ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

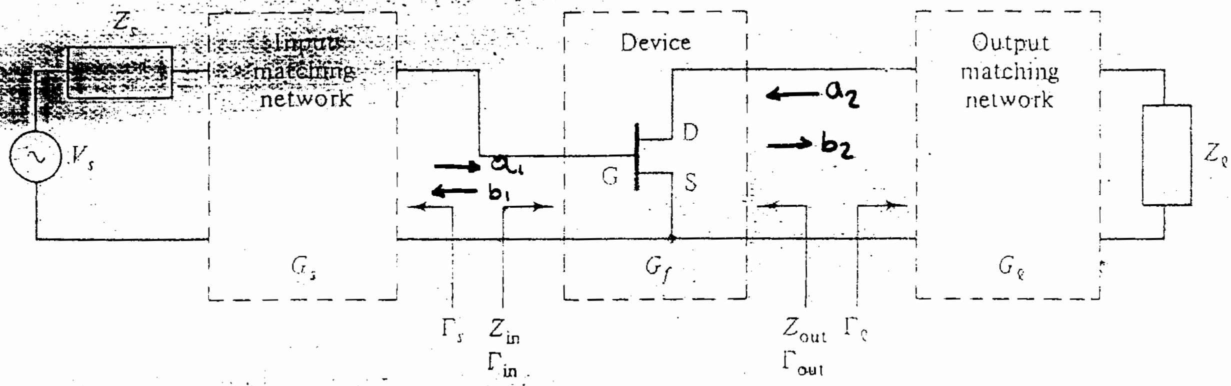
Σελίδα

Σχεδιασμός Μικροκυματικών Ενισχυτών

- Κέρδος Ισχύος Ενεργού Στοιχείου 3- 2
- Κέρδος Διαθέσιμης Ισχύος 3- 5
- Κέρδος Λειτουργίας Ενισχυτών 3- 7
- Ευστάθεια Ενισχυτών 3- 8
- Κριτήρια Ευστάθειας 3-10
- Κύκλοι Σταθερού Κέρδους 3-13
- Διαδικασία Σχεδιασμού Ενισχυτών 3-20

[redacted]

Κυκλώματα Προσαρμογής Ενισχυτή - Διθύρα (γενικά)



Εξισώσεις - Ορισμοί Κέρδους Ισχύος Μικροκυματικών Ενεργών στοιχείων

1. Κέρδος Ισχύος Ενεργού στοιχείου
2. Κέρδος Διαθέσιμης Ισχύος
3. Κέρδος Ισχύος Λειτουργίας

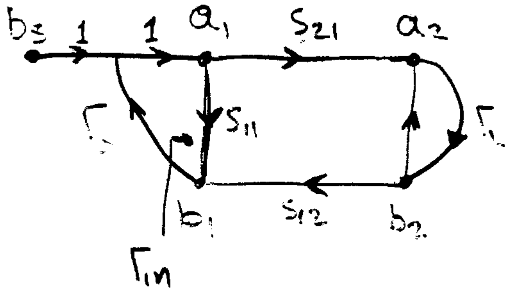
1. Κέρδος Ισχύος Ενεργού Στοιχείου G_t (Transducer Power Gain)

$$G_t = \frac{P_L}{P_{avs}} = \frac{\text{Ισχύς που αποδίδεται στο φορτίο}}{\text{Ισχύς διαθέσιμη απο την πηγή (μέγιστη)}}$$

$$P_L = \underbrace{\frac{1}{2}|b_2|^2}_{\text{προσπίπτουσα}} - \underbrace{\frac{1}{2}|a_2|^2}_{\text{ανακλώμενη ισχύς στο φορτίο.}} = \frac{1}{2}|b_2|^2\left\{1-|\Gamma_L|^2\right\}$$

όπου $\Gamma_L = \dfrac{a_2}{b_2} = \dfrac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$ = συν/στης ανάκλασης φορτίου

Ισχύς απορροφούμενη (εισερχόμενη στο δίθυρο): $P_{in} = P_{προσπ.} - P_{ανακλ.}$



$$P_{in} = \frac{1}{2}|a_1|^2 - \frac{1}{2}|b_1|^2 = \frac{1}{2}|a_1|^2\left(1-|\Gamma_{in}|^2\right) =$$

$$= \frac{1}{2}\frac{|b_s|^2}{|1-\Gamma_s\Gamma_{in}|^2}\cdot\left(1-|\Gamma_{in}|^2\right)$$

Σ αφειών

$$\begin{cases} a_1 = b_s + \Gamma_s b_1 = b_s + \Gamma_s\Gamma_{in} a_1 \\ \Gamma_{in} = b_1/a_1 = \dfrac{Z_{in}-Z_0}{Z_{in}+Z_0} \end{cases} \quad a_1 = \frac{b_s}{1-\Gamma_s\Gamma_{in}}$$

$\left.\begin{matrix}\text{Υπο συνθήκες συζυγούς προσαρμογής} \\ \text{Πηγής - Διθύρου}\end{matrix}\right\}$ $Z_s = Z_{in}^*$ ή $\Gamma_s = \Gamma_{in}^*$

$$P_{avs} = P_{in}\Big|_{\Gamma_s = \Gamma_{in}^*} = \frac{1}{2}\frac{|b_s|^2}{|1-|\Gamma_s|^2|^{\cancel{2}}}\cancel{(1-|\Gamma_s|^2)} = \frac{1}{2}\frac{|b_s|^2}{1-|\Gamma_s|^2}$$

Κέρδος G_t

$$G_t = \frac{P_L}{P_{avs}} = \frac{|b_2|^2}{|b_s|^2}\left(1-|\Gamma_L|^2\right)\left(1-|\Gamma_s|^2\right)$$

1. Κέρδος Ισχύος Ενεργού Στοιχείου:

→ Εφαρμογή κανόνων Mason στη διάταξη Πηγή - Δίθυρο - Φορτίο

$$\frac{b_2}{b_s} = \frac{S_{21}}{1 - S_{22}\Gamma_L - S_{11}\Gamma_S - S_{21}S_{12}\Gamma_S\Gamma_L + S_{11}S_{22}\Gamma_S\Gamma_L}$$

Ομοίως:

$$\Gamma_{in} = \frac{b_1}{a_1} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} = \frac{S_{11} - (S_{11}S_{22} - S_{12}S_{22})\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L}$$

Θέτουμε: $\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$

Οπότε:

$$\Gamma_{in} = \frac{S_{11} - \Delta\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} \quad \text{και} \quad \frac{b_2}{b_s} = \frac{S_{21}}{(1 - S_{22}\Gamma_L)(1 - \Gamma_S\Gamma_{in})}$$

Κέρδος ενεργού στοιχείου:

$$G_t = \frac{|S_{21}|^2}{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2\,|1 - \Gamma_S\Gamma_{in}|^2} \cdot (1 - |\Gamma_L|^2)(1 - |\Gamma_S|^2)$$

ή

$$G_t = \underbrace{\frac{1 - |\Gamma_S|^2}{|1 - \Gamma_S\Gamma_{in}|^2}} \cdot \underbrace{|S_{21}|^2} \cdot \underbrace{\frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2}}$$

Εναλλακτικά με το συν/στη ανάκλασης Εξόδου:

$$\Gamma_{out} = \frac{b_2}{a_2} = \frac{Z_{out} - Z_0}{Z_{out} + Z_0} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S} = \frac{S_{22} - \Delta\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S}$$

$$\frac{b_2}{b_s} = \frac{S_{21}}{(1 - S_{11}\Gamma_S)(1 - \Gamma_L\Gamma_{out})}$$

Οπότε:

$$G_t = \underbrace{\frac{1 - |\Gamma_S|^2}{|1 - S_{11}\Gamma_S|^2}} \cdot \underbrace{|S_{21}|^2} \cdot \underbrace{\frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - \Gamma_L\Gamma_{out}|^2}}$$

Διάκριση Περιπτώσεων:

1α. Κέρδος ενεργού στοιχείου για προσαρμογή χωρίς ανακλάσεις $\Gamma_S = 0$ και: $\Gamma_L = 0$

$Z_S = Z_0 \rightarrow \Gamma_S = 0$ } ή με την χρήση δικτύων
$Z_L = Z_0 \rightarrow \Gamma_L = 0$ } προσαρμογής - Z_0

$$G_{tm} = G_t \Big|_{\Gamma_S = \Gamma_L = 0} = |S_{21}|^2$$

1β. Μονόπλευρο Κέρδος (Unilateral Tranducer Gain) G_{tu}

Στους ενισχυτές με Ανάδραση είναι δυνατόν να επιτευχθεί μηδενικό αντίστροφο κέρδος, $\underline{\underline{S_{12} = 0}}$

$S_{12} = 0 \rightarrow \begin{cases} \Gamma_{in} = S_{11} \\ \Gamma_{out} = S_{22} \end{cases}$ με κατάλληλη ρύθμιση - επιλογή των κυκλώματος ανάδρασης.

Ορθό Κέρδος:

$$G_{tu} = G_t \Big|_{\substack{S_{12}=0 \\ \Gamma_{in} = S_{11},\ \Gamma_{out} = S_{22}}} = \frac{1 - |\Gamma_S|^2}{|1 - S_{11}\Gamma_S|^2} \cdot |S_{21}|^2 \cdot \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2}$$

1γ. Μέγιστο Μονόπλευρο Κέρδος: G_{tumax}

Είναι το ορθό κέρδος του μονόπλευρου ενισχυτή ($S_{12} = 0$) υπό συνθήκες συζυγούς προσαρμογής (μέγιστης μεταφοράς ισχύος)

$\begin{cases} \text{Πηγής - Διθύρου} \rightarrow Z_S = Z_{in}^* \text{ ή } \Gamma_S = \Gamma_{in}^* = S_{11}^* \\ \text{Διθύρου - Φορτίου} \rightarrow Z_L = Z_{out}^* \text{ ή } \Gamma_L = \Gamma_{out}^* = S_{22}^* \end{cases}$

Η συζυγής προσαρμογή επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των δικτύων προσαρμογής εισόδου, εξόδου.

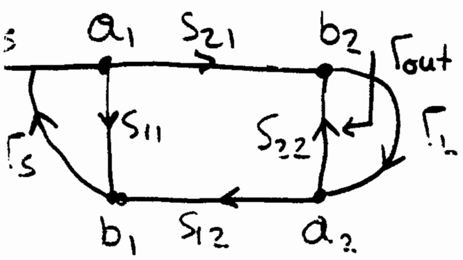
$$G_{tu,max} = G_{tu} \Big|_{\substack{\Gamma_S = S_{11}^* \\ \Gamma_L = S_{22}^*}} = \frac{|S_{21}|^2}{(1 - |S_{11}|^2) \cdot (1 - |S_{22}|^2)}$$

2. Κέρδος Διαθέσιμης Ισχύος G_a

$$G_a = \frac{P_{avN}}{P_{avS}} = \frac{\text{Ισχύς διαθέσιμη από το δίθυρο δίκτυο (ενεργό στ.)}}{\text{Ισχύς διαθέσιμη από την πηγή}}$$

P_{avN} = η ισχύς που αποδίδεται στο φορτίο υπό συνθήκες συζυγούς προσαρμογής μεταξύ εξόδου διθύρου - φορτίου:

$$P_{avN} = P_L \Big|_{\substack{Z_L = Z_{out}^* \\ \Gamma_L = \Gamma_{out}^*}} = \frac{1}{2} |b_2|^2 \left(1 - |\Gamma_{out}^*|^2\right)$$



$$P_L = \frac{1}{2}|b_2|^2 - \frac{1}{2}|a_2|^2 = \frac{1}{2}|b_2|^2\left(1 - |\Gamma_L|^2\right)$$

$$\Gamma_L = \frac{a_2}{b_2}$$

$$\Gamma_{out} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S} = \frac{S_{22} - \Delta \cdot \Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S}$$

Κέρδος G_a:

$$G_a = \frac{|b_2|^2}{|b_S|^2}\left(1 - |\Gamma_{out}^*|^2\right)\left(1 - |\Gamma_S|^2\right)$$

και $|\Gamma_{out}^*|^2 = |\Gamma_{out}|^2$

Και

$$\frac{b_2}{b_S} = \frac{S_{21}}{(1 - S_{11}\Gamma_S)(1 - \Gamma_L\Gamma_{out})} = \frac{S_{21}}{(1 - S_{22}\Gamma_L)(1 - \Gamma_S\Gamma_{in})}$$

Άρα:

$$G_a = \underbrace{\frac{1 - |\Gamma_S|^2}{|1 - S_{11}\Gamma_S|^2}} \cdot \underbrace{|S_{21}|^2} \cdot \underbrace{\frac{1}{(1 - |\Gamma_{out}|^2)}}$$

Ισχύει:

$$\frac{\left(1 - |\Gamma_{out}^*|^2\right)}{|1 - \Gamma_L\Gamma_{out}|^2}\Bigg|_{\Gamma_L = \Gamma_{out}^*} = \frac{\cancel{\left(1 - |\Gamma_{out}|^2\right)}^{\,1}}{\left(1 - |\Gamma_{out}|^2\right)^{\cancel{2}}}$$

2a. Μέγιστο Κέρδος Διαθέσιμης Ισχύος $G_{a,max}$
(Δίπλευρη (bilateral) αφίσλωση).

Είναι το Κέρδος που επιτυγχάνεται υπό συνθήκες ταυτόχρονης συζυγούς προσαρμογής Πηγής - Εισόδου, Εξόδου - φορτίου, δηλαδή υπό συνθήκες μέγιστης μεταφοράς ισχύος.

$$\left.\begin{aligned} \Gamma_{in} &= \Gamma_S^* \quad \text{ή} \quad Z_{in} = Z_S^* \\ \Gamma_{out} &= \Gamma_L^* \quad \text{ή} \quad Z_{out} = Z_L^* \end{aligned}\right\} \quad G_{a,max} = G_a \Big|_{\substack{\Gamma_S = \Gamma_{in}^* \\ \Gamma_L = \Gamma_{out}^*}}$$

Θέτοντας

$$\Gamma_S = \Gamma_{in}^* = \left(\frac{S_{11} - \Delta \cdot \Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L}\right)^* \qquad \Gamma_L = \Gamma_{out}^* = \left(\frac{S_{22} - \Delta \cdot \Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S}\right)^*$$

Αντικαθιστώντας στην προηγούμενη έκφραση τα Γ_S και Γ_{out}, παίρνουμε το μέγιστο κέρδος:

$$G_{a,max} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} \cdot \left|K - \sqrt{K^2 - 1}\right|$$

Όπου:

$$K = \frac{1 + |\Delta|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2\,|S_{12} S_{21}|}$$

Και:

$$\Delta = S_{11} S_{22} - S_{12} S_{21}$$

$K \geq 1$ Ευσταθής Ενίσχυση

$K < 1$ Ασταθής Ενίσχυση
↳ Ταλαντώσεις.

Μέγιστο Ευσταθές Κέρδος: G_{msg}

$$K = 1 \rightarrow G_{msg} = G_{a,max}\Big|_{K=1} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|}$$

3. Κερδος Λειτουργιας Ενισχυτών: G_p

$$G_p = \frac{P_L}{P_{in}} = \frac{\text{Ισχύς που αποδίδεται στο φορτίο}}{\text{Ισχύς εισερχόμενη στο δίθυρο}}$$

$$P_L = \frac{1}{2}|b_2|^2 \{1 - |\Gamma_L|^2\}$$

$$P_{in} = \frac{1}{2}|a_1|^2 (1 - |\Gamma_{in}|^2) = \frac{1}{2}|b_s|^2 \frac{1 - |\Gamma_{in}|^2}{|1 - \Gamma_s \Gamma_{in}|^2}$$

Αρα:

$$G_p = \frac{|b_2|^2}{|b_s|^2} (1 - |\Gamma_L|^2) \frac{|1 - \Gamma_s \Gamma_{in}|^2}{1 - |\Gamma_{in}|^2}$$

αλλα:

$$\frac{b_2}{b_s} = \frac{S_{21}}{(1 - S_{22}\Gamma_L)(1 - \Gamma_s \Gamma_{in})} \quad \text{Kai} \quad \Gamma_{in} = \frac{S_{11} - \Delta \Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L}$$

Αρα:

$$G_p = \underbrace{\frac{1}{1 - |\Gamma_{in}|^2}} \cdot \underbrace{|S_{21}|^2} \cdot \underbrace{\frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2}} \cdot \cancel{\frac{|1 - \Gamma_s \Gamma_{in}|^2}{|1 - \Gamma_s \Gamma_{in}|^2}}$$

Αντικαθιστώντας την έκφραση του Γ_{in} παίρνουμε:

$$G_p = |S_{21}|^2 \cdot \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{\frac{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2 - |S_{11} - \Delta \Gamma_L|^2}{\cancel{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2}}} \cdot \cancel{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2}$$

Ετσι:

$$G_p = |S_{21}|^2 \cdot g_L \quad \text{όπου:} \quad g_L = \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2 - |S_{11} - \Delta \Gamma_L|^2}$$

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ

Η ευστάθεια ή η αντίσταση (αδράνεια) ενός ενισχυτή στην παραγωγή ταλαντώσεων καθορίζεται από:

→ την σύνθετη αντίσταση της ισοδύναμης πηγής

→ τις S-παραμέτρους του ενισχυτή

→ την σύνθετη αντίσταση του φορτίου.

Αστάθεια ή Ταλαντώσεις } Είναι δυνατό να παρουσιασθούν (όχι πάντοτε) αν: $Re(Z_{in}) < 0 \leftrightarrow |\Gamma_{in}| > 1$ ή $Re(Z_{out}) < 0 \leftrightarrow |\Gamma_{out}| > 1$

Ακόμη όμως και

Υπό αυτές τις συνθήκες ο ενισχυτής μπορεί να είναι ευσταθής.

Συσχετίσεις:

$$\left.\begin{aligned} Z &= R + jX \\ Z_0 &= real = R_0 \end{aligned}\right\} \frac{Z}{Z_0} = r + jx = z \Bigg\} \Gamma = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} = \frac{\frac{Z}{Z_0} - 1}{\frac{Z}{Z_0} + 1} = \frac{z-1}{z+1}$$

άρα: $$\Gamma = \frac{(r-1) - jx}{(r+1) + jx} \Rightarrow |\Gamma|^2 = \frac{(r-1)^2 + x^2}{(r+1)^2 + x^2} \Bigg\} \underline{r < 0 \rightarrow |\Gamma| > 1}$$

Τύποι Ευστάθειας Ενισχυτών:

1. Ευστάθεια χωρίς όρους

Ένα δίθυρο (ενισχυτής) είναι ευσταθές χωρίς όρους (πάντοτε) αν: $Re(Z_{in})$, $Re(Z_{out}) > 0$ για οποιαδήποτε (θετική) αντίσταση πηγής ή φορτίου [$Re(Z_S) > 0$, $Re(Z_{out}) > 0$], δηλαδή για $|\Gamma_S| \leq 1$, $|\Gamma_L| \leq 1$. Δηλαδή για οποιαδήποτε αντίσταση μέσα στο χάρτη Smith (μοναδιαίας ακτίνας)

2. Ευστάθεια υπό συνθήκες:

Ένα δίθυρο (ενισχυτής) είναι ευσταθές υπό όρους αν $Re(Z_{in})$, $Re(Z_{out}) > 0$ για κάποιες μόνο τιμές των θετικών αντιστάσεων πηγής και φορτίου. Δηλαδή, σε τμήματα μόνο του χάρτη Smith.

Κύκλοι Ευστάθειας $\begin{cases} \text{Vedelin σελ. 48} \\ \text{Liao σελ. 97} \end{cases}$

Το κέρδος ενός ενισχυτή χωρίς εξωτερική ανάδραση γίνεται μέγιστο όταν η είσοδος και η έξοδος είναι συζυγώς προσαρμοσμένες: $\Gamma_S = \Gamma_{in}^*$ και $\Gamma_L = \Gamma_{out}^*$

Προκειμένου ο ενισχυτής να είναι ευσταθής άνευ όρων πρέπει: $|S_{11}| \leq 1$, $|S_{22}| \leq 1$, $|\Gamma_{in}| \leq 1$, $|\Gamma_{out}| \leq 1$

αλλά:

$$|\Gamma_{in}| = \left| \frac{S_{11} - \Delta \Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} \right| \qquad |\Gamma_{out}| = \left| \frac{S_{22} - \Delta \Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S} \right|$$

Επομένως η συνθήκη $|\Gamma_{in}| \leq 1$ καθορίζει τις επιτρεπτές τιμές του Γ_L και η $|\Gamma_{out}| \leq 1$ τις επιτρεπτές τιμές του Γ_S

Αντίστοιχα οι γεωμετρικοί τόποι $|\Gamma_{in}| = 1$ και $|\Gamma_{out}| = 1$ καθορίζουν τα όρια της ευσταθούς (ή ασταθούς) περιοχής, προκύπτουν έτσι οι κύκλοι ευστάθειας.

Ορισμοί: ΚΥΚΛΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

$$S_{ij} = S_{ijR} + j S_{ijI}, \quad \Delta = \Delta_R + j\Delta_I, \quad \Gamma_L = U_2 + jV_2$$

Παίρνουμε το μέτρο $|\Gamma_{in}| = 1$ και υψώνουμε στο τετράγωνο:

$$|S_{11} - \Delta\Gamma_L|^2 = |1 - S_{22}\Gamma_L|^2 \rightarrow \text{πράξεις + διαχωρισμός όρων } U_2 \text{ και } V_2:$$

$$(U_2 - U_{2L})^2 + (V_2 - V_{2L})^2 = r_L^2 \quad \text{Κύκλος ευστάθειας του } \Gamma_L$$

Κέντρο $C_L = U_{2L} + jV_{2L} = \dfrac{(S_{22} - \Delta S_{11}^*)^*}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2}$

Ακτίνα $r_L = \dfrac{|S_{12}S_{21}|}{||S_{22}|^2 - |\Delta|^2|}$

Αν το σημείο $U_2 + jV_2 = 0$ δίνει ευστάθεια τότε το εσωτερικό του κύκλου είναι η ασταθής περιοχή

ΚΥΚΛΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΗΓΗΣ:

$|\Gamma_{out}| = 1 \Longrightarrow$ Κέντρο $C_S = \dfrac{(S_{11} - \Delta S_{22}^*)^*}{|S_{11}|^2 - |\Delta|^2}$

Ακτίνα $r_S = \dfrac{|S_{12}S_{21}|}{|S_{11}|^2 - |\Delta|^2}$

δηλαδή, αν το κέντρο του χάρτη Smith είναι σημείο ευστάθειας

Κριτήρια Ευστάθειας:

Συντελεστής Ευστάθειας:

$$K = \frac{1+|\Delta|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2|S_{12}S_{21}|} \qquad \Delta = |S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}|$$

i) Ευστάθεια χωρίς όρους $K>1$ και $|\Delta|<1$

Η συνθήκη $|\Delta|<1$ μπορεί να γραφεί και σαν:

$$|\Delta|<1 \iff \begin{cases}(1-|S_{11}|^2) > |S_{12}S_{21}| \\ (1-|S_{22}|^2) > |S_{12}S_{21}|\end{cases}$$

Εναλλακτικά, η ευστάθεια μπορεί να διαπιστωθεί από τους κύκλους ευστάθειας πηγής και φορτίου ταυτόχρονα.

Με την προϋπόθεση ότι το σημείο:

Φορτίο $\Gamma_L = 0 \leftrightarrow Z_L = Z_0$ | Πηγή $\Gamma_S = 0 \leftrightarrow Z_S = Z_0$

Είναι ευσταθές, δίνει ευσταθή λειτουργία $\leftrightarrow Re Z_{in} > 0$, $Re Z_{out} > 0$

Τότε η ευσταθής περιοχή είναι η εκτός του κύκλου ευστάθειας και η ασταθής εντός του κύκλου. $\begin{cases}\Gamma_S = 0 \text{ ή } \Gamma_L = 0 \\ \in \text{ εκτός από τον κύκλο}\end{cases}$

Στην αντίθετη περίπτωση οι περιοχές αντιστρέφονται.

άρα Ευστάθεια χωρίς όρους: $K>1$ και $|\Delta|<1$

ή όταν οι κύκλοι ευστάθειας είναι ξένοι (δεν έχουν κοινή περιοχή) με τον χάρτη Smith για το Γ_S και το Γ_L ταυτόχρονα:

Πηγή:

$||C_S| - r_S| > 1$ για $|S_{11}|<1$

Φορτίο:

$||C_L| - r_L| > 1$ για $|S_{22}|<1$

ii) Ευστάθεια υπό όρους: $K>1$ και $|\Delta|<1$ αλλά οι κύκλοι ευστάθειας έχουν κοινή περιοχή με τον χάρτη Smith, ευστάθεια υπάρχει έξω από αυτήν:

Πηγή:

$||C_S| - r_S| > 1$ για $|S_{22}|<1$

Φορτίο:

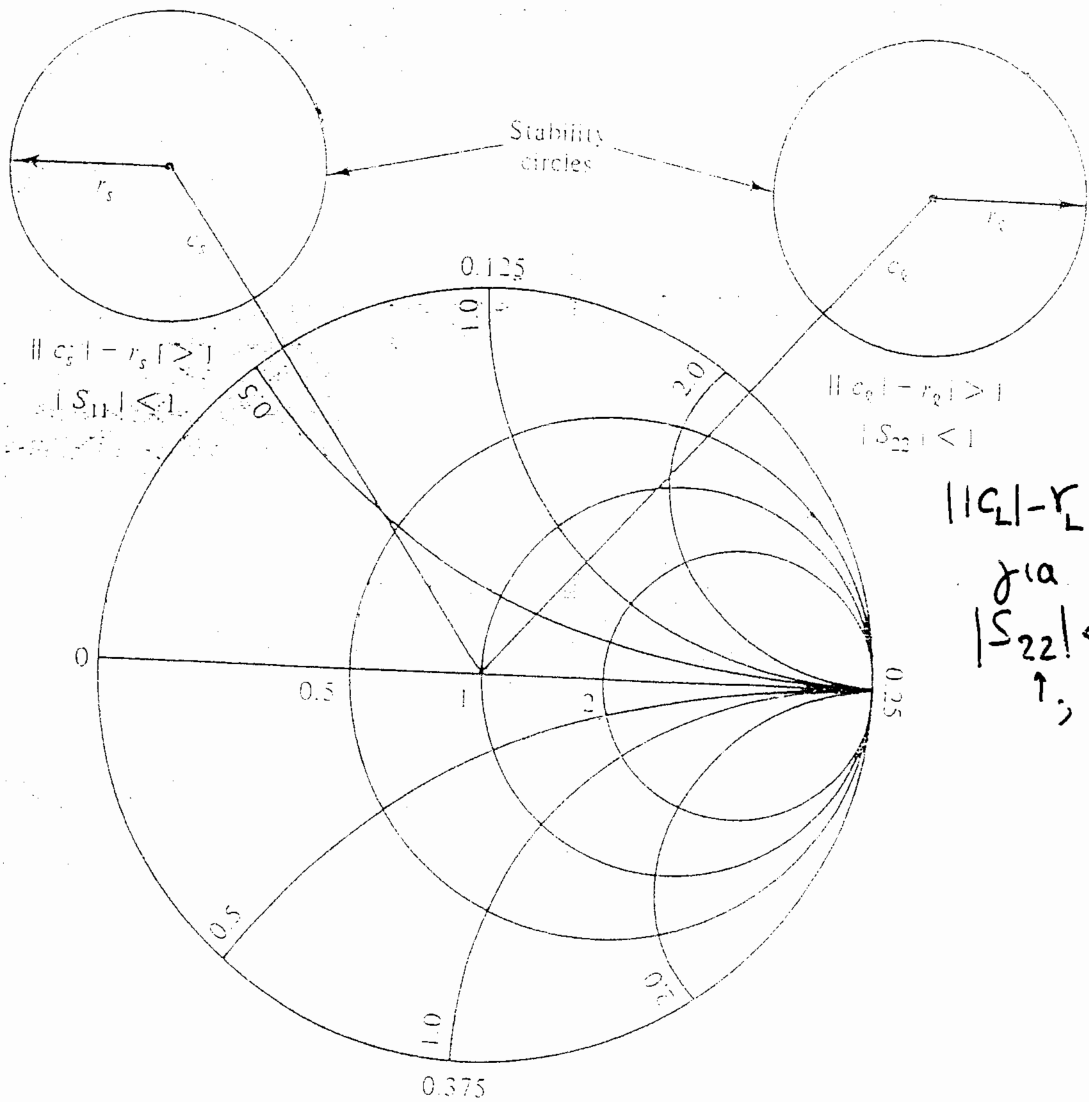
$||C_L| - r_L| > 1$ για $|S_{11}|<1$

Εν δυνάμει Αστάθεια (Potentially unstable)

$$\left.K>1 \text{ και } |\Delta|>1 \quad \text{ή} \quad |K|<1 \text{ και } |\Delta|<1\right\}$$

[redacted] χωρίς φραγ

$||C_S| - r_S| > 1$
για
$|S_{11}| < 1$
Γ_S



$||C_L| - r_L| > 1$
για
$|S_{22}| < 1$
Γ_L

Συντελεστές Ανάκλασης πηγής Γ_S και φορτίου Γ_L υπό συνθήκες ταυτόχρονης Συζυγούς Προσαρμογής:

$$\left.\begin{aligned} \Gamma_S &= \Gamma_{in}^* = \Gamma_{S\,max} \\ \Gamma_L &= \Gamma_{out}^* = \Gamma_{L\,max} \end{aligned}\right\} \Rightarrow$$

Συνθήκες μέγιστης μεταφοράς ισχύος ⇒ Μέγιστου κέρδους (χωρίς εξωτερική ανάδραση).

Η ταυτόχρονη επίλυση δίνει:

$$\Gamma_{S\,max} = C_S^* \left\{ \frac{B_S \pm \sqrt{B_S^2 - 4|C_S^1|^2}}{2|C_S^1|^2} \right\} \quad \text{όπου } B_S = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2$$

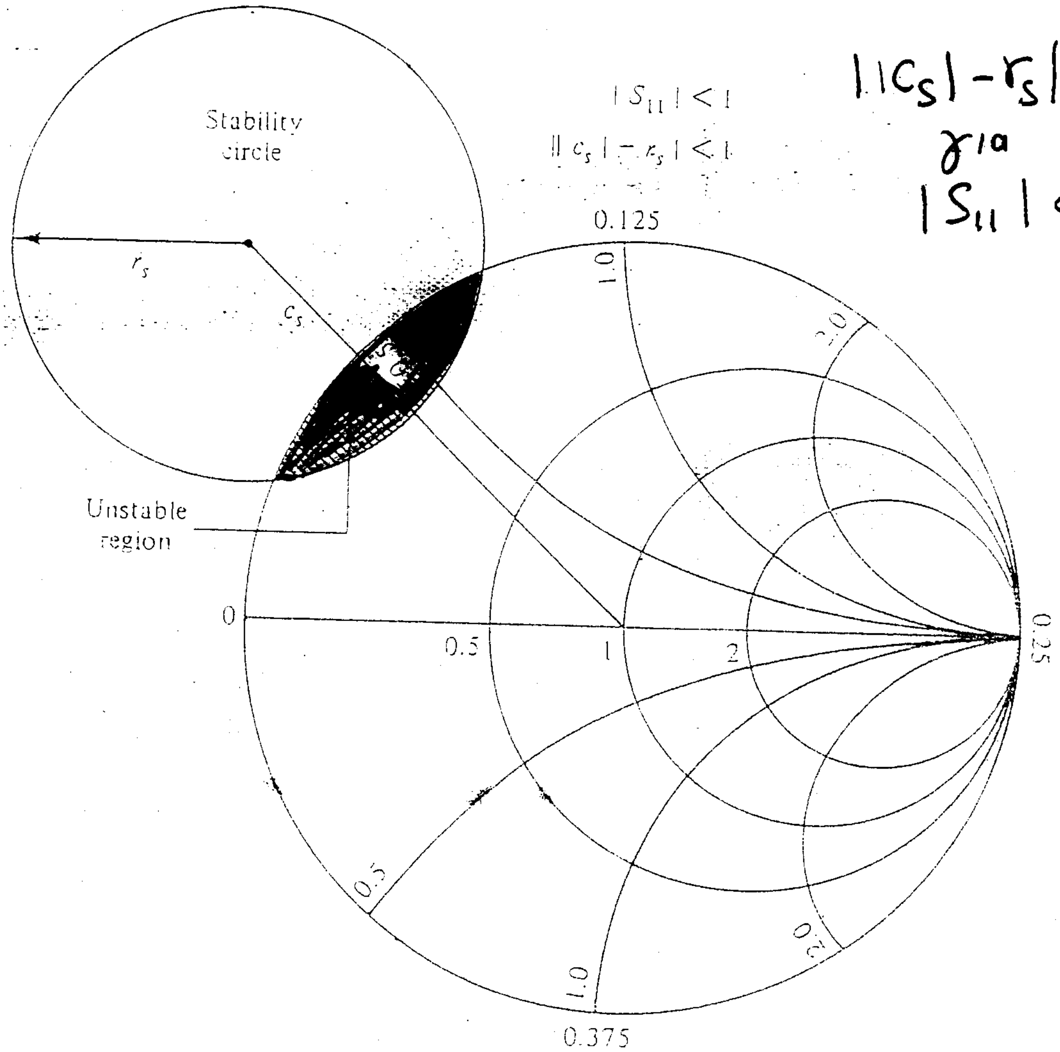
$B_S, B_L < 0 \Rightarrow$ δεξ. πρόσ. ρίζα

$B_S, B_L > 0 \Rightarrow$ αρ. " "

$$\Gamma_{L\,max} = C_L^* \left\{ \frac{B_L \pm \sqrt{B_L^2 - 4|C_L^1|^2}}{2|C_L^1|^2} \right\} \quad \text{όπου } B_L = 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |\Delta|^2$$

και $C_S^1 = S_{11} - \Delta S_{22}^*$, $C_L^1 = S_{22} - \Delta S_{11}^*$

Ευστάθεια υπό όρους



$$||c_s| - r_s| < 1$$
για
$$|S_{11}| < 1$$

Κύκλοι Σταθερού Κέρδους:

1. Μονόπλευρη περίπτωση: $S_{12}=0$

$$G_{tu} = \underbrace{\frac{1-|\Gamma_S|^2}{|1-S_{11}\Gamma_S|^2}}_{g_S = \text{κέρδος εισόδου}} \cdot |S_{21}|^2 \cdot \underbrace{\frac{1-|\Gamma_L|^2}{|1-S_{22}\Gamma_L|^2}}_{g_L = \text{κέρδος εξόδου}} = g_S \cdot |S_{21}|^2 \cdot g_L$$

Συνθήκες συζυγούς προσαρμογής: $\Gamma_S = S_{11}^*$ και $\Gamma_L = S_{22}^*$:

$$G_{tu\,max} = \underbrace{\frac{1}{1-|S_{11}|^2}}_{g_{S\,max}} \cdot |S_{21}|^2 \cdot \underbrace{\frac{1}{1-|S_{22}|^2}}_{g_{L\,max}} = g_{S\,max} \cdot |S_{21}|^2 \cdot g_{L\,max}$$

← Μέγιστες τιμές

Ελάχιστες τιμές:

$|\Gamma_S| = 1 \longrightarrow g_S = 0$ $\qquad$ $|\Gamma_L| = 1 \longrightarrow g_L = 0$

Όρια:

$0 < g_S < g_{S\,max}$ $\qquad$ $0 < g_L < g_{L\,max}$

Παρατήρηση:

Κέρδος εισόδου: $G_{tu}\Big|_{\Gamma_L=0} = g_S \cdot |S_{21}|^2 = G_S$ Για προσαρμοσμένο φορτίο

Κέρδος εξόδου: $G_{tu}\Big|_{\Gamma_S=0} = g_L \cdot |S_{21}|^2 = G_L$ Για προσαρμοσμένη πηγή

Κύκλοι Σταθερού Κέρδους Εισόδου: (για $S_{12}=0$)

$$g_S = \frac{1-|\Gamma_S|^2}{|1-S_{11}\Gamma_S|^2} = \text{σταθερό} = \text{επιθυμητή τιμή}$$

Χωρισμός σε Re, Im
Πράξεις → Εξίσωση κύκλου:

Κέντρο κύκλου: Βρίσκεται κατά μήκος της ευθείας που ενώνει το κέντρο του χάρτη Smith (0,0) με το σημείο S_{11}^* σε απόσταση

$$d_S = \frac{g_{nS}|S_{11}|}{1-|S_{11}|^2\cdot(1-g_{nS})}$$

από το (0,0) και

ακτίνα: $r_S = \dfrac{\sqrt{1-g_{nS}}\,(1-|S_{11}|^2)}{1-|S_{11}|^2(1-g_{nS})}$ όπου $g_{nS} = \dfrac{g_S}{g_{S\,max}}$

Κύκλοι Σταθερού Κέρδους Εξόδου:

$$g_L = \{1-|\Gamma_L|^2\}/|1-S_{22}\Gamma_L|^2 = \text{σταθερό}$$

Κύκλοι Σταθερού Κέρδους Εξόδου (για $S_{12}=0$)

$$g_L = \frac{1-|\Gamma_L|^2}{|1-S_{22}\Gamma_L|^2} = \text{σταθερό}$$

Κέντρο: Κείται στην ευθεία που ενώνει το $(0,0)$ και το $\Gamma_{L\,max} = S_{22}^*$ (↔ αντιστοιχεί στο $g_{L\,max}$), σε απόσταση από το $(0,0)$:

$$d_L = \frac{g_{nL}\,|S_{22}|}{1-|S_{22}|^2(1-g_{nL})} \quad \text{και}$$

Ακτίνα:

$$r_L = \frac{\sqrt{1-g_{nL}}\cdot(1-|S_{22}|^2)}{1-|S_{22}|^2(1-g_{nL})}$$

όπου:

$$g_{nL} = \frac{g_L}{g_{L\,max}} = g_L\cdot(1-|S_{22}|^2)$$

και $0 < g_{nL} < 1$.

Δείκτης Αξίας Μονόπλευρης προσέγγισης: (M)

Στην περίπτωση που το $|S_{12}|$ δεν είναι ακριβώς μηδέν, αλλά είναι πολύ μικρό ώστε να θεωρούμε την μονόπλευρη προσέγγιση ($S_{12}=0$) αρκετά καλή, τότε το σφάλμα που εμφανίζεται ορίζεται σαν δείκτης αξίας μονόπλευρης προσέγγισης:

$$\frac{\text{Κέρδος ισχύος με } S_{12}\neq 0}{\text{Κέρδος ισχύος για } S_{12}=0} = \frac{G_t}{G_{tu}} = \frac{1}{|1-X|^2} \quad \text{όπου } X = \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S\Gamma_L}{(1-S_{11}\Gamma_S)(1-S_{22}\Gamma_L)}$$

Τα όρια που προκύπτουν είναι:

$$\frac{1}{(1+|X|)^2} < \frac{G_t}{G_{tu}} < \frac{1}{(1-|X|)^2}$$

Για τις συνθήκες συζυγούς προσαρμογής → μέγιστον κέρδους:

$$\left.\begin{aligned}\Gamma_S &= S_{11}^*\\ \Gamma_L &= S_{22}^*\end{aligned}\right\} \quad M = X\Big|_{\substack{\Gamma_S=S_{11}^*\\ \Gamma_L=S_{22}^*}} = \frac{|S_{12}||S_{21}|\cdot|S_{11}|\cdot|S_{22}|}{(1-|S_{11}|^2)\cdot(1-|S_{22}|^2)} \quad \left\{\begin{aligned}&X = \frac{G_t^2-G_{tu}^2}{G_t^2}\\ &\downarrow\\ &\text{Σφάλμα}\end{aligned}\right.$$

όρια:

$$\frac{1}{(1+M)^2} < \frac{G_t}{G_{tu\,max}} < \frac{1}{(1-M)^2} \qquad \text{Μέγιστο σφάλμα} = \pm\frac{1}{(1+M)^2}$$

Παράδειγμα κύκλων σταθερού κέρδους εισόδου - εξόδου στην μονόπλευρη περίπτωση: $S_{12} = 0$

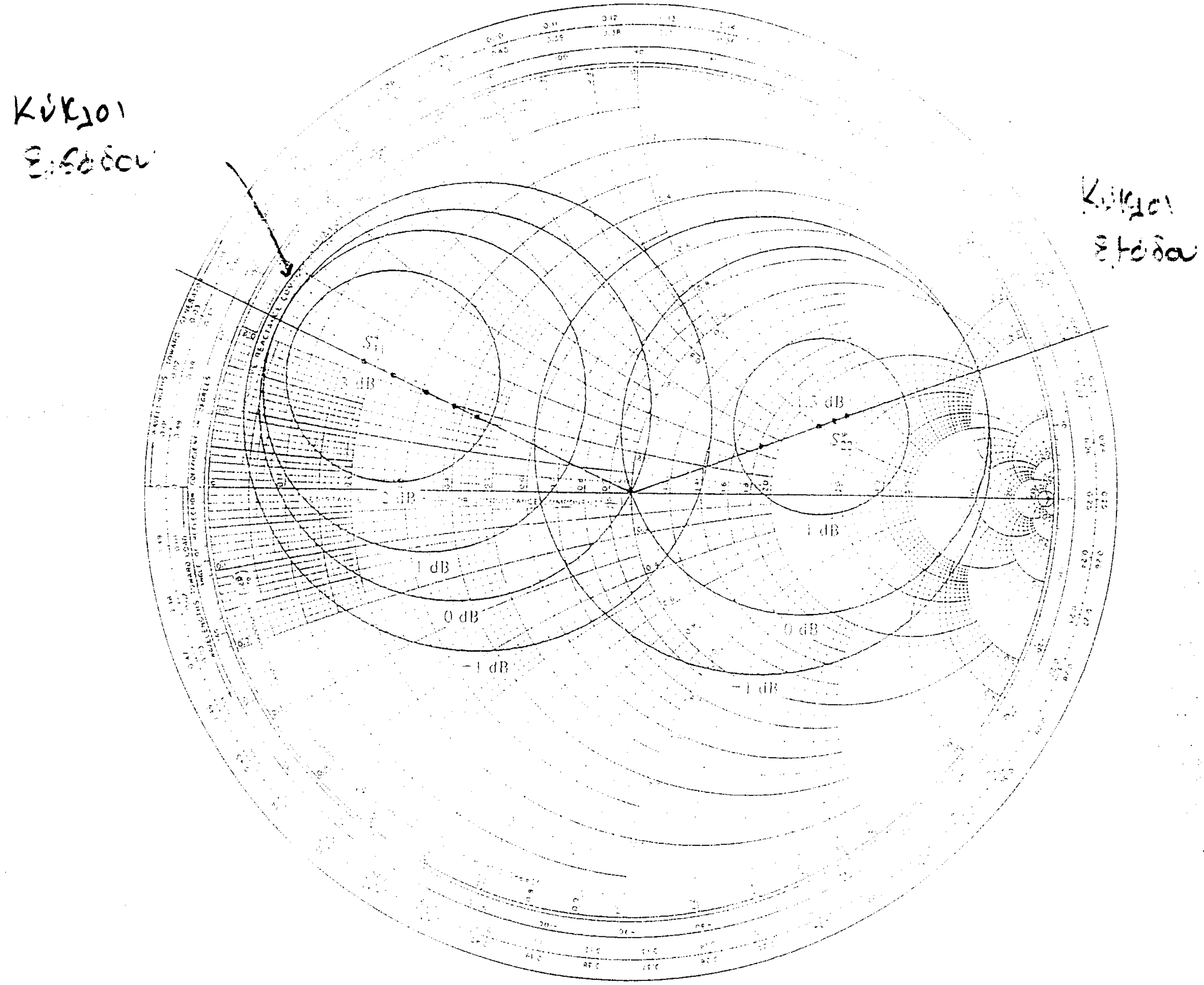


Figure 3-6-1 Constant-gain circles for the input network.

Δεδομένα:

$S_{11} = 0.707 \angle -155^{\circ}$, $S_{12} = 0$

$S_{22} = 0.510 \angle -20^{\circ}$, $S_{21} = 5.00 \angle 180^{\circ}$

Αποτελέσματα:

$g_{s\,max} = \dfrac{1}{1-|S_{11}|^2} = 2 = 3\,dB$ $\qquad g_{L\,max} = \dfrac{1}{1-|S_{22}|^2} = 1.35 = 1.3\,dB$

Δείκτης Αξίας = Κανονικοποιημένο Τετραγωνικό Σφάλμα:

$$\frac{G_t}{G_{tu}} = \frac{1}{|1-X|^2} \longleftrightarrow X = \frac{G_t^2 - G_{tu}^2}{G_t^2}$$

Παράδειγμα: Δείκτης Αξίας Μονόπλευρης προσέγγισης:

Δεδομένα: GaAs MESFET, $V_{ds} = 3V$, $I_{ds} = 30mA$, $f = 8GHz$

$Z_0 = 50\Omega$

$S_{11} = 0.52\angle{-145^\circ}$, $S_{12} = 0.03\angle{20^\circ} \neq 0$ αλλά $|S_{12}| = 0.03 \ll 1$

$S_{22} = 0.48\angle{-20^\circ}$, $S_{21} = 2.56\angle{170^\circ}$

Αποτελέσματα:

$\Delta = 0.168\angle{197^\circ} \rightarrow |\Delta| < 1$

$K = 3.53 \rightarrow K > 1$

$\Big\}$ Ευστάθεια χωρίς όρους (unconditionally stable)

$M = 0.04 \rightarrow$ όρια $\frac{1}{(1+0.04)^2} < \frac{G_t}{G_{tumax}} < \frac{1}{(1-0.04)^2}$

$$-0.36\,dB < \frac{G_t}{G_{tumax}} < +0.37\,dB$$

Δίπλευρη Περίπτωση $S_{12} \neq 0$

Πρόκειται για την περίπτωση που το $S_{12} \neq 0$ και αρκετά μεγάλο ώστε να μην μπορεί να παραληφθεί.

Κέρδος Ισχύος

$$G_t = \frac{1-|\Gamma_S|^2}{|1-\Gamma_{in}\Gamma_S|^2} \cdot |S_{21}|^2 \cdot \frac{1-|\Gamma_L|^2}{|1-S_{22}\Gamma_L|^2}$$

Όπου:

$$\Gamma_{in} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1-S_{22}\Gamma_L} \qquad (16)$$

Είναι πολύ δύσκολο να διαχωρισθεί η εξάρτηση από την πηγή Γ_S και το φορτίο Γ_L προκειμένου να σχεδιασθεί ο γεωμετρικός τόπος (ή κύκλοι) σταθερού Κέρδους Εισόδου - Εξόδου. Η Επίλυση είναι δυνατή μόνο στην περίπτωση ταυτόχρονης συζυγούς προσαρμογής Εισόδου και Εξόδου: $\Gamma_S = \Gamma_{in}^*$ και $\Gamma_L = \Gamma_{out}^* \Longrightarrow$ Υπάρχει όμως μόνο ένα σημείο

Κύκλοι Σταθερού Κέρδους Λειτουργίας G_p στην Διπλευρη περίπτωση $S_{12} \neq 0$

Η Έκφραση για G_p εμφανίζεται να είναι ανεξάρτητη της σύνθετης αντίστασης ή του συντελεστή ανάκλασης της πηγής Γ_S:

$$G_p = G_{PL} = \frac{1}{1-|\Gamma_{in}|^2} \cdot |S_{21}|^2 \cdot \frac{1-|\Gamma_L|^2}{|1-S_{22}\Gamma_L|^2} = |S_{21}|^2 \cdot \underbrace{g_{PL}}$$

όπου:

$$\Gamma_{in} = \frac{S_{11}-\Delta\Gamma_L}{1-S_{22}\Gamma_L}$$

ΕΞΟΔΟΣ - ΦΟΡΤΙΟ

Ο σχεδιασμός των κύκλων g_{PL} = σταθερό μπορεί να γίνει.

Κύκλοι σταθερού Κέρδους λειτουργίας - Ευστάθεια χωρίς όρους:

g_{PL} = σταθερό διαχωρισμός Re, Im → κύκλους

(Liao σελ. 107-111)

Τα Κέντρα των Κύκλων σταθερού g_P κείτονται πάνω σε μια ευθεία που σχηματίζει γωνία θ_L με τον άξονα $Re(\Gamma_L)$ όπου:

$$\theta_L = \tan^{-1}\left(\frac{Im\, C_L^{1*}}{Re\, C_L^{1*}}\right) \quad \text{όπου} \quad C_L^1 = S_{22} - \Delta S_{11}^*$$

Και απέχουν από το Κέντρο του Χάρτη Smith (0,0) απόσταση:

$$d_{PL} = \frac{g_{PL} \cdot C_L^{1*}}{\left|1+g_{PL}\left(|S_{22}|^2-|\Delta|^2\right)\right|}$$

Και Ακτίνας

$$r_{PL} = \frac{\left\{1-2K\cdot|S_{12}S_{21}|\cdot g_{PL}+|S_{12}S_{21}|^2\cdot g_{PL}^2\right\}^{1/2}}{\left|1+g_{PL}\left(|S_{22}|^2-|\Delta|^2\right)\right|}$$

Μέγιστο Κέρδος λειτουργίας: Παρατηρείται για $r_{PL}=0$:

$$r_{PL}=0 \longrightarrow g_{Pmax} = \frac{1}{|S_{12}S_{21}|}\left\{K-\sqrt{K^2-1}\right\} = \frac{G_{Pmax}}{|S_{21}|^2}$$

όπου:

$$K = \frac{1+|\Delta|^2-|S_{11}|^2-|S_{22}|^2}{2|S_{12}S_{21}|} \quad \text{και} \quad G_{Pmax} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|}\left\{K-\sqrt{K^2-1}\right\}$$

Κυκλοι Σταθερού Κέρδους Λειτουργίας Εισόδου - Πηγής

Εναλλακτικα το κέρδος λειτουργίας G_p μπορεί να εκφρασθεί συναρτήσει του Γ_S μόνο και να μην περιέχει το Γ_L.

$$G_p = \frac{|b_2|^2}{|b_S|^2}\left(1-|\Gamma_L|^2\right)\frac{|1-\Gamma_S\Gamma_{in}|^2}{1-|\Gamma_{in}|^2}$$

Επειδή $\dfrac{b_2}{b_S} = \dfrac{S_{21}}{(1-S_{11}\Gamma_S)(1-\Gamma_L\Gamma_{out})}$

Και υποθέτοντας συζυγή προσαρμογή στην έξοδο $\Gamma_L = \Gamma_{out}^*$ τοτε:

$$G_p = G_{PS} = G_a = \frac{1-|\Gamma_S|^2}{|1-S_{11}\Gamma_S|^2}\cdot|S_{21}|^2\cdot\frac{1}{1-|\Gamma_{out}|^2}$$

Και $$\Gamma_{out} = \frac{S_{22}-\Delta\cdot\Gamma_S}{1-S_{11}\Gamma_S}$$

Κυκλοι σταθερού κέρδους εισόδου:

$$\left.\begin{aligned} G_p &= G_{PS} = |S_{21}|^2\cdot g_{PS} \\ g_{PS} &= \frac{1-|\Gamma_S|^2}{|1-S_{11}\Gamma_S|^2}\cdot\frac{1}{1-|\Gamma_{out}|^2}\end{aligned}\right\} g_{PS} = \text{σταθερό}$$

Κεντρα: Πάνω στην ευθεία που περνά απο το $(0,0)$ υπο γωνία θ_S με τον άξονα $Re(\Gamma_S)$:

$$\theta_S = \tan^{-1}\left(\frac{Im\, C_S^{1*}}{Re\, C_S^{1*}}\right) \quad \text{και} \quad C_S^{1*} = S_{11}^* - \Delta^* S_{22}$$

Απόσταση κέντρου απο την αρχή $(0,0)$:

$$d_{PS} = \frac{g_{PS}\cdot C_S^{1*}}{\left|1+g_{PS}\left(|S_{11}|^2-|\Delta|^2\right)\right|}$$

Ακτίνα κύκλου:

$$r_{PS} = \frac{\left\{1-2K|S_{12}S_{21}|g_{PS}+|S_{12}S_{21}|^2 g_{PS}^2\right\}^{1/2}}{\left|1+g_p\left(|S_{11}|^2-|\Delta|^2\right)\right|}$$

Παράδειγμα κύκλων σταθερού κέρδους λειτουργίας
g_p = σταθερό.

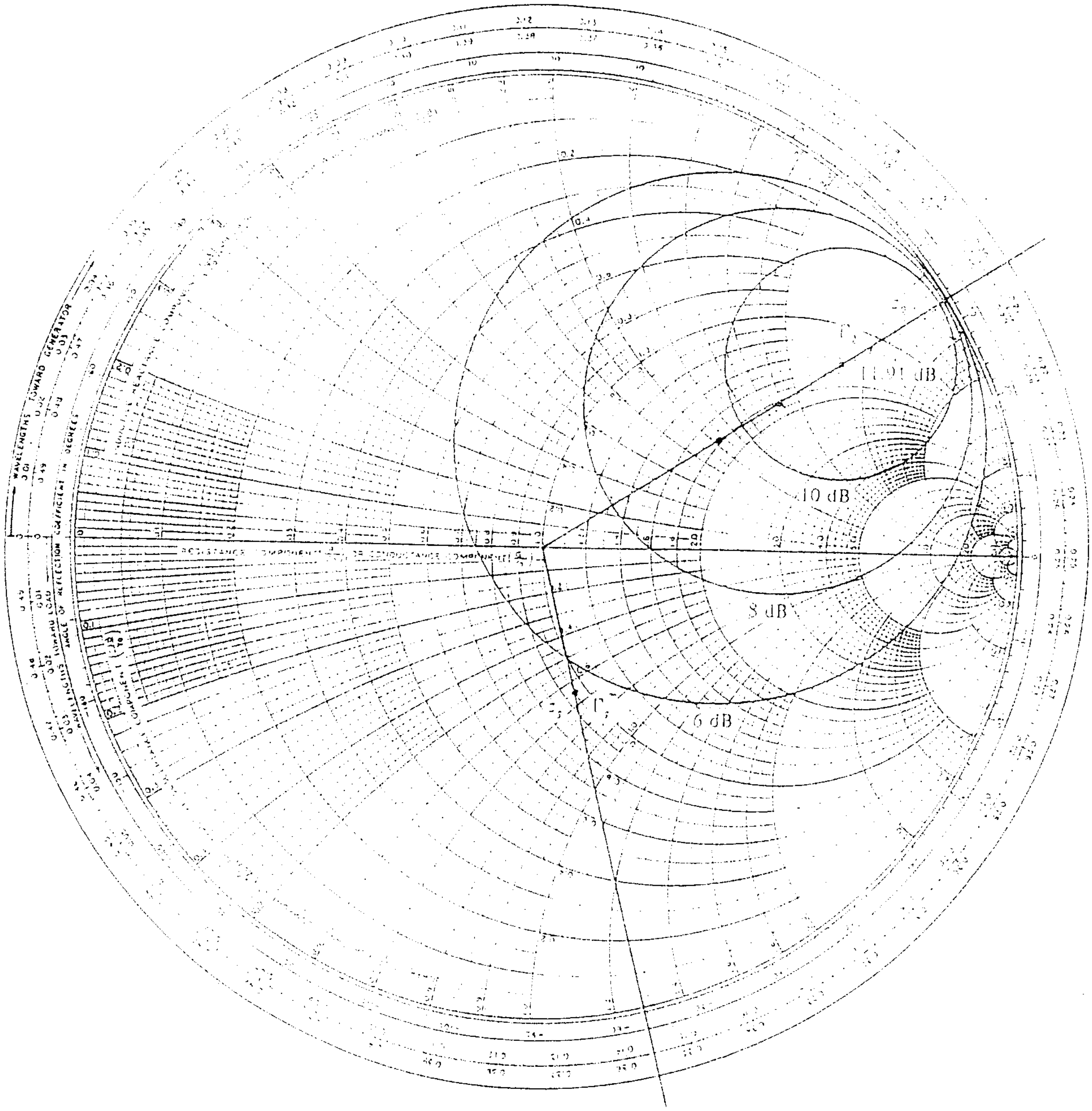


Figure 3-7-1 Constant operating power-gain circles for Example 3-7-1.

Δεδομένα : GaAs MESFET , $f = 8GHz$, $Z_0 = 50\Omega$

$S_{11} = 0.26 \angle -55^\circ$ $\quad$ $S_{12} = 0.08 \angle 80^\circ$

$S_{22} = 0.82 \angle -30^\circ$ $\quad$ $S_{21} = 2.14 \angle 65^\circ$

Αποτελέσματα

$\Delta = 0.36 \angle -63^\circ \rightarrow |\Delta| < 1$

$K = 1.15 > 1$

$\Big\}$ ευστάθεια χωρίς όρους

$g_{pmax} = 3.39$, $G_{pmax} = 11.91$ dB

Σχεδιασμός Ενισχυτή με δεδομένο Κέρδος λειτουργίας G_p και αυθαίρετο επιθυμητό φορτίο Γ_L
(επιλέγεται συνήθως συζυγής προσαρμογή στην είσοδο)

Βήματα Σχεδιασμού:

1. Από τα φύλλα δεδομένων λαμβάνονται οι S-παράμετροι του τρανζίστορ στην επιθυμητή συχνότητα λειτουργίας, $Z_0 = 50\Omega$

2. Έλεγχος της ευστάθειας
α) Υπολογίζονται τα Δ και K → ευστάθεια χωρίς όρους $\begin{cases} K > 1 \\ \Delta < 1 \end{cases}$
β) Εναλλακτικά, σχεδιάζονται οι κύκλοι ευστάθειας και γίνεται η διαπίστωση γραφικά
Αν παρατηρηθεί ευστάθεια υπό όρους ⟹ Εναλλακτική Διαδικασία

3. Υπολογίζεται το μέγιστο κέρδος λειτουργίας.
$$G_{p\max} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|}\left\{K - \sqrt{K^2 - 1}\right\} \quad \text{και} \quad g_{p\max} = \frac{G_{p\max}}{|S_{21}|^2}$$

4. Υπολογίζεται το σημείο μέγιστου κέρδους - και τοποθετείται στον χάρτη Smith
γωνία θ_L απόσταση d_{pL} ($g_p = g_{p\max}$)

5. Υπολογίζονται και σχεδιάζονται οι κύκλοι σταθερού κέρδους λειτουργίας g_p = σταθερό, π.χ. g_p = 10 dB, 8 dB, 6 dB..

6. Επιλέγεται το επιθυμητό φορτίο Γ_L ή $z_L \Rightarrow Z_L = z_L \cdot Z_0$
Στην επιλογή αυτή λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες, όπως για παράδειγμα ο δείκτης θορύβου σε συνδυασμό με το μέγιστο δυνατό κέρδος.

7. Επιλογή συντελεστή ανάκλασης πηγής για συζυγή προσαρμογή $\Gamma_S = \Gamma_{in}^*$
$$\Gamma_S = \Gamma_{in}^* = \left(S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L}\right)^* \Longrightarrow Z_S = Z_0\,\frac{1 + \Gamma_S}{1 - \Gamma_S}$$

Ο επιθυμητός Γ_S ή Z_S επιτυγχάνεται με τη βοήθεια κατάλληλου ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ

Σχεδιασμός "εν δυνάμει" ασταθούς ενισχυτή

Αν κατά τον έλεγχο της ευστάθειας παρατηρηθεί "εν δυνάμει" αστάθεια η διαδικασία σχεδιασμού είναι η εξής:

2. Σχεδιάζονται οι κύκλοι ευστάθειας εξόδου
3. Σχεδιάζονται οι κύκλοι σταθερού κέρδους λειτουργίας g_p = σταθερό ή μόνο g_p = επιθυμητή τιμή
4. Επιλογή φορτίου Γ_L μέσα στην ευσταθή περιοχή και λαμβάνοντας υπόψη το μέγιστο δυνατό κέρδος ή άλλα επιθυμητά χαρακτηριστικά
5. Υπολογισμός του $\Gamma_{in} = S_{11} + \dfrac{S_{12} S_{21} \Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L}$
6. Σχεδιασμός του κύκλου ευστάθειας εισόδου
7. a) Έλεγχος, αν το βέλτιστο $\Gamma_S = \Gamma_{in}^*$ είναι μέσα στην ευσταθή περιοχή. Αν ναι → επιλέγεται αυτό

β) Αν το $\Gamma_S = \Gamma_{in}^*$ $\begin{cases} \text{είναι στην ασταθή περιοχή ή} \\ \text{είναι στην ευσταθή αλλά κοντά στον κύκλο-αστάθειας} \end{cases}$

Επιλέγεται νέα τιμή του Γ_S αρκετά μακριά από την περιοχή αστάθειας για την αποφυγή ταλαντώσεων, λόγω κατασκευαστικών ανοχών ή κάποιων ανακριβειών του σχεδιασμού.

Παράδειγμα "εν δυνάμει" ασταθούς ενισχυτή

Σχεδιασμός ενισχυτή κέρδους 10dB για 9GHz
(Liao σελ. 113-114)

Κύκλος ευστάθειας εισόδου → Να μην περιέχει το Γ_S

Κύκλος ευστάθειας εξόδου

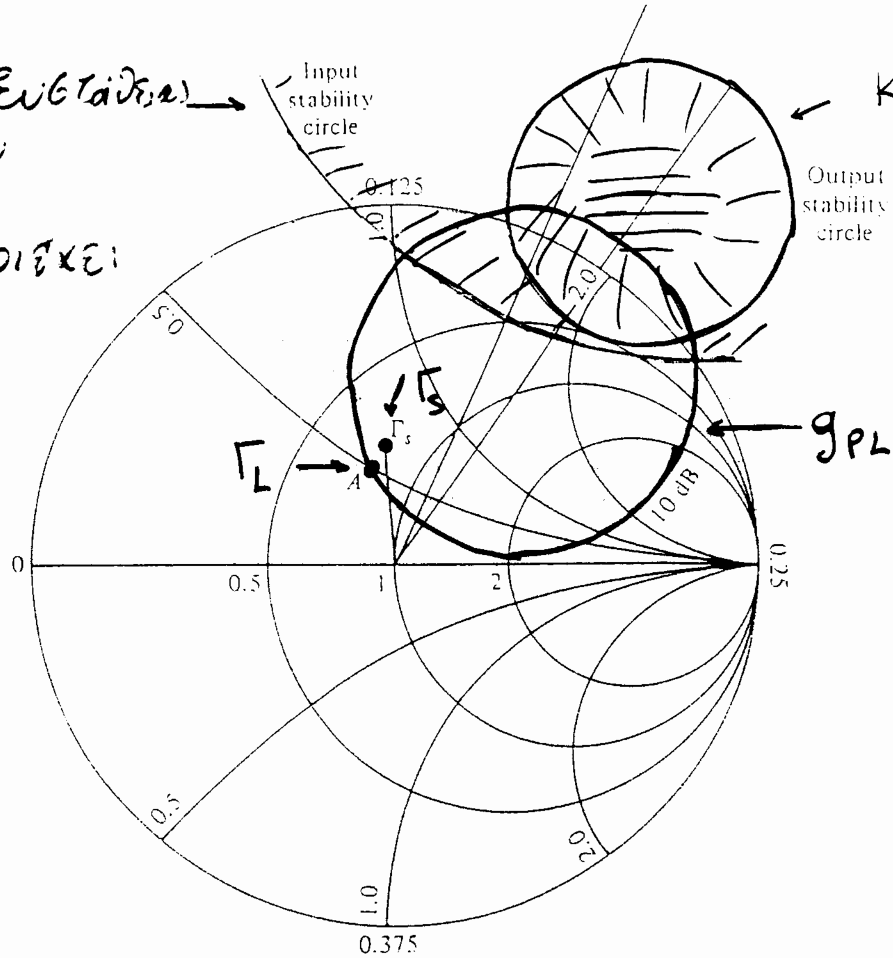


Figure 3-7-2. Potential stability for Example 3-7-2.

Δεδομένα: GaAs MESFET, $f = 9GHz$, $Z_0 = 50\Omega$

$S_{11} = 0.45 \angle -60^\circ$ $\quad$ $S_{12} = 0.09 \angle 70^\circ$

$S_{22} = 0.80 \angle -50^\circ$ $\quad$ $S_{21} = 0.8 \angle -50^\circ$

Αποτελέσματα:

$\Delta = 0.2 \angle -71^\circ \rightarrow |\Delta| < 1$

$K = 0.44 < 1$

} "εν δυνάμει" ασταθής συσκευή, αφού $K < 1$

Μέγιστο Κέρδος:

$G_{p\,max} = 14.4$ dB → Άρα κέρδος $G_p = 10$dB μπορεί να επιτευ-

Επιλογή Γ_L : $\Gamma_L = 0.38 \angle 104^\circ$, $z_L = 0.7 + j0.5 \rightarrow Z_L = 35 + j2$

Επιλογή Γ_S : $\Gamma_S = \Gamma_{in}^* = 0.3 \angle -267^\circ$ } Διαπιστώνεται ότι είναι στην ευσταθή περιοχή