

REGULADORES DE TENSIÓN

6.1. INTRODUCCIÓN

La mayor parte de los dispositivos electrónicos requieren de voltajes continuos para operar. Las baterías son una opción útil pero tienen un tiempo de operación limitado. Otra opción consiste en generar la fuente de alimentación utilizando la red de 220 volts alterno (220 RMS). Esta tensión puede ser manipulada fácilmente usando un transformador y circuitos rectificadores, los que sumados a un dispositivo regulador proporcionan diferentes valores de tensión. En este capítulo, se analizarán los reguladores más simples, los cuales se irán modificando hasta obtener configuraciones más complejas y mejoradas. En la parte final se analizan los reguladores basados en circuitos integrados (CI's), mostrando algunos métodos para aumento de la corriente de salida y protecciones.

6.2. FUENTES REGULADAS

El diagrama de bloques de una fuente estabilizada es el siguiente

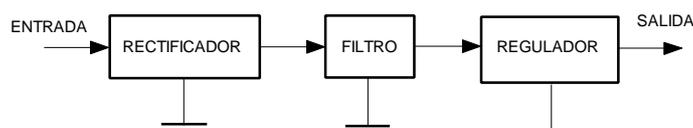


Figura 6.1. Diagrama de bloques de una fuente regulada.

La misión del rectificador es distorsionar la senoide de entrada para que su salida tenga una componente de continua. Mediante el filtro se rechazan en gran medida los armónicos de la salida del rectificador. El filtro no siempre rechaza todos los armónicos. Por lo general, un vez filtrada la señal, suele permanecer una componente que se conoce como **rizado** o **ripple**.

El regulador tiene una doble misión, primero, debe eliminar el ripple y por otro lado debe poseer una impedancia de salida adecuada, con el fin de que la tensión regulada a la salida se mantenga independiente de la carga, siempre que ésta varíe entre los límites exigidos del diseño. En otras palabras, a la salida de la fuente de alimentación no estabilizada, se aplica a un dispositivo de control que regula la tensión para dar una salida de régimen continuo.

Los reguladores pueden ser **serie** o **paralelo**. En un **regulador serie**, el dispositivo de control se conecta en serie con la carga y para regular la salida debe en todos los casos absorber parte de la tensión de entrada o alimentación. En un **regulador en derivación**, el dispositivo de

control se halla en paralelo con la carga y para efectuar la regulación de salida, debe dejar pasar corriente en todos los casos, cuando la corriente a través del dispositivo de control cae a cero, la acción de regulación cesa.

Requerimientos de un regulador

- Mantener la tensión de salida constante independiente de las fluctuaciones de la entrada y la temperatura.
- Mantener la tensión constante de salida, a las exigencias de corriente de carga.
- El voltaje de salida no debe contener componentes alternos (*ripple* =0)
- La fuente debe poseer un sistema para limitar la corriente de salida (protección).

El circuito regulador debe mantener el voltage ya sea sin carga (circuito abierto), en la cual no provee corriente, o a plena carga, entregando una corriente en la salida como lo indica la Fig 6.2. Este circuito no presenta una perfecta regulación, pues no mantiene el voltage v_{oc} mientras entrega corriente a la carga.



Figura 6.2. Voltage de regulación. (a) Sin carga. (b) Con carga.

En un regulador ideal la diferencia entre el voltage de salida sin carga y el voltage de salida a plena carga es cero o sea $v_{oc} - v_L = 0$, v_L es siempre menor. La relación presentada a continuación da cuenta de la cantidad de regulación en porcentaje, mientras menor sea, mejor es la regulación.

$$\%regulación = \frac{v_{oc} - v_L}{v_L} \times 100$$

Esta relación ha sido definida con respecto a una condición de carga específica.

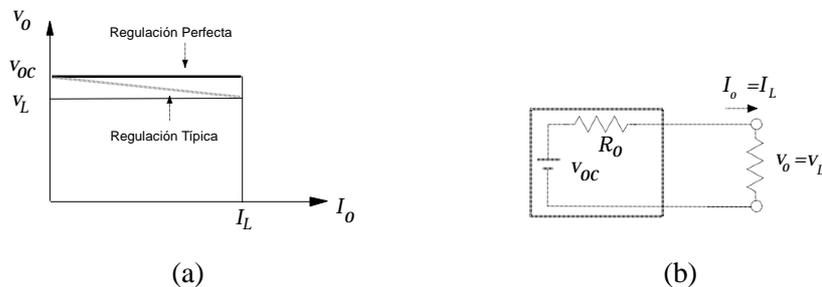


Figura 6.3. (a) Curva característica de una fuente de poder. (b) Circuito equivalente de un regulador con resistencia de salida.

Por otro lado, como $v_L = I_L R_L$, podemos expresar el porcentaje (%) de regulación como:

$$\% \text{regulación} = \frac{V_{oc} - V_L}{I_L R_L} \times 100$$

De la expresión tenemos

$$R_O = \frac{V_{oc} - V_L}{I_L}$$

Que no es más que la resistencia de salida del regulador, como es mostrada en la Fig. 6.3b.

Finalmente, se debe considerar que la salida de una fuente de tensión regulada es función del voltaje de entrada sin regular, V_S (lo podemos llamar VNR, *voltaje no regulado*), indicado en la fig. 6.4, la corriente de carga y la temperatura. Es decir

$$V_L = f(V_S, I_L, T)$$

De acuerdo a esto se definen los coeficientes

- Razón de estabilización (factor de regulación de entrada)

$$S_v = \frac{\Delta V_L}{\Delta V_S}$$

- Coeficiente de temperatura

$$S_T = \frac{\Delta V_L}{\Delta T}$$

Cuanto más pequeños sean estos coeficientes, mejor será la regulación de la fuente de alimentación.

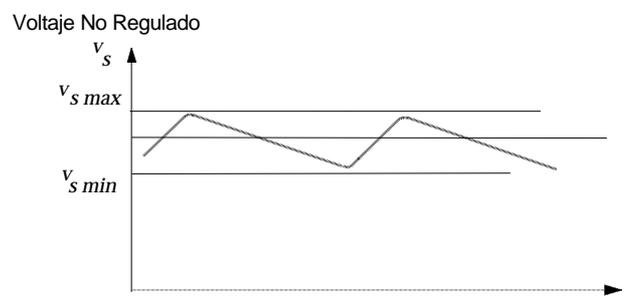


Figura 6.4. Comportamiento del Voltaje no regulado (VNR).

6.3. TIPOS DE REGULADORES

Regulador Zener Básico

Este es un regulador tipo **paralelo** y su esquema básico es el indicado en la Fig. 6.5a.

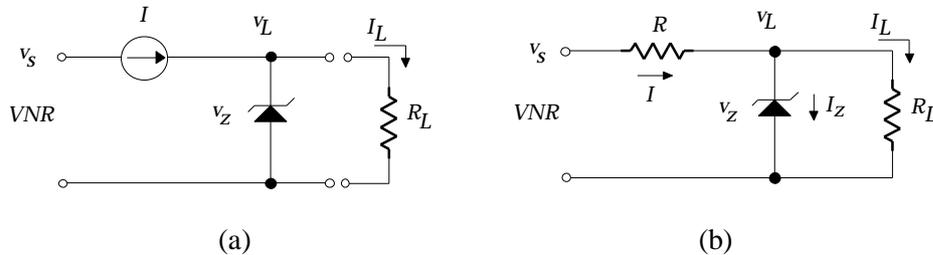


Figura 6.5. (a) Regulador básico. (b) Circuito práctico.

Cuando el voltaje v_L excede el voltaje de ruptura del diodo, entonces la corriente a través de éste se incrementa, luego el voltaje en el zener y en la carga se mantiene constante e igual al voltaje nominal del diodo zener. Así $v_L = v_z$.

En la práctica la fuente de corriente es un resistor, como lo indica en la Fig. 6.5b. Esta resistor R se diseña para que el diodo esté correctamente polarizado y por lo menos circule la corriente mínima bajo cualquier exigencia de carga, esto dentro de los límites especificados por el regulador.

El regulador se diseña bajo las condiciones más exigidas, es decir: $I_z \text{ min}$, $I_{L\text{max}}$, $v_{s\text{min}}$. Existe otra condición, la cual ocurre cuando la corriente de carga es máxima ($I_{L\text{min}}$), luego la corriente del zener será máxima ($I_{z\text{max}}$), para esta situación, lo peor que puede ocurrir es que el voltaje no regulado de la entrada sea máximo ($v_{s\text{max}}$), en base a estos antecedentes se puede encontrar una expresión para R .

$$R = \frac{v_{s\text{min}} - v_z}{I_{L\text{max}} - I_{z\text{min}}}$$

En un diseño práctico no basta determinar el valor de la resistencia, sino que se deben especificar los requerimientos de potencia de los componentes, de tal forma que ésta pueda ser manejada por los elementos utilizados.

De la ecuación anterior se puede determinar la corriente máxima que circulará por el diodo zener. Como la ecuación tiene dos incógnitas como regla práctica se hace que la corriente máxima del zener sea al menos 10 veces la corriente mínima, luego tenemos

$$I_{z\text{max}} = 10I_{z\text{min}}$$

Finalmente

$$I_{z\text{max}} = \frac{I_{L\text{min}}(v_z - v_{s\text{min}}) + I_{L\text{max}}(v_{s\text{max}} - v_z)}{v_{s\text{min}} - 0.9v_z - 0.1v_{s\text{max}}}$$

Esto SÓLO permite estimar la corriente máxima que circula por el zener.

EJEMPLO 6.1

Diseñar un regulador simple para una corriente máxima de 250mA y un voltaje de 5.0 volts, considere que el voltaje no regulado es 10 ± 2 volts. Especifique el diodo adecuado y la potencia de la resistor R .

Resolución

Lo primero es determinar cual es diodo apropiado para la aplicación, éste de permitir mantener el voltaje solicitado y además de ser capaz de soportar un corriente que en la peor situación será levemente superior a la máxima requerida (¿Por qué?).

De acuerdo al circuito, podemos usar la expresión determinada en el apartado anterior, se tiene entonces:

$$\begin{aligned}V_{smin} &= 8 \text{ [volts]} \\I_{Lmax} &= 250 \text{ [mA]} \\V_Z &= 5 \text{ [volts]}\end{aligned}$$

El primer escollo, es elegir el zener adecuado, considere un diodo de 5.1 [v]

$$R = \frac{V_{smin} - V_Z}{I_{Lmax} - I_{Zmin}} = \frac{8 - 5.1}{250mA + I_{Zmin}}$$

El segundo problema es que no se conoce el valor de I_{Zmin} del diodo, se debe recurrir a hoja de especificaciones del diodo.

Tipo	V_Z nom [v]	Tol V_Z %	Z_Z [Ω] @ I_Z [mA]		I_R [μ A] @ V_R [V]		P_D mW 25 °C
			Max		Max		
1N5231	5.1	5.0	17	20	5	20	500

Como se puede observar, no existe ningún parámetro llamado I_{Zmin} , sólo tenemos v_Z , I_Z y P_D , entonces no nos queda más que elaborar un criterio.

Un criterio podría ser usar P_D , luego sacar la corriente maxima usando el voltaje v_Z y dividir por 10 (o por 15 o por 20), para obtener la corriente mínima, sin embargo, este valor puede resultar mayor que el I_Z especificado. Por otro lado, esto nos da un margen bastante amplio de seguridad para el diseño. En el caso de dar un valor superior a I_Z , podría considerarse como éste o una fracción, pero el regulador siempre quedaría sobre dimensionado. Por otro lado, existen fabricantes que si entregan los valores máximos. Un última opción sería determinarlo prácticamente.

Usando el criterio inicial

$$P_D = V_Z I_{Zmax} = 500[mW] = 5.1[v] I_{Zmax}$$

$$I_{Zmax} = \frac{500[mW]}{5.1[v]} = 98[mA]$$

Luego, considerando $I_{Zmax} = 10 I_{Zmin}$

$$I_{Zmin} = \frac{98[mA]}{10[v]} = 9.8[mA]$$

Reemplazando

$$R = \frac{8 - 5.1}{250mA + 9.8mA} \approx 11\Omega$$

Este diseño aparentemente se ve bien, pero ocurre la siguiente situación:

Cuando el sistema opera en vacío (sin carga), toda la corriente circulará por el diodo zener, que corresponde a 260 [mA] aproximadamente, de acuerdo a las características de potencia, el diodo sufriría un severo daño. Una solución sería poner una carga mínima y la otra cambiar el zener.

Otro criterio sería considerar lo que por lo general ocurre, esto es, la corriente mínima de un zener de 1 watts, tiene un valor que fluctúa entre 1 y 2 [mA]. Luego este valor puede establecerse como corriente mínima.

$$R = \frac{V_{smin} - V_z}{I_{Lmax} - I_{zmin}} = \frac{8 - 5.1}{250mA + 2mA} = 11.5 [\Omega]$$

Como el valor obtenido es muy similar, el comportamiento del regulador, si éste queda sin carga, perjudicará seriamente al diodo zener.

TAREA 6.1

Investigue respecto de los siguientes parámetros: V_z , I_z , I_R , P_D , Z_z . ¿Cual es el significado que le da el fabricante a dichos parámetros?

Regulador Básico Serie

La principal desventaja del regulador de la Fig. 6.5, es que el diodo zener debe absorber toda la corriente que la carga no requiera, una forma de solucionar esto es incorporando un transistor (de potencia) como se muestra en la Fig. 6.6. En esta configuración, la corriente que absorbe el diodo zener no es la que no quiere la carga I_L , sino la que no desea la base del transistor. Note que la corriente de carga es la corriente que circula de colector a emisor, luego $I_L = bI_B$. Esto implica que:

$$I_{Lmax} = bI_{Bmax}$$

Entonces el valor máximo que podría circular por la base del transistor es una fracción de la corriente I_{Lmax} dividida por el b del transistor. Luego en el caso en que la carga no requiera toda la corriente, por el zener sólo podría circular como máximo una fracción de la corriente de la base.

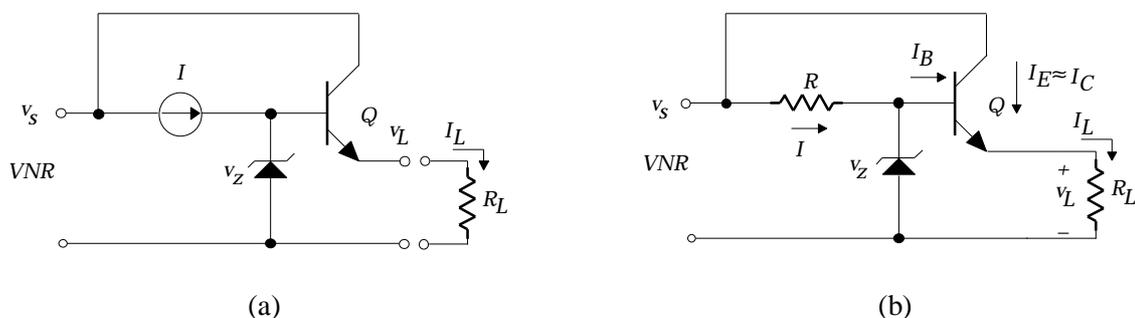


Figura 6.6. (a) Regulador Básico con Transistor de potencia. (b) Configuración práctica.

El circuito funciona de la siguiente forma:

☞ La tensión de salida v_L debe mantenerse fija ante variaciones de la corriente de carga (sólo bajo el rango de diseño considerado).

☞ El diodo zener proporciona la referencia de voltaje al cual debe permanecer el regulador, v_Z . Por lo tanto siempre debe estar polarizado adecuadamente, por lo menos debe circular I_{zmin} .

Si existe un incremento de la corriente de carga I_L (por disminución de R_L), esto implica una disminución del voltaje v_L , entonces el voltaje aplicado $v_{be} = v_Z - v_L$ aumenta, lo que lleva a un incremento de la corriente de base. Finalmente aumenta la corriente de colector, restaurándose del v_L original.

Si existe un disminución de la corriente de carga, crece v_L , luego disminuye I_B , lo que lleva a una disminución de la corriente de carga I_L , disminuyendo v_L .

La resistencia R debe diseñarse para que por el diodo zener circule la corriente mínima necesaria para que se polarice adecuadamente. Además, I_{Bmax} proporciona la corriente de carga máxima (I_{Lmax}).

De acuerdo a esto

$$I = I_{zmin} + I_{Bmax}$$

$$R = \frac{v_{smin} - v_Z}{I_{zmin} + I_{Bmax}}$$

Donde

$$R = \frac{v_{smin} - v_Z}{I_{zmin} + I_{Bmax}} = \frac{v_{smin} - v_Z}{I_{zmin} + \frac{I_{Lmax}}{b}} = \frac{v_{smax} - v_Z}{I_{zmax} + \frac{I_{Lmin}}{b}}$$

En la práctica se puede considerar $I_{zmin} = 0.1 I_{zmax}$, luego

$$I_{zmax} = \frac{I_{Lmin}(v_Z - v_{smin}) + I_{Lmax}(v_{smax} - v_Z)}{b(v_{smin} - 0.1 v_{smax} - 0.9 v_Z)}$$

Esta ecuación es similar a la planteada en el apartado anterior para el regulador simple, salvo que I_{zmax} está dividido por b .

El transistor utilizado de cumplir con los requerimientos de potencia adecuados y la corriente máxima que es capaz de entregar.

La potencia disipada en un transistor BJT se define como:

$$P_D = I_B V_{BE} + I_C V_{CE} \approx I_C V_{CE}$$

De acuerdo a lo planteado

$$(v_{smax} - v_L) I_C < P_D$$

La diferencia entre el voltaje entrada máximo y el voltaje de la carga multiplicada por la corriente de colector no debe superar la potencia del transistor. Por otro lado, la corriente que circula entre colector y emisor NO debe superar la corriente máxima que es capaz de entregar el transistor.

☞ EJEMPLO 6.2.

Diseñe el siguiente regulador serie para 12 volts y 2A, seleccione además el transistor adecuado para dicha corriente. Suponga un voltaje no regulador de 15 ± 2.5 volts.

Resolución

El requerimiento de corriente amerita el uso de un transistor de potencia. Para este ejemplo usaremos un 2N3055. El 2N5242B, es un zener de 12 volts, con $I_z=20\text{mA}$, y además tiene un $P_D=500\text{mW}$.

$$P_D = V_z I_{Z_{max}} = 500[\text{mW}] = 12[\text{v}] I_{Z_{max}}$$

$$I_{Z_{max}} = \frac{500[\text{mW}]}{12[\text{v}]} = 41.6[\text{mA}]$$

Luego, considerando $I_{Z_{max}} = 10 I_{Z_{min}}$

$$I_{Z_{min}} = \frac{41.6[\text{mA}]}{10} = 4.16[\text{mA}]$$

Necesitamos conocer el h_{FE} del transistor para poder diseñar la fuente de corriente (el valor de R). Si se revisan los datos se puede elegir el valor mínimo $h_{FE}=40$, con esto nos aseguramos que al menos debe entregar la corriente solicitada.

$$R = \frac{V_{s_{min}} - V_z}{I_{Z_{min}} + I_{B_{max}}} = \frac{12.5 - 12}{4.16\text{mA} + \frac{2}{40}} = 9.23 [\Omega]$$

Como la diferencia de potencial en la resistencia es pequeña y la corriente es pequeña, la potencia no es grande (determine el valor). Otro elemento importante es saber cuanto voltaje es capaz de soportar el transistor entre colector y emisor. Un buen ejercicio consiste en determinar dicho voltaje. Evalúe la potencia del transistor. Recalcule todo, considerando que el voltaje no regulado es 25 ± 3 volts.

TAREA 6.2

Estudiar las características de los Transistores de potencia. ¿Qué significan cada uno de los parámetros que salen en la hoja de especificaciones del transistor? ¿Qué es la llamada SAO o Safe Area Operating?

Adicionalmente pueden plantearse dos configuraciones alternativas de reguladores serie.

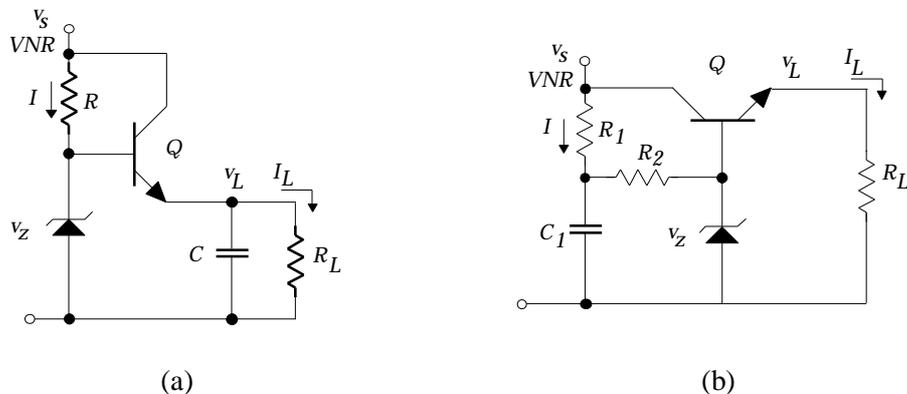


Figura 6.7. Reguladores Serie alternativos.

Las ecuaciones que describen el comportamiento del circuito mostrado en la Fig. 6.7a son las mismas que las usadas para el regulador de la Fig. 6.6b.

Para el circuito de la Fig. 6.7b tenemos que se se considera un condensador C_1 para lograr que el voltaje en ese punto sea constante (sin oscilación), para así tener por R_2 una corriente constante. Por lo general se diseña R_1 y R_2 de acuerdo a

$$R_1 + R_2 = \frac{V_{smin} - V_z}{I_{zmin} - I_{Bmax}}$$

Por lo general se hace $R_1=R_2$.

El voltaje en la base del transistor se mantiene fijo a través de la caída en el diodo zener. Cuando es requerida una mayor cantidad de corriente de salida, se puede utilizar un par **Darlington** como **transistor regulador**.

Regulador Básico Realimentado

Los reguladores mostrados no son adecuados cuando se requiere una tensión de salida extremadamente precisa, dado que:

- ☞ La tensión de salida es establecida por el diodo zener, luego no existe posibilidad de ajuste.
- ☞ Los circuitos revisados no tienen ningún tipo de control interno para que cuando la tensión de salida disminuya o aumente por cualquier causa, se produzca un proceso de realimentación que permita que la tensión permanezca constante. A continuación se muestra un diagrama de bloques de un regulador realimentado.

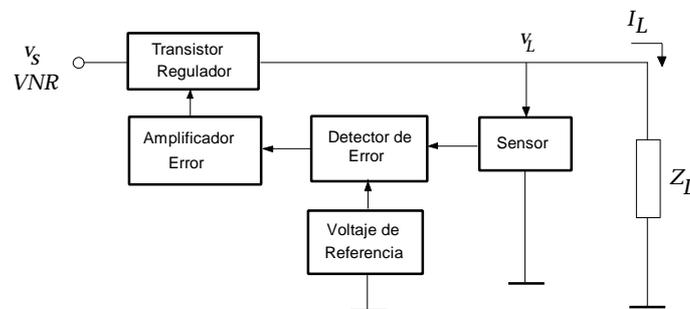


Figura 6.8. Regulador básico Realimentado.

Este regulador funciona como sigue:

Supongamos que por cualquier causa la tensión de salida tiende a aumentar (disminuir), la salida del sensor aumenta (disminuye), luego la salida del detector de error disminuye (aumenta), luego esta salida es amplificada por el detector de error y es transmitida por el transistor regulador a la salida, que consecuentemente decrece, finalmente la salida del regulador tiende a mantenerse constante.

Los bloques Transistor regulador, sensor y tensión de referencia permanecen prácticamente inalterados de un circuito regulador a otro. La principal diferencia entre estos circuitos es el amplificador de error, el que puede implementarse con un transistor, un par diferencial o un amplificador operacional.

El circuito de la Fig. 6.9, es un regulador realimentado con componentes discretos sin limitador de corriente.

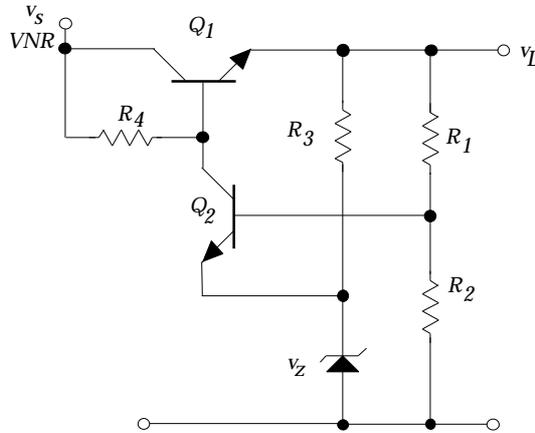


Figura 6.9. Regulador práctico Realimentado.

Si v_L disminuye, debido a un aumento de la corriente requerida, entonces el voltaje de la juntura b-e de Q_2 disminuye, haciendo que la corriente en el colector de Q_2 disminuya, es decir, extrae menos corriente de la base de Q_1 , permitiendo así que un porcentaje más grande de la corriente que circula por R_4 excite a Q_1 (en la base), activándolo más en el estado de conducción.

Limitador de corriente

Establece una realimentación negativa cuando la corriente de carga sobrepasa la máxima especificada por el regulador, manteniendo la corriente de carga constante aun cuando la resistencia de carga sea menor al mínimo requerido por las especificaciones del regulador. En esta última situación el circuito ya no funciona como regulador, puesto que la tensión de salida no puede permanecer constante, sino que decrece conforme la resistencia de carga disminuye.

Cuando la corriente de carga excede el máximo permitido, se genera una caída de tensión en la juntura b-e de Q_2 , logrando que dicho transistor conduzca, luego disminuye la corriente que excita la base de Q_1 , haciendo que la corriente de carga disminuya. Luego R debe diseñarse de tal forma que cuando la corriente de carga aumente en forma excesiva, el transistor Q_2 comience a conducir.

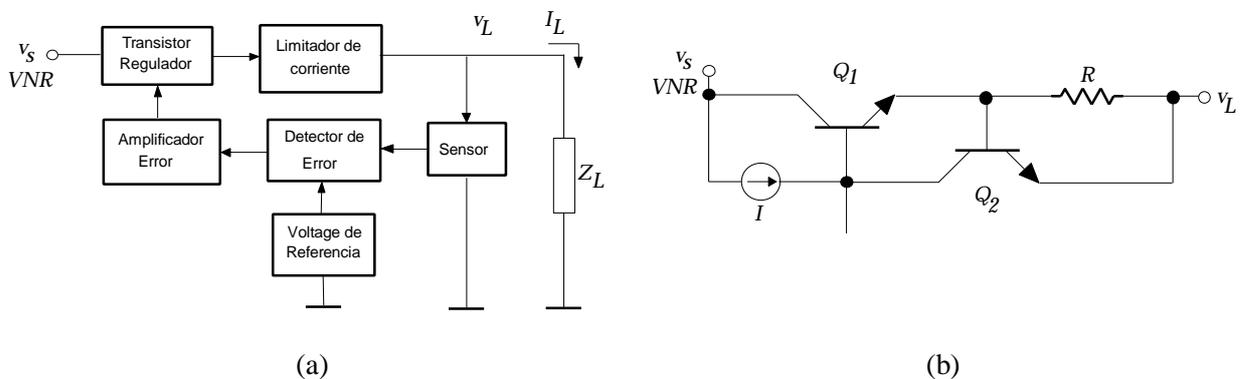


Figura 6.10. (a)Diagrama de bloques de regulador realimentado con limitador de corriente.(b)Circuito limitador de corriente.

La resistencia R se diseña de acuerdo a la siguiente relación

$$R = \frac{V_{BE} \parallel Q_2 \parallel I_{Lmax}}{I_{Lmax}}$$

Esto asegura que Q_2 comienza a conducir cuando la corriente de carga sobrepasa el máximo permitido.

Reguladores Realimentados Utilizando AO

La configuración a nivel de bloques de un regulador con AO es idéntica la de un regulador con componentes discretos, sólo cambia la etapa de detección y amplificación de error, la cual es realizada por el AO.

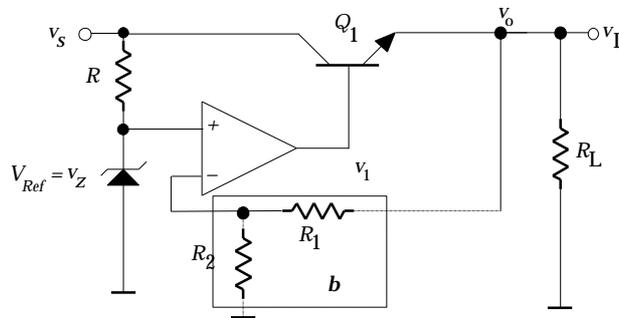


Figura 6.11. Regulador Realimentado usando AO.

Para diseñar este regulador en forma apropiada debemos como mínimo tener la referencia adecuada (proporcionada por el zener) y una red apropiada de realimentación b . El funcionamiento es idéntico a cualquier regulador realimentado. En la fig. 6.11 el bloque b es simple divisor de tensión, note que en este caso se está comparando y sensando tensión a la vez. La diferencia de tensión excitará al transistor Q_1 .

$$v^+ = v_o \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$v^- = V_{ref}$$

Entonces

$$v_o = \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right) V_{ref}$$

Note que la tensión de salida puede ser mayor que la referencia, habitualmente se diseña R_1 y R_2 , conociendo la tensión en la salida y el tipo de zener con el cual se va a trabajar. La resistencia R se diseña para la peor condición, es decir v_{smin} y I_{Lmax} . El transistor se elige de acuerdo a la corriente necesaria requerida. Note que el transistor está siempre en zona activa. Si se necesita más corriente se puede usar un par Darlington y además puede agregarse un limitador de corriente como se muestra a continuación.

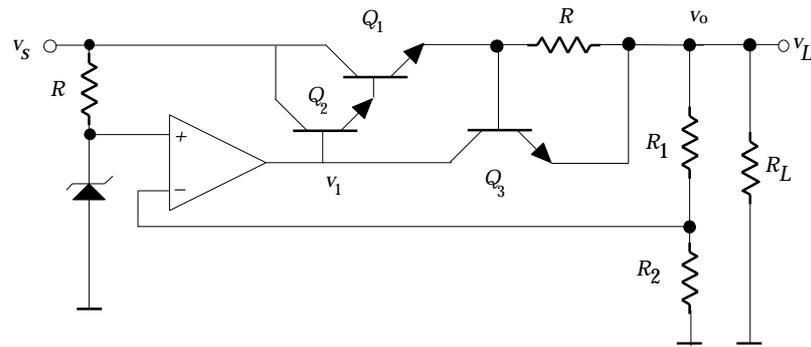


Figura 6.12. Regulador de voltaje con AO, par Darlington y limitador de corriente.

TAREA 6.3.

Analizar el circuito de la Fig. 6.12 y determinar su funcionamiento. Elaborar un método para realizar el diseño. Diseñe para 12 [volts], 3[A]. Considere que tiene un transformador de 220/15 de 70 watts

6.4 REGULADORES INTEGRADOS (CI ´S)

En la actualidad existe gran variedad de circuitos inetrados (CI) reguladores, de características fijas o ajustables, los cuales son muy versátiles, de fácil uso y de bajo costo. El diagrama de la Fig.6.13 corresponde a un circuito integrado monolítico (muy simplificado) de la serie 78XX, el cual es una familia de reguladores positivos de valores fijo, note que es un circuito realimentado y con limitador de corriente, además tiene una salida en emisor común, para proveer más corriente.

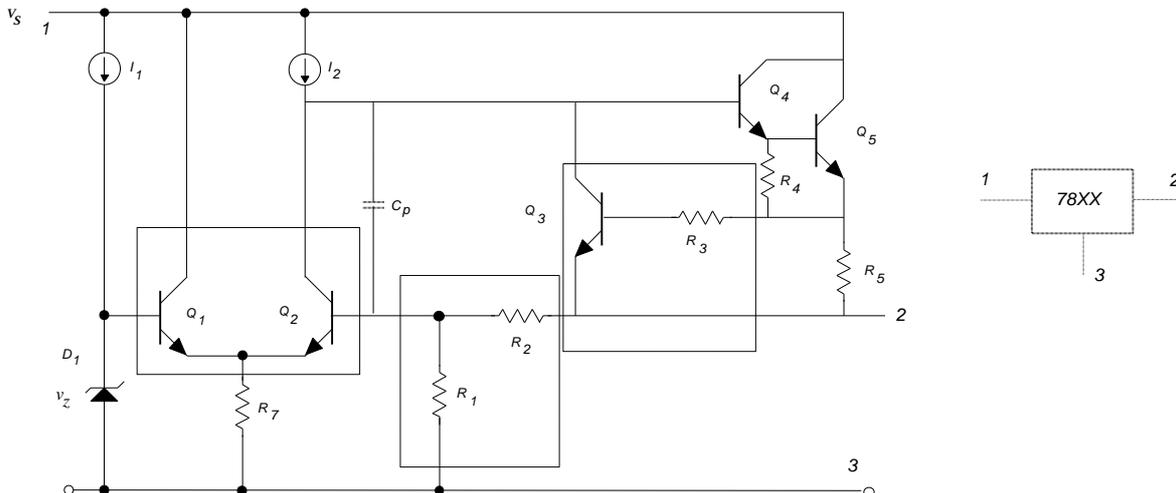


Figura 6.13. Esquema de un Regulador Integrado simplificado (78XX).

Este regulador posee un amplificador diferencial (Q_1 y Q_2) que compara el voltaje de zener con el voltaje proporcionado por el par R_1 - R_2 .(que es la red de realimentación). Los transistores Q_4 y Q_5 forman el transistor regulador. La etapa de protección contra sobre corriente es realizada por Q_3 y la resistencia R_5 . El funcionamiento es exáctamente igual que el de un regulador de voltaje realimentado.

Las fuentes de corriente I_1 e I_2 proveen la polarización adecuada tanto para D_1 , como para el amplificador diferencial. En este diagrama el zener sólo representa una referencia, habitualmente este circuito puede ser más complejo. El voltaje de entrada (no regulado) ingresa entre los terminales 1-3 y el voltaje de salida se obtiene entre los terminales 2-3. La tensión de salida depende de la relación de las resistencias R_1 - R_2 de la forma

$$v_L = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) v_z$$

Para determinar esta expresión, podemos ignorar Q_3 , pues no estará activo mientras no circule una corriente mayor a la corriente máxima en la salida. La caída de tensión en R_5 puede considerarse despreciable (¿Por qué?), luego la tensión en la base de Q_2 es:

$$v_{bQ2} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) v_L$$

Puede considerarse ese valor pues, el amplificador diferencial debiera tener una resistencia de entrada muy alta. El mayor o menor voltaje de diferencia hará que por el colector de Q_2 circule mayor o menor corriente, esto implica que la corriente de base de Q_4 , aumentará o disminuirá si el voltaje aplicado en la base de Q_2 baja o sube.

El transistor Q_3 con la resistencia R_3 forman el limitador de corriente.

TAREA 6.4.

Demostrar que el voltaje de salida depende de R_1 , R_2 y v_z

Especificando reguladores integrados

Existen 5 tipos de reguladores lineales básicos: Positivo, negativo, salida fija, "tracking" (seguimiento) y salida flotante. Cada uno de ellos tiene su característica y uso especial, pero su selección dependerá de las necesidades del diseñador, prestaciones y costo.

Reguladores positivos y negativos:

En la mayoría de los casos los reguladores positivos son usados para regular tensiones positivas (idem para los reguladores negativos), sin embargo, dependiendo de los requerimientos de tierra del sistema cada regulador puede ser usado para tensiones opuestas a las diseñadas.

Reguladores de 3 terminales con salida fija:

Son muy simples de usar y muy baratos, se encuentran disponibles para distintos valores de voltaje, tanto positivos como negativos. Tienen las siguientes ventajas: Fácil uso, protección interna contra corriente, no requiere circuitos adicionales para el ajuste, bajo costo. Sus desventajas son: Su salida no puede ser ajustada con precisión, disponibles sólo para algunos valores de salida de voltaje y corriente, la obtención de grandes corrientes en la salida es más difícil de obtener con este tipo que al usar otros reguladores.

Serie del Regulador	Función
78XX	Reguladores positivos Fijos

79XX	Reguladores negativos fijos
LM317	Regulador Ajustable positivo
LM337	Regulador Ajustable negativo

Tabla 6.1. Ejemplos de reguladores integrados.

Reguladores de 3 terminales con salida ajustable:

Al igual que los anteriores son muy simples de usar, son flexibles y sus rangos de voltaje pueden variar entre 1.2 a 40 volts mediante la incorporación de dos resistencias externas. También existen para diferentes rangos de corrientes (por lo general entre 100mA a 3.0A).

Seleccionando un Regulador Integrado

Una vez decidido el regulador, el siguiente paso es especificarlo. Para suministrar corrientes mayores a las que usualmente entregan los reguladores monolíticos (CI), se requerirá de lo que usualmente se llama un *Boost Transistor*. Esto puede complicar las tareas de diseño y además pueden existir muchas alternativas y soluciones.

Desafortunadamente no existe una receta que explique paso a paso como determinar cual es el regulador exacto para una determinada aplicación. El circuito que resulte, deberá estar de acuerdo a un compromiso de los siguientes parámetros: Rendimiento, costo, tamaño y complejidad.

El siguiente procedimiento puede ser sugerido:

1. Seleccione un regulador que exceda sus requerimientos, para regulación de línea y para regulación de carga, *TC* (Temperature Coeficient) del voltaje de salida y rangos de temperatura ambiente. Debe considerar también las capacidades del regulador desde el punto de vista de voltaje de salida, corriente de salida, *SOA* (*Safe Operation Area*) y sus características especiales.
2. Seleccione el circuito de acuerdo a los requerimientos adoptados. Realice los diseños preliminares de acuerdo a las configuraciones elegidas. En base a parámetros como costo, complejidad y tamaño elija la más adecuada.

Consideraciones de elementos de paso serie para reguladores lineales

La mayoría de los reguladores integrados de voltaje (CI) manejan rangos de corriente entre 100mA y 3.0 A. Si es requerida una corriente más grande o el regulador no posee una área de seguridad de operación (*SOA*, *safe operating area*), es necesaria la incorporación de elementos de paso adicionales. En este apartado se muestran y analizan diferentes configuraciones, especificaciones, técnicas para limitar la corriente que deben ser consideradas para elementos externos de paso.

Usando transistores PNP

Si el CI regulador no tiene sensor de carga externa, puede ser usada la siguiente configuración

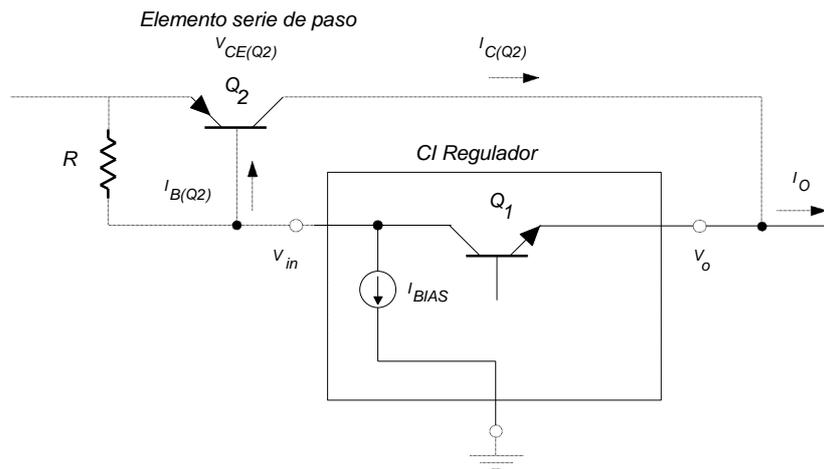


Figura 6.14. Elemento de paso serie usando un transistor PNP.

La resistencia R proporciona la corriente de polarización (I_{BIAS}) para el regulador integrado, en conjunto con la corriente de la base de Q_2 . Si ésta resistencia no es incluida, la regulación se perderá para bajas corrientes de salida (R es una pequeña fuente de corriente). El valor de R debe ser lo suficientemente bajo como para no afectar el funcionamiento del regulador en operación normal, sin embargo, cuando la corriente máxima es requerida, la caída de voltaje en la base de Q_2 , lo hace conducir, proporcionando una corriente adicional, la cual incrementa I_o .

El valor de R esta dado por

$$0 < R \leq \frac{V_{BEon}(Q_2)}{I_{BIAS}}$$

Especificando los elementos de paso

Independiente de la configuración utilizada, el o los transistores utilizados como elementos de paso deben tener los valores adecuados para satisfacer I_{Cmax} , V_{CEO} , hfe , disipación de potencia y SOA.

Para algunos transistores existen ciertas combinaciones para I_C y V_{CE} en las cuales pueden operar con seguridad. Si se realiza la grafica I_C v/s V_{CE} se obtiene la llamada SOA.

$I_{C(max)}$

$$I_{C(max)(Q_2)} \geq I_{O(max)} + I_{B(max)(Q_2)}$$

V_{CEO}

V_{CE} es igual a $v_{in1(max)}$ cuando la salida está en cortocircuito o durante la partida.

$$V_{CEO(Q_2)} \leq V_{in1(max)}$$

hfe

La mínima ganancia de corriente continua (DC) está dada por

$$hfe_{(min)(Q_2)} \geq \frac{I_{C(max)(Q_2)}}{I_{B(max)(Q_2)}} @ V_{CE} = (V_{in1(min)} - V_o)$$

Para algunos transistores existen ciertas combinaciones de V_{CE} e I_C para las cuales el transistor opera en forma segura, si se realiza el gráfico de V_{CE} e I_C , es posible obtener la región de llamada SOA (*Safety Operating Area*).

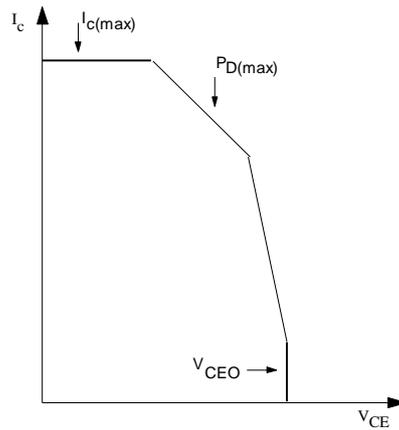


Figura 6.14. SOA, Area de operación segura de un Transistor de potencia (logaritmo).

TAREA 6.5.

Investigue acerca de la curva de la figura 6.14. ¿Qué es V_{CE0} ?

Técnicas de limitación de corriente

Para estos reguladores, al igual que los construidos enteramente con componentes discretos, es posible diseñar algunos limitadores de corriente muy sencillos.

El diseño de R_{SC} dependerá de la máxima corriente que se requiera del regulador, se diseña para que entre los terminales $b-e$ de Q_3 se apliquen 0.6 volts

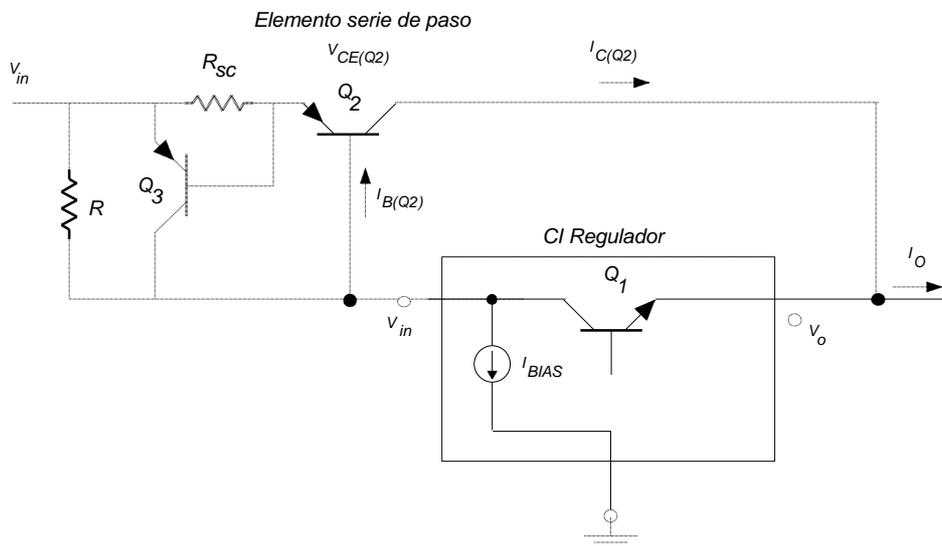


Figura 6.15. Circuito regulador con protección de sobre corriente.

$$I_{SC} = \frac{V_{BEon(Q3)}}{R_{SC}}$$

6.5. CÁLCULO DE LOS CONDESADORES

Para realizar el cálculo de los condensadores que sirven de filtro, hay que considerar si el tipo de rectificador es de media onda o de onda completa. Los condensadores de filtrado, se encuentran ubicados por lo general entre el rectificador y el regulador.

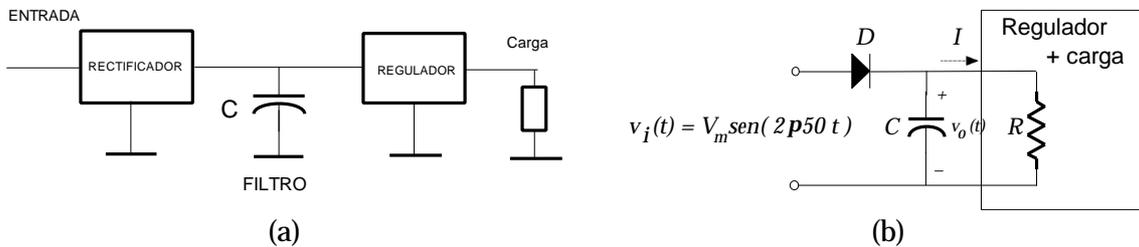


Figura 6.15. (a) Ubicación del Filtro. (b) Rectificador de media onda

Cuando el condensador C es sometido a una señal proveniente de un rectificador de media onda, el condensador se cargará de acuerdo a la señal, sin embargo, una vez que el diodo deja de conducir, el condensador se descarga, hasta que nuevamente el diodo conduzca.

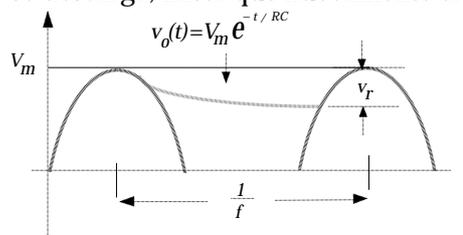


Figura 6.16. Descarga del condensador en un rectificador de media onda

Esta variación del voltaje en el condensador es el ripple producido. Esta variación dependerá de la corriente requerida I . Si la constante de tiempo RC es muy grande comparada con el periodo de señal de entrada, el ripple producido será pequeño, en cambio si RC es pequeño, la descarga será más rápida. Cuando la constante de tiempo es grande se puede aproximar la corriente media a V_m/R .

En un diseño típico se puede considerar que el voltaje continuo es aproximadamente igual a V_m . Tomando en cuenta la corriente máxima requerida, se puede estimar el valor de R .

Ahora, si se especifica el ripple, es posible determinar el valor de C considerando que la variación de la Carga, estará determinada por la variación de voltaje en el capacitor, es decir del ripple, v_r .

$$\Delta Q = C\Delta v = Cv_r$$

Considerando que la variación de la carga ocurre en un tiempo igual al periodo de la señal del rectificador

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{Cv_r}{1/f}$$

La variación de carga en el tiempo corresponde a la corriente media requerida

$$I = \frac{Cv_r}{1/f}$$

Finalmente

$$C = \frac{I}{fv_r} = \frac{V_m}{Rfv_r}$$

¿Cómo se diseña el condensador para una determinada situación?

Conociendo los valores de la corriente requerida y el voltaje aplicado, V_m , se puede determinar R . Por otro lado, se debe especificar el ripple requerido.

Ejemplo 6.3.

Sea el voltaje máximo igual a 12 [volt] RMS y la corriente requerida de 100 [mA], considerando la caída en el diodo de 0.7 volts, el voltaje máximo al cual estará sometido el condensador será de

$$V_m = 12\sqrt{2} - 0.7 \approx 16.27 \text{ [volts]}$$

Luego, calculando R

$$R = \frac{V_m}{100[mA]} = \frac{16.27[\text{volts}]}{100[mA]} = 162[\Omega]$$

Considerando ahora un ripple de 2 [volts] y como la frecuencia de la red corresponde a los 50 [Hz], entonces

$$C = \frac{16.27}{162(50)^2} = 999[\text{mF}] \approx 1000[\text{mF}]$$

Lo que parece un valor aceptable si se quiere tener un ripple de cerca del 9%, ahora si la corriente requerida fuera menor, por ejemplo 25 [mA], manteniendo el ripple, se determina un valor para el condensador de

$$C = \frac{16.27}{860(50)^2} = 250[\text{mF}]$$

El que se aproxima a un valor estándar de 330 [μF]

Si la corriente requerida es mayor, evidentemente el valor de R disminuye, haciendo que el valor de C se más grande para mantener el ripple. Por ejemplo, si la corriente requerida igual a 1[A], entonces la capacidad aumenta 10000 [μF]. Si el ripple requerido es más pequeño, entonces, C debería ser más grande. Considere que se está trabajando con un rectificador de media onda.

Para un rectificador de onda completa, La frecuencia de la señal rectificada corresponderá al doble de la señal de entrada , luego

$$C = \frac{V_m}{2Rfv_r}$$

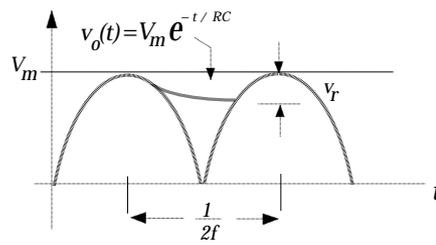


Figura 6.17. Descarga del condensador en un rectificador de onda completa.

Para el ejemplo 6.3 planteado, los valores de las capacidades se verán reducidos a la mitad, es decir considerando un voltaje en la entrada del rectificador de 12 RMS el voltaje en el condensador será de

$$V_m = 12\sqrt{2} - 1.4 \approx 15.57 \text{ [volts]}$$

Luego, si el ripple es de 2 [volts] y la corriente requerida es de 100mA, entonces la capacidad calculada será de 500 [μF], lo que en la práctica se puede aproximar a 470 [μF]. Ahora, considerando una corriente de 1[A], la capacidad es de 5000 [μF], lo que se puede aproximar a 4700 [μF].

Es posible pensar que mientras más grande la capacidad, menor será el ripple, esto implica que la constante de tiempo RC será más grande y la carga del condensador debiera ser más lenta. Por otro lado, si la capacidad es muy grande la impedancia equivalente es muy pequeña, luego al estar en paralelo con R la corriente se incrementará demasiado pudiendo producir la destrucción de los diodos, si el transformador es de gran potencia. El instante en el cual se produce el incremento de la corriente es cuando el condensador se empieza a cargar, si este proceso es lento, los diodos estarán sometidos a una alta corriente demasiado tiempo.

La pregunta que surge es ¿Porqué elegir un ripple de 2 volts? La situación considerada sólo corresponde a un ejemplo de cálculo. En la práctica, la elección del ripple debe considerar primero, el voltaje y la corriente requerida en la carga, y luego el voltaje mínimo requerido por el regulador que permita mantener el voltaje y la corriente necesaria en la salida. De esta forma en un regulador con componentes discretos, el ripple debe ser tal que el $v_{s\text{min}}$ sea suficiente para que el regulador funcione.