

## Diseño un oscilador Colpitts a una frecuencia de 105 MHz

### Introducción

El funcionamiento de los circuitos osciladores senoidales está basado en la inestabilidad de sistemas realimentados como el de la figura 1. Estos circuitos están compuestos por una etapa amplificadora, una red de realimentación, y tienen la característica de no poseer ninguna entrada.

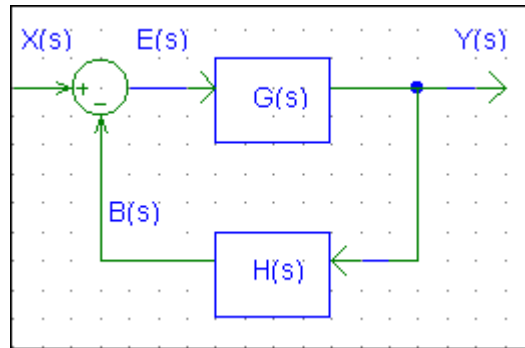


Figura 1

Es posible abordar el análisis teórico de los osciladores senoidales partiendo de la teoría de sistemas. La función de transferencia en lazo cerrado del sistema retroalimentado de la figura 1 es:

$$M(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

Desde el punto de vista de análisis en frecuencia, se puede demostrar que el sistema es oscilante cuando:

$$1 + G(s)H(s) = 0$$

es decir, cuando:

$$G(j\omega)H(j\omega) = -1 = 1_{\pi} = e^{j\pi}$$

lo cual implica dos condiciones:

$$\begin{aligned} |G(j\omega)H(j\omega)| &= 1 \\ \Phi[G(j\omega)H(j\omega)] &= \pi \end{aligned}$$

Esto es debido a que en esta situación, la función de transferencia en lazo cerrado contiene polos sobre el eje imaginario, dando lugar a respuestas transitorias oscilatorias puras, es decir, funciones senoidales que no se ven multiplicadas por ningún término exponencial de

exponente negativo. Esto significa que ante cualquier excitación el sistema oscilará indefinidamente.

La particularidad de los circuitos electrónicos osciladores es que no tienen entrada, y además, la retroalimentación suele ser positiva, siendo su diagrama de bloques el de la figura 2.

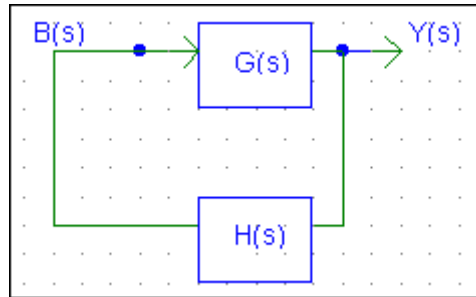


Figura 2

Debido a este cambio de signo, en este tipo de circuitos la condición de oscilación es:

$$1 - (s)H(s) = 0$$

$$G(j\omega)H(j\omega) = 1 = 1_0 = e^{j0}$$

y en definitiva:

$$\begin{aligned} |G(j\omega)H(j\omega)| &= 1 \\ \Phi[G(j\omega)H(j\omega)] &= 0 \end{aligned}$$

Es decir, para que un circuito retroalimentado positivamente oscile se debe de cumplir que al módulo de la función de transferencia en lazo abierto sea la unidad y que el desfase de dicha función sea nulo.

## Diseño del oscilador

El oscilador que implementaremos será el oscilador Colpitts en configuración de colector común, el diagrama general de este oscilador se muestra en la figura 3.

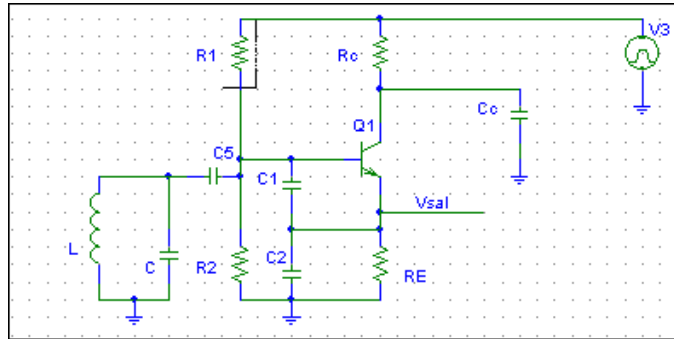


Figura 3

Una explicación del funcionamiento de este circuito se da a continuación:

La reactancia de los capacitores de retroalimentación deben ser más pequeñas de los elementos de la red. Además debemos colocar un par de elementos que asegure que a cierta frecuencia, la retroalimentación positiva se mantenga.

Los dos elementos que se mencionaron anteriormente pueden ser una red LC, el llamado circuito tanque, este circuito debe ser de tal forma que a una cierta frecuencia la impedancia de entrada sea muy grande, esta frecuencia es la frecuencia de resonancia, después de esa frecuencia se ve una impedancia muy pequeña de tal forma que ya no se permitan oscilaciones.

Lo primero para construir nuestro oscilador es realizar una buena polarización del transistor para asegurar que nuestra señal no se distorsionará.

Propongamos una corriente de colector  $I_C = 10 \text{ mA}$ .

Propongamos un voltaje en la resistencia de colector de  $2 \text{ V}$ .

$$\text{Entonces } R_C = \frac{2}{10 \text{ mA}} = 200 \Omega$$

Sea el voltaje en la resistencia de emisor de  $5 \text{ V}$ .

$$I_C \approx I_E \Rightarrow RE \approx \frac{5 \text{ V}}{.01 \text{ A}} = 500 \Omega$$

$$\text{De forma aproximada sea } \beta = 50 \Rightarrow \frac{I_C}{\beta} = \frac{10 \text{ mA}}{50} = 200 \mu \text{ A}$$

Sea la corriente  $I_{R1}$  y  $I_{R2}$  que pasa por  $R_1$  y  $R_2$  igual a 10 veces la corriente de base  $I_B$ .

$$I_{R1} = I_{R2} = 2\text{mA}$$

$$\frac{V_{cc}}{R_1 + R_2} = 0.002 \Rightarrow R_1 + R_2 = \frac{12}{2} \times 10^3 = 6\text{k}\Omega$$

Suponiendo que  $V_{BE} = 0.7\text{ V}$

$$V_B = V_{BE} + V_E = 5.7\text{ V}$$

$$\frac{V_{cc}(R_2)}{R_1 + R_2} = \frac{12(R_2)}{R_1 + R_2} = 5.7\text{V}$$

$$R_2 = (6\text{k}\Omega)(5.7\text{V})/12\text{V} = 2.8\text{ k}\Omega$$

$$R_1 = (6\text{k}\Omega - 2.8\text{k}\Omega) = 3.2\text{ k}\Omega$$

Aproximando estos valores a los valores comerciales, tenemos:

$$R_E = 470\Omega$$

$$R_C = 180\Omega$$

$$R_2 = 2.7\text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 3.3\text{ k}\Omega$$

En la figura 4 se muestran los resultados obtenidos en la simulación con estos valores del circuito de polarización.

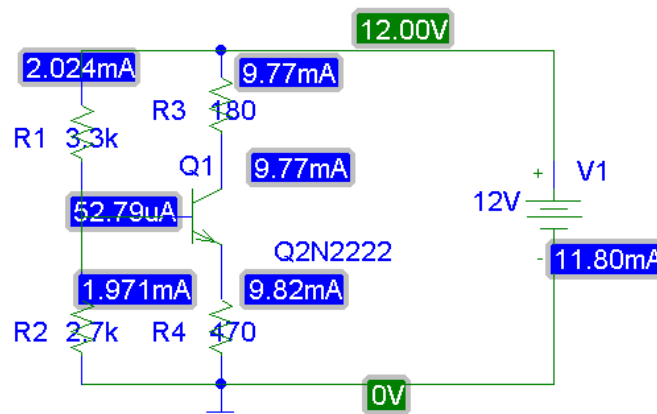


Figura 4

Podemos observar un valor de corriente muy cercano al propuesto, ya que tenemos una  $I_c$  de 9.77 mA, y la que requeríamos era de 10 mA, esta diferencia se le puede asociar a los valores aproximados al trabajar con resistencias existentes en el mercado,

Ya que tenemos los valores de polarización procedemos a proponer y/o calcular los valores apropiados para tener un oscilador Colpitts a 105 MHz, considerando que a la frecuencia de resonancia entran en juego todas las capacitancias del circuito.

Empecemos proponiendo una reactancia del capacitor que va de emisor a base de  $100 \Omega$ , vimos en clase que esta era apropiada para nuestra aplicación. También el capacitor que va de emisor a tierra deberá tener un valor próximo a este.

$$\text{Entonces } C_1 = C_2 = \frac{1}{(2\pi)(105 \times 10^6)(100)} = 15.15 \text{ pF}$$

Estos son valores aproximados, los cuales iremos variando para obtener adecuados valores de frecuencia y calidad de nuestra señal del oscilador.

Ahora propongamos también un capacitor del circuito tanque con una reactancia también de  $100 \Omega$ , y por lo tanto tendrá que ser la del inductor:

$$C = \frac{1}{(2\pi)(1.5 \times 10^6)(100)} = 15.15 \text{ pF}$$

$$L = \frac{100}{(2\pi)(105 \times 10^6)} = 151.57 \times 10^{-9} \text{ H}$$

Si proponemos que la reactancia capacitiva del capacitor de colector  $C_C$  es  $10 \Omega$ , mucho menor a la resistencia de colector, tenemos:

$$X_{CC} = [10 \Omega]_{105 \text{ MHz}}$$

$$C_C = \frac{1}{(2\pi)(105 \times 10^6)(10)} = 150 \text{ pF}$$

El capacitor de acoplamiento entre la base del transistor y el circuito tanque, lo elegimos de un valor mas o menos grande, de tal forma que al verlo en serie con los capacitores  $C_1$  y  $C_2$  domine el valor de estos últimos. Entonces podemos proponer una capacitancia de 5 a 10 veces mayor a la de los capacitores de retroalimentación.

Otra cosa que tenemos que considerar es que existe una capacitancia del transistor entre base y emisor y que es aproximadamente de 6 a 8 pF en este transistor por lo que en la simulación se tomarán en cuenta, restándoselos al capacitor dos (el que colocamos entre base y emisor externamente).

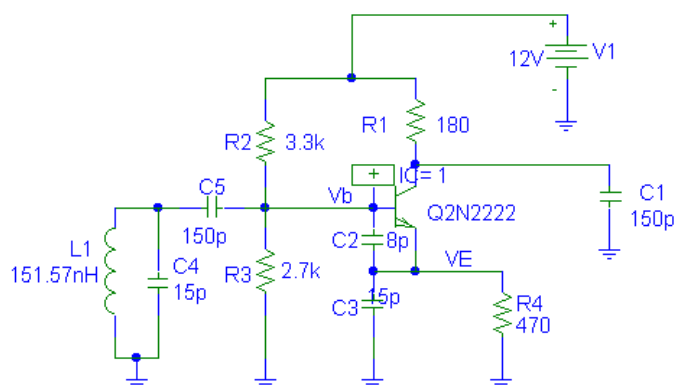


Figura 5

En la figura 5 se muestra el primer circuito propuesto como oscilador (consideremos que para poder simular se necesita una condición inicial, colocada en la base). Las gráficas las observamos en las figuras 6, 7 y 8.

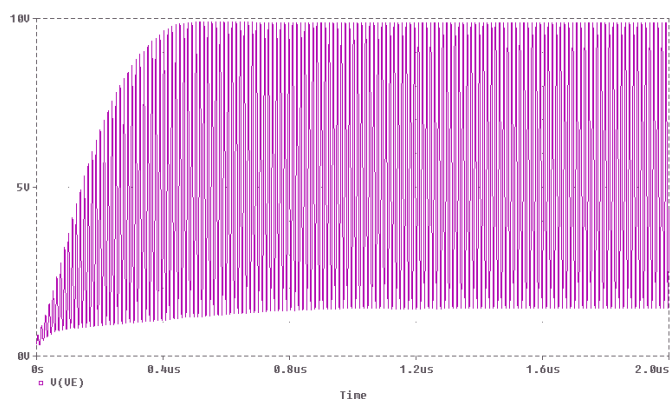


Figura 6

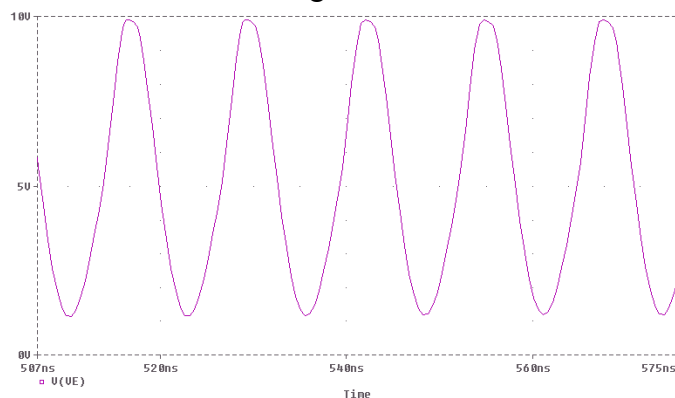


Figura 7

En la figura 5 se muestra la gráfica del circuito oscilador Colpitts, en el cual podemos ver el tiempo en el que empieza a oscilar, que se acerca a los 400 ns. Haciéndole un zoom podemos observar mejor la forma de la señal, como lo vemos en la figura 7, en la cual se ve una señal aceptable en amplitud y forma.

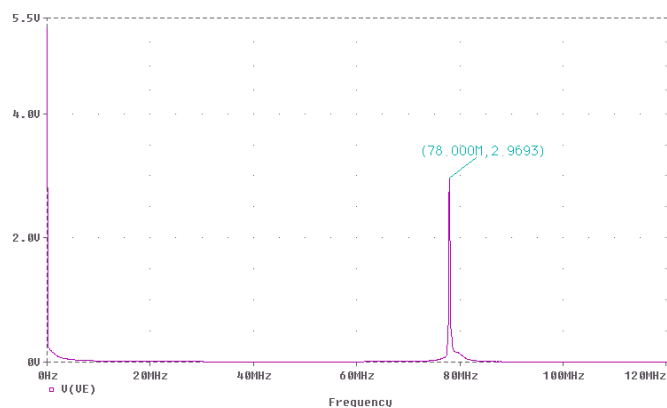


Figura 8

Si aplicamos la transformada de Fourier a esta señal, obtenemos la gráfica de la figura 8, la cual nos da la frecuencia y la amplitud. Podemos notar que no es lo que esperábamos, entonces empezamos a ver que capacitancias pueden tener efecto mayor en este corrimiento de frecuencia.

Tomemos un valor menor del capacitor de acoplamiento y veamos el efecto de la variación de este, empezando de 40 p hasta 80 p.

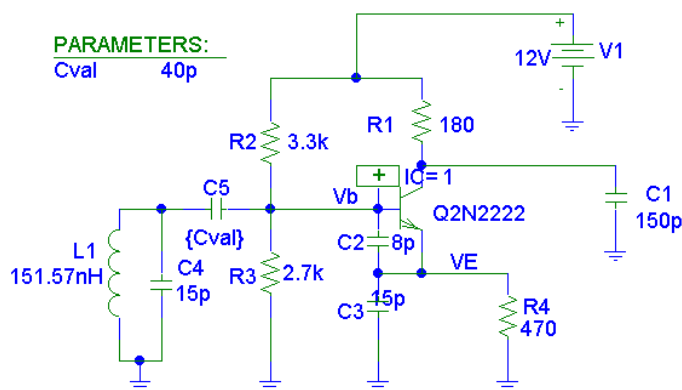


Figura 9

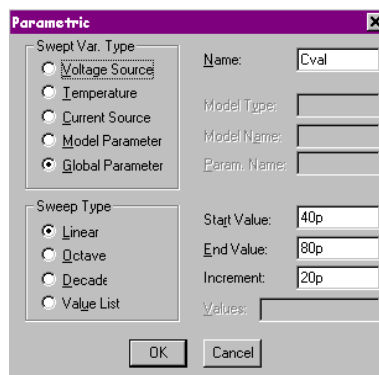


Figura 10

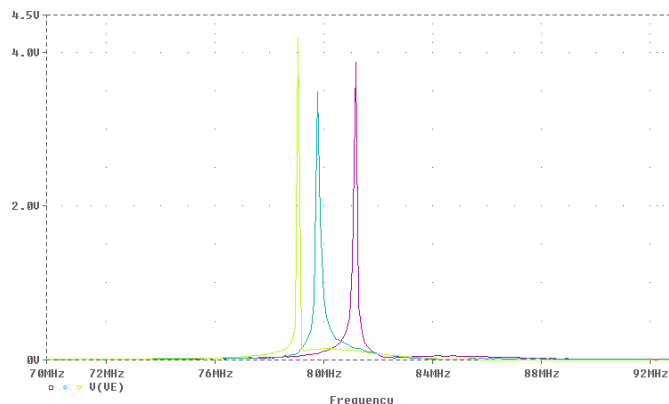


Figura 11

Esto nos permite ver que entre menor sea el capacitor, la frecuencia se acerca más a la frecuencia calculada.

Escogamos un capacitor de 15 pF para el acoplamiento y ahora tratemos de ver el efecto de el capacitor del emisor.

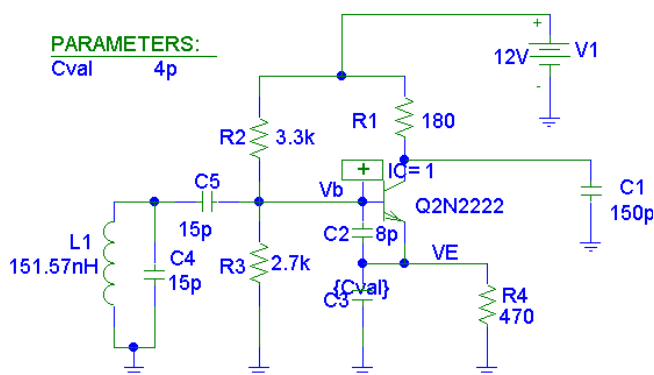


Figura 12

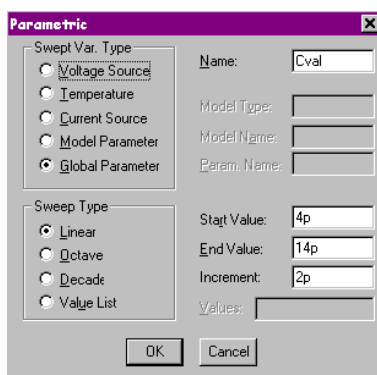


Figura 13



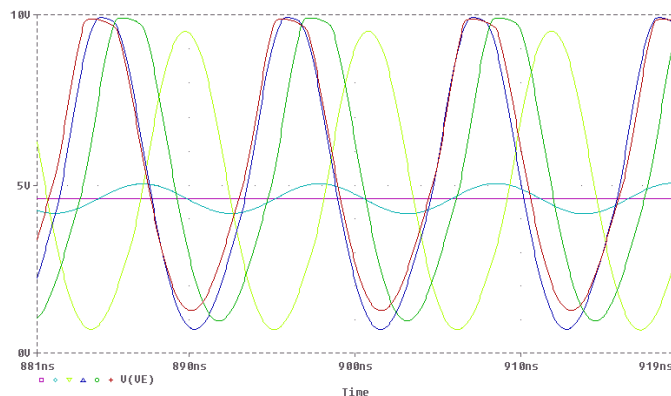


Figura 14

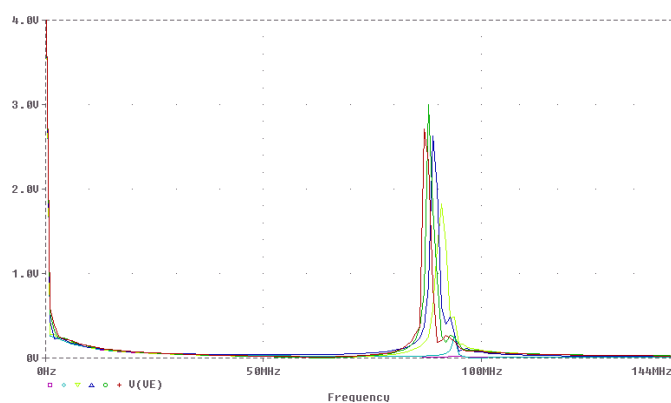


Figura 15

De acuerdo con estas gráficas, elegí el valor de 8 pF para el capacitor de emisor, entonces ya tengo dos valores, ahora veremos si que efecto tiene el variar el capacitor entre emisor y base. (Figura 17).

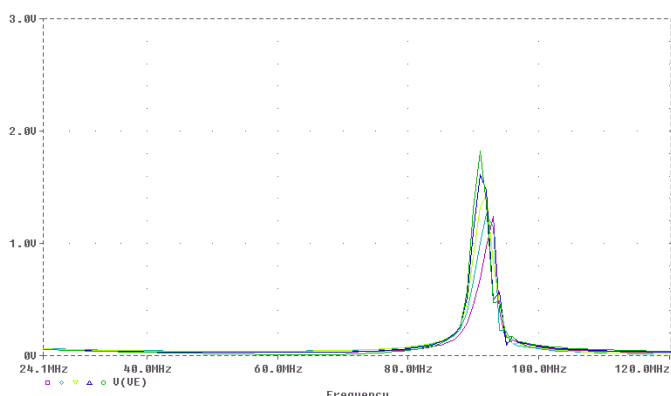


Figura 17

Vemos que bien podemos utilizar un valor de 6 pF y tendremos oscilación adecuada. Veamos la simulación del circuito final, (figura 18, 19 y 20).

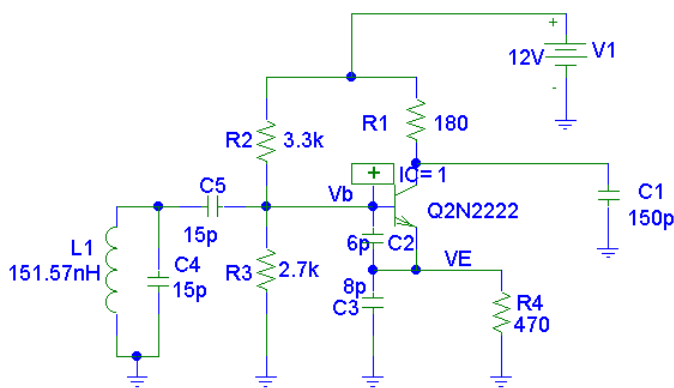


Figura 18

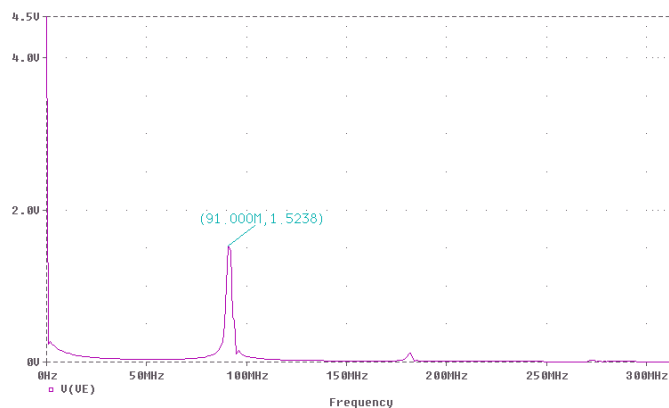


Figura 19

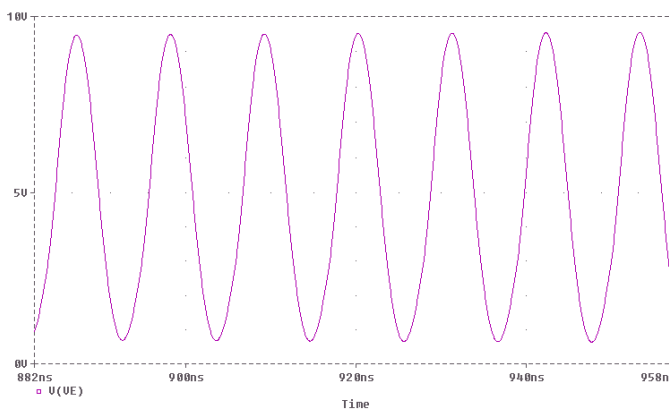


Figura 20

Tenemos un voltaje menor pero una frecuencia mas cercana al valor deseado, aunque una buena forma de oscilación.

Por último, cambiemos un poco los valores de la bobina para obtener un valor adecuado de frecuencia de oscilación.

El circuito es el siguiente:

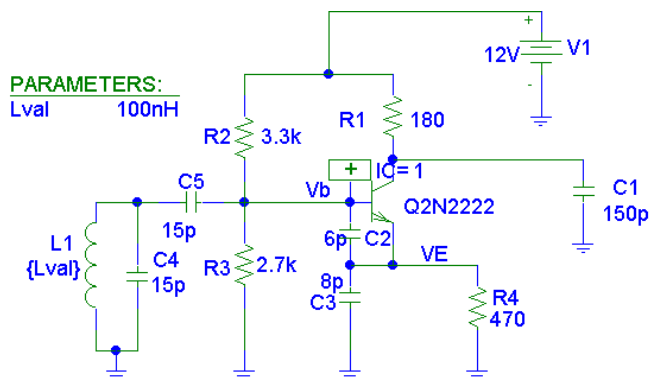


Figura 21

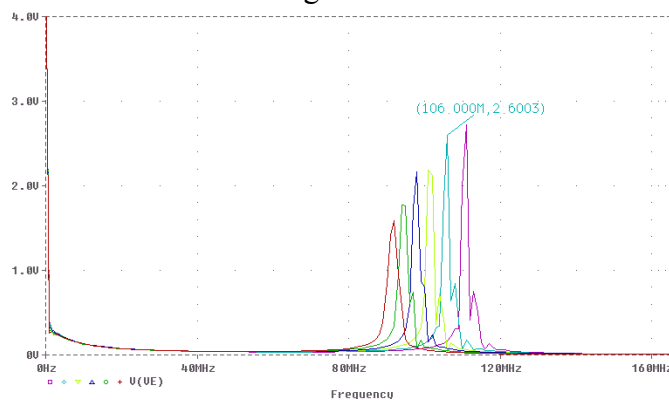


Figura 22

Observamos que el valor de bobina mas cercana a los 105 MHz es el de 110 nH, entonces buscamos un valor un poco mayor a 110nH y menor a 120nH hasta coincidir con los 105MHz. El valor encontrado fue el de 111 nH, y la curva se observa en la figura 23.

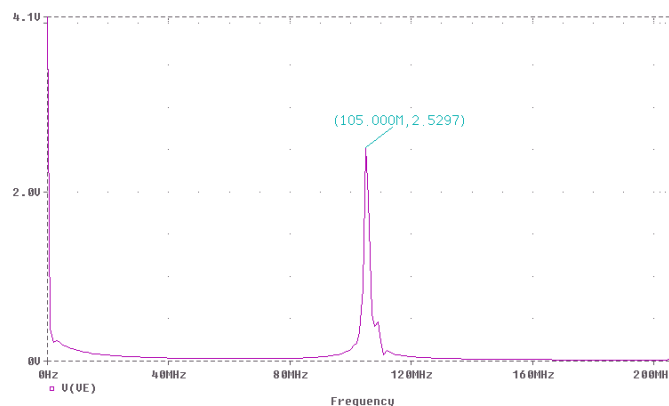


Figura 23

Con esto queda completado el diseño, y observamos algunos de los efectos de los capacitores de retroalimentación y el de acoplamiento.