



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικό και Καποδιστριακό
Πανεπιστήμιο Αθηνών

HELLENIC REPUBLIC
National and Kapodistrian
University of Athens

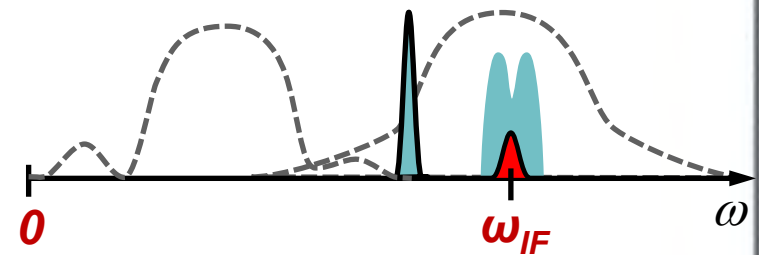
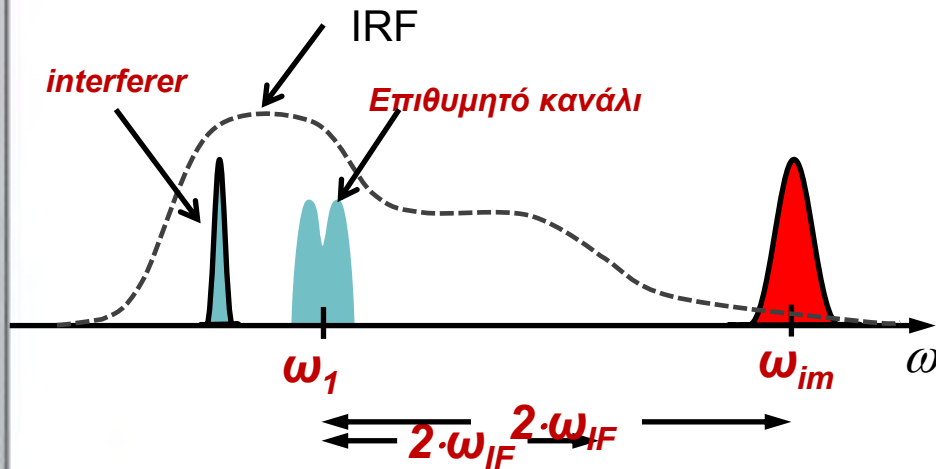


Εισαγωγή στη Σχεδίαση Κυκλωμάτων RF

Αρχιτεκτονικές Πομποδεκτών

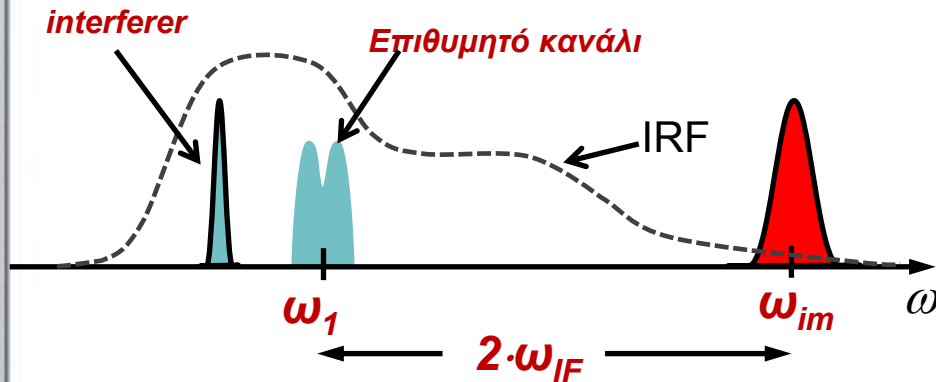
Επιλογή συχνότητας IF

Υψηλή και χαμηλή συχνότητα IF ($2\omega_{IF}$)

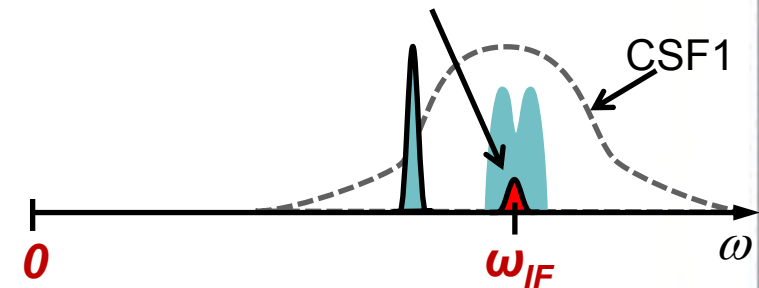


Επιλογή συχνότητας IF

Υψηλή συχνότητα IF ($2\omega_{IF}$)

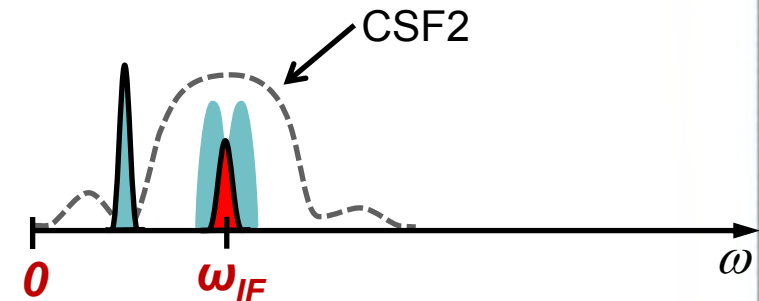
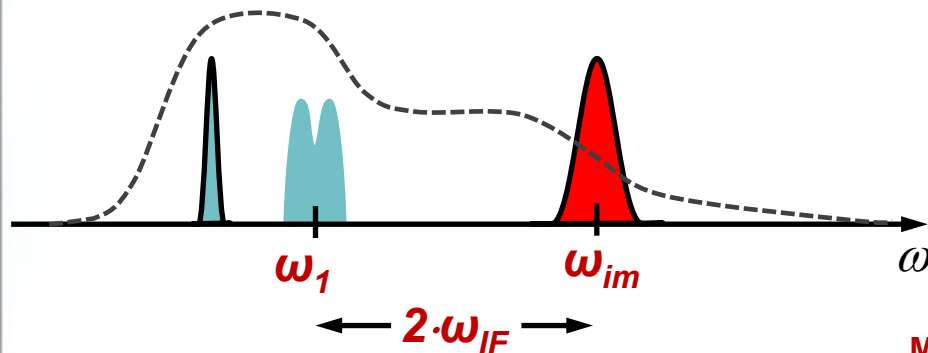


Μικρή παρεμβολή από ω_{im}



Αλλά δύσκολη η κατασκευή ενός καλού φίλτρου επιλογής καναλιού (CSF)
Μικρό σήμα ειδώλου αλλά ισχυρό interferer

Χαμηλή συχνότητα IF ($2\omega_{IF}$)



Μεγάλο σήμα ειδώλου αλλά ισχυρή εξασθένηση στο σήμα του interferer

Μεγάλη τιμή στο σήμα ειδώλου μειώνει την ευαισθησία

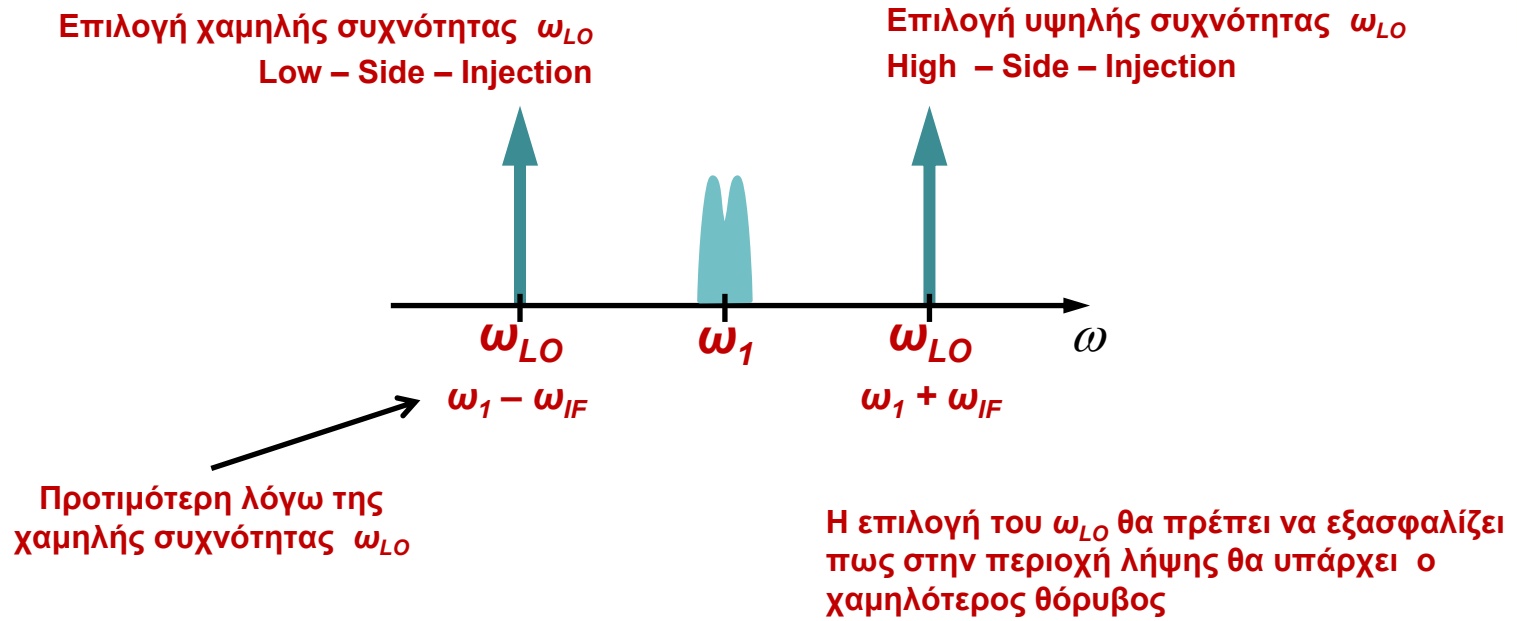
Επιλογή συχνότητας IF

- Συμβιβασμός μεταξύ ευαισθησίας και επιλεκτικότητας.
- Διαθεσιμότητα των φίλτρων. (κόστος, διαστάσεις, χρήση τυποποιημένων τιμών)
- Επιλογή της ω_{LO} σε σχέση με την ω_{RF}

Image Rejection $\longleftrightarrow$ Channel Selection

Επιλογή συχνότητας ω_{LO}

- Επιλογή της ω_{LO} σε σχέση με την ω_{IF}



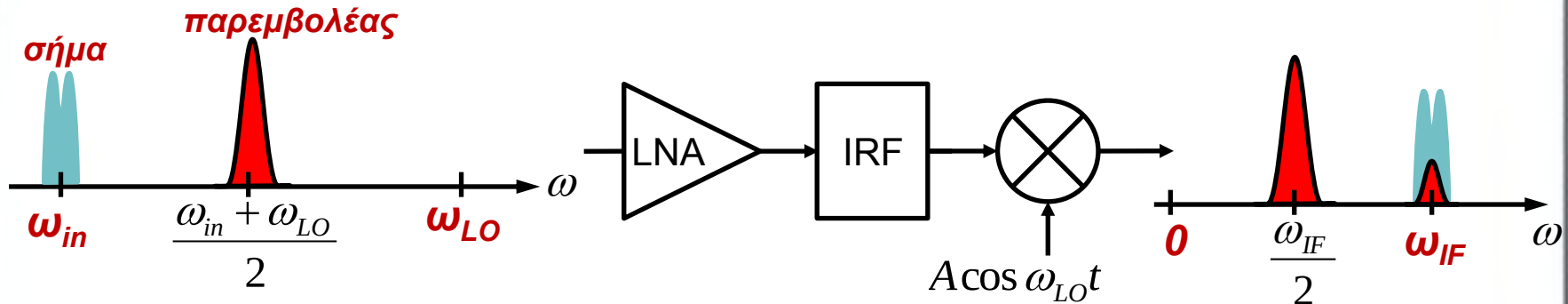
Half IF – (Το πρόβλημα της μισής IF)

Αν υπάρχει παρεμβολέας με συχνότητα: $(\omega_{in} + \omega_{LO}) / 2$ τότε παρουσία μη γραμμικότητας 2^{ης} τάξης έχουμε την εμφάνιση των εξής προϊόντων:

$$\left| \frac{\omega_{in} + \omega_{LO}}{2} - \omega_{LO} \right|$$

$$2 \cdot \left| \frac{\omega_{in} + \omega_{LO}}{2} - \omega_{LO} \right|$$

Βρίσκονται στις συχνότητες: ω_{IF} και $\omega_{IF} / 2$



Αντιμετωπίζεται με:

- (α) περιορισμό εύρους ζώνης του IRF (ισχυρή εξασθένιση στην περιοχή $(\omega_{in} + \omega_{LO}) / 2$,
- (β) ελαχιστοποίηση παραμορφώσεων 2^{ης} τάξης και
- (γ) εξασφάλιση duty cycle 50% στον LO

Ετερόδυνος Δέκτης – Τοπολογία διπλής IF

Σκοπός: Συμβιβασμός απαιτήσεων ευαισθησίας – επιλεκτικότητας.

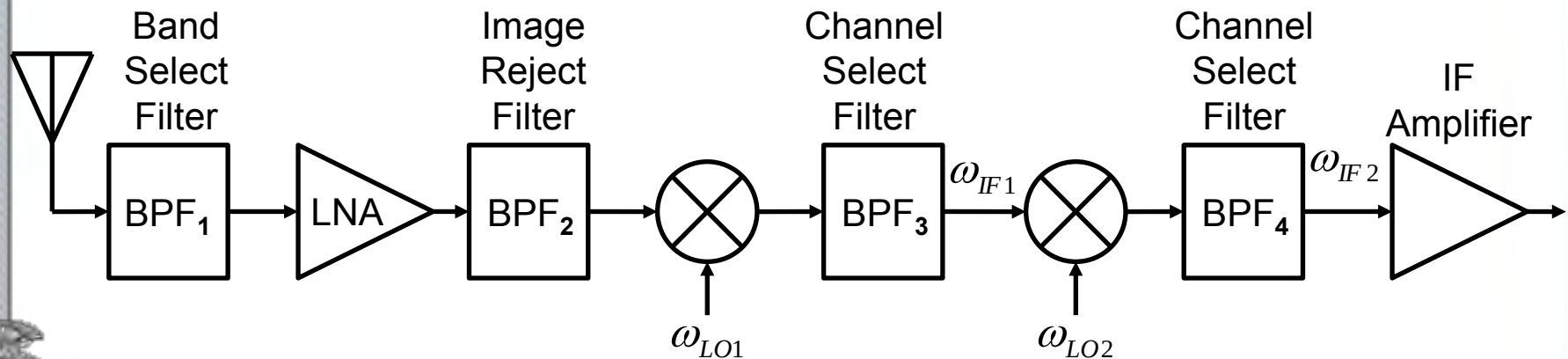
Χρησιμοποιώντας μεγάλη συχνότητα IF εξαλείφεται το είδωλο αλλά δυσκολεύει η επιλογή καναλιού.

Λύση η χρήση διπλής IF.

Επειδή το NF εξαρτάται από τις πρώτες βαθμίδες και η γραμμικότητα από τις τελευταίες, δεχόμαστε ότι κάθε 1dB απολαβής απαιτεί 1dB προ-φιλτραρίσματος (pre-filtering) για τη συμπίεση των παρεμβολών.

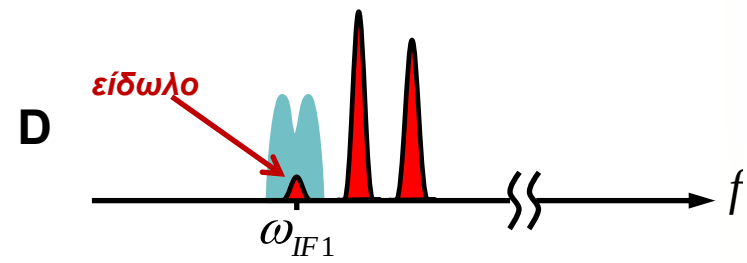
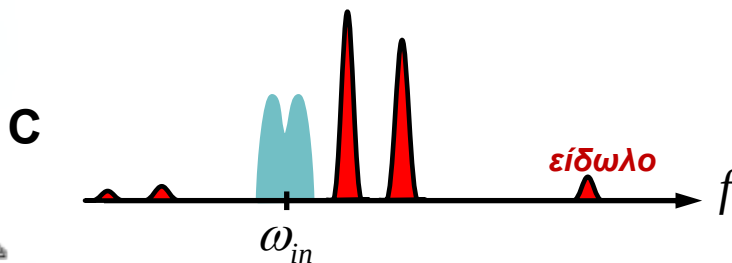
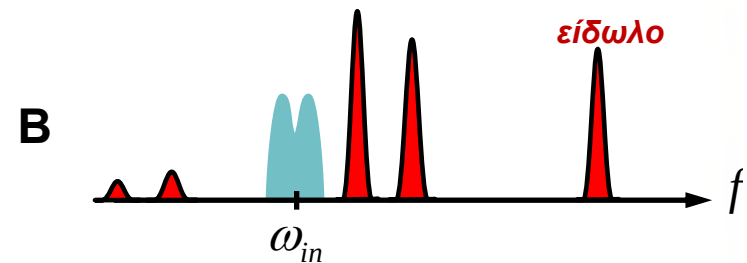
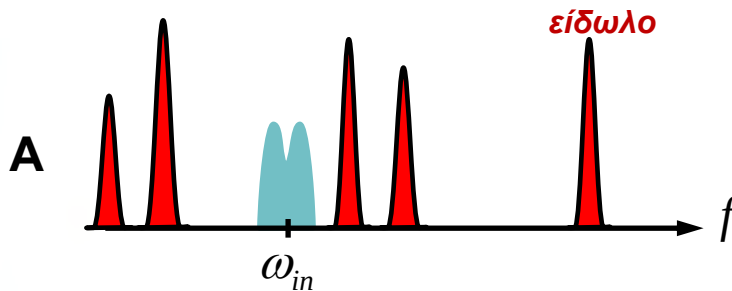
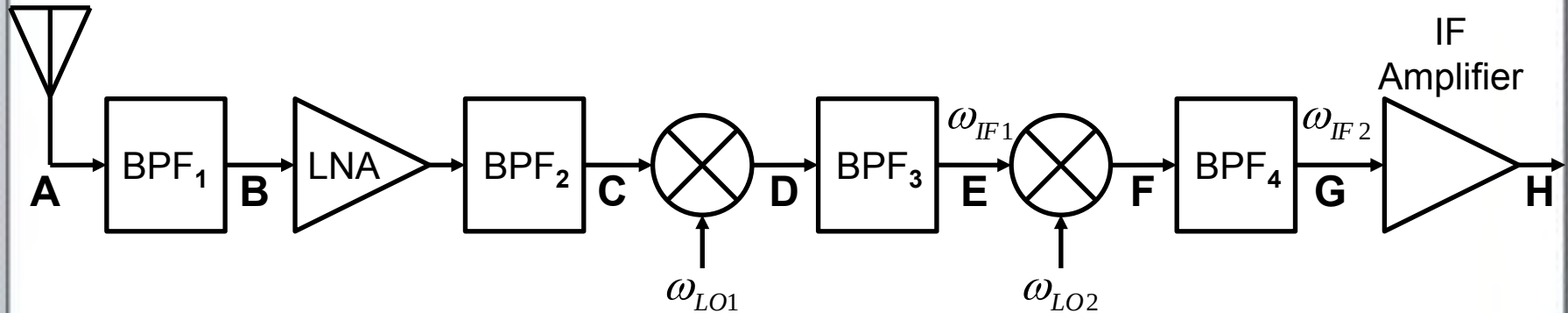
Για κάθε βαθμίδα η επιλογή απολαβής, $IP3$ και NF εξαρτάται από τις γειτονικές βαθμίδες.

Η ετερόδυνη τεχνική, παρόλη την πολυπλοκότητά της, χρησιμοποιήθηκε για δεκαετίες λόγω επιδόσεων σε selectivity & sensitivity



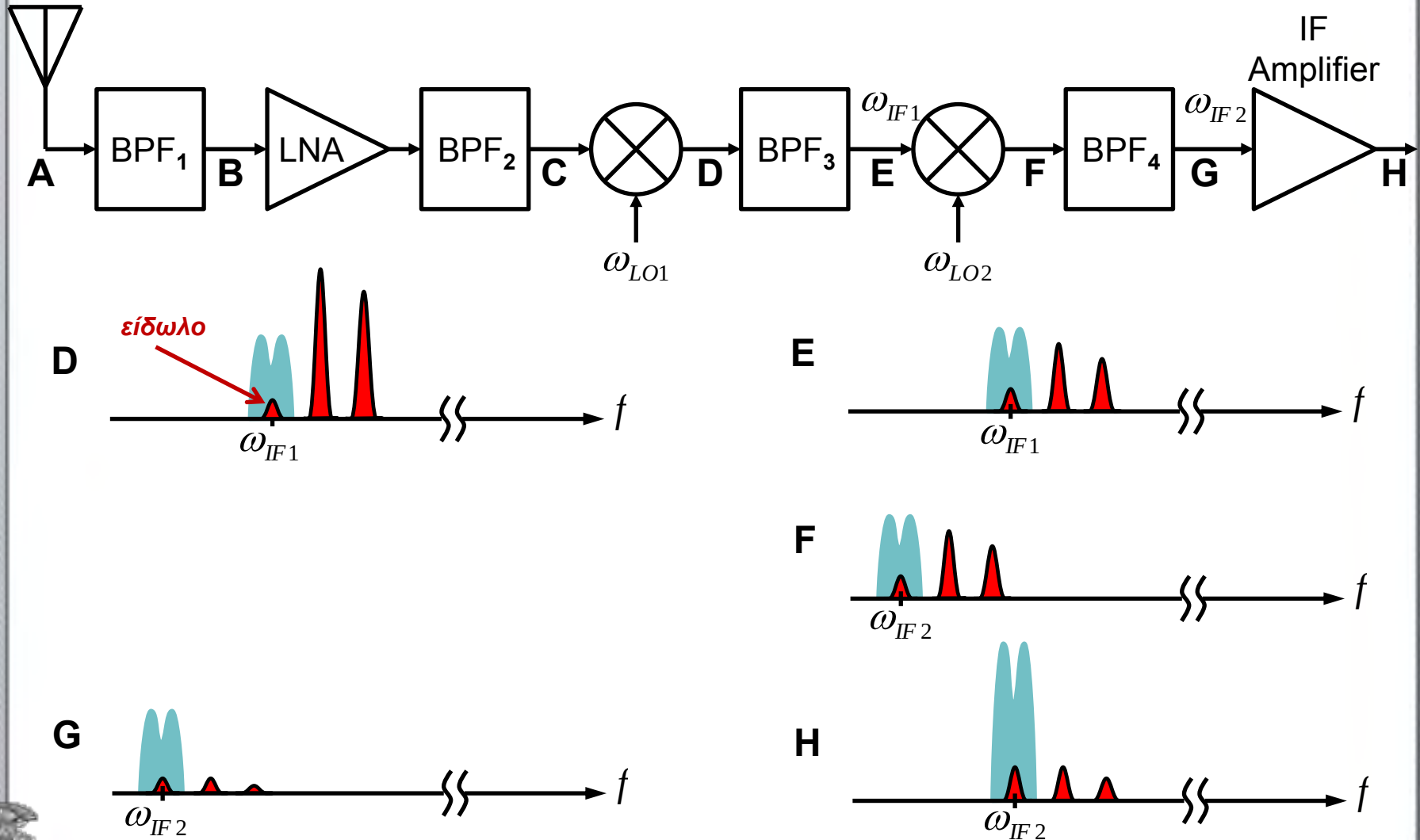
Ετερόδυνος Δέκτης – Τοπολογία διπλής IF

Συμβιβασμός απαιτήσεων ευαισθησία – επιλεκτικότητας.



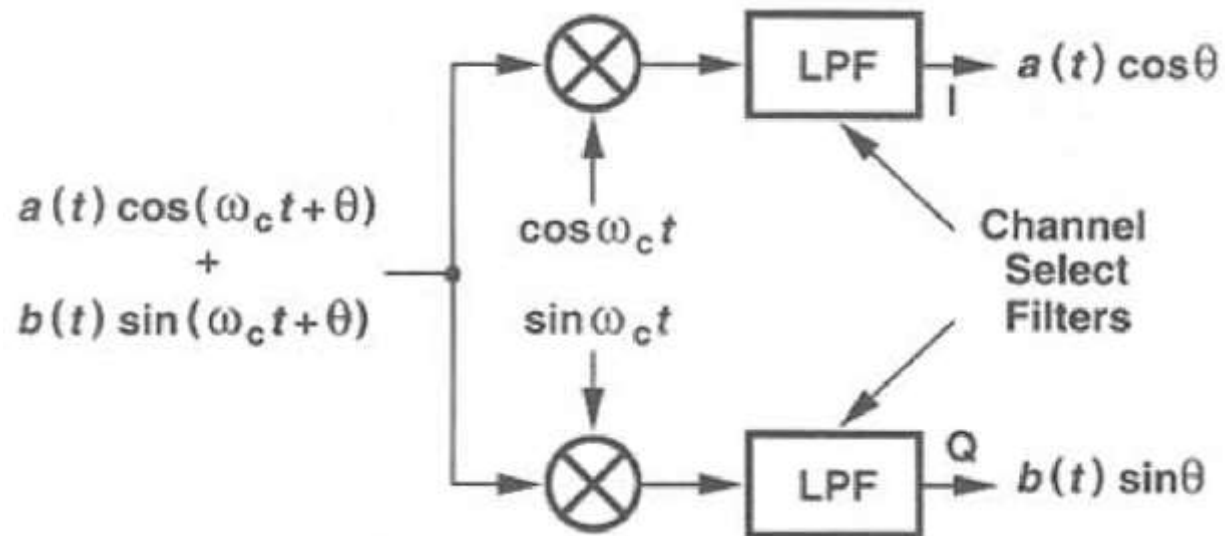
Ετερόδυνος Δέκτης – Τοπολογία διπλής IF

Συμβιβασμός απαιτήσεων ευαισθησία – επιλεκτικότητας.



Φώραση

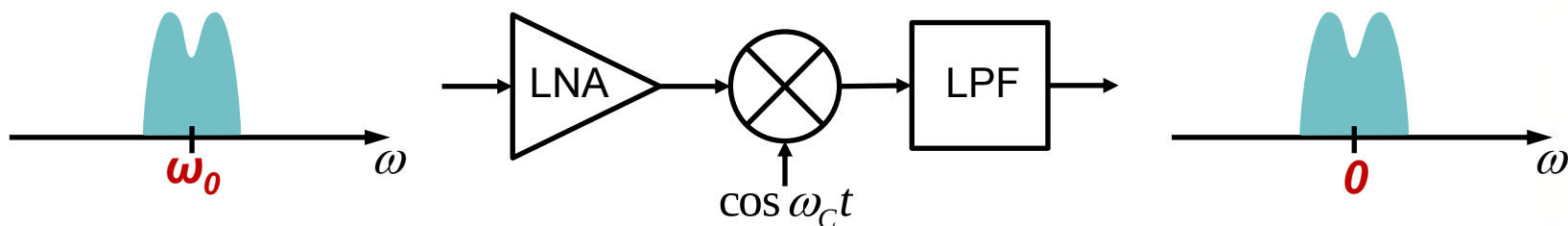
Μετά τη 2^η IF (ω_{LO2}), γίνεται φώραση (αναλογικά) ή μετατροπή I-Q (ψηφιακά).



Ομόδυνοι Δέκτες

Homodyne – Direct Conversion – αρχιτεκτονική Zero-IF

Απλός ομόδυνος δέκτης για σήματα AM



$$\omega_{LO} = \omega_{in} = \omega_{RF} = \omega_C = \omega_0$$

Για σήματα διαμορφωμένα κατά φάση (PM), ή κατά συχνότητα (FM) απαιτείται διαχωρισμός (I, Q) (ονομάζεται quadrature).

Πλεονεκτήματα:

- Απλούστερη τοπολογία.

- Αποφυγή ειδώλου χωρίς φίλτρο IRF.

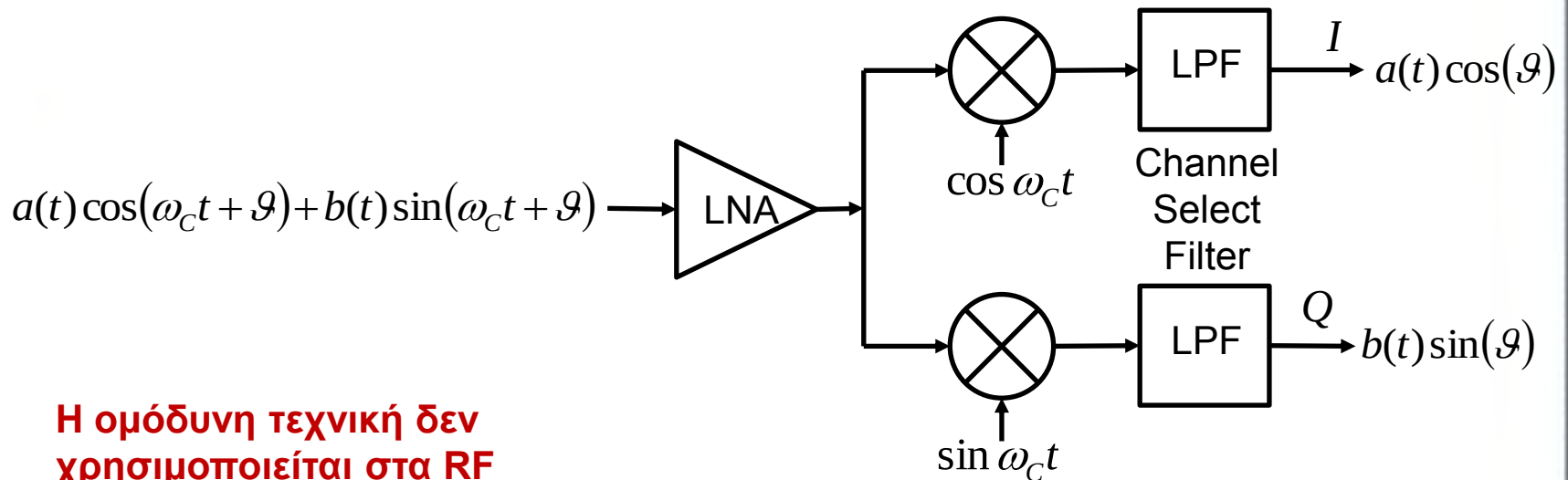
- Δεν απαιτούνται ενισχυτές IF και φίλτρα IF (SAW), αρκούν τα αντίστοιχα ΧΣ (μονολιθικά)

Ομόδυνοι Δέκτες

Τα σήματα I και Q περιέχουν διαφορετική πληροφορία.

Στην περίπτωση σήματος AM χρειάζονται και οι δύο πλευρικές συχνότητες, διότι γίνεται overlap των θετικών και των αρνητικών τμημάτων του φάσματος εισόδου.

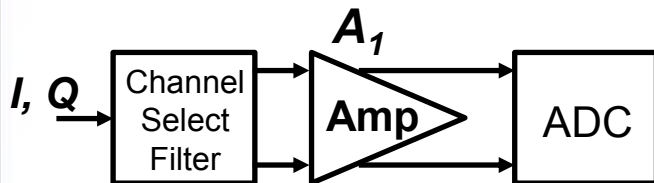
Μειονεκτήματα: Υπάρχει, όπως θα φανεί στην επόμενη διαφάνεια, μια σειρά από μειονεκτήματα που στον ετερόδυνο δέκτη, είτε δεν εμφανίζονται, είτε είναι ασήμαντα.



Η ομόδυνη τεχνική δεν
χρησιμοποιείται στα RF

Επιλογή καναλιού – Βασική Ζώνη – (Baseband)

Για την επεξεργασία σήματος βασικής ζώνης είναι δυνατές τρεις τοπολογίες:

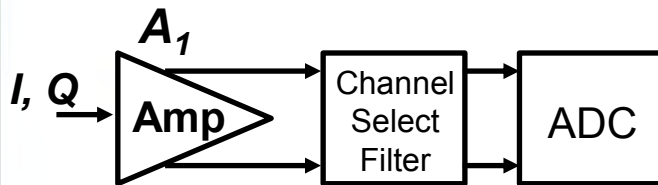


Η επιλεκτικότητα (Channel Selection) στα ενεργά φίλτρα είναι δυσκολότερο να επιτευχθεί καθώς υπεισέρχονται διάφορες παράμετροι που αλληλοεπηρεάζονται (γραμμικότητα – θόρυβος – απολαβή).

ADC: Dynamic range 4-8bit

A1: High gain, μη γραμμικός

LPF: απαιτητικό σε θόρυβο και γραμμικότητα

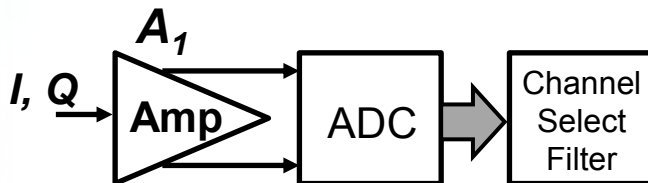


Απαιτούνται υψηλές επιδόσεις στον ενισχυτή, χαλαρώνουν στο φίλτρο.

LPF: μικρότερες απαιτήσεις σε θόρυβο

A1: απαιτείται γραμμικότητα και πρόσθετη ενίσχυση

ADC: σημαντικός ο θόρυβός του



Η επιλογή καναλιού γίνεται σε ψηφιακό πεδίο.

ADC: υψηλής γραμμικότητας και χαμηλού θορύβου κβάντισης

DC Offset – (Ολίσθηση DC Στάθμης)

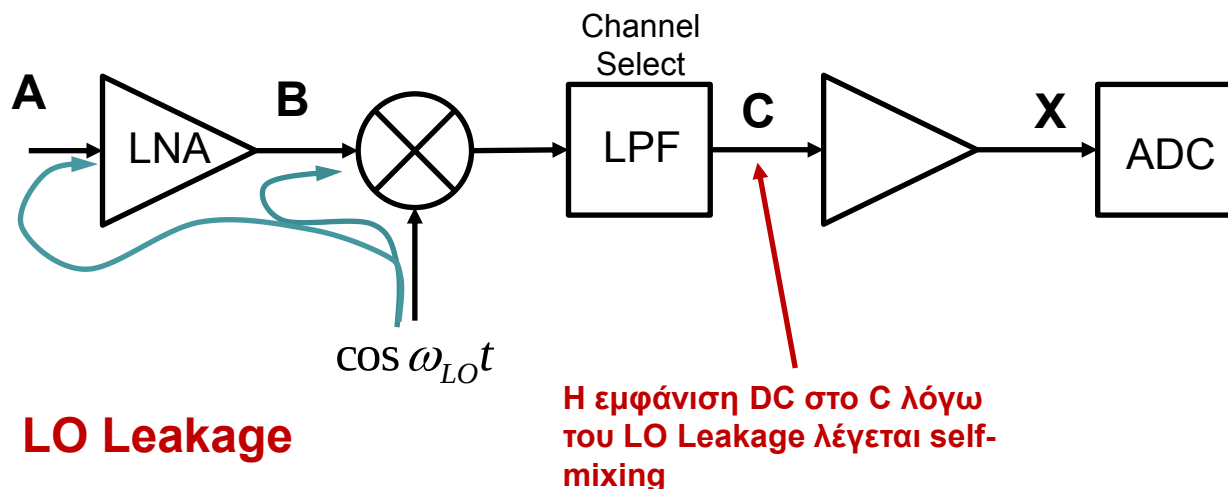
Λόγω μηδενικής συχνότητας εξόδου η DC ολίσθηση μπορεί να μολύνει το σήμα αλλά και να φέρει τις επόμενες βαθμίδες ΧΣ στον κόρο.

Προέρχεται:

α1) από διαρροή του LO στην είσοδο του LNA.

α2) από διαρροή του LO στην είσοδο του mixer (self mixing).

Η απομόνωση (isolation) μεταξύ LO port και των άλλων εισόδων του mixer δεν είναι άπειρη και ένα μέρος του σήματος του LO διαρρέει στα A και B. Οφείλεται σε χωρητική σύζευξη και σε σύζευξη substrate.

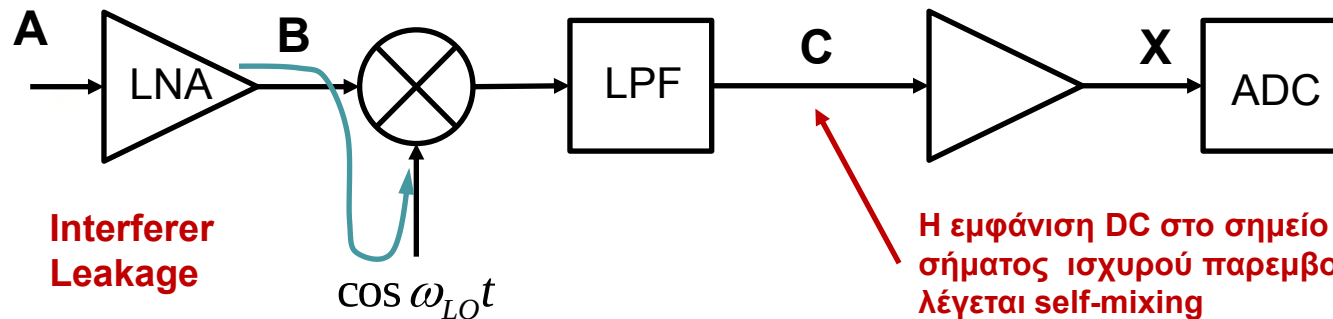


DC Offset – Ολίσθηση DC Στάθμης

Λόγω μηδενικής συχνότητας εξόδου η DC ολίσθηση μπορεί να μολύνει το σήμα αλλά και να φέρει τις επόμενες βαθμίδες ΧΣ στον κόρο.

Προέρχεται:

β) από διαρροή του σήματος εισόδου ή ενός ισχυρού παρεμβολέα στην είσοδο LO του mixer.



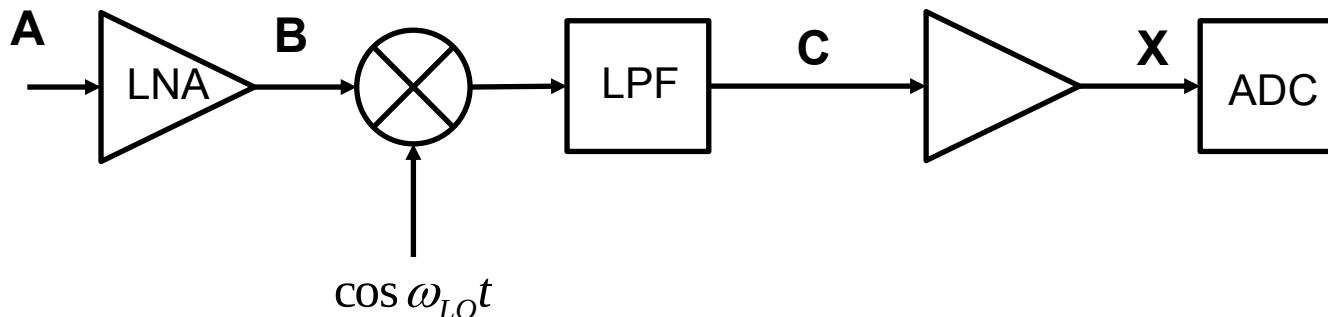
Η εμφάνιση DC στο σημείο C, λόγω διαρροής σήματος ισχυρού παρεμβολέα στην είσοδο του LO, λέγεται self-mixing

DC Offset – Ολίσθηση DC Στάθμης

Η ολική απολαβή από το A έως το X πρέπει να είναι $\sim 100\text{dB}$ για να λειτουργήσει αποδοτικά ένας τυπικός ADC

Το LO Leakage (και άρα και η DC στάθμη) μεταβάλλεται (αργά ή γρήγορα), αν προέρχεται από ανάκλαση του σήματος του LO και ενίσχυση από τον LNA.

Το πρόβλημα επιδεινώνεται περαιτέρω, αν η DC στάθμη μεταβάλλεται με το χρόνο, λόγω ανακλάσεων σε κινούμενα αντικείμενα.



DC Offset – (Ολίσθηση DC Στάθμης)

Απαιτείται αντιστάθμιση της ολίσθησης DC (Offset cancelation).

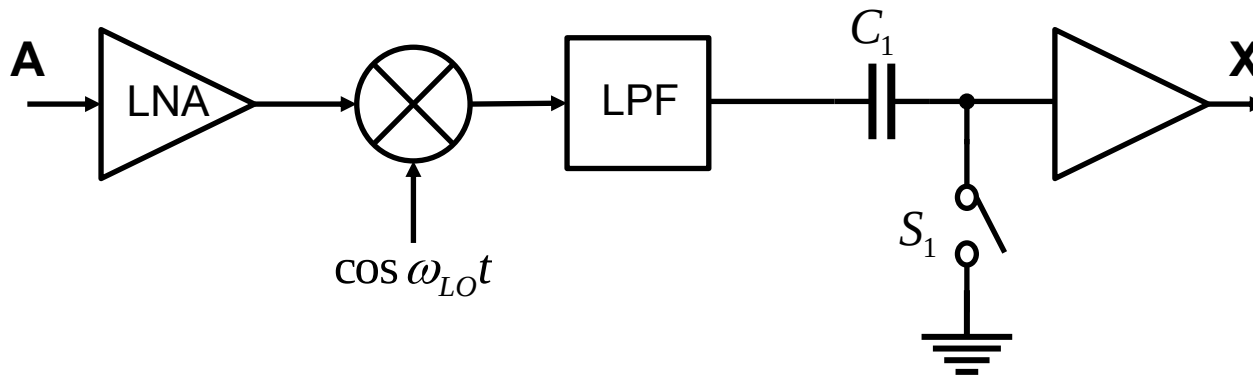
Φιλτράρισμα ΧΣ

Κωδικοποίηση μακριά από το DC (για τις διαμορφώσεις που απαιτούν το DC, εξασθένιση στις πολύ χαμηλές συχνότητες και στο DC συνεπάγεται και αύξηση στο BER)

Εκμετάλλευση του νεκρού χρόνου (στα ψηφιακά)

Απαιτούνται μεγάλοι πυκνωτές και δεν αποφεύγονται οι παρεμβολές ειδώλου,

(με τους μεγάλους πυκνωτές δεν εξαλείφονται οι γρήγορες μεταβολές).

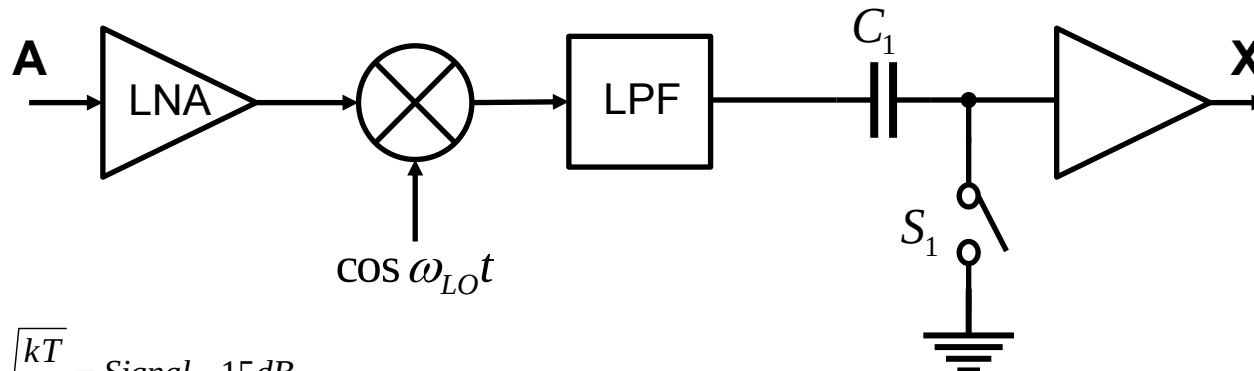
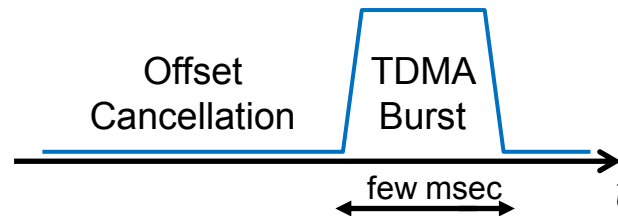


DC Offset – (Ολίσθηση DC Στάθμης)

Μια άλλη αντιμετώπιση στο πρόβλημα είναι να γίνει στον πομπό χρήση διαμόρφωσης DC-Free-Coding

(μειωμένη ενέργεια στις χαμηλές συχνότητες)

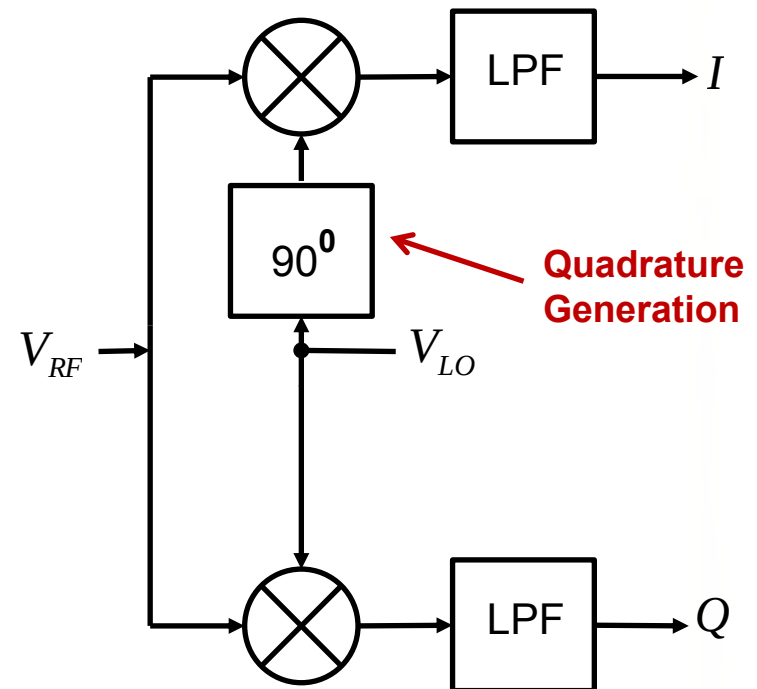
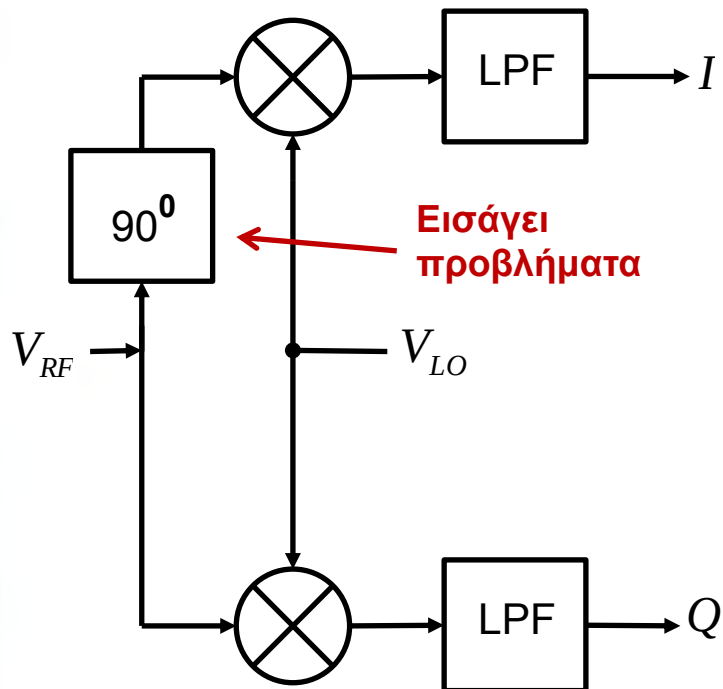
Μια Τρίτη αντιμετώπιση είναι στα διαστήματα που δεν υπάρχει μετάδοση (idle time) να γίνεται το offset cancellation



Πρέπει: $\sqrt{\frac{kT}{C}} = \text{Signal} - 15\text{dB}$

I / Q Mismatch – Ασυμφωνία I / Q

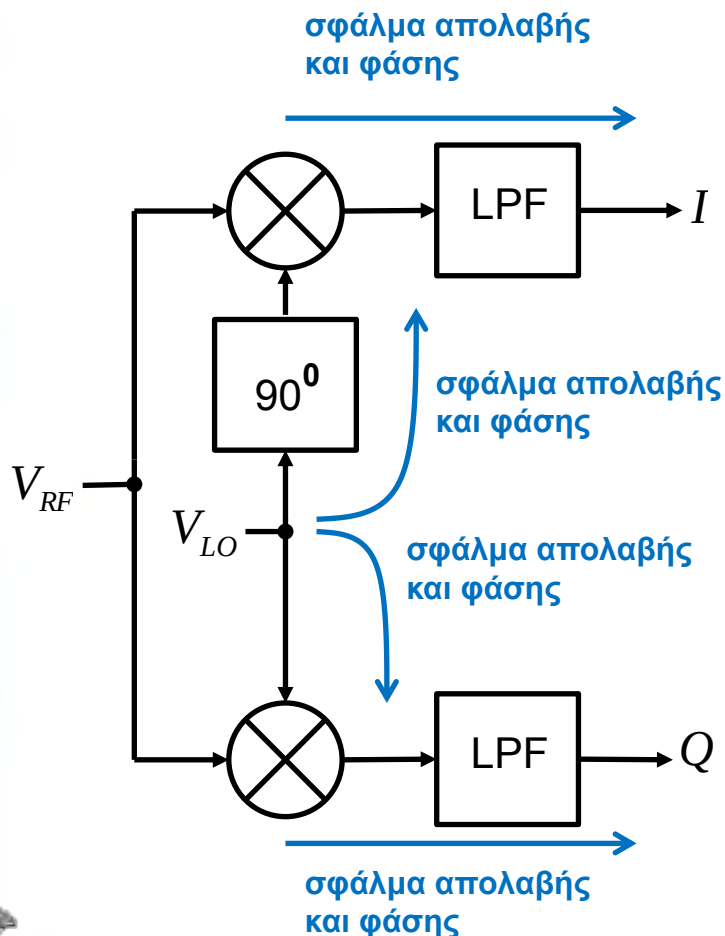
Η φασματική ολίσθηση (shift) στο RF εισάγει προβλήματα θορύβου, ισχύος και απολαβής. Υπάρχουν οι εξής δύο λύσεις:



Προτιμότερη τοπολογία

Ασυμφωνία I / Q

Όλες οι βαθμίδες στις διαδρομές I και Q εισάγουν σφάλμα λόγω ασυμφωνίας απολαβής και φάσης.



$$x_{in}(t) = a \cos(\omega_c t) + b \sin(\omega_c t)$$

$$a, b = +1 \text{ ή } -1$$

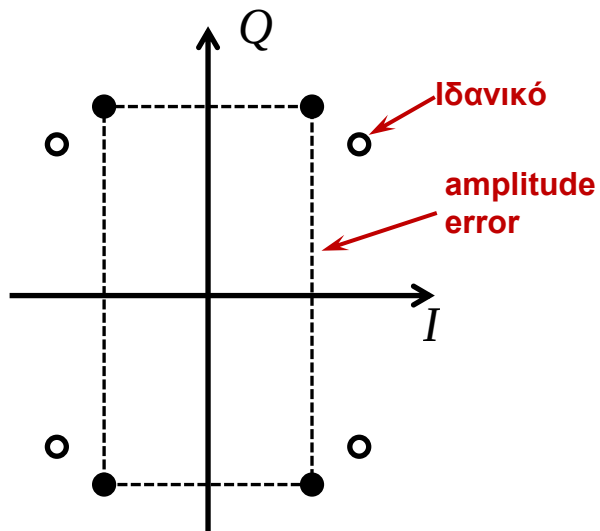
ε = amplitude error

θ = phase error

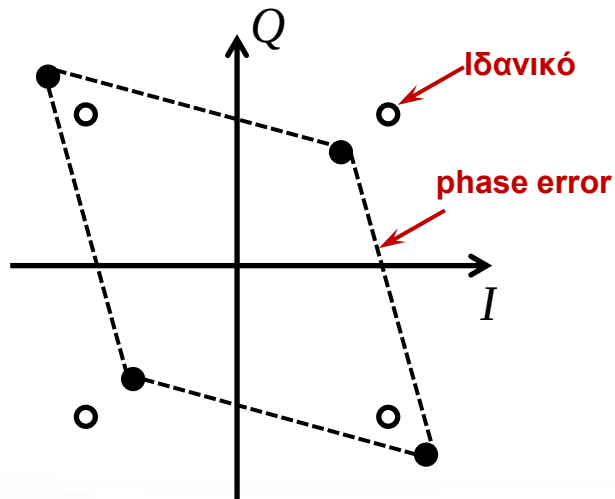
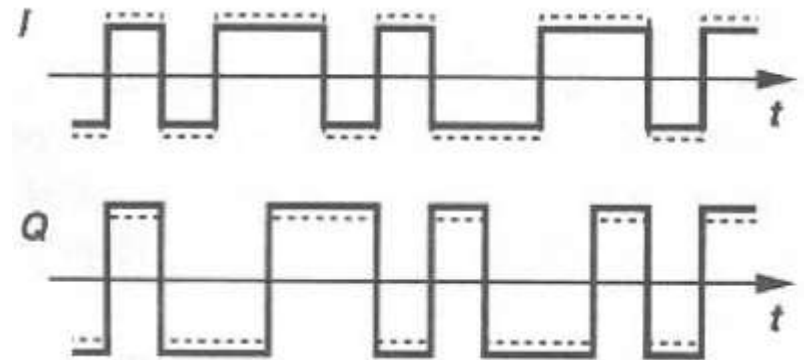
$$x_{LO,I}(t) = 2 \left(1 + \frac{\varepsilon}{2} \right) \cos \left(\omega_c t + \frac{\theta}{2} \right)$$

$$x_{LO,Q}(t) = 2 \left(1 - \frac{\varepsilon}{2} \right) \sin \left(\omega_c t - \frac{\theta}{2} \right)$$

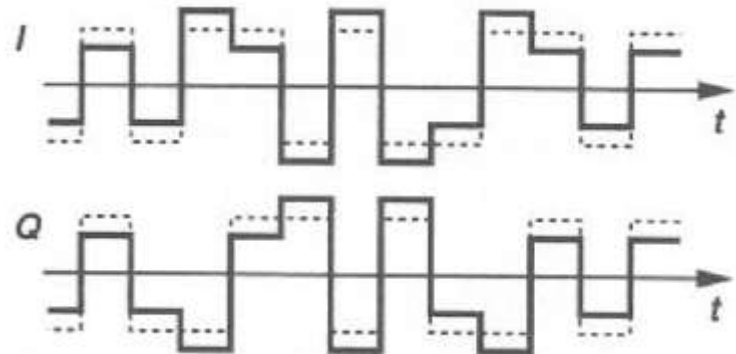
Ασυμφωνία απολαβής και φάσης στο QPSK



ασυμφωνία απολαβής



ασυμφωνία φάσης



Σφάλμα απολαβής και φάσης

Στην έξοδο των LPF όπου έχει εξαλειφθεί η συχνότητα $2\cdot\omega_c$, θα έχουμε:

$$x_{BB,I}(t) = a\left(1 + \frac{\varepsilon}{2}\right)\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) - b\left(1 + \frac{\varepsilon}{2}\right)\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

$$x_{BB,Q}(t) = -a\left(1 - \frac{\varepsilon}{2}\right)\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) + b\left(1 - \frac{\varepsilon}{2}\right)\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Στην πράξη, το σφάλμα λόγω ασυμφωνίας απολαβής είναι μικρότερο από 1dB, και το σφάλμα φάσης μικρότερο από 5 μοίρες:

Amplitude mismatch < 1dB

Phase mismatch < 5°



Σφάλμα απολαβής και φάσης

Στους ετερόδυνους δέκτες τα σφάλματα που προκύπτουν από τις ασυμφωνίες απολαβής και φάσης είναι λιγότερο έντονα διότι:

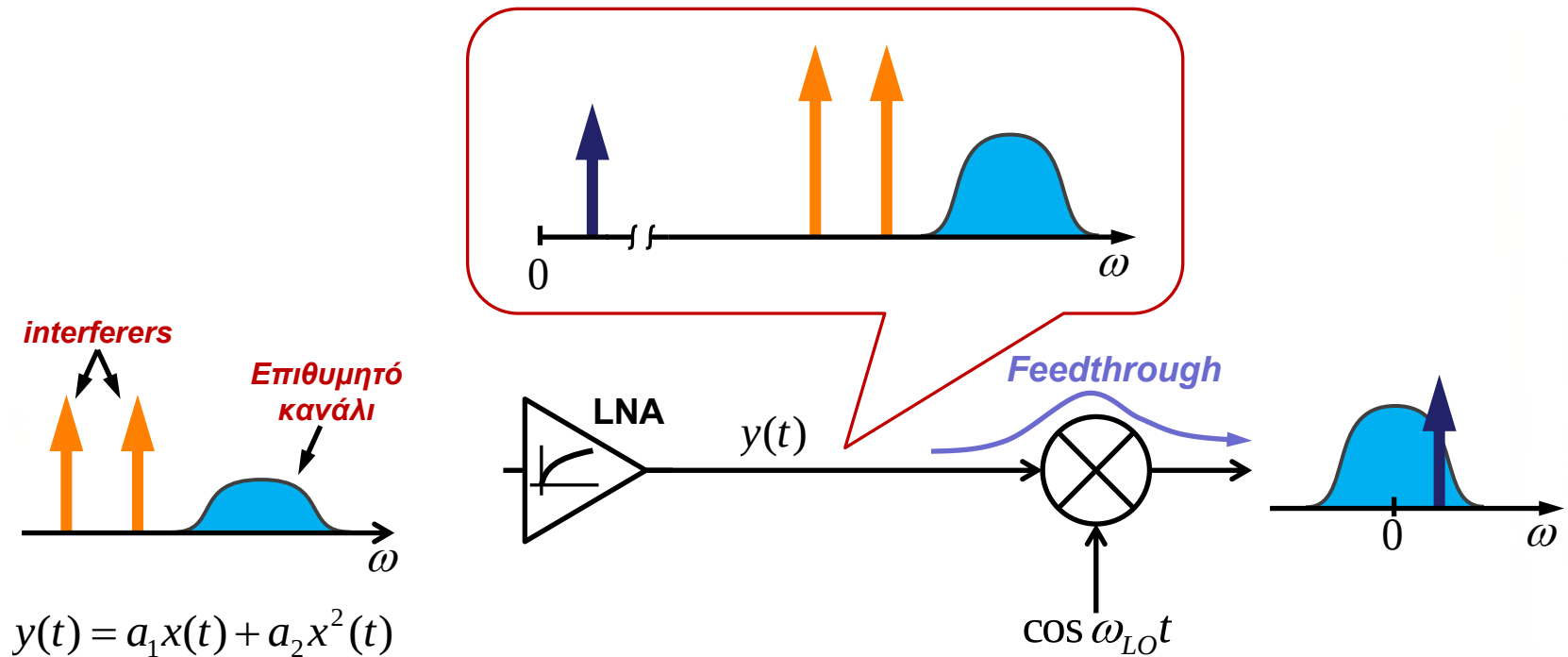
ο διαχωρισμός I/Q γίνεται σε χαμηλότερη συχνότητα
ο διαχωρισμός I/Q σε ενισχυμένα σήματα.

Οι μονολιθικές τεχνολογίες μειώνουν τις ασυμφωνίες I/Q



Παραμόρφωση άρτιας τάξης Even Order Distortion

Δύο ισχυροί παρεμβολείς στην είσοδο μη γραμμικού LNA



$$y(t) = a_1 x(t) + a_2 x^2(t)$$

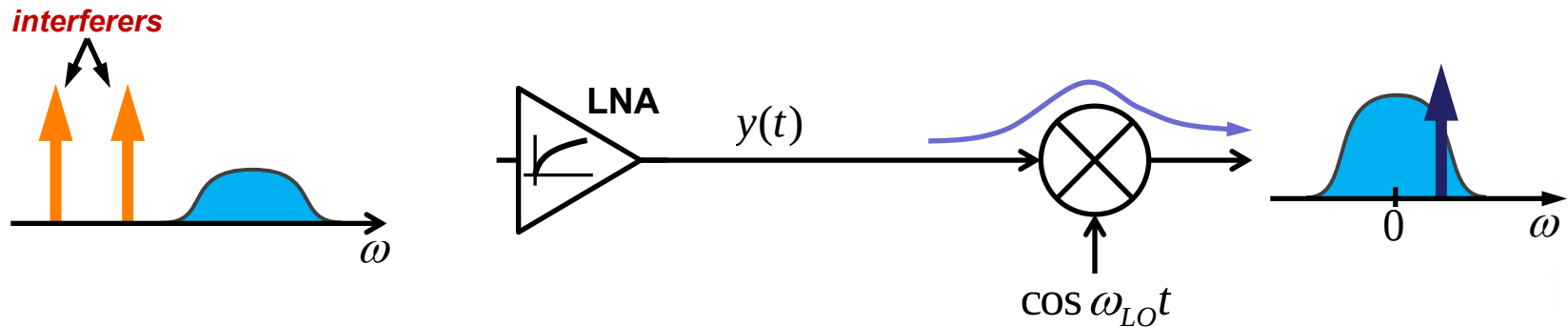
$$x(t) = A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t$$

Στην έξοδο του LNA θα

έχουμε το σήμα χαμηλής συχνότητας $a_2 A_1 A_2 \cos(\omega_1 - \omega_2)t$

Παραμόρφωση άρτιας τάξης

Σε μη ιδανικό μίκτη ένα ποσοστό του σήματος εισόδου περνάει στην έξοδο και σ' αυτήν την περίπτωση θα βρεθεί στη βασική ζώνη



Στο σήμα εισόδου υπάρχει διαμόρφωση AM εκτός από FM ή PM.

$$x_{in}(t) = (A + \varepsilon \cos \omega_m t)(a \cos \omega_C t + b \sin \omega_C t)$$

Αποδιαμορφωμένο AM

που μπορεί να περάσει από το μίκτη: $(a^2 + b^2)A\varepsilon \cos \omega_m t$

Παραμόρφωση άρτιας τάξης

Παραμόρφωση 2^{ης} τάξης εκτός από τον LNA μπορεί να έχει και ο mixer.

Η παραμόρφωση 2^{ης} τάξης μπορεί να χαρακτηριστεί από το IP_2 (second-order intercept point).

Χρήση διαφορικών LNA και mixer: ασυμβίβαστη με κεραίες και αυξάνει την κατανάλωση. Επίσης ο duplexer συνδέεται με τον ενισχυτή ισχύος (PA) και την κεραία που είναι διατάξεις single-ended.



Θόρυβος Flicker

Ο θόρυβος Flicker ($1/f$) είναι ισχυρός στις ΧΣ και στα MOSFET.

Για την αποφυγή του:

εφαρμόζεται μεγάλη ενίσχυση στο RF σήμα,
χρήση ενεργών mixers,
χρησιμοποιούνται μεγάλες διαστάσεις διατάξεων,
Αντιστάθμιση της ολίσθησης DC

Διαρροή του LO

Εκτός από την ολίσθηση DC, η εκπομπή του LO από την κεραία προκαλεί πρόβλημα σε άλλους δέκτες.

Επιτρεπτή ακτινοβολία μεταξύ -50 και -80 dBm.

