

Capítulo 3

Unidad de Potencia

Una fuente de alimentación de corriente directa *cd* convierte la energía de una línea de corriente alterna *ca* en corriente continua ó directa, que es una voltaje constante a un valor deseado. La energía de entrada de *ca* es rectificada primeramente para proporcionar una *cd* pulsante y luego filtrada para producir una voltaje semiestable. Finalmente, el voltaje puede regularse para mantener un nivel de salida constante a pesar de las fluctuaciones de la tensión de línea o de la carga del circuito. La rectificación, el filtrado y la regulación en una fuente de alimentación de *cd* se muestra en la figura 3.1.



Figura 3.1 “Diagrama a bloque de una fuente regulada”

3.1 Rectificación

El circuito rectificador más adecuado para una aplicación depende de los requerimientos de voltaje y corriente de *cd*, de la magnitud de la ondulación que puede tolerar el circuito y del tipo de energía de *ca* disponible. La forma de onda ideal de voltaje debe ser lo más plana posible (acercándose a una *cd* casi pura), la rectificación se clasifica ya sea como de media onda o de onda completa.

3.1.1. Rectificación de media onda.

El rectificador de media onda generalmente es usado para aplicaciones de baja corriente, o de alta frecuencia, ya que requiere un filtrado mayor para mantener el voltaje de *cd* que un rectificador de onda completa. La figura 3.2 (a) muestra un circuito rectificador de media onda simple. Cuando el voltaje de entrada es positivo, el diodo está polarizado directamente y es posible sustituirlo por un corto circuito (suponiendo que el diodo sea ideal), por el lado contrario, si el voltaje de entrada es negativo, el diodo está polarizado en forma inversa, y puede sustituirse por un circuito abierto.

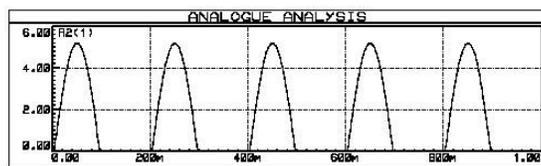
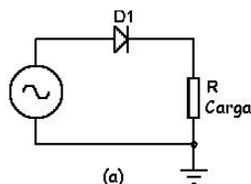
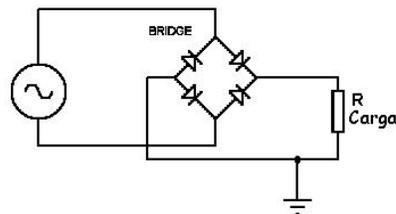


Figura 3.2 (a) “Rectificador de media onda”
(b) “Voltaje de salida de *cd*”.

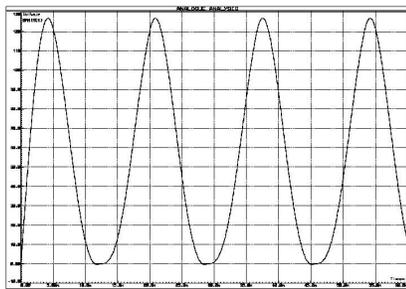
Como se muestra en la figura 3.2 (b) el rectificador de media onda simple no posee una buena aproximación a un voltaje de cd constante a la salida de su forma de onda; posee un factor de rizado significativamente elevado, lo que significa que tiene más componentes de tensión de ca en su salida que componentes de tensión de cd.

3.1.2. Rectificación de onda completa.

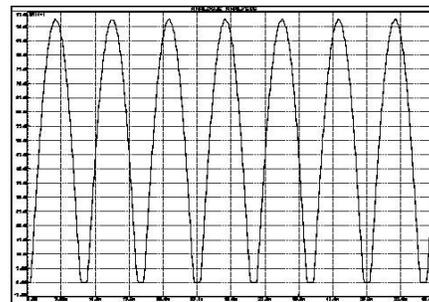
El circuito puente de onda completa transfiere energía de la entrada a la salida durante ambas mitades del ciclo de entrada, como se muestra en la figura 3.3(b) emplea cuatro diodos rectificadores. Es utilizado para exponer a cada diodo individual a la mitad de la tensión inversa de pico para la misma tensión de salida. A través de cada rectificador circula sólo el 50 % de la corriente total.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.2.a "Voltaje de entrada de ca", 3.2.b "Voltaje de cd pulsante"

3.2 Filtrado

Las etapas de filtrado se utilizan generalmente para suavizar la ondulación de ca (voltaje de rizo) a la salida de un circuito rectificador está suavización de la onda se conoce como voltaje de rizo. Los filtros pueden ser de dos tipos básicos: de entrada a choke inductivo y de entrada capacitiva figura 3.3.

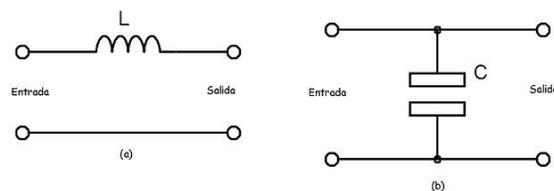


Figura 3.3 (a) "Entrada a choke inductivo" (b) "Entrada capacitiva"

El más simple de estas etapas de filtrado es la de entrada capacitiva, este tipo de filtrado se emplea comúnmente en circuitos de baja corriente en los cuales se puede tolerar un voltaje de rizo bastante grande. Una capacitancia grande reduce el voltaje de rizo pero se debe tener cuidado ya que el rectificador se calienta a causa de las excesivas corrientes eficaces y de pico, esto es, el capacitor se carga hasta aproximadamente el pico de la tensión de entrada en cada semiciclo de conducción del rectificador. La corriente que se dirige a la carga es suministrada entonces por el capacitor, y no por la fuente de alimentación, hasta que la tensión de entrada vuelva a ser igual a la tensión existente a través del capacitor en el semiciclo siguiente. En la figura 3.3 se muestra esta configuración.

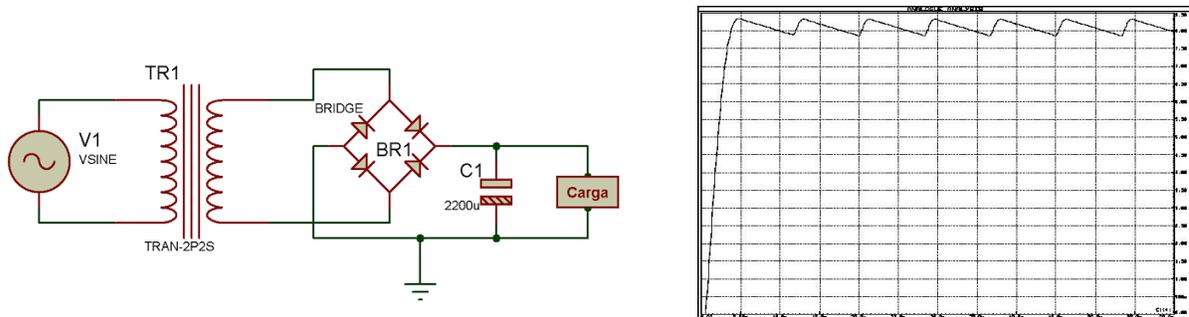


Figura 3.3.a “Fuente de alimentación de *cd* no regulada” 3.3.b “Variación del voltaje de carga de *cd* a plena carga”

3.3 Porcentaje de regulación

Una forma de caracterizar el funcionamiento de una fuente de alimentación de *cd* es mediante el porcentaje de regulación de voltaje para ello, se mide el voltaje sin carga y el voltaje a plena carga de la fuente.

$$\% \text{ de regulación de voltaje} = \frac{V_{cd \text{ NL}} - V_{cd \text{ FL}}}{V_{cd \text{ FL}}} \times 100 \quad (\text{Ec.3.1})$$

$V_{cd \text{ NL}}$: Voltaje de corriente directa sin carga.

$V_{cd \text{ FL}}$: Voltaje de corriente directa a plena carga.

La fuente de alimentación no regulada tiene dos características indeseables: al aumentar el consumo de corriente en la carga, el voltaje de *cd* disminuye mientras que el voltaje de rizo de *ca* aumenta. Para atenuar estas desventajas se añade una sección de regulación de voltaje y por lo tanto se convierte en una fuente regulada de voltaje.

3.4 Regulación

La regulación de una fuente de alimentación de *cd* se efectúa generalmente mediante algún tipo de circuito realimentado que detecta cualquier variación en la salida de *cd* y desarrolla una señal de control para anular esta variación. En consecuencia, la salida se mantiene casi constante.

3.4.1. Reguladores de voltaje Lineales

Los reguladores de voltaje integrados se clasifican de acuerdo con cuatro características:

1. Polaridad: negativa, positiva o bipolares.
2. Cantidad de terminales: tres terminales o varias terminales.
3. Voltaje de salida fijo o variable.
4. Corriente de salida: el valor de las corrientes de salida varia desde 0.1 hasta 3 A.

3.4.2. Características comunes

El voltaje instantáneo de entrada de un regulador integrado siempre debe exceder al voltaje de salida de CD, por una cantidad que por lo general va de 0.5 a 3 V como mínimo. A esta condición se la conoce como voltaje instantáneo mínimo de entrada- salida, voltaje de caída.

Aunque se puede obtener un $V_{cd FL}$ con un valor bastante alto para lograr así un margen amplio, hay que tener en cuenta que el calor disipado por el regulador en el peor de los casos es P . Un $V_{cd FL}$ mayor disipa más calor en el regulador.

$$P=I_{L FL}(V_{cd FL}- V_{O reg}) \quad (\text{Ec. 3.2})$$

$V_{cd FL}$: Voltaje de corriente directa a plena carga.

$I_{L FL}$: Corriente de carga a plena carga.

$V_{O reg}$: Voltaje de salida del regulador.

La parte de voltaje de referencia del regulador es en realidad lo que determina la calidad de la etapa de regulación. Cualquier inestabilidad, ruido o variación térmica de la referencia repercutirá directamente en la salida.

Los circuitos internos de estos dispositivos cuentan con diferentes etapas de seguridad que evitan la falla del regulador apagándolo. Al eliminar la falla, el regulador vuelve a trabajar.

1. **Limitación de corriente:** constituye el control contra cortos, si se rebasa un valor determinado de la corriente de carga, se limita automáticamente la corriente de salida hasta que se elimina la sobrecarga.
2. **Área de seguridad:** mide la diferencia del voltaje y de la corriente de entrada y de salida para comprobar que no exista ninguna combinación no permitida reaccionando ante un excesivo diferencial de entrada/salida.
3. **Límite térmico:** mide la temperatura para verificar que cuentan con una adecuada disipación de calor evitando temperaturas demasiado altas en la unión.

3.5 Driver de la corriente de salida

Muchas aplicaciones requieren suministros de corriente superiores a la capacidad de los reguladores de tres terminales. El empleo de transistores serie externos como los que se muestran en las figuras 3.5(a) y 3.5(b) permite incrementar sustancialmente la intensidad de corriente de salida.

La figura 3.5(a) muestra la configuración básica, mientras que en la figura 3.7(b) se añade una protección de cortocircuito para el transistor serie externo.

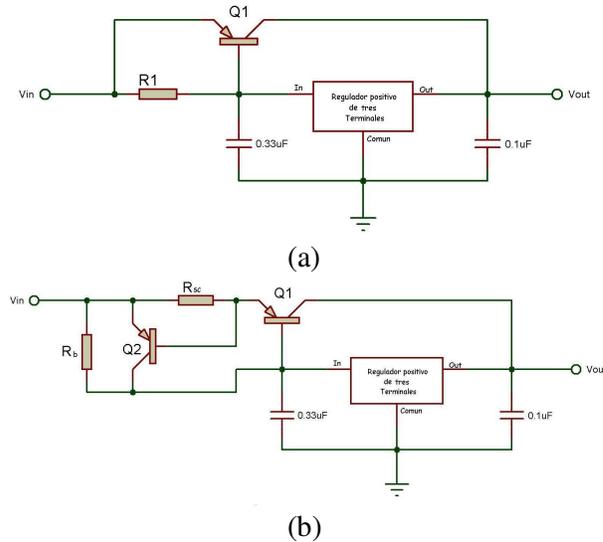


Figura 3.4 “Transistores externos para incrementar la corriente de salida. a) Transistor serie simple; b) elevador de corriente con protección de cortocircuito.”

El valor de R_b establece el punto en el que el transistor externo comienza a conducir y se obtiene de

$$i_{R_1} = i_{R_{e g}} - i_b \quad (\text{Ec. 3.3})$$

$$V_{BE_{Q_1}} = R_1 \cdot i_{R_1} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

$$V_{BE_{Q_1}} = R_1 \cdot (i_{R_{e g}} - i_b) \quad (\text{Ec. 3.5})$$

$$i_c = \beta \cdot i_b \quad (\text{Ec. 3.6})$$

$$R_b = \frac{V_{BE(ON)_{Q_1}}}{I_{reg(max)} - \frac{I_{sal}}{\beta_{Q_1}}} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

$$I_{sal(max)} = \beta_{Q_1} \left(I_{reg(max)} - \frac{V_{BE(ON)_{Q_1}}}{R_b} \right) \quad (\text{Ec. 3.8})$$

La intensidad de corriente de cortocircuito está determinada por R_{sc} y el voltaje base emisor de Q_2 .

$$R_{sc} = \frac{V_{BE(ON)_{Q_2}}}{I_{sc}} \quad (\text{Ec. 3.9})$$

3.6 Interruptor Electrónico

Una aplicación básica de los transistores es ser usados como interruptores electrónicos para el control de corriente en una carga externa. Hay dos formas de conectar la carga, como se muestra en la figura 3.5. Cuando la carga es colocada en derivación con el transistor, una resistencia R_c es conectada en serie entre la red paralela y la fuente de voltaje. Cuando el interruptor esta en corte (OFF), la corriente fluye a través de la carga y la resistencia R en serie. Cuando el transistor esta saturado (ON), la carga es cortocircuitada y la corriente esta dirigida desde la carga a través del transistor.

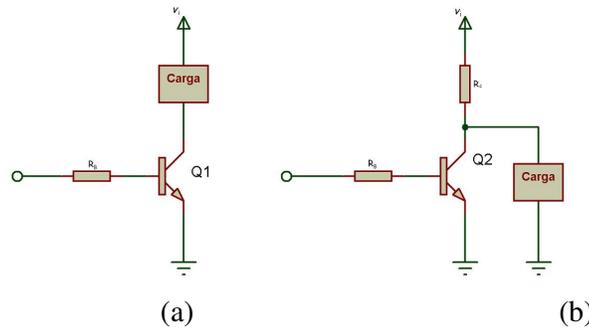


Figura 3.5.a “Carga en serie con el transistor”, 3.6.b “Carga en derivación con el transistor”

Cuando una carga externa esta en serie con el transistor, la corriente a través de la carga es la misma que la corriente de colector I_c .

Para entender mejor este funcionamiento del transistor TBJ como interruptor se debe considerar las características $I_c - V_{CE}$. Cuando un transistor se usa como interruptor electrónico trabaja solamente dentro de la región de saturación (ON) y de corte (OFF).

En el interruptor en derivación, el voltaje colector-emisor es:

$$V_{CE} = V_i - I_c R_c \quad (\text{Ec. 3.10})$$

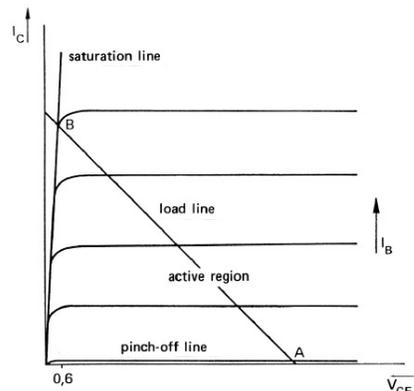
La ecuación 3.10 representa la recta de carga de la figura 3.6. Y es la corriente de base quien controla el interruptor. El transistor entra en la región de corte cuando $I_B = 0$, si la unión B-E esta en circuito abierto entonces $I_B = 0$. Con $I_B = 0$ no habrá I_c , con esto el voltaje a través de R_c será esencialmente cero, situando al transistor en la zona de corte. Entonces el V_{CE} será igual al voltaje de alimentación v_i .

$$v_i - V_{R_c} - V_{CE} = 0 \quad (\text{Ec. 3.11})$$

$$V_{CE} = v_i - V_{R_c} \quad (\text{Ec. 3.12})$$

$$V_{CE} = v_i - I_c R_c \quad (\text{Ec. 3.13})$$

Figura 3.6 “Transistor TBJ como interruptor, gráfica de $V_{CE} - I_c$ ”



Cuando la unión B-E es polarizada en directa fluye corriente en la base. Si el transistor esta en la región activa el resultado será la corriente de colector de la ecuación 3.6, si I_B crece, el valor de I_C crecerá hasta que sea igual al valor de saturación $I_{C(sat)}$. Al aplicar incrementos en I_B no producirá incrementos en I_C . Podemos usar el hecho que $V_{CE} \approx 0$ en la región de saturación para encontrar el valor de $I_{C(sat)}$. Como $V_{CE} \approx 0$, la fuente de voltaje V_i caerá a través de R_C así:

$$V_{CE} = v_i - I_C R_C \quad (\text{Ec. 3.14})$$

$$0 \approx v_i - I_C R_C \quad (\text{Ec. 3.15})$$

$$-I_C R_C \approx -v_i \quad (\text{Ec. 3.16})$$

$$I_{C(sat)} \approx \frac{v_i}{R_C} \quad (\text{Ec. 3.17})$$

Para un transistor dado, habrá un mínimo valor de corriente de base necesitado para saturar a la corriente de colector, este valor es llamado $I_{B(sat)}$. Cuando la corriente de base I_B que fluye es mayor que $I_{B(sat)}$, el transistor esta saturado con $I_C = I_{C(sat)}$. De otro forma el transistor esta en la región activa con $I_C = \beta I_B$.

3.7 Conexión a la carga

Si la carga externa requiere corrientes muy altas, estas pueden ser suministradas por un transistor que es controlado por una corriente-limite de base y una fuente de voltaje, es posible conectar transistores en como se muestra en la figura 3.7.

La unión base-emisor de Q2 es la carga derivativa de Q1. La corriente de base de Q2 depende de la fuente de voltaje V_i , el resistor R_C y $V_{BE(ON)Q2}$.

$$I_{B(Q2)} = \frac{v_i - V_{BE(ON)Q2}}{R_C} \quad (\text{Ec. 3.18})$$

Siempre que Q1 esta saturado la corriente de base de Q2 es prácticamente cero, por lo tanto Q2 esta en corte, y cuando Q1 esta en corte hay una corriente de base $I_{B(Q2)}$ para Q2. La corriente a través de la carga es igual que la corriente de colector $I_{C(Q2)}$. Si se escoge el resistor R_C de tal forma que la corriente de base de Q2 cause saturación, la corriente en la carga será:

$$I_{C(Q2)} = \beta \cdot \frac{v_i - V_{BE(ON)Q2}}{R_C} \quad (\text{Ec. 3.19})$$

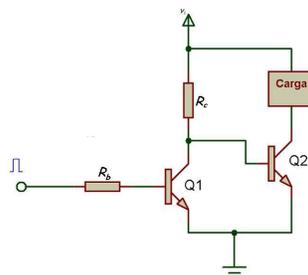


Figura 3.7 "Conexión de transistores en cascada"