Interpretación de Efectos de Sonido para Guitarra Eléctrica a través de Series de Fourier

Martín Samuel Falco
mfalco@live.com

Estudiante de Ingeniería Electrónica
Universidad Nacional del Sur, Avda. Alem 1253, B8000CPB Bahía Blanca, Argentina

Agosto 2014

Resumen: En éste informe se interpretará el comportamiento de diversos efectos de sonido para guitarra eléctrica, utilizando Series de Fourier. Haciendo uso de Series de Fourier se puede expresar ondas periódicas matemáticamente, lo cual nos es útil para representar sonido. Éste informe explicará con términos matemáticos cómo actúan los efectos de sonido sobre una señal.

Palabras clave: Series de Fourier, Efectos de Sonido, Música.

I. INTRODUCCIÓN

El sonido, tal como lo percibimos diariamente, se transmite a través de variaciones de presión en el aire, en forma de ondas. Dichas ondas, pueden ser analizadas matemáticamente para su estudio e interpretación.

Si bien el sonido que sale de una voz humana, un instrumento musical, o simplemente cualquier objeto que produzca un sonido, son ondas bastante complejas, en éste trabajo se utilizarán ondas periódicas. Esto se debe a la simpleza en la que éstas se pueden expresar, y la facilidad para comprender las consecuencias de variables matemáticas en las ondas, sin necesidad de amplios conocimientos previos.

II. SERIES DE FOURIER

Matemáticamente, las ondas pueden expresarse a través de series numéricas. El matemático Joseph Fourier elaboró una teoría de descomposición de funciones periódicas en sumas infinitas de senos y cosenos, más un valor medio de la función (si es que lo posee):

$$f(x) \cong \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{+\infty} \left(a_n.cos\left(\tfrac{n.\pi.x}{L}\right) + b_n.sen\left(\tfrac{n.\pi.x}{L}\right)\right)$$

La cual se puede simplificar para expresar el coseno, el seno y los coeficientes que lo multiplican únicamente con un seno desfasado (desplazado horizontalmente) y multiplicado por un único coeficiente; y para utilizar la frecuencia angular principal ω en lugar del periodo L. De manera que la serie queda:

$$f(t) \cong \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{+\infty} c_n.sen(n.\omega.t - \theta)$$

En donde: $\boldsymbol{t}$ es el tiempo,
$\boldsymbol{\frac{a_0}{2}}$ es el valor medio de la onda, (el cual se omitirá en futuras referencias, para simplificar las expresiones, sin inconveniente alguno),
$\boldsymbol{\omega}$ es la frecuencia angular fundamental de la función,
$\boldsymbol{c_n}$ son los coeficientes que determinan la amplitud de cada uno de los senos que componen la serie de Fourier,
$\boldsymbol{\theta}$ es el ángulo de desfasaje que nos permite expresar la serie solo con senos,

Si bien el tema es complejo, con ésta explicación ya se puede hacer un análisis básico el sonido como onda (suficiente para explicaciones que se intenta desarrollar en éste informe).

III. DE LA MATEMATICA A LA REALIDAD

Ya vimos cómo se puede expresar un sonido periódico. Ahora vamos a cómo es afectado el sonido por las dos de las variables más importantes de las que nombramos:

- $\boldsymbol{\omega}$: La frecuencia del sonido define la altura de éste en la escala musical. Un *Do* tiene una frecuencia distinta que un *Re* o un *Mi*. Entonces, la frecuencia es lo que define la NOTA o el TONO del sonido.

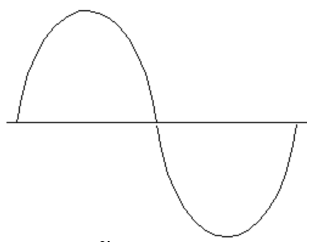
- $\boldsymbol{c_n}$: La amplitud de una onda define el volumen en el que la vamos a percibir. Si una persona grita, va a generar una onda con amplitud mucho mayor a la que generaría susurrando. Entonces, la amplitud de la onda define el VOLUMEN del sonido.

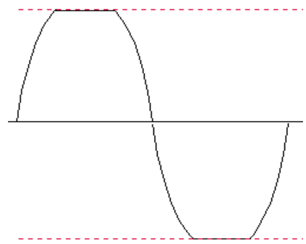
- A su vez, un piano y una guitarra pueden ejecutar la misma nota, pero ambas sonarán distinto, y ahí es donde entran en juego los llamados "armónicos" de la señal. Éstos armónicos son los senos que conforman la función y que poseen una frecuencia que es múltiplo de la frecuencia fundamental ω**.** La distribución de los valores de c_n determinará la presencia de cada uno de éstos armónicos, definiendo el TIMBRE del sonido.

IV. EXPRESANDO LOS EFECTOS CON SERIES DE FOURIER

Con éstos contenidos fundamentales, tenemos suficiente como para interpretar lo que hacen los efectos de guitarra, utilizando un poco de matemática:

- **<u>SATURACIONES</u>**: Las hay de distintos tipos (Distorsión, Overdrive, Fuzz), pero su funcionamiento básico es el mismo: modificar el contenido armónico de la señal a través de un "recorte" de la onda. En la siguiente imagen se puede ver una representación brusca del recorte:


Señal Original


Señal "Recortada"

Éste recorte se ve reflejado en el contenido armónico de la onda, por lo que se puede expresar como:

$$f(t) \cong \sum_{n=1}^{+\infty} \boldsymbol{c'_n}.sen(n.\omega.t-\theta)$$

Donde $\boldsymbol{c'_n}$ son los nuevos coeficientes, que determinarán el nuevo timbre del sonido.

- **<u>COMPRESORES</u>**: Se utilizan para quitar los picos de volumen (amplitud) en el sonido. A diferencia de la distorsión que "recorta" los picos, el compresor reduce la amplitud de la onda, sin modificar el contenido armónico. Ésta alteración se puede expresar como:

$$f(t) \cong \boldsymbol{\alpha_{COMP}}.\sum_{n=1}^{+\infty} c_n.sen(n.\omega.t-\theta)$$

Donde $\boldsymbol{\alpha_{COMP}}$ es un coeficiente igual a 1 mientas la señal no supere un determinado umbral de amplitud, luego del cual $\boldsymbol{\alpha_{COMP}}$ toma valores entre 0 y 1 (variación que depende del circuito o algoritmo del efecto).

- **DELAYS**: Básicamente, repiten la señal que reciben luego de un intervalo tiempo determinado. Ignorando que algunos delays alteran el timbre de sus repeticiones, éste efecto se puede expresar como:

$$f(t) \cong \sum_{n=1}^{+\infty} c_n.sen(n.\omega.t-\theta)+\sum_{\boldsymbol{m=1}}^{+\infty} \boldsymbol{\alpha_m}.\left(\sum_{n=1}^{+\infty} \boldsymbol{c_n.sen(n.\omega.t-\theta-\beta.m)}\right)$$

Donde $\boldsymbol{\alpha_m}$ es el volumen (amplitud) de cada una de las repeticiones (expresadas a través de la *sumatoria* $\boldsymbol{m}$), y $\boldsymbol{\beta}$ es el tiempo entre cada repetición.

- **TREMOLOS**: Producen una variación periódica del volumen de la señal. Se puede expresar como:

$$f(t) \cong \boldsymbol{\alpha(t)}.\sum_{n=1}^{+\infty} c_n.sen(n.\omega.t-\theta)$$

Donde $\boldsymbol{\alpha(t)}$ es una función periódica, la cual varía entre 1 y 0. Normalmente varia como una onda cuadrada, triangular o sinusoidal.

- **CHORUS (y FLANGERS)**: Un chorus agrega a la señal original una copia de ésta, pero con un pequeño retraso y una variación rítmica de frecuencia. Se puede expresar como:

$$f(t) \cong \sum_{n=1}^{+\infty} c_n.sen(n.\omega.t-\theta)+\sum_{\boldsymbol{n=1}}^{+\infty} \boldsymbol{c_n.sen(n.\big(\omega+\alpha(t)\big).t-\theta-\beta)}$$

Donde $\boldsymbol{\alpha(t)}$ es una función periódica que indica la variación de frecuencia de la señal que se agrega, y $\boldsymbol{\beta}$ es el tiempo que se retrasa la señal que se agrega (debe ser pequeño para que no se perciba dos sonidos individuales, pero suficientemente grande para que el oído pueda diferenciar la señal original de la copia modificada).

Los flangers poseen un funcionamiento similar, solo que el $\boldsymbol{\beta}$ es más pequeño, y hay una retroalimentación (se vuelve a aplicar el efecto a la señal modificada muchas veces).

- **PHASER**: Agrega a la señal una copia de ella, pero con un desfasaje periódico en las distintas frecuencias que componen la serie (siendo el desfasaje mayor para las frecuencias más agudas y menor para las más graves), pudiéndose expresar como:

$$f(t) \cong \sum_{n=1}^{+\infty} c_n.sen(n.\omega.t-\theta)+\sum_{n=1}^{+\infty} c_n.sen(n.\omega.t-\theta-\boldsymbol{\alpha_n})$$

Donde $\boldsymbol{\alpha(t)}$ es una función periódica que representa al desfasaje de la señal.

- **ECUALIZADORES Y WAHWAHS**: Aumentan o disminuyen el volumen de determinadas frecuencias. Si bien los dos efectos suenan distinto y se controlan distinto, ambos se pueden expresar como:

$$f(t) \cong \sum_{n=1}^{+\infty} \boldsymbol{\alpha_n} . c_n . sen(n.\omega.t - \theta)$$

Donde $\boldsymbol{\alpha_n}$ es un coeficiente que determina el aumento o disminución en la amplitud de cada uno de los senos que componen la serie, dependiendo de la frecuencia de cada uno.

- **ARMONIZADORES Y OCTAVADORES:** Modifican la frecuencia del sonido, pudiéndose expresar esto como:

$$f(t) \cong \sum_{n=1}^{+\infty} c_n . sen(n.(\boldsymbol{\omega}.\boldsymbol{\alpha}).t - \theta)$$

Donde $\boldsymbol{\alpha}$ es un coeficiente que altera la nota de la onda. El valor de $\boldsymbol{\alpha}$ depende de la frecuencia que se desee obtener, siendo a veces, variable según la nota de entrada.

V. CONCLUSIÓN

A través de series de Fourier (sin necesidad de comprender demasiado la matemática detrás de éstas), se puede explicar el funcionamiento de efectos de sonido de una manera simple de ver.

Si bien quedan muchos aspectos sin abarcar, tales como el comportamiento real de los sonidos (por ej.: ataque y decaimiento de la amplitud), la cancelación de fases en Chorus, Phasers y Flangers, o los armónicos que aparecen en las saturaciones por la combinación de notas; se pudo transmitir efectivamente una explicación matemática sencilla de la música y los efectos que normalmente no se conoce.

REFERENCIAS

[1] "Guitar Effects - What They Do"
http://www.gmarts.org/index.php?go=221

[2] "Serie de Fourier"
http://es.wikipedia.org/wiki/Serie_de_Fourier

[3] "Análisis tímbrico y pedales de efecto DIY"
http://es.slideshare.net/albertcarrera5/anlisis-tmbrico-y-pedales-de-efecto-diy

[4] "Artículo sobre Clipping"
http://www.pisotones.com/Articulos/clipping.htm