

UNIDAD 10: MEDICIONES EN AMPLIFICADORES. GENERADORES DE SEÑALES.

- *Consideraciones generales. Ganancia de un amplificador, definiciones. Reglas generales para la medición de ganancia en amplificadores*
- *Distorsión en los amplificadores. Distorsión de amplitud o alineal. Aprovechamiento de los efectos producidos por la alinealidad.*
- *Respuesta en frecuencia de los amplificadores. Distorsión de frecuencia y de fase en amplificadores. Análisis de la respuesta en frecuencia de amplificadores mediante el uso de ondas cuadradas.*
- *Medición de la potencia de salida de un amplificador. Medida de la distorsión por alinealidad en amplificadores. Mediciones de SINAD*
- *Clasificación de los generadores. Osciladores, selección de un oscilador.*
- *Generadores de barrido de frecuencia. Generadores de pulsos. Generadores de funciones – Generadores sintetizado – Generadores de funciones arbitrarias..*
- *Apéndice: Mediciones en amplificadores realimentados.*
- *Cuestionario.*

Al completar esta unidad, Ud. será capaz de hacer lo siguiente:

- Seleccionar el método y los instrumentos, apropiados para cada caso, que se requieren para determinar las características y especificaciones de amplificadores.
- Distinguir entre los distintos tipos de generadores y elegir el apropiado para un determinado fin.
- Interpretar y hacer uso de las especificaciones de los generadores de señales, pulsos y funciones.

Consideraciones generales.

Las distintas clases de amplificadores que existen se diferencian entre sí por la tecnología empleada para su implementación, que difiere notablemente dependiendo de los márgenes de frecuencias y las aplicaciones para las cuales están destinados los mismos. Como consecuencia de esto también son diferentes las técnicas y los instrumentos que se deben emplear para la medición de determinadas características, como pueden ser, la ganancia, la respuesta en frecuencia, las impedancias de entrada y salida, la distorsión, etc...

Tomando el caso de la ganancia, es necesario saber cual es la naturaleza de la ganancia que se desea medir, por ejemplo, si se trata de ganancia de potencia o ganancia de voltaje, ya que aunque se puede pasar de uno a otro valor mediante cálculo, puede resultar más fácil optar por una forma u otra dependiendo de ciertas consideraciones que conviene estudiar previamente antes de entrar en el tema de los métodos a emplear.

Cuando el margen de frecuencias dentro del cual opera un amplificador es bajo (por ejemplo audiofrecuencias), es muy simple efectuar mediciones de tensiones, y los resultados obtenidos permiten determinar la ganancia de tensión y/o la ganancia de potencia (sí se conocen los valores de resistencia asociados).

En cambio, si las frecuencias son lo suficientemente elevadas para que las longitudes de onda que están en juego sean comparables a las longitudes físicas de los conductores usados para la conexión de los instrumentos de medida, las tensiones pueden variar

notablemente debido a la aparición de ondas estacionarias. Entonces en estos casos es más conveniente efectuar mediciones de potencias en forma directa.

La regla practica es: Si las longitudes físicas de los conductores son menores que un octavo ($1/8$) de la longitud de onda puesta en juego, se pueden medir tensiones. Si se supera dicho valor, es conveniente medir potencias.

Ganancia de un amplificador, definiciones.

En los sistemas electrónicos (redes, sistemas de comunicaciones y de control, etc...), un amplificador se usa, entre otras cosas, para aumentar el nivel de las señales cuya detección se ve dificultada por efecto la atenuación que se produce en los medios que se emplean para el transporte de las mismas; para ello, el amplificador debe ser intercalado en algún punto entre la fuente de señal y la carga como se ilustra a continuación.

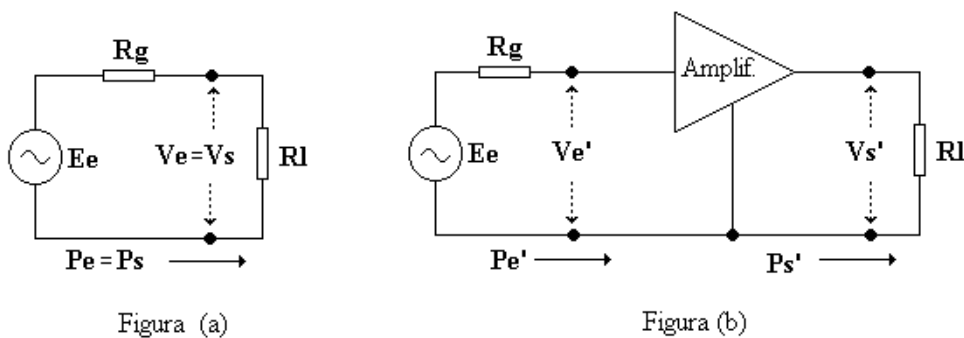


Fig. 10- 1

El esquema (a) representa una fuente de señal conectada a una carga. En el esquema (b) se ha intercalado un amplificador entre la fuente y la carga. Sobre la base de las diferentes situaciones que pueden darse en lo que respecta a impedancias de fuente, carga, entrada y salida del amplificador, se pueden dar las siguientes definiciones útiles:

Ganancia de inserción (G_i).

Esta forma de definir la ganancia, se utiliza en sistemas donde las impedancias de entrada y salida se mantienen, y los amplificadores (o atenuadores) pueden intercalarse o retirarse en cualquier parte del mismo con bastante libertad, por ejemplo en una red telefónica (donde la impedancia esta normalizada en 600 ohm), o en una red de televisión por cable (75 ohm). La ganancia de inserción (G_i) queda definida a partir de la relación entre el nivel de potencia o tensión sobre la carga con el amplificador intercalado y el nivel presente sin el amplificador.

$$G_i(\text{potencia}) = 10 \log \frac{P_{s'}}{P_s} \quad \text{o bien,} \quad G_i(\text{tension}) = 20 \log \frac{V_{s'}}{V_s}$$

Es evidente que la ganancia de inserción dependerá de los valores de impedancia de la fuente y de la carga, y eventualmente podría no corresponderse con la verdadera ganancia que se obtiene del amplificador, ni tampoco con el valor máximo de ganancia que pueda extraerse del mismo.

Ganancia de operación. (Gop.)

El verdadero valor de ganancia que el amplificador produce es la relación entre los niveles presentes a la salida y entrada del amplificador.

$$Gop(\text{potencia}) = 10 \log \frac{P_{s'}}{P_{e'}} \quad ; \quad Gop(\text{tension}) = 20 \log \frac{V_{s'}}{V_{e'}}$$

La ganancia de operación estará sujeta a las características del amplificador, y también al valor de la impedancia de carga, pero no depende de la impedancia de la fuente aplicada a la entrada

Ganancia de potencia de transducción (Gt)

Se sabe que la potencia máxima disponible (**Pdg**) de la fuente aplicada a la entrada del amplificador es

$$P_{dg} = \left(\frac{E_g}{2} \right)^2 \cdot \frac{1}{R_g}$$

Que permite calcular la ganancia de potencia de transducción:

$$G_t = 10 \log \frac{P_{s'}}{P_{dg}}$$

Es evidente que en este valor tendrá influencia, además de las características del amplificador, el valor de la impedancia de la fuente, y su valor será máximo cuando la fuente este adaptada a la entrada del amplificador..

Ganancia de potencia máxima disponible (Gd)

El valor máximo de ganancia de potencia que puede extraerse de un amplificador, se conseguirá cuando, además de la condición de máxima potencia transferida de la fuente a la entrada, también se cumpla que sobre la carga se disipa la máxima potencia disponible de salida (**Pds**), es decir:

$$G_d = 10 \log \frac{P_{ds}}{P_{dg}}$$

Esta es la ganancia disponible que debe usarse en los cálculos y mediciones de ruido. Su valor es propio de las características del amplificador y aunque para su determinación es necesario adaptar al menos la salida del mismo, en realidad no depende de las impedancias de la fuente y de la carga.

En algunas circunstancias, también es posible definir un valor de “Ganancia de tensión máxima disponible”, lo cual tiene sentido para el caso de amplificadores de tensión que

habitualmente trabajan para una condición de carga próxima al circuito abierto, (que no se ajusta al modelo planteado inicialmente). En este caso, la ganancia disponible será:

$$G_d(\text{tension}) = 20 \cdot \log \frac{V_{ds}(\text{circuito abierto})}{V_{dg}}$$

Es importante destacar que los diferentes valores de ganancia de potencia definidos, son numéricamente equivalentes cuando se cumplen las condiciones de adaptación de impedancia a la entrada y salida del amplificador respectivamente.

Reglas generales para la medición de ganancia en amplificadores.

Para la mayor parte de los amplificadores lineales que se someten a ensayos o pruebas para determinar su ganancia (u otras características), se deben seguir las siguientes reglas:

- Usar señales de entrada senoidales, sin distorsión, y cuya frecuencia sea representativa del uso a que esta destinado el amplificador. Si el mismo se usa en una “banda de frecuencias” que va desde f_1 a f_2 , una regla práctica consiste en usar para el ensayo, una frecuencia igual a la media geométrica de la banda de paso, es decir:

$$F(\text{ensayo}) = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

- En lo posible las condiciones del ensayo deben recrear las condiciones de uso, especialmente en lo que respecta a impedancias de carga y del generador. Este requisito debe ser especialmente tenido en cuenta en los amplificadores de RF.
- Los instrumentos de medición a utilizar no deben alterar, en lo posible, las magnitudes a medir. Por ejemplo la impedancia de entrada de los voltímetros debe ser lo mayor posible respecto de la que está presente en el punto del circuito sobre el que se va a medir. Esta condición es relativamente fácil de cumplir en amplificadores de audio y video, pero no en amplificadores de RF, sobre todo por las capacidades parásitas de las puntas de pruebas; en ese caso deberían tomarse las medidas pertinentes para resintonizar los circuitos antes de efectuar las mediciones.
- Se debe ajustar el nivel de la señal de entrada de tal forma que la salida tenga suficiente amplitud para que pueda ser medida con mínimos errores, y al mismo tiempo que este por encima de cualquier ruido o interferencia.
- Los generadores de señales a utilizar deben ser apropiados de acuerdo a los límites de frecuencia, forma de onda de salida, tipos de modulación (sí fuera necesario), e indicación del nivel de salida.
- La amplitud de la salida del amplificador debe estar lo suficientemente alejada de cualquier fenómeno de sobrecarga o saturación que pueda provocar distorsión y/o alteración de la ganancia.

En relación con el ultimo punto, es importante destacar que la medición de ganancia siempre se hace para una condición determinada de operación que garantice un determinado valor de distorsión, el cual debe poder medirse y expresarse en forma cuantitativa. Por este motivo, se pasará a continuación, a considerar el tema general de la distorsión en amplificadores.

Distorsión en los Amplificadores.

Por lo general, la mayoría de los amplificadores se diseñan y construyen buscando que la forma de onda de salida reproduzca fielmente a la de entrada. Sin embargo, no es posible evitar que en el proceso de amplificación ocurran ciertas deformaciones sobre la señal procesada, las cuales se conocen genéricamente como Distorsión.

Por más elaborado que sea su diseño y construcción, todo dispositivo de dos puertos produce, como mínimo, un pequeño retardo entre la entrada y la salida, amén de diferentes valores de ganancias en función de la frecuencia dado que el ancho de banda está necesariamente limitado a un valor finito. El retardo de tiempo se traduce en un corrimiento de fase que obviamente será diferente para distintos valores de frecuencia.

Otros efectos que se pueden producir se derivan de la alinealidad de la función de transferencia de los dispositivos activos, lo cual hace que la ganancia o atenuación del mismo dependa, en cierta manera, de la amplitud de la señal de entrada.

La medida de la Distorsión en amplificadores se hace para poder expresar en forma cuantitativa la calidad de los mismos, y existen varias formas de hacerlo, en función de cual es la característica que interesa evaluar.

Para poder comprender exactamente las distintas formas de especificar la Distorsión y aplicar los métodos correspondientes para su determinación, se hace necesario abordar el estudio, al menos brevemente, de algunos aspectos relativos a las causas que la producen.

Una clasificación de los distintos tipos de distorsión puede ser la siguiente:

- **Distorsión de amplitud:** Cuando la ganancia o atenuación de un amplificador depende de la amplitud de la señal de entrada.
- **Distorsión por intermodulación:** Cuando dos o mas señales senoidales puras se aplican a un amplificador alineal, se obtienen a la salida del mismo los "productos de intermodulación", es decir componentes sumas y/o diferencias de las originales.
- **Distorsión de frecuencia:** Cuando un amplificador amplifica o atenúa unas frecuencias más que otras.
- **Distorsión de fase:** Cuando un amplificador retarda o adelanta unas frecuencias mas que otras.

Alinealidad en los amplificadores.

La distorsión de frecuencia y de fase que se presenta, por ejemplo, en amplificadores de audio, no causa demasiados problemas, (entre otras cosas porque el sistema oído /cerebro del ser humano no es capaz de percibir por encima de los 15 KHz y además no es sensible a las diferencias de fase), pero si puede ser causa de algunos inconvenientes en los dispositivos y circuitos que trabajan en frecuencias mas elevadas, (por ejemplo en moduladores de frecuencia y/o fase para RF).

En cambio, la distorsión de amplitud y la distorsión por intermodulación suele generar problemas que se ubican en un lugar de especial consideración para los ingenieros que trabajan en el diseño o aplicación de dispositivos y/o circuitos. Las distorsiones de amplitud y por intermodulación se producen debido a la presencia de alinealidades en la función de transferencia de los amplificadores y por ello es común referirse a ambas como "Distorsión por alinealidad". El efecto ocasiona que a la salida de un amplificador aparezcan componentes de frecuencias distintas a las de las señales de entrada, o bien armónicas de las mismas, y por esto a veces también se suele hablar de "Distorsión armónica".

Supóngase un dispositivo cuya función de transferencia presenta regiones no lineales (Piense el lector en, por ejemplo, la función de transferencia de un transistor).

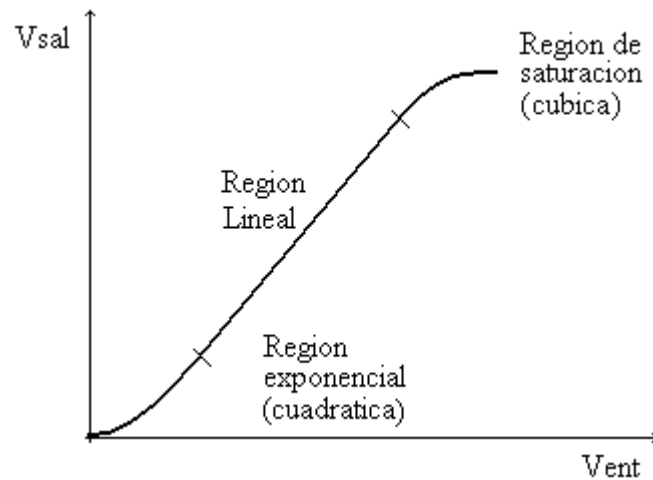


Figura 10- 2

Una función de transferencia como la anterior puede aproximarse mediante una serie de términos exponenciales de orden creciente, con coeficientes que van decreciendo en valor a medida que aumenta el orden, tal como:

$$V_{sal} = A \cdot V_{en} + B \cdot V_{en}^2 + C \cdot V_{en}^3 + \dots \dots + N \cdot V_{en}^n$$

Sea: $V_{en} = V_1 \cos \omega_1 t$, y tomando solo hasta el término cúbico se tiene:

$$V_{sal} = A \cdot V_1 \cos \omega_1 t + B \cdot V_1^2 \cos^2 \omega_1 t + C \cdot V_1^3 \cos^3 \omega_1 t$$

Se sabe que: $\cos^2 \omega_1 t = \frac{1}{2}(1 - \cos 2 \omega_1 t)$;

y que: $\cos \omega_1 t \cdot \cos 2 \omega_1 t = \frac{1}{2}(\cos 3 \omega_1 t + \cos \omega_1 t)$

Por lo tanto:

$$V_{sal} = A \cdot V_1 \cos \omega_1 t + \frac{B \cdot V_1^2}{2}(1 - \cos 2\omega_1 t) + \frac{C \cdot V_1^3}{2} \cdot \cos \omega_1 t (1 - \cos 2\omega_1 t)$$

$$V_{sal} = A \cdot V_1 \cos \omega_1 t + \frac{B \cdot V_1^2}{2} - \frac{B \cdot V_1^2}{2} \cos 2\omega_1 t + \frac{C \cdot V_1^3}{2} \cdot \cos \omega_1 t - \frac{C \cdot V_1^3}{4} \cdot \cos 3\omega_1 t - \frac{C \cdot V_1^3}{4} \cdot \cos \omega_1 t$$

Que agrupando por frecuencias:

$$V_{sal} = \frac{B \cdot V_1^2}{2} + \left(A \cdot V_1 + \frac{C \cdot V_1^3}{4} \right) \cos \omega_1 t - \frac{B \cdot V_1^2}{2} \cos 2\omega_1 t - \frac{C \cdot V_1^3}{4} \cos 3\omega_1 t$$

La primera parte de la expresión representa la componente de continua; la segunda esta compuesto principalmente por un término lineal ($A \cdot V_1 \cos \omega_1 t$) cuya amplitud se verá comprimida o expandida en función del término cúbico. En cuanto al resto de la expresión puede decirse que la amplificación no lineal de una señal de frecuencia única, resulta en la generación de múltiplos o armónicos de esta frecuencia. El dibujo que sigue, ilustra gráficamente la situación.

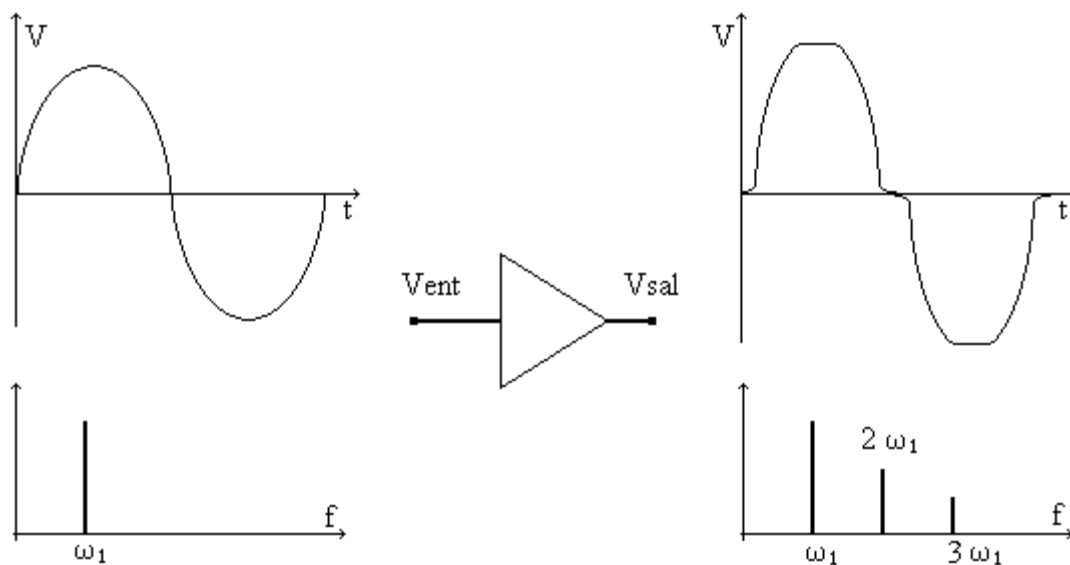


Figura 11- 3

Amplificación no lineal de dos señales senoidales.

Si la señal que se aplica a la entrada del dispositivo a lineal considerado, esta compuesta por la superposición de dos señales senoidales simples de distinta frecuencia, se tendrá:

$$V_{ent} = V_1 \cos \omega_1 t + V_2 \cos \omega_2 t$$

$$V_{sal} = A(V_1 \cos \omega_1 t + V_2 \cos \omega_2 t) + B(V_1 \cos \omega_1 t + V_2 \cos \omega_2 t)^2 + C(V_1 \cos \omega_1 t + V_2 \cos \omega_2 t)^3$$

Si se resuelve la expresión anterior, se llegara a los resultados que se sintetizan en la siguiente tabla:

Términos a la salida de un dispositivo alinear para dos señales de entrada

Componentes de 1er Orden	Comentarios
$A V_1 \cos \omega_1 t + A V_2 \cos \omega_2 t$	Amplificación lineal

Componentes de distorsión de 2do Orden	Comentarios
$\frac{B \cdot V_1^2}{2} + \frac{B \cdot V_2^2}{2}$	2 Componentes de continua.
$B V_1 V_2 \cos(\omega_2 - \omega_1)t + B V_1 V_2 \cos(\omega_2 + \omega_1)t$	2 Batidos suma y/o diferencia (IMD de segundo orden).
$\frac{B \cdot V_1^2}{2} \cos 2\omega_1 t + \frac{B \cdot V_2^2}{2} \cos 2\omega_2 t$	2 Segunda armónicas.

Componentes de distorsión de 3er Orden	Comentarios
$\frac{C \cdot V_1^3}{4} \cos 3\omega_1 t + \frac{C \cdot V_2^3}{4} \cos 3\omega_2 t$	2 Tercera armónicas
$\frac{3C V_1^2 V_2}{4} \cos(2\omega_1 - \omega_2)t + \frac{3C V_1^2 V_2}{4} \cos(2\omega_1 + \omega_2)t + ..$ $.. + \frac{3C V_2^2 V_1}{4} \cos(2\omega_2 - \omega_1)t + \frac{3C V_2^2 V_1}{4} \cos(2\omega_2 + \omega_1)t$	4 Batidos de intermodulación (IMD de tercer orden)
$\frac{3C V_1^3}{4} \cos \omega_1 t + \frac{3C V_2^3}{4} \cos \omega_2 t$	2 Autocompresiones (si $C < 0$) Autoexpansiones (si $C > 0$)
$\frac{3C V_1 V_2^2}{2} \cos \omega_1 t + \frac{3C V_2 V_1^2}{2} \cos \omega_2 t$	2 Compresión cruzadas (si $C < 0$) Expansión cruzadas (si $C > 0$)

- Los términos producidos por $A \cdot V_{en}$ representan la amplificación lineal del dispositivo.
- El termino cuadrático $B \cdot V_{en}^2$, crea componentes de continua, segundas armónicas de las señales de entrada y componentes que tienen frecuencias suma y diferencia de las frecuencias de las señales de entrada. Como luego se vera, hay casos en los que la alinealidad es útil, y estos términos de segundo orden se usan en moduladores, mezcladores, conversores y detectores. Entonces, cuando estos componentes son deseados se los denomina componentes de modulación, mezcla, heterodinaje, detección, etc. de acuerdo a la función; y cuando no son deseados se llaman "Productos de intermodulación de segundo orden".
- El termino cúbico $C \cdot V_{en}^3$, origina terceras armónicas de las señales de entrada, componentes que tienen las mismas frecuencias que las señales de entrada comprimiendo o expandiendo los términos lineales. Es también la causa de la aparición de componentes cuyas frecuencias son de la forma $2\omega_1 \pm \omega_2$ y $2\omega_2 \pm \omega_1$, siendo las frecuencias $2\omega_1 - \omega_2$ y $2\omega_2 - \omega_1$, las mas dañinas ya que son muy cercanas a las frecuencias de las señales de entrada; estas componentes se llaman "Productos de intermodulación de tercer orden".

Gráficamente:

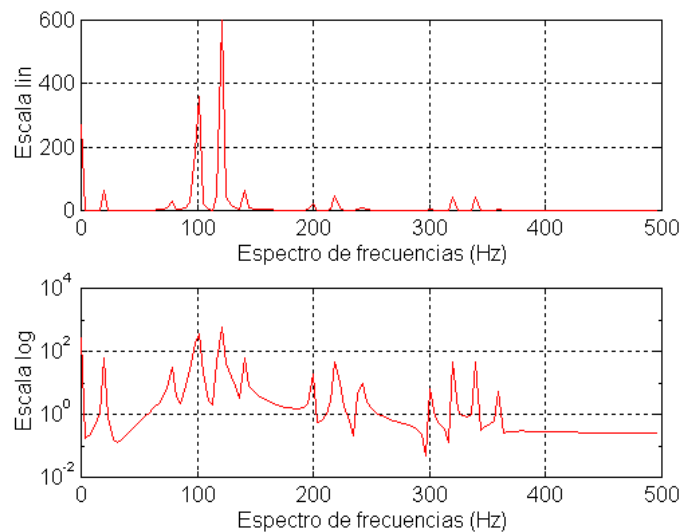


Figura 10- 4

Las gráficas anteriores se trazaron mediante el empleo de una computadora y el software apropiado. (Si el lector lo desea puede reproducir los gráficos empleando el programa en MATLAB que se muestra a continuación).

```
clc,close,whitebg, t = 0:.001:.5;
v1=input('Ingresar v1 --->'), v2=input('Ingresar v2 --->'),
f1=input('Ingresar f1 en Hz --->'), f2=input('Ingresar f2 en Hz --->'),
A=input('Ingresar el coeficiente del termino lineal A=--->')
B=input('Ingresar el coeficiente del termino cuadratico B= --->')
C=input('Ingresar el coeficiente del termino cubico C=--->')
Ve1=v1*cos(2*pi*f1*t);Ve2=v2*cos(2*pi*f2*t);
Ve=Ve1+Ve2; x=A*Ve+B*(Ve.^2)+C*(Ve.^3);
pause,close; y = x; x=[ ];t=[ ];
pause,close, Y = fft(y,256); Pyy = Y.*conj(Y)/256; Y=[ ];y=[ ];
f = 1000/256*(0:127); subplot(211),plot(f,Pyy(1:128)),grid on,
xlabel('Espectro de frecuencias (Hz)'),ylabel('Escala lin'),
subplot(212),semilogy(f,Pyy(1:128)),grid on,
xlabel('Espectro de frecuencias (Hz)'),ylabel('Escala log'),
pause,close,
```

En la figura 10-4 se ilustran las componentes generadas para el caso de dos señales de entrada cuyas frecuencias son 100Hz y 120 Hz, es decir que se trata de señales de frecuencias próximas. Los coeficientes A, B, y C son todos iguales a la unidad (El lector debe comprender que estos valores no son para nada representativos de lo que puede ser un caso real, y que aquí se los usa por razones didácticas). En el dibujo de arriba se ha usado una escala vertical lineal, en tanto que en el gráfico inferior se ha empleado escala logarítmica.

Resulta también interesante examinar el espectro generado por señales cuyas frecuencias no se encuentran tan próximas entre sí. Para establecer una comparación con el caso anterior, se muestra a continuación los gráficos generados a partir de dos señales de frecuencias 100Hz y 20Hz. El lector podrá comprobar que se generan algunas componentes de las mismas frecuencias que en el caso anterior.

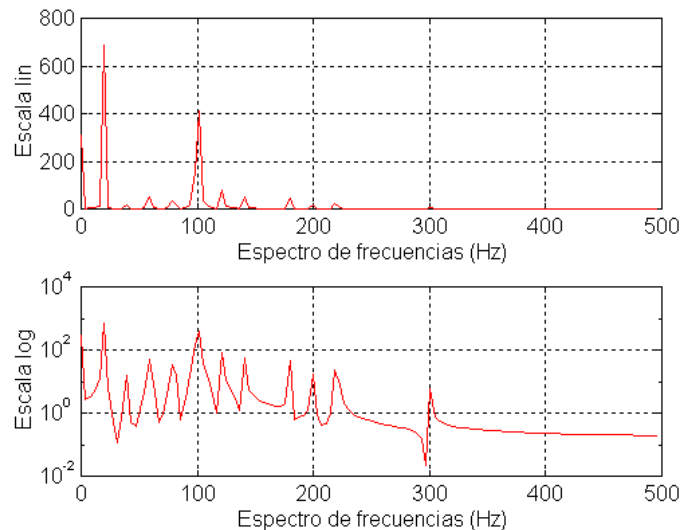


Figura 10- 5

Para obtener, tanto estos gráficos como los anteriores, se ha usado una herramienta de calculo denominada "Transformada rápida de Fourier", que permite, como su nombre lo indica, obtener en forma rápida las componentes espectrales de una determinada señal. Sin embargo, estas componentes no aparecen en los gráficos como "rayas espectrales", sino mas bien como "lóbulos". Esto se debe a que el método empleado no considera a la función original como continua en el tiempo, sino que lo hace en forma discreta. En otras palabras, realiza el cálculo a partir de muestras de la función original.

Aprovechamiento de los efectos producidos por la alinealidad.

Hay casos en los que los efectos producidos por la alinealidad de un amplificador o dispositivo determinado son útiles y se aprovechan. Por ejemplo, la que se origina a partir del termino cúbico (o de orden superior) se usa en los circuitos llamados "Multiplicadores de frecuencia", para obtener componentes de alta frecuencia a partir de un oscilador de baja frecuencia.

Las componentes que se generan a partir del termino de segundo orden, que consisten en frecuencias suma y/o resta de las de entrada ($f_1 \pm f_2$ o bien $f_2 \pm f_1$), se usa en circuitos donde se requiere efectuar un traslado de cierta información desde una a otra banda de frecuencias, tales como moduladores o mezcladores. Todos los receptores modernos de tipo superheterodino, emplean este principio para la generación de la frecuencia intermedia.

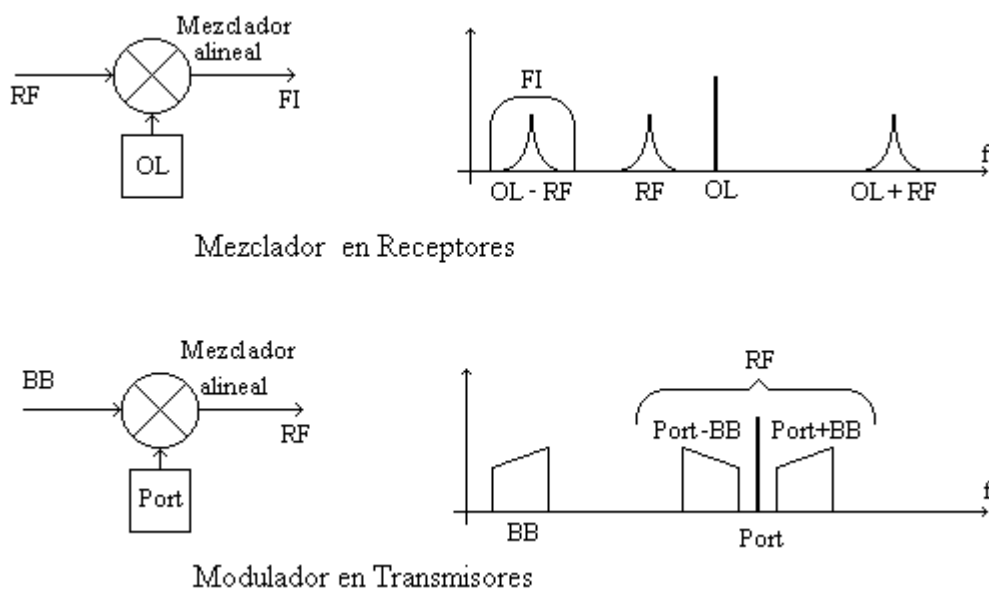


Figura 10-6 (a)

Efectos espurios producidos por la alinealidad.

Desde luego también hay situaciones en las cuales se producen efectos indeseados, como pueden ser las interferencias que un determinado servicio de comunicaciones puede producir en bandas de frecuencia distintas de las asignadas.

Los siguientes esquemas muestran algunos ejemplos de estos efectos:

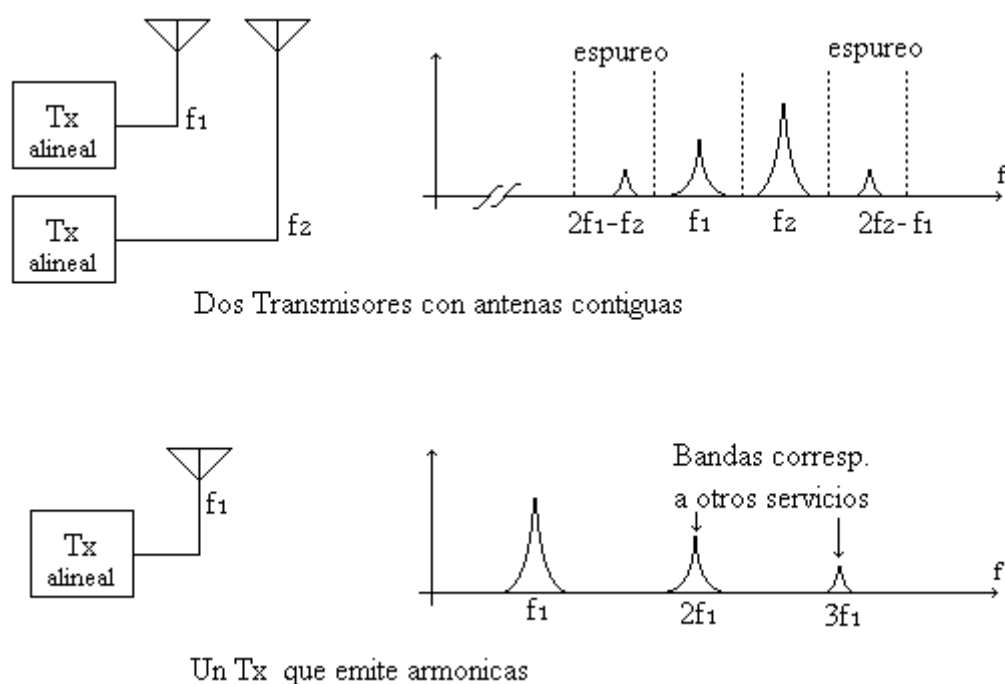


Figura 10-6 (b)

Respuesta en frecuencia de los amplificadores.

La medición de la respuesta en frecuencia de un amplificador consiste básicamente en determinar como varia la ganancia del mismo en función de la frecuencia. Normalmente el resultado se expresa mediante el uso de una tabla o en forma de un grafico en el cual se representan los valores de la tensión de salida, potencia de salida o simplemente la ganancia en dB, en función de la frecuencia de la señal usada para excitar la entrada del amplificador.

Al igual que en el caso de la ganancia, las mediciones que se deben realizar para obtener la respuesta en frecuencia tiene que efectuarse para la condición de máximo nivel de la salida (para facilitar su medición) pero siempre cuidando de no superar el nivel de sobrecarga o saturación.

A partir de la gráfica o tabla obtenida, se puede determinar el ancho de banda del amplificador, lo cual normalmente corresponde al margen de frecuencias comprendido entre los puntos de potencia mitad (es decir a -3dB respecto de un valor central tomado como referencia).

Para la medida de la respuesta en frecuencia pueden utilizarse básicamente los mismos instrumentos usados para la medida de ganancia. También se puede usar para este fin un generador de barrido de frecuencias (cuyo funcionamiento se explicará un poco mas adelante).

Tomando el ejemplo de tres tipos distintos de amplificadores como pueden ser un amplificador de audio, uno de video y un amplificador pasabanda, los siguientes dibujos representan distintos tipos de curvas de respuesta en frecuencia y anchos de banda.

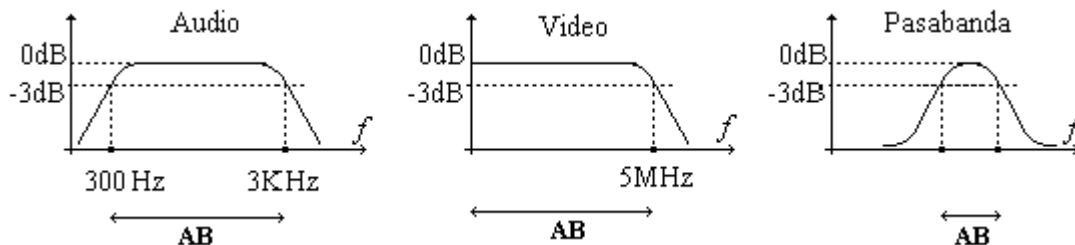


Figura 10-7

La gráfica correspondiente al amplificador de video no tiene frecuencia de corte inferior debido a que generalmente este tipo de dispositivos es acoplado en continua, por lo tanto el ancho de banda es directamente igual a la frecuencia de corte superior (por ejemplo, en el esquema 5MHz.).

En los dibujos que representan a la respuesta del amplificador de audio y al pasabanda cabe la definición dada arriba. Por ejemplo el ancho de banda del amplificador de audio seria:

$$AB = 3\text{KHz} - 300\text{Hz} = 2,7 \text{ KHz.}$$

Distorsión de frecuencia y de fase en amplificadores.

Como se ha explicado previamente, se sabe que los amplificadores presentan en general variaciones de la ganancia con la frecuencia, aun dentro de la zona de la curva en la cual la respuesta puede considerarse plana (recuérdese que el ancho de banda se define entre los puntos de -3dB).

Las señales que suelen aplicarse a la entrada de un amplificador raramente son senoidales puras. Sin embargo se sabe que cualquier onda periódica no sinusoidal puede ser descompuesta en una suma de señales sinusoidales simples. Desde luego, sería conveniente que todas las componentes sean amplificadas en igual proporción y que además no sufrieran corrimiento de fase, o por lo menos que la fase varíe por igual para todas las componentes. Si esto ocurriera, la señal amplificada, conservaría la forma original.

Se sabe sin embargo que esto no es posible y en general la señal de salida resulta deformada o distorsionada.

Una información completa de la respuesta en frecuencia de un amplificador, debe incluir además de la curva de variación de la amplitud, una curva de variación de la fase. No suele ser muy común, encontrar en un laboratorio o gabinete educativo un instrumento que permita obtener la gráfica de variación de fase en función de la frecuencia. Sin embargo está disponible en forma virtual en algunos programas de simulación de circuitos electrónicos con el nombre "Bode Plotter".

Análisis de la respuesta en frecuencia mediante el uso de ondas cuadradas.

El análisis del comportamiento de los amplificadores con ondas cuadradas constituye un método simple, rápido y económico para determinar las características de respuesta en frecuencia de los amplificadores. Sin embargo hay que decir que en realidad se trata mas bien de métodos cualitativos antes que cuantitativos.

El alumno encontrará en la parte del texto dedicada a los analizadores de espectro, un estudio que trata en forma teórica cual es la deformación que sufre una onda cuadrada ideal al ser sometida sus componentes a una acción selectiva en frecuencia. En esta unidad se examinará el tema desde una perspectiva que atiende principalmente a la aplicación práctica.

Determinación del ancho de banda de un amplificador mediante una onda cuadrada.

El método que se describe a continuación se puede emplear si el amplificador que se va a ensayar es del tipo acoplado en continua, o la frecuencia de corte inferior esta próxima a cero (amplificadores de audio o de video).

Si la entrada de un amplificador se excita con una onda cuadrada cuya frecuencia este comprendida dentro de la banda pasante del mismo, puede determinarse el ancho de banda del amplificador mediante la medición del tiempo de crecimiento de la onda que se obtiene a la salida. Dicho tiempo de crecimiento se mide siguiendo la definición dada en esta misma lección en el apartado dedicado a los generadores de pulso.

El tiempo de crecimiento (t_c) está relacionado con el ancho de banda (AB) de un amplificador a través de la siguiente relación sencilla:

$$t_c = \frac{k}{AB} \quad \therefore \quad AB = \frac{k}{t_c}$$

El valor de la constante "k" depende del tipo de amplificador y de la forma de la caída de la curva de respuesta en frecuencia (Rolloff) en la zona de altas frecuencias. El Rolloff tiene efecto sobre una onda cuadrada en el transitorio que sigue al flanco. Los siguientes esquemas ilustran estos efectos.

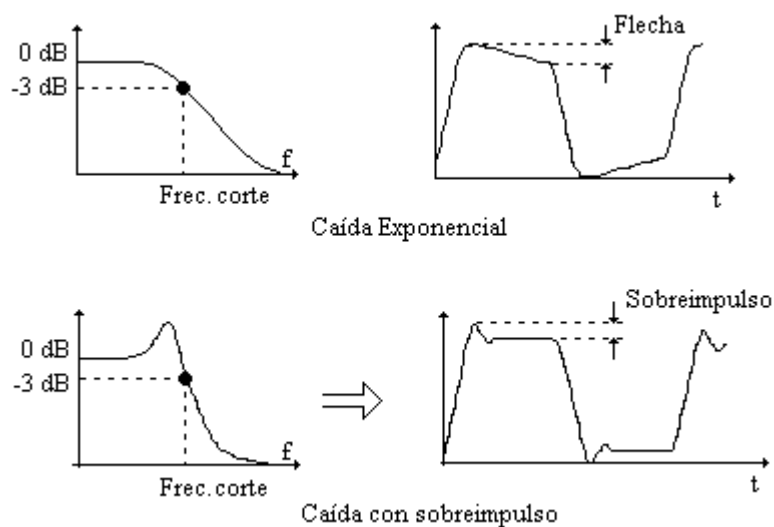


Figura 10-8

La respuesta que presenta caída con sobre impulso es habitual en amplificadores de video. Si el sobre impulso es menor al 5% de la amplitud, se toma $k=0,35$. Si en cambio el sobre impulso excede el 5% se toma $k=0,45$.

En los amplificadores de Audio normalmente suele haber caídas de tipo claramente exponenciales. En este caso, se suele tomar un valor de $k=0,3$.

El método habitual para la determinación del tiempo de crecimiento de la señal consiste en medir el mismo con un osciloscopio. La elección de un osciloscopio apropiado se hace en base al valor del tiempo de crecimiento que se espera medir, pues se debe cuidar que el propio tiempo de crecimiento del osciloscopio esté muy por debajo de aquel valor. Sin embargo para el caso que esto no sea posible, es importante saber que el tiempo de crecimiento del osciloscopio usado se suma geométricamente al de la señal que se mide, por lo tanto, el valor verdadero puede determinarse de la siguiente forma:

$$t_c(\text{amplif.}) = \sqrt{[t_c(\text{medido})]^2 - [t_c(\text{osciloscopio})]^2}$$

Determinación de las frecuencias de corte.

El método explicado en el apartado anterior no es muy apropiado para determinar el ancho de banda de amplificadores pasabanda pues se requiere usar una onda cuadrada cuya frecuencia corresponda aproximadamente con la media geométrica. Es decir que se necesita conocer al menos aproximadamente, las frecuencias de corte superior e inferior. La onda cuadrada puede usarse para determinar dichos valores en forma aproximada.

Si la caída de la respuesta es de forma exponencial, la deformación que se produce sobre la onda cuadrada será distinta dependiendo de cual de las frecuencias de corte esta mas cercana a la de la onda cuadrada usada. Esto se representa en los siguientes gráficos:

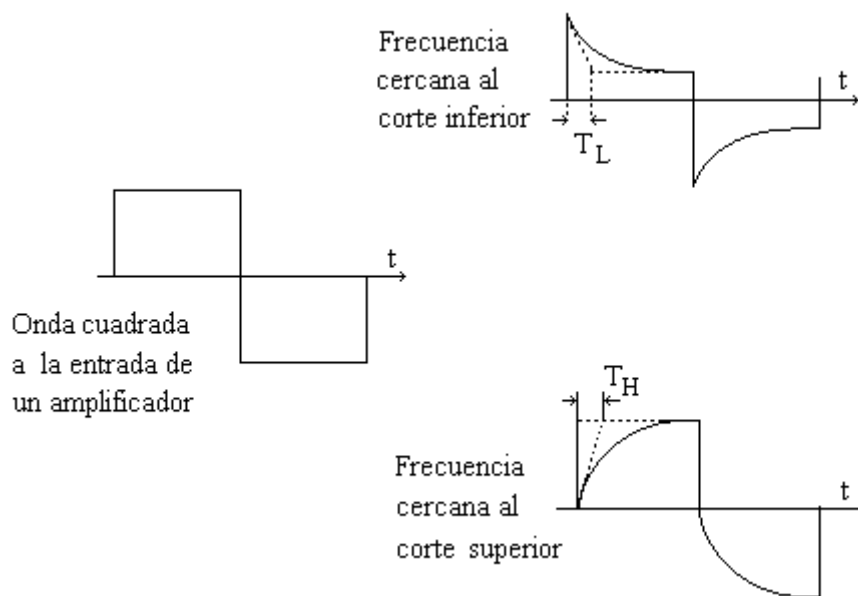


Figura 10- 9

Para la determinación de los respectivos valores de frecuencia de corte es necesario medir en forma aproximada el tiempo que queda determinado por la pendiente inicial de la parte exponencial de la deformación que ocurre sobre el flanco de la onda cuadrada (ver dibujos). Una vez determinados los valores se puede obtener:

$$f(\text{corte superior}) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot T_H} \quad ; \quad f(\text{corte inferior}) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot T_L}$$

Medición de la potencia de salida de un amplificador.

La medición de la potencia de salida en amplificadores requiere técnicas e instrumentos radicalmente distintos dependiendo de los márgenes de frecuencias dentro del cual trabajan los mismos. No es lo mismo medir, por ejemplo, la potencia de salida de un amplificador de potencia de audio frecuencias, que la de un amplificador de potencia de RF (los que a veces se suelen denominar amplificadores lineales de RF).

En este apartado, se tratarán las técnicas y métodos usados para la medición de potencias en amplificadores de audio frecuencias, y se dejarán para otro apartado las mediciones de potencia en amplificadores de RF.

Potencia de salida de un amplificador de audio, condiciones y definiciones.

Para efectuar la medición de potencia de un amplificador de audio, normalmente se debe sustituir la carga (el sistema de parlantes) por un resistor que sea capaz de disipar la potencia a medir, y cuyo valor coincida con la impedancia de la carga a la frecuencia de ensayo.

Toda medición de potencia máxima de salida es incompleta si no se indica junto con el resultado las condiciones bajo las cuales se ha efectuado la misma; siendo una de las mas importantes, la distorsión de la señal. Por este motivo se requiere la utilización de generadores de señales que posean un nivel de distorsión propia muy reducido.

- **Potencia máxima eficaz (RMS):** Es la máxima potencia de salida que puede obtenerse con una excitación sinusoidal sin permitir que el amplificador entre dentro de la zona de saturación. Normalmente se usa un osciloscopio para verificar tal condición, entonces es posible medir el valor pico a pico de la salida (V_{pp}), y la potencia puede calcularse mediante la siguiente ecuación.

$$P_{RMS} = \frac{V_{pp}^2}{8 \cdot R_L}$$

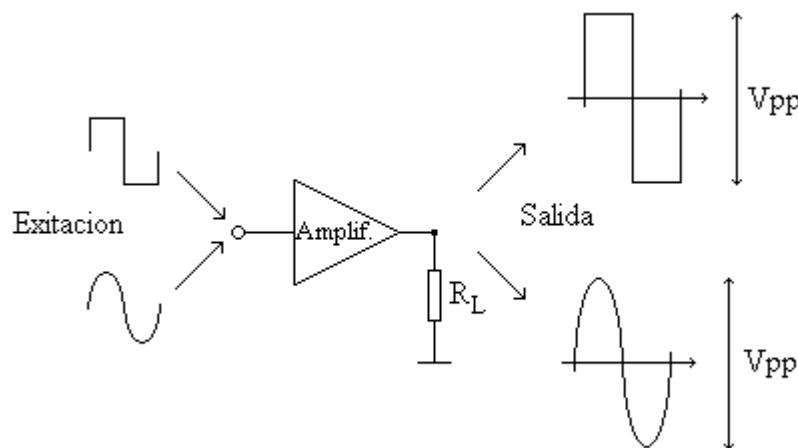


Figura 10-10

- **Potencia máxima de pico (Potencia musical):** La definición anterior es impecable desde el punto de vista técnico, sin embargo no corresponde con la máxima potencia que un amplificador está en condiciones de entregar a la carga, ya que normalmente la señal que se utiliza para excitar la entrada de los mismos no suele ser sinusoidal pura, sino que se

trata de señales mas complejas. Puede suceder por ejemplo, que las componentes se superpongan para dar una onda cuadrada, entonces la potencia podría llegar a ser:

$$P_{\text{pico}} = \frac{V_{pp}^2}{4 \cdot R_L}$$

Este valor puede llegar a ser el doble de la potencia eficaz si la fuente de alimentación del amplificador lo permite.

Medida de la distorsión por alinealidad en amplificadores.

Si bien la noción que se tiene de la distorsión como una deformación de la forma de la onda de la salida respecto de la que se aplica a la entrada de un amplificador, corresponde a un único efecto, lo cierto es que su origen obedece a varias causas. Por eso, a través del tiempo, se han ideado varias formas para cuantificarla y/o medirla. Por ejemplo, una de las formas mas difundidas de medir la distorsión es a través de la determinación de la cantidad de armónicas presentes a la salida de un amplificador al aplicarle a la entrada una señal de frecuencia única.; otra manera consiste en medir los productos de intermodulación que se generan al excitar el mismo con dos señales de frecuencia distinta. El método sugerido en primer lugar permite obtener lo que se conoce como "Distorsión armónica", y en el segundo la "Distorsión por intermodulación". Mas recientemente, y con el propósito de simplificar el procedimiento, se han ideado nuevos métodos, como el "SINAD", donde la medición se hace de manera mas directa mediante el empleo de un instrumento denominado "Sinader".

Distorsión Armónica

Tal como se ha estudiado en la primera parte de esta unidad, todo amplificador produce a la salida una cierta cantidad de señales espurias dentro de las cuales se encuentran principalmente las armónicas de la señal de entrada.

Se define como "Distorsión armónica total" (DAT) a la relación entre el valor eficaz del total de contenido armónico, respecto del valor eficaz de la señal fundamental. También esta relación suele expresarse en forma porcentual.

$$DAT(\%) = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{V_1} \cdot 100$$

Donde:

V_1 es el valor eficaz de la fundamental

V_2, V_3, V_4, \dots Son los valores eficaces de cada componente armónica

La distorsión armónica total, se emplea sobre todo, para caracterizar la bondad de amplificadores de baja frecuencia.

Aunque en la actualidad se podría emplear un analizador de espectros o de Fourier para medir la DAT (como se vera un poco mas adelante), hasta no hace mucho tiempo, pocos laboratorios disponían de este tipo de instrumentos debido al costo de los mismos. Un método mas económico consiste en emplear un filtro elimina banda muy agudo sintonizado a una determinada frecuencia, que por lo general suele ser 1 KHz. (Este tipo de filtros se conocen como "filtros notch") que permita separar la distorsión de la señal para proceder a su medición por separado. La atenuación del filtro debe garantizar que a la frecuencia sintonía, la componte fundamental sea rechazada por completo. Desde luego esta condición es teórica y en la práctica se considera suficiente un valor de atenuación mínimo de 20 dB (10 veces) por debajo del valor de distorsión armónica que se espera medir.

También se requiere un generador que sea capaz de entregar una forma de onda de salida extremadamente libre de distorsiones y de ruido, es decir un generador de BF para ensayo de amplificadores y un voltímetro de valor eficaz apto para el margen de frecuencias que cubre el amplificador.

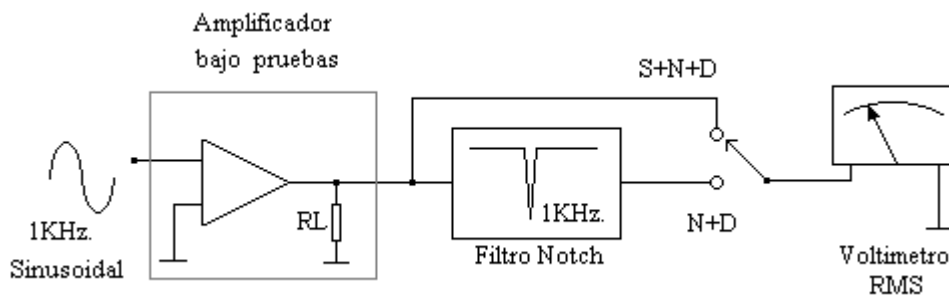


Figura 10- 11

Aunque la idea básica parece sencilla, para obtener el resultado final se requiere efectuar una operación a fin de determinar los valores que se usan en la ecuación. Si el contenido armónico es pequeño, se suele efectuar el cálculo directamente relacionando los dos valores obtenidos en el voltímetro colocado a la salida. Observe que esto no se ajusta totalmente a la definición, ya que si bien la medición obtenida luego del filtro es compatible con el valor del numerador de la expresión, no ocurre lo mismo con la medición de la tensión a la entrada del mismo (Salida del amplificador sobre R_L), la cual no corresponde solamente al valor eficaz de la componente fundamental sino que incluye también las armónicas.

También hay que tener presente que el filtro solo elimina la componente fundamental y deja pasar el ruido que puede estar presente, lo cual agrega otro factor que aunque es cierto que también produce deformación de la señal, no está contemplado en la definición original.

Mediciones del SINAD en amplificadores.

Para resolver los problemas que se mencionan en el punto anterior, se decidió en un determinado momento, y con buen criterio, definir una nueva manera de medir la distorsión y que además incluya al ruido, ya que ambos efectos contribuyen a la degradación de la señal de salida.

El método SINAD, sigla que es una abreviatura de Signal Noise and Distorsion (Señal + Ruido y Distorsión), incluye al efecto del ruido en el valor que se mide, el cual viene definido simplemente como:

$$\text{SINAD} = 20 \log \frac{\text{SND}}{\text{ND}}$$

(Donde ND y SND son los valores eficaces de Señal/Ruido/Distorsión y Ruido/Distorsión respectivamente.)

Los instrumentos que se utilizan para la medición se denominan "Sinader", y un diagrama en bloques de uno de estos medidores, se muestra en la figura 12.

Un Sinader incluye además del filtro Notch, y el instrumento indicador, un amplificador con CAG (control automático de ganancia). Algunos modelos contienen también el generador de señales necesario para excitar la entrada del amplificador. La ganancia del amplificador se ajusta, en cada caso particular, mediante una referencia de manera que la tensión de salida del mismo sea un valor constante prefijado (normalmente se ajusta mediante el mismo instrumento indicador que posee una marca de referencia), luego de lo cual puede leerse directamente el valor de la distorsión SINAD en la escala del indicador que se encuentra calibrado directamente en decibeles:

En algunas circunstancias la medición puede, incluso, efectuarse vía un acoplador acústico directamente del parlante conectado a la salida del amplificador.

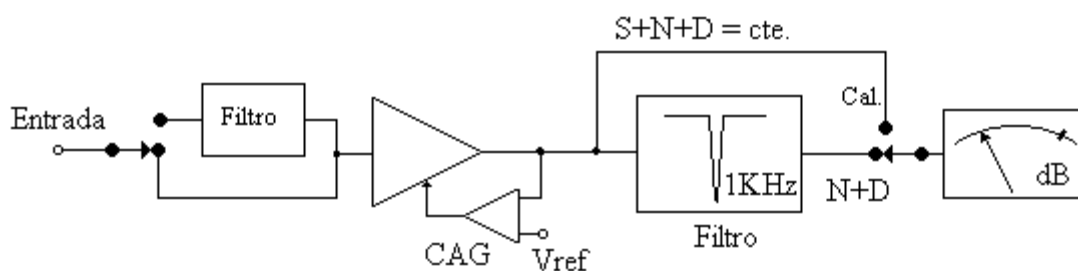


Figura 10-12

La medición de Sinad, se emplea también en el campo de las mediciones en receptores de comunicaciones para caracterizar la calidad de los mismos. En estas circunstancias, algunas normas y/o recomendaciones, requieren además el empleo de un tipo de filtro, denominado "Psofométrico", con características definidas para limitar el ancho de banda de la señal de audio, y acotar el espectro del ruido y del contenido armónico presente a un valor determinado.

Distorsión por intermodulación.

Los métodos de medición de la distorsión explicados previamente, son mas apropiados para el ensayo y medición de amplificadores de audiofrecuencias que para amplificadores de RF, entre otras cosas porque se necesita el uso de un filtro elimina banda muy agudo, es decir con una banda de paso muy estrecha y perfectamente centrada. Este requerimiento que puede ser satisfecho en forma simple con la tecnología disponible hoy en día, no era algo fácil de conseguir en épocas pasadas.

En cambio, en los métodos de medición de la distorsión por efecto de la intermodulación que se genera debido a la alinealidad se usan, o un filtro pasabajos, o bien un filtro pasaaltos, ambos de fácil construcción. Además estos métodos se presentan como muy aptos para el ensayo de amplificadores que trabajan en altas frecuencias debido a que el procedimiento que se sigue consiste básicamente en la medición de las componentes de baja frecuencia que se generan como productos de la intermodulación de segundo y tercer orden (cuyos aspectos teóricos ya fueron estudiados previamente). Estos productos son fáciles de medir con voltímetros para baja frecuencia de respuesta al valor medio.

En amplificadores de audio, la distorsión por intermodulación se mide mediante el método normalizado SMPTE (siglas de: Society of Motion Picture and Televisión Engineers).

La distorsión por efecto de la intermodulación también puede ser evaluada mediante el empleo de otras técnicas, entre las cuales se destacan las que tienen que ver con el uso de instrumentos que trabajan en el dominio de la frecuencia. Este tema será abordado mas adelante al considerar el tema de los analizadores de espectro.

A continuación, se sigue el estudio abordando el tema de los generadores de señales. Es posible que alguien pueda plantear objeciones sobre la conveniencia de considerar el tema general de los generadores en un curso de “Mediciones Electrónicas”. En este sentido, es importante comprender que cualquiera a que sea la característica que se desea determinar, y el método empleado para la medición de la misma, siempre se requiere la utilización de generadores apropiados para cada caso, por lo cual parece estar ampliamente justificado presentar y tratar el tema al menos sintéticamente.

Generadores de señales

Bajo el título "Generadores de señales" se encuadran una múltiple variedad de dispositivos e instrumentos cuya función es servir de fuentes de señales de C.A. en los circuitos de prueba y mediciones de electrónica y de otras áreas de la ingeniería y las ciencias en general. El título es bien amplio, por lo que corresponde intentar efectuar una clasificación que se hará en función del tipo de salida que pueden generar las distintas clases en particular.

Clasificación de los generadores de señales.

Los generadores clásicos pueden agruparse en subcategorías, las cuales son:

- Osciladores
- Generadores de barrido de frecuencia
- Generadores de pulsos.
- Generadores de funciones.

Por otro lado, la irrupción masiva de los microcircuitos con alta escala de integración, de bajo costo y fácil uso, ha posibilitado el diseño de muchos instrumentos con capacidad de aplicaciones múltiples, en lugar de una única función. En lo que respecta a las fuentes de señales, han aparecido nuevos tipos de generadores entre los cuales están los "Sintetizadores de función", o "Sintetizadores de señales", y los "Generadores de funciones arbitrarias". Se trata de instrumentos que emplean técnicas digitales para la generación de las señales, y que son capaces de producir y entregar cualquiera de las formas de onda principales, incluyendo también varios tipos de "Ruido", a lo cual se debe agregar la posibilidad de automatizar las funciones a través de la conexión con un bus de comunicaciones normalizado (P. ej. bus IEEE-488), que permite la interconexión con otros aparatos e instrumentos de medición.

Impedancia de salida de los generadores.

Mas allá del tipo de generador de que se trate, una de las diferencias que los distinguen entre si es la impedancia de salida y el modo en que la misma está acoplada. Desde el punto de vista de la carga a la que se conecta, un generador típico puede representarse mediante un circuito equivalente que contiene una fuente de tensión alterna ideal en serie con una resistencia **R_g** (Fig. 13). El valor de esta resistencia viene dado por los circuitos internos del generador, por lo general se trata que no tenga componente reactiva de manera que su valor permanezca constante con la frecuencia y es la **impedancia de salida** del generador.

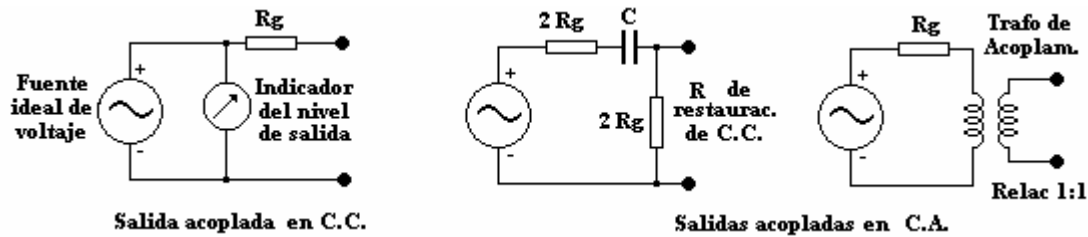


Fig. 10-13 Circuitos equivalentes de generadores típicos.

La salida de un generador puede estar acoplada en CC o en CA. Normalmente, si el mismo proporciona un señal de salida con una componente de CC (que además, suele ser ajustable) se emplea acoplamiento en CC. En cambio, para el caso de generadores destinados a utilizarse en RF, el acoplamiento es, por lo general, en CA, aunque siempre con algún sistema de restauración de CC.

En generadores de funciones, la impedancia de salida es normalmente de 50Ω . En los generadores de radiofrecuencia (RF) (y en los generadores de pulsos y señales moduladas) el valor varía dependiendo del origen del instrumento; así en los generadores de origen europeo R_g suele ser de 75Ω , en tanto que en los norteamericanos y japoneses se usa 50Ω . Este valor se debe a que las señales de RF se transmiten a lo largo de cables coaxiales (cuando no se propagan por el espacio) cuyas impedancias características están típicamente en este orden. En los generadores destinados al rango de las audiofrecuencias (AF) la impedancia de salida usada es de 600Ω ; este valor se emplea debido a que se ha normalizado la impedancia característica de los sistemas de comunicación en audiofrecuencias (por ej. circuitos telefónicos).

El valor de la impedancia de salida de un generador debe ser tenido en cuenta especialmente al conectar el mismo a una determinada carga. Como regla general la impedancia de carga nunca debe ser menor que R_g y en lo posible debería estar adaptada (es decir, deben ser iguales). Esto es porque una carga incorrectamente adaptada puede producir deformaciones en la señal entregada por el generador a causa del fenómeno de reflexión, que se torna mas notable, mientras mayor es la frecuencia y longitud del chicote de conexión (Véase figura 10-23 en esta misma sección).

Por otro lado, en el caso de generadores que poseen instrumentos o visores digitales indicadores del nivel de salida, los mismos están calibrados justamente para la condición de carga adaptada.

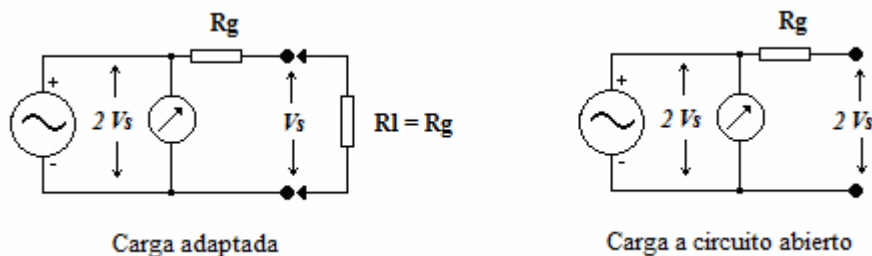


Fig. 10-14. Efecto de una carga a circuito abierto sobre la tensión de salida de un generador

En el caso extremo de que la salida de un generador se deje a circuito abierto, puede ocurrir que la tensión de salida se duplique. (Para evitar este inconveniente, algunos generadores modernos tiene la posibilidad de cambia la lectura del indicador de nivel a la condición “Circuito abierto”).

Osciladores.

Reciben este nombre, los instrumentos que generan señales de salida senoidales. Aunque hay otros instrumentos que producen distintos tipos de salida (y entre ellas las senoidales), se reserva el termino "Oscilador" para aquellos que están diseñados para producir solo ondas senoidales.

Los osciladores pueden, a su vez, clasificarse de acuerdo al margen de frecuencias que cubren (aunque existen también aquellos cuya salida es de frecuencia fija), y también de acuerdo con la técnica que usan.

Tipo de Oscilador	Rango aproximado de frecuencia
<i>Puente de Wien (R.C.)</i>	<i>1 Hz a 1 MHz.</i>
<i>Corrimiento de fase (R.C.)</i>	<i>1 Hz a 10 MHz.</i>
<i>Hartley (L.C.)</i>	<i>10 KHz a 100 MHz.</i>
<i>Colpitts (L.C.)</i>	<i>10 KHz a 100 MHz.</i>
<i>De Resistencia Negativa</i>	<i>> de 100 MHz</i>
<i>A cristal (de frecuencia fija)</i>	<i>100 KHz a 100 MHz</i>

Los osciladores del tipo RC, de los cuales los más comunes son el de puente de Wien y el de corrimiento de fase son los mas utilizados como fuentes de audiofrecuencias, ya sea para generadores destinados a este rango de frecuencias, o bien como modulador en los generadores de RF modulados. Son en general de diseño sencillo compacto y relativamente libre de distorsión de salida. Si el diseño es bueno y cuidadoso, Los del tipo puente de Wien son muy estables, en tanto que los de desplazamiento de fase son un poco menos estables pero permiten un rango de frecuencias algo más amplio.

Los osciladores que emplean circuitos de Inductancia-Capacidad (LC) como elementos de referencia son los mas difundidos como generadores de R.F. (radio frecuencias) y los tipos más usuales son el de Hartley y el de Colpitts. No existen diferencias entre ellos salvo la constructiva y sus rangos de frecuencia son virtualmente idénticos. Su uso en frecuencias bajas esta limitado solo al caso de generadores de frecuencias fijas ya que para un oscilador ajustable seria necesario disponer de elementos voluminosos y pesados.

Los osciladores a cristal emplean un cristal piezoeléctrico para generar una señal senoidal de frecuencia constante. La frecuencia de salida es extremadamente estable y su exactitud puede controlarse en un alto grado. Su aplicación se circunscribe al uso como generador de referencia o patrón; al respecto es habitual que los generadores del tipo LC, incorporen internamente un oscilador controlado por cristal, el cual se utiliza para calibrar el dial del generador principal mediante el método del batido cero.

Los osciladores de resistencia negativa se emplean principalmente para producir señales de muy alta frecuencia.

Selección de un oscilador.

Cuando se debe elegir un oscilador para un determinado fin, se deben comparar las exigencias de la tarea a efectuar con las especificaciones del instrumento. El siguiente es un listado de los principales aspectos a tener en cuenta.

- **Rango de frecuencia.** Parece obvio pero se debe asegurar que el oscilador pueda suministrar una señal cuyos límites (inferior y superior) excedan los necesarios para la medición.
- **Potencia y/o nivel de salida.** El oscilador debe ser capaz de entregar un nivel que exceda lo suficiente el requerido para la medición en condición de impedancia de carga igual a la impedancia interna del mismo.
- **Exactitud y resolución del dial.** La exactitud de un oscilador especifica cuanto se aproxima la frecuencia de salida con la indicada por el dial, la resolución del dial indica cual es el mínimo porcentaje de la frecuencia de salida que se puede leer en el dial. De no cumplirse los requisitos exigidos, será necesario disponer de algún medio auxiliar (Frecuencímetro/periodímetro) para determinar la frecuencia de salida.
- **Estabilidad de la amplitud y de la frecuencia de salida.** La estabilidad, tanto de la amplitud, cuanto de la frecuencia es una medida de cuanto se aparta la señal de salida de lo especificado en un lapso de tiempo determinado.
- **Distorsión de la onda.** Esta cantidad indica cuanto se aparta la salida del oscilador de una forma de onda senoidal pura. Esta característica debe ser muy tenida en cuenta especialmente cuando se desea ensayar un amplificador y determinar la distorsión producida por el mismo; la distorsión propia del generador debe estar muy por debajo de la que se espera medir en el amplificador bajo pruebas.
- **Impedancia de salida** Los aspectos correspondientes a este punto se describieron en el párrafo anterior.
- **Posibilidad de modulación.** Para los osciladores usados en ensayo de equipos de comunicaciones es generalmente necesario que puedan modularse y que el índice de modulación sea ajustable por el operador.

Generadores de barrido de frecuencia – Generadores de barrido y marcas.

Este tipo de instrumentos producen una salida senoidal cuya frecuencia de salida puede ajustarse a un valor nominal medio y luego hacer que varíe automáticamente dentro de un margen determinado o bien entre dos frecuencias seleccionadas. A un ciclo completo de variación de la frecuencia se lo denomina **un barrido**, y la salida senoidal modulada en frecuencia se conoce como “**Chirp**” (en lenguaje técnico coloquial).

La forma en que se varía la frecuencia puede ser lineal o logarítmica, dependiendo del diseño del instrumento. Además se trata, por lo general, que la amplitud de la señal de salida permanezca constante al cambiar la frecuencia. El barrido puede hacerse mediante un

circuito interno propio del generador o con una fuente externa a través de un conector ubicado en el panel del instrumento. La velocidad de barrido es por lo general baja (se usa generalmente 50 o 100 Hz).

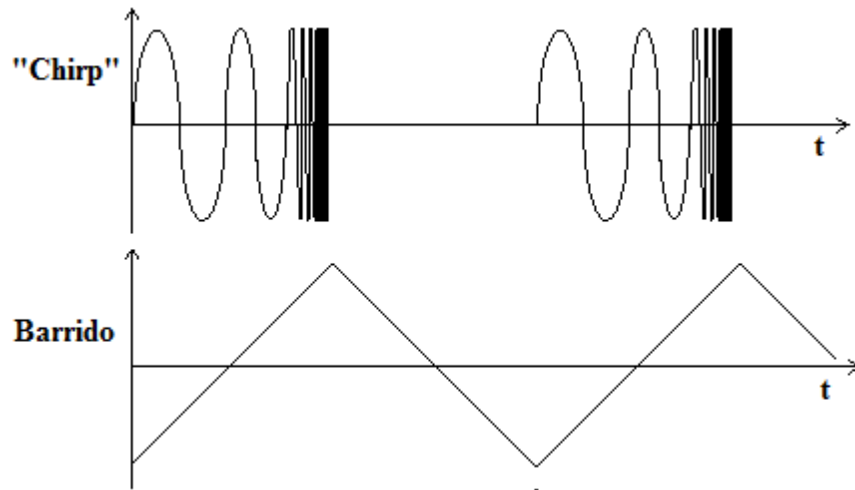


Fig. 10-15. Señal de RF modulada en frecuencia ("Chirp")

Normalmente, un generador de barrido y marcas siempre se utiliza en conexión con un osciloscopio de manera tal que el conjunto se pueda utilizar como un analizador simple que permite obtener la curva de respuesta en frecuencia de una red determinada (un amplificador de RF por ejemplo). Para calibrar el eje de las frecuencias los generadores de barrido suelen incorporar marcas de calibración fijas mediante un generador auxiliar interno llamado "generador de marcas". La marca se genera por batido de la señal proveniente del generador de marcas con la del generador de barrido en un multiplicador (o mezclador alineal), a la salida del cual hay un filtro pasa bajos. Cuando ambas frecuencias se aproximan la salida del filtro pasa bajos entrega una ráfaga denominada "Doble pip" (por su forma específica), que luego se superpone sobre el eje vertical en el osciloscopio.

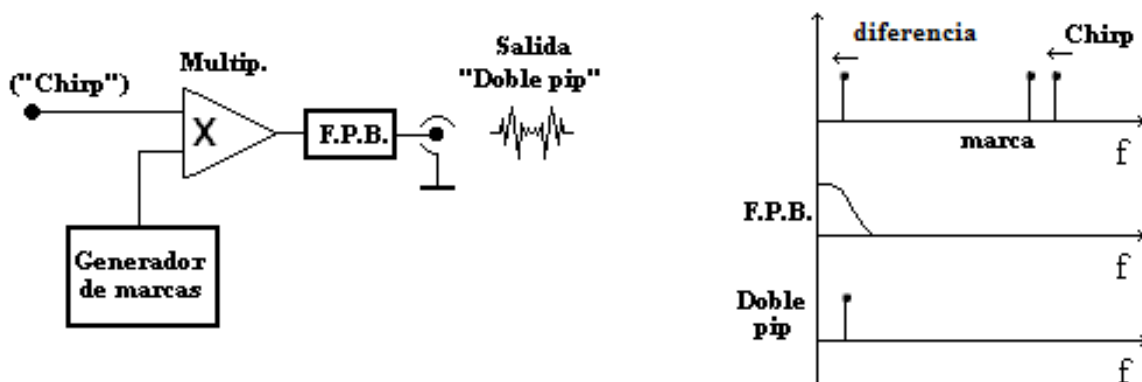


Fig. 10-16. Generación de la marca o "doble pip".

Habitualmente, la frecuencia nominal de salida de un generador de barrido típico puede ajustarse dentro de un amplio rango (por ej. entre 10 MHz y 200 MHz.). El diseño de un oscilador controlado por voltaje que, por sí mismo, sea capaz de funcionar dentro de ese margen es extremadamente difícil, por ese motivo se suele recurrir a la técnica del heterodinaje entre la salida de un OCV de baja frecuencia y un Oscilador maestro de RF de alta frecuencia. Se muestra a continuación el diagrama en bloques de un generador de barrido y marcas típico usado para verificación y alineado de amplificadores de RF.

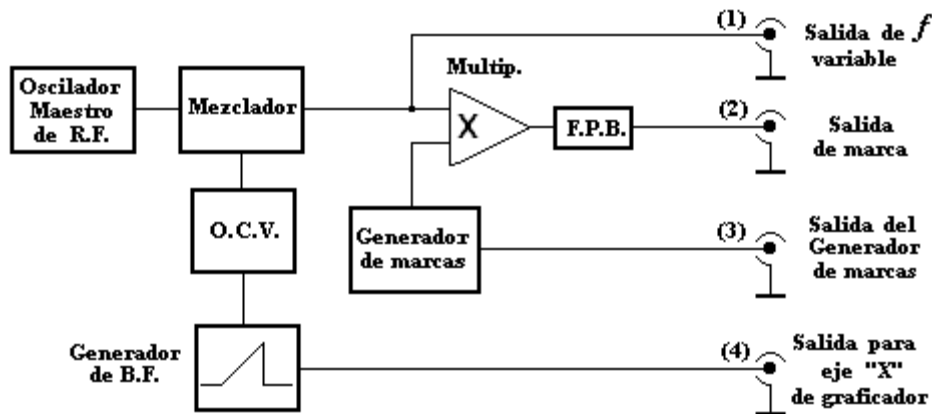


Fig. 10-17 Diagrama en bloques de un generador de barrido y marcas – Fotografía de un generador comercial..

Para la conexión de un generador de barrido con un osciloscopio, se necesitan, además, un detector de amplitud y una red sumadora lineal para superponer la marca sobre el eje vertical. Habitualmente estos elementos están contenidos dentro del propio generador de barrido y marcas. La manera de conectar estos elementos se muestra en el siguiente esquema.

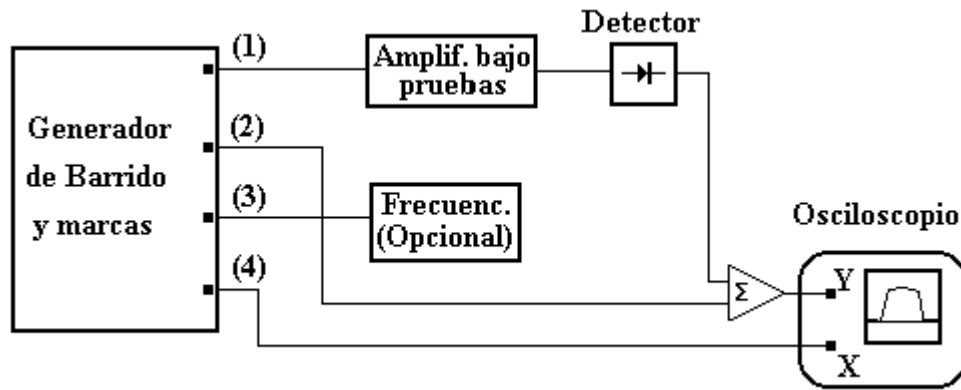


Fig. 11-18 Conexión de un generador de barrido y marcas para alinear un amplificador de RF

Los generadores de barrido se usan para relevar la curva de respuesta en frecuencia de amplificadores, filtros, y otros dispositivos eléctricos sobre una determinada banda de frecuencia en forma automática. Por ejemplo durante el diseño y prueba, o después de efectuar una reparación de un dispositivo determinado, suele ser necesario efectuar ajustes y/o verificaciones que, si se debieran hacer con generadores sintonizados manualmente se tornarían sumamente engorrosas y complicadas. Empleando un generador de barrido juntamente con un graficador o un osciloscopio, usado como dispositivo de presentación X-Y, se puede obtener una gráfica directa de la respuesta en frecuencia del dispositivo bajo pruebas.

Generadores de pulsos

Los generadores de pulsos son instrumentos diseñados para producir un tren periódico de pulsos de igual amplitud (Fig. 10-19). En ellos, la duración o ancho del pulso puede ser independiente del tiempo entre pulsos. Para el caso particular de un tren de pulsos donde el ancho del pulso es igual a la mitad del tiempo entre pulsos se está en presencia de una **onda cuadrada**. En ese sentido, se pueden considerar a los generadores de ondas cuadradas como una clase especial de generadores de pulso.

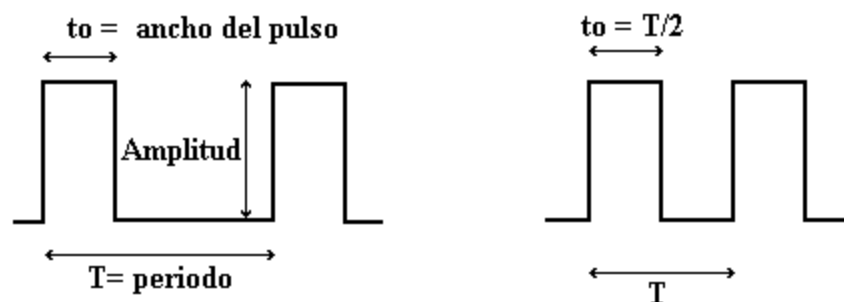


Fig. 10-19. Tren de pulsos ideal y caso especial de onda cuadrada.

En realidad la salida de un generador de pulsos proporciona una forma de onda que solo se aproxima lo más posible a la ideal. Entonces para describir la salida de un generador se debe conocer la terminología asociada a los pulsos.

Existe un grupo de términos que pueden aplicarse por igual a trenes de pulsos ideales y reales, y una segunda clase que tiene sentido solo en el caso de pulsos reales. La fig. 10-20 y las definiciones que se dan aclaran este aspecto.

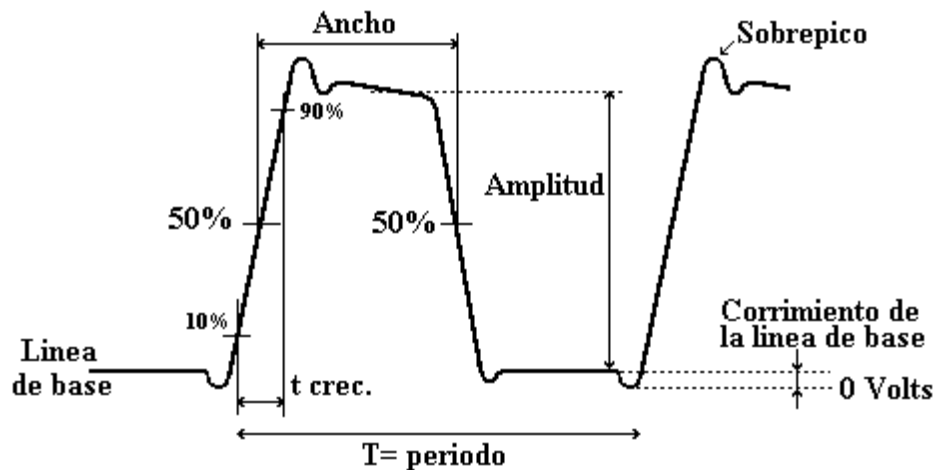


Fig. 10-20 Nomenclatura de un pulso.

Dentro del primer grupo se tiene:

- 1) **Periodo**. Es el tiempo (en segundos) entre el inicio de un pulso y el inicio del siguiente; la frecuencia es la inversa del periodo.
- 2) **Amplitud**. Es el valor del voltaje pico y polaridad del pulso.
- 3) **Ancho del pulso**. Es la duración del pulso en segundos.
- 4) **Ciclo de trabajo**. Es la relación entre el ancho del pulso y el periodo (también se suele expresar en % del periodo). Las ondas cuadradas tienen un ciclo de trabajo del 50%.

En lo que respecta al segundo grupo de especificaciones tenemos:

- 1) **Tiempo de subida** (o tiempo de crecimiento). Es el tiempo que transcurre para que el pulso pase del 10 % al 90 % de su amplitud.
- 2) **Tiempo de caída**. Es el tiempo que transcurre para que el pulso pase del 90 % al 10 % de su amplitud.
- 3) **Sobrepico**. Es el grado (en porcentaje) en que el pulso sobrepasa el valor correcto durante el flanco de subida.
- 4) **Oscilación**. Es la oscilación que tiene lugar (en porcentaje de la amplitud del pulso) como resultado del sobrepico.
- 5) **Decaimiento**. Cualquier disminución (en porcentaje de la amplitud) que sucede durante la duración del pulso.
- 6) **Variación del periodo**. Especifica la variación en periodo de un ciclo respecto del siguiente (en porcentaje del periodo).

- 7) **Línea de base.** Es el nivel de CC en el cual empieza el pulso.
- 8) **Tiempo de asentamiento.** Es el tiempo necesario para que cese el transitorio de la oscilación.

Los generadores de pulsos se emplean para ensayos de respuesta temporal de dispositivos y equipos electrónicos (particularmente en la técnica de los radares), y para técnicas reflectométricas en ensayos y mediciones sobre líneas de transmisión y cables coaxiales.

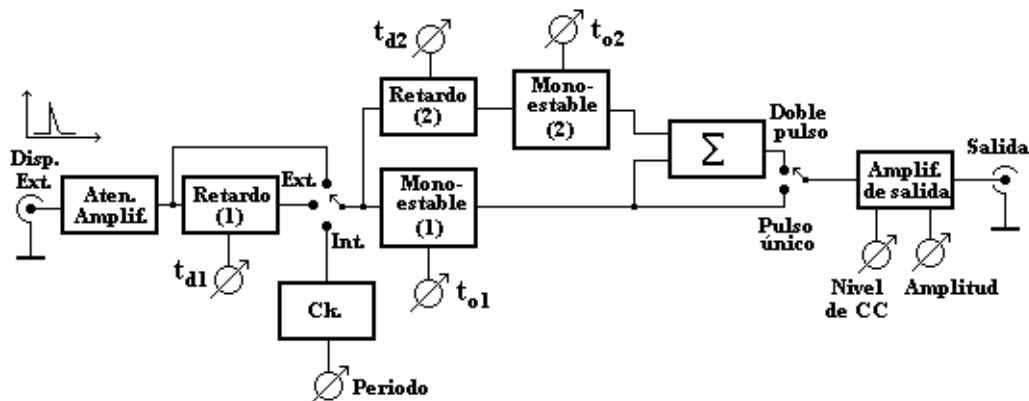


Fig. 10-21. Diagrama en bloques de un generador de pulsos típico.

La impedancia de salida de los generadores de pulsos es típicamente 50 ohms y al utilizarlos se debe tener especial cuidado en la correcta adaptación a la carga a que vayan conectados ya que de lo contrario se corre el riesgo de que se produzcan reflexiones que alteren la forma y amplitud del pulso de salida.

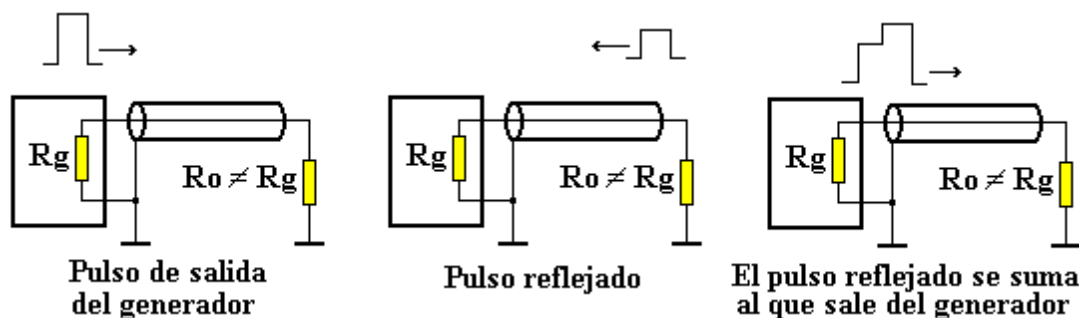


Fig. 10-22. Efecto de la desadaptación de la impedancia de carga

Algunos generadores de pulsos permiten modos de disparo **manual** (mediante un pulsador al efecto en el tablero), disparo de **dobles pulsos**; y disparo de **ráfagas de pulsos** (en

cantidad y forma preestablecidas). Además es habitual que los pulsos puedan dispararse externamente y que medie un retardo (ajustable desde el panel por el operador).

Generadores de funciones

Se llaman generadores de funciones a la familia de instrumentos que pueden entregar varios tipos de formas de ondas, siendo las más comunes; ondas senoidales, triangulares y rectangulares/cuadradas, en un rango de frecuencia bastante amplio que suele extenderse entre algunas fracciones de Hz. Hasta el orden de los MHz.

La mayoría posee un control de nivel de CC superpuesta a la salida (denominado OFF-SET) y una salida extra compatible con niveles de lógica TTL, que en muchos casos puede emplearse como una señal de disparo externo para un osciloscopio y por ello se la suele identificar con el rótulo “TTL-SYNC”

Otros modelos incluyen un conector accesible desde el panel que posibilita la variación de la frecuencia de la salida mediante la aplicación de una tensión de control, lo cual permite trabajar al instrumento como un generador de barrido.

Originalmente, los generadores de funciones no fueron concebidos como generadores de laboratorio, sino más bien como instrumentos de uso múltiple para aplicaciones industriales y de taller, sin embargo y debido a la variedad de formas de ondas de salida disponibles y al continuo perfeccionamiento de estos instrumentos por parte de los fabricantes, los generadores de funciones son cada vez más versátiles y su uso en laboratorios es múltiple.

Se muestra a continuación el panel de controles de un generador de funciones clásico, y se explicarán la función de cada uno de los mandos.

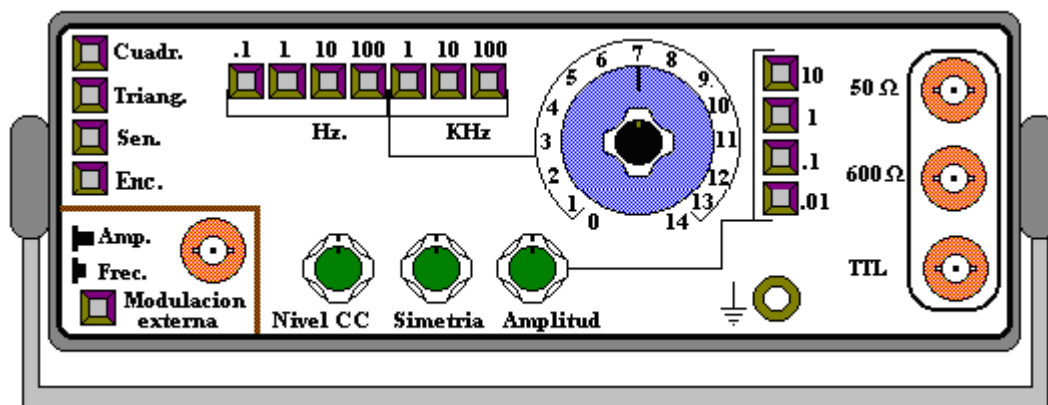


Fig. 10-23. Panel de controles de un generador de funciones típico

La bornera de salida típica de un generador de funciones incluye una salida de 50Ω (generalmente con un conector del tipo BNC), así como una salida compatible con los niveles TTL en la cual se encuentra presente siempre una onda rectangular independientemente del tipo de forma de onda que se haya seleccionada mediante la llave selectora que hay al efecto. Algunos modelos incluyen una salida extra de 600 Ω (valor normalizado para telefonía). La amplitud, forma, y nivel de CC de la salida pueden controlarse por separado mediante los controles de “Amplitud”, “Nivel de CC” y

“Simetría”. Este último control es útil para ajustar el ciclo de trabajo cuando se elige la salida rectangular, y lograr formas de ondas en diente de sierra con pendientes de subida y bajada distintas, en muchos instrumentos este control tiene una posición de fijación donde el ciclo de trabajo queda automáticamente ajustado al 50 %. ”. El Ciclo de trabajo queda definido a partir de la relación entre la duración de la parte mas angosta de la forma de onda y el periodo, y la mayoría de los generadores permiten su ajuste en un rango comprendido entre el 20% y el 50%.

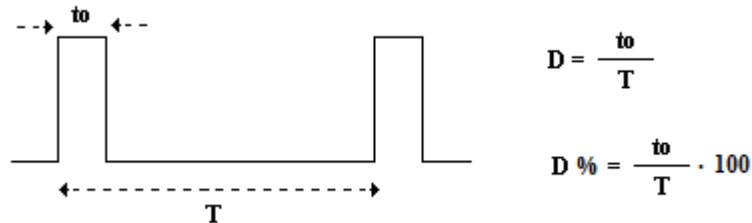


Fig. 10-24. Ciclo de trabajo de una forma de onda rectangular.

El nivel de CC puede ser positivo o negativo. También suele haber un atenuador por pasos que actúa sobre la salida (Modifica la amplitud y el nivel de CC simultáneamente).

Los generadores de funciones por lo general pueden entregar una salida cuyos niveles pueden variarse en un amplio rango. Un valor máximo típicamente puede ser de ± 10 V (incluyendo el nivel de CC y la amplitud pico a pico máxima de la componente de alterna). En el instrumento cuyo panel se muestra como ejemplo, la frecuencia de la salida puede ajustarse entre 0,1 Hz y 1,4 MHz aproximadamente, mientras que en algunos generadores mas modernos, se puede llegar incluso hasta 20 o 30 MHz. (Casi siempre la frecuencia es aproximadamente la indicada por el dial sí se ha ajustado la simetría para tener un ciclo de trabajo de 0,5 para onda cuadrada o su equivalente en triangular o sinusoidal).

Como ya se ha mencionado, la forma de onda de salida puede ser de tipo senoidal, triangular o rectangular-cuadrada. Hay que tener presente que la máxima frecuencia de la forma de onda cuadrada que proporciona un generador de funciones queda limitada por el ancho de banda del circuito principalmente del amplificador de salida del generador. Es normal que, si por ejemplo la máxima frecuencia de salida senoidal es 20 MHz, la onda cuadrada no pueda superar 5MHz.

La entrada para modulación suele estar ubicada por lo general la parte trasera del gabinete, aunque en algunos modelos se encuentra en el panel frontal. Junto con el correspondiente conector hay una llave o tecla que cambia de modulación en amplitud a modulación en frecuencia.

Algunos modelos de generadores permiten obtener simultáneamente dos o más formas de ondas, en ese caso, los controles de niveles deben estar reproducidos tantas veces como salidas tenga el instrumento.

Aplicaciones de los generadores de funciones.

En los párrafos precedentes se dieron ejemplos sobre la aplicación de los osciladores, estos mismos son validos para la salida senoidal de un generador de funciones con una salvedad; por regla general, y debido a la técnica usada para la generación de la misma, la salida

senoidal de un generador de funciones tiene un contenido armónico que la hace inapropiada para medición de distorsión en amplificadores.

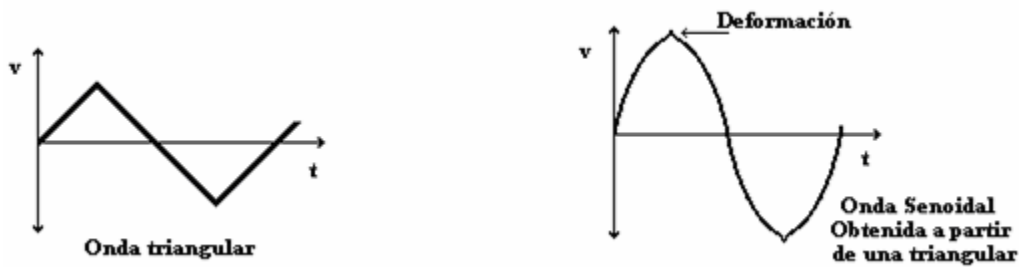


Fig. 10-25. Forma típica de la salida senoidal de un generador de funciones (Se aprecia la deformación en el pico de la función)

La señal de onda cuadrada o rectangular puede usarse para probar amplificadores electrónicos y respuesta transitoria de otros circuitos. Como los flancos abruptos son ricos en contenido armónico el ensayo de un amplificador con esta forma de onda proporciona la misma información que se obtendría haciendo la prueba con varias señales senoidales de frecuencia distinta. También puede emplearse para efectuar mediciones empleando técnicas de reflectometría en líneas de transmisión. En esta técnica se aplica una otra forma de onda rectangular a una punta de la línea, se espera que al llegar al extremo opuesto se refleje, y se detecta cuando retorna al punto de partida. La comparación de la amplitud de la señal reflejada con la aplicada, y la medición del tiempo que se invierte en el viaje de ida y vuelta permiten determinar varias características de la línea.

Las formas de ondas triangulares y dientes de sierra se usan en general cuando se necesita una forma de onda que varíe linealmente con el tiempo. Como ya se ha dicho, algunos generadores permiten obtener simultáneamente dos o más formas de ondas distintas, en este caso una si se tiene una senoide cuyos puntos de cruce por cero coinciden con los de una onda triangular, esta última proporciona una tensión que representa la variación de fase de la primera.

Sintetizadores de señales.

Se denominan “Sintetizadores de señales” a aquellos generadores que proporcionan una salida cuya frecuencia es un múltiplo o submúltiplo racional de una frecuencia de referencia patrón (f_r). Esta frecuencia de referencia se consigue por lo general a partir de un oscilador controlado por cristal que es muy estable y exacto. Operativamente, la selección de frecuencia de salida se hace mediante la programación de dispositivos electrónicos digitales. Hay tres tipos principales de sintetizadores que pueden clasificarse de acuerdo a la técnica de síntesis que se emplea en cada caso:

- Síntesis Directa. (SD)
- Síntesis Indirecta. (SI)
- Síntesis Digital Directa. (SDD)

Las técnicas de “Síntesis Directa” y “Síntesis Indirecta” combinan circuitos Analógicos y Digitales. La técnica de “Síntesis Digital Directa” es completamente digital.

Síntesis directa (SD).

Un ejemplo de esquema en bloques de un generador que funciona por síntesis directa, se muestra a continuación. Como se puede ver, se utiliza entre otras cosas, un oscilador de referencia controlado por cristal (para asegurar la estabilidad de frecuencia de salida), un divisor de frecuencia y un conjunto formado por una cadena de multiplicadores de frecuencia.

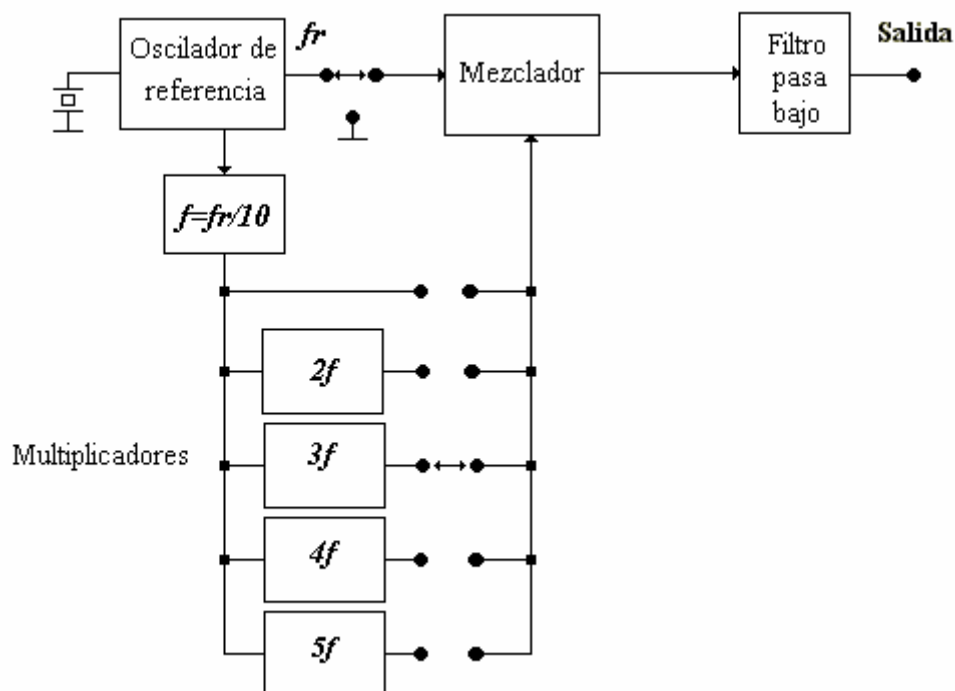


Figura 10-26. Generador por síntesis directa.

Hay además un mezclador (multiplicador) y un filtro pasa bajos con frecuencia de corte ligeramente mayor a f_r (la frecuencia de referencia). El filtro permite obtener como salida las componentes de frecuencias que estén por debajo de la de referencia, es decir las que resulten de la diferencia $f_r - n(f_r/10)$. En el caso que se ilustra en el esquema precedente, la frecuencia de salida sería:

$$f_s = f_r - 3(f_r/10) ; \text{ es decir: } f_s = 7(f_r/10)$$

El método permite cambiar rápidamente las frecuencias de salida, pero obviamente, si se requiere una elevada resolución (es decir un pequeño paso entre las diferentes frecuencias de salida), esto solo sería posible a costa de complejidad de diseño, por lo cual solo se lo emplea en sintetizadores de alta gama y de alto costo.

Síntesis Indirecta (SI)

La síntesis de una señal también se puede conseguir, de manera mas económica, mediante el empleo de una red PLL (Lazo de enganche de fase) tal como la que se muestra en el siguiente esquema.

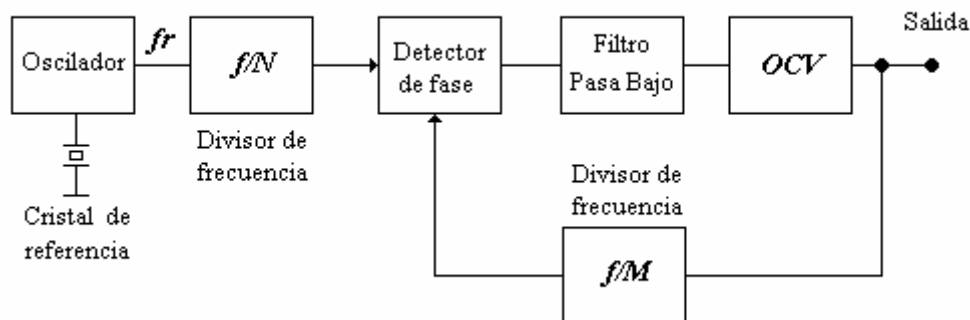


Fig. 10-27

La red PLL emplea un oscilador controlado por voltaje (OCV) y un oscilador de referencia cuya frecuencia de funcionamiento (f_r) se fija de manera muy exacta mediante el empleo de un Cristal. La frecuencia de salida (f_s) del OCV (que es la frecuencia de salida del sintetizador) se controla mediante una tensión que se obtiene como salida de un detector de fase. Hay un par de cadenas divisoras digitales; una divide la frecuencia de referencia por un factor N , y la otra divide la frecuencia de salida de OCV por un factor M . Las salidas de ambas cadenas son las entradas del detector de fase. El sistema se diseña para que actúe como una red con realimentación negativa, de manera que si la frecuencia de salida tiende a aumentar, la tensión de salida del detector de fase varía en el sentido tal que tiende a disminuir la frecuencia del OCV. La estabilidad del lazo se alcanza cuando se cumple que:

$$f_s/M = f_r/N \quad \therefore \quad f_s = f_r (M/N)$$

La frecuencia de salida del sintetizador puede ser ajustada dentro de un cierto margen modificando la relación (M/N), y la resolución (es decir el salto mínimo entre distintos valores de la frecuencia de salida) será (f_r/N). El tiempo que demorara el sistema en volver a “engancharse” cuando se cambia la frecuencia de salida será menor a medida que mayor es el ancho de banda del lazo de realimentación, el cual queda determinado por la frecuencia de corte del Filtro pasa bajo ubicado a la salida del detector de fase. Por otro lado, para evitar las fluctuaciones rápidas de la frecuencia de salida (es decir para que el sistema muestre una elevada estabilidad a corto plazo), la frecuencia de corte debe ser lo mas baja posible. Estas dos características, que son opuestas entre si, hacen que se requiera un diseño con solución de compromiso entre ambas, lo cual pone en evidencia la principal desventaja del sistema.

Síntesis digital directa.

La síntesis digital directa (SDD) se basa en una tabla de datos que se encuentran almacenados en una memoria ROM y representan valores instantáneos equidistantes de una forma de onda determinada. Un reloj de frecuencia fija establece la velocidad y cadencia con la cual se van leyendo dichos datos, los cuales son transformados en una salida analógica por medio de un conversor D/A. Como los datos almacenados en la memoria son discretos, se requiere además un interpolador que debe ser capaz de generar los valores intermedios entre dos datos sucesivos provenientes de la ROM.

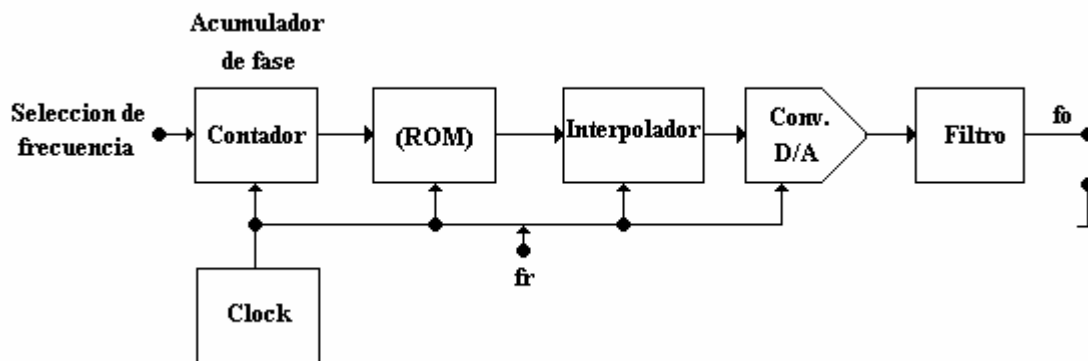


Fig. 10-28.

El método de SSD ofrece como principal ventaja, una conmutación de frecuencias de salida rápida (no se requiere esperar el enganche de fase como en los PLL) aunada a una resolución elevada (lo cual depende del número de bits y del tamaño de la Memoria).

Hay modelos de generadores por SSD que son capaces de generar señales de hasta 400 MHz con una resolución de 1 Hz. También se pueden producir la mayoría de las funciones (formas de onda de salida) conocida.

La misma técnica es, básicamente, la que se emplea en los “Generadores de funciones arbitrarias”, con los cuales puede ser posible disponer de una señal con forma de onda específica definida por el operador mediante una rutina de programación.

Generadores de funciones arbitrarias.

Los generadores de funciones arbitrarias permiten la obtención de formas de ondas complejas, mediante un mecanismo de síntesis digital directa en el cual es posible, además, variar la frecuencia del clock. Los valores correspondientes a cada punto de la forma de onda deseada los introduce directamente el usuario, o se definen mediante una ecuación matemática o bien son descargados de algún dispositivo externo y la frecuencia de repetición de la forma de onda programada, puede ajustarse a voluntad dentro de un amplio margen.

Estas características hacen de los generadores de funciones arbitrarias, un tipo de fuente de señales extremadamente versátil que se puede emplear para efectuar pruebas, ensayos y mediciones dentro de un amplio campo.

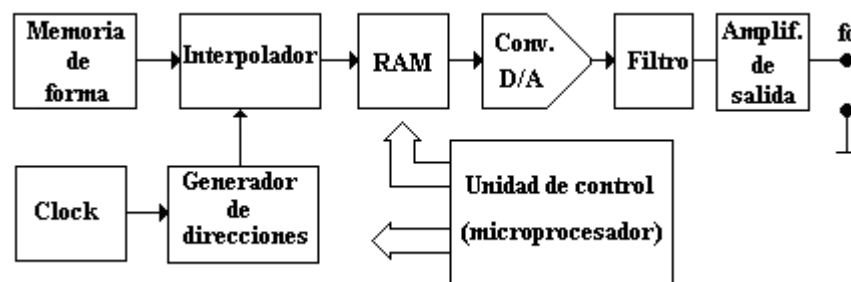


Fig. 10-29. Diagrama en bloques de un generador de funciones arbitrarias.

La forma de onda deseada se obtiene a partir de una “Secuencia de valores” obtenidos de la “Memoria de forma” más los que se generan por interpolación para cubrir los puntos intermedios. Estos datos se vuelcan en la RAM y mediante una cadencia determinada por un “Generador de direcciones” se convierten en una salida analógica a través de un conversor D/A. La duración de cada secuencia (td) es:

$$td = \frac{L}{fck}$$

Donde L es la longitud de la memoria mas los datos interpolados (numero de muestras) y fck es la frecuencia del reloj. En algunos casos la memoria puede segmentarse y dedicar cada segmento a una forma de onda distinta.

La salida del conversor debe ser alisada mediante un filtro pasa bajos a fin de eliminar las transiciones bruscas entre valores discretos sucesivos. El diseño cuidadoso y elaborado de este filtro es un factor clave en la baja distorsión de la forma de onda de salida. Este es en realidad uno de los puntos flojos de un generador de este tipo, frente a aquellos que están preparados para entregar una forma de onda convencional, como puede ser una senoide, ya que en estos casos el porcentaje de contenido armónico es sustancialmente menor dado que el filtro se se diseña específicamente para ese fin. La señal finalmente lleva a los niveles adecuados mediante un amplificador lineal similar a la que poseen las generadoras de funciones clásicos.

Por lo general, el modo de funcionamiento puede ser “Continuo” o de “Ráfaga única” en la cual ha una sola secuencia de conversión, que se inicia cada vez que hay una señal de disparo válida, la cual puede ser externa, interna o manual.

La resolución del conversor D/A es un aspecto importante ya que define la “resolución vertical” de la señal de salida. Son normales resoluciones de al menos 8 bits, aunque hay algunos generadores que pueden llegar hasta los 12 o 14 bits.

La máxima frecuencia de salida queda determinada en última instancia por el tiempo de acceso a la memoria de forma, y por las características del filtro pasa bajos que atenúa las frecuencias armónicas. Las componentes armónicas aparecen generalmente cuando el tramo final de una secuencia no empalma directamente con el tramo inicial del ciclo siguiente y se introduce un flanco abrupto entre ambos.

Apéndice

Mediciones en amplificadores realimentados.

Medición de la resistencia de salida.

En principio, la medida de la resistencia de salida de un amplificador puede efectuarse mediante un método que consiste en medir primero la tensión de salida a circuito abierto (sin carga), y a continuación volver a medir, pero esta vez con una carga de valor conocido. La resistencia de salida (R_o) puede obtenerse mediante un simple cálculo empleando la ley de Ohm. En la práctica lo que se hace es utilizar una carga variable (R_L), y ajustarla hasta que la tensión de salida se reduzca a la mitad de la que se obtiene con la carga desconectada. En esta situación R_o es igual a R_L .

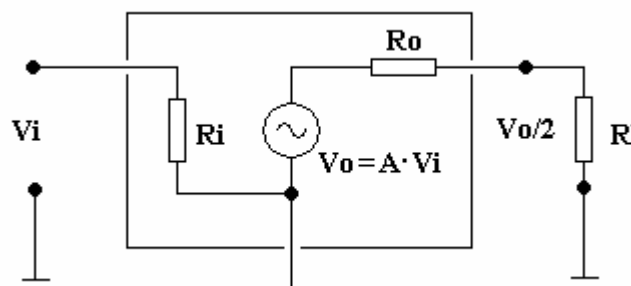


Fig- 10-30

El método es bastante simple, y no se presentan mayormente problemas, en tanto no haya componentes reactivas apreciables (en realidad sería más apropiado hablar de Impedancia de salida en lugar de resistencia de salida), y siempre y cuando el amplificador no esté realimentado. Por ejemplo, si el amplificador tiene un sistema de realimentación negativa de tensión en serie, puede haber dificultades porque uno de los efectos de la realimentación es mantener estable la amplitud de la salida del amplificador aunque se varíe la carga conectada, lo cual implica una reducción de la resistencia de salida. Si se intenta variar la carga hasta que la tensión de salida se reduzca a la mitad de la que hay sin carga, puede ocurrir que se lleve el punto de funcionamiento del amplificador a una zona donde la potencia disipada exceda los límites previstos y se dañe.

Mediciones de la resistencia de salida de amplificadores con realimentación.

Se estudiará a continuación, el caso de la medición de la resistencia de salida de un amplificador lineal que tiene un sistema de realimentación negativa de tensión en serie. Se definen los siguientes parámetros:

A: ganancia a lazo abierto del amplificador.

B: ganancia del lazo de realimentación.

R_o : Resistencia de salida a lazo abierto.

R_o' : Resistencia de salida a lazo cerrado.

G: Ganancia del amplificador a lazo cerrado (con realimentación).

Considérese el siguiente circuito equivalente.

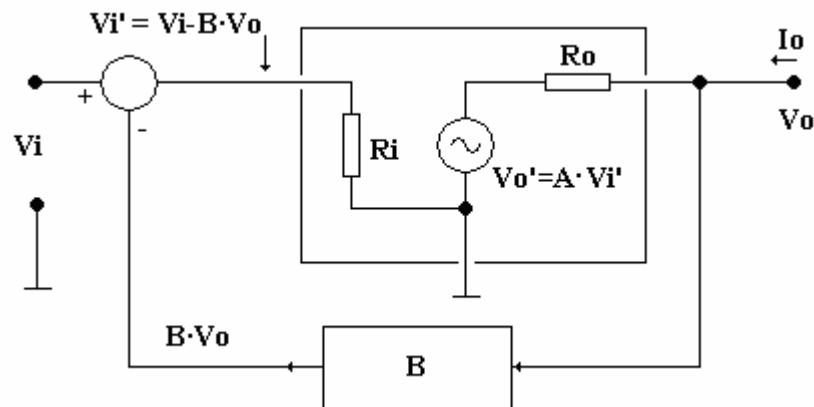


Fig. 10-31

La medida de la resistencia interna de un circuito, puede plantearse, al menos teóricamente, de la siguiente manera: Se aplica una tensión al circuito y se mide la corriente que circula. La resistencia interna es; por ley de Ohm; simplemente la relación entre la tensión y la corriente. En el circuito mostrado, V_o es una tensión hipotética que se aplica en tanto que I_o es la corriente (también hipotética) que circula. Entonces del circuito puede escribirse:

$$V_o = A V_i' + R_o \cdot I_o \quad ; \quad \text{de donde} \quad V_o = A[V_i - (B \cdot V_o)] + R_o \cdot I_o$$

Consideremos la situación en que el voltaje de entrada es nulo. En este caso:

$$V_o = -A B V_o + R_o I_o \quad ; \quad \text{que reordenando es} \quad V_o (1 + AB) = R_o I_o$$

Por lo tanto, la resistencia de salida efectiva (con realimentación) del amplificador estará dada por:

$$R_o' = V_o / I_o \quad ; \quad \text{es decir que} \quad R_o' = R_o / (1 + AB) \quad (\text{ecuación I})$$

Sabiendo que la ganancia a lazo cerrado (G) viene dada por:

$$G = A / (1 + AB) \quad ; \quad \text{de donde} \quad (AB) = (A/G) - 1$$

Reemplazando:

$$R_o' = (R_o G) / A \quad (\text{ecuación II})$$

En otras palabras, para determinar la resistencia de salida del amplificador realimentado, se deben medir por separado: la resistencia de salida a lazo abierto (R_o) - que se puede hacer por el método descrito inicialmente -, la ganancia a lazo abierto (A), y la ganancia a lazo cerrado (G), - o bien la ganancia del lazo (B) -.

El valor definitivo se obtiene por cálculo empleando las ecuaciones I o II, (la que resulte más fácil en la práctica).

Cuestionario.

1. Al efectuar ensayos o mediciones sobre un amplificador, los métodos e instrumentos que emplearan dependen, entre otras cosas, de los márgenes de frecuencia de funcionamiento del amplificador, pues si las mismas son elevadas, es conveniente el empleo de procedimientos que involucren mediciones de potencia en forma directa antes que mediciones de tensión y/o corriente. Una regla práctica consiste en tomar en cuenta las longitudes físicas de los conductores empleados para implementar los circuitos de medición y compararla con la longitud de onda puesta en juego. ¿Cuál es el valor de longitud de conductores por encima del cual es mas práctico efectuar mediciones de potencia?

- (A) 2λ (B) 1λ (C) $1/2\lambda$ (D) $1/4\lambda$ (E) $1/8\lambda$ (F) $1/16\lambda$

2. Considere la siguiente situación: un amplificador se intercala en una línea de transmisión a los efectos de compensar las pérdidas de la misma, en esas circunstancias es posible definir la “Ganancia de inserción” del amplificador, la cual viene dada por:

- (A) La relación entre potencia de salida y potencia de entrada medidas sobre el amplificador insertado en el sistema.
(B) La relación entre las potencias de salida y entrada medidas en el laboratorio en condición de impedancias adaptadas.
(C) la relación entre el nivel de potencia que hay en la carga con el amplificador insertado y el que había antes de conectarlo.

3. Si a un amplificador que presenta una región alineal de segundo orden, se le aplican a la entrada dos señales de frecuencias f_1 y f_2 , si $f_2 > f_1$, a la salida pueden aparecer las siguientes componentes:

- (A) $f_1 + f_2$ (B) $f_1 - f_2$ (C) $f_2 - f_1$ (D) $2 \cdot f_2 - f_1$ (E) $2 \cdot f_1 - f_2$ (F) $2 \cdot f_1 + f_2$
(G) $2 \cdot f_2 + f_1$ (H) $3 \cdot f_2 - 2f_1$ (I) $3 \cdot f_1 - 2f_2$ (J) $2 \cdot f_1 + 2 \cdot f_2$ (K) $2 \cdot f_1$ (L) $2 \cdot f_2$

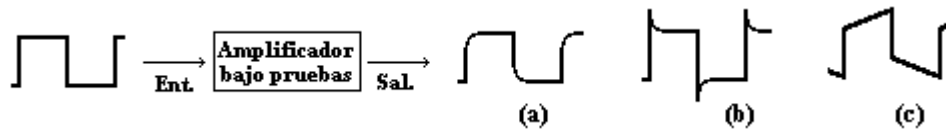
4. Si se debe efectuar la medición de ganancia de un amplificador destinado a ser empleado en una “banda de frecuencias” que va desde f_1 a f_2 , una regla práctica consiste en usar para el ensayo, una frecuencia igual a:

- (A) $F(\text{ensayo}) = (f_2 - f_1)^{1/2}$ (B) $F(\text{ensayo}) = (f_1 + f_2)^{1/2}$ (C) $F(\text{ensayo}) = (f_1 \cdot f_2)^2$
(D) $F(\text{ensayo}) = (f_1 \cdot f_2)^{1/2}$ (E) $F(\text{ensayo}) = (f_1 + f_2)/2$ (E) $F(\text{ensayo}) = (f_1 \cdot f_2)/2$

5. Cuando un amplificador amplifica o atenúa unas frecuencias mas que otras, se dice que tiene distorsión de:

- (A) Amplitud. (B) Frecuencia. (C) Fase. (D) Por intermodulación.

6. La Figura siguiente representa un esquema de ensayo de un amplificador mediante la aplicación de una onda cuadrada a la entrada y la observación de la deformación producida sobre la misma a la salida. En el cuadro que sigue, indique cual es el significado que se asocia a cada forma de onda.



	a	b	c	ninguna
Perdida de respuesta en altas frecuencias				
Perdida de respuesta en bajas frecuencias				
Exceso de respuesta en alta frecuencia				
Exceso de respuesta en baja frecuencia				
Giro de fase				

7. La medición de la potencia de salida de un amplificador de audiofrecuencias siempre se hace para una determinada condición de distorsión de la señal. Las normas modernas de ensayo suelen contemplar la medición de distorsión por el método SINAD. En el mismo, se emplea un instrumento que posee, entre otras cosas, un filtro sintonizado a 1KHz del tipo:

- (A) Pasa Banda (B) Pasa Bajo. (C) Elimina banda. (D) Pasa alto.

8. El Filtro empleado en las mediciones de distorsión armónica, ya sea por el método clásico, o por SINAD, requiere un valor de atenuación mínima respecto del valor que se espera medir, la cual es típicamente:

- (A) 3dB (B) 6 dB (C) 9 dB (D) 12 dB (E) 20 dB (F) 24 Db

9. Al considerar el tema general de distorsión en amplificadores de audio, hay que tener presente que el oído humano no es sensible a:

- (A) La distorsión de amplitud. (B) La distorsión de fase. (C) La distorsión armónica.

10. Si la función de transferencia de un amplificador presenta una región alineal de tercer orden, a la salida del mismo pueden aparecer una componente de CC si la entrada se excita con una señal senoidal pura (de frecuencia única). (V) – (F)

11. En una medición de potencia de salida de un amplificador, la medición de potencia eficaz se realiza excitando la entrada del amplificador con una onda cuadrada cuya frecuencia debe ser representativa de la banda de frecuencias que cubre el amplificador. (V) – (F)

12. Se define el ancho de banda de un amplificador como, la diferencia entre las frecuencias máximas y mínima en las cuales, la tensión de salida disminuye 6dB respecto del valor a frecuencia central. (V) – (F).

13. Una de las principales especificaciones de cualquier generador de señales es la impedancia de salida del mismo. En la siguiente lista, indique cuales son valores típicos empleados en generadores de RF.

- | | | | | | |
|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
| (A) 10Ω | (B) 15Ω | (C) 30Ω | (D) 40Ω | (E) 50Ω | (F) 60Ω |
| (G) 65Ω | (H) 75Ω | (I) 100Ω | (J) 150Ω | (K) 300Ω | (L) 600Ω |

14. Si un generador de señales, se ha ajustado para que la salida tenga un nivel de tensión determinado sobre una carga adaptada a la impedancia interna del mismo, ¿cuál es el valor de tensión que habrá en dicha salida si la carga se desconecta?.

- (A) La tensión permanece en el mismo valor.
- (B) La tensión baja a la mitad de su valor original.
- (C) La tensión aumenta al doble del valor original.
- (D) La tensión de salida se anula (Se hace igual a 0).

15. Muchos generadores de funciones, incluyen un control de “Simetría” en su panel frontal. La función de dicho control es:

- (A) Ajustar la salida para que el pico positivo de la señal sea simétrico respecto del negativo.
- (B) En el caso de las ondas rectangulares, ajustar el ciclo de trabajo de la señal de salida.
- (C) En el caso de las ondas triangulares, ajustar las pendientes para que sean rectas.
- (D) En el caso de las ondas senoidales reducir la distorsión por alinealidad.

16. Los osciladores RC del tipo puente de Wien, son de realización practica para una determinada gama de frecuencias de funcionamiento, la cual se extiende aproximadamente entre:

- (A) CC a 1KHz. (B) 1Hz. a 1KHz. (C) CC a 10KHz. (D) 1Hz. a 10KHz.

17. Cierta tipo de generadores emplean osciladores que usan un cristal piezoelectrico para generar una señal de salida senoidal. La principal ventaja de este tipo de generadores es:

- (A) Amplitud de salida constante y estable.
- (B) Salida senoidal libre de distorsiones.
- (C) Baja impedancia de salida.
- (D) Frecuencia de salida exacta y estable.

18. Algunos generadores de calidad suelen incluir internamente, un oscilador de referencia de frecuencia exacta y estable, que se emplea para calibrar el dial o visor indicador de frecuencia. La calibración suele efectuarse mediante el “método de batido cero” para lo

cual se puede emplear un audífono o auricular que sirve para verificar la igualación entre la frecuencia de referencia y la indicada en el dial. Cuando esto ocurre por el audífono se escucha:

- (A) Un tono puro de 1KHz de máximo volumen.
- (B) Un tono puro de 1KHz de mínimo volumen.
- (C) Una ausencia de tono.
- (D) Dos tonos ligeramente distintos que se superponen.

19. Ud debe seleccionar un generador de señales para efectuar una serie de ensayos y mediciones sobre un amplificador de audio. En la siguiente lista elija cual seria el mas apropiado.

- (A) Oscilador Hartley (LC).
- (B) Oscilador en puente de Wien
- (C) Generador de funciones.
- (D) Oscilador controlado por cristal.

20. Con respecto a la pregunta anterior, la elección del generador que se ha indicado en primer lugar recae sobre el mismo dado que:

- (A) Los niveles de salida pueden ajustarse dentro de un amplio margen.
- (B) La frecuencia de salida puede variarse dentro de un margen que excede el necesario.
- (C) La salida del generador puede contener un nivel de CC que es ajustable.
- (D) La salida proporciona además de la senoidal, una forma de onda cuadrada.
- (E) La salida senoidal esta prácticamente libre de distorsión.

21. Un generador de RF destinado a emplearse en ensayo de equipos de comunicaciones requiere, en forma incondicional, contar con la siguiente característica:

- (A) Posibilidad de modulación en AM y/ o FM
- (B) Debe incluir un atenuador calibrado a la salida.
- (D) Impedancia de salida de 50 Ω .
- (D) Impedancia de salida de 75 Ω .
- (E) Posibilidad de ajuste del índice de modulación.

22. En los generadores de barrido y marcas aptos para RF, la velocidad de barrido es por lo general baja (se emplea normalmente 50 o 100 Hz), lo cual puede ocasionar un cierto efecto de parpadeo en la imagen que se observa en el osciloscopio. Sin embargo se prefiere tolerar este efecto, dado que el empleo de una velocidad de barrido mayor podría ocasionar deformaciones en la curva observada en virtud de:

- (A) El tiempo de establecimiento del circuito bajo pruebas.
- (B) El tiempo de respuesta del C.A.S del circuito bajo pruebas.
- (C) El tiempo de establecimiento del osciloscopio empleado.
- (D) El tiempo de establecimiento del OCV del propio Generador.