

Tema 51. Análisis de circuitos electrónicos básicos realizados con componentes discretos. Rectificadores, filtros, estabilizadores, amplificadores, multivibradores y otros. Componentes utilizados: Elementos pasivos y activos. Clasificación, tipología, función y características. Proceso general para la diagnosis y la localización de averías en circuitos electrónicos realizados con componentes electrónicos discretos.

Índice

- 51.1. Análisis de circuitos electrónicos básicos con componentes discretos*
- 51.2. Rectificadores, filtros, estabilizadores, amplificadores, multivibradores, etc.*
 - 51.2.1. Rectificador*
 - 51.2.2. Filtros*
 - 51.2.3. Estabilizadores*
 - 51.2.4. Amplificadores*
 - 51.2.5. Osciladores*
 - 51.2.6. Multivibradores*
- 51.3. Elementos pasivos y activos*
- 51.4. Proceso general para la diagnosis y la localización de averías en circuitos electrónicos realizados con componentes discretos.*

51.1. Análisis de circuitos electrónicos básicos con componentes discretos

La Electrónica y la Electricidad son tecnologías que comparten principios, componentes y aplicaciones, por lo que resulta difícil establecer una clara frontera entre ambas. En términos de orden de magnitud, en Electricidad es habitual trabajar con magnitudes grandes (cientos, miles o millones de vatios), mientras en Electrónica generalmente se trabaja con magnitudes pequeñas (nano, micro o miliamperios).

En general, la Electrónica utiliza la energía eléctrica para procesar información; es el caso de los equipos de comunicaciones, de los instrumentos de medida, de las calculadoras y computadores, o de los sistemas de control, donde los circuitos electrónicos han desplazado a los circuitos eléctricos en aplicaciones como polímetros o automatismos.

En los circuitos electrónicos se hace uso frecuente de los componentes eléctricos básicos: resistencias, condensadores y bobinas. No obstante, los componentes específicos de la Electrónica serán los que se traten en este tema. Los dispositivos electrónicos de más amplia difusión están realizados con materiales semiconductores, una vez que las válvulas electrónicas que propiciaron el despegue de esta tecnología han quedado confinadas a aplicaciones muy concretas.

Los elementos químicos más utilizados en la fabricación de semiconductores son: silicio, germanio, arsénico, antimonio, boro y galio. Sin entrar en detalles, se distinguen los siguientes tipos de semiconductores:

Semiconductores	Intrínsecos (Si) (puros)	
	Extrínsecos (dopados con impurezas)	tipo p (Si + Ga) (exceso de huecos)
		tipo n (Si + Sb) (exceso de electrones)

Por otra parte, en función de las técnicas utilizadas para realizar el procesamiento de la información, los circuitos electrónicos se clasifican en analógicos y digitales.

Los circuitos electrónicos analógicos que son los que se analizan en este tema, se caracterizan porque trabajan con señales continuas, de manera que se mantiene la proporcionalidad entre la señal de entrada y la de salida. Por ejemplo, en una cadena de megafonía, el micrófono transforma la señal sonora en una señal eléctrica proporcional que será atenuada en los cables o realzada en los amplificadores pero conservando la forma de onda original, de modo que cuando esa señal eléctrica es transformada por el altavoz en onda sonora, independientemente del mayor nivel de potencia, se reproduce la señal original, es decir, la información de audio que contiene la onda se conserva en todos los procesos.

51.2. Rectificadores, filtros, estabilizadores, amplificadores, multivibradores, etc.

Un análisis de los equipos electrónicos debe comenzar por las fuentes de alimentación que son los circuitos encargados de proporcionar las tensiones continuas necesarias para que el resto de la circuitería electrónica alcance su punto de funcionamiento. Las fuentes de alimentación responden al diagrama de bloques de la figura 51.1.

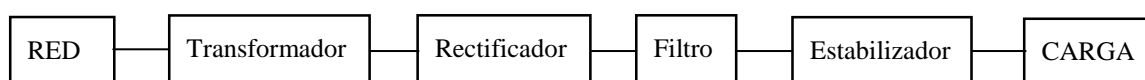


Figura 51.1. Esquema de bloques de una fuente de alimentación estabilizada.

El **transformador** transforma la amplitud de la señal alterna de red en el valor adecuado para alimentar los circuitos electrónicos. La tensión eficaz de la red es de 230 V mientras que las tensiones habituales en circuitos electrónicos se encuentran entre 3 y 30 V.

Además, es frecuente utilizar un indicador del estado (encendido/apagado) de la fuente de alimentación. El circuito más utilizado es un diodo led en serie con una resistencia, colocados en paralelo con la salida de la fuente. El led se elegirá en función del color y de la luminosidad que se deseen; la resistencia se calculará de manera que limite la intensidad por el led a fin de que lo proteja de un calentamiento excesivo.

51.2.1. Rectificador

El rectificador monofásico convierte la señal alterna que le entrega el transformador en una señal continua, aunque pulsatoria.

Tipos de rectificadores y componentes utilizados

Hay dos tipos de rectificadores, dependiendo del número de semiciclos que rectifican, los de media onda y los de onda completa. La figura 51.2 muestra la señal rectificada en cada caso.

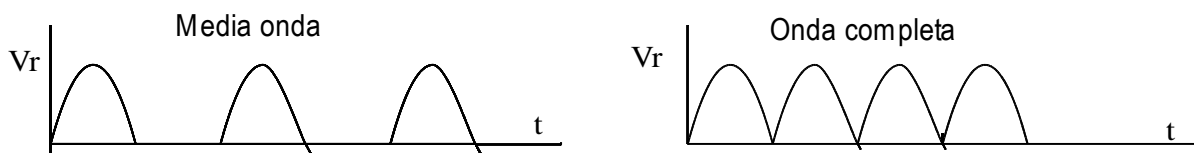


Figura 51.2. Formas de onda de los circuitos rectificadores

La figura 51.3 muestra los circuitos básicos que corresponden a un circuito de media onda y a dos de onda completa realizados respectivamente con un diodo, con dos diodos y transformador con toma intermedia, y con un puente de diodos.

El circuito con puentes de diodos, es el más utilizado y está disponible en circuito integrado de 4 terminales, lo que suele ser una solución más económica que los 4 diodos por separado.

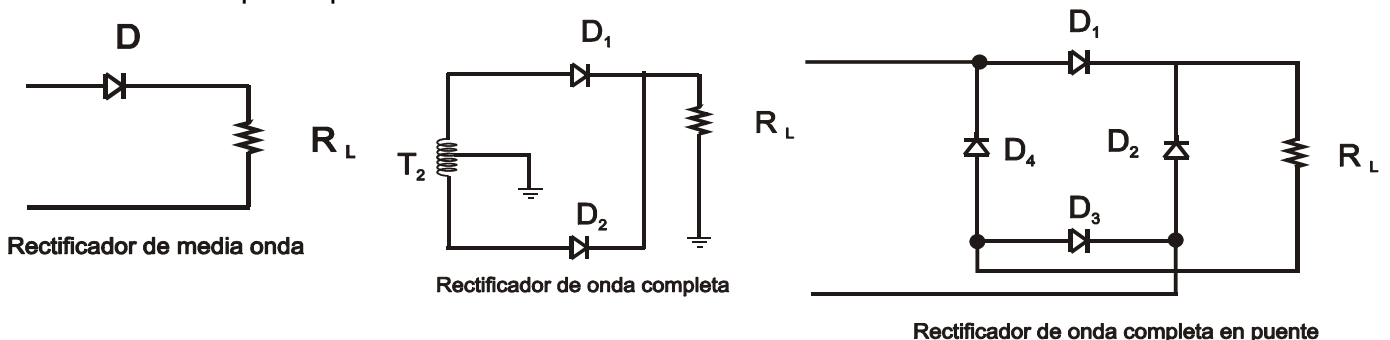


Figura 51.3. Circuitos rectificadores básicos.

Al elegir los diodos del rectificador (igualmente al elegir el puente de diodos) hay que tener en cuenta que, por una parte, cuando conducen la intensidad de trabajo no supere la I_{Fmax} que es la máxima intensidad que admite el diodo cuando se polariza en directo y, por otra parte, cuando están cortados la tensión inversa aplicada al diodo no supere la V_{Rmax} que es la tensión de pico que admite el diodo polarizado en inverso.

51.2.2. Filtros

Un **atenuador** es un circuito eléctrico que reduce el nivel de la señal aplicada a su entrada. Un atenuador se caracteriza por su **atenuación** (α) que es la relación entre la señal de salida y la señal de entrada:

$$\alpha = \frac{V_s}{V_e}$$

α representa la atenuación de tensión, de un circuito al que se aplica en su entrada la tensión V_e y entrega en su salida la tensión V_s . Así definida, el valor de la atenuación es siempre menor que 1.

El **filtro** es un circuito que selecciona un margen de frecuencias, de manera que, de todas las señales de diferentes frecuencias que se pueden aplicar a su entrada, solamente las comprendidas en el margen seleccionado pasan a la salida, siendo las demás eliminadas o muy atenuadas.

En función del margen de frecuencias que seleccionan los filtros se **clasifican**:

- Filtro paso bajo: permite el paso de las señales de frecuencia baja, eliminando el resto.
- Filtro paso alto: permite el paso de las señales de frecuencia alta.
- Filtro de paso banda: permite el paso de señales de una banda de frecuencias eliminando las señales cuya frecuencia se encuentra por debajo de esa banda y las señales cuya frecuencia está por encima de la misma.
- Filtro de banda suprimida: Elimina una banda de frecuencias, seleccionando las señales cuya frecuencia se encuentra por debajo y por encima de la banda eliminada.

Para una fuente de alimentación es necesario un filtro de paso bajo ya que se pretende seleccionar la componente continua (frecuencia=0) rechazando el resto de las componentes que son alternas.

Ese filtro paso bajo puede realizarse con un condensador colocado en paralelo con la carga o bien con una bobina en serie. Dado que la bobina en bajas frecuencias es un componente pesado, voluminoso y caro, en la práctica, se prefiere el empleo de condensadores.

En el circuito de la figura 51.4, V_r es la tensión de salida del rectificador que es la entrada del filtro y V_f es la tensión filtrada. R_d es una resistencia empleada para limitar la corriente por el circuito, protegiendo el resto de los componentes (diodos). La carga se conectaría en paralelo con el condensador (no aparece en el esquema).

La figura 51.5 representa la respuesta del filtro paso bajo en función de la frecuencia; al aumentar la frecuencia, la atenuación ($\alpha=V_f/V_r$) disminuye.

Es imposible eliminar totalmente las componentes alternas y la tensión de salida del filtro será del tipo representado en la figura 51.6.

La ondulación que presenta esta señal se conoce como **rizado**, llamándose tensión de rizado a la amplitud pico a pico de esta tensión.

El filtrado por condensador ofrece un pequeño rizado y una elevada tensión continua con cargas pequeñas. Sin embargo, con cargas grandes, sus características empeoran. Para minimizar el rizado se precisan condensadores de gran capacidad; sin embargo, no debe ser tan grande que la intensidad de carga del condensador supere la máxima intensidad de pico que admiten los diodos cuando conducen.

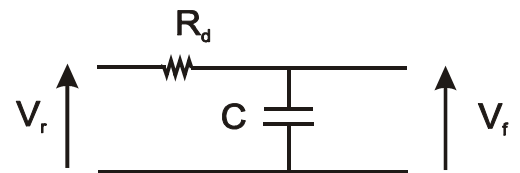


Figura 51.4. Filtro paso bajo

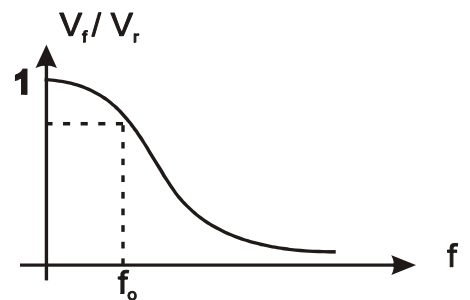


Figura 51.5. Respuesta del filtro paso bajo.

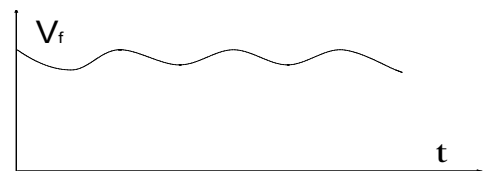


Figura 51.6. Rizado de la señal filtrada.

51.2.3. Estabilizadores

La función del circuito estabilizador es hacer la tensión de salida de la fuente independiente de la resistencia de carga, es decir, que cualquiera que sea el consumo del circuito que alimente, la tensión se mantenga constante. El circuito de la figura 51.7 es el estabilizador básico que consta de un diodo zéner colocado en paralelo con la carga y una resistencia previa cuya función es la de proteger este diodo.

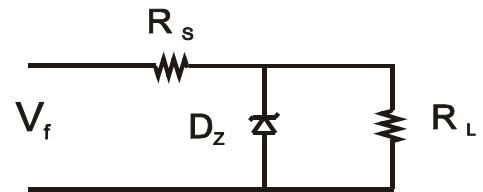
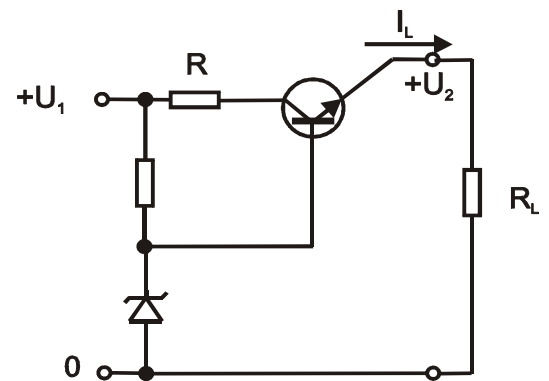


Figura 51.7.

Un diodo zéner presenta la propiedad de que cuando se polariza en inverso puede trabajar con un amplio margen de intensidades sin que apenas varíe la tensión en sus extremos.

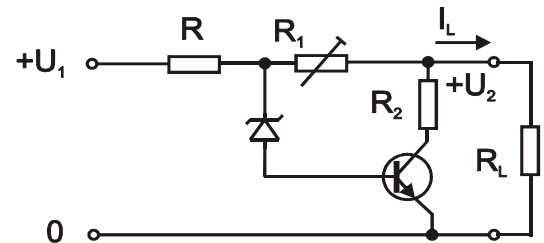
Con el montaje aludido se pretende mantener constante la tensión de salida, haciendo que la ondulación de la tensión en la salida del filtro caiga en la resistencia R_s . Para ello, es necesario que la tensión nominal del zéner sea menor que la mínima tensión de salida del filtro de modo que aquel siempre trabaje en la zona zéner que es donde presenta esa característica de estabilización.



Estabilización en serie

El circuito estabilizador elemental solamente es adecuado para estabilizadores de baja potencia. Un zéner de potencia no solo es caro sino que la tolerancia de su tensión nominal aumenta y también aumentaría la ondulación de la señal de salida.

Para potencias por encima del vatio (aproximadamente) es preferible recurrir a montajes que añaden **transistores** que actúan como amplificadores de la señal estabilizada por el zéner. Dependiendo de la colocación del transistor se tienen el estabilizador transistorizado serie o el paralelo (figura 51.8). El primero ofrece mejor estabilización pero mayor disipación de potencia y por lo tanto peor rendimiento.



Estabilización en paralelo
Figura 51.8.

Sin embargo, la solución más recurrida en las aplicaciones actuales es el empleo de **estabilizadores integrados**. Sin incrementar apreciablemente el precio, ofrecen una mejor estabilización, posibilidad de regular la tensión de salida, protección interna frente a sobrecargas, etc.

En la gama más económica de los estabilizadores integrados se encuentran los de la serie 78XX, donde XX indica la tensión de salida (por ejemplo, el 7805 entrega una tensión de 5 V) o los de la serie 79XX utilizados con aquellos en fuentes de alimentación simétricas para entregar una tensión negativa. También son muy populares el LM337 y el LM317 para fuentes de alimentación regulables.

51.2.4. Amplificadores

El amplificador es el circuito básico y más utilizado de la electrónica analógica; es raro encontrar una aplicación analógica que no incluya amplificadores.

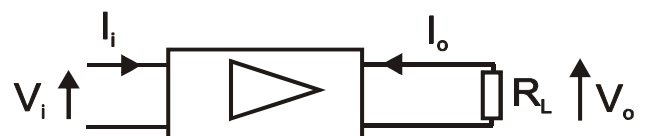


Figura 51.9.

Un amplificador es un circuito que consta de dos terminales de entrada y dos terminales de salida, cuya función es incrementar el nivel de la señal aplicada a su entrada (figura 51.9).

Ganancia de un amplificador

La medida de la amplificación del circuito nos la da la ganancia que es su característica más importante. Se define la ganancia como la relación entre la magnitud de salida y la misma magnitud de entrada. Por lo tanto, no tiene unidades, aunque es habitual expresarla en **decibelios**.

El decibelio es una unidad de tipo logarítmico usada para medir diferencias de nivel entre dos magnitudes. Su símbolo es dB.

Se pueden considerar 3 tipos de ganancia:

- **Ganancia de tensión:** Relación entre la tensión de salida y la tensión de entrada: $A_v = V_o/V_i$.
En dB, se expresa como $A_v (dB) = 20 \log(V_o/V_i)$
- **Ganancia de intensidad:** Relación entre intensidad de salida y la intensidad de entrada: $A_i = I_o/I_i$.
En dB, se expresa como $A_i (dB) = 20 \log(I_o/I_i)$
- **Ganancia de potencia:** Relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada: $A_p = P_o/P_i$.
En dB, se expresa como $A_p (dB) = 10 \log(P_o/P_i)$

Respuesta en frecuencia

La figura 51.10 muestra una representación esquemática de la respuesta típica de un amplificador. El estudio de la respuesta de un amplificador con la frecuencia puede dividirse en 3 zonas:

La **primera** región corresponde a las frecuencias medias o centrales en la que la ganancia es prácticamente constante.

La **segunda** zona corresponde a las bajas frecuencias en las que el amplificador se comporta como un circuito donde la respuesta disminuye al disminuir la frecuencia y es nula en corriente continua (frecuencia 0). La causa de esta reducción de la ganancia son los condensadores de acoplo y desacoplo que forman parte del amplificador.

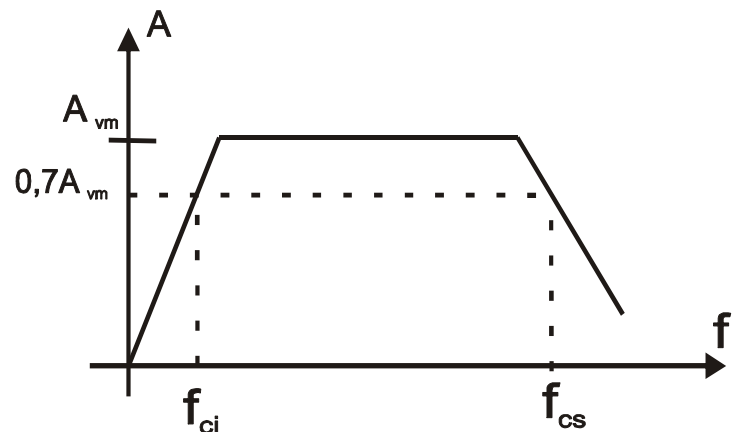


Figura 51.10. Curva de respuesta de un amplificador

Por último, la **tercera** zona, por encima de las frecuencias medias, es la llamada de altas frecuencias donde el amplificador se comporta como un circuito donde se reduce la ganancia a medida que la frecuencia aumenta. Este comportamiento es debido a las capacidades parásitas de los transistores, que se comportan como circuitos abiertos en frecuencias bajas y medias, pero en frecuencias altas su impedancia es más pequeña, lo que hace que una parte de la señal se derive por ellas y no alcance la salida.

Clasificación y tipología de los amplificadores

Son varios los criterios que se pueden adoptar para clasificar los amplificadores:

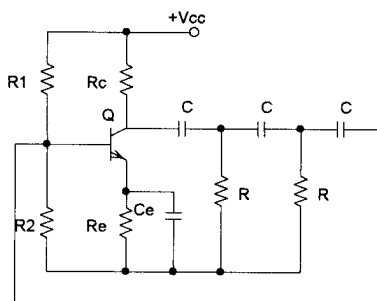
1. Según la frecuencia:
 - **Amplificadores de continua** (frecuencia 0): Los amplificadores de continua son amplificadores de acoplo directo, distinguiéndose del resto de los amplificadores de una banda de frecuencias en que estos se acoplan por redes RC, precisamente para eliminar la componente continua. Los

amplificadores de continua son muy utilizados en circuitos integrados dada la dificultad que supone la integración de condensadores.

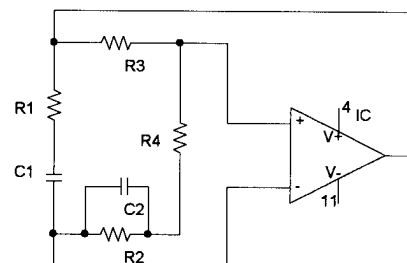
- Amplificadores **de baja frecuencia**, entre los que destacan:
 - amplificadores **de audio** (20 Hz a 20 kHz) y
 - amplificadores **de vídeo** (0 a 5 MHz).
 - Amplificadores **de radiofrecuencia** (30 kHz a GHz).
2. Según el periodo de conducción del elemento activo:
- Amplificadores **de clase A**: La corriente de salida circula en todo momento. Se les conoce también como amplificadores de pequeña señal porque la señal de entrada es lo suficientemente pequeña para que el transistor trabaje siempre en su zona lineal.
 - Amplificadores **de clase B**: La corriente de salida circula durante medio ciclo. Son típicos en las etapas de potencia de audio en los que hay que combinar un par de transistores para recuperar la forma de onda de entrada.
 - Amplificadores **de clase AB**: La corriente de salida circula durante más de medio ciclo. Trabajan en un punto intermedio entre los dos extremos definidos en las clases A y B.
 - Amplificadores **de clase C**: La corriente de salida circula durante menos de medio ciclo. Son típicos en las aplicaciones de radiofrecuencia en donde la forma de onda de la señal de entrada se recupera mediante un circuito resonante conectado en el circuito de salida.
3. Según el tipo de transistor:
- Amplificadores con **transistor bipolar**: La ventaja de los transistores bipolares es que el producto de la ganancia por el ancho de banda es mayor, es decir, son mejores como amplificadores.
 - Amplificadores con **transistor de efecto de campo** (JFET o MOSFET). Las características más importantes de los transistores de efecto de campo son su alta impedancia de entrada, su inmunidad al ruido y su alto nivel de integración.

51.2.5. Osciladores

Figura 51.11. Osciladores BF.



Oscilador con desplazamiento de fase



Oscilador con puente de Wien

Un oscilador es un circuito electrónico que, a partir de un generador de corriente continua, produce una señal eléctrica periódica, es decir, que genera señales alternas.

Según la forma de onda de la señal generada, los osciladores pueden ser **osciladores armónicos**, si la onda es sinusoidal, y **osciladores de relajación**, en cualquier otro caso.

Según el valor de la frecuencia generada se clasifican en osciladores de baja frecuencia y osciladores de alta frecuencia.

Los **osciladores de baja frecuencia** habitualmente realizados con resistencias y condensadores se llaman osciladores RC (figura 51.11). Hay dos tipologías básicas para realizar estos osciladores:

- **oscilador por desplazamiento de fase** que consta de tantas celdas RC como sean necesarias para producir un desplazamiento de fase total (incluido el del amplificador) de 0° .
- **oscilador con puente de Wien**, muy utilizado con amplificadores operacionales, que emplea 2 redes RC, una serie y otra paralelo, en las ramas del puente.

En los **osciladores de alta frecuencia** la red generadora de señal puede construirse con bobinas y condensadores (osciladores LC), o con cristal de cuarzo.

Hoy en día la mayoría de los circuitos de alta frecuencia son **osciladores de cristal**, así llamados porque incorporan cristales, ya que son los osciladores que proporcionan mayor estabilidad. El cristal de cuarzo presenta la propiedad piezoeléctrica que consiste en que si se comprime o se dilata, genera una tensión continua entre sus caras, y viceversa, es decir, si se le aplica una señal alterna, el cristal vibra con la misma frecuencia de la señal, siendo la amplitud de la vibración máxima cuando coinciden la frecuencia de la señal y la frecuencia propia del cristal.

La frecuencia de resonancia de un cristal de cuarzo es inversamente proporcional al espesor del cristal. El empleo de estos cristales está limitado a frecuencias muy altas porque se necesitarían cristales muy estrechos y por lo tanto frágiles y fáciles de romper, pero sobre todo, porque la estabilidad de la frecuencia es proporcional al espesor y en espesores pequeños perdería sus mejores características.

51.2.6. Multivibradores

El multivibrador se puede definir como un sistema realimentado que presenta dos o más estados claramente definidos, cualquiera de ellos mantenido sin necesidad de energía exterior.

Se entiende por **estado** aquella situación a la que tiende un circuito como consecuencia de una transición. Se distinguen dos tipos de estado: el **estable** que es aquél que permanece constante indefinidamente a menos que se actúe sobre el circuito (disparo) y el **metastable** que el circuito abandona por sí mismo, debido a los transitorios de los componentes reactivos.

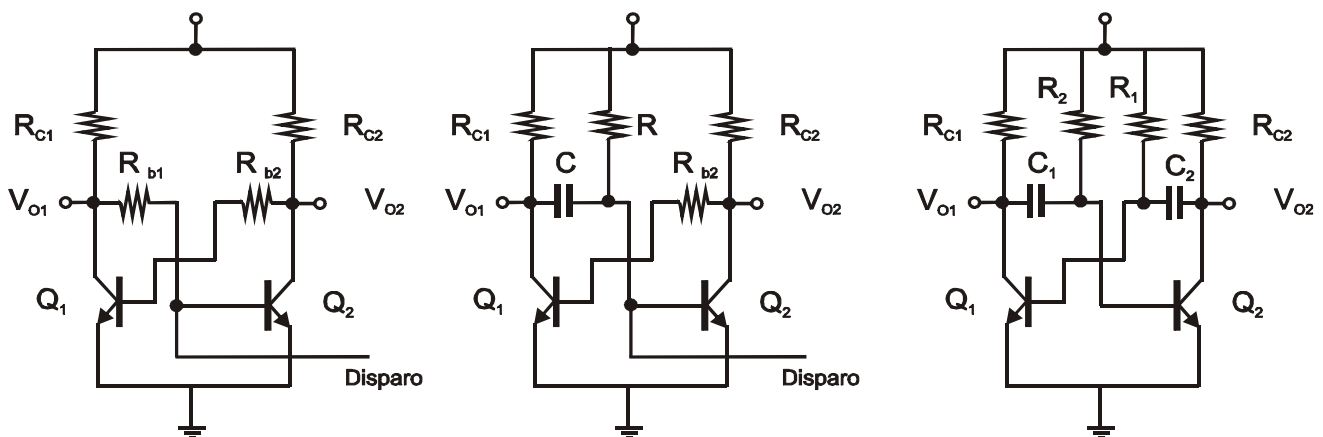


Figura 51.12. Circuitos multivibradores. A) Biestable. B) Monoestable. C) Astable.

Los multivibradores se **clasifican** en 3 tipos:

- **Biestable**, que trabaja en 2 estados estables. Algunas de sus aplicaciones son como elemento de memoria, contador de impulsos y divisor de frecuencia por 2.

- **Monoestable**, con un estado estable y otro inestable. Una de sus típicas aplicaciones es como generador de impulsos de anchura controlable, lo que permite utilizarlo como temporizador.
- **Astable**, con dos estados inestables. Su principal aplicación es como oscilador de relajación que generaría una señal rectangular y que con redes adicionales puede transformarse en cualquier otra forma de onda (triangular, diente de sierra, etc.).

Básicamente, estos circuitos constan de 2 amplificadores realimentados adecuadamente polarizados para poder trabajar en un estado de conducción (normalmente en saturación) y en otro estado de no conducción (corte) y conectados por acoplamiento RC (figura 51.12).

51.3. Elementos pasivos y activos

Todos los componentes utilizados en los rectificadores son componentes pasivos porque a diferencia de los elementos activos en ellos siempre se produce una caída de tensión.

El transistor es un componente activo porque alimentado con una corriente continua es capaz de amplificar una señal, es decir, consume la potencia de la fuente de alimentación para incrementar la potencia de la señal (audio, velocidad, temperatura, etc.).

El filtro analizado en el tema es pasivo pues utiliza resistencias y condensadores. Pero la respuesta del filtro mejora si se añaden transistores o, más frecuentemente, amplificadores operacionales (varios transistores integrados); en este caso el filtro es activo.

Por lo expuesto hasta ahora, es obvio que amplificadores y osciladores, y dentro de estos los multivibradores son circuitos activos puesto que hacen uso de transistores.

51.4. Proceso general para la diagnosis y la localización de averías en circuitos electrónicos realizados con componentes discretos.

Para diagnosticar y localizar una avería en los circuitos electrónicos, es necesario tener un conocimiento general del funcionamiento del sistema. Así, para entender los síntomas que un problema particular puede mostrar en una avería determinada, se debe conocer, entender y analizar el diagrama de bloques del sistema.

Las técnicas de diagnóstico de averías requieren la combinación de una buena comprensión del funcionamiento de los componentes y los circuitos y el conocimiento de los métodos de verificación y de los tipos de fallos que suelen tener los componentes.

Un componente se dice que está averiado cuando cualquiera de sus constantes tiene un valor situado fuera de sus límites especificados. Si la variación es pequeña, no necesariamente conduce a una pérdida total de rendimiento sino, más bien, a una pequeña alteración del mismo. Estas averías, denominadas parciales, son particularmente importantes cuando el componente se utiliza en una posición crítica en el circuito.

Las averías catastróficas se producen cuando el fallo del componente es repentino y total. Por ejemplo, cuando una resistencia alcanza un valor muy alto provoca una apertura del circuito, o cuando se produce un cortocircuito entre el ánodo y el cátodo en un diodo. Estos fallos llevan a una pérdida completa del rendimiento y suelen acompañarse de cambios drásticos en los niveles de polarización en corriente continua.

La fiabilidad de los componentes electrónicos, hoy en día, es tan alta que los casos de averías por este motivo se pueden considerar mínimos. Sin embargo, las sobrecargas a las que son sometidos, originan una gran parte de las averías del circuito.

Por ejemplo, la presencia de impulsos de alta tensión o picos generados por cargas inductivas conmutadas y transmitidos por la red de alimentación para manifestarse, finalmente, en los hilos de suministro interno. Estos picos pueden conducir con facilidad a la ruptura de uniones en los dispositivos semiconductores.

El profesional encargado del mantenimiento de equipos electrónicos debe de disponer de:

- Manual de mantenimiento, con el diagrama de bloques y oscilogramas de los circuitos que forman la aplicación. O bien, poseer un conocimiento a fondo de todo el sistema.
- Equipo suficiente para realizar las pruebas necesarias.

Los equipos de las últimas generaciones, llevan indicadores que son de gran ayuda para localizar averías. Indicadores luminosos como diodos LED que según presenten un determinado color (rojo= peligro, verde= buen funcionamiento, ámbar= revisar) indican el estado de funcionamiento del bloque en el que se encuentran. En circuitos muy complejos y de alto coste, pueden llevar incorporados incluso un pequeño ordenador para buscar, identificar y localizar averías.

Los circuitos electrónicos procesan señales de forma secuencial, de tal forma que el primero recibe la señal de una forma determinada, la procesa y se la entrega al siguiente y así sucesivamente hasta llegar a la etapa final. Para diagnosticar y localizar una avería en este tipo de circuitos se debería:

- a) Comprobar que llega la energía de alimentación al circuito.
- b) Verificar la salida de señales.
- c) Anotar todos los posibles síntomas de avería.

El circuito se divide en bloques funcionales y se hace un seguimiento de la señal a lo largo del camino que sigue por el circuito. Los métodos utilizados para decidir cuál es el bloque defectuoso son:

- Ir de entrada a salida.
- Ir de salida a entrada.
- Aleatorio.
- División por partes.

Todos estos métodos presentan sus propias ventajas y ámbito de uso. El método aleatorio que implica una forma de aproximación totalmente exenta de sistematización, apenas se utiliza. También puede aplicarse un método basado en la fiabilidad de los componentes cuando la persona encargada del mantenimiento posee amplios conocimientos y experiencia sobre el circuito.

Los métodos de entrada a salida y de salida a entrada consisten en inyectar (si fuera necesario) una señal de entrada adecuada en el bloque de entrada y, a partir de él, medir la señal en orden y en cada uno de los bloques, del primero al último o del último al primero, hasta localizar el bloque defectuoso. Este método es el más empleado cuando el número de bloques es pequeño.

En el caso en que el número de bloques en serie sea muy elevado, es cuando es particularmente útil el método de división por partes. Este método puede complicarse cuando la salida de un bloque alimenta a dos o más unidades o cuando son necesarias dos o más entradas para el correcto funcionamiento de una unidad.