

- 1.39 Una onda de AM tiene una potencia total transmitida de 4 kW cuando se modula al 85%. ¿Cuál es la potencia total que debe contener una onda de BLU de modo que tenga el mismo contenido de potencia de las dos bandas laterales?

Resp. 1 061.52 W.

- 1.40 Una transmisión de BLU contiene 800 W. Esta transmisión se va a sustituir con una señal de AM convencional con el mismo contenido de potencia. Determinese el contenido de potencia de la portadora y de cada una de las bandas laterales cuando el porcentaje de modulación es de 85%.

Resp. 587.695 W, 106.15 W.

- 1.41 Calcúlese el factor y el porcentaje de modulación de la onda de AM que se ve en la figura 1-22.

Resp. 0.50, 50%.



Figura 1-22

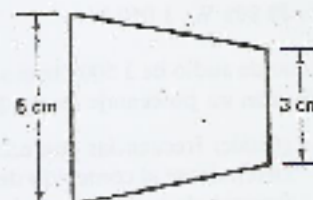


Figura 1-23

- 1.42 Se examina una señal de AM en un osciloscopio. Tiene un máximo pico a pico de 4.5 cm y un mínimo pico a pico de 3 cm.

- Bosqueje el diagrama observado en el osciloscopio.
- Determinese el factor y el porcentaje de modulación de la señal.
- Calcúlese el contenido de potencia de cada una de las bandas laterales si la potencia contenida por la señal en la frecuencia portadora es de 500 W.

Resp. b) 0.3846, 38.46%; c) 18.49 W.

- 1.43 El diagrama trapezoidal observado en la figura 1-23 se da al examinar una onda de AM. Calcúlese el factor y el porcentaje de modulación.

Resp. 0.25, 25%.

- 1.44 Determinese el factor y el porcentaje de modulación de la onda de AM que da lugar al diagrama trapezoidal mostrado en la figura 1-24.

Resp. 0.7143, 7.43%.

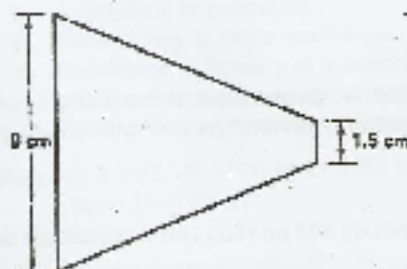


Figura 1-24

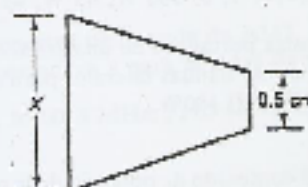


Figura 1-25

- 1.29 Supóngase que se dispone de un ancho de 12 MHz para ser asignado, pero si se usara para el servicio de difusión de TV sólo cubren dos canales. Determinese el número de estaciones de AM que podrían difundir en forma simultánea si la máxima frecuencia moduladora se limita a 5 kHz.
- Resp.* 1 200 estaciones.
- 1.30 En un ancho de banda de 90 kHz caben seis estaciones de AM que transmitan en forma simultánea. ¿A qué frecuencia moduladora máxima debe estar limitada cada estación?
- Resp.* 7 500 Hz.
- 1.31 Una antena transmite una señal de AM cuyo contenido total de potencia es de 15 kW. Determinese la potencia transmitida en la frecuencia portadora y en cada una de las bandas laterales cuando el porcentaje de modulación es de 85%.
- Resp.* 11 019 W, 1 990 W.
- 1.32 Calcúlese el contenido de potencia de la portadora y de cada una de las bandas laterales de una señal de AM cuya potencia total emitida es de 40 kW cuando el porcentaje de modulación es de 60%.
- Resp.* 33 898 W, 3 050 W.
- 1.33 Un tono de audio de 3 500 Hz modula en amplitud a una portadora de 200 kHz resultando una señal modulada con un porcentaje de modulación del 85%. La potencia total transmitida es de 15 kW.
- a) ¿Cuáles frecuencias aparecerán en un análisis de espectro de la onda modulada?
 b) Determinese el contenido de potencia en cada una de las frecuencias que aparecen en un análisis de espectro de la onda modulada.
- Resp.* a) 196 500 Hz, 200 000 Hz, 203 500 Hz; b) 11 019 W, 1 990 W.
- 1.34 Determinese la potencia contenida en la frecuencia portadora y dentro de cada una de las bandas laterales de una señal de AM cuyo contenido total de potencia es de 15 kW cuando el factor de modulación es 0.70.
- Resp.* 12 048 W, 1 475 W.
- 1.35 Una señal modulada en amplitud contiene un total de 6 kW. Calcúlese la potencia transmitida en la frecuencia portadora y en cada una de las bandas laterales cuando el porcentaje de modulación es del 100%.
- Resp.* 4 000 W, 1 000 W.
- 1.36 Una onda de AM tiene un contenido de potencia de 1 800 W en su frecuencia portadora. ¿Cuál es el contenido de potencia de cada una de las bandas laterales cuando la portadora es modulada al 100%?
- Resp.* 325 W.
- 1.37 Una señal de AM contiene 500 W en su frecuencia portadora y 100 W en cada una de sus bandas laterales.
- a) Determinese el porcentaje de modulación de la señal de AM.
 b) Encuéntrese la distribución de potencia si se cambia el porcentaje de modulación a 60%.
- NOTA:* El contenido de potencia de la portadora de una onda de AM no varía con el porcentaje de modulación.
- Resp.* a) 89.44%; b) 500 W, 45 W, 45 W.
- 1.38 La frecuencia portadora de una señal de AM contiene 1 200 W. Determinese el contenido de potencia de cada una de las bandas laterales para cada uno de los siguientes porcentajes de modulación: a) 40%, b) 50%, c) 75%, d) 100%.
- NOTA:* El contenido de potencia de la portadora de una onda de AM no varía con el porcentaje de modulación.
- Resp.* a) 48 W, b) 75 W, c) 168.75 W, d) 300 W.

MODULACIÓN EN AMPLITUD

24

1.24 Una señal de audio cuya descripción matemática es

$$25 \sin(2\pi 1000t)$$

modula a una portadora descrita como

$$75 \sin(2\pi 150000t)$$

- Bosquejese la señal de audio.
- Bosquejese la portadora.
- Constrúyase la onda modulada mostrando todas las magnitudes de amplitud.
- Calcúlense el factor y el porcentaje de modulación.
- ¿Cuál es la frecuencia de la señal de audio? ¿Cuál la de la portadora?
- ¿Cuáles frecuencias aparecerán en un análisis de espectro de la onda modulada?

Resp. a) 0.333, 33.33%; e) 1 000 Hz, 150 000 Hz; f) 149 000 Hz, 150 000 Hz, 151 000 Hz

1.25

Una señal de audio que se describe como

$$30 \sin(2\pi 2500t)$$

modula en amplitud a una portadora descrita como

$$65 \sin(2\pi 250000t)$$

- Bosquejese la señal de audio.
- Bosquejese la portadora.
- Constrúyase la onda modulada.
- ¿Cuál es el factor y el porcentaje de modulación?
- ¿Cuál es la frecuencia de la señal de audio? ¿Cuál la de la portadora?
- ¿Cuáles frecuencias aparecerán en un análisis de espectro de la onda modulada?

Resp. d) 0.4615, 46.15%; e) 2 500 Hz, 250 000 Hz; f) 247 500 Hz, 250 000 Hz, 252 500 Hz

1.26

Una señal de audio con una amplitud de 15 V y 2 000 Hz modula en amplitud a una portadora de 100 kHz la cual tiene un valor pico de 25 V cuando no está modulada.

- Bosquejese a escala la señal de audio.
- Bosquejese a escala la portadora.
- Constrúyase a escala la onda modulada.
- Calcúlense el factor y el porcentaje de modulación de la onda modulada.
- ¿Cuáles frecuencias aparecerán en un análisis de espectro de la onda modulada?

Resp. d) 0.60, 60%; e) 98 kHz, 100 kHz, 102 kHz

1.27

Una señal de 1 800 Hz con una amplitud de 30 V modula en amplitud a una portadora de 50 MHz, la cual cuando no está modulada tiene una amplitud de 65 V.

- Bosquejese la señal moduladora.
- Bosquejese la portadora.
- Constrúyase la onda modulada.
- Calcúlense el factor y el porcentaje de modulación.
- ¿Cuáles frecuencias aparecerían en un análisis de espectro de la onda de AM?
- Escribánsse las ecuaciones trigonométricas para la portadora y para la señal de audio.

Resp. d) 0.4615, 46.15%; e) 49.9982 MHz, 50 000 MHz, 50.0018 MHz; f) $65 \sin(2\pi(50 \times 10^6)t)$, $30 \sin(2\pi(1800)t)$

1.28

¿Cuántas estaciones de radiodifusión de AM caben en un ancho de banda de 6 MHz si cada estación transmite una señal que se modula con una señal de audio cuya frecuencia máxima es de 5 kHz?

Resp. 600 estaciones.

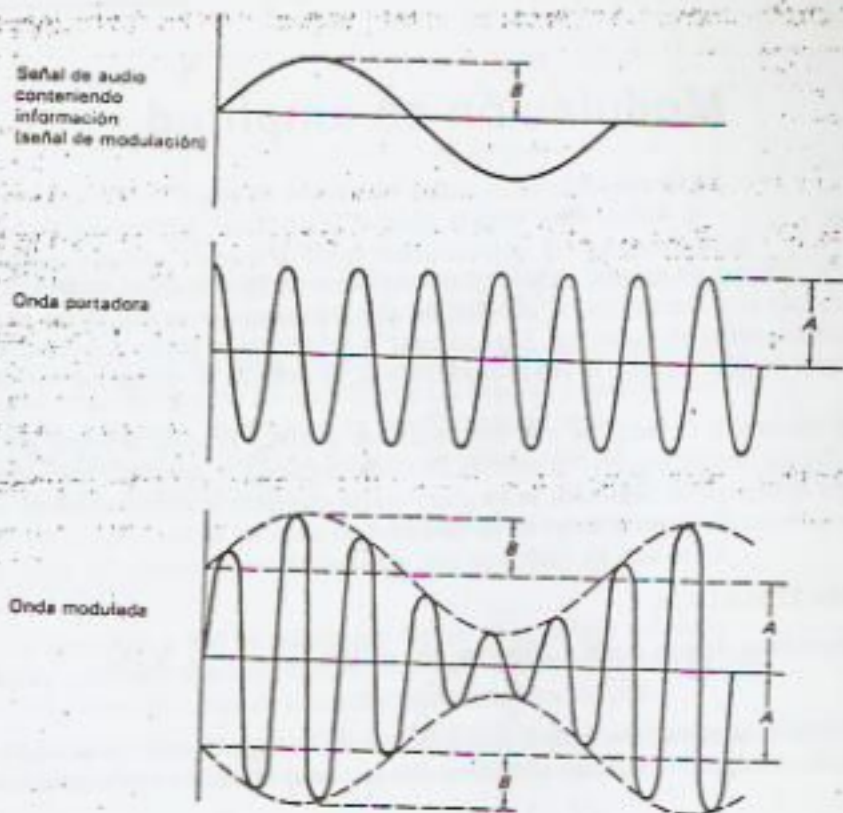


Figura 1-1

Cuando se expresa como porcentaje recibe la designación de *porcentaje de modulación*, M . Empleando la notación de la figura 1-1,

$$m = \frac{B}{A}$$

$$M = \frac{B}{A} \times 100\%$$

El porcentaje de modulación puede variar en cualquier caso de 0 a 100% sin que se introduzca distorsión. Si se permite que el porcentaje de modulación se incremente más allá del 100% se producirá una distorsión acompañada de frecuencias extrañas e indeseables. La figura 1-2 muestra tres grados de modulación: (a) submodulación ($M < 100\%$), (b) modulación al 100% y (c) sobremodulación ($M > 100\%$).

En relación con la ecuación anterior que describe a la onda modulada en amplitud se ve que la onda modulada tiene tres componentes: la primera a una frecuencia f_c , la segunda a una frecuencia $f_c + f_m$ y la tercera a una frecuencia $f_c - f_m$, las cuales producen el espectro frecuencia contra voltaje que se muestra en la figura 1-3(a).

La frecuencia $(f_c + f_m)$ recibe la designación de *frecuencia lateral superior* y $(f_c - f_m)$ la de *frecuencia lateral inferior*. En la mayor parte de los casos la información de audio que se difunde no está formada por una sola onda senoidal pura. Es frecuente encontrar formas de onda realmente complejas. Cualquier forma de onda compleja se puede considerar como la suma de un conjunto de ondas senoidales puras.

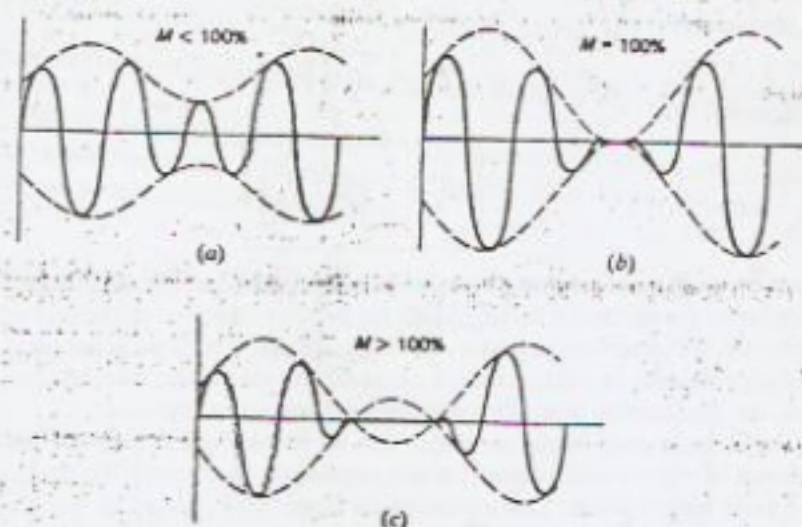


Figura 1-2

Así, cada una de las ondas senoidales que constituyen la onda de audio compleja tendrá tanto la frecuencia lateral superior como la inferior, las cuales podrán encontrarse en el análisis de la onda modulada. En vez de analizar las frecuencias laterales superior e inferior, se hará referencia a las frecuencias de las bandas laterales superior e inferior.

Por lo tanto se puede ver que una estación de radio con la que se pretende difundir información que contenga frecuencias de 0 a 5 000 Hz (5 kHz) necesita una banda lateral superior de 5 kHz y una banda lateral inferior de 5 kHz para satisfacer un requisito de ancho de banda total de 10 kHz. Según las normas de la Comisión Federal de Comunicaciones se permite a una estación en la banda de difusión en AM un ancho de banda de 10 kHz.

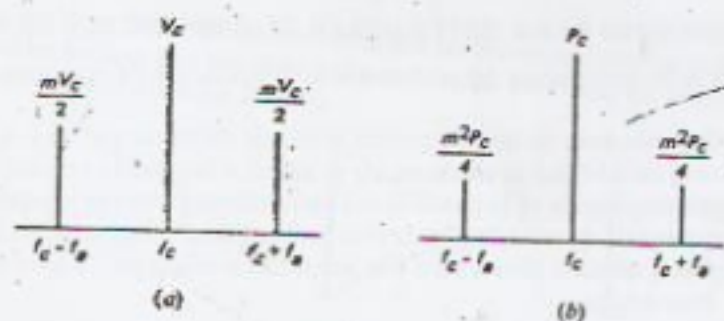


Figura 1-3

CONTENIDO DE POTENCIA

Puesto que la potencia es proporcional al cuadrado del voltaje, el espectro de la potencia contra la frecuencia para una onda modulada en amplitud se asemeja al que se muestra en la figura 1-3(b). Cada banda lateral tiene un contenido de potencia igual a $m^2P_c/4$ en donde P_c es el contenido de potencia de la señal en la frecuencia portadora.

Así, la potencia total es

$$P_T = \frac{m^2P_c}{4} + \frac{m^2P_c}{4} + P_c$$

en donde P_c es el contenido de potencia de la portadora y es independiente del porcentaje de modulación en una transmisión de AM.

Problemas

1.1 a 1.5

Combinando términos,

$$P_T = \frac{m^2 P_c}{2} + P_c$$

Si se factoriza

$$P_T = P_c \left(1 + \frac{m^2}{2} \right)$$

Cuando se hace un análisis numérico de la distribución del contenido de potencia se encuentra que bajo condiciones óptimas (modulación al 100%) en las bandas laterales se localiza sólo un tercio de la potencia transmitida. En la frecuencia portadora se localizan dos tercios de la potencia y no se encuentra contenida ninguna información, la cual está toda contenida dentro de las bandas laterales superior e inferior. En realidad, las dos bandas laterales contienen información idéntica.

Se han diseñado sistemas para hacer un mejor uso de la potencia disponible para ser transmitida. Estos sistemas incluyen la transmisión con portadora suprimida, la transmisión de doble banda lateral y la transmisión de banda lateral única. Los espectros de frecuencia para estos tres sistemas de modulación utilizados se muestran en la figura 1-4. En esencia, en cada uno de estos sistemas se pone la potencia donde está la información. Una ventaja adicional del sistema de banda lateral única es que sólo se requiere para la transmisión la mitad del ancho de banda por lo que pueden transmitir en forma simultánea el doble de estaciones.

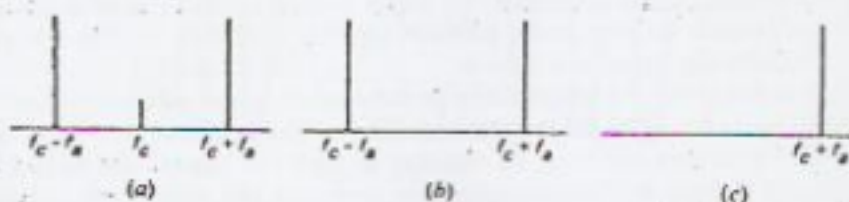


Figura 1-4

1.6 - 2 10.14

EMPLEO DEL OSCILOSCOPIO PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE MODULACIÓN

Existen dos técnicas para la determinación del porcentaje de modulación de una onda de AM empleando el osciloscopio.

En una técnica se aplica una base de tiempo patrón (onda de diente de sierra) a la entrada horizontal del osciloscopio y la onda de AM que se va examinar se aplica a la entrada vertical del mismo aparato. La onda de AM es luego desplegada en la pantalla del osciloscopio, como se muestra en la figura 1-5.

Para determinar el porcentaje de modulación de esta presentación visual en el osciloscopio se divide la diferencia entre la amplitud máxima pico a pico y la amplitud mínima pico a pico por su suma. Examinando esto en forma matemática,

$$M = \frac{\text{máx } p-p - \text{mín } p-p}{\text{máx } p-p + \text{mín } p-p} \times 100$$

$$\begin{aligned} M &= \frac{2(A+B) - 2(A-B)}{2(A+B) + 2(A-B)} \times 100 \\ &= \frac{4B}{4A} \times 100 \\ &= \frac{B}{A} \times 100 \end{aligned}$$

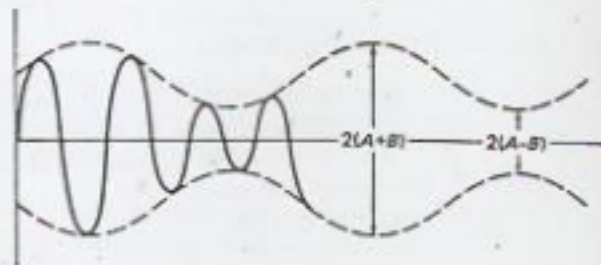


Figura 1-5

MODULACIÓN EN AMPLITUD

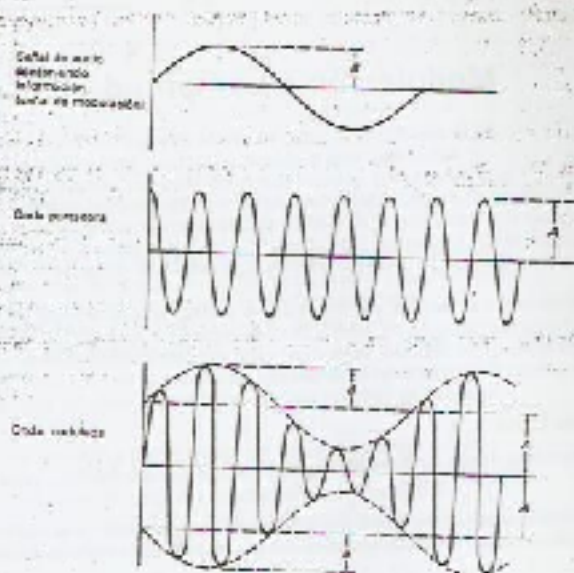


Figura 1-1

Cuando se expresa como porcentaje recibe la designación de *porcentaje de modulación*, M . Empleando la notación de la figura 1-1,

$$m = \frac{B}{A}$$

$$M = \frac{B}{A} \times 100\%$$

El porcentaje de modulación puede variar en cualquier caso de 0 a 100% sin que se introduzca distorsión. Si se permite que el porcentaje de modulación sea incrementalmente más allá del 100% se producirá una distorsión acompañada de frecuencias estruendos e indeseables. La figura 1-2 muestra tres grados de modulación: (a) submodulación ($M < 100\%$), (b) modulación al 100% y (c) sobremodulación ($M > 100\%$).

En relación con la condición anterior que describe a la onda modulada en amplitud se ve que la onda modulada tiene tres componentes: la primera a una frecuencia f_c , la segunda a una frecuencia $f_c + f_m$ y la tercera a una frecuencia $f_c - f_m$, las cuales producen el espectro frecuencia contra voltaje que se muestra en la figura 1-3(a).

La frecuencia $(f_c + f_m)$ recibe la designación de *frecuencia lateral superior* y $(f_c - f_m)$ la de *frecuencia lateral inferior*. En la mayor parte de los casos la información de audio que se difunde no está formada por una sola onda sinusoidal pura. Es bastante encontrar tonos de onda realmente compleja. Cualquier forma de onda compleja se puede considerar como la suma de un conjunto de ondas sinusoidales puras.

MODULACIÓN EN AMPLITUD

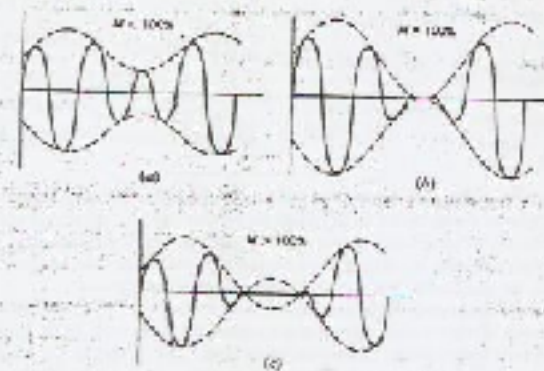


Figura 1-2

Así, cada una de las ondas sinusoidales que constituyen la onda de audio compleja tendrá tanto la frecuencia lateral superior como la inferior, las cuales podrán encontrarse en el análisis de la onda modulada. En vez de analizar las frecuencias laterales superior e inferior, se hará referencia a las frecuencias de las bandas laterales superior e inferior.

Por lo tanto se puede ver que la modulación de radio en la que se pretende difundir información que cubra frecuencias de 0 a 5 000 Hz (5 kHz) necesita una banda lateral superior de 5 kHz y una banda lateral inferior de 5 kHz para satisfacer un requisito de ancho de banda total de 10 kHz. Según las normas de la Comisión Federal de Comunicaciones se permite a una estación en la banda de difusión en AM un ancho de banda de 10 kHz.



Figura 1-3

CONTENIDO DE POTENCIA

Puesto que la potencia es proporcional al cuadrado del voltaje, el espectro de la potencia contra la frecuencia para una onda modulada en amplitud se asemeja al que se muestra en la figura 1-3(b). Cada banda lateral tiene un contenido de potencia igual a $m^2 P_c / 4$ en donde P_c es el contenido de potencia de la señal en la frecuencia portadora.

Así, la potencia total es

$$P_t = \frac{m^2 P_c}{4} + \frac{m^2 P_c}{4} + P_c$$

es donde P_c es el contenido de potencia de la portadora y es independiente del porcentaje de modulación en una transmisión de AM.