ตัวอย่างที่ 7.3 จงออกแบบวงจรขยายสัญญาณที่มีอัตราขยายสูงสุด ณ ความถี่ 4 GHz โดยใช้วงจรสตับเดี่ยวในการแมตช์ พร้อมเขียนกราฟของค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ และค่าอัตราขยาย ที่ความถี่ 3 GHz ถึง 5 GHz สำหรับทรานซิสเตอร์เป็นแบบ GaAs FET ที่มีค่าพารามิเตอร์เอส ดังนี้ (Z_o= 50 Ω)

f (GHz)	S_{11}	S_{21}	S_{12}	S_{22}
3	$0.80\angle\text{-}89^{\circ}$	$2.86\angle 99^{\circ}$	$0.03\angle 56^{\circ}$	$0.76\angle\text{-}41^{\circ}$
4	$0.72\angle\text{-}116^{\circ}$	$2.60\angle 76^{\circ}$	$0.03\angle 57^{\circ}$	$0.73\angle\text{-}54^{\circ}$
5	$0.662\angle\text{-}142^{\circ}$	$2.39\angle 54^{\circ}$	$0.03\angle 62^{\circ}$	$0.72\angle\text{-}68^{\circ}$

สำหรับทดสอบระบบที่เสถียรแบบไม่มีเงื่อนไข.

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

$$|\Delta| = |S_{11}S_{22}-S_{12}S_{21}| < 1$$

Step 1 Determine K & Δ

$$|\Delta| = |(0.72\angle -116^{\circ})(0.73\angle -54^{\circ}) - (2.6\angle 76^{\circ})(0.03\angle 57^{\circ})| = |0.488\angle -162^{\circ}| = 0.488 < 1$$

$$K = \frac{1-0.72^2-0.73^2+0.488^2}{2|(2.6\angle 76^{\circ})(0.03\angle 57^{\circ})|} = 1.195 > 1$$

ดังนั้นทรานซิสเตอร์นี้มีความเสถียรภาพแบบไม่มีเงื่อนไข.

Step 2 Determine Γ_S & Γ_L

$$\Gamma_S = \frac{B_1 \pm \sqrt{B_1^2-4|C_1^2|}}{2C_1}$$

$$\Gamma_L = \frac{B_2 \pm \sqrt{B_2^2-4|C_2^2|}}{2C_2}$$

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

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

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

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

น้อยสุด.

$$\Gamma_S = 1.152\angle 123.7^{\circ}, \ \underline{0.867\angle 123.7^{\circ}}$$

$$\Gamma_L = 1.139\angle 61.3^{\circ}, \ \underline{0.878\angle 61.3^{\circ}}$$

0.238

$$B_1 = 1 + 0.72^2 - 0.73^2 - |\underline{0.488\angle -162}^2| = 0.7475$$

$$B_2 = 1 + 0.73^2 - 0.72^2 - 0.488^2 = 0.7765$$

$$C_1 = 0.72\angle -116^{\circ} - (0.488\angle -162^{\circ})(0.73\angle 54^{\circ})$$
$$= 0.37\angle -123.7^{\circ}$$

$$C_2 = 0.73\angle -54^{\circ} - (0.488\angle -162^{\circ})(0.72\angle 116^{\circ})$$
$$= 0.385\angle -61.3^{\circ}$$

Input

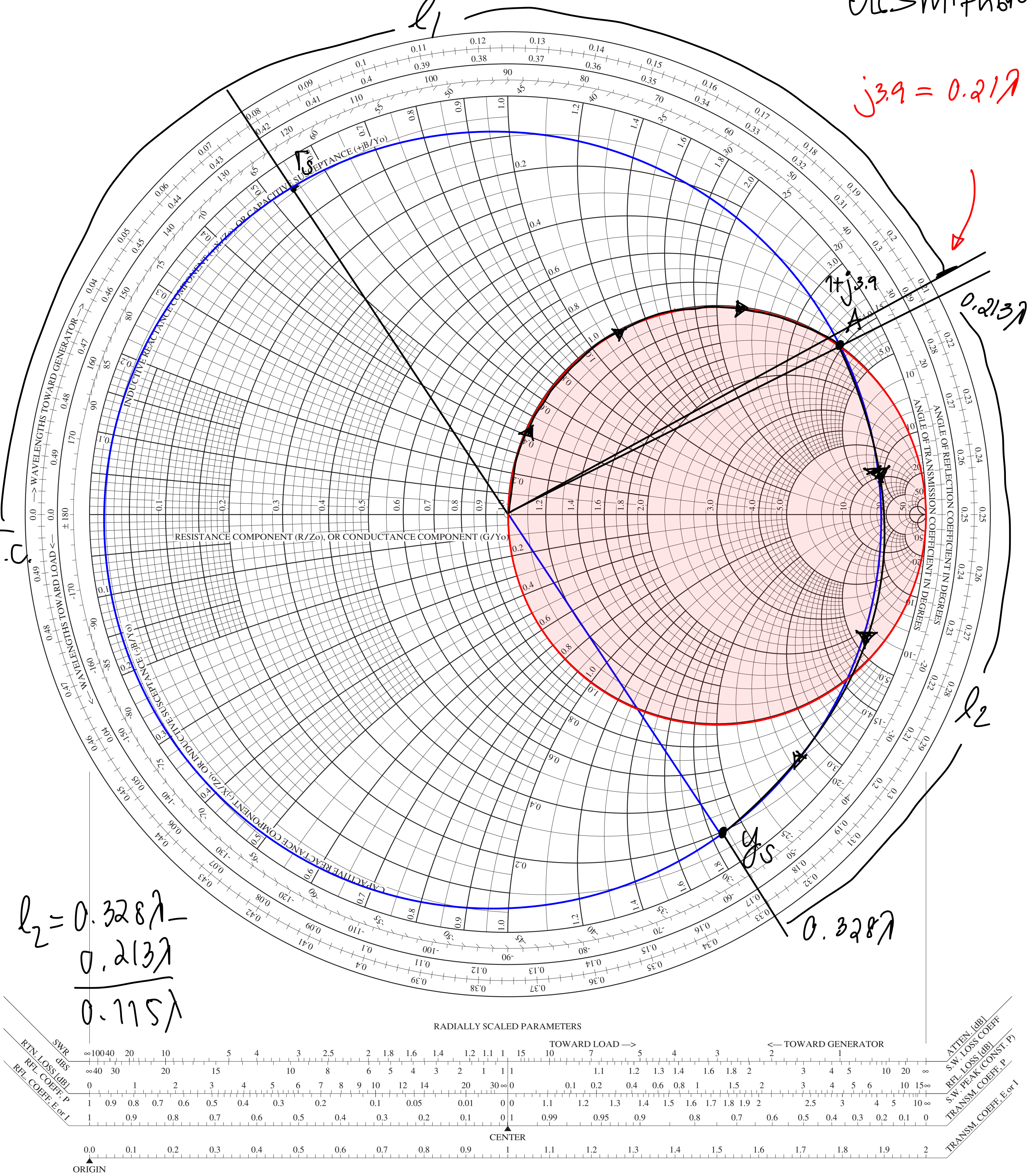
$l_1 = (1+j3.9) - 1$

$= j3.9$ ไปหาค่าบน Smith chart

The Complete Smith Chart

Black Magic Design

$j3.9 = 0.21\lambda$



$l_2 = 0.328\lambda - 0.213\lambda$

$= 0.115\lambda$

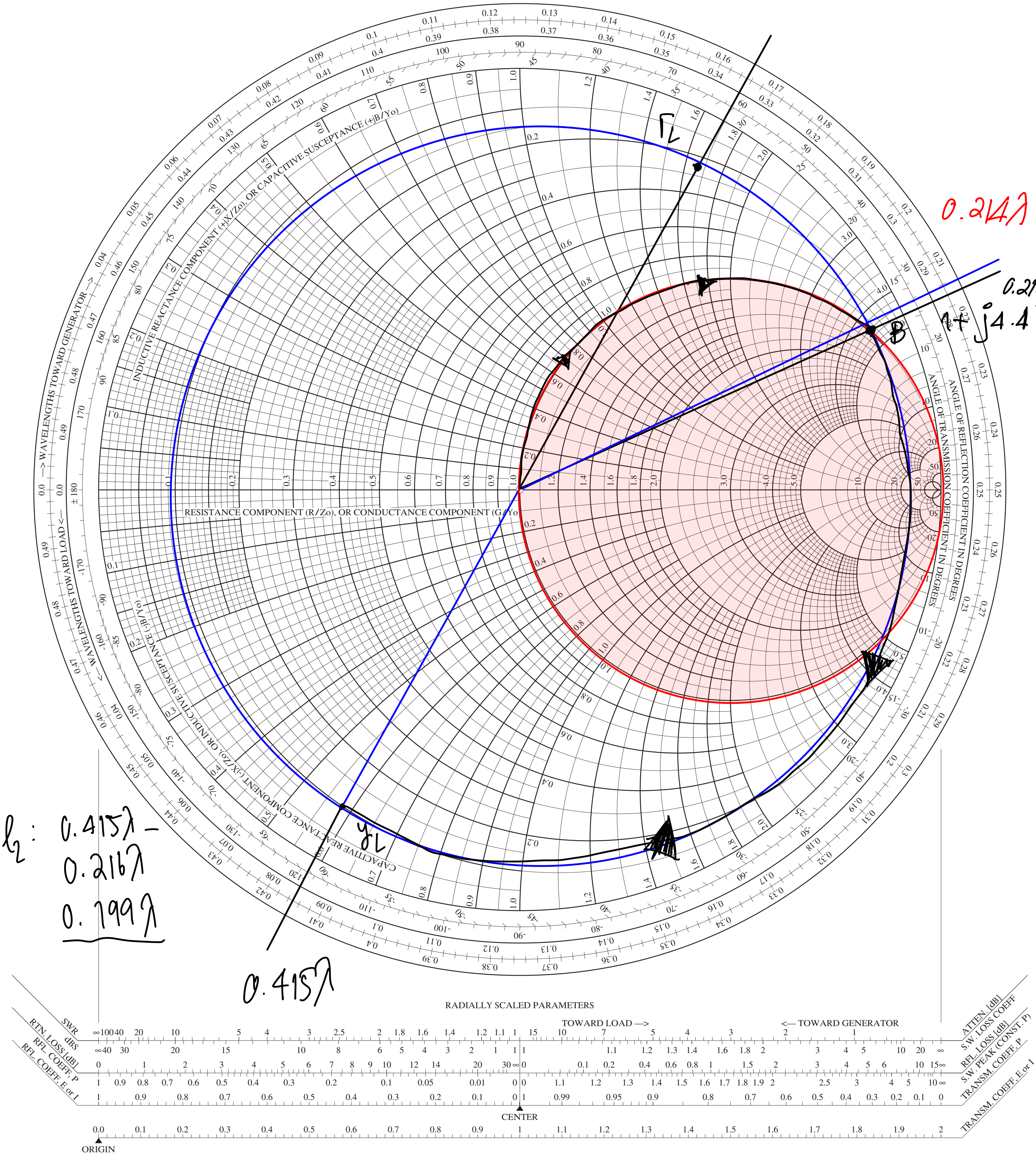
Output

$l_1 = 1 + j4.4 - 1$

$= j4.4$

The Complete Smith Chart

Black Magic Design



l_2: $0.415\lambda -$

0.216λ

$\underline{0.199\lambda}$

0.415λ

Step 3 Determine G_S, G_L, G_0 and $G_{T max}$

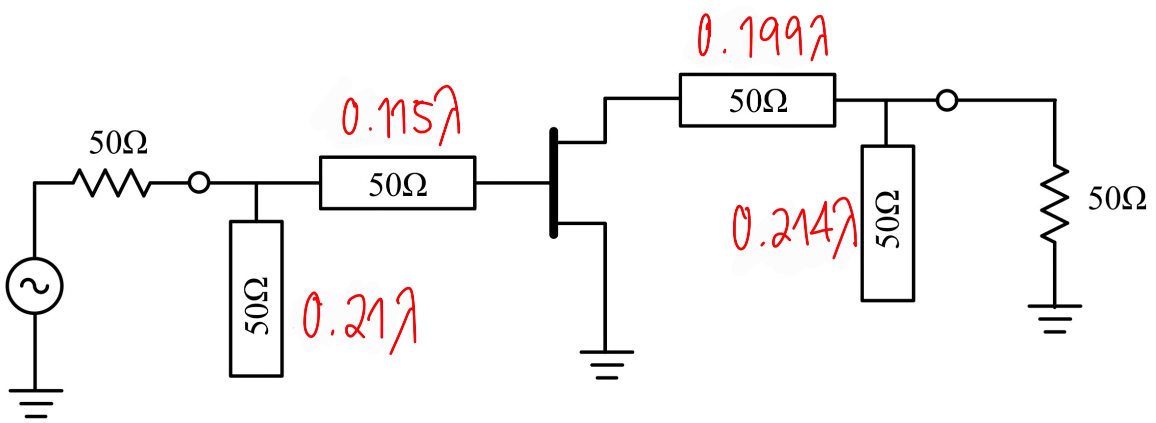
$$G_S = \frac{1}{1-|\Gamma_S|^2}$$; $G_S = \frac{1}{1-0.867^2} = 4.027 = 6.05\ dB$

$$G_O = |S_{21}|^2$$; $G_0 = 2.6^2 = 6.76 = 8.3\ dB$

$$G_L = \frac{1-|\Gamma_L|^2}{|1-S_{22}\Gamma_L|^2}$$; $G_L = \frac{1-0.878^2}{|1-(0.73\angle -54)(0.878\angle 61.3)|^2} = 1.65 = 2.2\ dB$

$\hookrightarrow 0.3732$

$G_{T max} = G_S + G_0 + G_L = 6.05 + 8.3 + 2.2 = 16.55\ dB$



ตัวอย่างที่ 7.4 จงออกแบบวงจรขยายสัญญาณเพื่อให้ได้อัตราขยาย 11 dB ณ ความถี่ 4 GHz โดยใช้วงจรสตับเดี่ยวในการแมตช์ พร้อมเขียนกราฟของค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ และค่าอัตราขยาย ที่ความถี่ 3 GHz ถึง 5 GHz สำหรับทรานซิสเตอร์เป็นแบบ GaAs FET ที่มีค่าพารามิเตอร์เอส ดังนี้ (Z_o= 50 Ω)

f(GHz)	S_{11}	S_{21}	S_{12}	S_{22}
3	$0.80\angle -90^{\circ}$	$2.8\angle 100^{\circ}$	0	$0.66\angle -50^{\circ}$
4	$0.75\angle -120^{\circ}$	$2.5\angle 80^{\circ}$	0	$0.60\angle -70^{\circ}$
5	$0.71\angle -140^{\circ}$	$2.3\angle 60^{\circ}$	0	$0.58\angle -85^{\circ}$

เนื่องจาก $|S_{12}| = 0$ นั่นคือเป็นอุปกรณ์ทางเดียว

และ $|S_{11}| < 1$, $|S_{22}| < 1$ มีเสถียรภาพแบบไม่มีเงื่อนไข

ดังนั้น $\Gamma_S = S_{11}^*$ และ $\Gamma_L = S_{22}^*$

Step 1 Find G_{Smax}, G_{Lmax}, G_o and G_{TUmax}

$$G_{Smax} = \frac{1}{1-|S_{11}|^2} = \frac{1}{1-0.75^2} = 2.2857 = 3.6\ dB$$

$$, \quad G_{Lmax} = \frac{1}{1-|S_{22}|^2} = \frac{1}{1-0.6^2} = 1.5625 = 1.9\ dB$$

$$, \quad G_o = |S_{21}|^2 = 2.5^2 = 6.25 = 8\ dB$$

then, $G_{TUmax} = G_{Smax} + G_o + G_{Lmax} = 3.6 + 8 + 1.9 = 13.5\ dB$

โจทย์ต้องการ $G_{TU} = 11\ dB$ ต้องทำการลด Gain ลง $13.5 - 11 = 2.5\ dB$

จะได้ค่าอัตราขยายของ Matching ทั้งหมด $G_S + G_L = 11 - G_o = 11 - 8 = 3\ dB$

นั่นคือ $G_S + G_L$ ต้องมีค่าไม่เกิน 3 dB เลือกค่า G_S & G_L เป็น Integer Number

เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ นั่นคือ $G_S = 3 \rightarrow G_L = 0$, $G_S = 2 \rightarrow G_L = 1$

$$C_S = \frac{g_S S_{11}^*}{1-(1-g_S)|S_{11}|^2}$$

$G_S = 3$; $g_S = \frac{10^{0.3}}{10^{0.36}} = 0.875$; $C_S = 0.706\angle 120^{\circ}$; $R_S = 0.166$

$G_S = 2$; $g_S = \frac{10^{0.2}}{10^{0.36}} = 0.691$; $C_S = 0.627\angle 120^{\circ}$; $R_S = 0.294$

$$R_S = \frac{\sqrt{1-g_S}\left(1-|S_{11}|^2\right)}{1-(1-g_S)|S_{11}|^2}$$

$$C_L = \frac{g_L S_{22}^*}{1-(1-g_L)|S_{22}|^2}$$

$G_L = 1$; $g_L = \frac{10^{0.1}}{10^{0.19}} = 0.806$; $C_L = 0.52\angle 70^{\circ}$; $R_L = 0.303$

$$R_L = \frac{\sqrt{1-g_L}\left(1-|S_{22}|^2\right)}{1-(1-g_L)|S_{22}|^2}$$

$G_L = 0$; $g_L = \frac{10^{0}}{10^{0.19}} = 0.64$; $C_L = 0.44\angle 70^{\circ}$; $R_L = 0.44$

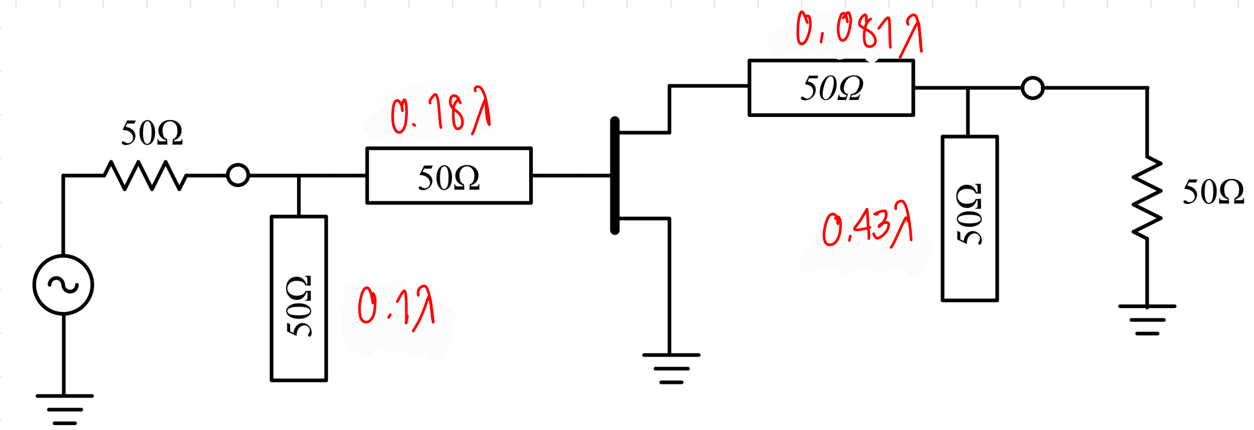
การเลือกค่า G_S & G_L ที่เหมาะสมให้เลือกค่าที่ทำให้ Reflection Coefficient : Γ มีค่าใกล้กับจุดศูนย์กลางของ Smith Chart มากที่สุด ให้เราเอาค่า C_L & R_L ไปพล็อตบน Smith Chart เพื่อหา Γ_S & Γ_L

สมมติว่าได้ $\Gamma_S = 0.33\angle 120^\circ$ & $\Gamma_L = 0.22\angle 70^\circ$ (ค่าเป็นค่าใดก็ได้ ไม่จำเป็นซ้ำกัน)

Step 2 Determine Input Port Matching

จาก Smith Chart พบว่า ความยาวของ Open Stub คือ 0.1λ

ความยาวของ μ-Strip line คือ 0.18λ.



สมมติให้ $\varepsilon_r = 4.6$, $h = 40$ mil (1 mil $= 10^{-3}$ inch)

1 inch = 0.0254 meters.

$$A = 2\pi\frac{Z_o}{Z_f}\sqrt{\frac{\varepsilon_r+1}{2}}+\frac{\varepsilon_r-1}{\varepsilon_r+1}\left(0.23+\frac{0.11}{\varepsilon_r}\right)$$

โดยที่ $Z_f = \sqrt{\mu_o/\varepsilon_o} = 376.8\ \Omega$

$$A = 2\pi \times \frac{50}{376.8}\cdot\sqrt{\frac{4.6+1}{2}}+\frac{4.6-1}{4.6+1}\left(0.23+\frac{0.11}{4.6}\right) = 1.5583$$

$$\frac{w}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \Rightarrow \frac{w}{h} = \frac{8e^{1.5583}}{e^{2(1.5583)}-2} = 1.8477$$

$$w = 1.8477h = 1.8477 \times 40 = 73.9 \text{ mil}$$

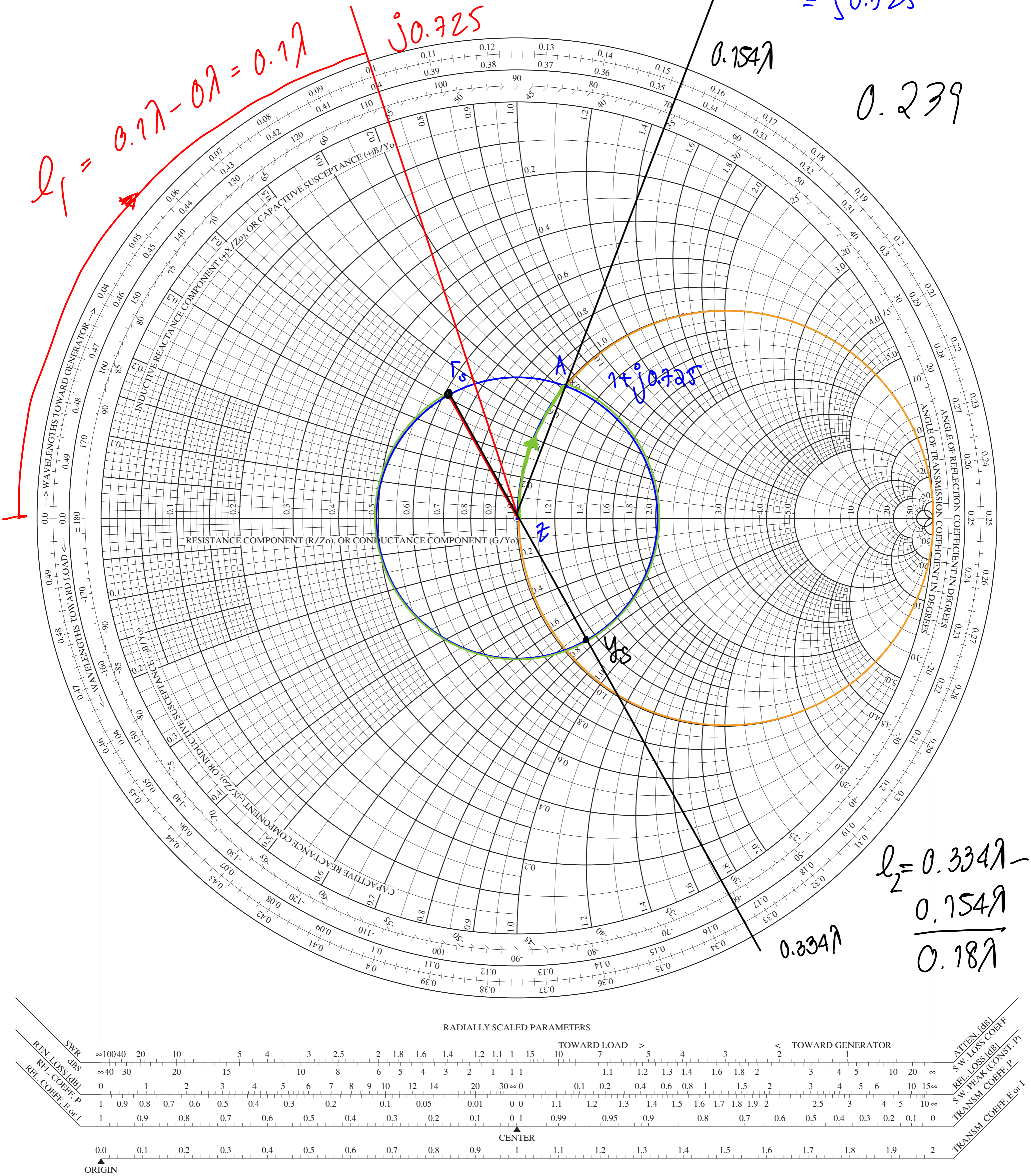
effective reflection coefficient : $\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r+1}{2}+\frac{\varepsilon_r-1}{2}\left(1+12\frac{h}{w}\right)^{-1/2}$, $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}}$

Input

The Complete Smith Chart

Black Magic Design

$l_2 = (1+j0.725) - 1$
$= j0.725$

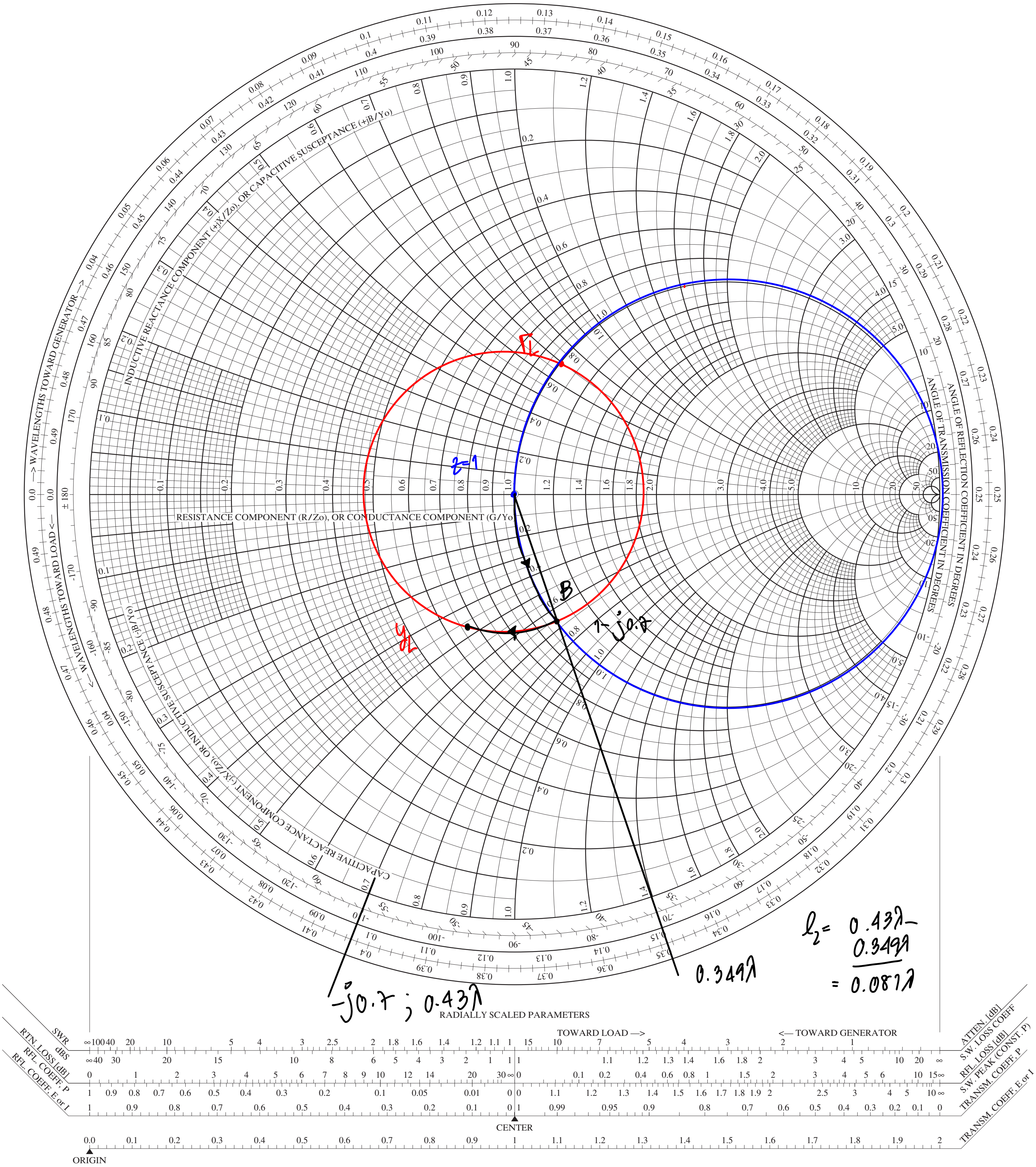


Output

$l_1 = (1 - j0.7) - 1 = -j0.7$

The Complete Smith Chart

Black Magic Design



$l_2 = 0.43\lambda - 0.349\lambda = 0.081\lambda$

ตัวอย่างที่ 9.3 จงออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ โดยใช้ GaAs FET ต่อแบบเกตร่วม ที่ความถี่ 4 GHz ซึ่งทรานซิสเตอร์มีพารามิเตอร์เอสดังนี้ (Z_O = 50 Ω) : $S_{11} = 0.72\angle -116^{\circ}$, $S_{21} = 2.60\angle 76^{\circ}$, $S_{12} = 0.03\angle 57^{\circ}$, $S_{22} = 0.73\angle -54^{\circ}$ โดยที่ตัวเฟตให้ต่อตัวเหนี่ยวนำ 5 nH อนุกรมกับขาเกต เพื่อเพิ่มความไม่มีเสถียรภาพ

$Z_L = j\omega L$

$= j(2\pi)(4\times10^9)(5\times10^{-9})$

$= j40\pi$

$$[S] = \begin{bmatrix} 0.72\angle -116^{\circ} & 0.03\angle 57^{\circ} \\ 2.60\angle 76^{\circ} & 0.73\angle -54^{\circ} \end{bmatrix}$$

เนื่องจาก FET มีการต่อตัวเหนี่ยวนำ 5 nH อนุกรมกับขาเกต

Formula :

$$[z] = \begin{bmatrix} z_{11}^a + z_{11}^b & z_{12}^a + z_{12}^b \\ z_{21}^a + z_{21}^b & z_{22}^a + z_{22}^b \end{bmatrix}$$

ตัวส่วน : 1.52246∠54.3869

Step 1 : Transform $[S]_T$ into $[Z]_T$ using z-transform.

Z_{11}	$Z_o \dfrac{(1+S_{11})(1-S_{22})+S_{12}S_{21}}{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}$
Z_{12}	$Z_o \dfrac{2S_{12}}{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}$
Z_{21}	$Z_o \dfrac{2S_{21}}{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}$
Z_{22}	$Z_o \dfrac{(1-S_{11})(1+S_{22})+S_{12}S_{21}}{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}$

0.261478∠-124.899

$$z_{11} = 50 \cdot \frac{(1+0.72\angle -116^{\circ})(1-0.73\angle -54^{\circ})+(0.72\angle -116^{\circ})(0.73\angle -54^{\circ})}{(1-0.72\angle -116^{\circ})(1-0.73\angle -54^{\circ})-(0.72\angle -116^{\circ})(0.73\angle -54^{\circ})}$$

$z_{11} = 8.58734\angle -66.8768$

$z_{11}' = z_{11} + z_L = 8.58734\angle -66.8768 + 40\pi\angle 90^{\circ} = 117.8145\angle 88.3597$

EQN ;

$z_{12} = 1.97049\angle 2.6131 \Rightarrow z_{12}' = 125.7689\angle 89.1032^{\circ}$

$z_{21} = 170.7762\angle 21.6131 \Rightarrow z_{21}' = 246.5059\angle 49.9033^{\circ}$

$z_{22} = 57.3291\angle -52.5305 \Rightarrow z_{22}' = 87.4208\angle 66.4881^{\circ}$

Step 2 Transform $[Z']$ into $[S']$ using s-transform.

	S	Z
S_{11}	S_{11}	$\dfrac{(Z_{11}-Z_o)(Z_{22}+Z_o)+Z_{12}Z_{21}}{\Delta Z}$
S_{12}	S_{12}	$\dfrac{2Z_{12}Z_o}{\Delta Z}$
S_{21}	S_{21}	$\dfrac{2Z_{21}Z_o}{\Delta Z}$
S_{22}	S_{22}	$\dfrac{(Z_{11}+Z_o)(Z_{22}-Z_o)-Z_{12}Z_{21}}{\Delta Z}$

when $\Delta Z = (Z_{11}+Z_o)(Z_{22}+Z_o) - Z_{12}Z_{21};$

; $\Delta Z' = (54.7273\angle 12.7761^{\circ})(88.6236\angle -16.7229^{\circ})$

$S_{11}' =$

$$S'_{11} = 2.18\angle -35^o \qquad S'_{12} = 1.26\angle 18^o$$

$$S'_{21} = 2.75\angle 96^o \qquad S'_{22} = 0.52\angle 155^o$$

$$C_T = \frac{\left(S'_{22} - \Delta' S'^{*}_{11}\right)^*}{|S'_{22}|^2 - |\Delta'|^2}$$

$$R_T = \left|\frac{S'_{12}S'_{21}}{|S'_{22}|^2 - |\Delta'|^2}\right|$$

การคำนวณหาวงกลมเสถียรภาพ ได้จากสูตร

$$C_T = \frac{(S'_{22} - \Delta' S'^{*}_{11})^*}{|S'_{22}|^2 - |\Delta'|^2} \quad , \quad R_T = \left|\frac{S'_{12}S'_{21}}{|S'_{22}|^2 - |\Delta'|^2}\right| \quad ; \quad \Delta' = S'_{11}S'_{22} - S'_{12}S'_{21}$$

จะได้ว่า $\Delta' = (2.18\angle -35^\circ)(0.52\angle 155^\circ) - (1.26\angle 18^\circ)(2.75\angle 96^\circ)$

$$\therefore \Delta' = 2.3406\angle -68.902^\circ$$

และ $C_T = \dfrac{(0.52\angle 155^\circ - (2.3406\angle -68.902^\circ)(2.18\angle 35^\circ))^*}{0.52^2 - 2.3406^2}$

$$= \frac{5.6168\angle -146.9188^\circ}{-5.208}$$

$\therefore C_T = 1.08\angle 33^\circ$ → ระยะห่างจากจุดศูนย์ของ Smith Chart ไปยังจุดศูนย์กลางของ Stability Cir..

และ $R_T = \left|\dfrac{(1.26\angle 18^\circ)(2.75\angle 96^\circ)}{0.52^2 - 2.3406^2}\right|$

$$= \frac{3.465}{5.208}$$

$\therefore R_T = 0.6653$ → รัศมีของ Stability Circular

หลังจากได้ C_T & R_T ให้ไปพล็อตบน Smith Chart เพื่อหา Γ_T เพื่อนำมาพิจารณาหา Γ_{in}

$C_T = 1.08\angle 33^\circ$, $R_T = 0.6653$

ความยาวทางไฟฟ้า

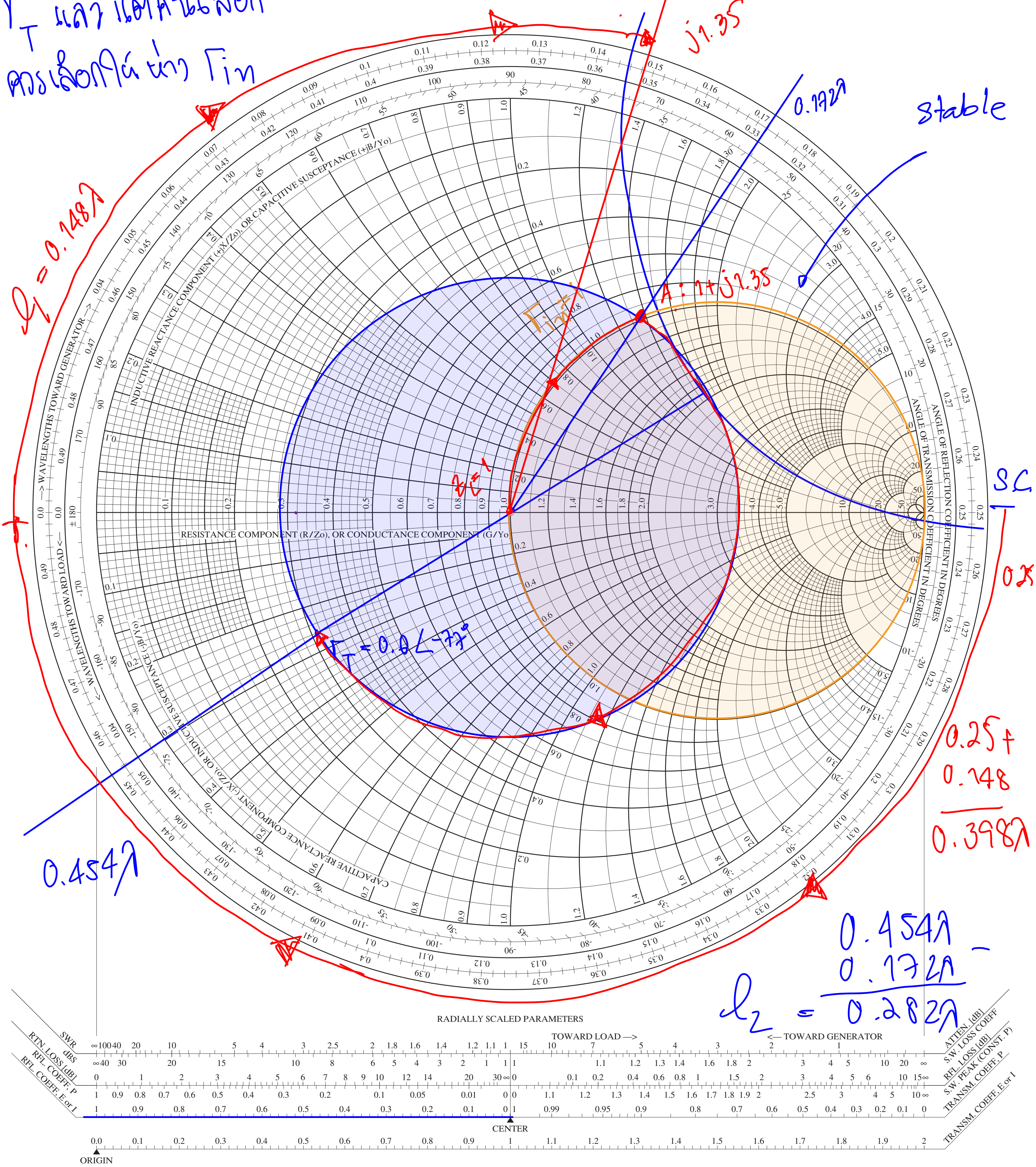
$(1+j1.35)-1 = j1.35$

The Complete Smith Chart

Black Magic Design

Γ_T แล้ว แต่คนเลือก

ควรเลือกให้ห่าง Γ_{in}



เราจะได้ว่า $\Gamma_T = 0.6\angle -77^\circ \rightarrow \Gamma_{in}$ จากสูตร

$$\Gamma_{in} = S'_{11} + \frac{S'_{12}S'_{21}\Gamma_T}{1 - S'_{22}\Gamma_T}$$

$$\Gamma_{in} = 2.18\angle -35^\circ + \frac{(1.26\angle 18^\circ)(2.75\angle 96^\circ)(0.6\angle -77^\circ)}{1-(0.52\angle 155^\circ)}$$

$$= 2.78\angle -5.24^\circ$$

Find Z_{in}

From: $\Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$ then $Z_{in} = -Z_0\left(\frac{\Gamma_{in}+1}{\Gamma_{in}-1}\right)$

$$Z_{in} = -50 \times \left(\frac{2.78\angle -5.24^\circ + 1}{2.78\angle -5.24^\circ - 1}\right) = -105.41 - j7.955$$

คำนวณค่า Z_L สำหรับออกแบบ Oscillator circuit

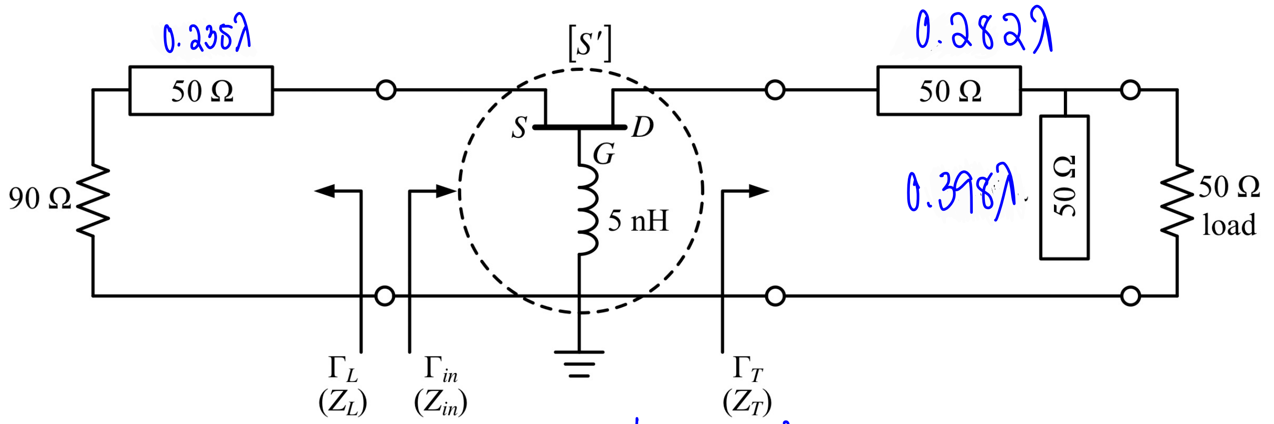
$$Z_L = \frac{-R_{in}}{3} - jX_{in}$$

$$Z_L = \frac{105.41}{3} + j7.955$$

$Z_L = 35.14 + j7.955$

$\frac{Z_L}{Z_0} = 0.7 + j0.16$

และกำหนดให้ใช้ตัวต้านทาน 90 ต่อกับ Transmission line ที่ขั้ว Input.



$\Gamma_{in} = 105.71\angle -175.68^\circ$

(ก)

Matching ที่ Input

$R_{in} = 90$

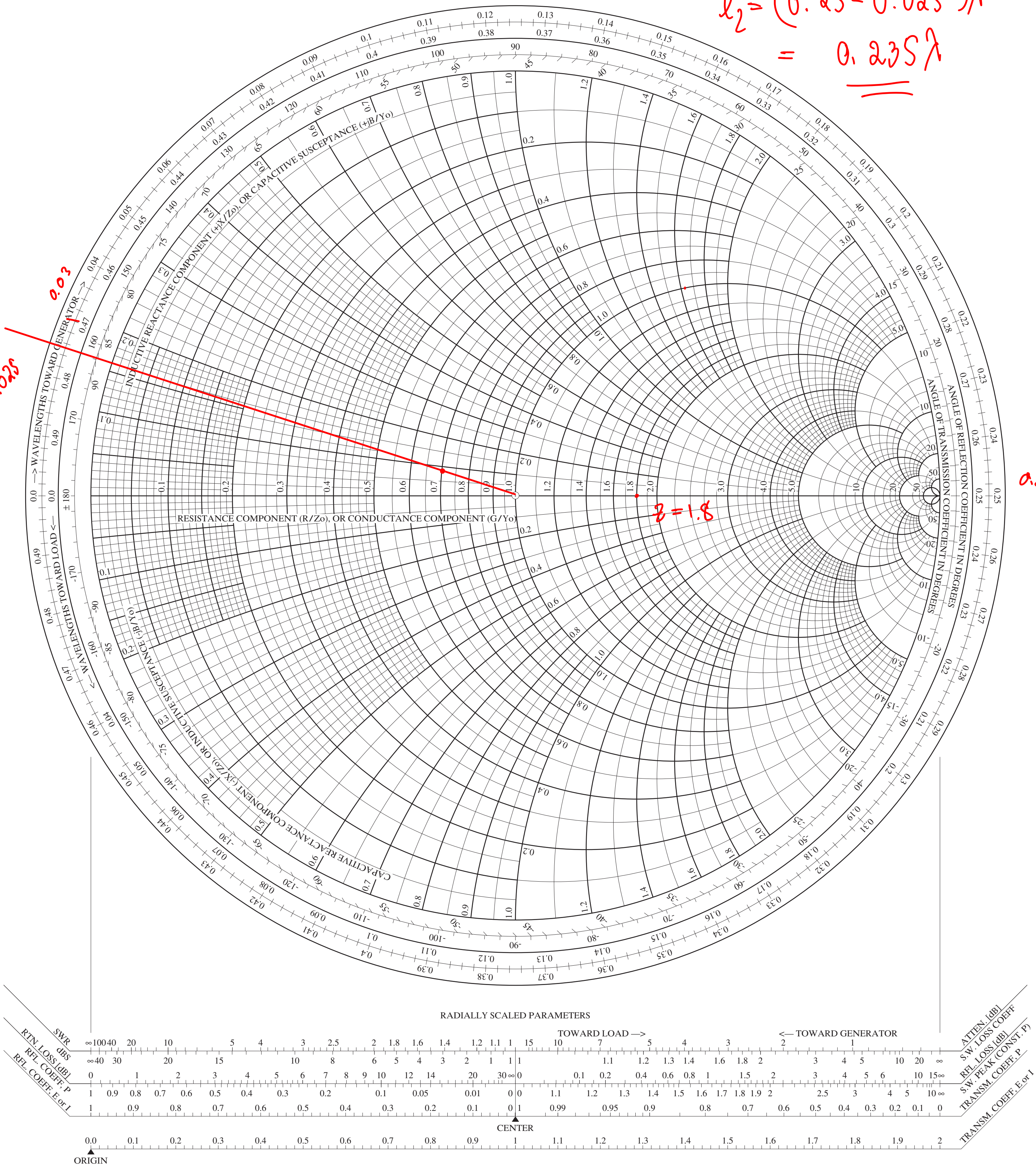
$z_{in} = 1.8$

The Complete Smith Chart

Black Magic Design

$l_2 = (0.25 - 0.025)\lambda$

$= \underline{0.235\lambda}$



15. จงออกแบบวงจรขยายที่ความถี่ 6 GHz โดยใช้ทรานซิสเตอร์ GaAs FET ที่มีพารามิเตอร์เอส และพารามิเตอร์ของสัญญาณรบกวนดังนี้ (Z_0= 50 Ω) : $S_{11} = 0.60\angle -60^\circ$, $S_{21} = 2.0\angle 81^\circ$, $S_{12} = 0$, $S_{22} = 0.70\angle -60^\circ$, $F_{min} = 2.0$ dB, $\Gamma_{opt} = 0.62\angle 100^\circ$, $R_N = 20\ \Omega$ โดยออกแบบให้สัญญาณรบกวนต่ำสุดและมีอัตราขยาย 6 dB และให้ใช้สตับขนานแบบวงจรเปิดในวงจรการแมตช์ทั้งที่อินพุตและเอาต์พุต

$G_S \Rightarrow \Gamma_S \Rightarrow S_{11}^*$

สิ่งที่ทราบ $[S] = \begin{bmatrix} 0.6\angle -60^\circ & 0 \\ 2\angle 81^\circ & 0.7\angle -60^\circ \end{bmatrix}$, $F_{min} = 2\,dB$, $\Gamma_{opt} = 0.62\angle 100^\circ$, $R_N = 20\Omega$

$G_{S_{max}} = 6dB$, $f = 6$ GHz, and Using Open Stub Matching

เนื่องจาก $|S_{12}| = 0$ นั่นคือ ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์แบบทางเดียว และ $|S_{11}| < 1$, $|S_{22}| < 1$ แสดงว่าทรานซิสเตอร์มีความเสถียรแบบไม่มีเงื่อนไข. $\rightarrow \Gamma_S = S_{11}^*$, $\Gamma_L = S_{22}^*$

Step 1 : คำนวณ Center และ Radian ของ Noise Figure 2dB

Formula:
$$F = F_{min} + \frac{4R_N}{Z_O}\frac{|\Gamma_S - \Gamma_{opt}|^2}{(1-|\Gamma_S|^2)|1+\Gamma_{opt}|^2} \Rightarrow F = 1.585 + 4\left(\frac{20}{50}\right)\cdot\frac{|0.6\angle 60^\circ - 0.62\angle 100^\circ|}{(1-0.6^2)(1+6.2)^2}$$
$$= 1.957 = 2.92\,dB$$

Formula:
$$N = \frac{F - F_{min}}{4R/Z_O}|1+\Gamma_{opt}|^2 \Rightarrow N = \frac{1.957 - 1.585}{4\left(\frac{20}{50}\right)}\cdot|1 + 0.62\angle 100^\circ|^2$$

↳ $1.081\angle 34.38^\circ$

$N = 0.2717$

$* \ 10\log F_{min} = 2$

$F_{min} = 10^{0.2} = 1.585$

Formula:
$$C_F = \frac{\Gamma_{opt}}{N+1} \Rightarrow C_F = \frac{0.62\angle 100^\circ}{0.2717 + 1} = 0.488\angle 100^\circ$$

↳ Center.

Formula:
$$R_F = \frac{\sqrt{N\left(N+1-|\Gamma_{opt}|^2\right)}}{N+1} \Rightarrow R_F = \frac{\sqrt{0.2717(0.2717+1-0.62^2)}}{0.2717+1} = 0.39$$

↳ Radian

สัญญาณรบกวนคงที่ 2.92 dB , สัญญาณรบกวนต่ำสุด 2 อัตราขยายที่อินพุตที่เป็นไปได้คือ (2, 2.92) โดยเลือก $G_S = 2.1, 2.5, 2.7$ dB.

$$g_S = \frac{G_S}{G_{S_{max}}} = \frac{1-|\Gamma_S|^2}{|1-S_{11}\Gamma_S|^2}\left(1-|S_{11}|^2\right)$$

$$g_L = \frac{G_L}{G_{L_{max}}} = \frac{1-|\Gamma_L|^2}{|1-S_{22}\Gamma_L|^2}\left(1-|S_{22}|^2\right)$$

$$C_S = \frac{g_S S_{11}^*}{1-(1-g_S)|S_{11}|^2}$$

ความเสี่ยงต่ำ

G_L

$$R_S = \frac{\sqrt{1-g_S}\left(1-|S_{11}|^2\right)}{1-(1-g_S)|S_{11}|^2}$$

$G_S = 2.1$; $g_S = \frac{10^{0.21}}{10^{0.6}} = 0.407$; $C_S = 0.31\angle 60^\circ$; $R_S = 0.63$

$G_S = 2.5$; $g_S = \frac{10^{0.25}}{10^{0.6}} = 0.447$; $C_S = 0.33\angle 60^\circ$; $R_S = 0.59$

$G_S = 2.7$; $g_S = \frac{10^{0.27}}{10^{0.6}} = 0.468$; $C_S = 0.35\angle 60^\circ$; $R_S = 0.58$

* สมมติว่าดีที่สุดคือ $G_S = 2.7$ dB * → $\Gamma_S = 0.55\angle 106^\circ$

The Complete Smith Chart

Black Magic Design