Universitat Autònoma de Barcelona

Escola d'Enginyeria, Departament d'Enginyeria Electrònica

Bellaterra (Cerdanyola del Vallès)

Diseño de osciladores de microondas: Solución problema 2 (Lista 6)

2. La matriz de parámetros [S] de un transistor FET en fuente común es:

$$\boldsymbol{S_{11} = 0.95 < -45º \quad S_{12} = 0.25 < 45º \quad S_{21} = 1.414 < 45º \quad S_{22} = 0.5 < -45º}$$

a) Calcular el factor *K*.

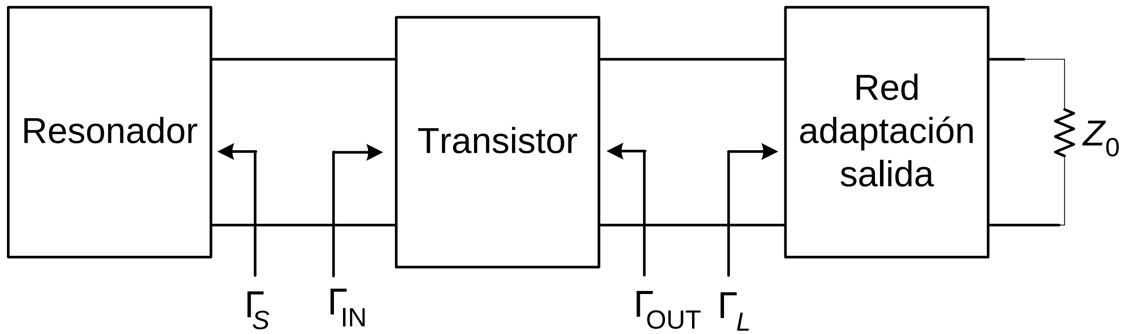
b) Disseñar un oscilador de radiofrecuencia con una carga de 50 Ω.

c) Implementar las correspondientes redes de adaptación a la entrada y a la salida.

Miguel Durán-Sindreu

Curso 2012/2013

Para diseñar un oscilador, consideramos el siguiente diagrama de bloques:



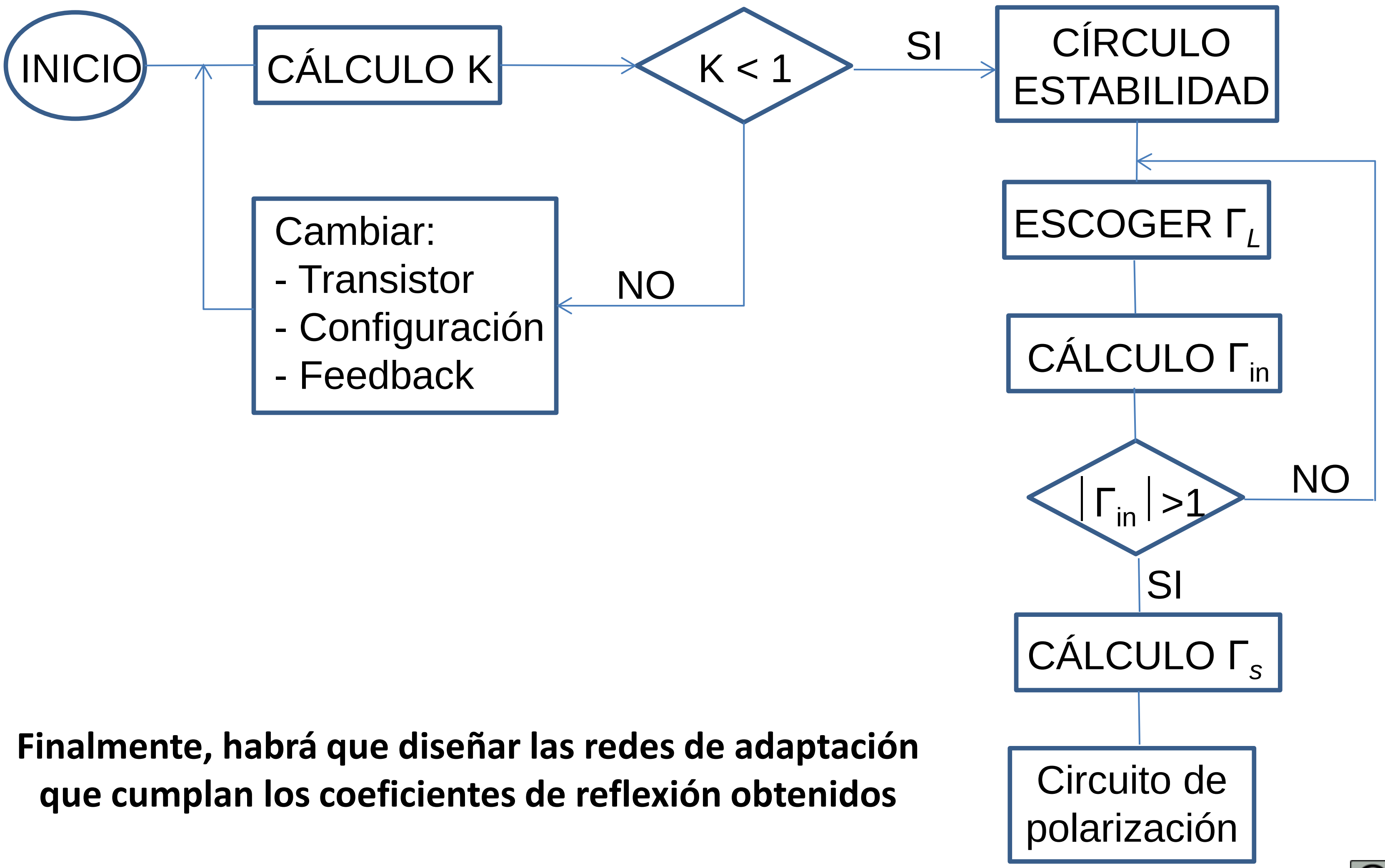
$$\Gamma_{\mathrm{IN}} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_{\mathrm{L}}}{1 - S_{22}\Gamma_{\mathrm{L}}} \qquad \Gamma_{\mathrm{OUT}} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_{\mathrm{S}}}{1 - S_{11}\Gamma_{\mathrm{S}}}$$

A diferencia de los amplificadores, ahora queremos que el dispositivo sea inestable. Es decir, ahora queremos $|\Gamma_{\mathrm{IN}}| > 1$ y $|\Gamma_{\mathrm{OUT}}| > 1$:

- Si $|\Gamma_{\mathrm{IN}}| < 1$ y $|\Gamma_{\mathrm{OUT}}| < 1$ se cumple para todo valor de Γ_{S}, Γ_{L}, entonces el transistor satisface la condición de <u>estabilidad incondicional</u> (se cumple K > 1 y $|\Delta| < 1$).

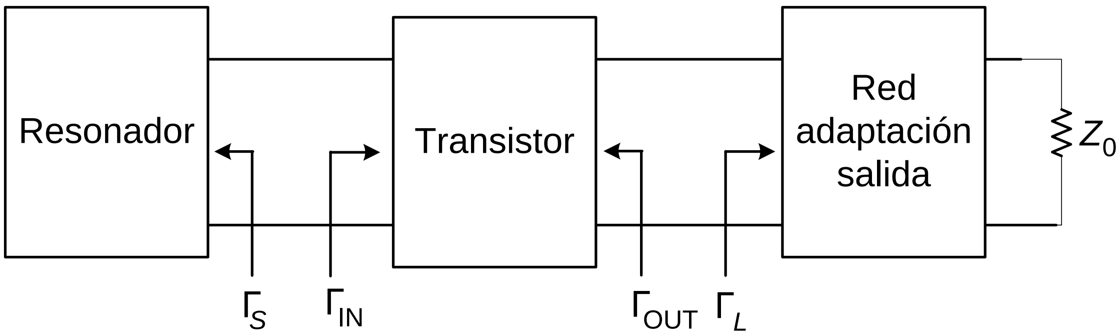
- Si $|\Gamma_{\mathrm{IN}}| < 1$ y $|\Gamma_{\mathrm{OUT}}| < 1$ se cumple para un cierto rango de valores de Γ_{S}, Γ_{L}, entonces el transistor satisface la condición de <u>estabilidad condicional</u> (NO se cumple K > 1 y $|\Delta| < 1$).

Diagrama de flujo:



Finalmente, habrá que diseñar las redes de adaptación que cumplan los coeficientes de reflexión obtenidos

Estudiamos la estabilidad del transistor: Obtenemos K



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

Para estudiar la estabilidad del transistor, podemos utilizar los parámetros K y Δ, ya que se puede demostrar que un transistor es incondicionalmente estable si cumple: K > 1 y $|\Delta| < 1$.

En nuestro caso:

$$\left.\begin{aligned} K &= \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|} = 0.75 < 1 \\ |\Delta| &= |S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}| = \cdots = -0.825j \end{aligned}\right\}$$

Existe alguna región de valores Γ_S, Γ_L potencialmente inestables.

Dibujamos círculo de estabilidad a la salida

Una vez sabemos que es condicionalmente estable, buscamos zonas de inestabilidad mediante los círculos de estabilidad en la carta de Smith. Queremos dibujar el círculo de estabilidad a la salida para poder escoger un valor de Γ_L tal que $|\Gamma_{IN}|$>1.

El centro (C_L) y radio (R_L) de los círculos de estabilidad a la salida se pueden obtener como:

$$C_L = \frac{(S_{22} - \Delta S_{11}{}^{*})^{*}}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} = \cdots = 0.658 < 45º \qquad R_L = \left|\frac{S_{12}S_{21}}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2}\right| = \cdots = 0.82$$

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} = \cdots = -0.825j$$

Donde estas ecuaciones se obtienen forzando: $|\Gamma_{IN}| = \left|S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L}\right| = 1$

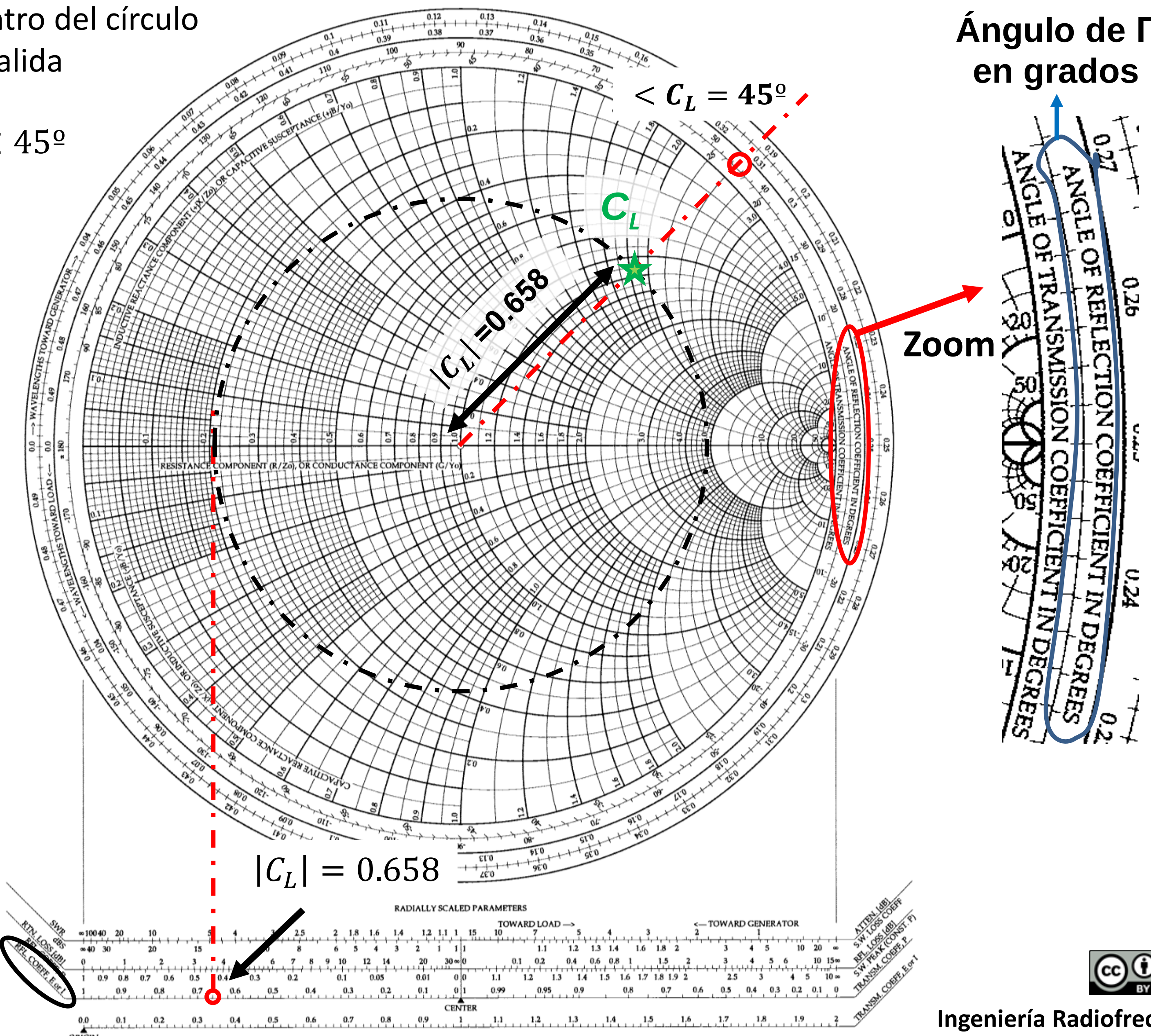
Por lo tanto, este círculo nos determinará los límites de la zona estable/inestable, cumpliéndose $|\Gamma_{IN}|$ =1 en cualquier punto del círculo de estabilidad.

Lista 6: Problema 2, diseño de osciladores de microondas

Miguel Durán-Sindreu

1. Mapeamos el centro del círculo de estabilidad a la salida

$C_L = 0.658 < 45º$



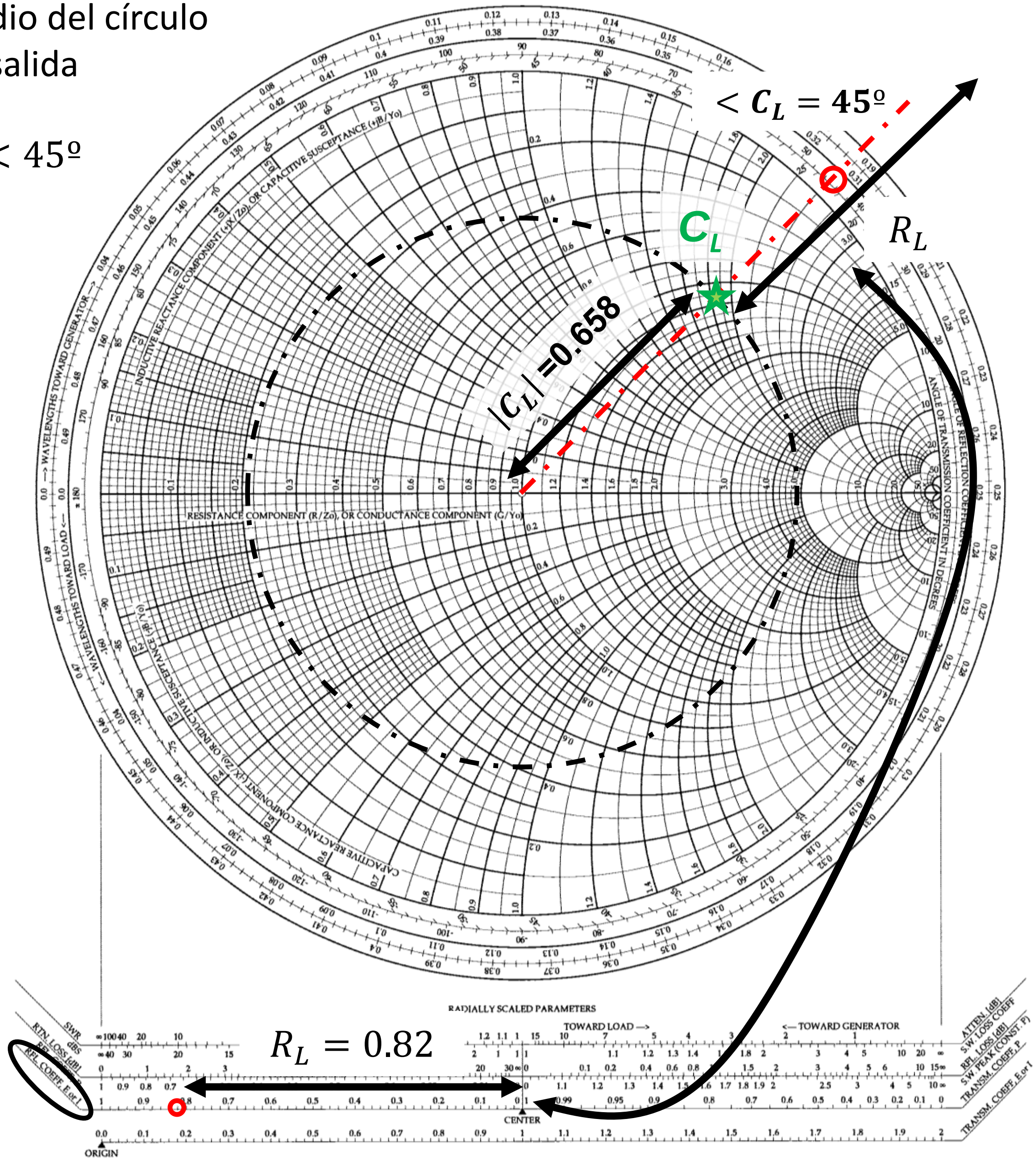
Lista 6: Problema 2, diseño de osciladores de microondas

Miguel Durán-Sindreu

2. Mapeamos el radio del círculo de estabilidad a la salida

$$C_L = 0.658 < 45º$$

$$R_L = 0.82$$

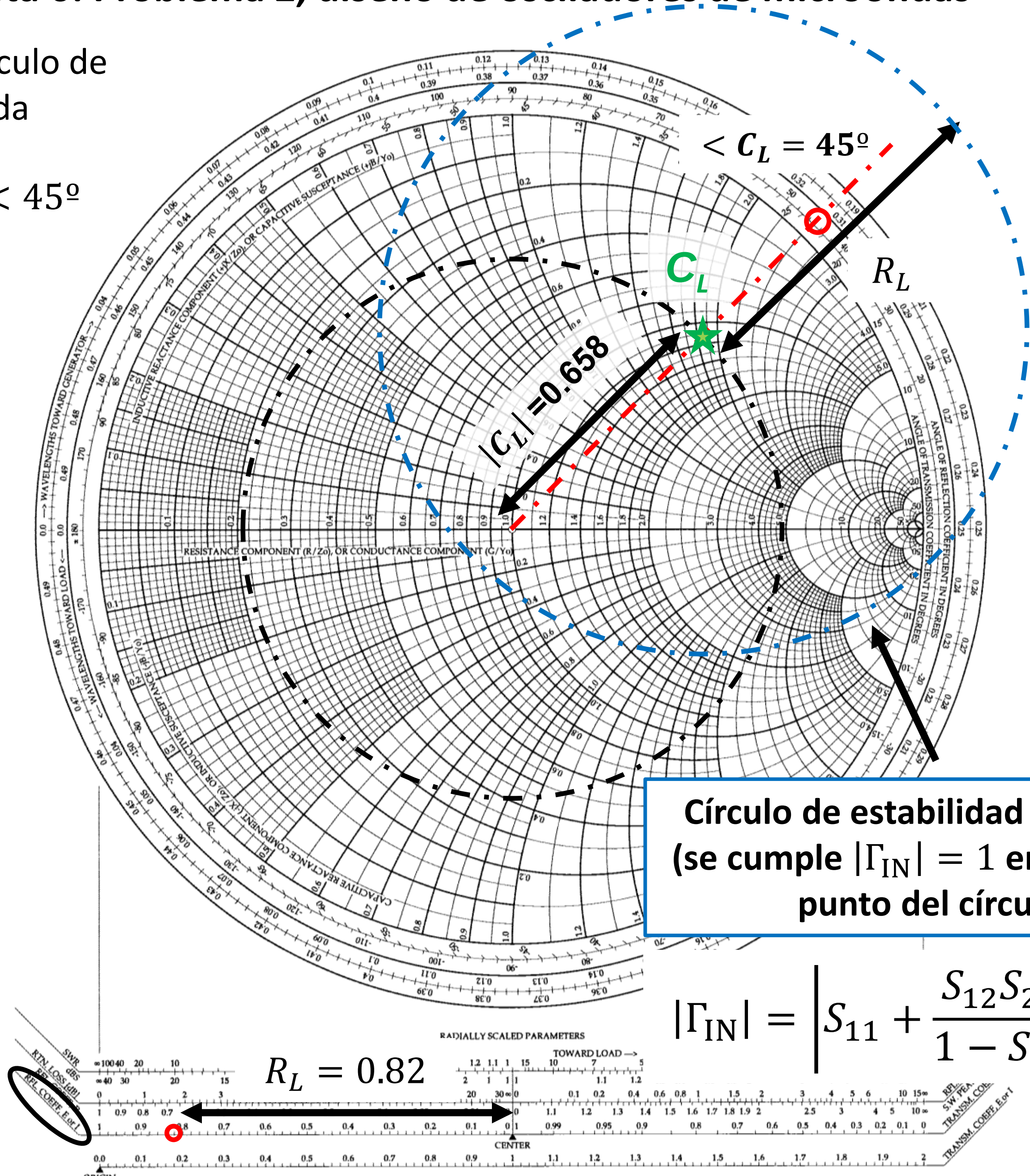


Lista 6: Problema 2, diseño de osciladores de microondas

Miguel Durán-Sindreu

3. Mapeamos el círculo de estabilidad a la salida

$$C_L = 0.658 < 45º$$
$$R_L = 0.82$$



Círculo de estabilidad a la salida (se cumple $|\Gamma_{IN}| = 1$ en cualquier punto del círculo)

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

Lista 6: Problema 2, diseño de osciladores de microondas

Miguel Durán-Sindreu

4. Definimos región de estabilidad

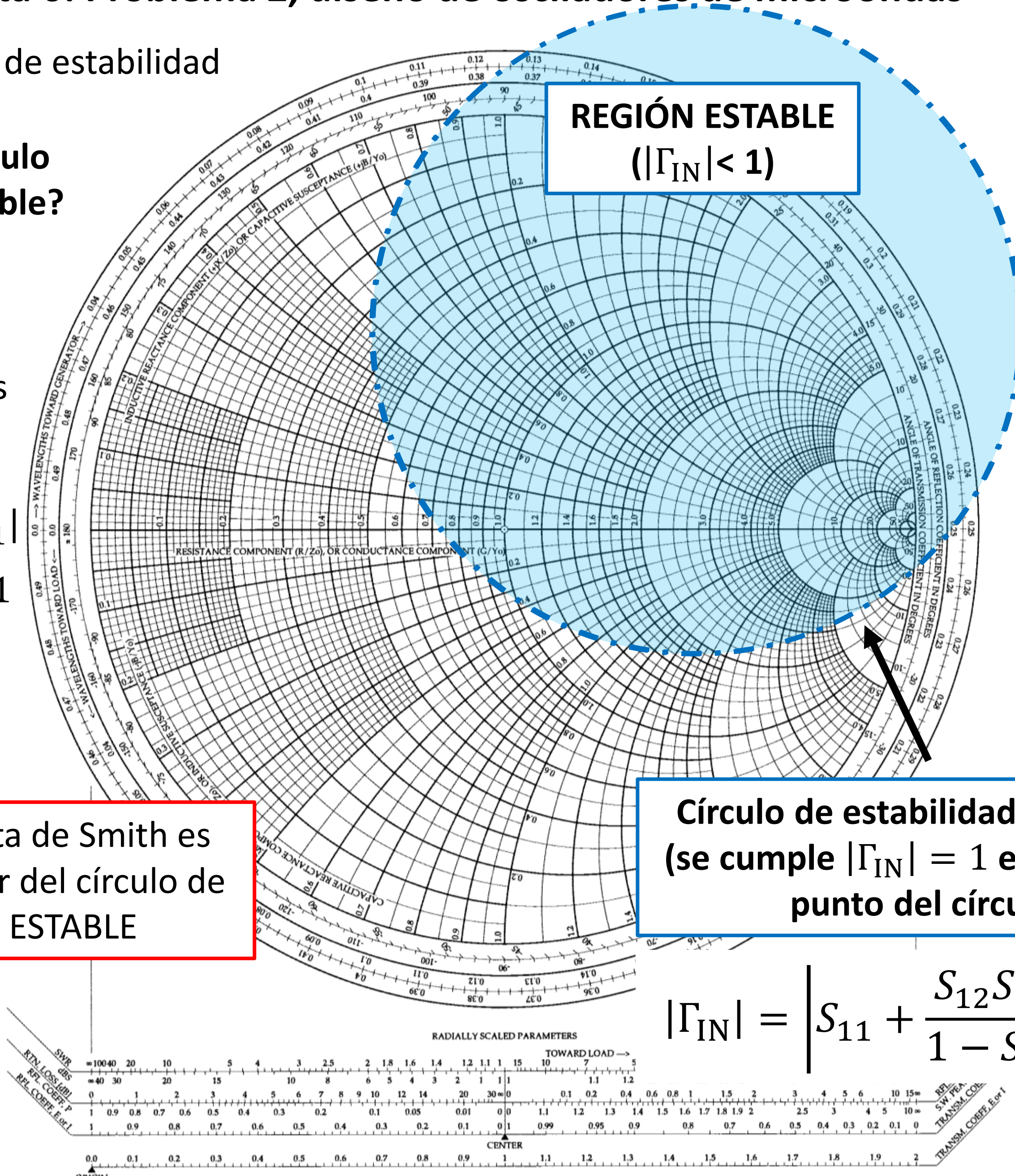
¿El interior del círculo es estable o inestable?

Para saberlo, miramos caso $\Gamma_L = 0$:

Si $\Gamma_L = 0 \rightarrow |\Gamma_{IN}| = |S_{11}|$

Si $S_{11} < 1 \rightarrow |\Gamma_{IN}| < 1$

El centro de la carta de Smith es estable → El interior del círculo de estabilidad es ESTABLE



REGIÓN ESTABLE ($|\Gamma_{IN}| < 1$)

Círculo de estabilidad a la salida (se cumple $|\Gamma_{IN}| = 1$ en cualquier punto del círculo)

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

Lista 6: Problema 2, diseño de osciladores de microondas

Miguel Durán-Sindreu

5. Escogemos Γ_L

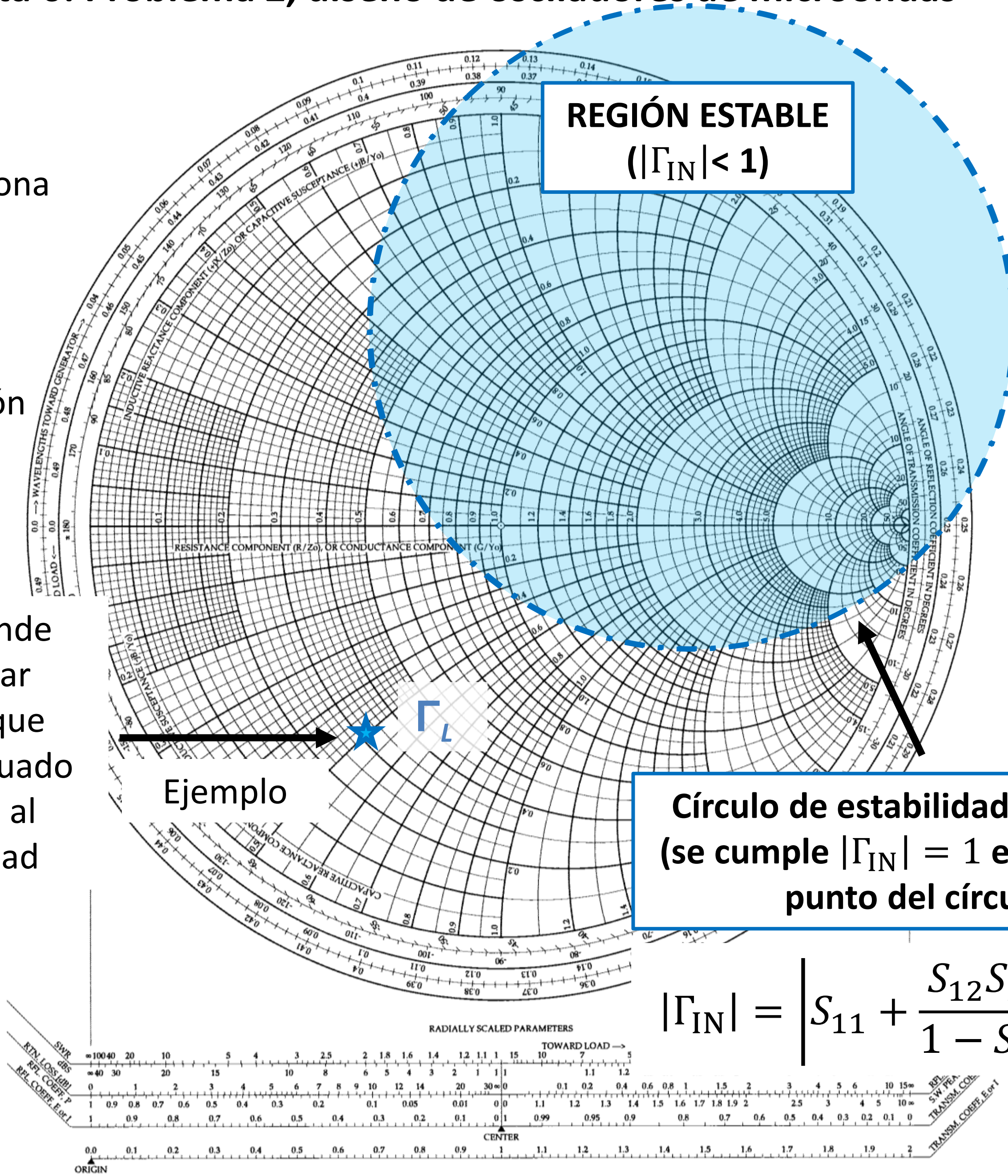
Escogemos Γ_L en la zona inestable

↓

NO hay una solución única de Γ_L

↓

Buscamos $|\Gamma_{\mathrm{IN}}|$ grande (queremos asegurar oscilación), por lo que buscaremos un Γ_L situado en el lado opuesto al círculo de estabilidad



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

Lista 6: Problema 2, diseño de osciladores de microondas

Miguel Durán-Sindreu

6. Obtenemos Γ_L

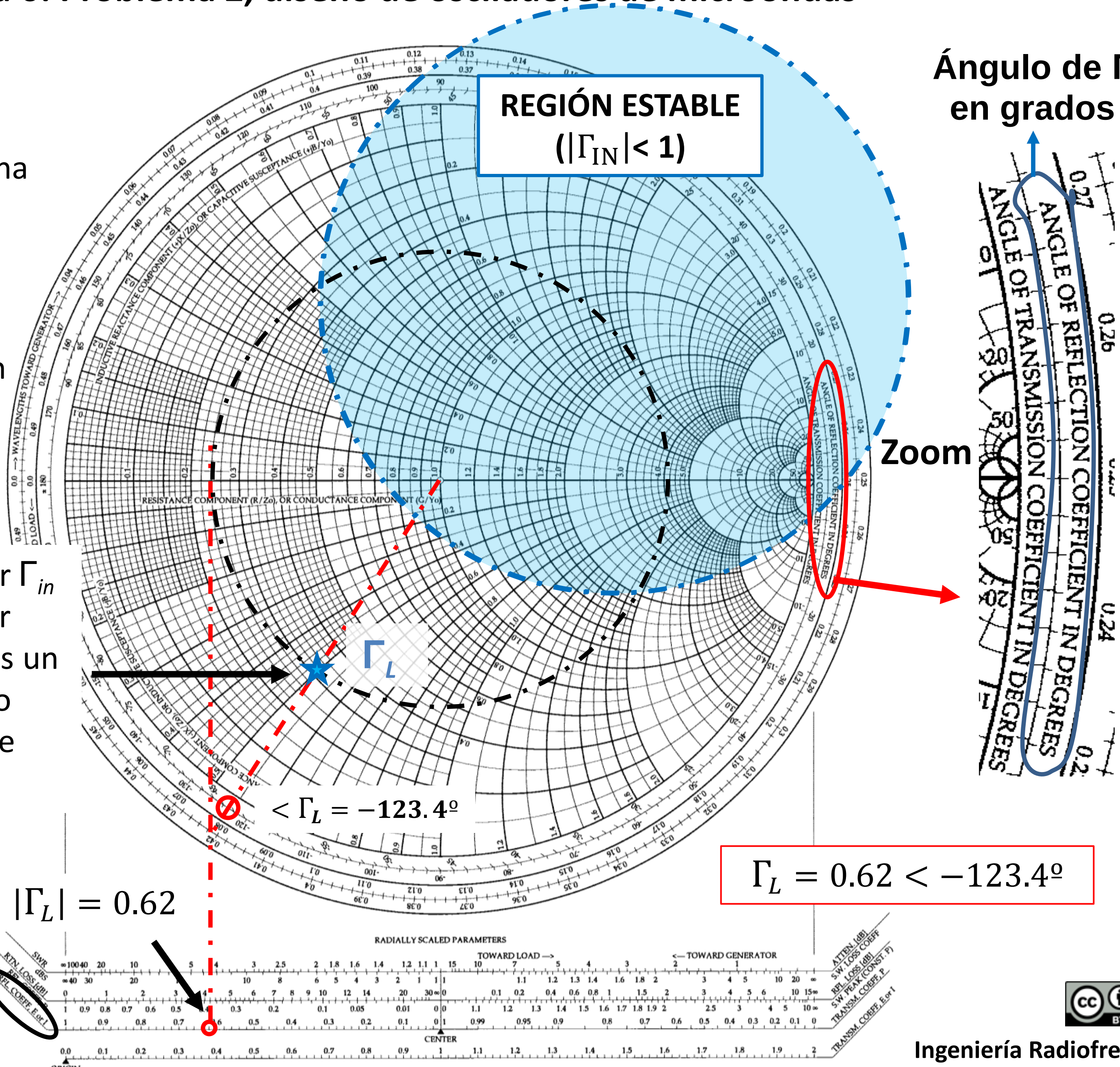
Escogemos Γ_L en la zona inestable

↓

NO hay una solución única de Γ_L

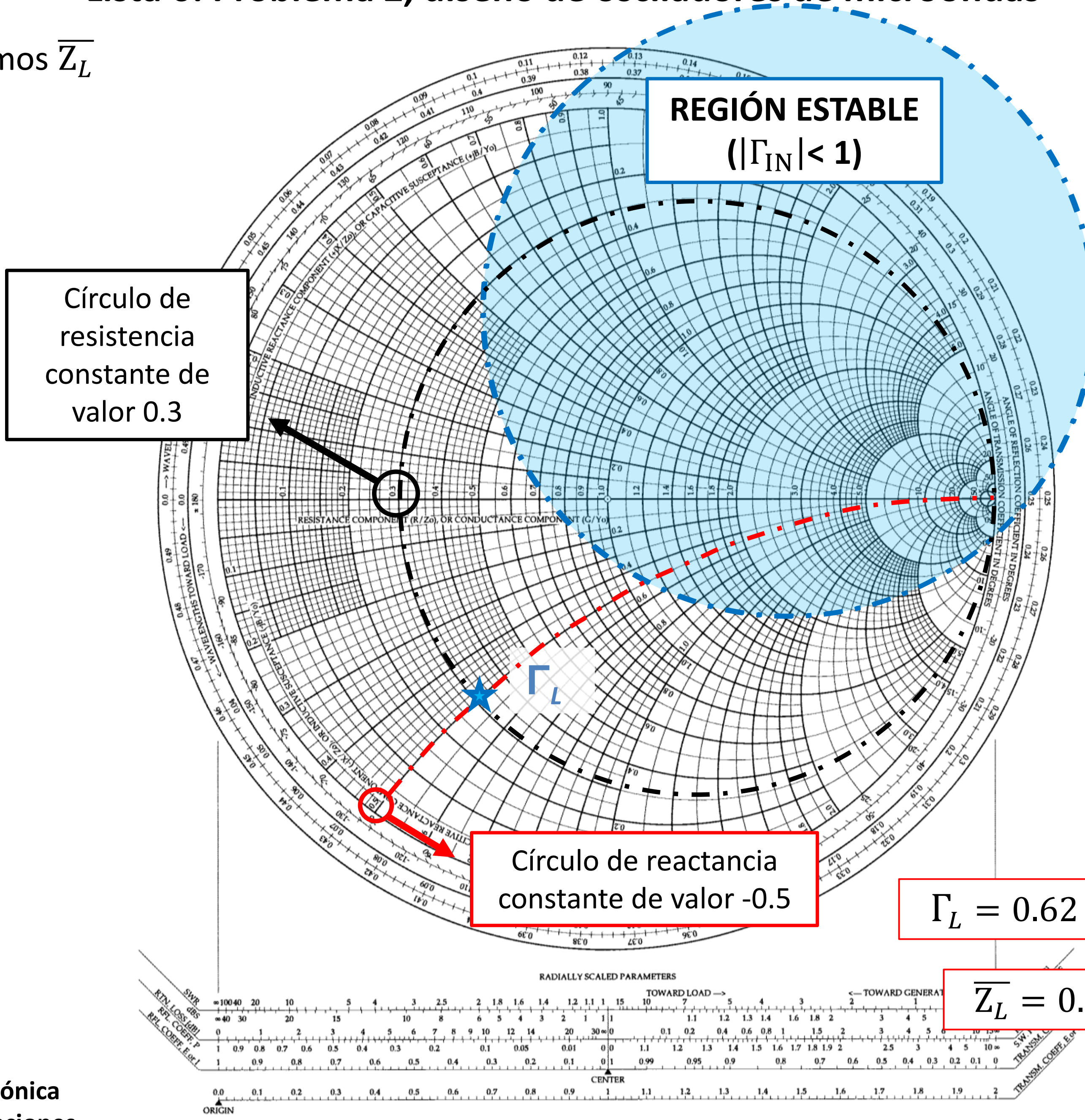
↓

Si queremos maximizar Γ_{in} (queremos asegurar oscilación), buscaremos un Γ_L situado en el lado opuesto al círculo de estabilidad



$\Gamma_L = 0.62 < -123.4º$

7. Obtenemos $\overline{Z_L}$



$$\Gamma_L = 0.62 < -123.4º$$

$$\overline{Z_L} = 0.3 - j0.5$$

Lista 6: Problema 2, diseño de osciladores de microondas

Miguel Durán-Sindreu

8. Calculamos Γ_{in}

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

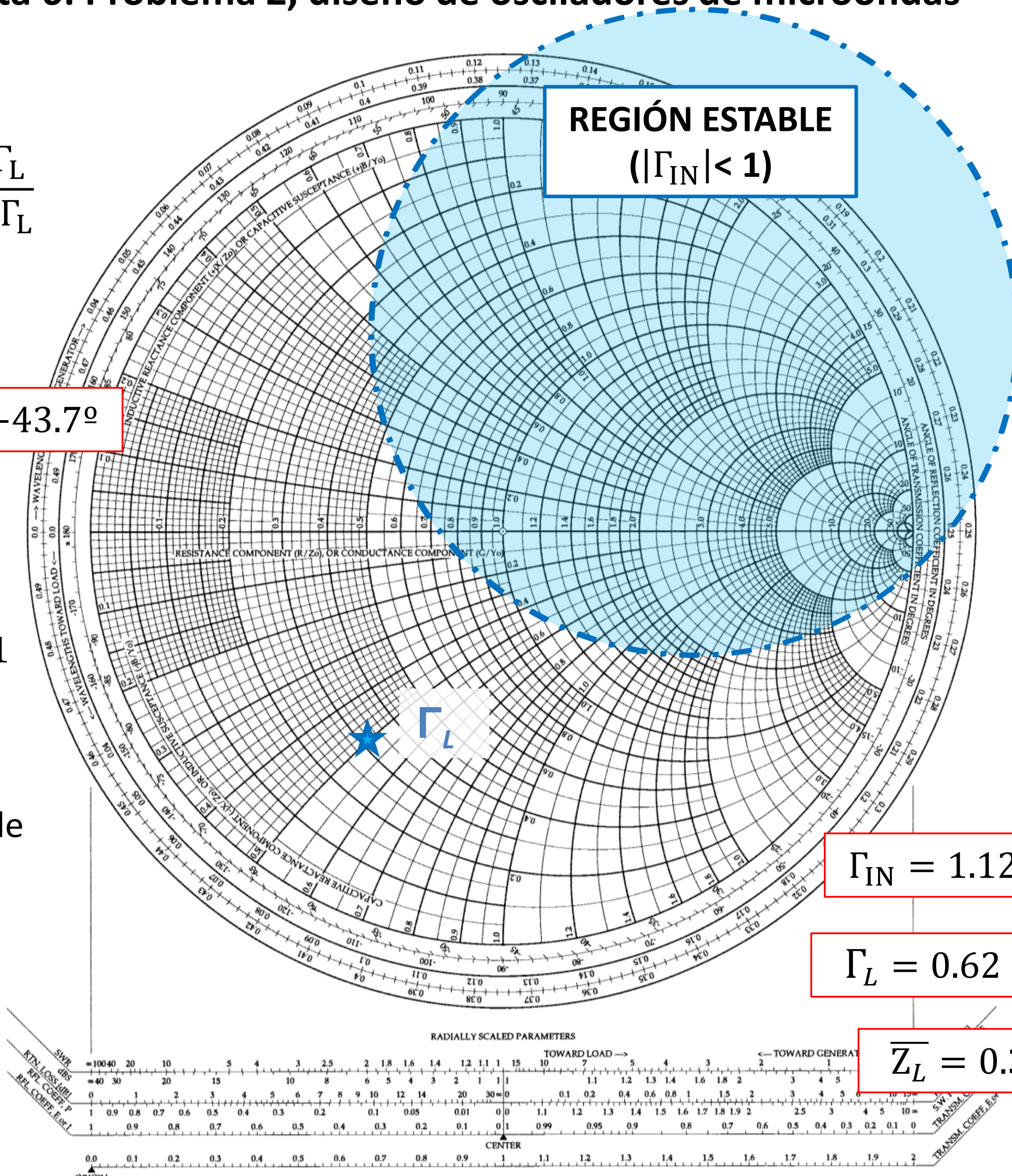
$$\downarrow$$

$$\boxed{\Gamma_{\mathrm{IN}} = \cdots = 1.12 < -43.7º}$$

$$\downarrow$$

Se cumple $|\Gamma_{\mathrm{IN}}| > 1$

Por lo tanto, se cumple condición de inestabilidad



Si hubiéramos obtenido $|\Gamma_{\mathrm{IN}}| < 1$, deberíamos escoger otro Γ_{L} y repetir apartados 5-6-7-8

$$\boxed{\Gamma_{\mathrm{IN}} = 1.12 < -43.7º}$$

$$\boxed{\Gamma_L = 0.62 < -123.4º}$$

$$\boxed{\overline{Z_L} = 0.3 - j0.5}$$

Lista 6: Problema 2, diseño de osciladores de microondas

Miguel Durán-Sindreu

9. Obtenemos $\overline{Z_{IN}}$

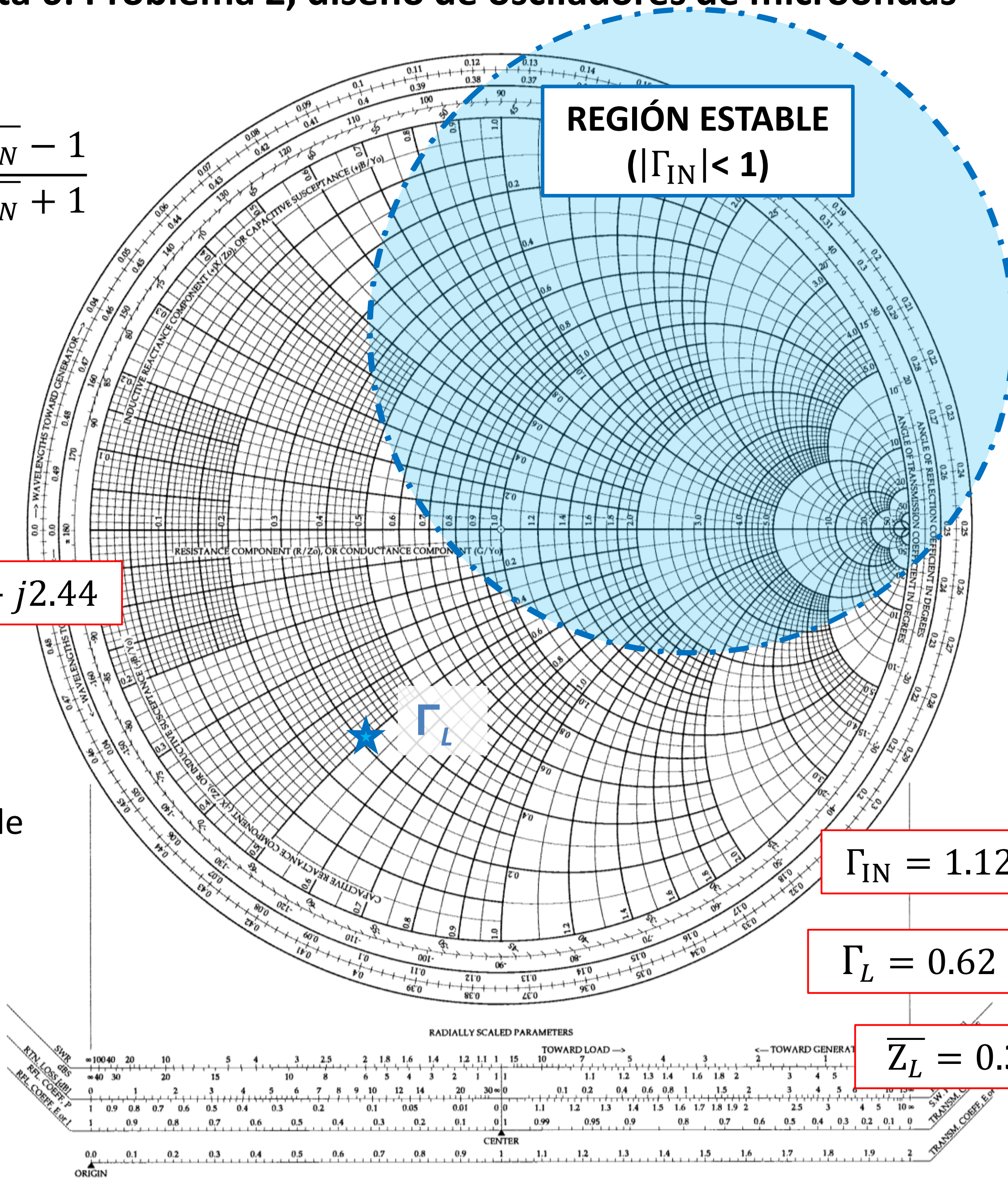
$$\Gamma_{\mathrm{IN}} = \frac{Z_{IN} - Z_0}{Z_{IN} + Z_0} = \frac{\overline{Z_{IN}} - 1}{\overline{Z_{IN}} + 1}$$

$$\downarrow$$

$$\overline{Z_{IN}} = \frac{1 + \Gamma_{\mathrm{IN}}}{1 - \Gamma_{\mathrm{IN}}}$$

$$\downarrow$$

$$\boxed{\overline{Z_{IN}} = \cdots = -0.39 - j2.44}$$



Por lo tanto, se cumple condición de inestabilidad

$$\boxed{\Gamma_{\mathrm{IN}} = 1.12 < -43.7º}$$

$$\boxed{\Gamma_L = 0.62 < -123.4º}$$

$$\boxed{\overline{Z_L} = 0.3 - j0.5}$$

Lista 6: Problema 2, diseño de osciladores de microondas

Miguel Durán-Sindreu

9. Obtenemos $\overline{Z_{IN}}$

$$\Gamma_{\mathrm{IN}} = \frac{Z_{IN} - Z_0}{Z_{IN} + Z_0} = \frac{\overline{Z_{IN}} - 1}{\overline{Z_{IN}} + 1} \longrightarrow \overline{Z_{IN}} = \frac{1 + \Gamma_{\mathrm{IN}}}{1 - \Gamma_{\mathrm{IN}}} = \cdots = -0.39 - j2.44$$

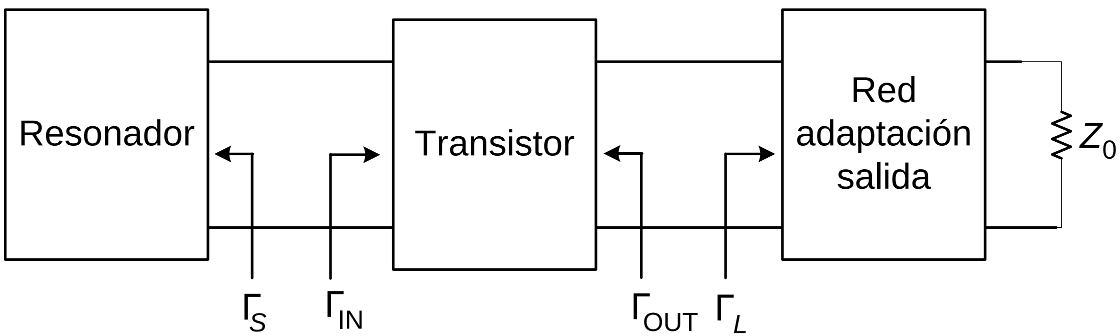
$\overline{R_{IN}} < 0!$

$$\boxed{\Gamma_{\mathrm{IN}} = 1.12 < -43.7º}$$

Así forzamos la resistencia negativa que provoca las oscilaciones

10. Obtenemos $\overline{Z_s}$ y Γ_s

$$\overline{Z_s} = -\frac{\overline{R_{IN}}}{3} - j\overline{X_{IN}} = 0.13 + j2.44 \longrightarrow \boxed{\Gamma_s = \frac{\overline{Z_s} - 1}{\overline{Z_s} + 1} = \cdots = 0.96 < 44.5º}$$



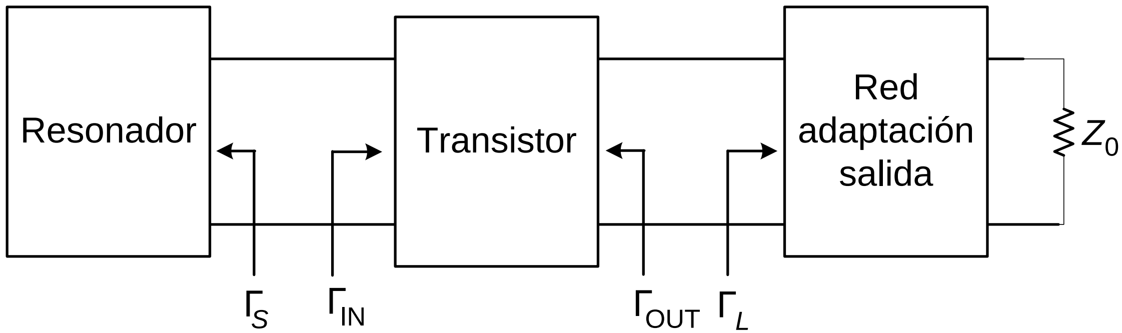
$$\boxed{\Gamma_L = 0.62 < -123.4º}$$

$$\boxed{\overline{Z_L} = 0.3 - j0.5}$$

Una vez obtenidos todos los coeficientes de reflexión, sólo necesitamos obtener las redes de adaptación que permitan satisfacer éstos valores

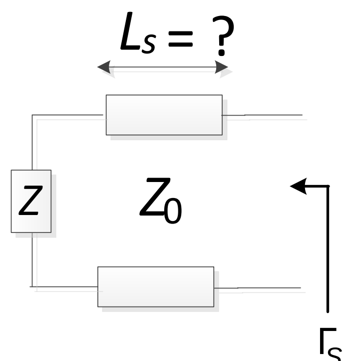
11. Obtenemos red de adaptación para satisfacer $\overline{Z_s}, \Gamma_s$

Recordemos que un oscilador tiene el siguiente diagrama de bloques:



Dado que el oscilador no tiene entrada, no es necesario obtener Γ_s a partir de una carga adaptada Z = Z_0.

Esto nos permite simplificar nuestra red de adaptación Γ_s, pudiendo considerar la siguiente topología:



De esta forma, podremos obtener el Γ_s requerido desplazándonos por una línea de transmisión que nos permita cruzar con una impedancia puramente real (no necesariamente Z_0), que será la carga Z que consideraremos.

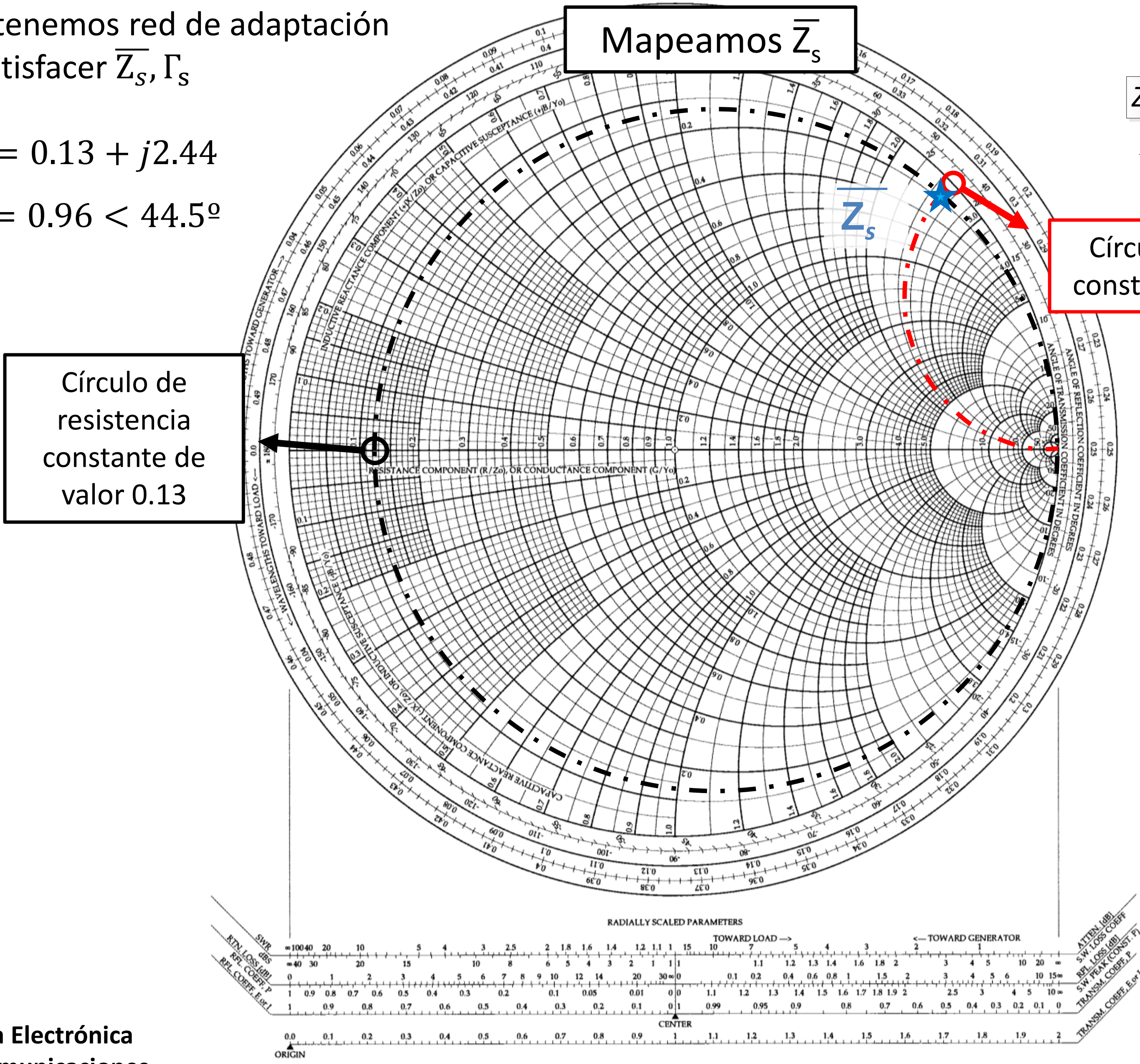
Lista 6: Problema 2, diseño de osciladores de microondas

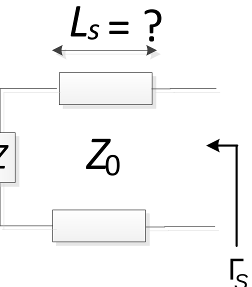
Miguel Durán-Sindreu

11. Obtenemos red de adaptación para satisfacer $\overline{Z_s}, \Gamma_s$

$$\overline{Z_s} = 0.13 + j2.44$$

$$\Gamma_s = 0.96 < 44.5º$$





Lista 6: Problema 2, diseño de osciladores de microondas

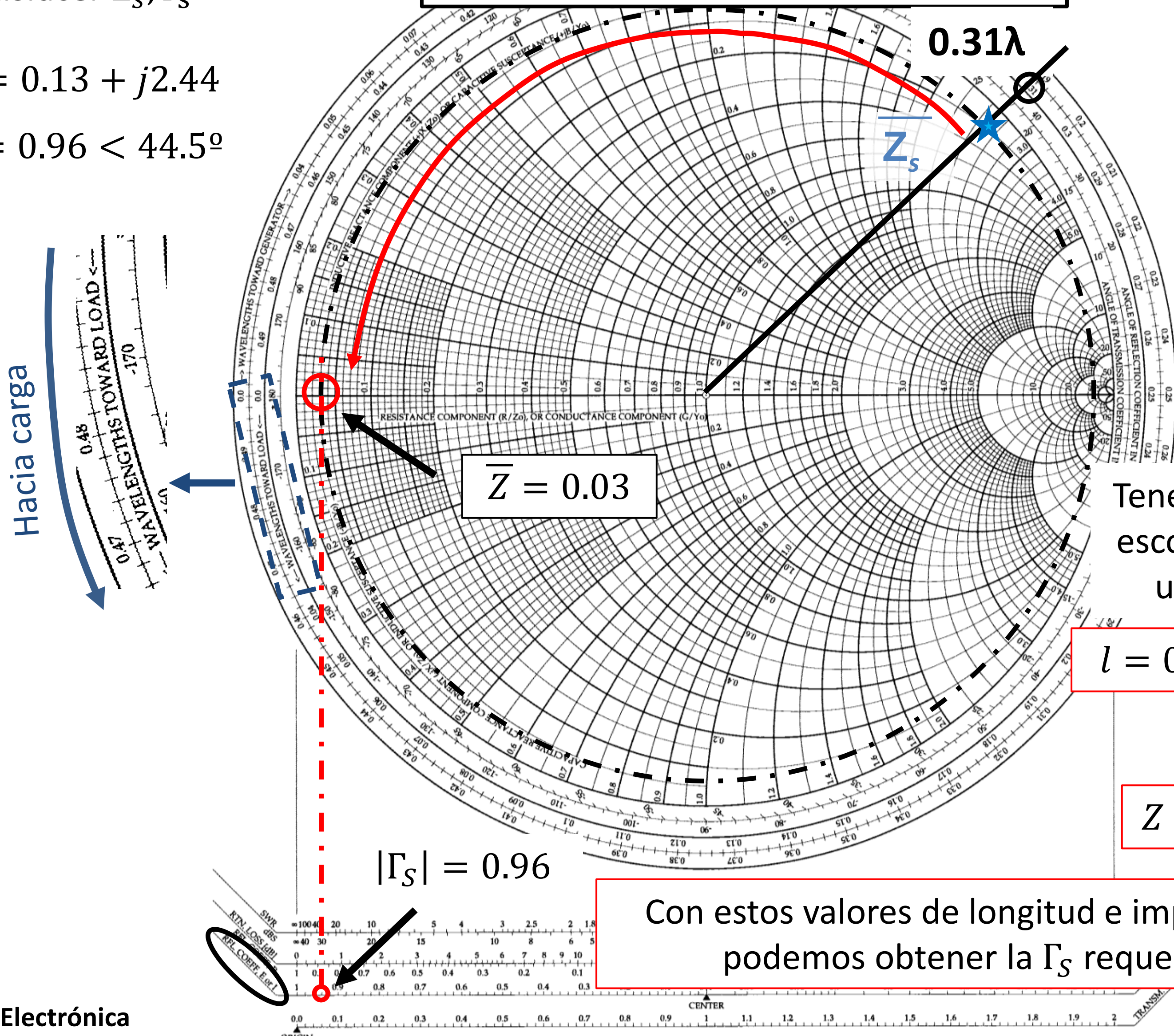
Miguel Durán-Sindreu

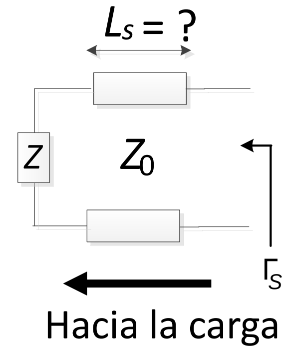
11. Obtenemos red de adaptación para satisfacer $\overline{Z_s}, \Gamma_s$

$$\overline{Z_s} = 0.13 + j2.44$$

$$\Gamma_s = 0.96 < 44.5º$$

Nos desplazamos por un círculo $|\Gamma_S|$ constante hasta obtener Z real





Tenemos dos soluciones. Si escogemos la que conlleva una longitud *l* menor:

$$l = 0.5\lambda - 0.31\lambda = 0.19\lambda$$

$$Z = 0.03 \cdot Z_0 = 1.5\Omega$$

Con estos valores de longitud e impedancia podemos obtener la Γ_S requerida

Lista 6: Problema 2, diseño de osciladores de microondas

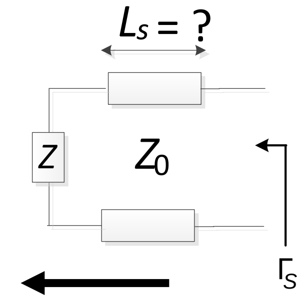
Miguel Durán-Sindreu

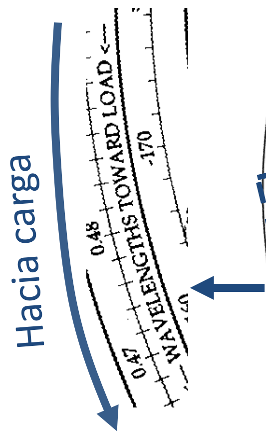
11. Obtenemos red de adaptación para satisfacer $\overline{Z_s}, \Gamma_s$

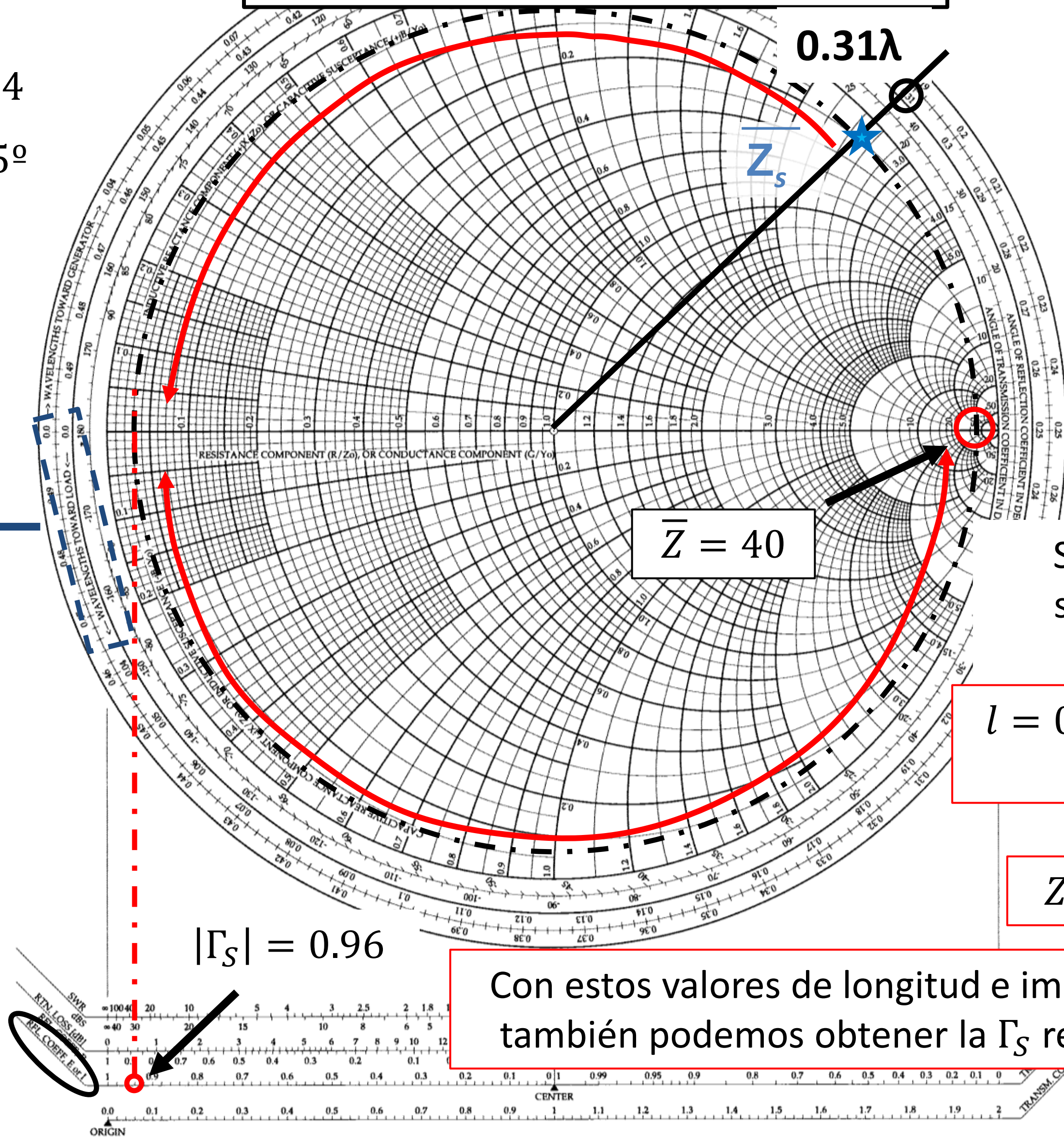
$$\overline{Z_s} = 0.13 + j2.44$$

$$\Gamma_s = 0.96 < 44.5º$$

Nos desplazamos por un círculo $|\Gamma_S|$ constante hasta obtener Z real







Si escogemos la otra solución de longitud mayor:

$$l = 0.5\lambda - 0.31\lambda + 0.25\lambda = 0.44\lambda$$

$$Z = 40 \cdot Z_0 = 2\ k\Omega$$

Con estos valores de longitud e impedancia también podemos obtener la Γ_S requerida

Lista 6: Problema 2, diseño de osciladores de microondas

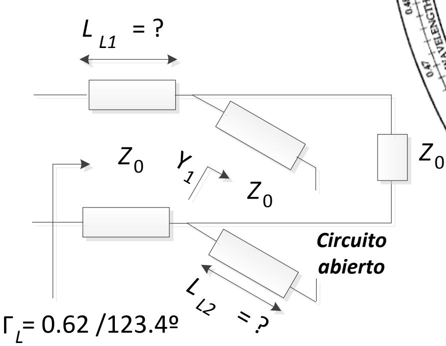
Miguel Durán-Sindreu

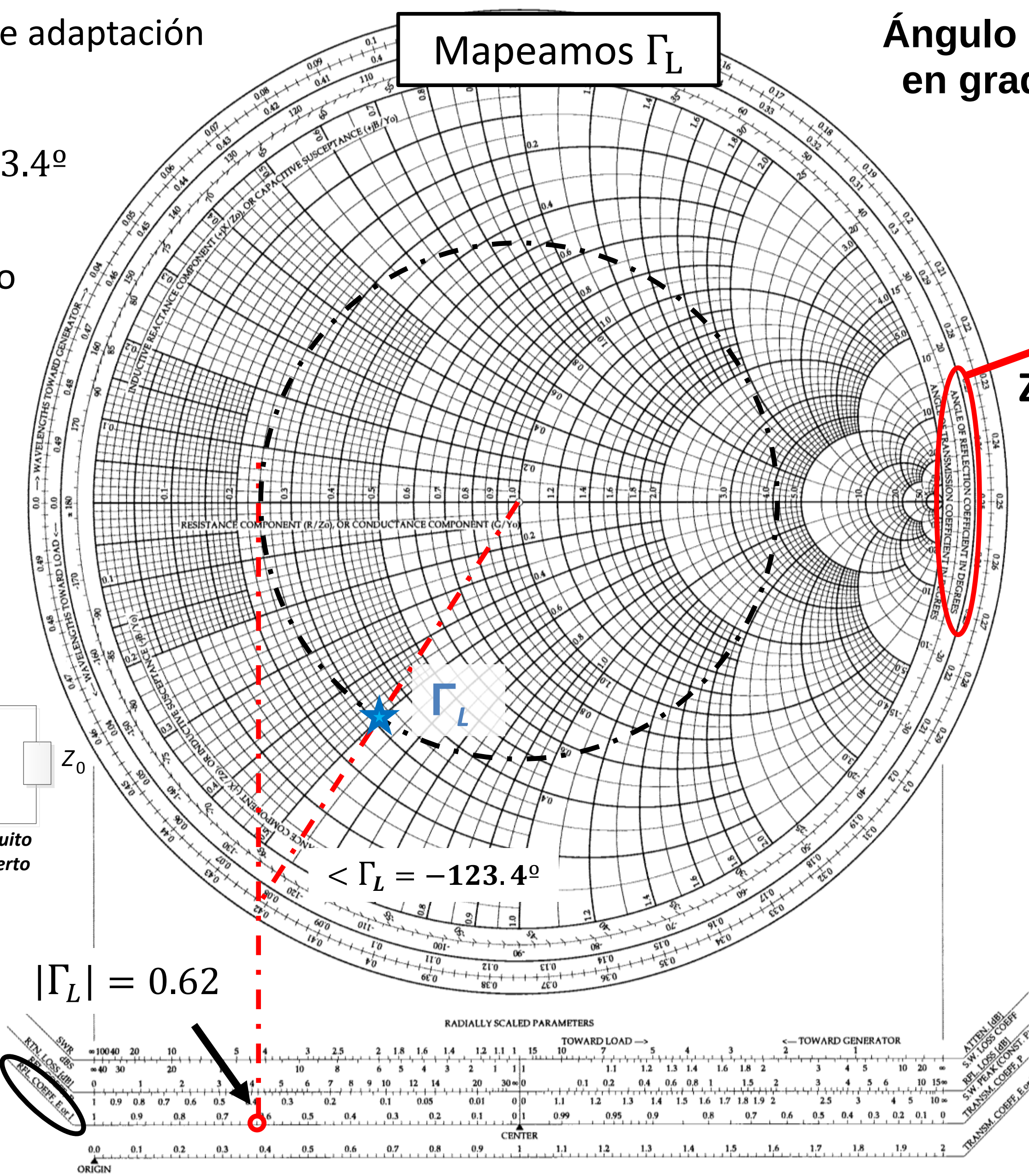
12. Obtenemos red de adaptación para satisfacer Γ_L

$$\Gamma_L = 0.62 < -123.4º$$

En este caso SI tengo que adaptar a una carga Z_0

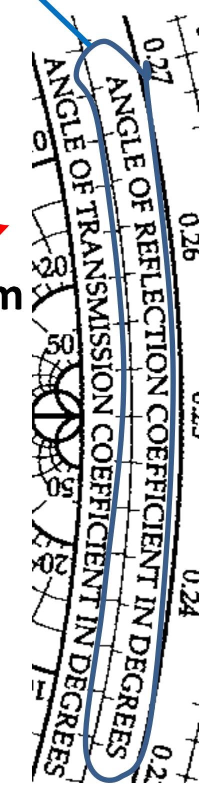
Utilizo líneas de transmisión y stubs en circuito abierto





Zoom

Ángulo de Γ en grados



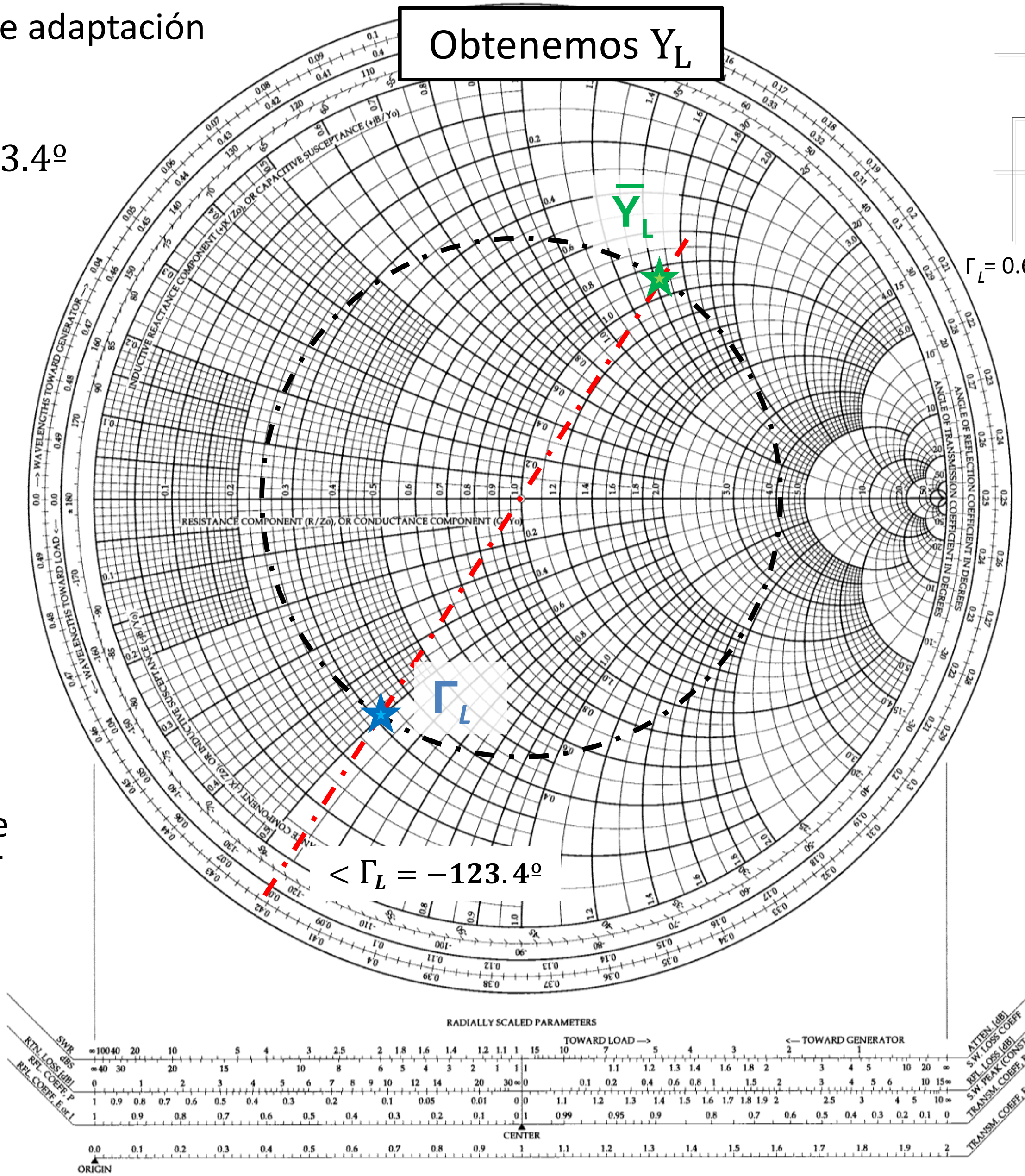
Lista 6: Problema 2, diseño de osciladores de microondas

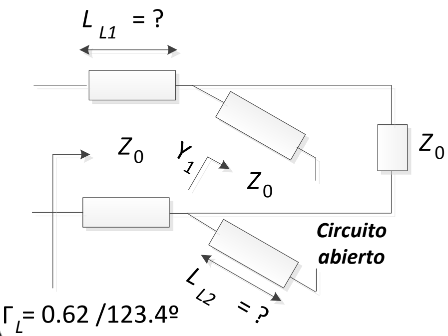
Miguel Durán-Sindreu

12. Obtenemos red de adaptación para satisfacer Γ_L

$$\Gamma_L = 0.62 < -123.4º$$

Obtenemos Y_L





Trabajamos en admitancias ya que nos será más cómodo a la hora de trabajar con el stub en paralelo

Pasamos de impedancia a admitancia mediante un giro de 180º en Γ (media carta Smith)

Lista 6: Problema 2, diseño de osciladores de microondas

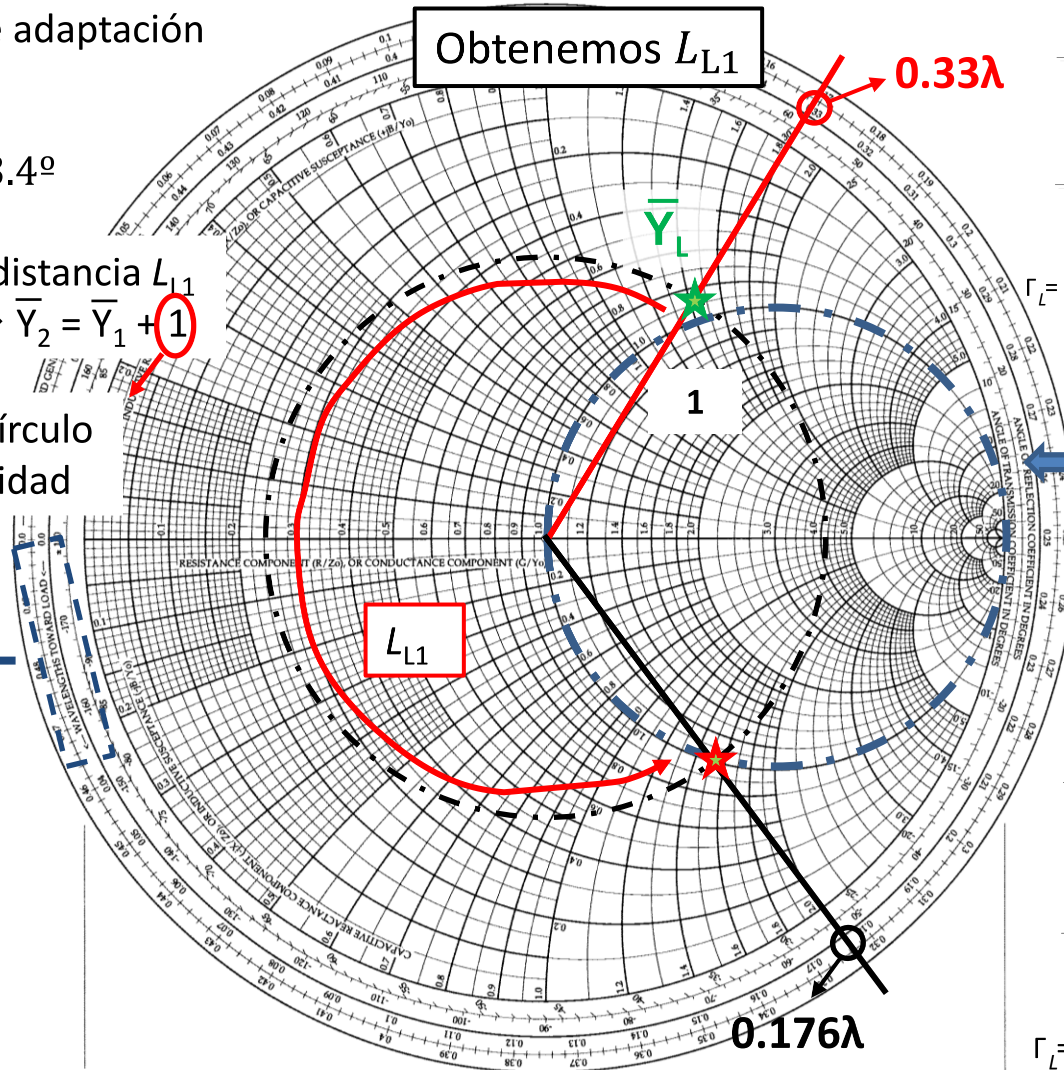
Miguel Durán-Sindreu

12. Obtenemos red de adaptación para satisfacer Γ_L

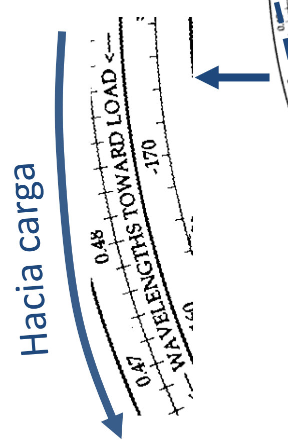
$$\Gamma_L = 0.62 < -123.4º$$

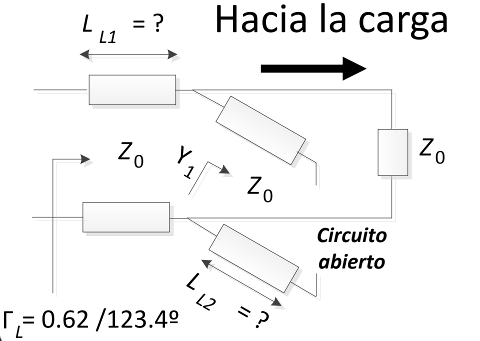
Desplazamos Γ_L una distancia L_{L1} tal que $Y_2 = Y_1 + Y_0 \rightarrow \overline{Y}_2 = \overline{Y}_1 + 1$

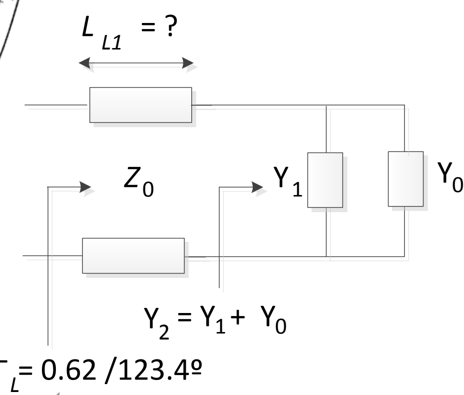
Hemos de cruzar el círculo de conductancia unidad



Círculo conductancia unidad

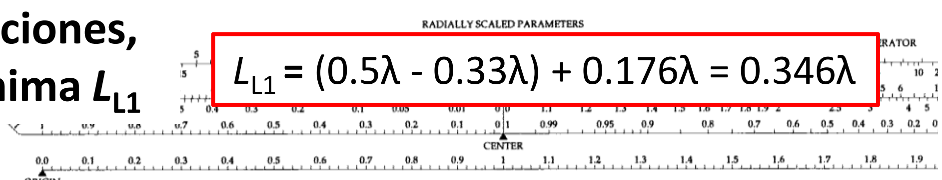






Siendo Y_1 puramente imaginario

Tenemos dos soluciones, consideramos mínima L_{L1}



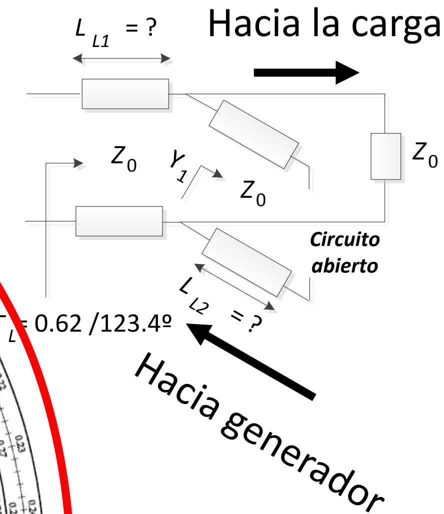
$$L_{L1} = (0.5\lambda - 0.33\lambda) + 0.176\lambda = 0.346\lambda$$

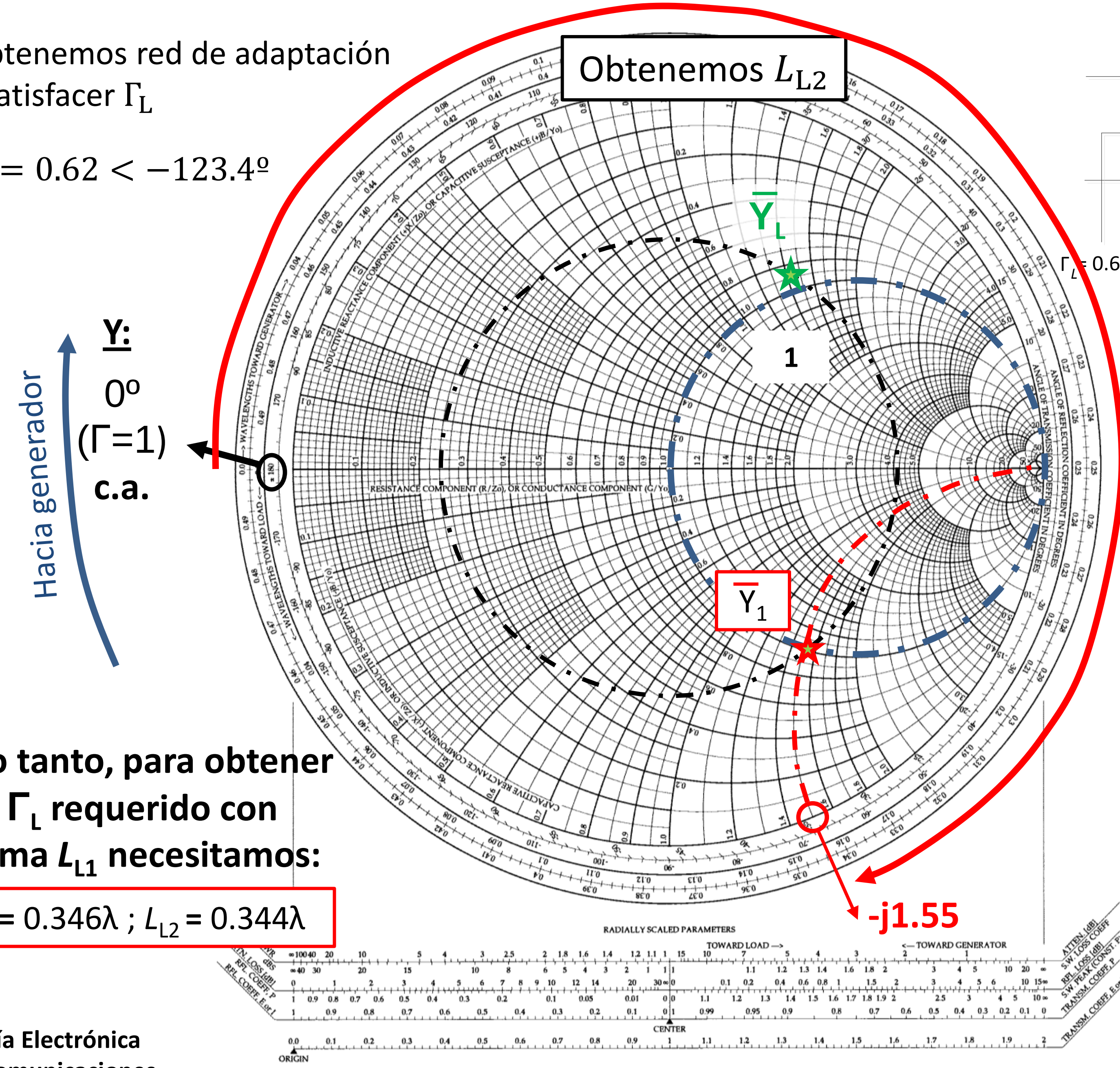
Miguel Durán-Sindreu

Lista 6: Problema 2, diseño de osciladores de microondas

12. Obtenemos red de adaptación para satisfacer Γ_L

$$\Gamma_L = 0.62 < -123.4^{\circ}$$

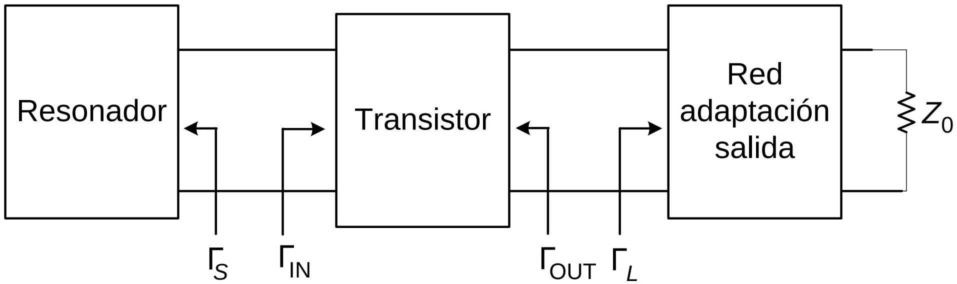




Por lo tanto, para obtener el Γ_L requerido con mínima L_{L1} necesitamos:

$L_{L1} = 0.346\lambda$; $L_{L2} = 0.344\lambda$

Por lo tanto, el oscilador tendrá la siguiente topología:



$$\Gamma_L = 0.62 < -123.4º$$

$$\overline{Z_L} = 0.3 - j0.5$$

$$\Gamma_{IN} = 1.12 < -43.7º$$

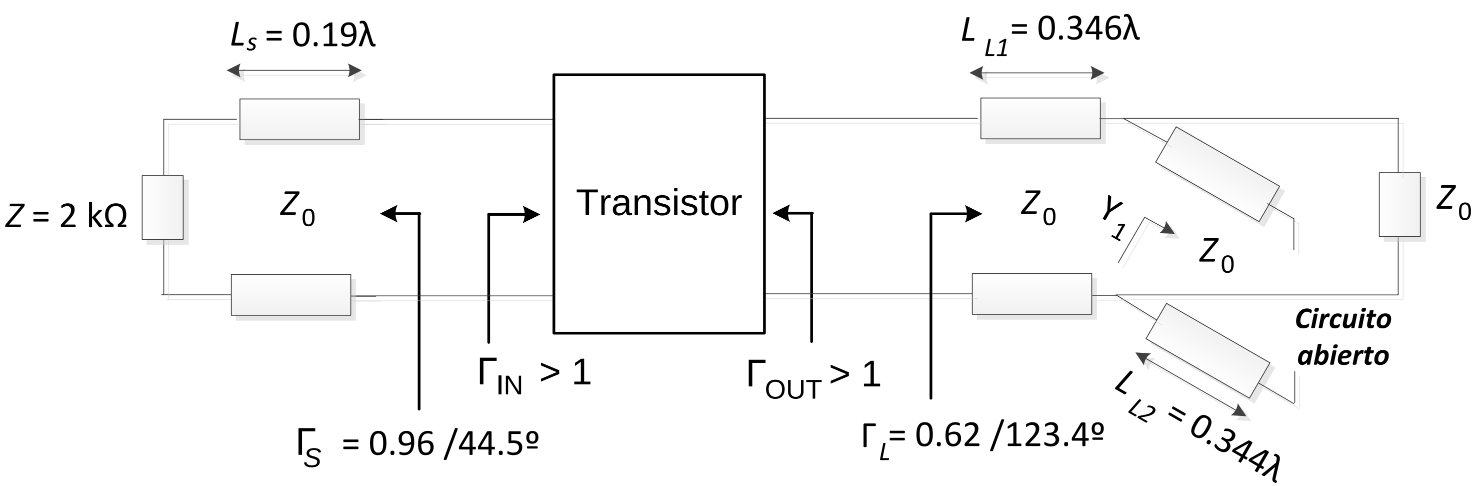
$$\overline{Z_{IN}} = -0.39 - j2.44$$

$$\Gamma_s = 0.96 < 44.5º$$

$$\overline{Z_s} = 0.13 + j2.44$$

$$\Gamma_{OUT} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S} = \cdots = 3.5 < 127.9º$$

Que puede implementarse como:



Donde también tenemos otra solución posible de $\{L_s, Z\}$ y de $\{L_{L1}, L_{L2}\}$ manteniendo la misma topología