

Modulador FM

Bustamante Hernán, Covaro Jorge, León Marcos, Prieto Daniel, Schinquel Gustavo
UTN FRC

Abstract—Se diseña e implementa un modulador de FM discreto sintonizado a 100 MHz, con un varicap BB505.

I. INTRODUCCIÓN

Las señales de información deben ser transportadas entre un transmisor y un receptor sobre alguna forma de medio de transmisión. La modulación se define como el proceso de transformar la información de su forma original a una forma más adecuada para la transmisión. Demodulación es el proceso inverso.

El propósito de la modulación es adaptar la señal a transmitir al canal de comunicación entre la fuente y el receptor.

En la Fig 1 se observa como se introducen dos pasos adicionales entre la fuente y el canal, la modulación y demodulación.

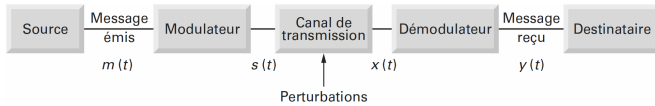


Fig. 1. Cadena global de transmisión

La transmisión tiene como propósito enviar la señal $m(t)$ hacia el receptor. En un caso ideal $y(t) = m(t)$, pero en la práctica no es así, y la señal que llega al receptor difiere de la señal enviada.

La diferencia radica principalmente en la presencia de ruido debido a las perturbaciones que afectan el canal de transmisión y las imperfecciones de los métodos de modulación y demodulación. La señal de $m(t)$ es la señal de banda base a transmitir. Puede ser representada ya sea en forma temporal o en la forma de frecuencia; estas dos formas se observan en la Fig 2.

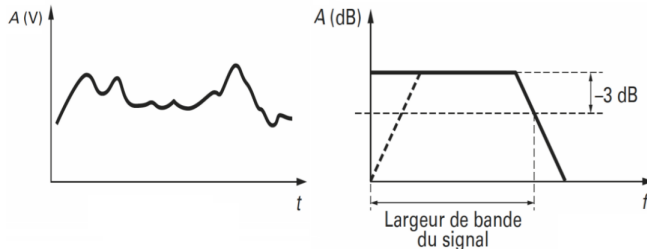


Fig. 2. Señal en el tiempo y en frecuencia.

Una nueva señal auxiliar de frecuencia f_0 es utilizada como portadora, y se denomina frecuencia central. La señal a

transmitir $s(t)$, es la señal portadora modulada por el mensaje $m(t)$.

Sea $m(t)$ la señal modulante y $n(t)$ la portadora:

$$m(t) = \cos \omega_1 t$$

$$n(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

Con $\omega = 2\pi f$

La Fig 3 muestra el espectro temporal de una portadora modulada en frecuencia.

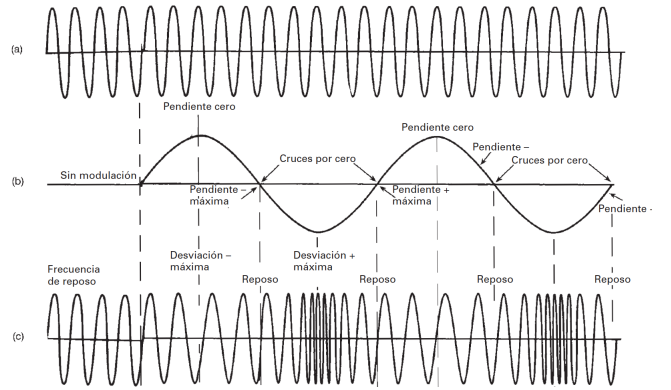


Fig. 3. Modulación de frecuencia de una onda portadora por una señal de onda senoidal: (a) portadora no modulada; (b) señal moduladora; (c) onda con frecuencia modulada.

II. DESARROLLO

En el presente trabajo práctico se diseña, y calcula un modulador de FM con las siguientes características:

- $BW = 88 \text{ MHz} - 108 \text{ MHz}$
- $V_{CC} = 12 \text{ V}$
- $P_{out} = 1 - 5 \text{ mW}$
- $R_L = 50 \Omega$

A. Cálculo de los componentes.

La etapa de polarización del transistor es similar a la implementación de un oscilador Clapp como se ve en la Fig 4. Un diodo varicap BB505 es agregado junto a su red de polarización, el cual es encargado de la modulación en frecuencia de la señal de salida.

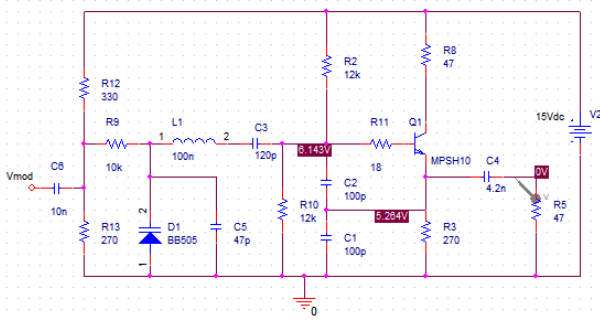


Fig. 4. Esquema del circuito implementado para la simulación.

El divisor resistivo se calcula utilizando la hoja de datos del diodo varicap, de la cual se obtiene la curva de capacidad en función de la tensión inversa del diodo, como se ve en la Fig 5.

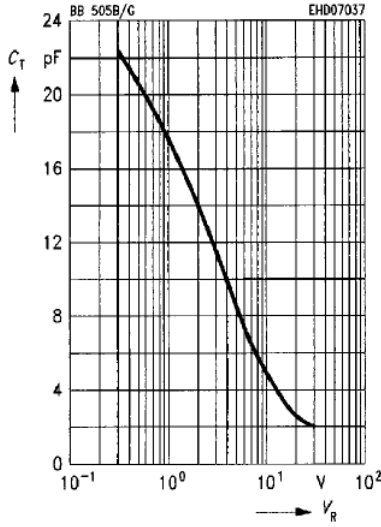


Fig. 5. C_T vs V_R

El valor de tensión inversa es establecido en 5 V, porque lo que el divisor resistivo es calculado como sigue.

Teniendo $R_{13} = 270$:

$$R_{12} = \frac{V_{cc} \times R_{13}}{V_R} - R_{13} = \frac{12 \times 270}{5} - 270$$

$$R_{12} = 378\Omega \cong 330$$

Con esta polarización y una amplitud de la señal moduladora de 5V, el varicap permite una excursion de $5pF$ a $16pF$.

El cálculo para el circuito es el mismo que para el Clapp, debido al mismo circuito tanque, pero es agregada la capacitancia del varicap a la ecuación. Con el esquema de la Fig se obtiene la siguiente ecuación:

$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_{Total}L}} =$$

Donde la capacidad total del circuito tanque resulta:

$$C_{Total} = (C_{varicap} + C_5) // C_3 // C_2 // C_1$$

$$C_{Total} = 38.6pF // 100pF // 100pF$$

$$C_{Total} = 21.8pF$$

La frecuencia de oscilación resulta por lo tanto:

$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{21.8pF \times 120nH}} =$$

$$f_{osc} = 98MHz$$

III. MEDICIONES

A. Frecuencia y potencia de salida

La señal de salida es útil para determinar la frecuencia y la potencia. La Fig 6 es la señal representada en el tiempo y en la Fig 7 es la señal representada en frecuencia.

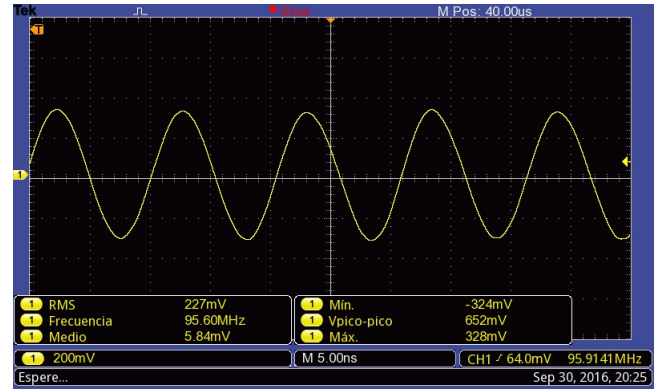


Fig. 6. Señal de salida en el dominio del tiempo

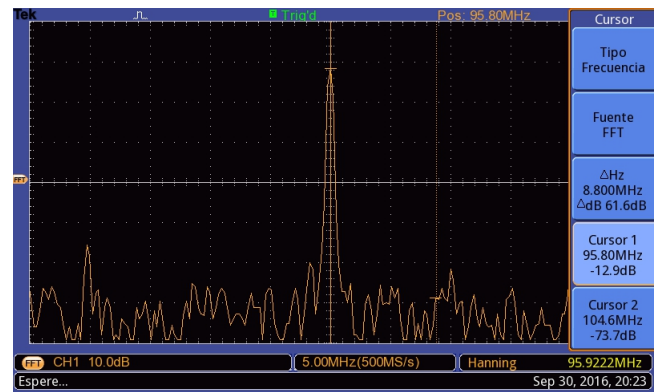


Fig. 7. Señal de salida en el dominio de la frecuencia

Ambos gráficos pueden ser utilizados para determinar la potencia de salida, partiendo del voltaje eficaz, $V_{RMS} = 227mV$.

$$P_{OUT} = \frac{V_{RMS}^2}{R_L} = \frac{227mV^2}{50\Omega}$$

$$P_{OUT} = 1mW$$

La frecuencia de salida se determina facilmente observando el espectro en frecuencia.

$$f_{osc} = 95.8 MHz$$

B. Indice de modulación

Otro concepto se introduce en este punto, que es la desviación de frecuencia. Se define la desviación de frecuencia a los cambios de frecuencia que sufre la portadora cuando sobre ella actúa la frecuencia de la señal moduladora. Se expresa normalmente como un desplazamiento máximo de frecuencia Δf , en hertz.

El índice de modulación se puede definir como sigue:

$$m_F = \frac{K_1 V_m}{\omega_m} = \frac{\Delta f}{f_m}$$

Donde:

K_1 = sensibilidad a la desviación.

V_m = amplitud máxima de la señal moduladora.

ω_m = frecuencia en radianes.

La onda modulada en frecuencia teoricamente posee infinitas componentes espectrales, y es simétrica alrededor de la frecuencia de la portadora.

Esto en la práctica no es así, sino que se hace una representación mediante los coeficientes de Bessel.

En la Fig 8 se muestra la composición espectral de la onda modulada en frecuencia.

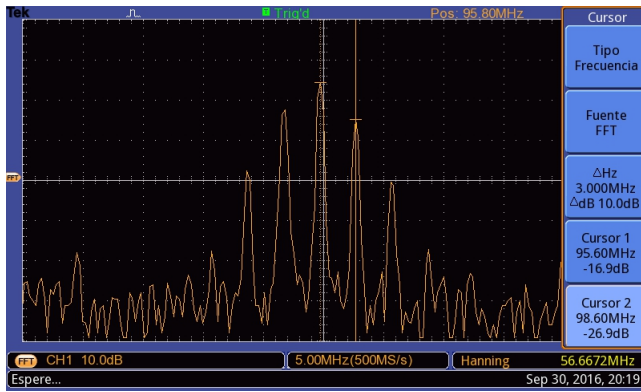


Fig. 8. Composición espectral de la onda modulada.

Este gráfico permite determinar la frecuencia de la onda modulada.

$$f_{mod} = f_{J0} - f_{J1} = 98.6 MHz - 95.6 MHz$$

$$f_{mod} = 3 MHz$$

El índice de modulación se puede determinar observando la cantidad de componentes, la amplitud de las mismas y comparando con la tabla de la Fig 9.

| | J_0 | J_1 | J_2 | J_3 | J_4 | J_5 | J_6 | J_7 | J_8 | J_9 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 1,00 | | | | | | | | | |
| 0,25 | 0,98 | 0,12 | | | | | | | | |
| 0,5 | 0,94 | 0,24 | 0,03 | | | | | | | |
| 1 | 0,77 | 0,44 | 0,03 | | | | | | | |
| 1,5 | 0,51 | 0,26 | 0,23 | 0,01 | | | | | | |
| 2 | 0,22 | 0,58 | 0,35 | 0,13 | 0,03 | | | | | |
| 2,5 | -0,05 | 0,5 | 0,45 | 0,22 | 0,07 | 0,02 | | | | |
| 3,0 | -0,26 | 0,34 | 0,49 | 0,31 | 0,13 | 0,04 | 0,01 | | | |
| 4,0 | -0,40 | -0,07 | 0,36 | 0,43 | 0,28 | 0,13 | 0,05 | 0,02 | | |
| 5,0 | -0,18 | -0,33 | 0,05 | 0,36 | 0,39 | 0,26 | 0,13 | 0,05 | 0,02 | |
| 6,0 | 0,15 | -0,28 | -0,24 | 0,11 | 0,36 | 0,36 | 0,25 | 0,13 | 0,06 | 0,02 |
| 7,0 | 0,30 | 0,00 | -0,30 | -0,17 | 0,16 | 0,35 | 0,34 | 0,23 | 0,13 | 0,06 |
| 8,0 | 0,17 | 0,23 | -0,11 | -0,29 | -0,10 | 0,19 | 0,34 | 0,32 | 0,22 | 0,13 |
| 9,0 | -0,09 | 0,24 | 0,14 | -0,18 | -0,27 | -0,06 | 0,20 | 0,33 | 0,30 | 0,21 |

Fig. 9. Composición espectral de la onda modulada.

Al ser 3 las componentes y la reducción de la señal en la frecuencia de la portadora en un 40%, se aproxima por tabla a un índice de modulación $m = 1.5$.

IV. CONCLUSIÓN

El presente práctico es de utilidad para comprender de forma práctica la teoría de modulación de frecuencia, poder observar en un laboratorio los problemas de estabilidad en frecuencia, y continuar afirmando los conceptos de la importancia de un correcto diseño de la placa.

No se respeta el ancho de banda de una señal de FM comercial, ya que es de 200 KHz, valor que esta muy por debajo del utilizado en el presente práctico, y sería difícil de distinguir en un rango de frecuencias de VHF.

La señal de salida del modulador, no era la ideal que se presenta en la Fig 3, sino que presentaba una gran distorsión, esto se puede deber a distintos problemas, como por ejemplo, un error en los componentes a utilizar, dado que no suelen tener una identificación clara, o problemas en la adaptación de la señal modulante.

REFERENCES

- [1] Apuntes de clases de Ing. Rabinovich.
- [2] Apuntes del Ing. Oros.