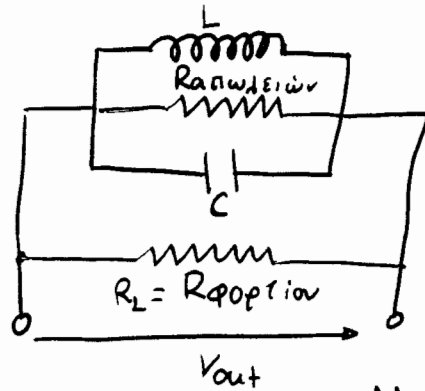
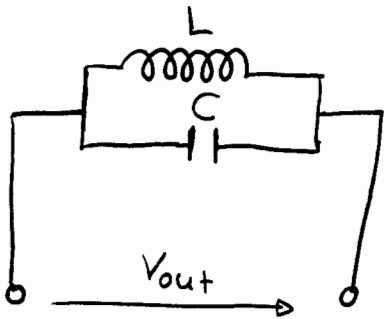


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

	Σελίδα
Σχεδιασμός Μικροκυματικών Ταλαντωτών	
• Συνθήκες Έναρξης Ταλαντώσεων	6- 1
• Ταλαντωτής σαν Ενισχυτής με Ανάδραση	6- 2
• Ισοδύναμο Κύκλωμα Ιδανικού Ταλαντωτή	6- 3
• Συνθήκες Ταλάντωσης με S-Παραμέτρους	6- 4
• Στοιχεία Αρνητικής Αντίστασης	6- 5
• Ταλαντωτής Αρνητικής Αντίστασης	6- 6
• Λειτουργία Ταλαντωτή Αρνητικής Αντίστασης	6- 7
• Παράδειγμα Ταλαντωτή Διόδου Αρνητικής Αντίστασης	6- 9
• Εκτεταμένος Χάρτης Smith	6-10
• Συνδεσμολογίες FET για Σχεδιασμό Ταλαντωτών	6-11
• Συνθήκες Ταλάντωσης Δίθυρου Τρανζίστορ	6-14
• Παράδειγμα Σχεδιασμού Ταλαντωτή στα 4GHz	6-17
• Διαδικασία Σχεδιασμού Ταλαντωτών	6-18

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ Ταλαντωτών

- Ταλαντωτής είναι ένα κύκλωμα που μεταφέρει DC ισχύ σε RF Ιδανικό συντονισμένο κύκλωμα
- Πραγματικό συντονισμένο κύκλωμα



- Αν το κύκλωμα αυτό διεγερθεί τότε η ενέργεια του θα ταλαντώνεται μεταξύ πηνίου και πυκνωτή, μετατρέποντας από ηλεκτρική σε μαγνητική.

- Εάν δοθεί ενέργεια στο κύκλωμα αυτό μπορεί να ξεκινήσουν ταλαντώσεις, οι οποίες όμως θα "βρουν" αν η παροχή εξωτερικής ενέργειας διακοπεί

- Στο συντονισμό η ηλεκτρική και η μαγνητική ενέργεια (ή ισχύς) θα είναι ίσες

$$W_m = \frac{1}{2} L I_L^2 = \frac{1}{2} L \left(\frac{V}{X_L} \right)^2 = \frac{1}{2} L \frac{V^2}{\omega^2 L^2} = \frac{1}{2} \frac{V^2}{\omega^2 L}$$

$$W_e = \frac{1}{2} C V^2$$

$$W_m = W_e \Big|_{\text{Συντονισμός}} \Rightarrow \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} \frac{V^2}{\omega_0^2 L}$$

$$\text{άρα } \omega_0 = 1 / \sqrt{LC}$$

Εναλλακτικά με τις ισχύεις:

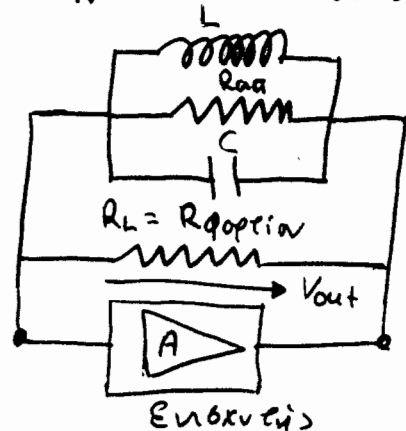
$$P_m = \frac{1}{2} \frac{V^2}{X_L} = \frac{1}{2} \frac{V^2}{\omega L} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} P_m = P_e$$

$$P_e = \frac{1}{2} \frac{V^2}{X_C} = \frac{1}{2} \frac{V^2}{1/\omega C} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \frac{1}{\omega_0 L} = \omega_0 C$$

* Προβλήματα:

- 1) Ιδανικά στοιχεία L, C δεν υπάρχουν → έχουν απώλειες → Rσωμ.
- 2) Ένας χρήσιμος ταλαντωτής πρέπει να τροφοδοτεί κάποιο φορτίο → Rφορτίου

Είναι λοιπόν απαραίτητη μια εξωτερική πηγή ενέργειας που να τροφοδοτεί τις απώλειες του συντονισμένου.

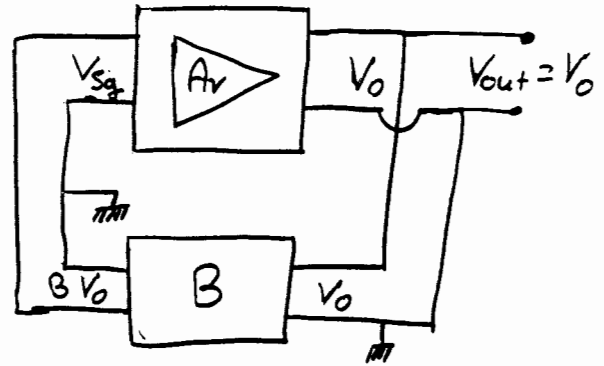
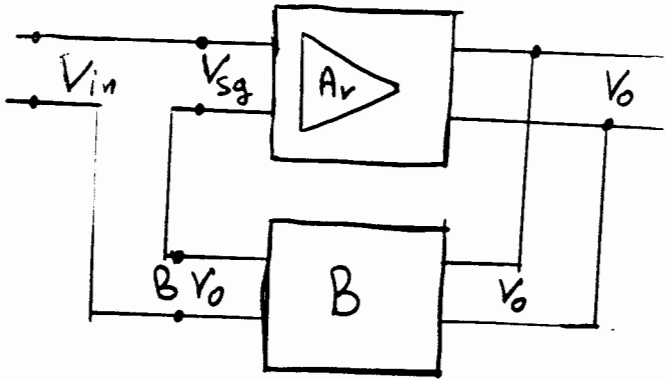


Η απαιτούμενη (RF) ενέργεια λαμβάνεται από low d.c. πηγή που ενισκείται από μετατρέπεται σε RF

Ταλαντωτής βαν Εινδχουτς με ανάδραση

ΕΜΙΣΧΥΤΗΣ ΜΕ ΑΝΑΔΡΑΣΗ

ΤΑΝΑΝΤΟΤΗΣ



Δίκτυο Ανάδρασης

A_V = Κέρδος Ενισχυτή
 B = Συντελεστής (κέρδος ή απώλειες) ανάδρασης:

$$V_{sg} = V_{in} + B \cdot V_o$$

$$V_o = A_V \cdot V_{sg} = A_V \cdot V_{in} + A_V \cdot B \cdot V_o$$

$$\text{άρα: } V_o = \frac{A_V}{1 - A_V B} V_{in} = A_{Vf} \cdot V_{in}$$

Κέρδος κλειστού βρόχου
 Μοιμήν κατάστασιν $\rightarrow A_{Vf} = \sigma_{\omega}$

- Ενισχυτές \leftrightarrow Αρνητική Ανάδραση
 $A_{Vf} < A_V \leftrightarrow -1 \leq B \leq 0$
- Ταλαντωτές \leftrightarrow Θετική Ανάδραση
 $A_{Vf} > A_V \leftrightarrow 0 \leq B \leq 1$

- Ενισχυτής με ανάδραση αλλά χωρίς π.φ. είσοδο

$$V_{in} = 0$$

* \rightarrow Μοιμήν κατάστασιν

$$V_o = A_V \cdot B \cdot V_o$$

$$\boxed{A_V \cdot B = 1}$$

ΣΥΝΘΗΚΗ ΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΟΝ ΤΑΝΑΝΤΟΞΕΟΝ

Αλλά $A_V, B = \text{μικαδικαί}$:

$$|A_V| \cdot |B| = 1$$

$$\angle A_V + \angle B = n \cdot 2\pi$$

όπου $n = 0, 1, 2, \dots$

Κριτήρια Barkhausen: Αυτοάντη-
 ραίμεναν ταλαντώσεων.

- Το κριτήριο Αυτοσυντηρούμεναν ταλαντώσεων προσηγορεύσει
 έχουν ξεκινήσει ταλαντώσεις. Για να γίνει όμως αυτό
 απαιτείται ένα "Εξωτερικό" π.φ. σήμα στην επιθυμητή συχνότητα
 καθώς και ενίσχυση \rightarrow αύξηση του πλάτους των ταλαντώσεων
 μέχρι το επιθυμητό πλάτος.

"Εξωτερικό Σήμα" \rightarrow μπορεί να θεωρηθεί ο θερμικός θόρυβος

"Ενίσχυση του πλάτους" των ταλαντώσεων \Leftrightarrow $\begin{cases} A_{Vf} > A_V \leftrightarrow |A_V| |B| > 1 \\ \text{θετική} \\ \text{ανάδραση} \end{cases}$ $\angle A_V + \angle B = n \cdot 2\pi$

Συνθήκες Έναρξης Ταλαντώσεων

- Αφού δεν υπάρχει εφευρετικό γ.ρ. βήμα, θα πρέπει η επιθυμητή συχνότητα να αναδυθεί από κάπου:
 - Υπάρχει θερμικός θόρυβος ισχύος $P_n = kTB$ (ή τάσης $U_n = U_{rms} = \sqrt{4kTB R_n}$) σ' όλη το εύρος συχνοτήτων.
 - Τυχόν μεταβατικά βήματα (transients) ελαίου δημιουργούν αρμονικές σε μεγάλο φάσμα συχνοτήτων.
- Παίρνοντας λοιπόν $V_{in} = U_n, rms =$ τάση θερμικοί θόρυβου, ο ενισχυτής ενισχύει όλο το φάσμα μέσα στο εύρος λήψης του, άρα το Δίκτυο Ανάδρασης = Συντονισμένο κύκλωμα = επιλεκτικό δίκτυο, αφήνει να διέλθει και να ενισχυθεί μόνο η συχνότητα συντονισμού του \Rightarrow έτσι αναδύεται τελικά βήμα με την συχνότητα αυτή.
- Συνθήκες Έναρξης Ταλαντώσεων:

$A_{γρ} > A_V$: συνθήκη συνεχούς αύξησης του πλάτους των ταλαντώσεων $A_{γρ} = A_V / (1 - A_V B)$ και $V_o = A_{γρ} \cdot V_{in}$

Απαιτείται δηλαδή θετική ανάδραση $0 \leq B \leq 1$.

$|A_V| \cdot |B| > 1$ Αύξηση πλάτους ταλαντώσεων

$\angle A_V + \angle B = n \cdot 2\pi$ Ισοβαθική άθροιση κυμάτων μετά από πολλαπλούς κύκλους

Συνθήκες Αυτοσυντηρούμενων Ταλαντώσεων

- Κάποις αυξάνει συνεχώς το βήμα εισόδου ο ενισχυτής, οδηγείται στον κορεσμό, οπότε αρχίζει να μειώνεται το κέρδος του
- Επίσης αυξάνονται οι απώλειες του κυκλώματος.

Ετσι:

$$A_{γρ} \sim 1 \Rightarrow |A_V| \cdot |B| = 1 \quad \text{σταθερό πλάτος}$$

$$\angle A_V + \angle B = n \cdot 2\pi \quad \text{σταθερή φάση}$$

Συνδίκες Ταλαντωτές με S-Παραμέτρους:

Έναρξη Ταλαντώσεων

$$|S_{21A}| \cdot |S_{21R}| > 1$$

$$\angle S_{21A} + \angle S_{21R} = n \cdot 2\pi$$

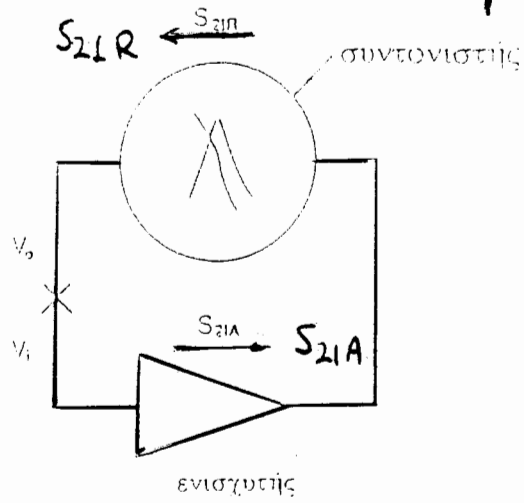
Αυτοσυντηρούμενες Ταλαντ.

$$|S_{21A}| \cdot |S_{21R}| = 1$$

(a)

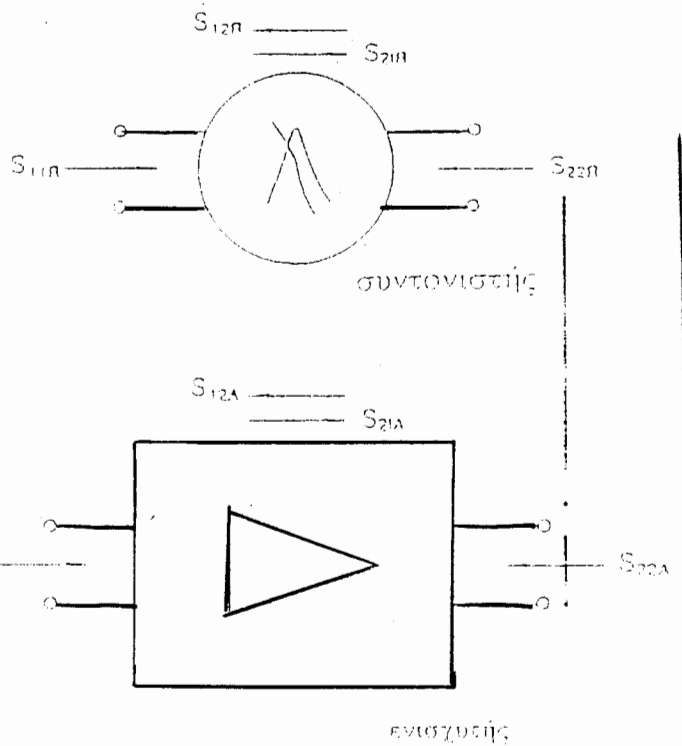
$$\angle S_{21A} + \angle S_{21R} = n \cdot 2\pi$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$



$$B \rightarrow S_{21R}$$

$$A_V \rightarrow S_{21A}$$



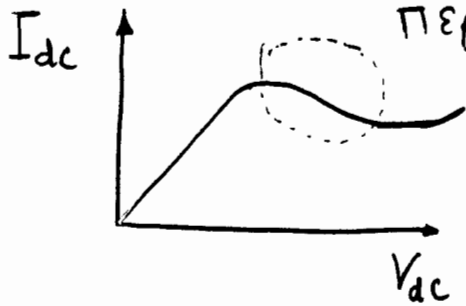
(b)

Σχήμα 8.4 Μπλοκ διάγραμμα ταλαντωτή ανάδρασης.

ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΗΡΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ (Βharatia 5.42)

- Αρνητική αντίσταση παρουσιάζουν μόνο κάποια ενεργά στοιχεία, όχι όμως και αντίστροφα.

1) Μονόδωρες συσκευές όπως οι διόδοι GUNN και IMPATT παρουσιάζουν από τη φύση τους αρνητική αντίσταση:



Περιοχή αρνητικής αντίστασης διόδου Gunn.

Δηλαδή στις διόδους αυτές αρκεί να εφαρμοστεί η κατάλληλη d.c. τάση για να συμπεριφερθούν σαν στοιχεία αρνητικής αντίστασης.

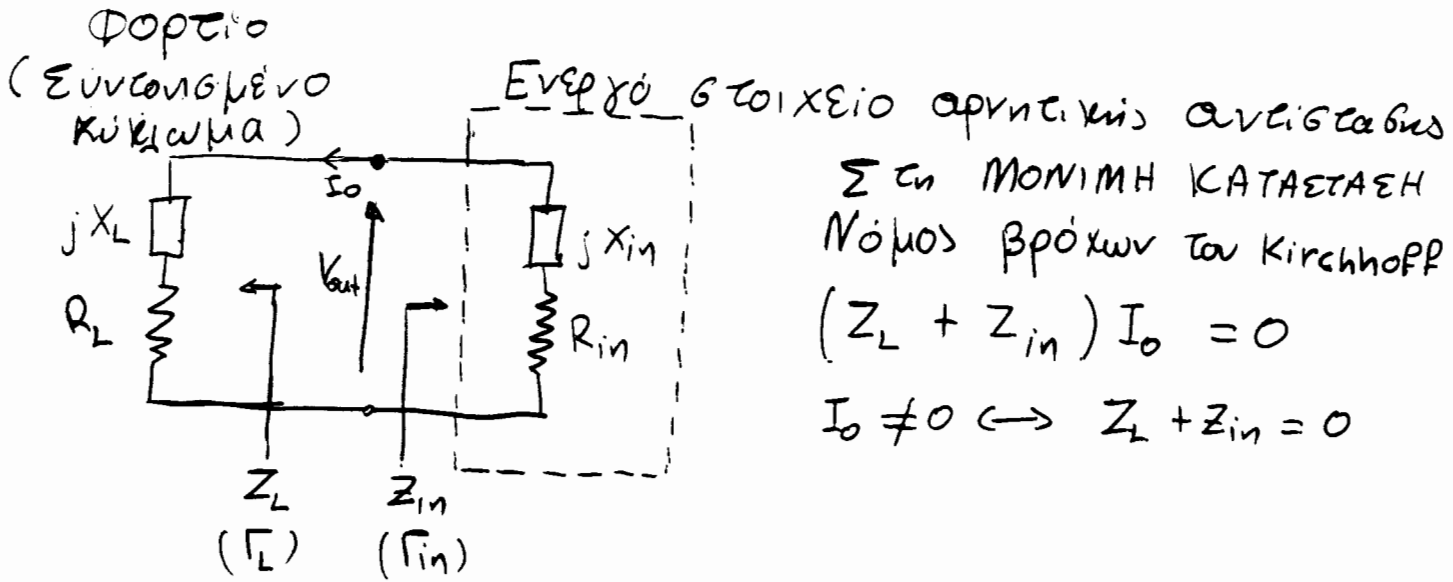
- Ο σχεδιασμός ταλαντωτή με διόδο Gunn ή IMPATT εξαρτάται από τον προσδιορισμό του κατάλληλου φορτίου Z_L και το σχεδιασμό του κυκλώματος προσαρμογής εξόδου.
- Ταλαντωτές Gunn ή Impatt μπορούν να δώσουν ισχύ έστω μέχρι 100 mW και λειτουργούν μέχρι τα 100 GHz.

2) ^{Στα} Διόδια ενεργά στοιχεία όπως τα τρανζίστορ δεν αρκεί μόνο η εφαρμογή της κατάλληλης d.c. τάσης για την δημιουργία αρνητικής αντίστασης, αλλά απαιτείται και κατάλληλο κύκλωμα Ανάδρασης σε σειρά ή παράλληλα, μάλλον απαιτείται συνήθως θετική ανάδραση.

- Συνδέοντας λοιπόν στη μία όψη του τρανζίστορ την κατάλληλη σύνδεση αντίστασης μεταφέρεται σε ένα ισοδύναμο μονόδρομο με αρνητική πραγματική αντίσταση εξόδου $Re(Z_{out}) < 0$

• Ουβιαστικά το τρανζίστορ θα πρέπει να οδηγείται στην αβίαση περιοχή, επιδιώκεται μάλιστα η μέγιστη δυνατή αβίαση.

Ταλαντωτής Αρνητικής Αντίστασης



• Προκειμένου το ολόκληρο κύκλωμα συντονιστής - Ενεργό στοιχείο (κλειστό σύστημα) να συμπεριφέρεται σαν ένα ιδανικό συντονισμένο κύκλωμα πρέπει:

→ Μηδενικές Απώλειες $\rightarrow R_{ολ} = R_T = R_L + R_{in} = 0$

→ Συντονισμός στην επιθυμητή συχνότητα \rightarrow δηλαδή ταλαντώ-
-ση ω_0 αποθηκεύμενης ενέργειας ηλεκτρική \leftrightarrow μαγνητική
κατά ίσα ποσά (ή ίσες ισχύεις):

Εστω $jX_L =$ επαγωγική αντίδραση και $-jX_C =$ χωρητική αντίδραση
ίσες ισχύεις $P_m = P_e \rightarrow \frac{1}{2} \frac{V^2}{(jX_L)} = \frac{1}{2} \frac{V^2}{(-jX_C)} \rightarrow jX_L = -jX_C \rightarrow$

$jX_L + jX_C = 0 \rightarrow$ γενικά $jX_{ολ} = jX_T = 0 \Rightarrow \boxed{X_L + X_{in} = 0}$
Για το ανωτέρω κύκλωμα

\Rightarrow Μόνιμη Κατάσταση \leftrightarrow Συνδίκες Αυτοσυντηρούμενη
Ταλαντώσεων:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_T = R_L + R_{in} = 0 \\ X_T = X_L + X_{in} = 0 \end{array} \right\} \Leftrightarrow \begin{array}{l} Z_T = 0 \\ Z_L + Z_{in} = 0 \end{array}$$

Συντονιστής (Φορτίο) = Παθητικό στοιχείο $\rightarrow R_L > 0$

Ετσι: $R_L + R_{in} = 0 \mid R_L > 0 \Leftrightarrow R_{in} < 0 \rightarrow R_{in} = -R_L$

Το ενεργό στοιχείο πρέπει να παρομοιάζει την απαιτούμενη
αρνητική αντίσταση.

Λειτουργία Ταλαντωτή Αρνητικής Αντίστασης

(Ροζαρ σελ. 634)

→ Η λειτουργία των ταλαντωτή: Ανάλυση ταλαντώσεων και στη συνέχεια η διατήρηση σταθερού πλάτους βασίζεται στη μη γραμμική συμπεριφορά του ενεργού στοιχείου αρνητικής αντίστασης.

- Γενικά η συνθήκη αντίστασης του ενεργού στοιχείου εξαρτάται:
 - α) από την συχνότητα ω
 - α) από την ένταση του ρεύματος I ή της τάσης V . ⇒ ^{Μη-} γραμμική κελύκη

$$Z_{in}(I, j\omega) = R_{in}(I, j\omega) + j X_{in}(I, j\omega)$$

Συνθήκες Έντασης Ταλαντώσεων:

Προκειμένου να αναδυθεί η επιθυμητή συχνότητα από το θόρυβο (ή από μεταβατικά σήματα) πρέπει να υπάρχει περιθώριο ενέργειας $Re(Z_T) < 0 \Leftrightarrow |-R_{in}| > R_L$

Καθώς αναπτύσσονται ταλαντώσεις \Leftrightarrow αυξάνει το ρεύμα I η $R_{in}(I, j\omega)$ γίνεται λιγότερο αρνητική, οπότε το ρεύμα I τείνει να σταθεροποιηθεί, μέχρι που εξισώνεται:

$$R_{in}(I, j\omega) + R_L = 0 \quad \text{και} \quad X_{in}(I, j\omega) + X_L(j\omega) = 0$$

Συνθήκες Αυτοβυτηρούμενων Ταλαντώσεων:

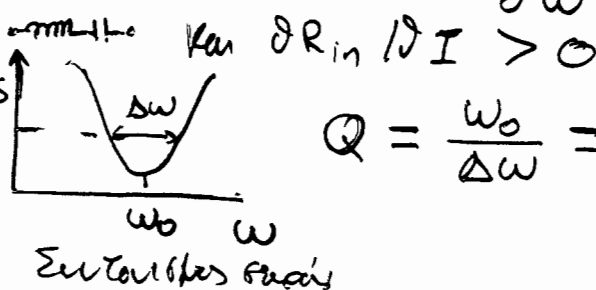
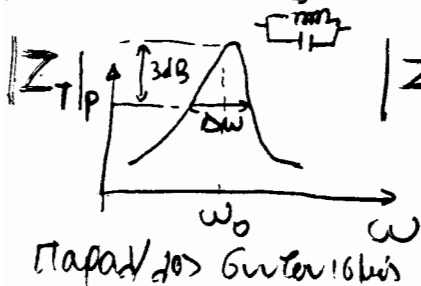
Πρόβλημα! Πως εφασφαλίζεται ότι: αφού το κώλυμα φθάσει στις συνθήκες μόνιμης κατάστασης $Z_{in} + Z_L = 0$ θα παραβείνει εκεί και θα παροίξει ευσταθείς ταλαντώσεις.

δηλαδή πως θα αντιβληθεί κάποια διαταραχή δI ;

Αυτό εφασφαλίζεται με τη χρήση ενός συντονισμένου κυκλώματος υψηλού $Q \gg 1$ σαν φορτίο $\Leftrightarrow 0 \gg \delta I$ αντίθετος

Εφαρμογή διαταραχής δI } Πρέπει: $\frac{\partial(X_L + X_{in})}{\partial \omega} \gg 0$

Ροζαρ σελ. 634-635



$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta \omega} = \frac{Re(Z_{Tp})}{Im(Z_{Ts})} = \frac{Im(Z_{Ts})}{Re(Z_{Ts})}$$

Ταλαντώσεις Αρνητικής Αντίστασης

A. Συνθήκες Έναρξης Ταλαντώσεων:

① $\text{Re}(Z_T) < 0 \iff |-R_{in}(I, j\omega)| < R_L \rightarrow$ Αυτός είναι ο πλάτος ταλαντώσεων

② $\text{Im}(Z_T) = 0 \iff X_{in}(I, j\omega) = X_L(j\omega) \rightarrow$ Συντονισμός

Συγκεκριμένη αρνητική αντίσταση $Z_{in}(I, j\omega) = -R_{in}(I, j\omega) + jX_L(I, j\omega)$

Συντονισμός + φορτίο : $Z_L(j\omega) = R_L + jX_L(j\omega)$

Ολικό κύκλωμα $Z_T = Z_{in} + Z_L$

* Πρακτική επιλογή φορτίου

1) \rightarrow επιδιώκεται η μεγιστοποίηση της αρνητικής αντίστασης των ενεργών στοιχείων $-(R_{in})_{max}$

2) \rightarrow Απαιτείται 1 κανονική περίσσεια ενέργειας:

(Ροζαρ Γεγ. 636) Συνήθως : $R_L = \frac{|-R_{in}|}{3}$

;; Yedelin Γεγ. 390 : $R_L \approx 0.8 |-R_{in}| \iff |-R_{in}| \approx 1.2 R_L$

B. Συνθήκες Αυτοσυντηρούμενων Ταλαντώσεων:

③ $\text{Re}(Z_T) = 0 \iff |-R_{in}(I_0, j\omega_0)| = R_L \iff$ Σταθερό πλάτος

④ $\text{Im}(Z_T) = 0 \iff X_{in}(I_0, j\omega_0) = X_L(j\omega_0)$ Συντονισμός

Ροζαρ Γεγ. 634. \iff Πρόσθετο !

Η τελική συχνότητα ταλάντωσης ω_0 που καθορίζεται από την Εξίσωση ④ μπορεί γενικά να διαφέρει από την συχνότητα Έναρξης των ταλαντώσεων που καθορίζεται από την ②

Επειδή η $X_{in}(I, j\omega)$ Εξαρτάται και από το ρεύμα I (μη-γραμμική) το οποίο άσεται από $I \rightarrow 0$ σε $I \rightarrow I_0$

Γ. Εξίσωση Ευστάθους Πειραματικής Ταλάντωσης

Ροζαρ Γεγ. 635 } $\frac{\partial R_T}{\partial I} \frac{\partial X_T}{\partial \omega} - \frac{\partial X_T}{\partial I} \frac{\partial R_T}{\partial \omega} > 0$ } Πρακτική προϋπόθεση

Βhastra Γεγ. 435 } $\frac{\partial R_L}{\partial I} = \frac{\partial R_L}{\partial \omega} = 0$

$X_T = X_L + X_{in}$ $\frac{\partial R_T}{\partial I} = \frac{\partial R_{in}}{\partial I}$, $\frac{\partial R_T}{\partial \omega} = \frac{\partial R_{in}}{\partial \omega}$

Παράδειγμα: Ταλαντωτής Διόδου Αρνητικής Αντίστασης.

Δεδομένα: $\Gamma_{in}|_{\text{Διόδου}} = 1.25 \angle 40^\circ$ για $Z_0 = 50 \Omega$, $f = 66 \text{ MHz}$

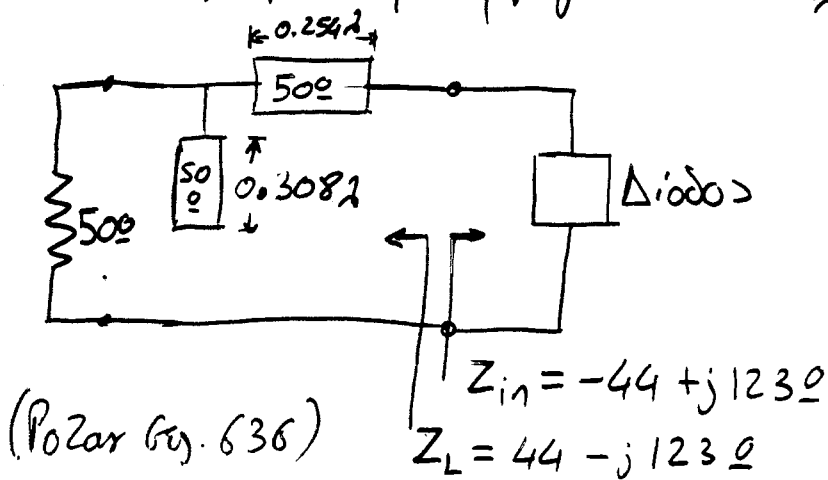
Να σχεδιασθεί ταλαντωτής $f = 66 \text{ MHz}$ με αντίσταση εφέδα 50Ω .

Σύνθετη αντίσταση διόδου: $Z_{in} = Z_0 \frac{1 + \Gamma_{in}}{1 - \Gamma_{in}} = -44 + j123 \Omega$

Απαιτούμενη σύνθετη αντίσταση φορτίου: Z_L

$$\left. \begin{array}{l} \text{Μόνη} \\ \text{Κατάβλεψη} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} R_L = | -R_{in} | = 44 \Omega \\ X_L = -X_{in} = -123 \Omega \end{array} \right\} Z_L = 44 - j123 \Omega$$

Κυκλώμα Προσαρμογής - Τοπολογία Ταλαντωτή



Συσχέτιση Κανονικοποιημένων Αντιστάσεων - Αγωγιμοτήτων και Συντελεστή Ανάκλασης

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1 + \Gamma_{in}}{1 - \Gamma_{in}}$$

$$Y_{in} = \frac{1}{Z_{in}} = Y_0 \frac{1 - \Gamma_{in}}{1 + \Gamma_{in}}$$

Κανονικοποίηση:

$$\frac{Z_{in}}{Z_0} = \frac{R_{in}}{Z_0} + j \frac{X_{in}}{Z_0} = r_{in} + j x_{in}$$

$$\frac{Y_{in}}{Y_0} = \frac{G_{in}}{Y_0} + j \frac{B_{in}}{Y_0} = g_{in} + j b_{in}$$

Θέτοντας:

$$\Gamma_{in} = |\Gamma_{in}| e^{j\theta} = |\Gamma_{in}| \cos\theta + j |\Gamma_{in}| \sin\theta$$

και ποζ/ζοντας επί των συζυγών μιγαδικών των παρανο-
μαστών για το διακριτικό πραγματικό - φανταστικό:

$$r_{in} = \frac{1 - |\Gamma_{in}|^2}{1 - 2|\Gamma_{in}|\cos\theta + |\Gamma_{in}|^2}$$

$$g_{in} = \frac{1 - |\Gamma_{in}|^2}{1 + 2|\Gamma_{in}|\cos\theta + |\Gamma_{in}|^2}$$

$$x_{in} = \frac{2|\Gamma_{in}|\sin\theta}{1 - 2|\Gamma_{in}|\cos\theta + |\Gamma_{in}|^2}$$

$$b_{in} = \frac{-2|\Gamma_{in}|\sin\theta}{1 + 2|\Gamma_{in}|\cos\theta + |\Gamma_{in}|^2}$$

Αρνητική Αντίσταση -

$$r_{in} < 0 \Leftrightarrow |\Gamma_{in}| > 1$$

Αρνητική Αγωγιμότητα

$$g_{in} < 0 \Leftrightarrow |\Gamma_{in}| > 1$$

Εκτεταμένος Χάρτης Smith

Προκύπτει από την σχεδίαση των γεωμετρικών τόπων (κύκλων):

$$r_{in} = \sigma \tau \omega \quad x_{in} = j \sigma \tau \omega$$

$$g_{in} = \sigma \tau \omega \quad b_{in} = j \sigma \tau \omega$$

Χάρτης συντελεστών αντίστασης

Χάρτης συντελεστών αγωγιμότητας

Εκτεταμένος Χάρτης Smith → Αρνητικός Αντίστροφος

π.χ.
 Σημείο Β:
 $Z_B = -20 + j10$
 $\Gamma_B = 2.24 \angle 154^\circ$

π.χ.
 Σημείο Α:
 $Z_A = -75 + j50$
 $\Gamma_A = 2.24 \angle 41^\circ$

$Re(z) < 0$
 $|\Gamma| > 1$

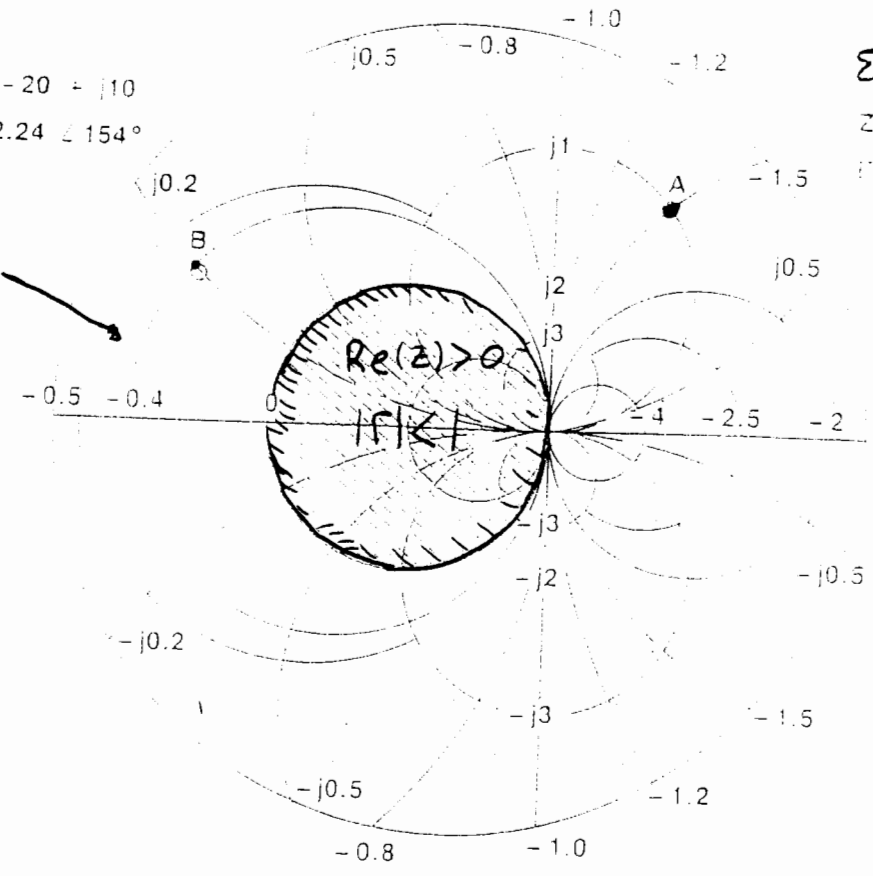
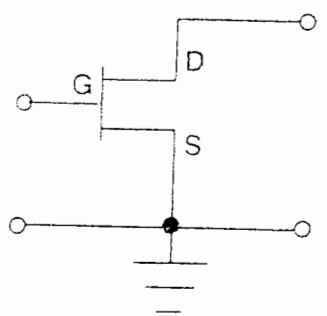


Figure 9.1 Extended Smith chart.

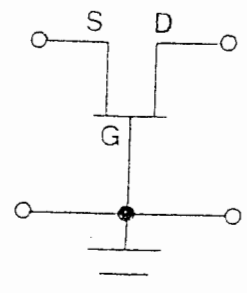
Συνδεσμολογίες Τρανζίστορ FET (Βιβλίο σ. 429)

Κοινή Πηγή



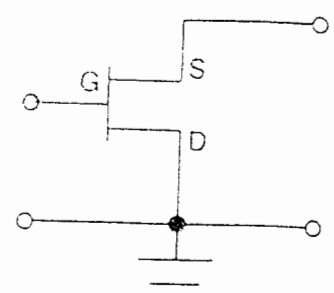
Ενίσχυση, Ταλαντωτής (a)

Κοινή Πύλη



Ταλαντωτής ευρείας ζώνης (b)

Κοινόν απαγωγόν



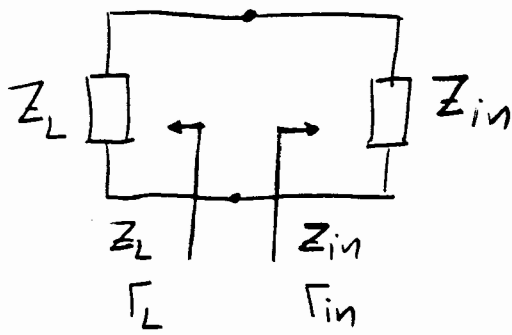
Ταλαντωτής μέγνης ισχύος (c)

Figure 9.2 Three configurations of the transistors. (a) Common source. (b) Common gate. (c) Common drain.

Τυπικές Συνδεσμολογίες Ταλαντωτή με τρανζίστορ:

FET { Κοινή Πηγή, Κοινή Πύλη
 Διπολική BJT { Κοινού Εκπομπού, Κοινή Βάση

Συνθήκες Ταξάνωσης Αρνητικής Αντίστασης με τη βοήθεια Συντελεστών Ανάκλασης:



όπου
 $\text{Re}(Z_{in}) < 0 \iff |\Gamma_{in}| > 1$

Συνθήκη Αυτοσυντηρούμενων Ταλαντώσεων: $Z_T = Z_L + Z_{in} = 0$

$$Z_L = -Z_{in} \iff Z_0 \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L} = -Z_0 \frac{1 + \Gamma_{in}}{1 - \Gamma_{in}} \rightarrow$$

$$\Gamma_{in} \Gamma_L = 1 \iff |\Gamma_{in}| = \frac{1}{|\Gamma_L|} \text{ και } \angle \Gamma_{in} + \angle \Gamma_L = n \cdot 2\pi$$

$n = 0, 1, 2, \dots$

Συνθήκες Έναρξης Ταλαντώσεων:

$$|\text{Re}(Z_{in})| > \text{Re}(Z_L) \iff |\Gamma_{in}| > \frac{1}{|\Gamma_L|}$$

$$\text{Re}(Z_T) = \text{Re}(Z_L + Z_{in}) < 0 \iff |\Gamma_L| |\Gamma_{in}| > 1$$

$$\angle Z_T = \angle Z_L + \angle Z_{in} = n \cdot 2\pi \iff \angle \Gamma_L + \angle \Gamma_{in} = n \cdot 2\pi$$

$$X_L + X_{in} = 0$$

Πρακτική Επιλογή συνθήκης έναρξης ταλαντώσεων

1) Μεταβάλλεται το κύκλωμα ανάδρασης μέχρι στον επιθυμητό Αστάθεια και μάλιστα μεγιστοποιώντας τα συντελεστές ανάκλασης των τρανζίστορ. $(\Gamma_{in})_{max}$

2) Επιλέγεται το κατάλληλο φορτίο $\Gamma_L = ;$, ώστε:
 $|\Gamma_{in}| \cdot |\Gamma_L| \approx ; 2; \iff |R_{in}| \approx 3 R_L$

Το τρανζίστορ σαν 3-θύρο.

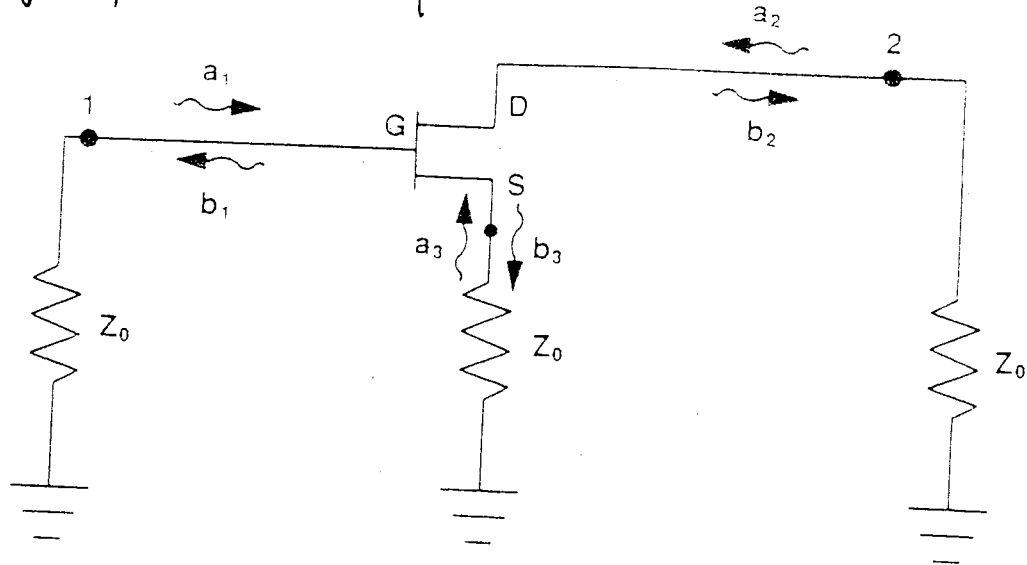


Figure 9.3 Transistor as a three-port device.

Χρήσιμη ιδιότητα } $\sum_{j=1}^3 S_{ij} = 1$ για $i=1,2,3$. Χρήσιμη όταν προσδιορίσει και διόδωση των συστημάτων στα μεταίερα.

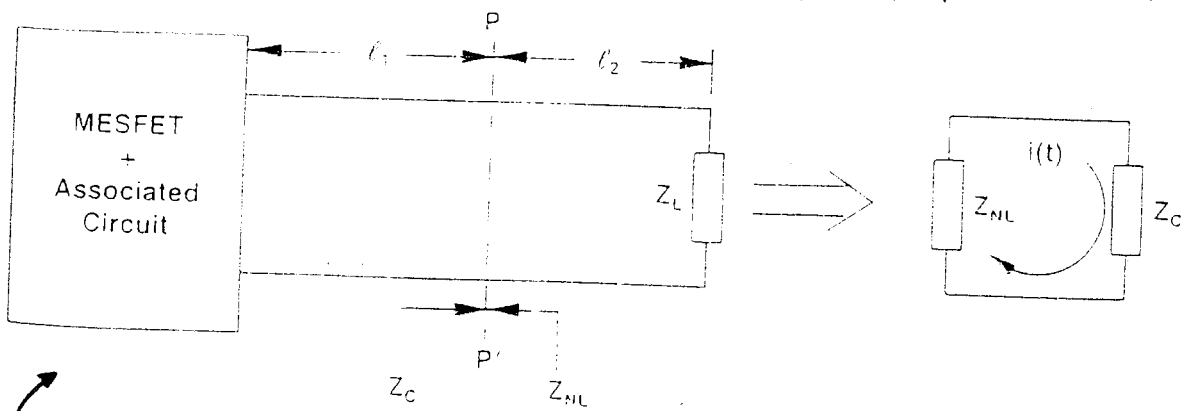


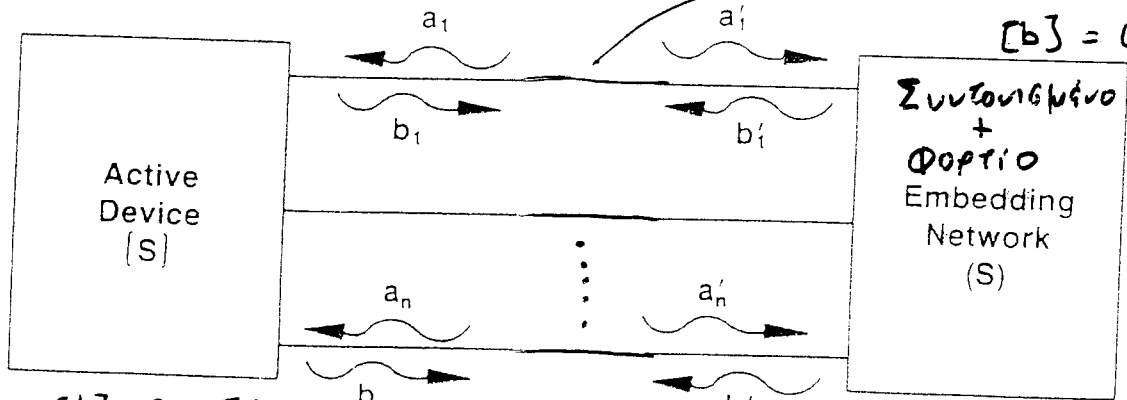
Figure 9.4 Nonlinear microwave oscillator.

Το τρανζίστορ σαν μη-γραμμικός ταλαντωτής

Γενικευμένη τοπολογία ταλαντωτή

Συνδέση: $[b'] = [a]$
 $[b] = [a']$

Bhaskara
 Eq. 432



$[b] = [S][a]$

$[b'] = [S'][a']$

Figure 9.5 Generalized oscillator configuration.

Συνθήκη ταλάντωσης - Συντονισμός } $([S][S'] - [I])[a'] = 0$
 $[a'] = [b] = [S][a] = [S][b'] = [S][S'][a']$ } $[a'] \neq 0 \rightarrow \det([S][S'] - [I]) = 0$

Συνθήκες Ταλαντώσεως - Συντονισμός και Δίδυμα Τρανζίστορ

Δίδυμο - Τρανζίστορ: $[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}$ Συντονισμός + Φορτίο $[S'] = \begin{bmatrix} \Gamma_1 & 0 \\ 0 & \Gamma_2 \end{bmatrix}$

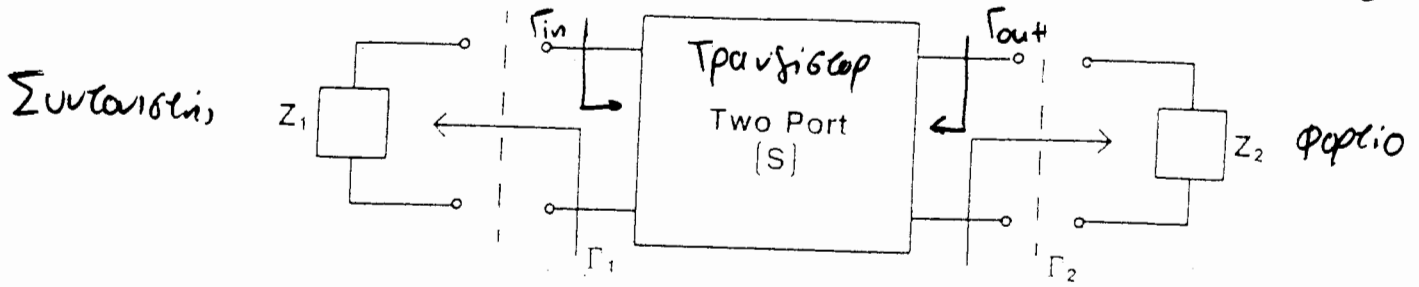


Figure 9.6 Two-port loaded with two impedances. (Bhaskia fig. 434)

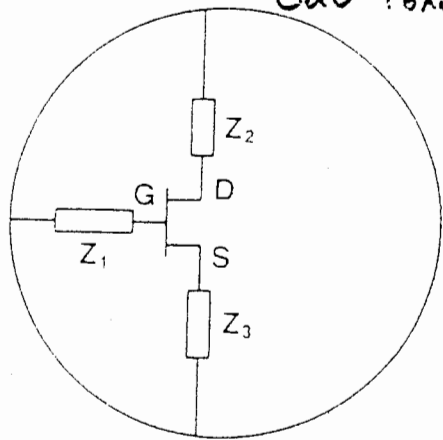
Συνθήκες Ταλαντώσεως σε Μόνιμη - Κατάσταση :

$$\det [MS] = \det ([S][S'] - [I]) \Big|_{I = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}} = \det \begin{bmatrix} S_{11}\Gamma_1 - 1 & S_{12}\Gamma_2 \\ S_{21}\Gamma_1 & S_{22}\Gamma_2 - 1 \end{bmatrix} = 0$$

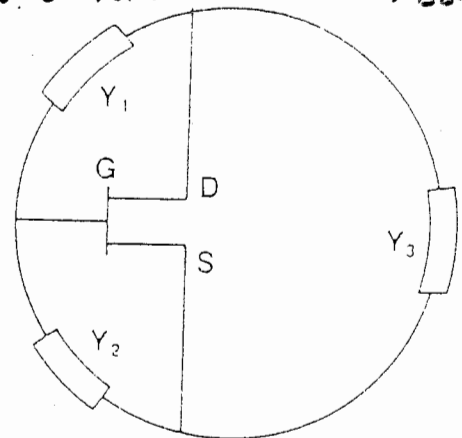
$$\rightarrow (S_{11}\Gamma_1 - 1)(S_{22}\Gamma_2 - 1) - S_{21}S_{12}\Gamma_1\Gamma_2 = 0$$

$$\rightarrow \Gamma_{in} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_2}{1 - S_{22}\Gamma_2} = \frac{1}{\Gamma_1} \quad \text{Μ.} \quad \Gamma_{out} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_1}{1 - S_{11}\Gamma_1} = \frac{1}{\Gamma_2}$$

Εάν 16χύει η μία τότε 16χύει και η άλλη



Τύπος Σειράς



Παράλληλος Τύπος

Figure 9.7 General transistor oscillator configurations. (a) Series type. (b) Parallel type.

Γενικευμένες Τοπολογίες Ταλαντωτών Τρανζίστορ (Bhaskia fig. 436)

Μια από τις συνδέσεις αντιστάσεις Z_1, Z_2, Z_3 αντιπροσωπεύει το φορτίο (ή μια από τις αγωγιμότητες Y_1, Y_2, Y_3). Τα άλλα δύο στοιχεία είναι αέρια - αντιστάσεις (L ή C).

Συνθήκες Ταλαντώσεως Τρανζίστορ

{ Kharina 4.46
Pozar 6.637

A. Συνθήκες Αυτοβυτηρούμενων Ταλαντώσεων

ΑΡΧΗ!

$$(S_{11} \Gamma_1 - 1) (S_{22} \Gamma_2 - 1) - S_{21} S_{12} \Gamma_1 \Gamma_2 = 0$$

πραφει

πραφει

$$\Gamma_{in} = S_{11} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_2}{1 - S_{22} \Gamma_2} = \frac{1}{\Gamma_1} \iff \Gamma_{out} = S_{22} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_1}{1 - S_{11} \Gamma_1} = \frac{1}{\Gamma_2}$$

Πρόκειται για δύο ισοδύναμες συνθήκες, η μία αποκτάει από την άλλη και οι δύο ανάγονται στην ①. Πρόκειται ουσιαστικά για την συνθήκη συντονισμού με βέλτερο πλάτος. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι αν ο συντονιστής συνδεθεί στην $\Gamma_{in} - 1$ και ελαβραδίσει η συνθήκη αυτοβυτηρούμενων ταλαντώσεων \implies τότε και στην $\Gamma_{out} - 2$ όπου θα συνδεθεί το φορτίο (έξοδος ταλαντωτή) θα εμφανιστούν οι ίδιες ταλαντώσεις.

Αυτοβυτηρούμενες Ταλαντώσεις

$$\left. \begin{aligned} |\Gamma_{in}| \cdot |\Gamma_1| &= 1 \\ \angle \Gamma_{in} + \angle \Gamma_1 &= n \cdot 2\pi \end{aligned} \right\} \iff \left. \begin{aligned} |\Gamma_{out}| \cdot |\Gamma_2| &= 1 \\ \angle \Gamma_{out} + \angle \Gamma_2 &= k \cdot 2\pi \end{aligned} \right\}$$

$n = 0, 1, 2, \dots$ $k = 0, 1, 2, \dots$

$|\Gamma_{in}| > 1 \leftarrow \text{ΑΣΤΑΘΕΙΑ ΚΚΙ} \rightarrow |\Gamma_{out}| > 1$

B. Συνθήκες Έμφανισης Ταλαντώσεων

$$\left. \begin{aligned} |\Gamma_{in}| \cdot |\Gamma_1| &> 1 \\ \angle \Gamma_{in} + \angle \Gamma_1 &= n \cdot 2\pi \end{aligned} \right\} \iff \left. \begin{aligned} |\Gamma_{out}| \cdot |\Gamma_2| &> 1 \\ \angle \Gamma_{out} + \angle \Gamma_2 &= k \cdot 2\pi \end{aligned} \right\}$$

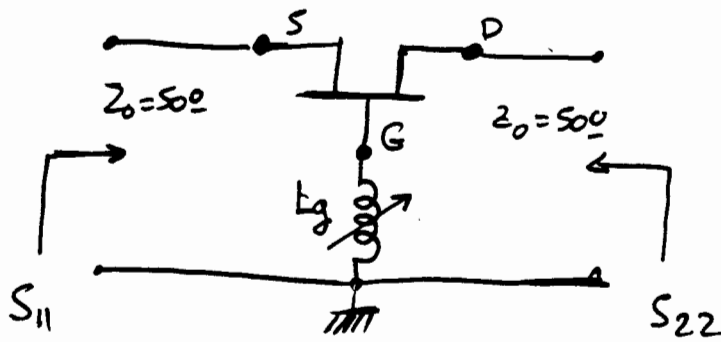
Σημείωση: $|\Gamma_{in}| > 1 \leftarrow \text{ΑΣΤΑΘΕΙΑ ΚΚΙ} \rightarrow |\Gamma_{out}| > 1$

Επειδή το τρανζίστορ λειτουργεί σαν Μη-γραμμικό στοιχείο θα πρέπει να χρησιμοποιούνται (στις πιο πάνω εξισώσεις) οι παράμετροι Σκέδασης Μεγάλου Σήματος (Large Signal S-parameters) ή χρησιμοποιήσει Μη-γραμμικά Ισοδύναμα με κυκλωπιακά τρανζίστορ.

Παράδειγμα : Σχεδιασμός Ταλαντωτή Τρανζίστορ στα 4GHz

Προτιμώμενη Διαδικασία :

- Επιλέγεται ένα δυναμει αστάθες ($K < 1$) τρανζίστορ GaAs-FET.
- Κατά προτίμηση δίνουμε ένα τρανζίστορ για το οποίο να διαθέτουμε μη-γραμμικό ηλεκτρικό ισοδύναμο κύκλωμα.
- Επιλέγουμε την κατάλληλη τοπολογία (α.κ. κοινής πύλης) και την κατάλληλη ανάδραση. Μεταβάλλουμε το κύκλωμα ανάδρασης για μεγιστοποίηση της αστάθειας $|S_{11}|_{max}$, $|S_{22}|_{max}$



Μεταβολή της L_g για επίτευξη $|S_{11}|_{max}$ $|S_{22}|_{max}$
Αυτό γίνεται με τη βοήθεια λογισμικού προσομοίωσης (CAD)

Εάν $|S_{11}|_{max} > |S_{22}|_{max}$ τότε ο συντελεστής θα συνδέει στην δύρα-1 και το φορτίο (έξοδος) στην δύρα-2, αλλιώς γίνεται το αντίστροφο.

Εστω ότι βρέθηκαν: (Pozar σελ. 637)

$$S_{11} = 2.18 \angle -35^\circ \quad S_{21} = 2.75 \angle 96^\circ$$

$$S_{22} = 0.52 \angle -155^\circ \quad S_{12} = 1.26 \angle 18^\circ$$

Επειδή $|S_{11}| > 1$ τότε οι κύκλοι ευσταθειας "έφοδου" στην δύρα-2 δίνουν ευστάθεια μέσα στους κύκλους και αστάθεια έξω.

ΠΡΟΣΟΧΗ! Ο συντελεστής ανάκλασης του φορτίου εστω Γ_L είναι $|\Gamma_L| < 1$ δηλαδή κείται μέσα στο μοναδιαίο χάρτη Smith (αφού το φορτίο είναι παθητικό) και ο Γ_L πρέπει να βρίσκεται μέσα στην ΑΣΤΑΘΗ περιοχή και μακριά από την ευστάθεια.

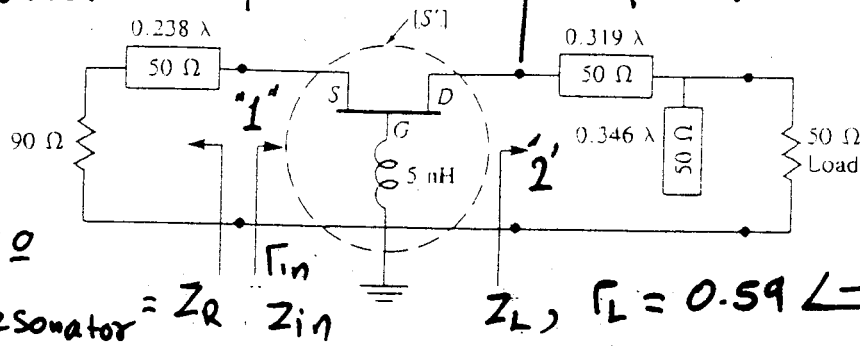
→ Μεταβάλλουμε λοιπόν τον Γ_L μέσα στην ασταθή περιοχή μέχρι να πετύχουμε μέγιστο $|\Gamma_{in}|$ στην δύρα-1

$$\Gamma_{in, \text{δύρα-1}} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L}$$

Υπολογίζεται με $z_{in} = z_0 \frac{1 + \Gamma_{in}}{1 - \Gamma_{in}}$
Επιλέγουμε ΣΥΜΤΩΝΙΣΤΗ
 $Z_S = Z_R = | -R_{in} | / 3 - j X_{in}$

Παράδειγμα Ταλαντωτή Τρανζίστορ στα 4 GHz

ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ ← ΦΟΡΤΙΟ



$$Z_R = 28 + j2.6 \Omega$$

$$Z_{\text{resonator}} = Z_R \quad \Gamma_{\text{in}} \quad Z_{\text{in}}$$

$$Z_L, \Gamma_L = 0.59 \angle -104^\circ$$

$$\Gamma_T = 0.59 \angle -104^\circ \Rightarrow \text{ΜΕΓΙΣΤΟ } \Gamma_{\text{in}} : \Gamma_{\text{in}} = 3.94 \angle -3^\circ \Rightarrow Z_{\text{in}} = -84 - j26 \Omega$$

$$\text{ΕΓΓΙ: } Z_{\text{in}} = -84 - j26 \Omega$$

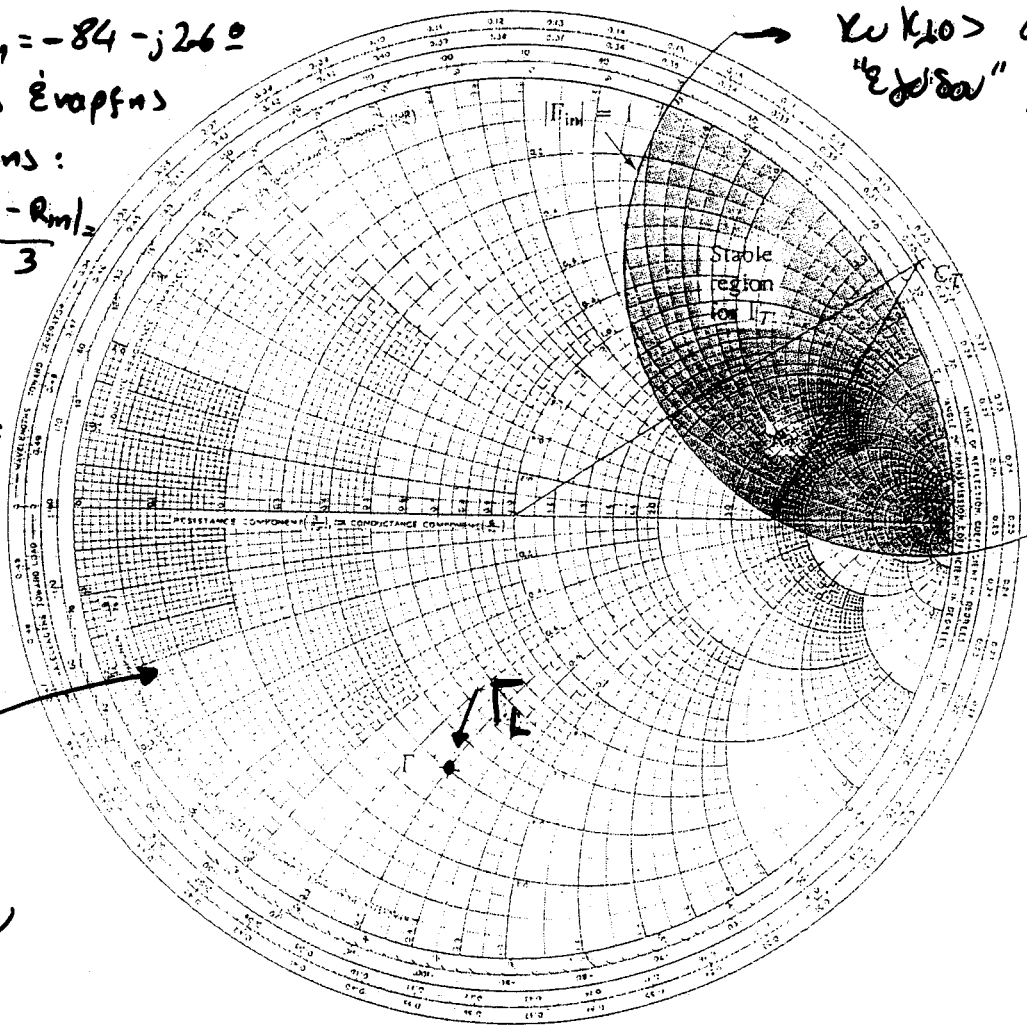
Συνθήκες Έναρξης

Ταλαντωτής:

$$\text{Re}(Z_R) = \left| \frac{-R_{\text{in}}}{3} \right| = 28 \Omega$$

$$\text{Im}(Z_R) = -\text{Im}(Z_{\text{in}}) = +j2.6 \Omega$$

Αβλαβής περιοχή επιλογής φορτίου



(b)

FIGURE 11.36

Circuit design for the transistor oscillator of Example 11.10. (a) Oscillator circuit. (b) Smith chart for determining Γ_T .

Ροζα

→ Μπορεί η τελική συχνότητα ταλαντώσεως να διαφέρει λίγο από το 4 GHz εάν η κη-σημειωμένη σταθερά του τρανζίστορ δεν ληφθεί υπόψη ή το συντελεστή δεν έχει κανονιστικό Q.

1. Επιλογή Ενέργου στοιχείου (τρανζίστορ).

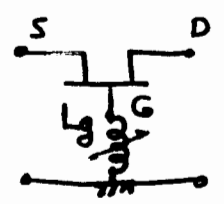
Το τρανζίστορ πρέπει να είναι δυναμει αστάθεις $K < 1$ στην επιθυμητή συχνότητα. Αποκλείονται τρανζίστορ που είναι ευσταθή ανεύ όρων $\leftrightarrow K > 1$.

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2 |S_{12}| \cdot |S_{21}|} \quad \text{και} \quad \Delta = S_{11} S_{22} - S_{12} S_{21}$$

2. Επιλογή Τοπολογίας + Κυκλώματος Ανάδρασης.

Η επιλογή των "κοινών" ακροδέκων είναι πολύ σημαντικό βήμα:

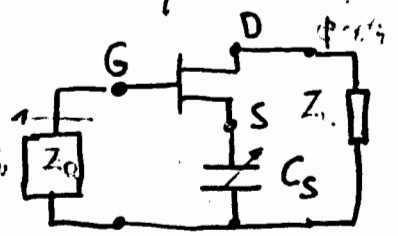
- Sweet, σελ. 212: Για ταλαντωτές ααής σταθερής συχνότητας (fixed-f) η τοπολογία κοινής-πύλης με επαγωγική ανάδραση είναι πολύ αποδοτική. \leftrightarrow Δίνει ένα πολύ στενό εύρος ζώνης "Αρνητικός Αντίστασης" γύρω από την συντονιστική μετρή C_{gs} του FET και της ανάδρασης L_g .



$$f_0 = 1 / (2\pi \sqrt{L_g C_{gs}})$$

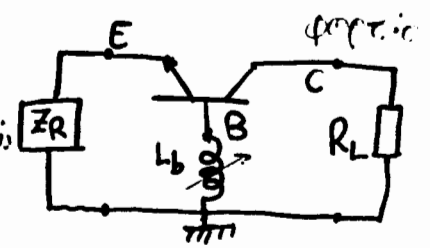
\rightarrow Κατασκευή ανεπιώθητων ταλαντωτών

- Sweet, σελ. 212. Για συντονισμένους ταλαντωτές ευρείας ζώνης είναι προτιμώτερη η συνδεσμολογία κοινής πύλης με χωρητική ανάδραση:



- \rightarrow αρνητική αντίσταση $-10 \text{ έως } -170 \Omega$ χαμηλότερη συχνότητα 3GHz, υψηλότερη 40GHz

- Sweet σελ. 180. Για συντονισμένους ταλαντωτές ευρείας ζώνης αλλά στην χαμηλή μικροκυματική ζώνη προτιμούνται Si-BJT κοινής βάσης με επαγωγική ανάδραση



\rightarrow χρήση από d.c. μέχρι $\sim 12 \text{ GHz}$

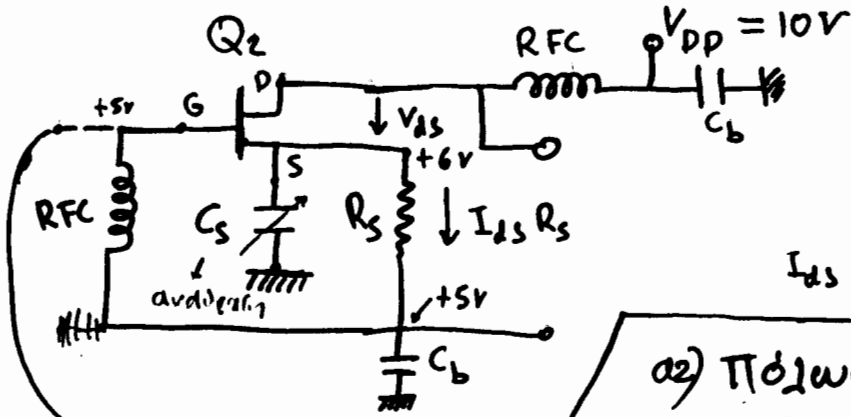
3. Επιλογή της d.c. Πόρωσης

GaN-FET κοινής-πύλης + ανάδραση C_s (V_{ds}, I_{ds}) και (V_{gs}, I_{gs})
 $(+5V, 50mA)$ $V_{gs} (-1V, 1mA)$
 γενικά επιλογή της V_{gs} έτσι ώστε $I_{ds} \cong I_{dss} / 2$

3. Επιλογή της d.c. Πόλωσης

α) Για AS-FET κοινής πύλης με χωρητική ανάδραση C_s

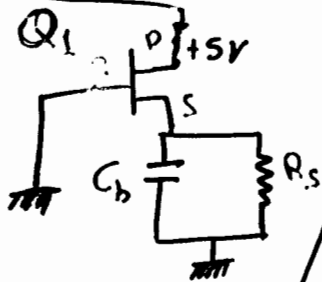
(Sweet Gr. 209)



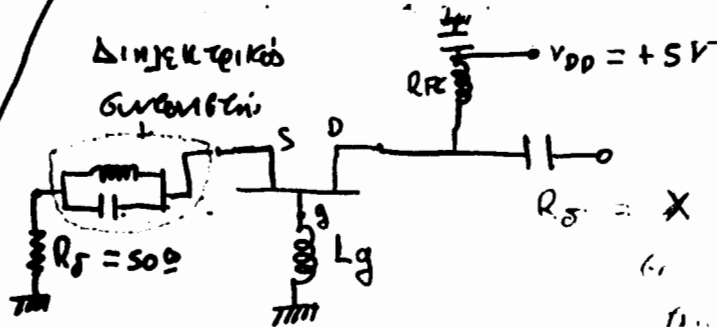
$$V_{ds} = 4V$$

$$I_{ds} \approx 50mA$$

$$I_{ds} R_s = 1V \rightarrow V_{gs} = -1V$$



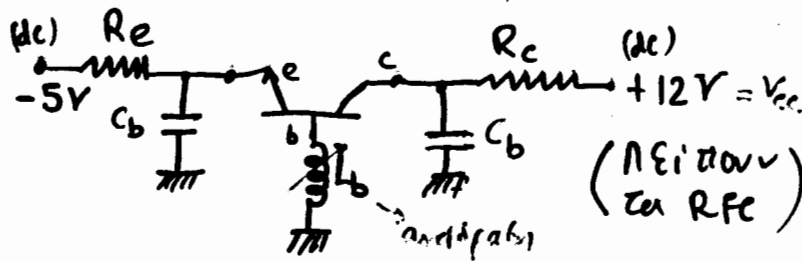
α2) Πόλωση κοινής πύλης



β) Si-BJT: Διπολικό κοινής Βάσης με Εδαγωγική ανάδραση (L_b)
 Τυπικές Τιμές $(V_{ce}, I_{ce}) = (+5V, 50mA)$
 $(-1V, 20mA)$

Παράδειγμα:

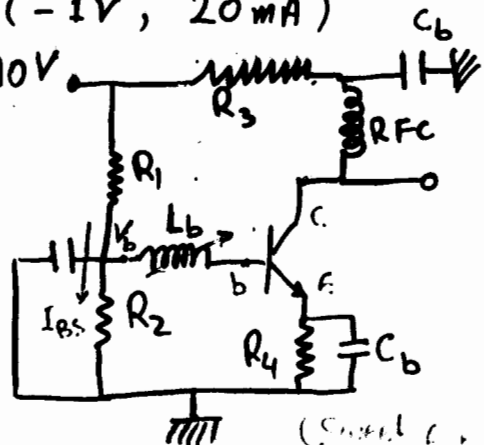
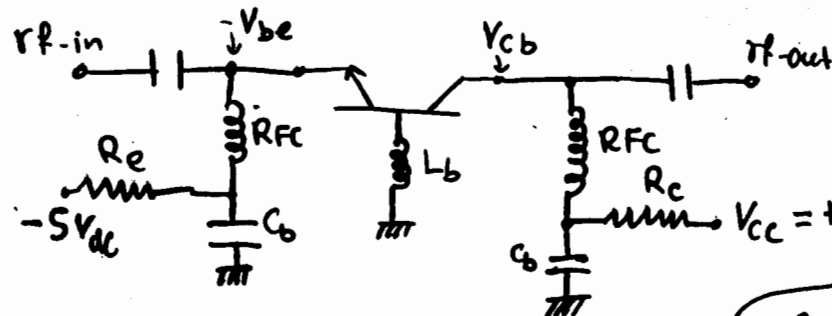
(Sweet, Gr. 197, 274)



$$I_e \approx I_c = 17mA, V_{cb} = +10V, V_{be} = 0.7V$$

$$V_{be} + I_e R_e = 5V \rightarrow R_e = 282.7\Omega$$

$$V_{cc} = I_c R_c + V_{cb} \rightarrow R_c = 133.3\Omega$$



$$V_{ce} = 8V, V_{be} = 0.7V$$

$$I_c = 20mA, I_{bs} = 5mA$$

$$V_{cc} = I_c R_3 + V_{ce} + I_c R_4$$

$$V_{cc} = I_{bs} (R_1 + R_2) \quad | \quad I_b \ll I_{bs}$$

$$V_b = I_{bs} R_2 = V_{be} + V_e$$

$$\text{Επίσης } V_e = 1V = I_c R_4$$

$$R_4 = 50\Omega, R_2 = 340\Omega, R_1 = 1660\Omega, R_3 = 50\Omega$$

4. Επιλογή - Προσδιορισμός του στοιχείου Ανάδρασης.

Μεταβαλλόμε - Σαρώνουμε τις τιμές του στοιχείου ανάδρασης L_g ή C_s ή L_b (με τη βοήθεια λογισμικών CAD) και προσπαθούμε να μεγιστοποιήσουμε τους συντελεστές ανάκλασης στις δύο θύρες $|S_{11}|_{max}$, $|S_{22}|_{max}$ φυσικά μέσα στην αβλαβή περιοχή $K < 1$ και $|S_{11}| > 1$, $|S_{22}| > 1$.

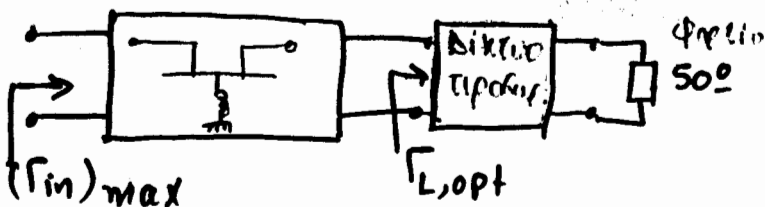
Για το στάδιο αυτό είναι προτιμώτερη η χρήση "μη-γραμμικού" ηλεκτρικού ισοδύναμου κυκλώματος για το τρανζίστορ. Το στάδιο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με παράμετρους που έχουν ορισμένα μετρηθεί στην επιθυμητή π.ρ. τιμών.

- Στην θύρα με το μεγαλύτερο συντελεστή ανάκλασης θα συνδεθεί ο συντονιστής (αν $|S_{11}| > |S_{22}| \rightarrow$ στη θύρα -1) και στην άλλη το φορτίο εξόδου (έξοδος ταλαντωτή).

5. Σχεδιασμός κύκλου ενστάθειας - Προσδιορισμός βέλτιστων φορτίων Γ

- Σχεδιάζουμε τους κύκλους ενστάθειας εξόδου (θύρα συνδεθεί φορτίου). (έστω θύρα -2)
- Μεταβαλλόμε τον συντελεστή ανάκλασης φορτίου $|\Gamma|$, $\angle \Gamma$ μέσα στην Αβλαβή περιοχή και σχετικά μακριά από την ενστάθια, παρατηρώντας ταυτόχρονα την είσοδο. Ο βέλτιστος συντελεστής ανάκλασης φορτίου Γ_{opt} επισημαίνεται όταν ο συντελεστής ανάκλασης στην είσοδο (Γ_{in}) δίνει μέγιστος $\rightarrow (\Gamma_{in})_{max}$

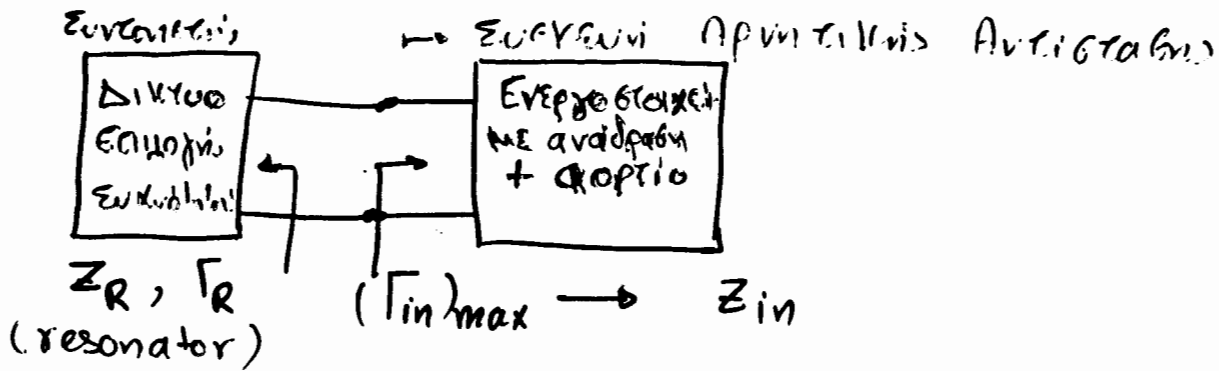
έστω θύρα -1 η είσοδος $\Rightarrow \Gamma_{in} = S_{11} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L}$



Είναι απαραίτητη η χρήση διανυσματικού προγράμματος χωρίς εχθρές να μπορεί να χρησιμοποιηθεί το $\Gamma_{L,opt}$.

- 6) Σχεδιάζουμε το δίκτυο προβαρμητής εξόδου - φορτίου έτσι ώστε το επιθυμητό ωαίο φορτίο 50Ω να απεικονίζεται ως Γ_{opt}

7. ΣΧΕΔΙΑΣΟΥΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ - ΣΥΝΤΟΜΙΣΤΗΣ



- υπολογίζουμε την αρνητική αντίσταση είσοδου του ενεργού στοιχείου (μαζί με το βέλτιστο φορτίο του)

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1 + (\Gamma_{in})_{max}}{1 - (\Gamma_{in})_{max}} = (-R_{in}) + j X_{in}$$

Όπου $Re(Z_{in}) = (-R_{in}) < 0 \iff$ Αρνητική Αντίσταση

- Οι υπολογισμοί γίνονται στην ειδική συχνότητα ταλαντώσεως (f_0)
- Σχεδιάζουμε το δίκτυο επιλογής συχνότητας έτσι ώστε να πληρούνται οι συνθήκες Ένταξης Ταλαντώσεως.
 $X_R(f_0) = -X_{in}(f_0)$

$$R_R(f_0) = \frac{|-R_{in}(f_0)|}{n} \quad \left] \begin{array}{l} \text{Συνιδεως} \\ n=3 \end{array} \right[R_R = \frac{|-R_{in}|}{3}$$

- Κάτω το ενεργό στοιχείο θα οδηγείται στον κεραικό με την συνεχή αύξηση των πλατών των ταλαντώσεων \implies
 \implies θα φθάσουμε στις βωδικές μοδίες κατεβλάσει.
 $X_R(f_0') = -X_{in}(f_0') \quad R_R = |-R_{in}(f_0')|$

Προσοχή! Ποζω της μη γραμμικότητας του ενεργού στοιχείου (αφού οδηγείται στον κεραικό) η $Z_{in}(f)$ αλλάζει \implies η τέλει συχνότητα ταλαντώσεως f_0' διαφέρει ^{αίτιο} από αυτή της Ένταξης ταλ. f_0

Επίσης! με την είσοδο του συντονιστή ο συντελεστής ανάδρασης εφόδα τα τρανζίστορ (Γ_{out}) αλλάζει λίγο \implies εφείσουμε λίγο από την τιποβαρμω

8. Επαναληπτική Διαδικασία \rightarrow Για διόρθωση αποκλίσεων.

\rightarrow Αφού τελειώσει ο πρώτος κύκλος σχεδιασμού εάν η απόκλιση στην συχνότητα ταλάνωσης $f_0 \rightarrow f_0'$ είναι μικρή τότε μπορεί να γίνει αποδεκτή.

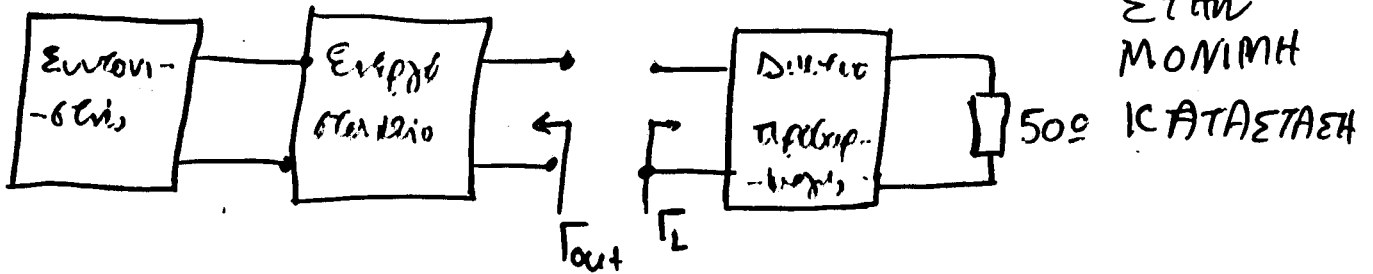
\rightarrow Για να διαπιστωθεί το φαινόμενο αυτό είναι απαραίτητο η χρήση μη-γραμμικού μοντέλου των τρανζίστορ.

\rightarrow Ο καλύτερος ίσως τρόπος διόρθωσης της $f_0' \rightarrow f_0$ είναι η πρόβλεψη μεταβλητών στοιχείων στον συντονισμό για τελικές ρωμίσεις στην πράξη.

π.χ. Βίδες συντονισμού σε κοιλότητες - αυτιά

\rightarrow Η βελτίωση της προσαρμογής εξόδου μπορεί να γίνει με επαναληπτική διαδικασία.

• Με τον κατάλληλο συντονισμό συνδεδεμένο στην είσοδο προδίδοι ο συντελεστής ανάκλασης εξόδου (Γ_{out})



• Τροποποιείται το δίκτυο προσαρμογής ώστε να δίνει

$$\Gamma_L = \Gamma_{out}^*$$

$$\rightarrow |\Gamma_{out}| = 1 / |\Gamma_L|$$

$$\angle \Gamma_{out} + \angle \Gamma_L = k \cdot 2\pi$$

} Πειραματικά
επιλέγεται f_0