



Trabajo Práctico de Laboratorio Nº1

Oscilador Hartley

Materia: Electrónica Aplicada III

Profesor: Ing. Oros

Integrantes:

Gaido Román 48014

Pesce Nicolás 48781

Socci Nahuel 48012



Especificaciones de Diseño

Diseñar e implementar un oscilador Hartley que cumpla con las siguientes especificaciones:

- $f_0 = 5 \text{ MHz}$
- $V_{cc} = 12 \text{ V}$
- $R_L = 150 \Omega$
- $P_L = 5 \text{ mW}$

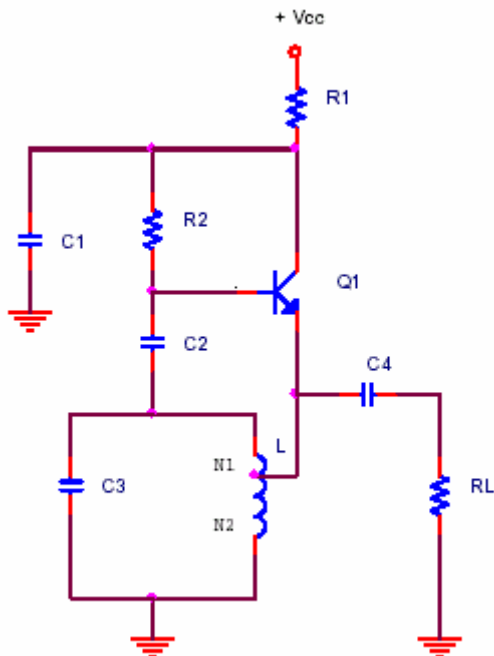
Efectuar las siguientes mediciones:

- *Medir y graficar la tension en la carga en funcion del tiempo*
- *Medir la potencia aplicada a la carga*

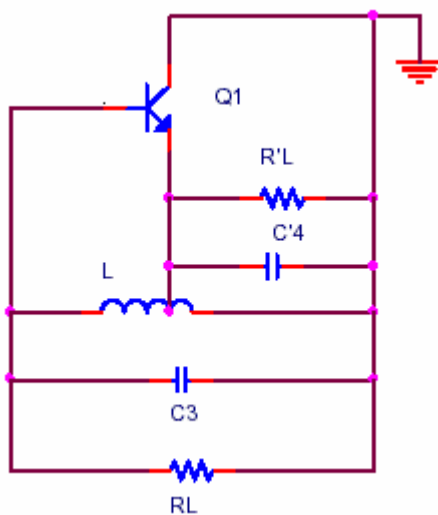


Cálculo de componentes

- Trazado del circuito



- Modelo equivalente. Circuito de RF





- **Selección del Transistor**

Utilizamos el transistor BF495 ya que cumple con los requisitos para el oscilador:

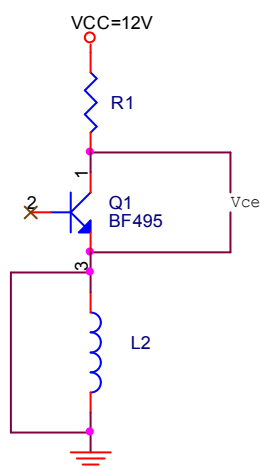
$$F_{T(TYP)} = 200 \text{ MHz} \gg 5 \text{ MHz}$$

$$P_{TOTAL} = 300 \text{ mW} \gg 5 \text{ mW}$$

- **Polarización y cálculo de R1 y R2**

Fijamos el valor de alimentación en $V_{CC} = 12 \text{ V}$. Para una buena estabilidad de I_C , V_{R1} debe ser grande. Por lo tanto, elegimos $V_{R1} = 4 \text{ V}$.

Analizando el circuito en CC, obtenemos el valor de V_{CE}



$$V_{CC} = V_{R1} + V_{CE}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{R1}$$

$$V_{CE} = 12 \text{ V} - 4 \text{ V}$$

$$V_{CE} = 8 \text{ V}$$

En la hoja de datos del transistor, se especifican los valores de los *parámetros Y* para $V_{CE} = 10 \text{ V}$. La tensión colector-emisor que calculamos es algo inferior a 10V, pero esto no es un problema ya que los *parámetros Y* varían en una proporción mínima al cambiar V_{CE} .

Para máxima excursión simétrica:

$$I_C = \frac{2 * P_L}{V_{CE}} = \frac{2 * 5 \text{ mW}}{8 \text{ V}} \Rightarrow I_C = 1.25 \text{ mA}$$

Los parámetros Y están dados para $I_C = 1, 3 \text{ y } 5 \text{ mA}$. Tomamos $I_C = 3 \text{ mA}$. De esta manera:

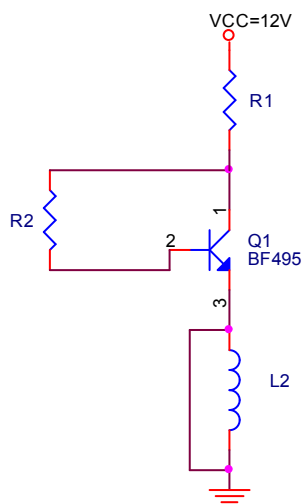
$$I_C = 3 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = 8 \text{ V}$$

$$P_{C(\sin \text{ señal})} = I_C \cdot V_{CE} = 24 \text{ mW} \ll P_{C(\text{MAX})}$$



Ahora calculamos R2 y R1 analizando las mallas de entrada y de salida



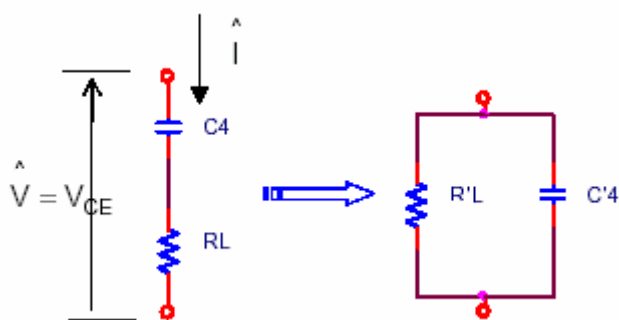
$$R_2 = \frac{V_{CE} - V_{BE}}{I_C} * h_{fe} = \frac{8v - 0.7v}{3mA} * 75$$

$$R_2 = 182.5K\Omega \approx 180K\Omega$$

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = \frac{12v - 8v}{3mA}$$

$$R_1 = 1.33K\Omega \approx 1.2K\Omega$$

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



$$P_{L(ef)} = \frac{\hat{I}^2 \cdot R_L}{2} \Rightarrow \hat{I} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_L}{R_L}} = \sqrt{\frac{2 * 5mW}{150\Omega}}$$

$$\hat{I} = 8.16mA$$

$$Z = \frac{\hat{V}}{\hat{I}} = \frac{8V}{8.16mA}$$

$$Z = 979.8\Omega$$

$$Z = \sqrt{R_L^2 + \frac{1}{\omega \cdot C4}} = \sqrt{150^2 + \frac{1}{2\pi * 5MHz}}$$

$$\Rightarrow C4 = 32,86pf \approx 39pF$$

$$j\omega C4' + \frac{1}{R_L'} = \frac{1}{R_L + \frac{1}{j\omega C4}}$$

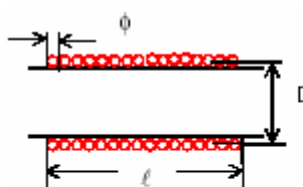


Trabajando el miembro de la derecha, para separar las partes real e imaginaria, e igualando la parte real de la izquierda con la de la derecha (para R_L') y la parte imaginaria de la izquierda con la de la derecha ($C4'$), obtenemos R_L' y $C4'$:

$$C4' = \frac{C4}{1 + (w \cdot C4 \cdot R_L)^2} = 32 \text{ pf} \quad R_L' = R_L \cdot \frac{1 + (w \cdot C4 \cdot R_L)^2}{(w \cdot C4 \cdot R_L)^2} = 6,4K$$

• Cálculo de L

Suponemos $C3 = 85 \text{ pf}$ (debe ser bastante mayor que $C4'$, para que este último no tenga marcada influencia sobre el circuito tanque).



$$\begin{aligned} \text{Si } \ell > \frac{D}{3} \quad (1) \quad L &= \frac{D^2 N^2}{\ell + 0,45 D} * 10^{-2} \\ \text{Si } \ell < \frac{D}{3} \quad (2) \quad L &= 0,8 \frac{D^2 N^2}{\ell + 0,3 D} * 10^{-2} \end{aligned}$$

L en μH
D en cm
 ℓ en cm

Entonces, $\begin{cases} \phi = 0,03 \text{ cm} \\ D = 0,73 \text{ cm} \\ \ell = N / 30 \text{ cm} \end{cases}$

$$L \approx \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot (C3 + C4')} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 5 \times 10^6)^2 \cdot (85 \times 10^{-12} + 32 \times 10^{-12})} = 8,66 \mu H$$

$$\phi_{\text{alambre}} = 0,3 \text{ mm}$$

$$\phi_{\text{bobina}} = 73 \text{ mm}$$

En nuestro caso, en principio suponemos que estamos en el caso (1), por lo que planteamos lo siguiente:

$$L = \frac{D^2 * N^2}{l + 0.45 * D} * 10^{-2}$$

Para $N = 60$ espiras

$$L = \frac{0.73^2 * 60^2}{\frac{60}{30} + 0.45 * 0.73} * 10^{-2} \Rightarrow L = 8.2389 \mu H$$

• Cálculo de RP de la bobina L

El Q de la bobina se calcula hallando el valor de ϕ del monograma de Packmann (para nuestro caso, siendo que $\lambda / D = 2.73$).

El monograma de Packmann arroja un valor de $\phi = 0.65$.

Luego aplicamos la siguiente ecuación para calcular el Q de la bobina:



$$Q = 75 \cdot D \cdot \varphi \cdot \sqrt{f_0} = 75 \cdot 0,73 \cdot 0,65 \cdot \sqrt{5} = 79,58.$$

En la práctica este Q generalmente se ve disminuido en un 20%, por pérdidas no contempladas, por lo que el Q que debemos usar es $Q \approx 63,66$.

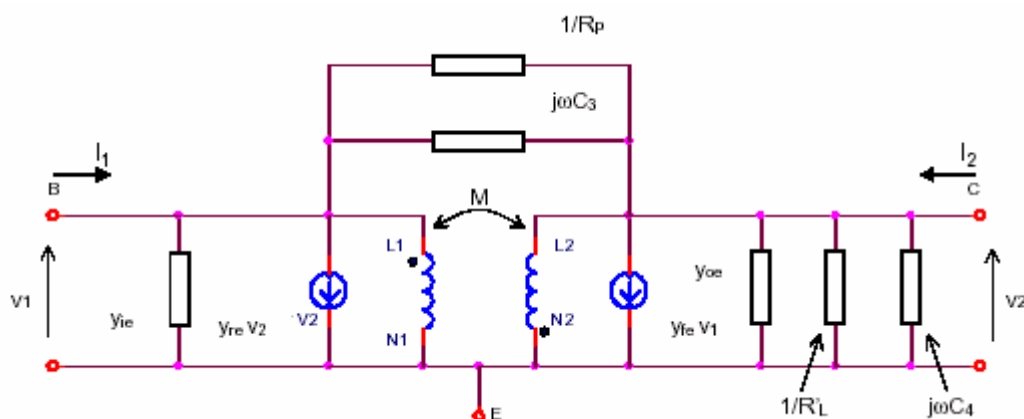
Ahora estamos en condiciones de calcular la R_p de la bobina:

$$Q_p = \frac{R_p}{X_p} \Rightarrow R_p = Q \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot L = 63,66 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 5 \times 10^6 \cdot 8,24 \times 10^{-6} = 16,479 K\Omega$$

• Modelo equivalente y criterio de oscilación

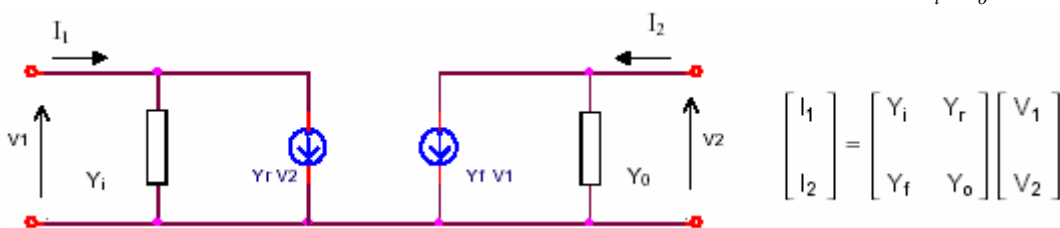
Este modelo es un modelo de pequeña señal, en donde $N = N_1 + N_2$; y $L = L_1 + L_2 + 2M$.

El criterio de oscilación que utilizaremos aquí es el de la ganancia infinita (tenemos señal de salida aunque la entrada sea cero), por el cual es necesario que el determinante total de las admitancias (logrado mediante la aplicación del teorema de superposición en donde evaluamos por separado las admitancias del transistor, de $j\omega C_3$



y $1/R_p$, de L , y de $1/R'_L$ y $j\omega C_4$) sea igual a cero:

$$Y_i \cdot Y_o - Y_f \cdot Y_r = 0, \text{ o lo que es lo mismo } \frac{Y_f \cdot Y_r}{Y_i \cdot Y_o} = 1 \Big|_0$$



Modelo simplificado de admitancias.

• Cálculo de C3 y N1-N2

De las gráficas características del transistor, podemos obtener los valores de las admitancias del transistor:

$$y_{ie} = g_{ie} + b_{ie} = 1,4 + j1,4 \text{ mA/v}$$

$$y_{oe} = g_{oe} + b_{oe} = 8,5 + j50 \text{ } \mu\text{A/v}$$

$$y_{re} = g_{re} + b_{re} = 23 \Big|_{270} \text{ } \mu\text{A/v} = 0 - j23$$

$$y_{fe} = g_{fe} + b_{fe} = 100 \Big|_{353} \text{ mA/v} = 99,25 - j12,19$$



Siendo que:

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

tenemos que Y_T :

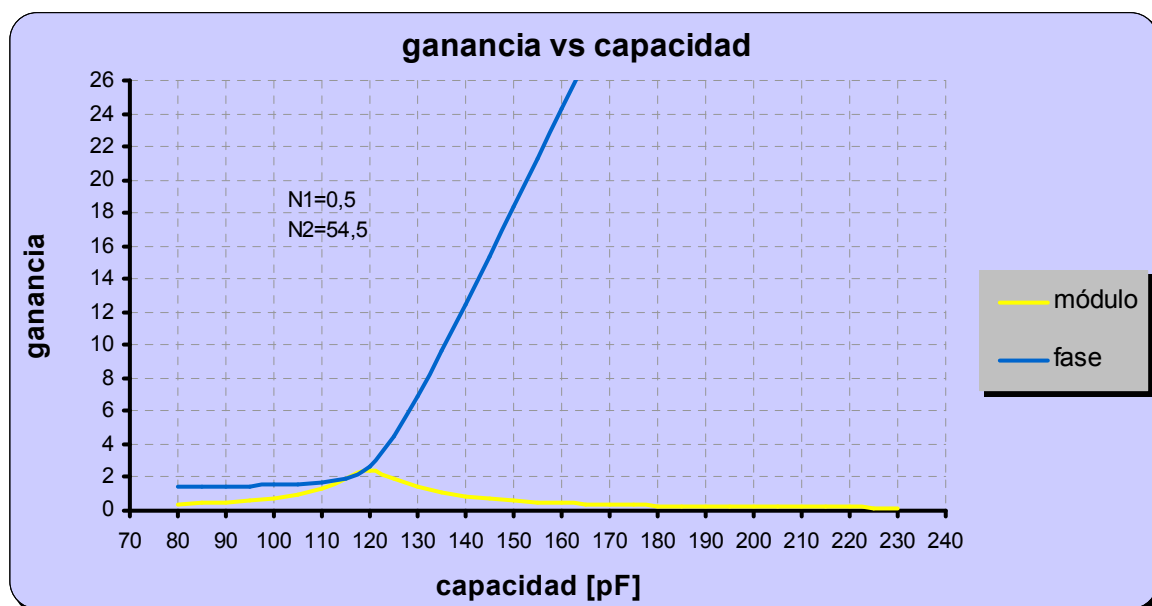
$$\begin{aligned} y_i &= g_i + j b_i = 1,46 \times 10^{-3} + j(1,4 \times 10^{-3} + b_3 - b_2) \\ y_o &= g_o + j b_o = 0,221 \times 10^{-3} + j(1,05 \times 10^{-3} + b_3 - b_1) \\ y_r &= g_r + j b_r = -0,0574 \times 10^{-3} + j(-23 \times 10^{-6} - b_3 - b_M) \\ y_f &= g_f + j b_f = 99,2 \times 10^{-3} + j(-12,19 \times 10^{-3} - b_3 - b_M) \end{aligned}$$

$$\text{siendo: } b_1 = \frac{L_1}{\omega(L_1 L_2 - M^2)} \quad b_2 = \frac{L_2}{\omega(L_1 L_2 - M^2)} \quad b_3 = \omega C_3 \quad b_M = \frac{M}{\omega(L_1 L_2 - M^2)}$$

Lo que hacemos para conocer los valores de g_i , g_o , g_r , g_f , b_1 , b_2 , b_3 y b_M (sin calcularlos manualmente) es remitirnos a la planilla de EXCEL, luego de haber incorporado los datos requeridos ya calculados de nuestro oscilador e ir probando con distintos valores de C_3 hasta hallar uno que satisfaga la o las condiciones del criterio de oscilación empleado, la cual en este caso, recordando, es de que $\frac{Y_f \cdot Y_r}{Y_i \cdot Y_o} = 1 \mid 0$. De

aquí que, para un valor de $C_3 = 105$ pf, la planilla nos arroja un valor: $0,9961 \mid 1,58$, el cual es una aproximación bastante buena.

El comportamiento de la fase/módulo en función de C_3 puede ser apreciado en el siguiente gráfico:





- **Cálculo de C2**

Como X_{C2} está en serie con la base, debe cumplirse que:

$$X_{C2} \ll \frac{1}{|y_{ie}|} \therefore C2 \gg \frac{|y_{ie}|}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{1.979}{2 \cdot \pi \cdot 5\text{MHz}} = 63\text{pf} \Rightarrow C2 = 10\text{nf} \gg 63\text{pf}$$

- **Cálculo de C1**

$$X_{C1} \ll R_P // R'_L \therefore C1 \gg \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot (R_P // R'_L)} = 6,8\text{pf} \Rightarrow C1 = 10\text{nf} \gg 6,8\text{pf}$$

También, debido a que C1 debe impedir que el riple de 100Hz pase al oscilador, tenemos que:

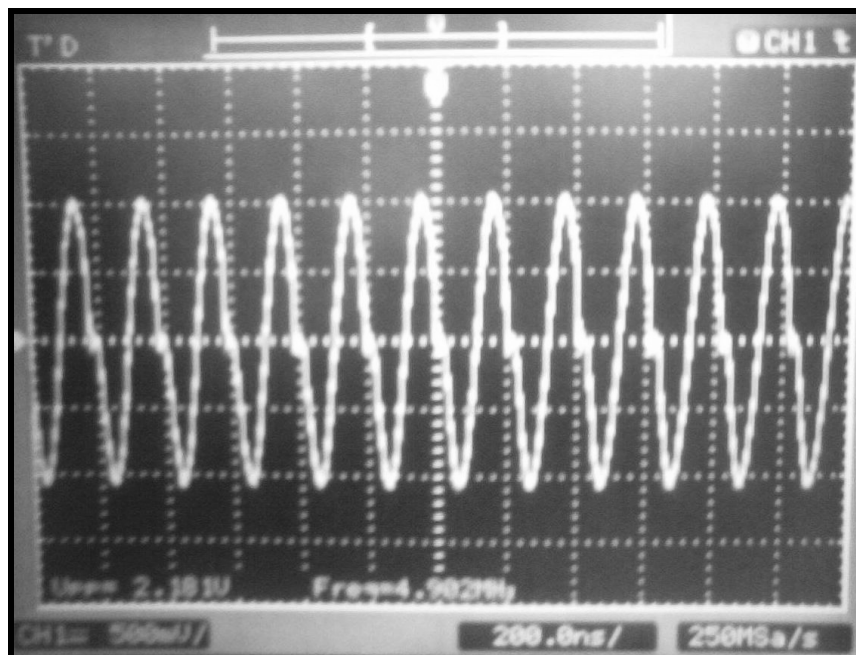
$$R1 \gg \frac{1}{100 \cdot C1} \therefore C1 \gg \frac{1}{100 \cdot R1} = 8.33\mu\text{f} \Rightarrow C1 = 100\mu\text{f} \gg 8.33\mu\text{f}$$

Por lo tanto, lo que hacemos es poner en el lugar de C1, un capacitor de 100μf en paralelo con otro de 10nf.

Mediciones de Laboratorio

Para realizar las mediciones se utilizó un osciloscopio Agilent y los resultados obtenidos fueron:

- Frecuencia de oscilación → 4.902MHz
- Potencia de salida → 14.7mW



Respuesta de salida del oscilador

Conclusiones

Hemos observado que al momento de alimentar el circuito, éste comienza a oscilar automáticamente como era previsible, pero para lograr la frecuencia deseada debimos quitar una gran cantidad de vueltas a L2. De esta manera, la bobina quedo:

$N1 = 0.5$ vueltas

$N2 = 40$ vueltas

Una vez que obtuvimos la frecuencia deseada, tuvimos que aumentar la potencia de salida reajustando el capacitor C4 en serie con la carga. Reduciendo C4 a 18pF (la mitad del valor calculado) obtuvimos una potencia bastante mayor a la necesaria en la carga.

La forma de onda que observamos en el osciloscopio, se corresponde a la comentada en el apunte, la cual es prácticamente una senoidal.

Aparte de los ajustes que debimos hacer en el circuito, oscilador no tiene otros inconvenientes, lo cual hace que su funcionamiento sea garantizado.