EL3004-Circutios Electrónicos Analógicos

Clase No. 8: Operación del diodo

Marcos Diaz

Departamento de Ingeniería Eléctrica (DIE)
Universidad de Chile

Septiembre, 2011

Repaso Clase #6

- Comportamiento del Diodo
- Aplicaciones del Diodo
  - Circuitos Limitadores
  - Circuitos Rectificadores
    - Rectificador de Media Onda
    - Rectificador de Onda Completa
  - Rectificador con filtro de capacitancia

Modulador

Un modulador realiza un operación no lineal para alcanzar la traslación en frecuencia. Una forma común de implementar la operación de un modulador es primero sumar las dos señales, entonces elevar al cuadrado la suma. Sean dos señales s_{RF} y s_{LO} las cuales representan la señal en si y la señal de oscilador local (o referencia) respectivamente, así

$$\begin{aligned} s_{RF}(t) &= Acos(2\pi f_{RF} t) \quad (144) \\ s_{LO}(t) &= Bcos(2\pi f_{LO} t) \quad (145) \end{aligned}$$

Al tomar la suma de las dos señales y elevarlas al cuadrado se obtiene

$$\begin{aligned} (s_{RF} + s_{LO})^2 &= (Acos(2\pi f_{RF} t) + Bcos(2\pi f_{LO} t))^2 \\ &= A^2 cos^2(\omega_{RF} t) + 2ABcos(\omega_{RF} t)cos(\omega_{LO} t) + B^2 cos^2(\omega_{LO} t) \\ &= A^2 \frac{(1 + cos(2\omega_{RF} t))}{2} + 2AB{\color{red}cos(\omega_{RF} t)cos(\omega_{LO} t)} + B^2 \frac{(1 + cos(2\omega_{LO} t))}{2} \end{aligned} \quad (146)$$

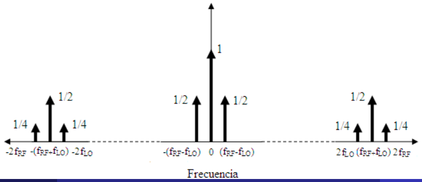
Modulador

Recordando que

$$
\begin{aligned}
cos(\omega_{RF}t)cos(\omega_{LO}t) &= \frac{1}{4}\Big[cos((\omega_{RF}+\omega_{LO})t) + cos((\omega_{RF}-\omega_{LO})t) \\
&+ cos((\omega_{LO}-\omega_{RF})t) + cos(-(\omega_{LO}+\omega_{RF})t)\Big] \qquad (147)
\end{aligned}
$$

se puede escribir

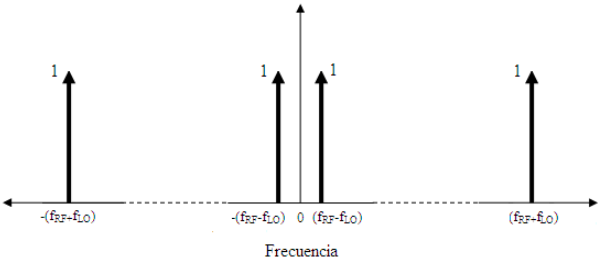
$$
\begin{aligned}
(s_{RF}+s_{LO})^2 &= \frac{A^2}{2} + \frac{B^2}{2} + \frac{A^2}{2}cos(2\omega_{RF}t) + \frac{B^2}{2}cos(2\omega_{LO}t) \\
&+ \frac{AB}{2}\Big[cos((\omega_{RF}+\omega_{LO})t) + cos((\omega_{RF}-\omega_{LO})t) \\
&+ cos((\omega_{LO}-\omega_{RF})t) + cos(-(\omega_{LO}+\omega_{RF})t)\Big] \qquad (148)
\end{aligned}
$$



Modulador

Si ahora hacemos $(s_{RF} + s_{LO})^2 - (s_{RF} - s_{LO})^2$ obtenemos

$$
\begin{aligned}
(s_{RF} + s_{LO})^2 - (s_{RF} - s_{LO})^2 &= s_{RF}^2 + 2s_{RF}s_{LO} + s_{LO}^2 - s_{RF}^2 + 2s_{RF}s_{LO} - s_{LO}^2 \\
&= 4s_{RF}s_{LO} \\
&= 4AB\cos(\omega_{RF}t)\cos(\omega_{LO}t) \\
&= AB\Big[\cos((\omega_{RF} + \omega_{LO})t) + \cos((\omega_{RF} - \omega_{LO})t) \\
&+ \cos((\omega_{LO} - \omega_{RF})t) + \cos(-(\omega_{LO} + \omega_{RF})t)\Big] \quad (149)
\end{aligned}
$$



Modulador

Recordando la curva real del diodo

$$I = I_0 \left[e^{V/V_{th}} - 1 \right] \tag{150}$$

Esta ecuación puede ser aproximada usando un desarrollo de Taylor. Recordando el desrrollo de la exponencial en torno a un punto x_0

$$e^x = e^{x_0} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(x - x_0)^i}{i!}$$

Entonces la corriente puede ser aproximada como

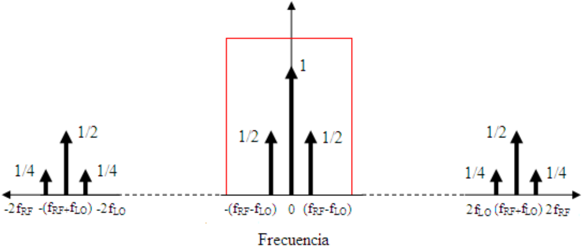
$$I = I_0 \left[e^{V/V_{th}} - 1 \right] = I_0 \left[\sum_{i=1}^{\infty} \frac{(V/V_{th})^i}{i!} + 1 - 1 \right] = I_0 \left[\sum_{i=1}^{\infty} \frac{(V/V_{th})^i}{i!} \right] \tag{151}$$

Modulador

$$I = I_0\left[\frac{V}{V_{th}} + \frac{1}{2}\left[\frac{V}{V_{th}}\right]^2 + \frac{1}{6}\left[\frac{V}{V_{th}}\right]^3 + \dots\right] = I_0\left[\sum_{i=1}^{\infty}\frac{(V/V_{th})^i}{i!}\right]$$

$$I = I_0\left[\frac{s_{RF}+s_{LO}}{V_{th}} + \frac{1}{2}\left[\frac{s_{RF}+s_{LO}}{V_{th}}\right]^2 + \frac{1}{6}\left[\frac{s_{RF}+s_{LO}}{V_{th}}\right]^3 + \dots\right] \quad (152)$$

Las frecuencias presentes en el espectro son $nf_{RF}, nf_{LO}, n(f_{RF} - f_{LO}), n(f_{RF} + f_{LO})$ y 0, donde $n = 1, 2, 3 \dots$.



Modulador

circuito 1

Modulador

Si hacemos una configuración "back to back" de dos diodos

$$I = I_0 \left[e^{V/V_{th}} + e^{-V/V_{th}} \right] = I_0 \left[\sum_{i=1}^{\infty} \frac{(V/V_{th})^i}{i!} + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-V/V_{th})^i}{i!} \right] \tag{153}$$

$$I = I_0 \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2(V/V_{th})^{2i}}{(2i)!} + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-V/V_{th})^i}{i!} = \left[2 + \left[\frac{s_{RF} + s_{LO}}{V_{th}} \right]^2 + \frac{1}{12} \left[\frac{s_{RF} + s_{LO}}{V_{th}} \right]^4 + \dots \right] \tag{154}$$

Esto significa que $nf_{RF}, nf_{LO}, n(f_{RF} - f_{LO}), n(f_{RF} + f_{LO})$ y 0, donde $n = 2, 4, 6 \dots$. La ventaja de este procedimiento es que los terminos impares fueron removidos del espectro haciendo el procedimiento más similar a $(s_{RF} + s_{LO})^2$.

Modulador
circuito 2

Resumen Clase #8

- El Diodo como modulador
  - Implementación de procesamiento de señales en Hardware
  - Porque polarizar dispositivos no lineales