

EL42A - Circuitos Electrónicos

Clase No. 4: Circuitos limitadores

Patricio Parada

pparada@ing.uchile.cl

Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Chile

11 de Agosto de 2009

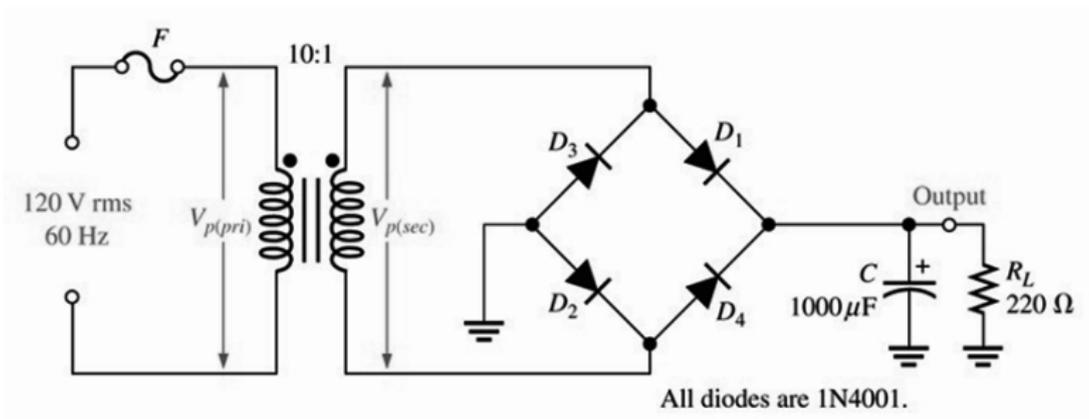
Contenidos

Circuitos Rectificadores

Circuitos Limitadores y Recortadores
Circuitos Limitadores

Ejemplo 1

Determine el factor de rizado en el circuito rectificador de la figura.



Ejemplo II

Solución

- ▶ La relación de vueltas del transformador es 10:1, por lo tanto, si el voltaje peak de entrada es

$$V_{P(\text{pri})} = \sqrt{2} \times V_{\text{peak}} = 1,414 \times 120 \text{ [V]} = 170\text{[V]},$$

entonces el voltaje peak en el enrollado secundario es

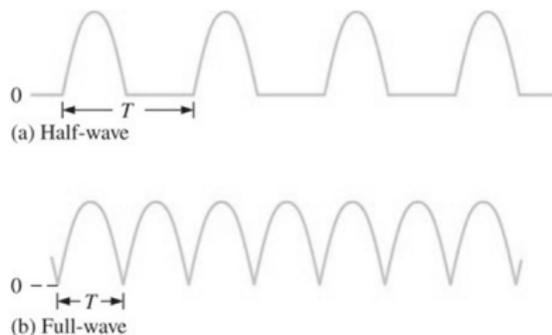
$$V_{P(\text{sec})} = \frac{1}{n} \sqrt{2} \times V_{\text{peak}} = \frac{1,414 \times 120}{10} \text{ [V]} = 17\text{[V]},$$

Ejemplo III

- ▶ Si la caída de tensión en cada diodo es 0.7 [V] (que corresponde a un diodo 1N4001), tenemos que el voltaje a la salida del puente rectificador es

$$V_{P(\text{rect})} = V_{P(\text{sec})} - 2 \times V_{D0} = 17 - 1,4[\text{V}] = 15,6[\text{V}].$$

- ▶ La frecuencia de la señal de voltaje rectificado es el doble de la frecuencia base:



Ejemplo IV

Por lo tanto, la frecuencia de la señal de voltaje rectificado es 120 [Hz].

- ▶ La expresión para el voltaje de rizado es aproximadamente:

$$V_r \approx \frac{1}{2fR_L C} V_{P(\text{rect})} = \frac{15,6}{120 \times 220 \times 1000 \times 10^{-6}} = 0,591 \text{ [V]}$$

- ▶ Finalmente, el valor promedio del voltaje a la salida del circuito es

$$V_{DC} = \left(1 - \frac{1}{fR_L C}\right) V_{P(\text{rect})} = 15,3 \text{ [V]}. \quad (1)$$

- ▶ El factor de rizado resultante es

$$\frac{V_r}{V_{DC}} = \frac{0,591}{15,3} [\text{V/V}] = 0,039$$

por lo tanto el porcentaje de rizado es de 3.9%.

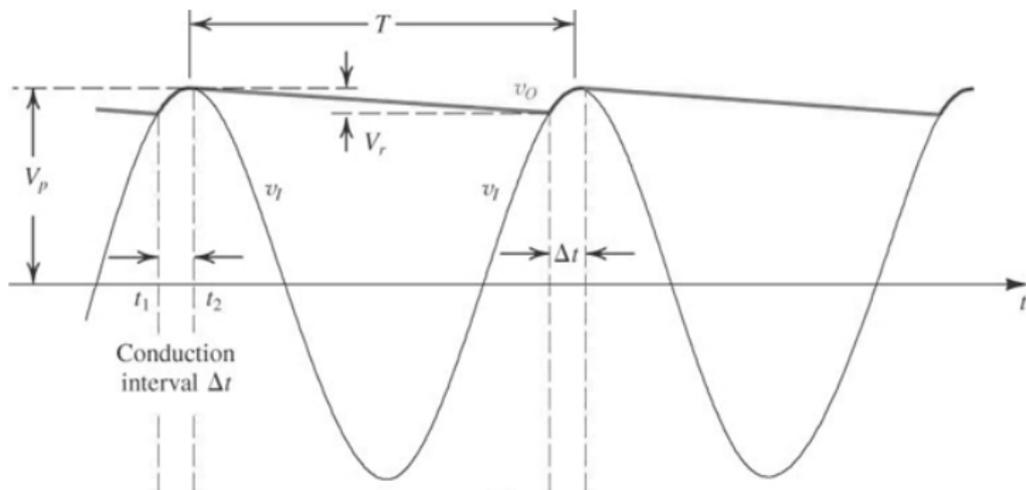
Algoritmo de Diseño 1

El ejemplo anterior nos permite proponer la siguiente metodología de diseño de fuentes.

1. Asumir $V_{P(\text{pri})}$, f_{nom} , V_{DC} , $r = V_r/V_{DC}$ y R_L dados.
2. Fijar V_r máximo tolerable a partir de r .
3. Fijar $V_{P(\text{rect})} = V_{DC} - V_r/2$.
4. Decidir si se va a utilizar rectificación de media onda y de onda completa. Dependiendo de esto, $T = 1/f_{\text{nom}}$ o $T = 1/2f_{\text{nom}}$.
5. Determinar C .
6. Seleccionar diodos de juntura e incorporar valor de V_{D0} en los cálculos.
7. Determinar $V_{P(\text{sec})}$ y luego la relación de vueltas necesaria en el transformador. Recordar que n es un entero.

Derivación de Fórmulas I

- ▶ Hasta el momento no hemos demostrado la validez de las expresiones usadas.



- ▶ Funcionamiento básico del circuito rectificador + circuito de filtrado.

- ▶ Período de Conducción: parte en t_1 y termina en t_2 cuando $V_o = V_P - 2 \times V_{D0}$.
- ▶ Período de Polarización Inversa: parte en t_2 hasta $t = T$. El condensador se descarga a través de R .
- ▶ El voltaje de salida es aproximadamente

$$V_0 = V_P - \frac{1}{2}V_r. \quad (2)$$

- ▶ Si $V_r \approx 0$, $V_0 \approx V_P$ y la corriente en la carga es “casi” constante:

$$I_L \approx \frac{V_P}{R}.$$

- ▶ Cómo determinamos el valor de V_r ?
Durante la descarga

$$V_O(t) = V_P \exp(-t/RC) \quad (3)$$

Si $T \gg \Delta t$, entonces

$$V_P - V_r = V_O(T - \Delta t) \approx V_P \exp(-T/RC) \quad (4)$$

- ▶ Si $T \ll RC$, podemos utilizar la aproximación lineal de la función exponencial en torno a cero, y obtener

$$V_P - V_r \approx V_P \left(1 - \frac{T}{RC}\right). \quad (5)$$

- ▶ Finalmente

$$V_r \approx \frac{V_P T}{RC} = \frac{V_P}{fRC}. \quad (6)$$

- ▶ Cómo estimamos Δt ?

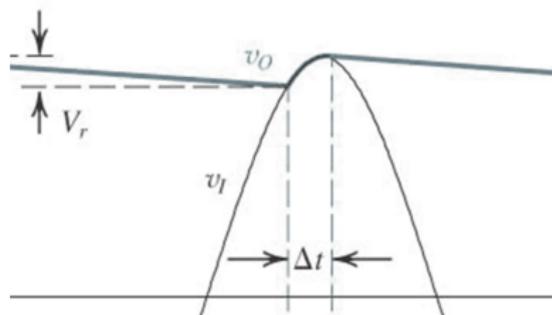
Notemos que durante la carga del condensador,

$$v_O(t) = V_P \cos(2\pi ft).$$

Por otro lado, para $t \in [T - \Delta t, T]$, tenemos que

$$\frac{\Delta v_O}{\Delta t} = \frac{V_r}{\Delta t}.$$

Derivación de Fórmulas V



Utilizamos el Teorema del valor medio para derivadas para mostrar que existe $t^* \in [T - \Delta t, T]$ tal que

$$\left. \frac{dv_O}{dt} \right|_{t^*} = \frac{\Delta v_O}{\Delta t},$$

esto es

$$-2\pi f V_p \sin(2\pi f t^*) = \frac{V_r}{\Delta t}.$$

Si Δt es pequeño, podemos asumir que $t^* \approx T - \Delta t/2$. Con ello obtenemos

$$V_P 2\pi f \sin\left(2\pi f \frac{\Delta t}{2}\right) = \frac{V_r}{\Delta t}. \quad (7)$$

Si $\Delta t \approx 0$, entonces $\sin(\pi f \Delta t) \approx \pi f \Delta t$.

► La longitud del intervalo de conducción es, entonces,

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2V_r}{V_P}} \frac{1}{2\pi f}. \quad (8)$$

- ▶ La corriente promedio que circula por el diodo la podemos determinar haciendo a partir de la expresión para la corriente instantánea en el diodo:

$$i_D(t) = i_c(t) + i_R(t) = C \frac{dv_O(t)}{dt} + \frac{v_O(t)}{R}. \quad (9)$$

La corriente promedio en el diodo satisface

$$\langle i_D \rangle = \langle i_c \rangle + \langle i_R \rangle. \quad (10)$$

- ▶ Si $v_O(t)$ varía “poco”, tenemos que

$$\langle i_R \rangle \approx \frac{V_P}{R}.$$

- La corriente promedio en el condensador la podemos calcular haciendo un balance de carga eléctrica en el dispositivo:

$$\text{Ciclo de Carga: } Q_{\text{acumulada}} = \langle I_C \rangle \Delta t \quad (11)$$

$$\text{Ciclo de Descarga: } Q_{\text{perdida}} = CV_r \quad (12)$$

$$\Rightarrow \langle I_C \rangle = \frac{CV_r}{\Delta t}. \quad (13)$$

Por lo tanto,

$$\langle i_D \rangle = \frac{CV_r}{\Delta t} + \frac{V_P}{R} \quad (14)$$

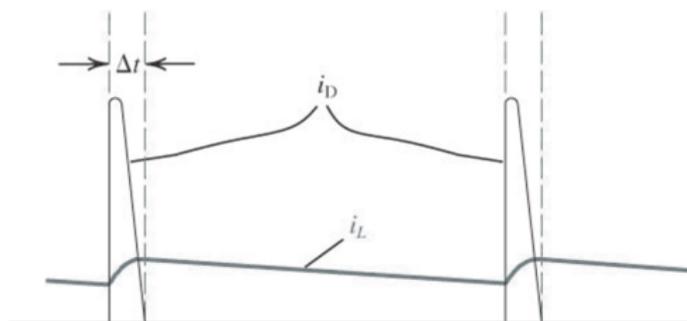
$$= \frac{V_P}{R} \left(\frac{CRV_r}{V_P \Delta t} + 1 \right) \quad (15)$$

$$= \frac{V_P}{R} \left(1 + \pi \sqrt{\frac{V_P}{2V_r}} \right). \quad (16)$$

- Para el cálculo de la corriente máxima, uno vuelve a considerar el modelo de corriente instantánea en el diodo.

- Notamos que el peak de corriente se produce cuando comienza recargarse el condensador, es decir, para $t = T - \Delta t$. Evaluando obtenemos entonces que

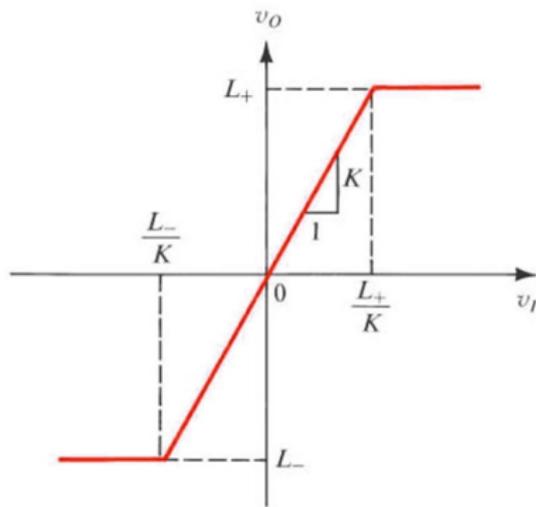
$$i_{D_{\text{máx}}} = \frac{V_p}{R} \left(1 + 2\pi \sqrt{\frac{V_P}{2V_r}} \right). \quad (17)$$



- ▶ Uno de los temas que no hemos discutido es la aparición de sobrecorrientes en la entrada del filtro pasabajos.
- ▶ En el ciclo de conexión, y cuando no hay carga, el condensador actúa como cortocircuito, lo que eventualmente podría destruir los diodos.
- ▶ Por ello se agrega un fusible en el enrollado primario que limite la corriente circulante durante la conexión.

Circuitos Limitadores I

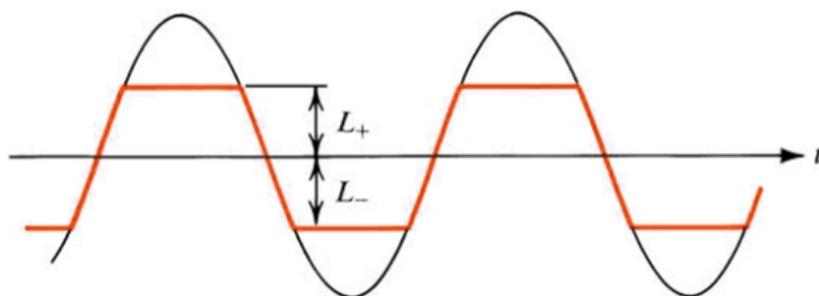
- ▶ Un circuito limitador es un circuito cuya salida es proporcional a la entrada (lineal) en un cierto rango de voltajes, y que entrega un valor fijo cuando la tensión de entrada (magnitud) excede un cierto umbral.
- ▶ La característica de transferencia típica de este tipo de circuitos es:



Se tiene lo siguiente:

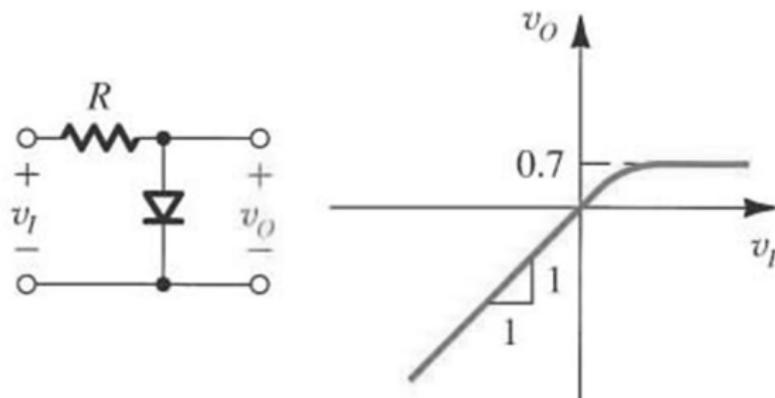
$$v_O = \begin{cases} L_+ & v_I \geq \frac{L_+}{K} \\ K v_I & \frac{L_-}{K} \leq v_I \leq \frac{L_+}{K} \\ L_- & v_I < \frac{L_-}{K} \end{cases}$$

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



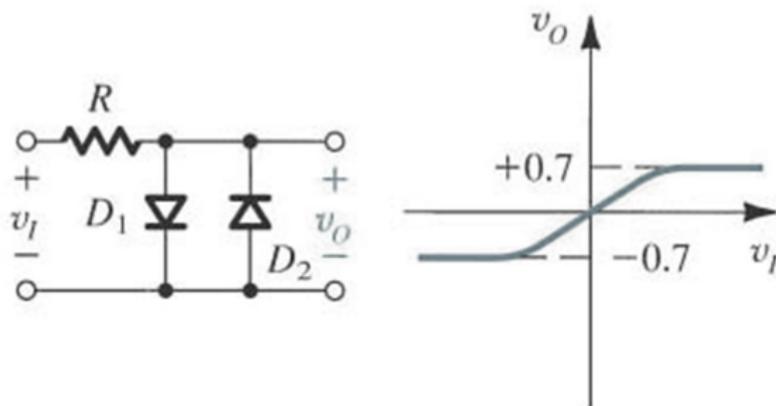
Otras Formas de Circuitos Limitadores I

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



► Limitador Doble

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



► Zéner de Doble Ánodo

Otras Formas de Circuitos Limitadores III

