

# Diseño e Implementación de un transmisor FM

Javier Guachizaca <sup>#1</sup>

Guido Poma <sup>#2</sup>

Diego Salas <sup>#3</sup>

*Loja, Ecuador*

<sup>1</sup>Javier-13g@hotmail.com

<sup>2</sup>gui\_alejandro@hotmail.com

<sup>3</sup>diego.sp28@hotmail.com

**Resumen**—El presente trabajo trata acerca del diseño y construcción de un transmisor de frecuencia modulada el cual está conformado de tres etapas que son: acoplamiento de la señal de entrada al resto del circuito, la información transmitida consiste en una señal senoidal de audio. La segunda etapa corresponde a una etapa de amplificación de la información. Dicha etapa se encuentra formada por dos transistores S9018 con polarización por divisor de voltaje. La tercera etapa del circuito puede considerarse como la etapa moduladora. A la salida del transmisor se añade un preamplificador el cual permite aumentar el nivel de la señal actuando sobre la tensión de la misma. El preamplificador básicamente va a estar compuesto del circuito integrado TL084. Finalmente a la salida del preamplificador se le añade un vúmetro el cual permitirá mostrar un nivel de señal en unidades de volumen. El vúmetro básicamente está constituido por un LM3914, el cual es un circuito integrado monolítico que detecta 10 unidades de niveles de tensión analógica, proporcionando una pantalla lineal analógica. Todo el circuito funciona con 12 V de corriente directa a 800 mA.

## I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto tiene como objetivo principal la elaboración de un dispositivo electrónico que se relaciona directamente con las materias recibidas en el presente modulo.

Inicialmente en este trabajo se explicarán los conceptos básicos del proceso de desarrollo de un dispositivo electrónico como lo es el transmisor de FM, luego se analizará el modo de funcionamiento de dicho transmisor, en donde se abarcará el análisis de las partes que conforman el transmisor, y a su vez se obtendrán valores necesarios de dicho análisis como son corrientes, voltajes, ganancia del amplificador, potencia y alcance del transmisor, matemáticamente. etc.

Finalmente se abordarán los detalles del proceso de pruebas y funcionamiento del circuito transmisor.

## II. SEÑAL FM

### A. GENERACION DE LA SEÑAL FM

Los sistemas de modulación de frecuencia se agrupan en dos clases: 1) FM directa, en que la portadora esta modulada en el punto donde se genera, en el oscilador maestro; 2) FM indirecta, en la que el oscilador maestro no modula pero la modulación se aplica en alguna etapa siguiente. [1]

### B. MODULACION DE FRECUENCIA

En los sistemas de comunicaciones analógicos, existen dos tipos de modulación: en amplitud y angular. La modulación angular a su vez se divide en modulación en fase y modulación en frecuencia.

En nuestro trabajo aplicaremos la modulación en frecuencia

En la modulación en amplitud, la frecuencia de la portadora se mantiene constante mientras su amplitud cambia de acuerdo con la amplitud de la señal modulante. En cambio en la modulación de frecuencia, la amplitud de la portadora se conserva constante, y su frecuencia cambia de acuerdo con la amplitud de la señal modulante [2]

La modulación de frecuencia tiene como resultado la generación de bandas laterales similares a las de un sistema modulado en amplitud. En donde a medida que aumenta la desviación, las bandas laterales aparecen cada vez a mayores distancias de la portadora principal. La amplitud de la portadora principal también depende de la cantidad de desviación.

La cantidad de variación de la frecuencia de la señal por encima y por debajo del centro de la portadora principal se denomina desviación. La cantidad de desviación esta únicamente determinada por la frecuencia de la señal moduladora; es decir, todas las señales moduladoras que tengan las mismas amplitudes desviarán la frecuencia de la portadora en la misma cantidad. Las amplitudes de las bandas laterales, que aparecen a múltiplos enteros de la

frecuencia de la señal moduladora por encima y por debajo de la portadora, así como la amplitud de la portadora propiamente dicha, son una función de la relación de desviación con respecto a la frecuencia de modulación.

Cuanto mayor es la desviación, mayor es el ancho de banda de la señal. La relación de la desviación de frecuencia máxima con respecto a la frecuencia de modulación más alta se denomina índice de modulación. [1]

### C. SEÑALES QUE INTERVIENEN EN LA MODULACIÓN DE FM

En el proceso de modulación de frecuencia intervienen tres señales: señal portadora, señal de modulación y señal modulada. La portadora RF es una señal de frecuencia relativamente alta sobre la cual se actúa; la señal de modulación, también conocida como señal modulante, corresponde a la información de la fuente y posee frecuencia relativamente baja; la señal resultante de la modulación se llama señal modulada. [2]

En la figura 1 se encuentran las señales mencionadas anteriormente:

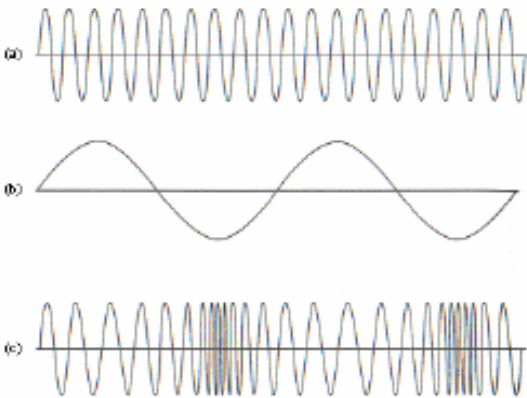


Fig. 1. Modulación de Frecuencia de una portadora de onda seno. (a) Señal Portadora; (b) Señal Modulante; (c) Onda de Frecuencia Modulada

### D. VENTAJAS DE LA MODULACIÓN FM SOBRE LA MODULACIÓN AM.

Existen varias ventajas para utilizar modulación en frecuencia en vez de la modulación en amplitud; entre ellas se incluyen:

- Reducción de Ruido
- Fidelidad mejorada del sistema transmisor

- Uso más eficiente de la potencia [2]

### E. DESVENTAJAS DE LA MODULACIÓN FM

Esta técnica de modulación (FM) presenta algunas desventajas importantes, entre las cuales se destacan:

- Requieren un ancho de banda extendido.
- Requieren circuitos transmisores complejos.
- Requieren circuitos receptores complejos. [2]

## III. TRANSMISOR MODULADO EN FRECUENCIA

### A. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL TRANSMISOR

La siguiente figura se muestra el diagrama de bloques de un transmisor de FM.

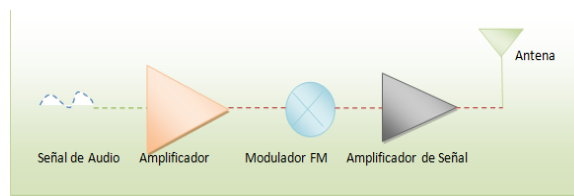


Fig. 2. Diagrama de Bloques de un Transmisor FM [www.tecnun.es/asignaturas/labcompelec/Practica\\_1\\_v3.doc](http://www.tecnun.es/asignaturas/labcompelec/Practica_1_v3.doc)

### B. CIRCUITO TRANSMISOR

A continuación se presenta el circuito transmisor a ser implementado en nuestro proyecto.

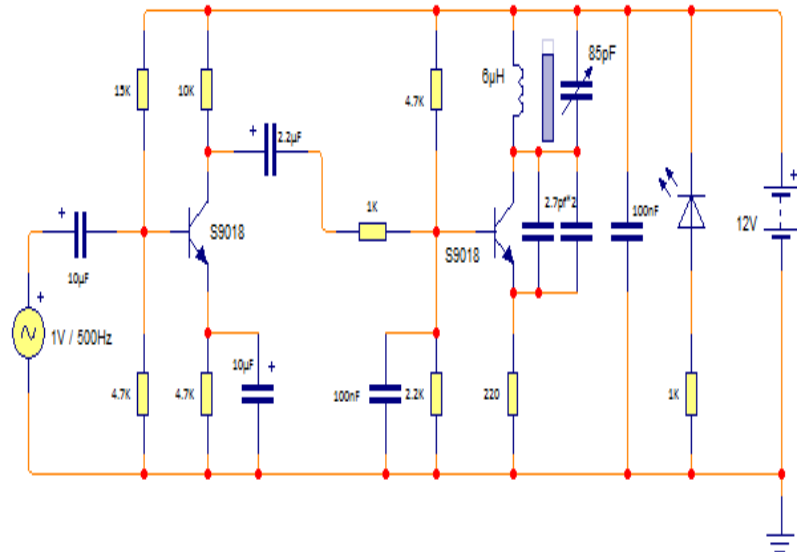


Fig 3. Transmisor Fm  
Simulacion en Livewire

Este circuito del transmisor FM se encuentra integrado por resistencias, capacitores, dos transistores y un inductor, donde dichos elementos convierten a este circuito en un diseño muy práctico de implementar

### C. MATERIALES

Los elementos principales para la fabricación del transmisor de FM son resistores, capacitores, transistores e inductancias, cuyos valores se detallan a continuación:

- Resistencias 8 Resistencias (1/4watts)

Valores de resistencias						
15k	10k	6.8k	2 de (4.7k)	2.2k	1k	680k

- 2 transistores S9018
- 2 capacitores de 10uF y 1 capacitor de 2.2uF electrolíticos
- 2 capacitores de 2.7pF, 2 de 100nF
- 1 Capacitor Variable (amarillo) de 5-50pF)
- 1 Diodo LED
- 1 bornera de 2 servicios
- Conectores
- Una batería de 12v
- 1 inductor de alambre de cobre de 6 vueltas sobre un núcleo de aire de 0.5cm

### IV. ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES DEL TRANSMISOR.

Basándonos en la figura 3 correspondiente al circuito del transmisor FM, se puede definir el circuito del transmisor de audio consta de tres partes que son: 1 circuito de acoplamiento, 2. Etapa de modulación, y 3. Acoplamiento de la señal para enviarla.

La primera etapa está conformada por un capacitor el cual cumple con la función de acoplamiento de la señal de entrada. La señal transmitida consiste en una señal senoidal de audio con una frecuencia de 20 Hz a 20 KHz. El capacitor 1 es el que permite realizar dicho acoplamiento.

La segunda etapa es la que nos permite realizar la amplificación de la señal, formado por un transistor S9018 en configuración divisor de voltaje.

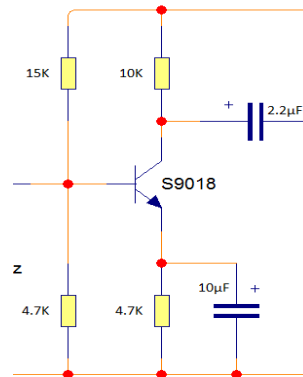


Figura 4

El voltaje de la base y resistencia equivalente de base se obtiene de la siguiente manera:

$$V_{bb} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} (V_{cc}) = \frac{6.8K}{15K + 6.8K} (12V) = 3.74V$$

$$R_b = (R_2 || R_3) = \frac{15K \times 6.8K}{15K + 6.8K} = 4.67K$$

El circuito que se obtiene es de la siguiente manera:

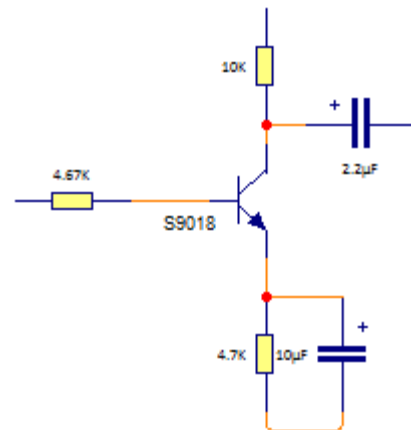


Figura 5

Al aplicar la ley de voltajes de kirchoff a la base y emisor de la figura anterior se obtiene la siguiente ecuación:

$$V_{bb} = R_{bb} I_{bb} + V_{be} + R_e I_e \quad (1)$$

Si se sabe que:

$$I_b = \frac{I_e}{\beta + 1} \quad (2)$$

Sustituyendo la ecuación 2 en la 1 se obtiene lo siguiente:

$$I_e = \frac{V_{bb} - V_{be}}{R_e + \frac{R_{bb}}{\beta + 1}} = \frac{3.74V - 0.7V}{4.7K + \frac{4.67K}{101}} = 0.640 \text{ mA} \quad (3)$$

De las ecuaciones 2 y 3 se obtiene el valor de la corriente en la base, y con los datos obtenidos hasta el momento se pueden obtener los valores de corrientes y voltajes restantes.

$$I_b = \frac{I_e}{\beta + 1} = \frac{0.64 \text{ mA}}{101} = 6.33 \text{ uA}$$

$$V_b = V_{be} + R_2 I_e = 0.7V + (100)(0.640 \text{ mA}) = 0.76 \text{ V}$$

$$I_c = \beta I_b = (100)(6.33 \text{ uA}) = 0.633 \text{ mA}$$

$$V_e = R_2 \times I_e = (10K)(0.640 \text{ mA}) = 6.4 \text{ V}$$

$$V_c = V_{cc} - I_c R_c = 12V - (0.633 \text{ mA})(10K) = 5.67 \text{ V}$$

De los cálculos realizados anteriormente se puede deducir que el voltaje de colector es mayor que el voltaje de la base en aproximadamente 4.91 V, lo que quiere decir que el transistor se encuentra operando en modo activo.

Para el análisis de CA es necesario obtener el parámetro  $r_e$ , el cual se obtiene a partir del valor del voltaje térmico y de la corriente del emisor  $I_E$  del análisis de CD:

$$r_e = \frac{V_T}{I_e} = \frac{25 \text{ m}}{0.640 \text{ m}} = 39.062 \Omega \quad (4)$$

La ganancia de un amplificador por divisor de voltaje se encuentra determinada por la fórmula:

$$A = -\frac{R_2}{r_e + R_4} = -\frac{10K}{39.02\Omega + 4.7K} = -2.110 \quad (5)$$

Dicho valor indica que se trata de un amplificador inversor con una ganancia considerable, por lo tanto si no hubiera ninguna carga conectada al amplificador se esperaría que la señal de salida fuera 2.110 veces mayor que la señal de entrada.

Finalmente, la tercera etapa del circuito puede considerarse como la etapa moduladora. Como podrá observarse su análisis resulta un poco más complicado que el de las etapas anteriores.

El circuito equivalente en CD de la etapa moduladora se presenta en la figura 3. En ella se puede observar, que dicho circuito equivalente únicamente polariza el transistor en la región activa. Así mismo, la resistencia  $R_8$  proporciona mayor estabilidad al circuito al funcionar como retroalimentación.

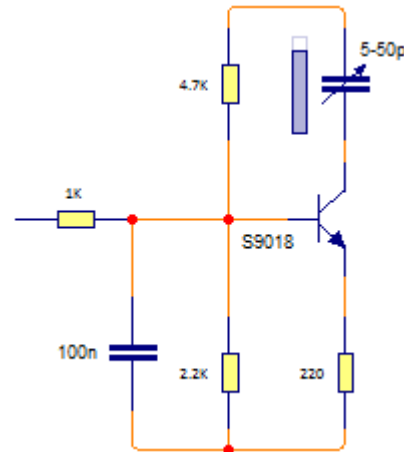


Figura 6

$$R_9 = \frac{4.7K \times 2.2K}{4.7K + 2.2K} = 1.498 \text{ K}$$

$$R_{10} = R_9 + R_6 = 1.498K + 1K = 2.498 \text{ K}$$

A continuación se presenta el análisis en CD para esta etapa. Si al igual que en el análisis de la etapa anterior suponemos que  $\beta = 100$ , sustituyendo los valores en la ecuación 3, se obtiene el valor de la corriente del emisor.

$$I_{e2} = \frac{V_{B2} - V_{be2}}{R_{e2} + \frac{R_{bb2}}{\beta + 1}} = \frac{12V - 0.7V}{1K + \frac{2.498K}{101}} = 11.027 \text{ mA}$$

Ya con este valor, se pueden calcular los datos restantes:

$$I_{b2} = \frac{I_{e2}}{\beta + 1} = \frac{11.027mA}{101} = 109.17 \mu A$$

$$V_{b2} = V_{be2} + R8I_{e2} = 0.7V + (1K)(11.027mA) = 11.727V$$

$$I_{c2} = \beta I_{b2} = (100)(109.17\mu A) = 10.917 mA$$

$$V_{e2} = R8I_{e2} = (1K)(11.027mA) = 11.027V$$

$$V_{c2} = V_{cc} = 12V$$

$$V_{ce} = V_c - V_e = 12V - 11.027V = 0.973V$$

En base a los resultados anteriores, es posible calcular la potencia de salida del circuito. Dicho dato es importante, ya que éste determina el alcance del transmisor.

$$P = I_{c2} \times V_{ce} = (10.917mA)(0.973V) = 10.622 mW \quad (6)$$

Como puede observarse en la ecuación 6, la potencia de salida del transmisor es muy pequeña, lo cual en este caso es lo deseado para no ocasionar interferencia. Por otra parte, en esta etapa no es posible realizar el análisis del circuito en CA, ya que en este caso los capacitores lo impiden al comportarse como corto circuito, esto se debe a que éste no es el fin de los capacitores. Por lo tanto, el circuito de CA resultante se ilustra en la figura 4.

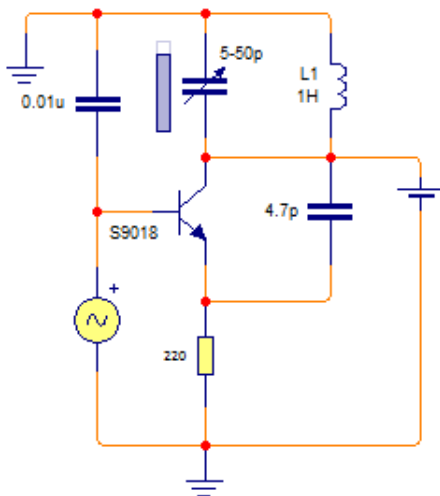


Figura 7

En la etapa del modulador se encuentra también la parte del oscilador, que no es más que el circuito tanque, el mismo que está conformado por la bobina y por el capacitor variable

La explicación del funcionamiento del circuito tanque se basa en el hecho de que el inductor y el capacitor intercambian energía eléctrica y magnética indefinidamente, produciendo así oscilaciones.

La importancia de dicho circuito radica en que la frecuencia de oscilación corresponde a la frecuencia de transmisión; sin embargo, dicha frecuencia depende de los valores del inductor y capacitor.

El capacitor C5 conectado entre el colector y emisor del transistor ayuda a mantener un nivel de voltaje y a recargar el circuito tanque, con lo que se reducen las pérdidas debidas a la producción de calor por la resistencia de dichos elementos, además dicho capacitor asegura que durante el semiciclo negativo de la señal el circuito tenga una conexión a tierra.

Calculo de la bobina

$$L = \mu \frac{1.257}{10^8} \frac{n^2 s}{l}$$

Donde n es el número de vueltas, s es el área de la bobina, l es la longitud de la bobina, u la permeabilidad magnética del núcleo de la bobina.

- n = 6 vueltas de la bobina;
- l = 2 cm;
- s = 2 cm<sup>2</sup>;
- u = 1;

Reemplazando los datos en la formula anterior tenemos:

$$L = (1) \frac{1.257}{10^8} \frac{6^2 \times 2cm^2}{(2cm)}$$

$$L = 42.25 \mu H$$

La frecuencia de oscilación del circuito se calcula

mediante la siguiente fórmula:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Como ya sabemos el valor de la inductancia y de la frecuencia a la que vamos a trabajar, por lo tanto procedemos a calcular el valor del capacitor, de la siguiente manera:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L}$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 (92.1 \text{ Mhz})^2 (42.25 \times 10^{-6})}$$

$$C = 0.65 \text{ pF}$$

Como el capacitor es variable de 6.8 a 45 pF, entonces es posible variar la capacitancia hasta la deseada que en nuestro caso según los cálculos anteriores es aproximadamente 0.65 pF.

Para la longitud de la antena El último elemento tomado en consideración como parte del análisis del circuito transmisor es la antena, la cual puede ser un simple cable aunque es recomendable utilizar una antena telescópica. Según el tipo de antena usada, ésta debe cumplir con la condición de que su longitud debe ser de al menos la cuarta parte del tamaño de la longitud de onda de la señal que transmitida. La longitud de onda de la señal se calcula con la siguiente fórmula:

$$\lambda = v/f$$

donde  $\lambda$  es la longitud de onda,  $v$  es la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas ( $3 \times 10^8$  m/s), y  $f$  la frecuencia de transmisión (92.1 MHz).

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{92.1 \times 10^6}$$

$$\lambda = 3.257 \text{ m}$$

$$\text{antena} = \lambda/4$$

$$\text{antena} = 3.257 \text{ m}/4$$

$$\text{antena} = 0.81 \text{ cm}$$

## V. PRUEBAS Y FUNCIONAMIENTO

En la realización de este proyecto realizamos varias prácticas para comprobar el funcionamiento correcto del transmisor.



Figura 8. Pruebas de funcionamiento

## VII. CONCLUSIONES

- En las señale de FM la amplitud de la portadora permanece constante, mientras que su frecuencia varia entorno a la frecuencia central.
- La amplitud FM y potencia transmitida permanecen constantes.
- Para determinar la cantidad de desviación de la portadora se usa la amplitud de la frecuencia de la portadora.
- La parte fundamental del transmisor es el circuito tanque (LC), ya que la frecuencia de transmisión depende de los parámetros seleccionados para el inductor y capacitor
- Se ha utilizado el transistor S9018 ya que con este obtuvimos mejores resultados y menos ruido a la salida del transmisor.
- Se debe tomar en cuenta el acoplamiento

entre las diferentes etapas del transmisor (señal de audio, amplificador, modulador, amplificador de RF y antena) ya que de ello depende el correcto funcionamiento del dispositivo electrónico.

- Se debe tomar en cuenta los niveles de la señal de entrada para que los transistores no lleguen a saturarse, y así poder obtener una señal pura para luego transmitirse. Tal es el caso una señal por micrófono y una señal de audio de entrada

- En la etapa de amplificación de RF no se obtuvo buenos resultados debido a que no se hizo un buen acoplamiento.

## VII. REFERENCIAS

- [1] **Wayne Tomasi (n. d).** **Sistemas de Comunicaciones Electronicas..** PRENTICE HALL MEXICO , 2003 (4ta edición)
- [2] *catarina.udlap.mx/u\_dl\_a/tales/documentos/...a.../capitulo2.pdf* [Consultada 10 de febrero del 2011]
- [3] [www.tecnun.es/asignaturas/labcompelec/Practica\\_1\\_v3.doc](http://www.tecnun.es/asignaturas/labcompelec/Practica_1_v3.doc) [Consultada 10 de febrero del 2011]