

Circuitos Eletrônicos

Aula 04 - Aplica es com Diodos

Apresentação

Nesta aula, utilizaremos os conhecimentos, obtidos em aulas anteriores, para analisar diversos circuitos eletrônicos que utilizam o diodo como componente principal. Dentre as variadas aplicações de circuitos com diodos, nesta aula focaremos nos circuitos retificadores (meia onda e onda completa) e entender sua importância para as fontes de alimentação.

Objetivos

Ao final desta aula, você será capaz de:

- Identificar, em um circuito eletrônico, os diversos circuitos implementados com diodos;
- Entender a importância dos diodos para geração de tensão contínua;
- Compreender o princípio de funcionamento dos circuitos retificadores de meia onda e onda completa;

Aplicações com Diodos

Como você já deve saber, existem vários tipos de equipamentos eletrônicos que necessitam de uma tensão contínua (entre 1,2 V e 24 V) para funcionar normalmente, como por exemplo, computadores, televisores, celulares, aparelhos de som, etc. Porém, como estudado em disciplinas anteriores, a tensão fornecida pela companhia de energia elétrica está em forma alternada e com valor eficaz de 127 V ou 220 V. Logo, em nossas casas, não é possível ligar esses equipamentos direto na tomada por duas razões: a primeira se dá pelo fato destes equipamentos eletrônicos só funcionarem em tensão contínua; e, a segunda está relacionada ao fato da tensão disponível na tomada ter um valor muito acima do permitido por esses equipamentos.

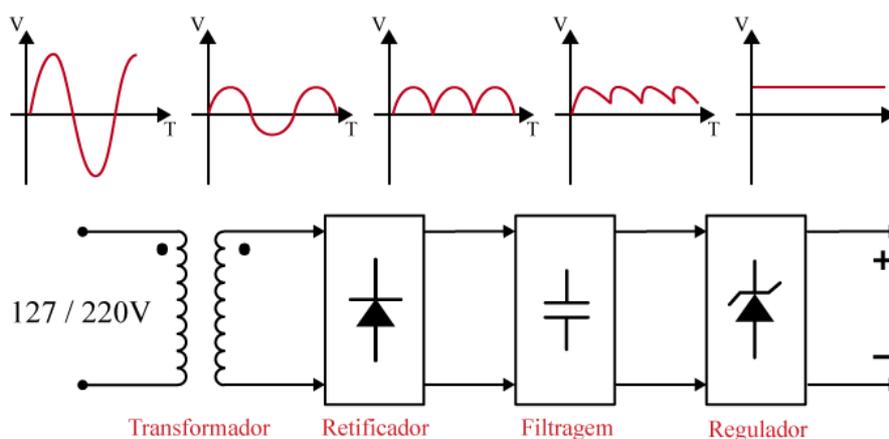
Considerando estas características, para que esses aparelhos funcionem corretamente, é preciso fazer uso de um circuito eletrônico que adequa as características da tensão da rede para as características do equipamento. Você sabe qual é esse circuito eletrônico?

Se você disse fonte de alimentação, você está correto!

A fonte de alimentação é um dos mais importantes circuitos da eletrônica. Este circuito é responsável por realizar a conversão da tensão alternada (127 V e 220 V), fornecida pela rede elétrica, em uma tensão contínua (entre 1,2 V e 24 V), adequada para o perfeito funcionamento dos circuitos eletrônicos que compõem estes equipamentos.

Basicamente, existem dois tipos de fontes de alimentação: a fonte de alimentação linear, também conhecida como fonte regulada; e, a fonte de alimentação chaveada. A figura 1 ilustra os principais blocos funcionais de uma fonte de alimentação linear e logo em seguida temos uma breve descrição desses blocos.

Figura 01 - Diagrama de blocos de uma fonte linear.



Transformador: Realiza uma adequação entre a tensão da rede e às necessidades da fonte de alimentação. Além de fornecer um isolamento galvânico entre a rede e a carga.

Retificador: Transforma a tensão alternada em uma tensão contínua pulsante unidirecional. Estes retificadores são construídos utilizando diodos. Trataremos deste bloco mais detalhadamente.

Filtro: Responsável por transformar a tensão contínua pulsante, oriunda do retificador, em uma tensão contínua mais pura; porém, ainda com oscilação. Neste caso, o filtro capacitivo é o mais utilizado. O princípio de funcionamento do capacitor já deve estar bem fixo, não?!

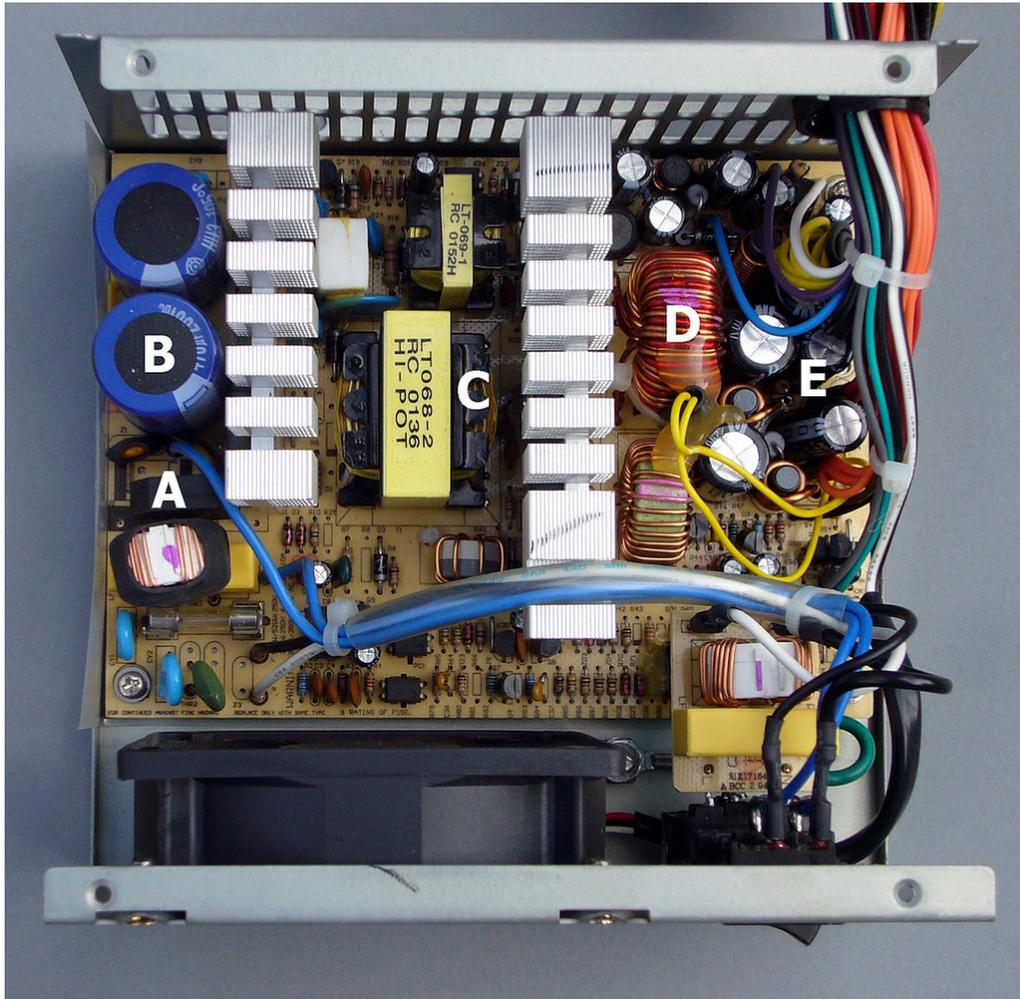
Regulador: Responsável por manter a tensão de saída da fonte fixa, independente da corrente na carga ou da tensão de entrada. Este circuito eletrônico já foi estudado em aulas anteriores. Neste caso, o circuito regulador foi implementado utilizando o diodo zener, lembra? Porém, existem diversas maneiras de projetar um regulador. É bastante comum a utilização de um circuito integrado que já realiza a função do regulador, são os ICs reguladores da família 78XX e 79XX.

Para ajudar na compreensão do princípio de funcionamento da fonte de tensão, na figura 1, nós também conseguimos visualizar as formas de onda da tensão na saída de cada bloco que constitui a fonte de alimentação.

É importante perceber que apesar da estrutura básica da fonte de alimentação regulada, o circuito retificador pode ser considerado o bloco principal que constitui a fonte. Uma vez que é o responsável por tornar a tensão de entrada alternada em uma tensão contínua.

Para comprovar que, mesmo com o avanço nos projetos das fontes de tensão, o retificador continua sendo o bloco principal da fonte, analisaremos os componentes internos de uma fonte chaveada ATX utilizada em computadores. Esta fonte chaveada é apresentada na figura 2.

Figura 02 - Fonte ATX chaveada.



Fonte:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Fonte_de_alimenta%C3%A7%C3%A3o#/media/File:ATX_power_supply_interior.jpg

Acesso em: 02 fev. 2016.

Nesta figura, nós conseguimos identificar, basicamente, os mesmos componentes eletrônicos presentes na fonte linear, como por exemplo, o retificador identificado pela letra **A**, os capacitores de filtragem identificados pelas letras **B** e **E** (filtros na entrada e saída, respectivamente), e o transformador identificado pela letra **C**. Porém, por se tratar de uma fonte chaveada, existem outros componentes essenciais para o perfeito funcionamento desta fonte. Dentre eles, podemos identificar entre **B** e **C** o dissipador térmico dos transistores chaveados de alta tensão; entre **C** e **D** o dissipador térmico dos retificadores de alta corrente e baixa tensão; e, por fim, identificado pela letra **D**, os indutores de filtros de saída.

Você não precisa se preocupar em aprender como uma fonte chaveada funciona, pois além de você ainda não conhecer as fontes chaveadas (assunto das próximas disciplinas), esse não é foco principal dessa aula. Porém, é sempre bom um pouco mais de conhecimento =D.

Voltando ao assunto principal dessa aula, e lembrando que a tensão fornecida pela concessionária de energia elétrica é alternada ao passo que os dispositivos eletrônicos operam com tensão contínua. Então, é necessário retificá-la e isto é feito através dos circuitos retificadores, que convertem corrente alternada em corrente contínua. Existem retificadores monofásicos para uso em aparelhos eletrônicos de um modo geral e retificadores polifásicos para uso em circuitos industriais de alta potência.

A primeira aplicação que vamos estudar está nos chamados circuitos retificadores. Esse tipo de circuito está presente em diversos dispositivos eletrônicos e o principal deles acabamos de conhecer, as fontes de alimentação. Porém, antes de estudar os circuitos retificadores vamos lembrar alguns conceitos básicos.

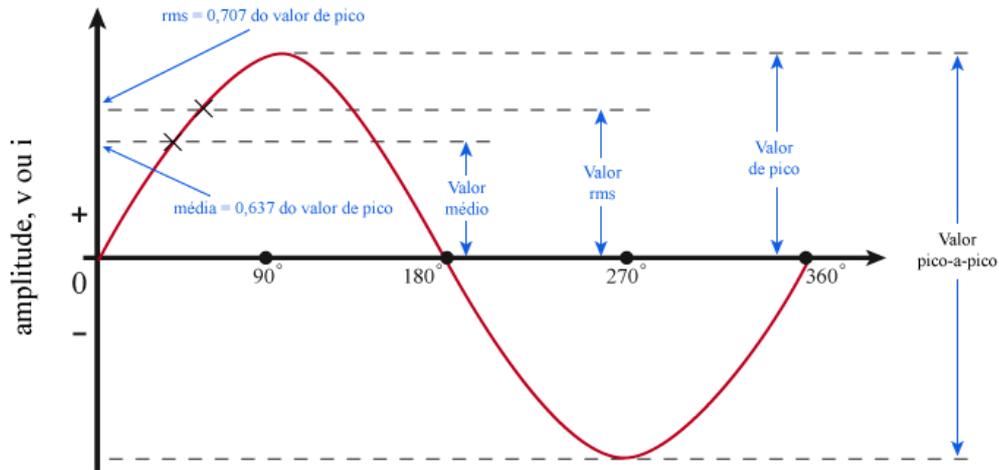
Atividade 01

1. Em sua opinião, por que a onda, após o bloco de filtragem, na fonte regulada, não é suficiente para o funcionamento da fonte?
2. Pesquise quais são os tipos de retificadores mais utilizados em fontes de alimentação.

Sinais Alternados

Para facilitar o entendimento dos retificadores é importante lembrar algumas características dos sinais alternados. A figura 3 ilustra as características de uma onda alternada e em seguida temos as definições dessas características.

Figura 03 - Características de uma onda alternada.



Valor de pico: é o maior valor que a onda assume em um semi-ciclo. Logo, podemos definir outro parâmetro, o valor de pico-a-pico. Este valor é duas vezes o valor de pico, uma vez que o valor máximo da onda ocorre tanto na parte positiva, quanto na negativa.

Valor médio: É definido como o quociente entre a área e o tempo da onda. A área considerada deve ser a região entre a curva e o eixo do tempo, e normalmente, é adotada para um intervalo de tempo igual ao período da onda. As áreas obtidas **acima** do eixo do tempo levam um sinal **positivo (+)** e as áreas **abaixo** levam um sinal **negativo (-)**. Estas áreas devem ser somadas algebricamente e divididas pelo período (ou intervalo de tempo que delimitou as áreas).

O valor médio, normalmente, está relacionado ao nível DC de um sinal. Isso é verdade se considerarmos o valor médio para um período completo da onda. Porém, para algumas aplicações considera-se o valor médio para apenas meio ciclo. Este caso ocorre, por exemplo, para uma onda alternada completamente simétrica ao eixo do tempo, pois as áreas acima e abaixo desse eixo são exatamente iguais, chegando a um valor médio igual a zero. Logo, podemos considerar o valor médio para meio ciclo. Adotando uma onda senoidal, temos a seguinte fórmula para o valor médio de meio ciclo:

$$V_M = \frac{2}{\pi} V_{pico} = 0.637 V_{pico}$$

Faremos um exemplo, para deixar essa definição mais clara.

Valor eficaz: É o valor de uma onda alternada capaz de produzir a mesma potência de onda contínua de mesmo valor. Por exemplo, uma tensão alternada com o valor eficaz de 127 V, tem a mesma eficiência no aquecimento do filamento de uma lâmpada incandescente

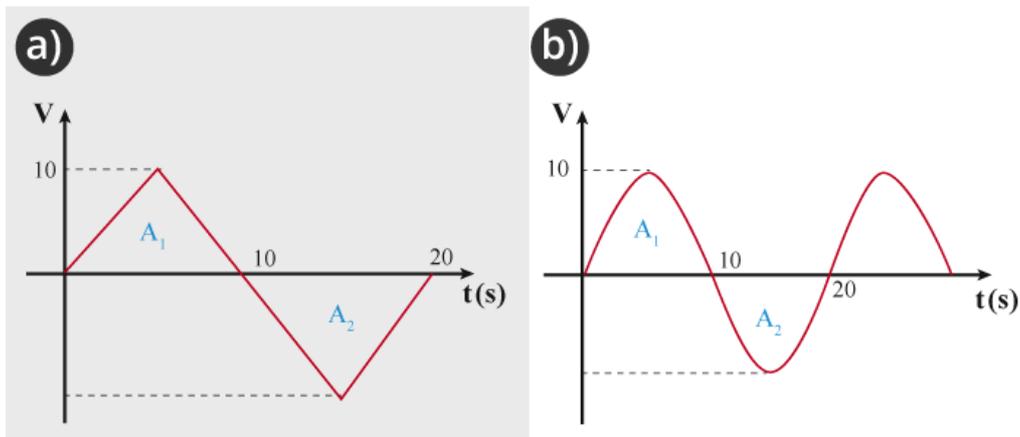
que uma tensão de 127 V contínua. Este valor é definido com a seguinte fórmula para sinais senoidais:

$$V_{RMS} = \frac{V_{pico}}{\sqrt{2}} = 0.707V_{pico}$$

- O valor eficaz também é conhecido como valor RMS (root mean square);
- Os instrumentos comuns (multímetro, voltímetro e amperímetro) que medem tensão/corrente alternada, realizam esta mediação apenas para ondas senoidais;
- Para realizar a mediação RMS de uma onda não senoidal é preciso usar equipamentos mais sofisticados, chamados de True RMS (Eficaz verdadeiro).

Exemplo

Figura 04 - Forma de onda (a) Triangular (b) Senoidal.



Responda as seguintes questões considerando as formas de onda da figura 4:

1. Qual o valor médio de um ciclo completo e de meio ciclo para a onda triangular da figura 4-a?
2. Qual o valor eficaz, valor médio de um ciclo e o valor médio de semi-ciclo da onda senoidal da figura 4-b?

Respostas:

1. Sabemos que o período dessa onda é de 20 segundos e que seu valor de pico é de 10 V. Logo, o valor médio de um ciclo completo será:

$$V_{M-\text{um ciclo}} = \frac{A_1 - A_2}{T} = \frac{50 - 50}{20} = 0V$$

E, o valor médio de meio ciclo será:

$$V_{M-\text{meio ciclo}} = \frac{A_1}{T/2} = \frac{50}{10} = 5V$$

2. Sabemos que o período dessa onda é de 20 segundos e que seu valor de pico é de 10 V. Logo, o valor médio de um ciclo completo será:

$$V_{M-\text{um ciclo}} = \frac{A_1 - A_2}{T} = 0V$$

O valor médio de meio ciclo será:

$$V_{M-\text{meio ciclo}} = \frac{2}{\pi} V_{\text{pico}} = 6,37V$$

E, o valor RMS será:

$$V_{RMS} = \frac{V_{\text{pico}}}{\sqrt{2}} = 7,07V$$

Retificadores

Vamos começar o estudo dos retificadores. Existem, basicamente, dois tipos de retificadores, o retificador de meia onda e o retificador de onda completa. Iremos começar pelo mais simples, o retificador de meia onda.

Retificador de Meia Onda

O retificador de meia onda utiliza apenas metade dos semi-ciclos da senóide de entrada. Para isso, vamos considerar que a tensão de entrada do retificador possui a forma de onda ilustrada na figura 5. Ao longo de um ciclo completo ($T = 2\pi$), o valor médio da tensão de

entrada é zero, por motivos já vistos. Porém, vamos considerar que esta mesma tensão está na saída do transformador, conforme ilustrado na figura 6 e identificado pela nomenclatura V_2 . O que você acha que vai ocorrer com a tensão V_{RL} ?

Figura 05 - Forma de onda da entrada.

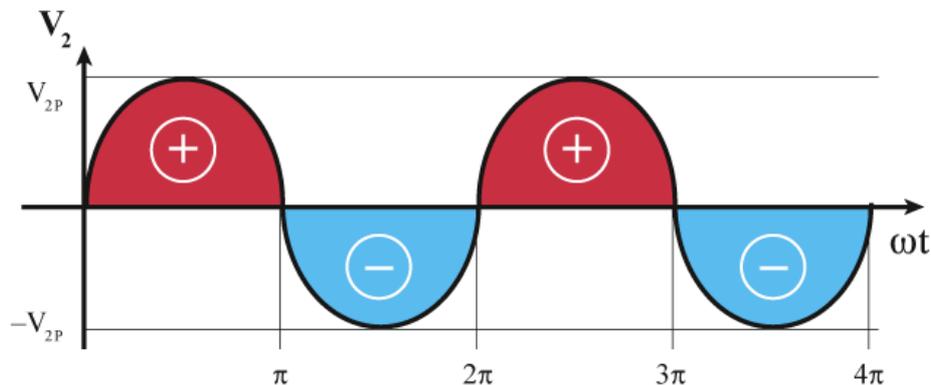
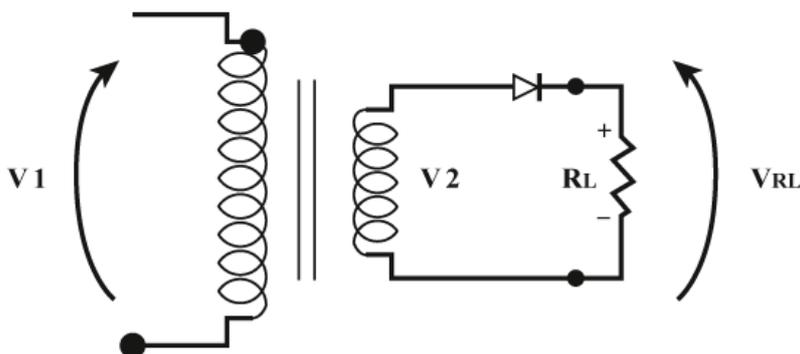


Figura 06 - Circuito retificador de meia onda.



Você ainda não sabe? Ok! Vamos analisar esse circuito com cuidado.

Talvez, o único elemento, do retificador de meia onda, que você ainda não está familiarizado seja o primeiro componente da esquerda para direita. Trata-se de um simples transformador. Sua tarefa é, através de suas características magnéticas da sua própria construção, converter uma forma de onda senoidal de amplitude máxima 220V para 12V, por exemplo. Entretanto, ela continuará sendo senoidal. Esse é o primeiro estágio da transformação tensão alternada para tensão contínua.

Veja a seguir, na figura 7, a demonstração da ação de um transformador.

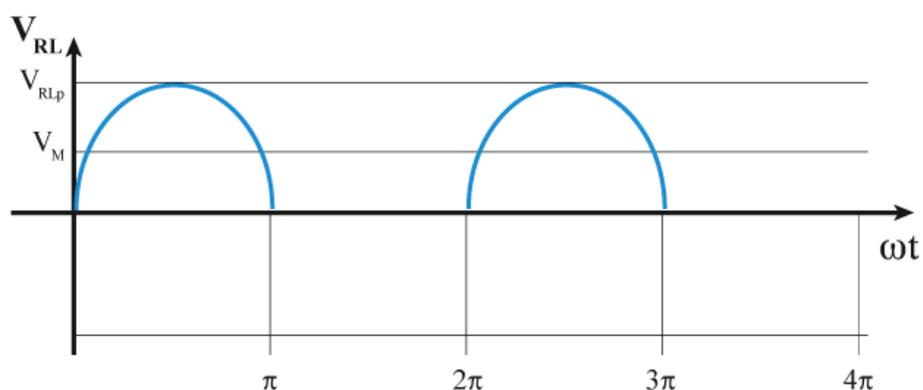
Figura 07 - Onda antes e depois de passar pelo transformador.



Agora que sabemos como a tensão V_2 (figura 5) é formada, vamos analisar o circuito desse ponto em diante. Sabemos que esta tensão é uma onda senoidal, logo, hora ela é positiva, hora ela é negativa. Isso faz com que hora o diodo esteja “ligado”, hora ele esteja “desligado”. Enquanto a forma de onda for positiva, o diodo estará polarizado diretamente e, conseqüentemente, a corrente vai continuar passando como se nada estivesse ali.

Por outro lado, quando a onda inverter a sua polaridade, o diodo vai “desligar”, já que seus terminais estarão submetidos a uma diferença de potencial negativa. Assim, nesse momento é como se o circuito estivesse aberto e, então, o diodo impede a passagem de corrente elétrica. Isso significa dizer que o diodo vai “cortar” toda a onda que estiver negativa. Assim, a forma de onda retificada é representada na figura 8, a seguir.

Figura 08 - Forma de onda da saída.



Complementando os estudos

Caso você ainda tenha dúvidas ou esteja um pouco mais curioso, o link abaixo o levará para um vídeo muito interessante sobre o princípio de funcionamento dos retificadores de meia onda.

<https://www.youtube.com/watch?v=hzkLH8JAnA4>

Atividade 02

1. Considerando a posição do diodo na figura 6, você lembra por que ele é polarizado diretamente quando V_2 é positiva e reversamente quando V_2 é negativa?
2. A tensão de pico do sinal V_{RL} , figura 8, é a mesma tensão de pico do sinal V_2 , figura 5. Sabendo disso, você consegue afirmar se a análise considerou um diodo real ou ideal? Se consegue, diga qual e por quê?

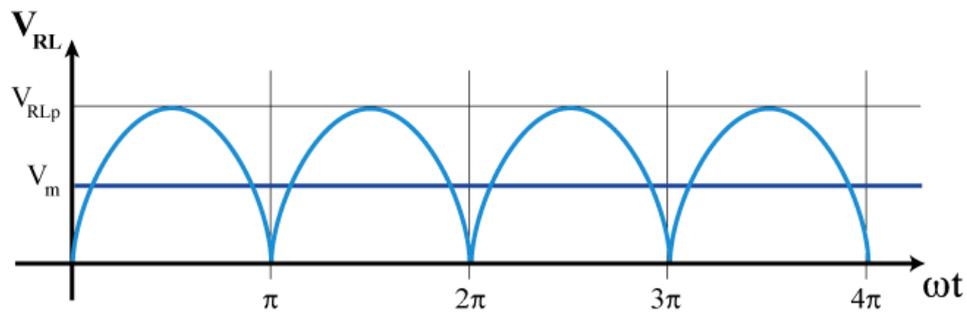
Retificador de Onda Completa

É extremamente importante que antes de dar continuidade ao estudo dos retificadores, neste caso os retificadores de onda completa, você certifique-se que compreendeu o funcionamento do retificador de meia onda. Caso não tenha entendido, volte para o tópico anterior e releia o assunto.

Estudaremos agora, o retificador de onda completa. Esse circuito é muito utilizado em dispositivos eletrônicos e tem o funcionamento muito parecido com o do retificador de meia onda.

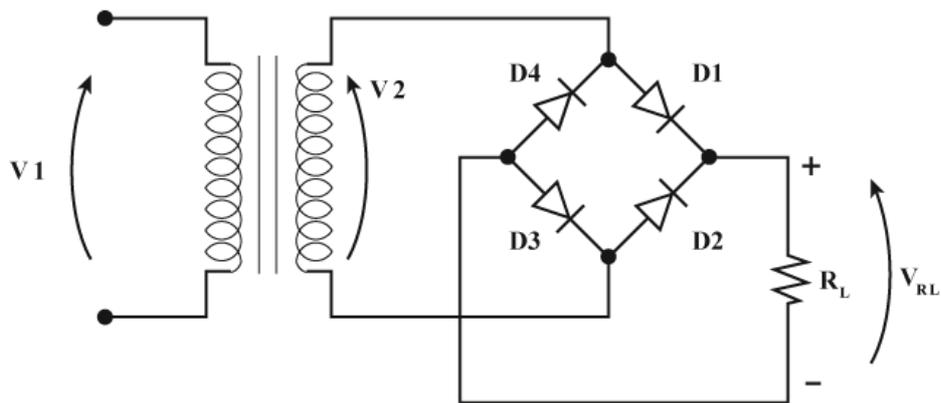
O retificador de meia onda corta as partes negativas ou positivas da onda senoidal de entrada, dependendo de como o diodo está posicionado. Como você já deve ter imaginado, o retificador de onda completa “rebate” as partes negativas das ondas, as tornando positivas. Veja, na figura 9, a saída de um retificador de onda completa, tem a seguinte forma na saída:

Figura 09 - Saída retificador de onda completa.



Então, vamos entender como este retificador consegue gerar esta forma de onda. Isso se dá a partir de uma configuração específica de diodos, chamada **ponte de diodos**. Observe a figura 10:

Figura 10 - Circuito retificador de onda completa.



Tente, antes de ler a explicação abaixo, deduzir o funcionamento da ponte de diodos! É muito simples! Lembre-se de que, quando polarizado diretamente, o diodo atua idealmente como um curto circuito e que, quando polarizado negativamente, o diodo atua como uma chave aberta.

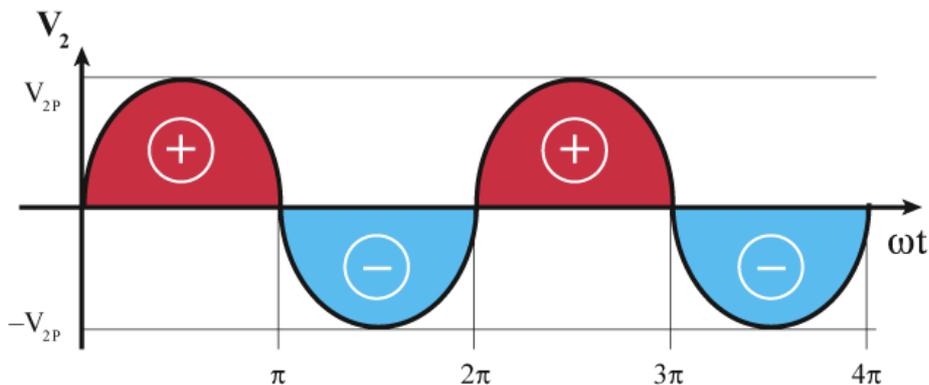
Vamos analisar o circuito. No ponto mais à esquerda da figura, temos a presença do transformador, o mesmo do retificador de meia onda. Sua tarefa é, novamente, diminuir a amplitude da onda senoidal.

Um dos terminais do transformador vai ser ligado entre o diodo 4 e o diodo 1, enquanto que o outro terminal será ligado entre os diodos 3 e 2. A diferença de potencial, que vai ser ligada à carga R_L , é proveniente dos terminais entre os diodos 3 e 4 (negativa) e entre os diodos 1 e 2 (positiva).

Sabendo de todas essas informações, vamos analisar o circuito. Antes, vale a pena relembrar que a entrada continua sendo uma onda senoidal, como mostra a figura 11, a seguir.

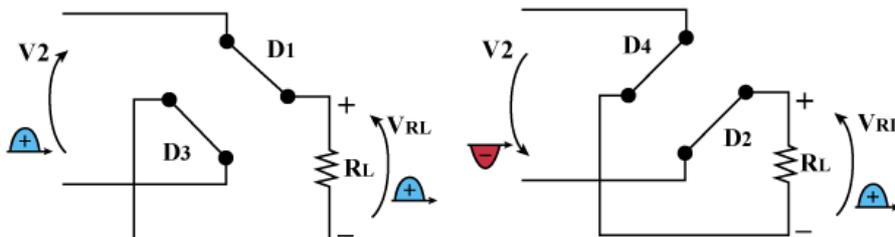
Onda de entrada:

Figura 11 - Forma de onda da entrada.



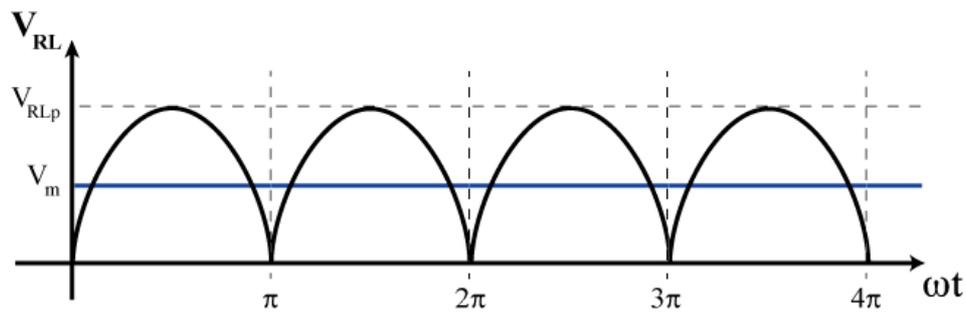
Quando a onda senoidal, parte vermelha do gráfico acima, figura 11, é positiva, temos os diodos 1 e 3 - representados pela sigla D1 e D3 no circuito - diretamente polarizados. Sendo assim, eles atuam como chaves fechadas, curtos circuitos, deixando o sinal passar normalmente: “indo” por D1 e “voltando” por D3. É possível perceber esse funcionamento analisando a figura 12, a seguir.

Figura 12 - Ponte de diodos do retificador de onda completa trabalhando do semiciclo positivo à esquerda e no semiciclo negativo à direita.



Entretanto, quando o sinal de entrada é negativo, como no intervalo entre π e 2π , os diodos D1 e D3 ficam polarizados negativamente e atuam como chaves abertas. Os diodos D2 e D4, por sua vez, serão polarizados diretamente. Assim, a onda senoidal “passará” normalmente: “indo” por D2 e voltando por D4. Repare que, percorrendo esse “caminho”, o resistor R_L terá sempre uma tensão positiva em seus terminais, “rebatendo” a onda. Observe a figura 13:

Figura 13 - Saída do retificador de onda completa.



Complementando os estudos

Caso você ainda tenha dúvidas ou esteja um pouco mais curioso, o link abaixo o levará para um vídeo muito interessante sobre o princípio de funcionamento dos retificadores de onda completa.

<https://www.youtube.com/watch?v=1XHPxxSUEwk>

Atividade 03

1. Se invertermos a posição dos diodos D2 e D3 o retificador funcionaria da mesma forma? Qual seria a forma de onda na saída?
2. Qual seria a forma de onda de V_{RL} se, na entrada do transformador, colocássemos uma onda triangular de 60 Hz?

Resumo

Nesta aula, conhecemos as fontes de alimentação linear e chaveada. Vimos também, a importância dos circuitos retificadores para essas fontes. Além de analisar cuidadosamente, os diferentes tipos de retificadores. Compreendemos o princípio de funcionamento do retificador de meia onda e de onda completa.

Autoavaliação

1. Para que serve uma fonte de alimentação?
2. Quais são os principais blocos de uma fonte de alimentação?
3. Para que serve os circuitos retificadores?
4. Quais os tipos de retificadores e quais as diferenças entre eles?
5. Qual a forma de onda na saída de um retificador de onda completa?

Referências

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 8. ed. [s.l.]: Pearson, 2012.

FERREIRA, Aitan Póvoas. **Curso básico de Eletrônica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Biblioteca técnica Freitas Bastos, 1987.

GUSSOW, Milton. **Eletricidade Básica**. 2. ed. [s.l.]: McGraw-Hill, 1997.

MARQUES, Angelo Eduardo B.; CHOURERI JUNIOR, Salomao; CRUZ, Eduarod Cesar Alves. **Dispositivos semicondutores: Diodos e Transistores**. 13. ed. rev. São Paulo: editora Érica, 2012.