BAB 7

PENGUAT FREKUENSI TINGGI

TTI3H3

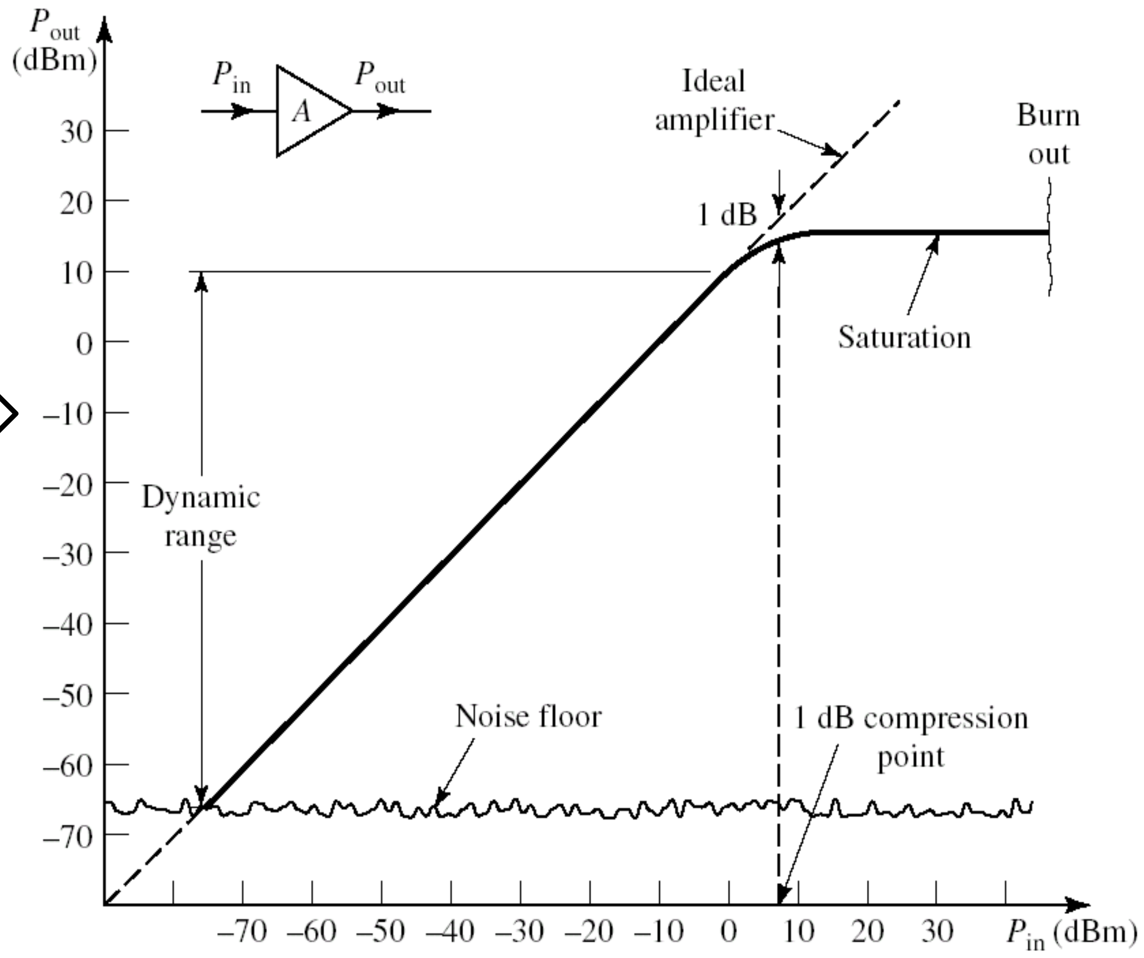
Elektronika RF

PENGUAT DAN PARAMETER S

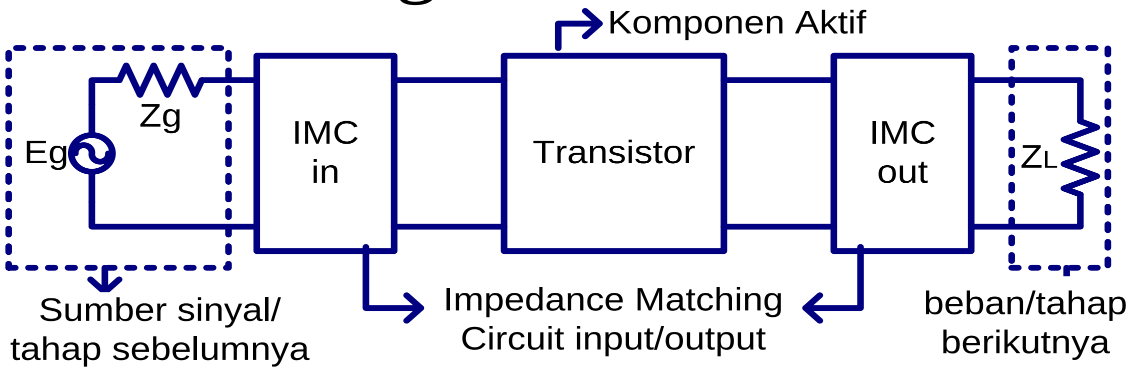
Agenda:

- Model penguat
- Definisi parameter s dan konversi dari parameter y, z, h ke parameter s
- Definisi faktor-faktor penguatan
- Kemantapan penguat RF
- Lingkaran/daerah kemantapan penguat pada Smith Cart
- Perancangan Penguat dengan Gain Maksimum
- Perancangan Penguat dengan Operating Power Gain Ditentukan
- Perancangan Penguat dengan Available Power Gain Ditentukan
- Perancangan Penguat dengan VSWR Ditentukan
- Perancangan Penguat dengan Noise Figure Ditentukan

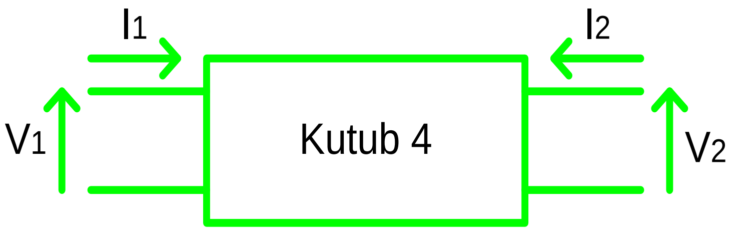
MODEL SISTEM (LINIER)



Penguat frekuensi tinggi SATU TAHAP dapat dimodelkan sebagai berikut :



Tampak bahwa sistem dapat dipandang sebagai hubungan kaskade dari kutub-4, sehingga pada umumnya metoda analisis yang dapat digunakan untuk mempelajari perilaku suatu penguat adalah dengan menggunakan parameter satu kutubempat.



Parameter Kutub 4 :

1. Parameter Z, Y,H, ABCD (frekuensi rendah)
2. Parameter S (frekuensi rendah sampai tinggi)

Parameter Z $\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$

Parameter Y $\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$

Parameter H $\begin{bmatrix} V_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$

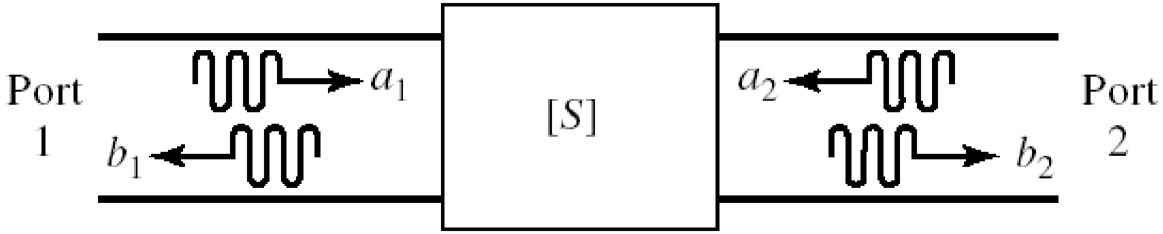
Parameter ABCD $\begin{bmatrix} V_1 \\ i_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_2 \\ -i_2 \end{bmatrix}$

Parameter-parameter tersebut diatas mudah diukur pada frekuensi rendah, karena pengukurannya membutuhkan BEBAN HUBUNG SINGKAT dan/atau BEBAN TERBUKA, yang mudah diperoleh pada frekuensi RENDAH.

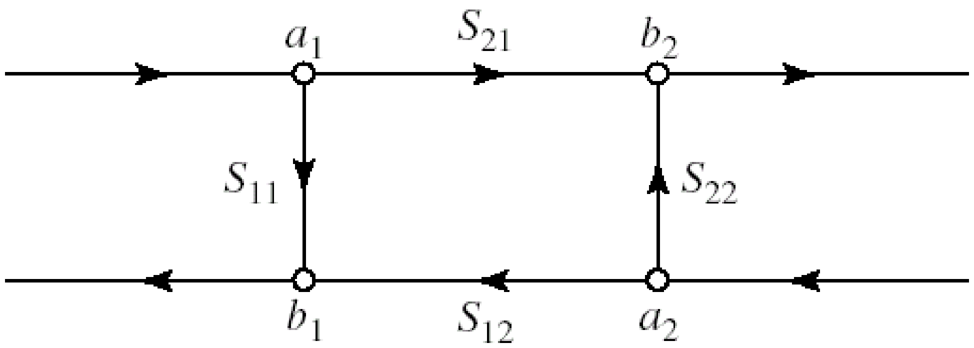
Pada frekuensi tinggi, parameter Z(impedansi), H(hybrid), Y(admitansi) atau ABCD sangat sulit (tidak mungkin) DIUKUR, karena :

1. Penggunaan beban terbuka/tertutup (hubung singkat) dapat menyebabkan komponen aktif yang digunakan tidak stabil (OSILASI)
2. Sulit memperoleh beban TERBUKA/TERTUTUP dengan lebar bidang frekuensi yang lebar pada frekuensi tinggi

Maka digunakan Parameter S (Scattering Parameter):



Gambar a_i dan b_i

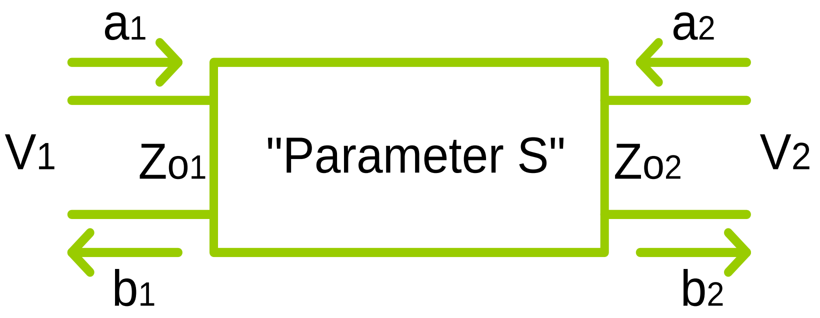


Signal flow graph

$$a_i = \frac{V_i^+}{\sqrt{Z_{oi}}} = \text{gelombang datang}$$

$$b_i = \frac{V_i^-}{\sqrt{Z_{oi}}} = \text{gelombang pantul}$$

Dimana: i = 1(port 1) atau 2 (port 2)



$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

$$S_{11} = S_i = \left.\frac{b_1}{a_1}\right|_{a_2 = 0}$$

→ koefisien refleksi masukan dengan keluaran K-4 ditutup beban sesuai (match)

$$S_{21} = S_f = \left.\frac{b_2}{a_1}\right|_{a_2 = 0}$$

→ koefisien transmisi maju dengan keluaran K-4 ditutup beban sesuai

$$S_{22} = S_o = \left.\frac{b_2}{a_2}\right|_{a_1 = 0}$$

→ koefisien refleksi keluaran dengan masukan K-4 ditutup beban sesuai

$$S_{12} = S_r = \left.\frac{b_1}{a_2}\right|_{a_1 = 0}$$

→ koefisien transmisi balik dengan masukan K-4 ditutup beban sesuai

Hubungan parameter s dan parameter y

s-parameters in terms of y-parameters	y-parameters in terms of s-parameters
$s_{11} = \dfrac{(1-y_{11})(1+y_{22})+y_{12}y_{21}}{(1+y_{11})(1+y_{22})-y_{12}y_{21}}$	$y_{11} = \dfrac{(1+s_{22})(1-s_{11})+s_{12}s_{21}}{(1+s_{11})(1+s_{22})-s_{12}s_{21}}$
$s_{12} = \dfrac{-2y_{12}}{(1+y_{11})(1+y_{22})-y_{12}y_{21}}$	$y_{12} = \dfrac{-2s_{12}}{(1+s_{11})(1+s_{22})-s_{12}s_{21}}$
$s_{21} = \dfrac{-2y_{21}}{(1+y_{11})(1+y_{22})-y_{12}y_{21}}$	$y_{21} = \dfrac{-2s_{21}}{(1+s_{11})(1+s_{22})-s_{12}s_{21}}$
$s_{22} = \dfrac{(1+y_{11})(1-y_{22})+y_{12}y_{21}}{(1+y_{11})(1+y_{22})-y_{12}y_{21}}$	$y_{22} = \dfrac{(1+s_{11})(1-s_{22})+s_{12}s_{21}}{(1+s_{11})(1+s_{22})-s_{12}s_{21}}$

S y 66

Hubungan parameter s dan parameter z

s-parameters in terms of z-parameters	z-parameters in terms of s-parameters
$s_{11} = \dfrac{(z_{11}-1)(z_{22}+1) - z_{12}z_{21}}{(z_{11}+1)(z_{22}+1) - z_{12}z_{21}}$	$z_{11} = \dfrac{(1+s_{11})(1-s_{22}) + s_{12}s_{21}}{(1-s_{11})(1-s_{22}) - s_{12}s_{21}}$
$s_{12} = \dfrac{2z_{12}}{(z_{11}+1)(z_{22}+1) - z_{12}z_{21}}$	$z_{12} = \dfrac{2s_{12}}{(1-s_{11})(1-s_{22}) - s_{12}s_{21}}$
$s_{21} = \dfrac{2z_{21}}{(z_{11}+1)(z_{22}+1) - z_{12}z_{21}}$	$z_{21} = \dfrac{2s_{21}}{(1-s_{11})(1-s_{22}) - s_{12}s_{21}}$
$s_{22} = \dfrac{(z_{11}+1)(z_{22}-1) - z_{12}z_{21}}{(z_{11}+1)(z_{22}+1) - z_{12}z_{21}}$	$z_{22} = \dfrac{(1+s_{22})(1-s_{11}) + s_{12}s_{21}}{(1-s_{11})(1-s_{22}) - s_{12}s_{21}}$

S

Z

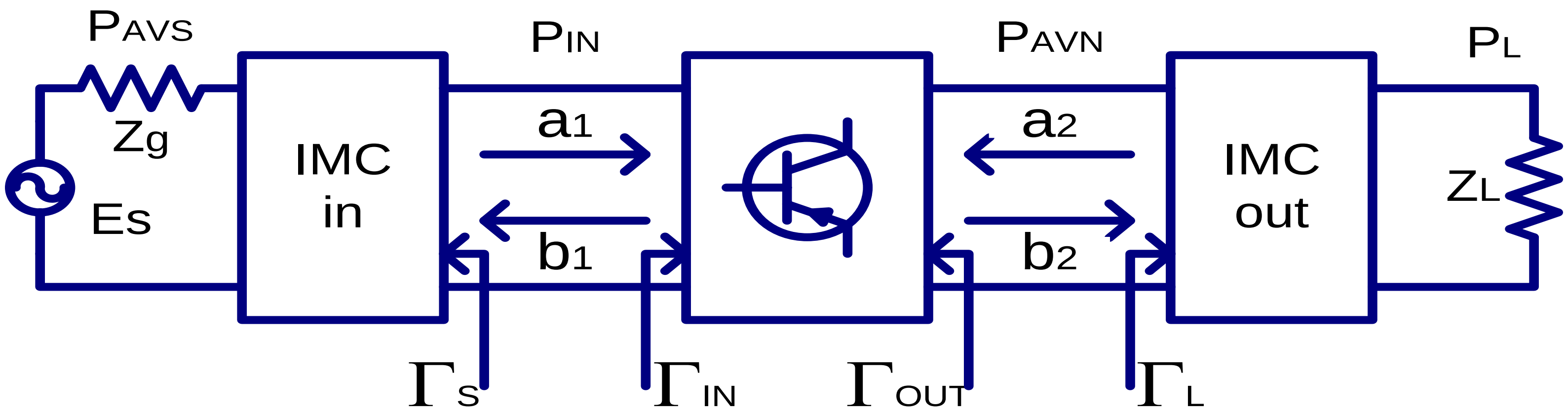
Hubungan parameter s dan parameter h

s-parameters in terms of h-parameters	h-parameters in terms of s-parameters
$s_{11} = \frac{(h_{11}-1)(h_{22}+1)-h_{12}h_{21}}{(h_{11}+1)(h_{22}+1)-h_{12}h_{21}}$	$h_{11} = \frac{(1+s_{11})(1+s_{22})-s_{12}s_{21}}{(1-s_{11})(1+s_{22})+s_{12}s_{21}}$
$s_{12} = \frac{2h_{12}}{(h_{11}+1)(h_{22}+1)-h_{12}h_{21}}$	$h_{12} = \frac{2s_{12}}{(1-s_{11})(1+s_{22})+s_{12}s_{21}}$
$s_{21} = \frac{-2h_{21}}{(h_{11}+1)(h_{22}+1)-h_{12}h_{21}}$	$h_{21} = \frac{-2s_{21}}{(1-s_{11})(1+s_{22})+s_{12}s_{21}}$
$s_{22} = \frac{(1+h_{11})(1-h_{22})+h_{12}h_{21}}{(h_{11}+1)(h_{22}+1)-h_{12}h_{21}}$	$h_{22} = \frac{(1-s_{22})(1-s_{11})-s_{12}s_{21}}{(1-s_{11})(1+s_{22})+s_{12}s_{21}}$

s h

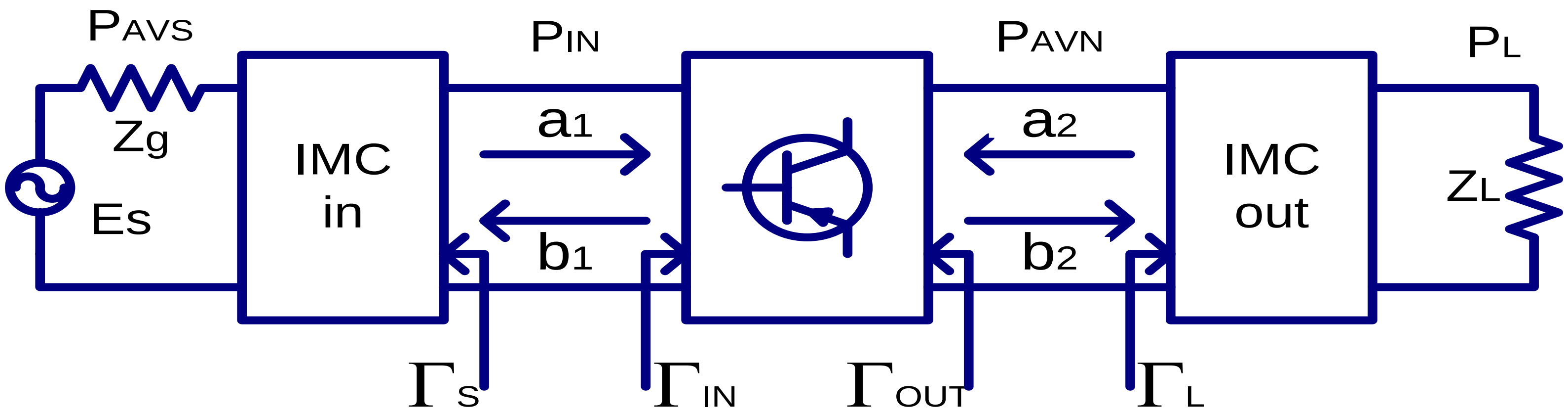
KOEFISIEN REFLEKSI INPUT & KOEFISIEN REFLEKSI OUTPUT

MODEL PENGUAT



1. Γ_S= Koefisien refleksi sumber (Source) = a1/b1
2. Γ_L= Koefisien Refleksi Beban (Load) = a2/b2
3. Γ_{IN} = Koefisien refleksi input transistor/penguat =b1/a1
4. Γ_{OUT}= Koefisien Refleksi output transistor/ penguat =b2/a2

KOEFISIEN REFLEKSI INPUT (Γ_{IN})



$$\left.\begin{aligned} b_1 &= S_{11}.a_1 + S_{12}.\Gamma_L.b_1 \\ b_2 &= S_{21}.a_1 + S_{22}.\Gamma_L.b_2 \end{aligned}\right\} \rightarrow$$

$$\Gamma_L = \frac{a2}{b2} \rightarrow a2 = \Gamma_L.b2$$

$$b_2 = S_{21}.a_1 + S_{22}.\Gamma_L.b_2$$

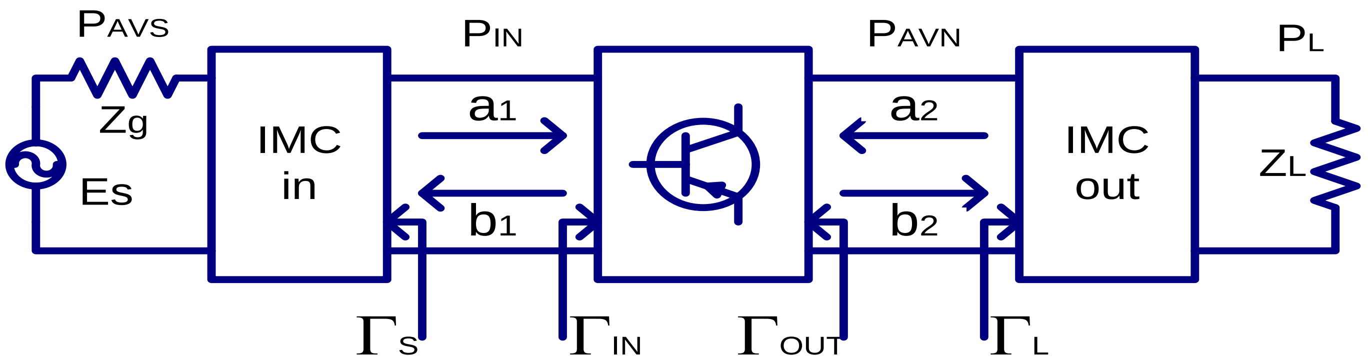
$$b_2(1 - S_{22}.\Gamma_L.b_2) = S_{21}.a_1$$

$$b_2 = \frac{S_{21}.a_1}{1 - S_{22}\Gamma_L}$$

$$b_1 = S_{11}.a_1 + S_{12}.\Gamma_L.b_2 = S_{11}.a_1 + \frac{S_{12}.S_{21}.\Gamma_L}{1 - S_{22}.\Gamma_L}.a_1$$

$$\Gamma_{IN} = \frac{b1}{a1} \rightarrow \Gamma_{IN} = S_{11} + \frac{S_{12}.S_{21}.\Gamma_L}{1 - S_{22}.\Gamma_L}$$

KOEFISIEN REFLEKSI OUTPUT (Γ_{OUT})



$$b_1 = S_{11}.a_1 + S_{12}.a_2$$

$$b_2 = S_{21}.a_1 + S_{22}.a_2$$

$$\Gamma_{OUT} = \left.\frac{b_2}{a_2}\right|_{E_S = 0}$$

$$E_s = 0 \rightarrow a_1 = \Gamma s.b_1.$$

$\rightarrow$

$$b_1 = S_{11}.\Gamma s.b_1 + S_{12}.a_2$$

$$b_1(1 - S_{11}.\Gamma s.b_1) = S_{12}.a_2$$

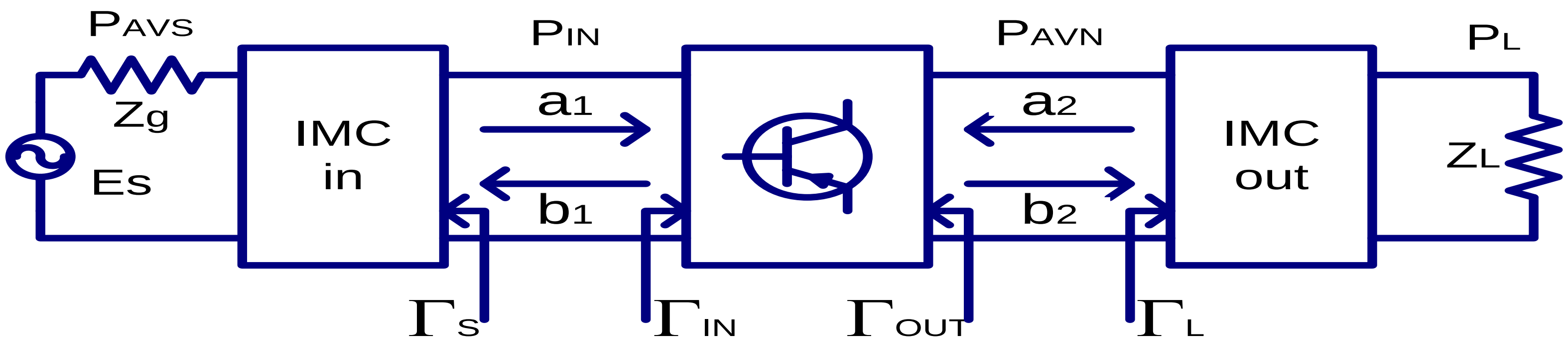
$$b_1 = \frac{S_{12}.a_2}{1 - S_{11}\Gamma s}$$

$$b_2 = S_{21}.\Gamma s.b_1 + S_{22}.a_2 = \frac{S_{12}.S_{21}.\Gamma s}{1 - S_{11}.\Gamma s}.a_2 + S_{22}.a_2$$

$$\Gamma_{OUT} = \left.\frac{b_2}{a_2}\right|_{E_s = 0} = S_{22} + \frac{S_{12}.S_{21}.\Gamma_s}{1 - S_{11}.\Gamma_s}$$

PENGUATAN

FAKTOR PENGUATAN PENGUAT RF



Faktor Penguatan :

1. **Transducer Power Gain (GT)**

$$G_T = \frac{P_L}{P_{AVS}} = \frac{\text{Daya yang diberikan ke beban}}{\text{Daya yang tersedia pada sumber sinyal}}$$

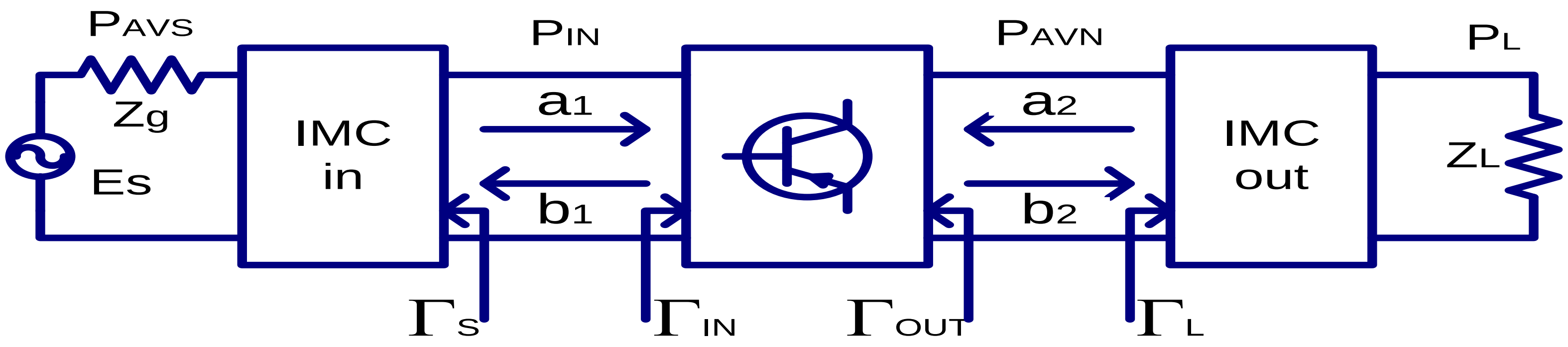
2. **Operating Power Gain (GP)**

$$G_P = \frac{P_L}{P_{IN}} = \frac{\text{Daya yang diberikan ke beban}}{\text{Daya yang diberikan ke transistor}}$$

3. **Available Power Gain (GA)**

$$G_A = \frac{P_{AVN}}{P_{AVS}} = \frac{\text{Daya tersedia dari transistor}}{\text{Daya yang tersedia pada sumber sinyal}}$$

TRANSDUCER POWER GAIN (G_T)

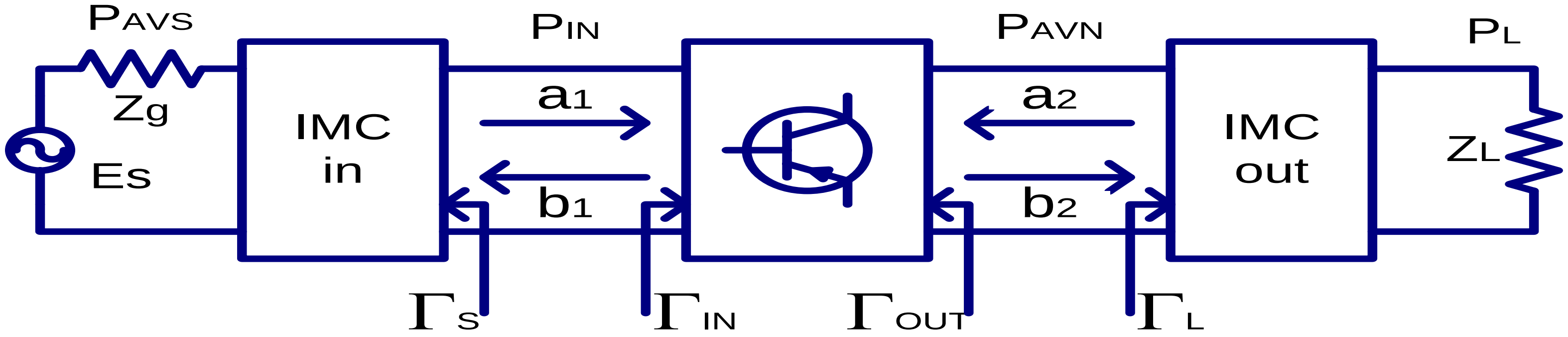


$$G_T = \frac{P_L}{P_{AVS}} = \frac{P_L}{P_{IN}} \cdot \frac{P_{IN}}{P_{AVS}} = G_P \cdot \frac{P_{IN}}{P_{AVS}} = G_P \cdot M_S = \frac{1-|\Gamma_s|^2}{|1-\Gamma_s \cdot \Gamma_{IN}|^2} |S_{21}|^2 \frac{1-|\Gamma_L|^2}{|1-S_{22} \cdot \Gamma_L|^2}$$

atau

$$G_T = \frac{1-|\Gamma_S|^2}{|1-S_{11} \cdot \Gamma_S|^2} |S_{21}|^2 \frac{1-|\Gamma_L|^2}{|1-\Gamma_{OUT} \cdot \Gamma_L|^2}$$

OPERATING POWER GAIN (G_P)

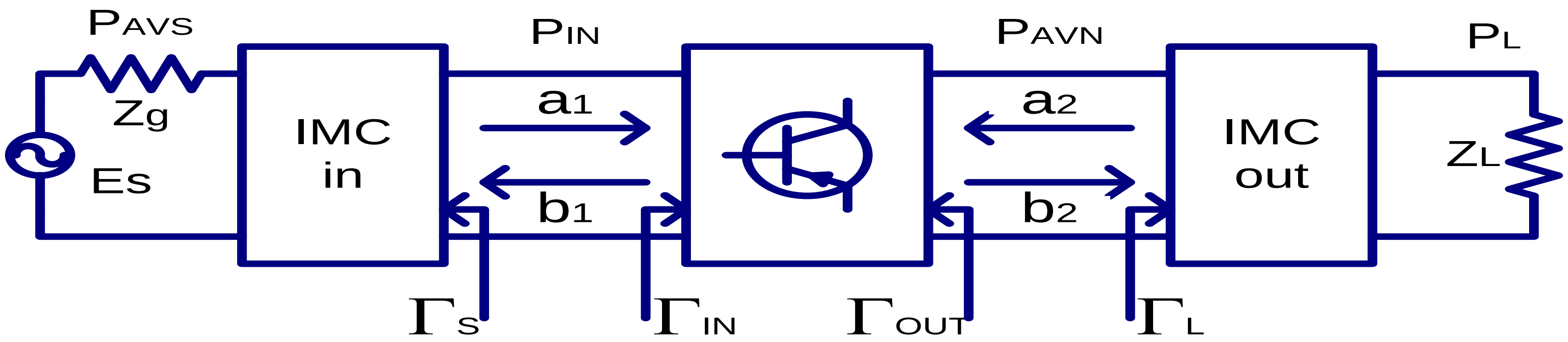


$$G_P = \frac{P_L}{P_{IN}} = \frac{\frac{1}{2}\left|b_2\right|^2 . (1 - \left|\Gamma_L\right|^2)}{\frac{1}{2}\left|a_1\right|^2 . (1 - \left|\Gamma_{IN}\right|^2)}$$

$$b_2 = \frac{S_{21}.a_1}{1 - S_{22}.r_L}$$

$$G_P = \frac{1}{1 - \left|\Gamma_{IN}\right|^2} \left|S_{21}\right|^2 \frac{1 - \left|\Gamma_L\right|^2}{\left|1 - S_{22}.\Gamma_L\right|^2}$$

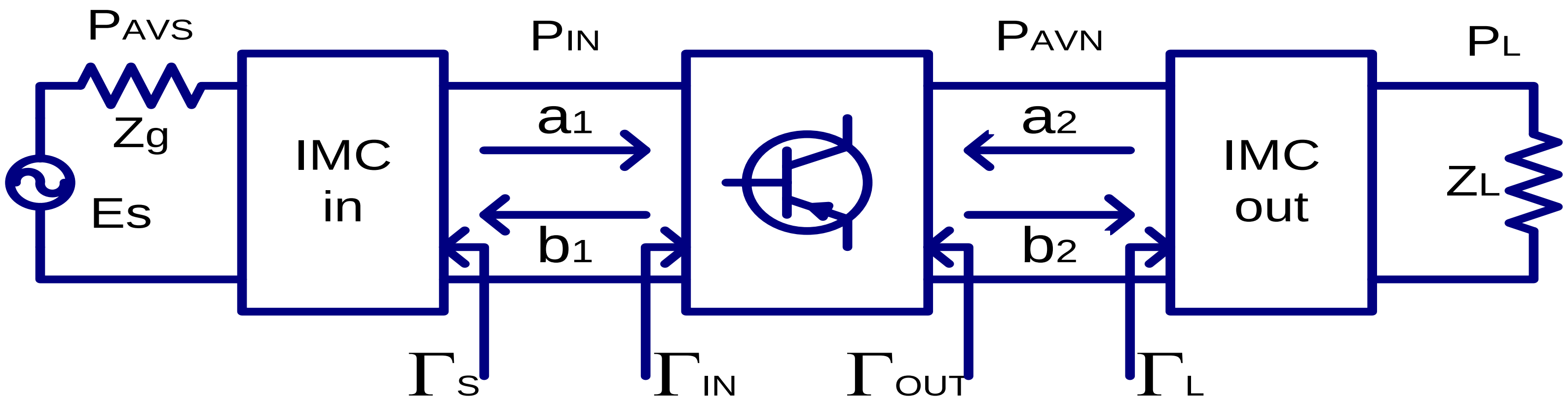
AVALAIBLE POWER GAIN (G_A)



$$G_A = \frac{P_{AVN}}{P_{AVS}} = \frac{P_L}{P_{AVS}} \cdot \frac{P_{AVN}}{P_L} = \frac{G_T}{M_L}$$

$$G_A = \frac{1 - |\Gamma_S|^2}{|1 - S_{11}.\Gamma_S|^2} |S_{21}|^2 \frac{1}{1 - |\Gamma_{OUT}|^2}$$

HUBUNGAN ANTAR DAYA



$$P_{IN} = \tfrac{1}{2}\ |a_1|^2\ -\ \tfrac{1}{2}\ |b_1|^2\ =\ \tfrac{1}{2}\ |a_1|^2.(\,1 - |\Gamma_{IN}|^2\,)$$

$$P_{IN} = P_{AVS}\,.\,\frac{\left(1-|\Gamma_S|^2\right).\left(1-|\Gamma_{IN}|^2\right)}{\left|1-\Gamma_S.\Gamma_{IN}\right|^2}$$

$$P_L = P_{AVN}\,.\,\frac{\left(1-|\Gamma_L|^2\right).\left(1-|\Gamma_{OUT}|^2\right)}{\left|1-\Gamma_{OUT}.\Gamma_L\right|^2}$$

Contoh soal:

- Transistor microwave mempunyai parameter "S" pada 10 GHz, dengan impedansi referensi (Z_O) 50 Ω sbb.:

  S_{11}=0,45 <150^0

  S_{12}=0,01 <-10^0

  S_{21}=2,05 <10^0

  S_{22}=0,40 <-150^0

  Jika digunakan hambatan sumber Z_S=20 Ω dan Hambatan beban sebesar Z_L=30 Ω, hitunglah Operating power Gain, Available Power Gain, dan Transducer Power Gain!

  Solusi: Γ_S=-0.429, Γ_L=-0.250

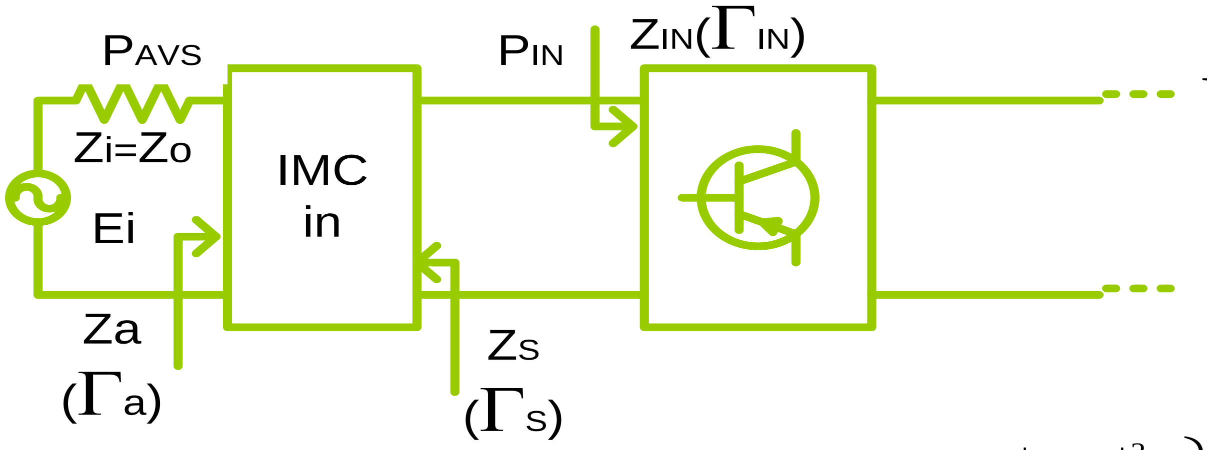
$$\Rightarrow \Gamma_{\mathrm{IN}} = 0.455\angle 150^0 \text{ dan } \Gamma_{\mathrm{OUT}} = 0.408\angle -151^0$$

$$\Rightarrow G_P = 5.94$$

$$\Rightarrow G_A = 5.85$$

$$\Rightarrow G_T = 5.49$$

VSWR MASUKAN



$$VSWR_{IN} = \frac{1+|\Gamma a|}{1-|\Gamma a|}$$

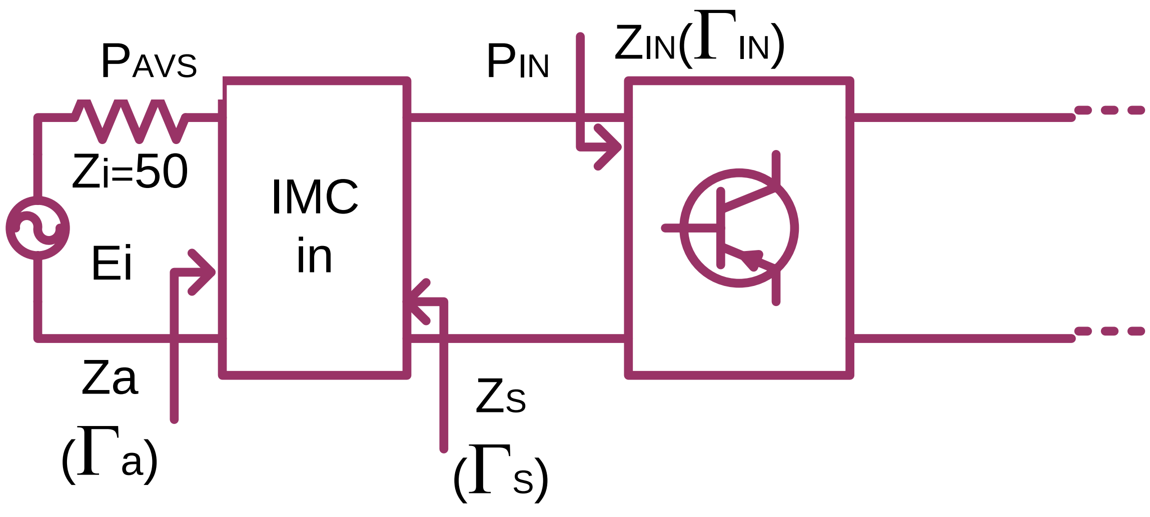
$$\Gamma a = \frac{Za - Z_O}{Za + Z_O}$$

$$\left.\begin{array}{l} P_{IN} = P_{AVS}.(1-|\Gamma a|^2) \\ P_{IN} = P_{AVS}.M_S \end{array}\right\} \qquad M_S = (1-|\Gamma a|^2)$$

$$\left.\begin{array}{l} |\Gamma a| = \sqrt{1-M_S} \\ M_S = \dfrac{(1-|\Gamma_S|^2).(1-|\Gamma_{IN}|^2)}{|1-\Gamma_S\Gamma_{IN}|^2} \end{array}\right\} \qquad \begin{array}{l} |\Gamma a| = \sqrt{1 - \dfrac{(1-|\Gamma_S|^2).(1-|\Gamma_{IN}|^2)}{|1-\Gamma_S\Gamma_{IN}|^2}} \\ |\Gamma a| = \left|\dfrac{\Gamma_{IN} - \Gamma_S{}^*}{1-\Gamma_{IN}\Gamma_S}\right| \end{array}$$

Contoh soal:

$\Gamma_{IN} = 0{,}4 \angle -145°$



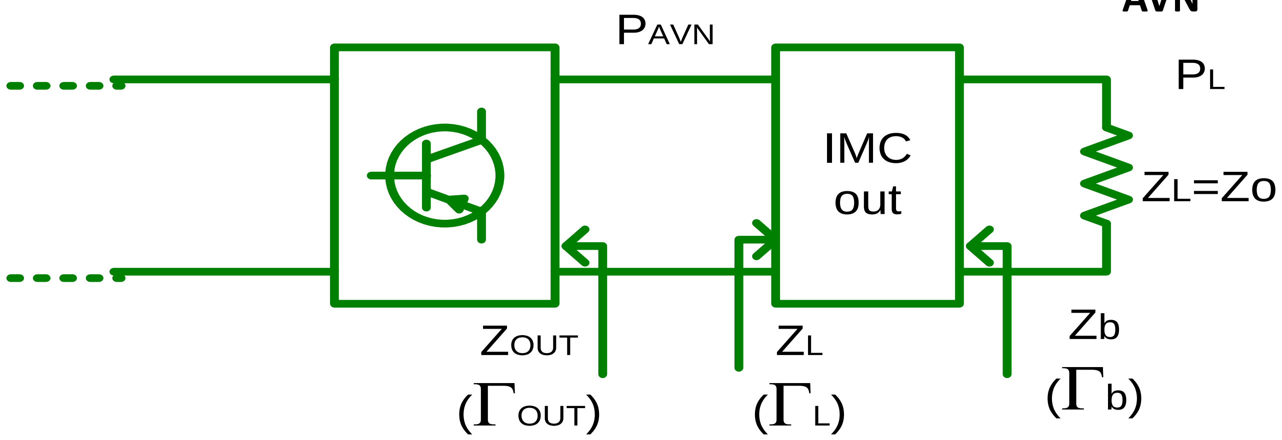
$\Gamma_S = 0{,}614 \angle 160°$

Hitunglah : a. $|\Gamma_a|$ (0.326)

b. $VSWR_{IN}$ (1.985)

VSWR KELUARAN

PL = P$_{AVN}$. ML



$$VSWR_{OUT} = \frac{1 + |\Gamma_b|}{1 - |\Gamma_b|} \qquad \Gamma_b = \frac{Zb - Z_O}{Zb + Z_O}$$

$$|\Gamma_b| = \sqrt{1 - M_L}$$

$$M_L = \frac{(1 - |\Gamma_L|^2).(1 - |\Gamma_{OUT}|^2)}{|1 - \Gamma_{OUT}\Gamma_L|^2}$$

$$|\Gamma_b| = \sqrt{1 - \frac{(1 - |\Gamma_L|^2).(1 - |\Gamma_{OUT}|^2)}{|1 - \Gamma_{OUT}\Gamma_L|^2}}$$

$$|\Gamma_b| = \left|\frac{\Gamma_{OUT} - \Gamma_L^*}{1 - \Gamma_{OUT}\Gamma_L}\right|$$

KESTABILAN

KEMANTAPAN PENGUAT RF

1. **Mantap tanpa syarat (Unconditionally Stable)**

   Suatu penguat dinyatakan MANTAP TANPA SYARAT, bila terpenuhi $|\Gamma IN| < 1$ dan $|\Gamma OUT| < 1$; untuk SEMUA harga impedansi sumber dan beban PASIF ($|\Gamma S| < 1$ dan $|\Gamma L| < 1$)

2. **Mantap bersyarat (Conditionally Stable, Potentially Unstable)**

   Suatu penguat dinyatakan MANTAP BERSYARAT, bila terpenuhi $|\Gamma IN| < 1$ dan $|\Gamma OUT| < 1$; untuk SEJUMLAH harga impedansi sumber dan beban PASIF

OSILASI terjadi pada penguat, jika pada terminal masukan atau keluarannya, terdapat RESISTANSI NEGATIF, yaitu bila $|\Gamma IN| > 1$ atau $|\Gamma OUT| > 1$. Sebagai contoh, jika impedansi masukan : $ZIN = - RIN + jXIN$

FAKTOR KEMANTAPAN K

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2\,|S_{12}.S_{21}|} > 1 \qquad \text{dimana} \quad \Delta = S_{11}.S_{22} - S_{12}.S_{21}$$

$$1 - |S_{11}|^2 > |S_{12}.S_{21}| \qquad 1 - |S_{22}|^2 > |S_{12}.S_{21}|$$

kondisi cukup dan perlu untuk memperoleh KEMANTAPAN TANPA SYARAT :

$$K > 1 \qquad |S_{11}| < 1 \qquad 1 - |S_{11}|^2 > |S_{12}.S_{21}|$$

$$|S_{22}| < 1 \qquad 1 - |S_{22}|^2 > |S_{12}.S_{21}|$$

atau cukup dengan :

$$\left\{ \begin{array}{l} |\Delta| < 1 \\ \text{dan} \\ K > 1 \end{array} \right.$$

Pada satu frekuensi tertentu bisa terjadi : $\left.\begin{matrix} R_S - R_{IN} = 0 \\ X_{IN} + X_S = 0 \end{matrix}\right\} \quad I = \infty$

Berdasarkan kepada koefisien refleksi, penguat yang MANTAP TANPA SYARAT akan terpenuhi bila :

1. $|\Gamma_S| < 1$

2. $|\Gamma_L| < 1$

3. $$|\Gamma_{OUT}| = \left| S_{22} + \frac{S_{12}.S_{21}.\Gamma_S}{1 - S_{11}.\Gamma_S} \right| < 1$$

4. $$|\Gamma_{IN}| = \left| S_{11} + \frac{S_{12}.S_{21}.\Gamma_L}{1 - S_{22}.\Gamma_L} \right| < 1$$

Pada penguat MANTAP BERSYARAT, harga $|\Gamma_S|$ dan $|\Gamma_L|$ yang memberikan kemantapan dapat ditentukan dengan menggunakan **PROSEDUR GRAFIS pada SMITH CHART**.

Tempat kedudukan Γ_S dan Γ_L yang menghasilkan $|\Gamma_{OUT}|=1$ dan $|\Gamma_{IN}|=1$ ditentukan dulu :

$$|\Gamma_{IN}| = \left| S_{11} + \frac{S_{12}.S_{21}.\Gamma_L}{1 - S_{22}.\Gamma_L} \right| = 1$$

$$\left| \Gamma_L - \frac{(S_{22} - \Delta.S_{11}^*)^*}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} \right| = \left| \frac{S_{12}.S_{21}}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} \right| \qquad \text{dimana} \quad \Delta = S_{11}.S_{22} - S_{12}.S_{21}$$

DAERAH KESTABILAN DENGAN MENGGUNAKAN SMITH CHART

Pada satu frekuensi tertentu bisa terjadi : $\left.\begin{array}{l} R_S - R_{IN} = 0 \\ X_{IN} + X_S = 0 \end{array}\right\} \quad I = \infty$

Berdasarkan kepada koefisien refleksi, penguat yang MANTAP TANPA SYARAT akan terpenuhi bila :

1. $|\Gamma_S| < 1$

2. $|\Gamma_L| < 1$

3. $$|\Gamma_{OUT}| = \left| S_{22} + \frac{S_{12}.S_{21}.\Gamma_S}{1 - S_{11}.\Gamma_S} \right| < 1$$

4. $$|\Gamma_{IN}| = \left| S_{11} + \frac{S_{12}.S_{21}.\Gamma_L}{1 - S_{22}.\Gamma_L} \right| < 1$$

Pada penguat MANTAP BERSYARAT, harga $|\Gamma_S|$ dan $|\Gamma_L|$ yang memberikan kemantapan dapat ditentukan dengan menggunakan **PROSEDUR GRAFIS pada SMITH CHART**.

Tempat kedudukan Γ_S dan Γ_L yang menghasilkan $|\Gamma_{OUT}|=1$ dan $|\Gamma_{IN}|=1$ ditentukan dulu :

$$|\Gamma_{IN}| = \left| S_{11} + \frac{S_{12}.S_{21}.\Gamma_L}{1 - S_{22}.\Gamma_L} \right| = 1$$

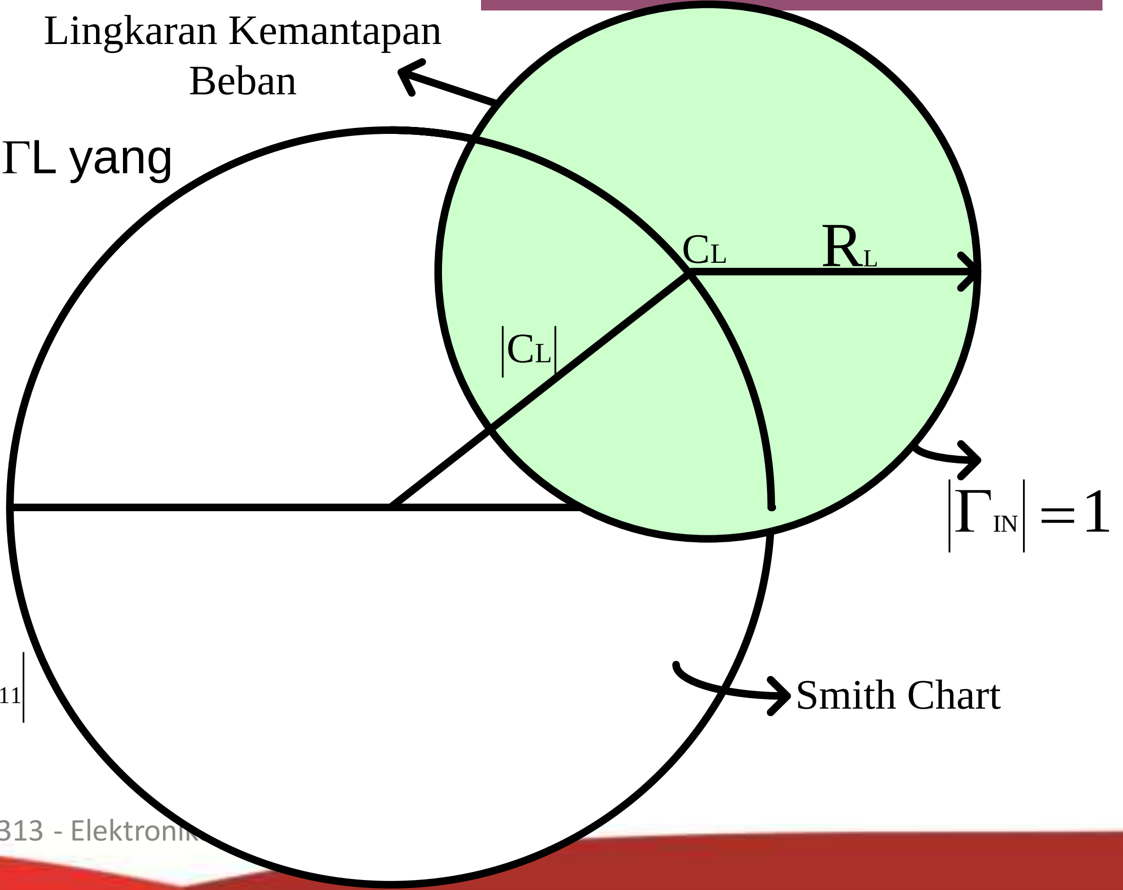
$$\left| \Gamma_L - \frac{(S_{22} - \Delta.S_{11}^*)^*}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} \right| = \left| \frac{S_{12}.S_{21}}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} \right| \quad \text{dimana} \quad \Delta = S_{11}.S_{22} - S_{12}.S_{21}$$

Persamaan diatas merupakan persamaan lingkaran beban

(tempat kedudukan ΓL untuk $|\Gamma IN|$ =1):

$$\begin{cases} R_L = \left| \dfrac{S_{12}.S_{21}}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} \right| & \rightarrow \text{jari - jari} \\ C_L = \dfrac{(S_{22} - \Delta.S_{11}^*)^*}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} & \rightarrow \text{titik pusat lingkaran} \end{cases}$$

Bagaimana menentukan daerah ΓL yang MANTAP ?

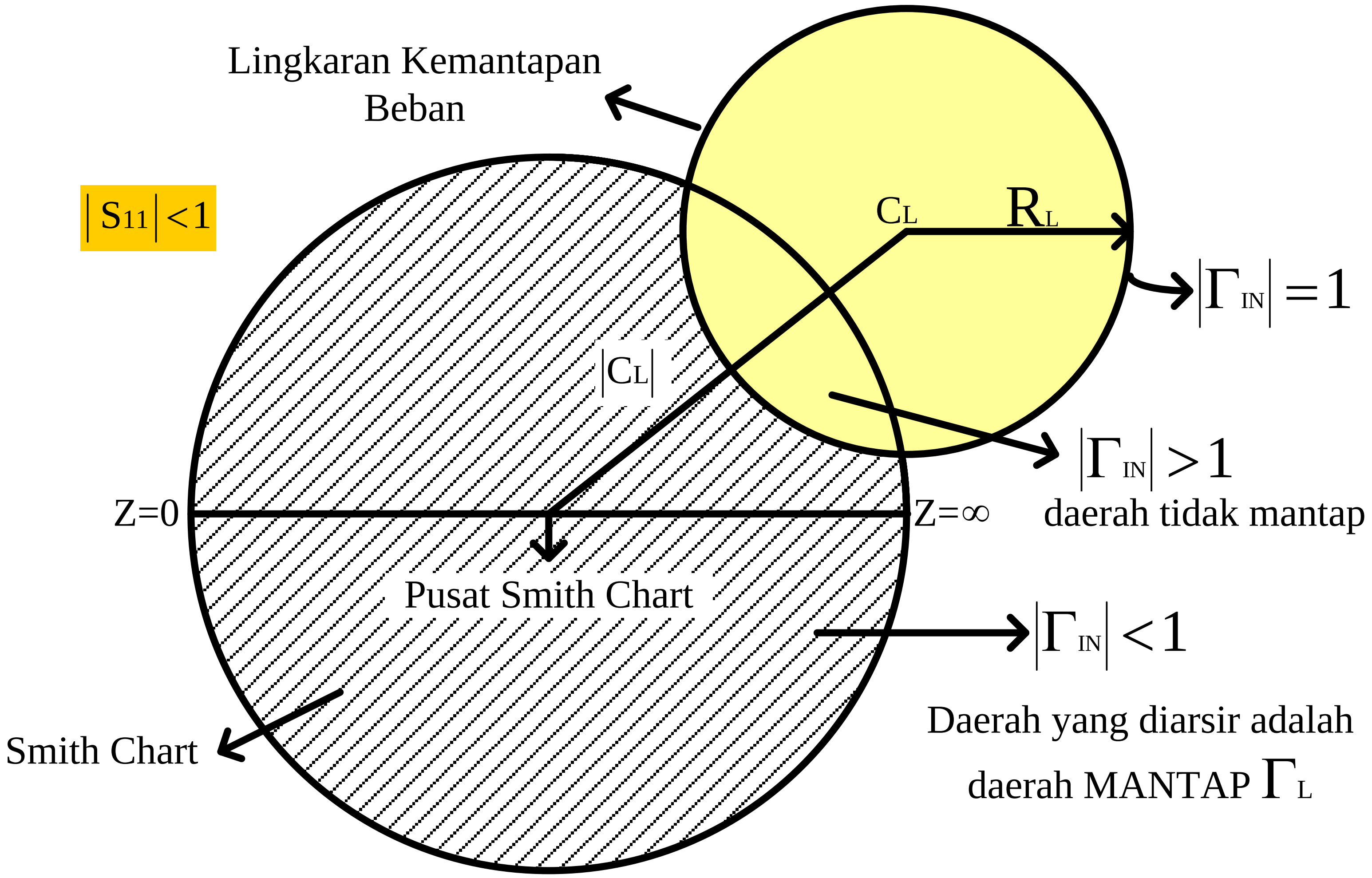


Jika

$$Z_L = Z_O \rightarrow \Gamma_L = \frac{Z_L - Z_O}{Z_L + Z_O} = 0 \quad \Rightarrow \quad |\Gamma_{IN}| = |S_{11}|$$

Jadi bila |S11| < 1, maka |ΓIN| < 1, untuk ΓL = 0 (Z_L=Z_O)

→ daerah yang mengandung titik pusat Smith Chart adalah daerah mantap



Jadi jika|S11|> 1, maka|ΓIN|> 1 untuk ΓL = 0 (Z_L=Z_O)

→ daerah yang mengandung titik pusat Smith Chart adalah daerah tidak mantap

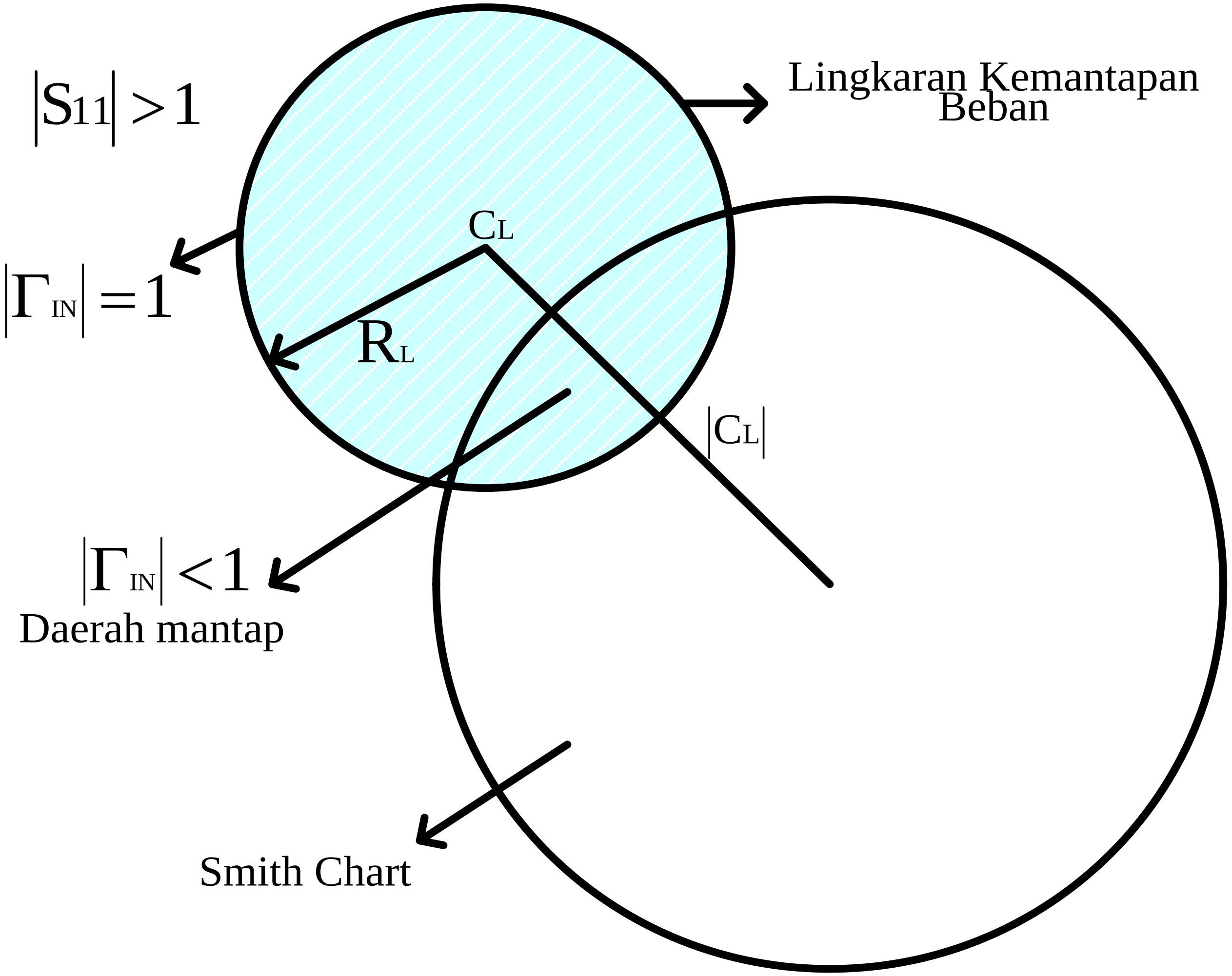
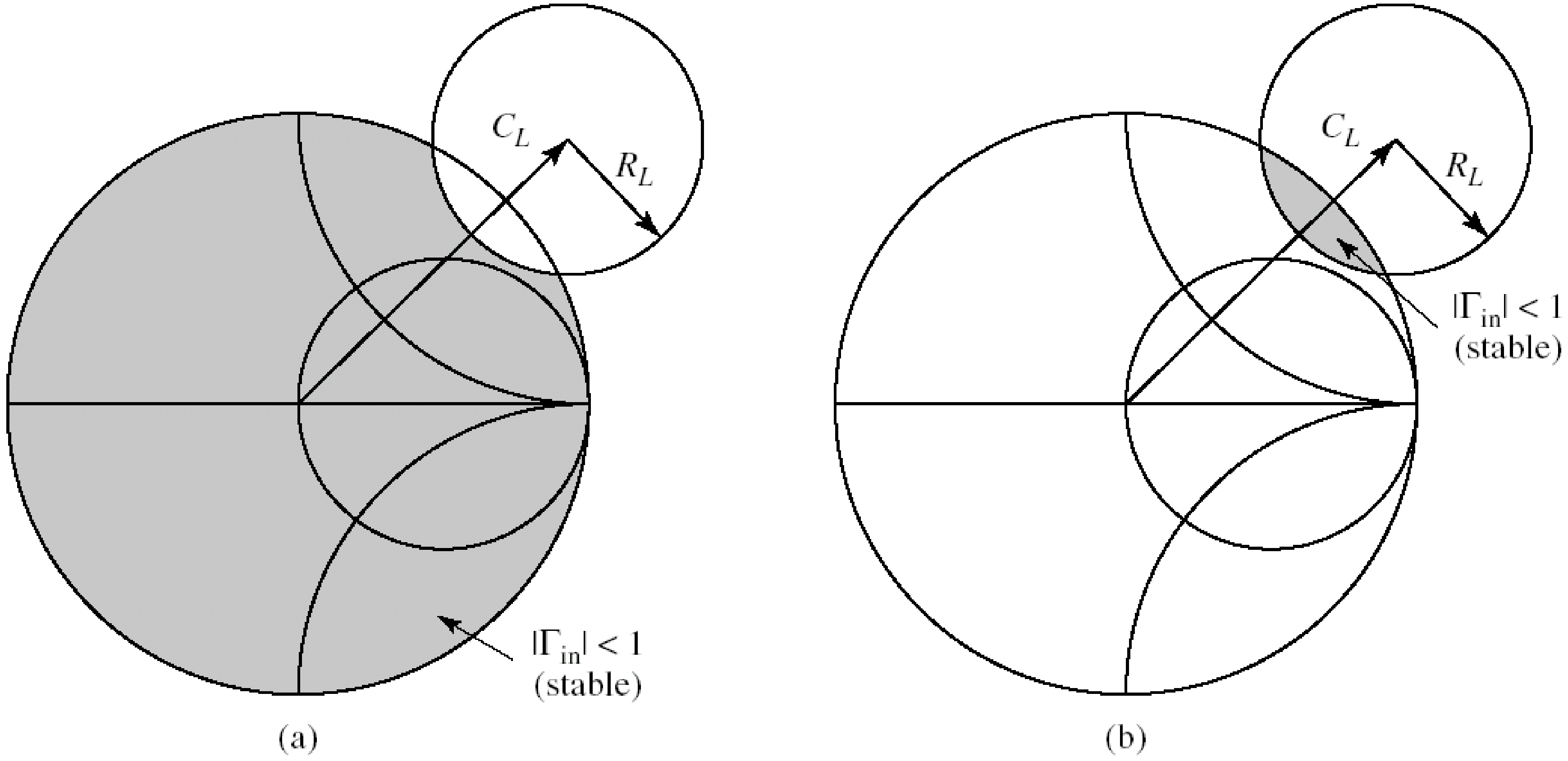


Figure 11-5 (p. 544)
Microwave Engineering, 3rd Edition, by David M Pozar
Load (Output) stability circles for a conditionally stable device.
(a) $|S_{11}| < 1$. (b) $|S_{11}| > 1$.



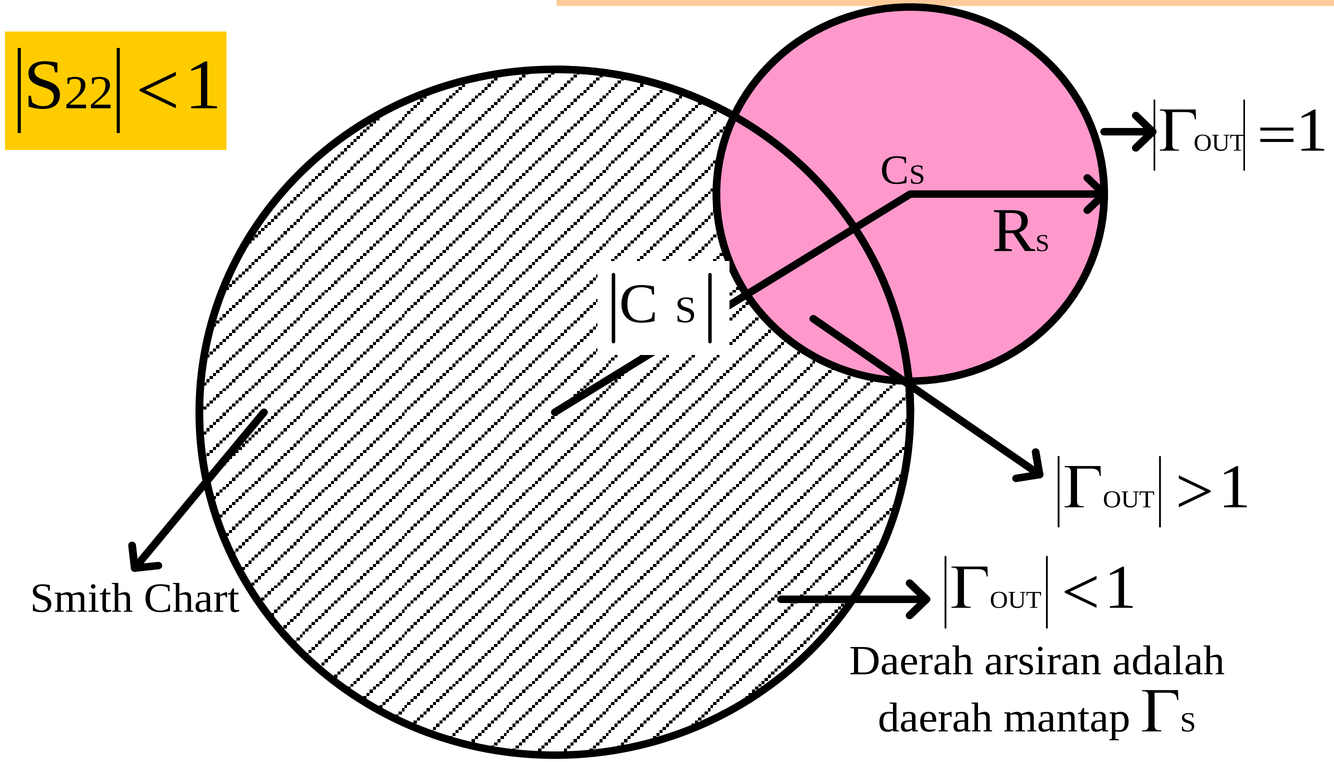
$$\left|\Gamma_{OUT}\right| = \left|S_{22} + \frac{S_{12}.S_{21}.\Gamma_S}{1 - S_{11}.\Gamma_S}\right| = 1$$

$$\left|\Gamma_S - \frac{(S_{11} - \Delta.S_{22}^*)^*}{\left|S_{11}\right|^2 - \left|\Delta\right|^2}\right| = \left|\frac{S_{12}.S_{21}}{\left|S_{11}\right|^2 - \left|\Delta\right|^2}\right| \quad \text{dimana} : \Delta = S_{11}.S_{22} - S_{12}.S_{21}$$

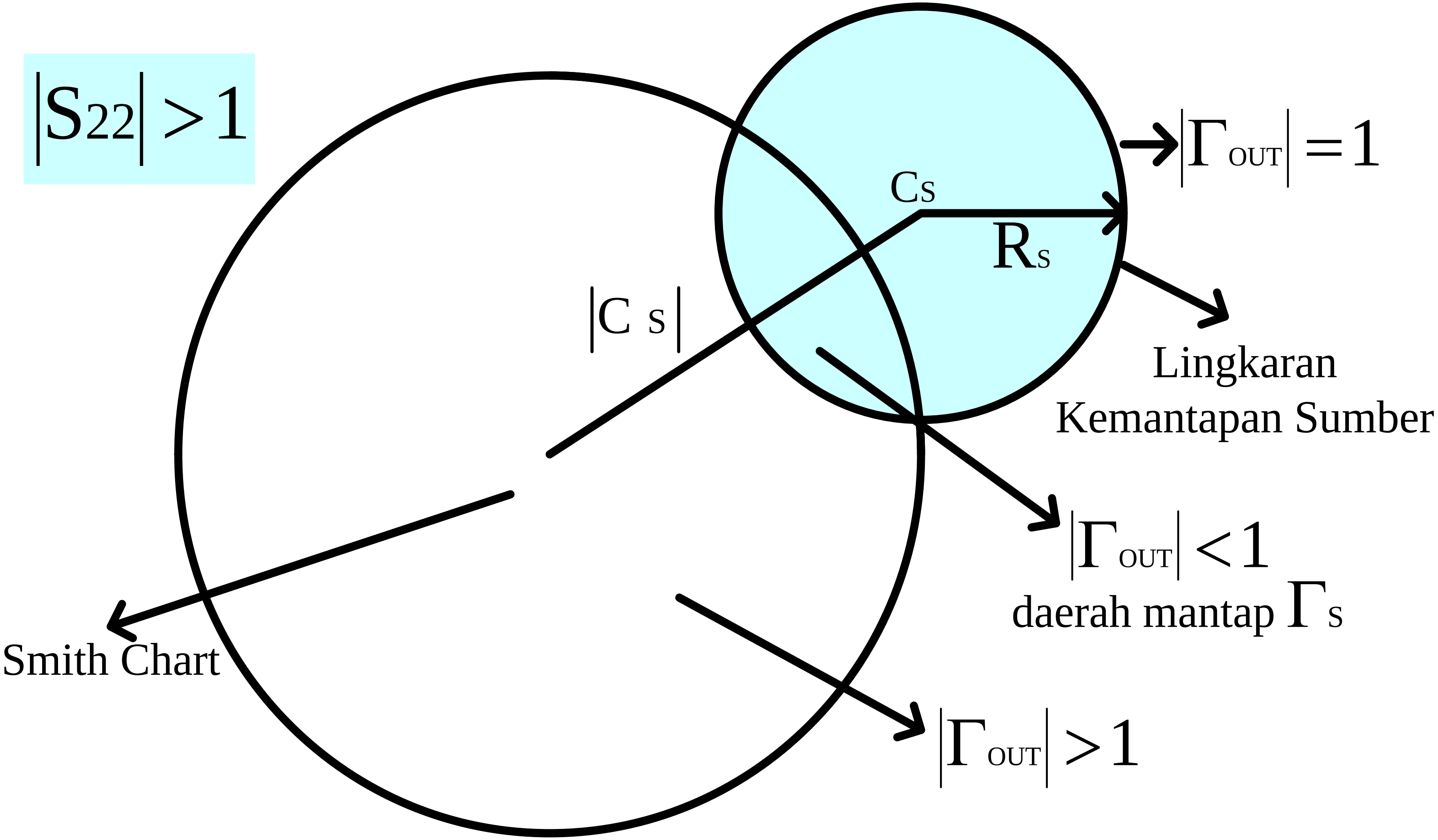
Persamaan diatas merupakan persamaan lingkaran sumber (tempat kedudukan Γ_S untuk $|\Gamma_{OUT}|=1$):

$$\begin{cases} R_S = \left|\dfrac{S_{12}.S_{21}}{\left|S_{11}\right|^2 - \left|\Delta\right|^2}\right| & \rightarrow \text{jari - jari} \\ C_S = \dfrac{(S_{11} - \Delta.S_{22}^*)^*}{\left|S_{11}\right|^2 - \left|\Delta\right|^2} & \rightarrow \text{titik pusat lingkaran} \end{cases}$$

$$\left|S_{22}\right| < 1$$

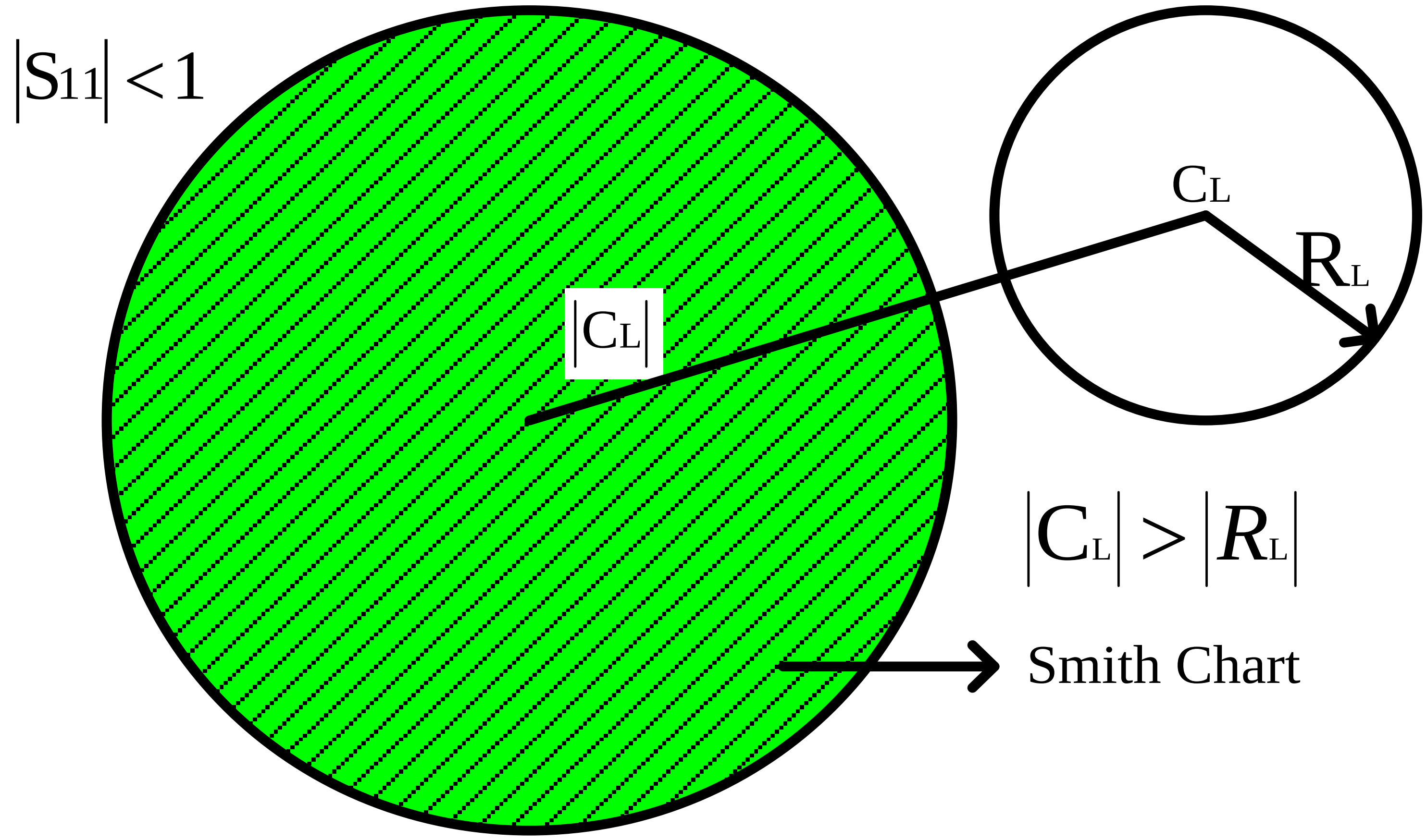


Daerah arsiran adalah daerah mantap Γ_S

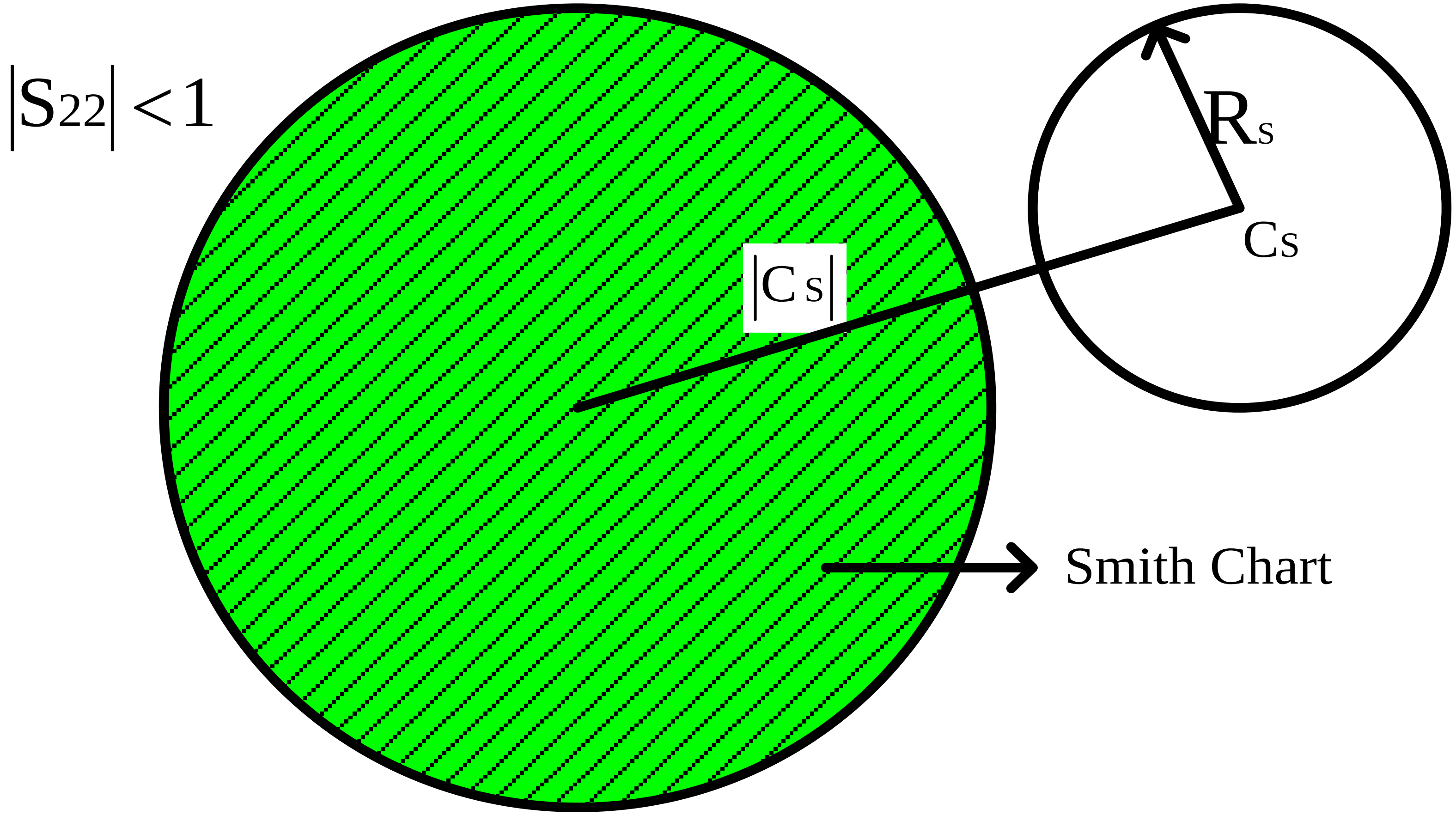

$|S_{22}| > 1$
$\rightarrow |\Gamma_{OUT}| = 1$
C_S
R_S
$|C_S|$
Lingkaran Kemantapan Sumber
$|\Gamma_{OUT}| < 1$
daerah mantap Γ_S
Smith Chart
$|\Gamma_{OUT}| > 1$

Kondisi mantap "TANPA SYARAT" untuk semua sumber atau beban dapat ditulis dengan :

$$\left| |C_L| - R_L \right| > 1 \quad \text{untuk} \quad |S_{11}| < 1$$

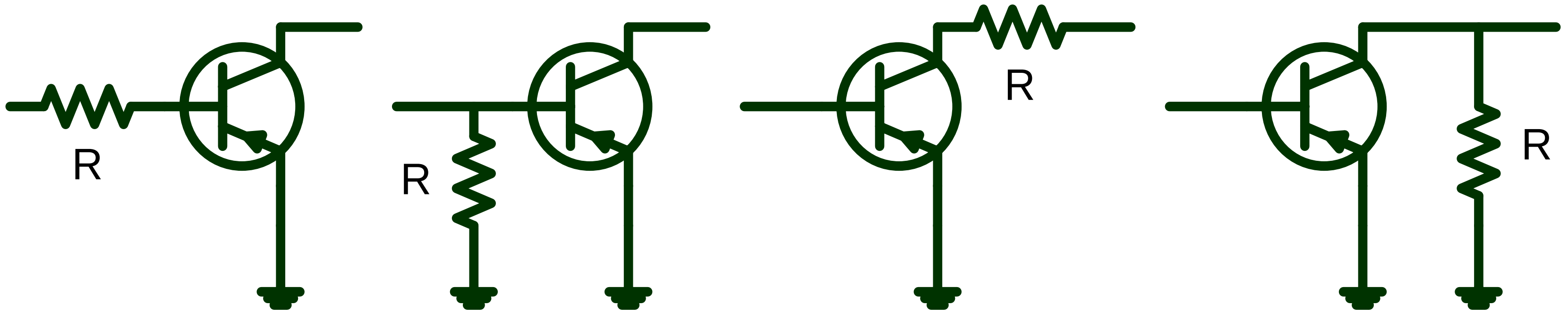


$$\left| \left| C_s \right| - R_s \right| > 1 \quad \text{untuk} \quad \left| S_{22} \right| < 1$$

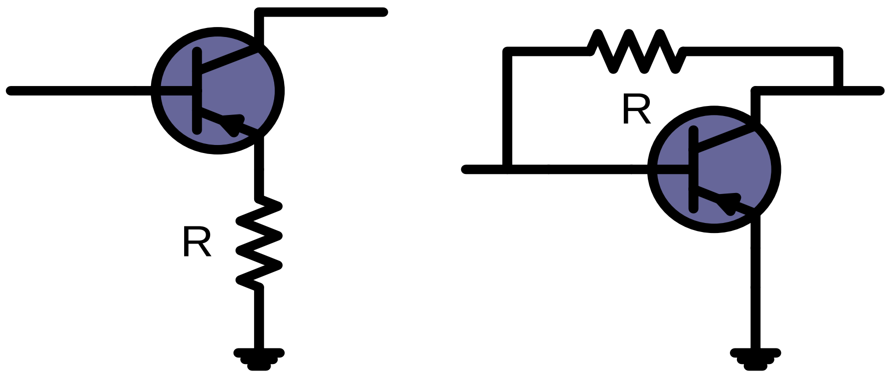


KONDISI TIDAK MANTAP → KONDISI MANTAP TANPA SYARAT :

1. **dengan pembebanan resistif**



2. **dengan umpan balik**



Latihan soal:

1. Suatu transistor jenis GaAs MESFET dengan parameter s, diukur pada V_{ds} = 5 V dan I_{ds} = 40 mA, f = 9 GHz, referensi 50 ohm:

   S_{11}=0,65 <-154^0

   S_{12}=0,02 <40^0

   S_{21}=2,04 <185^0

   S_{22}=0,55 <-30^0

   Γ_s = 0,38 <25^0

Tentukan:

1. factor Delta Δ (0,332 < 171^0)
2. Faktor stabilitas K (4,72)
3. Koefisien refleksi keluaran Γ_{out} (0,56 < -40,7^0)
4. GA (Available Power Gain) (6,94dB)

Ref: *Microwave Circuit Analysis & Amplifier Design*, by Samuel Y.Liao, Exp. 3-4-2.

Latihan soal: (lanjutan)

2. Parameter S untuk HP HFET-102 GaAs FET pada frekuensi 2 GHz, dicatu dengan tegangan biasing V_{gs} = 0 dengan Z_0=50 Ω sebagai berikut:

   $S_{11}=0.894 \angle -60.6^0$

   $S_{12}=0{,}020 \angle 62.4^0$

   $S_{21}=3.122 \angle 123.6^0$

   $S_{22}=0{,}781 \angle -27.6^0$

   Tentukan kestabilan transistor tersebut dengan menghitung K dan Δ, kemudian plot-kan daerah kestabilannya !

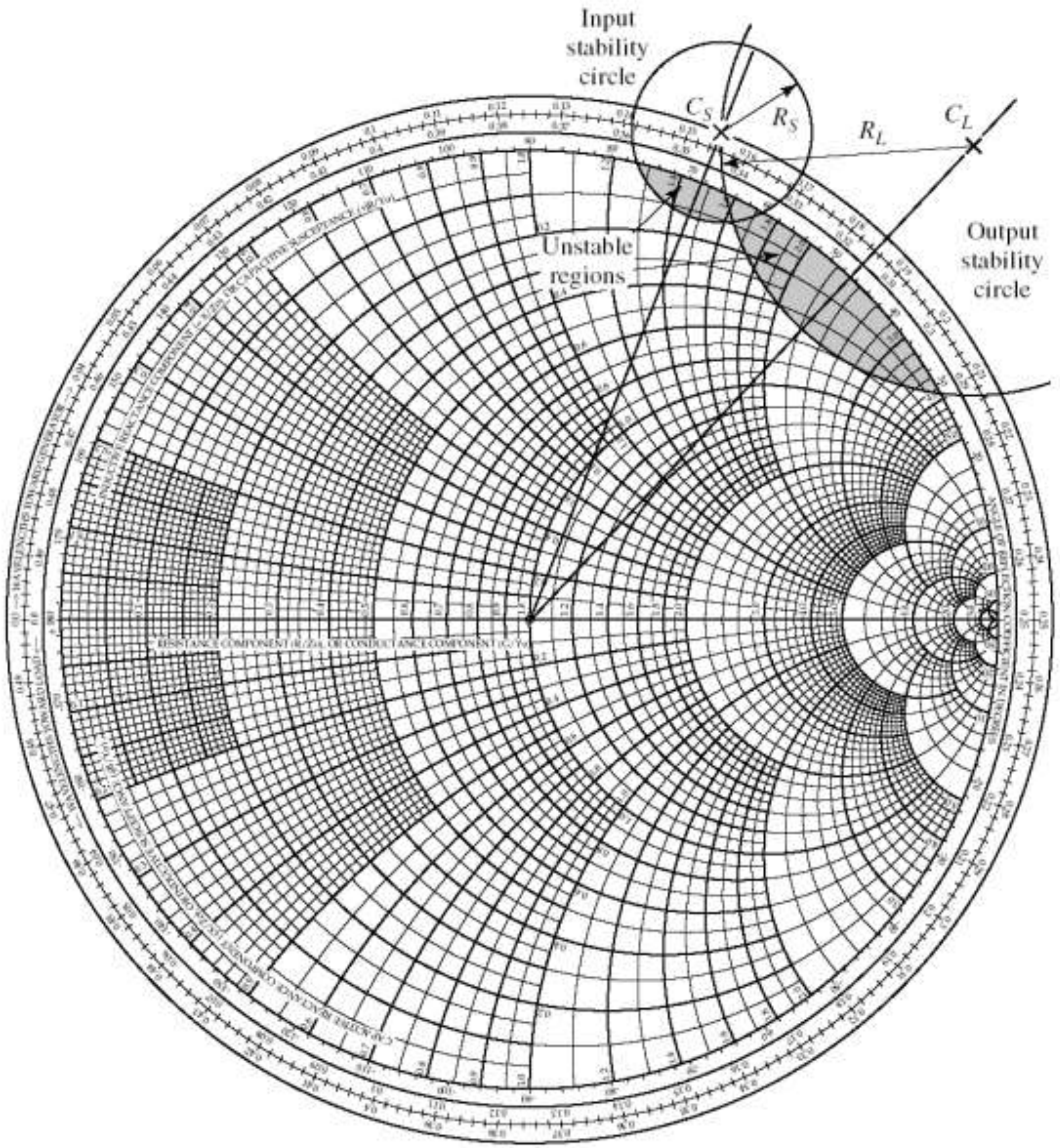
Solusi: $\Delta = 0.696 \angle -83^0$ $\quad$ $K = 0{,}607 \Rightarrow$ potentially unstable

$C_L = 1.363\angle 47^0$ $\quad$ $R_L = 0.50$

$C_S = 1.132\angle 68^0$ $\quad$ $R_S = 0.199$

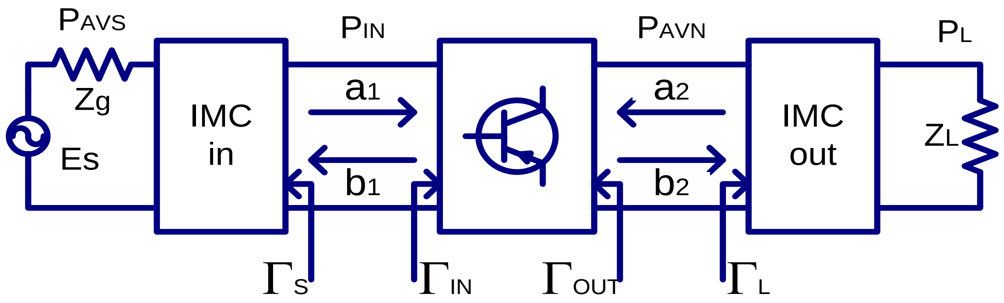
Ref: *Microwave Engineering, 2nd Edition*, by David M Pozar, Exp 11.2

Plot lingkaran kestabilan sumber dan beban



PERANCANGAN PENGUAT DENGAN GAIN MAKSIMUM

PERANCANGAN UNTUK GAIN MAKSIMUM (CONJUGATE MATCHING)



→ **syarat transistor mantap tanpa syarat**

Jika dipilih : $\left.\begin{array}{l}\Gamma_{IN} = \Gamma_S^* \\ \Gamma_{OUT} = \Gamma_L^*\end{array}\right\}$ diperoleh penguatan daya transducer (G_T) maksimum

$$\Gamma_S^* = S_{11} + \frac{S_{12}.S_{21}.\Gamma_L}{1 - S_{22}.\Gamma_L} \qquad \Gamma_L^* = S_{22} + \frac{S_{12}.S_{21}.\Gamma_S}{1 - S_{11}.\Gamma_S}$$

$$\Rightarrow \Gamma_{SM} = \frac{B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4|C_1|^2}}{2\,C_1} \qquad \Rightarrow \Gamma_{LM} = \frac{B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4|C_2|^2}}{2\,C_2}$$

dimana : $B_1 = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2$ $\qquad B_2 = 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |\Delta|^2$

$C_1 = S_{11} - \Delta.S_{22}^*$ $\qquad C_2 = S_{22} - \Delta.S_{11}^*$

$$G_{T,\,MAX} = \frac{1}{1 - |\Gamma_{SM}|^2}\,|S_{21}|^2\,\frac{1 - |\Gamma_{LM}|^2}{|1 - S_{22}.\Gamma_{LM}|^2}$$

atau

$$G_{T,\,MAX} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|}\,(K - \sqrt{K^2 - 1})$$

Latihan soal:

- Rancanglah suatu penguat dengan gain maximum pada frekuensi 4 GHz menggunakan single-stub matching! Transistor GaAs FET mempunyai parameter S dengan Z_0=50 Ω sebagai berikut:

S_{11}=0.72 <-116^0

S_{12}=0,03 <57^0

S_{21}=2.60 <76^0

S_{22}=0,73 <-54^0

Ref: *Microwave Engineering, 2nd Edition,* by David M Pozar, Exp 11.3

Solusi:

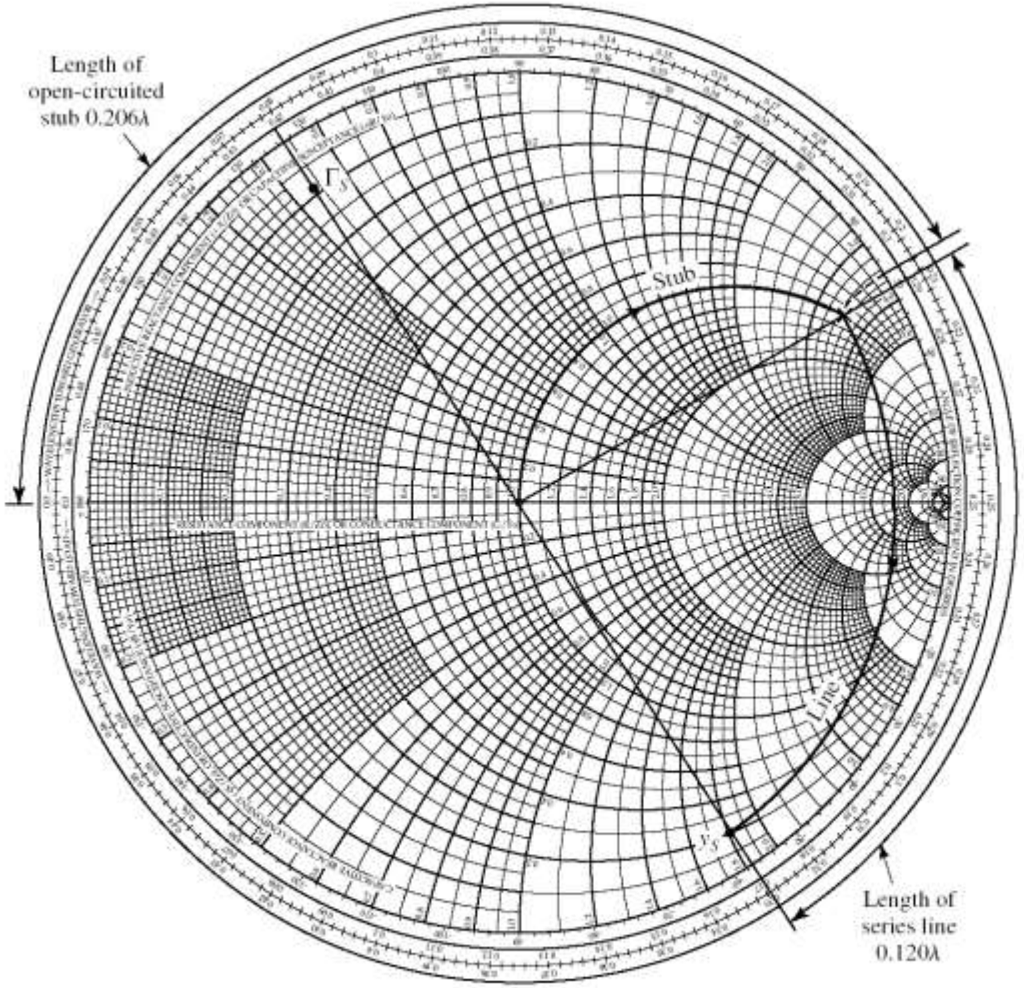
$\Delta = 0.488 < -162^0$ $K = 1,195 \Rightarrow$ unconditionally stable

$\Gamma_{SM} = 0.872 < 123^0$ $\quad$ $\Gamma_{LM} = 0.876 < 61^0$

$G_{T,max} = 16.7$ dB

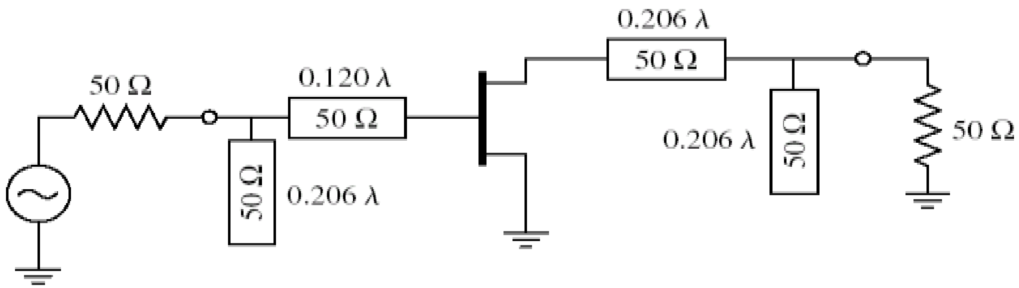
Perhatikan rangkaian penyesuai impedansi sbb:

Circuit design and frequency response for the transistor amplifier of Example 11.3. (*a*) Smith chart for the design of the input matching network.

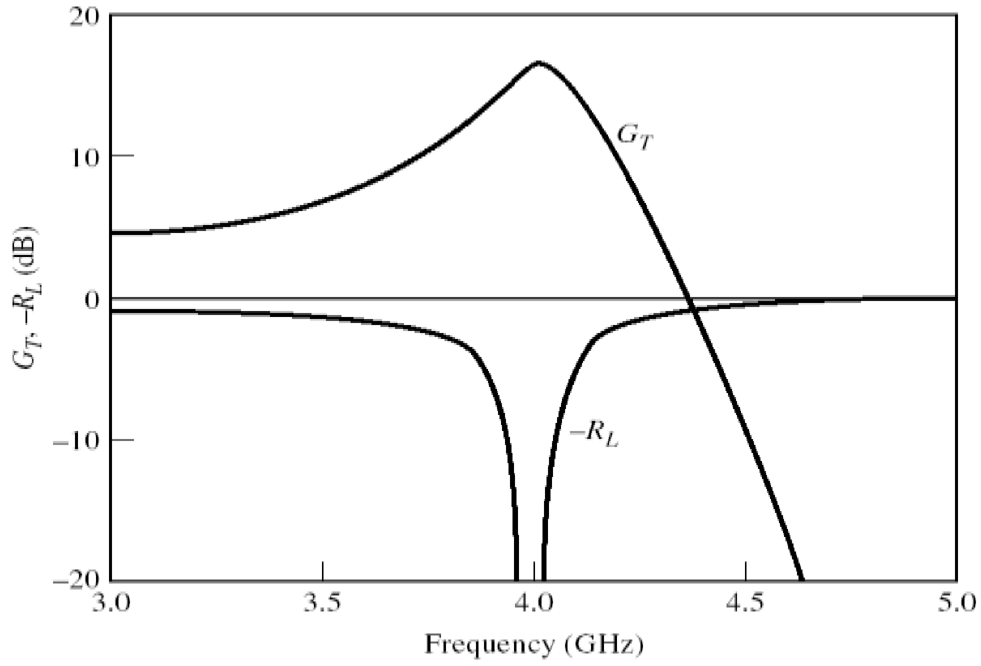


(a)

(*b*) RF circuit. (*c*) Frequency response.



(b)



(c)

PERANCANGAN PENGUAT DENGAN Gp DITENTUKAN

PERANCANGAN PENGUAT DENGAN GP DITENTUKAN:

Lingkaran Gp (Operating Power Gain) Konstan

a. **KASUS KEMANTAPAN TANPA SYARAT**

$$G_P = \frac{1}{1-|\Gamma_{IN}|^2}|S_{21}|^2\frac{1-|\Gamma_L|^2}{|1-S_{22}.\Gamma_L|^2} = |S_{21}|^2 .g_P$$

dimana: $g_P = \dfrac{1-|\Gamma_L|^2}{1-|S_{11}|^2+|\Gamma_L|^2.(|S_{22}|^2-|\Delta|^2)-2\,\mathrm{Re}[\Gamma_L.C_2]}$

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

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

$$|\Gamma_L|^2-\{1+g_P.(|S_{22}|^2-|\Delta|^2)\}-2.g_P.\mathrm{Re}[\Gamma_L.C_2] = 1-g_P(1-|S_{11}|^2)$$

$$\rightarrow\quad |\Gamma_L|^2-\frac{g_P.C_2.\Gamma_L}{1+g_P(|S_{22}|^2-|\Delta|^2)}-\frac{g_P.C_2^*.\Gamma_L^*}{1+g_P(|S_{22}|^2-|\Delta|^2)} = \frac{1-g_P(1-|S_{11}|^2)}{1+g_P(|S_{22}|^2-|\Delta|^2)}$$

titik pusat lingkaran :

$$C_P = \frac{g_P.C_2^*}{1+g_P(|S_{22}|^2-|\Delta|^2)}$$

jari-jari lingkaran :

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

G_P maksimum terjadi pada $R_P = 0$; artinya :

$g_{P,MAX} \cdot |S_{12}.S_{21}|^2 - 2K.|S_{12}.S_{21}|.g_{P,MAX} + 1 = 0$

$$g_{P,\,MAX} = \frac{1}{|S_{12}.S_{21}|}\left(K - \sqrt{K^2 - 1}\right) = \frac{G_{P,MAX}}{|S_{21}|^2}$$

sehingga $$G_{P,MAX} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|}\left(K - \sqrt{K^2 - 1}\right)$$

Prosedur Perancangan Penguat GP ditentukan (menggunakan lingkaran G_P konstan) :

1) Untuk G_P yang ditentukan, hitung titik pusat dan jari-jari lingkaran G_P konstan, buat lingkaran Gp Konstan
2) Pilih Γ_L yang diinginkan (di lingkaran tersebut)
3) Dengan Γ_L tersebut, daya keluaran maksimum diperoleh dengan melakukan conjugate match pada masukan, yaitu $\Gamma_S = \Gamma_{IN}^*$ Γ_S ini akan memberikan **$G_T = G_P$**

Contoh : Transistor		$S_{11} = 0{,}641\angle -171{,}3^o$	$S_{21} = 2{,}058\angle 28{,}5^o$
	$(f = 6GHz)$	$S_{12} = 0{,}057\angle 16{,}3^o$	$S_{22} = 0{,}572\angle -95{,}7^o$

Rancanglah sebuah penguat RF yang mempunyai G_P = 9 dB

Solusi

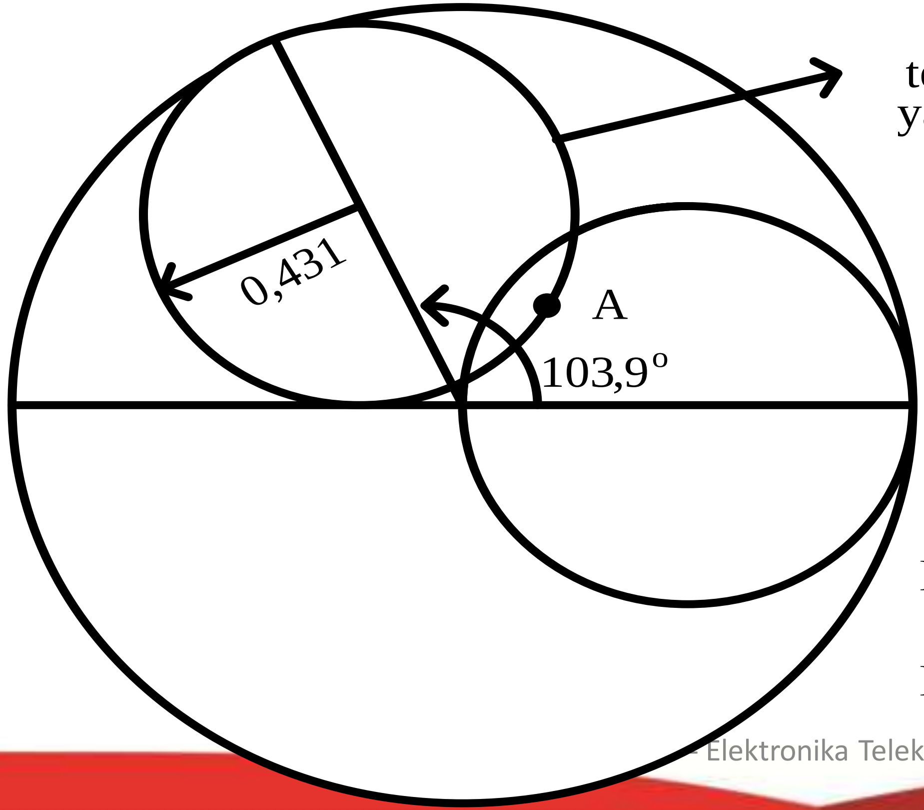
$|\Delta| = 0{,}3014$ K = 1,504 → mantap tanpa syarat

$$|S_{21}|^2 = (2{,}058)^2 = 4{,}235 \Rightarrow g_P = \frac{G_P}{|S_{21}|^2} = \frac{7{,}94}{4{,}235} = 1{,}875$$

$$C_2 = 0{,}3911 \angle -103{,}9^o$$

R_P = 0,431 $C_P = 0{,}508 \angle 103{,}9^o$

→ gambar tempat kedudukan Γ_L yang memberikan **G_P = 9 dB**



tempat kedudukan Γ_L yang memberikan G_P = 9dB

Kita pilih $\Gamma_L = 0{,}36 \angle 47{,}5^o$ (titik A)

Γ_S yang memberikan daya keluar maksimum

$$\Gamma_S = \Gamma_{IN}{}^* = \left[S_{11} + \frac{S_{12}.S_{21}.\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} \right]^*$$

$$\Gamma_S = 0{,}629 \angle 175{,}51^o$$

b. KASUS MANTAP BERSYARAT

Dengan transistor mantap bersyarat, prosedur perancangan untuk G_P tertentu adalah sebagai berikut:

1) Untuk $\mathbf{G_P}$ yang diinginkan, gambar lingkaran G_P konstan dan lingkaran kemantapan beban. Pilih Γ_L yang berada pada daerah mantap dan tidak terlalu dekat dengan lingkaran kemantapan beban.
2) Hitung Γ_{IN} dan tentukan apakah conjugate match pada masukan mungkin. Untuk itu gambar lingkaran kemantapan sumber dan periksa apakah $\Gamma_S = \Gamma_{IN}^*$ terletak pada daerah mantap.
3) Jika $\Gamma_S = \Gamma_{IN}^*$ tidak terletak pada daerah mantap atau terletak pada daerah mantap namun terlalu dekat dengan lingkaran kemantapan sumber, pilih Γ_L yang lain dan ulangi langkah 1) dan 2)

Catt: nilai Γ_S dan Γ_L sebaiknya tidak terlalu dekat dengan lingkaran kemantapan, karena ketidakmantapan (OSILASI) dapat terjadi oleh variasi nilai komponen yang digunakan sehingga Γ_L dan Γ_S masuk ke daerah tidak mantap.

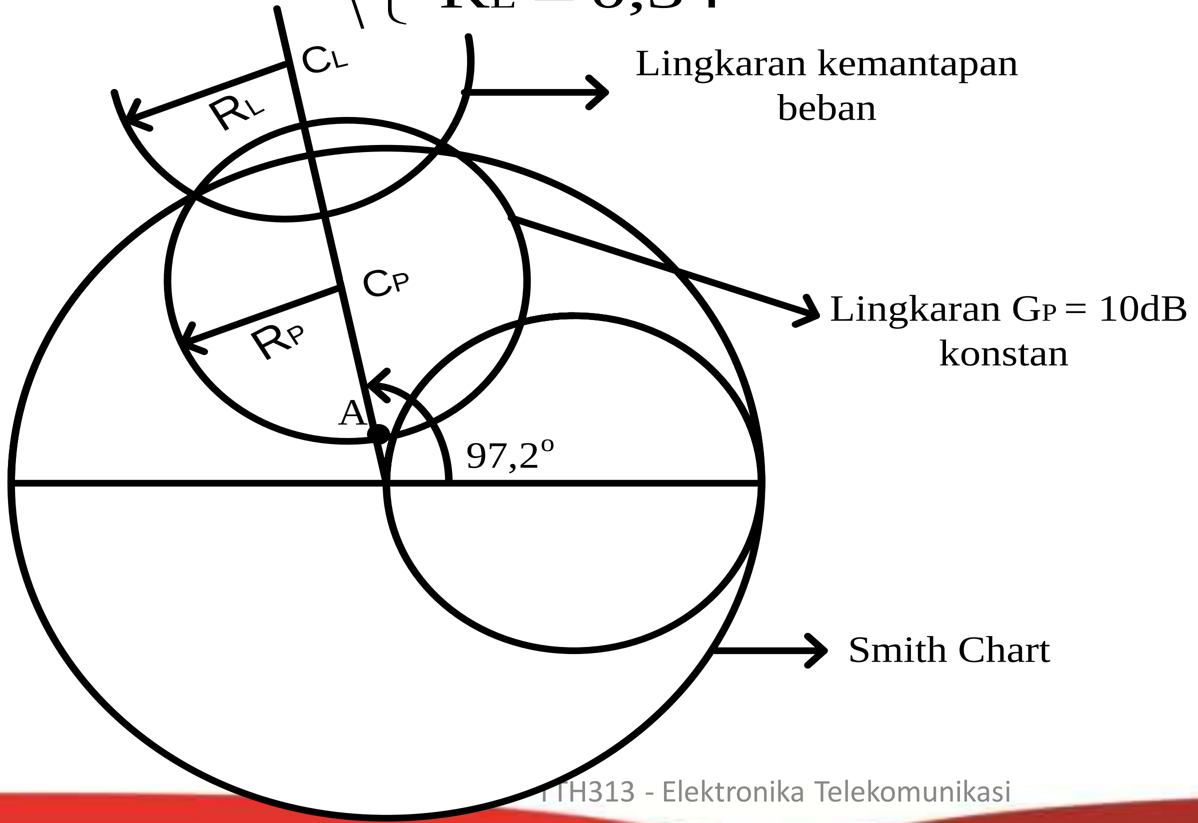
$$\begin{array}{llll} \text{Contoh}: & \text{Transistor} & S_{11} = 0{,}5 \angle -180^{o} & S_{21} = 2{,}5 \angle 70^{o} \\ & (f = 6\,\text{GHz}) & S_{12} = 0{,}08 \angle 30^{o} & S_{22} = 0{,}8 \angle -100^{o} \end{array}$$

Rancanglah sebuah penguat RF yang mempunyai G_P = 10 dB

Solusi :

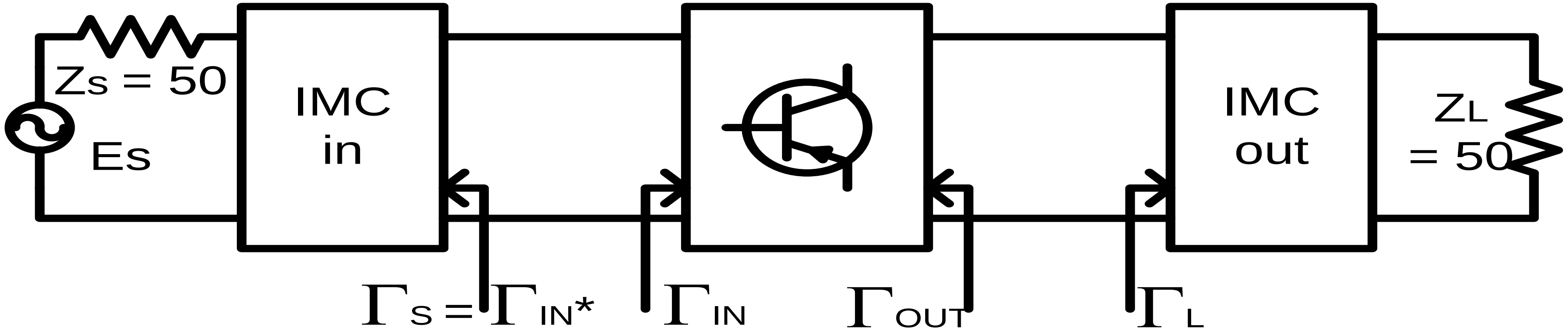
$\Delta = 0{,}223\angle 62{,}12^0$ K = 0,4 → transistor mantap bersyarat

$$G_P = 10\text{dB} \begin{cases} \begin{cases} C_P = 0{,}572\angle 97{,}2^o \\ R_P = 0{,}473 \end{cases} \\ \begin{cases} C_L = 1{,}18\angle 97{,}2^o \\ R_L = 0{,}34 \end{cases} \end{cases}$$



- Oleh karena $|S_{11}| < 1$, daerah MANTAP berada diluar lingkaran kemantapan BEBAN
- Pilih titik A → $\Gamma_L = 0,1 \angle 97,2^o$ → $\Gamma_S = \Gamma_{IN}^* = 0,52 \angle 179,32^o$
  - Lingkaran kemantapan sumber : $C_S = 1,67 \angle 171^o$ **R_S = 1,0**

  Γ_S diatas harus diperiksa apakah berada di daerah MANTAP
- Daerah mantap berada di luar lingkaran kemantapan sumber → Γ_S berada di daerah mantap, maka Γ_S dapat digunakan



PERANCANGAN PENGUAT DENGAN GA DITENTUKAN:

Lingkaran **Ga** (Available Power Gain) Konstan

a) **KASUS MANTAP TANPA SYARAT**

$$G_A = \frac{1}{1-|\Gamma_{OUT}|^2}|S_{21}|^2 \frac{1-|\Gamma_S|^2}{|1-S_{11}.\Gamma_S|^2} = |S_{21}|^2 .g_A$$

$$g_A = \frac{G_A}{|S_{21}|^2} = \frac{1-|\Gamma_S|^2}{1-|S_{22}|^2+|\Gamma_S|^2.(|S_{11}|^2-|\Delta|^2)-2\,\mathrm{Re}[\Gamma_S.C_1]}$$

$$C_1 = S_{11} - \Delta.S_{22}*$$

Dengan cara yang sama seperti lingkaran G_P konstan, diperoleh :

Lingkaran G_A konstan :

titik pusat lingkaran :

$$C_A = \frac{g_A.C_1*}{1+g_A(|S_{11}|^2-|\Delta|^2)}$$

jari-jari lingkaran :

$$R_A = \frac{\{1-2K\,|S_{12}.S_{21}|g_A + |S_{12}.S_{21}|^2.g_A{}^2\}^{\frac{1}{2}}}{|1+g_A(|S_{11}|^2-|\Delta|^2)|}$$

Semua Γ_S pada lingkaran, memberikan suatu G_A yang diinginkan. Untuk G_A tertentu, daya keluaran maksimum diperoleh dengan $\Gamma_L = \Gamma_{OUT}*$

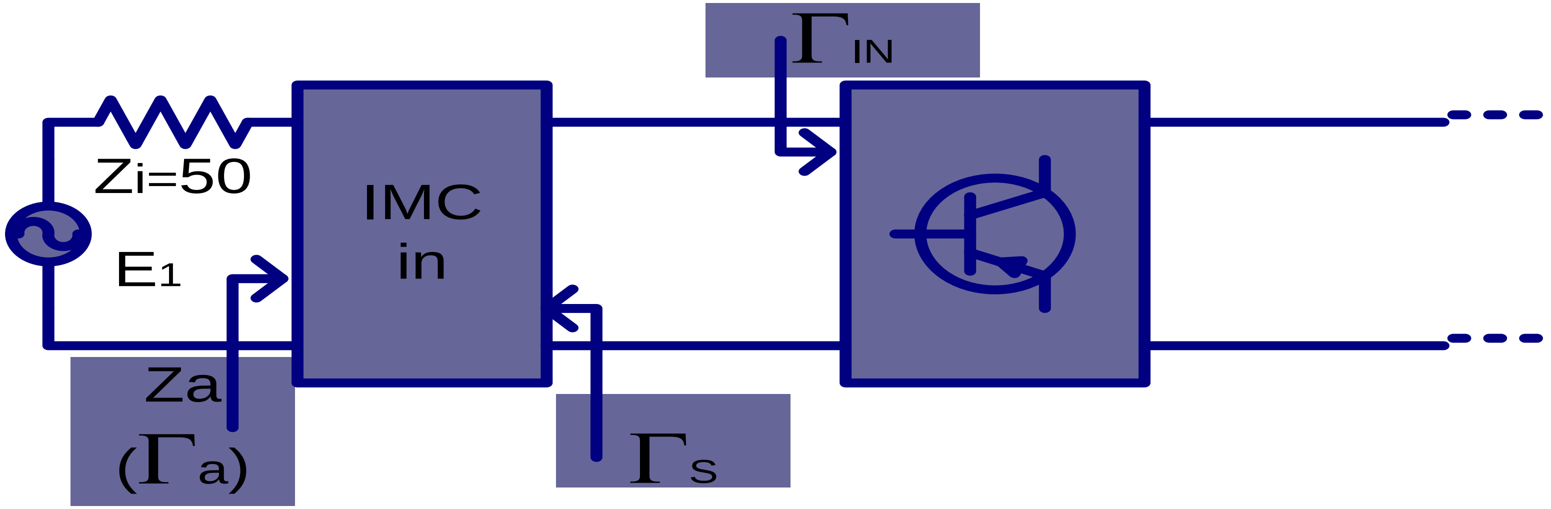
→ Γ_L ini memberikan $G_T = G_A$

b) KASUS MANTAP BERSYARAT

1. Untuk GA yang diinginkan, gambar lingkaran GA konstan dan lingkaran kemantapan sumber. Pilih ΓS yang berada di daerah mantap dan tidak terlalu dekat dengan lingkaran kemantapan.
2. Hitung Γ_{OUT} dan periksa apakah conjugate match mungkin, untuk itu gambar lingkaran kemantapan beban dan periksa apakah $\Gamma L = \Gamma_{OUT}^*$ berada di daerah mantap.
3. Jika $\Gamma_L = \Gamma_{OUT}^*$ tidak berada pada daerah mantap atau terlalu dekat dengan lingkaran kemantapan beban, pilih Γ_S atau **GA** yang lain.

PERANCANGAN PENGUAT DENGAN VSWR DITENTUKAN:

- $VSWR_{IN}$ konstan



$$VSWR_{IN} = \frac{1+|\Gamma a|}{1-|\Gamma a|} \rightarrow |\Gamma a| = \left|\frac{\Gamma_{IN} - \Gamma_S^*}{1-\Gamma_{IN}.\Gamma_S}\right|$$

$\rightarrow$ dapat diturunkan lingkaran $VSWR_{IN}$ konstan

Lingkaran $VSWR_{IN}$ konstan :

titik pusat lingkaran :

$$C_{vi} = \frac{\Gamma_{IN}^* . (1 - |\Gamma a|^2)}{1 - |\Gamma a . \Gamma_{IN}|^2}$$

jari-jari lingkaran :

$$R_{vi} = \frac{|\Gamma a| . (1 - |\Gamma_{IN}|^2)}{1 - |\Gamma a . \Gamma_{IN}|^2}$$

Pada kasus mantap tanpa syarat dan beberapa kasus mantap bersyarat,

Γ_S dapat dipilih $= \Gamma_{IN}^*$; untuk memperoleh $VSWR_{IN} = 1$.

Bila $VSWR_{IN} = 1 \rightarrow$ $|\Gamma a| = 0$ $\begin{cases} C_{vi} = \Gamma_{IN}^* \\ R_{vi} = 0 \end{cases}$

Jadi $\Gamma_S = \Gamma_{IN}^*$ memberikan $|\Gamma a| = 0$ $\rightarrow$ $VSWR_{IN} = 1$

- VSWR$_{out}$ konstan

DENGAN CARA YANG SAMA :

$$\mathrm{VSWR}_{\mathrm{OUT}} = \frac{1+|\Gamma b|}{1-|\Gamma b|} \rightarrow |\Gamma b| = \left|\frac{\Gamma_{\mathrm{OUT}} - \Gamma_L{}^*}{1-\Gamma_{\mathrm{OUT}}.\Gamma_L}\right|$$

Lingkaran VSWR$_{OUT}$ konstan :

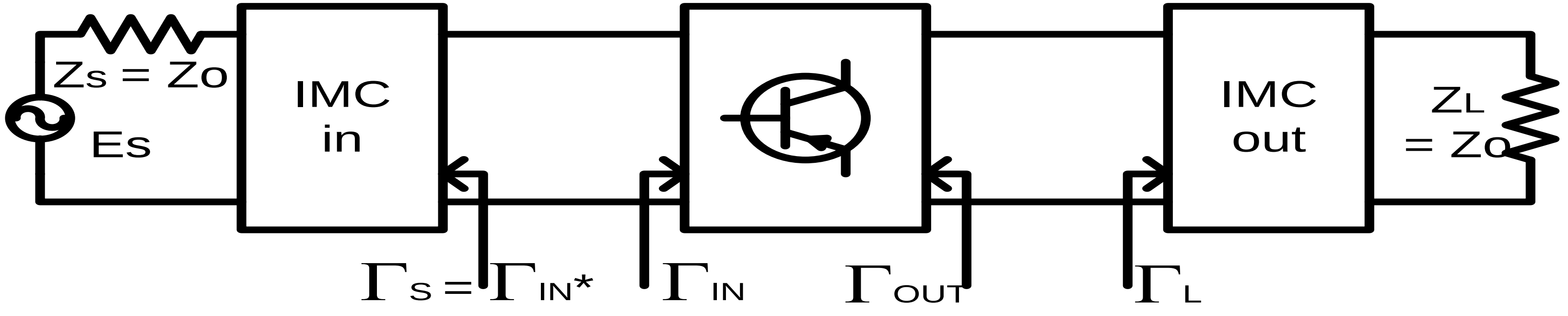
$$\mathrm{Cvo} = \frac{\Gamma_{\mathrm{OUT}}{}^*.(1-|\Gamma b|^2)}{1-|\Gamma b.\Gamma_{\mathrm{OUT}}|^2}$$

jari-jari lingkaran :

$$\mathrm{Rvo} = \frac{|\Gamma_b|.(1-|\Gamma_{\mathrm{OUT}}|^2)}{1-|\Gamma_b.\Gamma_{\mathrm{OUT}}|^2}$$

PERANCANGAN PENGUAT DENGAN NOISE FIGURE DITENTUKAN:

Lingkaran Noise figure/Faktor Derau Konstan:



$$F = F_{MIN} + \frac{4\, r_n \left|\Gamma_S - \Gamma_{opt}\right|^2}{\left(1 - \left|\Gamma_S\right|^2\right)\left|1 + \Gamma_{opt}\right|^2}$$

dimana:

F_{MIN} = faktor derau minimum komponen aktif

rn = equivalent normalized noise resistance (= R_N/Z_O)

Γ_{opt} = koefisien refleksi sumber yang dapat menghasilkan faktor derau minimum

Ambil satu harga F = Fi

$$\frac{|\Gamma_S - \Gamma_{opt}|^2}{1 - |\Gamma_S|^2} = \frac{F_i - F_{MIN}}{4\, r_n} . |1 + \Gamma_{opt}|^2$$

$$N_i = \frac{F_i - F_{MIN}}{4\, r_n} . |1 + \Gamma_{opt}|^2 = \text{konstan} \quad \Rightarrow \quad N_i = \frac{|\Gamma_S - \Gamma_{opt}|^2}{1 - |\Gamma_S|^2}$$

$(\Gamma_S - \Gamma_{opt}).(\Gamma_S^* - \Gamma_{opt}) = N_i - N_i\,|\Gamma_S|^2$

$|\Gamma_S|^2.(1 + N_i) - 2\mathrm{Re}[\Gamma_S.\Gamma_{opt}^*] + |\Gamma_{opt}|^2 = N_i$

$$|\Gamma_S|^2 - \frac{2}{1 + N_i}\mathrm{Re}[\Gamma_S.\Gamma_{opt}^*] + \frac{|\Gamma_{opt}|^2}{1 + N_i} = \frac{N_i}{1 + N_i}$$

→ merupakan persamaan lingkaran di bidang Γ_S dan dapat ditulis menjadi :

$$\left|\Gamma_S - \frac{\Gamma_{opt}}{1 + N_i}\right|^2 = \frac{N_i^2 + N_i\left(1 - |\Gamma_{opt}|^2\right)}{(1 + N_i)^2}$$

untuk Ni tertentu, diperoleh lingkaran faktor derau Fi konstan.

Lingkaran faktor derau:

titik pusat lingkaran :

$$C_{Fi} = \frac{\Gamma_{opt}}{1 + N_i}$$

jari-jari lingkaran :

$$R_{Fi} = \frac{1}{N_i + 1}\sqrt{N_i^2 + N_i\left(1 - |\Gamma_{opt}|^2\right)}$$

Contoh Soal :

Suatu transistor dengan parameter S sebagai berikut :

$$S_{11} = 0{,}552 \angle 169^o \qquad F_{MIN} = 2{,}5dB$$

$$S_{12} = 0{,}049 \angle 23^o \qquad \Gamma opt = 0{,}475 \angle 166^o$$

$$S_{21} = 1{,}681 \angle 26^o \qquad Rn = 3.5\,\Omega$$

$$S_{22} = 0{,}839 \angle -67^o$$

Tentukan lingkaran faktor derau **Fi = 2,8dB** konstan

Solusi :

$$Ni = \frac{Fi - F_{MIN}}{4\,rn} \cdot |1 + \Gamma opt|^2$$

$$rn = \frac{Rn}{Z_o} = \frac{3{,}5}{50} = 0{,}07$$

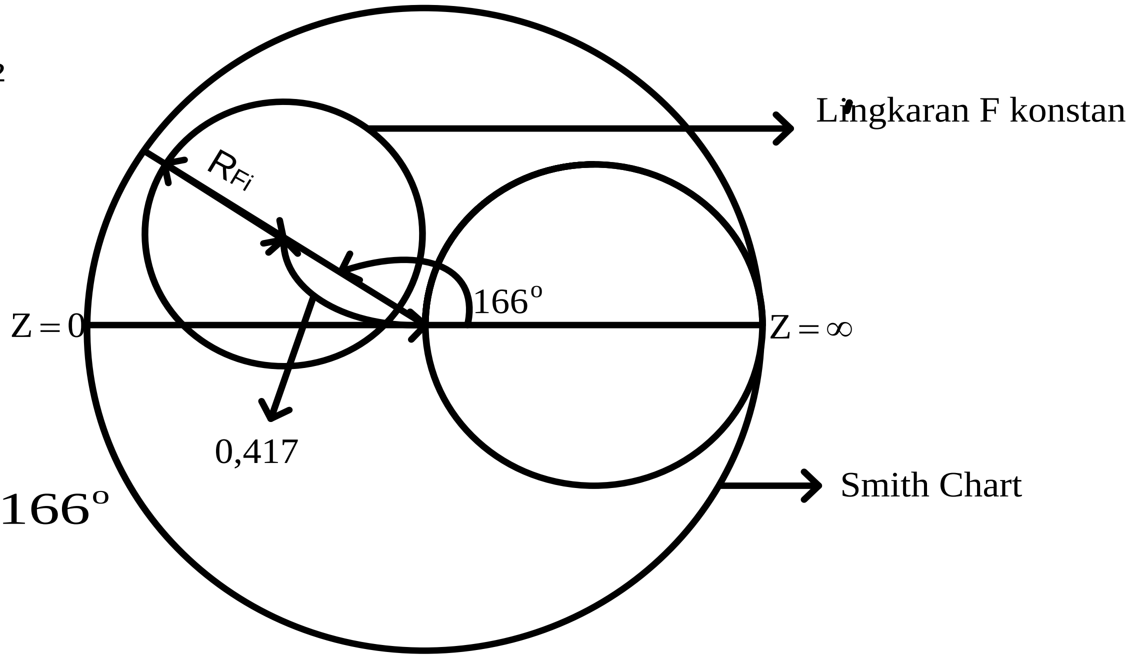
Fi = 2,8dB = 1,905

F_{MIN} = 2,5 dB = 1,778

→ Ni = 0,1378

$$C_{Fi} = \frac{\Gamma opt}{1 + Ni} = 0{,}417 \angle 166^o$$

R_{Fi} = 0,312



TERIMA KASIH