

Apostila 3 – Continuação de Diodos

III - CIRCUITOS COM DIODOS

1 - Sinal senoidal

Um dos sinais elétricos alternados mais comuns é o senoidal. O sinal senoidal pode ser representado matematicamente por:

$x = X_p \cdot \text{sen}(y)$

onde:

x: valor instantâneo da variável x

X_p : valor de pico da variável x

y: domínio da função x

Em eletricidade usamos dois domínios:

- angular ($y = \Omega$) ($0 < \Omega < 2\pi$)
- temporal ($y = \omega \cdot t$) ($\omega = 2\pi \cdot f$)

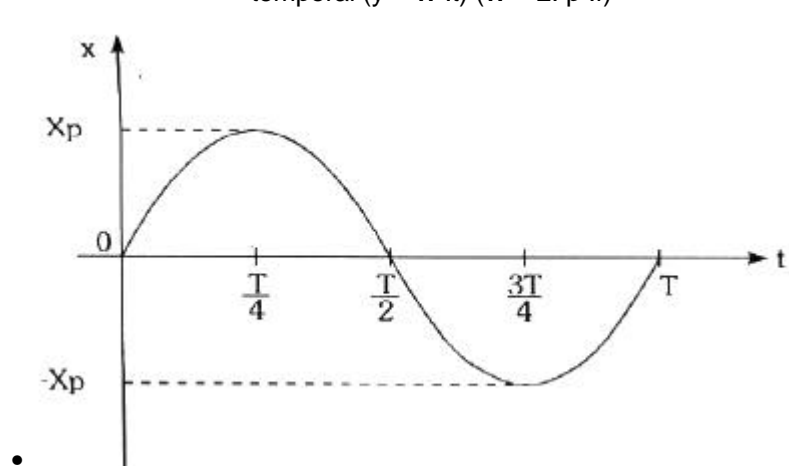


Figura 1 - Sinal senoidal

É importante o conhecimento destas três definições:

- Valor de pico a pico (X_{pp}) $X_{pp} = 2 \cdot X_p$
- Valor médio (X_m) $X_m = 0$
- Valor eficaz (X_{rms} ou X_{ef})

$X_{rms} = \frac{X_p}{\sqrt{2}}$

2 - Circuitos Limitadores

O limitador é um circuito que, como o próprio nome diz. Tem como objetivo limitar a tensão de saída do circuito num valor predeterminado, podendo ser negativo, positivo ou ambos.

2.1 - Limitador Positivo

A figura 2 mostra o aspecto de um limitador positivo.

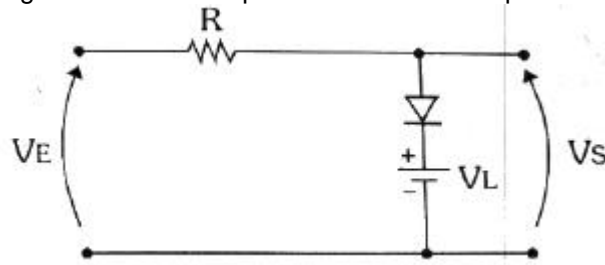


Figura 2 - Limitador Positivo

Considerando-se o diodo ideal, se a tensão de entrada V_E é negativa, o diodo fica reversamente polarizado, ou seja, funciona como um circuito aberto, fazendo com que a tensão da saída V_S seja igual a V_E , como mostra a figura 3.

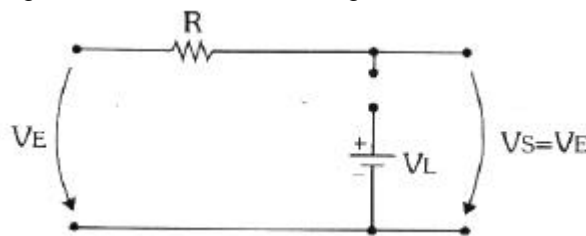


Figura 3 - Diodo Aberto

Se a tensão de entrada V_E é positiva e menor que V_L , o diodo permanece polarizado reversamente e, portanto, a tensão de saída V_S continua sendo igual a V_E , como mostra a figura 4.

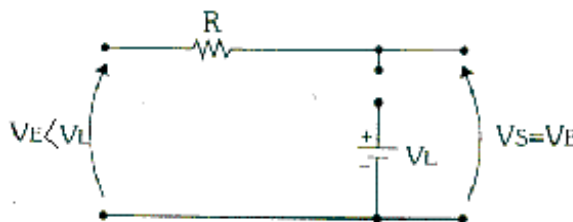


Figura 4- Diodo Aberto

Porém, se a tensão de entrada V_E é positiva e maior que V_L , o diodo fica diretamente polarizado, comportando-se como um condutor, fazendo com que a tensão de saída V_S fique limitada ao valor de V_L , como mostra a figura 5.

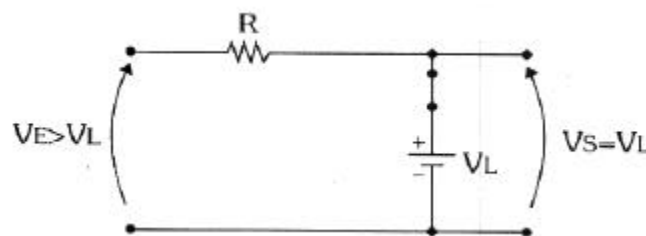


Figura 5- Diodo Conduzindo

Exemplo 1 - Determine a forma de saída do circuito limitador positivo mostrado na figura 6, usando o diodo ideal e um sinal de entrada senooidal com pico de 5 V.

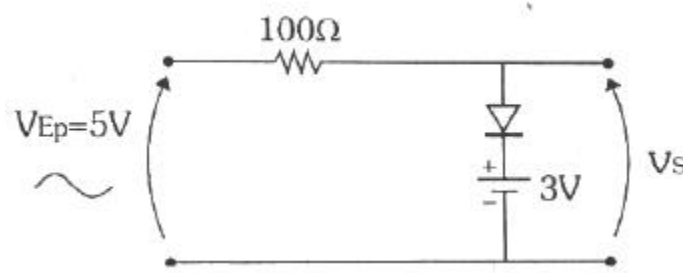


Figura 6- Limitador Positivo em 3 V

2.2 - Limitador Negativo

Invertendo-se o diodo e a fonte VL, tem-se o circuito limitador negativo, como mostra a figura 7.

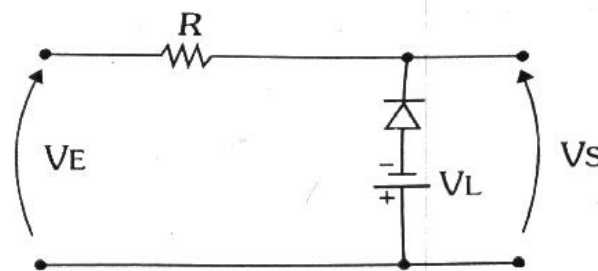


Figura 7- Limitador Negativo

Neste caso, tanto as tensões de entrada positivas quanto as negativas menores que VL polarizam o diodo reversamente, fazendo com que a tensão de saída seja igual à de entrada.

Porém, para tensões de entrada negativas maiores que VL, a tensão de saída permanece em VL, como mostra a figura 8.

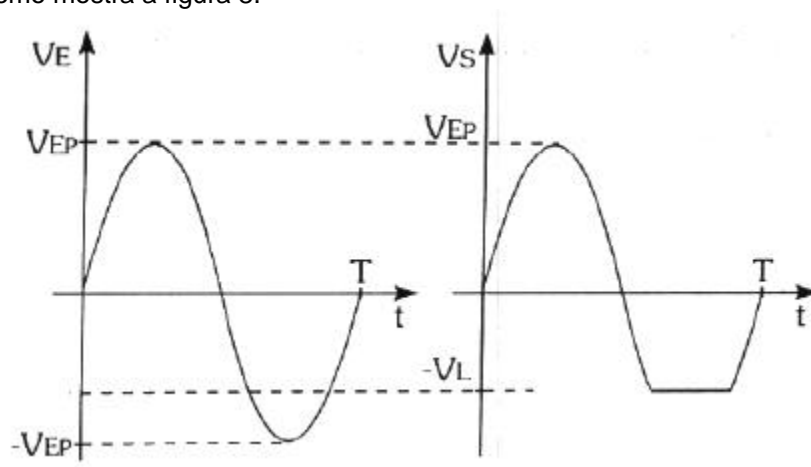


Figura 8- Sinal de Entrada e Saída

2.3 - Limitador Duplo

Associando-se os limitadores positivo e negativo, pode-se obter o limitador duplo, como mostra a figura 9 e 10.

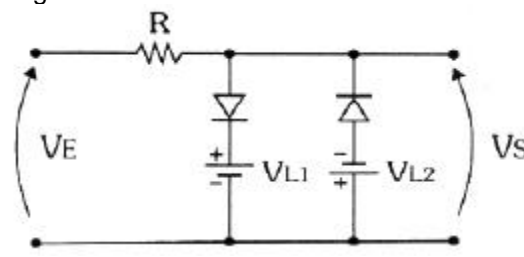


Figura 9- Limitador Duplo

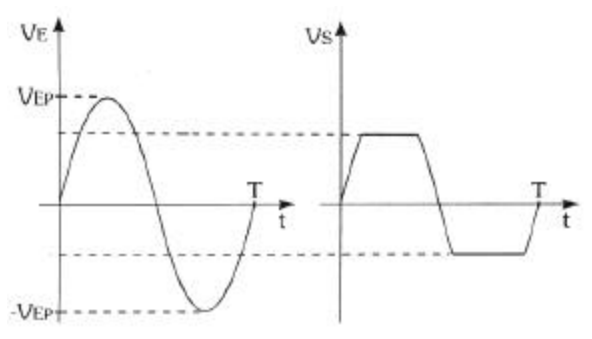


Figura 10- Sinal de Entrada e Saída

3 - Circuitos Retificadores

A geração e distribuição de energia elétrica é efetuada na forma de tensões alternadas senoidais, porém vários aparelhos eletrônicos precisam de tensões contínuas. Sendo assim, necessitam de circuitos que transformam tensões alternadas em tensões contínuas. Estes circuitos são denominados de retificadores.

Porém a tensão alternada na entrada de um circuito retificador deve ser adequada ao seu padrão de tensão, ou seja, à tensão da rede elétrica, antes de ser ligada ao retificador, precisa ser reduzida, trabalho este realizado pelo transformador.

Ainda, após o retificador, é necessário eliminar as variações da tensão contínua para que a mesma torne-se constante, o que é feito através de filtros ou circuitos reguladores de tensão.

A este conjunto de circuitos dá-se o nome de fonte de tensão ou fonte de alimentação.

3.1 - Transformadores

O transformador é uma máquina elétrica que transforma níveis de tensão e corrente em um circuito. Dentre os vários tipos de trafos, vamos falar sobre dois: O trafo abaixador e o trafo abaixador com tap central.

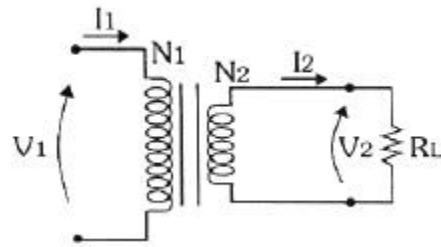


Figura 11- Transformador Abaixador

O transformador é constituído por dois enrolamentos, o primário, no qual é ligado à tensão da rede, e o secundário, no qual pode ser ligado a carga. Um núcleo de aço, ferrite ou ar realiza o acoplamento magnético entre os enrolamentos.

As relações entre as tensões e correntes dos enrolamentos estão relacionadas ao número de espiras destes enrolamentos.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{e} \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

Idealmente a transformação ocorre sem perda de potência, isto é:

$$V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2$$

Exemplo 2 - Determinar o número de espiras do secundário de um transformador projetado para reduzir a tensão da rede de 220V para 12V eficazes, sabendo-se que ele possui 1000 espiras no enrolamento primário.

O transformador com Tap Central permite a obtenção de duas tensões no seu secundário, geralmente de mesmo valor eficaz e com polaridade invertida.

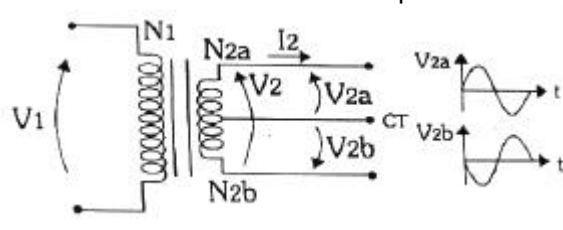


Figura 12- Trafo com Tap Central

3.2 - Retificador de Meia Onda

O mais simples dos retificadores é o retificador de meia-onda. A sua constituição básica é um diodo em série com uma carga RL.

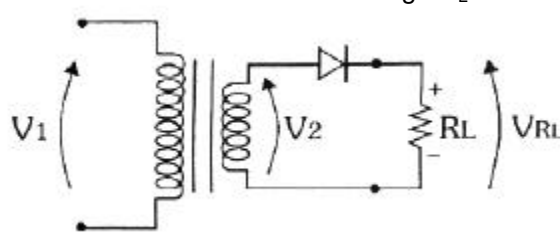


Figura 13- Retificador de Meia-onda

Pelo circuito do retificador de meia onda, vê-se que durante o semiciclo positivo de V2, o diodo conduz (polarização direta), fazendo com que a tensão de saída seja igual à de

entrada. Porém, no semiciclo negativo, o diodo corta (polarização reversa), fazendo com que a tensão de saída seja nula e a tensão de entrada caia toda em cima do diodo como mostra a figura abaixo.

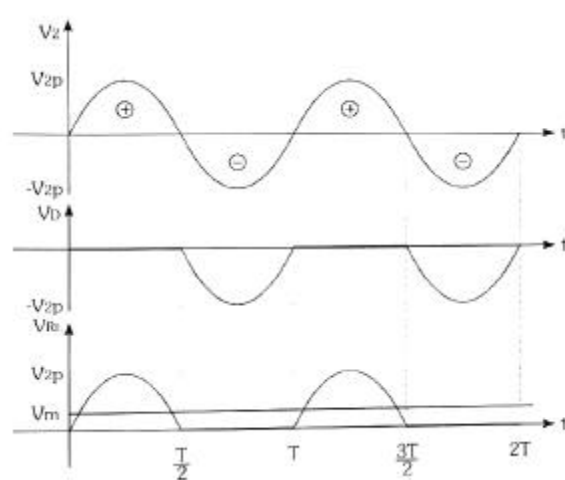


Figura 14 - Formas de ondas

Como a forma de onda na carga não é mais senooidal, embora a freqüência seja a mesma da tensão de entrada, o seu valor médio deixa de ser nulo, existindo uma corrente média dada por:

$$V_m = \frac{V_{2P}}{\pi}$$

$$I_m = \frac{V_m}{R_L}$$

Para que o diodo não queime, ele deve suportar tanto esta corrente média quanto a tensão de pico reversa:

$$I_{DM} > I_m$$

$$V_{BR} > V_{2P}$$

Exemplo 3 - No circuito abaixo determine: (a) a tensão média na carga. (b) corrente média (c) especificações do diodo.

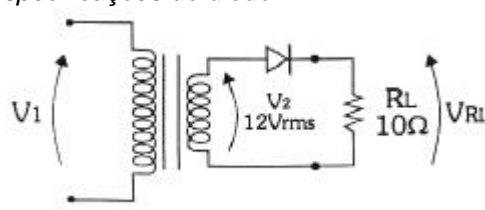


Figura 15- Retificador de Meia-onda

3.3 - Retificador de Onda-Completa com Tap

O retificador de onda completa faz com que tanto o semiciclo positivo quanto o negativo caiam sobre a carga sempre com a mesma polaridade.

Usando um trafo com tap central, isto é possível através do circuito mostrado na figura abaixo.

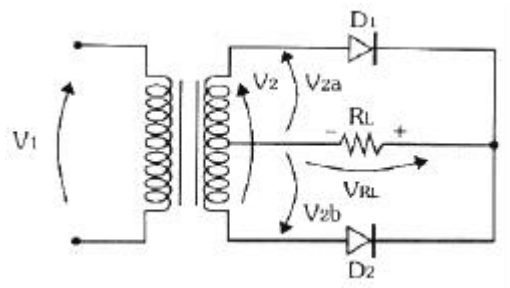


Figura 16- Retificador de onda completa

Durante o semiciclo positivo, o diodo D₁ conduz e o diodo D₂ corta, fazendo com que a tensão na carga seja positiva e igual à tensão no secundário superior do transformador.

Durante o semiciclo negativo o diodo D₁ corta e o diodo D₂ conduz, fazendo com que a tensão na carga tenha a mesma polaridade que a da situação anterior e a mesma amplitude.

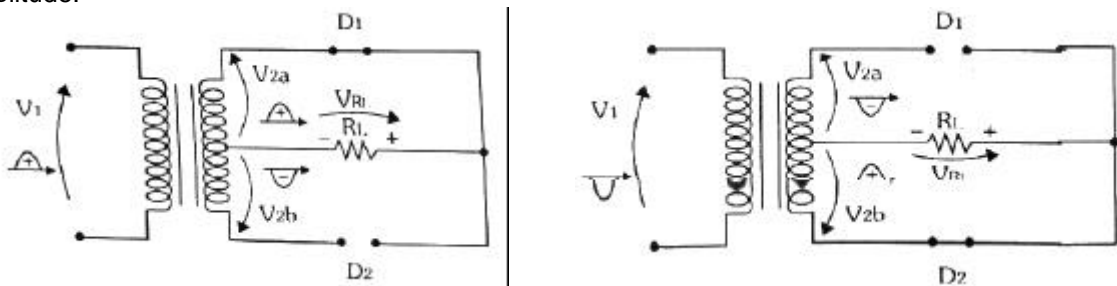


Figura 17- - Comportamento dos Diodos

Neste caso a frequência do sinal de saída dobra de valor e, portanto a tensão média na carga também dobra. Por outro lado, como a tensão de pico na carga é a metade da tensão de pico no secundário do trafo, a tensão média final é a mesma que se obteria usando um retificador de meia onda com este mesmo trafo.

$$V_m = \frac{V_{2P}}{\pi}$$

$$I_m = \frac{V_m}{R_L}$$

Porém a vantagem está na especificação do diodo e na qualidade da filtragem.

Como cada diodo conduz somente num semiciclo, ele conduz metade da corrente média. Por outro lado, a tensão reversa que ele deve suportar corresponde a tensão total de pico do secundário.

$$I_{DM} > I_m/2 \quad V_{BR} > V_{2P}$$

Exemplo 4 - No circuito abaixo determine: (a) a tensão média na carga. (b) corrente média (c) especificações do diodo.

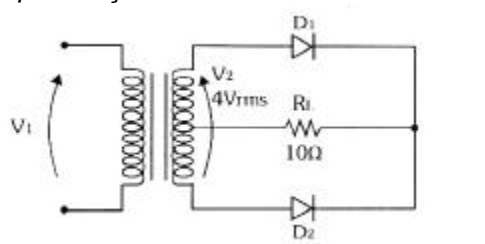


Figura 18- Retificador de onda completa

3.4 - Retificador de Onda Completa em Ponte

Outro tipo de retificador de onda completa é mostrado na figura abaixo. Algumas vantagens são obtidas.

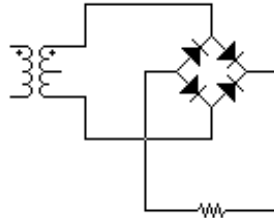


Figura 19- Retificador em ponte

Durante o semiciclo positivo, os diodos D_1 e D_3 conduzem e os diodos D_2 e D_4 cortam. Transferindo, assim, toda a tensão de entrada para a carga.

Durante o semiciclo negativo, os diodos D_2 e D_4 conduzem e os diodos D_1 e D_3 cortam, fazendo com que toda a tensão de entrada caia sobre a carga com a mesma polaridade que a do semiciclo positivo.

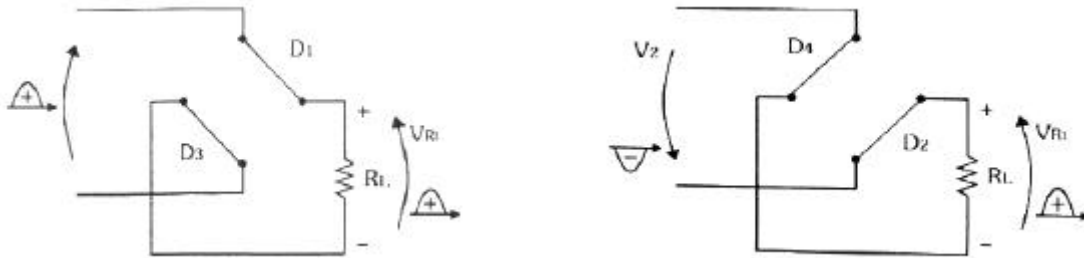


Figura 20- Comportamento do Retificador em Ponte

Como neste caso a frequência da tensão de saída dobra de valor, a tensão média na carga também dobra, ou seja:

$$V_m = \frac{2 \cdot V_{2P}}{\pi}$$

$$I_m = \frac{V_m}{R_L}$$

Os diodos são especificados a partir dos seguintes critérios:

$$I_{DM} > I_m/2 \quad V_{BR} > V_{2P}$$

Exemplo 5 - Um retificador em ponte recebe 25 Vrms e alimenta uma carga de 10 W. Determine: (a) a tensão média na carga. (b) corrente média (c) especificações do diodo. (d) formas de onda na carga e no diodo D_1 .

3.5 - Filtro capacitivo

Para que a fonte de alimentação fique completa, falta ainda fazer a filtragem do sinal retificado para que o mesmo se aproxime o máximo possível de uma tensão contínua e constante.

A utilização de um filtro capacitivo é muito comum nas fontes que não necessitam de boa regulação, ou seja, que podem ter pequenas oscilações na tensão de saída. Um exemplo é o eliminador de pilhas de uso geral.

A figura abaixo mostra a ligação de um filtro capacitivo ligado a um retificador de onda completa em ponte.

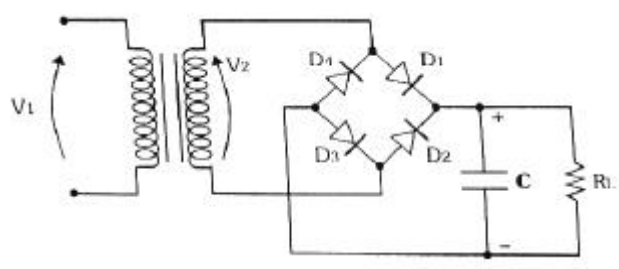


Figura 21- Fonte com Filtro Capacitivo

Com o filtro o sinal de saída fica com a forma mostrada abaixo.

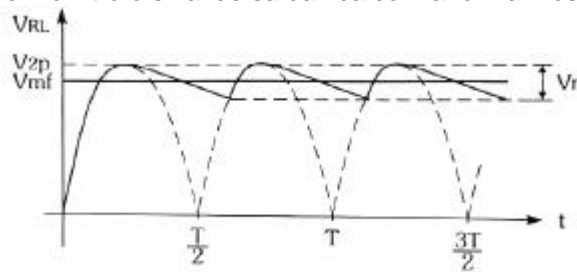


Figura 22- Forma de Onda na Saída da Fonte

Com o primeiro semiciclo do sinal retificado o capacitor carrega-se através dos diodos D1 e D3 até o valor de pico. Quando a tensão retificada diminui, os diodos que estavam conduzindo ficam reversamente polarizados, fazendo com que o capacitor se descarregue lentamente pela carga R_L .

Quando no segundo semiciclo, a tensão retificada fica maior que a tensão no capacitor, os diodos D2 e D4 passam a conduzir carregando novamente o capacitor até o valor de pico, e assim sucessivamente, formando uma ondulação chamada *ripple*.

Quanto maior o capacitor ou a resistência de carga, menor será a ondulação. O valor médio da tensão de saída será chamado de V_{mf} .

O valor de pico a pico do *ripple* pode ser calculado pela equação abaixo:

$$V_R = \frac{V_{mf}}{f \cdot R_L \cdot C}$$

Onde:

V_{mf} : Tensão média após filtragem

f : frequência da ondulação

R_L : resistência de carga

C : Capacitor de filtro

Assim, para o projeto de uma fonte de alimentação deve-se antes estipular a tensão média de saída e o ripple desejado, para em seguida, calcular o capacitor necessário para a filtragem, as especificações dos diodos e as especificações do transformador.

Exemplo 6 - Projetar uma fonte de alimentação com tensão de alimentação de 220 Vrms/60 Hz e tensão média de saída de 5 V com ripple de 0,1 V, para alimentar um circuito que tem resistência de entrada equivalente a 1 KW. Utilizar o retificador em ponte.