

# Reguladores

## ■ Resumen

### Fuente de alimentación

Una fuente de alimentación regulada es un circuito que posee un transformador para adecuar el valor de la tensión alterna de la señal de entrada de línea al valor requerido, un puente rectificador que convierte la forma de onda senoidal de la señal de entrada a una forma de onda pulsante, un filtro que atenúa las componentes alternas de dicha señal pulsante y un regulador que mantiene fija la componente continua de la señal de salida y atenúa aún más las componentes alternas que constituyen el rizado de la señal de salida del filtro.

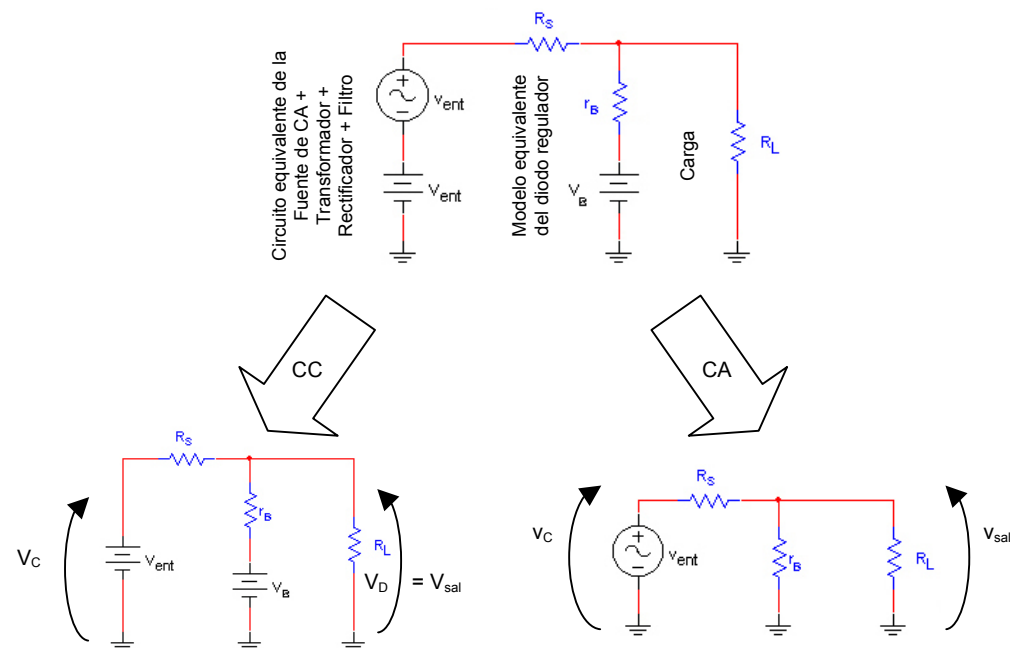
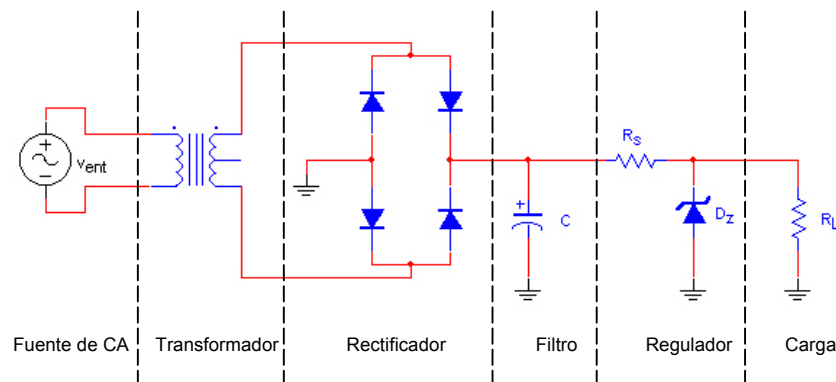
Para simplificar el análisis, conviene considerar a todas las etapas previas al regulador con un circuito equivalente con componentes lineales. Esto permite hacer el análisis de cada una de las componentes de la señal presente observando el efecto producido por una fuente continua y una alterna por separado y luego superponer los resultados.

La señal de salida de una fuente de alimentación sin regulador es la tensión vista en el capacitor, la cual tendrá un valor constante con cierto rizado debido a la carga y la descarga exponencial de dicho capacitor. El análisis armónico permite estudiar esta señal de forma compleja considerándola como la superposición de una componente continua (señal deseada) sumada a varias componentes alternas (señales indeseadas) de frecuencias múltiples de la correspondiente a la señal rectificada y amplitudes diferentes. Por ende, las etapas previas al regulador pueden modelarse con un circuito equivalente constituido por una fuente de tensión continua en serie con una fuente de tensión alterna que representa a la componente alterna fundamental (la de menor frecuencia) ya que es la de mayor amplitud.

El diodo zener o de avalancha puede reemplazarse para su análisis por su modelo equivalente.

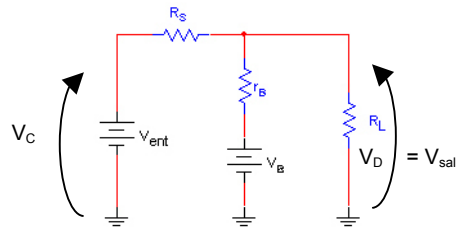
De esta forma, pueden hacerse los análisis por separado para corriente continua y corriente alterna. En las figuras adjuntas se muestran los circuitos equivalentes para cada caso. Para analizar lo que ocurre en continua, se debe anular el efecto de (pasivar) las fuentes de alterna, y viceversa. Así puede calcularse la tensión continua de salida en la carga y el rizado en la salida.

El resultado final se obtiene superponiendo los resultados de los dos análisis.



## Polarización del diodo para regulación

Para diseñar un regulador es necesario calcular el circuito que permite que el diodo zener o de avalancha se encuentre polarizado en la zona de ruptura. En caso contrario, debe hacerse el análisis como si se tratara de un diodo común polarizado en directa o en inversa fuera de la ruptura según corresponda.



Las ecuaciones del circuito visto para continua son

$$\begin{cases} V_c = V_D + I_S R_S \\ I_S = I_L + I_D \\ I_L = \frac{V_D}{R_L} \end{cases}$$

Si el diodo se encuentra polarizado en la zona de ruptura, del circuito obtenido para CC se deduce que

$$V_D = V_B + I_D r_B \Rightarrow V_{sal} = V_D = V_B + r_B \frac{V_c R_L - V_B (R_L + R_S)}{R_L R_S + r_B R_L + r_B R_S}$$

Si la resistencia dinámica del diodo en ruptura  $r_B$  es pequeña, la tensión continua a la salida puede aproximarse directamente por la tensión de ruptura  $V_B$

$$\therefore \text{ si } r_B \rightarrow 0 \Rightarrow V_{sal} = V_B$$

En general, los valores que están fijados previamente en el circuito son la tensión continua de la entrada del regulador (o sea, la del capacitor de la fuente sin regular  $V_c$ ), la tensión requerida en la carga (para la

cual se busca un diodo con tensión de ruptura similar  $V_B$ ), y la resistencia que presenta la carga  $R_L$ . En ese caso, se necesita calcular la resistencia serie  $R_S$ .

Para ello debe observarse, por un lado, que la caída producida en  $R_S$  no saque de regulación al diodo. Esto determina el máximo valor de  $R_S$ . Cuando el diodo se encuentra en polarización inversa, fuera de la ruptura, la corriente es prácticamente nula. En el momento en que empieza a regular se verifica

$$\text{si } I_D = 0 \Rightarrow \begin{cases} V_D = V_B \\ I_S = I_L \end{cases}$$

Reemplazando las expresiones anteriores en las ecuaciones de las mallas se obtiene

$$R_{S_{\max}} = (V_c - V_B) \frac{R_L}{V_B}$$

Por otro lado existe una limitación impuesta por la capacidad de disipación de potencia del diodo. La potencia máxima posible de disipar en regulación es

$$P_{D_{\max}} = V_B I_{D_{\max}}$$

El caso más desfavorable ocurre al desconectar la carga porque la corriente en el diodo es máxima (por eso se utiliza el resistor serie para limitar la corriente)

$$\text{si } R_L \rightarrow \infty \Rightarrow I_D = I_S$$

Reemplazando esto en las ecuaciones de mallas se tiene la resistencia serie mínima que da la máxima potencia permitida en el diodo en regulación

$$R_{S_{\min}} = \frac{V_c - V_B}{I_{D_{\max}}} - r_z$$

Su valor debe ser tan pequeño como sea posible para que el diodo pueda regular pero más grande que el mínimo que impide que el diodo se queme.

Si lo que se ha fijado son los valores de la tensión requerida en la carga, la resistencia serie y la de carga, es necesario calcular la mínima tensión de la fuente que

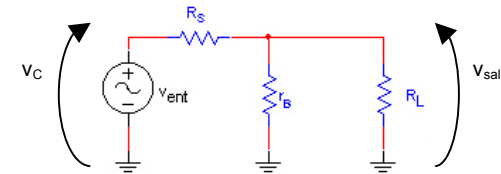
permite que el diodo empiece a regular. De las ecuaciones de las mallas se obtiene

$$V_{c_{\min}} = V_B + \frac{V_B}{R_L} R_S = V_B \left( \frac{R_L + R_S}{R_L} \right)$$

## Análisis del diodo regulador ante el rizado

Las ecuaciones de malla el circuito de alterna son

$$\begin{cases} V_c = V_D + I_S R_S \\ I_S = I_L + I_D \\ I_L = \frac{V_D}{R_L} \end{cases}$$



Si consideramos que el diodo se encuentra polarizado en la zona de ruptura, puede calcularse la tensión alterna a la salida, es decir, el rizado, viendo el circuito para CA como un divisor resistivo de  $R_S$  y  $r_B // R_L$

$$V_D = I_D r_B \Rightarrow V_{sal} = V_D = \frac{V_c (r_B // R_L)}{R_S + r_B // R_L}$$

se observa que la tensión de rizado en el capacitor queda aplicada al divisor resistivo formado por  $R_S$  y por el paralelo de la resistencia dinámica del diodo en ruptura  $r_B$  con la carga. Como el paralelo es mucho menor que la resistencia serie, en general, la mayor parte de la tensión de rizado cae en  $R_S$ . Para el caso de  $r_B$  pequeña, también puede aproximarse por

$$\therefore \text{ si } r_z \rightarrow 0 \Rightarrow V_{sal} = 0$$