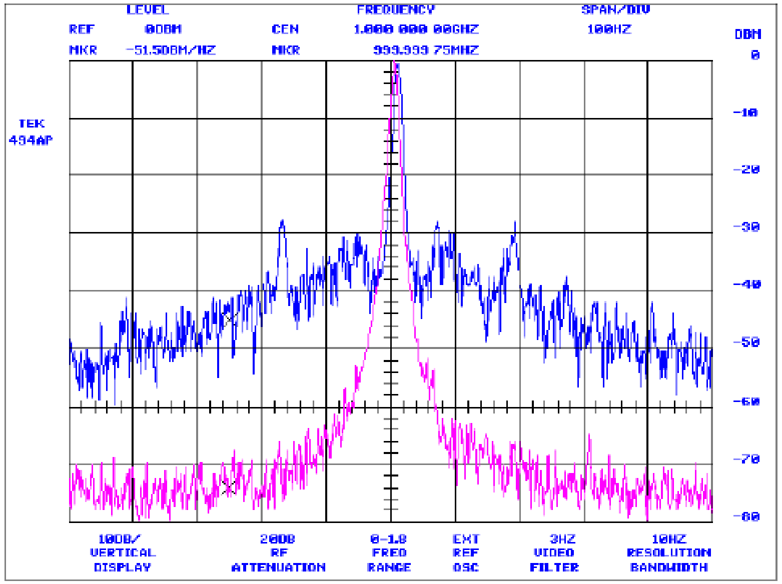
Capítulo 11:
Osciladores de microondas



Definición: Es un sistema electrónico que genera una señal de RF sin necesidad de que exista una excitación alterna a la entrada.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN: DEFINICIÓN DE OSCILADORES

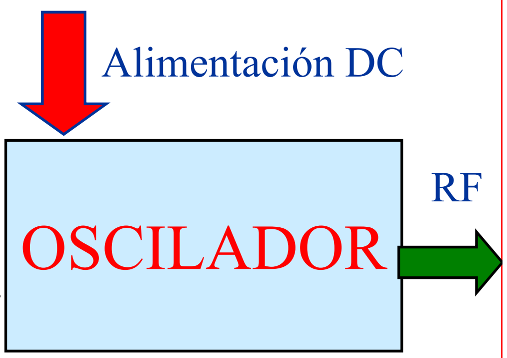
- Definición: es un sistema electrónico que genera una señal periódica en su salida sin necesidad de aplicar una señal alterna a la entrada.
- Idealmente un oscilador generará una corriente de la siguiente forma:

$$i(t) = A \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) = A \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t)$$

- En la práctica tanto la amplitud A como la frecuencia f_0 fluctúan alrededor de sus valores medios.
  - Una fluctuación ruidosa en la amplitud que generalmente tiene una potencia pequeña.
  - Una segunda fluctuación denominada ruido de fase.
  - Los criterios para hacer el diseño del oscilador serán:
    - Fijar los niveles de A y f_0
    - Minimización del ruido de fase.
    - En las circunstancias anteriores, ajustar la frecuencia de oscilación.

INTRODUCCIÓN: DEFINICIÓN DE OSCILADORES (II)

- Fundamentos:
  - La señal alterna de salida se obtiene a partir de la energía continua de polarización del dispositivo.
  - Podría definirse el oscilador como: un circuito que transforma la energía continua en energía alterna.
  - La señal alterna se puede estudiar en el dominio del tiempo o de la frecuencia.
- Componentes:
  - Un elemento de resistencia negativa, típicamente un dispositivo activo que puede ser un diodo o un transistor.
  - Una estructura resonante pasiva que fuerza una oscilación sinusoidal.
  - Una estructura de acoplamiento entre las dos anteriores.
- Elementos activos utilizados:
  - Dispositivos de dos terminales:
    - Diodo GUNN: ruido de fase pequeño.
    - Diodo IMPATT: potencia de salida alta y buena eficiencia.
  - Dispositivos de tres terminales: BJT y FET.



CLASIFICACIÓN DE OSCILADORES

- Por la forma de Onda:
  - Sinusoidales (armónicos)
  - Relajación (Multivibradores)
    - Rectangular
    - Triangular
    - Diente de sierra, etc
- Por la banda de frecuencias de trabajo:
  - Baja – Media Frecuencia, f < Mhz
  - Alta – RF, MHz < f < GHz
  - Microondas f del orden de GHz
  - IR – Visible – UV (Laser), f de THz
- Por la variación de la frecuencia:
  - Fijos
  - Variables
- Por el tipo de resonador:
  - RC
  - LC (VCO)
  - Xtal (XO, VCXO, TXCO, OCXO, etc)
  - Cerámicos
  - Cavidad (Metálica, Óptica, etc)

PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE UN OSCILADOR

- Frecuencia (Central, Nominal)
- Margen de Sintonía
- Estabilidad
  - Largo Plazo (Deriva con la temperatura)
  - Corto Plazo: Ruido de Fase
- Potencias y rendimientos
- Pureza Espectral: Nivel Armónicos, Nivel de Espurias
- Figura de *"Pulling"*
- Figura de *"Pushing"*

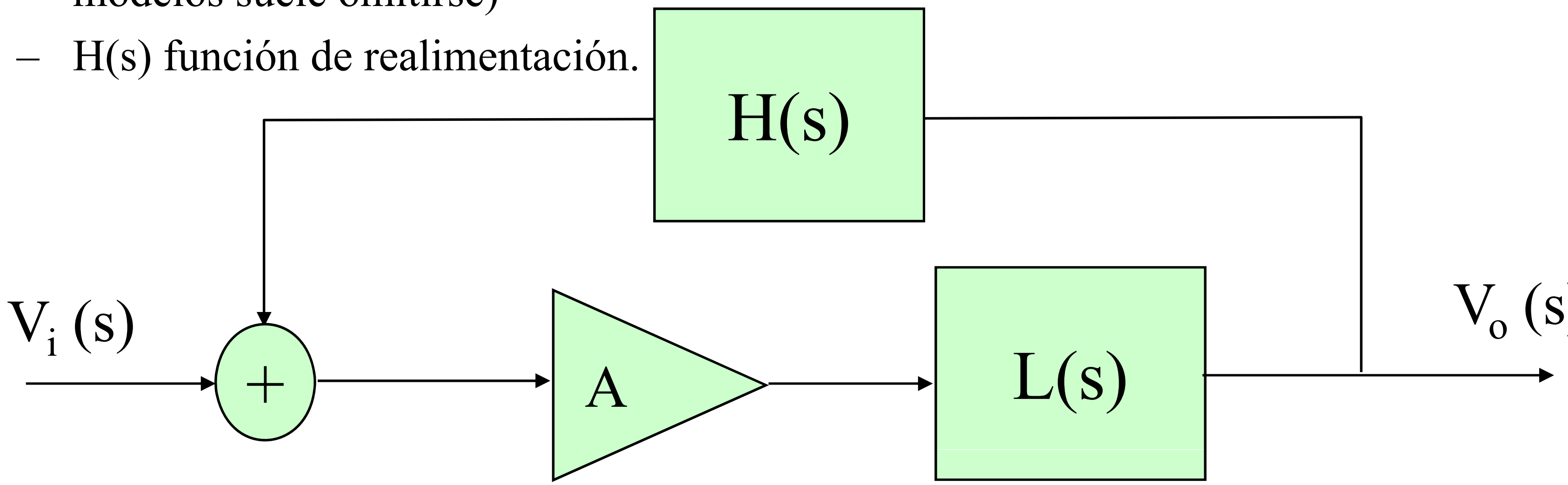
PROPIEDADES DE LOS RESONADORES TÍPICOS

Propiedades de los resonadores típicos.

Tipo de Resonador	Margen de Frecuencia	Factor de Calidad	Estabilidad Térmica	Comentarios
RC (Multivibrador)	< 10 MHz	< 10	Mala	Sintonía 1 a 2 décadas
LC	1MHz a 1 GHz	10^4 a 10^2	Mediocre	Q limitados por las L
Circuitos LC integrados uO	1 GHz a 10 GHz	10^2 a 10	Mala	L y C integradas en AsGa
Cristal Cuarzo	100 KHz a 250 MHz	10^6 a 10^4	Muy Buena (*)	Patrón
SAW y cerámicas	10 MHz a 1 GHz	10^6 a 10^4	Muy Buena (*)	Muy Estables
Líneas coaxiales	100 MHz a 10 GHz	10^4 a 10^2	Mediocre	Fácil construcción
Cavidades guiaonda	1 GHz a 100 GHz	10^5 a 10^3	Mediocre	Inestable con la Temperatura
Cavidades dieléctricas	1 GHz a 20 GHz	10^5 a 10^3	Buena	Muy estables Reducido tamaño
Diodos varactores	10 MHz a 20 GHz	10^2 a 10	Mala	Sintonía 1 octava
Cavidad YIG	1 GHz a 20 GHz	10^4 a 10^3	Mediocre	Sintonía en 50%

PRINCIPIOS BÁSICOS DEL DISEÑO DE OSCILADORES

- Principio: se parte de la aproximación de la teoría clásica de control con puertos de entrada y salida. Posteriormente se pasará a dispositivos de un puerto (mejor aproximación en frecuencias de microondas ya que en ocasiones la realimentación se puede hacer dentro del mismo elemento activo).
- Valores en la expresión anterior:
  - A: ganancia del elemento activo.
  - L(s): función de transferencia del limitador de salida del amplificador (en numerosos modelos suele omitirse)
  - H(s) función de realimentación.



PRINCIPIOS BÁSICOS DEL DISEÑO DE OSCILADORES

$$V_0(s) = A \cdot L(s) \cdot \left[V_i(s) + H(s) \cdot V_0(s)\right]$$

$$\frac{V_0(s)}{V_i(s)} = \frac{A \cdot L(s)}{1 - A \cdot L(s) \cdot H(s)}$$

sin limitador

$$\frac{V_0(s)}{V_i(s)} = \frac{A}{1 - A \cdot H(s)}$$

Los polos del sistema están dados por:

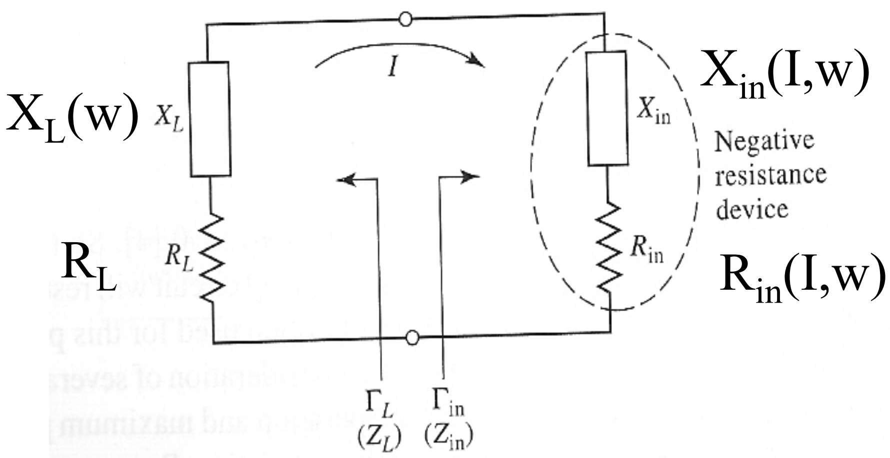
$$1 - A \cdot L(s) \cdot H(s) = 0$$

Para la condición de régimen estacionario, los polos están en el eje imaginario y la condición de oscilación viene dada por la condición de Barkhausen:

$$\begin{cases} \mathrm{Re}\left[A \cdot L(j\omega_0) \cdot H(j\omega_0)\right] = 1 \\ \mathrm{Im}\left[A \cdot L(j\omega_0) \cdot H(j\omega_0)\right] = 0 \end{cases}$$

OSCILADORES DE UN PUERTO DE RESISTENCIA NEGATIVA

Esquema circuital



Define la capacidad de oscilación

$$\left[Z_L(\omega)+Z_{in}(I,\omega)\right]\cdot I=0\Rightarrow\begin{cases}R_L(\omega)+R_{in}(I,\omega)=0\\X_L(\omega)+X_{in}(I,\omega)=0\end{cases}$$

Define la frecuencia de oscilación

- Un oscilador puede considerarse como un dispositivo de un puerto de "resistencia negativa".
- Entran en juego dos impedancias:
  - Impedancia del dispositivo

$$Z_{in}(I,\omega)=R_{in}(I,\omega)+jX_{in}(I,\omega)$$

    - Depende de la corriente y en menor medida de la frecuencia.
  - Impedancia de carga del circuito a la que se transfiere la energía de la oscilación:

$$Z_L(\omega)=R_L+jX_L(\omega)$$

    - Depende de la frecuencia de sintonía
- Condición de oscilación: $I\neq 0$ en la frecuencia de microondas en ausencia de señal de microondas.

OSCILADORES DE UN PUERTO DE RESISTENCIA NEGATIVA

- Segunda forma de definir la condición de oscilación:

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{-Z_{in} - Z_0}{-Z_{in} + Z_0} = \frac{Z_{in} + Z_0}{Z_{in} - Z_0} = \frac{1}{\Gamma_{in}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Gamma_L \cdot \Gamma_{in} = 1 \Rightarrow \begin{cases} |\Gamma_L| \cdot |\Gamma_{in}| = 1 \\ \arg(\Gamma_L) + \arg(\Gamma_{in}) = 2n\pi \end{cases}$$

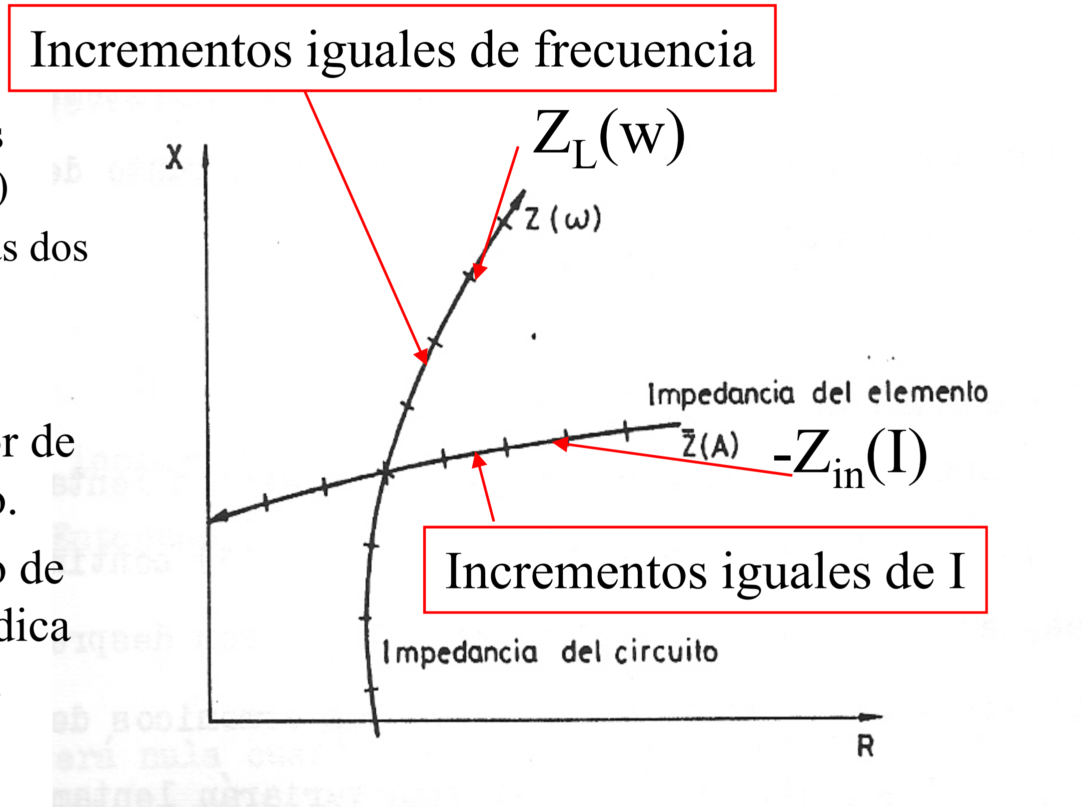
- Condición de arranque: globalmente la resistencia total debe satisfacer

$$R_T(I,\omega) = R_L + R_{in}(I,\omega) < 0$$

  – La R_{in} tiene que ser menos negativa hasta alcanzar I_0 (amplitud de oscilación) a la frecuencia w_0.
  – A las condiciones anteriores hay que añadir una condición de estabilidad de la oscilación.

OSCILADORES DE UN PUERTO DE RESISTENCIA NEGATIVA

- Consideraciones finales sobre la condición de oscilación:
  - La dependencia de $Z_{in}(I,w)$ con w es pequeña por lo que pondremos $Z_{in}(I)$
  - Se van a representar gráficamente las dos curvas: $Z_{in}(I)$ y $Z_L(w)$
- Interpretación de la curva:
  - Para una corriente I dada el valor de $-Z_{in}(I)$ indica el punto de trabajo.
  - En régimen permanente el punto de intersección de ambas curvas indica el punto de trabajo o punto de la oscilación (I_0, w_0)



CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LA OSCILACIÓN DE UN OSCILADOR (I)

- Definición: se dice que una oscilación es estable cuando cualquier variación que se produzca en los parámetros de la oscilación (I,w), los efectos en dichos parámetros deberán compensarse de forma que no haya desplazamientos en el valor de la oscilación (I_0 ,w_0).
- Cuantificación del parámetro de estabilidad de la oscilación:
  - Desarrollo de Z_T (I,w) en serie de Taylor y extracción de condiciones.
  - A partir de la representación de las curvas del elemento activo y de la carga.

CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LA OSCILACIÓN DE UN OSCILADOR (II)

- Desarrollo de la primera de las condiciones:
  - Definición: Si una oscilación es estable, una variación de (I,w) en un sentido debe conducir a un incremento de los parámetros en sentido contrario que compense la variación anterior.
  - Definición de la frecuencia compleja en el plano de Laplace:

$$Z_T(I,s) = Z_L(s) + Z_{in}(I,s) = 0$$

  - Se hace un desarrollo en serie de Taylor alrededor de (I_0 ,s_0)

$$Z_T(I,s) = Z_T(I_0,s_0) + \left.\frac{\partial Z_T}{\partial s}\right|_{I_0,s_0} \cdot \delta s + \left.\frac{\partial Z_T}{\partial I}\right|_{I_0,s_0} \cdot \delta I = 0$$

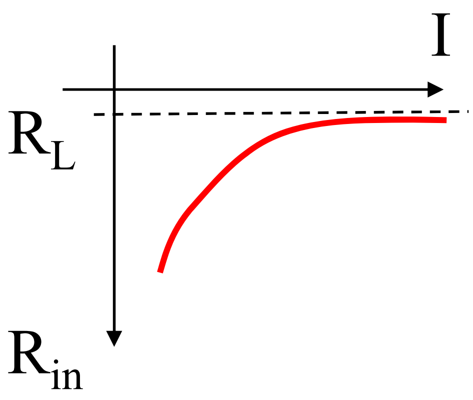
$$\frac{\partial Z_T}{\partial s} = -j\frac{\partial Z_T}{\partial \omega}; s_0 = j\omega_0; Z_T(I_0,s_0) = 0$$

  - Veamos qué ocurre si hay una variación en la frecuencia compleja

$$\delta s = \delta\alpha + j\cdot\delta\beta = \frac{-\left.\frac{\partial Z_T}{\partial I}\right|_{I_0,s_0}}{\left.\frac{\partial Z_T}{\partial s}\right|_{I_0,s_0}} \cdot \delta I = \frac{-j\cdot\left(\frac{\partial Z_T}{\partial I}\right)\cdot\left(\frac{\partial Z_T^*}{\partial \omega}\right)}{\left|\frac{\partial Z_T}{\partial \omega}\right|^2} \cdot \delta I$$

CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LA OSCILACIÓN DE UN OSCILADOR (III)

Si la variación es tal que δI>0, la compensación de dicha variación deberá hacer δα<0



$$\Rightarrow \mathrm{Im}\left\{\frac{\partial Z_T}{\partial I}\cdot\frac{\partial Z_T^*}{\partial \omega}\right\} < 0 \Rightarrow \frac{\partial R_T}{\partial I}\cdot\frac{\partial X_T}{\partial \omega} - \frac{\partial X_T}{\partial I}\cdot\frac{\partial R_T}{\partial \omega} > 0$$

$$pero: \frac{\partial R_L}{\partial I} = \frac{\partial X_L}{\partial I} = \frac{\partial R_L}{\partial \omega} = 0$$

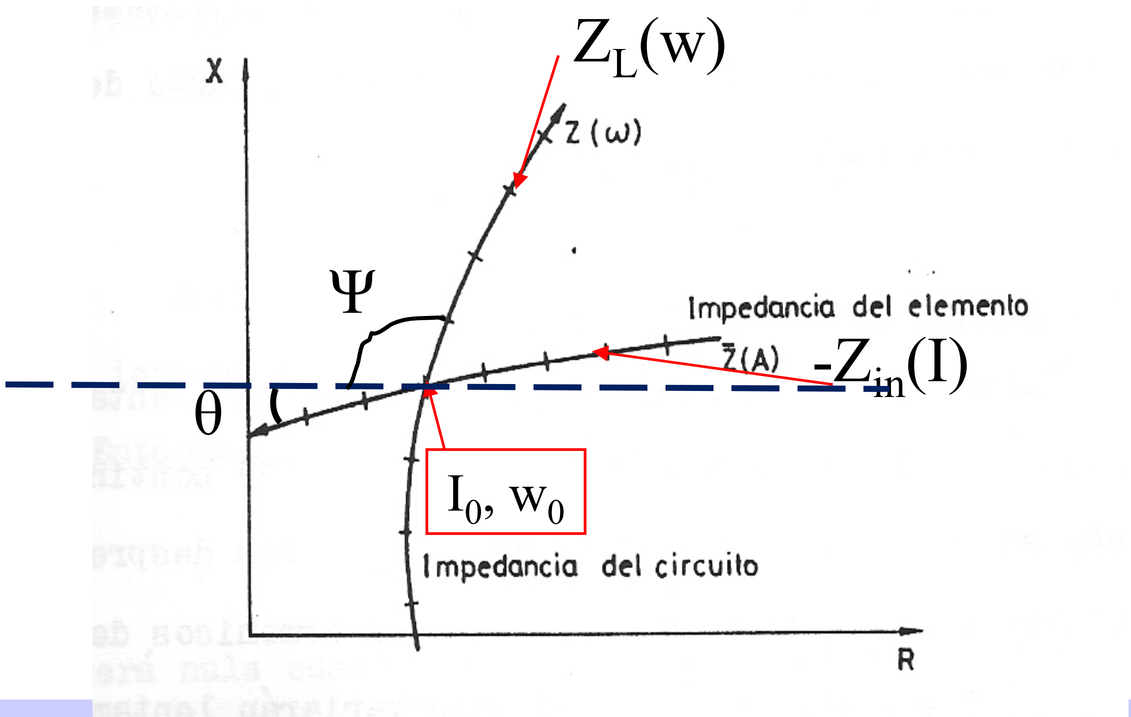
$$\underline{\frac{\partial R_{in}}{\partial I}}\cdot\frac{\partial\left(X_L + X_{in}\right)}{\partial \omega} - \underline{\frac{\partial X_{in}}{\partial I}\cdot\frac{\partial\left(R_{in}\right)}{\partial \omega}} > 0$$

Termino positivo Termino positivo pero pequeño

$$\boxed{\frac{\partial\left(X_L + X_{in}\right)}{\partial \omega} >> 0 \Rightarrow \frac{L\cdot\omega}{R}\uparrow\uparrow \Rightarrow Q\uparrow\uparrow}$$

CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LA OSCILACIÓN DE UN OSCILADOR (IV)

- Desarrollo de la segunda de las condiciones:
  - Definición: supongamos que la corriente, I, sufre un incremento δI sobre el valor de régimen permanente. Si δI disminuye con el tiempo, el punto de intersección entre las curvas de impedancia del elemento y del circuito será estable. Recíprocamente si δI aumenta con el tiempo, el punto será inestable.
  - La figura muestra las curvas de las impedancias con los ángulos Ψ de $Z_L(w)$ y θ de $-Z_{in}(I)$

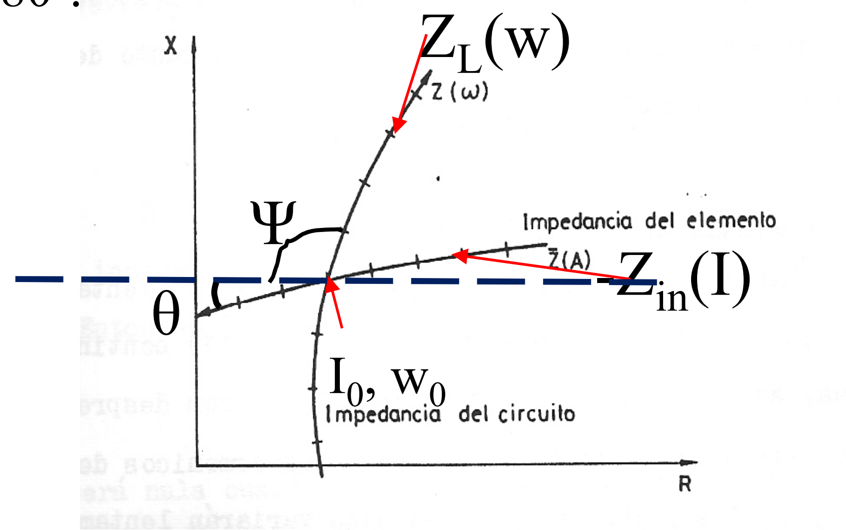


CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LA OSCILACIÓN DE UN OSCILADOR (V)

- Para que una oscilación sea estable en un punto (I_0, w_0) se tiene que verificar:

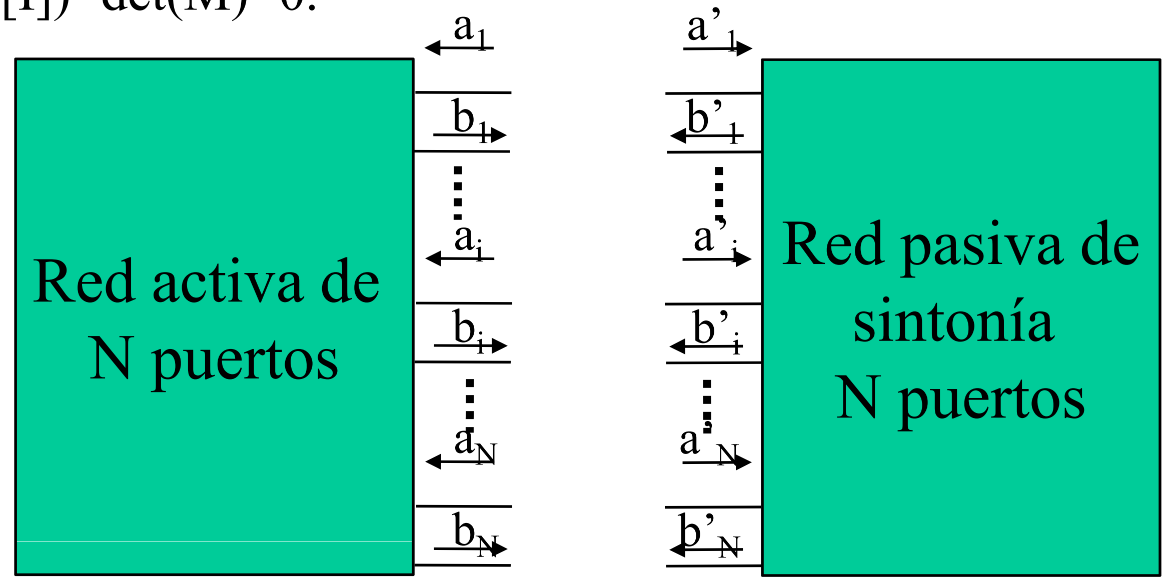
$$I_0 \cdot \left| \frac{\partial Z_{in}(I_0)}{\partial I} \right| \cdot \left| Z'_T(\omega_0) \right| \sin(\theta + \Psi) > 0$$

- Esto supone que el seno tiene que ser positivo y el ángulo $0º<(\theta+\Psi)<180º$
- Teorema: Para que un punto de trabajo sea estable, el ángulo medido en sentido horario entre la dirección marcada por la flecha de la curva de impedancia del elemento y la marcada por la flecha de la curva de impedancia del circuito, debe ser menor de 180º.



CONDICIONES DE OSCILACIÓN PARA REDES DE N PUERTAS (I)

- Ecuaciones de la red activa: B=[S]A
- Ecuaciones de la red pasiva de sintonía: B'=[S']A
- Si se ven las redes se puede poner: B'=A; B=A'
- Si se ponen todas las ecuaciones en función de A' que es la excitación de la red pasiva: A'= [S][S']A' ó ([S][S']-[I])A'=0
- Dado que A'≠0, para que el sistema anterior tenga solución es necesario que det([S][S']-[I])=det(M)=0.



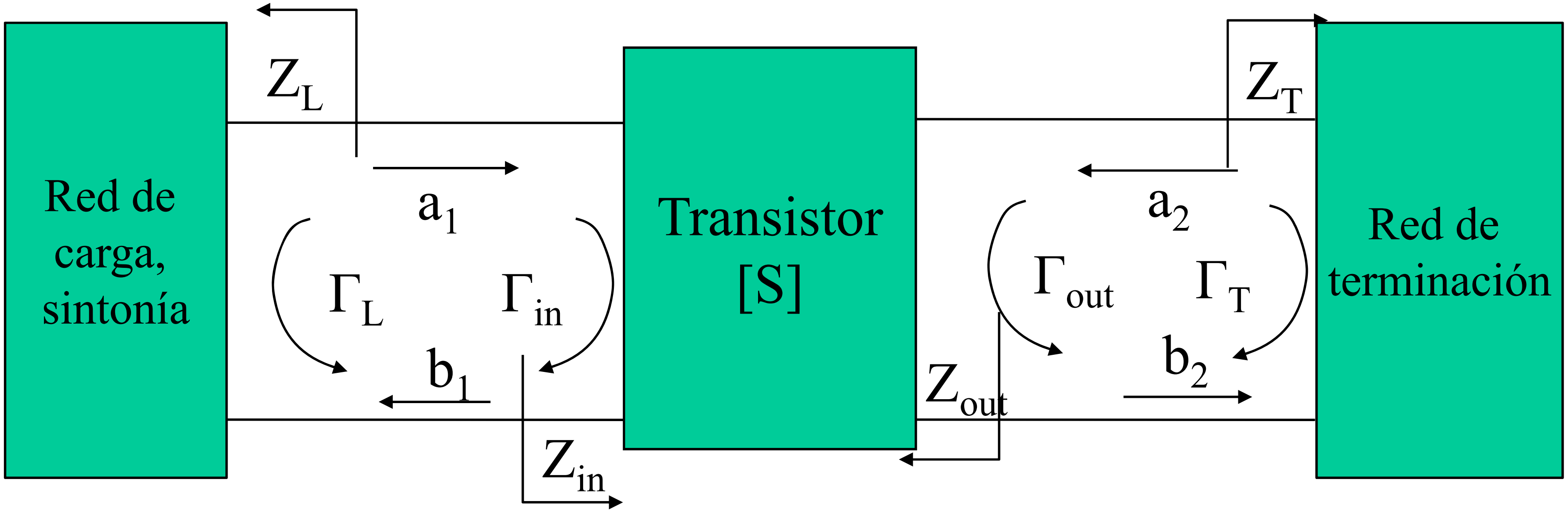
CONDICIONES DE OSCILACIÓN PARA REDES DE N PUERTAS (II): particularización para redes de 2 puertas

- La matriz S de la red activa y de la red pasiva vienen dadas por:

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{bmatrix}; S' = \begin{bmatrix} \Gamma_L & 0 \\ 0 & \Gamma_T \end{bmatrix} \Rightarrow \det \begin{bmatrix} s_{11}\cdot\Gamma_L - 1 & s_{12}\cdot\Gamma_T \\ s_{21}\cdot\Gamma_L & s_{22}\cdot\Gamma_T - 1 \end{bmatrix} = 0$$

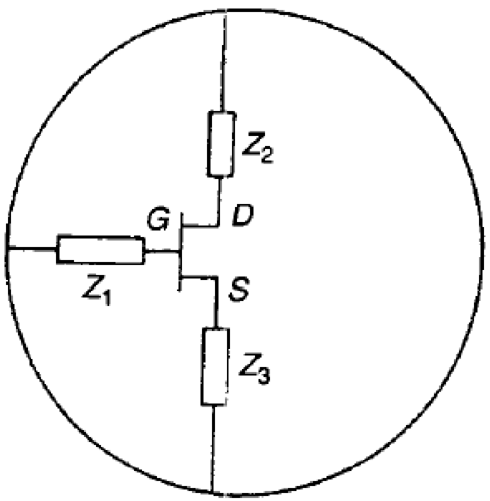
- De donde se obtienen las dos ecuaciones siguientes (que se satisfacen a la vez):

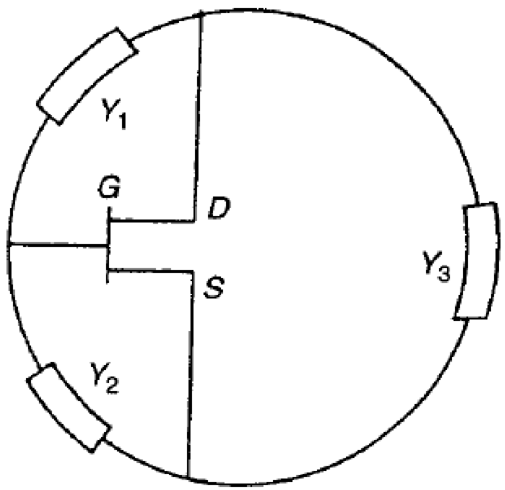
$$\frac{1}{\Gamma_L} = s_{11} + \frac{s_{12}\cdot s_{21}\cdot\Gamma_T}{1 - s_{22}\cdot\Gamma_T} \Rightarrow \Gamma_L\cdot\Gamma_{in} = 1; \frac{1}{\Gamma_T} = s_{22} + \frac{s_{12}\cdot s_{21}\cdot\Gamma_L}{1 - s_{11}\cdot\Gamma_L} \Rightarrow \Gamma_T\cdot\Gamma_{out} = 1$$



OSCILADORES A TRANSISTOR: CONFIGURACIONES

- Los osciladores se pueden clasificar atendiendo al tipo de resonador al que se conectan: basados en resonador dieléctrico (DROs), osciladores con resonadores con líneas de transmisión, osciladores sintonizados con YIG, VCOs y osciladores con filtros SAW.
- Tipos de osciladores:
  - Configuración serie como se muestra en la figura de la izquierda.
  - Configuración paralelo como se muestra en la figura de la derecha.





DESCRIPCIÓN DE UN TRANSISTOR COMO RED DE TRES PUERTOS

- Un transistor es una red de tres puertos aunque los fabricantes, en pequeña señal, dan parámetros de dos puertos para una configuración en emisor común.
- Los parámetros dados por el fabricante no suelen ser válidos para el diseño de un oscilador. Esto es así porque la configuración no suele ser de emisor común o hay elementos reactivos conectados para aumentar el carácter inestable, hay que transformar los parámetros.
- El proceso para la obtención de los parámetros S en la configuración dada es:
  - Transformación de los parámetros de dos puertos en configuración de emisor común a una matriz de parámetros de tres puertos.
  - Transformación de la matriz de tres puertos a una nueva matriz de dos puertos
  - La matriz de tres puertos tiene las siguientes propiedades:
    - El terminal 1 es la base (puerta), el 2 el colector (drenador) y el 3 el emisor (surtidor)
    - En la matriz de 3 puertos todos los elementos no son independientes ya que la suma de las filas y columnas es 1.

$$\sum_{i=1}^{3} \hat{s}_{ij} = 1;\ j = 1,2,3$$

$$\sum_{j=1}^{3} \hat{s}_{ij} = 1;\ i = 1,2,3$$

DESCRIPCIÓN DE UN TRANSISTOR COMO RED DE TRES PUERTOS

- Matriz de tres puertos

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{s}_{11} & \hat{s}_{12} & \hat{s}_{13} \\ \hat{s}_{21} & \hat{s}_{22} & \hat{s}_{23} \\ \hat{s}_{31} & \hat{s}_{32} & \hat{s}_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = [S]_{3\times 3} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}$$

- Dependencia entre los parámetros $[S]_{3\times 3}$

$$\sum_{i=1}^{3} \hat{s}_{ij} = 1;\ j = 1,2,3 \Rightarrow \sum_{j=1}^{3} \hat{s}_{ij} = 1; i = 1,2,3$$

- Expresiones de los parámetros $[S]_{3\times 3}$ en función de los dados

$$\hat{s}_{11} = s_{11} + \frac{\sigma_{11} \cdot \sigma_{12}}{4-\sigma} \qquad \hat{s}_{12} = s_{12} + \frac{\sigma_{11} \cdot \sigma_{21}}{4-\sigma} \qquad \hat{s}_{13} = \frac{2\sigma_{11}}{4-\sigma}$$

$$\hat{s}_{21} = s_{21} + \frac{\sigma_{22} \cdot \sigma_{12}}{4-\sigma} \qquad \hat{s}_{22} = s_{22} + \frac{\sigma_{22} \cdot \sigma_{21}}{4-\sigma} \qquad \hat{s}_{23} = \frac{2\sigma_{22}}{4-\sigma}$$

$$\hat{s}_{31} = \frac{2\sigma_{12}}{4-\sigma} \qquad \hat{s}_{32} = \frac{2\sigma_{21}}{4-\sigma} \qquad \hat{s}_{33} = \frac{\sigma}{4-\sigma}$$

- Parámetros de la expresión anterior:

$$\sigma = s_{11} + s_{12} + s_{21} + s_{22}$$

$$\sigma_{11} = 1 - s_{11} - s_{12} \qquad \sigma_{12} = 1 - s_{11} - s_{21}$$

$$\sigma_{22} = 1 - s_{22} - s_{21} \qquad \sigma_{21} = 1 - s_{22} - s_{12}$$

- Transformar en la nueva red de dos puertas (supongamos que se conecta una carga de coeficiente Γ al emisor)

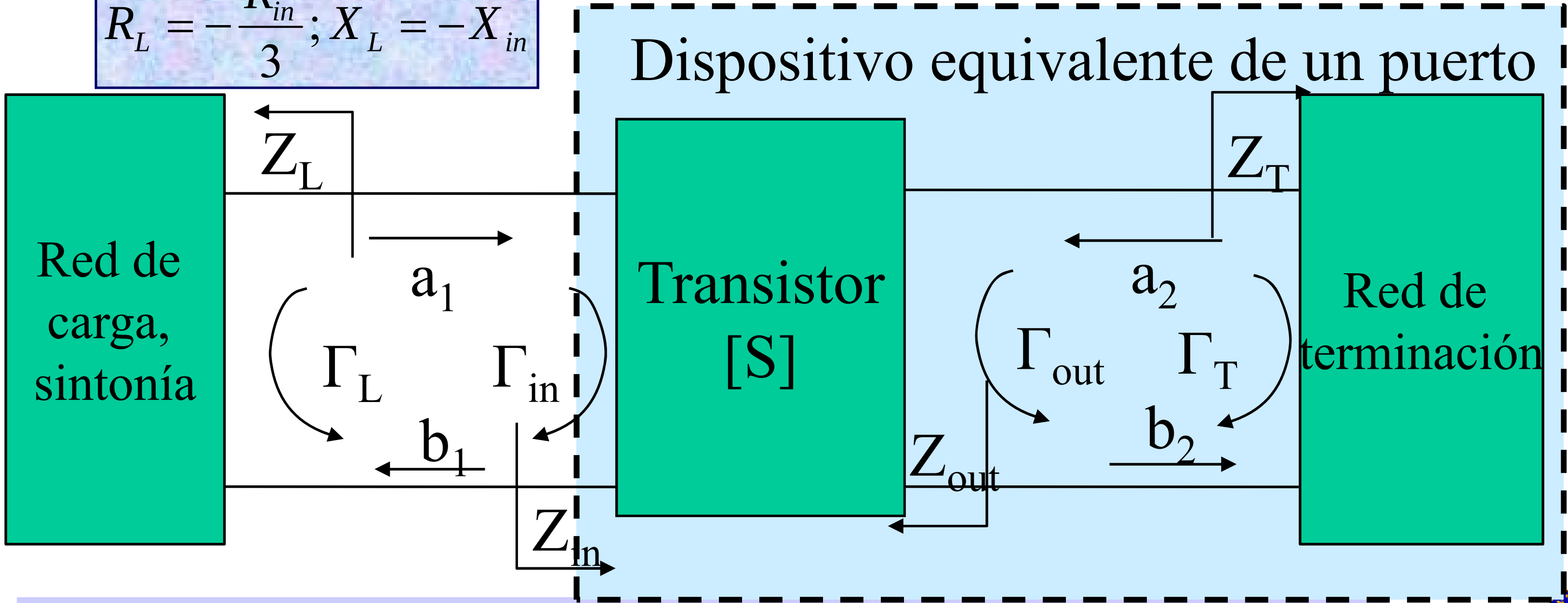
$$s_{11} = \hat{s}_{11} - \frac{\hat{s}_{13} \cdot \hat{s}_{31}}{\hat{s}_{33} - \Gamma^{-1}} \qquad s_{12} = \hat{s}_{12} - \frac{\hat{s}_{13} \cdot \hat{s}_{32}}{\hat{s}_{33} - \Gamma^{-1}}$$

$$s_{21} = \hat{s}_{21} - \frac{\hat{s}_{23} \cdot \hat{s}_{31}}{\hat{s}_{33} - \Gamma^{-1}} \qquad s_{22} = \hat{s}_{22} - \frac{\hat{s}_{23} \cdot \hat{s}_{32}}{\hat{s}_{33} - \Gamma^{-1}}$$

OSCILADORES A TRANSISTOR

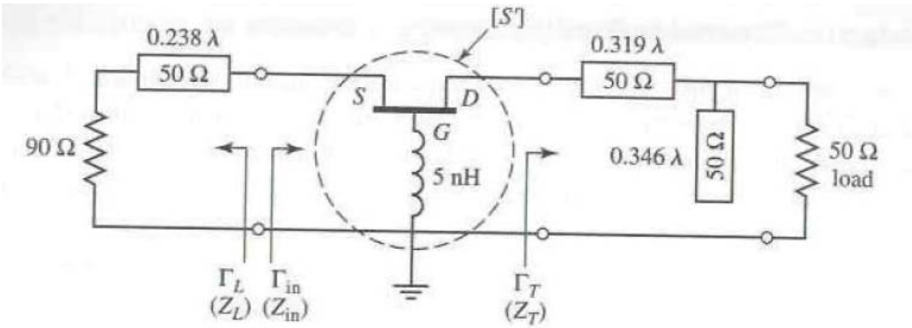
- Se llega a un dispositivo equivalente de un puerto una vez que se carga un transistor en configuración INESTABLE por una carga (en dicha región).
- Se buscan configuraciones de transistor con gran inestabilidad, típicamente puerta común o surtidor común (cargado por elementos reactivos). El proceso es:
  - Selección de la carga inestable en el plano $\Gamma_{T.}$
  - Adaptar la carga Z_L a Z_{in}. Como se han utilizado parámetros de pequeña señal resulta:

$$R_L = -\frac{R_{in}}{3}; X_L = -X_{in}$$



OSCILADOR A TRANSISTOR: ejemplo, Pozar 11.9

- Se quiere diseñar un oscilador a 4 GHz en una configuración en puerta común con una inductancia en serie de 5 nH para aumentar la inestabilidad. Defina el oscilador sabiendo la matriz S.



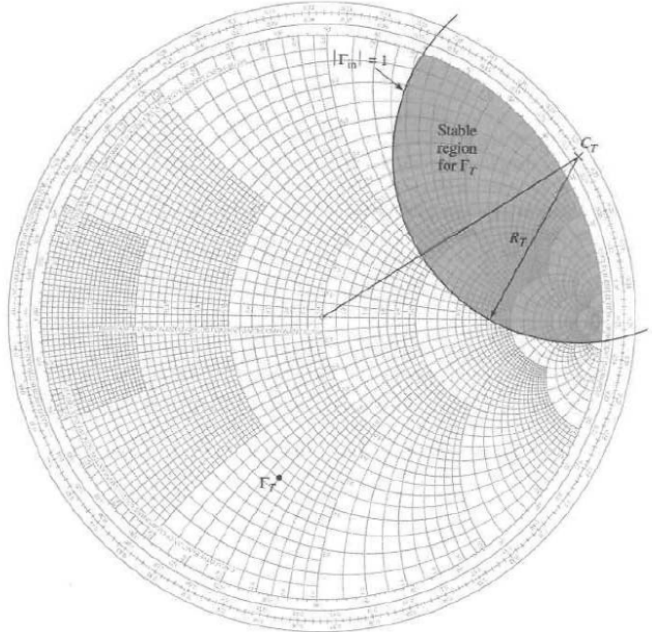
Solución

- Datos: matriz S en puerta común

$$S = \begin{bmatrix} 0.72_{-116^o} & 0.03_{57^o} \\ 2.60_{76^o} & 0.73_{-54^o} \end{bmatrix}$$

- Matriz S con inductancia a partir de la transformación de 2 a 3 terminales y luego a la nueva red de 2 (transistor más bobina)

$$S = \begin{bmatrix} 2.18_{-35^o} & 1.26_{18^o} \\ 2.75_{96^o} & 0.52_{155^o} \end{bmatrix}$$

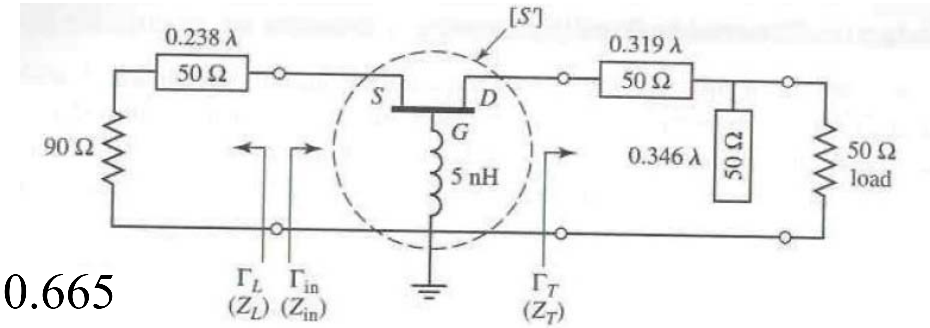


OSCILADOR A TRANSISTOR: ejemplo, Pozar 11.9

Solución, continuación.

- Obtención de la circunferencia de estabilidad en el plano Γ_T

$$C_T = \frac{\left(s'_{22} - \Delta' \cdot s'^{*}_{11}\right)^{*}}{\left|s'_{22}\right|^2 - \left|\Delta'\right|^2} = 1.08_{33^\circ} \quad R_T = \frac{\left|s'_{12} \cdot s'_{21}\right|}{\left|\left|s'_{22}\right|^2 - \left|\Delta'\right|^2\right|} = 0.665$$



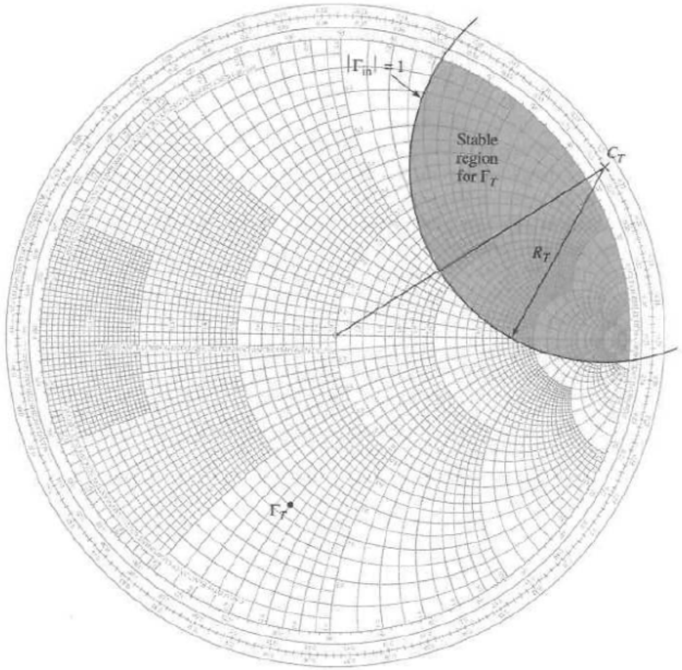
- Se elige un Γ_T que haga $|\Gamma_{in}| >> 1$

$$\Gamma_T = 0.59_{-104^\circ} \Rightarrow Z_T = 20 - j35$$

- Se calcula Γ_{in} y después la carga Z_L

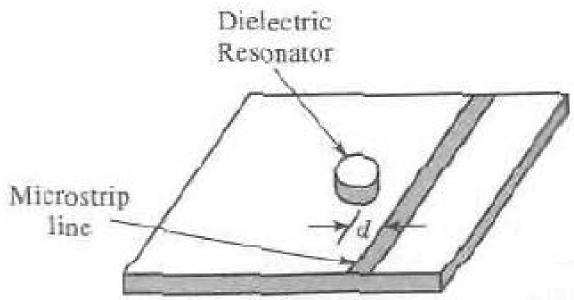
$$\Gamma_{in} = s'_{11} + \frac{s'_{12} \cdot s'_{21} \cdot \Gamma_T}{1 - s'_{22} \cdot \Gamma_T} = 3.96_{-2.4^\circ}$$

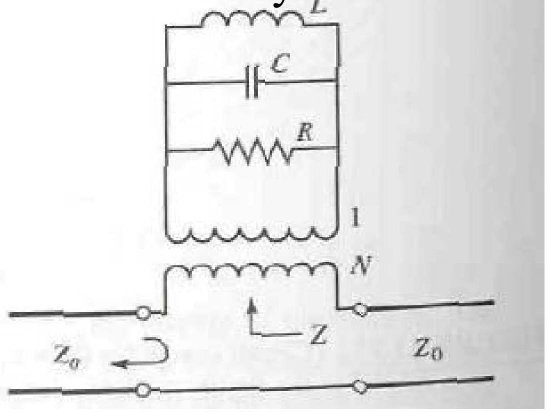
$$Z_L = -\frac{R_{in}}{3} - jX_{in} = 28 + j1.9$$



OSCILADORES CON RESONADOR DIELÉCTRICO (DROs) (I)

- Como se demostró anteriormente la estabilidad del oscilador depende del alto factor de calidad del resonador asociado.
  - En el caso de elementos concentrados o líneas de transmisión dicho factor es bajo.
  - Aumenta cuando se utilizan cavidades, pero son difíciles de integrar.
  - Las cavidades dieléctricas supera las dificultades anteriores ya que tienen factores de calidad de hasta varios miles y son fáciles de integrar.
- Un resonador dieléctrico se acopla por proximidad a una línea microstrip.
  - Se acopla al campo magnético desbordado en la línea microstrip.
  - Por ello, el circuito equivalente del acoplamiento es serie.
  - El acoplamiento depende de la separación entre el DR y la línea.





OSCILADORES CON RESONADOR DIELÉCTRICO (DROs) (II)

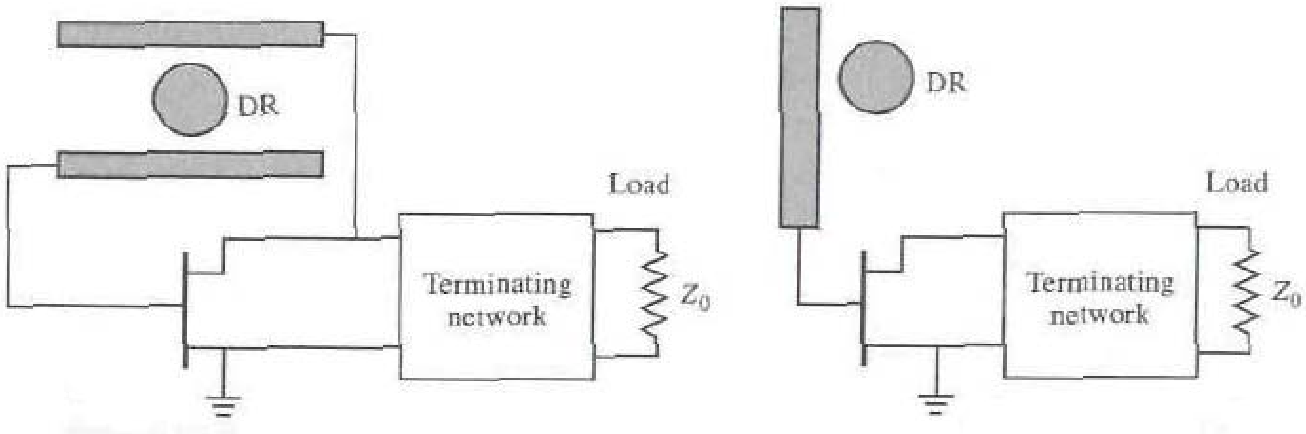
- Impedancia de un resonador serie

$$Z_{in} = \frac{N^2 \cdot R}{1 + j \cdot 2Q\left(\Delta\omega / \omega_o\right)}; Q = \frac{R}{\omega_o \cdot L}; \omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \Delta\omega = \omega - \omega_o$$

- Definición del factor de acoplamiento entre el resonador y la línea de alimentación del oscilador

$$s = \frac{Q}{Q_{ext}} = \frac{R/(\omega_o L)}{R_L/(N^2 \omega_o L)} = \frac{N^2 R}{2Z_0}; R_L = 2Z_0;$$

- El coeficiente de reflexión vale $\Gamma = \frac{(Z_0 + N^2 R) - Z_0}{(Z_0 + N^2 R) + Z_0} = \frac{N^2 R}{2Z_0 + N^2 R} = \frac{s}{1+s}$
- Ejemplo de DRO basado en configuración paralela y serie



CONCLUSIONES

- Se ha abordado el diseño de osciladores en microondas
- Se ha comenzado con los principios básicos de oscilación basados en un dispositivo de "resistencia negativa" de un solo puerto.
- Se han enunciado las condiciones básicas para una oscilación estable.
- Se ha generalizado para osciladores basados en redes de dos puertos.

BIBLIOGRAFÍA

- R. E. Collin, “Foundations for microwave engineering”, segunda edición, 1992, Wiley.
- D. M. Pozar, “Microwave engineering”, tercera edición, 2007, Wiley.
- G. González, “Microwave transistor amplifiers, analysis and design”, segunda edición, Prentice Hall, 1984.
- I. Bahl, P. Bhartia, “Microwave solid state circuit design”, Segunda Edición, Wiley, 2003.
- A. Delgado, J. Zapata, “Circuitos de alta frecuencia”, ETSIT Universidad Politécnica de Madrid.