

Oscilador Hartley

Cátedra Electrónica Aplicada III

Objetivos del trabajo

- Analizar, calcular, e implementar un oscilador de onda senoidal en la topología Hartley
- Introducción al diseño en RF

Introducción

Un oscilador de onda senoidal es un circuito que, mediante amplificación y realimentación genera onda senoidal.

Su elemento activo es generalmente un transistor, por ejemplo, un FET, un bipolar, o un CI y la frecuencia de operación se determina con un circuito sintonizado en la trayectoria de realimentación.

Se utilizan para:

- Establecer la frecuencia de portadora
- Excitar las etapas mezcladoras

Factores a tener en cuenta en su elección

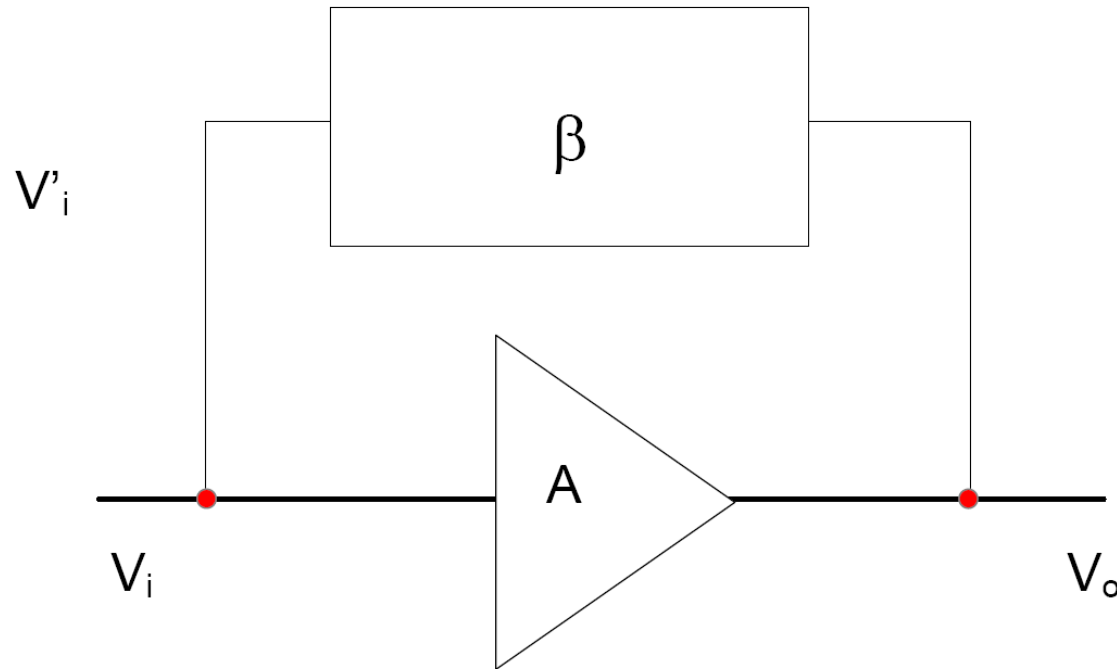
- Frecuencia de operación
- Amplitud o potencia de salida
- Estabilidad en frecuencia
- Estabilidad en amplitud
- Contenido armónico
- Arranque seguro
- Rendimiento (radiofaros, biotelemedicina, etc)
- Costo

Criterios de oscilación

Primer criterio:

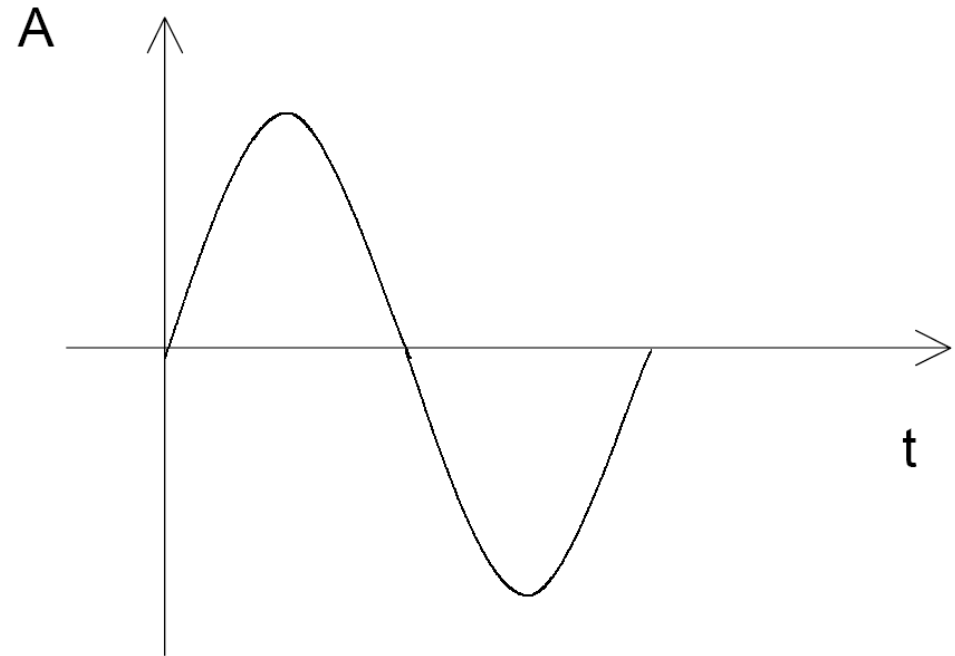
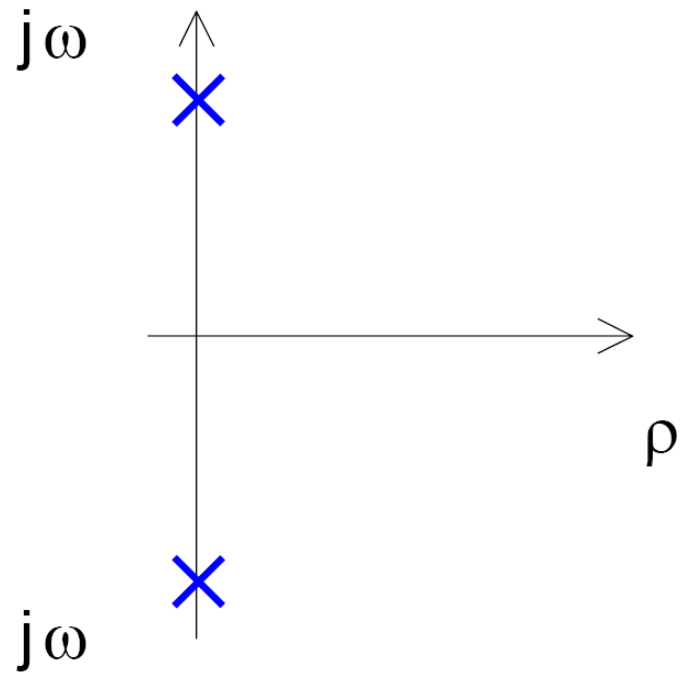
- Si la señal de realimentación es mayor que la de entrada, y en fase con ella, se iniciarán las oscilaciones y crecerán en amplitud, hasta que la saturación reduzca la ganancia alrededor del bucle de realimentación a la unidad.
- Un circuito oscilará cuando exista una trayectoria de realimentación que proporcione al menos una ganancia de bucle unitaria, con desplazamiento de fase nulo.

Primer criterio de oscilación

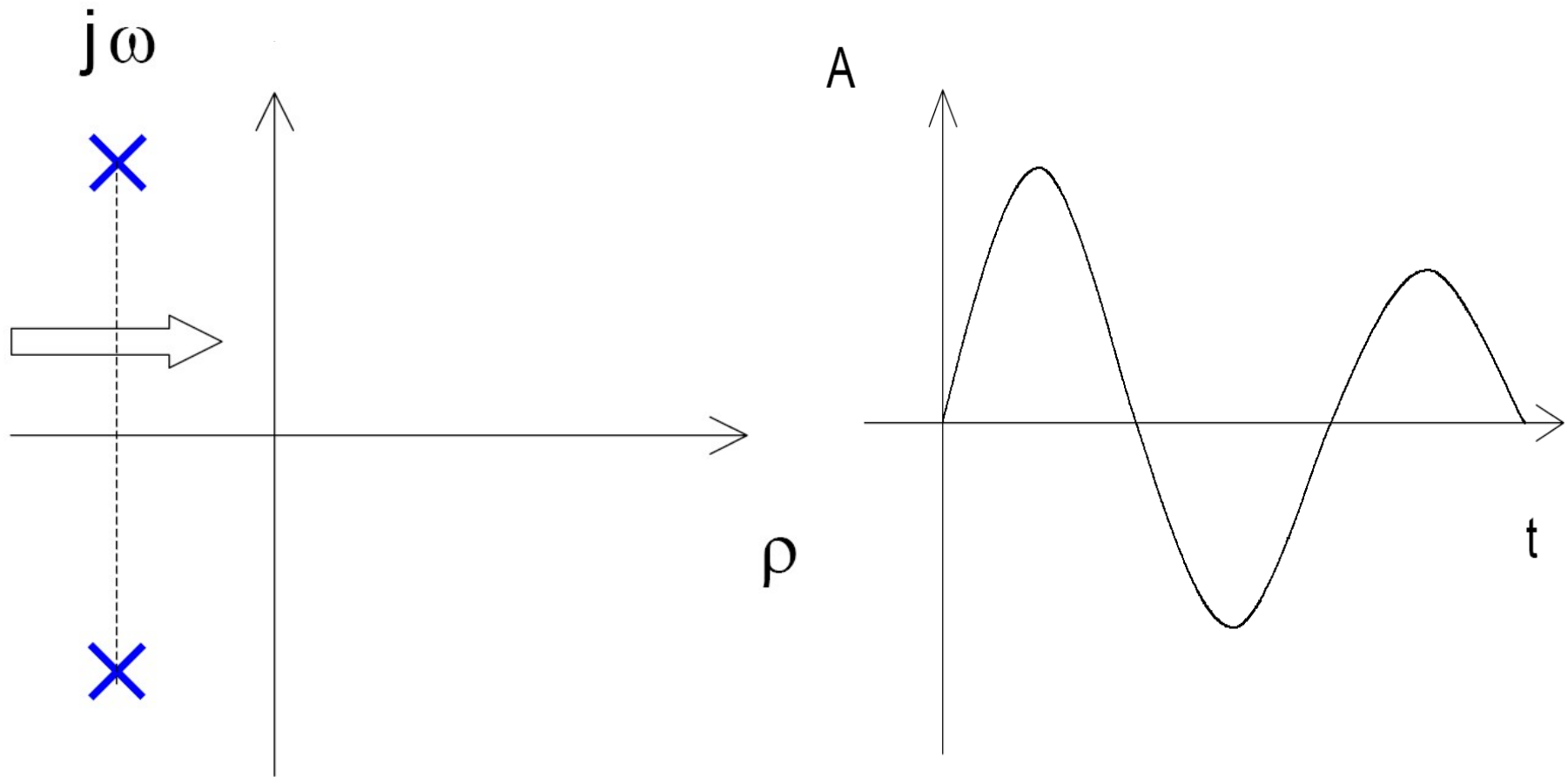


$$\frac{V'_i}{V_i} = A\beta = 1 \quad | \quad 0$$

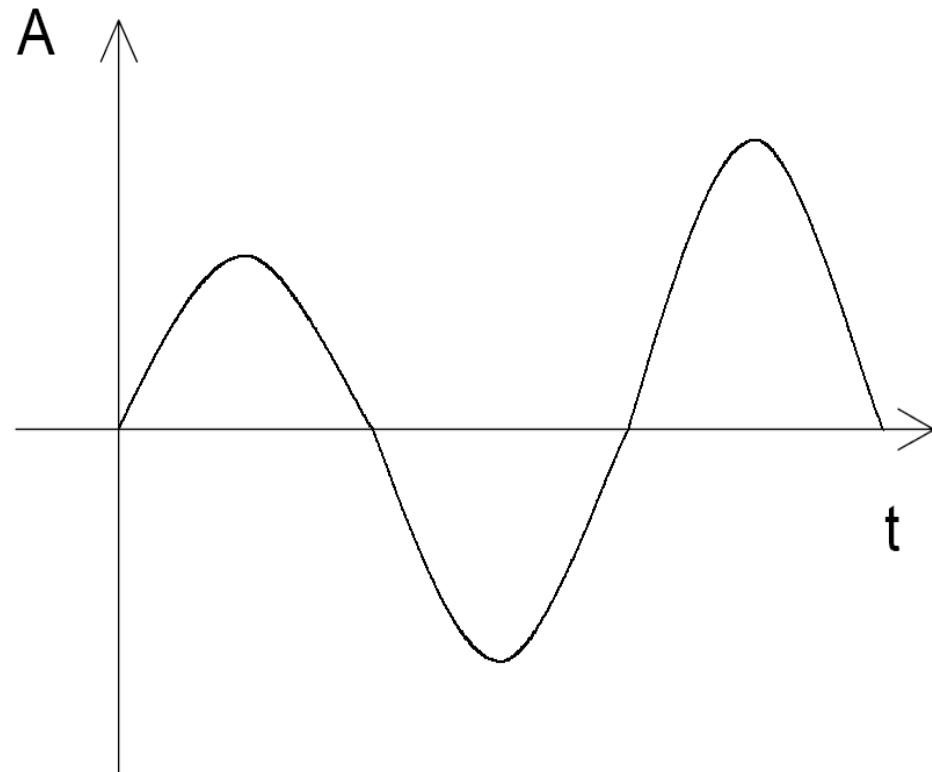
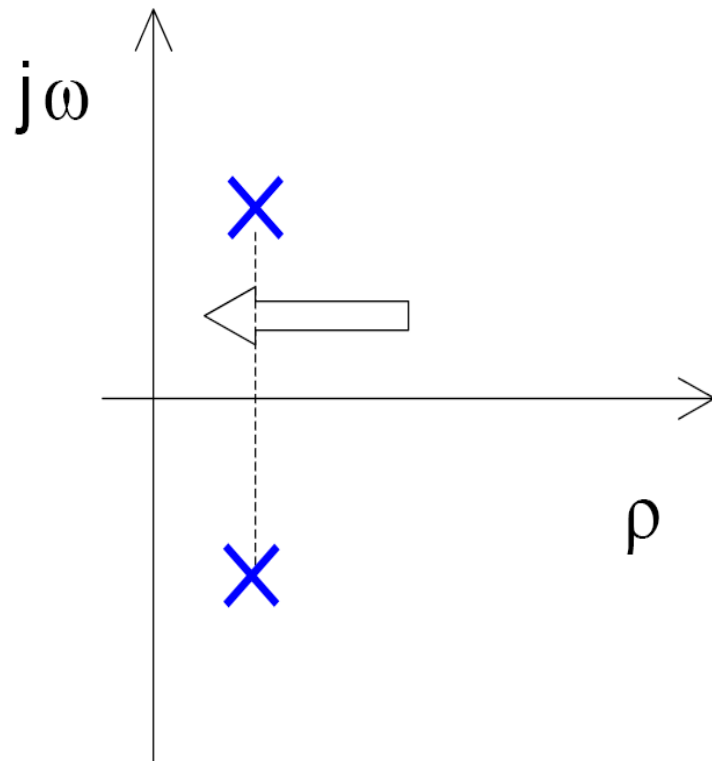
Criterios de oscilación



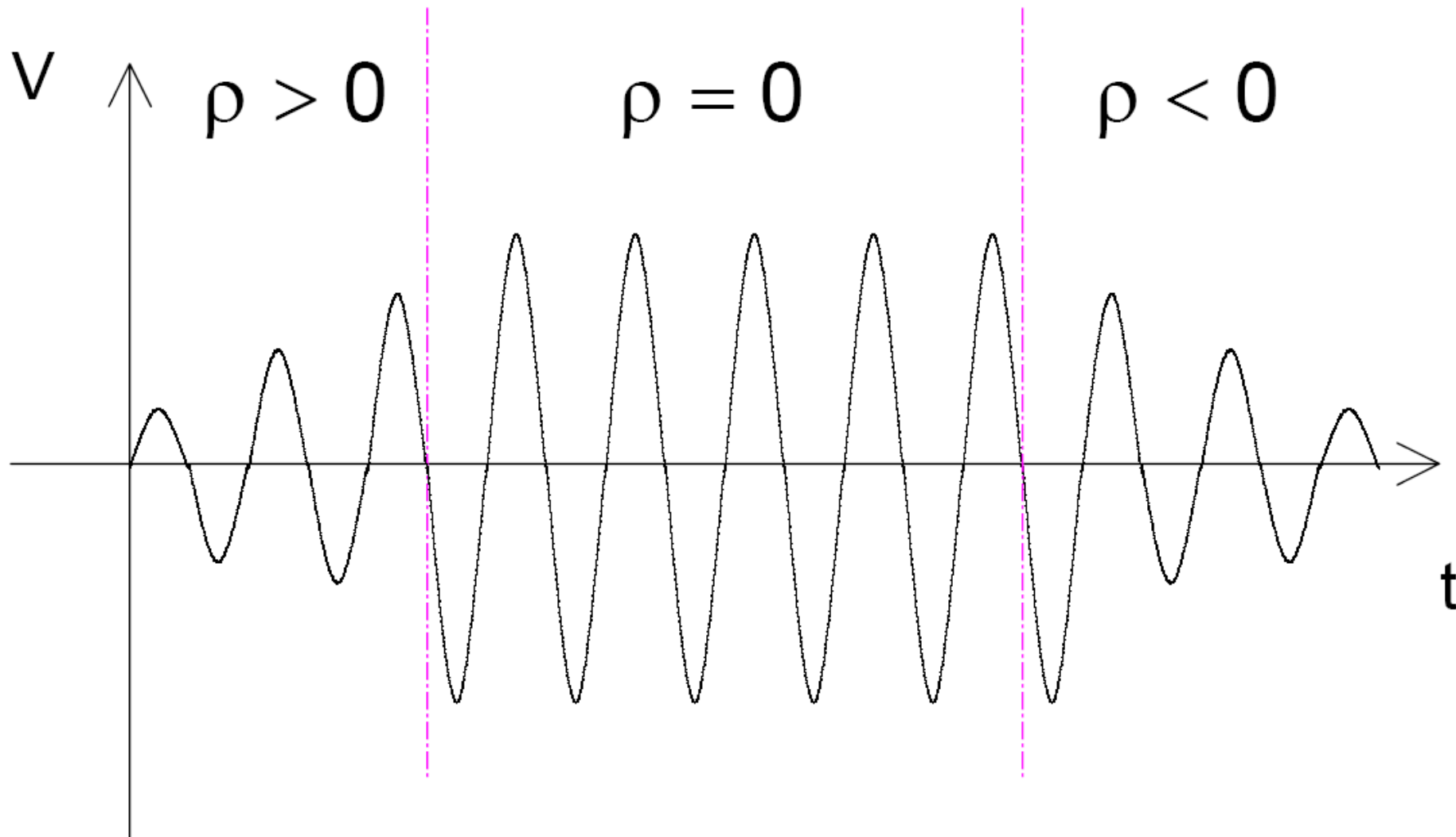
Criterios de oscilación



Criterios de oscilación



Criterios de oscilación



Criterios de oscilación

Segundo criterio:

- Un oscilador es un amplificador inestable, situación que se trata de evitar en la mayoría de los casos. Por lo tanto, el segundo criterio está relacionado con el factor de estabilidad Stern (factor para parámetros Y) . $K < 1 \rightarrow$ POTENC. INESTABLE

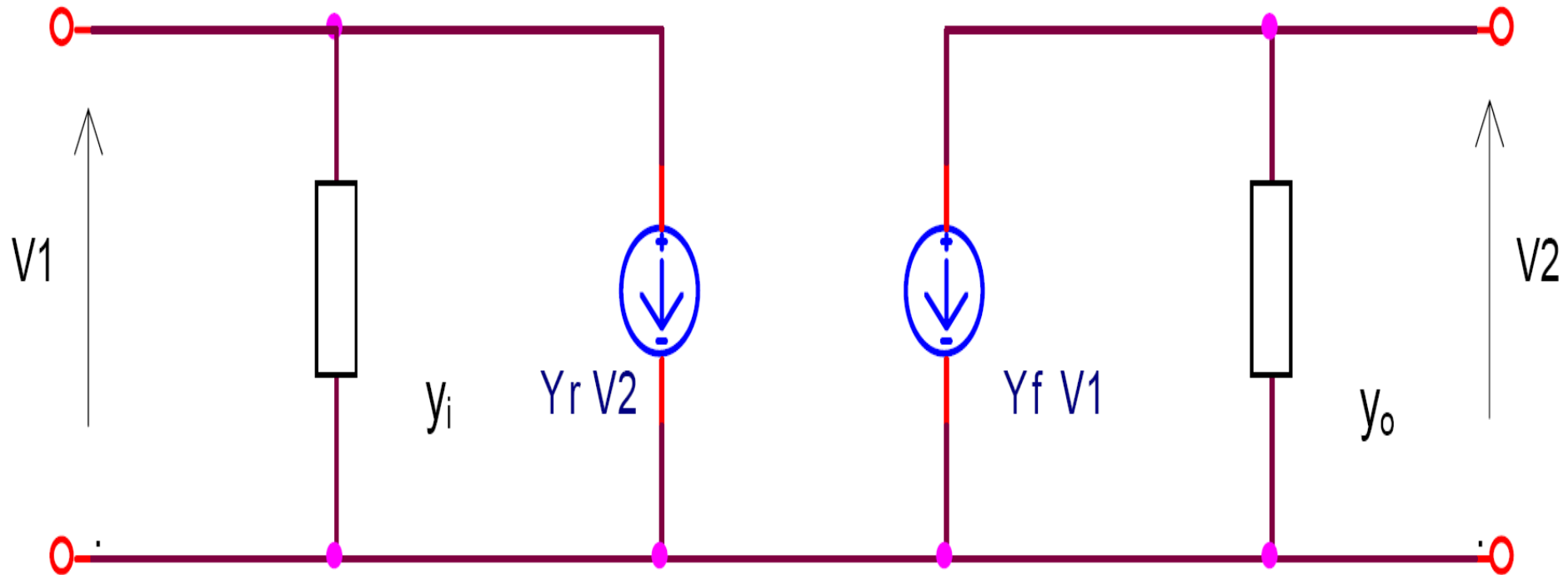
$$K = \frac{2(g_{11} + G_S)(g_{22} + G_L)}{|y_{12} y_{21}| + \operatorname{Re}(y_{12} y_{21})}$$

Criterios de oscilación

Tercer criterio:

- Un oscilador es un amplificador que, aunque la entrada sea nula, la salida no será nula.
- Matemáticamente esto equivale a que el determinante de las ecuaciones de corrientes de malla, o tensiones de nodo se hacen cero.
- También se llama criterio de ganancia infinita

Tercer criterio



Tercer criterio

$$Y_T = \begin{vmatrix} y_i & y_r \\ y_f & y_o \end{vmatrix} \quad (\text{determinante}=0)$$

$$\frac{V'_1}{V_1} = \frac{V'_1}{V_2} = \left(-\frac{y_r}{y_i} \right) \left(-\frac{y_f}{y_o} \right) = \frac{y_r y_f}{y_i y_o} = 1 \quad \Big| \quad 0$$

$$y_r y_f - y_i y_o = 0$$

Criterios de oscilación

Cuarto criterio:

- Si al circuito oscilador se separa artificialmente en una porción activa y una carga, la impedancia de salida de la parte activa tendrá una parte real negativa cuando se satisfagan las condiciones para la oscilación. Condición necesaria, pero no suficiente
- Una onda de corriente puede circular indefinidamente por un lazo de impedancia cero, lo mismo se puede decir que una tensión senoidal puede persistir indefinidamente en un nodo de admitancia nula.

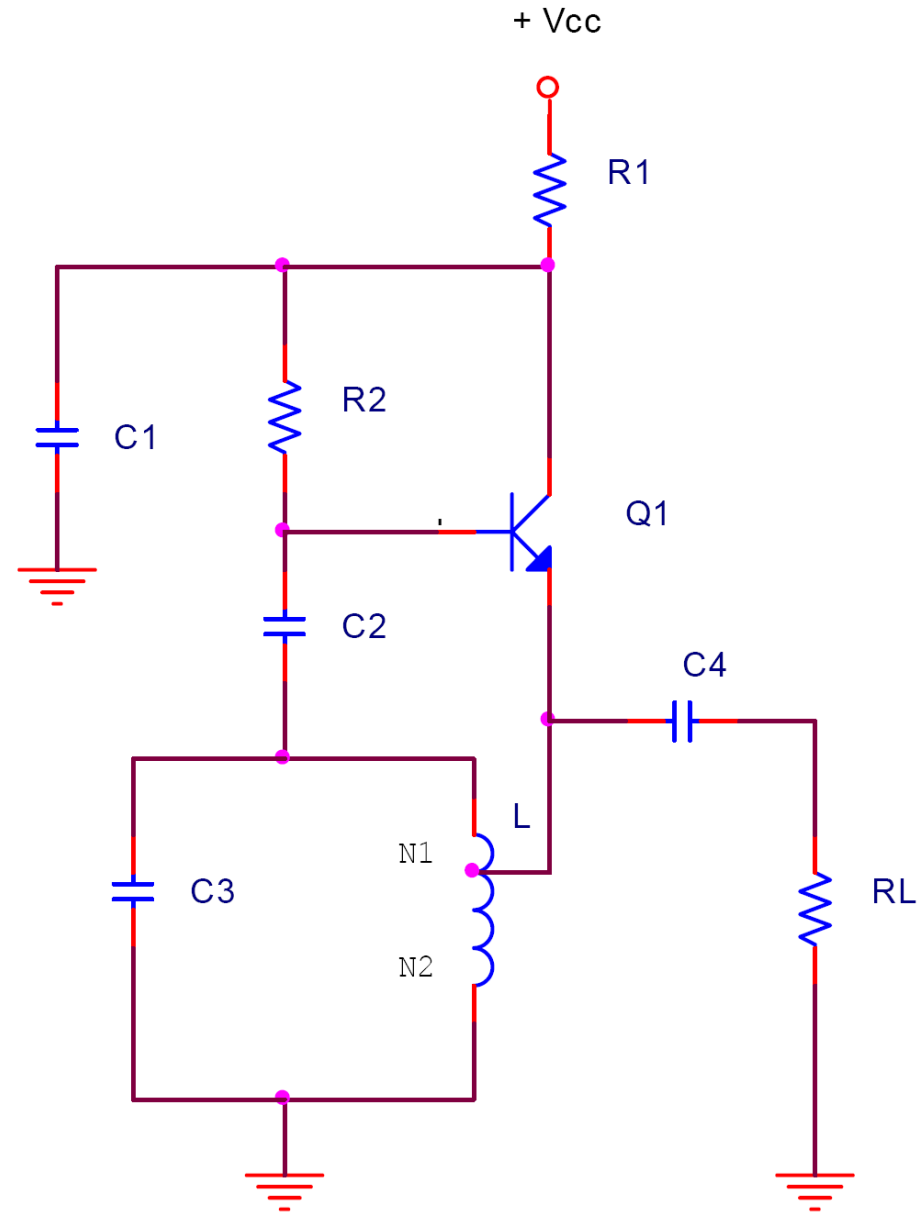
Técnicas de diseño:

- El diseño de osciladores tiene más empirismo que de ciencia exacta.
- Los circuitos equivalentes y la mayoría de las herramientas analíticas de circuitos se sustentan en la linealidad, una condición que no existe en la mayoría de los osciladores.

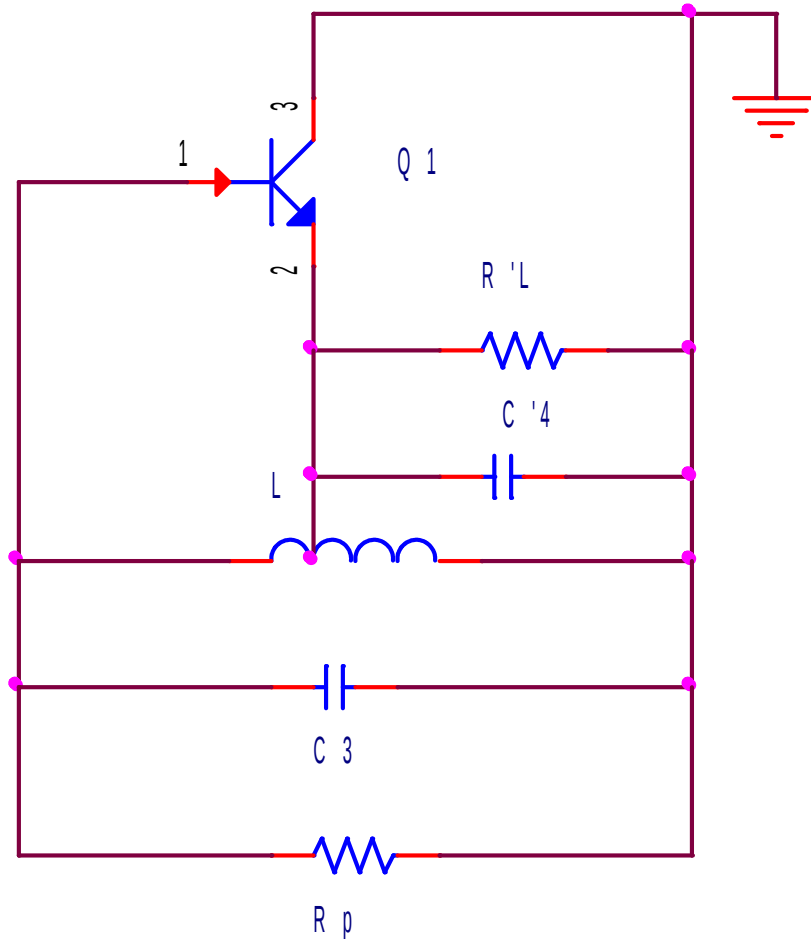
Oscilador Hartley:

Especificaciones:

- $f_0 = 4 \text{ Mhz}$
- $V_{CC} = 12 \text{ V}$
- $R_L = 100\Omega$
- $P_L = 3\text{mW}$



Modelo equivalente RF pequeña señal



Transistor BF495

$$F_{T(\text{típ})} = 200 \text{ MHz} \gg 4 \text{ MHz}$$

$$P_{C(\text{máx})} = 300 \text{ mW} \gg 3 \text{ mW}$$

TRANSISTOR PLANAR EPITAXIAL DE SILICIO

Transistor NPN en encapsulado plástico, utilizado principalmente para aplicaciones de alta frecuencia en receptores de radio y televisión.

Se lo recomienda especialmente para sintonizadores de F.M., amplificadores de F.I. para receptores de F.M. en los cuales sea necesario un transistor con baja conductancia de salida, y etapas de entrada de A.M. para receptores de auto-radio que requieran un bajo número de ruido con baja impedancia de generador (fuente de señal).

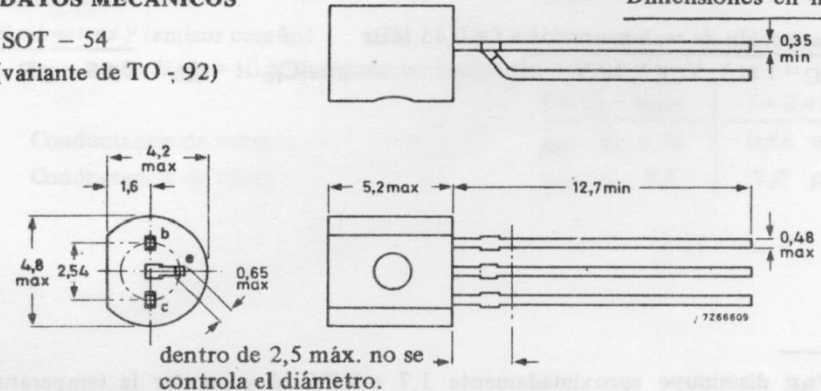
RESUMEN DE CARACTERISTICAS

Tensión colector-base (emisor abierto)	V _{CB0}	máx.	30	V
Tensión colector-emisor (base abierta)	V _{CEO}	máx.	20	V
Corriente de colector (C.C.)	I _C	máx.	30	mA
Disipación total de potencia hasta T _{amb} = 75 °C	P _{tot}	máx.	300	mW
Temperatura de juntura	T _j	máx.	150	°C
Ganancia de C.C. a T _j = 25 °C I _C = 10 mA; V _{CE} = 10 V	h _{FE}	típ.	67	
Frecuencia de transición I _C = 1 mA; V _{CE} = 10 V	f _T	típ.	200	MHz
Número de ruido I _C = 1 mA; V _{CE} = 10 V G _S = 20 mA/V; f = 1 MHz	F	típ.	3,5	dB
G _S = 10 mA/V; f = 100 MHz	F	típ.	4	dB

DATOS MECANICOS

SOT - 54
(variante de TO - 92)

Dimensiones en mm.



Cálculo de los componentes

Polarización:

$$V_{R1} = 4V$$

$$V_{CE} = 8V$$

$$I_C = \frac{V_{CE}}{R'_L}$$

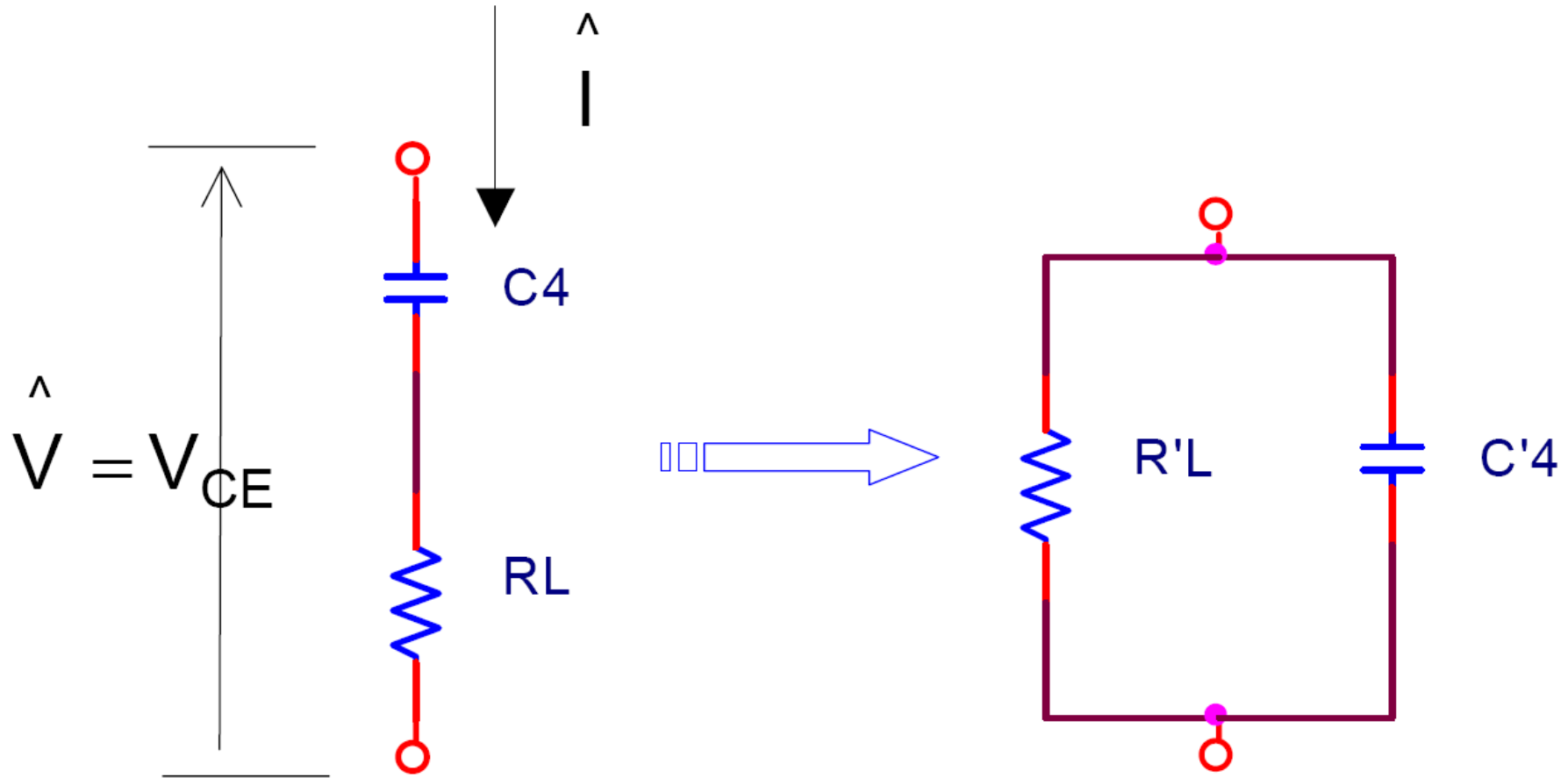
$$\therefore I_C = \frac{2P_L}{V_{CE}} = \frac{2 * 3mW}{8V} = 0,75 \text{ mA}$$

$$P_L = \frac{V_{CE}^2}{2R'_L}$$

Cálculo de los componentes

$$\left\{ \begin{array}{l} I_C = 3\text{mA} \\ V_{CE} = 8\text{V} \\ P_{C(\text{sinseñal})} = I_C * V_{CE} = 24\text{mW} \ll P_{C_Máx} \end{array} \right.$$

Cálculo de C4 y el equivalente paralelo R'L y C'4



Cálculo de C4

$$Z = \frac{\hat{V}}{\hat{I}} = \frac{8}{7,75 * 10^{-3}} = 1032 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R_L^2 + \left(\frac{1}{\omega C_4}\right)^2} \quad \therefore$$

$$C_4 = \frac{1}{\omega \sqrt{Z^2 - R_L^2}} = \frac{1}{2\pi 4 * 10^6 \sqrt{1032^2 - 100^2}} = 38,7 \text{ pF}$$

Normalizando: $C_4 = 39 \text{ pF}$

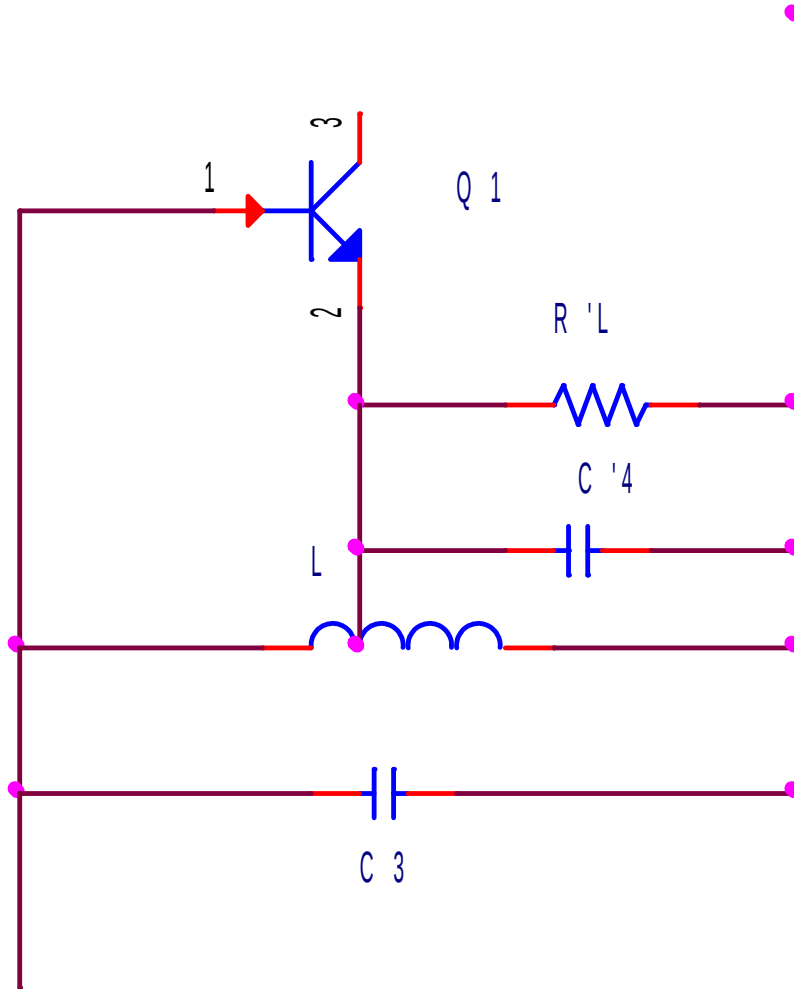
Cálculo del equivalente paralelo R'L y C'4

$$j\omega C'_4 + \frac{1}{R'_L} = \frac{1}{R_L + \frac{1}{j\omega C_4}}$$

$$= \frac{j\omega C_4}{1 + j\omega C_4 R_L} * \frac{1 - j\omega C_4 R_L}{1 - j\omega C_4 R_L} = \frac{(\omega C_4)^2 R_L + j\omega C_4}{1 + (\omega C_4 R_L)^2}$$

$$C'_4 = \frac{C_4}{1 + (\omega C_4 R_L)^2} = 38,6 \text{ pF} \quad R'_L = R_L \frac{1 + (\omega C_4 R_L)^2}{(\omega C_4 R_L)^2} = 10,5 \text{ k}\Omega$$

Cálculo de L



$$L \cong \frac{1}{(2\pi f)^2 (C_3 + C'_4)}$$

$$= \frac{1}{(2\pi * 4 * 10^6)^2 (85 * 10^{-12} + 38,6 * 10^{-12})}$$

$$= 12,8 \mu\text{H}$$

Cálculo de L

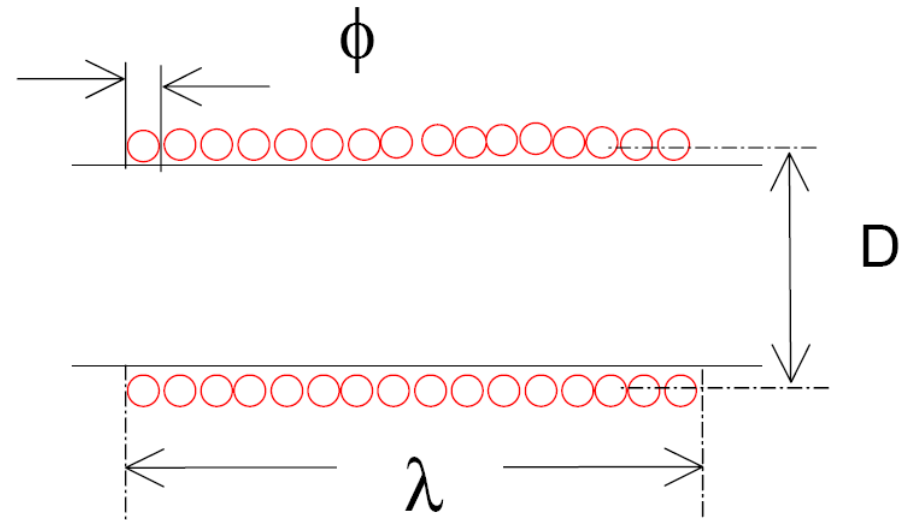
$\phi=0,3$ mm

7 mm de ϕ exterior.

ϕ	esp/cm	ϕ	esp/cm	ϕ	esp/cm
0,1	90	0,3	30	0,6	15,6
0,15	60	0,35	26	0,7	13,5
0,2	45	0,4	23	0,8	11,8
0,25	36	0,5	19	0,9	10,5
				1,0	9,4

Cálculo de L

L en μH
 D en cm
 λ en cm



Si $\lambda > \frac{D}{3}$



$$L = \frac{D^2 N^2}{\lambda + 0,45 D} * 10^{-2}$$


Si $\lambda < \frac{D}{3}$



$$L = 0,8 \frac{D^2 N^2}{\lambda + 0,3 D} * 10^{-2}$$

Cálculo de L

N	L (μH)
50	6,67
70	9,8
80	11,4



Se adopta $N=80$, $\lambda=2,67 \text{ cm} > D/3=0,243 \text{ cm}$

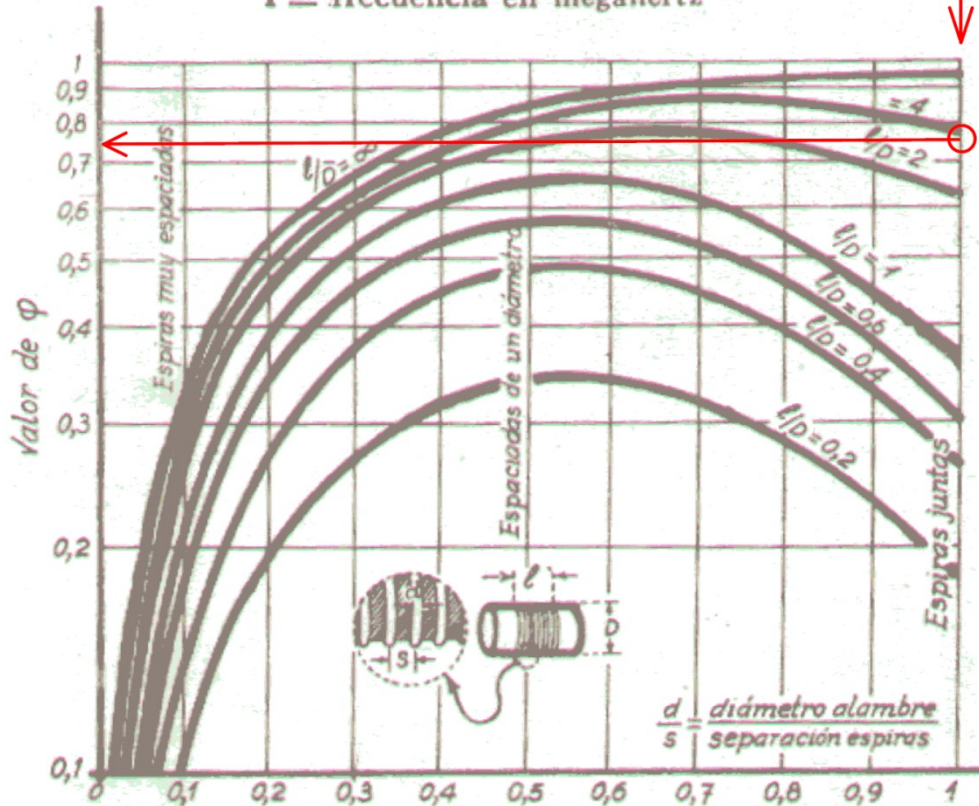
$L= 11,3869 \mu\text{H}$ (L se calcula con milésimas de μH)

Cálculo de RP de la bobina L

CALCULO DE Q DE BOBINAS SOLENOIDE DE ALAMBRE O CAÑO DE COBRE (30)

$$Q = 75 D \varphi \sqrt{f}$$

D = diámetro de la bobina (cm)
 φ = coeficiente (ver gráfico)
 f = frecuencia en megahertz



$\lambda/D=3,65$ y espiras juntas

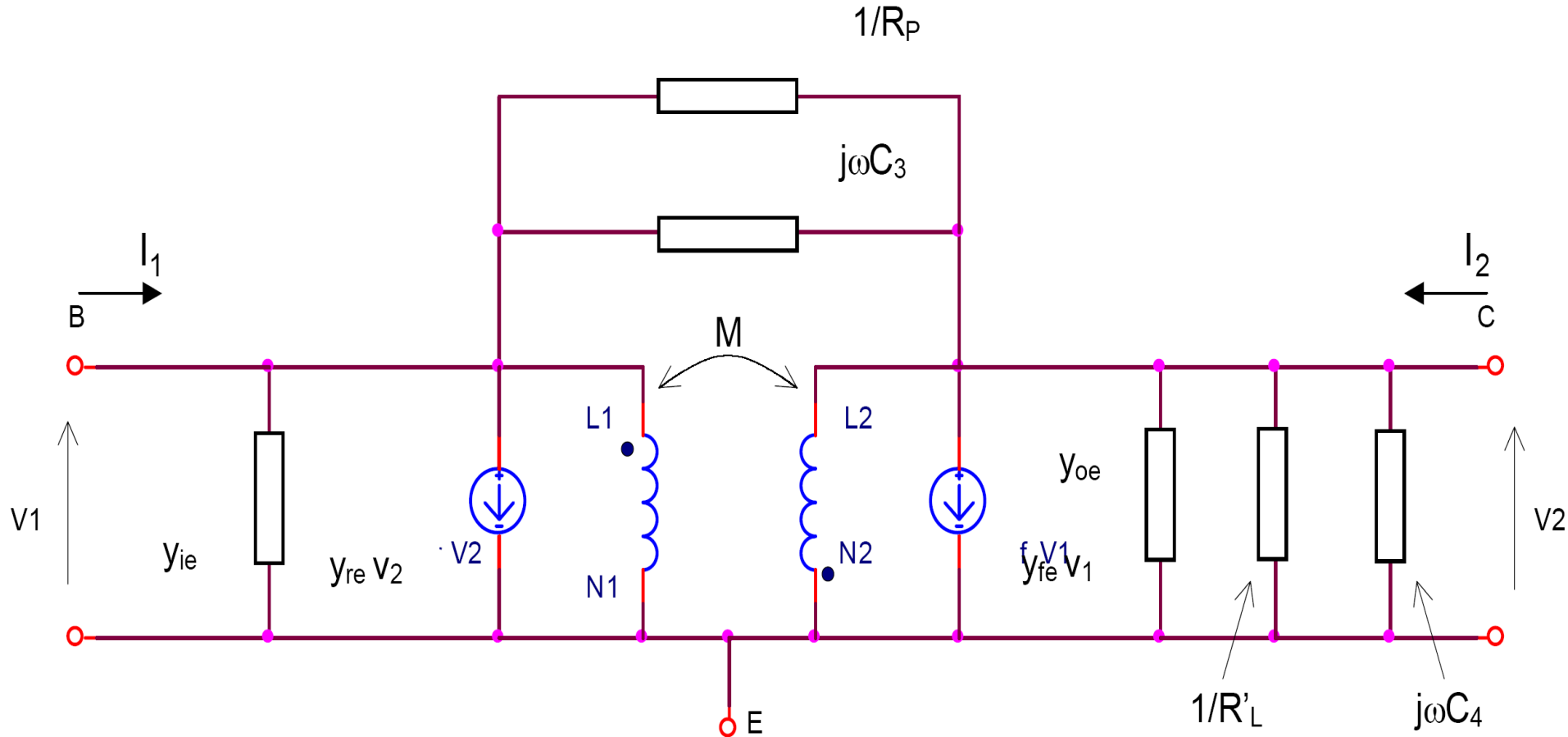
$\rightarrow \varphi=0,75$

$Q=82,1$

$Q \approx 66$

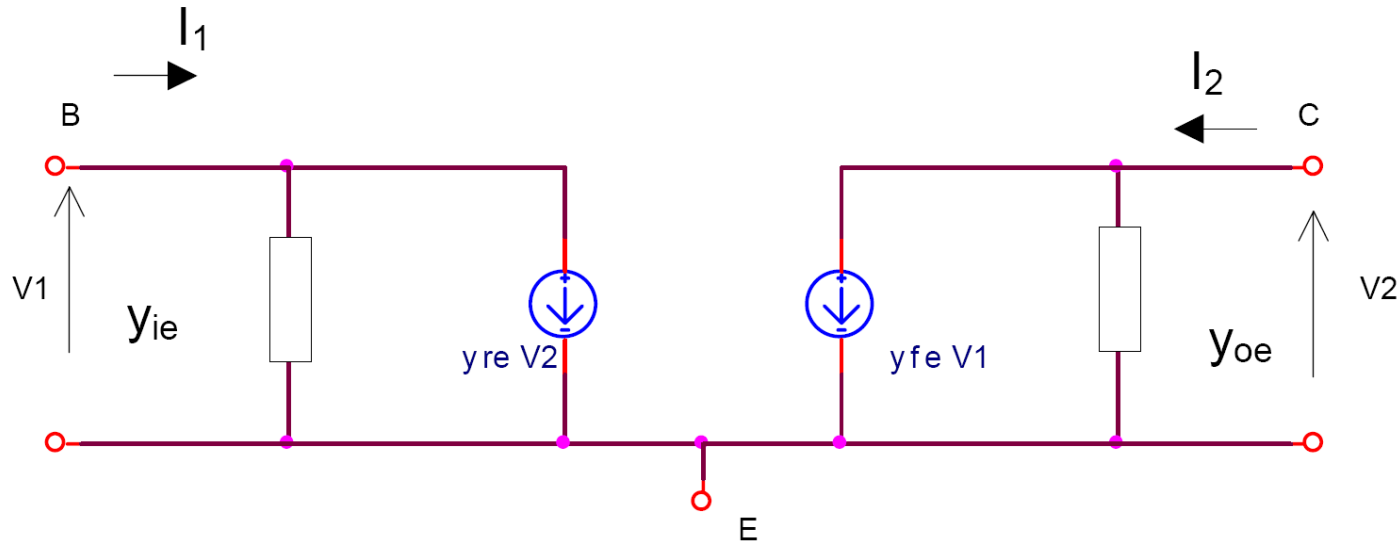
$$R_p = Q \omega L = 18,9 \text{ k}\Omega$$

Modelo equivalente y criterio de oscilación



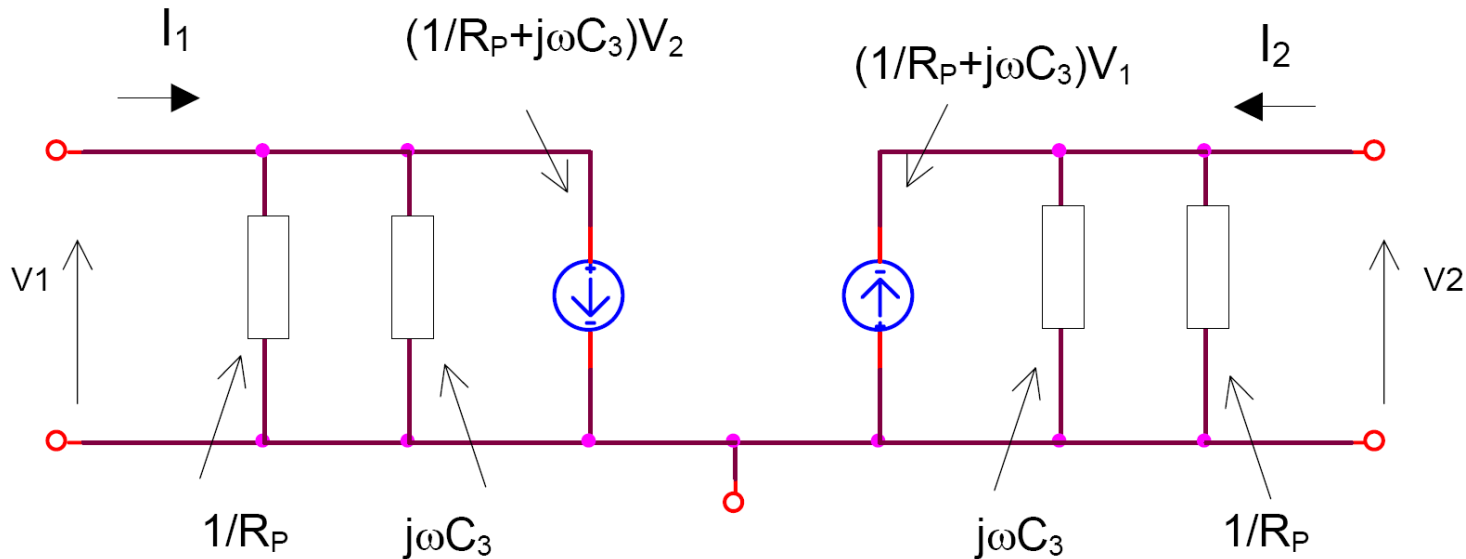
$$[Y_T] = [Y_{tr}] + [Y_1] + [Y_2] + [Y_3]$$

Cálculo de Y_{tr}



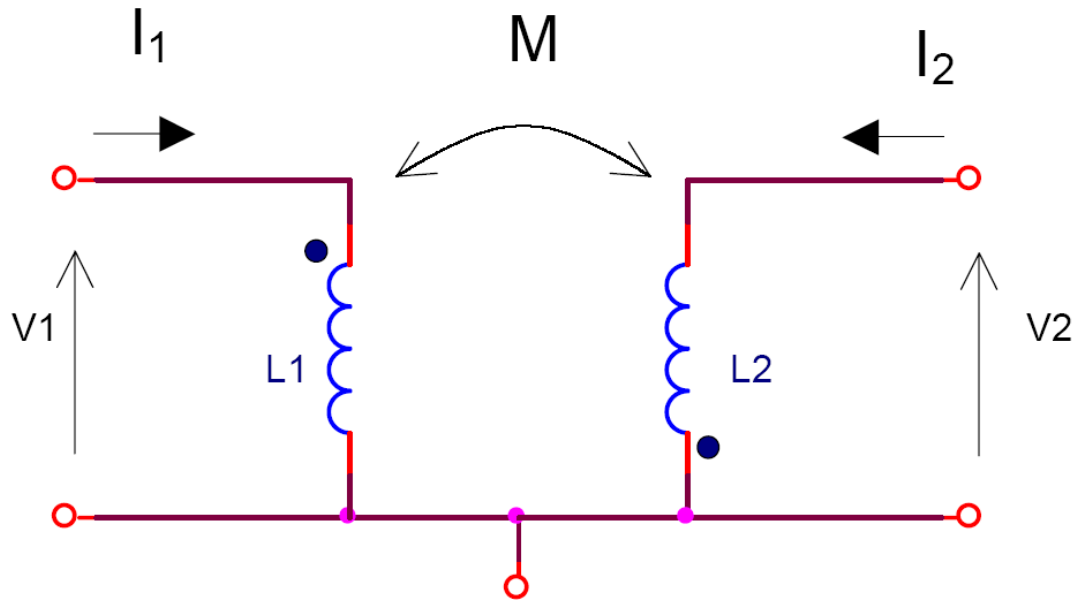
$$Y_{tr} = \begin{bmatrix} y_{ie} & y_{re} \\ y_{fe} & y_{oe} \end{bmatrix}$$

Cálculo de Y_1



$$Y_1 = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_p} + j\omega C_3 & -\frac{1}{R_p} - j\omega C_3 \\ -\frac{1}{R_p} - j\omega C_3 & \frac{1}{R_p} + j\omega C_3 \end{bmatrix}$$

Cálculo de Z_2 e Y_2



$$v_1 = I_1 j\omega L_1 - I_2 j\omega M$$

$$v_2 = -I_1 j\omega M + I_2 j\omega L_2$$

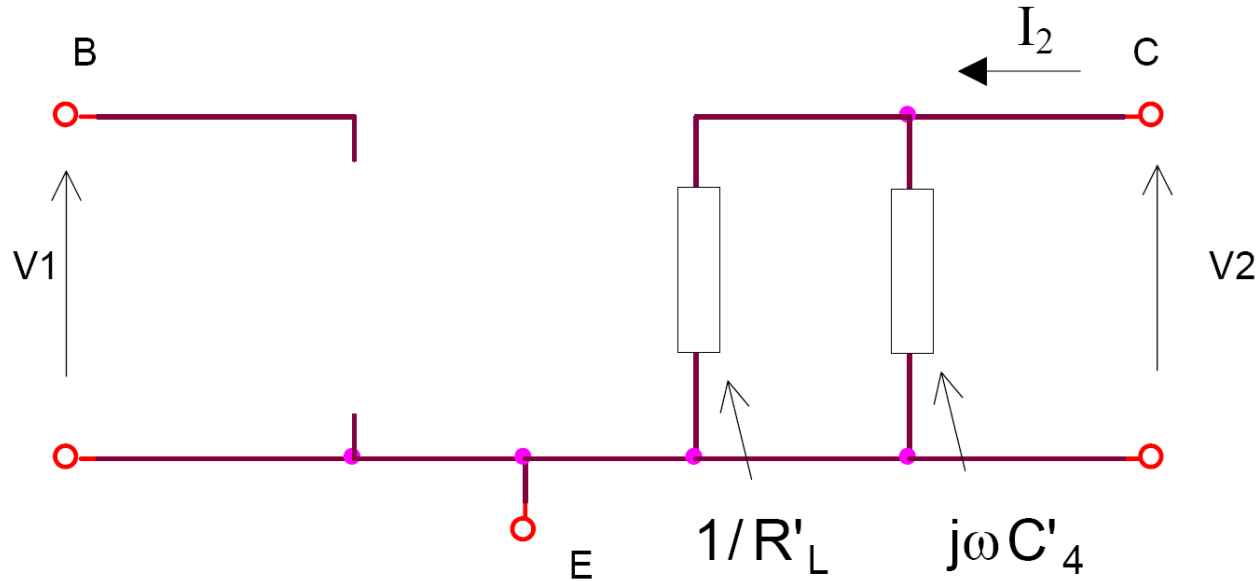
$$[Z] = \begin{bmatrix} j\omega L_1 & -j\omega M \\ -j\omega M & j\omega L_2 \end{bmatrix}$$

Cálculo de Z_2 , Y_2

$$[Z]^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{j\omega L_2}{\Delta Z} & \frac{j\omega M}{\Delta Z} \\ \frac{j\omega M}{\Delta Z} & \frac{j\omega L_1}{\Delta Z} \end{bmatrix} = [Y_2]$$

$$[Y_2] = \begin{bmatrix} -\frac{jL_2}{\omega(L_1L_2 - M^2)} & -\frac{jM}{\omega(L_1L_2 - M^2)} \\ -\frac{jM}{\omega(L_1L_2 - M^2)} & -\frac{jL_1}{\omega(L_1L_2 - M^2)} \end{bmatrix}$$

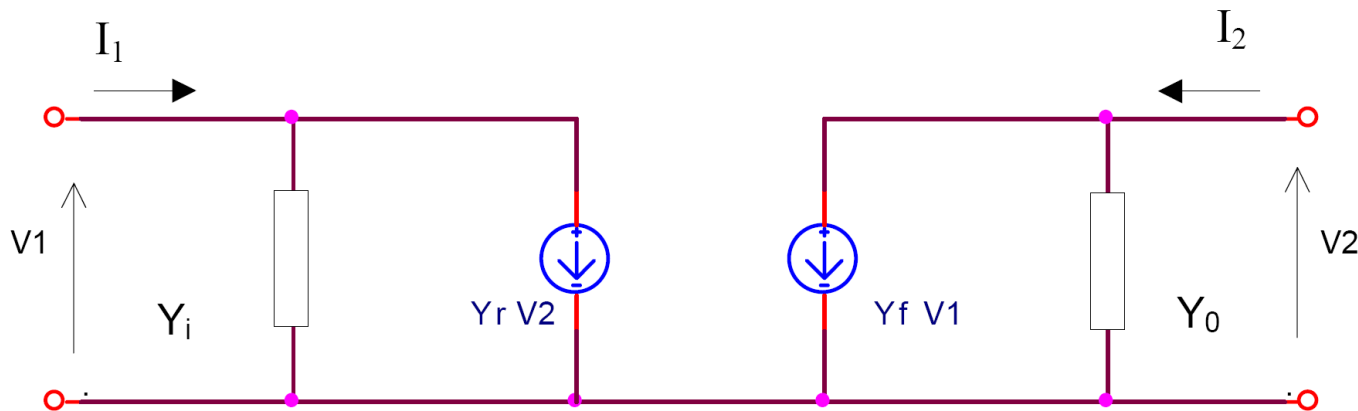
Cálculo de Y_3



$$[Y_3] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{R'_L} + j\omega C'_4 \end{bmatrix}$$

Y_T

$$[Y_T] = \begin{bmatrix} g_{ie} + \frac{1}{R_p} + j \left[b_{ie} + \omega C_3 - \frac{L_2}{\omega(L_1 L_2 - M^2)} \right] & g_{re} - \frac{1}{R_p} + j \left[b_{re} - \omega C_3 - \frac{M}{\omega(L_1 L_2 - M^2)} \right] \\ g_{fe} - \frac{1}{R_p} + j \left[b_{fe} - \omega C_3 - \frac{M}{\omega(L_1 L_2 - M^2)} \right] & g_{oe} + \frac{1}{R_p} + \frac{1}{R'_L} + j \left[b_{oe} + \omega C'_4 + \omega C_3 - \frac{L_1}{\omega(L_1 L_2 - M^2)} \right] \end{bmatrix}$$



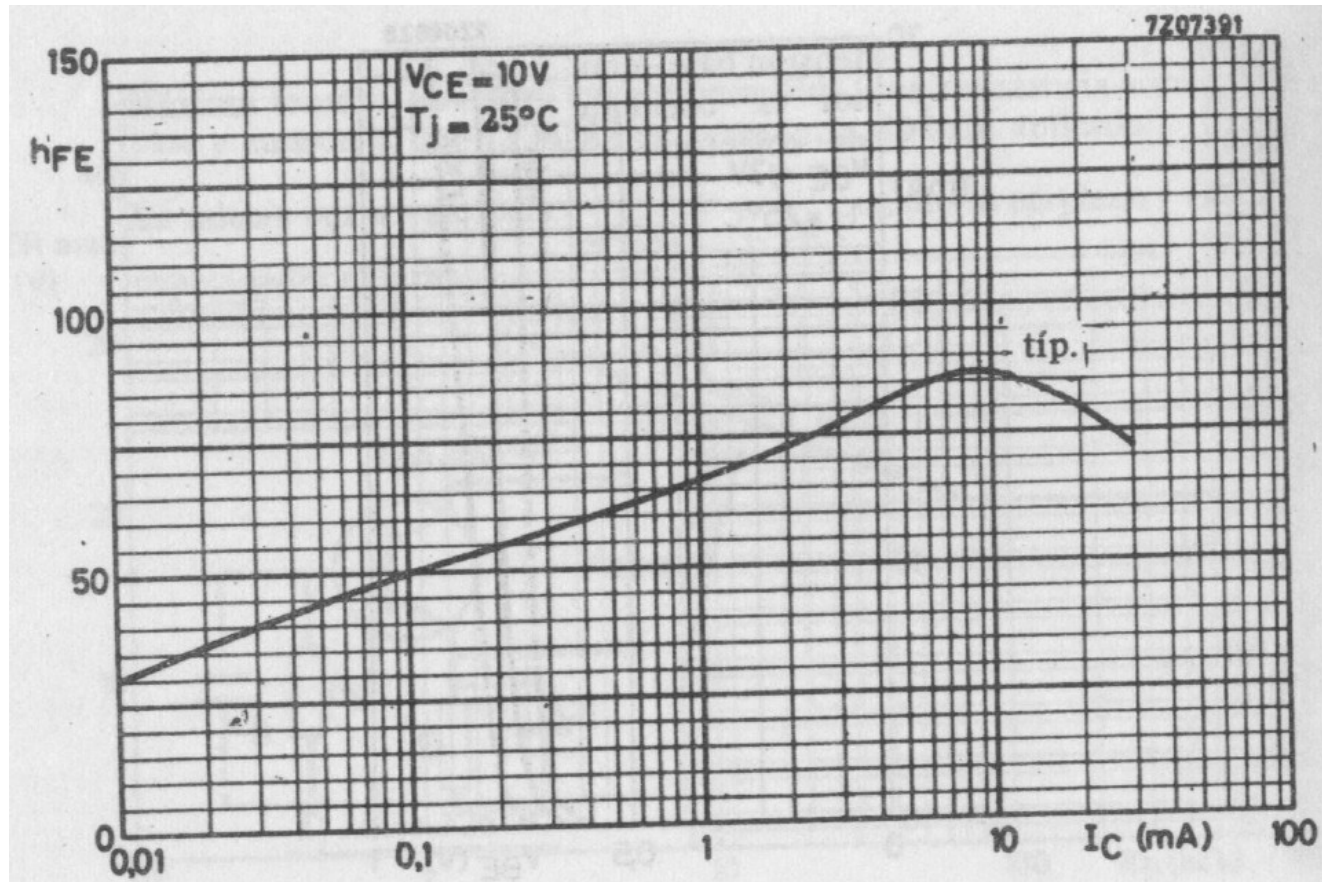
Y_T

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_i & Y_r \\ Y_f & Y_o \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

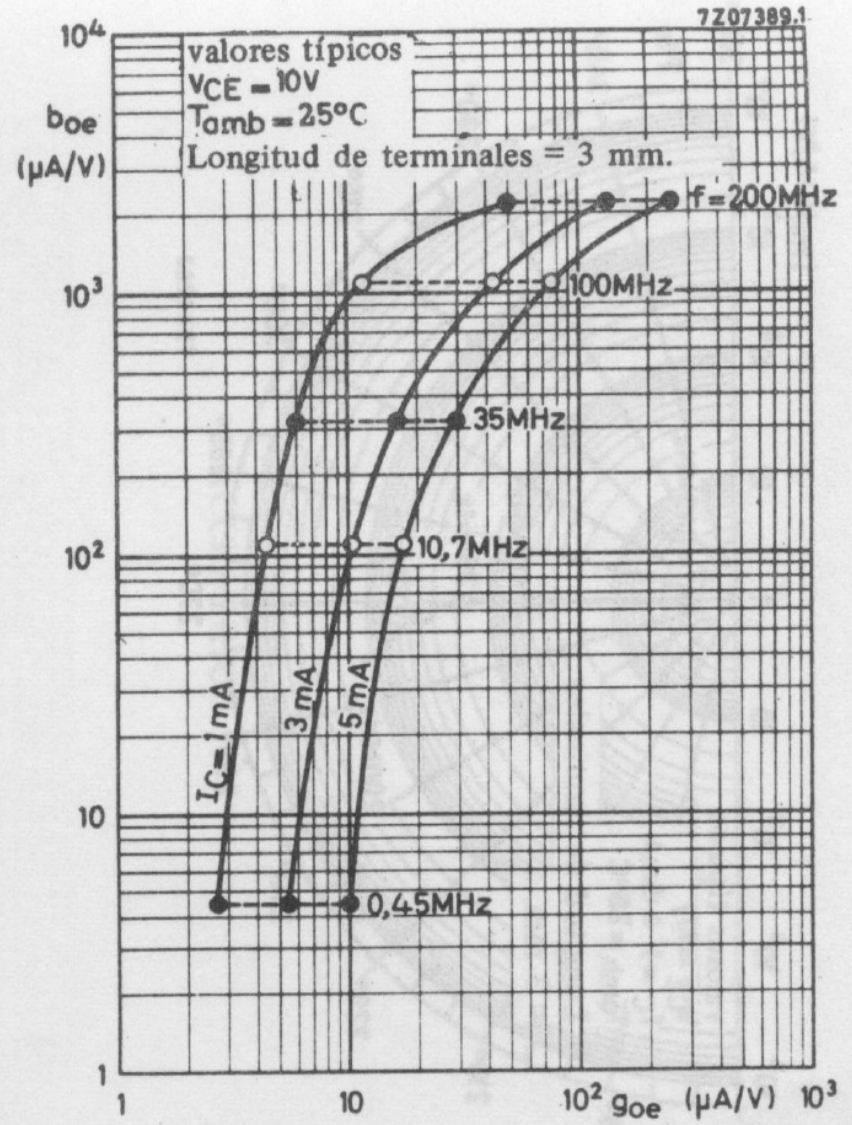
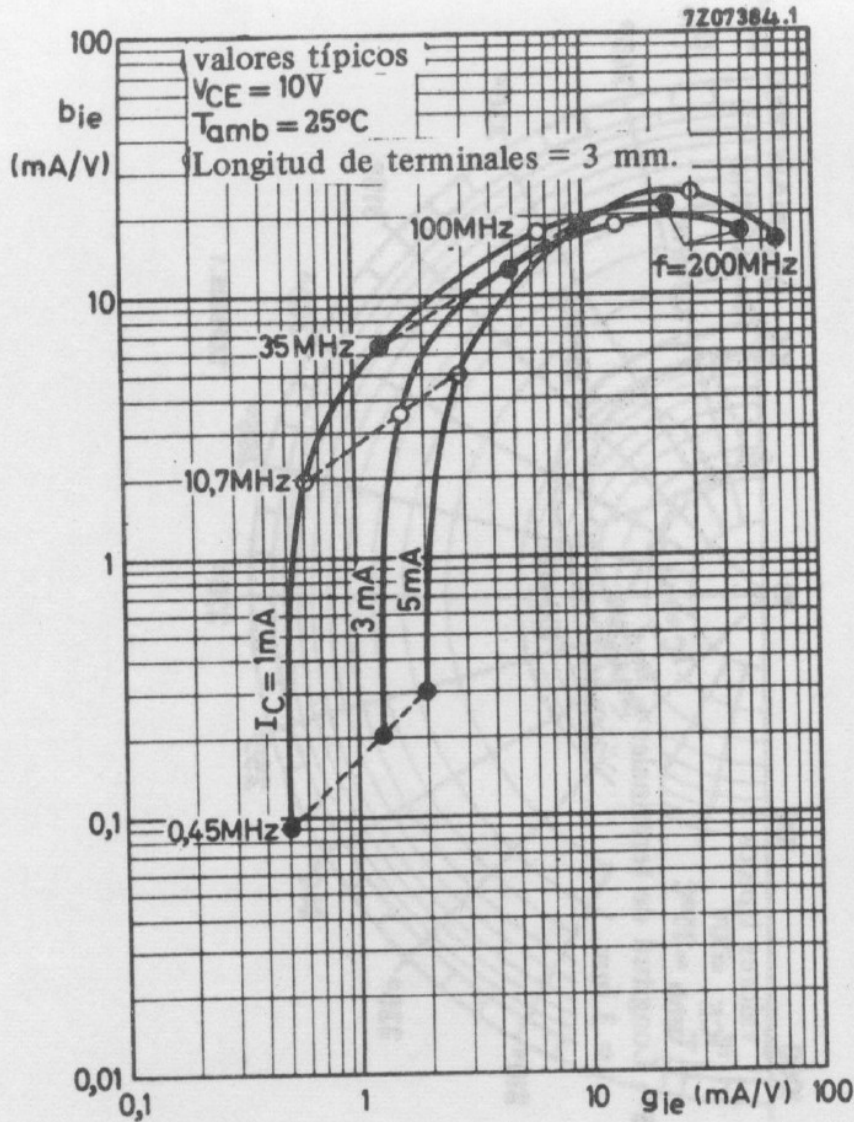
$$\frac{Y_f Y_r}{Y_i Y_o} = 1 \quad \left| \begin{array}{c} 0 \\ \hline \end{array} \right.$$

$$\therefore V_2 = -I_1 \frac{Y_f}{\Delta Y_T} + I_2 \frac{Y_i}{\Delta Y_T}$$

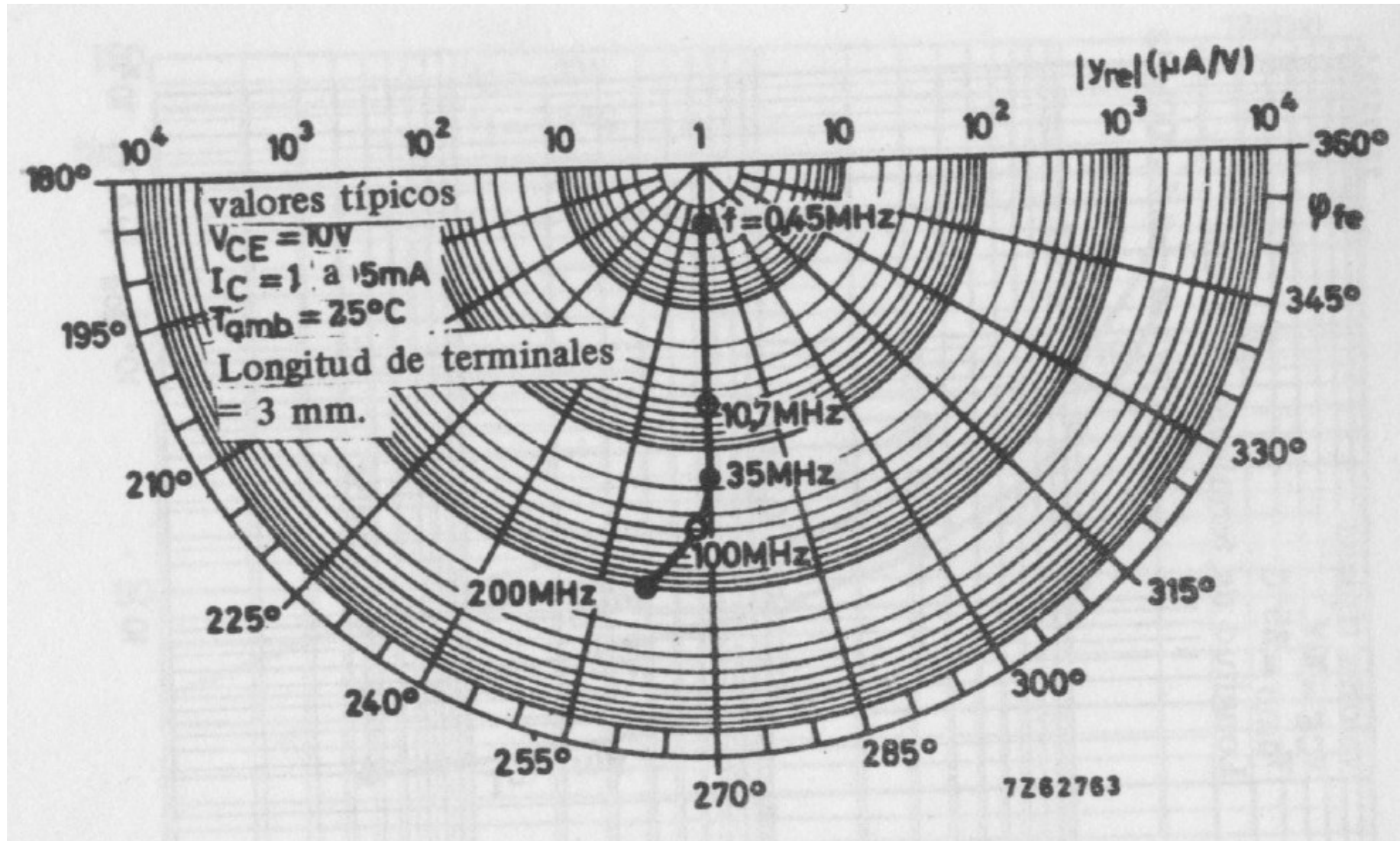
Parámetros del transistor



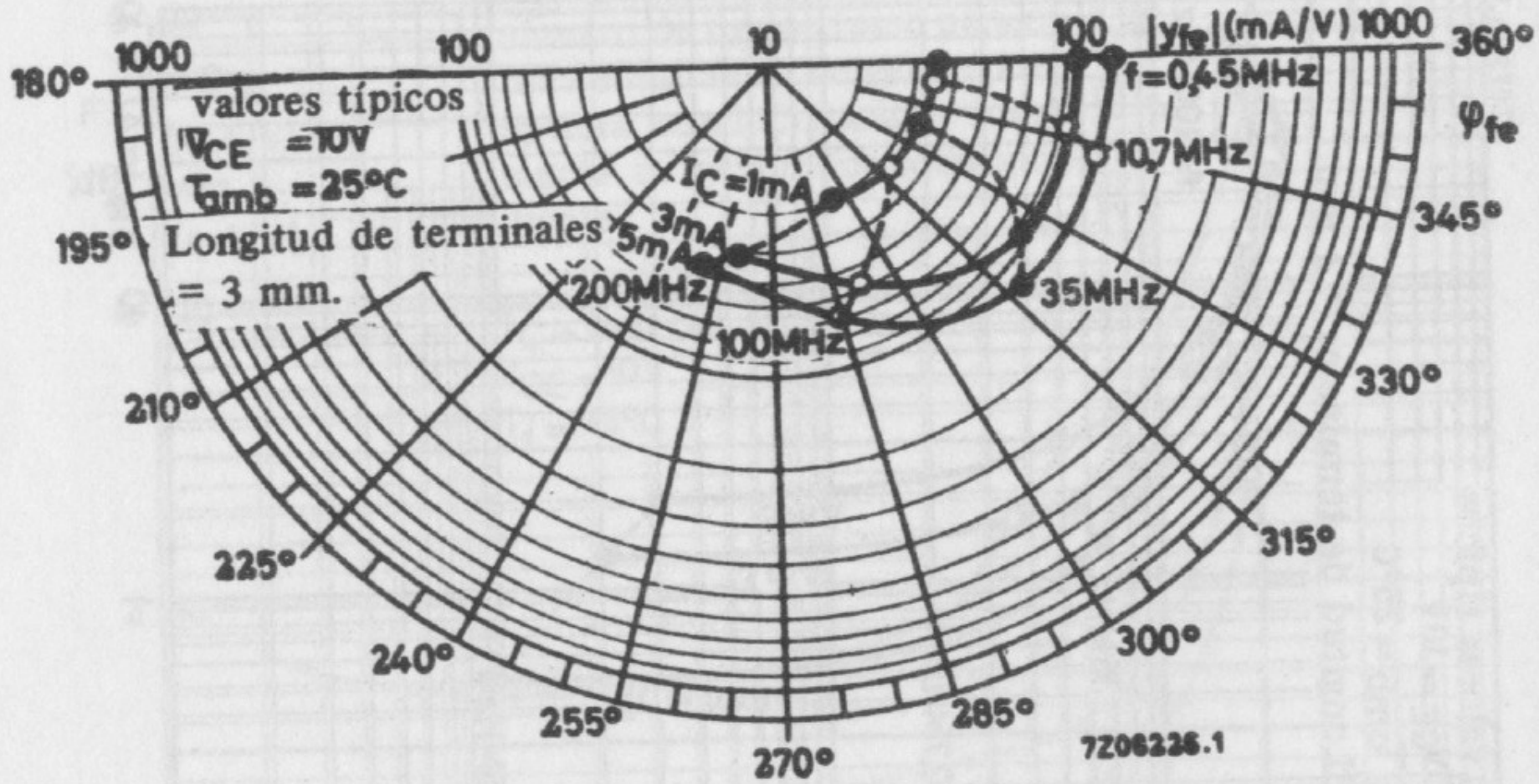
Parámetros del transistor



Parámetros del transistor



Parámetros del transistor



Parámetros del transistor

$$Y_{tr} = \begin{cases} y_{ie} = (1,3 + j1,3) \text{ m}\Omega \\ y_{oe} = (8 + j41) \mu\Omega \\ y_{re} = 18,7 \left| \frac{270}{} \right. \mu\Omega = (0 - j18,7) \mu\Omega \\ y_{fe} = 100 \left| \frac{350}{} \right. \text{ m}\Omega = (98,5 - j17,4) \text{ m}\Omega \end{cases}$$

Cálculo de C3 y N1 -N2

$$Y_{tr} = \begin{cases} y_{ie} = (1,3 + j1,3) \text{ m}\overline{\Omega} \\ y_{oe} = (8 + j41) \mu\overline{\Omega} \\ y_{re} = 18,7 \left| \begin{array}{l} 270 \\ \hline \end{array} \right. \mu\overline{\Omega} = (0 - j18,7) \mu\overline{\Omega} \\ y_{fe} = 100 \left| \begin{array}{l} 350 \\ \hline \end{array} \right. \text{m}\overline{\Omega} = (98,5 - j17,4) \text{m}\overline{\Omega} \end{cases}$$

Cálculo de C3 y N1 -N2

$$Y_{tr} = \begin{cases} y_{ie} = (1,3 + j1,3) \text{ m}\overline{\Omega} \\ y_{oe} = (8 + j41) \mu\overline{\Omega} \\ y_{re} = 18,7 \left| \begin{array}{l} 270 \\ \hline \end{array} \right. \mu\overline{\Omega} = (0 - j18,7) \mu\overline{\Omega} \\ y_{fe} = 100 \left| \begin{array}{l} 350 \\ \hline \end{array} \right. \text{m}\overline{\Omega} = (98,5 - j17,4) \text{m}\overline{\Omega} \end{cases}$$

Los parámetros de Y_T quedan:

$$Y_T = \begin{cases} y_i = g_i + jb_i = 1,35 \text{ m} + j(1,3\text{m} + b_3 - b_2) \text{ } \overline{\cup} \\ y_o = g_o + jb_o = 0,156 \text{ m} + j(1,01\text{m} + b_3 - b_1) \text{ } \overline{\cup} \\ y_r = g_r + jb_r = -52,9 \mu + j(-18,7\mu - b_3 - b_M) \text{ } \overline{\cup} \\ y_f = g_f + jb_f = 98,4 \text{ m} + j(-17,4 \text{ m} - b_3 - b_M) \text{ } \overline{\cup} \end{cases}$$

Siendo

$$b_1 = \frac{L_1}{\omega(L_1L_2 - M^2)} \quad b_2 = \frac{L_2}{\omega(L_1L_2 - M^2)}$$

$$b_3 = \omega C_3$$

$$\frac{y_r^* y_f}{y_i^* y_o} = \frac{(g_r + jb_r)(g_f + jb_f)}{(g_i + jb_i)(g_o + jb_o)} = 1 \left| \frac{0}{0} \right.$$

Cálculo de C3 y N1 -N2

N:	80
N₁:	0,5
N₂:	79,5

∅_{cu}[cm]:	0,035
D[cm]:	0,7
f₀[MHz]:	4

ingrese ----> $R_p = 18900 \text{ } [\Omega]$
 $R_L' = 10500 \text{ } [\Omega]$

Cálculo de C3 y N1 -N2

y_{ie} [mΩ ⁻¹]	$g_{ie:}$	1,3
	$b_{ie:}$	1,3
y_{oe} [mΩ ⁻¹]	$g_{oe:}$	0,008
	$b_{oe:}$	0,041
y_{re} [mΩ ⁻¹]	$g_{re:}$	0
	$b_{re:}$	-0,0187
y_{fe} [mΩ ⁻¹]	$g_{fe:}$	98,5
	$b_{fe:}$	-17,4

$$\mathbf{L}_1[\text{Hy}] = 4,51\text{E-}09$$

$$\mathbf{L}_2[\text{Hy}] = 1,01\text{E-}05$$

$$\mathbf{M} [\text{Hy}] = 3,25\text{E-}08$$

ingrese

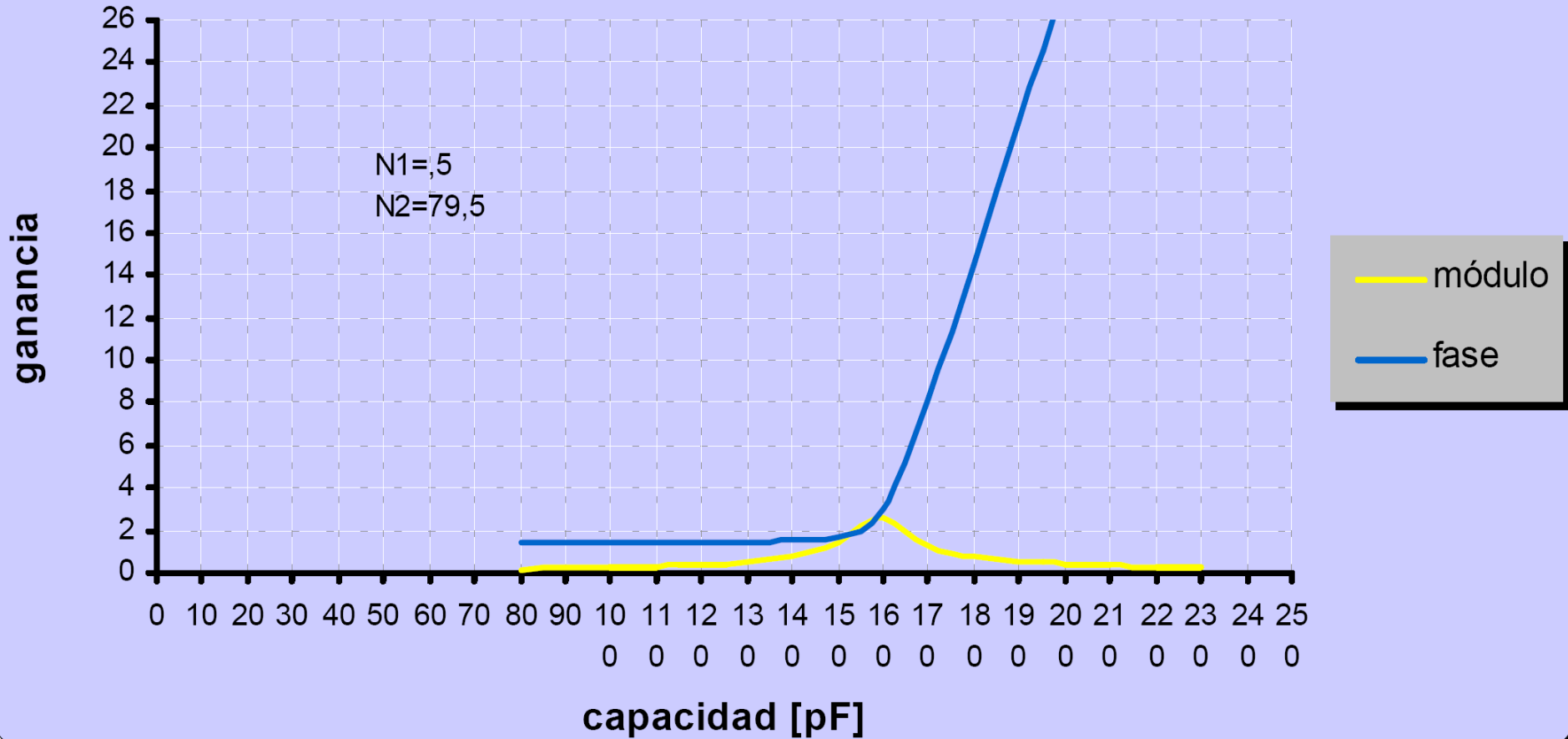


C_3 [pF]
140
145
150
155
160
165



Módulo	fase
0,78873	1,50
1,03105	1,55
1,4452	1,66
2,14863	1,95
2,59017	2,93
1,92041	5,15

ganancia vs capacidad



Se adopta $N_1=0,5$ $C_3=100\text{pF}$ // con un trimmer 50pF

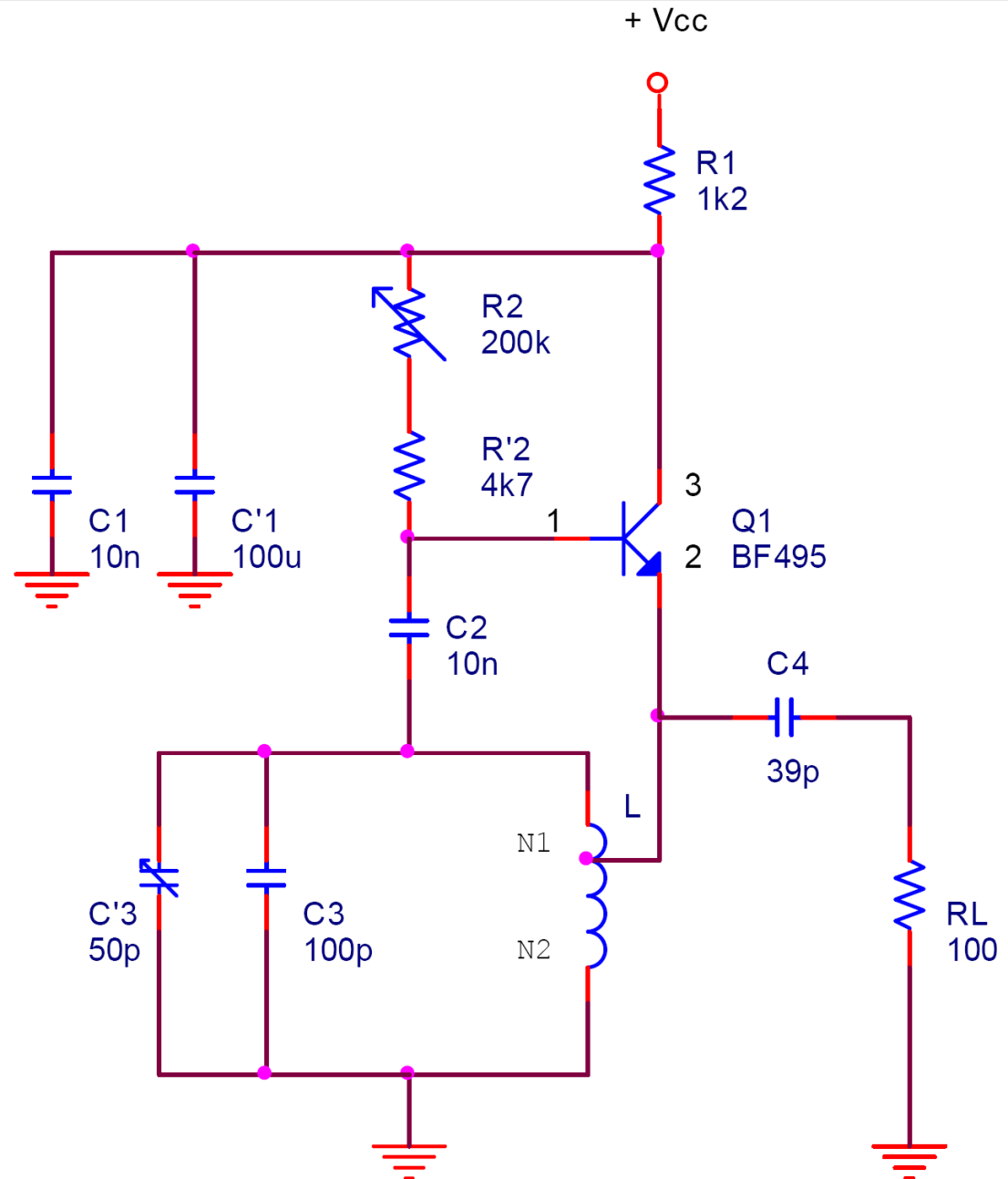
Cálculo de C₂ y C₁

$$X_{C_2} \ll \frac{1}{|y_{ie}|} \quad \therefore \quad C_2 \gg \frac{|y_{ie}|}{\omega} = \frac{1,83 * 10^{-3}}{2\pi * 4 * 10^6} = 73 \text{ pF}$$

$$X_{C_1} \ll R_p // R'_L \quad C_1 \gg \frac{1}{\omega (R_p // R'_L)}$$

$$R_1 C_1 \gg \frac{1}{100 \text{ Hz}} \quad C_1 \gg \frac{1}{R_1 * 100} = \frac{1}{1,2 * 10^3 * 100} = 8,33 \text{ } \mu\text{F}$$

Circuito final

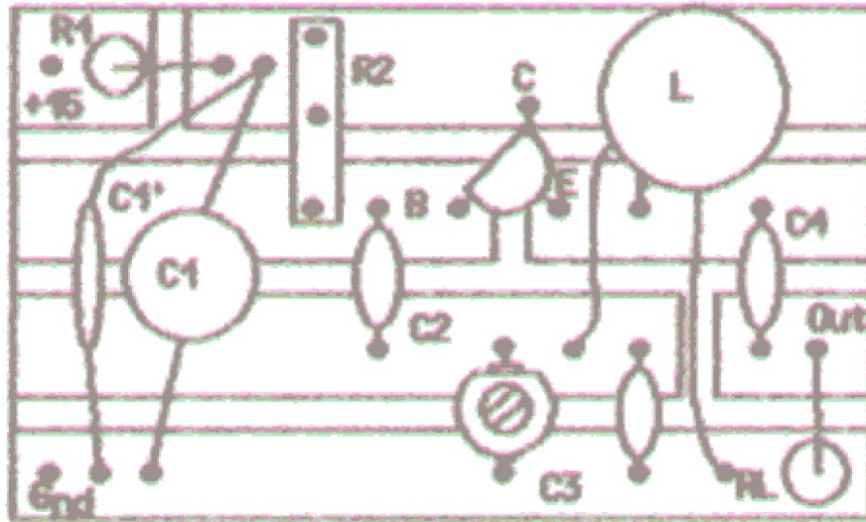
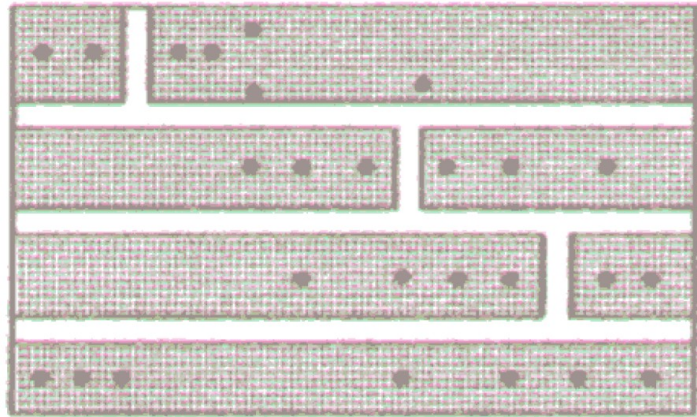


* se desconecta C_2

* se ajusta R_2 hasta que $I_C = 3\text{mA}$

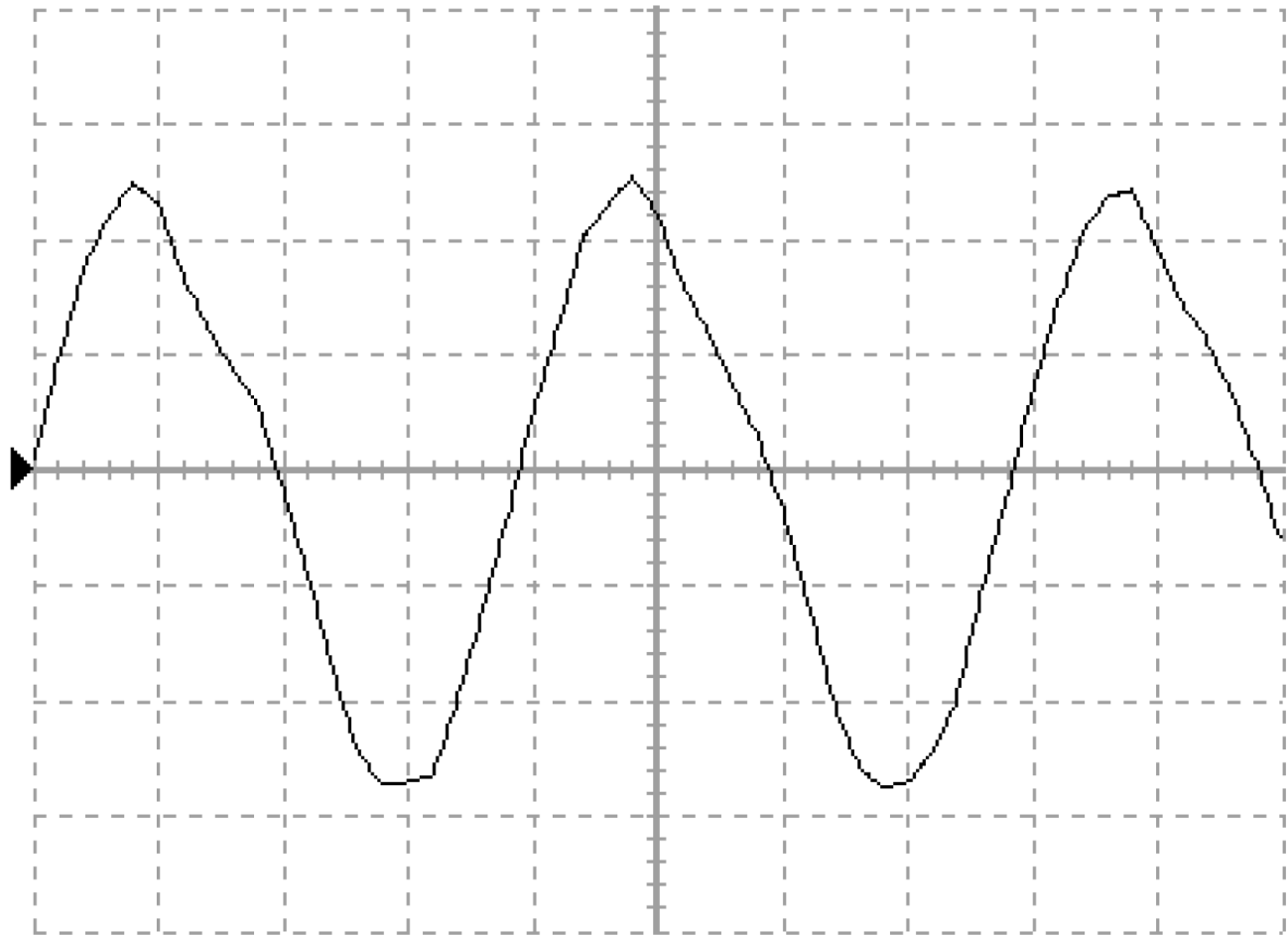
* se conecta C_2

Lay out



Formas de onda

Tiempo/Div – 50nSeg/Div
Volt/Div – 0,5V/Div



Pasos generales:

- Se toman los datos de los enunciados
- Se realizan los cálculos generales
- Se diseña el inductor
- Se completan los cálculos con la planilla excel
- Se diseña el lay-out
- Se realizan las mediciones y ajustes

Muchas gracias!!