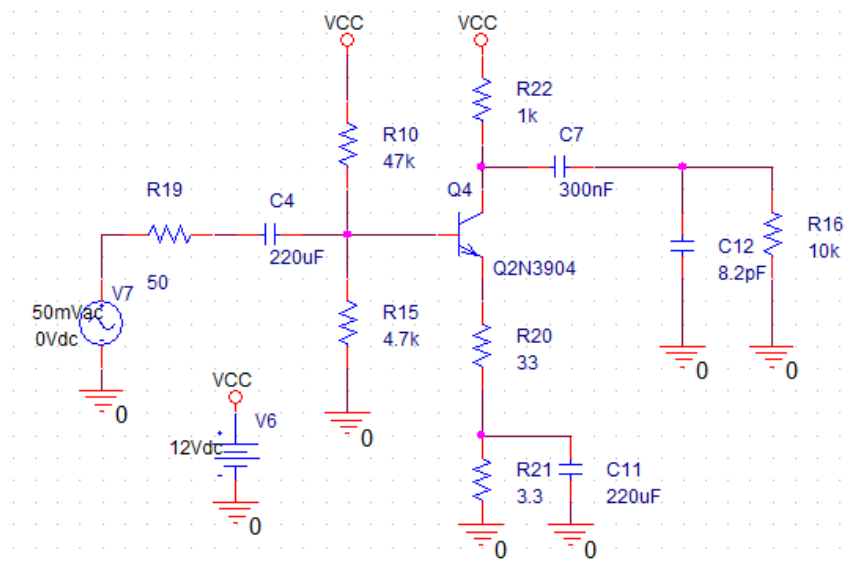


Bitácora de Radiofrecuencia - Grupo 4

1. Amplificador de Banda Ancha

Para el desarrollo de esta práctica se pide implementar un amplificador con ganancia de mínimo 20 y frecuencias de corte superior e inferior de 100 y 6 MHz respectivamente. En el diseño del amplificador de banda ancha se eligió el amplificador emisor común con resistencia de emisor porque permite obtener un ancho de banda bastante amplio debido a la baja ganancia con la que cuenta este tipo de amplificador.



Prelaboratorio:

En la etapa de polarización se espera obtener una corriente de 6 mA con una alimentación de 12 V, tal y como se ilustra en la Figura anexa.

Para la implementación del circuito se utilizó un transistor de referencia 2N3904 cuyo Beta suministrado por el fabricante es de 300, de manera que podemos permitirnos aproximar la igualdad entre la corriente de emisor y la corriente de colector.

Antes de iniciar los cálculos del diseño del circuito cabe aclarar que las ecuaciones correspondientes a la polarización de este tipo de circuitos han sido empleadas constantemente durante cursos anteriores de manera que no se hace necesario una explicación algebraica del origen de estas. Un criterio de diseño muy utilizado se relaciona con la tensión de base, la cual se modifica para que posea un decimo de la tensión de alimentación, con lo que podemos asegurar que la resistencia de emisor no sea excesivamente pequeña:

$$\frac{R1}{R2+R1} * V1 = Vb \Rightarrow \frac{R1}{R2+R1} * 12 = 1.2 \Rightarrow R1 = 9R2$$

De esta manera podemos definir un valor cualquiera de R1, con lo que inmediatamente obtendremos el valor de R2. En nuestro caso definimos R1 como 47 kΩ? siendo R2 de un valor correspondiente a 5.2 kΩ cuyo valor comercial más cercano es de 5.1 kΩ.

En cuanto a la corriente de polarización establecida (Ic=6mA), podemos hallar los valores de las resistencias restantes, definiendo Rc y RL con valores arbitrarios de 1 kΩ y 10 kΩ en nuestro caso.

$$Ic = \frac{1-0.7}{R4+R5} \Rightarrow 6 \text{ mA} = \frac{0.3}{R4+R5} \Rightarrow R4 + R5 = 40 \Omega$$

Con estos valores y usando la ecuación de ganancia aproximada de este tipo de amplificadores tenemos que:

$$Av = \frac{R3}{re+R4} \Rightarrow 24 = \frac{1000}{re+Re}$$

En donde re se expresa como sigue:

$$re = \frac{Vt}{Ic} = \frac{25 \text{ mV}}{5 \text{ mA}} = 3.3 \Omega$$

Teniendo entonces que el valor de Re corresponde a:

$$R4 = \frac{5000}{20} - 5 = 33 \Omega$$

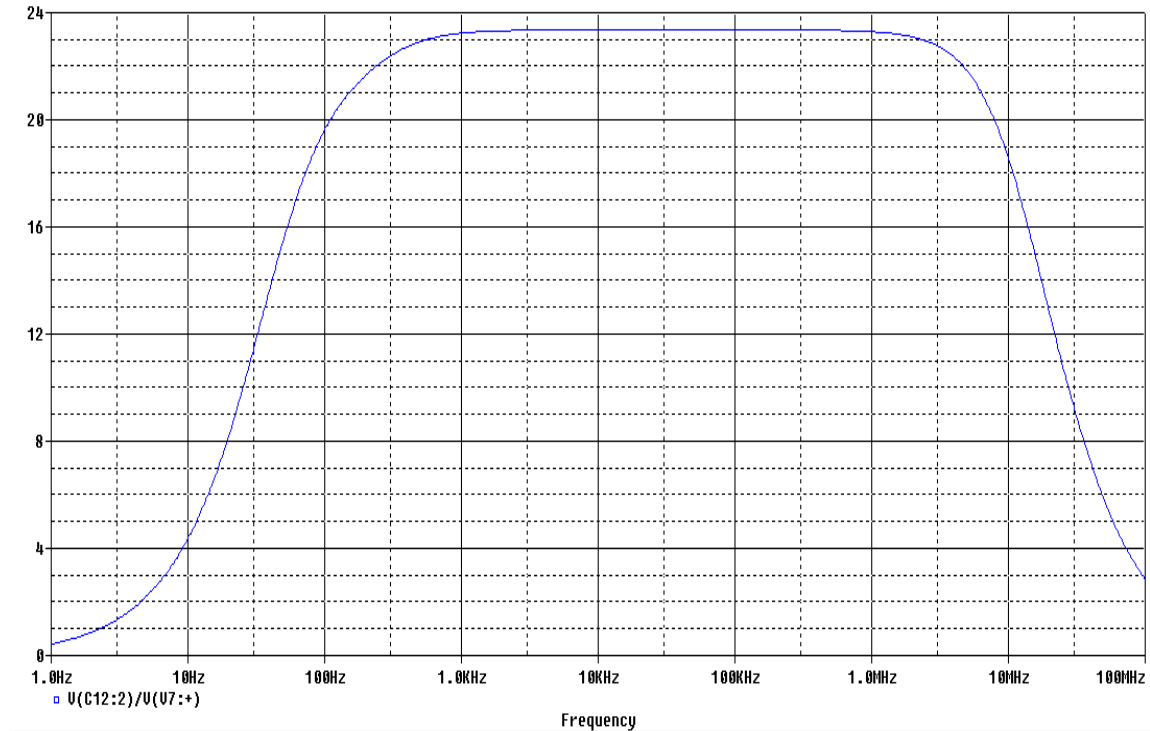
De donde finalmente podemos despejar el valor de R5, siendo igual a:

$$R4 + R5 = 40 \Omega \Rightarrow 33 \Omega + R5 = 40 \Omega \Rightarrow R5 = 7 \Omega$$

Por ultimo, se normalizan los valores de las resistencias halladas anteriormente de manera que:

$$R1 = 1 \text{ k}\Omega, R3 = 10 \text{ k}\Omega R6 = 47 \text{ k}\Omega ; R2 = 4.7 \text{ k}\Omega ; R5 = 33 \Omega ; R4 = 7 \Omega$$

La simulación del circuito anterior se muestra a continuación:



Se observa que el amplificador cumple con los requerimientos de diseño

Laboratorio

Se realizó el montaje del amplificador, se verificó el punto de polarización y se encontró con que era de 5.7 V lo cual concuerda con los cálculos y las simulaciones realizadas. Se conectó la alimentación DC y se realizaron las mediciones correspondientes para determinar el ancho de banda. Lo anterior se realizó por medio de un barrido desde la frecuencia de 10 hz hasta 7.5 Mhz en una escala de 5 db por década. Los datos registrados se graficaron y son presentados a continuación:

Problemas resueltos en el laboratorio

El diseño del amplificador de banda ancha fue una tarea difícil debido a que existen muchos factores que pueden llegar a modificar el ancho de banda entre los que se encuentran las capacitancias parásitas presentes en el transistor y las capacitancias de acople y desacople .

Fue necesario realizar varios ajustes a los valores de las resistencias especialmente a la resistencia de emisor para que se disminuyera la ganancia y así lograr aumentar el ancho de banda.

Fue muy notoria la influencia de los condensadores de acople y desacople en el límite inferior del ancho de banda. Esto hizo que se cambiara la capaciatancia de acople de salida por un mayor valor para mejorar el punto de corte inferior del amplificador.

Conclusiones:

El trabajo con amplificadores de banda ancha es un proceso relativamente complejo dado que muchos

fenomenos, que por lo general no se tienen en cuenta a la hora de realizar el diseño, interfieren en su funcionamiento.

Tambien cabe anotar que en este tipo de circuitos se hace necesario tener una ganancia de voltaje baja para obtener un ancho de banda considerable.

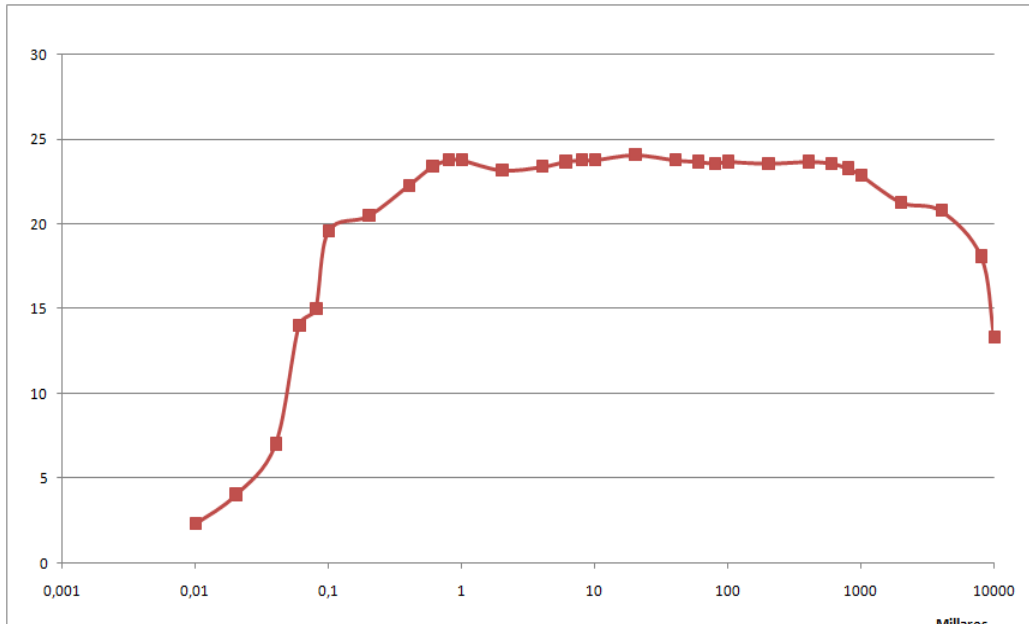
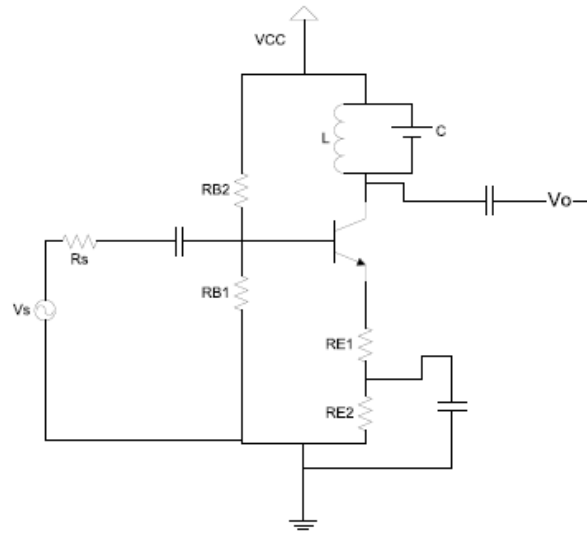


Fig. Mediciones de ganancia a diferentes frecuencias.

2. Amplificador con Carga Resonante

Emisor degenerado con carga LC

Para esta práctica se utilizará el circuito de la figura siguiente en la que se observa claramente que se ha reemplazado la resistencia R_c del amplificador anterior por una carga LC en paralelo.



La frecuencia de resonancia seleccionada para el grupo es de 4,4 Mhz con esto se calculan los valores de C y L por medio de la ecuación de para la resonancia de un circuito en paralelo:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}$$

Se estableció el valor de la inductancia para posteriormente calcular el valor de la capacitancia. El valor de la inductancia y capacitancia es de 16uH y 82pF respectivamente.

Ya que la ganancia aproximada de este tipo de amplificadores corresponde a $A_v = -R'_L/R_e$ en donde R'_L es igual $R_c || R_L$ siendo estas resistencias la de colector y carga respectivamente, se hace necesario redefinir entonces el valor de R_e puesto que en nuestro caso y al no haber un valor definido de R_c la resistencia R'_L corresponde a la equivalente del circuito LC en paralelo. Para obtener el valor de esta resistencia despreciamos los efectos resistivos del capacitor y solo tenemos en cuenta los correspondientes a la bobina, procediendo de la siguiente manera:

$$R'_L = R_{Lpar} = R_{Lser}(1 + Q^2) \text{ y } R_{Lser} = \frac{W_0 L}{Q} \text{ y } Q = 20$$

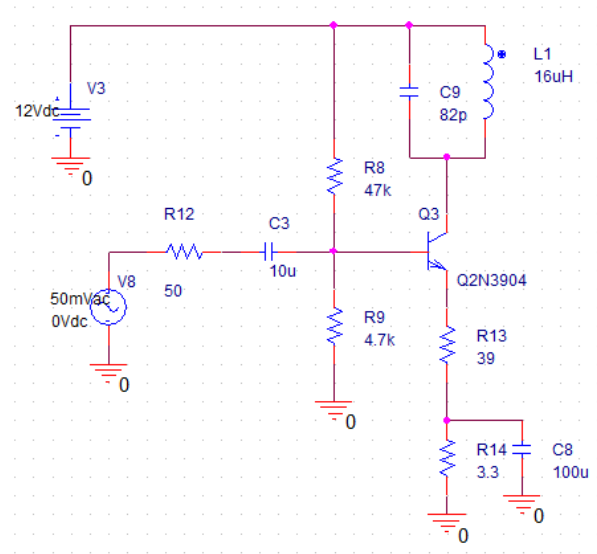
$$R_{Lser} = \frac{70,4}{20} = 3,52 \Rightarrow R'_L = R_{Lpar} = 3,52(1 + 400) = 1411,52 \Omega$$

Con este dato y el correspondiente a la ganancia hallamos entonces el valor de R_e necesario. Según la guía el valor mínimo de ganancia exigido es de 250 por lo que para los cálculos tomamos un valor de 260 evitando así posibles problemas referentes a la gran cantidad de elementos no tenidos en cuenta a la hora de hacer este análisis.

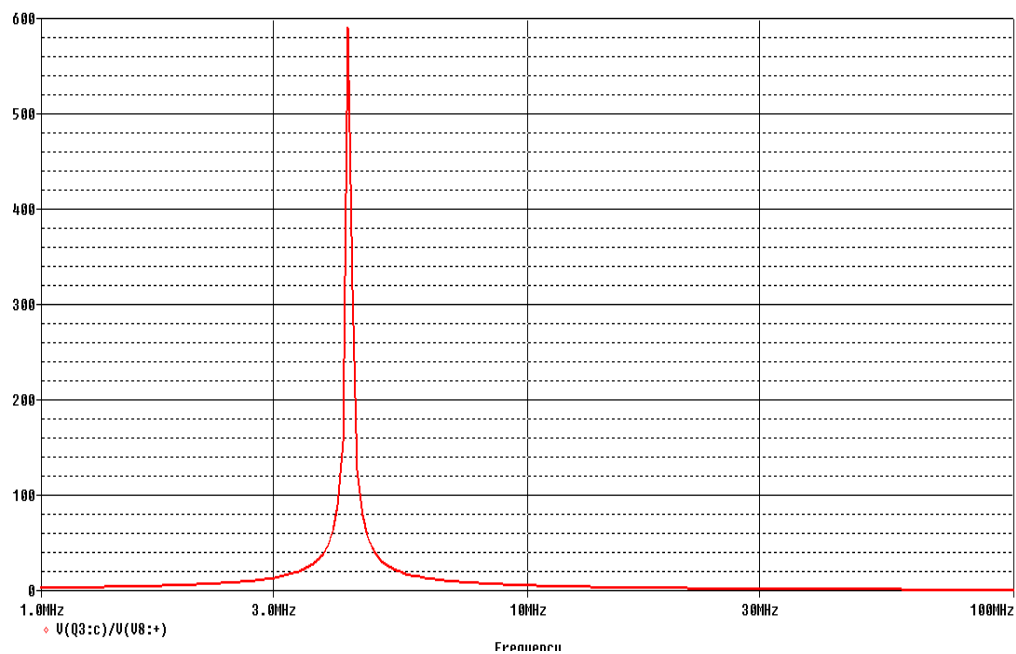
$$A_v = R'_L/R_e \Rightarrow R_e = R'_L/A_v \Rightarrow R_e = 1411,52/260 \Rightarrow R_e = 5,42 \Omega$$

Por lo que finalmente se toma un valor comercial de 5,6 Ω .

El circuito a implementar se muestra en la siguiente figura:



Se realizó la simulación con del circuito amplificador de frecuencia selectiva la cual se muestra en la gráfica a continuación.



LABORATORIO

Midan el ancho de banda y la ganancia de su circuito

El ancho de banda medido en el laboratorio fue de 232kHz.

La ganancia obtenida fue de 242,6 V/V.

¿Que propiedades se observan en el circuito?

Gracias a la conexión de la bobina y el capacitor, que se conoce como configuración tanque, en el colector se observa una señal a la salida relativamente grande en comparación con la entrada a pesar de no haber cambiado la alimentación en DC, lo que representa una generación mayor de energía en comparación con

lo obtenido en la practica 1 con un circuito relativamente parecido.

¿Que puede decir acerca de las propiedades observadas?

Las propiedades observadas, que se relacionan directamente con la configuracion tanque, se dan debido a que se presenta un almacenamiento de energia en la bobina que a su vez carga el condensador en paralelo el cual, al tener una resistencia despreciable, obtiene un alto tiempo de descarga presentando asi el denominado efecto tanque que le da el nombre al circuito.

¿Que tan bueno fue su calculo del ancho de banda?

El calculo de ancho de banda, que se hizo tomando en cuenta el Q de la bobina y la frecuencia de resonancia exigida, nos arrojó un valor de 220 kHz. En este caso como el valor obtenido fue de 232 kHz tendríamos un error del 0,05 %.

¿Que sucede al conectar la resistencia de carga?

Al conectar la resistencia de 1 k a la carga el cambio mas significativo se da con respecto a la ganancia del circuito, reduciendose hasta un valor de 96,3, ya que esta se pone en paralelo con la que, se supone, constituye la resistencia efectiva de la bobina.

Conclusion:

La principal conclusion que se obtiene de la utilizacion de este tipo de circuitos es que, mediante pequeñas modificaciones al circuito original de emisor degenerado, se pueden obtener valores de ganancias comparativamente grandes a la vez que una frecuencia de resonancia especifica junto con un ancho de banda relativamente reducido, lo que permite su utilizacion en gran cantidad de aplicaciones que requieran trabajos en regiones especificas del espectro.

Multiplicador de frecuencia por armonicos

Se realiza el cálculo de la inductancia y de la capacitancia exactamente igual que en el amplificador con carga resonante, pero en esta ocasión para una frecuencia de 12 Mhz.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}$$

Se establece el valor de la inductancia en 16uH y con esto se obtiene una capacitancia de 11 pF. Se normaliza el valor de la capacitancia a 10 pF y se calcula nuevamente la frecuencia de resonancia lo que da un valor de 12.58Mhz.

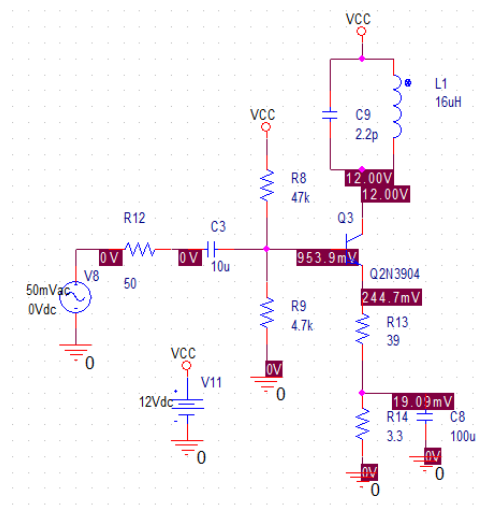


Fig.

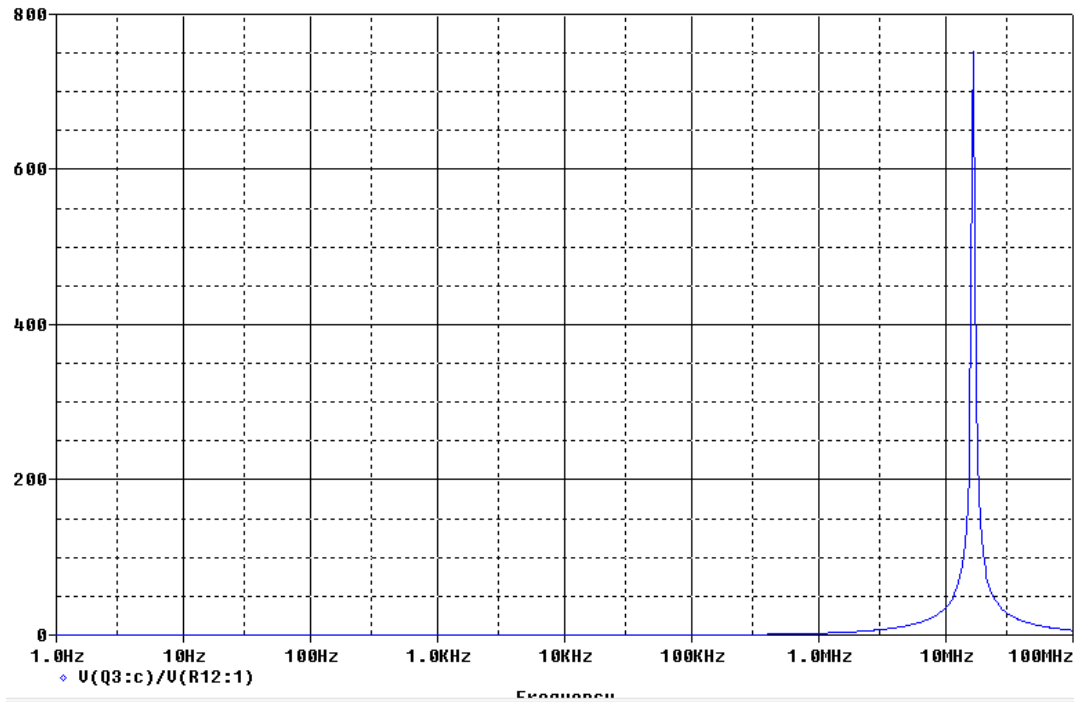


Fig.

LABORATORIO

Tal y como pudimos observar en la practica, la forma de onda a la salida que se obtiene al alimentar con una onda cuadrada corresponde a una onda seno.

Estos circuitos son utiles cuando por lo menos, no se puede conseguir un oscilador a la frecuencia requerida y que posea suficiente estabilidad. Tambien se usan cuando no se puede conseguir la modulacion a la frecuencia portadora necesaria, por lo que se modula a una frecuencia mas baja y posteriormente se multiplica por el factor necesario hasta alcanzar la frecuencia de emision. Algunos de estos multiplicadores se pueden implementar mediante la utilización de PLL lo que facilitar su utilización en sintetizadores de frecuencia de alto rango.

Entre las principales limitaciones que reducen su uso se encuentran la poca eficiencia de operacion al superar el tercer armonico, por lo que por lo general estos circuitos son duplicadores o triplicadores usandose en cascada en caso de requerir multiplicar por otro factor. Otra de las limitaciones, relacionada directamente con lo anterior, es que la multiplicacion solo se puede hacer por factores enteros. Ademas, tambien hay que tener en cuenta que por lo general su uso implica un desplazamiento de la frecuencia, de manera que se hace necesario emplear mezcladores para evitar este efecto.

3. Acoplador de Impedancias

Se realizó al cálculo de la frecuencia de resonancia que le corresponde al grupo y esta resultó de 800 khz. Con este valor de frecuencia se procede a realizar el cálculo del acoplador de impedancias para acoplar una carga de 50 ohm a la impedancia de salida del amplificador que es de 1k con una ancho de banda de 10

kHz.

Se realiza el calculo de Q_t , C , L , y N con $R_t = 1k$, $R_2 = 50$, $f_0 = 800 \text{ kHz}$, $\omega_0 = 5.026 \text{ Mrad/s}$ $B = 10 \text{ kHz}$.

[1]

$$Q_t = \frac{f_0}{B} = \frac{800 \text{ kHz}}{10 \text{ kHz}} = 80$$

$$C = \frac{1}{2\pi B R_t} = \frac{1}{2\pi(10 \text{ kHz})(1k)} = 15.9 \text{ nF} \approx 16 \text{ nF}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C} = \frac{1}{(5.026 \text{ Mrad/s})^2 (16 \text{ nF})} = 2.473 \text{ } \mu\text{H}$$
$$L \sim 3.3 \text{ } \mu\text{H}$$

$$N^2 = \frac{R_t}{R_2} = \frac{1K}{50} = 20$$

$$N = 4.472$$

A continuación se realiza el cálculo de Q_p y se comprueba si es mayor que 10.

$$Q_p = \frac{Q_t}{N} = \frac{80}{4.472} = 17.88 > 10$$

Como el valor de Q_p es mayor de 10 se realiza la aproximación $C_{2s} \approx C_2$ para el calculo de

C_1 y C_2

$$C_2 = \frac{Q_t}{\omega_0 R_2 N} = \frac{80}{(5.026 \text{ Mrad/s})(50)(4.472)} = 71 \text{ nF}$$
$$C_2 \sim 68 \text{ nF}$$

$$C_{2s} \approx C_2$$

$$C_1 = \frac{C C_{2s}}{C_{2s} - C} = \frac{(16 \text{ nF})(71 \text{ nF})}{71 \text{ nF} - 16 \text{ nF}} = 20.65 \text{ nF}$$

$$C_1 \sim 22 \text{ nF}$$

Finalmente se calcula es choque para que resulte una impedancia de 100k cerca de la frecuencia de resonancia.

$$L_{RFC} = \frac{100 \text{ k}}{5.026 \text{ Mrad/s}} = 19.89 \text{ mH}$$

$$L_{RFC} \sim 20 \text{ mH}$$

El esquema del circuito diseñado se muestra en la Figura (3.1)

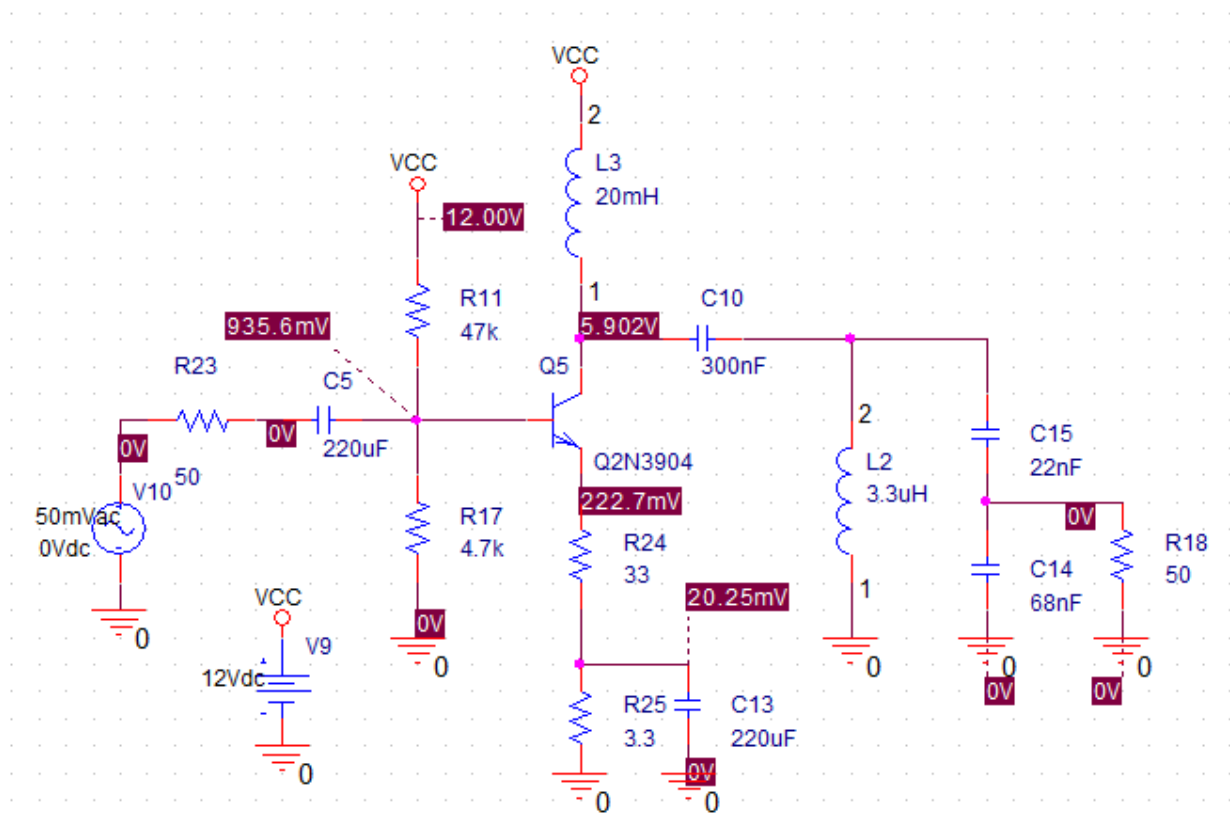
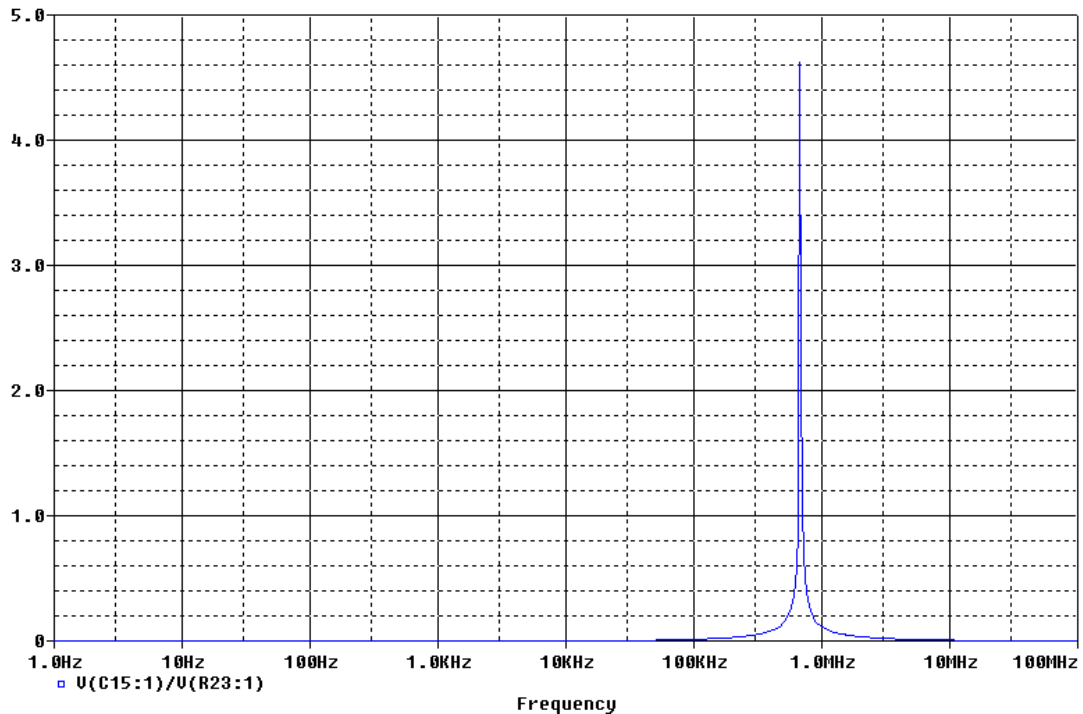


Fig 3.1. Circuito amplificador con acoplador de impedancias



Referencia

[1] J. Garzón. Introducción a la radiofrecuencias. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. octubre de 2008

LABORATORIO

Midan el ancho de banda, la ganancia y la potencia sobre la carga. Calcule el factor de calidad.

La frecuencia de resonancia medida en el laboratorio fue de 790 kHz..

Ganancia 23 V/V

La potencia en la carga vendrá dada por la ecuación V^2 / R , donde V en la carga será

$$50 \text{ mV} \cdot 23 = 1.15 \text{ V}$$

$$P = 1.15^2 / 50$$

$$P = 26.45 \text{ mW}$$

$$Q = 790 \text{ kHz} / 10 \text{ kHz}$$

$$Q = 79.$$

¿Qué propiedades observan del circuito?

Se ve que hay máxima transferencia de potencia en la Fr.

Si no estamos en f_r , el llamado “tanque” del circuito no se comportara como una carga resistiva.

¿Qué puede decir acerca de las propiedades observadas?

La frecuencia de resonancia es un fenómeno muy importante a la hora de hacer el acople de un equipo, pues ella es la que determina en que frecuencia ocurrira la maxima transferencia de potencia, que en la mayoria de los sistemas es el punto clave a desarrollar.

En el momento en que se esté fuera del rango de la frecuencia de resonancia, los componenets activos del circuito empezaran a consumir potencia, generando perdidas de energia, que a gran escala pueden llegar a ser considerables.

Mencione 2 aplicaciones de este tipo de circuitos

El acoplador de impedancias se hace necesario cuando se requiere máxima transferencia de potencia entre una fuente y un circuito, Principalmente son usados para acoplar la etapa de amplificación de un sistema de audio con el parlante, que generalmente tiene una impedancia mucho menor que la impedancia de salida del amplificador. También se pueden encontrar acopladores de impedancia en sistemas de video.

¿Que tan bueno fue su calculo del ancho de banda?

El valor del ancho de banda planteado en la practica es de 10 kHz pero dadas las características de los componentes utilizados al momento de implementar el circuito este aumentó hasta alcanzar los 25 kHz, arrojando un error considerable.

Problemas presentados

El principal error que se tuvo durante el desarrollo de esa practica estuvo relacionado con el alto error inicial con respecto al valor de ganancia de voltaje requerido, para lo cual fue necesario aumentar la resistencia de emisor y asi obtener el valor de ganancia requerido. Otro error importante se vio con respecto a la frecuencia de resonancia, para lo cual se opto por ajustar el valor de la inductancia y asi obtener la frecuencia de resonancia requerida.

Otro de los probelmas que se tuvo fue la medicion del ancho de banda del circuito, pues a la hora de graficarlo en el osciloscopio, se veia un pico y no se podia determinar con exactitud entre cual y cual frecuencia estaba el ancho de banda, como solucion se planteo utilizar el ancho de banda teorico para calcular el Q.

Práctica 4. Oscilador

Prelaboratorio

Para cumplir el criterio de Barkhausen y que el circuito oscile, se deben cumplir dos condiciones de lazo cerrado.

1. $AB = 1$
2. El desfase entre V_o y V_i debe ser un múltiplo entero de 360°

La función de transferencia del circuito con realimentación positiva tiene la siguiente forma

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{A}{1-AB}$$

El acople de impedancias de la práctica anterior se modificó para que la frecuencia de resonancia estuviera más cercana al valor pedido de 800 kHz. Para esto fue necesario emplear inductancias en paralelo y un par de condensadores en serie.

En la Figura 4.1 se observa el esquema del oscilador Colpitts emisor común. Se observa que la red de realimentación positiva la conforma el acoplador de impedancias. De acuerdo a los cálculos anteriores el acople de impedancias permite conectar una impedancia de 1 kohm con una impedancia de 50 ohm. Con los valores anteriores se calcula B que es la relación entre el voltaje de salida y el de entrada de la red de realimentación.

$$\left(\frac{V_o}{V_i}\right)^2 = a^2 = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{1k}{50} = 20$$

$$a = \sqrt{20} = 4.47$$

$$B = 1/a = 1/4.47 = 0.2237$$

Para cumplir la condición de Barkhausen se necesita que el producto AB sea un poco mayor que 1. Por lo tanto:

$$AB \geq 1$$

$$A \geq 4.47$$

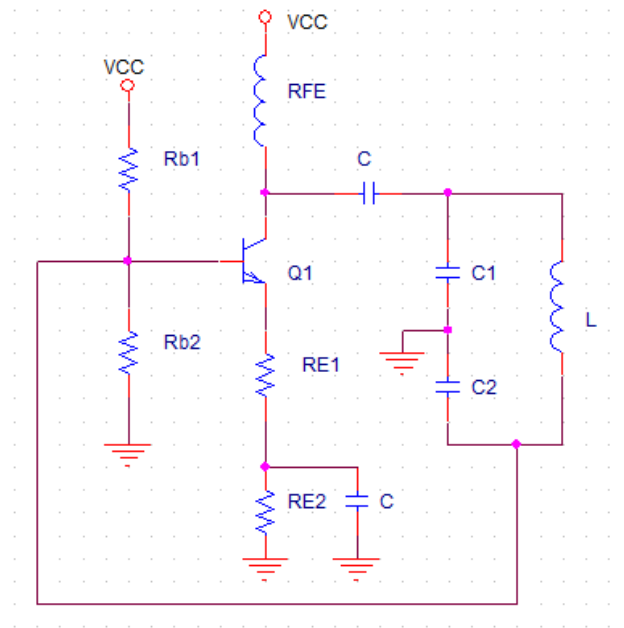


Fig. Esquema del oscilador Colpitts emisor común.

Laboratorio

La frecuencia de resonancia de los elementos conectados a la carga en la practica anterior fue de 800 kHz. En este caso y dados los cambios en el circuito esta frecuencia se vio reducida un poco, obteniendose finalmente un valor de 795 kHz.

En las fotografías siguientes se muestra la potencia del primer y segundo armónico de la señal del oscilador con lo que se calcula el TDH de la señal.

$$THD = \frac{10^{-8}}{10^{-3.2}} * 100\% = 0.0016 \%$$

Fig. Esquema del oscilador implementado en la práctica de laboratorio.



Fig. Potencia del primer armónico.



Fig. Potencia del segundo armónico.

Dada la frecuencia de la señal de salida y la amplitud de esta se puede aproximar la ecuación que la describe como una señal seno, despreciando los efectos por la distorsión armónica. A pesar de que no se observa, la señal de salida tuvo una amplitud de 800 mV, por lo que la ecuación sería:

$$V(t) = 0.8 * \sin(5.03 * 10^6 * t)$$

¿Que tan bueno fue el cálculo de la frecuencia de resonancia?

Tal y como se mencionó antes, la frecuencia de resonancia medida del circuito fue de 795 kHz. Este valor representa entonces un error del 0,625% en comparación con el calculado de 800 kHz, mostrando así que el funcionamiento del circuito es óptimo.

¿Porque eligió el circuito que utilizó en la práctica?

El circuito implementado se basa en el Oscilador Colpitts de emisor común, estos circuitos utilizan una configuración tanque que coincide con la utilizada en las prácticas anteriores de manera que el verdadero motivo para utilización fue la facilidad a la hora de implementar su montaje y realizar los cálculos.

Problemas Resueltos:

Durante las practicas iniciales el valor de la frecuencia de resonancia del circuito se encontraba bastante alejada de la requerida para obtener un resultado satisfactorio por lo que, para resolver este problema, decidimos utilizar arreglos de condensadores y bobinas, en paralelo y serie respectivamente, para lograr la frecuencia de resonancia deseada.

Otro aspecto importante a tratar fue el relativamente alto THD inicial que se obtuvo, motivo por el cual fue necesario aumentar la resistencia de emisor para reducir un poco la ganancia y así ajustar la relación entre A y B.

Conclusion:

En esta practica se pudo observar que al variar la resistencia de emisor y modificar la ganancia se producen cambios en el THD del oscilador. Es decir, al aumentar la ganancia del oscilador se presenta mayor distorsión armónica.

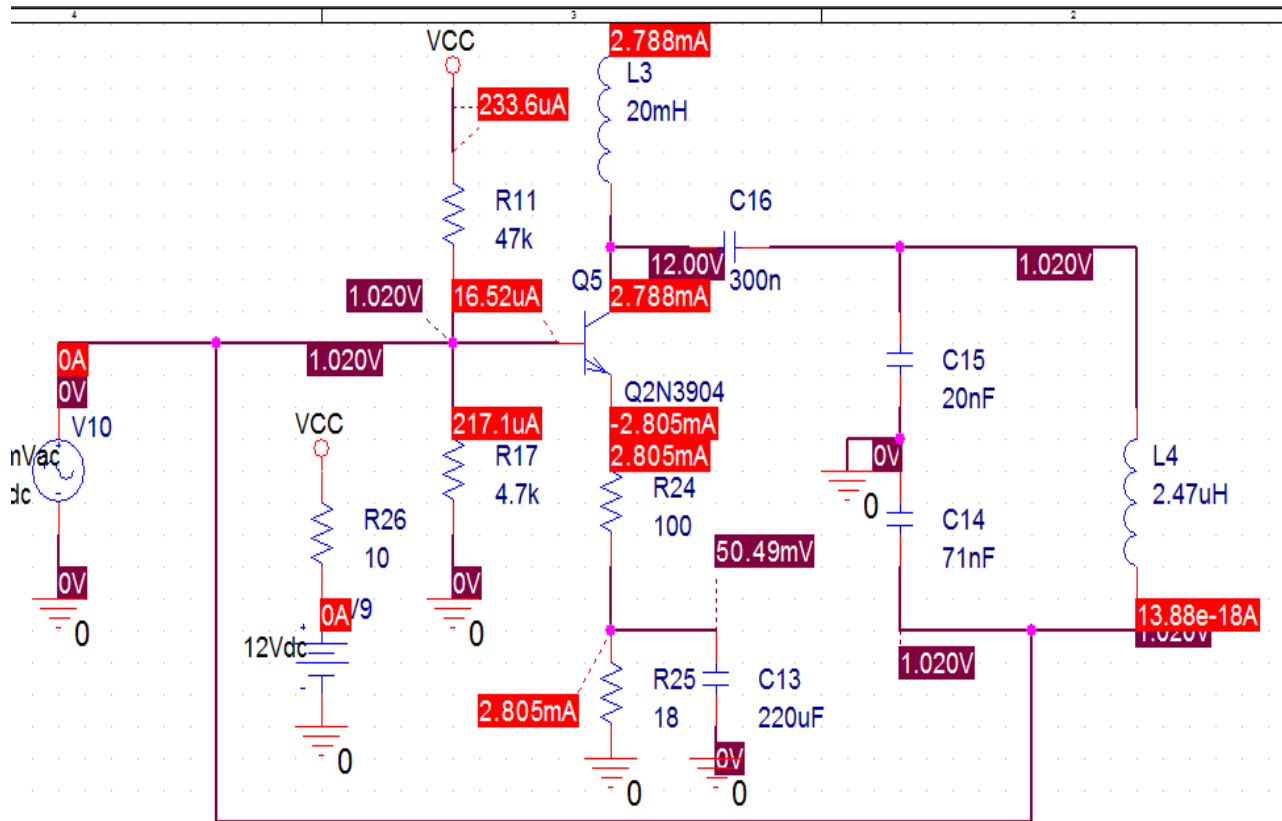
Laboratorio

En la practica de laboratorio pudimos observar una señal que a pesar de contener cierto valor D.C. oscilaba a una frecuencia de

Practica 5.Modulador

Prelaboratorio

La modulación es un proceso no lineal, por esta razón se recomienda utilizar la junta base emisor del transistor BJT para realizar este procedimiento.



Teniendo como base la práctica 4 donde se realizó el oscilador, se va a proceder a utilizar el mismo montaje para hacer la modulación. En esta práctica se debe tener en cuenta que se va a montar una señal dentro de otra. Nuestra frecuencia portadora será la frecuencia a la que osciló el circuito de la práctica anterior, que es de 800 kHz. Lo que se va a hacer es meterle al circuito una frecuencia por la base que será la décima parte de la frecuencia en la que esta oscilando nuestro circuito. Por tanto el generador de señales estará entregando una señal de 80 KHz.

Supresor de banda

Diseñen un amplificador resonante cuya carga será un circuito LC serie sintonizado a la frecuencia de la portadora con un ancho de banda menor a 10 kHz. Si se conecta una señal AM con un mensaje de 20 kHz, como sería la salida en términos de espectro.

La frecuencia de la señal portadora es de 800 KHz, por tanto para que nuestro amplificador tenga la maxima ganancia a esta frecuencia y “suprima” el resto de frecuencias, la carga deberá tener una frecuencia de resonancia de 800 KHz. Con esto se calculan los valores de C y L por medio de la ecuación para la resonancia de un circuito en paralelo:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}$$

Se estableció el valor de la inductancia para posteriormente calcular el valor de la capacitancia. El valor de la inductancia y capacitancia es de 16uH y 247pF respectivamente.

Laboratorio

Conecten el amplificador a la salida del modulador, midanlo con el analizador de espectro, que tan acertada es su predicción.

Proponga métodos para mejorar el desempeño del montaje mas alla de solo cambiar elementos por otros con mayor Q.

¿Que ventajas tiene realizar este tipo de procedimientos?, mencione 2 aplicaciones.