

EL DIODO COMO ELEMENTO DE UN CIRCUITO

La recta de carga permite el análisis gráfico de muchos circuitos complicados con el diodo de unión. El circuito normalmente se reduce a poner en serie con el diodo una fuente de alimentación en continua V_{CC} y una resistencia de carga R_L , que aplicando las leyes de Kirchhoff nos queda:

$$V_{CC} = V_D + I \cdot R_L = V_D + I_D \cdot R_L \quad (4.1)$$

$$I_D = -\frac{1}{R_L} V_D + \frac{V_{CC}}{R_L} \quad (4.2)$$

siendo el circuito:

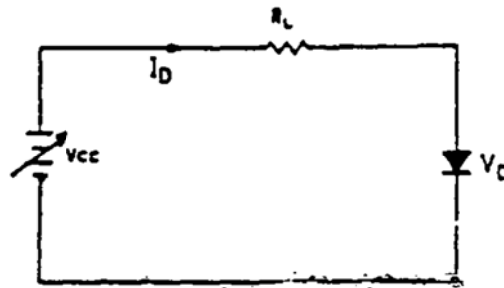


Figura 4.1

y la representación de la ecuación (4.27), es una recta con una pendiente igual a $-1/R_L$ que corta al eje V_D en el punto $V_D = V_{CC}$ para $I_D = 0$ y en el eje I_D con el valor V_{CC} / R_L para $V_D = 0$. Si la representamos se obtiene:

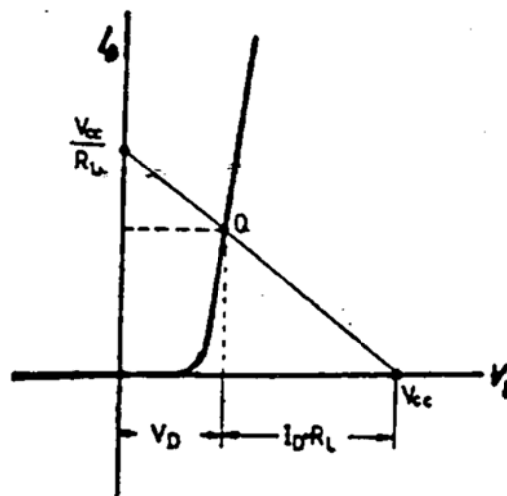


Figura 4.2

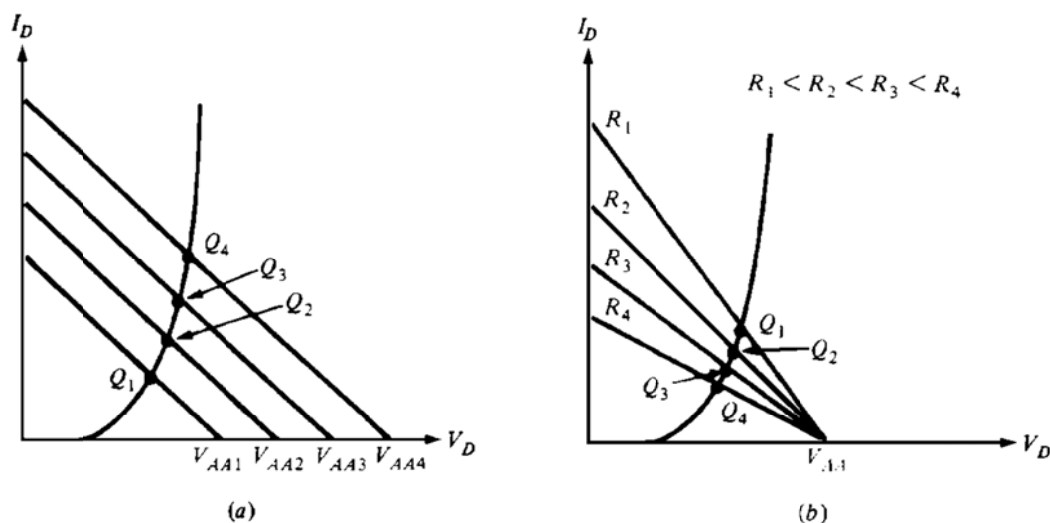


Fig.4.3. Cambio del punto de trabajo: (a) cuando varía V_{CC} y (b) cuando varía R_L

Es instructivo estudiar los cambios que se producen en el punto de operación del circuito de la Fig. 4.1 al variar V_{CC} y R_L . Estos cambios quedan representados en la Fig.4.3 en el caso de ser R_L constante y V_{CC} variable. En caso de que varíe R_L y se mantenga constante V_{CC} la representación será la Fig. 4.3b. En esta última figura se observa que si R_L crece (o decrece) I_Q también crece (o decrece). Obsérvese que con pequeños cambios en V_{CC} la porción de característica del diodo entre puntos Q adyacentes es aproximadamente lineal. Sin embargo, para grandes variaciones de V_{CC} , como sería desde V_{CC1} a V_{CC4} la porción de curva del diodo no es lineal. En la Fig.4.3b es evidente que si crece R_L , disminuye I_{DQ} .

MODELO APROXIMADO LINEAL DE UN DIODO

Aunque el método gráfico expuesto en el apartado anterior permite un análisis intuitivo y visual, sin apenas carga computacional, para calcular el punto de polarización o ver las variaciones de éste al modificar parámetros del circuito de polarización, lo cierto es que, si se idealiza la característica del diodo, puede ser más recomendable realizar un estudio analítico, sobre todo si los circuitos se complican y aparece más de un diodo (y no se puedan asociar de manera inmediata).

La forma de enfocar ahora el análisis será sustituyendo el diodo por un circuito equivalente, según en la zona de su característica en que esté trabajando. La característica idealizada de un diodo consta de una serie de tramos que son lineales. Vamos a ver la equivalencia de un tramo lineal cualquiera, (como el representado en la figura 4.4a). Para ello se suponen conocidos dos puntos cualesquiera de la recta (por ejemplo los dos puntos extremos): (V_2, I_2) y (V_1, I_1) . La ecuación de la recta que pasa por estos dos puntos puede ponerse:

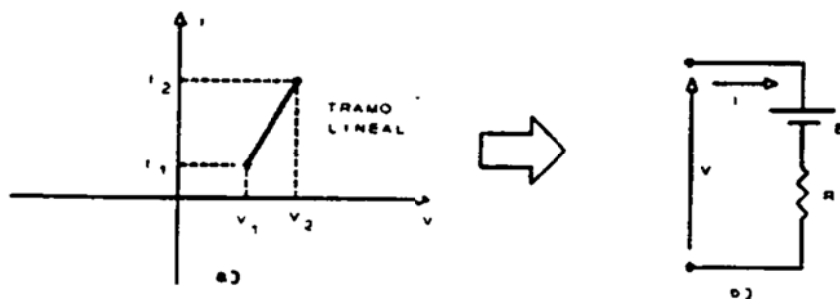


Figura 4.4 a).- Tramo lineal genérico de una característica.
b).- Circuito equivalente de dicho tramo.

$$\frac{I - I_1}{I_2 - I_1} = \frac{V - V_1}{V_2 - V_1}$$

O, puesto de otra forma:

$$V = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1} I + \left(V_1 - \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1} I_1 \right) \quad (4.3a)$$

La expresión anterior representa la característica de una resistencia (R) en serie con un generador de tensión (E) de valores:

$$R = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1} \quad \text{y} \quad E = \left(V_1 - \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1} I_1 \right) \quad (4.3b)$$

Es decir, en el tramo de la característica en cuestión, el diodo puede ser sustituido por un generador de tensión (sentido ánodo-cátodo) en serie con una resistencia. La resistencia viene determinada por la inversa de la pendiente de la recta en el sistema de coordenadas I-V y el valor del generador de tensión será el punto de corte de la recta (o su prolongación) con el eje de tensión. En la figura 4.4b) se ha representado dicho circuito equivalente.

En el caso límite de que el tramo lineal sea paralelo al eje de intensidades, el valor de la resistencia sería nulo, por lo que sólo quedaría un generador en el circuito equivalente (si además resulta que E=0, entonces el equivalente sería un cortocircuito).

Por otro lado, si el tramo lineal es paralelo al eje de tensiones, al aplicar (4.4b) no queda determinado el circuito equivalente. En estos casos el equivalente será un generador ideal de intensidad (sentido ánodo-cátodo) de valor igual al corte de dicho tramo (o su prolongación) con el eje de intensidades. Si dicho corte se produce para I=0 entonces el equivalente es un circuito abierto.

Ejemplo

Obtener los circuitos equivalentes para cada uno de los tramos de característica idealizada de un diodo que se ha representado en la figura 4.5.

Solución:

Aplicando la expresión (4.4) y las consideraciones expuestas a continuación de la misma, podemos establecer que para cada tramo, las equivalencias serán las siguientes:

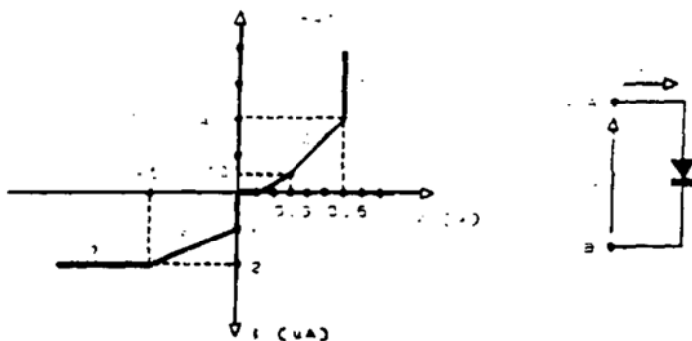


Figura 4.5- Característica idealizada para tramos lineales de un diodo.

- * Tramo I: Equivale a un generador de tensión de valor $E=0,6$ V (recta paralela al eje de intensidades, corta al de tensiones en el punto $0,6$ V).
- * Tramo II: $R = 10\ \Omega$ y $E = 0,2$ V
- * Tramo III: $R = 200\ \Omega$ y $E = 0,1$ V
- * Tramo IV: Equivale a un circuito abierto (recta coincidiendo con el eje de tensiones).
- * Tramo V: Equivale a un cortocircuito (recta coincidiendo con el eje de intensidades).
- * Tramo VI: $R = 5\ M\Omega$ y $E = 5$ V
- * Tramo VII: Equivale a un generador de intensidad de valor $I = -2\ \mu A$ (recta paralela al eje de tensiones).

Los valores de I y E obtenidos, siempre son en el sentido ánodo-cátodo (zona p a zona n), por lo que si resulta un valor negativo, en realidad, puede ponerse como positivo, pero en sentido contrario. En la figura 4.6 se han representado los circuitos equivalentes para cada uno de los tramos analizados anteriormente, en concordancia con la representación de la figura 4.5.

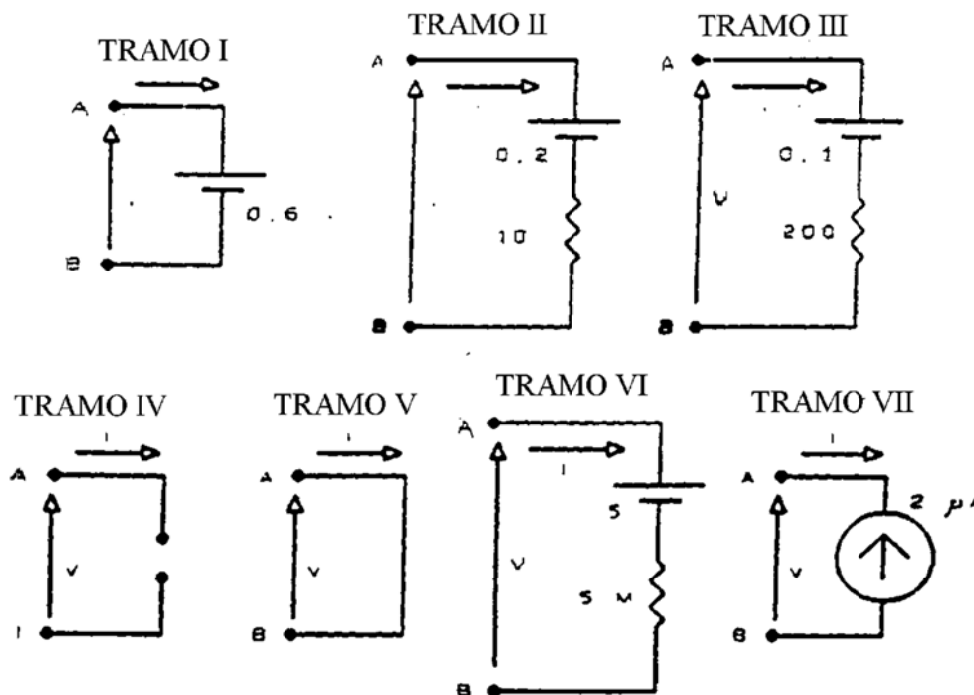


Figura 4.6.- Circuitos equivalentes para cada tramo analizado en el ejemplo

Entenderemos por diodo semiconductor al componente electrónico (fabricado a partir de un material semiconductor), de dos terminales, que posee una estructura interna caracterizada por la existencia de una unión p-n. De hecho, todo el estudio efectuado en los apartados anteriores relativo a la unión p-n ha sido enfocado *ex profeso* para justificar la característica de conducción de un diodo. De todos modos, insistimos, no debe perderse de vista que la conjunción de distintas uniones dará lugar a otros dispositivos de características peculiares.

La denominación diodo es anterior a la tecnología de los semiconductores, referenciando al dispositivo electrónico que tuviese unas propiedades de conducción determinadas: en términos generales dejar pasar la corriente en un sentido y cortarla en sentido contrario. Desde esta perspectiva la característica I-V más ideal de un diodo sería la representada en la figura 4.7, donde observamos un comportamiento ideal, de circuito abierto, en inverso (con cualquier tensión la intensidad sería nula) y un comportamiento ideal, de cortocircuito, en directo (ante cualquier intensidad la caída de tensión sería nula).

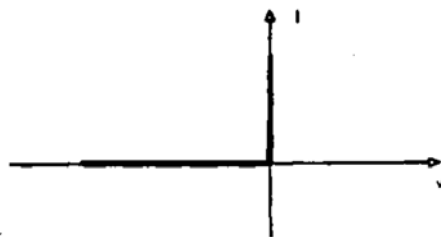


Figura 4.7.- Característica ideal de un diodo.

La característica I-V de un diodo semiconductor tiene, dentro de las limitaciones antes analizadas, unas particularidades que se aproximan a este tipo de comportamiento. De hecho para la mayoría de los análisis, y en función del grado de exactitud requerido, se emplean características idealizadas del diodo. En la figura 4.8 se han representado algunas de las idealizaciones más usadas (aparte de la antes comentada). Nótese que en definitiva se trata de aproximar la característica del diodo por tramos lineales.

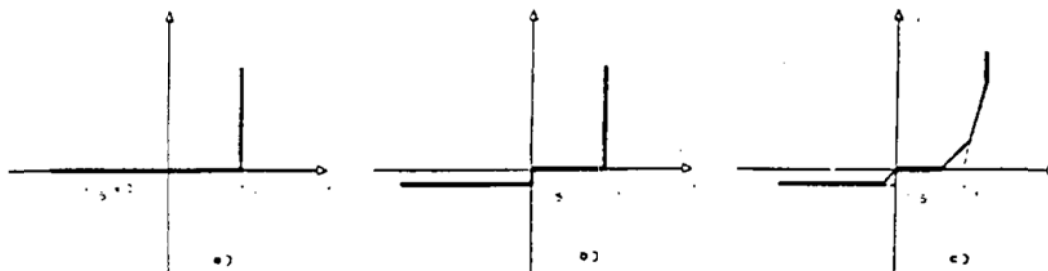


Figura 4.8.- Idealizaciones en la característica: a).- Considerando V_γ b).- Considerando V_γ e I_s c).- Aproximación lineal genérica

Puesto que los diodos semiconductores por su robustez, bajo costo, excelente rendimiento, reducido tamaño y buenas propiedades en general, son utilizados en la práctica totalidad de las aplicaciones, en lo que sigue emplearemos el término “diodo” exclusivamente, aludiendo a los mismos. El símbolo empleado para representar este tipo de dispositivos es el mostrado en la figura 4.9. Además se indica en la misma la identificación de terminales: ánodo (por la parte p -como colector de carga negativa-) y cátodo (-como colector de carga positiva- por parte n). Habitualmente sobre el cuerpo del componente se identifica el terminal de cátodo (bien mediante una raya, bien con la letra “K”).



Figura 4.9.- Símbolo de un diodo e identificación de terminales.

También se han indicado los sentidos de intensidades y tensiones (I_F , V_F para polarización directa -forward current voltage- e I_R , V_R para polarización inversa -reverse current voltage-). En general, el subíndice “F” se identifica con parámetros en directo y el subíndice “R” con parámetros en inverso.

ANÁLISIS MEDIANTE CIRCUITOS EQUIVALENTES

En general, los casos habitualmente tratados serán características con dos o tres tramos lineales (recuérdese las representaciones de las figuras 4.7 y 4.8, con lo cual se simplifica bastante el cálculo (circuitos más simples), sin excesiva merma de exactitud.

El proceso general a seguir para analizar un circuito, en el que puede haber más de un diodo, puede resumirse en los siguientes puntos:

- 1.- Observando las orientaciones de los distintos generadores de tensión o intensidad, tratar de “intuir”, al menos aproximadamente, la zona de característica en que estará trabajando cada diodo.
- 2.- Una vez escogidas las zonas de funcionamiento, sustituir el diodo por el circuito equivalente en la zona en que se ha supuesto que estará funcionando.
- 3.- Efectuar el análisis del circuito según la teoría de redes habitual. Deben obtenerse los puntos de trabajo de todos los diodos con este circuito.
- 4.- Comprobar si el punto de polarización obtenido coincide con la zona que se había supuesto para cada diodo. Si esto es así el problema está adecuadamente resuelto, en caso contrario se volverá al punto 1, eligiendo otras zonas de funcionamiento para los diodos (siempre con una cierta lógica).

Este proceso de entrada puede parecer tedioso, no lo será tanto cuando se supongan características en los diodos bastante idealizadas (en el caso extremo, a veces, se consideran características totalmente ideales, $V_\gamma = 0$ e $I_s = 0$). Apuntemos aquí que, habitualmente, puede interesar más ver la dinámica de funcionamiento de un circuito que obtener valores de tensiones e intensidades con gran exactitud).

RECTIFICACIÓN

Ya se está en posibilidad de ver la forma en que se acomoda un diodo para realizar una función útil. La primera aplicación importante por considerar es la *rectificación*.

La rectificación es el proceso de convertir una señal alterna (ca) en otra que se restringe a una sola dirección (cd). La rectificación se clasifica ya sea como de *media onda* o de *onda completa*.

DIODOS PARA RECTIFICACIÓN (RECTIFICADORES)

Supongamos en principio que disponemos de diodos ideales, en aras de simplificar los análisis, para posteriormente indicar los efectos que se introducen al considerar diodos reales. Obsérvese el circuito de la figura 4.9.a), donde se supone que el diodo tiene una característica ideal como la representada en la figura 4.9.b). Como se observa, la tensión de entrada al circuito es alterna sinusoidal que supondremos, en principio, de baja frecuencia (es decir, el diodo es capaz de “seguir” los cambios de la misma).

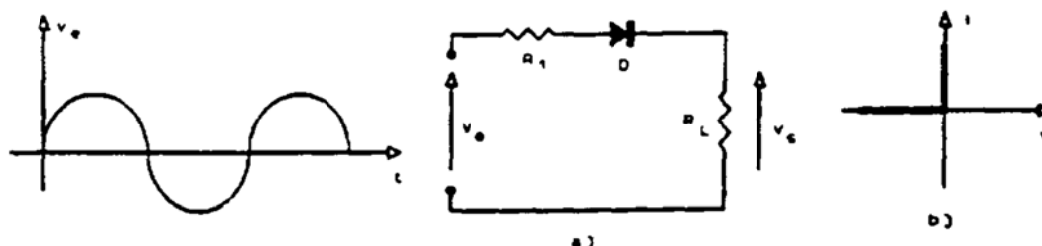


Figura 4.9. a).- Circuito con un diodo al que se aplica una señal alterna.
b).- Característica ideal del diodo.

Para obtener la señal de salida (especificada como V_s en el circuito) basta observar que el diodo se comporta:

- * Como un cortocircuito cuando $V_e > 0$
- * Como un circuito abierto cuando $V_e < 0$

Luego, la señal de salida, teniendo en cuenta estas consideraciones, puede ponerse:

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{R_L}{R_1 + R_L} V_e && \text{para } V_e > 0 \\ V_s &= 0 && \text{para } V_e < 0 \end{aligned} \quad (4.5)$$

En la figura F-5.90 se ha representado la señal de salida obtenida para una determinada señal de entrada. El diodo sólo ha dejado pasar los semiciclos positivos de la señal de entrada. La señal de salida se dice que está rectificada en media onda.

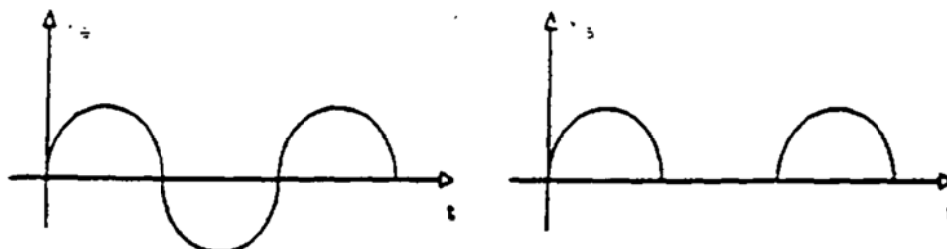


Figura 4.10.- Señal rectificada en media onda (V_s).

La utilidad que puede tener esta acción es inmediata si se observa que la señal de entrada no tenía componente continua y la de salida sí que posee: con un filtro puede extraerse la parte continua (se logra una tensión continua a partir de una alterna).

Supongamos ahora el circuito de la figura 4.11a), con cuatro diodos conectados en puente (el montaje es conocido como puente de diodos y a veces los cuatro diodos vienen integrados en la misma cápsula). Considerando todos los diodos ideales, cuando la tensión de entrada sea positiva conducirán los diodos D_1 y D_3 , permaneciendo cortados D_2 y D_4 . Sin embargo, si V_e es negativa, entonces conducirán D_2 y D_4 y estarán cortados D_1 y D_3 . Teniendo en cuenta esto, en las figuras 4.11.b) y c) se han puesto los circuitos equivalentes para cada caso.

La señal de salida puede ponerse, en virtud de los mencionados circuitos equivalentes:

$$\begin{aligned} V_s &= V_e && \text{cuando } V_e > 0 \\ V_s &= -V_e && \text{cuando } V_e < 0 \end{aligned} \quad (4.6)$$

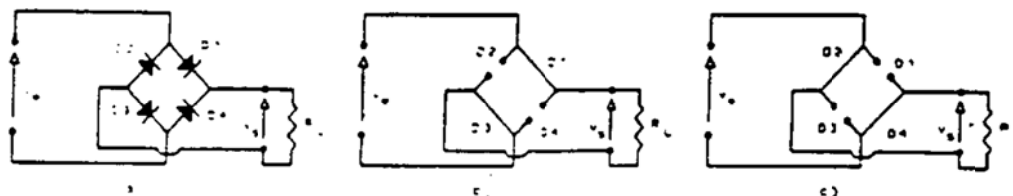


Figura 4.11. a).- Montaje con puente de diodos.
b).- Circuito equivalente si $V_e > 0$.
c).- Circuito equivalente si $V_e < 0$.

De la expresión 4.6 se deduce que la señal de salida toma la forma representada en la figura 4.12. Se dice ahora que la señal ha sido rectificada en doble onda u onda completa. La componente continua de la señal de salida es mayor que en el caso visto con anterioridad (señal rectificada de media onda).

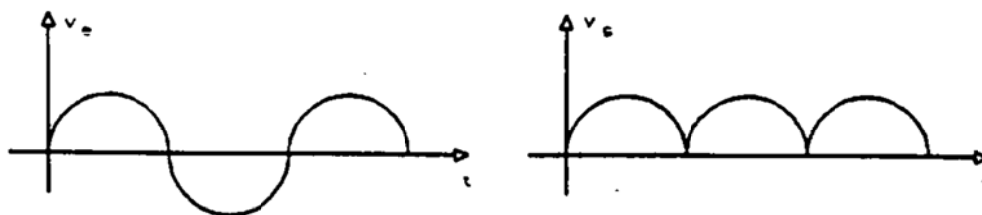


Figura 4.12.- Señal rectificada en onda completa o doble onda.

Si no se hubiesen considerado los diodos ideales, evidentemente no empezarían a conducir hasta alcanzar en directo una tensión superior a su tensión umbral. Por otro lado, en inverso, dejarían pasar una pequeña corriente (la intensidad inversa de saturación). Si además se supone que la característica del diodo tiene una resistencia equivalente en directo, todo conduce a unas señales de salida ligeramente distintas, en

ambos casos estudiados. En la figura 4.13 se ha representado las dos señales rectificadas considerando los diodos reales. Obsérvese que a efectos de entender el funcionamiento de los circuitos puede optarse por considerar los diodos ideales.

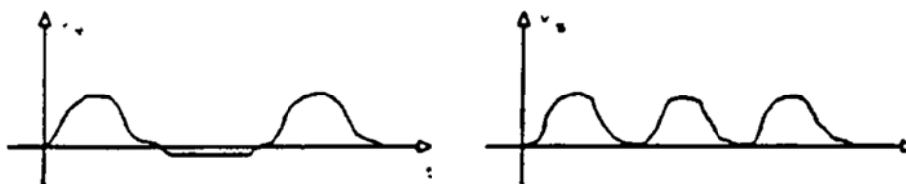


Figura 4.13.- Señales rectificadas para el caso de diodos reales.

La función de rectificación podría hacerla, en principio, cualquier diodo pues aprovecha la cualidad principal de la unión: conducir en directo y cortar la corriente en inverso. Sin embargo no debe perderse de vista que en muchas aplicaciones se requiere una alta conversión de energía alterna en continua, por lo que se requieren diodos que sean capaces de soportar grandes tensiones en inverso (a veces hasta miles de voltios), a la vez que altas corrientes en directo.

Por las razones anteriores se fabrican diodos que cumplen estas propiedades y se especifican para ellos una serie de características que pasamos a enumerar (recalcaremos el concepto pues la nomenclatura puede variar de unos fabricantes a otros). Se recomienda ver también los apéndices donde se dan las características de diodos comerciales.

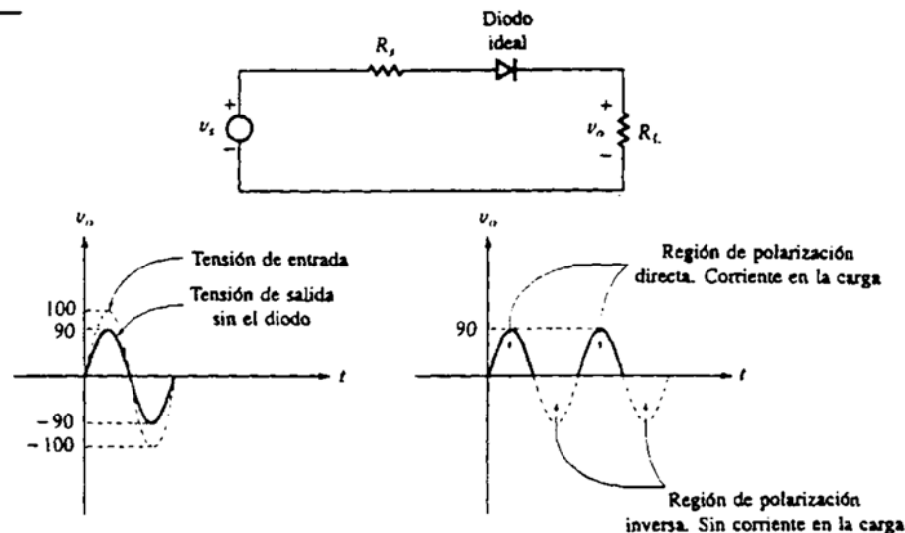
AMPLIACIÓN

Rectificación de media onda

Como un diodo ideal puede mantener el flujo de corriente en una sola dirección, se puede utilizar para cambiar una señal de ca en una de cd.

En la figura 1.20 se ilustra un circuito *rectificador de media onda* simple. Cuando la tensión de entrada es positiva, el diodo se polariza en directo y se puede reemplazar por un cortocircuito (suponiendo que sea ideal). Si la tensión de entrada es negativa, el diodo se polariza en inverso y se puede reemplazar por un circuito abierto (siempre que la tensión no sea muy negativa como para romper la unión). Por tanto, cuando el diodo se polariza en directo, la tensión de salida a través del resistor de carga se pueden encontrar a partir de un divisor de tensión. Por otra parte, en condición de polarización inversa, la corriente es cero, de manera que la tensión de salida también es cero.

Figura 1.20
Rectificador de media
onda.



En la figura 1.20 se muestra un ejemplo de la forma de onda de salida suponiendo una entrada senoidal de 100 V, $R_s = 10 \Omega$ y $R_L = 90 \Omega$.

El rectificador de media onda se puede utilizar para crear una salida de cd casi constante si se filtra la forma de onda de la figura 1.20. La operación de filtración se comenta en la sección Filtrado. Se nota que el rectificador de media onda no es muy eficiente. Durante la mitad de cada ciclo, la entrada se bloquea completamente desde la salida. Si se pudiera transferir energía de la entrada a la salida durante este medio ciclo, se podría incrementar la potencia de salida para una entrada determinada.

Rectificación de onda completa

Un *rectificador de onda completa* transfiere energía de la entrada a la salida durante todo el ciclo y proporciona mayor corriente promedio por cada ciclo en relación con la que se obtiene utilizando un rectificador de media onda. Por lo general, al construir un rectificador de onda completa se utiliza un transformador con el fin de obtener polaridades positivas y negativas. En la figura 1.21 se muestran un circuito representativo y la curva de la tensión de salida.

El *promedio* de una función periódica se define como la integral de la función sobre un período dividida por el período. Es igual al primer término del desarrollo de la función en series de Fourier. El rectificador de onda completa produce el *doble* de corriente promedio en relación con el rectificador de media onda.

Figura 1.21
Rectificador de onda completa.

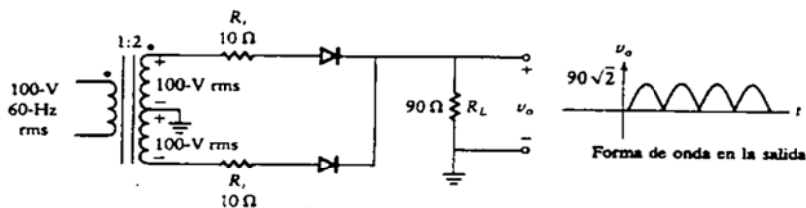


Figura 1.22
Punto rectificador de onda completa.

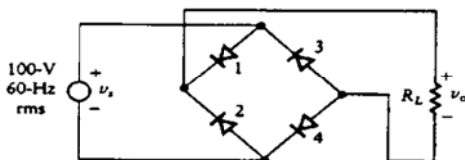
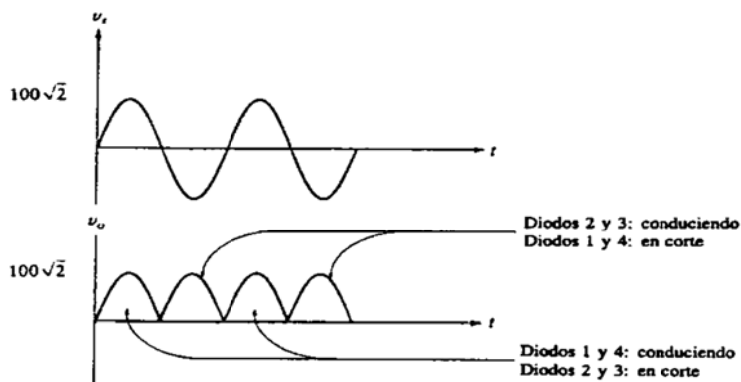


Figura 1.23
Tiempos de conducción en el puente rectificador de diodos.



Es posible hacer la rectificación de onda completa sin utilizar un transformador. El *punto rectificador* de la figura 1.22 realiza la rectificación de onda completa. Cuando la fuente de tensión es positiva, los diodos 1 y 4 conducen y los diodos 2 y 3 son circuitos abiertos. Cuando la fuente de tensión se vuelve negativa, se invierte la situación y los diodos 2 y 3 conducen. Esto se indica en la figura 1.23. El estudio de la figura 1.22 indica una posible falla práctica en el circuito del puente rectificador. Si una de las terminales de la fuente se conecta a tierra, ninguna de las terminales de la resistencia de carga se puede poner a tierra. Hacerlo provocaría un *lazo de tierra*, que eliminaría uno de los diodos. Por tanto, es necesario añadir un transformador a este circuito para aislar entre sí las dos tierras.

Figura 1.24
Rectificador de onda completa con filtro.

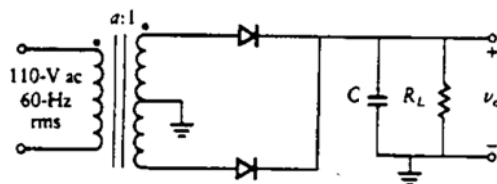
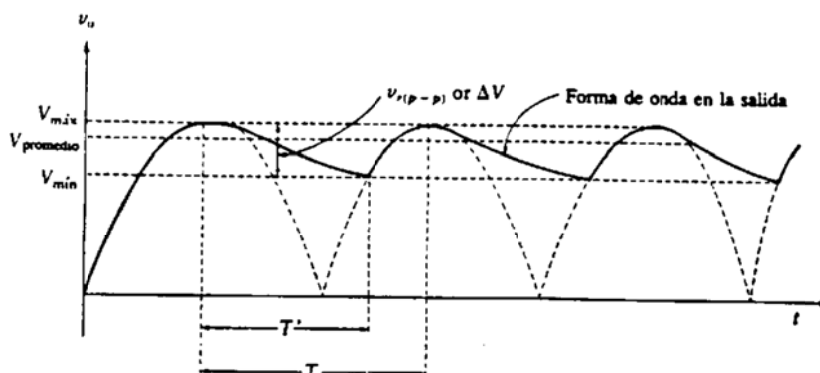


Figura 1.25
Forma de onda filtrada en la salida.



Filtrado

Los circuitos rectificadores de la sección anterior proporcionan una tensión en *cd pulsante* en la tensión de salida. Estas pulsaciones (conocidas como *rizo* de salida) se pueden reducir considerablemente filtrando la tensión de salida del rectificador. En tipo de filtro más común emplea un solo condensador.

En la figura 1.24 se muestra el rectificador de onda completa, donde se añadió un condensador en paralelo con la resistencia de carga. La tensión de salida modificada se muestra en la figura 1.25.

El condensador se carga al valor de tensión más alto ($V_{m\acute{a}x}$) cuando la entrada alcanza su máximo valor positivo o negativo. Cuando la tensión de entrada cae por debajo de ese valor, el condensador no se puede descargar a través de ninguno de los diodos. Por tanto, la descarga se lleva a cabo a través de R_L . Esto conduce a un decaimiento exponencial.

RECORTADORES

Los *circuitos recortadores* se utilizan para eliminar parte de una forma de onda que se encuentre por encima o por debajo de algún nivel de referencia. Los circuitos recortadores se conocen a veces como *limitadores*, *selectores de amplitud* o *rebanadores*. Los circuitos de rectificación de la sección anterior utilizan una acción recortadora de nivel cero. Si se añade una batería en serie con el diodo, un circuito rectificador recortará todo lo que se encuentre por encima o por debajo del valor de la batería, dependiendo de la orientación del diodo. Esto se ilustra en la figura 4.14.

Para las formas de onda de salida indicadas en la figura 4.14 se supone que los diodos son ideales. Se entiende esta suposición para el circuito de la figura 4.14(a) mediante la inclusión de dos parámetros adicionales en el modelo del diodo. Primero, se supone que se debe sobrepasar una tensión V_γ antes de que el diodo conduzca. Segundo, cuando el diodo conduce, se incluye una resistencia en directo, R_f . El efecto de V_γ es hacer que el nivel de recorte sea $V_\gamma + V_B$ en vez de V_B . El efecto de la resistencia es cambiar la acción recortadora plana a una que sigue a la tensión de entrada en forma proporcional (es decir, un efecto de división de tensión). La salida resultante se calcula como sigue, y se ilustra en la figura 4.15.

Para $v_i < V_B + V_\gamma$, $v_o = v_i$

Para $v_i > V_B + V_\gamma$ $v_o = v_i \frac{R_f}{R + R_f} + (V_B + V_\gamma) \frac{R}{R + R_f}$,

Los recortes positivo y negativo se pueden realizar simultáneamente. El resultado es un *recortador polarizado en paralelo*, que se diseña utilizando dos diodos y dos fuentes de tensión orientadas en forma opuesta. El circuito produce una onda de salida como la mostrada en la figura 4.15 cuando se suponen diodos ideales. La extensión a diodos prácticos es paralela al análisis que conduce a los resultados de la figura 4.15.

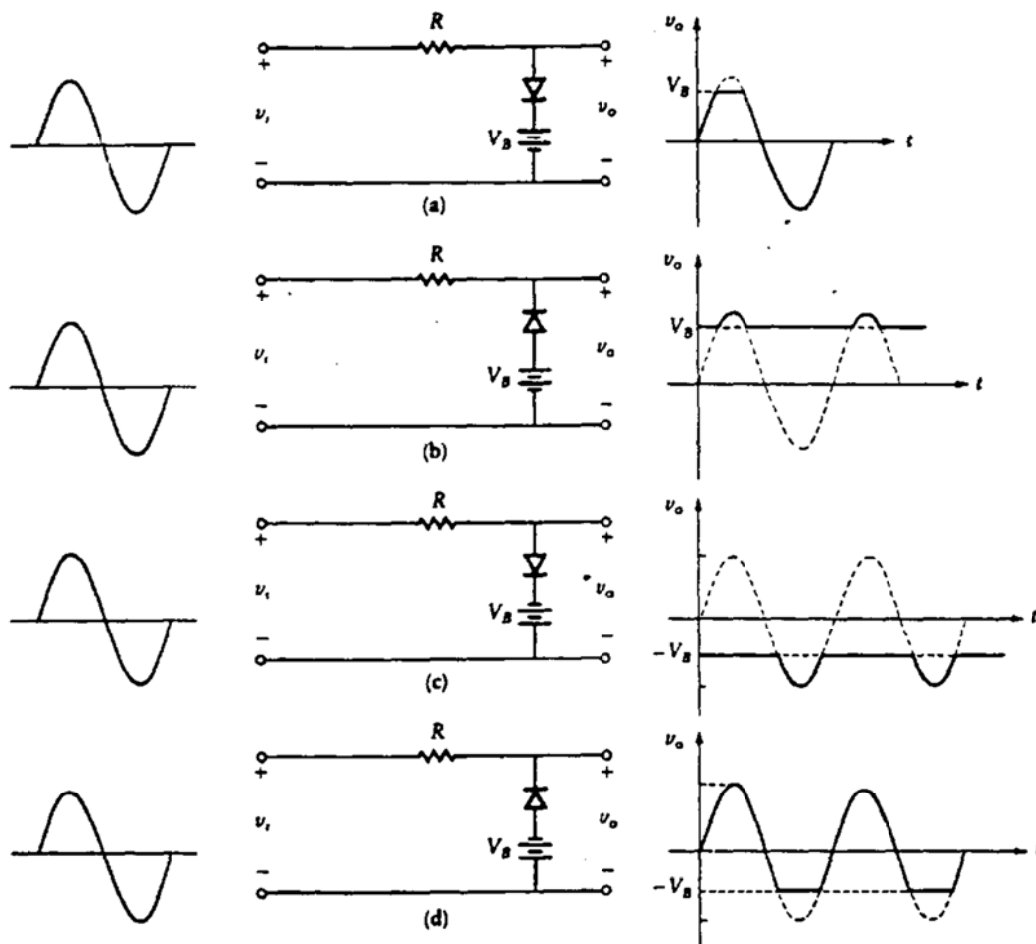


Figura 4.14 Circuitos recortadores típicos.

Otro tipo de recortador es el *polarizado en serie*, que se muestra en la figura 4.16. La batería de 1 V en serie con la entrada provoca que la señal de entrada se superponga en una tensión de cd de -1 V en vez de estar simétrica alrededor del eje cero. Suponiendo que este sistema utiliza un diodo ideal, se encuentra que el diodo de la figura 4.16(a) conduce sólo durante la porción negativa de la señal de entrada condicionada (es decir, desplazada). Cuando el diodo se encuentra en conducción, la salida es cero. Se tiene una salida distinta de cero cuando el diodo no conduce. En la figura 4.16(b), lo contrario es cierto. Cuando la señal es positiva, el diodo conduce y existe señal en la salida, pero cuando el diodo está apagado, no hay señal de salida. Aunque la operación de los dos circuitos es diferente, las dos salidas son idénticas. En la figura 4.16(c) y (d) se invierte la polaridad de la batería, y en la salida se obtienen las formas de onda mostradas.

Figura 1.35
Forma de onda de salida
para el circuito de la figura
1.34(c).

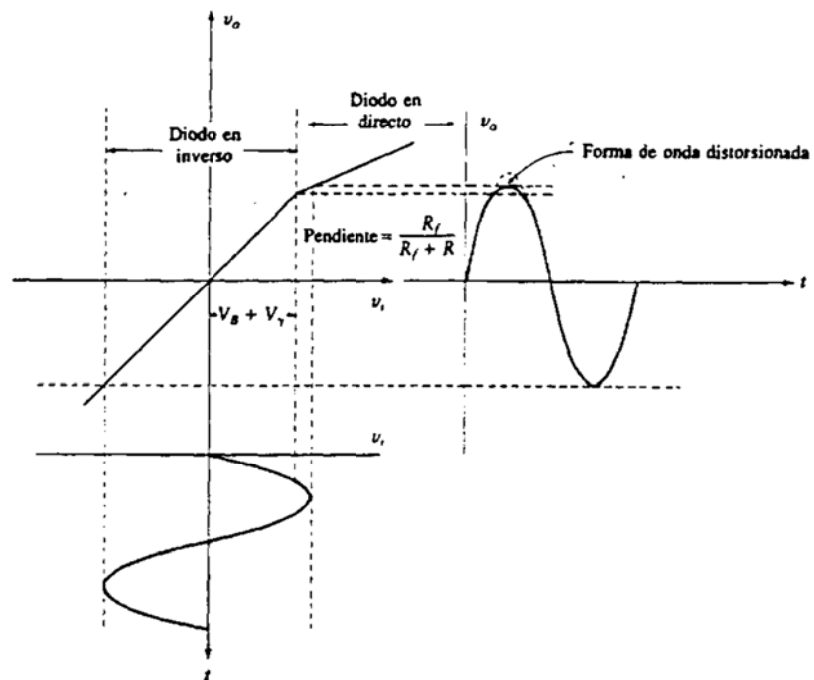


Figura 1.36
Recortador con
polarización en paralelo.

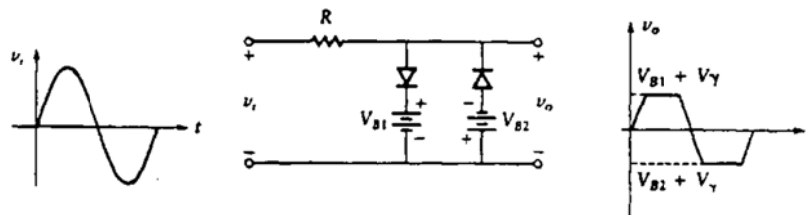


Figura 4.15

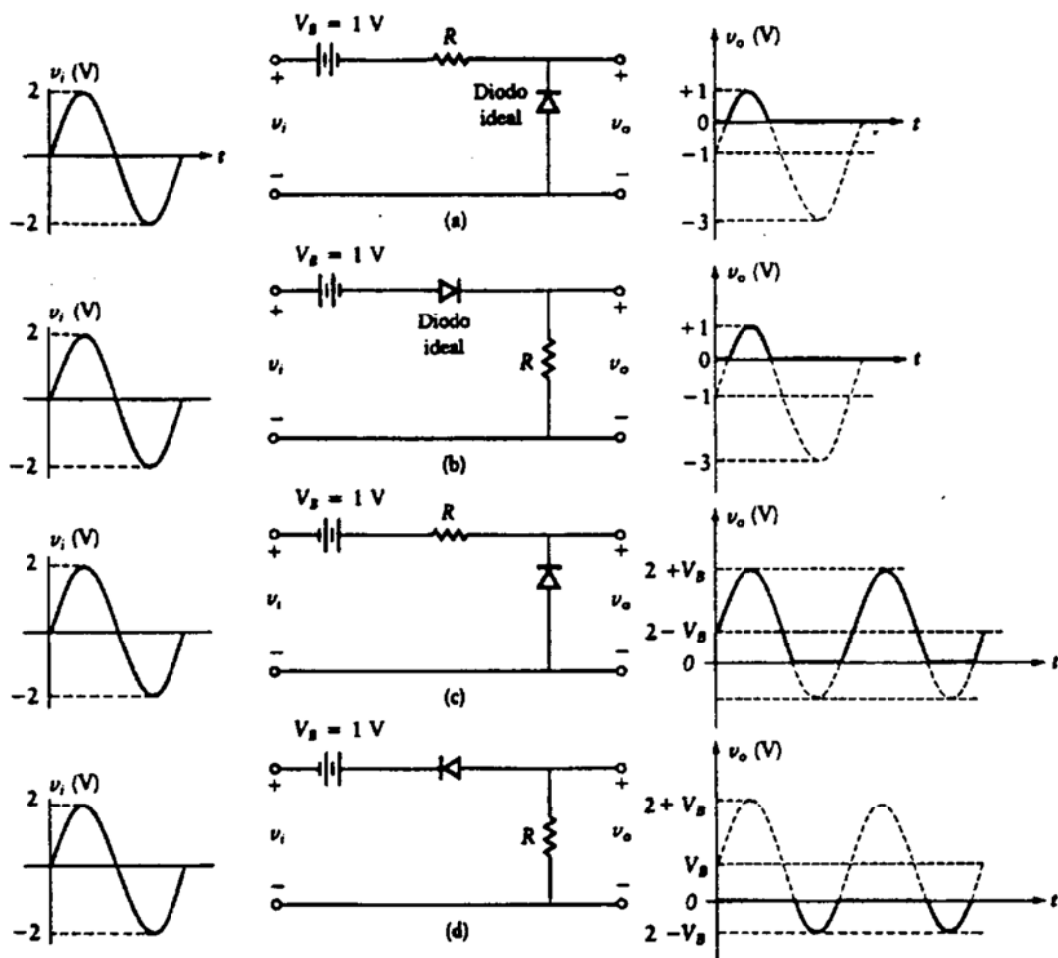


Figura 4.16

CIRCUITOS RECORTADORES A DOS NIVELES

En muchos catálogos de diodos es habitual encontrar tipos de los mismos englobados bajo el título de “diodos de propósito general”. Son diodos a utilizar en aplicaciones que no requieren características específicas (como altas intensidades, tensiones, etc.). Los parámetros que se suministran con los mismos son los habituales que hemos estudiado anteriormente: máxima tensión en inverso (V_{RM}), máxima intensidad en directo (I_{FM}), intensidad inversa de saturación (se suele dar el valor máximo a temperatura ambiente y a una alta temperatura en la unión), tensión de conducción en directo para una intensidad de test determinada (este parámetro nos da la idea del valor de la tensión umbral del diodo), capacidad de la unión (se refiere a la capacidad de transición) y tiempo de recuperación en inverso, t_{rr} (que se supone es el más restrictivo).

En este apartado estudiaremos los circuitos recortadores, que para el caso de señales de no muy alta frecuencia, ni grandes amplitudes, pueden ser diseñados con diodos de este tipo.

Para no entrar en complicaciones vamos a centrarnos en circuitos con dos diodos cuyas características vamos a suponer idealizadas con dos tramos lineales. En cada uno de estos tramos el diodo tendrá un circuito equivalente (véase la figura 4.17).

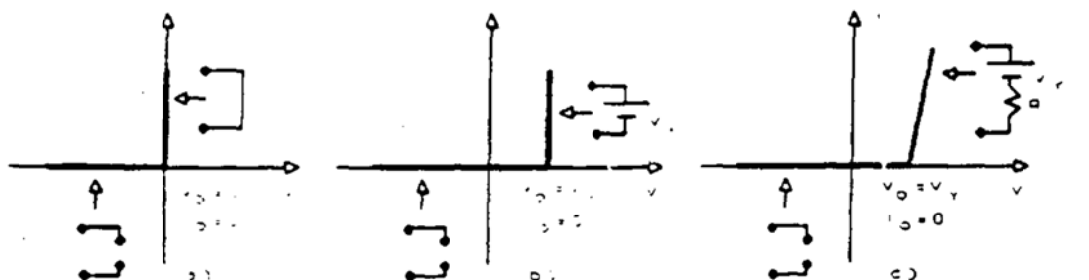


Figura 4.17.- Características de diodos idealizadas con dos tramos lineales y circuitos equivalentes para cada tramo.

El hecho de elegir una aproximación de la característica en dos tramos nos permite establecer un punto límite de funcionamiento entre ambas zonas. En lo que sigue dicho punto límite será (I_0, V_0) , como se ha representado en la figura F-5.106.

Un circuito recortador será aquél que posea más de un diodo con pilas y resistencias de interconexión, en el que ante una tensión de entrada se obtiene una señal de salida determinada. Como veremos, la señal de salida va a estar “recortada” en determinados valores (tantos como diodos existan en el circuito). En nuestro caso vamos a suponer circuitos con sólo dos diodos.

El análisis del circuito consistirá en representar la tensión de salida en función de cualquier tensión de entrada $V_s = f(V_e)$; ésta será la denominada función de transferencia de un circuito. Para calcularla seguiremos un método sistemático que puede ser resumido en los siguientes puntos:

- 1.- Numerar los diodos (D_1 y D_2), establecer en ambos los circuitos equivalentes para cada uno de los tramos de las características y coger de las mismas el punto límite entre uno y otro tramo, (I_{01}, V_{01}) en D_1 y (I_{02}, V_{02}) en D_2 .
- 2.- Suponer el diodo D_1 funcionando en el punto límite en su característica (I_{01}, V_{01}) . En estas condiciones observar en qué zona estará trabajando D_2 y sustituirlo por su circuito equivalente correspondiente. Obtener así la tensión a la entrada, que vamos a llamar V_{e1} (lo que hemos calculado es el valor de V_e para el cual el primer diodo estaría trabajando en el límite entre ambos tramos de su característica).
- 3.- Observando el circuito original, deducir en qué zona estaría trabajando D_1 si la tensión de entrada es inferior o superior al valor calculado en el apartado anterior (V_{e1}).
- 4.- Repetir los apartados 2 y 3 para el punto límite del diodo D_2 . Esto nos llevará a obtener la tensión de entrada, V_{e2} , para la cual D_2 está funcionando en el punto límite de los dos tramos de su característica.

5.- Con los valores V_{e1} y V_{e2} calculados según los apartados anteriores podemos estudiar el circuito original en tres situaciones diferentes: para tensiones de entrada inferiores al valor menor de V_{e1} y V_{e2} , para tensiones de entrada entre uno y otro valor, y para tensiones de entrada superiores al valor mayor de ambos. En cada una de estas tres situaciones sabemos cómo trabaja cada diodo, por lo que bastará sustituir por el circuito equivalente adecuado cada uno de ellos y así establecer la relación $V_s = f(V_e)$.

6.- Estudiar las limitaciones que introducen las intensidades y tensiones máximas de los diodos para salvaguardarlos.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

1. ELECTRÓNICA I. TOMO I.

F. Aldana, E. Andrés Puente y P. Martínez.
Sección de Publicaciones E.T.S.I.I.
Madrid, 1.989.
Capítulo 3, P. 1; Págs: 39 a 58.

2. ELECTRÓNICA.

E. Andrés Puente y P. Martínez.
U.N.E.D.
Madrid, 1.987.
Capítulo 3, UD 1; Págs. 37 a 56.

3. PRINCIPIOS DE ELECTRÓNICA.

A.P. Malvino
Editorial McGraw-Hill
México, 1.976.
Capítulo 2; Págs. 23 a 54.
Capítulo 3; Págs. 55 a 100.
Capítulo 4; Págs. 101 a 132.

4. DISPOSITIVOS Y CIRCUITOS ELECTRÓNICOS.

J. Millman y C. Halkias.
Editorial Pirámide.
Madrid, 1.981.
Capítulo 6; Págs. 141 a 184.

5. ELECTRÓNICA INTEGRADA: CIRCUITOS Y SISTEMAS ANALÓGICOS DIGITALES.

J. Millman y C. Halkias.
Editorial Hispano-Europea.
Barcelona, 1.981.
Capítulo 3; Págs. 49 a 86.
Capítulo 4; Págs. 87 a 116.

6. MICROELECTRÓNICA: CIRCUITOS Y SISTEMAS ANALÓGICOS Y DIGITALES.

J. Millman.
Editorial Hispano-Europea.
Barcelona, 1.988.
Capítulo 2; Págs 51 a 82.

7. FUNDAMENTOS DE ELECTRÓNICA INDUSTRIAL.

N.M. Morris.
Editorial Marcombo.
Barcelona, 1.982.
Capítulo 1; Págs. 1 a 20.

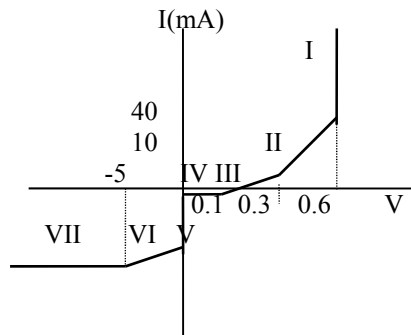
8. CIRCUITOS ELECTRÓNICOS: ANALÓGICOS I.

A. García, C. López, J.L. Marín y E. Muñoz.
Servicio de Publicaciones E.T.S.I.T.
Madrid 1.986.
Capítulo 2; Págs. 25 a 94.

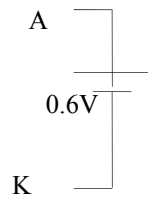
9. CIRCUITOS ELECTRÓNICOS: DISCRETOS E INTEGRADOS.

D. Schilling y Ch. Belove.
Editorial Marcombo.
Barcelona, 1.985.
Capítulo 2; Págs. 10 a 67.

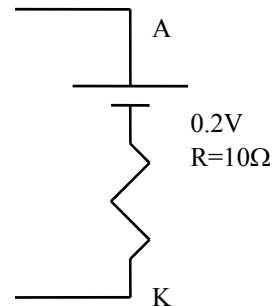
Calcular los modelos lineales para cada tramo del siguiente diodo:



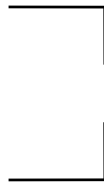
I.-
$$\left. \begin{aligned} R &= \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1} = 0 \\ E &= 0.6V \end{aligned} \right\}$$



II.-
$$\left. \begin{aligned} R &= \frac{0.6 - 0.3}{(40 - 10) \cdot 10^{-3}} = 10\Omega \\ E &= V_1 - 10I_1 = 0.3 - 10 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0.2V \end{aligned} \right\}$$



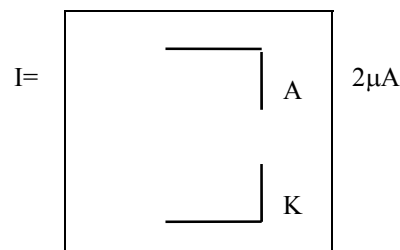
IV.- $R = \infty$



V.- Cortocircuito.-



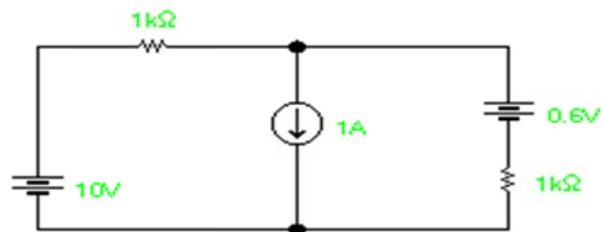
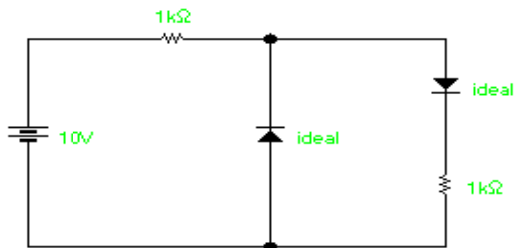
VII.-



PROBLEMAS

1º) En el circuito de la figura, ambos diodos pueden considerarse con igual característica a la representada. Calcular los puntos de polarización de cada diodo para los siguientes valores del generador:

- a) $E = 10 \text{ V}$
- b) $E = -0.6 \text{ V}$
- c) $E = -60 \text{ V}$



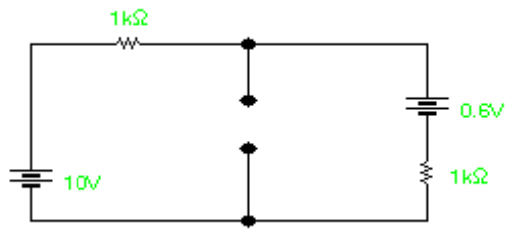
$$Q_1 = \begin{cases} I_{D1} = -1\mu\text{A} = -I_0 \\ V_{D1} \end{cases}$$

$D_1 \Rightarrow \text{Pol. Inversamente} \Rightarrow IV \Rightarrow \text{Generador de corriente de } 1\mu\text{A}.$

$D_2 \Rightarrow \text{Pol. Directamente} \Rightarrow I \Rightarrow \text{Generador de tensión de } 0.6 \text{ V}.$

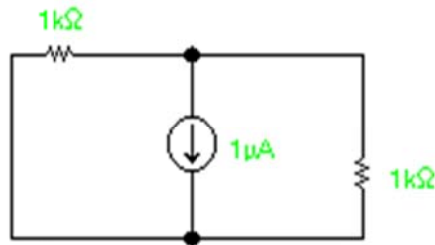
Aplicando el teorema de la superposición, veamos el efecto de los generadores de tensión.

$$I = \frac{10 - 0.6}{2 \cdot 10^3} = 4.7 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$



Y ahora, veremos el efecto del generador de corriente:

$$I_{R1} = 4.7 \cdot 10^{-3} \text{ A} + 0.5 \mu\text{A} = 4.7005 \text{ mA}$$

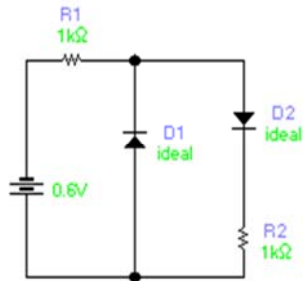


$$Q_{D1} \begin{cases} I_{D1} = -I_0 = -1 \mu\text{A} \\ V_{D1} = -(10 - I_{R1}) = -(10 - 4.7 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3) = -5.3 \text{ V} \end{cases}$$

Habíamos intuido que trabajaba que en la zona IV, luego la tensión ha de ser negativa. Comprobamos que, efectivamente, es negativa, luego la intuición es correcta.

$$Q_{D2} \begin{cases} I_{D2} = 4.7 \text{ mA} \\ V_{D2} = 0.6 \text{ V} \end{cases}$$

b) $E = -0.6 \text{ V}$

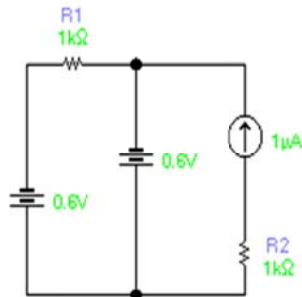


Suponemos que:

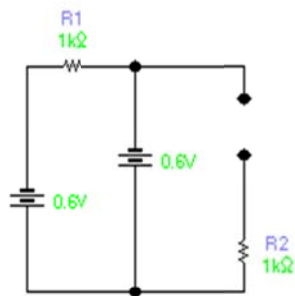
D_1 trabaja en II (generador de tensión)

D_2 trabaja en IV (generador de corriente)

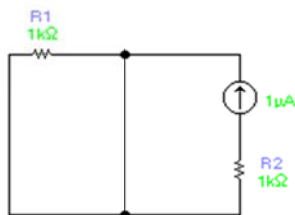
El circuito quedaría de la siguiente forma:



Aplicando el teorema de la superposición:

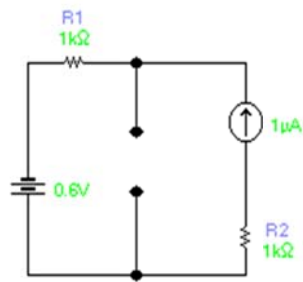


$$I = \frac{0.6 - 0.6}{10^3} = 0 \text{ A}$$



$$Q_{D1} \begin{cases} V_{D1} \\ I_{D1} = -I_0 = -1 \mu\text{A} \end{cases}$$

Como I_{D1} sale negativa, no está en el tramo I. En este caso, suponemos que está en el tramo II, y el diodo equivale a un circuito abierto.



$$\begin{cases} I_{D1} = 0 \text{ A} \\ V_{D1} = 0.6 - I_0 R_1 = 0.6 - 10^{-6} \cdot 10^3 = 0.599 \text{ V} \end{cases}$$

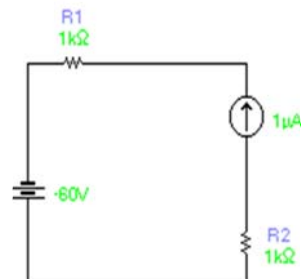
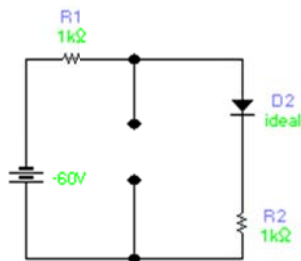
$$\begin{cases} I_{D2} = -I_0 = -1 \mu\text{A} \\ V_{D2} = -[0.6 - I_0(R_1 + R_2)] = -(0.6 - 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3) = -0.598 \text{ V} \end{cases}$$

c) $E = -60 \text{ V}$

$$\text{I} \begin{cases} I_{D1} = 59.4 \text{ mA} \\ V_{D1} = 0.6 \text{ V} \end{cases}$$

$$\text{IV} \begin{cases} I_{D2} = -I_0 = -1 \mu\text{A} \\ V_{D2} = -0.599 \text{ V} \end{cases}$$

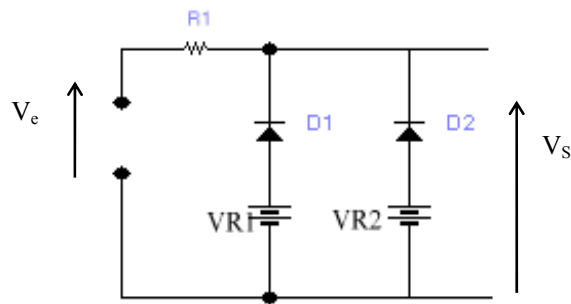
Según estos resultados, la corriente que circula por D_1 es mayor que I_{FM} . Por lo tanto, el diodo se destruye y queda abierto. Estudiemos qué pasaría en este caso.



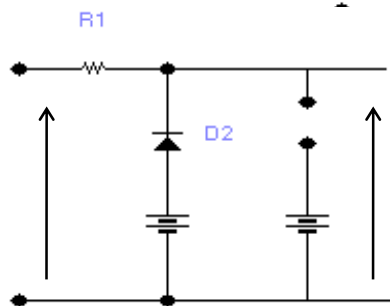
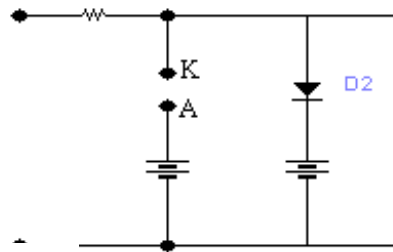
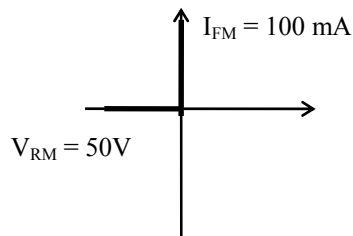
$$V_{D2} = -[60 - I_0(R_1 + R_2)] = -(60 - 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3) \approx -60 \text{ V}.$$

Por lo tanto, el diodo D_2 también se destruye.

2º) Sea el circuito de la figura:



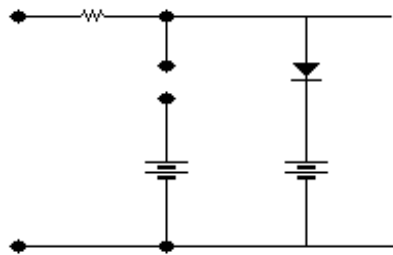
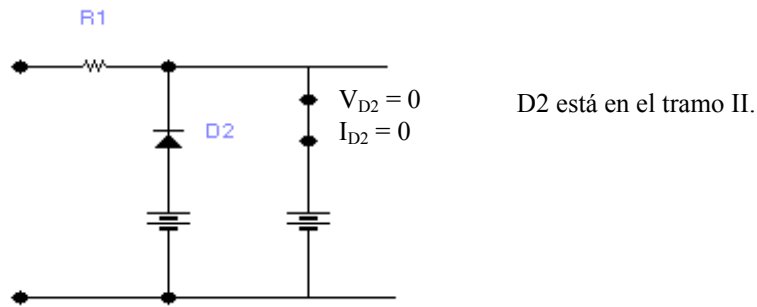
Hallar la función de transferencia de dicho circuito en función de los distintos parámetros del mismo.



$V_{e1} = V_{R1}$. Con esta tensión, colocamos el diodo en su punto límite.

$V_e > V_{e1} = V_{R1} \Rightarrow D1$ polarizado inversamente (II)

$V_e < V_{e1} = V_{R1} \Rightarrow D1$ polarizado directamente (I)



$$V_{e2} = V_{R2} > V_{R1}$$

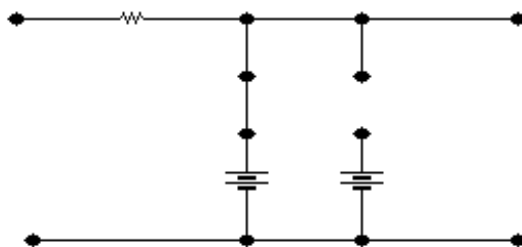
$V_e < V_{e2} = V_{R2} \Rightarrow D_2$ está en (II)

$V_e > V_{e2} = V_{R2} \Rightarrow D_2$ está en (I)

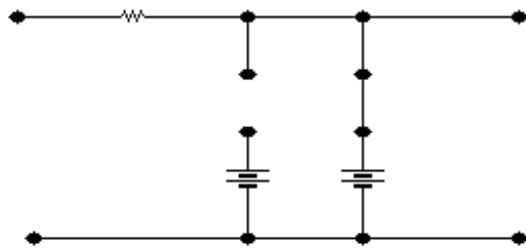
$V_e < V_{e1} = V_{R1}$ $D_1 \Rightarrow$ polarizado directamente (I)
 $D_2 \Rightarrow$ polarizado inversamente (II)

$V_{e1} < V_e < V_{e2}$ $D_1 \Rightarrow$ polarizado inversamente (II)
 $D_2 \Rightarrow$ polarizado inversamente (II)

$V_e > V_{e2}$ $D_1 \Rightarrow$ polarizado inversamente (II)
 $D_2 \Rightarrow$ polarizado directamente (I)



$$I_{D1} = \frac{V_{R1} - V_e}{R} \leq I_{FM} \Rightarrow V_{R1} - I_{FM}R \leq V_e$$



$$V_{inv} = V_{R2} - V_{R1} < V_{BRM}$$

$$I_{D2} = \frac{V_e - V_{R2}}{R} \leq I_{FM} \Rightarrow V_e \leq I_{FM}R + V_{R2}$$