

EL3004-Circuitos Electrónicos Analógicos

Clase No. 8: Operación del diodo

Marcos Diaz

Departamento de Ingeniería Eléctrica (DIE)
Universidad de Chile

20 de agosto de 2009

1 Repaso Clase #7

2 Aplicaciones de diodos

- Circuitos Limitadores
- El diodo como Mezclador

3 Resumen Clase #8

Repaso Clase #7

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

Voltaje de rizo

Cuando el capacitor de filtro se descarga a través de R_L la ecuación circuital que rige este proceso es

$$I_C = \frac{V_{R_L}}{R_L} \underbrace{\Rightarrow}_{V_C = V_{R_L}} C \frac{dV_C}{dt} = \frac{V_C}{R_L} \quad (138)$$

$$\frac{dV_C}{dt} - \frac{1}{R_L C} V_C = 0 \quad (139)$$

el voltaje que satisface esta ecuación es

$$V_C = V_{p(\text{rect})} e^{-t/R_L C} \quad (140)$$

Voltaje de rizo

Como el tiempo de descarga del capacitor es desde un máximo hasta aproximadamente el siguiente, $t_{dispersion} \approx T$ cuando V_C alcanza su valor mínimo.

$$V_{C(\min)} = V_{p(\text{rect})} e^{-T/R_L C} \quad (141)$$

Como $RC \gg T$, $T/R_L C$ llega a ser mucho menor que 1 (lo que por lo general es el caso); $e^{-T/R_L C}$ tiende a 1 y se expresa como

$$e^{-T/R_L C} \approx 1 - \frac{T}{R_L C} \quad (142)$$

Consecuentemente,

$$V_{C(\min)} \approx V_{p(\text{rect})} \left[1 - \frac{T}{R_L C} \right] \quad (143)$$

Así el voltaje de rizo pico a pico es

$$V_{r(\text{pp})} = V_{p(\text{rect})} - V_{C(\min)} = V_{p(\text{rect})} - V_{p(\text{rect})} + \frac{TV_{p(\text{rect})}}{R_L C} = \frac{TV_{p(\text{rect})}}{R_L C} \quad (144)$$

$$V_{r(\text{pp})} = \frac{1}{f R_L C} V_{p(\text{rect})} \quad (145)$$

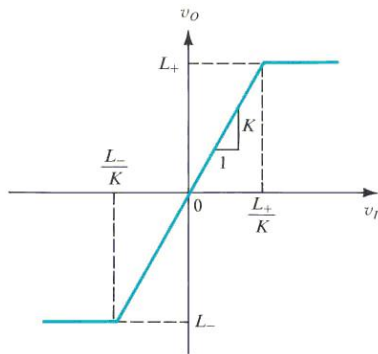
Voltaje de rizo

Para obtener el valor de CD, la mitad del rizo pico se resta del valor pico.

$$\begin{aligned}
 V_{CD} &= V_{p(\text{rect})} - \frac{V_{p(\text{rect})}}{2} = V_{p(\text{rect})} - \frac{1}{2f R_L C} V_{p(\text{rect})} \\
 V_{CD} &= \left[1 - \frac{1}{2f R_L C} V_{p(\text{rect})} \right] \quad (146)
 \end{aligned}$$

Circuitos Limitadores

Un circuito limitador es un circuito cuya salida es proporcional a la entrada (lineal) en un cierto rango de voltajes, y que entrega un valor fijo cuando la tensión de entrada (magnitud) excede un cierto umbral. La característica de transferencia típica de este tipo de circuitos es:

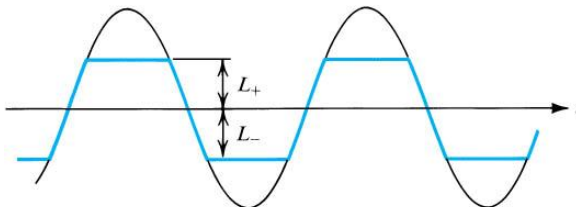


Se tiene lo siguiente:

$$v_O = \begin{cases} L_+ & v_I \geq \frac{L_+}{K} \\ Kv_I & \frac{L_-}{K} \leq v_I \leq \frac{L_+}{K} \\ L_- & v_I < \frac{L_-}{K} \end{cases}$$

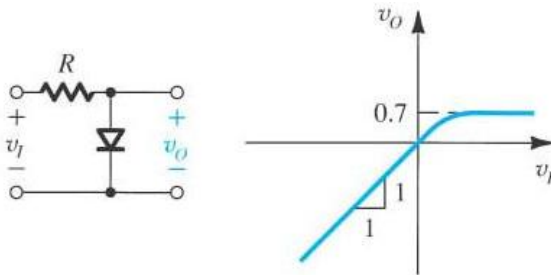
Circuitos Limitadores-Cont.

Si aplicamos una entrada sinusoidal a un circiort limitador veremos que éste recorta la salida cuando $V_p > \max\{L_+, L_-\}$.



Otras Formas de Circuitos Limitadores

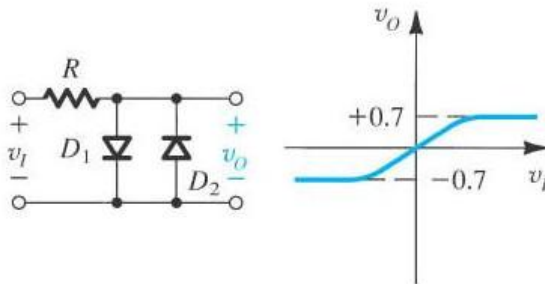
Se pueden implementar diversas formas de limitadores utilizando diodos y resistencias, por ejemplo,



Otras Formas de Circuitos Limitadores-Cont.

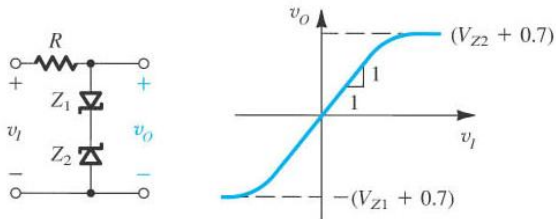
Limitador Doble

El limitador doble se puede obtener también intercambiando dos diodos, de la siguiente forma



Otras Formas de Circuitos Limitadores-Cont.

Zéner de Doble Ánodo



Mezclador

Un mezclador realiza una operación no lineal para alcanzar la traslación en frecuencia. Es posible mostrar la traslación en frecuencia puede ser alcanzada sumando dos fasores de frecuencia similar. En efecto, una forma común de implementar la operación de un mezclador 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

$$s_{RF}(t) = A \cos(2\pi f_{RF} t) \quad (147)$$

$$s_{LO}(t) = B \cos(2\pi f_{LO} t) \quad (148)$$

Mezclador-Cont.

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

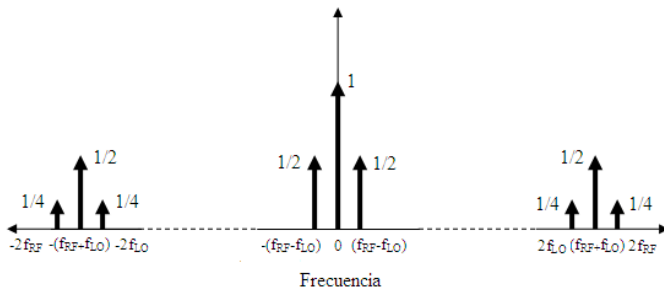
$$\begin{aligned}
 (s_{RF} + s_{LO})^2 &= (A\cos(2\pi f_{RF}t) + B\cos(2\pi f_{LO}t))^2 \\
 &= A^2\cos^2(\omega_{RF}t) + 2AB\cos(\omega_{RF}t)\cos(\omega_{LO}t) + B^2\cos^2(\omega_{LO}t) \\
 &= A^2\frac{(1 + \cos(2\omega_{RF}t))}{2} + 2AB\cos(\omega_{RF}t)\cos(\omega_{LO}t) + B^2\frac{(1 + \cos(2\omega_{LO}t))}{2}
 \end{aligned} \tag{149}$$

$$\begin{aligned}
 \cos(\omega_{RF}t)\cos(\omega_{LO}t) &= \frac{1}{4} \left[\cos((\omega_{RF} + \omega_{LO})t) + \cos((\omega_{RF} - \omega_{LO})t) \right. \\
 &\quad \left. + \cos((\omega_{LO} - \omega_{RF})t) + \cos(-(\omega_{LO} + \omega_{RF})t) \right]
 \end{aligned} \tag{150}$$

Mezclador

$$\begin{aligned}
 (s_{RF} + s_{LO})^2 &= \frac{A^2}{2} + \frac{B^2}{2} + \frac{A^2}{2} \cos(2\omega_{RF}t) + \frac{B^2}{2} \cos(2\omega_{LO}t) \\
 &+ \frac{AB}{2} \left[\cos((\omega_{RF} + \omega_{LO})t) + \cos((\omega_{RF} - \omega_{LO})t) \right. \\
 &\left. + \cos((\omega_{LO} - \omega_{RF})t) + \cos(-(\omega_{LO} + \omega_{RF})t) \right] \quad (151)
 \end{aligned}$$

Mezclador

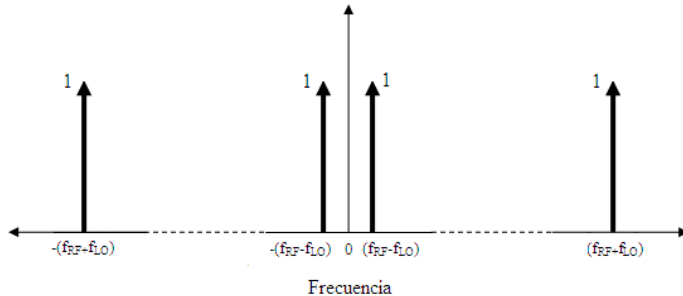


Mezclador

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

$$\begin{aligned}
 (s_{RF} + s_{LO})^2 - (s_{RF} - s_{LO})^2 &= s_{RF}^2 + 2s_{RF}s_{LO} + s_{LO}^2 - s_{RF}^2 + 2s_{RF}s_{LO} - s_{LO}^2 \\
 &= 4s_{RF}s_{LO} \\
 &= 4AB\cos(\omega_{RF}t)\cos(\omega_{LO}t) \\
 &= AB\left[\cos((\omega_{RF} + \omega_{LO})t) + \cos((\omega_{RF} - \omega_{LO})t) \right. \\
 &\quad \left. + \cos((\omega_{LO} - \omega_{RF})t) + \cos(-(\omega_{LO} + \omega_{RF})t)\right] \quad (152)
 \end{aligned}$$

Mezclador



Mezclador

Recordando la curva real del diodo

$$I = I_0 \left[e^{V/V_{th}} - 1 \right] \quad (153)$$

Esta ecuación puede ser aproximada usando un desarrollo de Taylor. Recordando el desarrollo 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

$$I = I_0 \left[e^{V/V_{th}} - 1 \right] = I_0 \left[\sum_{i=1}^{\infty} \frac{(V/V_{th})^i}{i!} + 1 - 1 \right] = I_0 \left[\sum_{i=1}^{\infty} \frac{(V/V_{th})^i}{i!} \right] \quad (154)$$

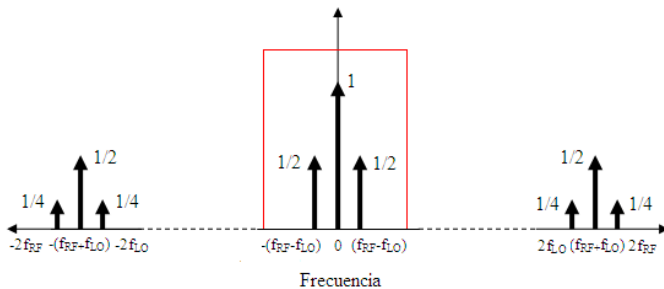
Mezclador

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

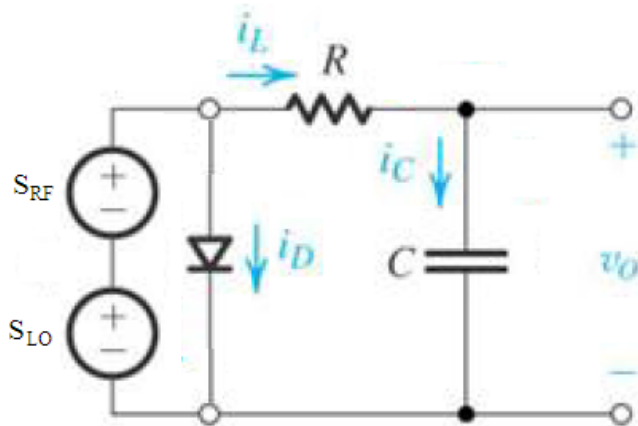
$$I = I_0 \left[\frac{s_{RF} + s_{LO}}{V_{th}} + \frac{1}{2} \left[\frac{s_{RF} + s_{LO}}{V_{th}} \right]^2 + \frac{1}{6} \left[\frac{s_{RF} + s_{LO}}{V_{th}} \right]^3 + \dots \right] \quad (155)$$

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

Mezclador



Mezclador



Mezclador

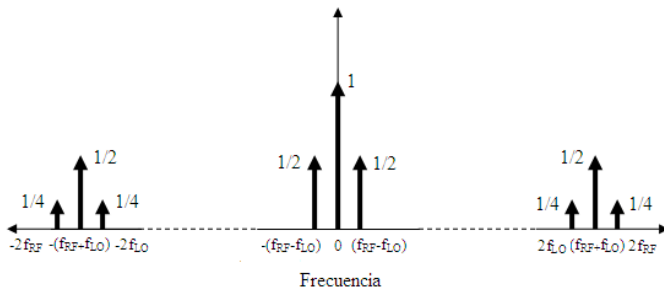
Si hacemos una configuración “back to back” de dos diodos

$$I = I_0 \left[e^{V/V_{th}} + e^{-V/V_{th}} \right] = I_0 \left[\sum_{i=1}^{\infty} \frac{(V/V_{th})^i}{i!} + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-V/V_{th})^i}{i!} \right] \quad (156)$$

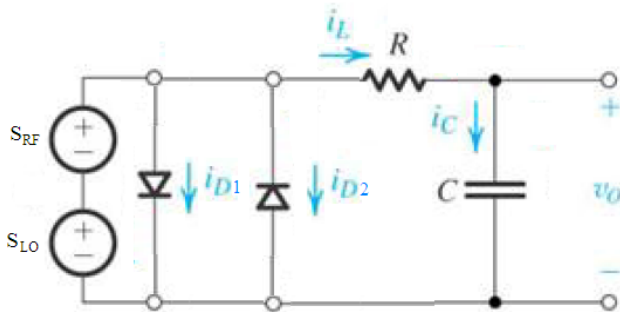
$$I = I_0 \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2(V/V_{th})^{2i}}{(2i)!} + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-V/V_{th})^i}{i!} = \left[2 + \left[\frac{s_{RF} + s_{LO}}{V_{th}} \right]^2 + \frac{1}{12} \left[\frac{s_{RF} + s_{LO}}{V_{th}} \right]^4 + \dots \right] \quad (157)$$

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 $(s_{RF} + s_{LO})^2$.

Mezclador



Mezclador



Resumen Clase #8

- Aplicaciones del Diodo
 - Rectificador de Onda Completa
 - Rectificador con filtro de capacitancia
 - Limitadores
 - Mezclador