

Electrónica analógica

Última modificación 2006/11

© 2006 – Güimi (<http://guimi.net>)

Está permitido copiar, distribuir y/o modificar los documentos bajo los términos de la GNU Free Documentation License, Version 1.2.

Electrónica analógica

Contenido

Corriente eléctrica.....	3
Ley de Ohm	3
Grafos V-I.....	3
Componentes básicos de Circuitos.....	4
Fuentes de alimentación.....	4
Resistencias.....	4
Resistencias en Serie y Paralelo - Circuitos Equivalentes.....	4
Cortocircuito.....	5
Bobinas - Inductores.....	5
Acoplamiento magnético.....	5
Condensadores - Capacitores.....	5
Leyes de Kirchoff.....	6
Elementos.....	6
Ley de nudos o de corrientes (KCL).....	6
Ley de mallas o de tensiones (KVL).....	6
Corriente Continua.....	6
Tensiones.....	6
Ejemplo 1.....	7
Corriente Alterna.....	7
Rectificación.....	8
Aparatos de medida.....	8
Circuito Genérico.....	8
Otros dispositivos.....	9
Transformadores.....	9
Diodos.....	10
Rectificador de media onda.....	10
Filtrado con capacitor.....	11
Rectificador de onda completa.....	11
Rectificador de onda completa con puente de diodos.....	12
Regulador de tensión con diodo Zener.....	12
Limitador de tensión.....	12
Transistores.....	13
Generadores de funciones.....	13
Referencias principales.....	13

Corriente eléctrica

Es un flujo ordenado de electrones que atraviesa un material moviéndose en una misma dirección conforme saltan de un átomo a otro átomo.

Para lograr este movimiento de electrones, es necesaria una diferencia de potencial eléctrico, generada habitualmente por una fuente de tensión.

Los electrones se moverán desde el punto con potencial más negativo hacia el cuerpo con potencia más positivo.

Se puede entender que cada vez que un electrón salta de un átomo a otro, deja tras de sí un "hueco" -un ión positivo-, por lo que también puede verse la corriente eléctrica como un flujo de cargas positivas, que es la aproximación tradicional y la que seguiremos en este texto.

Fuerza electromotriz (f.e.m.) es toda causa capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto o de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado. Es una característica de cada generador eléctrico.

Ley de Ohm

$$V = I \cdot R$$

V: Tensión, Voltaje, Diferencia de potencial. Se mide en Voltios (V).

Energía necesaria para mover una carga: Julios por Culombio $1V = 1J/1C$

I: Intensidad de corriente. Se mide en Amperios (A).

Culombios por segundo $1A = 1C/s$

R: Resistencia. Oposición al paso de la corriente. Se mide en Ohmios (Ω).

El típico simul de V e I es pensar en una cascada de agua. A mayor altura, mayor energía potencial (V). A mayor caudal de agua en la cascada, mayor intensidad de corriente (I).

P: Potencia Velocidad con que se transfiere la energía. Se mide en Watios (W).

$$P = V \cdot I; P = R \cdot I^2; P = V^2 / R$$

Grafos V-I

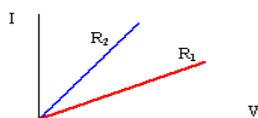
Para describir el comportamiento de un dispositivo colocado en un circuito eléctrico es suficiente con conocer su característica V-I, gráfico que relaciona V en el eje de abscisas e I en el eje de ordenadas.



—● ●— En un circuito abierto (ideal) no pasará corriente, independientemente de la tensión que se aplique en sus extremos.



—● ●— En un cortocircuito (ideal) pasará toda la corriente generada equilibrando los polos y eliminando la diferencia de potencial, es decir, independientemente de la intensidad no habrá voltaje.



Las resistencias presentan rectas obtenidas directamente de la Ley de Ohm

$$R = \frac{V}{I}$$

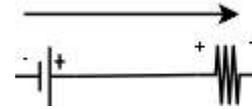
Componentes básicos de Circuitos

Componentes activos: (Fuentes de alimentación)

Producen energía. La corriente entra por -

Componentes pasivos: (Resistencias, condensadores...)

Consumen energía. La corriente entra por +



Fuentes de alimentación

$\frac{+}{-}$ Generan una diferencia de potencial eléctrico (tensión) entre sus polos, ya sea por frotamiento, por presión, por calor, por magnetismo o por una acción química.

Una fuente de tensión ideal siempre suministra la misma tensión, aportando para ello más o menos intensidad de corriente. Del mismo modo, una fuente ideal de corriente siempre suministra la misma corriente, aportando mayor o menor tensión.

Resistencias

Cualquier elemento que se opone a la corriente se llama resistencia o resistor.



El inverso de la resistencia es la conductancia. Se representa generalmente por la letra G. Un circuito con elevada conductancia tiene baja resistencia, y viceversa. Una resistencia de 1Ω (ohm) posee una conductancia de 1 mho.

Un material de mayor longitud tiene mayor resistencia eléctrica.

Un material con mayor sección transversal tiene menor resistencia.

Las resistencias comerciales tienen un código de 4 o 5 bandas de colores que permite identificar su valor y tolerancia.

La 5ª banda, si existe, indica su confiabilidad.

Valor en Ohmios (Ω) de la Resistencia

Color	Negro	Marrón	Rojo	Naranja	Amarillo	Verde	Azul	Violeta	Gris	Blanco
Banda 1	--	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Banda 2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Banda 3	x1	x10	x100	x1000	x10000	x100000	x1000000	x10000000	x100...	x1000...

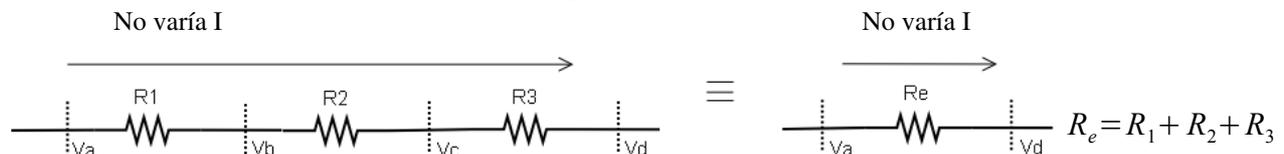
Tolerancia

Color	Marrón	Rojo	Oro	Plata
Banda 4	1%	2%	5%	10%



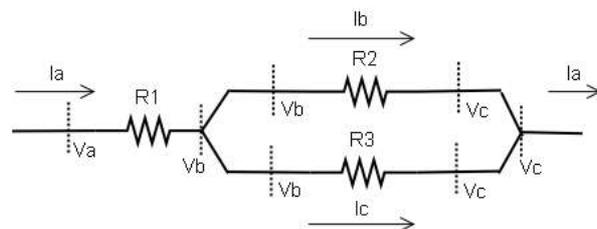
Ej. 230.000 Ω ± 10% (207.000-253.000 Ω)

Resistencias en Serie y Paralelo - Circuitos Equivalentes



La tensión va disminuyendo con las caídas que se producen en cada resistencia.

Las resistencias se utilizan, en serie, para regular la tensión suministrada.



$$I_a = I_b + I_c$$

$$R_e = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)}$$

R_e será menor que R₂ y que R₃

$$R_{Total} = R_1 + R_e$$

Hay la misma tensión en las dos ramas del circuito.

Como $R=V/I$ si $R_2 > R_3$ entonces $I_b < I_c$

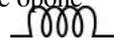
Las resistencias se utilizan, en paralelo, para regular la corriente suministrada.

Cortocircuito

Si conectamos un trozo de cable en dos extremos de un dispositivo, al ser la resistencia del cable menor que la del dispositivo (casi despreciable) pasa la mayor parte de la corriente por ese cable.

Bobinas - Inductores

En C.C. equivale a un cortocircuito. En C.A. se opone a cambios de corriente generando una tensión que se opone (fuerza contraelectromotriz). Es un estabilizador de corriente.



Un inductor está constituido usualmente por una bobina de material conductor, típicamente alambre o hilo de cobre esmaltado. Existen inductores con núcleo de aire o con núcleo de un material ferroso, para incrementar su inductancia. La inductancia se mide en Henrios (H).

Almacena energía en la forma de un campo magnético.

A mayor número y mayor diámetro de espiras de la bobina, mayor inductancia.

Acoplamiento magnético

Cuando el flujo magnético de una bobina alcanza a otra, se dice que ambas bobinas están acopladas magnéticamente. Este acoplamiento es generalmente no deseado, aunque en ocasiones es aprovechado, como ocurre por ejemplo en los transformadores.

Si en un circuito tenemos varios inductores podemos calcular un inductor equivalente del mismo modo que hacíamos con las resistencias.

En serie $L_T = L_1 + L_2 + \dots + L_n$

En paralelo $L_T = \frac{1}{(1/L_1 + 1/L_2 + \dots + 1/L_n)}$

Condensadores - Capacitores

En C.C. equivale a un circuito abierto. En C.A. se opone a los cambios de tensión. Es un estabilizador de tensión.



Un condensador está formado por dos placas metálicas separadas por un dieléctrico. Un dieléctrico o aislante es un material que evita el paso de la corriente.

Almacena energía en la forma de un campo eléctrico. Soporta una tensión máxima determinada.

Se llama capacitancia o capacidad a la cantidad de cargas eléctricas que es capaz de almacenar entre placas y la unidad de medida es el faradio (F).

A mayor área de placas y menor separación entre ellas, mayor capacitancia.

Algunos condensadores están polarizados (signos + y - en el dispositivo) y hay que conectarlos con cautela.

Si en un circuito tenemos varios condensadores podemos calcular un condensador equivalente.

En serie $C_T = \frac{1}{(1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n)}$

En paralelo $C_T = C_1 + C_2 + \dots + C_N$

Leyes de Kirchhoff

El sentido de las corrientes es arbitrario y debe asignarse previamente al planteamiento del problema.

Elementos

Nudo o nodo: punto donde concurren varios conductores distintos.

Rama: fragmento de circuito comprendido entre dos nudos consecutivos.

Malla: línea cerrada que no contiene elementos en su interior. Circuito que resulta de recorrer el esquema eléctrico en un mismo sentido regresando al punto de partida, pero sin pasar dos veces por la misma rama.

Ley de nudos o de corrientes (KCL)

La suma de corrientes en un nudo es 0.

O bien, la suma de corrientes entrantes es igual a la suma de corrientes salientes.

$$\sum I_{\text{entrante}} = \sum I_{\text{saliente}}$$

De ahí se obtiene que para resistencias en serie la Intensidad no varía.

Ley de mallas o de tensiones (KVL)

En toda malla la suma de todas las caídas de tensión es igual a la suma de todas las fuerzas electromotrices.

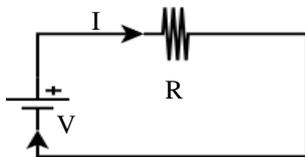
O bien, en toda malla la suma algebraica de las diferencias de potencial eléctrico debe ser cero.

$$\sum_{k=1}^n V_k = 0$$

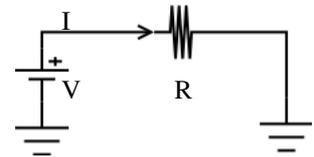
De ahí se obtiene que dos ramas paralelas tienen la misma tensión al principio y final de las mismas.

Corriente Continua

En los circuitos de CC se dispone de una o más fuentes de tensión (o fuentes de corriente).

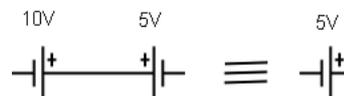
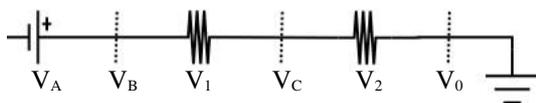


Al final del circuito debe haber 0V. Por eso, a veces se dibuja la conexión de los componentes a tierra o masa.



Aunque comúnmente se identifica la corriente continua con la corriente constante (por ejemplo la suministrada por una batería), es corriente continua toda aquella que mantenga siempre la misma polaridad.

Tensiones



Dado que la tensión final (V_0) es 0, La tensión inicial (V_A) es igual a la suma de las caídas de tensión en las resistencias

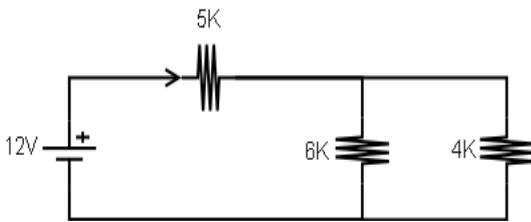
$$V_A = V_1 + V_2$$

No confundir con la tensión restante en los puntos intermedios $V_A \neq V_B + V_C + V_0$ (tensión de salida de los componentes).

La tensión de salida de cada componente será igual a la tensión de entrada menos la caída de tensión en el componente

$$V_C = V_B - V_1 \rightarrow V_1 = V_B - V_C; V_2 = V_C - V_0 \rightarrow V_A = V_B \quad \text{¡Obvio!}$$

Ejemplo 1



$$I_{Total} = I_6 + I_4$$

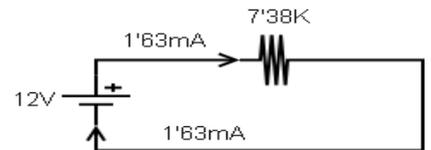
$$I_6 < I_4$$

$$R_e = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_4}\right)}$$

$$R_{Total} = R_5 + R_e$$

$$R_e = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_4}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{6} + \frac{1}{4}\right)} \approx 2'38K \Omega$$

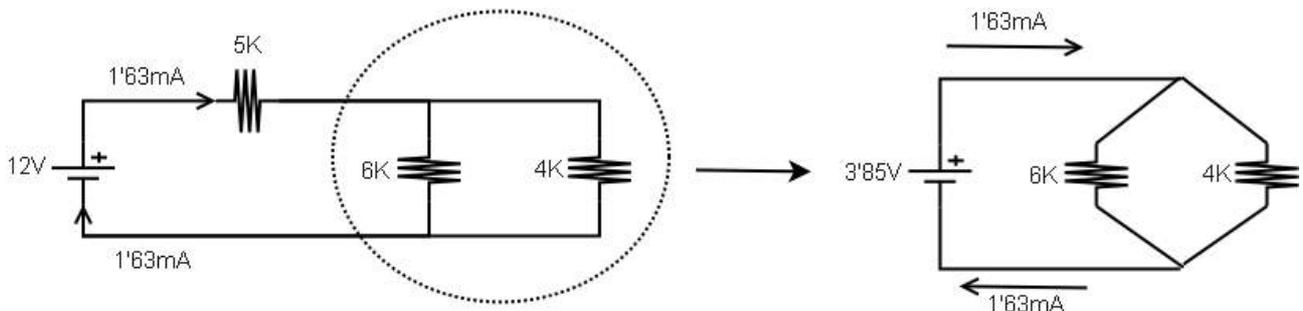
$$R_{Total} = 5 + 2'38 = 7'38K \Omega$$



La corriente necesaria para que el circuito funcione es $I = V/R = 12/7'38K \approx 1'63mA$

La caída de tensión en la primera resistencia es de $V = I \cdot R_5 = 1'63m \cdot 5K = 8'15V$

Por tanto al circuito paralelo llega $V_2 = V_{inicial} - V_{R5} = 12 - 8'15 = 3'85V$



$$I_6 = \frac{V_{entrada}}{R_6}; I_6 = 3'85/6K \approx 0'64mA \quad I_4 = \frac{V_{entrada}}{R_4}; I_4 = 3'85/4K \approx 0'96mA$$

$$I_{Total} = I_6 + I_4 = 1'63mA \approx 0'64 + 0'96 = 1'60mA \quad \text{La diferencia se debe a las aproximaciones.}$$

Corriente Alterna

La corriente alterna se basa en una señal de entrada de tensión variante. Lo más habitual es una señal senoidal (o cosenoidal) puesto que consigue una transmisión más eficiente de la energía. Sin embargo pueden utilizarse señales triangulares o cuadradas.

En el ejemplo la tensión de pico (V_p) es $\pm 10V$.

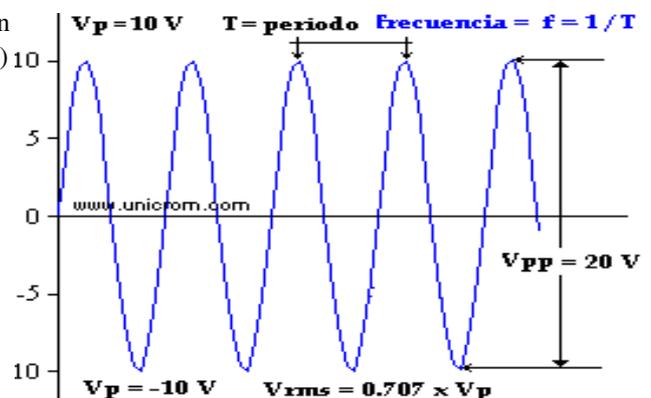
La tensión pico a pico (V_{pp}) es de 20V.

La tensión efectiva o voltaje equivalente en CC

es $V_{rms} = V_p / \sqrt{2} \approx V_p \cdot 0,707$ ($\sqrt{2} \approx 1,4142$)

Este valor es el que se obtiene con un voltímetro.

Es decir, si medimos 220V en un circuito de CA, el valor de pico V_p es de 311'17V.



En cada momento la tensión es $V = V_p \cdot \text{Sen}(\Theta)$ siendo Θ una distancia angular en grados.

La tensión promedio (V_{pr}) de un ciclo completo es 0. Para medio ciclo $V_{PR} = V_p \cdot 0,636$

PERIODO:(T) El tiempo necesario para que se produzca un ciclo completo de la señal.
 FRECUENCIA:(f) Ciclos por segundo (Hertz o Hertzios). Es la inversa del periodo ($f=1/T$).

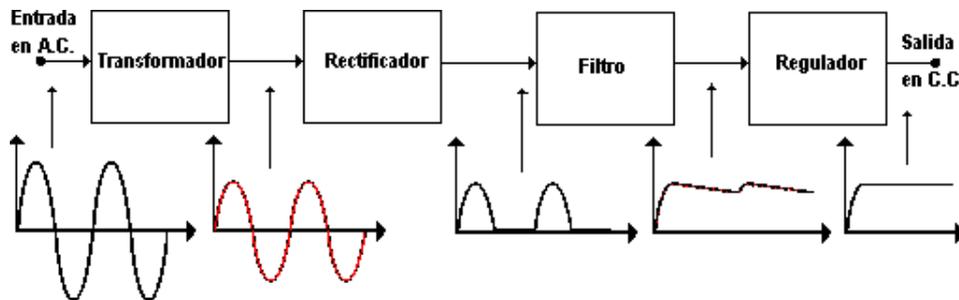
La razón del amplio uso de la corriente alterna viene determinada por su facilidad de transformación, cualidad de la que carece la corriente continua.

Dado que la sección de los conductores de las líneas de transporte de energía eléctrica dependen de la intensidad, podemos, mediante un transformador, elevar el voltaje hasta altos valores (alta tensión). Con esto la misma energía puede ser distribuida a largas distancias con bajas intensidades de corriente y, por tanto, con bajas pérdidas por causa del efecto Joule. Una vez en el punto de utilización o en sus cercanías, el voltaje puede ser de nuevo reducido para su uso industrial o doméstico de forma cómoda y segura.

Rectificación

La rectificación es el proceso de convertir una CA en una CC. Para ello se utilizan:

- Transformadores: para disminuir o elevar voltajes de corriente alterna.
- Rectificadores: transforman una señal de CA en una de CC.
- Filtros: filtran la señal. Pueden estar incluidos en los rectificadores.
- Reguladores: proporcionan una señal CC estable.

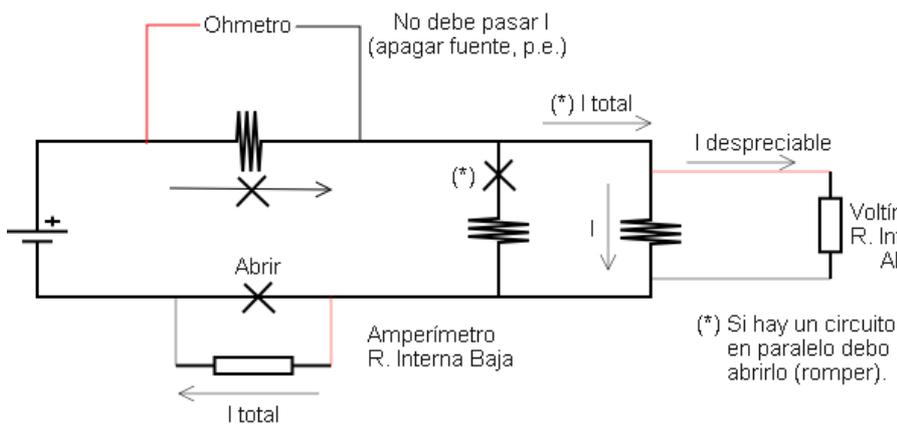


Aparatos de medida

(tanto en CC como en CA)

+ Rojo - Negro (Masa - 0V)

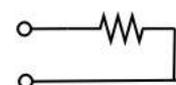
Cada cable se conecta a la salida del mismo color y signo del aparato de medida.



En el voltímetro la resistencia interna es muy alta para que la tensión que circula por el aparato sea despreciable y no altere la caída de tensión producida por el dispositivo. Por el contrario en el amperímetro la resistencia interna es muy baja para asumir toda la corriente.

Circuito Genérico

Cuando se trabaja con circuitos cuyo análisis es independiente de si la corriente que circula es continua o alterna, gráficamente se utilizan únicamente terminales de conexión.

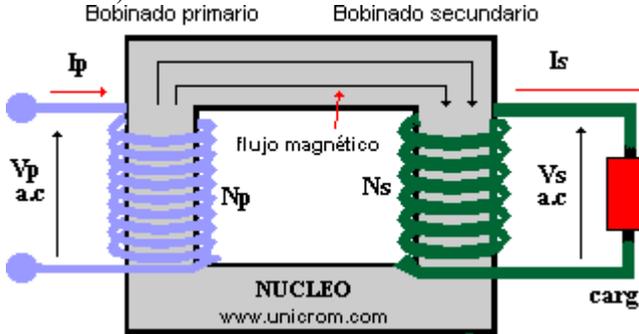


Otros dispositivos

Transformadores

Un transformador transforma una señal de CA en otra señal de CA de diferente voltaje.

Se compone de un núcleo de hierro sobre el que se enrollan dos bobinas de alambre conductor (bobina primaria y secundaria).

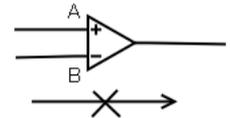


- La bobina primaria recibe un voltaje alterno que hará circular por ella una CA.
- Esta corriente inducirá un flujo magnético en el núcleo de hierro
- El flujo magnético circulará a través de las espiras de la bobina secundaria.
- El flujo magnético que atraviesa las espiras del secundario generará por el alambre una tensión. Si hay una carga conectada al secundario, habrá una CA.

Si el número de vueltas del secundario (N_s) es el triple del número de vueltas del primario (N_p), el secundario tendrá el triple de voltaje. $N_p/N_s = V_p/V_s = I_p/I_s$

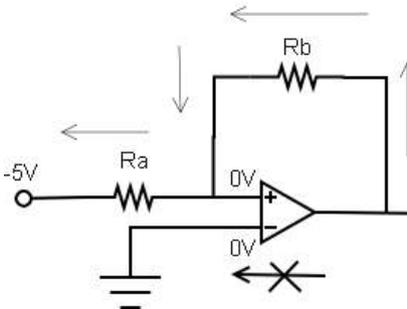
Amplificador Operacional

Es un dispositivo de tres conexiones por el que no circula corriente y que mantiene en dos de sus patas (marcadas + y -) la misma tensión. $V_A = V_B$



Inicialmente se utilizaba para realizar cálculos. Se puede usar de múltiples maneras: comparador, inversor, sumador, restador, integrador, derivador.

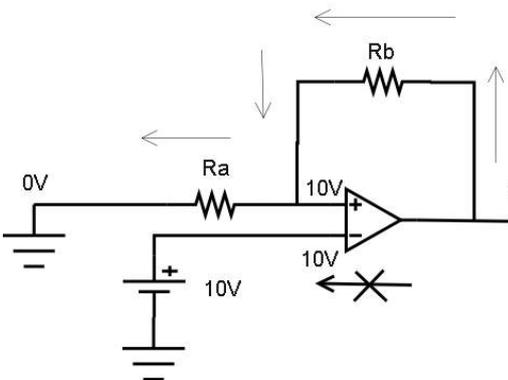
Amplificador Operacional - Inversor:



Toda corriente debe circular a través de R_b . Por tanto la corriente en R_b (I_b) debe ser igual a la corriente en R_a (I_a).
Esto sirve para invertir y regular la tensión en V_s .

Sabemos que en el ejemplo $V_A = -5 + 0$
Si $R_a = 1\text{K}\Omega$ $I_A = V_A/R_A = -5/1 = -5\text{mA}$
Si $R_b = R_a$ en V_s tendremos $+5\text{V}$.

En concreto, para distintos valores de R_b obtendremos:
 $V_S = 0 - V_B; V_B = I_A/R_B = -5/R_B$

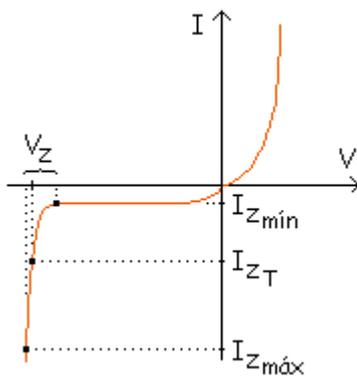


De nuevo, si $R_a = 1\text{K}\Omega$ $I_A = V_A/R_A = 10/1 = 10\text{mA}$

Y para los distintos valores de R_b obtendremos:
 $V_S = 10 - V_B; V_B = I_A/R_B = 10/R_B$

De este modo podemos regular V_s con nuestra fuente de tensión y sin invertirla.

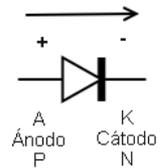
Diodos



Los diodos son el dispositivo semiconductor más sencillo. Permiten la corriente en una dirección (polarización directa) y se oponen al paso de la misma en la otra (polarización inversa).

Otro uso que tiene el diodo es como fusible, puesto que cuando llega una descarga el diodo no deja pasar la corriente.

De forma simplificada, la curva característica de un diodo (I-V) consta de dos regiones: por debajo de cierta diferencia de potencial, se comporta como un circuito abierto (no conduce), y por encima de ella como un cortocircuito con muy pequeña resistencia eléctrica, lo que equivale a una pequeña fuente de tensión de su valor umbral.



Es decir, si se intenta incrementar la diferencia de potencial entre los

extremos del diodo (incrementar la tensión), el diodo deja pasar la corriente que sea necesaria para anular dicha diferencia. Si se aplica demasiada tensión a diodos reales se funden.

Si se aplica una tensión inversa demasiado alta a un diodo normal, éste entra en "avalancha" y pierde sus propiedades (zona de ruptura).

Los diodos Zener están preparados para funcionar a partir de esa tensión inversa límite, dejando pasar toda la corriente.

Según la tensión a la que está sometido un diodo, equivale a:

$V > V_u$ - fuente de tensión de V_u voltios

$V_z > V < V_u$ - circuito abierto (no circula corriente)

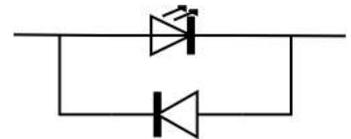
$V < V_z$ - fuente de tensión de V_z voltios (ojo al valor / sentido)



El LED (*Light Emission Diode*) es un tipo especial de diodo, que trabaja como un diodo común, pero que al ser atravesado por la corriente eléctrica emite luz de distintos colores según el material con el que ha sido fabricado: rojo, verde, amarillo, ámbar, infrarrojo.

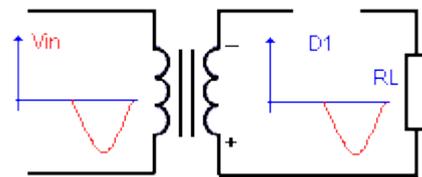
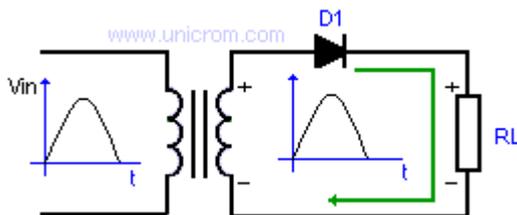
Sus principales ventajas son: bajo consumo, mantenimiento casi nulo y larga vida.

El LED debe ser protegido ante picos inesperados. Una forma de hacerlo es colocar en paralelo con el LED pero apuntando en sentido opuesto un diodo de silicio común.



Rectificador de media onda

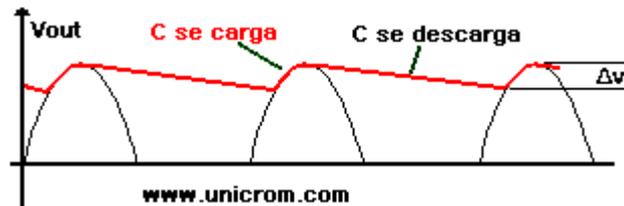
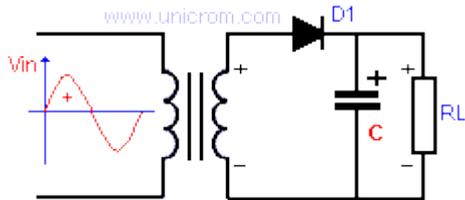
Por ejemplo, podemos utilizar un transformador para convertir una señal de CA de 220 V a una de CA de 12 o 15 V y después añadir un diodo para proveer a nuestro circuito o dispositivo corriente solo en el semiciclo positivo.



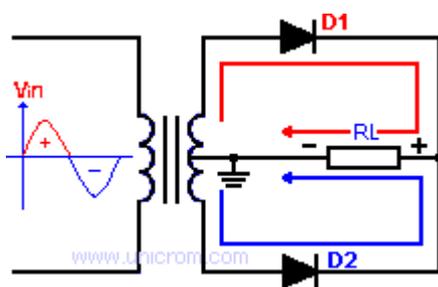
Filtrado con capacitor

La tensión de media onda resultante no es constante y no se puede utilizar, así que se añade un condensador o capacitor al circuito. Cuando el diodo conduce (semiciclo positivo) el condensador se carga al valor pico del voltaje de entrada. En el siguiente semiciclo, cuando el diodo está polarizado en inversa y no hay flujo de corriente hacia la carga, es el condensador el que entrega corriente a la carga (se descarga).

A la variación del voltaje (ΔV) en los terminales del condensador debido a la descarga de este en la resistencia de carga se le llama tensión de rizado. La magnitud de este rizado dependerá del valor de la resistencia de carga y al valor del condensador.



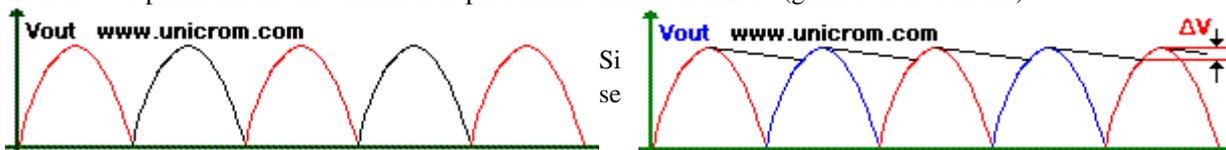
Rectificador de onda completa



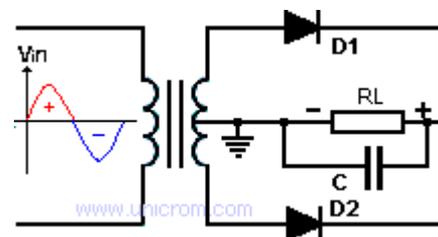
Durante el semiciclo positivo (V_{in} rojo) el diodo D1 conduce. La corriente pasa por la parte superior del secundario del transformador, por el diodo D1 por RL y termina en tierra. El diodo D2 no conduce pues está polarizado en inversa.

Durante el semiciclo negativo (V_{in} azul) el diodo D2 conduce. La corriente pasa por la parte inferior del secundario del transformador, por el diodo D2 por RL y termina en tierra. El diodo D1 no conduce pues está polarizado en inversa.

Ambos ciclos del voltaje de entrada son aprovechados y el voltaje de salida se verá como en el gráfico de la izquierda. De nuevo se puede añadir un condensador para añadir tensión de rizado (gráfico de la derecha).



comparar el diagrama de la derecha con su correspondiente de rectificación de 1/2 onda, se puede ver que este circuito tiene un rizado de mayor frecuencia (el doble), pero es menor.

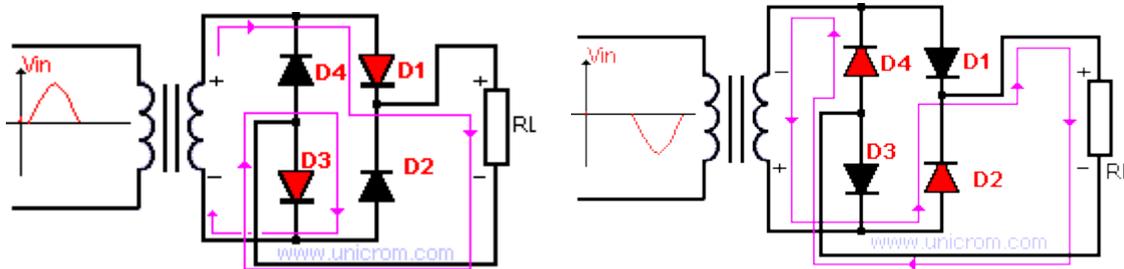


Este tipo de rectificador de onda completa (con o sin capacitor) necesita un transformador con derivación central. La derivación central es una conexión adicional en el bobinado secundario del transformador, que divide la tensión (voltaje) en este bobinado en dos voltajes iguales.

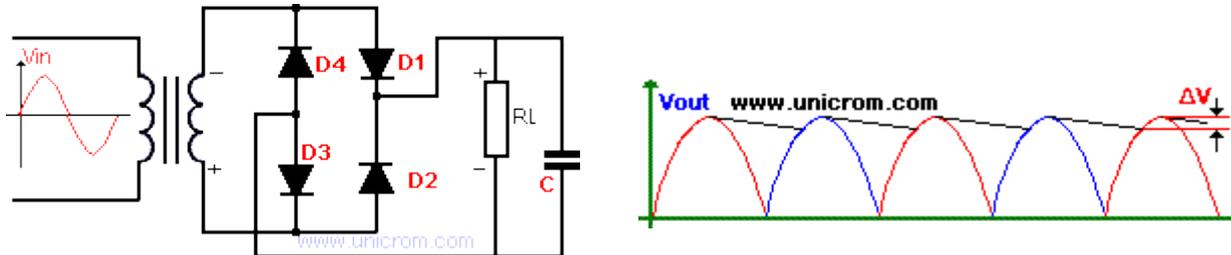
Rectificador de onda completa con puente de diodos

En este circuito con puente de diodos, los diodos, D1 y D3 son polarizados en directo en el semiciclo positivo, los diodos D2 y D4 son polarizados en sentido inverso.

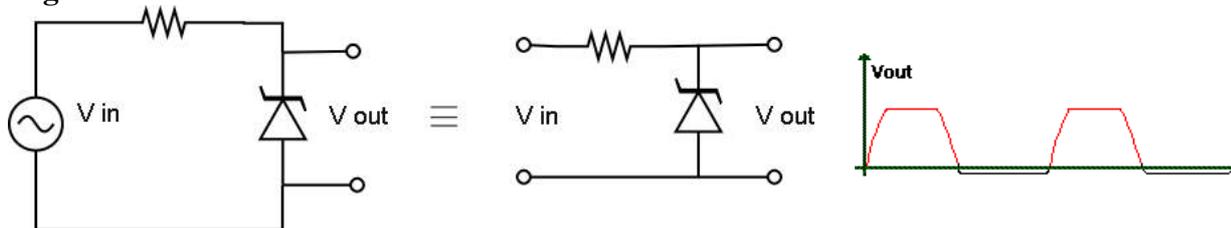
La corriente pasa por la carga RL siempre en el mismo sentido.



De nuevo podemos añadir en paralelo un condensador (capacitador) para que añada tensiones de rizado y suavice la señal de salida.



Regulador de tensión con diodo Zener



Las características principales del zener son la tensión umbral V_u (por ejemplo 0,7V) y la tensión de Zener V_z (por ejemplo -5V). Como ya se ha comentado, si V_{in} :

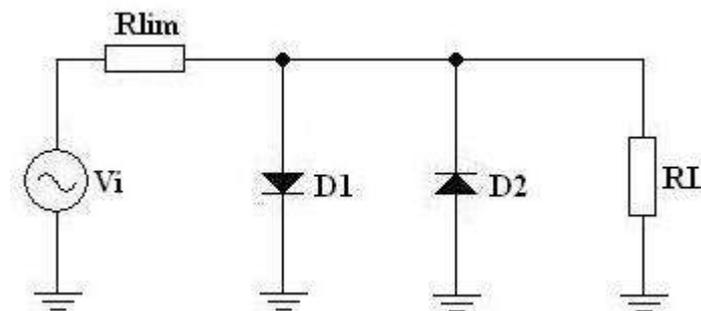
$V_z < V_{in} < V_u$ - el diodo no deja pasar corriente, es como un circuito abierto ($V_{out}=V_{in}$)

$V_{in} < V_z$ - el diodo deja pasar corriente y mantiene la tensión V_z ($V_{out}=V_z$)

$V_{in} > V_u$ - el diodo deja pasar corriente y mantiene la tensión V_u ($V_{out}=V_u$)

(Nótese que el diodo trabaja en la zona Zener).

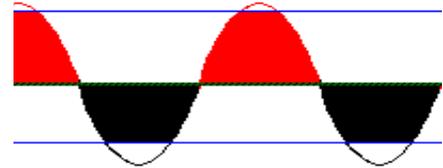
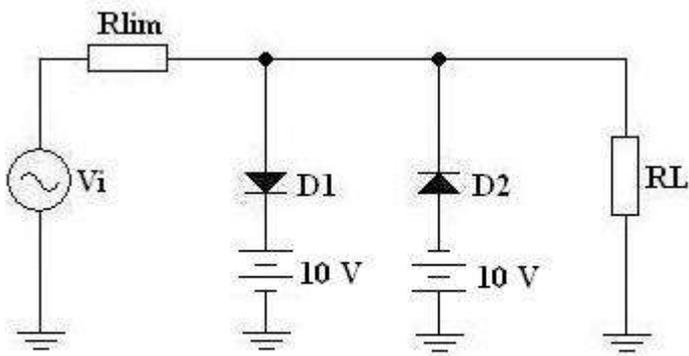
Limitador de tensión



Limitamos la tensión que llega a RL, permitiendo únicamente valores entre -0,7V y 0,7V. Si la tensión excede dichos parámetros el diodo correspondiente se polariza estabilizándola.

Si deseamos otros valores, podemos polarizar los diodos, consiguiendo por ejemplo, limitar la tensión a valores entre -10,7V y 10,7V (10V de las baterías + 0,7 de los diodos).

La resistencia limitadora R_{lim} es imprescindible, ya que si no estuviera conectada, al polarizarse uno de los diodos directamente por una tensión mayor a $|0'7|$, éste comenzaría a conducir la corriente eléctrica sin control (cortocircuito) y se destruiría. La función de R_{lim} es limitar la corriente que atraviesa los diodos.



Transistores

[Falta por desarrollar]

Generadores de funciones

[Falta por desarrollar]

Referencias principales

Apuntes propios (gracias Kimet ;-)

Wikipedia - <http://www.wikipedia.org>

Unicrom - <http://www.unicrom.com>