

# EL42A - Circuitos Electrónicos

## Clase No. 3: Diodos y Circuitos Rectificadores

Patricio Parada

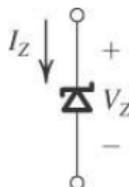
pparada@ing.uchile.cl

Departamento de Ingeniería Eléctrica  
Universidad de Chile

6 de Junio de 2009

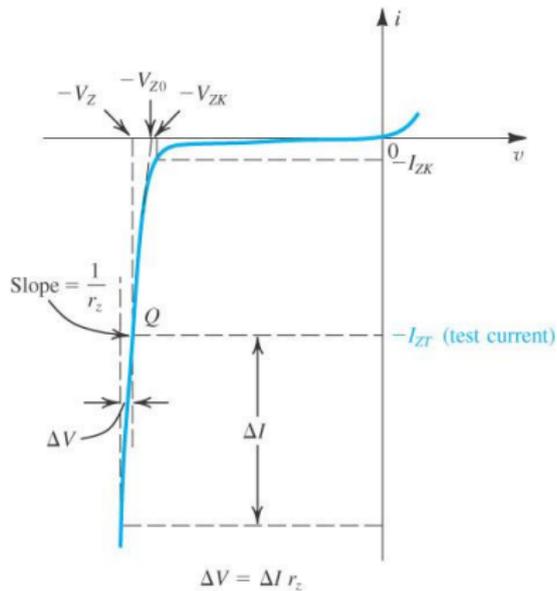
# Diodo Zener I

- Regulación de voltaje es la propiedad que describe la estabilidad del voltaje entre dos terminales cuando se conecta y desconecta en “caliente” una carga.
- Este efecto se puede obtener al hacer operar el diodo en la **región de polarización directa** o en la **región de ruptura**.
- El **diodo Zener** se diseña para entregar una diferencia de tensión  $-V_{Z0}$  entre sus terminales.
- El símbolo para el diodo Zener es:



# Diodo Zener II

y su característica  $i - v$  está dada por



# Operación en Polarización Inversa I

- Del gráfico podemos especificar los siguientes valores:
  - ▶  $I_{ZK}$  : corriente de ruptura (knee current)
  - ▶  $V_{ZK}$  : voltaje de ruptura
  - ▶  $I_{ZT}$  : corriente de prueba
  - ▶  $r_Z$  : resistencia incremental o dinámica del Zener
- El modelo de la zona de ruptura es:

$$V_Z = V_{Z0} + r_z I_Z$$

para  $I_z > I_{ZK}$ ,  $V_Z > V_{Z0}$ .

- Obs:  $V_{Z0}$  es el voltaje que intercepta la recta con pendiente  $1/r_Z$  y el eje  $v$ .

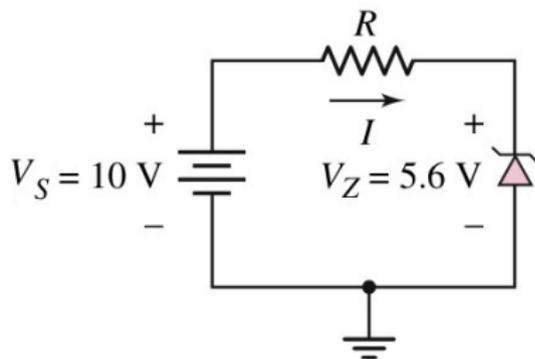
## Operación en Polarización Inversa II

- Resulta vital limitar la corriente por el dispositivo para evitar daño permanente. La resistencia externa  $R$  del circuito cumple este rol.

### Ejemplo

Considere el circuito de la figura donde  $r_z = 0$  y  $V_Z = 5,6$  [V]. Determine el valor mínimo de la resistencia externa de modo de limitar la corriente  $I_z$  a 3[mA].

## Operación en Polarización Inversa III



## Operación en Polarización Inversa IV

- Notamos que

$$I_z = \frac{V_S - V_Z}{R}$$

Como  $V_S = 10$  [V] y  $V_Z = 5,6$  [V] podemos establecer la condición pedida:

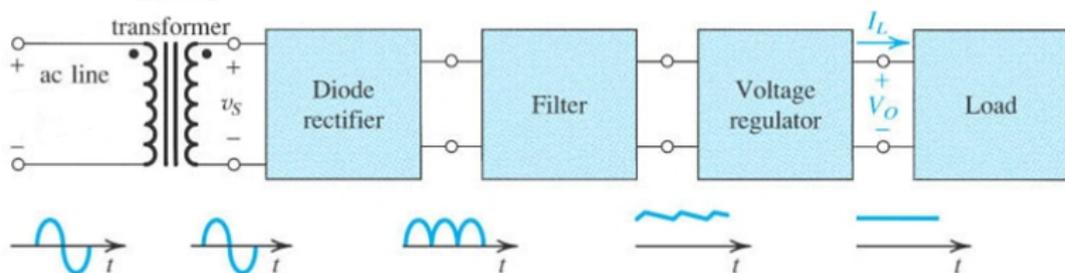
$$3 \times 10^{-3} \leq \frac{10 - 5,6}{R} \Rightarrow R \geq \frac{10 - 5,6}{3 \times 10^{-3}} = 1,47 \text{ k}\Omega. \quad (1)$$

# Procesamiento de Señales con Diodos

- La característica no-lineal del diodo puede ser aprovechada para procesar señales.
- **Rectificación**: Conversión de señal AC a DC.
- **Recorte (*clipping*)**: de porciones de la señal por encima o debajo de un cierto nivel de voltaje.
- **Desplazamiento (*clamping*)**: del nivel de la señal a un nuevo nivel de referencia.
- **Regulación** de voltaje.

# Circuitos Rectificadores I

- El circuito rectificador de voltaje es la base de la implementación de una fuente de voltaje continua.
- Por ello, veremos primero el **diagrama de bloques** o **etapas** que la caracteriza:



- El sistema está compuesto por 4 bloques:
  - (i) Transformador de poder
  - (ii) Rectificador

## Circuitos Rectificadores II

- (iii) Filtro Pasabajos
- (iv) Regulador de voltaje
- El circuito rectificador es la primera etapa de toda fuente de voltaje DC.
- Existen dos tipos de rectificación:
  - ▶ De media onda.
  - ▶ De onda completa.

# Técnica para Resolver Problemas con Diodos

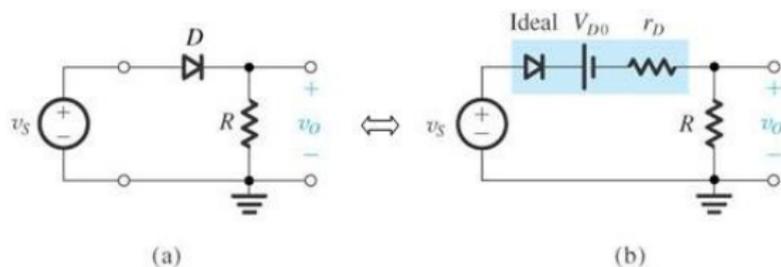
Cuando uno utiliza el modelo lineal por segmentos de un diodo, el primer objetivo es determinar la región en la que el diodo está operando (corto-circuito o circuito abierto). Podemos hacer lo siguiente:

- 1 Determinar la condición límite sobre el voltaje de entrada  $v_I$  que hace que el diodo esté polarizado en forma directa. A partir de esta condición determinar el voltaje de salida del circuito  $v_O$ .
- 2 Determinar la condición límite sobre el voltaje de entrada  $v_I$  que hace que el diodo esté polarizado en forma inversa. A partir de esta condición determinar el voltaje de salida del circuito  $v_O$ .

(\*) El orden del procedimiento se puede revertir.

# Rectificador de Media Onda I

- El rectificador de media onda es un circuito que recupera sólo medio ciclo de una onda sinusoidal.
- Realizaremos el análisis del circuito mediante el modelo equivalente **fuente+resistencia** para un diodo de juntura.

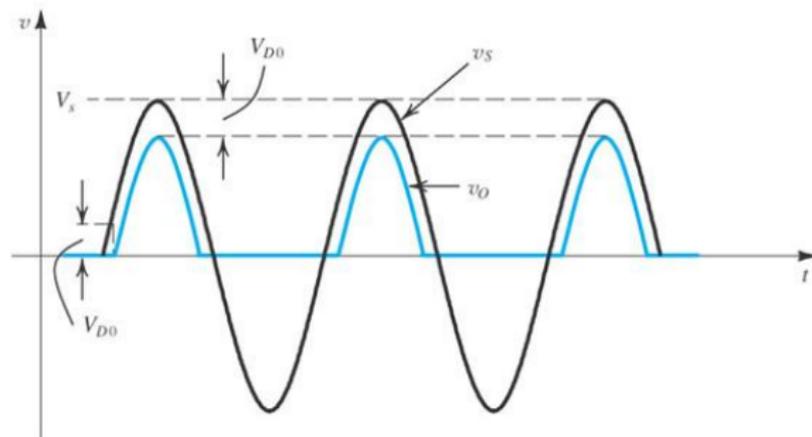


## Rectificador de Media Onda II

$$\begin{aligned}v_S &= v_D + V_{D0} + i_D r_D + v_0 \\ \Rightarrow v_S - v_D - V_{D0} - i_D r_D &= v_0 \\ (v_S - V_{D0}) - v_D - i_D r_D &= v_0\end{aligned}$$

- Si  $v_S < V_{D0} \Rightarrow i_D = 0 \Rightarrow v_D = v_S$  y  $v_0 = 0$  (Esto viene del hecho que el diodo no conduce y por lo tanto  $v_0 = i_D R = 0$ ).
- Si  $v_S \geq V_{D0} \Rightarrow v_0 = 0$  y  $v_0 = (v_S - V_{D0}) - i_D r_D$ .

## Rectificador de Media Onda III



## Rectificador de Media Onda IV

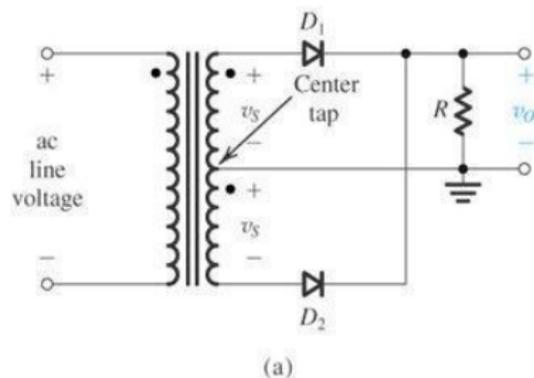
- En particular, si despreciamos el efecto de la resistencia dinámica del diodo, tenemos

$$v_O = \begin{cases} 0 & v_S < V_{D0} \\ v_S - V_{D0} & v_S \geq V_{D0}. \end{cases} \quad (2)$$

# Rectificador de Onda Completa I

- El rectificador de onda completa invierte los ciclos de voltaje donde la polarización de la entrada es negativa, produciendo una señal del doble de la energía que el rectificador de media onda.
- El circuito puede ser implementado de dos maneras:
  - ▶ Con dos diodos y un transformador con derivación central,
  - ▶ Con cuatro diodos en un arreglo llamado **Puente Rectificador**.
- Al implementarlo con derivación central, se tiene la siguiente configuración:

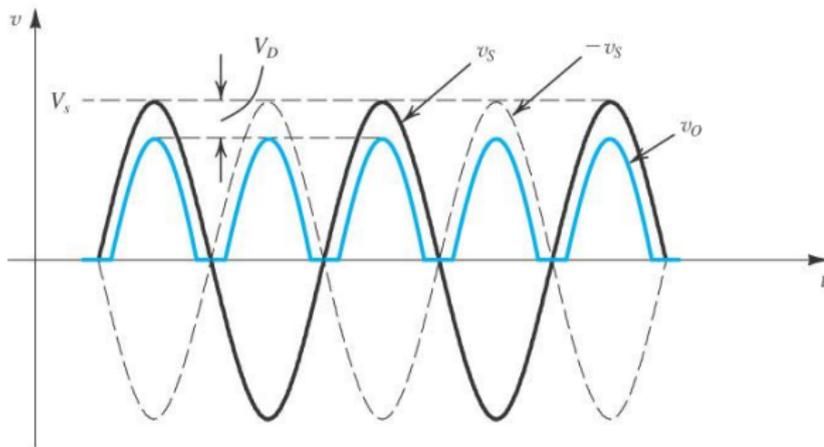
## Rectificador de Onda Completa II



- El funcionamiento del circuito se puede dividir en dos etapas:
  - (i) Ciclo positivo:  $v_s > V_{D0}$ :  $D_1$  conduce y  $D_2$  está polarizado de forma inversa.

## Rectificador de Onda Completa III

- (ii) Ciclo negativo:  $v_s < V_{D0}$ .  $D_1$  está polarizado de forma inversa y  $D_2$  conduce.



## Rectificador de Onda Completa IV

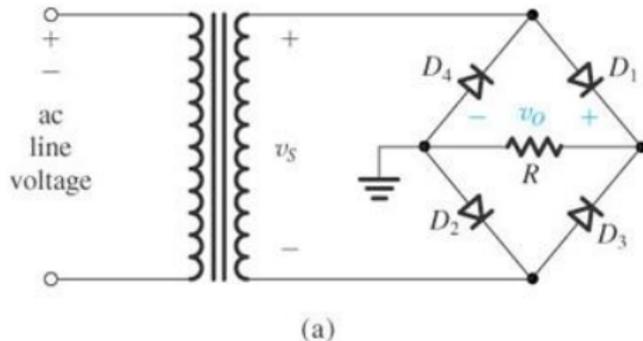
- La expresión del voltaje de salida del circuito es:

$$v_O = \begin{cases} -v_S + V_{D0} & v_S \leq -V_{D0} \\ v_S - V_{D0} & v_S \geq V_{D0}. \end{cases} \quad (3)$$

- Es importante observar que el transformador de la entrada, además de servir para cambiar el valor del voltaje de entrada respecto del de la red eléctrica, se desempeña como **aislador** de impedancia.

# Puente Rectificador

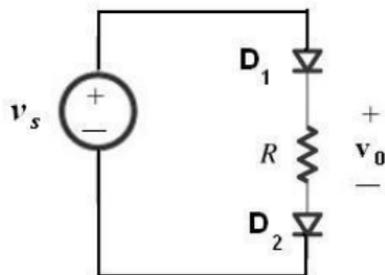
El circuito puente rectificador también permite realizar rectificación de onda completa. Su circuito es el siguiente:



# Operación del Circuito Puente Rectificador I

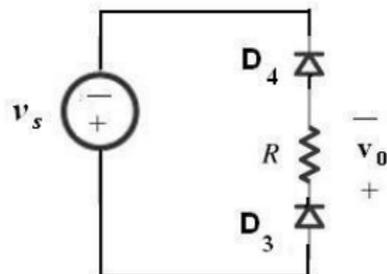
Al igual que el rectificador de onda completa con derivación central, su análisis se realiza considerando dos casos:

(i)  $v_s > 0$ : en este caso se obtiene el siguiente circuito



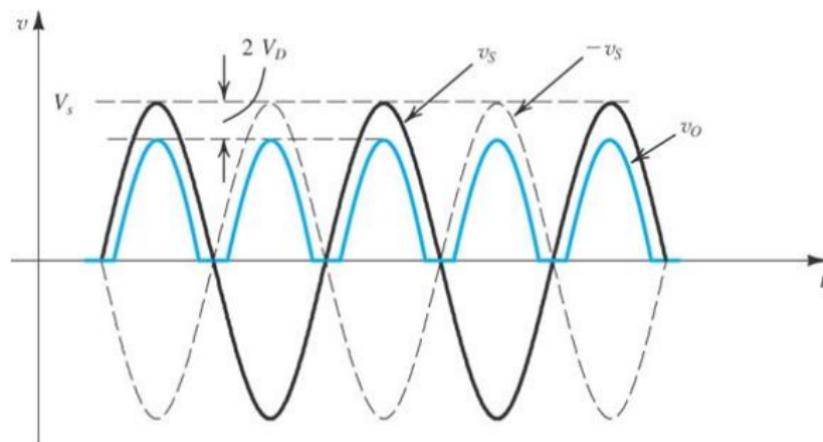
(ii)  $v_s < 0$ : donde se tiene

## Operación del Circuito Puente Rectificador II



Se obtiene la siguiente señal del voltaje a la salida del circuito.

## Operación del Circuito Puente Rectificador III

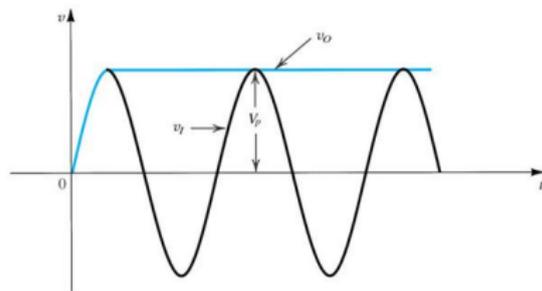
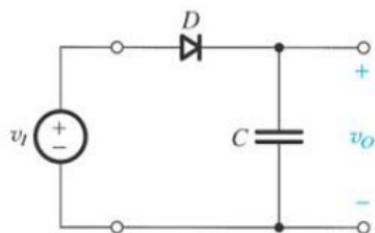


# Rectificador con Filtro de Capacitancia I

- La etapa rectificadora de voltaje es incapaz, por sí sola, de producir un voltaje constante en la salida del circuito.
- Por ello, uno utiliza un filtro pasabajos que “suavice” la forma de onda y la haga más estable.
- El circuito pasabajos más simple que uno puede considera corresponde a un filtro  $RC$  conectado en cascada con el circuito rectificador.

## Rectificador con Filtro de Capacitancia II

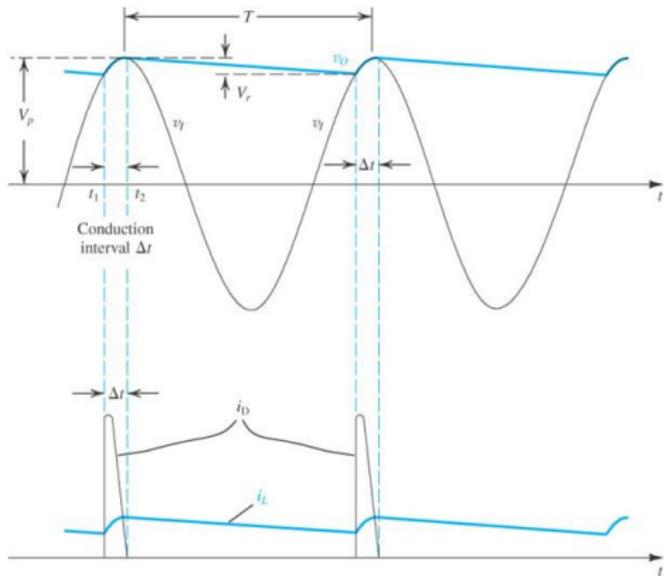
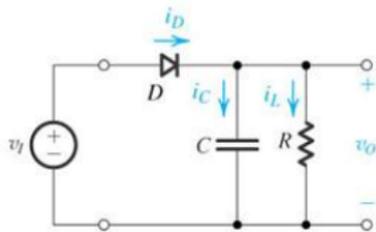
- Para estudiar la validez de este razonamiento, consideremos el siguiente circuito:



- La conexión en paralelo de un condensador proporciona un voltaje constante a la salida.

# Circuito con una Carga Resistiva

Consideremos el circuito más realista:



# Operación del Circuito con una Carga Resistiva I

La figura muestra la respuesta del circuito en régimen permanente. Asumiremos  $CR \gg T$  (de forma de conseguir que el diodo no se descargue en forma completa en cada ciclo).

- 1 Por un breve periodo el diodo conduce, lo cual permite la recarga del condensador, luego de haberse descargado en el ciclo anterior a través de la resistencia.
- 2 Asumiendo un diodo ideal, la conducción del diodo comienza en  $t_1$  y termina en  $t_2$ , cuando  $v_0 = V_p$ . El valor exacto de  $t_2$  se puede encontrar asumiendo  $i_D = 0$ .

## Operación del Circuito con una Carga Resistiva II

- 3 Durante la polarización inversa del diodo, el condensador se descarga a través de la resistencia  $R$  y  $v_0$  decae en forma exponencial con constante de tiempo  $RC$  al final del periodo.

$$v_0 = V_p - V_r$$

Donde  $V_r$  es el voltaje peak-to-peak que ha decaído en el intervalo. Si  $CR \gg T \Rightarrow V_r$  es pequeño.

- 4 Cuando  $V_r$  es pequeño,  $v_0 \sim \text{constante} = V_p$ . Similarmente  $I_L$  es casi constante, y una buena aproximación es

$$I_L = \frac{V_p}{R}$$

# El Fenómeno de Rizado

$$\text{Voltaje de Rizado} = \frac{V_p}{fRC}$$

