

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

Laboratorio de Comunicaciones

(Manual de Prácticas)

Práctica 3:
Modulador de Frecuencia Comercial
Curso 2007-2008

AUTORES:

Fernando Quesada Pereira
Pedro Vera Castejón
Alejandro Alvarez Melcón

Índice

1. Introducción	1
2. Modulador Comercial de FM	1
3. Descripción del Circuito	1
3.1. Diseño del primer triplicador	3
3.2. Diseño del segundo triplicador	5
4. Esquema Eléctrico Final	6

1. Introducción

En esta primera sesión de la práctica de Modulación FM vamos a revisar y construir un modulador comercial de FM. En la siguiente sesión de prácticas realizaremos medidas y simulaciones para comprobar el comportamiento y funcionamiento de las distintas etapas del modulador.

2. Modulador Comercial de FM

El modulador de FM va a construirse utilizando el circuito integrado de Motorola MC2833, cuyo diagrama de bloques se presenta en la Fig. 1. Como puede apreciarse en la figura, el circuito consta

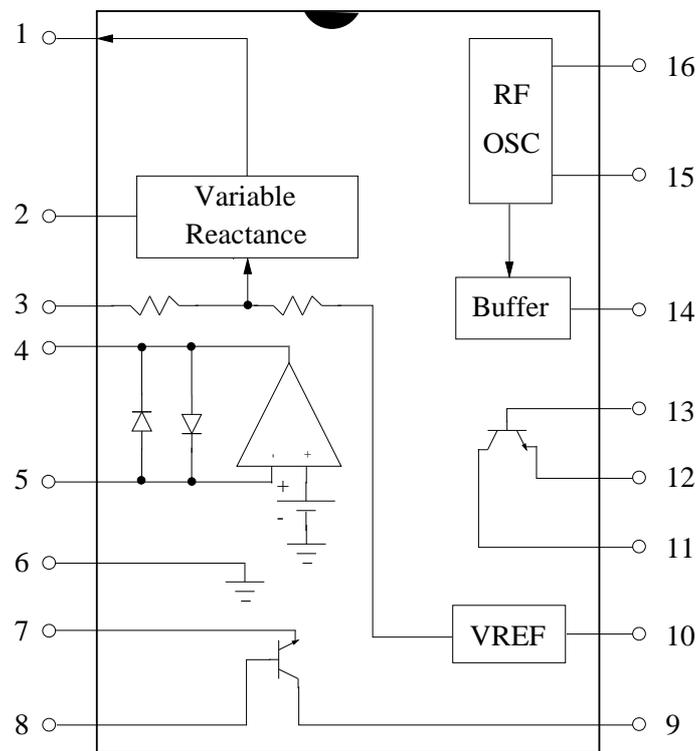


Figura 1: Diagrama de bloques del circuito integrado MC2833.

de dos transistores NPN, un amplificador operacional, una reactancia variable, un oscilador de RF, y un Buffer. La función del Buffer es aislar el funcionamiento del oscilador del circuito que se conecte a continuación. Este Buffer suele tener una impedancia de entrada muy grande con el fin de no cargar el oscilador. Su impedancia de salida toma valores normales para permitir la conexión de otros circuitos.

3. Descripción del Circuito

En primer lugar, la señal moduladora se amplifica utilizando el amplificador operacional. La señal moduladora, así amplificada, se introduce en la reactancia variable. El valor de la reactancia va a cambiar proporcionalmente al mensaje. El oscilador se estabiliza con un cristal a la frecuencia de $f_{osc} = 10,245\text{MHz}$. Al variar el valor de la reactancia, la frecuencia de oscilación varía también de

forma proporcional al mensaje, obteniéndose la modulación en frecuencia (FM). El esquema del circuito quedaría como el mostrado en la Fig. 2. A la salida de este circuito se obtiene una señal de frecuencia

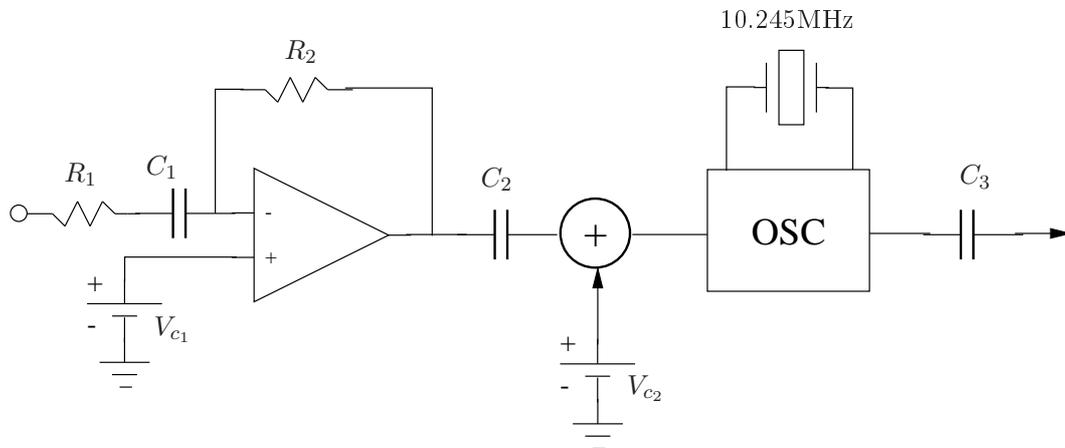


Figura 2: Esquema eléctrico del modulador FM básico.

$f_{osc} = 10,245\text{MHz}$, que contiene una modulación FM.

Ejercicio 1. Comente la función del condensador C_2 y de la fuente V_{c2} en el circuito.

Ejercicio 2. ¿Qué puede controlar en la modulación FM cambiando la resistencia R_2 ?

La señal obtenida del modulador FM se pasa a dos triplicadores de frecuencia. El primer triplicador convertirá la señal de frecuencia $\approx 10\text{MHz}$, en otra señal de frecuencia $\approx 30\text{MHz}$. El segundo triplicador va a convertir esta última señal en la definitiva con una frecuencia $\approx 90\text{MHz}$.

El esquema eléctrico del triplicador se muestra en la Fig. 3 (extraiga el valor de los componentes del esquema de la Fig. 7, primer triplicador). Como puede verse, se trata de un amplificador en emisor

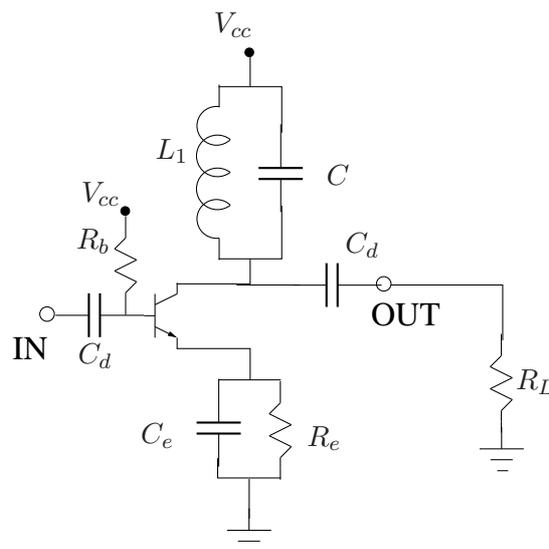


Figura 3: Esquema eléctrico del triplicador.

común. Para hacer las funciones de triplicador, se polariza el transistor en una zona no lineal. De esta forma la señal de entrada se recorta y se producen numerosos armónicos. En el circuito de colector se coloca un circuito resonante para seleccionar el armónico triple de la señal de entrada.

Ejercicio 3. Comente la función de los componentes C_e, C_d, R_b, R_e en el circuito.

Ejercicio 4. Dibuje el circuito equivalente de pequeña señal del circuito de la Fig. 3. Tomar como modelo equivalente en pequeña señal del transistor el mostrado en la Fig. 4. Calcular con las ecuaciones del circuito la impedancia de entrada. Realizar el cálculo de forma simbólica sin introducir valores numéricos.

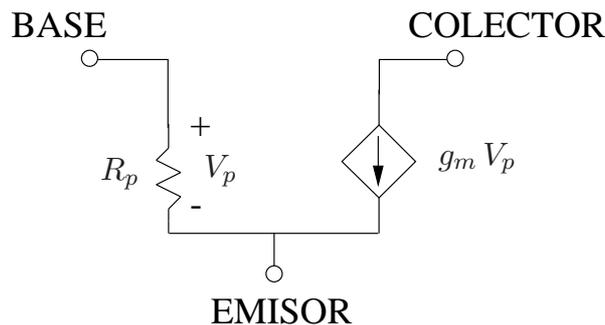


Figura 4: Circuito equivalente de pequeña señal del transistor.

Ejercicio 5. Calcular con las ecuaciones del circuito la impedancia de salida, para el primer triplicador (Fig. 3). Realizar el cálculo de forma simbólica sin introducir valores numéricos. Dibujar de forma cualitativa la impedancia de salida.

Ejercicio 6. Calcular con las ecuaciones la función de transferencia en tensión del circuito, y dibujarla de forma cualitativa. Explicar la relación existente entre la impedancia de salida del circuito y su función de transferencia.

3.1. Diseño del primer triplicador

Los apartados anteriores le habrán servido para darse cuenta que la señal de salida del triplicador es solo importante a la frecuencia de resonancia del circuito (L_1, C) de la Fig. 3. Nosotros deseamos triplicar la frecuencia de la señal de entrada, por lo que ajustaremos la frecuencia de resonancia a $\approx 30\text{MHz}$.

Ejercicio 7. Tomando el valor de la capacidad: $C = 220\text{pF}$, calcular el valor de la inductancia L_1 del triplicador para maximizar la señal de salida a la frecuencia de 30MHz .

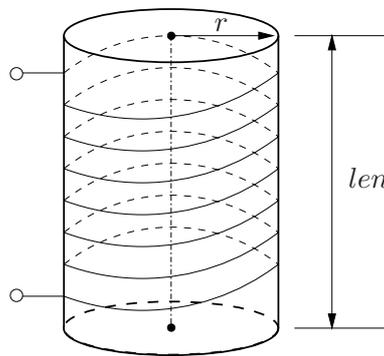
Ejercicio 8. Utilizando MATLAB, representar en función de la frecuencia el valor absoluto de la impedancia de salida del circuito. Suponer que la resistencia óhmica del hilo de la bobina es de 2Ω . ¿Se produce la resonancia a la frecuencia $\approx 30\text{MHz}$?

Vamos a construir esta bobina en el laboratorio sobre núcleo de aire, para lo que utilizaremos hilo

de cobre rígido. Existe una fórmula empírica que permite calcular aproximadamente la inductancia (L) de una bobina con núcleo de aire, en función del radio de la bobina (r), de la longitud de la bobina (len), y del número de espiras que tiene la bobina (N):

$$L = \frac{0,394 r^2 N^2}{9r + 10 len} \quad (1)$$

donde (r) y (len) están medidos en centímetros, y la inductancia (L) está medida en: μH . Los parámetros geométricos de la bobina en relación con esta fórmula se representan en la Fig. 5.



N= numero de vueltas

Figura 5: Geometría de una bobina con núcleo de aire: $r(\text{cm})$, $len(\text{cm})$, $L(\mu\text{H})$.

Ejercicio 9. Utilizando el valor de la inductancia encontrada anteriormente, represente con MATLAB en una gráfica el número de vueltas N que necesita para sintetizar dicha bobina, en función de la longitud $len(\text{cm})$ de la bobina, tomando un radio de la bobina: $r = 0,5\text{cm}$. Para representar la gráfica variar la longitud de la bobina (len) entre ($len = r$) y ($len = 4r$).

Ejercicio 10. Si queremos construir una bobina del valor requerido para este primer triplicador, podremos emplear en el laboratorio un bolígrafo de radio $0,5\text{cm}$ para enrollar las espiras. Daremos en torno a él 5 vueltas sobre una longitud de $1,6\text{cm}$. Comprobar que estos valores de N y de len han sido obtenidos como una posible solución en el ejercicio anterior.

Ejercicio 11. Simule el circuito triplicador con el programa SPICE, sin incorporar el filtro (L_1, C). Dibujar la señal obtenida a la salida en tiempo y frecuencia. Indicar los armónicos principales del circuito (para que el circuito funcione, deberá añadir una resistencia de valor pequeño $\approx 5\Omega$, entre una de las fuentes de tensión continua y el colector del transistor). ¿Cual es la amplitud de la raya espectral a 30MHz ? Calcule la relación de amplitud de éste armónico con respecto del fundamental a 10MHz .

Ejercicio 12. Incorporar el filtro diseñado al triplicador (la resistencia adicional ya no es necesaria; ver Fig. 3). Dibujar la señal obtenida en tiempo y frecuencia. ¿Obtiene un armónico limpio a la frecuencia esperada de 30MHz ?

3.2. Diseño del segundo triplicador

El segundo triplicador tiene esencialmente el mismo esquema eléctrico que el primero. Lo único que hay que tener en cuenta es que la salida del segundo triplicador debe conectarse a la antena para radiar la señal FM producida. Como ya se vio en la sección anterior, el triplicador de la Fig. 3 presenta una impedancia de salida a la frecuencia de resonancia muy grande. Esto quiere decir que habrá una desadaptación fuerte entre esta etapa y la antena que conectemos, con lo que la mayor parte de la señal se reflejará en los terminales de la antena y poca potencia va a radiarse al espacio.

Para evitar este problema, y conseguir impedancias más bajas, próximas a la impedancia de la antena, podemos modificar la etapa de salida del segundo triplicador como muestra la Fig. 6 (extraiga el valor de los componentes en el esquema de la Fig. 7; segundo triplicador).

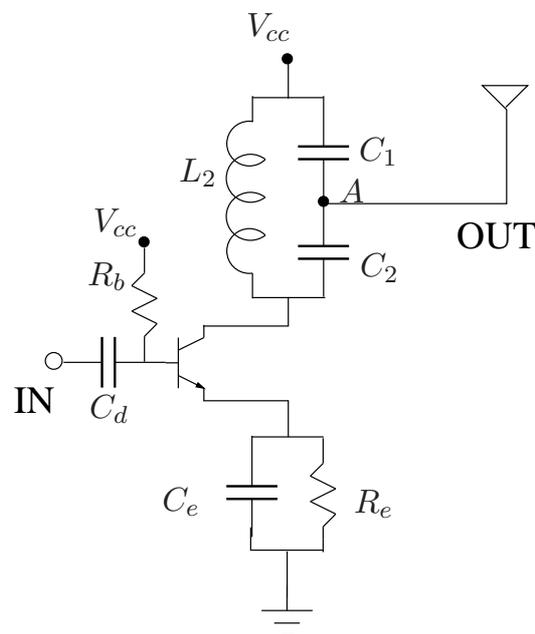


Figura 6: Esquema del segundo triplicador con adaptación de impedancias a la antena.

Ejercicio 13. Dibujar el circuito equivalente de pequeña señal del segundo triplicador.

Ejercicio 14. Tomando $C_1 = 220\text{pF}$ y $C_2 = 47\text{pF}$, calcular el valor de la inductancia L_2 para que el circuito resonante (L_2, C_1, C_2) resuene a la frecuencia de $\approx 90\text{MHz}$. Para hacer los cálculos suponer que C_1 y C_2 están conectados en serie (es decir con la antena desconectada).

Ejercicio 15. Utilizando la expresión (1), representar el número de vueltas necesario para obtener el valor requerido de la inductancia (L_2), en función de la longitud de la bobina (len), tomando un radio de la bobina de: $r = 0,5\text{cm}$.

Ejercicio 16. Si queremos construir una bobina del valor requerido para el segundo triplicador, podremos emplear en el laboratorio un bolígrafo de radio $0,5\text{cm}$ como generador de espiras. En este caso daremos en torno a él 4 vueltas sobre una longitud de $1,5\text{cm}$. Comprobar que estos valores de N y len

han sido obtenidos como una posible solución en el ejercicio anterior.

Ejercicio 17. Tomando como punto de salida el colector del transistor, calcular y dibujar con MATLAB en función de la frecuencia el valor absoluto de la impedancia de salida. Tomar como resistencia del hilo de la bobina 2Ω . Comprobar que la resonancia se produce a la frecuencia deseada. ¿Cuanto vale el módulo de la impedancia de salida a la frecuencia de resonancia?

Para evitar esta impedancia tan alta se toma la salida en el punto A , tal y como muestra la Fig. 6.

Ejercicio 18. Tomando como punto de salida el punto A de la Fig. 6, calcular y dibujar con MATLAB en función de la frecuencia el valor absoluto de la impedancia de salida. ¿Qué ocurre con la impedancia de salida a frecuencia cero?

Ejercicio 19. Tome un rango de frecuencias adecuado para ver los detalles de la impedancia de salida alrededor de $\approx 90\text{MHz}$. Representar la parte real e imaginaria de la impedancia. ¿Cuanto vale ahora la impedancia (parte real e imaginaria) a la frecuencia de resonancia?. ¿Obtiene un valor apropiado para adaptar la antena?. Viendo la expresión de la impedancia, ¿a qué cree que es debido la reducción en el valor de la impedancia?

Ejercicio 20. Realice la simulación con SPICE del segundo triplicador sin el filtro final (añadir la resistencia de 5Ω en el colector). Tomar como señal de entrada un generador sinusoidal de amplitud $0,5$ voltios, y frecuencia triple de la frecuencia del cristal de cuarzo de $10,245\text{MHz}$. Tomar como resistencia de carga (impedancia de la antena) un valor de $R_L = 50\Omega$. Dibujar la señal obtenida tanto en tiempo como en frecuencia. Indicar la amplitud de los armónicos que se generan. Medir la relación entre el armónico a 90MHz y el fundamental a 30MHz . Comente si el espectro está limpio alrededor de 90MHz .

Ejercicio 21. Simular el triplicador incorporando el filtro y la red de adaptación, tal y como muestra la Fig. 6. Ajustar el valor final de la inductancia hasta conseguir limpiar bien el espectro a 90MHz . Dibujar la señal obtenida tanto en tiempo como en frecuencia. Indicar la amplitud final obtenida de la raya espectral a 90MHz .

Ejercicio 22. Simular con PSPICE los dos triplicadores juntos (extraer el esquema completo de la Fig. 7; primer y segundo triplicadores). Excitar el circuito con un generador sinusoidal de amplitud 1V y frecuencia la del cristal de cuarzo ($10,245\text{MHz}$). Simular el funcionamiento de la antena con una resistencia de 50Ω . Mida la relación entre la componente a 90MHz y el primer armónico que aparece.

4. Esquema Eléctrico Final

Juntando todas las etapas vistas del circuito, finalmente se llega al esquema eléctrico global presentado en la Fig. 7.

Montar en el laboratorio el circuito de la Fig. 7, usando las bobinas que ha debido de construir. Los restantes componentes están disponibles en el laboratorio. Polarizar el circuito con una tensión continua $V_{cc} = +3\text{V}$. Conectar a la entrada del circuito una señal moduladora sinusoidal de frecuencia 1KHz . Tomar esta señal de entrada con una amplitud lo más baja posible. Finalmente simular la antena

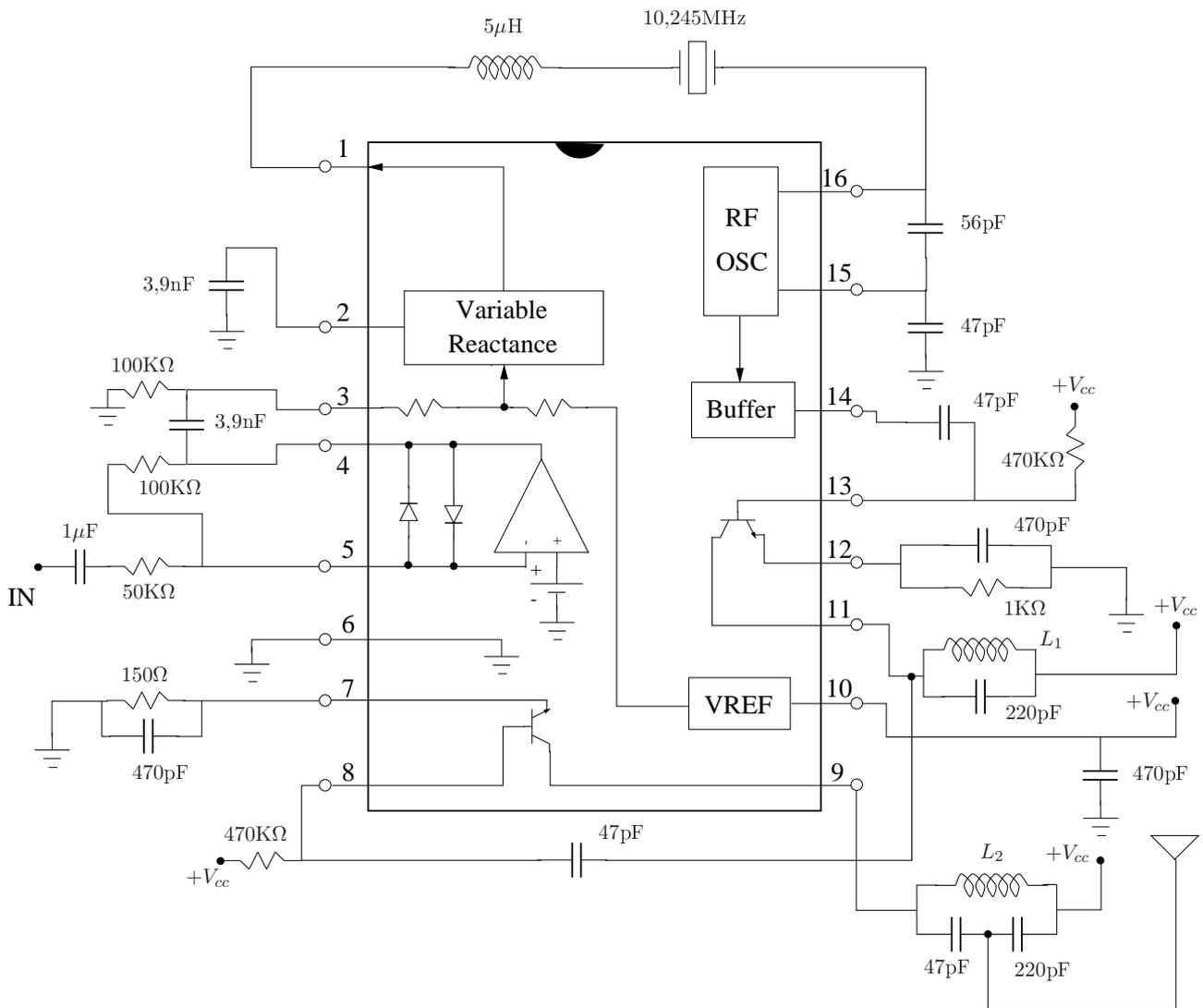


Figura 7: Esquema eléctrico final del modulador FM comercial.

con una resistencia de 30Ω .

Ejercicio 23. Representar en un osciloscopio (en función del tiempo) y dibujar en el informe las señales que obtiene a la entrada del circuito y en la pata 4 del integrado (salida del amplificador de la señal moduladora). Mida las tensiones de pico de la señal de entrada y a la salida del amplificador. ¿Cuanto es la ganancia en tensión del amplificador?.