

EL42A - Circuitos Electrónicos

Clase No. 5: Circuitos Limitadores y Otras Aplicaciones

Patricio Parada

`pparada@ing.uchile.cl`

Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Chile

13 de Agosto de 2009

Contenidos

Circuitos Limitadores y Recortadores

- Circuitos Recortadores

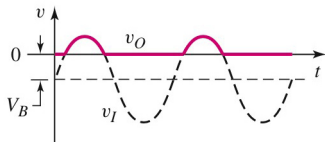
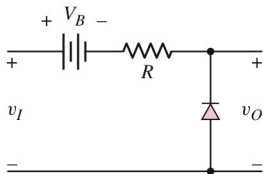
- Otras Aplicaciones

Circuitos con Diodos Zener

- Regulador de Voltaje Ideal

- Regulación de Voltaje

- Podemos utilizar el circuito limitador en conjunto con una fuente de voltaje DC para producir otros efectos.



- En general tenemos:

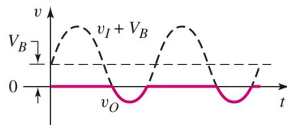
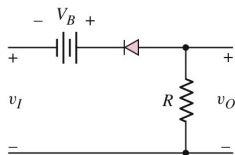
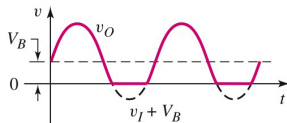
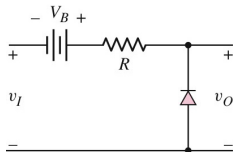
$$\begin{aligned}v_I &= V_B + V_R - v_D \\ -V_D &= v_O.\end{aligned}$$

- Si el diodo está polarizado en forma directa tenemos que $v_D = 0$ y por lo tanto, $v_O = 0$.
- Si el diodo está polarizado en forma inversa, $V_R = 0$ y $v_O = v_I - V_B$.
- La condición que separa ambas situaciones se da cuando $v_I = V_B$. Por lo tanto

$$v_O = \begin{cases} v_I - V_B & v_I \geq V_B \\ 0 & v_I < V_B. \end{cases} \quad (1)$$

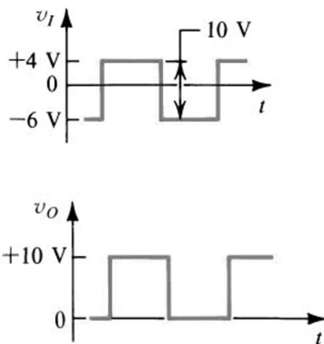
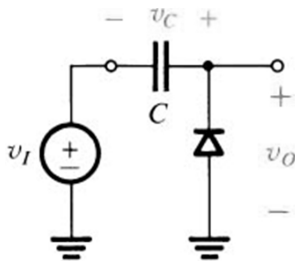
- Otros arreglos similares son los siguientes:

Circuitos Recortadores de Señal III



Restaurador DC I

- El circuito rectificador habitual puede transformarse en un restaurador de señal de voltaje continua si tomamos la salida en el diodo en lugar del capacitor.

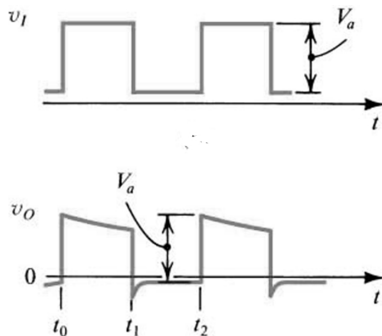
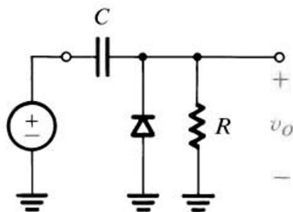


- ▶ En este caso

$$v_O = v_I + v_C. \quad (2)$$

- ▶ Si la señal es cuadrada, con valor mínimo $V_{\text{mín}}$ y valor máximo $V_{\text{máx}}$, tenemos que el condensador se cargará hasta $C \text{ máx}(|V_{\text{máx}}|, |V_{\text{mín}}|)$.
- ▶ Si el circuito no tiene carga, el condensador conservará su carga ya que el diodo quedará polarizado en forma inversa.
- ▶ Por otro lado, si la entrada llega hasta $v_I = -\text{máx}(|V_{\text{máx}}|, |V_{\text{mín}}|)$, tendremos que $v_c = -v_I$ y $v_O = 0$.
- ▶ Esto genera el efecto de corrimiento en la señal de voltaje al intervalo $[0, |V_{\text{mín}}| + |V_{\text{máx}}|]$.

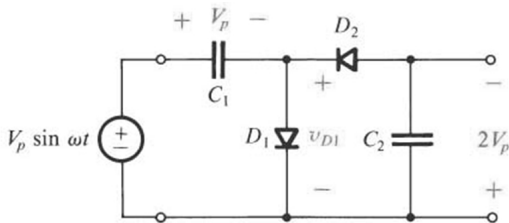
Restaurador DC III



- Al agregar una carga R al circuito, el condensador se descarga en cada período, siguiendo la señal de entrada.

Doblador de Voltaje I

- El circuito restaurador DC puede ser combinado con un rectificador de media onda para producir un **doblador de voltaje**.



- En la figura, el circuito es excitado con una fuente sinusoidal.
- La etapa restauradora desplaza la señal de voltaje al rango $[0, -2V_P]$.

- ▶ Por otro lado la etapa rectificadora con el condensador se encargan de fijar el valor del voltaje constante (excepto por el primer ciclo donde el condensador se carga) en exactamente $-2V_P$.
- ▶ El procedimiento puede ser extendido para producir cualquier múltiplo entero de V_p .

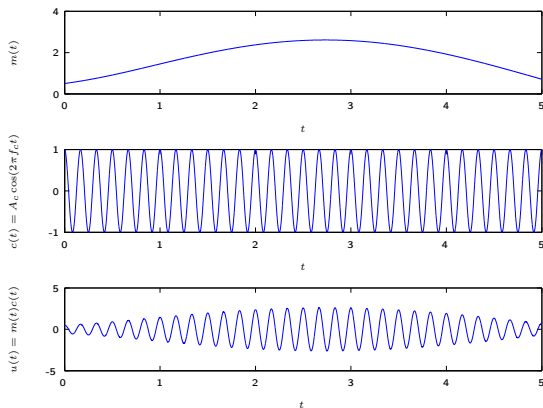
Modulación AM

La modulación de amplitud (AM) es una forma de “imprimir” la información contenida en una señal cualquiera $m(t)$ en una señal sinusoidal portadora que oscila en torno a una frecuencia dada f_0 .

$$u(t) = m(t) \cos(2\pi f_0 t).$$

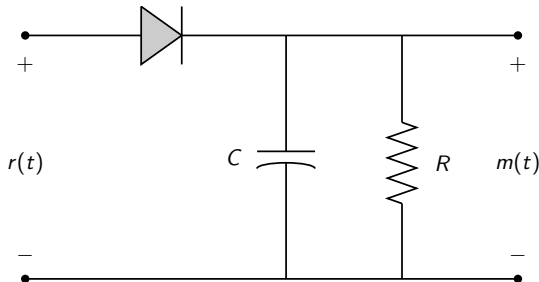
La señal de información original $m(t)$ se puede recuperar utilizando un detector de envolvente, que se pueden implementar utilizando un circuito rectificador.

Aplicación: Detector de Envolvente II



- ▶ El tipo más simple de modulación de amplitud se denomina Modulación de Amplitud de Banda Lateral Doble (DSB-AM).
- ▶ Se desplaza el espectro de la señal original a uno centrado en torno a f_0 .
- ▶ El proceso inverso se denomina **demodulación**.
- ▶ En el caso de DSB-AM se puede utilizar un detector de envolvente para recuperar $m(t)$.

Aplicación: Detector de Envolvente IV



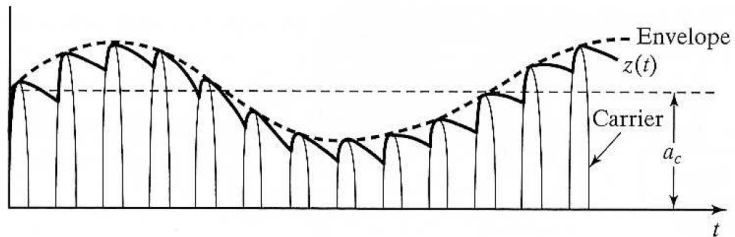
- La salida del detector debe seguir las variaciones de la envolvente.

- ▶ Si RC es muy pequeño, tendremos que la salida del detector caerá rápidamente en cada ciclo negativo de la señal $u(t)$, y no podrá seguir la envolvente.
- ▶ Si RC es muy grande, la descarga del condensador será muy lenta y el dispositivo no podrá seguir los cambios de la envolvente.
- ▶ Una heurística que entrega buenos resultados es seleccionar RC tal que

$$\frac{1}{f_0} \ll RC \ll \frac{1}{W}, \quad (3)$$

donde f_0 es la frecuencia de modulación y W es el ancho de banda de la señal $m(t)$.

Aplicación: Detector de Envolvente VI



Ejemplo

Una señal de audio con ancho de banda $W = 5$ [kHz] es modulada utilizando una portadora de frecuencia 1 [MHz] utilizando modulación de amplitud.

Cuál es el rango de valores de RC que permiten demodular la señal utilizando un detector de envolvente?

Solución

Aplicamos la condición

$$\frac{1}{f_0} \ll RC \ll \frac{1}{W},$$

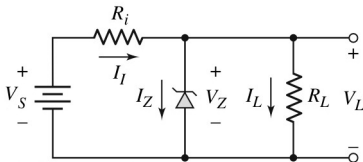
Por lo tanto,

$$10^{-6} \ll RC \ll 2 \times 10^{-4}.$$

Una buena elección es $RC = 10^{-5}$.

Circuito Ideal de Referencia de Voltaje I

- El diodo Zener entrega un voltaje casi constante cuando opera en la región de ruptura.
- Puede utilizarse en **regulación** de voltaje.



Circuito Ideal de Referencia de Voltaje II

- ▶ En el circuito R_i cumple dos funciones:
 - ▶ Limitar la corriente que circula por el Zener,
 - ▶ Reducir el “exceso” de voltaje que hay entre V_S y V_Z .
- ▶ Tenemos

$$R_i = \frac{V_S - V_Z}{I_Z + I_L} \quad (4)$$

- ▶ Notamos que si $r_z = 0$ entonces $V_Z = V_{Z0}$, lo que puede simplificar aun más la expresión.

- La corriente que circula por el Zener es

$$I_Z = \frac{V_S - V_{Z0}}{R_i} - I_L = \frac{V_S - V_Z}{R_i} - \frac{V_Z}{R_L}. \quad (5)$$

- Debemos cuidar que el diodo opere en la región de ruptura, lo que impone una condición sobre el menor valor posible de I_Z , $I_{Z(\text{mín})}$.
- A su vez, debemos cuidar de no exceder la corriente máxima que el diodo puede tolerar, $I_{Z(\text{máx})}$.

Circuito Ideal de Referencia de Voltaje IV

- El valor mínimo se alcanza cuando

$$I_{Z(\text{mín})} = \frac{V_{S(\text{mín})} - V_Z}{R_i} - I_{L(\text{máx})}.$$

- El valor máximo se alcanza cuando

$$I_{Z(\text{máx})} = \frac{V_{S(\text{máx})} - V_Z}{R_i} - I_{L(\text{mín})}.$$

- Podemos despejar R_i de ambas ecuaciones y obtener

$$R_i = \frac{V_{S(\text{máx})} - V_Z}{I_{Z(\text{máx})} + I_{L(\text{mín})}} = \frac{V_{S(\text{mín})} - V_Z}{I_{Z(\text{mín})} + I_{L(\text{máx})}} \quad (6)$$

- Usualmente uno conoce el rango de voltajes de entrada, el rango de corrientes de carga y el voltaje del Zener.
- Quedan dos incógnitas por determinar: $I_{Z(\text{mín})}$ y $I_{Z(\text{máx})}$.
- Una heurística habitual en diseño en el electrónica es fijar $I_{Z(\text{mín})} = \alpha I_{Z(\text{máx})}$, donde $\alpha[0, 1]$.

- Un valor típico es $\alpha = 0,1$ con lo que obtenemos la siguiente ecuación para $I_{Z(\text{máx})}$:

$$I_{Z(\text{máx})} = \frac{I_{L(\text{máx})}[V_{S(\text{máx})} - V_Z] - I_{L(\text{mín})}[V_{S(\text{mín})} - V_Z]}{V_{S(\text{mín})} - (1 - \alpha)V_Z - \alpha V_{S(\text{máx})}}. \quad (7)$$

- La potencia máxima requerida por el diodo es $I_{Z(\text{máx})}V_Z$.
- El valor de R_i se puede determinar reemplazando en la ecuación (6).

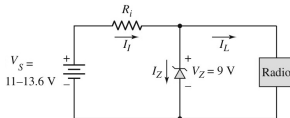
Ejemplo I

Problema de Diseño

Diseñe un regulador de voltaje para energizar una radio de automóvil que utiliza un $V_L = 9$ [V] y que consume 0 [mA] cuando está apagada y 100 [mA] cuando está al volumen máximo.

La entrada del regulador varía entre 11 y 13,6 [V].

Puede utilizar el siguiente circuito como base de su diseño.



Ejemplo II

Solución

- Calculamos primero la corriente máxima que circulará por el Zener:

$$I_{Z(\text{máx})} = \frac{100(13,6 - 9) - 0}{11 - 0,9 \times 9 - 0,1 \times 13,6} \approx 300 \text{ [mA]}. \quad (8)$$

- La potencia máxima que va a disipar el diodo es

$$P_{Z(\text{máx})} = I_{Z(\text{máx})} V_Z = 300 \times 9 = 2,7 \text{ [W]}. \quad (9)$$

- La resistencia de entrada R_i es

$$R_i = \frac{13,6 - 9}{0,3} = 15,3 \ \Omega.$$

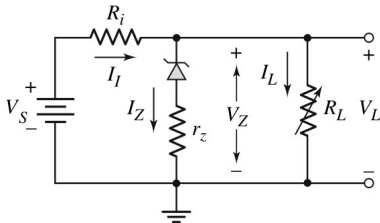
- La potencia máxima que necesita ser disipada en la resistencia de entrada es

$$P_{R_i(\text{máx})} = \frac{(V_{S(\text{máx})} - V_Z)^2}{R_i} \approx 1,4 \text{ [W]}.$$

- ▶ Este mismo circuito se podría utilizar para hacer más constante el voltaje de salida de una fuente DC como la vista en la clase anterior.
- ▶ Notamos que la alimentación de la radio es de 9 [V], lo que proviene de utilizar un Zener de 9 [V]. Sin embargo, puede que no dispongamos de tal dispositivo. Existen técnicas más sofisticadas de diseño que permiten resolver este problema.

Reguladores Zener No Ideales I

- En la práctica, la resistencia del Zener no es cero.
- Esto provoca variaciones en el voltaje de salida (V_L).



- Este fenómeno queda caracterizado por el **porcentaje de regulación**, que es una figura de mérito definida como

$$\% \text{Regulación} = \frac{V_{L(\text{máx})} - V_{L(\text{mín})}}{V_{L(\text{nom})}} \times 100. \quad (10)$$

- $V_{L(\text{nom})}$ corresponde al voltaje nominal de salida.

Ejemplo I

Ejemplo

Considere el mismo circuito utilizado en la alimentación de la radio de auto. Asuma ahora que $r_z = 4 \Omega$. Determine el porcentaje de regulación si el voltaje nominal es $V_{L(\text{nom})} = 9 \text{ [V]}$.

Solución

Ejemplo II

Asumamos que el voltaje de salida no cambia significativamente durante la operación del circuito. Esto implica que la corriente por el Zener será la misma que determinamos en el diseño anterior, y por lo tanto,

$$V_{L(\max)} = V_{L(\text{nom})} + I_{Z(\max)} r_z = 9 + 0,3 \times 4 = 10,20 \text{ [V]}$$

$$V_{L(\min)} = V_{L(\text{nom})} + I_{Z(\min)} r_z = 9 + 0,03 \times 4 = 9,12 \text{ [V]}$$

Por lo tanto, el porcentaje de regulación es

$$\% \text{Regulación} = \frac{V_{L(\max)} - V_{L(\min)}}{V_{L(\text{nom})}} \times 100 = \frac{10,2 - 9,12}{9} \times 100 = 12 \%$$

Observación

Ejemplo III

En este ejemplo el porcentaje de regulación es relativamente alto. En general, uno puede mejorar el desempeño del circuito incluyendo amplificadores. Esto lo veremos en la segunda mitad del curso.