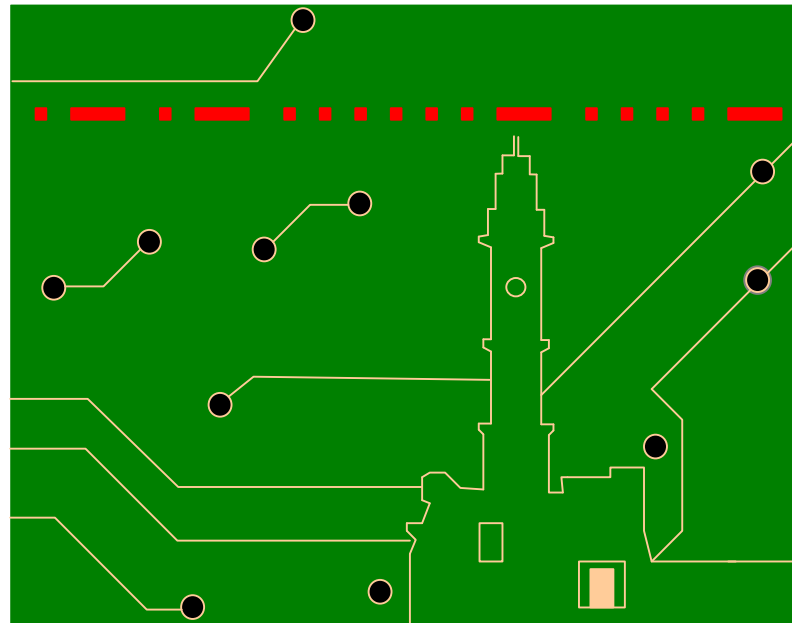


ΤΗΛ412 Ανάλυση & Σχεδίαση (Σύνθεση) Τηλεπικοινωνιακών Διατάξεων

Διαλέξεις 2-3

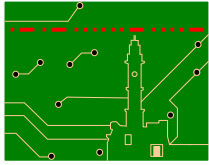


Άγγελος Μπλέτσας

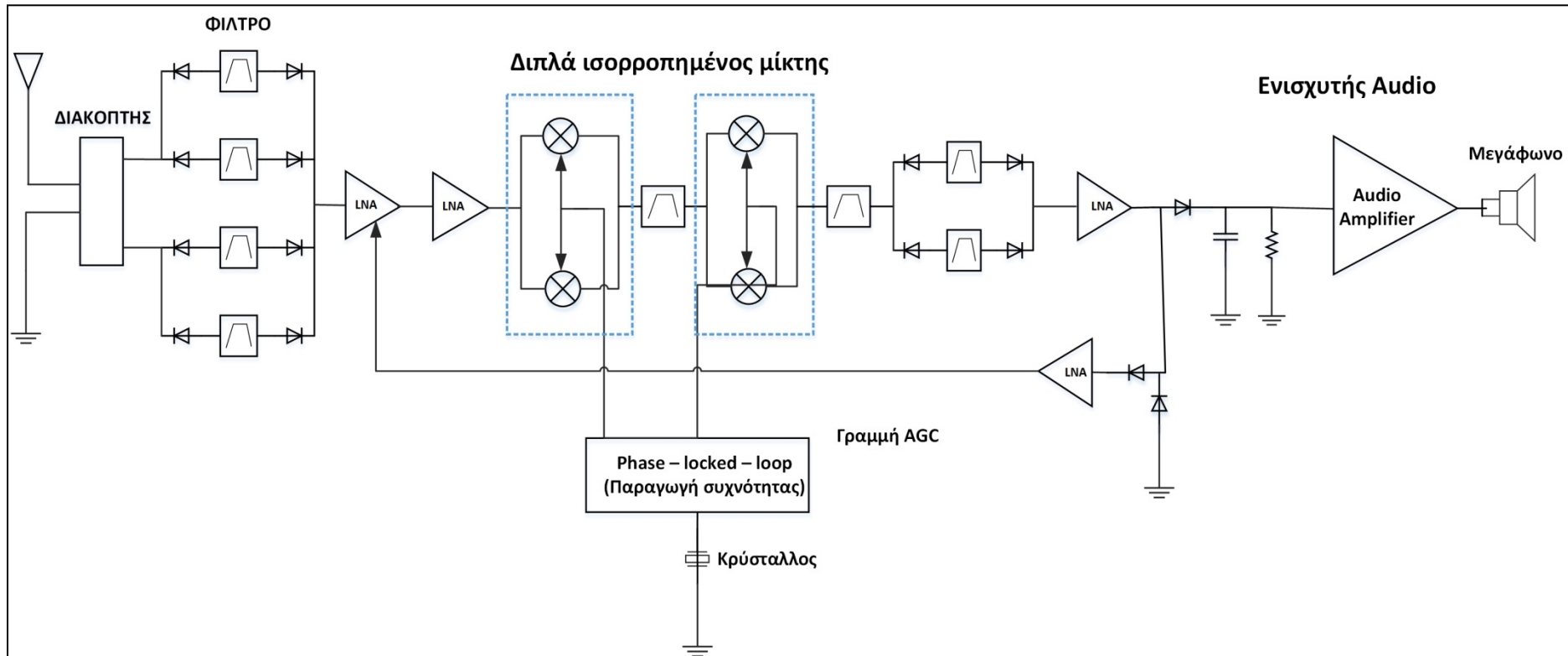
ΗΜΜΥ Πολυτεχνείου Κρήτης

Βιβλιογραφία Διάλεξης 2-3

B. Razavi, RF Microelectronics, Prentice Hall, Έκδοση 1998.

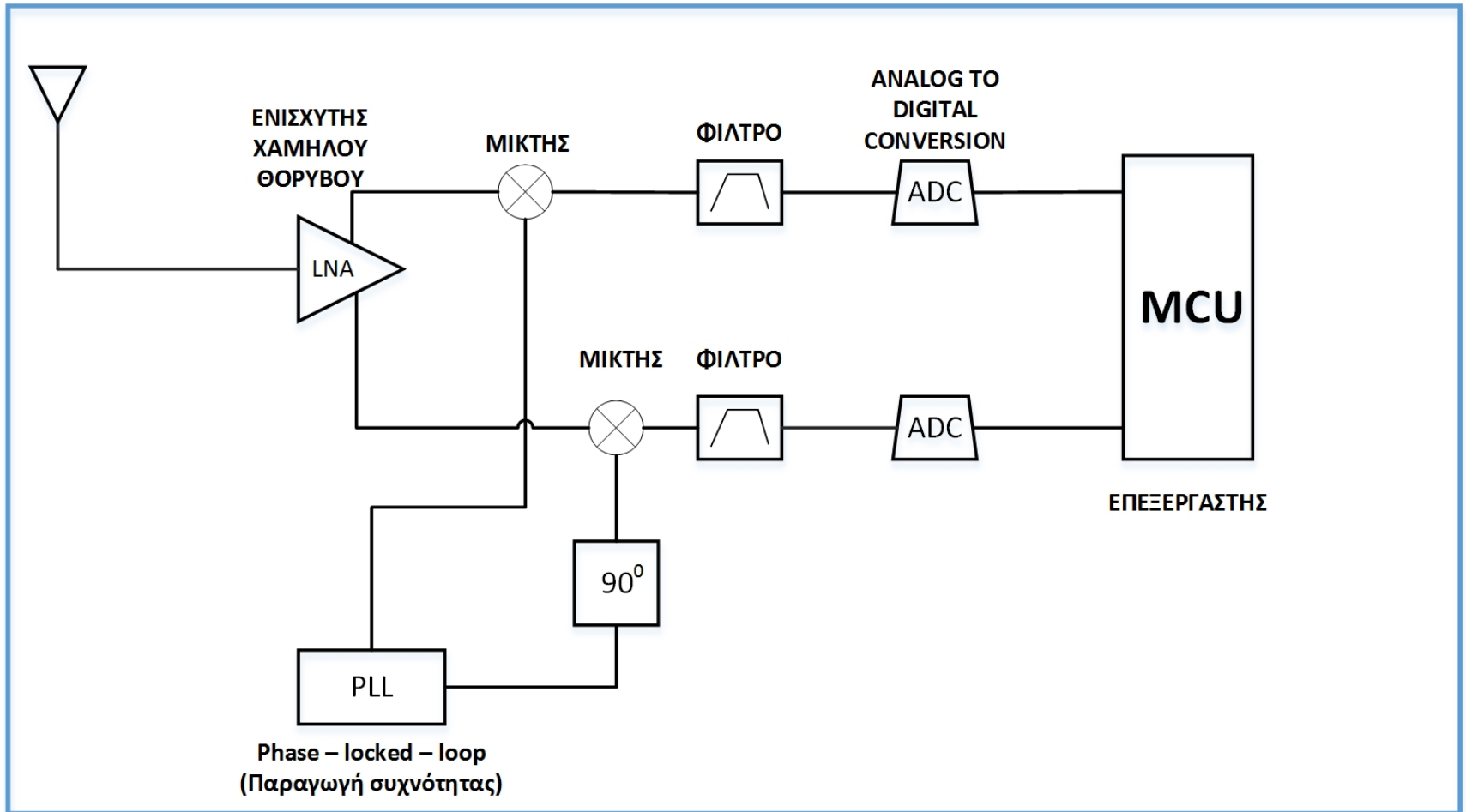
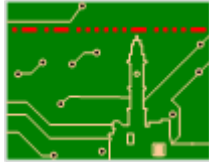


Εισαγωγή: Ετερόδυνος Δέκτης (Δεκαετίας του 90!)

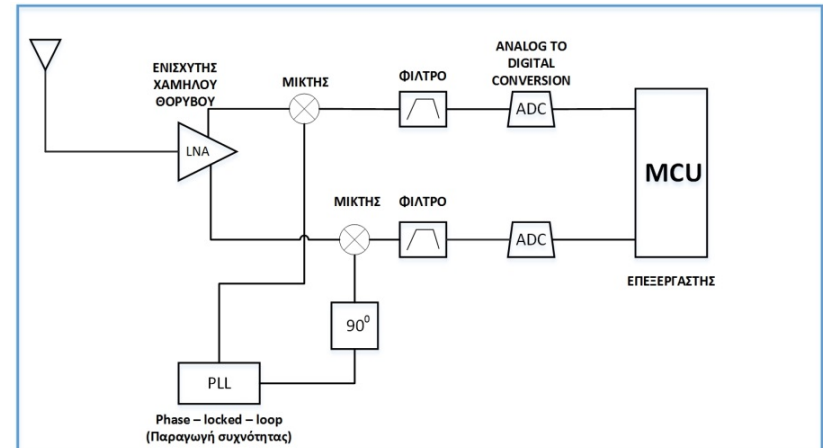
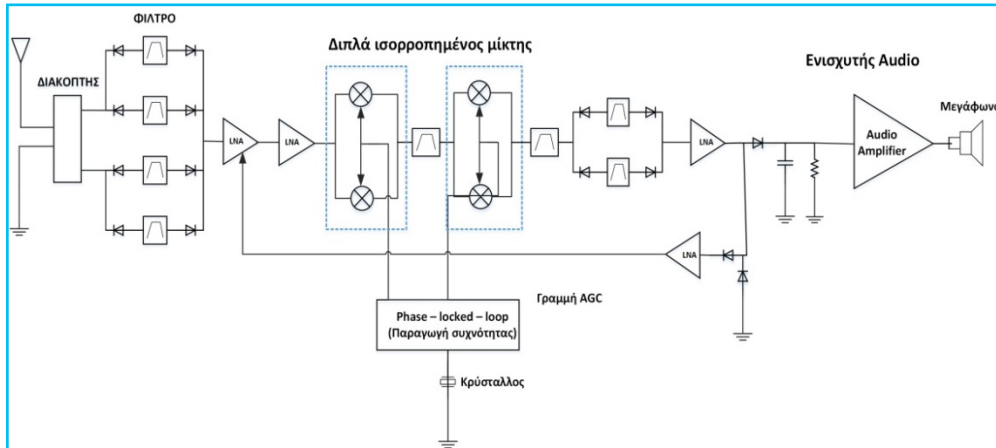


- Παρακάτω θα δούμε πως πρόκειται για υπερετερόδυνο δέκτη (και όχι απλά ετερόδυνο).

Εισαγωγή: Ομόδυνος Ραδιοδέκτης (Σήμερα)

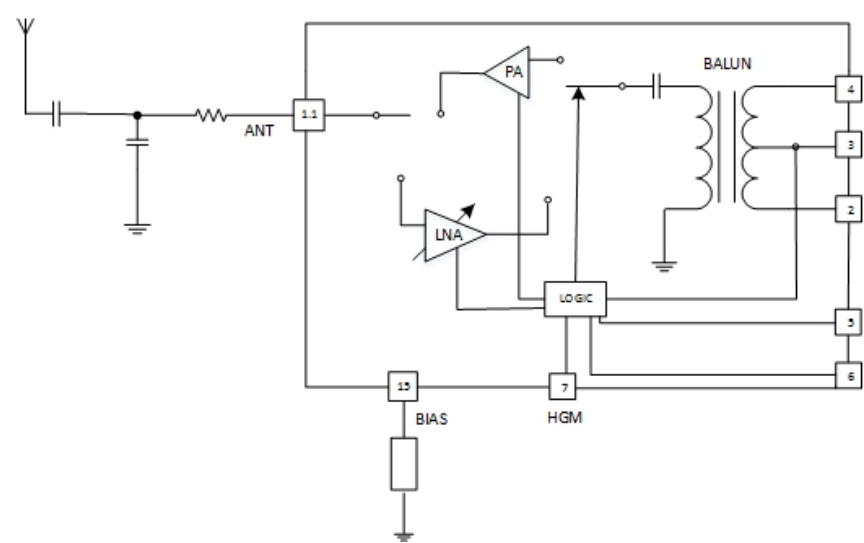


Πραγματικά συστήματα = μη ιδανικά!



- Πραγματικά συστήματα, ανεξαρτήτως ηλικίας, παρουσιάζουν μη-ιδανικότητες.
- Τέτοιες μη-ιδανικότητες (πρέπει να) είναι πλήρως καταγεγραμμένες και κατανοητές!

Παράδειγμα



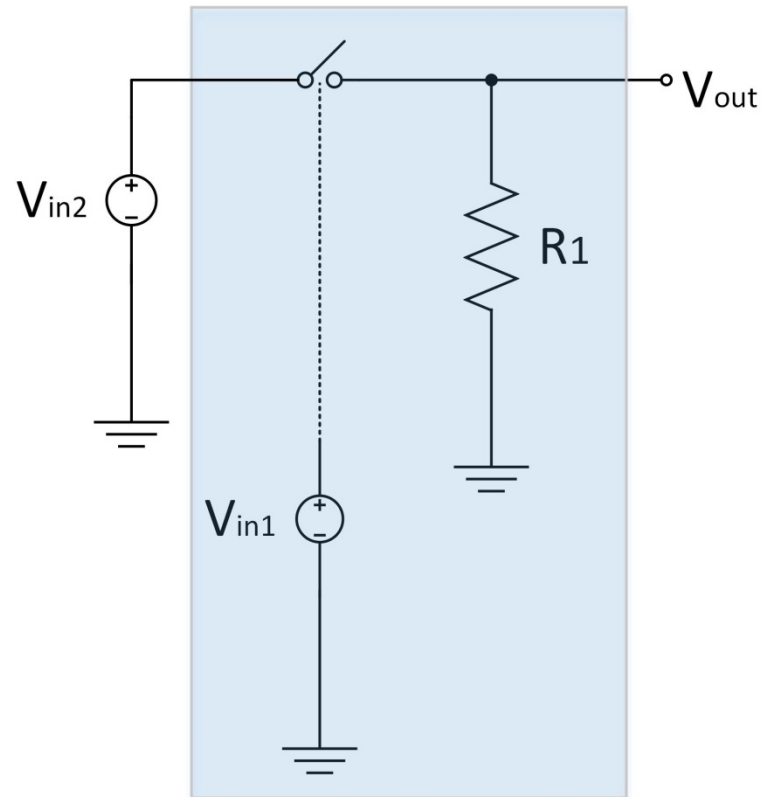
PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Input IP3, High Gain Mode	HGM = 1		-9		dBm
Input reflection coefficient, S ₁₁	HGM = 1, measured at antenna port		-19		dB
RF Transmit					
Gain			14.1		dB
Output power, P _{OUT}	P _{IN} = 4.5 dBm		13.8		dBm
	P _{IN} = 0.5 dBm		12.2		dBm
	P _{IN} = -3.5 dBm		10.0		dBm
Power Added Efficiency, PAE	P _{IN} = 0.5 dBm		23.5		%
Output 1 dB compression			10.4		dBm
Output IP3			23		dBm
Output power variation over frequency	2400 – 2483.5 MHz, P _{IN} = 0.5 dBm		0.3		dB
Output power variation over power supply	2.0V – 3.8V, P _{IN} = 0.5 dBm		3.2		dB
Output power variation over temperature	-40°C – 85°C, P _{IN} = 0.5 dBm		1.1		dB
2nd harmonic power	The 2nd harmonic can be reduced to below regulatory limits by using an external LC filter and antenna. See application note AN032 for regulatory requirements.		-14		dBm
3rd harmonic power	The 3rd harmonic can be reduced to below regulatory limits by using an external LC filter and antenna. See application note AN032 for regulatory requirements.		-28		dBm

Περιεχόμενα Διάλεξης 2-3

Βασικές (άγνωστες σε σας) Έννοιες:

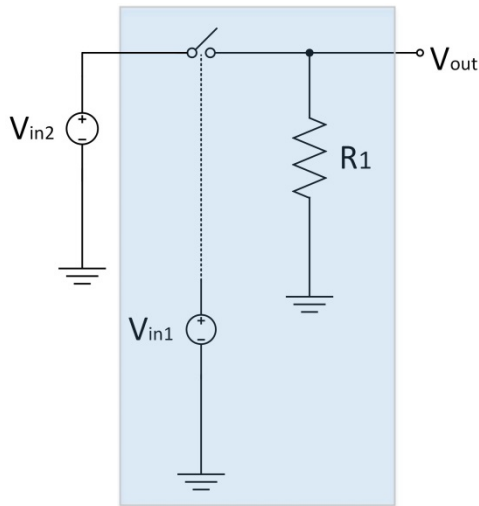
- Φασματική Μεγέθυνση (Spectral Growth) από ΓΡΑΜΜΙΚΑ συστήματα
- Συμπίεση Κέρδους (Gain Compression)
- Απευαισθητοποίηση (Desensitization)
- Προϊόντα Ενδοδιαμόρφωσης (Intermodulation Products) και σημείο IP3
- Εισαγωγή στο Ποσό Θορύβου (Noise Figure – NF) (υπολογισμός NF στην επόμενη διάλεξη)
- Tradeoff μεταξύ IP3 και NF

Μπορεί ένα ΓΡΑΜΜΙΚΟ σύστημα να δημιουργήσει νέες συχνότητες (που δεν υπάρχουν στην είσοδό του);



- Απάντηση: ΝΑΙ, όταν είναι και ΧΡΟΝΙΚΑ-ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΟ (όπως το κύκλωμα δειγματοληψίας παραπάνω)!

Απόδειξη:



$$V_{out}(f) = V_{in2}(f) * \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \frac{\sin(n\pi / 2)}{n\pi} \delta\left(f - \frac{n}{T_1}\right)$$
$$= \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \frac{\sin(n\pi / 2)}{n\pi} V_{in2}\left(f - \frac{n}{T_1}\right)$$

- Γραμμικά ΧΡΟΝΙΚΩΣ-ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΑ συστήματα: φασματική μεγέθυνση.
- Στην διάλεξη αυτή εστιάζουμε σε χρονικώς αμετάβλητες μη-ιδανικότητες.

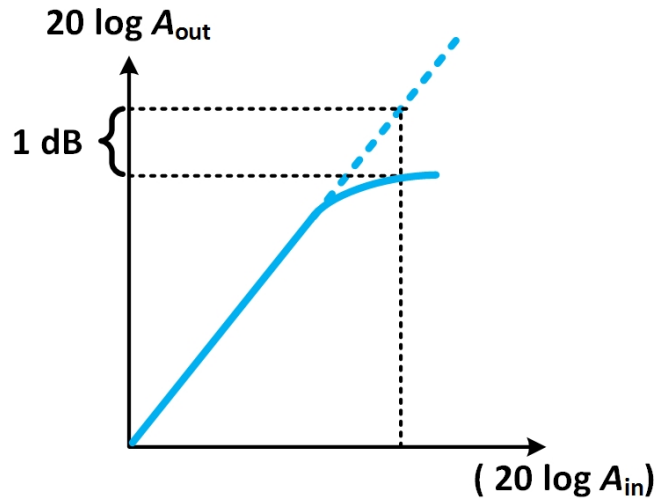
Στην σημερινή Διάλεξη: μη-ιδανικότητα = μη-γραμμικότητα σε χρονικώς αμετάβλητα συστήματα

$$y(t) = a_0 + a_1x(t) + a_2x^2(t) + a_3x^3(t) + \dots,$$

- Υποθέτουμε $\{a_i\}$ χρονικώς αμετάβλητα (διαφορετικά, το σύστημα είναι χρονικώς μεταβλητό).
- Ειδική περίπτωση: ισορροπημένα συστήματα (balanced systems) \Leftrightarrow περιττή συμμετρία $\Leftrightarrow a_j=0, j$ άρτιο. Π.χ.:

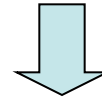
$$V_{\text{out}}(f) = RI_{EE} \tanh\left(\frac{V_{\text{in}}(f)}{2V_T}\right)$$

Αποτελέσματα μη-ιδανικοτήτων: Συμπίεση Κέρδους

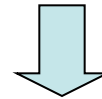


$$y(t) \approx a_1 x(t) + a_2 x^2(t) + a_3 x^3(t)$$

$$x(t) = A \cos(\omega t)$$



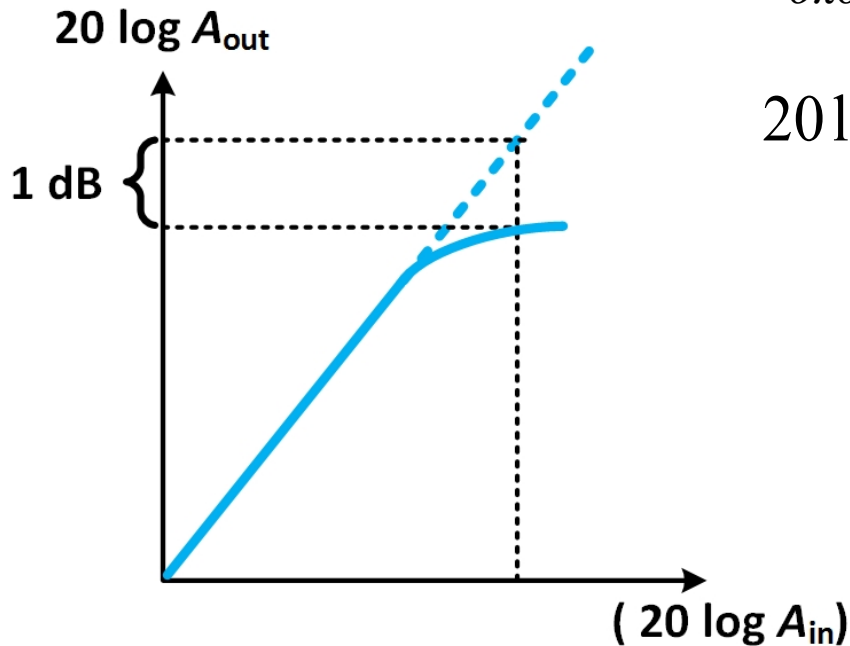
$$y(t) = a_1 A \cos(\omega t) + a_2 A^2 \cos^2(\omega t) + a_3 A^3 \cos^3(\omega t)$$



$$= \frac{a_2 A^2}{2} + \left(a_1 A + \frac{3a_3 A^3}{4} \right) \cos \omega t + \frac{a_2 A^2}{2} \cos 2\omega t + \frac{a_3 A^3}{4} \cos 3\omega t$$

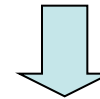
- Για μικρό A small, ο όρος $a_3 A^3$ αμελητέος...
- Για A όχι μικρό και a_3 αρνητικό, το κέρδος συμπιέζεται!

Συμπίεση Κέρδους



Ορισμός: Το επίπεδο του σήματος εισόδου για το οποίο ισχύει το παρακάτω:

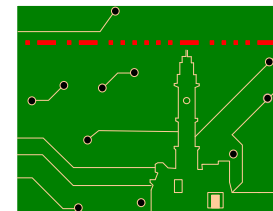
$$20 \log \left| a_1 + \frac{3}{4} a_3 A_{1-dB}^2 \right| = 20 \log |a_1| - 1 \text{ dB}$$



$$A_{1-dB} = \sqrt{0.145 \left| \frac{a_1}{a_3} \right|}$$

- ...μετρά το μέγιστο εύρος τιμών του σήματος ΕΙΣΟΔΟΥ.

Αποτελέσματα μη-ιδανικοτήτων: Απευαισθητοποίηση



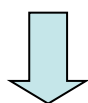
- Απευαισθητοποίηση: όταν ένα δυνατό, ανεπιθύμητο σήμα στην είσοδο μειώνει το επιθυμητό σήμα στην έξοδο!

[συγκρίνετέ το με την συμπίεση κέρδους]

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



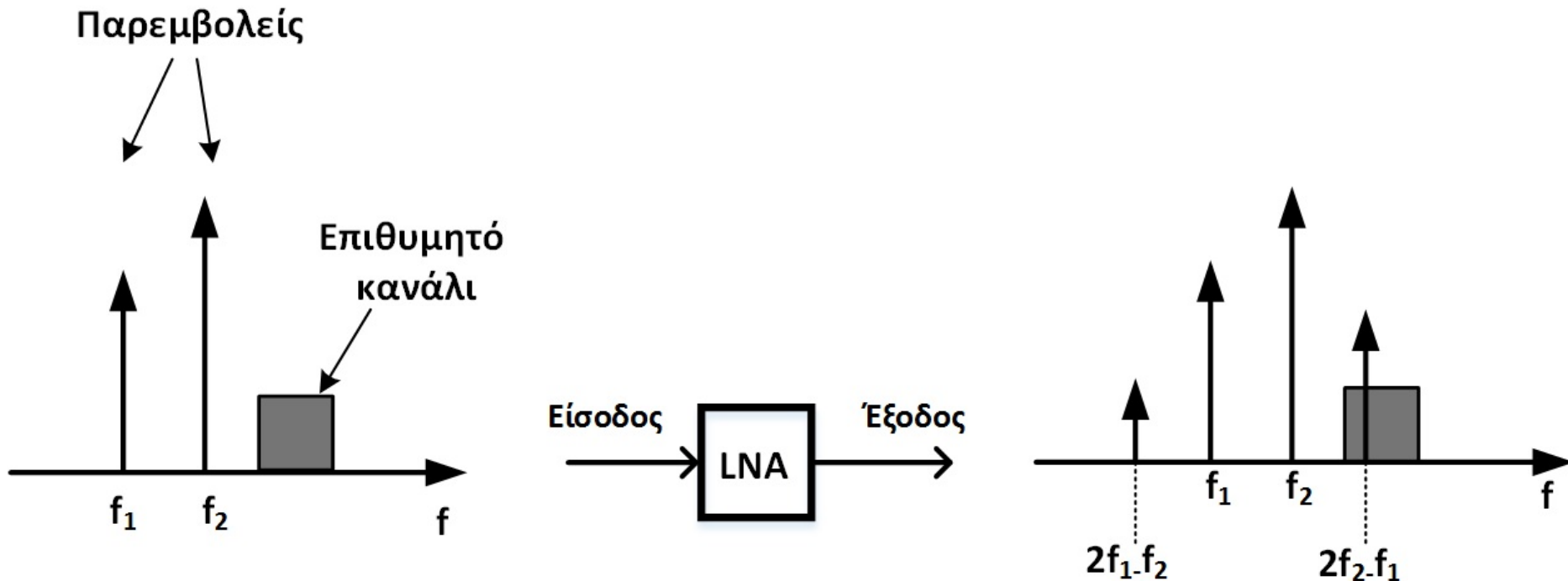
$$y(t) = \left(\alpha_1 A_1 + \frac{3}{4} \alpha_3 A_1^3 + \frac{3}{2} \alpha_3 A_1 A_2^2 \right) \cos \omega_1 t + \dots$$



$$a_1 \gg \frac{9}{4} a_3 A^2$$

$$y(t) = \left(\alpha_1 + \frac{3}{2} \alpha_3 A_2^2 \right) A_1 \cos \omega_1 t + \dots$$

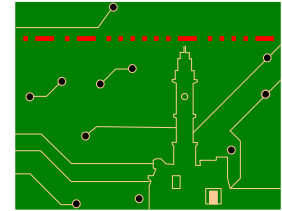
Μη-γραμμικότητα: Ενδοδιαμόρφωση



- Όρος 3^{ης} τάξης: αν f_1-f_2 σχετικά μικρό, τότε προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης εμφανίζονται γειτονικά των f_1 και f_2 .
- Περισσότεροι όροι: υπάρχουν ακόμη και σε “ισορροπημένα (balanced)” συστήματα (όπου δεν υπάρχουν άρτιοι όροι)!

Σύνοψη IP3 - NF Tradeoff

(θα αναλυθεί στο τέλος της διάλεξης)



- IP3 της κάθε βαθμίδας μιας τηλεπ. διάταξης ουσιαστικά κλιμακώνεται από το συνολικό κέρδος των βαθμίδων που προηγούνται της συγκεκριμένης βαθμίδας

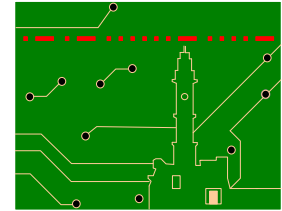
=> οι επόμενες βαθμίδες γίνονται πιο σημαντικές...

- NF: η εξίσωση Friss μας λέει ότι ο θόρυβος που συνεισφέρεται από κάθε βαθμίδα μειώνεται καθώς το κέρδος της προηγούμενης βαθμίδας μεγαλώνει

=> οι αρχικές βαθμίδες είναι οι πιο σημαντικές...

- NF: αν μια βαθμίδα εισάγει εξασθένηση τότε ο θόρυβος της επόμενης βαθμίδας ενισχύεται!

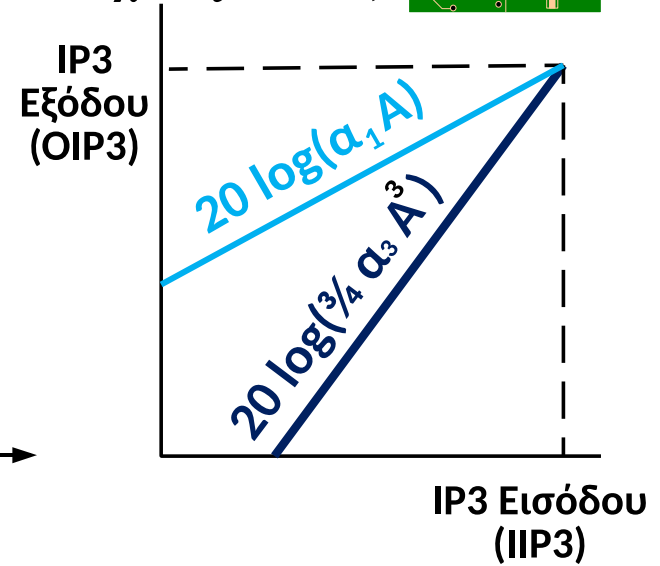
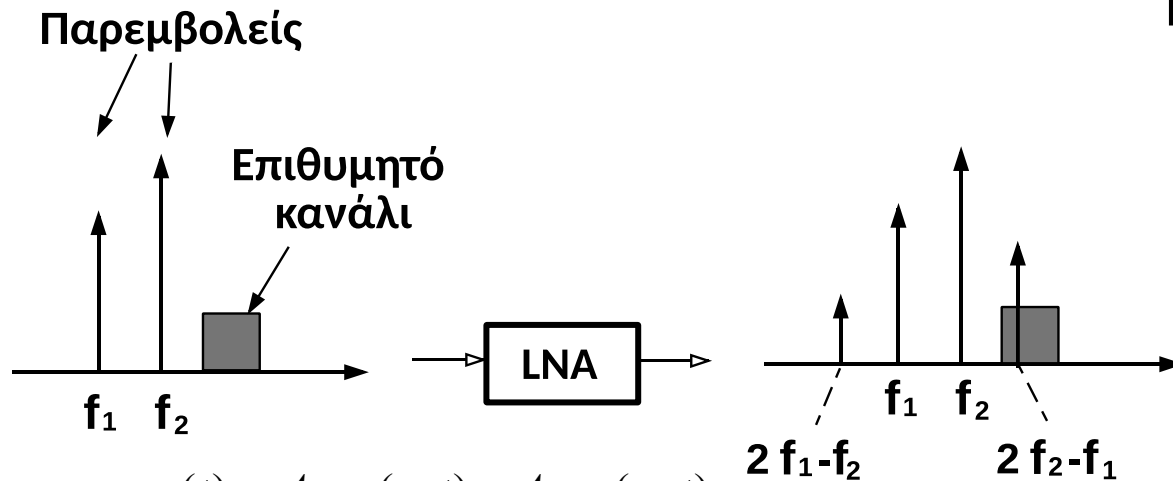
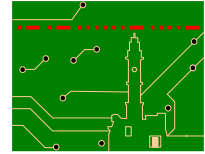
Σύνοψη IP3 - NF Tradeoff



- χονδρικά, μεγαλύτερο κέρδος \Rightarrow μικρότερο NF αλλά και μικρότερο σημείο IP3!

Μη-γραμμικότητα: Ενδοδιαμόρφωση

(1^{ος} τρόπος υπολογισμού: αυξάνω είσοδο, παρατηρώ ισχύ εξόδου...)



$$x(t) = A \cos(\omega_1 t) + A \cos(\omega_2 t) \Rightarrow$$

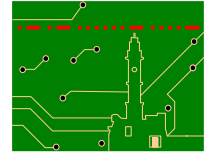
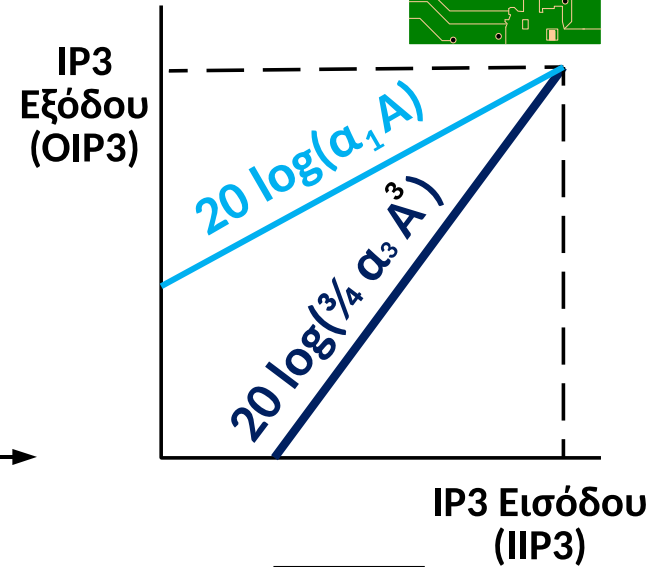
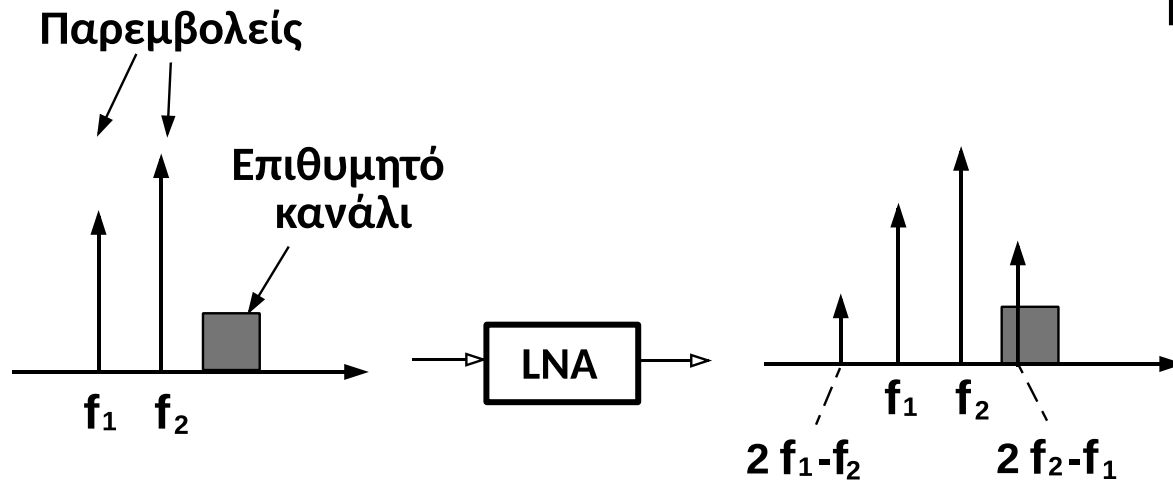
$$y(t) = a_1 x(t) + a_2 x^2(t) + a_3 x^3(t) =$$

$$= \left(a_1 + \frac{9}{4} a_3 A^2 \right) A \cos(\omega_1 t) + \left(a_1 + \frac{9}{4} a_3 A^2 \right) A \cos(\omega_2 t) +$$

$$+ \frac{3}{4} a_3 A^3 \cos((2\omega_1 - \omega_2)t) + \frac{3}{4} a_3 A^3 \cos((2\omega_2 - \omega_1)t) + \dots$$

$$a_1 \gg \frac{9}{4} a_3 A^2 \Rightarrow |a_1| A_{IP3} = \frac{3}{4} |a_3| A_{IP3}^3 \Rightarrow A_{IP3} = \sqrt{\frac{4 |a_1|}{3 |a_3|}}$$

Μη-γραμμικότητα: Ενδοδιαμόρφωση (1^{ος} τρόπος υπολογισμού)

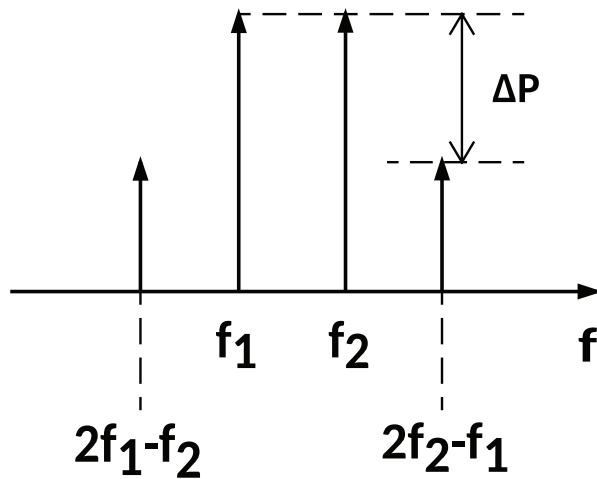
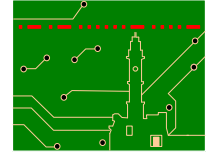


$$|a_1| \gg \frac{9}{4} |a_3| A^2 \Rightarrow |a_1| A_{IP3} = \frac{3}{4} |a_3| A_{IP3}^3 \Rightarrow A_{IP3} = \sqrt{\frac{4 |a_1|}{3 |a_3|}}$$

- Υπολογισμός της ισχύος εισόδου όπου υπάρχει τομή: input IP3 (IIP3).
- Υπολογισμός της ισχύος εξόδου όπου υπάρχει τομή: output IP3 (OIP3).
- Μειονέκτημα μεθόδου: IIP3 μπορεί να είναι πολύ πιο μεγάλη από την επιτρεπόμενο σήμα εισόδου (π.χ. τάση τροφοδοσίας).
- Λύση: extrapolation (2^{ος} τρόπος υπολογισμού).

Μη-γραμμικότητα: Ενδοδιαμόρφωση

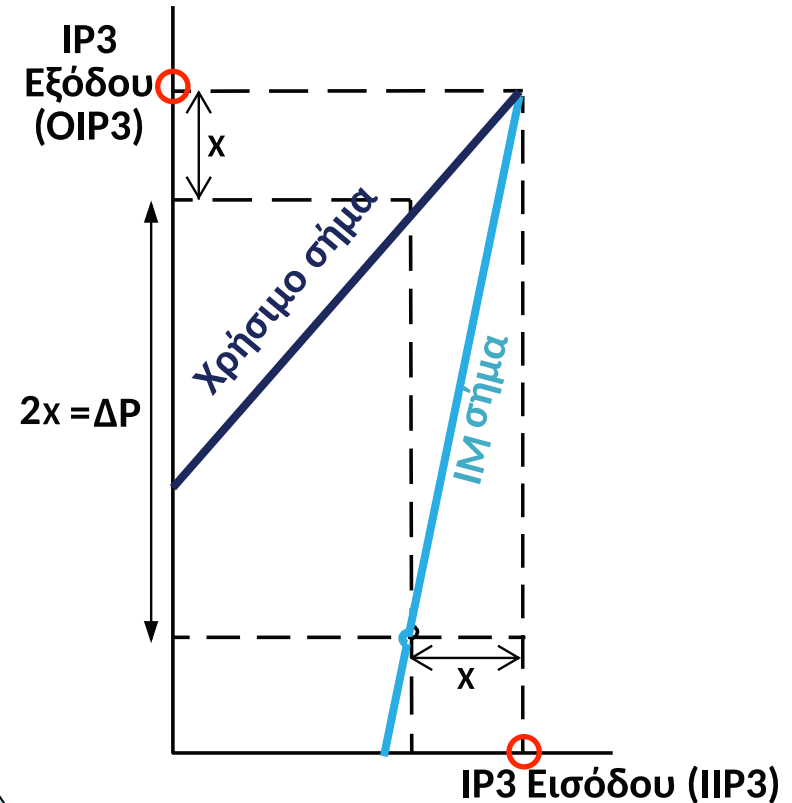
(2^{ος} τρόπος υπολογισμού: extrapolation...)



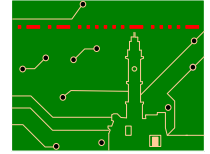
$$IIP_3 \text{ |dBm} = \frac{\Delta P \text{ |dB}}{2} + P_{in} \text{ |dBm} \quad \Leftrightarrow$$

$$\frac{A_{\omega_1, \omega_2}}{A_{IM3}} \approx \frac{|a_1| A_{in}}{3 |a_3| A_{in}^3 / 4} = \frac{A_{IP3}^2}{A_{in}^2} \quad \Leftrightarrow$$

$$20 \log A_{IP3} = \frac{1}{2} (20 \log A_{\omega_1, \omega_2} - 20 \log A_{IM3}) + 20 \log A_{in}$$



Ενδοδιαμόρφωση σε Συστήματα σε σειρά



$$y_1(t) = \alpha_1 x(t) + \alpha_2 x^2(t) + \alpha_3 x^3(t)$$

$$y_2(t) = \beta_1 y_1(t) + \beta_2 y_1^2(t) + \beta_3 y_1^3(t),$$

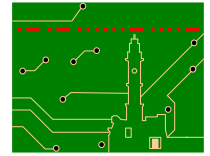
$$\begin{aligned} y_2(t) = & \beta_1 [\alpha_1 x(t) + \alpha_2 x^2(t) + \alpha_3 x^3(t)] \\ & + \beta_2 [\alpha_1 x(t) + \alpha_2 x^2(t) + \alpha_3 x^3(t)]^2 \\ & + \beta_3 [\alpha_1 x(t) + \alpha_2 x^2(t) + \alpha_3 x^3(t)]^3 \end{aligned}$$

$$y_2(t) = \alpha_1 \beta_1 x(t) + (\alpha_3 \beta_1 + 2\alpha_1 \alpha_2 \beta_2 + \alpha_1^3 \beta_3) x^3(t) + \dots$$

$$A_{IP3} = \sqrt{\frac{4}{3} \left| \frac{\alpha_1 \beta_1}{\alpha_3 \beta_1 + 2\alpha_1 \alpha_2 \beta_2 + \alpha_1^3 \beta_3} \right|}$$

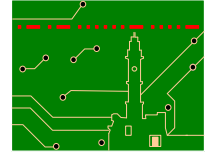
- Υπολογισμός IP3 για πολλαπλές βαθμίδες σε σειρά.

Ενδοδιαμόρφωση σε Συστήματα σε σειρά



$$A_{IP3} = \sqrt{\frac{4}{3} \left| \frac{\alpha_1 \beta_1}{\alpha_3 \beta_1 + 2\alpha_1 \alpha_2 \beta_2 + \alpha_1^3 \beta_3} \right|}$$
$$\frac{1}{A_{IP3}^2} = \frac{3}{4} \frac{|\alpha_3 \beta_1| + |2\alpha_1 \alpha_2 \beta_2| + |\alpha_1^3 \beta_3|}{|\alpha_1 \beta_1|}$$
$$= \frac{1}{A_{IP3,1}^2} + \frac{3\alpha_2 \beta_2}{2\beta_1} + \frac{\alpha_1^2}{A_{IP3,2}^2}$$
$$\frac{1}{A_{IP3}^2} \approx \frac{1}{A_{IP3,1}^2} + \frac{\alpha_1^2}{A_{IP3,2}^2}$$

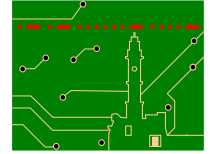
Ενδοδιαμόρφωση σε Συστήματα σε σειρά



$$\frac{1}{A_{IP3}^2} \approx \frac{1}{A_{IP3,1}^2} + \frac{\alpha_1^2}{A_{IP3,2}^2} + \frac{\alpha_1^2 \beta_1^2}{A_{IP3,3}^2} + \dots,$$

- Προσεγγιστικός υπολογισμός IP3 για πολλαπλές βαθμίδες σε σειρά.
- Υψηλότερο Κέρδος από μονάδα ελαττώνει IP3 της επόμενης βαθμίδας =>
- ...ελαττώνει συνολικό IP3 =>
- ...οι επόμενες βαθμίδες πρέπει να έχουν μεγαλύτερο IP3 από τις αρχικές => οι επόμενες βαθμίδες καθίστανται πιο σημαντικές!

Noise Figure



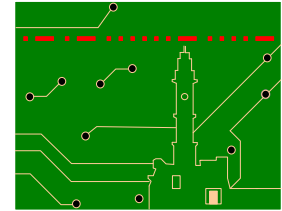
$$\text{noise figure} = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}}$$

- Ιδεατό αθόρυβο σύστημα $\Rightarrow NF = 1$ (0 dB).
- Ποσό Θορύβου (Noise Figure) Συστημάτων σε Σειρά (εξ. Friis):

$$NF_{tot} = 1 + (NF_1 - 1) + \frac{NF_2 - 1}{A_{p1}} + \dots + \frac{NF_m - 1}{A_{p1} \dots A_{p(m-1)}}$$

- NF μιας βαθμίδας ελατώννεται όσο μεγαλύτερο είναι το κέρδος της προηγούμενης \Rightarrow
- ...οι αρχικές βαθμίδες είναι οι πιο σημαντικές σχετικά με το ποσό θορύβου (NF)!

Σύνοψη IP3 - NF Tradeoff



- IP3 της κάθε βαθμίδας μιας τηλεπ. διάταξης ουσιαστικά κλιμακώνεται από το συνολικό κέρδος των βαθμίδων που προηγούνται της συγκεκριμένης βαθμίδας

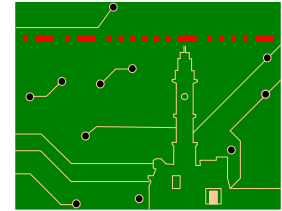
⇒ οι επόμενες βαθμίδες γίνονται πιο σημαντικές...

- NF: η εξίσωση Friss μας λέει ότι ο θόρυβος που συνεισφέρεται από κάθε βαθμίδα μειώνεται καθώς το κέρδος της προηγούμενης βαθμίδας μεγαλώνει

⇒ οι αρχικές βαθμίδες είναι οι πιο σημαντικές...

- NF: αν μια βαθμίδα εισάγει εξασθένηση τότε ο θόρυβος της επόμενης βαθμίδας ενισχύεται!

IP3 - NF tradeoff!



- χονδρικά, μεγαλύτερο κέρδος \Rightarrow μικρότερο NF αλλά και μικρότερο IP3!

Ερωτήσεις?

