιδιαίτερα από ένα ενισχυτή βαθμίδας RF, αν εξαιρέσει κανείς ότι λειτουργεί σε σταθερή και προκαθορισμένη συχνότητα. Αυτό το χαρακτηριστικό επιτρέπει τη χρήση κυκλωμάτων διπλού συντονισμού και σταθερής συχνότητας στους IF ενισχυτές, που έχουν ως αποτέλεσμα την αυστηρά καθορισμένη ζώνη διέλευσης των

υπερετεροδύων δεικτών. Το κυκλωματικό διάγραμμα ενός τυπικού IF ενισχυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 3-11.



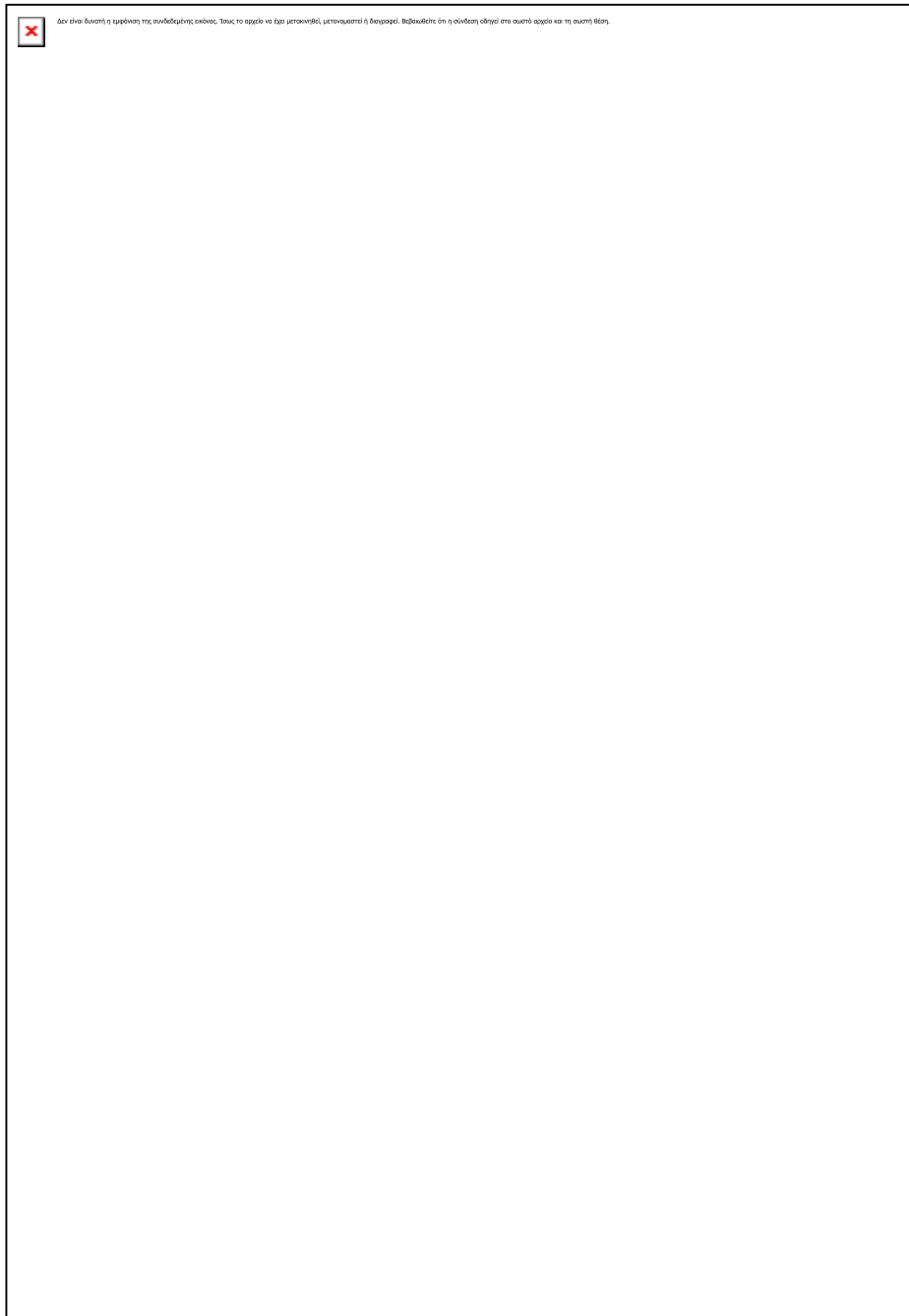
Σχήμα 3-11. Τυπικό διάγραμμα ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας (IF).

Στο κύκλωμα αυτό χρησιμοποιείται το ολοκληρωμένο CA3028, το οποίο διαθέτει και είσοδο για το σήμα της AGC ανάδρασης (ακίδα 7). Αξιοπρόσεκτη επίσης είναι και η χρήση των διπλά συντονιζόμενων κυκλωμάτων LC στην είσοδο και την έξοδο του ενισχυτή. Τα κυκλώματα LC δεν αποτελούν στοιχείο του ολοκληρωμένου CA3028, και γι αυτό το λόγο περιβάλλονται από διακεκομμένη γραμμή στο Σχήμα 3-11. Μπορεί κανείς να τα αγοράσει σήμερα πολύ φθηνά και διαθέτουν ένα ειδικό μηχανισμό ρύθμισης στον πυρήνα του μετασχηματιστή που επιτρέπει την ρύθμιση ακριβείας της κεντρικής τους συχνότητας.

3.4 Αυτόματος έλεγχος κέρδους ενίσχυσης – AGC

Η αναγκαιότητα αυτομάτου ελέγχου του κέρδους ενίσχυσης ενός δέκτη έχει ήδη συζητηθεί στην παράγραφο 3.3. Υπενθυμίζεται ότι το AGC επιτρέπει στο δέκτη να διατηρεί μια σταθερή στάθμη σήματος εξόδου για μεγάλες διακυμάνσεις των σημάτων εισόδου. Οι διακυμάνσεις των σημάτων εισόδου δεν αφορούν μόνο διαφορετικούς σταθμούς που εκπέμπουν από διαφορετικά σημεία με διαφορετική ισχύ εκπομπής, αλλά και ένα συγκεκριμένο σταθερό σταθμό του οποίου το σήμα μεταβάλλεται λόγω της Ιονόσφαιρας ή ατμοσφαιρικών συνθηκών. Επίσης διακυμάνσεις παρατηρούνται και στην περίπτωση εφαρμογών κινητών επικοινωνιών καθόσον το περιβάλλον και οι συνθήκες διάδοσης αλλάζουν διαρκώς με την κίνηση του κινητού σταθμού λήψης.

Στα περισσότερα συστήματα αυτομάτου ελέγχου κέρδους ενίσχυσης, η επιλογή της κατάλληλης AGC στάθμης γίνεται αμέσως μετά τον ανιχνευτή. Στην παράγραφο 3.2.1 εξηγήσαμε τον τρόπο με τον οποίο ο ανιχνευτής διόδου δημιουργεί μια dc στάθμη. Το Σχήμα 3-12(a) δείχνει την έξοδο από ένα κύκλωμα ανιχνευτή διόδου (δηλαδή απλά το ανορθωμένο AM σήμα) χωρίς φιλτράρισμα για ένα σταθμό με ασθενές σήμα και ένα σταθμό με ισχυρό σήμα. Η προσθήκη φίλτρου ακουστικών συχνοτήτων αμέσως μετά τη διόδο έχει ως αποτέλεσμα την αποκοπή της συχνότητας του φορέα και την παραγωγή των περιβαλλουσών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-12(b), οι οποίες αντιστοιχούν σε διαφορετικά επίπεδα εντάσεως ήχου για κάθε σταθμό. Εφαρμόζοντας στην έξοδο του φίλτρου ακουστικών συχνοτήτων ένα φίλτρο διέλευσης πολύ χαμηλών συχνοτήτων (δηλαδή μεγάλης χρονικής σταθεράς), μετατρέπουμε την περιβάλλουσα σε μια dc στάθμη, όπως διακρίνεται στο Σχήμα 3-12(c). Η παραγόμενη dc στάθμη μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί ως σήμα ανάδρασης για να ρυθμίσει κατά περίπτωση το κέρδος ενίσχυσης των προηγούμενων IF ή/και RF βαθμίδων.



Σχήμα 3-12. Παραγωγή της κατάλληλης στάθμης AGC.

Ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί η στάθμη AGC που παράγεται από τον ανιχνευτή διόδου, παρουσιάζεται στο Σχήμα 3-13, όπου η στάθμη AGC χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει το κέρδος ενός τρανζίστορ το οποίο λειτουργεί ως απλός ενισχυτής σε διάταξη κοινού εκπομπού (common emitter).



Σχήμα 3-13. Έλεγχος του κέρδους τρανζίστορ με στάθμη AGC.

Στην περίπτωση λήψης ενός ισχυρού σταθμού η τάση AGC που αναπτύσσεται στα άκρα του πυκνωτή C_{AGC} -που απαρτίζει το φίλτρο AGC- λαμβάνει μεγάλη και αρνητική τιμή, η οποία στη συνέχεια μειώνει την ορθή πόλωση στο τρανζίστορ Q_1 . Αυτό οδηγεί στην αύξηση της ροής ρεύματος dc στην αντίσταση R_2 και επομένως στην ελάττωση του ρεύματος που ρέει προς τη βάση του Q_1 . Και επειδή το κέρδος τάσης της διάταξης κοινού εκπομπού με παρακαμπτήριο πυκνωτή εκπομπού C_E είναι ανάλογο του dc ρεύματος πόλωσης, το σήμα του ισχυρού σταθμού ελαττώνει το κέρδος του Q_1 .

3.5 Δέκτες AM

Μέχρι αυτού του σημείου έχουν εξεταστεί τα διάφορα δομικά στοιχεία των δεκτών AM. Το Σχήμα 3-14 παρουσιάζει την υλοποίηση ενός υπερετεροδυνου δέκτη AM με τη χρήση του ολοκληρωμένου κυκλώματος LM1820 της National Semiconductor Corp.



Σχήμα 3-14. Δέκτης AM βασισμένος στο LIC LM1820 της NS.

Παρά το γεγονός ότι οι εσωτερικές βαθμίδες (μείκτης, ενισχυτές) του δέκτη AM είναι υλοποιημένες από το ολοκληρωμένο, τα συντονιζόμενα κυκλώματα πρέπει να προστεθούν εξωτερικά. Έτσι το μέγεθος ενός δέκτη AM καθορίζεται πρακτικά από τα εξωτερικά κυκλώματα επιλογής συχνότητας.

Στην ανάλυση των δεκτών συνηθίζεται να χρησιμοποιούμε την κλίμακα decibel (dB) για να περιγράψουμε την ενίσχυση ή την απόσβεση που εισάγει κάθε βαθμίδα. Η ισχύς στην κλίμακα decibel προσδιορίζεται συχνά με επίπεδο αναφοράς το 1mW (dBm), δηλαδή,

$$(3.2) \quad dBm = 10 \log_{10} \frac{P}{1 \text{ mW}} .$$

Το πλεονέκτημα που έχει ο χειρισμός της ισχύος στην κλίμακα decibel, είναι ότι η ισχύς σε κάποιο σημείο του δέκτη προκύπτει ως το αλγεβρικό άθροισμα των κερδών ή των αποσβέσεων όλων των προηγούμενων βαθμίδων. Το Σχήμα 3-15 απεικονίζει ένα δέκτη και επιδεικνύει την ευκολία με την οποία προσδιορίζεται η στάθμη της ισχύος στην είσοδο και έξοδο κάθε βαθμίδας του με τη χρήση της κλίμακας dB.



Σχήμα 3-15. Διάγραμμα βαθμίδων δέκτη.

3.6 Προβλήματα

- 1) Εξηγήστε πως επιτυγχάνεται η σταθερή επιλεκτικότητα στον υπερετερόδουνο δέκτη για μια ευρεία ζώνη συχνοτήτων.
- 2) Το AM σήμα στην είσοδο ενός μείκτη είναι συχνότητας 1.1MHz και διαμορφώθηκε από ημιτονικό σήμα συχνότητας 2kHz. Η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή είναι 1.555MHz. Προσδιορίστε όλες τις συχνότητες στην έξοδο του μείκτη και υποδείξτε αυτές που λογικά θα πρέπει να διαδοθούν στις ενδιάμεσες βαθμίδες.
- 3) Εάν ένας υπερετερόδουνος δέκτης είναι συντονισμένος σε σήμα εισόδου 1000kHz και ο τοπικός ταλαντωτής λειτουργεί σε συχνότητα 1300kHz, ποια πρέπει να είναι η συχνότητα του διαμορφωμένου σήματος εισόδου που θα μπορούσε να προκαλέσει λήψη της συχνότητας ειδώλου;
- 4) Η περιοχή συντονισμού ενός δέκτη κυμαίνεται μεταξύ 20MHz και 30MHz, ενώ η ενδιάμεση συχνότητα λειτουργίας είναι 10.7MHz. Υπολογίστε το απαιτούμενο εύρος των συχνοτήτων του τοπικού ταλαντωτή και το εύρος των ειδώλων.
- 5) Αποδείξτε ότι για την καθιερωμένη ζώνη ραδιοφωνίας μεσαίων κυμάτων η απόρριψη των συχνοτήτων ειδώλου δεν αποτελεί πρόβλημα.

6) Ένας υπερετεροδύναμος δέκτης συντονισμένος στον 1MHz, έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- κέρδος RF ενισχυτή 6.5dB, σύνθετη αντίσταση εισόδου 50Ω,
- κέρδος μείκτη 3dB,
- τρεις βαθμίδες IF ενίσχυσης με κέρδος 24dB στα 455kHz η καθεμία,
- απόσβεση ανιχνευτή 4dB,
- κέρδος ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων 13dB.

Η τάση στην έξοδο της κεραίας η οποία είναι συνδεδεμένη με τον RF ενισχυτή είναι 21μV. Υπολογίστε την συχνότητα ειδώλου και την ισχύ εισόδου και εξόδου του δέκτη σε Watts και dBm. Κάντε ένα σχεδιάγραμμα του δέκτη και σημειώστε την ισχύ στην είσοδο και έξοδο κάθε βαθμίδας σε dBm.

7) Το δυναμικό εύρος ενός δέκτη είναι 81dB και η ευαισθησία του 0.55nW.

Προσδιορίστε τη μέγιστη αποδεκτή στάθμη του σήματος εισόδου.

