UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Docente: Rildo Afonso de Almeida

Eletrônica de Potência

DIODOS

O diodo é um componente eletrônico de dois terminais, que conduz corrente elétrica preferivelmente em um só sentido, bloqueando a sua passagem no sentido oposto.

DIODOS

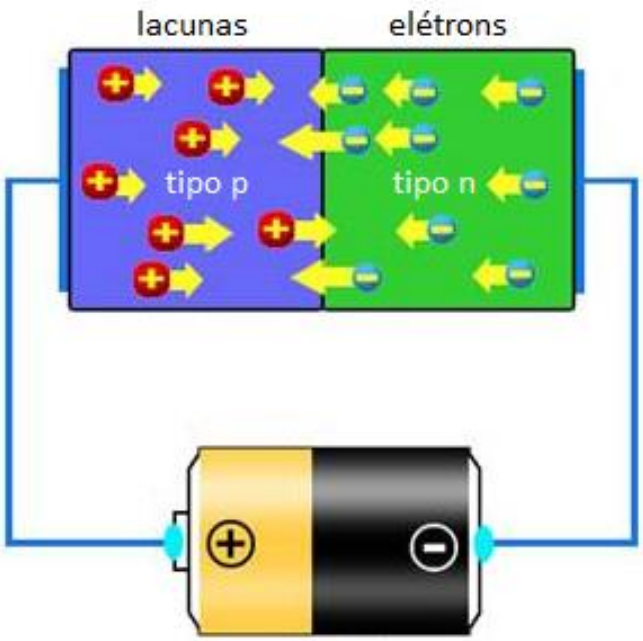
Os diodos modernos são feitos de um cristal semicondutor, como o silício, ao qual são adicionadas impurezas, no intuito de criar uma região de portadores negativos (elétrons), chamada região "tipo-n", e uma região de portadores positivos (lacunas), denominada região "tipo-p".

DIODOS

Os terminais do diodo são conectados a cada uma dessas regiões. No interior do cristal, a fronteira entre essas duas regiões é chamada de junção PN, sendo responsável pela característica unidirecional do componente.

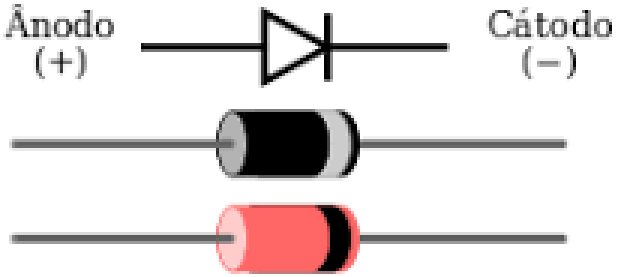
DIODOS

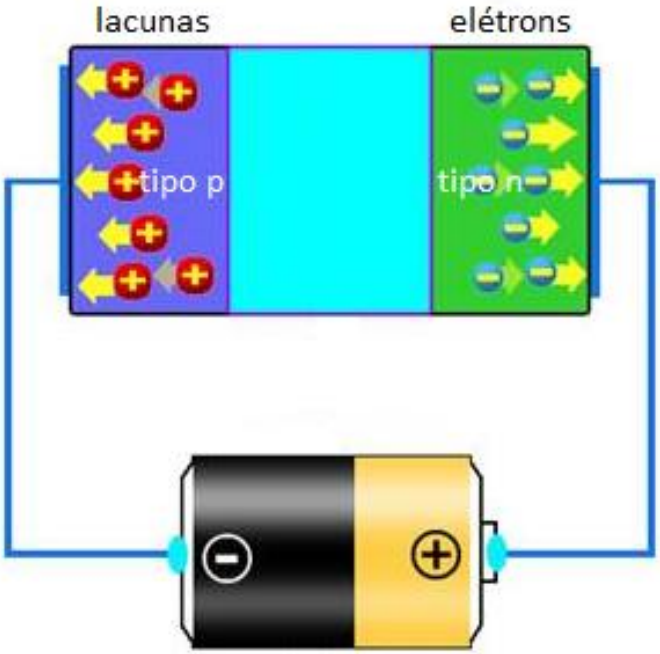
Utilizando uma explicação bastante simplificada, pode-se dizer que quando o diodo é polarizado de forma direta, isto é, quando uma tensão positiva é aplicada ao terminal conectado à região tipo-p (anodo) e uma tensão negativa é aplicada ao outro terminal (catodo), a barreira criada pela junção PN diminui, permitindo a passagem da corrente elétrica.



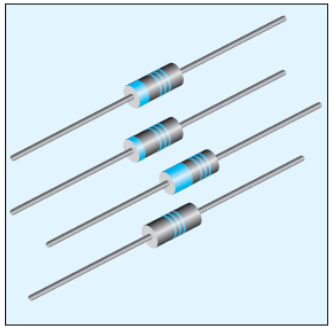
DIODOS

De forma contrária, quando o diodo é polarizado reversamente, a barreira aumenta, impedindo a passagem da corrente.

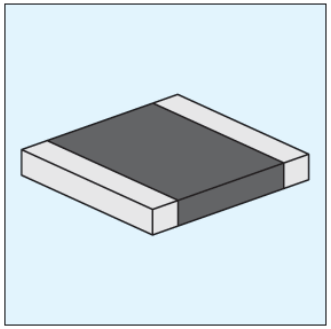




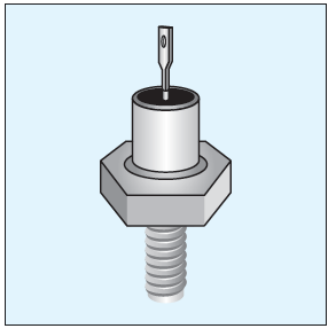
DIODOS



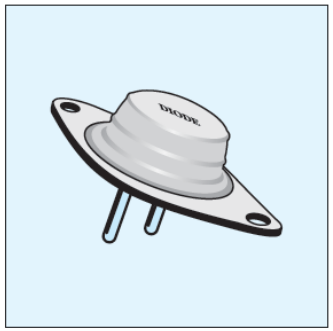
Diodo de uso geral



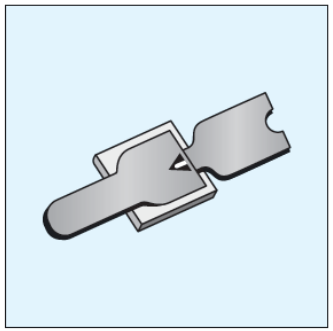
Diodo PIN de alta potência para montagem em superfície



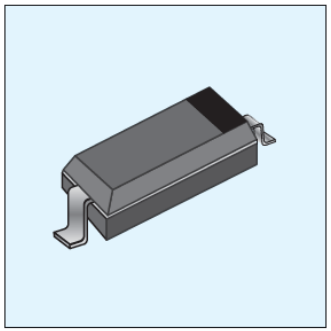
Diodo de potência (com rosca)



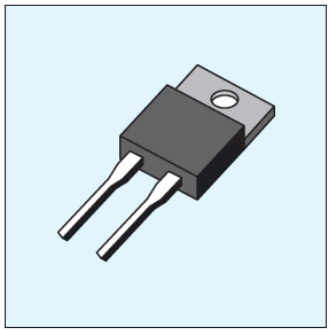
Diodo de potência (com tecnologia planar)



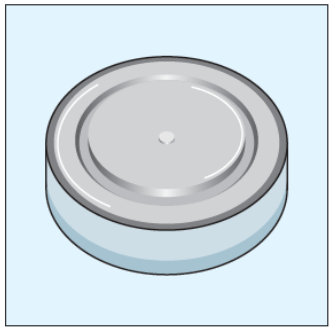
Diodo PIN (beam lead)



Diodo chip para montagem em superfície



Diodo de potência

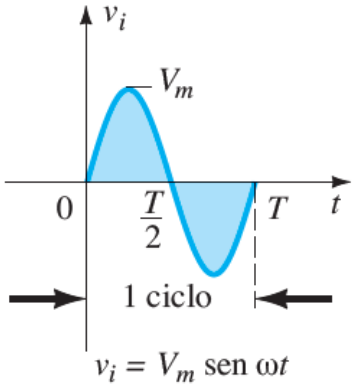


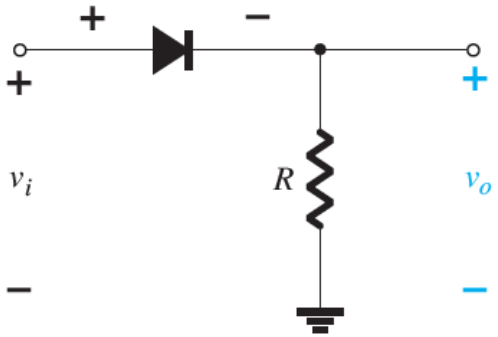
Diodo de potência (tipo disco)

Circuitos retificadores – Meia onda

Quando empregado no processo de retificação, o diodo é denominado *retificador*.

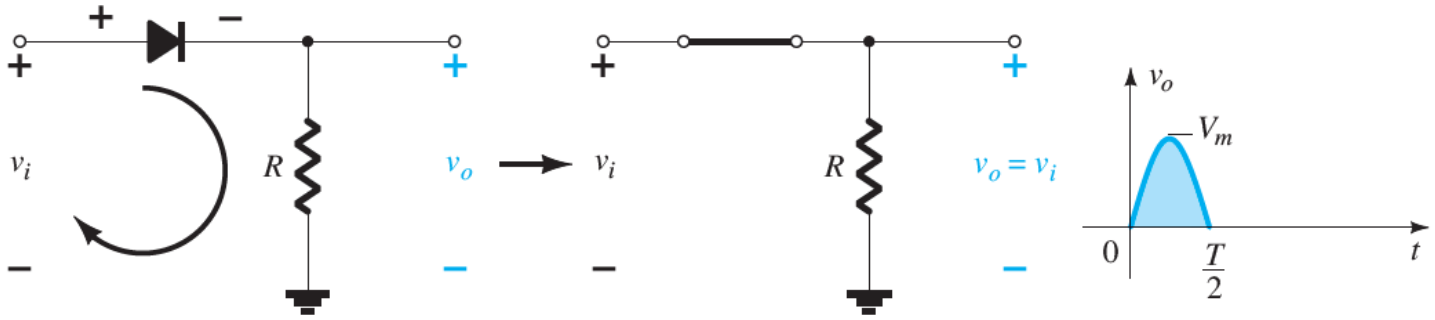
O circuito abaixo, chamado de *retificador de meia-onda*, originará uma forma de onda *vo* que possuirá um valor médio de uso particular no processo de conversão CA-CC.





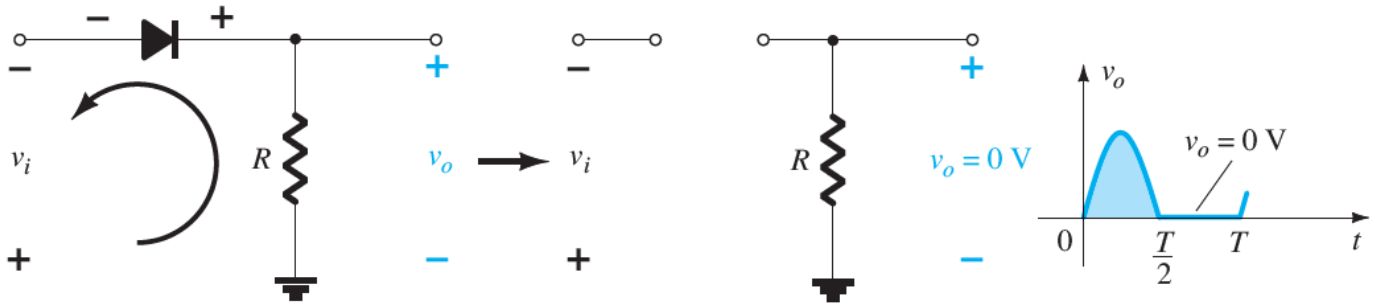
Circuitos retificadores – Meia onda

Durante o intervalo $t = 0 \rightarrow T/2$, a polaridade da tensão aplicada *vi* é tal que estabelece “pressão” no sentido indicado e liga o diodo com a polaridade que aparece acima dele.



Circuitos retificadores – Meia onda

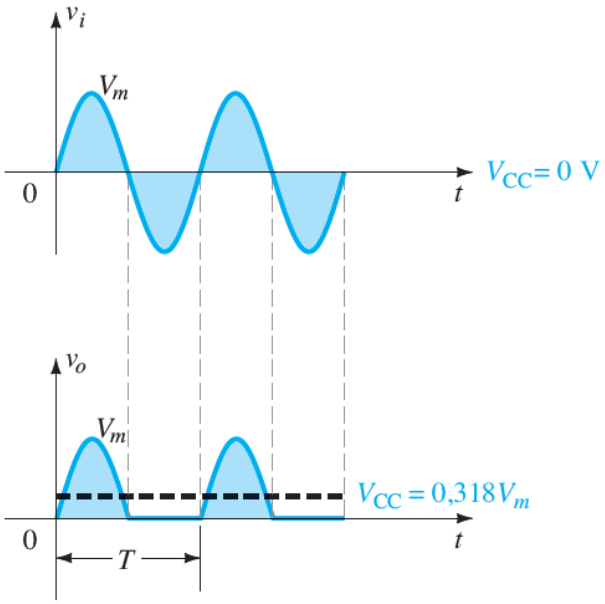
Para o período $T/2 \rightarrow T$, a polaridade da entrada *vi* é mostrada abaixo, e a polaridade resultante através do diodo ideal produz um estado “desligado” com um circuito aberto equivalente.



Circuitos retificadores – Meia onda

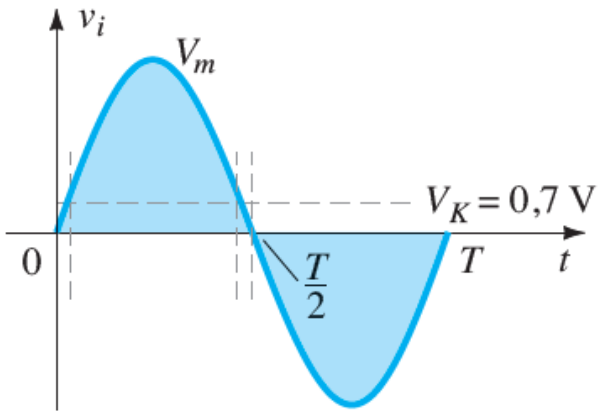
O sinal de saída *vo* agora tem uma área resultante média acima do eixo sobre um período completo e um valor médio determinado por: $V_{CC} = 0{,}318\ V_m$ meia-onda

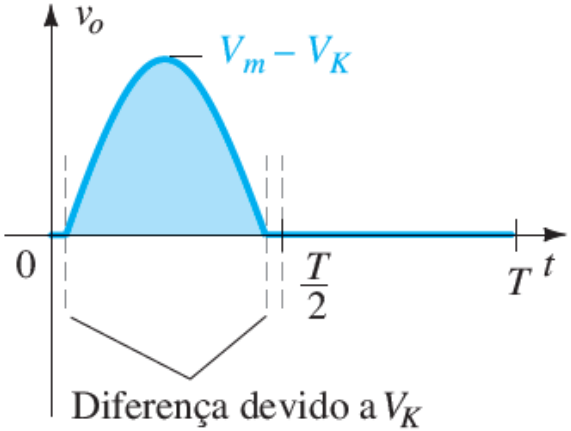
O processo de remoção da metade do sinal de entrada para estabelecer um nível CC é apropriadamente denominado ***retificação de meia-onda***.



Circuitos retificadores – Meia onda

O efeito da utilização de um diodo de silício com *VK* = 0,7 V está demonstrado abaixo para a região de polarização direta. O sinal aplicado deve ser agora, no mínimo, 0,7 V para que o diodo possa entrar no estado “ligado”. Para valores de *vi* menores do que 0,7V, o diodo ainda é um circuito aberto e *vo* = 0 V.





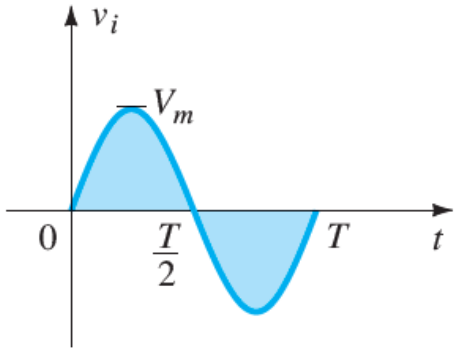
Circuitos retificadores – Meia onda

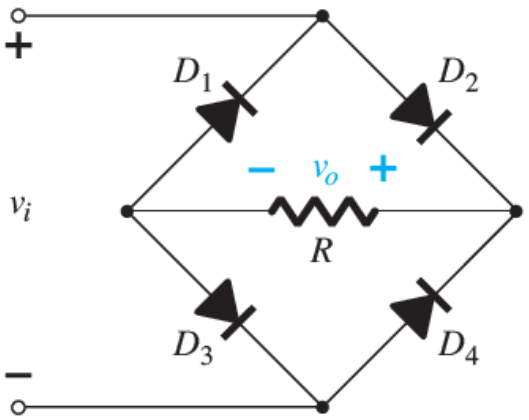
A tensão de pico inversa do diodo (PIV ou PRV — Peak Reverse Voltage) é de grande importância no projeto de sistemas de retificação. Lembre-se de que é a tensão máxima nominal do diodo que não deve ser ultrapassada na região de polarização reversa ou o diodo entrará na região de avalanche.

$$\boxed{\text{PIV máxima} \geqq V_m}$$ retificador de meia onda

Circuitos retificadores – Onda Completa

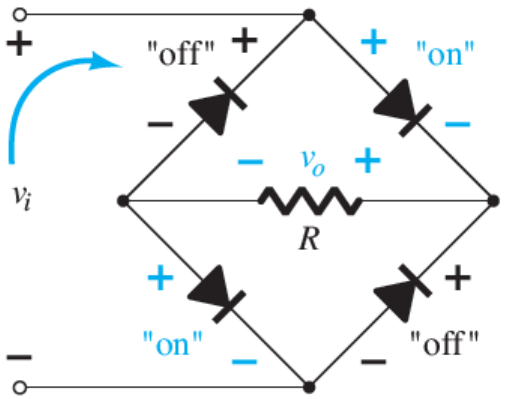
O nível CC obtido a partir de uma entrada senoidal pode ser melhorado 100% utilizando-se um processo chamado de *retificação de onda completa*.





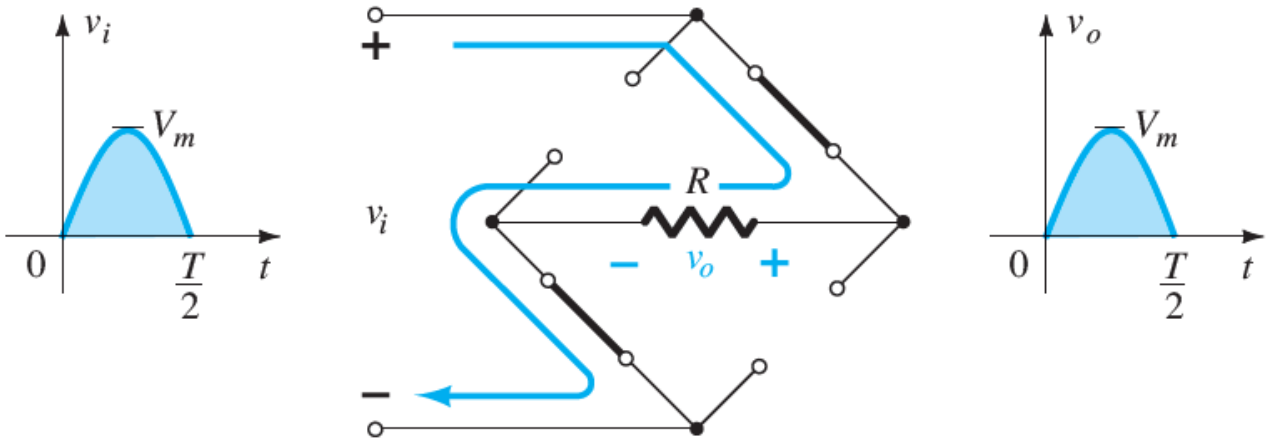
Circuitos retificadores – Onda Completa

Durante o período que vai de $t = 0$ até $T/2$, a polaridade da tensão de entrada é mostrada abaixo. As polaridades resultantes através dos diodos ideais também são mostradas, revelando que $D2$ e $D3$ estão conduzindo (“on”), enquanto $D1$ e $D4$ estão no estado “desligado” (“off”).



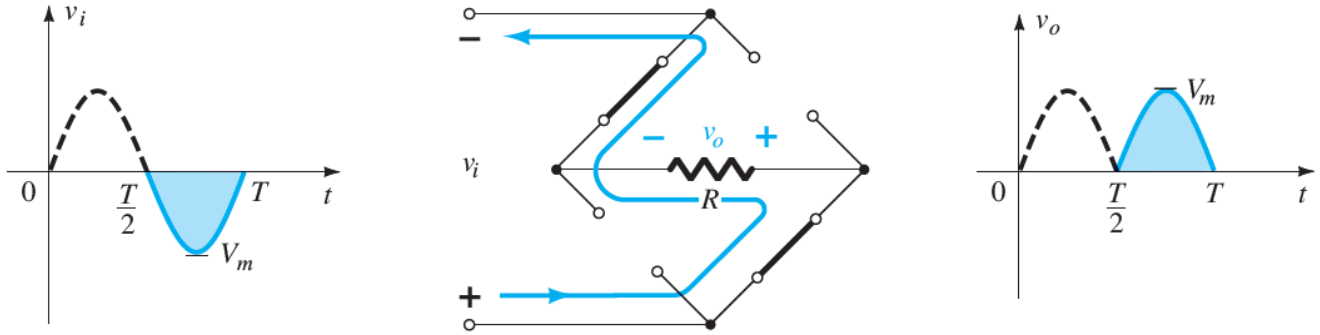
Circuitos retificadores – Onda Completa

O resultado é a configuração abaixo com a indicação da corrente e da polaridade através de *R*. Visto que os diodos são ideais, a tensão na carga é *vo* = *vi*, como mostra a figura.



Circuitos retificadores – Onda Completa

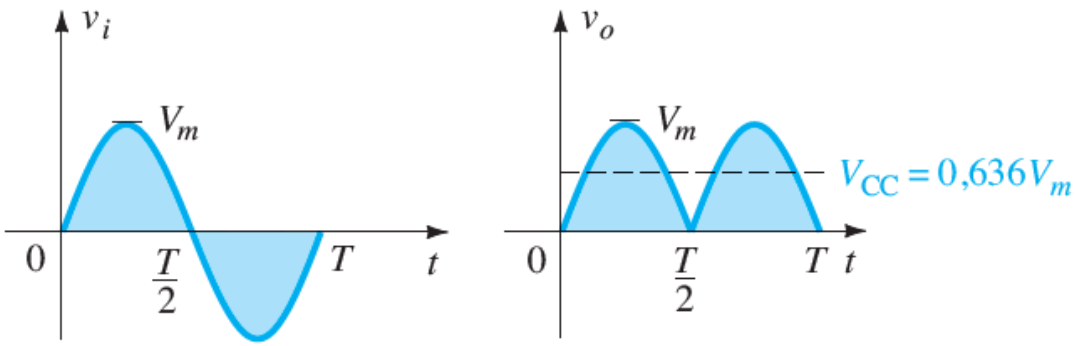
Para a região negativa da entrada, os diodos *D*1 e *D*4 estão conduzindo, resultando na configuração abaixo. O resultado importante é que a polaridade através do resistor de carga *R* é a mesma que aparece na Figura do slide anterior, estabelecendo um segundo pulso positivo, como mostrado a seguir.



Circuitos retificadores – Onda Completa

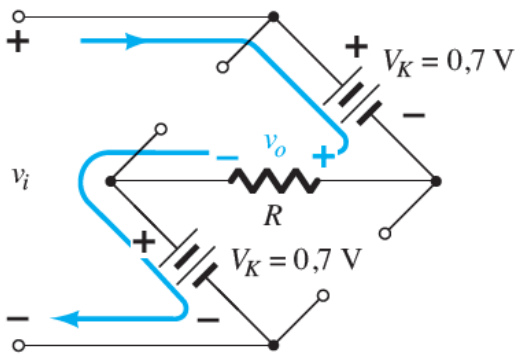
Ao longo de um ciclo completo, as tensões de entrada e saída aparecerão conforme mostrado abaixo. Uma vez que a área acima do eixo para um ciclo completo agora é o dobro da área obtida para um retificador de meia-onda, o valor CC também foi dobrado.

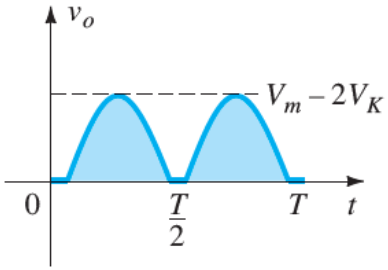
$$VCC = 2(0{,}318\ Vm)$$



Circuitos retificadores – Onda Completa

Se fossem empregados diodos de silício em vez de diodos ideais, como mostra a Figura abaixo, a aplicação da Lei das Tensões de Kirchhoff ao longo do caminho de condução resultaria em:





$$v_i - V_K - v_0 - V_K = 0$$

$$v_0 = v_i - 2V_K$$

O valor de pico da tensão de saída *Vo* é, portanto,

$$V_{o_{\text{máx}}} = V_m - 2V_K$$

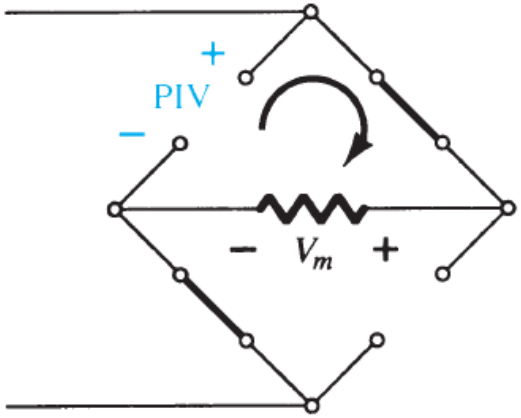
Circuitos retificadores – Onda Completa

Para situações em que *Vm* >> 2*VK*, pode-se aplicar a seguinte equação para o valor médio com um grau relativamente alto de precisão:

$$V_{CC} \cong 0{,}636(V_m - 2V_K)$$

Circuitos retificadores – Onda Completa

A PIV necessária para cada diodo (ideal) pode ser determinada a partir da Figura abaixo, obtida no pico da região positiva do sinal de entrada. Para a malha indicada, a tensão máxima através de *R* é *Vm* e a PIV máxima é definida por:



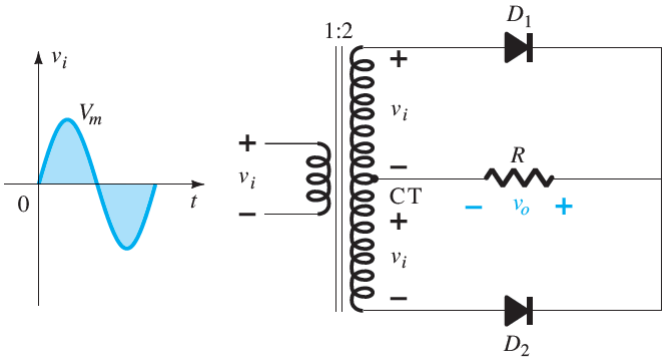
$$\boxed{\text{PIV} \geqq V_m}$$

retificador de onda completa em ponte

Circuitos retificadores – Onda Completa

Transformador com derivação central

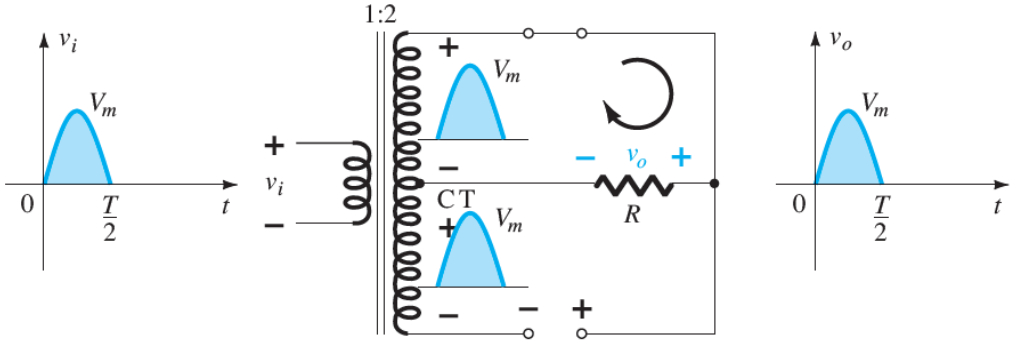
Um segundo retificador de onda completa bastante conhecido é mostrado na abaixo, que tem somente dois diodos, mas requer um transformador com derivação central (CT — *center-tapped*) para estabelecer o sinal de entrada em cada seção do secundário do transformador.



Circuitos retificadores – Onda Completa

Transformador com derivação central

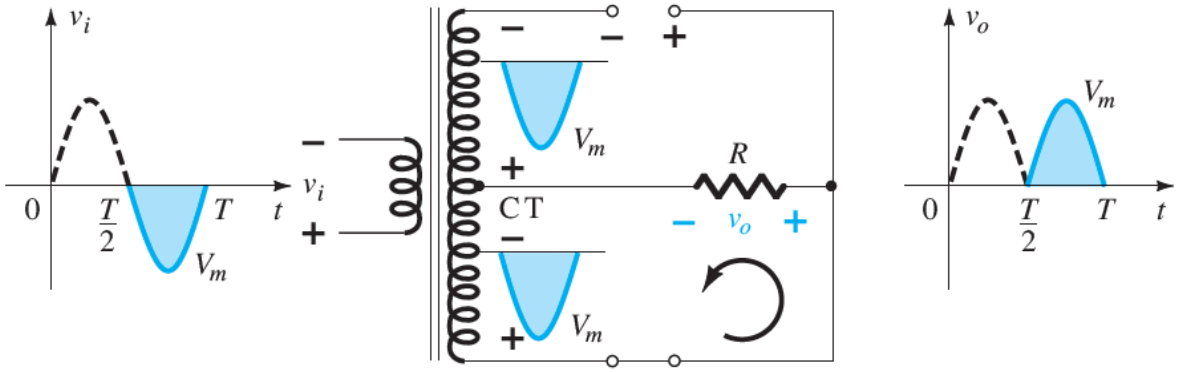
Durante a porção positiva de *vi* aplicada ao primário do transformador, o circuito se comportará como mostra abaixo, com um pulso positivo através de cada seção do enrolamento secundário. *D*1 assume o curto-circuito equivalente e *D*2, o circuito aberto equivalente, conforme determinado pelas tensões no secundário e pelos sentidos das correntes resultantes. A tensão de saída aparece como ilustrado na Figura.



Circuitos retificadores – Onda Completa

Transformador com derivação central

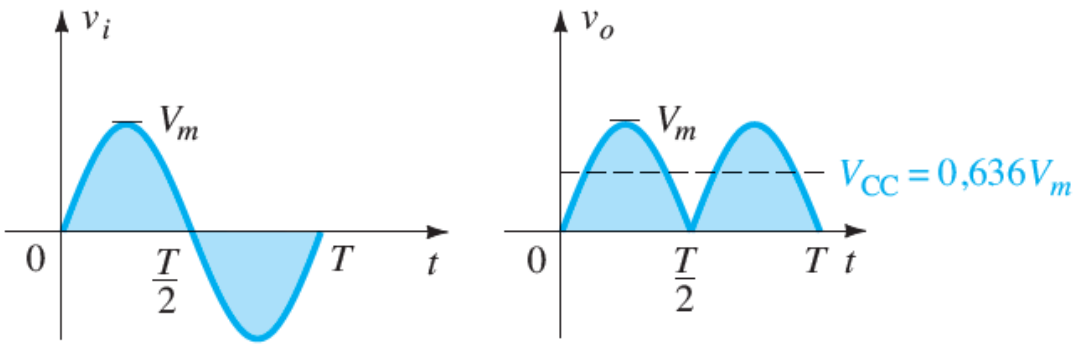
Durante a porção negativa da entrada, o circuito aparece como mostra a Figura abaixo, invertendo as funções dos diodos, mas com a mesma polaridade de tensão através do resistor de carga *R*.



Circuitos retificadores – Onda Completa

Transformador com derivação central

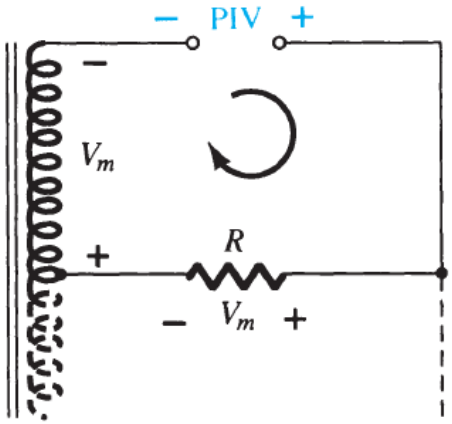
O efeito é a mesma forma de onda de saída que a exibida no retificador em ponte, com os mesmos níveis CC.



Circuitos retificadores – Onda Completa

Transformador com derivação central

O circuito da Figura abaixo nos ajudará a determinar a PIV para cada diodo nesse retificador de onda completa. Aplicar tensão máxima no secundário (*Vm*), conforme estabelecido pela malha adjacente, resultará em:



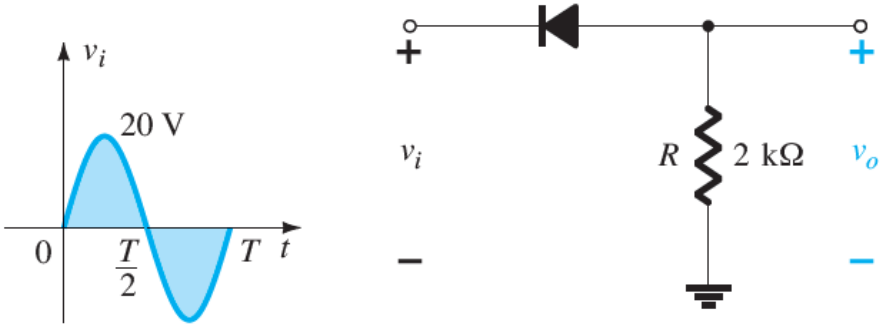
$$\text{PIV} = V_{\text{secundário}} + V_R$$
$$= V_m + V_m$$

$$\boxed{\text{PIV} \geqq 2V_m}$$

Transformador CT, retificador de onda completa

Circuitos retificadores – Exercício

1) Baseado na figura abaixo.



a) Esboce a tensão de saída *vo* e determine o valor CC de saída para o circuito.

b) Repita o item (a) se o diodo ideal for substituído por um diodo de silício.

c) Repita os itens (a) e (b) se *Vm* for aumentada para 200 V e compare as soluções utilizando as equações: $V_{CC} = 0{,}318\ V_m$ $V_{CC} \cong 0{,}318(V_m - V_K)$

Bibliografia Básica

1 - LANDER, C. W. Eletrônica Industrial – Teoria e Aplicações. São Paulo: McGraw Hill,1988.
2 - RASHID, M. H. Eletrônica de Potência – Circuitos, dispositivos e aplicações. Makron Books, 1999.
3 - RASHID, M. H. Eletrônica de Potência. Pearson, 1999.

Bibliografia Complementar

1 - BARBI, I. Eletrônica de Potência. 2. ed. Universidade Federal de Santa Catarina, Série Didática, 2000.
2 - AHMED, A. Eletrônica de Potência. Pearson, 2000.
3 - GIMENEZ, S. P.; ARRABAÇA, D. A. Eletrônica de Potência. Conversores de Energia CA/CC. Teoria, Prática e Simulação. Érica/ Saraiva, 2015.
4 - HART, D. W. Eletrônica de Potência - Análise e Projetos de Circuitos. Mc Graw Hill. Amgh Editora.
5 - ERICSON, R. W.; MAKSIMOVIC, Dragan. Fundamentals of Power Electronics. 2nd Edition, eBook
6 - BARBI, I. Eletrônica de Potência. 2. ed. Universidade Federal de Santa Catarina, Série Didática, 2000.