

1. PENGUAT SINYAL KECIL

Sebuah GaAs FET diukur menggunakan network analyzer pada frekuensi 2 GHz, $Z_0 = 50 \Omega$ diperoleh parameter hamburannya (Parameter S) sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} 0,614 \angle -167,4^\circ & 0,046 \angle 65^\circ \\ 2,187 \angle 32,4^\circ & 0,716 \angle -83^\circ \end{bmatrix}$$

- Hitunglah Δ dan faktor kestabilan K , bagaimana sifat kestabilan penguat tsb?
- Hitung gain maksimum dalam dB
- Jika diinginkan gain 80% dari gain maksimumnya, plot lingkaran gain konstan (G_p) pada diagram Smith.
- Tentukan koefisien pantul (Γ_L atau Γ_S) pada lingkaran gain konstan yang terdekat dengan pusat diagram Smith. Kemudian hitung impedansinya (Z_L atau Z_S)

JAWAB :

a).

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,614 \angle -167,4^\circ & 0,046 \angle 65^\circ \\ 2,187 \angle 32,4^\circ & 0,716 \angle -83^\circ \end{bmatrix}$$

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

$$S_{11} S_{22} = 0,614 \angle -167,4^\circ \times 0,716 \angle -83^\circ = 0,44 \angle -250,4^\circ = -0,15 + j 0,415$$

$$S_{12} S_{21} = 0,046 \angle 65^\circ \times 2,187 \angle -32,4^\circ = 0,101 \angle 32,6^\circ = 0,085 + j 0,054$$

$$\Delta = (-0,15 + j 0,415) - (0,085 + j 0,054) = -0,235 + j 0,361 = 0,431 \angle 123,1^\circ$$

PENTING (perhatikan perbedaannya) : $0,235 - j 0,361 = 0,431 \angle -56,9^\circ$

$$-0,235 + j 0,361 = 0,431 \angle (-56,9^\circ + 180^\circ) = 0,431 \angle 123,1^\circ$$

$$\text{Faktor kestabilan : } K = \frac{1 - 0,614^2 - 0,716^2 + 0,431^2}{2 \times 0,101} = \frac{0,2961}{0,202} = 1,466$$

Stabil tanpa syarat (STS) bila : $K > 1$ dan $|\Delta| < 1$

Potensial tak stabil bila tak memenuhi syarat tsb

$K = 1,466 > 1$ dan $|\Delta| = 0,431 < 1$ maka disimpulkan : **STABIL TANPA SYARAT**

b). Gain maksimum kondisi STS = nilai maksimum dari Transducer gain (G_{Tmax})

$$G_{Tmax} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} \left(K - \sqrt{K^2 - 1} \right) = \frac{2,187}{0,046} \left(1,466 - \sqrt{1,466^2 - 1} \right) = 18,73$$

c). Dikehendaki penguat beroperasi dengan Gain (G_p) sebesar 80 % dari Gain Maksimum

$$G_p = 0,8 \times 18,058 = 15 = |S_{21}|^2 g_p, \quad g_p = \frac{1}{|S_{21}|^2} = \frac{12,0464}{2,187^2} = 3,13$$

HITUNG nilai C_p = center dan R_p = jari-jari dari lingkaran G_p konstan = 15

$$S_{22} = 0,716 \angle -83^\circ = 0,0873 - j 0,711; \quad \Delta = -0,235 + j 0,361 = 0,431 \angle 123,1^\circ$$

$$S_{11} = 0,614 \angle -167,4^\circ = -0,6 - j 0,134; \quad K = 1,466$$

$$C_2 = S_{22} - \Delta \cdot S_{11}^*$$

$$= (0,0873 - j 0,711) - (-0,235 + j 0,361) \cdot (-0,6 - j 0,134)^*$$

$$= (0,0873 - j 0,711) - (-0,235 + j 0,361) \cdot (-0,6 + j 0,134)$$

$$= (0,0873 - j 0,711) - (0,0926 - j 0,2481) = -0,00533 - j 0,463 = C_2$$

$$C_p = \frac{g_p C_2^*}{1 + g_p (|S_{22}|^2 - |\Delta|^2)}; \quad C_2^* = -0,00533 + j 0,463$$

$$C_p = \frac{3,13 \times (-0,00533 - j 0,463)}{1 + 3,13 \times (0,716^2 - 0,431^2)} = -0,00825 + j 0,716 = 0,716 \angle 90,7^\circ$$

$$R_p = \frac{\{1 - 2K |S_{12} S_{21}| g_p + |S_{12} S_{21}|^2 g_p^2\}^{\frac{1}{2}}}{1 + g_p (|S_{22}|^2 - |\Delta|^2)}$$

$$= \frac{\{1 - 2 \times 1,466 \times 0,101 \times 3,13 + 0,101^2 \times 3,13^2\}^{\frac{1}{2}}}{1 + 3,513 \times (0,716^2 - 0,431^2)} = 0,206$$

Dari Point a) telah disimpulkan bhw penguat tsb **STS** (stabil tanpa syarat)

ARTINYA C_L = center dan R_L juga C_S = center dan R_S TAK PERLU DIHITUNG .

d). Dari diagram smith chart dipilih nilai Γ_L yang cukup dekat dengan titik pusat smith chart yaitu titik S :

$$S = 0,51 \angle 90,7^\circ = -0,00623 + j 0,50996$$

$$\Gamma_L = 0,51 \angle 90,7^\circ = -0,00623 + j 0,50996$$

Untuk menghitung nilai Γ_S maka hitung dulu nilai Γ_{IN}

$$\Gamma_{IN} = S_{11} + \frac{S_{12} \cdot S_{21} \cdot \Gamma_L}{1 - S_{22} \cdot \Gamma_L}$$

$$\Gamma_{IN} = S_{11} + \frac{S_{12} \cdot S_{21} \cdot \Gamma_L}{1 - S_{22} \cdot \Gamma_L}$$

$$= (-0,6 - j 0,134) + \frac{(0,085 + j 0,054) \cdot (-0,00623 + j 0,50996)}{1 - (0,0873 - j 0,711) \cdot (-0,00623 + j 0,50996)}$$

$$= (-0,6 - j 0,134) + (-0,0489 + j 0,0637)$$

$$\Gamma_{IN} = -0,649 - j 0,0703$$

Agar diperoleh kondisi Conjugate match pada input , maka dipilih :

$$\Gamma_s = (\Gamma_{IN})^* = (-0,649 - j 0,0703)^* = -0,649 + j 0,0703$$

SELESAI

BERIKUT PERHITUNGAN SEBAGAI TAMBAHAN PEMAHAMAN :

HITUNG nilai C_L = center dan R_L = jari - jari dari lingkaran kestabilan input yaitu kumpulan titik-titik nilai Γ_L yang menghasilkan $|\Gamma_{IN}| = 1$

$$R_L = \frac{|S_{12} S_{21}|}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} = \frac{0,101}{0,716^2 - 0,431^2} = 0,31$$

$$C_L = \frac{(S_{22} - \Delta \cdot S_{11}^*)^*}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} = \frac{((0,0873 - j 0,711) - (-0,235 + j 0,361) \cdot (-0,6 - j 0,134)^*)^*}{0,716^2 - 0,431^2}$$

$$= \frac{((0,0873 - j 0,711) - (-0,235 + j 0,361) \cdot (-0,6 + j 0,134))^*}{0,327}$$

$$= \frac{((0,0873 - j 0,711) - (0,0926 - j 0,248))^*}{0,327} = -0,0163 + j 1,416 = C_L$$

$$= -0,0163 + j 1,416 = 1,42 \angle 90,7^\circ = C_L$$

HITUNG nilai C_S = center dan R_S = jari - jari dari lingkaran outut yaitu kumpulan titik-titik nilai Γ_S yang menghasilkan $|\Gamma_{OUT}| = 1$

$$R_S = \frac{|S_{12} S_{21}|}{|S_{11}|^2 - |\Delta|^2} = \frac{0,101}{0,614^2 - 0,431^2} = 0,53$$

$$C_S = \frac{(S_{11} - \Delta S_{22}^*)^*}{|S_{11}|^2 - |\Delta|^2} = \frac{((-0,6 - j 0,134) - (-0,235 + j 0,37) \cdot (0,0873 - j 0,711)^*)^*}{0,614^2 - 0,431^2}$$

$$= \frac{((-0,6 - j 0,134) - (-0,235 + j 0,37) \cdot (0,0873 + j 0,711))^*}{0,185}$$

$$C_S = \frac{((-0,6 - j 0,134) - (-0,284 - j 0,135))^*}{0,185}$$

$$C_S = -1,66 + j 0,00524 = 1,66 \angle -0,2^\circ + 180^\circ = 1,66 \angle 179,8^\circ$$

PLOT lingk kestabilan input : $C_L = 1,42 \angle 90,7^\circ$ dan $R_L = 0,31$
PLOT lingk kestabilan output : $C_S = 1,66 \angle 179,8^\circ$ dan $R_S = 0,53$
PLOT lingk Gp konstan : $C_p = 0,716 \angle 90,7^\circ$ dan $R_p = 0,206$

Perhatikan bahwa :

- 1). $|C_L| = 1,42$ sedangkan $R_L = 0,31$ sehingga jelas bhw lingk $(C_L ; R_L)$ tentu berada di luar smith chart .
- 2). $|S_{11}| = 0,614 < 1$, maka nilai Γ_L yang stabil berada diluar lingk $(C_L ; R_L)$, berarti semua titik dalam smith chart memenuhi syarat $|\Gamma_{IN}| < 1$
- 3). $|C_S| = 1,66$ sedangkan $R_S = 0,53$ sehingga jelas bhw lingk $(C_S ; R_S)$ tentu berada di luar smith chart .
- 4). $|S_{22}| = 0,716 < 1$, maka nilai Γ_S yang stabil berada diluar lingk $(C_S ; R_S)$, berarti semua titik dalam smith chart memenuhi syarat $|\Gamma_{OUT}| < 1$
- 5). $|C_p| = 0,716$ sedangkan $R_p = 0,206$ sehingga jelas bhw lingk $(C_p ; R_p)$ tentu berada di dalam smith chart . Lingk tsb menyatakan titik-titik nilai Γ_L yang yang menghasilkan Gp konstan = 15

KESIMPULAN : Hanya lingkaran $(C_p ; R_p)$ yang perlu digambar (Plot)
 (Kesimpulan ini sesuai dengan Prinsip bhw bila STS maka Cukup Hanya lingkaran $(C_p ; R_p)$ yang perlu digambar)

Bila dalam soal diminta desain IMC input dan Output .

Maka harus dihitung Z_{IN} dan Z_{out} serta $(Z_G \text{ dan } Z_L)$ harus diketahui

Selanjutnya IMC INPUT adalah matching dari Z_G menuju Z_{IN} sedangkan

IMC OUTPUT adalah matching dari Z_L menuju Z_{OUTPUT}

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad \text{maka : } \Gamma_L (Z_L + Z_0) = Z_L - Z_0 ; \quad Z_L = Z_0 \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L} ; \quad Z_0 = 50$$

$$Z_L = Z_0 \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L} = 50 \frac{1 - 0,00623 + j 0,50996}{1 + 0,00623 - j 0,50996} = 29,07 + j 40,07 \text{ Ohm}$$

$$\Gamma_L = -0,00623 + j 0,50996 \quad \text{dan} \quad Z_L = 29,07 + j 40,07 \text{ Ohm}$$

Untuk menghitung nilai Γ_S maka hitung dulu nilai Γ_{IN}

$$\Gamma_{IN} = S_{11} + \frac{S_{12} \cdot S_{21} \cdot \Gamma_L}{1 - S_{22} \cdot \Gamma_L}$$

$$= (-0,6 - j 0,134) + \frac{(0,085 + j 0,054) \cdot (-0,00623 + j 0,50996)}{1 - (0,0873 - j 0,711) \cdot (-0,00623 + j 0,50996)}$$

$$= (-0,6 - j 0,134) + (-0,0489 + j 0,0637)$$

$$\Gamma_{IN} = -0,649 - j 0,0703$$

Agar diperoleh kondisi Conjugate match pada input , maka dipilih :

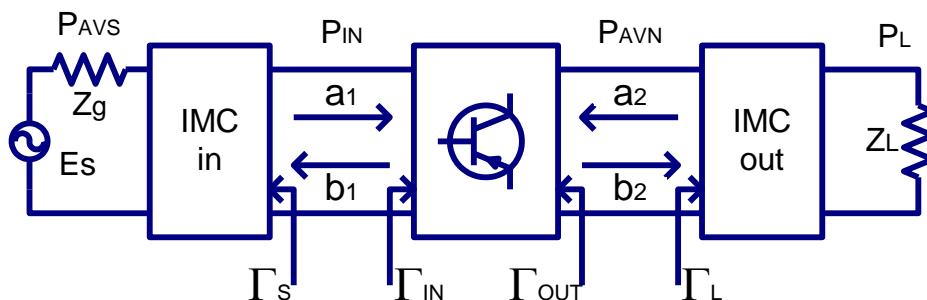
$$\Gamma_S = (\Gamma_{IN})^* = (-0,649 - j 0,0703)^* = -0,649 + j 0,0703$$

$$Z_S = Z_0 \frac{1 + \Gamma_S}{1 - \Gamma_S} = 50 \frac{1 - 0,649 + j 0,0703}{1 + 0,649 - j 0,0703} = 10,53 + j 2,58 \text{ Ohm}$$

Cara lain : hitung dulu Z_{IN} kemudian pilih $Z_S = (Z_{IN})^*$

$$Z_{IN} = Z_0 \frac{1 + \Gamma_{IN}}{1 - \Gamma_{IN}} = 50 \frac{1 - 0,583 - j 0,162}{1 + 0,583 + j 0,162} = 12,5 - j 6,4 \text{ Ohm}$$

$$Z_S = (Z_{IN})^* = (12,5 - j 6,4)^* = 12,5 + j 6,4 \text{ Ohm}$$



Misalkan $Z_g = 75 \text{ Ohm}$ dan $Z_L = 100 \text{ Ohm}$

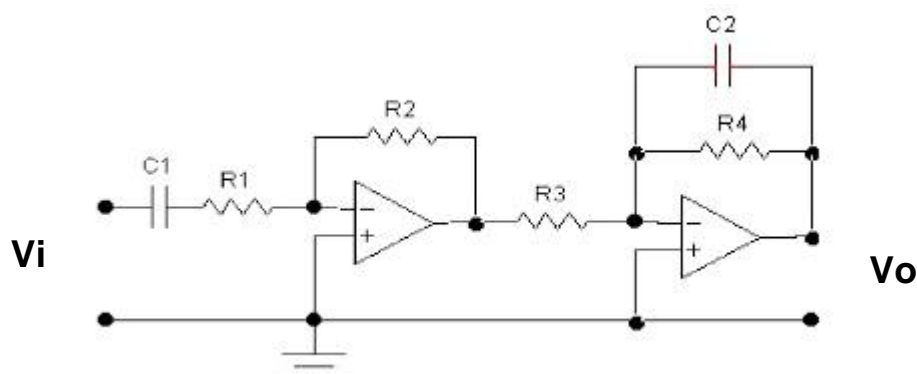
Selanjutnya dapat dibuat IMC Input dan IMC Output

2. FILTER AKTIF

Sebuah rangkaian BPF aktif digambarkan dalam rangkaian berikut ini, dengan nilai-nilai komponen sebagai berikut :

$$\begin{array}{llll} R1 = 5 \text{ k}\Omega & R2 = 20 \text{ k}\Omega & R3 = 10 \text{ k}\Omega & R4 = 50 \text{ k}\Omega \\ C1 = 0.05 \text{ nF} & C2 = 0.01 \text{ nF} & & \end{array}$$

- Hitung penguatan yang terjadi
- Hitung frekuensi cut off bawah dan frekuensi cut off atas serta bandwidth filter tersebut dan gambarkan grafik Respon frekuensi dari filter tersebut
- Bila bandwidth ingin dinaikkan menjadi 2 kali lipat, apa yang harus dilakukan ?



JAWAB :

(LIHAT CATATAN KULIAH PENGUAT OP AMP INVERTING DAN NON INVERTING)

- Kedua buah Op Amp tsb disusun Inverting maka :

$$\frac{V_0}{V_i} = \left[\frac{-R_2}{(XC_1 \text{ seri } R_1)} \right] \times \left[\frac{-(XC_2 \text{ paralel } R_4)}{R_3} \right]$$

$$\frac{V_0}{V_i} = \left[\frac{R_2}{\left(\frac{1}{j\omega C_1} + R_1 \right)} \right] \times \left[\frac{\frac{\frac{R_4}{j\omega C_2}}{\frac{1}{j\omega C_2} + R_4}}{R_3} \right]$$

$$\frac{V_0}{V_i} = \left[\frac{j\omega C_1 R_2}{(1 + j\omega C_1 R_1)} \right] \times \left[\frac{\frac{R_4}{1 + j\omega C_2 R_4}}{R_3} \right]$$

$$\frac{V_0}{V_i} = \left[\frac{j\omega C_1 R_2}{(1 + j\omega C_1 R_1)} \right] \times \left[\frac{R_4}{R_3 + j\omega C_2 R_3 R_4} \right]$$

$$\frac{V_0}{V_i} = \left[\frac{1}{\left(\frac{1}{j\omega C_1 R_2} + \frac{R_1}{R_2} \right)} \right] \times \left[\frac{R_4}{R_3 + j\omega C_2 R_3 R_4} \right]$$

$$\frac{V_0}{V_i} = \left[\frac{1}{\frac{R_1}{R_2} - \frac{j}{\omega C_1 R_2}} \right] \times \left[\frac{1}{\frac{R_3}{R_4} + j\omega C_2 R_3} \right]$$

b).

$$\text{Bila } \omega = 0 \text{ maka } \left[\frac{1}{\frac{R_1}{R_2} - \frac{j}{\omega C_1 R_2}} \right] = 0 ,$$

$$\text{Bila } \omega = \text{sangat besar} \left[\frac{1}{\frac{R_1}{R_2} - \frac{j}{\omega C_1 R_2}} \right] = \frac{R_2}{R_1}$$

Maka suku tersebut **bersifat HPF**

$$\text{Bila } \omega = 0 \text{ maka nilai } \left[\frac{1}{\frac{R_3}{R_4} + j\omega C_2 R_3} \right] = \frac{R_4}{R_3} ,$$

Bila $\omega = \text{sangat besar}$ maka
$$\left[\frac{1}{\frac{R_3}{R_4} + j \omega C_2 R_3} \right] = 0$$

Maka suku tersebut **bersifat LPF**

Pada Suku HPF :

$$\left(\frac{V_0}{V_i} \right)_{HPF} = \frac{1}{\frac{R_1}{R_2} - \frac{j}{\omega C_1 R_2}}$$

Pada tiap nilai frekuensi 3 dB maka $\left| \left(\frac{V_0}{V_i} \right) \right| = \frac{1}{\sqrt{2}}$, maka :

$$\left| \frac{1}{\frac{R_1}{R_2} - \frac{j}{\omega_1 C_1 R_2}} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\left| \frac{R_1}{R_2} - \frac{j}{\omega_1 C_1 R_2} \right| = \sqrt{2} \rightarrow \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 + \frac{1}{(\omega_1 C_1 R_2)^2} = 2$$

$$\frac{1}{(\omega_1 C_1 R_2)^2} = 2 - \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 = 2 - \left(\frac{5 \text{ k}}{20 \text{ k}} \right)^2 = 1,9375$$

$$\omega_1 = 2\pi f_1 = \frac{1}{C_1 R_2} \times \frac{1}{\sqrt{1,9375}}$$

$$\text{frekuensi 3 dB bawah} = f_1 = \frac{1}{(0,05 \text{ nF}) (20 \text{ k})} \times \frac{1}{2\pi \sqrt{1,9375}} = 0,114 \text{ kHz}$$

Pada Suku LPF :

$$\left(\frac{V_0}{V_i} \right)_{LPF} = \frac{1}{\frac{R_3}{R_4} + j \omega C_2 R_3}$$

$$\left| \frac{1}{\frac{R_3}{R_4} + j \omega C_2 R_3} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\left| \frac{R_3}{R_4} + j \omega C_2 R_3 \right| = \sqrt{2} \rightarrow \left(\frac{R_3}{R_4} \right)^2 + (\omega_2 C_2 R_3)^2 = 2$$

$$\omega_2 = 2\pi f_2 = \sqrt{\frac{2 - \left(\frac{R_3}{R_4}\right)^2}{(C_2 R_3)^2}} = \frac{1}{C_2 R_3} \sqrt{2 - \left(\frac{R_3}{R_4}\right)^2}$$

$$\text{frekuensi 3 dB atas} = f_2 = \frac{1}{2\pi C_2 R_3} \sqrt{2 - \left(\frac{R_3}{R_4}\right)^2}$$

$$\text{frekuensi 3 dB atas} = f_2 = \frac{1}{2\pi (0,01 \text{ nF}) (10 \text{ k})} \sqrt{2 - \left(\frac{10 \text{ k}}{50 \text{ k}}\right)^2} = 2,228 \text{ MHz}$$

$$\text{Band Width} = 2,228 - 0,114 = 2,114 \text{ MHz}$$

Perhatikan :

$$f_1 = \frac{1}{2\pi C_1 R_2} \times \frac{1}{\sqrt{1,9375}}$$

$$\text{frekuensi 3 dB atas} = f_2 = \frac{1}{2\pi C_2 R_3} \sqrt{2 - \left(\frac{R_3}{R_4}\right)^2}$$

$$\text{BW} = f_2 - f_1$$

Amati Rumus di atas maka :

Untuk memperbesar BW :

- 1) memperkecil nilai C_2 atau R_3 atau keduanya
- 2) memperkecil nilai C_1 atau R_2 atau keduanya

Beberapa kesalahan yg terjadi :

1. Ternyata belum bisa menghitung perkalian bil kompleks

2. **TULISAN TERLALU RAPIH** sehingga yg nulis juga bingung
3. **Gain** itu bilangan tanpa satuan
4. **TAK PERNAH MENCOBA MENGHITUNG (LATIHAN SOAL)**