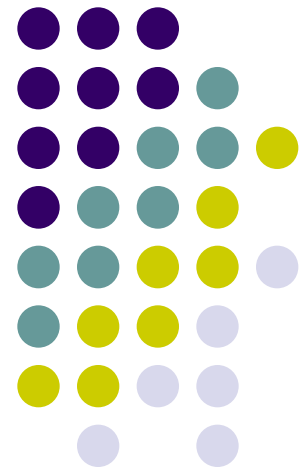
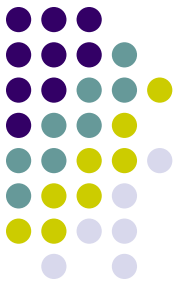


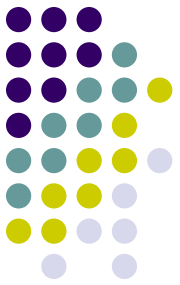
Δέκτες





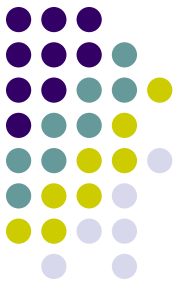
Κύριες λειτουργίες δεκτών

- **Αποδιαμόρφωση**
 - → λήψη του σήματος πληροφορίας
- **Συντονισμός φέροντος**
 - → επιλογή του σταθμού
- **Φιλτράρισμα**
 - → απαλοιφή θορύβου και παρεμβολών
- **Ενίσχυση**
 - → αντιμετώπιση των απωλειών κατά τη μετάδοση



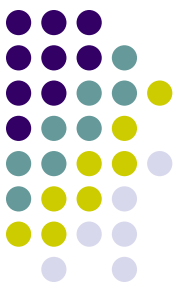
Βασική δυσκολία

- Κατασκευή επιλεκτικών (ζωνοπερατών) φίλτρων με μεταβλητή συχνότητα συντονισμού
- Μία μονάδα (κύκλωμα) με δυσκολία θα μπορούσε να επιτύχει όλα
 - Ευαισθησία
 - → λήψη ασθενών σημάτων
 - Επιλεκτικότητα
 - → διαχωρισμό γειτονικών σημάτων
 - Ποιότητα σήματος
 - Ενίσχυση



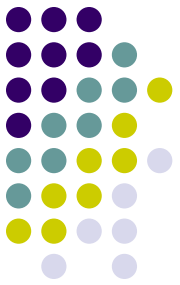
Δείκτες επίδοσης δεκτών

- Ευαισθησία (Sensitivity)
 - η ελάχιστη τάση εισόδου για έξοδο δεδομένης σηματοθορυβικής σχέσης
- Δυναμική περιοχή (Dynamic range)
 - η ικανότητα διατήρησης γραμμικής συμπεριφοράς σε μεταβαλλόμενες στάθμες σημάτων
- Επιλεκτικότητα (Selectivity)
 - η ικανότητα απόρριψης σημάτων από γειτονικούς διαύλους
- Συντελεστής θορύβου (Noise figure)
 - το ποσό θορύβου που εισάγει ο δέκτης στο σήμα
- Απόρριψη ειδώλου (Image rejection)
 - απόρριψη κίβδηλων συχνοτήτων



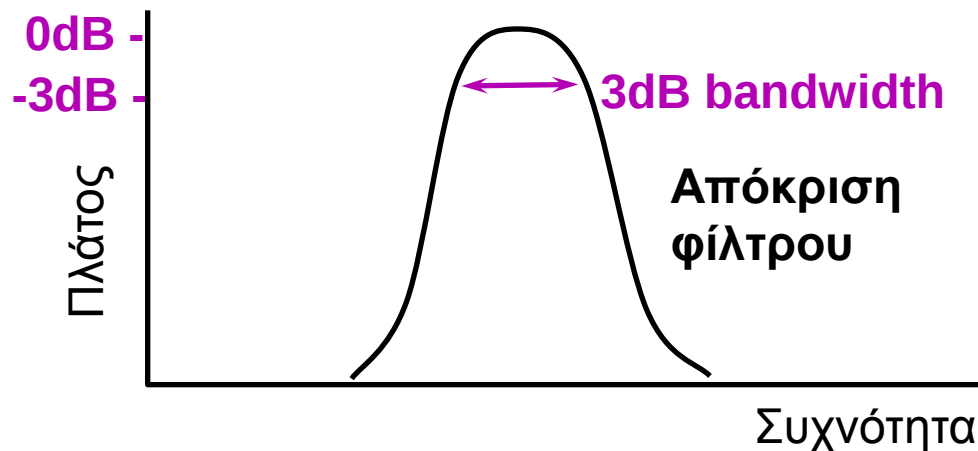
Ευαισθησία

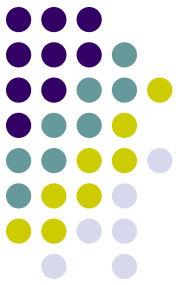
- Η ευαισθησία (sensitivity) είναι το όριο φώρασης ασθενών σημάτων
 - η ελάχιστη τάση εισόδου για έξοδο δεδομένης σηματοθορυβικής σχέσης
- Οι δέκτες πρέπει να έχουν αρκετή ενίσχυση για να φέρουν τα ασθενή σήματα σε αποδεκτό επίπεδο
- Η ενίσχυση **δεν ορίζει** την ευαισθησία, η ευαισθησία καθορίζεται από:
 - **Το εύρος ζώνης**: όσο μεγαλύτερο το εύρος ζώνης, τόσο περισσότερος θόρυβος περνά
 - **Τον συντελεστή θορύβου**: παραγωγή μεγάλου θορύβου στην πρώτη βαθμίδα του δέκτη απαιτεί ισχυρότερο σήμα
- Το εύρος ζώνης του δέκτη πρέπει να ταιριάζει στο εύρος ζώνης μετάδοσης
 - Δεν αποκλείει μέρος του σήματος
 - Δεν δέχεται αχρείαστο θόρυβο



Εύρος ζώνης

- Η περιοχή συχνοτήτων που πρέπει να δέχεται ο δέκτης
 - Σήματα Morse συνήθως 300 Hz
 - SSB από 2.5 μέχρι 3 kHz
 - FM από 7.5 μέχρι 15 kHz
 - Συνήθως, αλλά όχι πάντα, ορίζεται το εύρος ζώνης 3-dB





Μέτρο Ευαισθησίας

- Η **ευαισθησία** εκφράζεται ως η στάθμη του σήματος στην είσοδο του δέκτη για δοθέντα **λόγο σήματος προς θόρυβο και παραμόρφωση (Signal-to-noise and distortion ratio - SINAD)** στην έξοδο

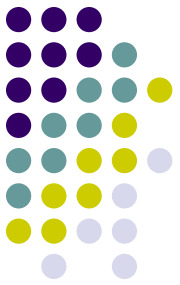
- πχ. 0.25μV για 12dB SINAD
- Κατανοητό σήμα φωνής απαιτεί περίπου 12dB SINAD

- Σηματοθορυβική σχέση (SNR = Signal-to-noise ratio)

$$\text{SNR} = \frac{\text{Signal Power}}{\text{Noise Power}}$$

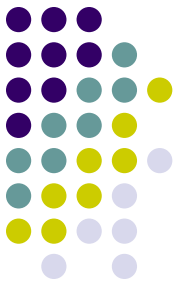
- Λόγος σήματος προς θόρυβο και παραμόρφωση

$$\text{SINAD} = \frac{\text{Signal Power} + \text{Noise Power} + \text{Distortion Power}}{\text{Noise Power} + \text{Distortion Power}}$$



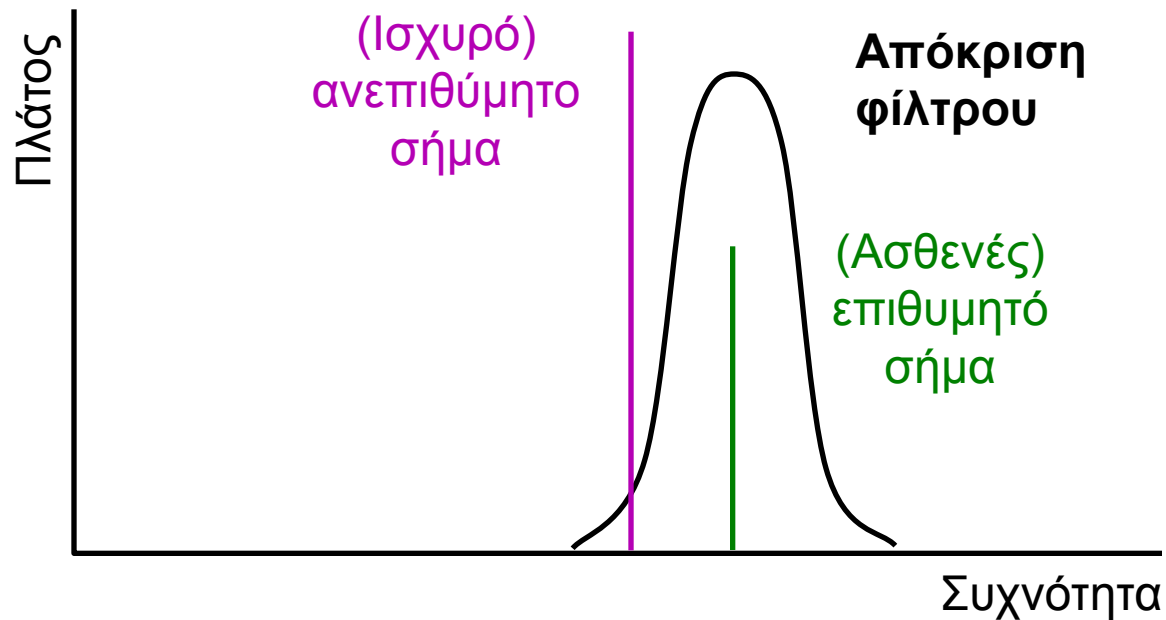
Δυναμική περιοχή

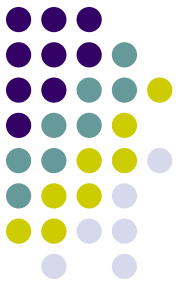
- **Δυναμική περιοχή** είναι το εύρος μεταξύ της ασθενέστερης και ισχυρότερης στάθμης σήματος εισόδου που μπορεί να χειριστεί ο δέκτης
 - Το κάτω όριο καθορίζεται από την ευαισθησία
 - Το άνω όριο καθορίζεται από την παραμόρφωση ή την περιοχή ελέγχου του AGC
- Στην πράξη, απασχολεί περισσότερο η δυναμική περιοχή για ανεπιθύμητα σήματα εκτός ζώνης
 - Πόσο μεγάλο ανεπιθύμητο σήμα μπορεί να απορρίψει ο δέκτης χωρίς να επηρεαστεί η ευαισθησία στα επιθυμητά σήματα



Επιλεκτικότητα

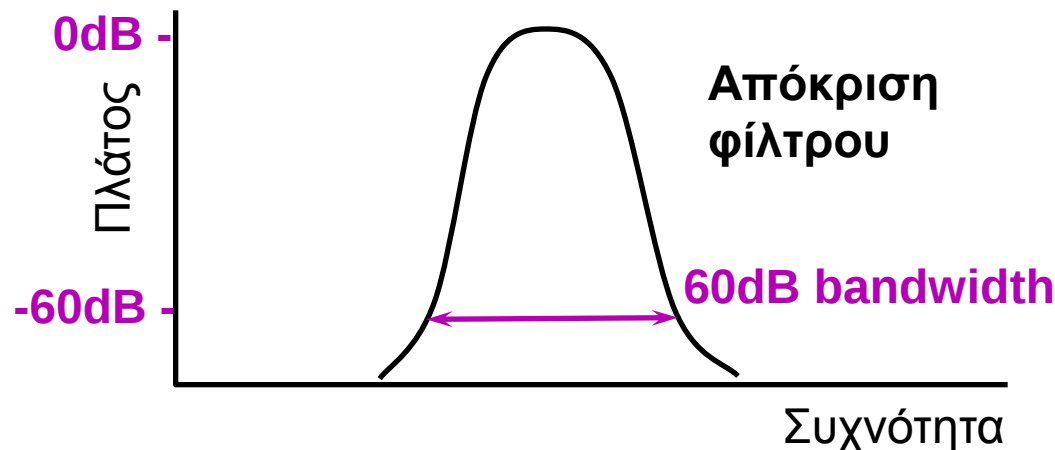
- **Επιλεκτικότητα (Selectivity)** είναι η ικανότητα διαχωρισμού του επιθυμητού σήματος από γειτονικά ανεπιθύμητα σήματα

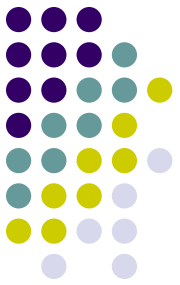




Επιλεκτικότητα

- Τα συνήθη μέτρα για την επιλεκτικότητα είναι:
 - Το εύρος ζώνης 60-dB
 - Ο λόγος απόρριψης γειτονικών διαύλων
 - Πόσο απέχει ο γειτονικός δίαυλος;
 - Σε ορισμένες περιπτώσεις οι γειτονικοί δίαυλοι είναι συγκεκριμένοι (π.χ. VHF, UHF)
 - Για SSB, μπορεί να ορισθεί και η απόρριψη της άλλης πλευρικής ζώνης



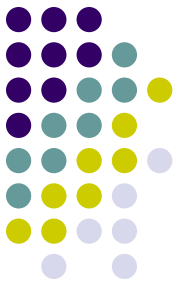


Συντελεστής θορύβου

- Φυσικό όριο για την ευαισθησία του δέκτη
 - Μετρά την υποβάθμιση της σηματοθορυβικής σχέσης (SNR) που προκαλείται από τα στοιχεία των κυκλωμάτων RF
 - Ο **συντελεστής θορύβου (noise figure)** ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικής ισχύος θορύβου στην έξοδο προς ισχύ θορύβου που θα παρέμεινε εάν ο ίδιος ο δέκτης δεν εισήγαγε θόρυβο

$$NF = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o} = \frac{S_i/N_i}{GS_i/(N_R+GN_i)} = \frac{N_R+GN_i}{GN_i}$$

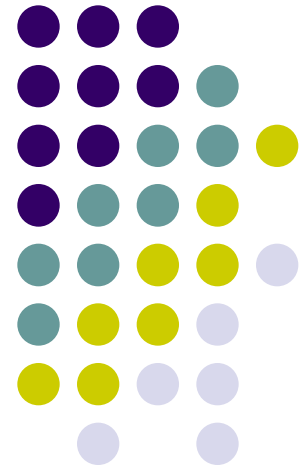
- S_i, N_i, S_o, N_o ισχείς σήματος και θορύβου στη είσοδο και έξοδο
- N_R θορύβος που προστίθεται από τον δέκτη
- G ενίσχυση σήματος



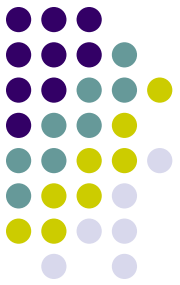
Ευστάθεια συχνότητας

- Ευστάθεια συχνότητας (frequency stability)
 - Η ικανότητα του δέκτη να παραμένει στη σωστή συχνότητα συντονισμού χωρίς ολισθήσεις
 - Ακρίβεια της συχνότητας συντονισμού (τιμή που εισάγεται ή εμφανίζεται)
 - Μετρείται σε **ppm** (parts-per-million)
 - Λάθος 1 ppm στα 28 MHz είναι 28Hz.

Πρακτικοί δέκτες



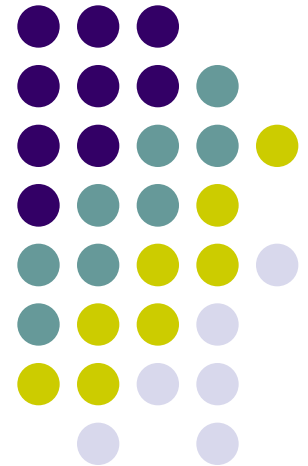


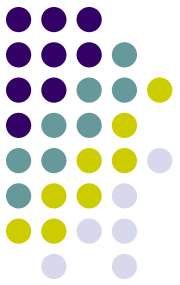


Πρακτικοί δέκτες

- Συντονισμένο κύκλωμα RF
 - Ενισχυτής RF & φωρατής περιβάλλουσας
- Υπερετερόδυνος δέκτης (super heterodyne receiver)
 - Ετεροδύνηση: μείξη δύο σημάτων διαφορετικών συχνοτήτων για λήψη νέας συχνότητας
- Δέκτης άμεσης μετατροπής DC (Direct Conversion)
 - Ομοδύνηση: μείξη δύο σημάτων ίδιας συχνότητας
- Υπερ-αναγεννητικός δέκτης (super regenerative receiver)
 - Χρήση θετικής ανάδρασης για αύξηση της επιλεκτικότητας και ευαισθησίας (ενίσχυση αρκετές χιλιάδες φορές)

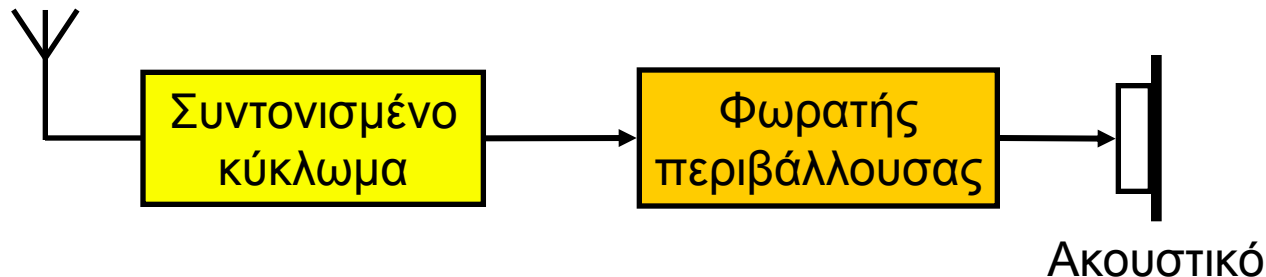
Συντονισμένο κύκλωμα RF

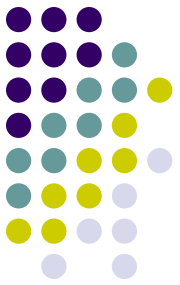




Κρυσταλλικός δέκτης

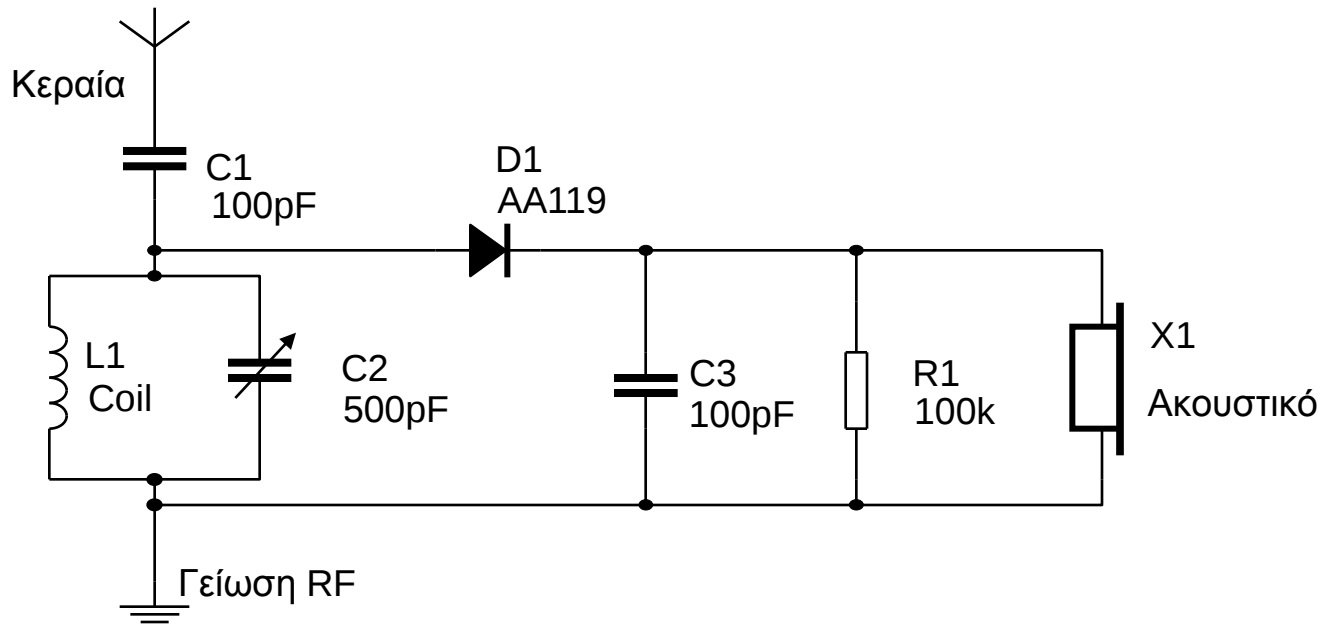
- Η απλούστερη εκδοχή δέκτη συντονισμένου κυκλώματος (tuned-RF)
 - Μονό κύκλωμα RF ακολουθούμενο από δίοδο
 - Κακή επιλεκτικότητα
 - Όχι ενίσχυση → κακή ευαισθησία
 - Απαιτεί μεγάλη κεραία και γείωση
 - Λαμβάνει μόνο ισχυρά σήματα

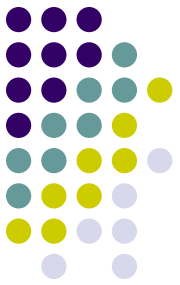




Κύκλωμα κρυσταλλικού δέκτη

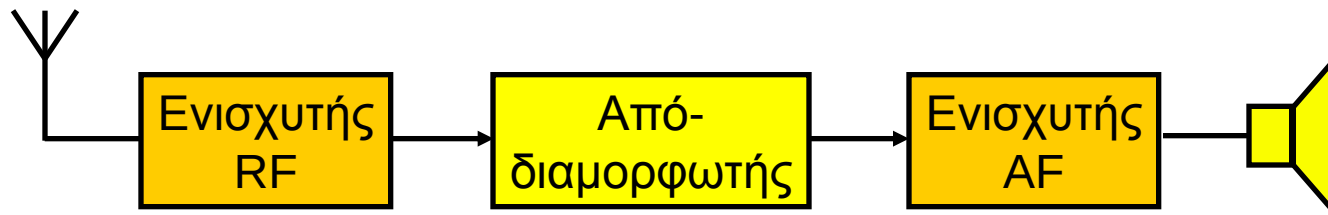
- L1, C1 – Συντονισμένο κύκλωμα – επιλογή σήματος
- D1 – Δίοδος φώρασης - αποδιαμορφωτής
- C3, R1 – Βαθυπερατό φίλτρο για το ακουστικό σήμα



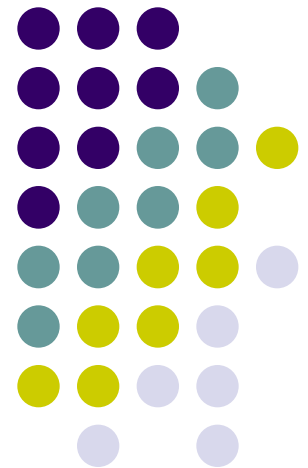


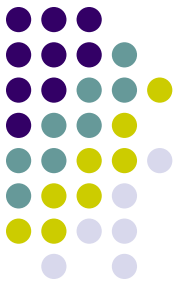
Μια βελτίωση

- Ενισχυτής RF αυξάνει την ευαισθησία
 - Ένα ή περισσότερα συντονισμένα κυκλώματα
- Όλο το κέρδος σε μια συχνότητα
 - Η ανάδραση είναι πρόβλημα
- Ενίσχυση AF παρέχει μεγαλύτερη ισχύ στο μεγάφωνο



Υπερετερόδυνος δέκτης





Υπερετερόδυνος δέκτης

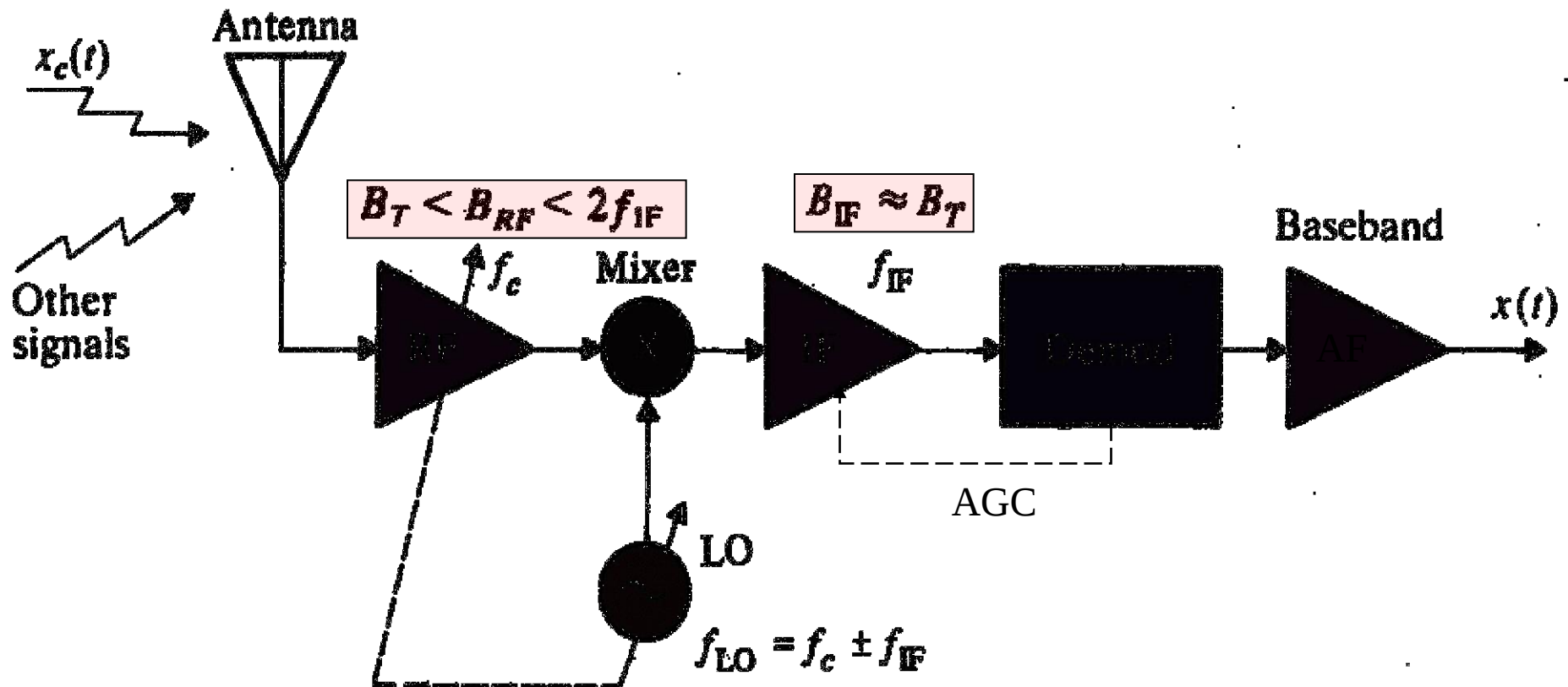
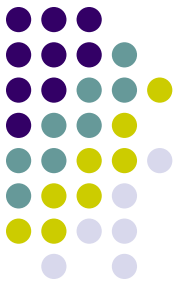
- Μίξη σημάτων RF με τοπικό φέρον για λήψη συγκεκριμένης ενδιάμεσης συχνότητας (IF)
 - Εφευρέθηκε το 1918 από τον E. Armstrong
 - Σχεδόν όλοι οι δέκτες ήταν τέτοιου τύπου

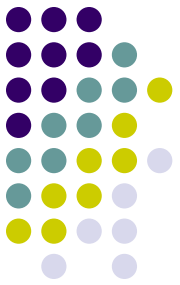


Βασική ιδέα

- Πρώτα, μετατροπή της συχνότητας φέροντος f_c του σήματος σε σταθερή ενδιάμεση συχνότητα f_{IF} μέσω συντονιζόμενου τοπικού ταλαντωτή f_{LO}
- Διάβαση μέσα από ζωνοπερατό φίλτρο υψηλής επιλεκτικότητας στην ενδιάμεση συχνότητα
 - Αφαίρεση του θορύβου και των εκτός ζώνης συνιστωσών πριν την μετατροπή σε σήμα βασικής ζώνης
- Τελικά, αποδιαμόρφωση σε σήμα βασικής ζώνης

Δομικό διάγραμμα

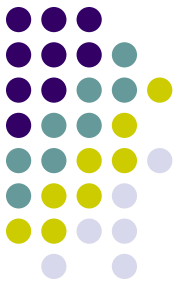




Δομικές μονάδες

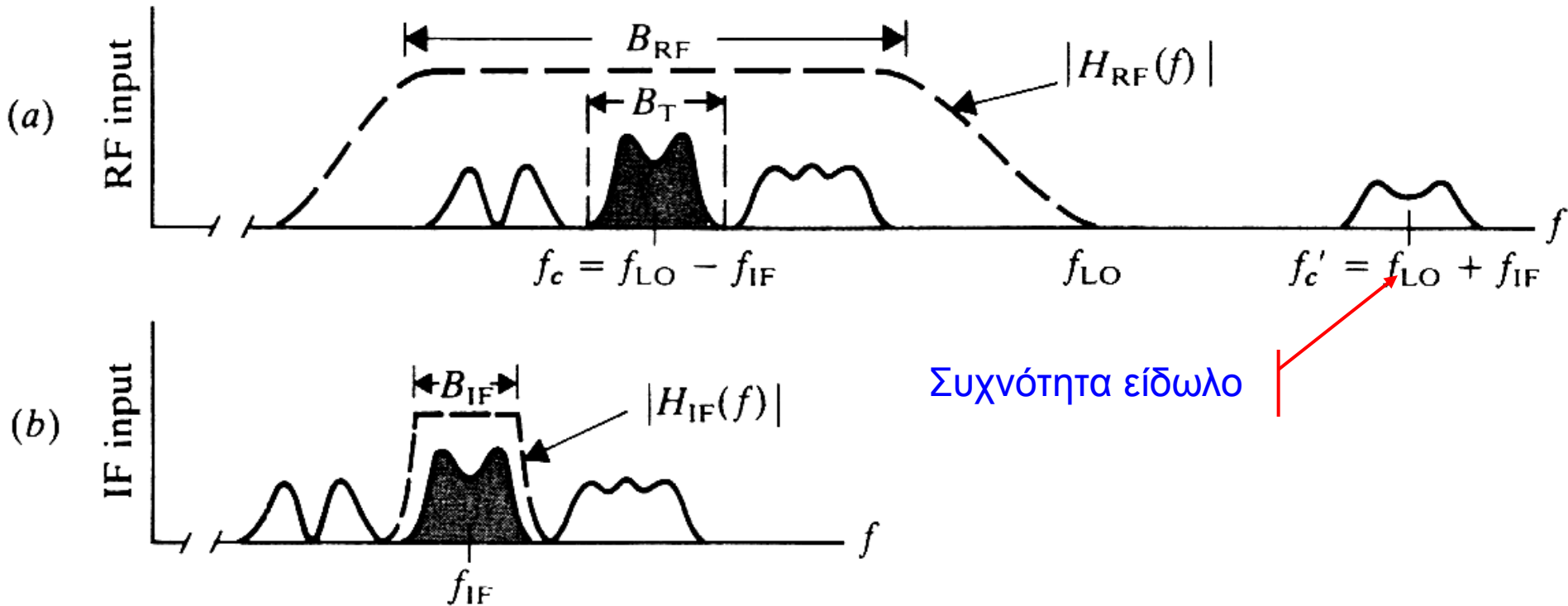
- **Ενισχυτής ραδιοσυχνοτήτων (RF)**
 - Επιλεκτική ενίσχυση του σήματος που λαμβάνεται στην κεραία σε περιοχή περί το επιθυμητό σήμα
- **Τοπικός ταλαντωτής**
 - Μεταβλητή συχνότητα συντονισμού $f_{LO}=f_c \pm f_{IF}$
- **Μείκτης**
 - Ο μείκτης μετατρέπει τη μεταβλητή συχνότητα RF σε σταθερή συχνότητα IF
- **Ενισχυτής ενδιάμεσων συχνοτήτων (IF)**
 - Ενίσχυση περί τη σταθερή ενδιάμεση συχνότητα f_{IF}
 - Αποτελείται από πολλά συντονισμένα κυκλώματα, π.χ. κρυσταλλικά ή κεραμικά φίλτρα
- **Φωρατής (αποδιαμορφωτής)**
- **Ενισχυτής ακουστικών συχνοτήτων (AF)**
- **AGC – Αυτόματος έλεγχος κέρδους**
 - Για να παραμένει η ισχύς εξόδου σταθερή

Λειτουργία υπερτερόδυνου δέκτη

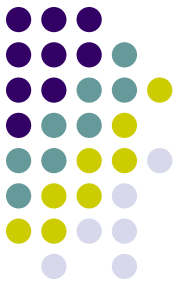


- Συνήθως επιλέγουμε $f_{LO} > f_{IF}$
- Επίσης, $f_{IF} < f_c$
 - επιλέγουμε τη μικρότερη συχνότητα από την έξοδο του μείκτη
- Εάν $f_c = f_{LO} - f_{IF}$
 - Μετατροπή άνω πλευράς
 - Αύξηση της $f_{LO} \rightarrow$ αύξηση της f_c
 - Αντιστροφή πλευρικής ζώνης στην SSB

Λειτουργία



- Εάν το φίλτρο ραδιοσυχνοτήτων δεν απορρίπτει πλήρως τη συχνότητα είδωλο, ο δέκτης θα αποδιαμορφώσει και το σήμα είδωλο!



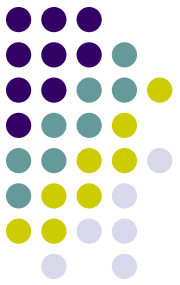
Σήμα είδωλο

- Έστω ότι η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή είναι $f_c = f_{LO} - f_{IF}$
- Η συχνότητα είδωλο είναι $f'_c = f_{LO} + f_{IF}$
 - Περνά επίσης από το φίλτρο IF
 - Ο ακροατής δεν μπορεί να είναι βέβαιος για το ποια συχνότητα αποδιαμορφώνεται
- Για να απορριφθεί το σήμα είδωλο πρέπει $B_T < B_{RF} < 2f_{IF}$

Γιατί υπερετερόδυνος και όχι συντονισμένο κύκλωμα;

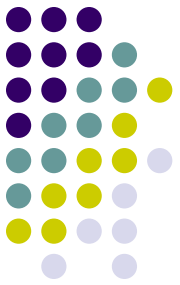


- Η σχεδίαση ενός επιλεκτικού (για απόρριψη γειτονικών διαύλων) ζωνοπερατού φίλτρου σταθερής συχνότητας είναι ευκολότερη σε σχέση με ένα συντονιζόμενο φίλτρο
- Δύο στάδια ενίσχυσης αντί ενός
 - Πιο σταθερό (ο σχεδιασμός ενός ευσταθούς ενισχυτή RF με υψηλό κέρδος είναι ποιο δύσκολος)



Βαθμίδα RF

- Μεταφέρει την επιθυμητή συχνότητα λήψης στη σταθερή ενδιάμεση συχνότητα
 - Στους δέκτες DC έχουμε $f_{IF}=0$, άρα καταλήγουμε απ' ευθείας στο σήμα βασικής ζώνης
 - Στους υπερετερόδυνους δέκτες $f_{IF} \gg 0$!
- Η βαθμίδα RF συμβάλει στην απόρριψη του σήματος ειδώλου



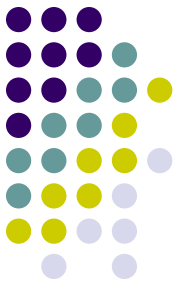
Βαθμίδα IF

- Η βαθμίδα IF παρέχει ενίσχυση (κέρδος) και συμβάλει στην απόρριψη των παρεμβολών
- Το εύρος ζώνης στην ενδιάμεση βαθμίδα πρέπει να είναι σχετικά μικρό

$$0,01 < \frac{B_{IF}}{f_c} < 0,1$$

- Για παράδειγμα στην εμπορική ραδιοφωνία FM

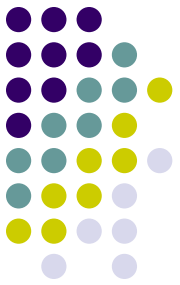
$$\frac{B_{IF}}{f_c} = \frac{200 \text{ kHz}}{10 \text{ MHz}} \approx 0,02$$



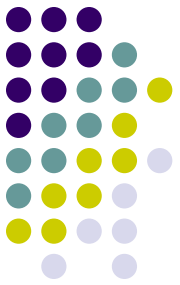
Συντονισμός

- Ο συντονισμός του δέκτη επιτυγχάνεται μόνο με αλλαγή της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή
 - Εάν $f_{LO} > f_c$, έχουμε αντιστροφή της πλευρικής ζώνης σε περίπτωση SSB
- Ο φωρατής εξαρτάται από το είδος της διαμόρφωσης
 - Φωρατής περιβάλλουσας, κύκλωμα κλίσης, PLL
- Δεν έχουμε προβλήματα λόγω ανατροφοδότησης του ενισχυμένου σήματος στην κεραία

Δέκτης AM



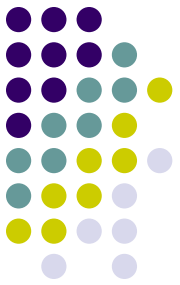
- Περιοχή ραδιοσυχνοτήτων 0,535 – 1,605 MHz
- Ενδιάμεση συχνότητα 455 kHz
- Εύρος ζώνης στην ενδιάμεση βαθμίδα 10 kHz



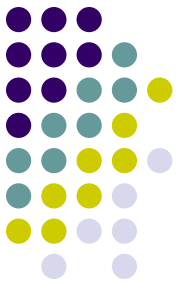
Δέκτης FM

- Περιοχή ραδιοσυχνοτήτων 88 – 108 MHz
- Ενδιάμεση συχνότητα 10,7 MHz
- Εύρος ζώνης στην ενδιάμεση βαθμίδα 200 kHz

Προτερήματα υπερτερόδυνων δεκτών



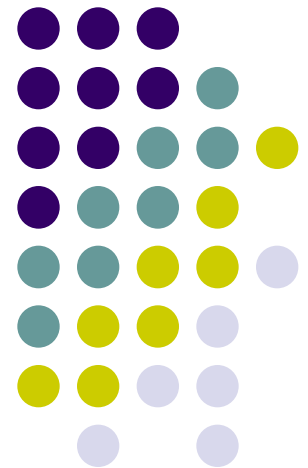
- Απλή κατασκευή
- Η τεχνική της μετατροπής συχνότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα είδη διαμόρφωσης
- Ο υπερτερόδυνος δέκτης χειρίζεται τα θέματα ποιότητας λήψης σε διαφορετικές μονάδες
 - RF: Ευαισθησία
 - IF: Επιλεκτικότητα



Μειονεκτήματα

- Το βασικό πρόβλημα με τους υπερ-ετερόδυνους δέκτες είναι η απόκριση σε κίβδηλες (spurious) συχνότητες πέραν της f_c
 - Η προφανής συχνότητα είδωλο απαλείφεται με αύξηση της f_{IF} ή χρήση επιλεκτικότερων φίλτρων
 - Μη γραμμικότητες μπορεί να προκαλέσουν παρεμβολές και από ισχυρά σήματα σε υποπολλαπλάσια της f_{IF}
 - Παρεμβολές όταν ο τοπικός ταλαντωτής έχει αρμονικές

Δέκτης άμεσης μετατροπής

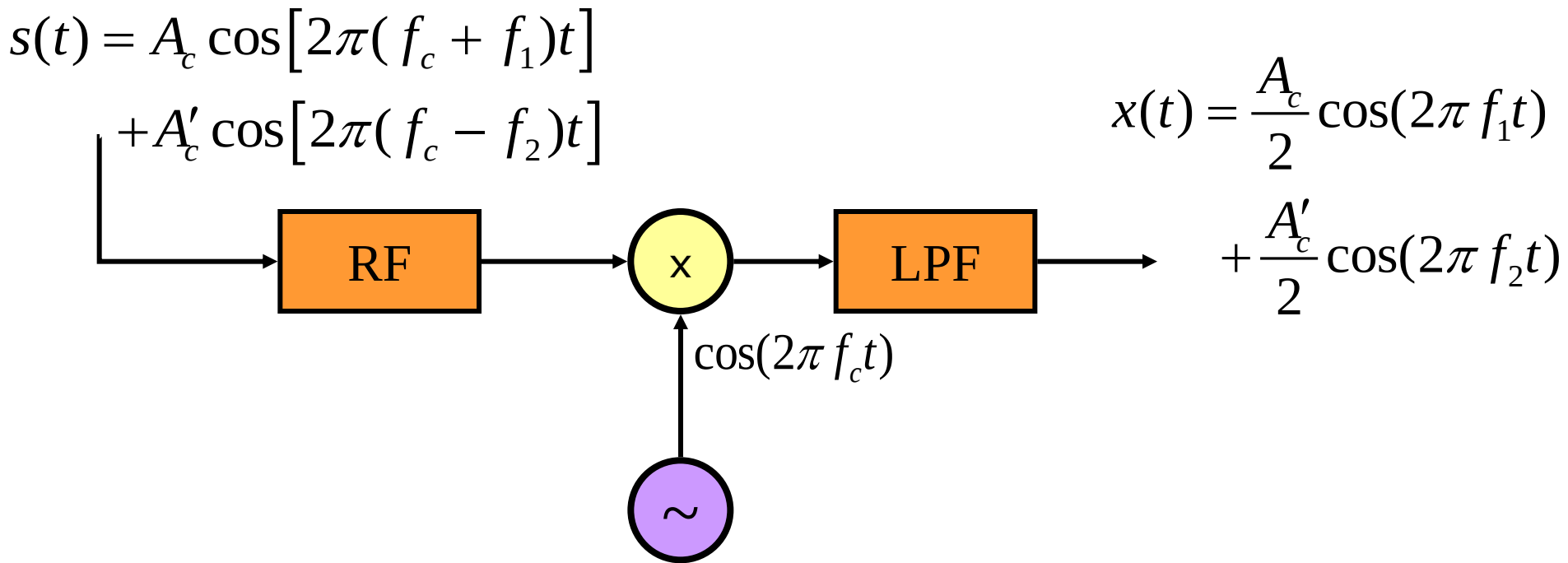


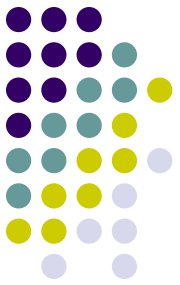


Δέκτης άμεσης μετατροπής

- Επίσης αποκαλείται:
 - μηδενικής ενδιάμεσης συχνότητας(zero-IF)
 - ομόδυνος δέκτης
- Συντονισμένο κύκλωμα RF με φωρατή γινομένου
- Ομόδυνη αποδιαμόρφωση
 - Απόρριψη γειτονικών συχνοτήτων από το βαθυπερατό φίλτρο στην έξοδο
 - Ο σταθμός επιλέγεται μέσω του τοπικού ταλαντωτή
- Δεν υπάρχουν είδωλα, αλλά υπόκειται σε παρεμβολή από την άλλη πλευρική ζώνη

Παρεμβολή από την άλλη πλευρική ζώνη





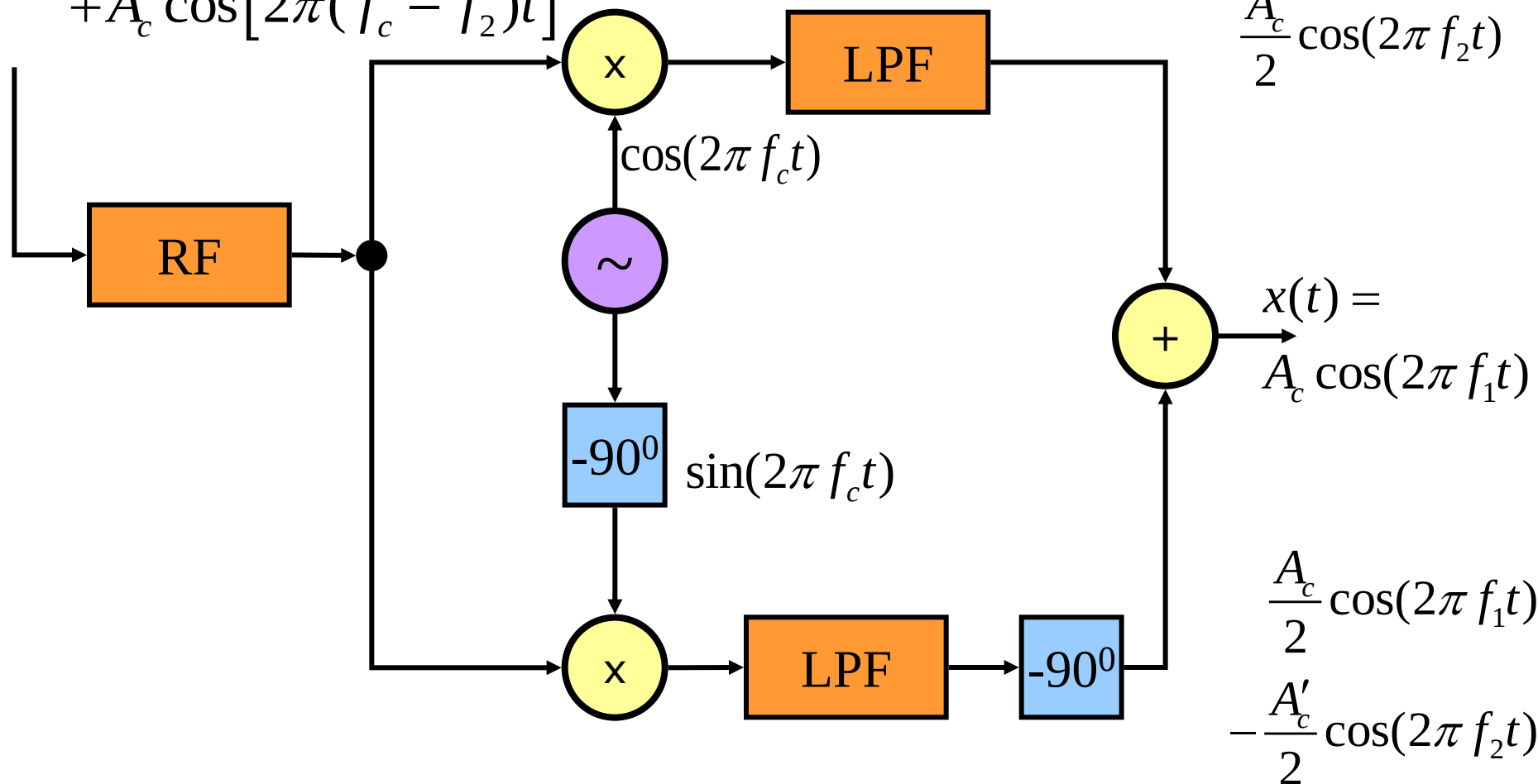
Δέκτης άμεσης μετατροπής

- Απλή κατασκευή, χρησιμοποιείται συχνά
- Βρίσκονταν σε αφάνεια λόγω προβλημάτων υλοποίησης
 - Ολίσθηση συχνότητας τοπικού ταλαντωτή
 - PLL
 - Ανατροφοδότηση της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή στο κύκλωμα κεραίας
 - Ρεύμα ολίσθησης DC
- Επανήλθε στην επικαιρότητα μετά τη διάδοση των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

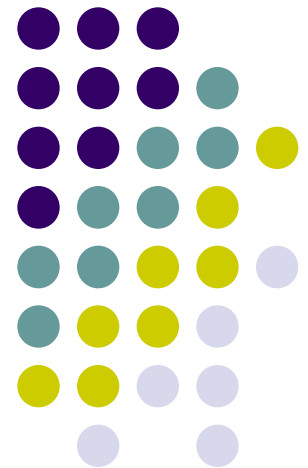
Απόρριψη άλλης πλευρικής ζώνης

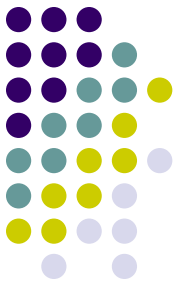


$$s(t) = A_c \cos[2\pi(f_c + f_1)t] + A'_c \cos[2\pi(f_c - f_2)t]$$



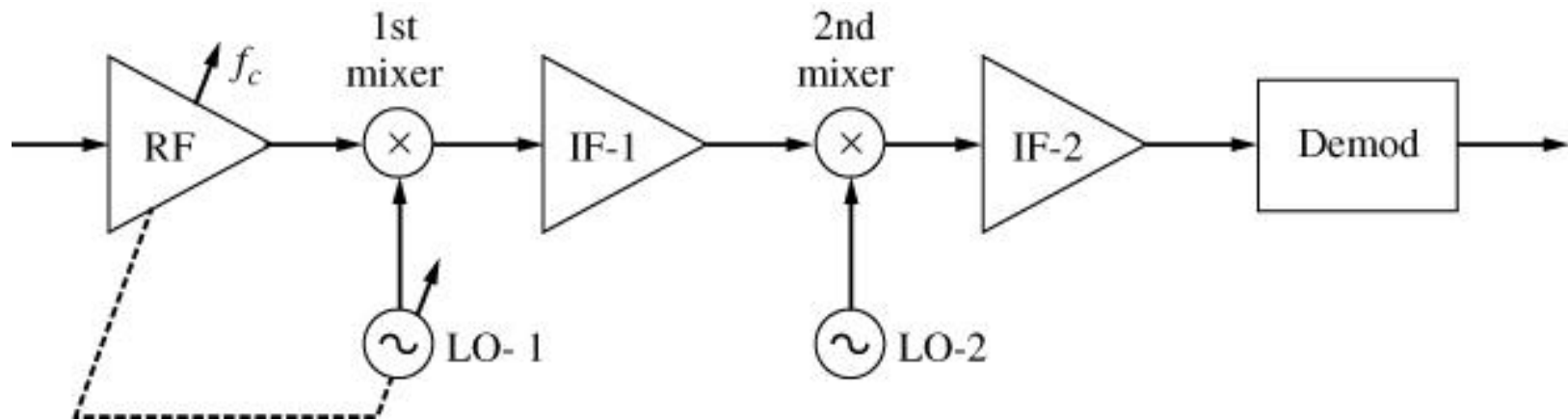
Διπλός υπερετερόδυνος

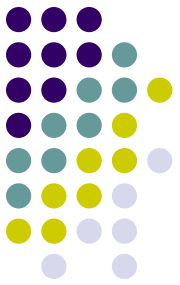




Δέκτης διπλής μετατροπής

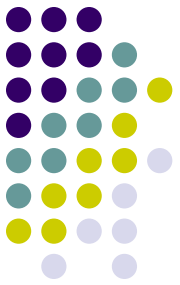
- Δύο βαθμίδες IF σε διαφορετικές ενδιάμεσες συχνότητες





Δέκτης διπλής μετατροπής

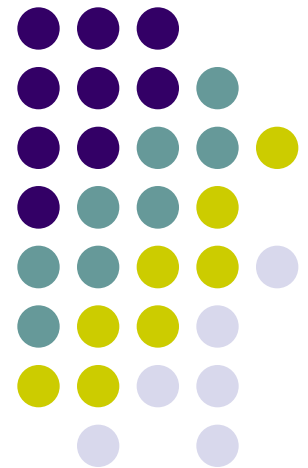
- Η πρώτη βαθμίδα IF για καλύτερη απόρριψη συχνοτήτων είδωλο
- Η επιλεκτικότητα στη δεύτερη βαθμίδα IF
- Επιπλέον ενίσχυση

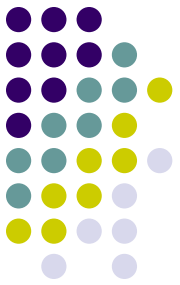


Δέκτες διπλής μετατροπής

- Πρώτη βαθμίδα IF στα 10,7 MHz
 - Κακή επιλεκτικότητα (δεν είναι εύκολο να έχουμε στενό εύρος ζώνης), αλλά η απόρριψη του ειδώλου είναι εύκολη
 - Π.χ., για $f_c = 146,94$ MHz στα VHF, το είδωλο βρίσκεται 14% πιο ψηλά από το φέρον στα $146,94 + 2 \cdot 10,7 = 168,34$ MHz
- Δεύτερη βαθμίδα IF στα 455 kHz
 - Είδωλο στα $10,7 + 2 \cdot 0,455 = 11,6$ MHz, περίπου 8.5% πιο πάνω από το φέρον (καθόλου άσχημα)
 - Το ζωνοπερατό δεύτερο φίλτρο IF BPF παρέχει την απαιτούμενη επιλεκτικότητα

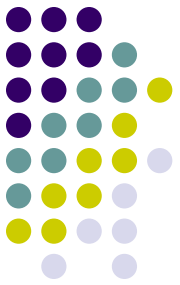
Υπερ-αναγεννητικός δέκτης





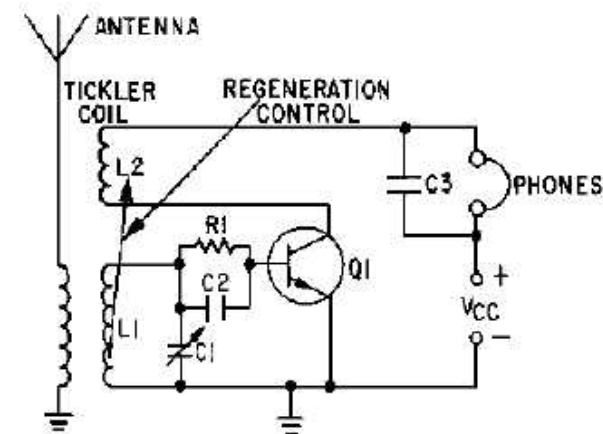
Υπερ-αναγεννητικός δέκτης

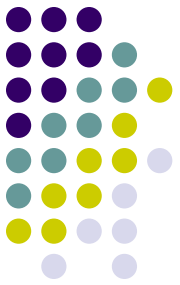
- Ο υπερ-αναγεννητικός δέκτης (Super Regenerative Receiver - SRR) είναι μια από τις παλαιότερες τεχνικές που ακόμη βρίσκεται σε ευρεία χρήση
 - Δέκτες SRR παράγονται σε τεράστιες ποσότητες για εφαρμογές, όπως, συναγερμοί, τηλεκοντρόλ για πόρτες αυτοκινήτων ή γκαραζόπορτες
- Ο δέκτης SRR είναι μια βελτίωση του αναγεννητικού δέκτη (regenerative receiver)
 - Αμφότεροι είναι εφευρέσεις του E. Armstrong (1914, 1922)



Αναγεννητικός δέκτης

- Στον αναγεννητικό δέκτη το ποσό της θετικής ανάδρασης πρέπει να ρυθμισθεί ώστε να προκαλέσουμε ταλάντωση, οπότε προκύπτει αποδιαφόρωση σημάτων (AM, SSB, CW)
- Ο αναγεννητικός δέκτης δεν υπήρξε δημοφιλής στο κοινό διότι ο ακροατής έπρεπε να ρυθμίζει χειροκίνητα την ανάδραση ώστε να πετύχει ισχυρό σήμα
 - Μεγάλη ανάδραση → σφύριγμα
 - Μικρή ανάδραση → ασθενής λήψη

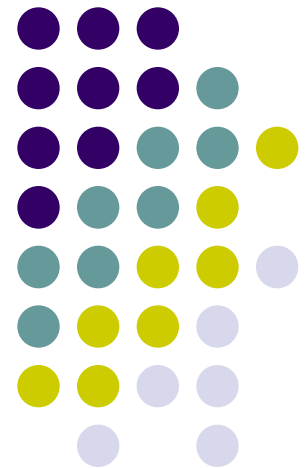




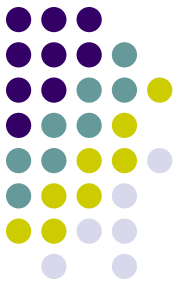
Υπερ-αναγεννητικός δέκτης

- Ο δέκτης SRR λύνει το πρόβλημα της ταλάντωσης με αυτόματη ρύθμιση
 - Το κέρδος αυξάνει μέχρι να αρχίσει η ταλάντωση
 - Μόλις αρχίσει η ταλάντωση η πόλωση αλλάζει ώστε να μειωθεί, κοκ
- Ο δέκτης βρίσκεται στην πιο ευαίσθητη περιοχή, δηλαδή, η ταλάντωση γίνεται με ρυθμό που είναι μεγαλύτερος των ακουστικών συχνοτήτων, αλλά χαμηλότερος της φέρουσας συχνότητας
 - Εξ ου και το “υπέρ” όπως στη λέξη υπέρηχος
- Πλεονεκτήματα
 - Μικρό κόστος
 - Μικρή κατανάλωση ισχύος

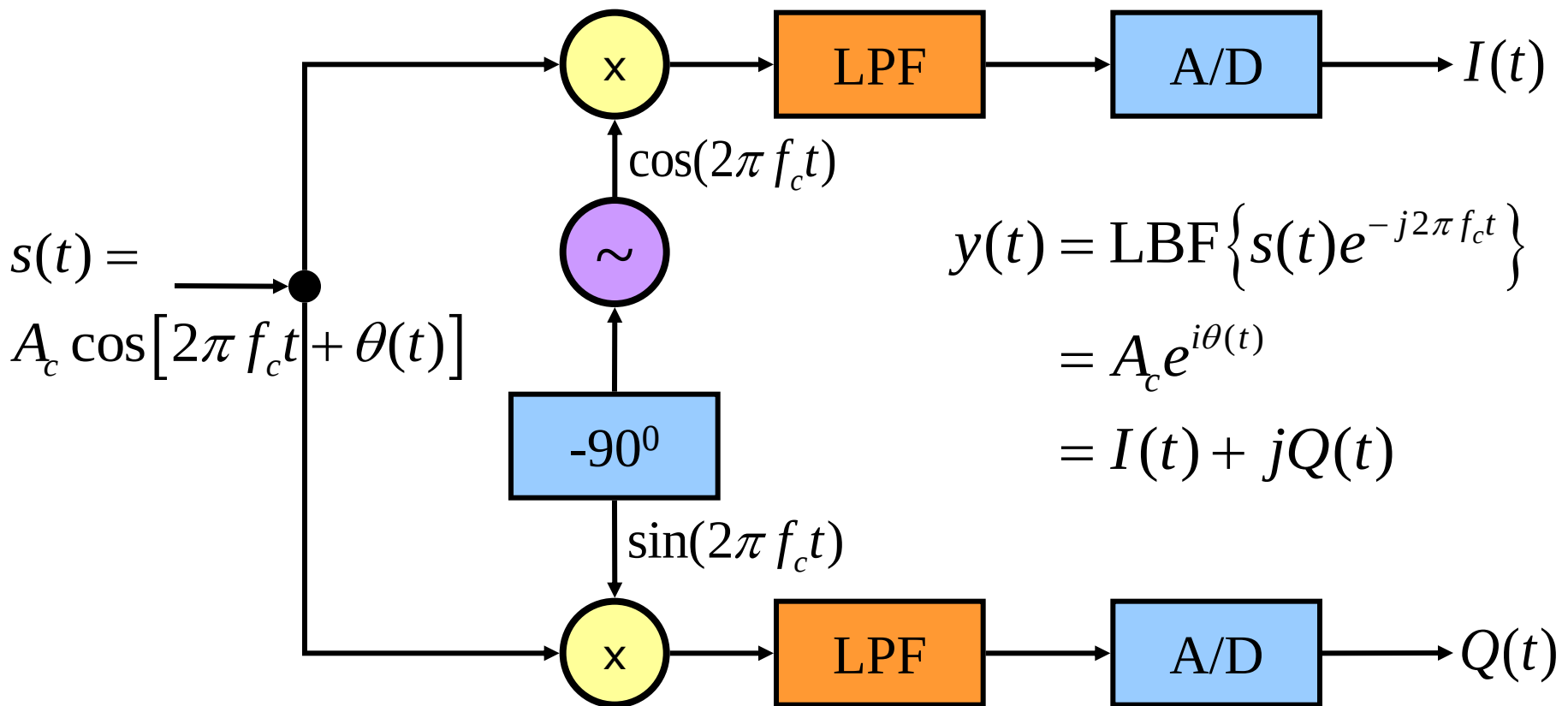
Υλοποίηση δέκτη με λογισμικό



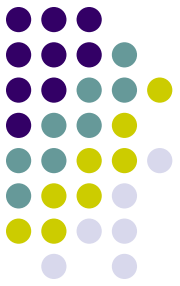
Δέκτες SDR (Software Defined Radio)



- Δώσε μου τα $I(t)$ και $Q(t)$ και μπορώ να αποδιαμορφώσω τα πάντα!



Δέκτες SDR (Software Defined Radio)



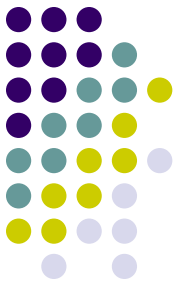
- Η αποδιαμόρφωση γίνεται με λογισμικό (μαθηματικές πράξεις) σε υπολογιστή

$$\text{AM} \rightarrow \sqrt{I^2(t) + Q^2(t)}$$

$$\text{FM} \rightarrow \arctan \frac{Q(t)}{I(t)}$$

$$\text{DSB, SSB} \rightarrow I(t)$$

Μοντέρνος δέκτης



Πληροφορία



Baseband Processor

I ch.

Q ch.



Τροφοδοσία



3. Τοπικός ταλαντωτής

1. Ενίσχυση με ελάχιστη προσθήκη θορύβου

2. Μετάβαση σε χαμηλότερη συχνότητα

4. Ανάκτηση σήματος πληροφορίας

