

Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά
Τεχνολογικού Τομέα
Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών Τ.Ε.



Εργαστήριο Μαθήματος:
ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ RF
(Δ εξάμηνο)
Υπεύθυνη Καθηγήτρια Εργαστηρίου: Μαρία Ραγκούση

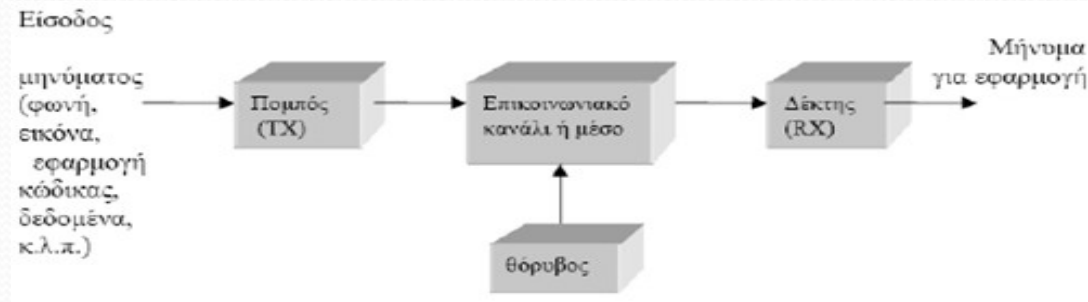
Σημειώσεις Εργαστηρίου
ΜΕΡΟΣ 2^ο: ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗΣ AM

ΑΙΓΑΛΕΩ, Εαρινό Εξάμηνο 2017-18

Εισαγωγή – Ηλεκτρονικά για Τηλεπικοινωνίες

Τα Ηλεκτρονικά Ραδιοσυχνοτήτων (RF) είναι (κυρίως) ηλεκτρονικά για **τηλεπικοινωνίες**.

Σχηματικό διάγραμμα τηλεπικοινωνιακού συστήματος: Πομπός -> Κανάλι (θόρυβος) -> Δέκτης.



Προβλήματα:

1. Το κανάλι δεν είναι ποτέ τέλειο (ιδανικό), αλλά παρουσιάζει ατέλειες (συνάρτηση μεταφοράς $\neq 1$),
2. Στο κανάλι εισέρχεται θόρυβος, που αλλοιώνει περαιτέρω το σήμα.

Αντιμετώπιση:

- Χρησιμοποιούμε *εξειδικευμένα ηλεκτρονικά κυκλώματα* και στον Πομπό (TX) και στο Δέκτη (RX), για να κάνουμε:
 - (α) **Διαμόρφωση (modulation)** στον Πομπό (TX)
 - (b) **Αποδιαμόρφωση (demodulation)** στο Δέκτη (RX)
- Στον πομπό «διαμορφώνουμε» το σήμα (ουσιαστικά το μεταφέρουμε σε **υψηλότερη** περιοχή συχνοτήτων) και στη συνέχεια η κεραία το εκπέμπει διαμορφωμένο.
- Το διαμορφωμένο σήμα είναι **πιο ανθεκτικό (robust)** στις **αλλοιώσεις** που θα αντιμετωπίσει κατά τη διέλευσή του μέσα από το κανάλι μετάδοσης.
- Ο δέκτης πρέπει να το «αποδιαμορφώσει», δηλαδή να το κατεβάσει πάλι στην αρχική (**χαμηλότερη**) περιοχή συχνοτήτων.
- Ο πομπός και ο δέκτης πρέπει να χρησιμοποιήσουν **την ίδια (κοινή)** μέθοδο διαμόρφωσης – αποδιαμόρφωσης, ώστε το τελικό σήμα να έχει νόημα.

Είδη Διαμόρφωσης Τηλεπικοινωνιακού Σήματος

(i) Διαμορφώσεις Αναλογικών Σημάτων: AM, FM, PM

(ii) Διαμορφώσεις Ψηφιακών Σημάτων: ASK, FSK, PSK, QPSK, QAM

(i) ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ

- Το αναλογικό σήμα που περιέχει την προς μετάδοση πληροφορία, κυρίως συχνοτική, ονομάζεται «**διαμορφώνον**» σήμα (*modulating signal*).
- Η πληροφορία αυτή (στη ραδιοφωνία: φωνή, μουσική, ηχητικά σήματα) χρησιμοποιείται για να διαμορφώσει
 - το πλάτος ή
 - τη συχνότητα ή
 - τη φάση

ενός «**φέροντος**» σήματος (*carrier signal*) που είναι ένα απλό ημίτονο:

$$u_c(t) = V_c \sin(\omega_c t + \varphi_c)$$

- Το φέρον σήμα παράγεται τοπικά, μέσα στον πομπό, από ένα ταλαντωτή (**Τοπικός Ταλαντωτής = Local Oscillator**).
- Η βαθμίδα του διαμορφωτή, που περιέχει ο πομπός, **πολλαπλασιάζει** το φέρον σήμα **επί** το προς μετάδοση σήμα πληροφορίας. Αυτό σημαίνει ότι είναι **ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟ** κύκλωμα.

Είδη Διαμόρφωσης Τηλεπικοινωνιακού Σήματος

(I) ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ

- Η έξοδος του διαμορφωτή, δηλαδή το «**διαμορφωμένο**» σήμα (**modulated signal**), είναι βασικά και πάλι το φέρον σήμα, αλλά έχει τροποποιηθεί
 - είτε το πλάτος V_c ,
 - είτε η συχνότητα ω_c ,
 - είτε η φάση του φ_c ,ώστε να αντανακλούν τις μεταβολές του σήματος πληροφορίας.
- Αντίστοιχα προκύπτουν οι εξής τρεις τύποι διαμόρφωσης (modulation) αναλογικού σήματος:
 - **Διαμόρφωση Πλάτους ή Εύρους (Amplitude Modulation, A.M.):**
Το μέγιστο πλάτος του φέροντος σήματος, V_c , μεταβάλλεται ανάλογα με το διαμορφώνον σήμα
 - **Διαμόρφωση Συχνότητας (Frequency Modulation, F.M.):**
Η συχνότητα του φέροντος σήματος, ω_c , μεταβάλλεται ανάλογα με το διαμορφώνον σήμα
 - **Διαμόρφωση Φάσης (Phase Modulation, P.M.):**
Η φάση του φέροντος σήματος, φ_c , μεταβάλλεται ανάλογα με το διαμορφώνον σήμα

Είδη Διαμόρφωσης Τηλεπικοινωνιακού Σήματος

(ii) ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ

Το προς μετάδοση ψηφιακό σήμα περιέχει πληροφορία (κυρίως πλάτους, δηλαδή διακριτών τιμών του σήματος) η οποία χρησιμοποιείται για να διαμορφώσει

(i) το πλάτος ή

(ii) τη συχνότητα ή

(iii) τη φάση

ενός «**φέροντος**» σήματος (*carrier signal*) ημιτονικής μορφής.

Αντίστοιχα προκύπτουν οι εξής κύριοι τύποι διαμόρφωσης (modulation) ψηφιακού σήματος:

Διαμόρφωση Μετατόπισης Πλάτους ή Εύρους (Amplitude Shift Keying Modulation, A.S.K.)

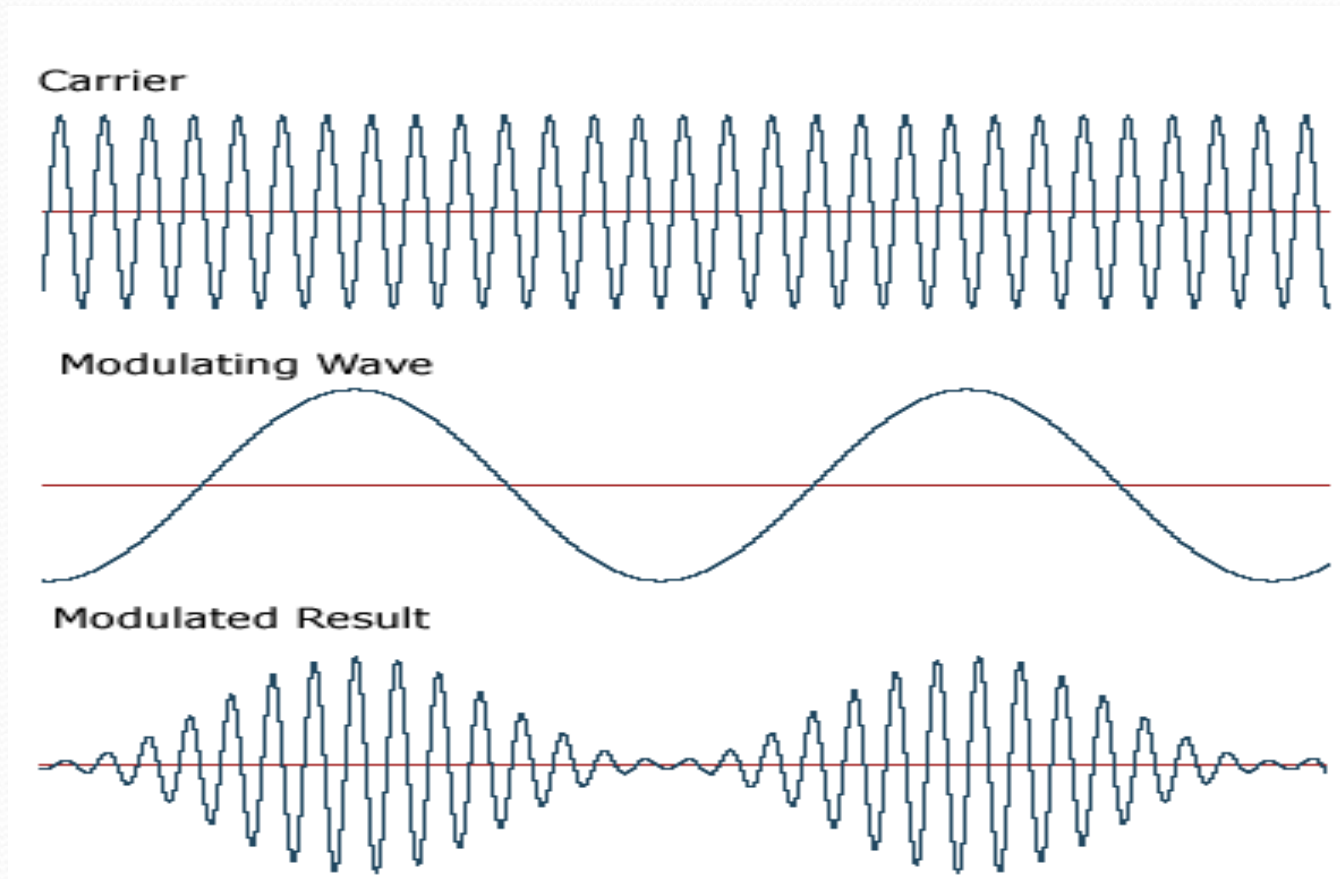
Διαμόρφωση Μετατόπισης Συχνότητας (Frequency Shift Keying Modulation, F.S.K.)

Διαμόρφωση Μετατόπισης Φάσης (Phase Shift Keying Modulation, P.S.K.)

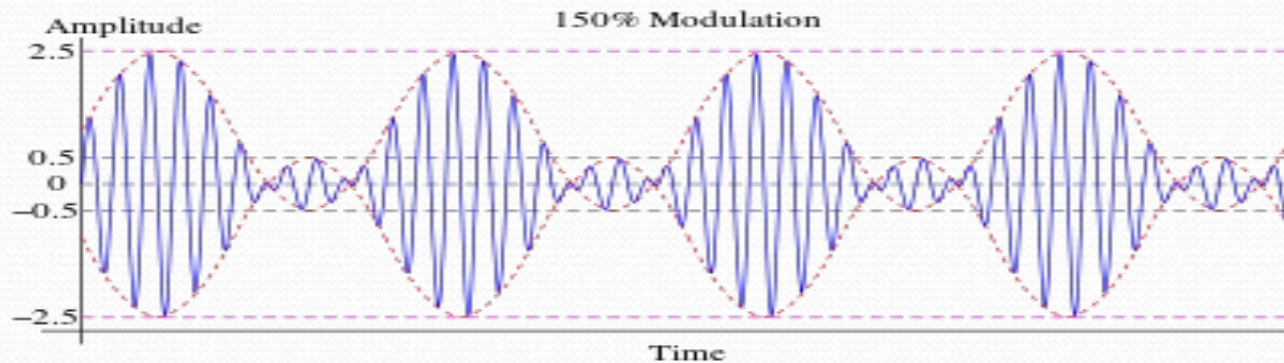
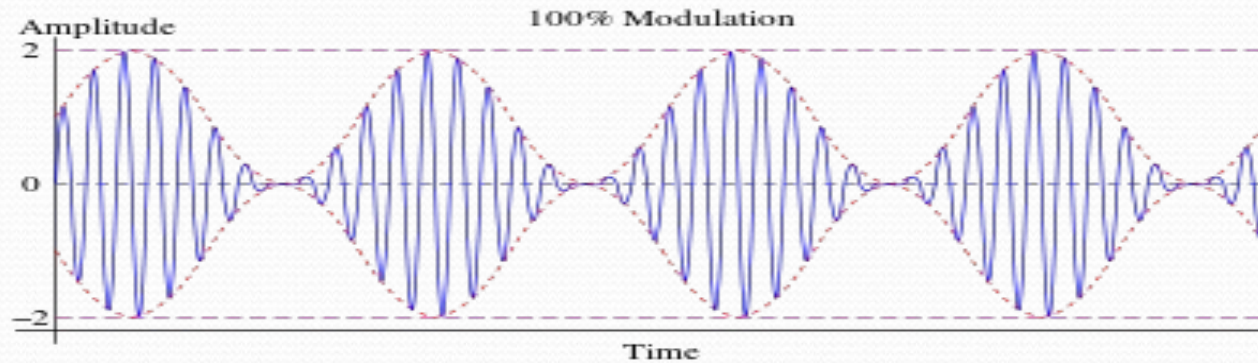
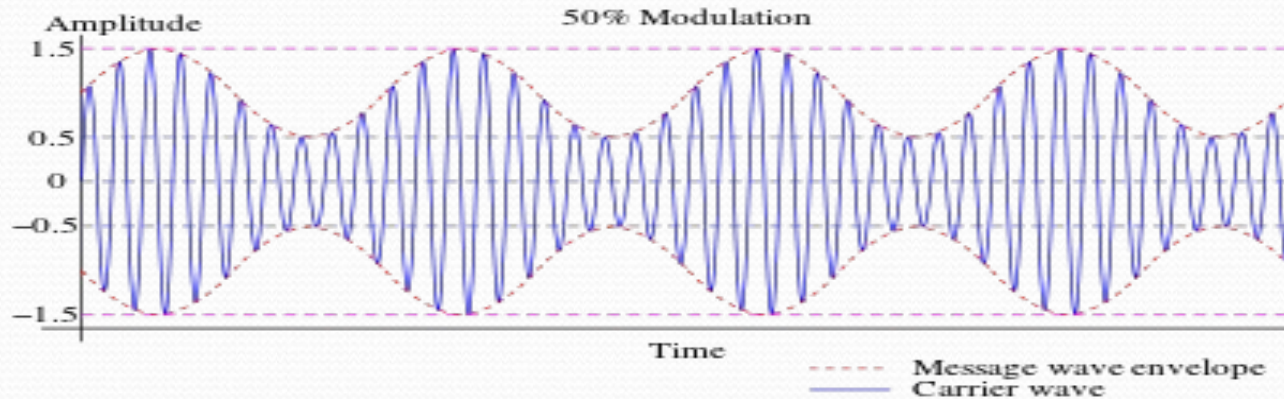
Διαμόρφωση Τετραγωνισμού Πλάτους (Quadrature Amplitude Modulation, Q.A.M.)

Παρατηρούμε ότι οι τρεις πρώτες είναι πλήρως αντίστοιχες με τις διαμορφώσεις κατά πλάτος (A.M.)

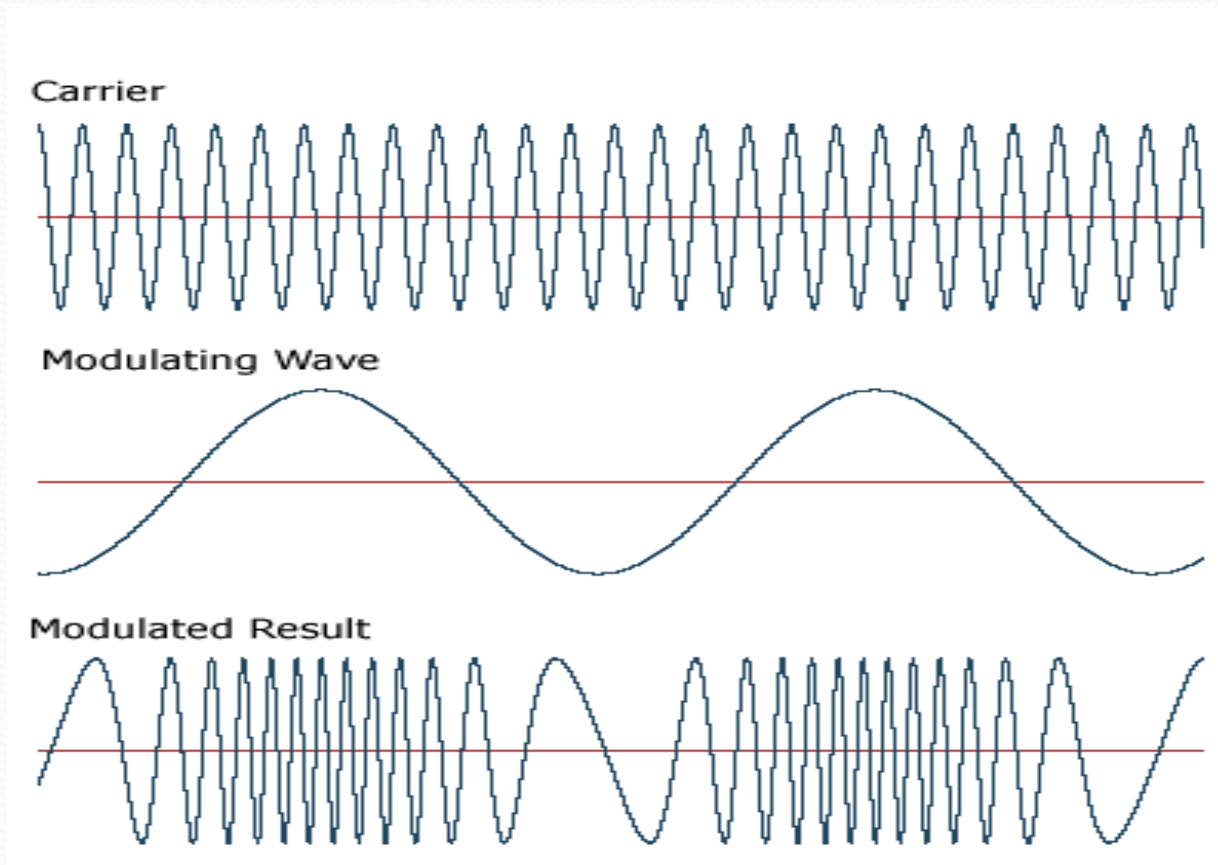
Παράδειγμα διαμόρφωσης πλάτους (AM) αναλογικού audio σήματος



Παράδειγμα διαμόρφωσης πλάτους (AM) αναλογικού audio σήματος: Ο δείκτης διαμόρφωσης (modulation index) $m\%$



Παράδειγμα διαμόρφωσης συχνότητας (FM) αναλογικού audio σήματος



Φασματική Ανάλυση του διαμορφωμένου κατά AM σήματος

- Απλουστευτικά θεωρούμε εδώ ότι το αναλογικό audio προς μετάδοση, δηλαδή το διαμορφώνον σήμα (modulating signal), είναι **απλά ένα συνημίτονο**:

$$u_a(t) = V_a \cos(\omega_a t + \varphi_a)$$

- Τα αποτελέσματα είναι αντίστοιχα και για πραγματικό audio σήμα, που δεν είναι ένα μόνο ημίτονο αλλά υπέρθεση (άθροισμα) περισσοτέρων ημιτόνων.
- Επίσης το φέρον σήμα είναι κι αυτό ένα συνημίτονο:

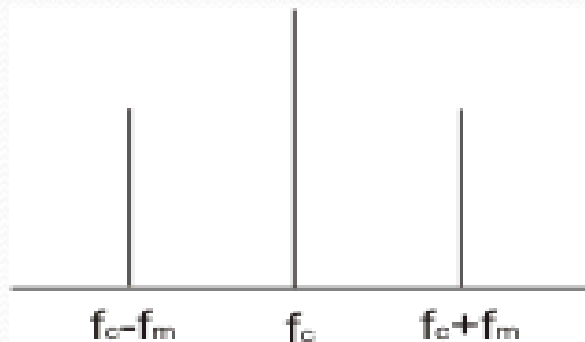
$$u_c(t) = V_c \cos(\omega_c t + \varphi_c)$$

- Το διαμορφωμένο σήμα, $u_m(t)$, περιέχει ως συνιστώσες
 - (i) το ίδιο το φέρον σήμα και
 - (ii) το γινόμενο του φέροντος επί το audio σήμα (για απλότητα εδώ θέτουμε τις αρχικές φάσεις $\varphi_c = \varphi_a = 0$):

$$\begin{aligned} u_m(t) &= V_c \cos(\omega_c t) + V_a \cos(\omega_c t) \times \cos(\omega_a t) \\ &= V_c \cos(\omega_c t) + \frac{V_a}{2} \cos(\omega_c t + \omega_a t) + \frac{V_a}{2} \cos(\omega_c t - \omega_a t) \\ &= V_c \cos(2\pi f_c t) + \frac{V_a}{2} \cos(2\pi(f_c + f_a)t) + \frac{V_a}{2} \cos(2\pi(f_c - f_a)t) \end{aligned}$$

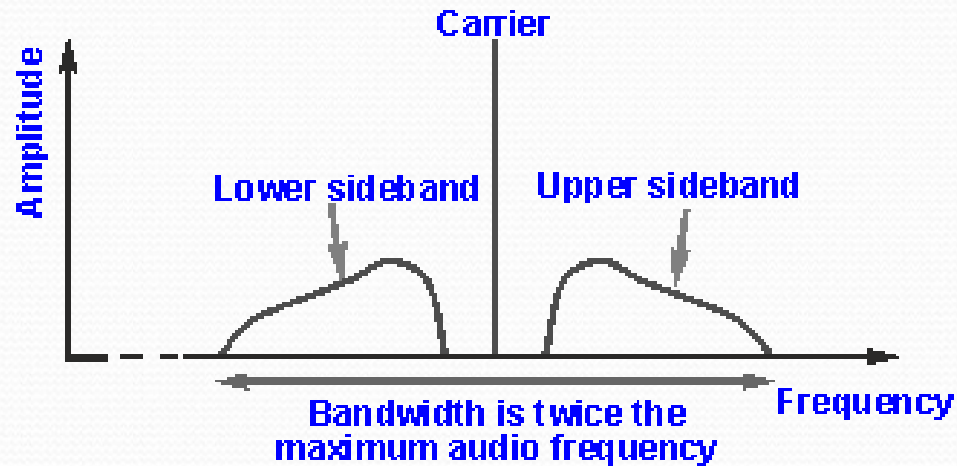
Φασματική Ανάλυση του διαμορφωμένου κατά AM σήματος

- Η πρώτη συνιστώσα στην παραπάνω σχέση είναι το φέρον σήμα. Στο φάσμα του διαμορφωμένου σήματος που φαίνεται στο αριστερό σχήμα, η συνιστώσα αυτή αντιστοιχεί στη μεσαία φασματική γραμμή, συχνότητας f_c .
- Οι άλλες δύο συνιστώσες ονομάζονται «**πλευρικές ζώνες**» (*sidebands*), και αντιστοιχούν στις δύο φασματικές γραμμές δεξιά και αριστερά της κεντρικής:
 1. η συνιστώσα με συχνότητα $(f_c + f_m)$ ονομάζεται **Άνω Πλευρική Ζώνη (Upper Sideband)**, ενώ
 2. η συνιστώσα με συχνότητα $(f_c - f_m)$ ονομάζεται **Κάτω Πλευρική Ζώνη (Lower Sideband)**.



- Στο παράδειγμα αυτό, οι πλευρικές ζώνες μεταφέρουν **μόνο μία συχνότητα** η καθεμία, διότι έχουμε απλοποιητικά θεωρήσει ότι το προς μετάδοση audio σήμα είναι ένα απλό ημίτονο ή συνημίτονο (δηλαδή μία μόνο συχνότητα, f_m).

Φασματική Ανάλυση του διαμορφωμένου κατά AM σήματος

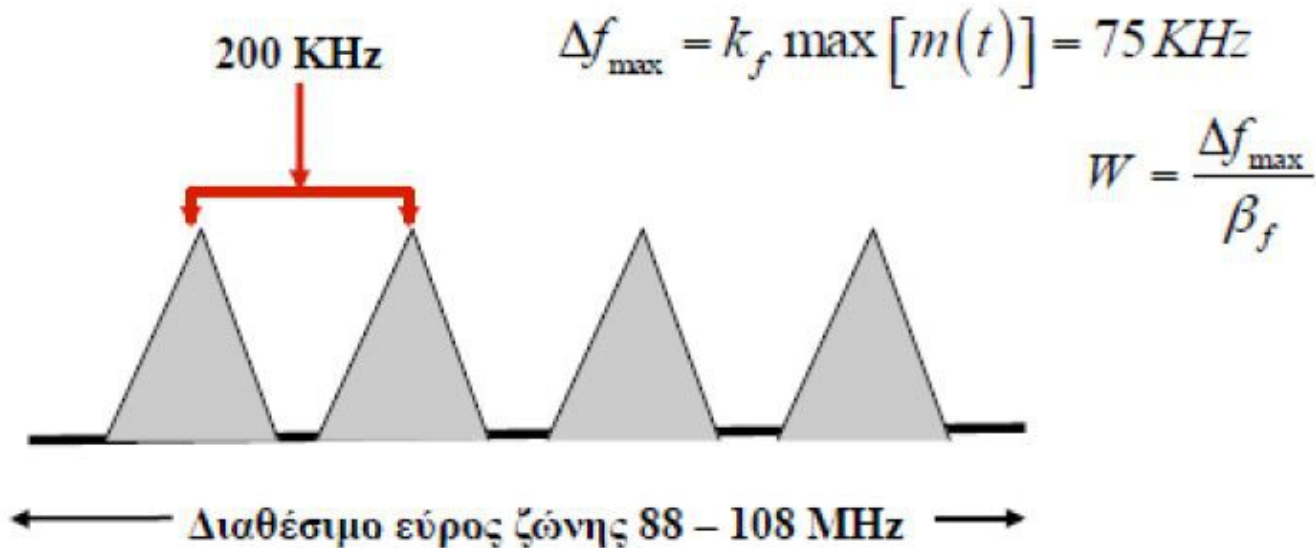
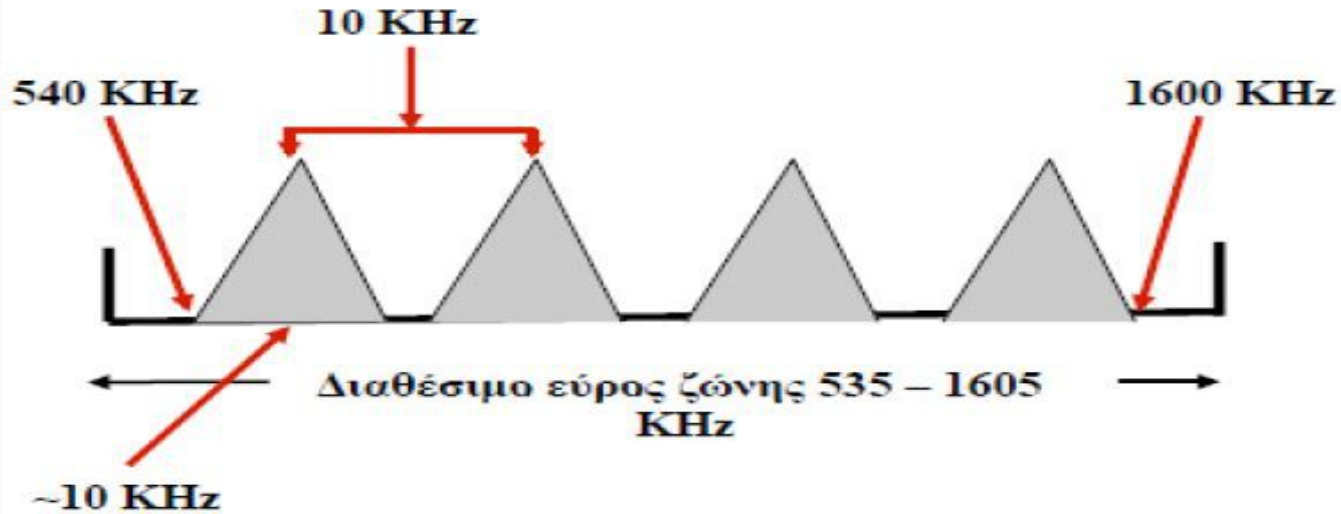


- Το **πραγματικό** audio σήμα που μεταδίδεται ραδιοφωνικά δεν περιέχει ένα μόνο ημίτονο αλλά είναι άθροισμα πολλών ημιτόνων, το καθένα με το δικό του πλάτος, συχνότητα και φάση.
- Όλων αυτών των ημιτόνων όμως οι συχνότητες βρίσκονται μέσα στην ακουστική περιοχή συχνοτήτων (20 Hz-20KHz).
- Άρα οι πλευρικές ζώνες στο φάσμα ισχύος του πραγματικού audio σήματος δεν είναι φασματικές γραμμές, όπως στο προηγούμενο απλοποιητικό σχήμα, αλλά **ζώνες συχνοτήτων**, όπως φαίνεται πιο ρεαλιστικά στο παραπάνω σχήμα.

Φασματική Ανάλυση του διαμορφωμένου κατά AM σήματος

- Η διαμόρφωση αυτή ονομάζεται **Διπλής Πλευρικής Ζώνης με Φέρον (Double Sideband with Carrier, DSB-WC)** και δεν είναι αποδοτική, διότι ο πομπός πρέπει να εκπέμπει σε υψηλή ισχύ, εφόσον η ισχύς στο δέκτη μοιράζεται σε τρεις συχνοτικές περιοχές.
- Αν αποκοπεί η κεντρική συνιστώσα (carrier), η οποία εξάλλου δεν φέρει πληροφορία σχετική με το audio σήμα, και μεταδοθεί σήμα που περιέχει μόνο τις δύο πλευρικές, προκύπτει η διαμόρφωση **Διπλής Πλευρικής Ζώνης χωρίς Φέρον (Double Sideband suppressed Carrier, DSB-SC)**, που είναι πολύ αποδοτικότερη από πλευράς ισχύος.
- Η πλέον αποδοτική λύση είναι να αποκοπεί και η μία από τις δύο πλευρικές (συνήθως αποκόπτεται η πιο υψίσυχνη, δηλαδή η Άνω Πλευρική), και να μεταδοθεί σήμα που περιέχει μόνο την Κάτω Πλευρική Ζώνη, οπότε προκύπτει η διαμόρφωση **Απλής Πλευρικής Ζώνης χωρίς Φέρον (Single Sideband suppressed Carrier, SSB-SC)**.
- **Πλεονεκτήματα της Διαμόρφωσης AM SSB-SC:**
 - Μειώνεται ο θόρυβος αφού έχουμε περιορισμένο εύρος ζώνης.
 - Για δεδομένη ισχύ στον πομπό, το εκπεμπόμενο σήμα είναι ισχυρότερο, οπότε και μεταδίδεται σε μεγαλύτερες αποστάσεις.
 - Μετάδοση περισσότερων σημάτων μέσα σε δεδομένο εύρος ζώνης, αφού το φάσμα μειώνεται στο μισό σε σχέση με το DSB.

Ραδιοφωνική Εκπομπή AM & FM – Φάσμα και σταθμοί

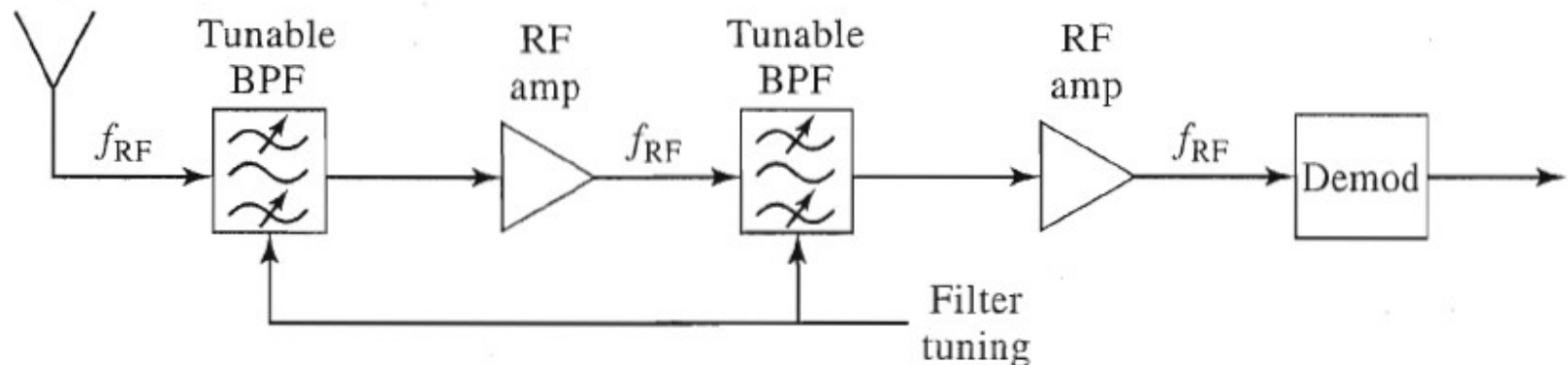


Διαμόρφωση AM και Ραδιοφωνική Εκπομπή

- Η Διαμόρφωση AM υπήρξε ιστορικά ο παλαιότερος τύπος αναλογικής διαμόρφωσης, λόγω της απλότητάς της (η διαμόρφωση κατά FM ακολούθησε αργότερα). Αντίστοιχα αναπτύχθηκαν οι απαραίτητες βαθμίδες (ηλεκτρονικά κυκλώματα) διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης.
- Για το δέκτη (receiver) υπάρχουν τρεις (3) τεχνολογίες σχεδίασης:
 - Ο Συντονιζόμενος Δέκτης Ραδιοσυχνοτήτων (**Tuned Radio Frequency Receiver - TRF**), που δεν χρησιμοποιείται πλέον,
 - Ο **Ομόδυνος δέκτης (Homodyne Receiver)** ή *Direct Conversion Receiver (DCR)* ή *Zero IF Receiver*, και
 - Ο **Ετερόδυνος δέκτης (Heterodyne Receiver)**
- Ο ετερόδυνος δέκτης, με τη μορφή του **Υπερετερόδυνου Δέκτη (Superheterodyne Receiver ή Superhet)**, επικράτησε λόγω των πρακτικών του πλεονεκτημάτων – κυρίως διότι ο χειρισμός του δέκτη από τον ακροατή ήταν απλούστερος και δεν απαιτούσε εκπαίδευση και τεχνικές γνώσεις.
- Η ονομασία **superheterodyne** αποτελεί σύμπτυξη των όρων *supersonic* (υπερηχητικές συχνότητες) και *heterodyne* (ετεροδύνηση).
- Η τεχνολογία των Υπερετερόδυνων Δεκτών αναπτύχθηκε τόσο για σήματα διαμορφωμένα τόσο κατά AM όσο και κατά FM. Χρησιμοποιήθηκε στη ραδιοφωνική μετάδοση, στην τηλεοπτική μετάδοση και στις τηλεπικοινωνίες.
- Αναπτύχθηκε στον Α Παγκόσμιο Πόλεμο, κατοχυρώθηκε μετά το τέλος του, το 1918, από τον Edwin Armstrong και επικράτησε πλήρως στη δεκαετία του 1930.

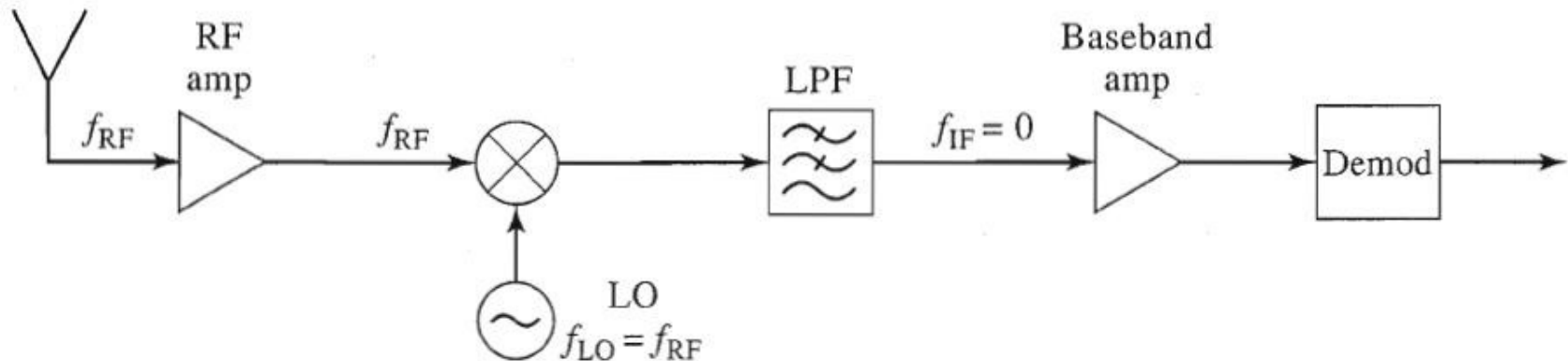
(A) Συντονιζόμενος Δέκτης RF (TRF Receiver)

- Υπήρξε ιστορικά ο **πρώτος** τύπος ραδιοφωνικού δέκτη AM που αναπτύχθηκε
- Αποτελείται από μία ή περισσότερες βαθμίδες ενισχυτών RF και συντονιζόμενων ζωνοπερατών φίλτρων (BandPass Filters, BPF)
- Προσφέρει υψηλή ενίσχυση αλλά όχι ικανοποιητική επιλεκτικότητα
- Μειονεκτεί γιατί τα ζωνοπερατά φίλτρα πρέπει να συντονίζονται παράλληλα και απαιτούν ειδικά εκπαιδευμένο χειριστή
- Επιπλέον, το εύρος ζώνης των φίλτρων δεν μπορεί να γίνει αρκετά στενό για να παρέχει την απαραίτητη επιλεκτικότητα
- Τέλος η ενίσχυση γίνεται ενώ το σήμα είναι ακόμη στη ζώνη RF (πριν την αποδιαμόρφωση), πράγμα που κάνει το κύκλωμα περίπλοκο



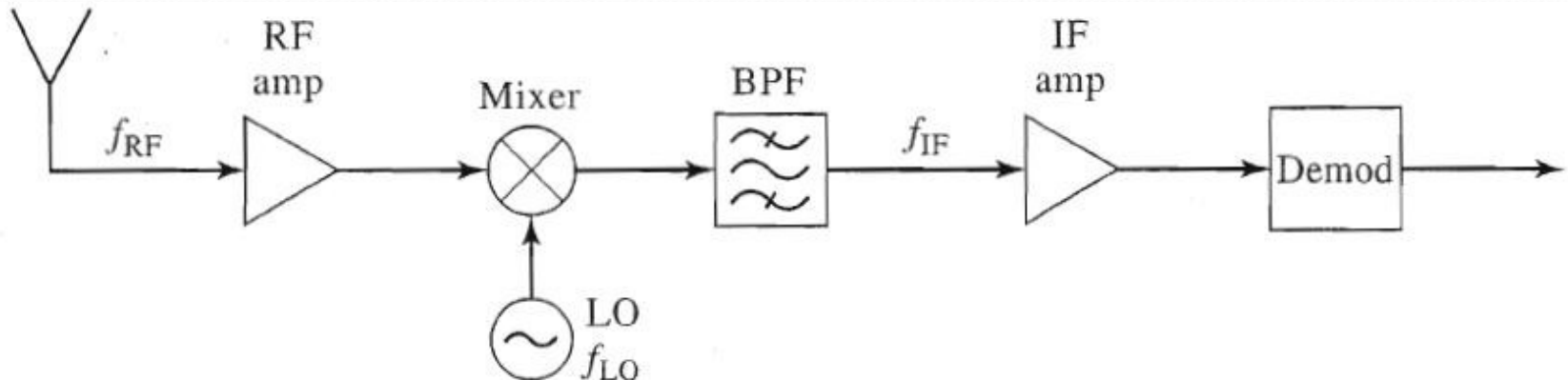
(B) Ομόδυνος Δέκτης ή Direct Conversion Receiver (DCR)

- Αναπτύχθηκε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, με βάση τις ηλεκτρονικές λυχνίες
- Χρησιμοποιεί τοπικό ταλαντωτή και μείκτη για να μεταφέρει το σήμα από την ζώνη RF σε μία χαμηλότερη ζώνη συχνοτήτων (frequency down-conversion)
- Το σήμα «κατεβαίνει» κατευθείαν στη βασική (ακουστική) ζώνη (Audio Frequency, AF) και όχι σε κάποια ενδιάμεση συχνότητα (Intermediate Frequency, IF), γι' αυτό και ονομάζεται «Zero-IF».
- Συνεπώς δεν χρειάζεται ούτε ενισχυτή IF ούτε αποδιαμόρφωση (φώραση)
- Μειονεκτεί γιατί ο τοπικός ταλαντωτής πρέπει να έχει εξαιρετικά σταθερή συχνότητα, άρα η σχεδίασή του και η σταθεροποίησή του είναι απαιτητικές. μπορεί να γίνει αρκετά στενό για να παρέχει την απαραίτητη επιλεκτικότητα
- Αν και για μεγάλο διάστημα είχε παροπλιστεί λόγω του (υπερ-)ετερόδυνου δέκτη, πρόσφατα έχει αποκτήσει νέο ενδιαφέρον, για ειδικά ασύρματα συστήματα επικοινωνίας

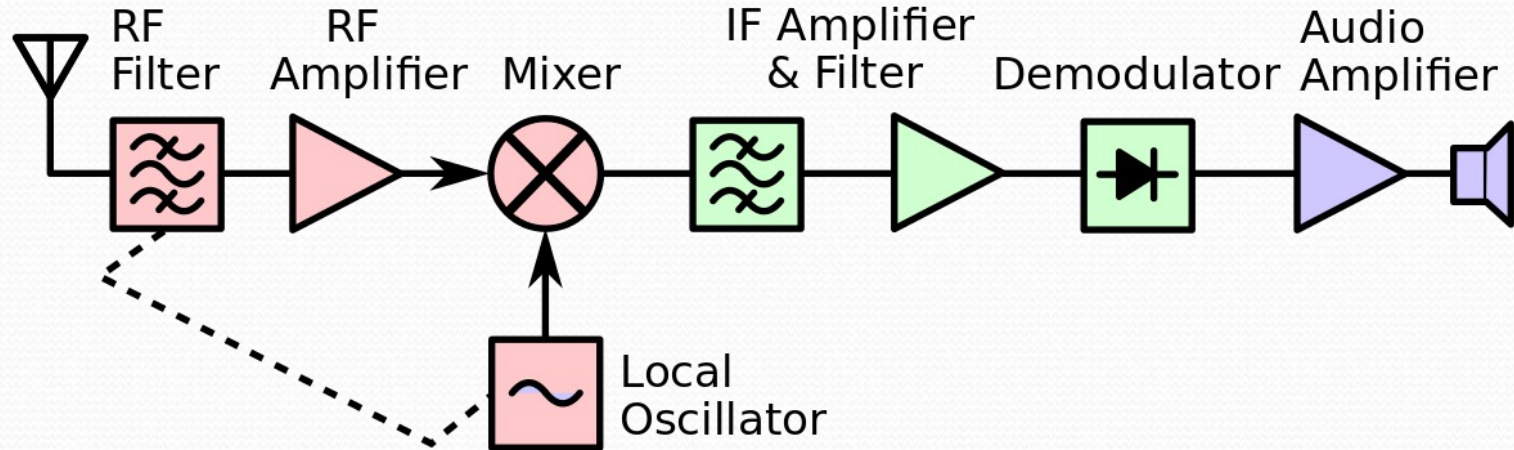


(Γ) Υπερετερόδυνος Δέκτης (Superheterodyne Receiver)

- Αναπτύχθηκε στο τέλος του Α Παγκοσμίου Πολέμου, και τελειοποιήθηκε μέχρι το 1930.
- Χρησιμοποιεί τοπικό ταλαντωτή και μείκτη για να μεταφέρει το σήμα από την ζώνη RF σε μία χαμηλότερη ζώνη συχνοτήτων (frequency down-conversion), όπου είναι ευκολότερο να σχεδιαστούν **ποιοτικοί ενισχυτές και φίλτρα**.
- Πρόκειται για την **Ενδιάμεση ζώνη συχνοτήτων (Intermediate Frequency, IF)**, όπου το σήμα ενισχύεται και φιλτράρεται ώστε να αποκόπτονται τα «είδωλα» (images)
- Ακολουθεί ο αποδιαμορφωτής (φωρατής) που απορρίπτει το φέρον σήμα και κρατά μόνο το σήμα πληροφορίας, στη βασική (ακουστική) ζώνη (Audio Frequency, AF).
- Τέλος αυτό ενισχύεται από έναν audio ενισχυτή και προωθείται από τα ηχεία.
- Ο ενισχυτής IF μπορεί να είναι μονοβάθμιος ή διβάθμιος, (ανάλογα με τον τύπο συντονισμού του).



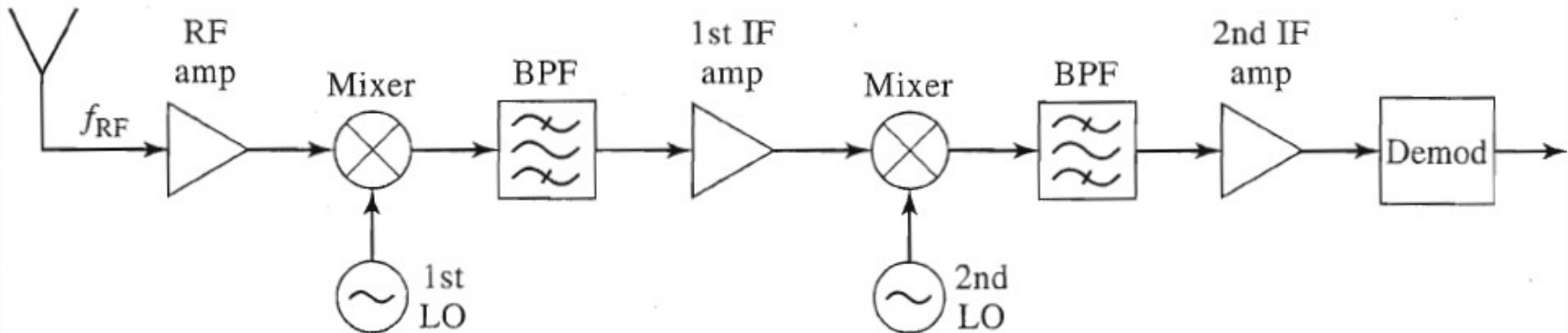
(Γ) Υπερετερόδυνος Δέκτης (Superheterodyne Receiver)



- Οι τρεις περιοχές συχνοτήτων από τις οποίες διέρχεται σταδιακά το σήμα, από την ψηλότερη προς την χαμηλότερη:
- Κόκκινο: Ζώνη **RF** (ραδιοσυχνότητες) – τάξη μεγέθους μερικών MHz (π.χ. 1-2 MHz)
- Πράσινο: Ζώνη **IF** (ενδιάμεσες συχνότητες) – τάξη μεγέθους εκατοντάδων KHz (455KHz)
- Μπλε: Ζώνη **AF** (ακουστικές συχνότητες) – τάξη μεγέθους δεκάδων KHz (π.χ. 1-100 KHz)

(Γ) Υπερετερόδυνος Δέκτης Διπλής Μετατροπής (*Double Down-conversion Superheterodyne Receiver*)

- Ένας υπερετερόδυνος δέκτης μπορεί να διαθέτει περισσότερες από μία βαθμίδες μετατροπής στη ζώνη IF. Μπορεί δηλαδή να σχεδιαστεί ως
 - απλής μετατροπής, (όπως αυτός στην προηγούμενη εικόνα),
 - διπλής μετατροπής, (όπως αυτός στην παρούσα εικόνα)
 - κ.ο.κ.
- Στο επόμενο σχήμα φαίνεται ένα παράδειγμα με δύο βαθμίδες μετατροπής (double down-conversion). Η κάθε βαθμίδα αποτελείται από τοπικό ταλαντωτή – μείκτη – ζωνοπερατό φίλτρο – ενισχυτή IF.
- Οι περισσότερες από μία βαθμίδες μετατροπής αυξάνουν την πολυπλοκότητα στη σχεδίαση του δέκτη αλλά πλεονεκτούν στη σταθεροποίηση της συχνότητας του επιλεγόμενου σταθμού για ακρόαση.



(Γ) Υπερετερόδυνος Δέκτης (Superheterodyne Receiver)

- Γενικά, ο **υπερετερόδυνος δέκτης** πλεονεκτεί γιατί
 - Παρέχει υψηλή ποιότητα, ευαισθησία και επιλεκτικότητα (η ποιότητα επιτυγχάνεται στις βαθμίδες RF που απορρίπτουν το είδωλο, ενώ η επιλεκτικότητα και η ευαισθησία στις βαθμίδες IF).
 - Ο χειρισμός του είναι απλούστατος και δεν απαιτεί ειδική εκπαίδευση, άρα μπόρεσε να απευθυνθεί στο ευρύ κοινό.
 - Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε ραδιο-τηλεοπτική εκπομπή (AM και FM), ραντάρ, κινητές επικοινωνίες και επικοινωνίες δεδομένων.

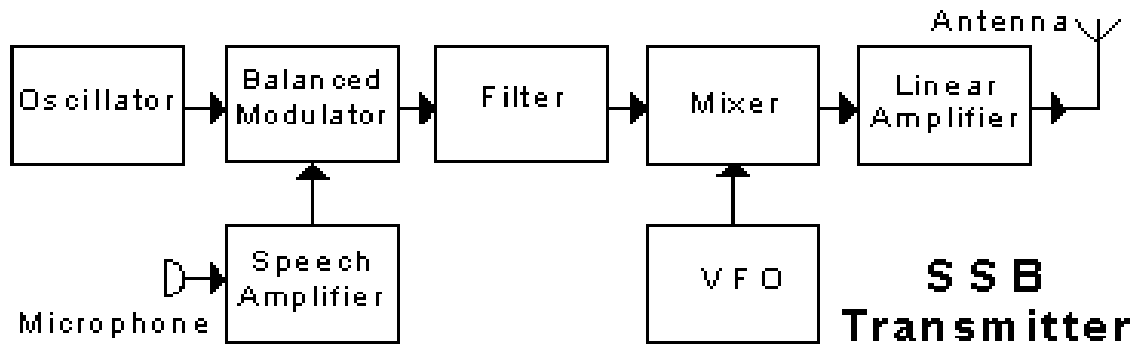
Εφαρμογή	Συχνότητα
AM broadcast radio (in automobiles)	262.5 kHz
AM broadcast radio	455 kHz
FM broadcast radio	10.7 MHz
Two way radios (FM)	21.4 MHz
Radar receivers	30 MHz
Aeronautical telemetry receivers	20 MHz
TV receivers (video)	43.75 MHz
Satellite Ground receivers	70 MHz

Διαμόρφωση ΑΜ και Ραδιοφωνική Εκπομπή

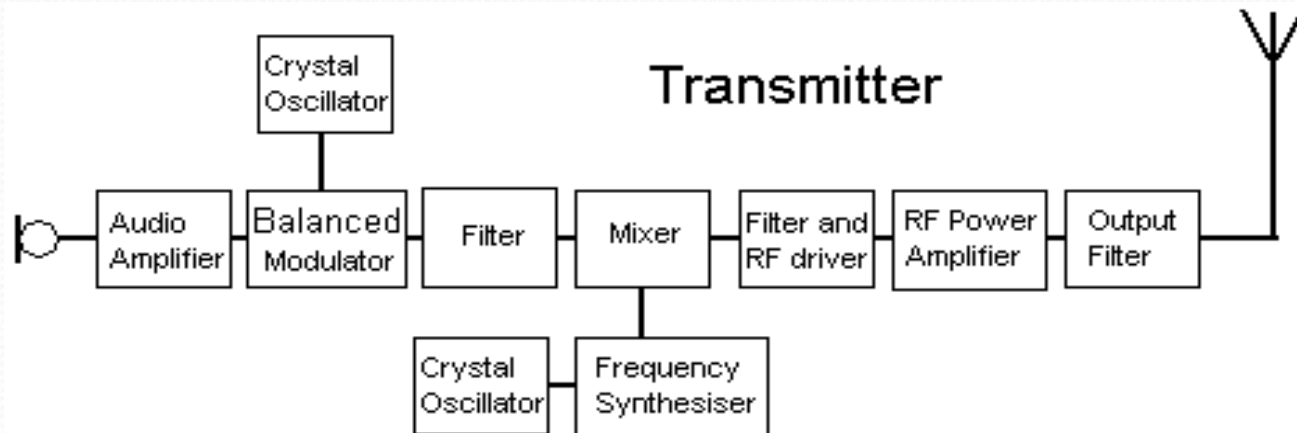
Η αξιοπιστία ενός δέκτη, που καθορίζει και την ποιότητά του, εξαρτάται από τα εξής μεγέθη:

- **Ευαισθησία – Sensitivity:** Είναι η ελάχιστη λαμβανόμενη ισχύς που απαιτείται στην είσοδο του δέκτη προκειμένου να λειτουργήσει ικανοποιητικά (υψηλή)
- **Επιλεκτικότητα – Selectivity:** Αναφέρεται στην ικανότητα του δέκτη να μπορεί να διαχωρίσει και να φιλτράρει τις επιθυμητές συχνότητες και να αποκόψει τις ανεπιθύμητες (πχ σταθμούς εκπομπής σε γειτονικές ζώνες συχνοτήτων) (υψηλή)
- **Πιστότητα – Reliability:** Αναφέρεται στην ικανότητα του δέκτη να αναπαράγει σωστά και χωρίς παραμορφώσεις τις λαμβανόμενες συχνότητες (υψηλή)
- **Συντελεστής θορύβου – Noise figure:** Είναι το ποσοστό θορύβου που εισάγει ο δέκτης σε σχέση με το σήμα της πληροφορίας (χαμηλός)
- **Δυναμική περιοχή – Dynamic range:** Είναι η ικανότητα διατήρησης γραμμικής συμπεριφοράς για ασταθή σήματα (υψηλή)

Διάγραμμα Βαθμίδων Ραδιοφωνικού Πομπού (AM)



Διάγραμμα Βαθμίδων Ραδιοφωνικού Πομπού (FM)



Διάγραμμα Βαθμίδων Υπερετερόδυνου Ραδιοφωνικού Δέκτη (AM)

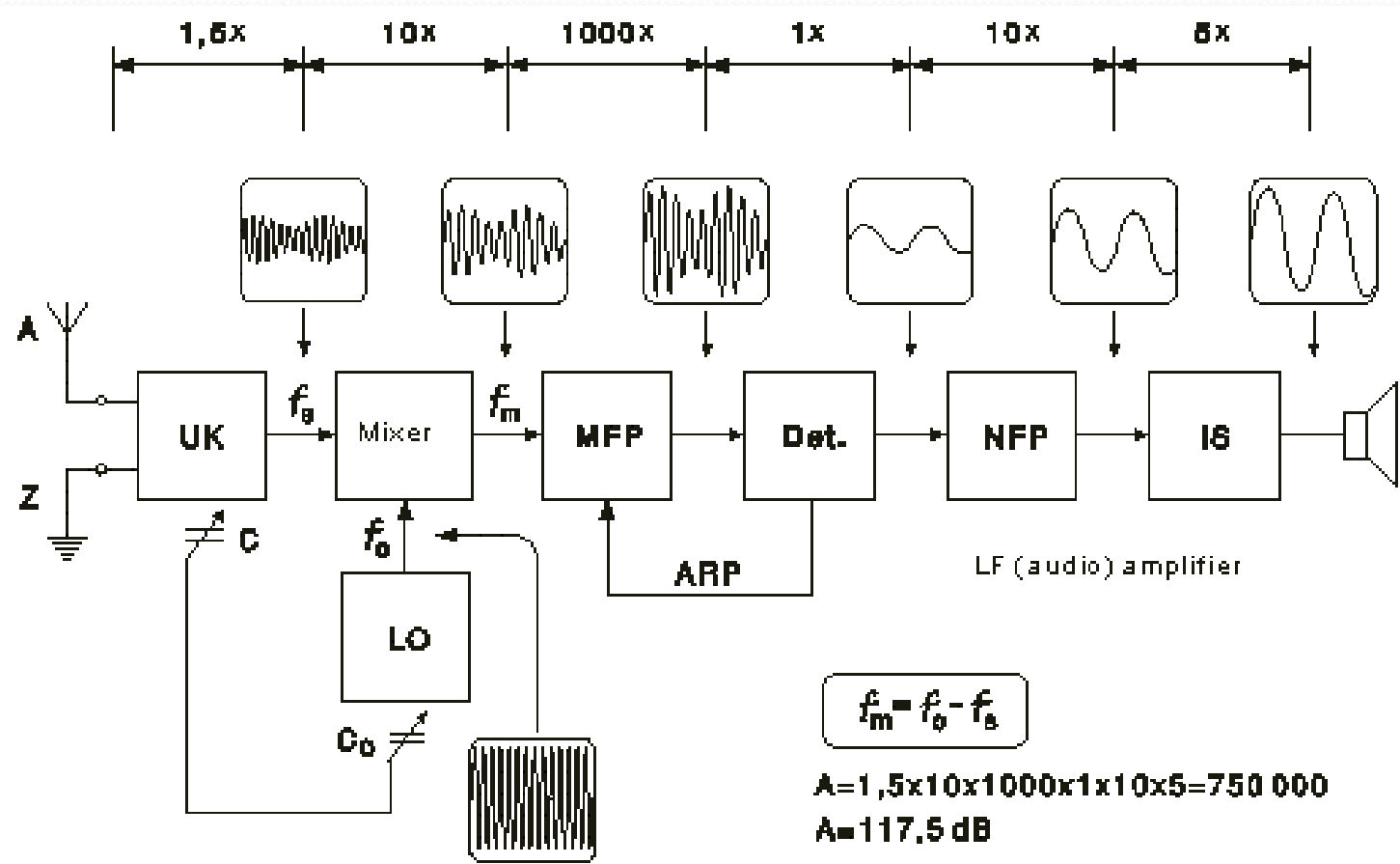
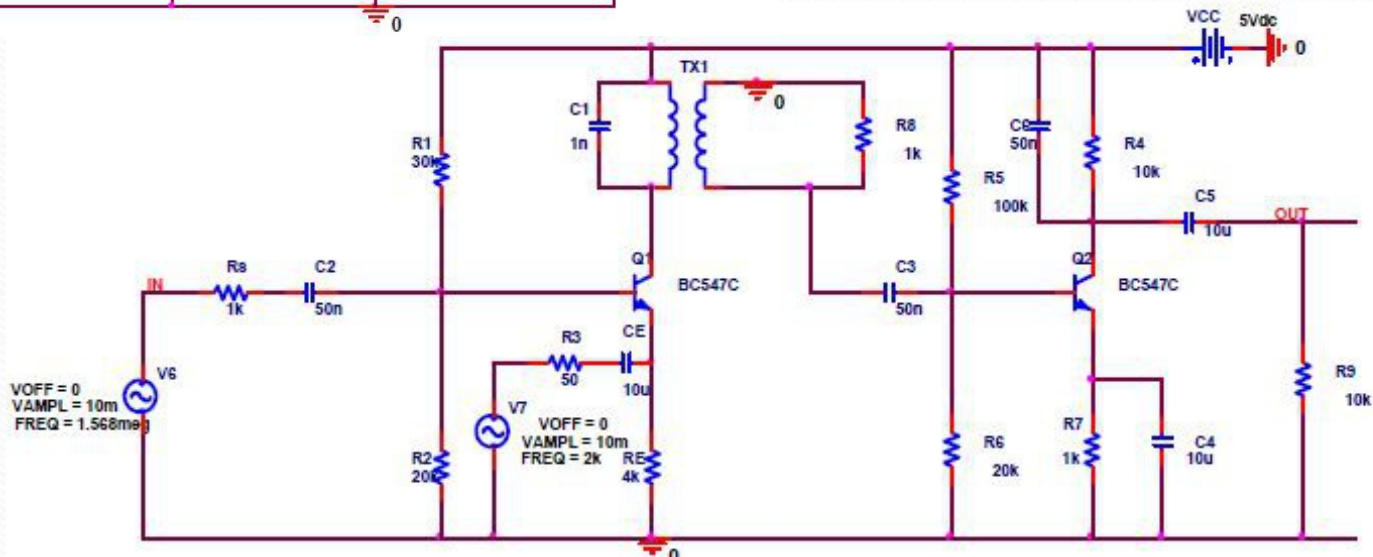
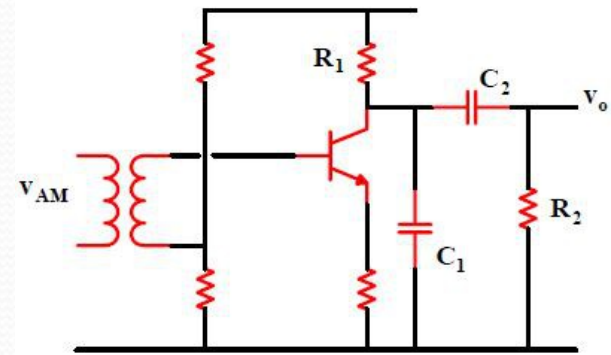
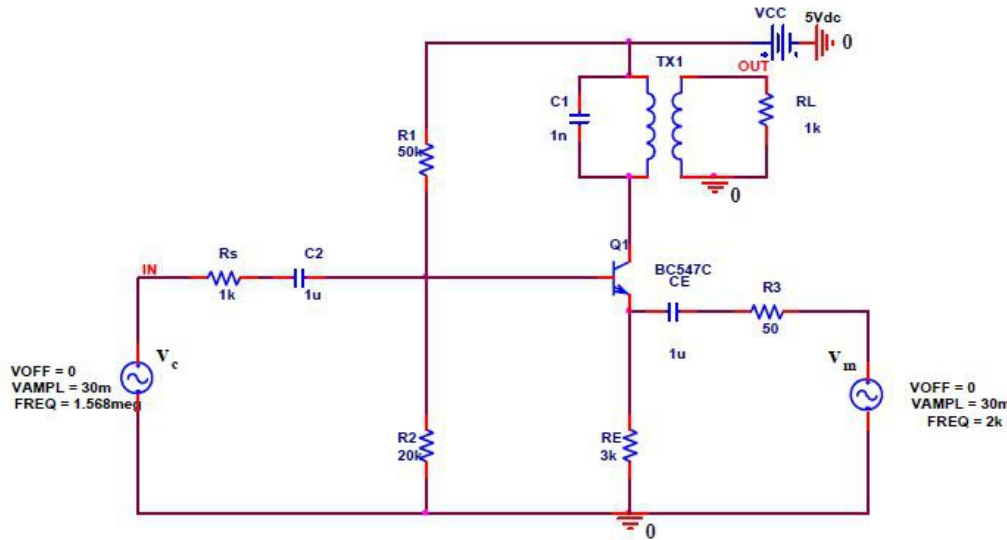


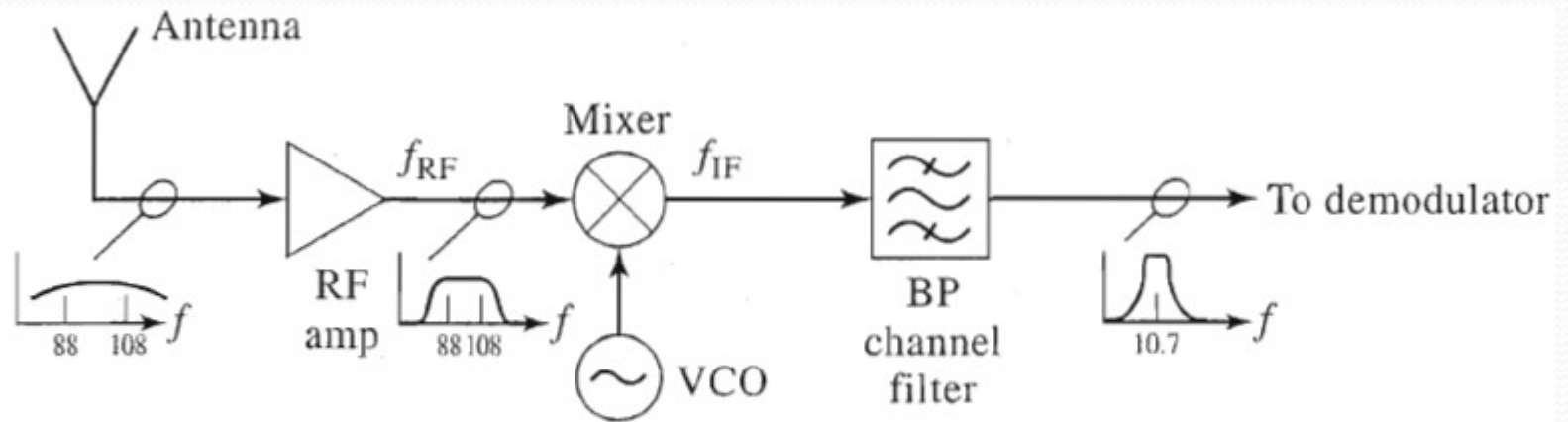
Fig. 4.1. Block diagram of a superheterodyne AM receiver

Βασικά Κυκλώματα Υπερετερόδυνου Ραδιοφωνικού Δέκτη (AM):

- (i) διαμορφωτής (μείκτης), (ii) αποδιαμορφωτής (φωρατής) με BJT, (iii) μείκτης-ενισχυτής IF και φωρατής, συνδεδεμένοι σε σειρά



Διάγραμμα Βαθμίδων Υπερετερόδυνου Ραδιοφωνικού Δέκτη (FM)



Συνοπτική περιγραφή λειτουργίας Ραδιοφωνικού Δέκτη AM

- Το λαμβανόμενο από την **Κεραία (Antenna)** του δέκτη σήμα οδηγείται στον **Ενισχυτή RF (RF Amplifier)**, όπου πραγματοποιείται στοιχειώδης ενίσχυση, επιλεκτικά ως προς τη συχνότητα (συντονιζόμενος ενισχυτής). Παράλληλα ο ενισχυτής RF παίζει το ρόλο του **απομονωτή** μεταξύ Κεραίας και Μείκτη (RF Mixer), εμποδίζοντας το ημιτονικό σήμα που παράγει η επόμενη βαθμίδα, ο Τοπικός Ταλαντωτής (Local Oscillator), να οδεύσει μέσω του Μείκτη προς την Κεραία. Η πλέον σημαντική λειτουργία του Ενισχυτή RF είναι η **απόρριψη του σήματος-ειδώλου (Image Signal)**, το οποίο έχει συχνότητα υψηλότερη από εκείνη του Τοπικού Ταλαντωτή και εφόσον δεν απορριφθεί αλλά περάσει στο Μείκτη, θα δώσει συχνοτικές συνιστώσες μέσα στη ζώνη ενίσχυσης του Ενισχυτή Ενδιάμεσης Συχνότητας (Intermediate Frequency Amplifier, IF). Αυτές θα ενισχυθούν, θα αποδιαμορφωθούν και θα φτάσουν μέχρι τον Ακουστικό Ενισχυτή (Audio Amplifier, AA) και τα ηχεία (Loudspeakers), λειτουργώντας ως παρεμβολές στο επιθυμητό σήμα
- Η έξοδος του Ενισχυτή RF οδηγείται στο **Μείκτη**, όπως και η έξοδος της βαθμίδας του Τοπικού Ταλαντωτή. Ο Μείκτης ή Μετατροπέας Συχνοτήτων (Frequency Converter) είναι μη γραμμική βαθμίδα. Ουσιαστικά **πολλαπλασιάζει** μεταξύ τους τα εισερχόμενα σήματα στο πεδίο του χρόνου, με αποτέλεσμα να δίνει στη έξοδό του σήμα που αποτελεί υπέρθεση (α) των εισερχομένων σημάτων και (β) συνιστωσών πάνω στο άθροισμα και στη διαφορά των συχνοτήτων των εισερχομένων σημάτων. Η λειτουργία αυτή του Μείκτη ονομάζεται **«Ετεροδύνηση» (Heterodyning)**. Οι παραγόμενες συχνότητες είναι f_{RF} , f_{LO} , $f_{LO}-f_{RF}$, $f_{LO}+f_{RF}$.
- Την έξοδο του Μείκτη φιλτράρει ένα συντονιζόμενο κύκλωμα (συντονιζόμενος ενισχυτής), ο **ενισχυτής IF**, ο οποίος επιλέγει και ενισχύει μόνο τη συνιστώσα με συχνότητα τη διαφορά των συχνοτήτων σήματος κεραίας και σήματος τοπικού ταλαντωτή.

Συνοπτική περιγραφή λειτουργίας Ραδιοφωνικού Δέκτη AM

- Μέσω ενός μεταβλητού πυκνωτή στο κύκλωμα ταλάντωσης του, τον οποίο στην πράξη χειρίζεται ο ακροατής, ο Τοπικός Ταλαντωτής του δέκτη μπορεί να μεταβάλλει τη συχνότητα του παραγόμενου ημιτόνου σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Είναι πάντα δυνατόν ο χειριστής να φέρει τον Τοπικό Ταλαντωτή σε συχνότητα ταλάντωσης που η διαφορά της από την (κεντρική) συχνότητα του εισερχόμενου σήματος να είναι σταθερή και συγκεκριμένα ίση με 455 KHz:

$$f_{IF} = f_{LO} - f_{RF} = 455 \text{ KHz}$$

Για πρακτικούς λόγους, ο Τοπικός Ταλαντωτής ταλαντώνει πάντα σε συχνότητες υψηλότερες εκείνων του εισερχόμενου από την κεραία σήματος (High Side Injection), οπότε $f_{LO} - f_{RF} > 0$.

- Ο **Ενισχυτής IF**, ο οποίος συχνά είναι διβάθμιος ή και τριβάθμιος, ενισχύει σημαντικά μόνο την ανωτέρω συχνότητα, ενώ απορρίπτει τις υπόλοιπες f_{RF} , f_{LO} , $f_{LO} + f_{RF}$ που δεν ανήκουν στο BW του.
- Στις βαθμίδες του IF οφείλεται σχεδόν όλη η επιλεκτικότητα και ευαισθησία του δέκτη. Η κεντρική συχνότητα των βαθμίδων αυτών είναι ρυθμισμένη στα 455 KHz με βάση το αντίστοιχο διεθνές πρότυπο.
- Το σημαντικά ενισχυμένο πλέον (αλλά ακόμη διαμορφωμένο, άρα υψίσυχο) σήμα οδηγείται στον **Αποκωδικοποιητή ή Φωρατή (Demodulator)**, ο οποίος απομονώνει το σήμα πληροφορίας από το φέρον σήμα, ενώ απορρίπτει το φέρον. Ουσιαστικά ανιχνεύει την περιβάλλουσα καμπύλη του.
- Το ανακτημένο σήμα πληροφορίας είναι (για το ραδιόφωνο) πλέον χαμηλόσυχο, δηλαδή στην ακουστική περιοχή συχνοτήτων. Οδηγείται σε ένα ακουστικό ενισχυτή (ενδεχομένως προενισχυτή = ενισχυτή ισχύος (τελικό ενισχυτή)), η έξοδος του οποίου οδηγεί τα ηχεία.

Συνοπτική περιγραφή λειτουργίας Ραδιοφωνικού Δέκτη AM

Μερικά από τα πρότυπα για τις κεντρικές συχνότητες των Ενισχυτών Ενδιάμεσης Συχνότητας (Ενισχυτών I.F.) που χρησιμοποιούνται είναι:

- 455 KHz για ραδιοφωνία AM στα Μεσαία Κύματα (MW),
- 10,7 MHz για δέκτες FM ,
- 38,9 MHz (Ευρώπη) ή 45 MHz (ΗΠΑ) για την τηλεόραση, και
- 70 MHz για τη δορυφορική τηλεόραση και επίγειο εξοπλισμό μικροκυμάτων.

Αυτόματος Έλεγχος Απολαβής (AGC) ή Έντασης Ήχου (AVC)

- Το φαινόμενο των διαλείψεων κατά την ασύρματη ραδιοφωνική μετάδοση σήματος, προκαλεί απότομες αυξομειώσεις της έντασης του ήχου στο δέκτη, με αποτέλεσμα την έντονη ενόχληση του ακροατή.
- Το AGC ή AVC είναι ένας μηχανισμός αυτομάτου ελέγχου (ανάδρασης), που αντισταθμίζει τις αυξομειώσεις πλάτους του εισερχόμενου σήματος μεταβάλλοντας κατάλληλα το σημείο πόλωσης των βαθμίδων του I.F., με αποτέλεσμα σταθερή ένταση ήχου στα ηχεία.

Αριθμητικό Παράδειγμα Ετεροδύνησης

- Ας υποθέσουμε ότι στην κεραία ενός δέκτη φτάνουν ασύρματα τα σήματα εκπομπής από τρεις σταθμούς στα Μεσαία Κύματα, οι οποίοι εκπέμπουν στις εξής κεντρικές συχνότητες:
 1. $f_{s1}=711$ kHz (Nis),
 2. $f_{s2}=855$ kHz (Bucharest),
 3. $f_{s3}=1008$ kHz (Belgrade 2).
- Αν ο ακροατής ρυθμίσει μέσω του μεταβλητού πυκνωτή τον τοπικό ταλαντωτή στα $f_m=1166$ kHz, ο Μείκτης θα βγάλει στην έξοδό του τα εξής σήματα (κεντρικές συχνότητες):

$$f_{m1} = f_0 - f_{s1} = 1166 - 711 = 455 \text{ kHz},$$

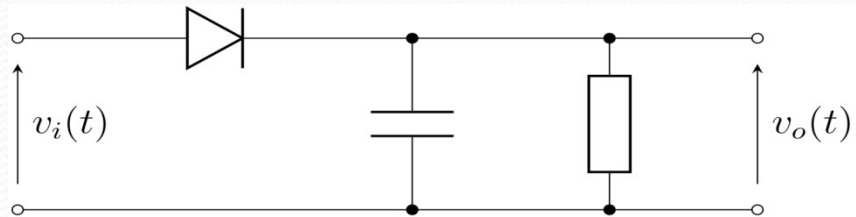
$$f_{m2} = f_0 - f_{s2} = 1166 - 855 = 311 \text{ kHz},$$

$$f_{m3} = f_0 - f_{s3} = 1166 - 1008 = 158 \text{ kHz}.$$

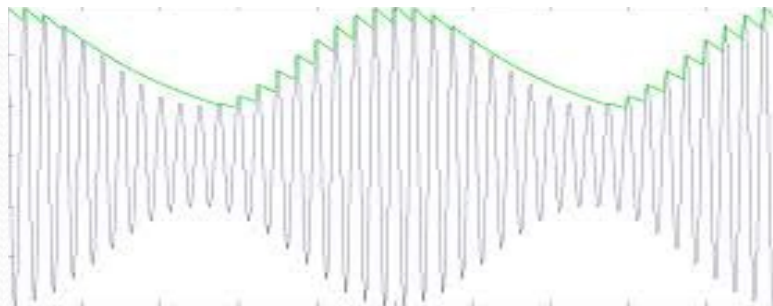
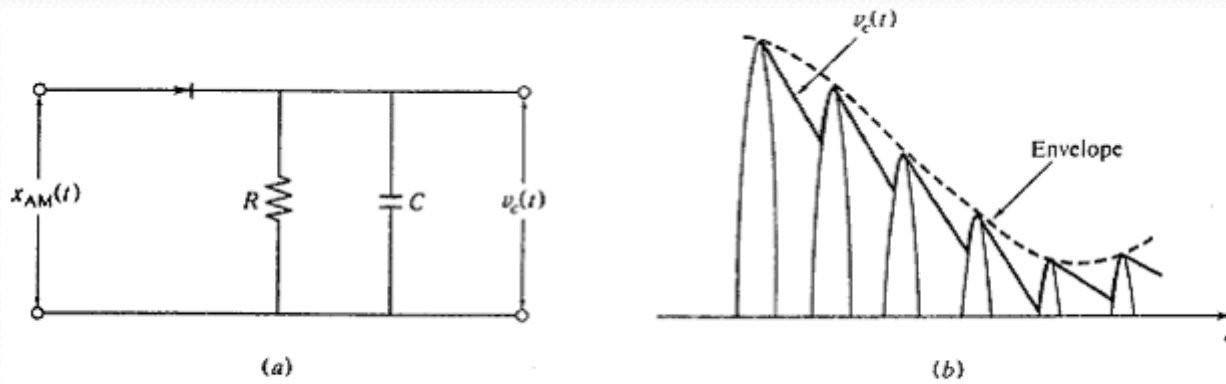
Καθώς ο Ενισχυτής IF είναι επικεντρωμένος στα 455 kHz, θα ενισχύσει μόνο το σήμα από τον 1^ο σταθμό (Nis) και θα απορρίψει τα υπόλοιπα δύο. Αυτό θα καταλήξει τελικά και στα ηχεία.

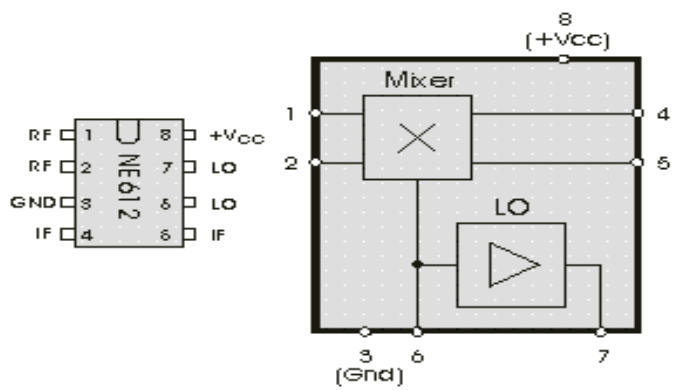
- Προκειμένου να ακούσει το 2^ο σταθμό (Βουκουρέστι) θα πρέπει να μεταβάλλει τον Τοπικό Ταλαντωτή στα 1310 KHz, ενώ για τον 3^ο σταθμό (Βελιγράδι), στα 1463 KHz.
- Ο ακροατής δεν χρειάζεται να γνωρίζει τις συχνότητες των σταθμών, μετακινώντας απλά τη συχνότητα του Τοπικού Ταλαντωτή, συντονίζει διαδοχικά στους σταθμούς και σταματά όταν ακούει καθαρά το σήμα του επιθυμητού σταθμού.

Ο Αποδιαμορφωτής ή Φωρατής



Ανίχνευση περιβάλλουσας (Envelope detection)



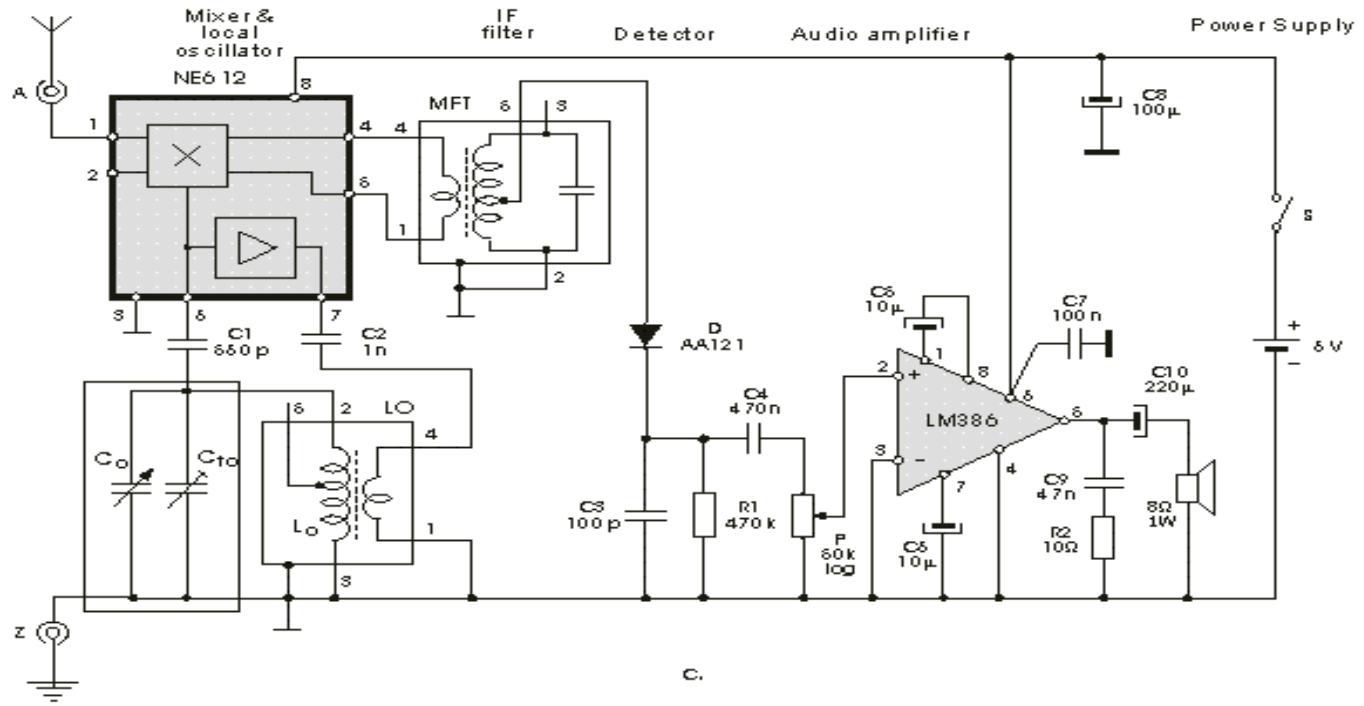


a.

NE612 IC Characteristics (NE602, SA612, SA602)

Parameter	Symbol	Range	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	4,5 ... 8	V
Supply Current	I_{CO}	2,4 ... 3	mA
Input resistance (between 1&2 & Gnd)	R_{in}	1,5	k Ω
Output resistance (between 4 & 5 & Gnd)	R_{out}	1,5	k Ω
Mixer amplification	A_{mix}	14 ... 17	dB
Maximum oscillator frequency	f_{omax}	200	MHz
Maximum mixer frequency	f_{mmax}	500	MHz
Outside oscillator voltage	U_o	200	mV

b.



c.

Fig. 4.2. The simplest superheterodyne AM receiver: a-pin layout and block diagram of the NE612, b-IC technical data, c-electronic diagram of the receiver