

Transmisor de audio y video

para un enlace optoelectrónico

1 Resumen

Se propone el diseño y construcción de un transmisor de dos señales de información: audio que modula una portadora en frecuencia y una señal de video en banda base. Las señales de información están multicanalizadas por división de frecuencia. Este transmisor es útil para modular la luz de una fuente optoelectrónica e inyectar la información luminosa a una fibra óptica para transmitirla a varios usuarios.

En las siguientes publicaciones se desarrollará el diseño de un enlace optoelectrónico así como el receptor para recuperar las señales de audio y video

2 Descripción del sistema

La señal de audio se genera de una fuente de señal sonora o algún reproductor de audio. La señal presenta un voltaje máximo de $1 V_{pp}$, y una impedancia de 75Ω .

La señal de audio se enfatiza, y modula a una portadora en frecuencia. Posteriormente se ajusta en amplitud para la etapa de multicanalización.

La señal de video se recibe de forma externa, desde una fuente de video compuesto y se acopla a la sección de tratamiento de video, donde se filtra en pasa bajas, preparándola para la etapa de multicanalización

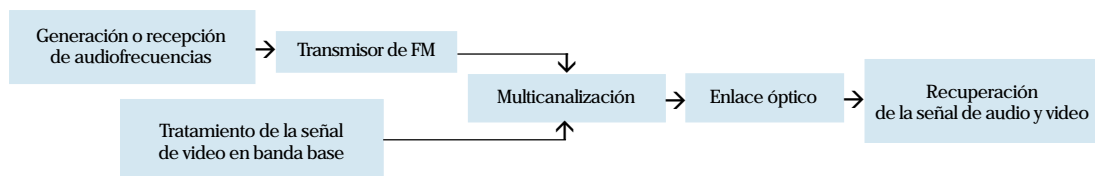


FIG. 1 DIAGRAMA DETALLADO A BLOQUES DEL SISTEMA PROPUESTO

La etapa de multicanalización es un circuito sumador. La señal multicanalizada se amplifica para la conversión optoelectrónica.

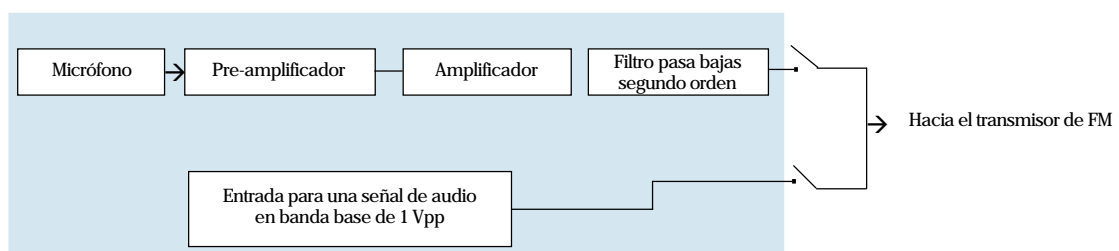
3 Transmisor de audio y video

En esta sección se diseña y caracteriza el transmisor-receptor de audio y video, en el orden mostrado en el diagrama de bloques.

La señal de audio

En esta sección se determina el espectro de audiofrecuencias a transmitir. La Fig. 2 muestra los elementos que componen el circuito de audiofrecuencias.

FIG. 2 BLOQUE DE ADQUISICIÓN DE AUDIOFRECUENCIAS



Transductor

La señal de información de audio puede ser la música o la voz, por tanto, se usa un micrófono como transductor. El micrófono empleado es de tipo electret. La razón de ocupar un micrófono de este tipo es su bajo costo y rápida adquisición; la polarización del mismo se trata junto con el pre-amplificador. En lugar de un micrófono, también puede utilizarse un equipo reproductor de audio de alta fidelidad monofónico como fuente de audio.

Pre-amplificador de audio

El pre-amplificador emplea un transistor P2N2222A [1] bajo la configuración emisor común, tal como se muestra en la Fig. 3

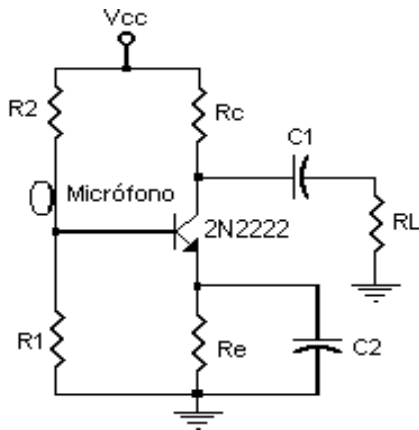


FIG. 3 PRE-AMPLIFICADOR

El circuito de la Fig. 3 se diseña y se obtienen los siguientes resultados, los valores de los resistores y capacitores ya están ajustados a valores comerciales:

- $V_{cc} = 5\text{ V}$
- $\beta = 200$
- $A_v = 10$
- $R_E = 270\ \Omega$
- $R_C = 2.7\text{ K}\Omega$
- $R_1 = 4.5\text{ K}\Omega$
- $R_2 = 22.5\text{ K}\Omega$
- $R_L = 100\text{ K}\Omega$.
- $C_1 = 2.2\text{ mF}$ para una frecuencia de 7 Hz.
- $C_2 = 220\text{ mF}$ para una frecuencia de 7 Hz.

En la Fig. 4 se muestra su respuesta en frecuencia.

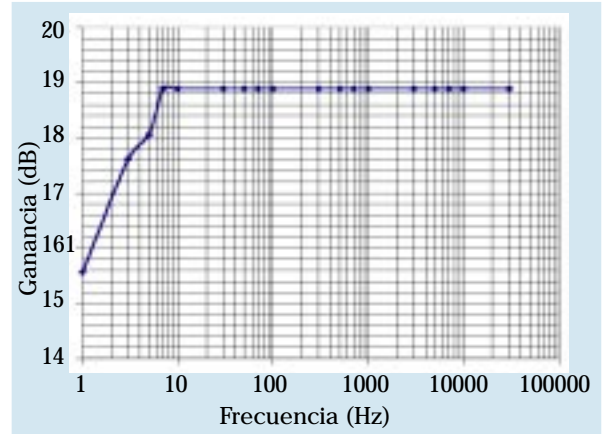


FIG. 4 ANCHO DE BANDA Y GANANCIA DEL CIRCUITO PRE-AMPLIFICADOR

En la Fig. 4 se puede observar una ganancia muy plana a partir de 7 Hz y hasta los 30 KHz. Las audiofrecuencias se encuentran en un rango de 16 Hz, a los 16 KHz^a, por tanto, se puede decir que el pre-amplificador no distorsiona la amplitud de la señal de audio recibida por el micrófono y además no limita el rango de las audiofrecuencias.

Amplificador

Se necesita un amplificador de ganancia de 75 y con inversión de fase 180° de la señal del pre-amplificador, para lograr un voltaje de entrada de 1 Vpp al filtro pasa bajas.

Se propone el amplificador operacional TL081 [3] bajo la configuración inversora, Fig. 5. A partir de su función de transferencia

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Se propone $R_2 = 15\text{ K}\Omega$ y como $\frac{V_o}{V_i} = -75 \Rightarrow R_1 = 200\ \Omega$

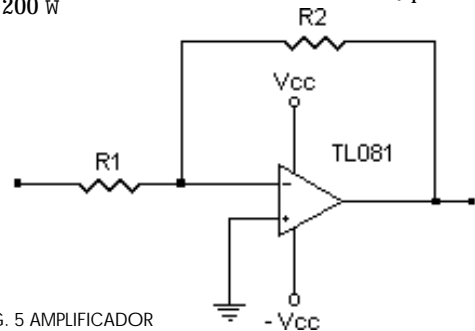


FIG. 5 AMPLIFICADOR

^a El intervalo completo de las audiofrecuencias está comprendido de los 16 Hz hasta los 16 KHz, pero se ha convenido en fijar el espectro audible a partir de los 20 Hz hasta los 20 KHz. [2]

En la Fig. 6 se muestra su respuesta en frecuencia.

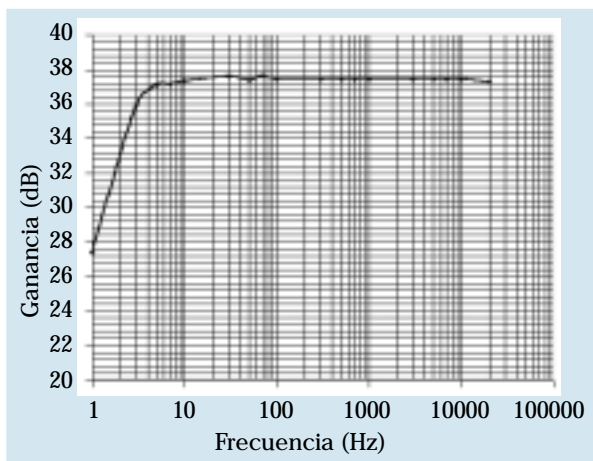


FIG. 6 RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL AMPLIFICADOR INVERSOR

El circuito amplificador inversor proporciona una ganancia de aproximadamente 38 dB y su respuesta en frecuencia es prácticamente plana, se observa una pequeña variación entre 30 y 50 Hz, y es de aproximadamente 1 dB.

Filtro pasa bajas

Se propone diseñar un filtro pasa bajas de segundo orden, de tipo activo y con respuesta Chebyshev, con una frecuencia de corte de 20 KHz y ganancia de 2. Ver Fig. 7.

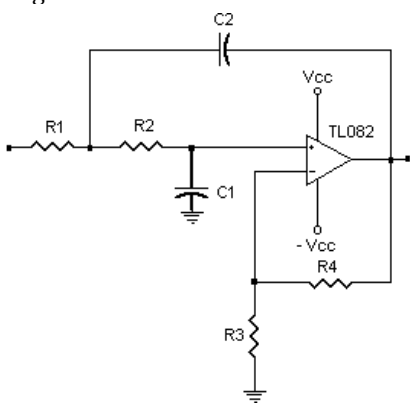


FIG. 7 FILTRO PASA BAJAS

Haciendo uso del circuito integrado TL082 [4] y de las ecuaciones que caracterizan el comportamiento de un filtro pasa bajas de segundo orden de respuesta Chebyshev, se obtienen los siguientes resultados, ajustados a los valores comerciales:

$$C_1 = 1.5 \text{ nF} \quad R_1 = 12 \text{ kW} \quad R_3 = 22 \text{ kW}$$

$$C_2 = 680 \text{ pF} \quad R_2 = 2.2 \text{ kW} \quad R_4 = 22 \text{ kW}$$

En la Fig. 8 se muestra su respuesta en frecuencia.

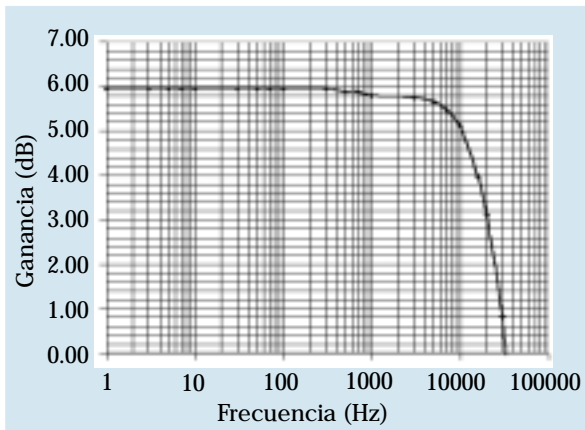


FIG. 8 RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL FILTRO PASA BAJAS

Este filtro pasa bajas no tiene rizo en su banda de paso, su ganancia es de 6 dB hasta 300 Hz, a partir de ahí disminuye la ganancia hasta alcanzar 3 dB en 20 KHz, la cual es la frecuencia de corte del filtro.

4 Transmisor de FM

Para el desarrollo de un modulador de frecuencia, la señal de audio se somete a un proceso de pre-énfasis antes del proceso de modulación.

En la Fig. 9 se muestran los elementos que componen al transmisor de FM. Aquí se observan las etapas, de pre-énfasis y el circuito modulador de FM.

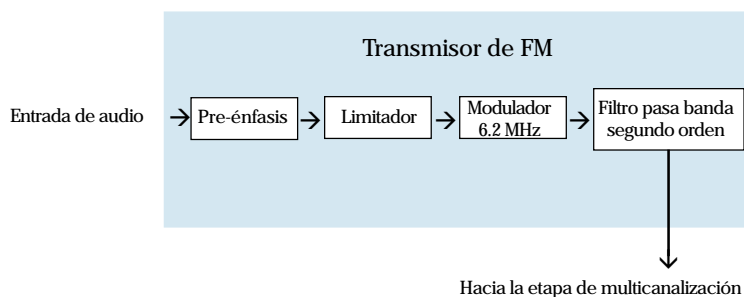


FIG. 9 TRANSMISOR DE FM

Pre-énfasis

Un circuito de pre-énfasis se muestra en la figura 10. Este circuito es esencialmente un filtro pasivo pasaltas, el cual consiste de una combinación paralelo R-C (R_1 , C_1) y un resistor (R_2).

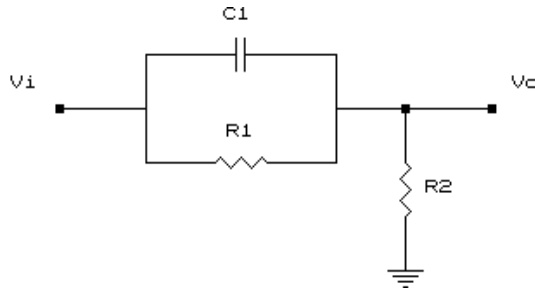


FIG. 10 CIRCUITO DE PRE-ÉNFASIS

De la Fig. 10
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{s + \frac{1}{R_1}}{s + \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 C_1}} \quad (2)$$

$f_1 = 1 / 2\pi R_1 C_1 \quad (3)$

y $f_2 = (R_1 + R_2) / 2\pi R_1 R_2 C_1 \quad (4)$

$f_p = 1 / 2\pi R_p C_1 \quad (5)$

Donde:

$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad y \quad s = j\omega$

Para el diseño del circuito de pre-énfasis se proponen los siguientes valores:

- $R_2 = 5.6 \text{ K}\Omega$
- $C_1 R_1 = 72 \text{ ms} \quad (6)$
 - Si $C_1 = 1.2 \text{ nF}$
 - $\Rightarrow R_1 = 60 \text{ K}\Omega$

Se caracteriza al circuito de pre-énfasis, ver Fig. 11. La respuesta en frecuencia del circuito corresponde a un filtro pasa-altas.

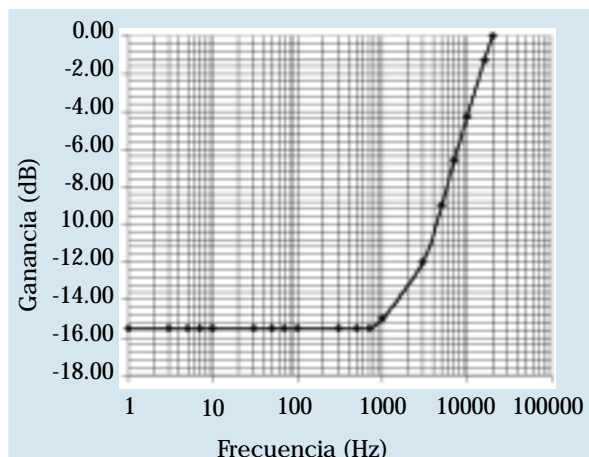


FIG. 11 RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL CIRCUITO DE PRE-ÉNFASIS

Observando la Fig. 11 se puede notar como se empiezan a atenuar las frecuencias menores a 20 KHz. La atenuación cesa a los 700 Hz, y por esa razón en la gráfica se observa una línea constante en -15.6 dB.

Nótese como en la gráfica existe una diferencia de 3 dB entre 2.2 KHz y las frecuencias de atenuación constante. Este circuito cumple las normas de pre-énfasis para modular una portadora en frecuencia por audio-frecuencias.

Modulador directo de FM

El modulador de FM se basa en el circuito integrado MC1376 [5]. En la Fig. 12 se muestra la configuración del circuito del modulador completo.

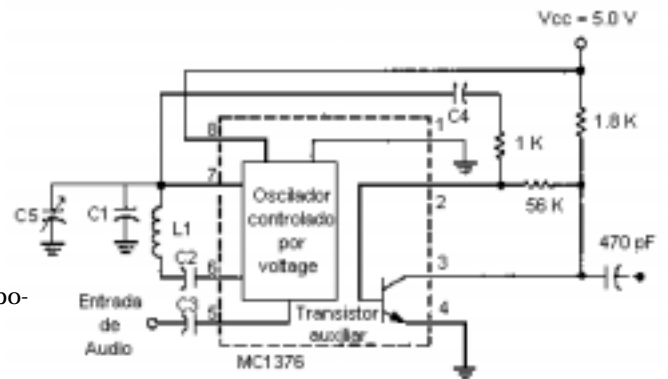


FIG. 12 CONFIGURACIÓN DEL MODULADOR FM

Los siguientes datos son dados por el fabricante, para obtener la frecuencia de la portadora deseada.

$Z_{pin7} = 2.0 \text{ K}\Omega$

$C_2 = 1.0 \text{ nF}$

$C_4 = C/5 \text{ mF} \quad (7)$

$C = C_1 + C_4 + C_5 \quad (8)$

Una recomendación dada por el fabricante es mantener la $|X_{L1}|$ del inductor del modulador en el rango de 300 Ω a 1.0 K Ω , para mantener la estabilidad del oscilador.

Como se empleará una portadora de 6.2 MHz se necesita cumplir lo siguiente:

$7.7\mu\text{H} \leq L_1 \leq 25.6\mu\text{H} \quad (9)$

Entonces el valor propuesto es:

$L_1 = 8.5 \text{ mH}$

$\Rightarrow |X_{L1}| = 331\Omega$

La frecuencia de portadora del circuito integrado MC1376 se calcula a partir de la resonancia producida por L y C.

Se realizan los cálculos para obtener la portadora de 6.2 MHz. A partir de la Ec. (10) se calcula el valor de C:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (10)$$

$$\Rightarrow C = \frac{1}{L(2\pi f_c)^2} \quad (11)$$

donde

f_c = frecuencia central o frecuencia de portadora

L = inductancia

C = capacitancia

Para $f_c = 6.2$ MHz $C = 77.5$ pF

$\Rightarrow C_1 = 68$ pF

$C_4 = 15$ pF

C_5 es una capacitancia variable, su función principal es realizar pequeños ajustes a la capacitancia C_1 . Su rango de valores está comprendido entre 20 y 60 pF.

El transistor auxiliar sirve para dar una ganancia a la señal de portadora. La polarización usada es la sugerida por el fabricante.

En la Fig. 13 se muestra la caracterización del modulador.

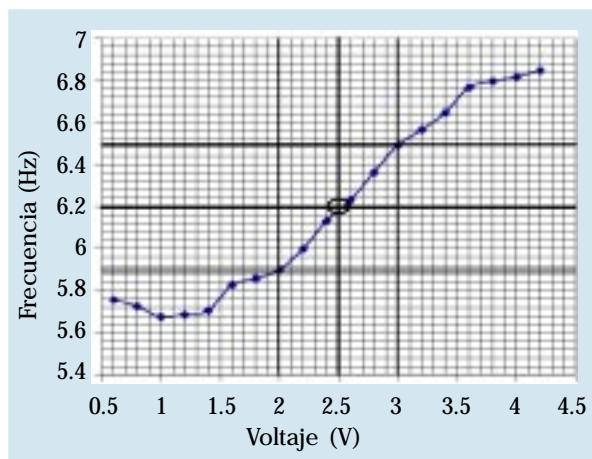


FIG. 13 CARACTERIZACIÓN DEL MODULADOR

La función de transferencia del VCO en su parte lineal ($2\epsilon V \epsilon 3$) es:

$$\frac{\Delta f}{\Delta V} = \frac{6.5\text{MHz} - 5.9\text{MHz}}{3.0\text{V} - 2.0\text{V}} = \frac{0.6\text{MHz}}{1.0\text{V}} = 0.6 \frac{\text{MHz}}{\text{V}} \quad (12)$$

Este resultado determina el máximo valor de voltaje de modulación a 1 V_{pp}, implicando una desviación de frecuencia pico a pico de 600 KHz.

Este valor es importante porque a partir de él se obtiene la sensibilidad del modulador, sólo se multiplica por 2p, como se muestra en la ec. (13).

$$K_1 = 2\pi \frac{\Delta f}{\Delta V} = 2\pi[\text{rad}] \cdot 0.6 \left[\frac{\text{MHz}}{\text{V}} \right] \cong 3.77 \left[\frac{\text{radMHz}}{\text{V}} \right] \quad (13)$$

El voltaje de salida de la portadora es de 1 V_{pp}, es decir

$$V_{po} = 0.5 \text{ V} \quad (14)$$

Además también se puede observar de la Fig. 13 que el voltaje máximo de la señal modulante es 0.5V, esto es

$$V_m = 0.5 \text{ V} \quad (15)$$

En la figura 14 a) se muestra el espectro de la portadora de audio y en la Fig. 14 b) se tiene el espectro de la portadora modulada con una señal sinusoidal de 1 V_{pp} y una frecuencia de 20 KHz, la cual es la frecuencia máxima de modulación.

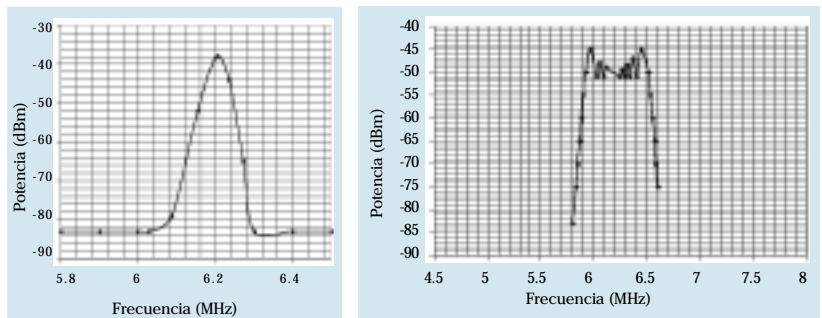


FIG. 14 A) ESPECTRO DE LA PORTADORA B) ESPECTRO DE LA PORTADORA MODULADA

El modulador se diseñó para tener una portadora de 6.2 MHz. En la Fig. 14 a) se puede observar la frecuencia central, es de aproximadamente 6.2 MHz.

Características del modulador de FM

De la ec. (15) se sabe como se representa una señal de forma cosinusoidal modulada en frecuencia por una señal de tono de forma cosinusoidal.

$$m_{fr}(t) = V_{po} \text{Cos} [\omega_{po} t + (K_1 V_m / \omega_m) \text{Sen}(\omega_m t)] \quad (16)$$

Del diseño realizado se obtuvieron los siguientes datos

$$V_{po} = 0.5 \text{ V} \quad (17)$$

$$f_{po} = 6.2 \text{ MHz} \quad (18)$$

$$K_1 = 3.77 \left[\frac{\text{radMHz}}{\text{V}} \right] \quad (19)$$

$$V_m = 0.5 V \quad (20)$$

$$f_m = 20 \text{ KHz} \quad (21)$$

Sustituyendo los valores anteriores en la ec. (16) se tiene

$$m_{fr}(t) = 0.5V \text{ Cos}[38.95 \times 10^6 t + 15 \text{ Sen}(125.66 \times 10^3 t)] \quad (22)$$

Al obtener la ec. (22), se ha calculado implícitamente el índice de modulación, tiene un valor de 15.

$$b = 15 \quad (23)$$

Por tanto, usando la regla de Carson, se obtiene el ancho de banda necesario para transmitir la portadora

$$B_c = 2 (300 \text{ KHz} + 20 \text{ KHz}) \quad (24)$$

$$B_c = 640 \text{ KHz} \quad (25)$$

El ancho de banda por número de bandas laterales se puede obtener aplicando la ec. (22). En la tabla 1 se muestran los valores calculados para la función Bessel de primera clase y argumento $b=15$.

β	J_0	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5
15	-0.0142	0.2051	0.0416	-0.1940	-0.1192	0.1305
β	J_6	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{11}
15	0.2061	0.0345	-0.1740	-0.2200	-0.0901	0.1000
β	J_{12}	J_{13}	J_{14}	J_{15}	J_{16}	J_{17}
15	0.2367	0.2787	0.2464	0.1813	0.1162	0.0665
β	J_{18}	J_{19}	J_{20}	J_{21}	J_{22}	J_{23}
15	0.0346	0.0166	0.0074	0.0031	0.0012	0.0004

TABLA 1 VALORES DE LA FUNCIÓN BESSEL DE PRIMERA CLASE PARA $b=15$

De la tabla 1 se puede deducir el número de bandas laterales significativas

$$n = 19 \quad (26)$$

Por tanto, de la ec. (2.43) se obtiene el ancho de banda

$$B_B = 2 (19 \times 20 \text{ KHz}) \quad (27)$$

$$B_B = 760 \text{ KHz} \quad (28)$$

5 La señal de video compuesto

En las cámaras de video de color, todos los colores se generan mezclando diferentes cantidades de tres colores primarios: rojo, azul y verde. Una cámara de color consiste en realidad de tres cámaras, cada una con señales de video separadas. Cuando se explora una imagen, se utilizan tubos de cámara independientes para cada uno de los colores primarios. La cámara roja produce la señal de video R, la cámara verde genera la señal de video G y la cámara azul la señal de video B. Las señales de video R, G, B se combinan en proporciones

específicas en un codificador con el fin de generar la brillantez (luminancia) y señal de video Y, además de las señales de video cromáticas (color) I y Q. La señal de luminancia corresponde a una señal de video monocromática. Las señales de color I y Q modulan en amplitud una subportadora de color de 3.579545 MHz para producir la señal de color total C. La señal I modula la subportadora directamente en el modulador balanceado I, mientras que la señal Q modula una subportadora de cuadratura en el modulador balanceado Q. Las señales moduladas I y Q se combinan en forma lineal para producir una señal de modulación en amplitud de cuadratura, C, la cual es una combinación de la modulación de amplitud y de fase. La señal C se combina con la señal Y, los pulsos de sincronización y los pulsos de blanqueo para producir la señal de video compuesta total (T).

La señal de luminancia (Y) se forma combinando las señales R, G y B en las siguientes proporciones

$$Y = 0.30 R + 0.59 G + 0.11 B \quad (29)$$

La señal Y se transmite con un ancho de banda de 0 a 4 MHz, sin embargo, los receptores limitan el ancho de banda de la señal Y a 3.2 MHz para que no interfiera con la señal de color de 3.579545 MHz. La señal I se transmite con un ancho de banda de 1.5 MHz, mientras que la señal Q es transmitida con un ancho de banda de 0.5 MHz, sin embargo casi todos los receptores limitan las señales I y Q a un ancho de banda de 0.5 MHz [9].

La señal de crominancia (C) es una combinación de las señales de color I y Q.

La señal I, o de color en fase, se obtiene combinando las señales R, G y B en la proporción indicada por la ecuación (29). El signo negativo indica que la señal ha tenido un desplazamiento en fase de 180° .

$$I = 0.60 R - 0.28 G - 0.32 B \quad (30)$$

La señal Q o señal de color en cuadratura se genera combinando las señales R, G y B en las siguientes proporciones

$$Q = 0.21 R - 0.52 G + 0.31 B \quad (31)$$

En el receptor, la señal C reproduce colores en proporción a las amplitudes de las señales I y Q. El matiz (tono de color) se determina por la fase de la señal C y la profundidad o saturación es proporcional a la magnitud de la señal C.

Los pulsos de sincronización se emplean para reproducir correctamente la señal de video.

Los pulsos de blanqueo, son señales de video que se agregan a la luminancia y a los pulsos de sincronización con la amplitud correcta para asegurar que el receptor sea blanqueado durante los tiempos de retraso verticales y horizontales. Los pulsos de blanqueo son señales de video con amplitudes que no producen ninguna luminancia (brillantez) en el tubo de rayos catódicos.

La ráfaga de color es la transmisión de la subportadora de color, junto con la señal de video compuesta, para que un receptor pueda reconstruir la subportadora con la frecuencia y la fase de referencia adecuada y por tanto determine la fase (color) de la señal que se recibe. La ráfaga de color tiene una frecuencia de 3.579545 MHz y sólo se transmiten de 8 a 10 ciclos.

En la Fig. 15 se muestra una señal de video compuesta, esta señal corresponde a una imagen de barras verticales de color, se muestra esta señal para visualizar las partes fundamentales de la misma.



FIG. 15 SEÑAL DE VIDEO COMPUESTA

Tratamiento a la señal de video (transmisor)

Una vez acoplada la señal se amplifica y filtra en pasa bajas, lo que garantiza el ancho de banda de la señal de video a transmitir. Enseguida, se amplifica la señal, esto con el fin de entregarla con una amplitud óptima a la etapa de multicanalización.

La etapa de tratamiento a la señal de video está compuesta por varias secciones, tal como se muestra en la Fig. 16. Sólo se describe el filtro pasa bajas porque la etapa de acoplamiento y los amplificadores están contruidos por amplificadores operacionales en la configuración no inversora.

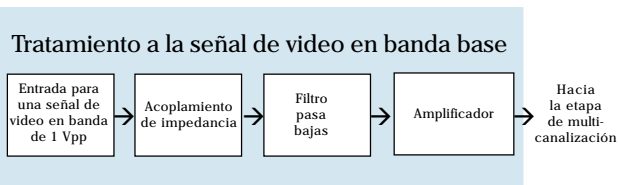


FIG. 16 SECCIÓN DE TRATAMIENTO A LA SEÑAL DE VIDEO

Filtro pasa bajas

Para construir el filtro pasa bajas se usan dos amplificadores operacionales, contenidos en el circuito integrado CLC414 [6]. Como se puede observar en la Fig. 17, el filtro pasa bajas es de cuarto orden y de tipo activo. El diseño se hace para que tenga una respuesta Chebyshev.

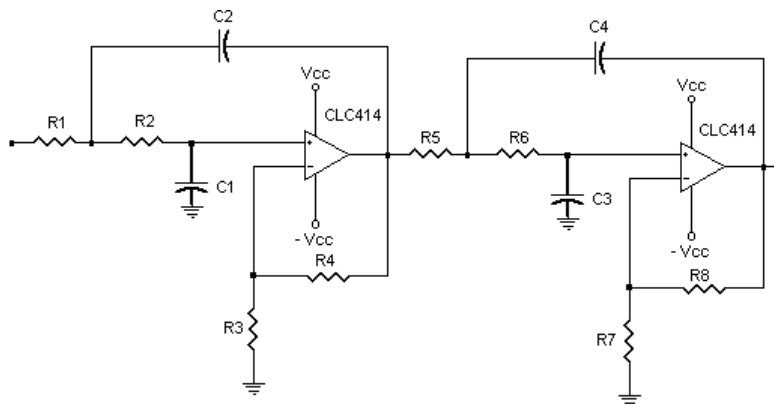


FIG. 17 FILTRO PASA BAJAS DE CUARTO ORDEN

Para construir el filtro se hace uso de la información contenida en las notas de aplicación OA-26 de National Semiconductor [7].

Una vez calculados los valores teóricos se ajustan a los comerciales, quedando los siguientes datos:

- R1 = 762 Ω = 680 Ω + 82 Ω
- R2 = 309 Ω resistor de precisión
- R3 = 1.5 KΩ
- R4 = 2.2 KΩ
- R5 = 220 Ω
- R6 = 309 Ω resistor de precisión
- R7 = 1.5 KΩ
- R8 = 2.2 KΩ
- C1 = 135.2 pF = (100 + 27 + 8.2) pF
- C2 = 100 pF
- C3 = 100 pF
- C4 = 100 pF

Una vez construido se caracteriza. En la Fig. 18 se muestra su respuesta en frecuencia.

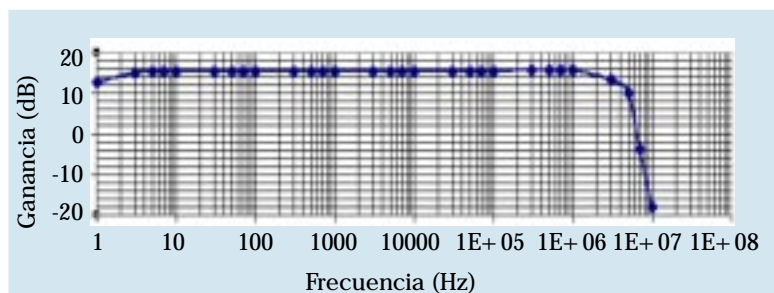


FIG. 18 RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL FILTRO PASA BAJAS

El filtro pasa bajas limita la banda de frecuencias de la señal de video a 4 MHz. Éste presenta una ganancia de 16 dB en su frecuencia de paso.

6 Multicanalización

En la Fig. 19 se observan los bloques que indican la multicanalización. La parte importante de esta etapa es el circuito sumador.

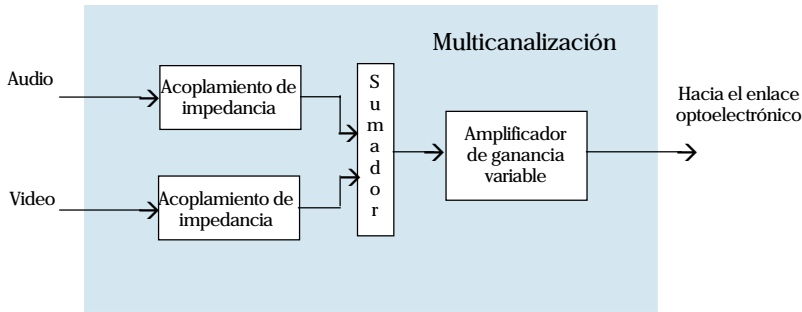


FIG. 19 BLOQUE DE LA SECCIÓN DE MULTICANALIZACIÓN

Multicanalización

El sistema de multicanalización está basado en un circuito sumador, tiene la función de multicanalizar la portadora modulada en frecuencia y la señal de video en banda base, por tanto, se necesitan dos entradas al mismo.

Antes de sumar las señales de información, se hacen pasar por un Amp. Op. CLC414 bajo la configuración seguidor para igualar las impedancias de entrada.

Circuito sumador

El circuito sumador se muestra en la Fig. 20.

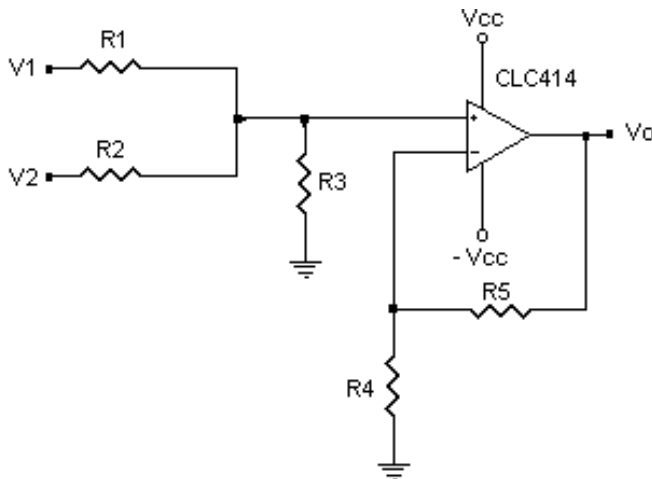


FIG. 20 CIRCUITO SUMADOR, MULTICANALIZADOR DE DOS SEÑALES

Para iniciar el diseño del circuito propuesto se obtiene el voltaje de salida:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) \cdot \left[\frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} V_1 + \frac{R_1 \parallel R_3}{R_2 + R_1 \parallel R_3} V_2 \right] \quad (32)$$

Eligiendo:

$$R_1 = R_2 = R_3 = 1K\Omega$$

$$R_4 = R_5/2 = 250 \Omega$$

El voltaje de salida queda como

$$V_o = V_1 + V_2 \quad (33)$$

el resultado buscado, sumar dos señales.

En la Fig. 21 se muestra la respuesta en frecuencia del circuito sumador, y en la fotografía 1 se tiene el espectro de dos señales multicanalizadas.

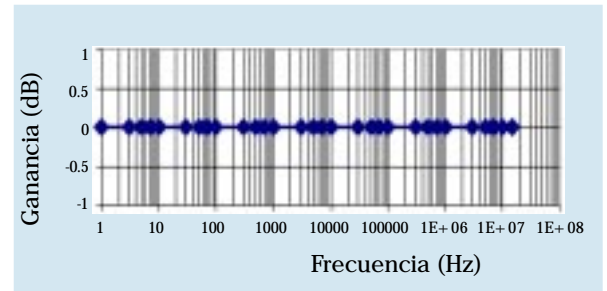


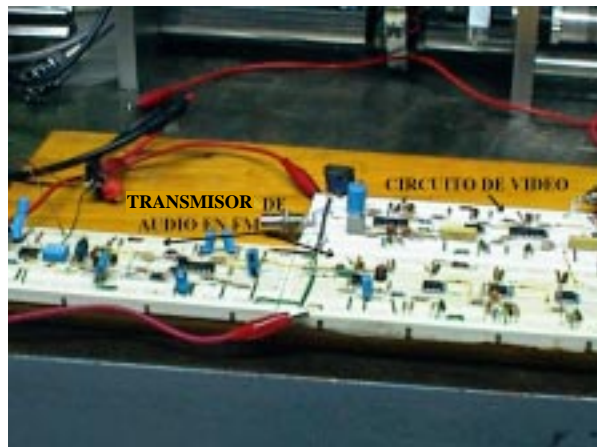
FIG. 21 RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL CIRCUITO MULTICANALIZADOR

En la fotografía 1 se muestra el espectro multicanalizado de una señal sinusoidal de 2 MHz, y la portadora de 6.2 MHz.



FOTOGRAFÍA 1 ESPECTRO DE LA MULTICANALIZACIÓN DE LA PORTADORA DE AUDIO Y UNA SEÑAL SINUSOIDAL DE 2 MHz

En la fotografía 2 se muestra el transmisor de audio y video. En la parte inferior de la fotografía 2 se muestran dos tablas de construcción de prototipos, ahí se encuentra el transmisor de FM y en la tabla superior se encuentra la sección que trata a la señal de video en banda base.



FOTOGRAFÍA 4.2 TRANSMISOR DE AUDIO Y VIDEO

7 Características del transmisor de audio y video

Característica	Valor	Ecuación
Voltaje de la portadora	$1 V_{pp}$	17
Frecuencia de la portadora	6.2 MHz	18
Voltaje máximo de la señal modulante	$1 V_{pp}$	20
Rango de frecuencias transmitidas	2.5 Hz a 20 KHz	Figs. 6 y 8
Sensibilidad del modulador	3.77 rad MHz / V	19
Índice de modulación (tono de 20 KHz)	15	23
Desplazamiento pico de frecuencia (tono de 20 KHz)	300 KHz	14 b)
Ancho de banda (Regla de Carson)	640 KHz	25
Ancho de banda (Bandas laterales)	760 KHz	28
Ancho de banda del sistema	6.52 MHz	calculada
Impedancia de entrada	75Ω	condición
Voltaje de entrada de audio	$1 V_{pp}$	condición

TABLA 2 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA TRANSMISOR-RECEPTOR DE AUDIO Y VIDEO

8 Conclusiones

Se ha diseñado y construido un sistema para la transmisión multicanalizada de señales de audio y video en banda base.

El audio que se incorpora al sistema optoelectrónico, modula en frecuencia a una portadora de 6.2 MHz. El modulador de FM es de banda ancha, ya que tiene un índice de modulación de 15. Éste se construye a partir de un VCO de circuito integrado de la compañía Motorola (MC1376).

La fotografía 1 muestra la lectura de un analizador de espectros, indica la adecuada operación de la etapa

de multicanalización. Las señales multicanalizadas tienen la suficiente potencia para ser inyectadas a cualquier dispositivo para alguna aplicación.

Se hace uso continuo de amplificadores de banda ancha para probar estos dispositivos nuevos en el mercado.

Las aplicaciones de este sistema son muy variadas, como pueden ser transmisores de videoconferencia, para televigilancia, entre otras.

El sistema de transmisión, recepción y enlace óptico es muy grande para describir en este artículo, por tanto, se reserva la evaluación final del sistema operando en conjunto. Ésta consiste en transmitir audio y video y analizar cuantitativamente cada etapa del sistema **T**

9 Referencias

- [1] Motorola Semiconductor, "Amplifier Transistors NPN Silicon P2N2222A", <http://scgproducts.motorola.com/ProdSum.asp?base=P2N2222A>
- [2] Luis H. Rodríguez y Horacio D. Vallejo, "Curso completo de Audio & Hi-Fi", Editorial Quark S.R.L., Primera edición, 1993, pp.4-5
- [3] National Semiconductor Corporation, "TL081 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier", <http://www.national.com>, 1-6,
- [4] National Semiconductor Corporation, "TL082 Wide Bandwith Dual JFET Input Operational Amplifier", <http://www.national.com>, 1-10,
- [5] Motorola Semiconductor, "TV Modulator Circuit" <http://www.mot.com>, pp 6-8. Wayne Tomasi, "Sistemas de comunicaciones electrónicas", Prentice Hall, Segunda Edición, 1996, pp 257. Nota: Información y Configuración, respectivamente.
- [6] National Semiconductor Corporation, "Comlinear CLC414 Quad, Low-power Monolithic Op Amp", pp. 1-4, <http://www.national.com/pdf/CL/CLC414.html>
- [7] National Semiconductor Corporation, "Application Note OA-26 Designing High Speed Active Filters", <http://www.national.com/>
- [8] National Semiconductor Corporation, "Application Note OA-26 Designing High Speed Active Filters", <http://www.national.com/search/search.cgi/main?keywords=OA-26>.

Felipe de Jesús Rivera López

Profesor-investigador

Universidad Tecnológica de la Mixteca