

Aluno _____

turma _____

ELETRÔNICA ANALÓGICA – AULA 04

1- Retificadores

Todos os aparelhos eletrônicos necessitam de corrente contínua para funcionar, todavia, a rede elétrica que chega às nossas casas, nos fornece energia elétrica em forma de corrente alternada. Assim, para que seja possível alimentar os aparelhos eletrônicos, é necessário um circuito que transforme corrente alternada em corrente contínua. Esse circuito é chamado de retificador.

Por seu largo emprego e importância, os circuitos retificadores serão o assunto deste capítulo. Para compreendê-lo com mais facilidade, é necessário conhecer corrente contínua, corrente alternada, diodo semicondutor e transformadores.

1.1. Retificação

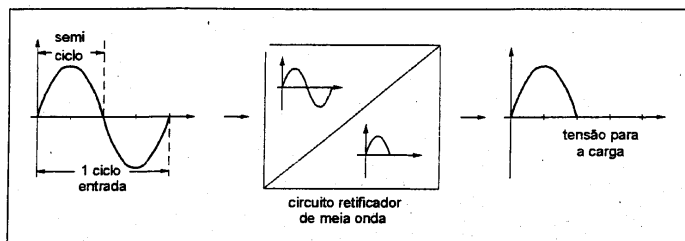
Retificação é o processo de transformação de corrente alternada em corrente contínua, de modo a permitir que equipamentos de corrente contínua seja alimentados por corrente alternada.

A retificação ocorre de duas formas:

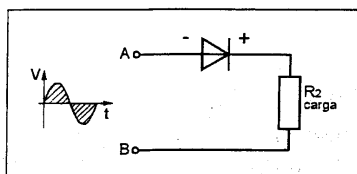
- . Retificação de meia onda;
- . Retificação de onda completa.

1.1.1. Retificação de meia-onda

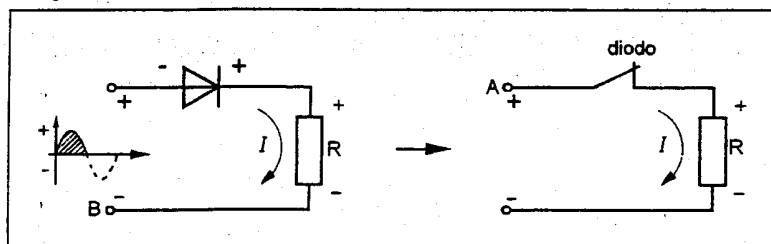
De todos os circuitos retificadores que existem, o mais simples é o circuito retificador de meia-onda. Ele permite o aproveitamento de apenas um semiciclo da tensão de entrada de carga e é usado em equipamentos que não exigem tensão contínua pura, como os carregadores de bateria.



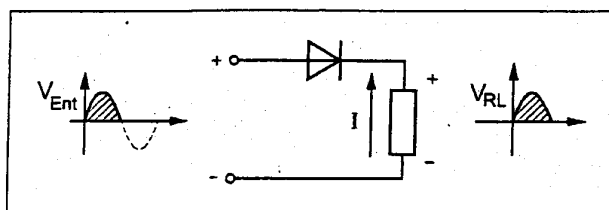
Esse circuito utiliza um diodo semicondutor, pois suas características de condução e bloqueio são aproveitadas para a obtenção da retificação. Tomemos como exemplo o circuito retificador da figura a seguir:



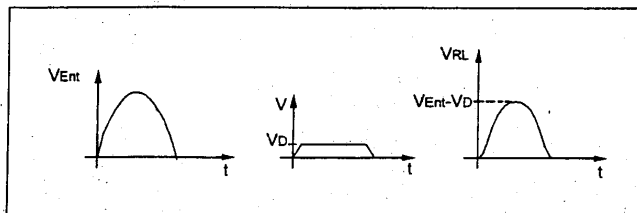
Durante o primeiro semiciclo, a tensão é positiva no ponto A e negativa em B. Essa polaridade da tensão de entrada coloca o diodo em condução e permite a circulação da corrente.



A tensão sobre a carga assume a mesma forma da tensão de entrada.



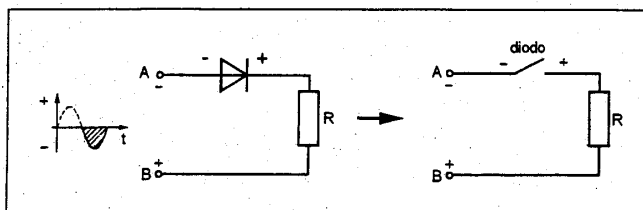
O valor do pico de tensão sobre a carga é menor que o valor do pico da tensão de entrada. Isso acontece porque o diodo durante a condução apresenta uma pequena queda de tensão.



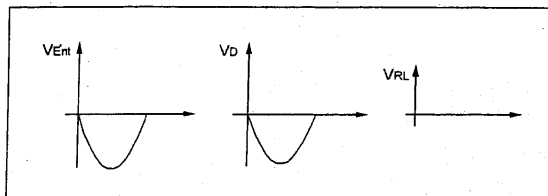
Observação:

A queda de tensão (V_D) é de 0,7V em circuitos com diodos de silício e 0,3V em circuitos com diodos de germânio.

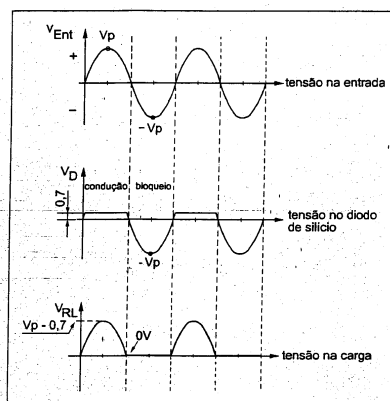
Na maioria dos casos, essa queda de tensão pode ser desprezada porque seu valor é muito pequeno em relação ao valor total do pico de tensão sobre a carga. Ela só deve ser considerada quando é aplicado no circuito retificador tensões de baixos valores, menores que 10V. Durante o segundo semiciclo, a tensão de entrada é negativa no ponto A e positivo no ponto B. Nessa condição, o diodo, está polarizado inversamente, em bloqueio, impedindo a circulação de corrente.



Com o bloqueio do diodo que está funcionando como um interruptor aberto, a tensão na carga é nula porque não há circulação de corrente.



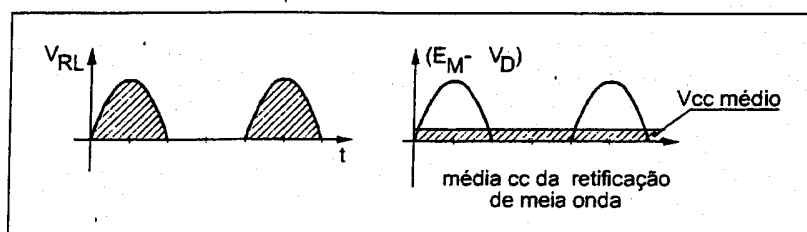
Os gráficos a seguir ilustram a evolução de um ciclo completo



Pelos gráficos, é possível observar que a cada ciclo completo da tensão de entrada, apenas um semiciclo passa para a carga, enquanto o outro semiciclo fica sobre o diodo.

Tensão de saída

A tensão de saída de uma retificação de meia-onda é contínua, porém pulsante porque nela alternam-se períodos de existência e inexistência de tensão sobre a carga. Assim, ao se conectar um voltímetro de CC na saída de um circuito retificador de meia onda, a tensão indicada pelo instrumento será a média entre os períodos de existência e inexistência de tensão.



Por isso, o valor da tensão CC aplicada sobre a carga fica muito abaixo do valor efetivo da CA aplicada à entrada do circuito. A tensão média na saída é dada pela equação:

$$V_{cc} = V_p - V_d/\pi$$

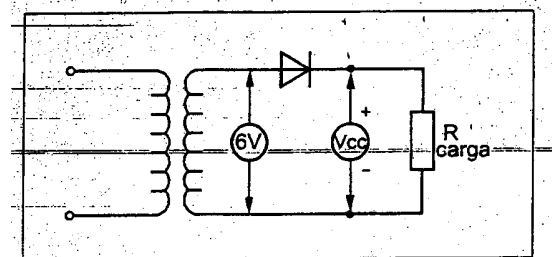
Onde:

V_{cc} é a tensão contínua média sobre a carga;

V_p é a tensão de pico da CA aplicada ao circuito ($V_p = V_{CA} \times \sqrt{2}$);

V_d é a queda de tensão típica do diodo (0,3V ou 0,7V).

Quando as tensões de entrada (V_{CAef}) forem superiores a 10V, pode-se eliminar a queda de tensão do diodo que se torna desprezível, rescrevendo a equação da seguinte maneira:



Dados:

$V_{CA} = 6V$ (menor que 10V)

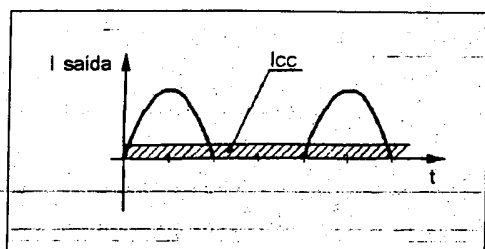
D_i = diodo retificador de silício

$$V_{cc} = \frac{V_p - V_D}{\pi} = \frac{(V_{CA} \times \sqrt{2}) - V_D}{\pi} = \frac{(6 \times 1,41) - 0,7}{3,14} = 2,47$$

$$V_{cc} = 2,47$$

Corrente de saída

Como na retificação de meia-onda a tensão sobre a carga é pulsante, a corrente de saída também é pulsante. Assim, a corrente de saída é a média entre os períodos de existência e inexistência de corrente.



Esse valor é determinado a partir dos valores de tensão média e da resistência de carga, ou seja,

$$I_{cc} = \frac{V_{cc}}{RL}$$

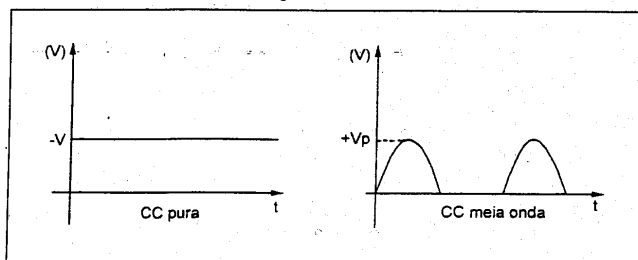
Observação:

O cálculo da corrente média de saída determina os parâmetros para a escolha do diodo que será utilizado no circuito.

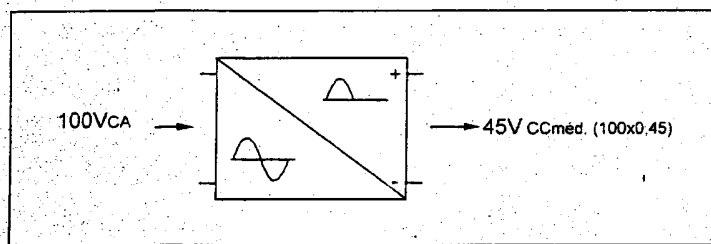
Inconvenientes

A retificação de meia-onda apresenta os seguintes inconvenientes:

- . Tensão de saída pulsante
- . Baixo rendimento em relação à tensão eficaz de entrada;



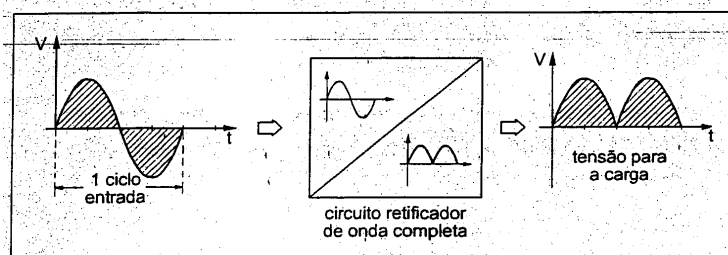
. Mau aproveitamento da capacidade de transformação nas retificações com transformador porque a corrente circula em apenas um semiciclo;



1.1.2. Retificação de onda completa

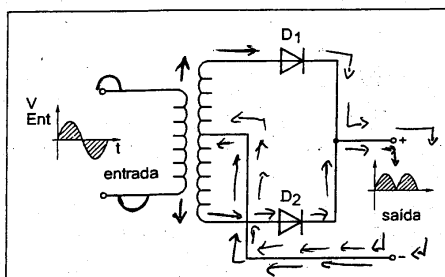
A retificação de onda completa é o processo de conversão de corrente alternada em corrente contínua que aproveita os dois semiciclos da tensão de entrada. Esse tipo de retificação pode ser realizado de dois modos:

- Por meio de um transformador com derivação central (C.T.) e dois diodos;
- Por meio de quatro diodos ligados em ponte.



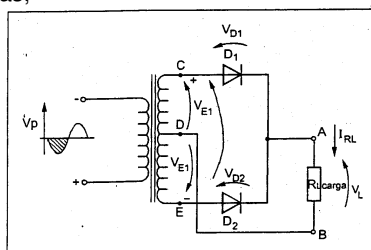
Retificação de onda completa com transformador

A retificação de onda completa com transformador é o processo de retificação realizado por meio de um circuito com dois diodos e um transformador com derivação central (ou "center tap"),



Para explicar o funcionamento desse circuito, vamos considerar separadamente cada semiciclo da tensão de entrada.

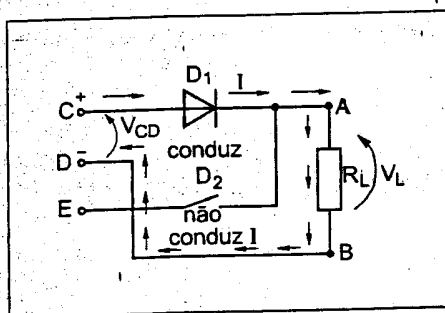
Inicialmente, considerando-se o terminal central do secundário do transformador como referência, observa-se a formação de duas polaridades opostas nas extremidades da bobinas,



Em relação ao ponto neutro, as tensões V_{CD} e V_{ED} estão defasadas 180°

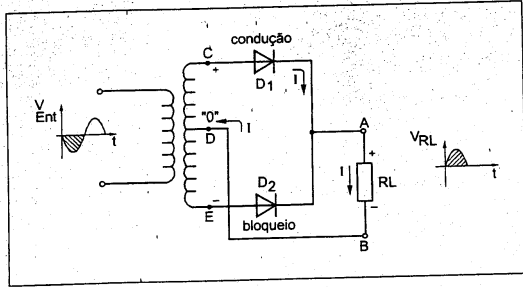
Durante o semiciclo positivo de V_{ENT} , entre os pontos C e E, o ponto C está positivo em relação ao ponto D. Nessa condição, o diodo D1 está polarizado diretamente e, portanto, em condução. Por outro lado, o ponto D está positivo em relação a E. Nessa condição, o diodo D2 está polarizado inversamente e, portanto, em corte.

No ponto A aparece uma tensão positiva de valor máximo igual a $V_{M\acute{A}x.}$,

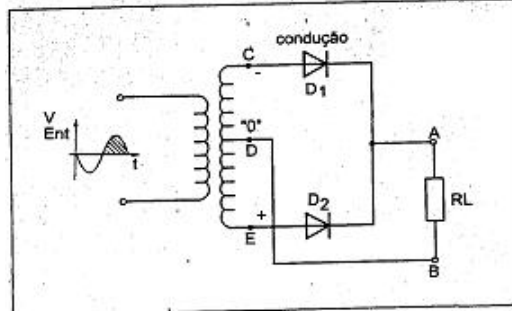


Observe que no circuito apresentado, a condição de condução de D1 permite a circulação de corrente através da carga, do terminal positivo para o terminal negativo.

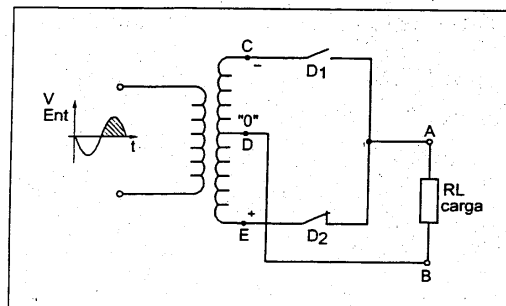
A tensão aplicada à carga é a tensão existente entre o terminal central do secundário e a extremidade superior do transformador (V_{S1}).



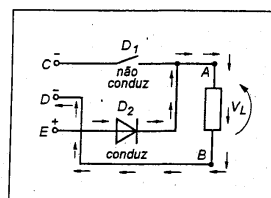
No segundo semiciclo, há uma inversão da polaridade no secundário do transformador.



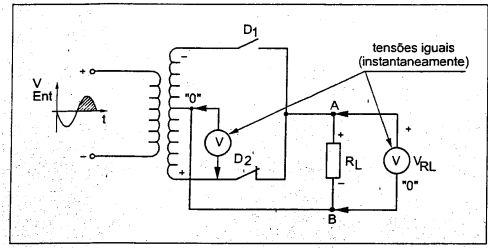
Assim, o ponto D está negativo em relação ao ponto E. Nessa condição, o diodo D2 está polarizado diretamente e, portanto, em condução. Por outro lado, o ponto D está positivo em relação a C. Nessa condição, o diodo D1 está polarizado inversamente, e, portanto, em corte.



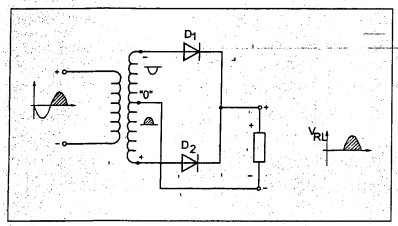
A corrente que passa por D2 circula pela carga do mesmo sentido que circulou no primeiro semiciclo



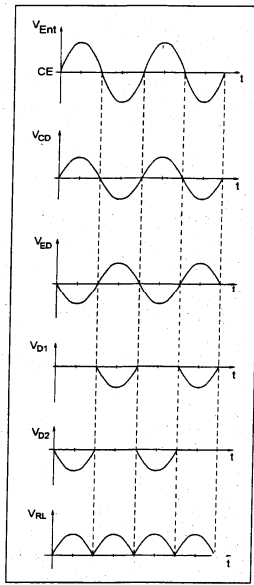
A tensão aplicada à carga é a tensão da bobina inferior do secundário do transformador (V_{S2}).



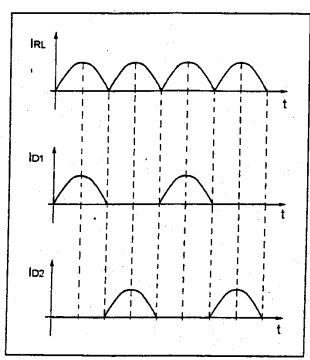
Durante todo semiciclo analisado, o diodo D2 permanece em condução e a tensão na carga acompanha a tensão da parte inferior do secundário.



As formas de onda das tensões no circuito são mostradas nos gráficos a seguir.

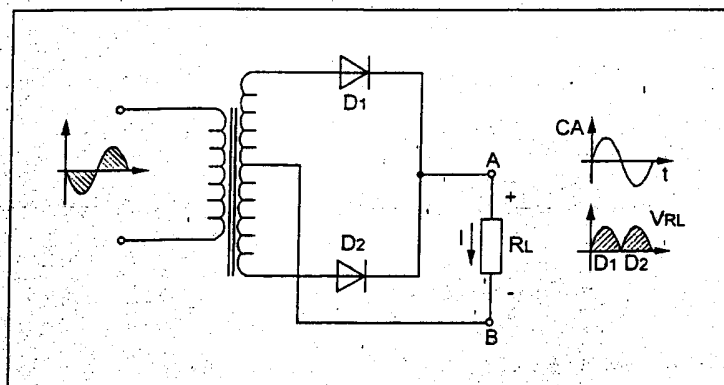


As formas de onda das correntes são:



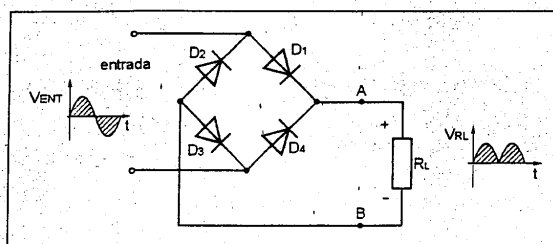
Analisando um ciclo completo da tensão de entrada, verifica-se que o circuito retificador entrega dois semiciclos de tensão sobre a carga:

- . Um semiciclo da extremidade superior do secundário através da condução de D1;
- . Um semiciclo da extremidade inferior do secundário através da condução de D2.



1.1.3. Retificação de onda completa em ponte

A retificação de onda completa em ponte utiliza quatro diodos e entrega à carga uma onda completa sem que seja necessário utilizar um transformador de derivação central.

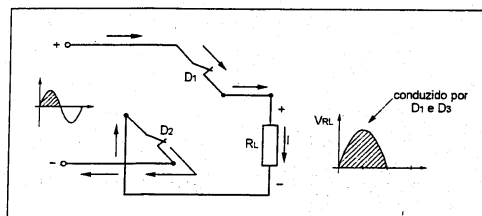


Funcionamento.

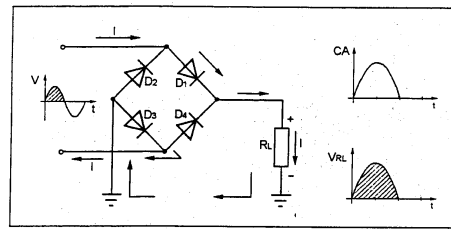
Considerando a tensão positiva (primeiro semiciclo) no terminal de entrada superior, teremos as seguintes condições de polarização dos diodos:

- . D1 - anodo positivo em relação ao catodo (polarização direta) - em condução;
- . D2 - catodo positivo em relação ao anodo (polarização inversa) - em bloqueio;
- . D3 - catodo negativo em relação ao anodo (polarização direta) - em condução;
- . D4 - anodo negativo em relação ao catodo (polarização inversa) - em bloqueio.

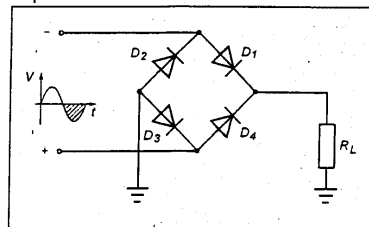
Eliminando-se os diodos em bloqueio, que não interferem no funcionamento, verificase que D1 e D3 (em condução) fecham o circuito elétrico, aplic'ando a tensão do primeiro semiciclo sobre a carga.



Observe no circuito a seguir, como a corrente flui no circuito no primeiro ciclo.



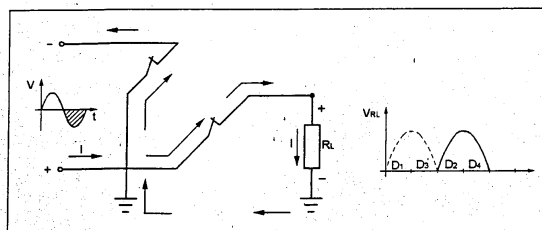
No segundo semiciclo, ocorre uma inversão da polaridade nos terminais de



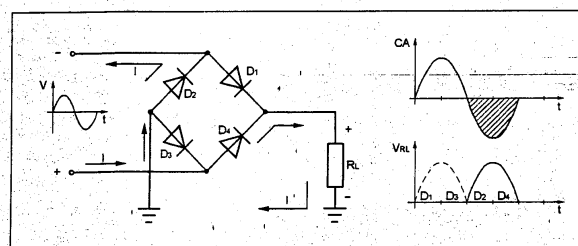
Nessa condição, a polaridade dos diodos apresenta a seguinte configuração:

- . 01 - anodo negativo em relação ao catodo (polarização inversa) - em bloqueio;
- . 02 - catodo negativo em relação ao anodo (polarização direta) - em condução;
- . 03 - catodo positivo em relação ao anodo (polarização inversa) - em bloqueio;
- . 04 - anodo positivo em relação ao catodo (polarização direta) - em condução.

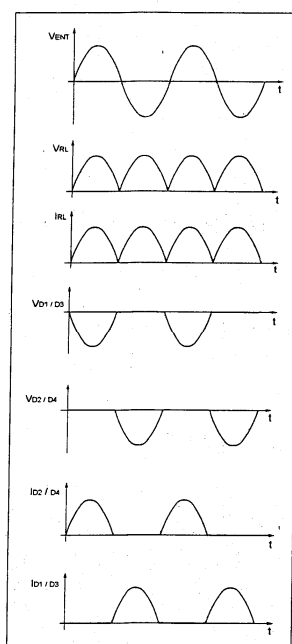
Eliminando-se os diodos em bloqueio e substituindo-se os diodos em condução por circuitos equivalentes ideais, obtém-se o circuito elétrico fechado por O2 e O4 que aplica a tensão de entrada sobre a carga. Isso faz a corrente circular na carga no mesmo sentido que no primeiro semiciclo.



Recolocando-se os diodos no circuito, observa-se a forma como a corrente circula.



Os gráficos a seguir mostram as formas de onda do circuito.



2. Fator de ripple

Como já vimos a tensão contínua fornecida por um circuito retificador é pulsante, ou seja, não possui um nível constante no tempo. Isso acontece porque a tensão de saída é resultante da soma de uma componente contínua (V_{cc}) e uma componente alternada (VCA) responsável pela ondulação do sinal.

Essa ondulação é denominada de fator de ripple (que significa "ondulação" em inglês).

Ela corresponde as quantas vezes o valor eficaz da componente alternada é maior que a componente contínua sobre a carga.

Esse valor é dado por:

Onde: r é o fator de ripple;

$$r = \frac{V_{CAef}}{V_{CC}}$$

V_{CAef} é o valor da tensão alternada eficaz; e

V_{CC} é o valor da tensão contínua.

Para a retificação de meia-onda, o fator de ripple é:

$$r\% = 120\%$$

Para a retificação de onda completa, o fator de ripple é:

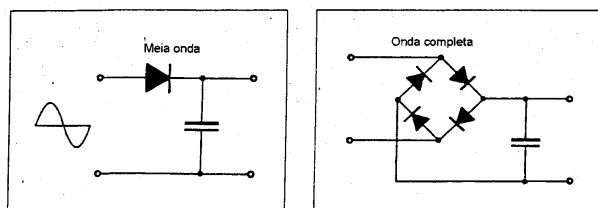
$$r\% = 48\%$$

Esses dados mostram que a porcentagem de ondulação é muito alta e esse é um dos grandes inconvenientes desse tipo de circuito.

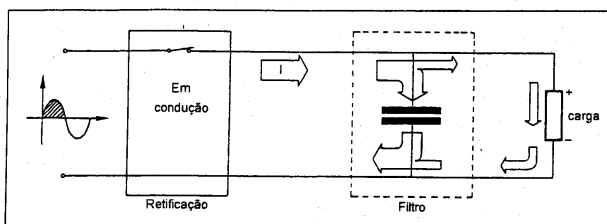
O capacitor como elemento de filtragem

A capacidade de armazenamento de energia dos capacitores pode ser utilizada como recurso para realizar um processo de filtragem na tensão de saída de um circuito retificador.

O capacitor é conectado diretamente nos terminais de saída da retificação.

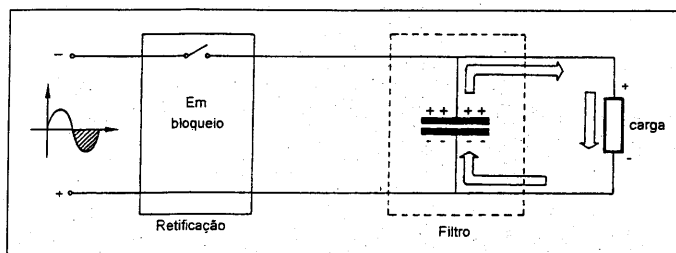


Nos intervalos de tempo em que o diodo conduz circula corrente através da carga e também para o capacitor. Neste período o capacitor armazena energia.

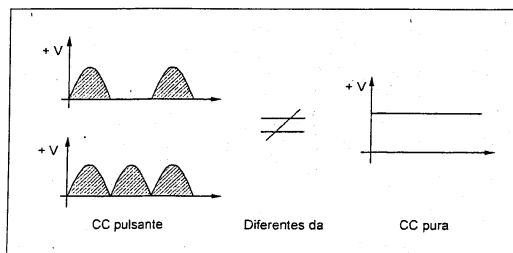


Nos intervalos de bloqueio do diodo o capacitor tende a descarregar a energia armazenada nas armaduras.

Como não é possível a descarga através da retificação, porque o diodo está em bloqueio, a corrente de descarga se processa pela carga.



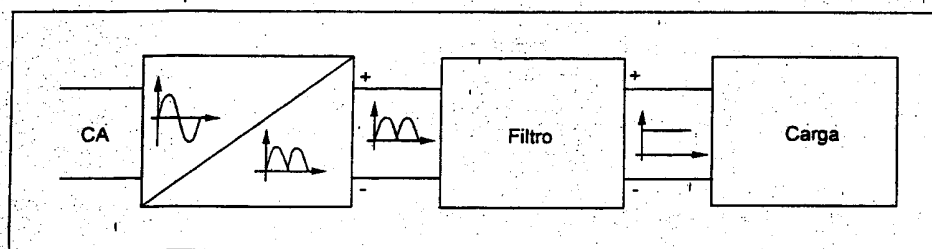
Portanto, a tensão contínua pulsante fornecida pelos circuitos retificadores não serve para a alimentação de equipamentos de corrente contínua, devido as diferenças entre sua forma de onda de saída e a forma de uma contínua pura.



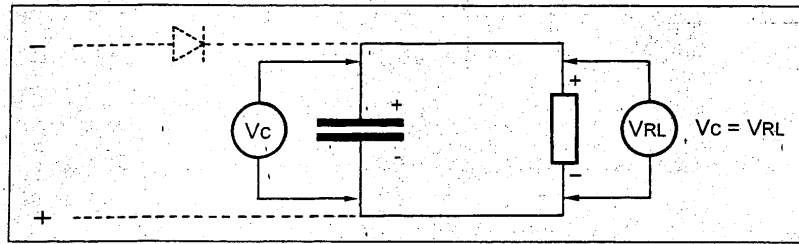
A necessidade de realizar a alimentação dos equipamentos de corrente contínua a partir da rede elétrica CA, levou à utilização de circuitos de filtro.

Nas fontes de alimentação os filtros tem por finalidade permitir a obtenção de uma CC mais pura.

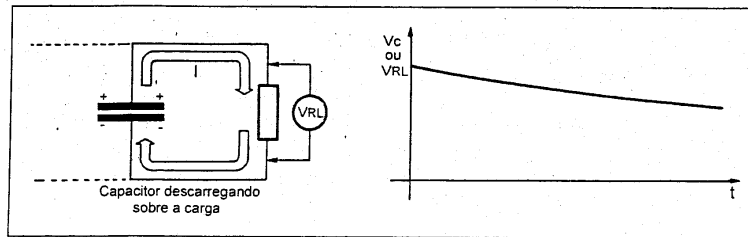
Os filtros são colocados entre a retificação e a carga, e atuam sobre a tensão de saída dos circuitos retificadores aproximando tanto quanto possível a sua forma à de uma tensão contínua pura.



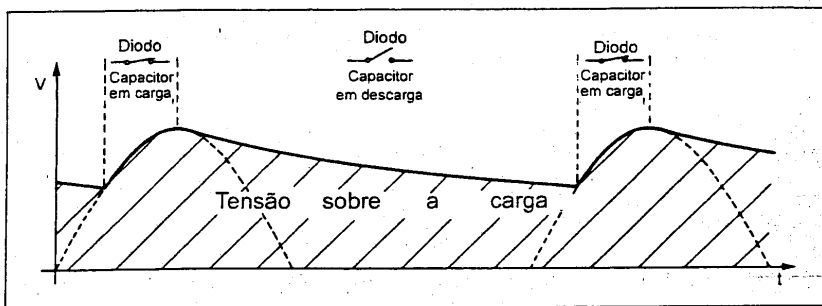
Como o capacitor está em paralelo com a carga, a tensão presente nas armaduras é aplicada a carga.



A corrente absorvida pela carga é fornecida pelo capacitor. Com o passar do tempo a tensão do capacitor diminui devido a sua descarga.

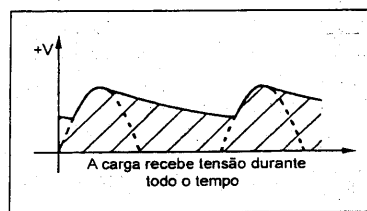
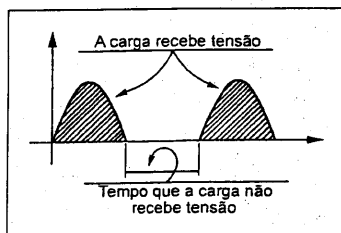


O capacitor permanece descarregado até que o diodo conduza novamente, fazendo uma recarga nas suas armaduras.

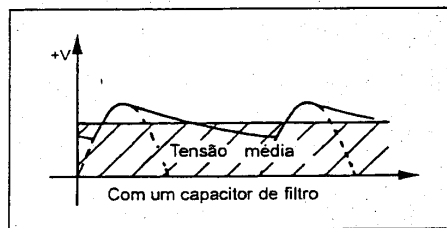
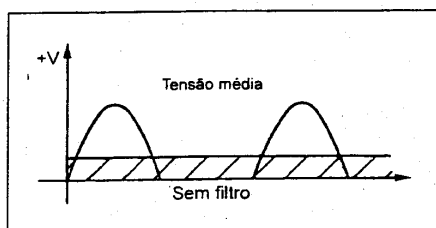


Com a colocação do capacitor a carga passa a receber tensão durante todo o tempo.

As figuras abaixo mostram uma comparação entre a tensão de saída de uma retificação de meia onda sem filtro e com filtro.



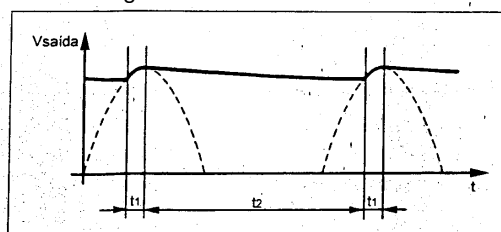
A presença de tensão sobre a carga durante todo o tempo, embora com o valor variável, proporciona a elevação do valor médio de tensão fornecido.



A colocação de um filtro aumenta o valor da tensão média de saída de um circuito retificador.

3. Tensão de ondulação

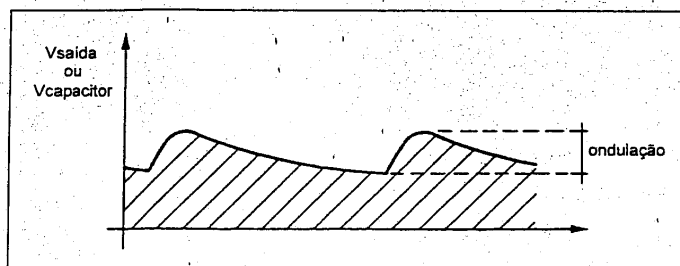
O capacitor colocado em circuito retificador esta sofrendo sucessivos processos de carga e descarga. Nos períodos de condução do diodo o capacitor sofre carga e sua tensão aumenta. Nos períodos de bloqueio o capacitor se descarrega e a sua tensão diminui.



t_1 = tempo em que o capacitor sofre carga (sua tensão aumenta).

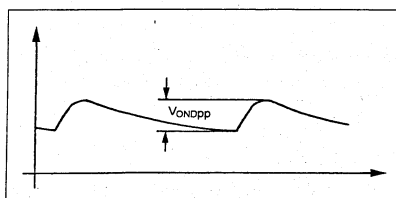
t_2 = tempo em que o capacitor se descarrega parcialmente sobre a carga (sua tensão diminui).

A forma de onda da tensão de saída não chega a ser uma contínua pura, apresentando uma variação entre um valor máximo e um mínimo denominada de ondulação ou ripple.



Ondulação ou ripple é a variação de tensão existente no topo da CC fornecida por um circuito retificador com filtro.

A diferença de tensão entre o valor máximo e mínimo que a ondulação atinge é denominada de tensão de ondulação de pico a pico, abreviada por V_{ondpp} .



A tensão de ondulação na saída de uma fonte também é denominada de componente alternada de saída da fonte.

Um dos fatores que definem a qualidade de um circuito retificador é o valor da componente alternada presente na sua saída. Quanto menor o valor da componente alternada presente na saída uma fonte melhor é a sua qualidade.

Fatores que influenciam na ondulação:

A ondulação na saída de um circuito retificador depende fundamentalmente de três fatores.

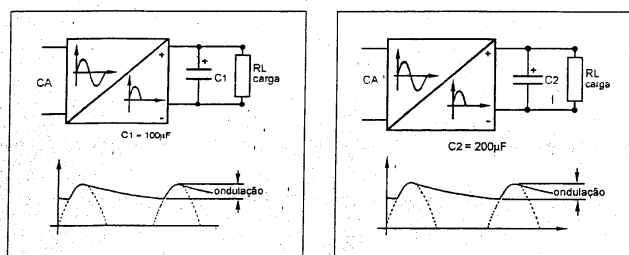
- . Da capacidade de armazenamento do capacitor;
- . Da corrente absorvida pela carga;
- . Do tempo que o capacitor permanece descarregando.

Observando atentamente os fatores se verifica que todos influenciam na descarga do capacitor, que resulta na ondulação.

Os fatores que influenciam na ondulação são aqueles que influenciam na descarga do capacitor.

A capacidade de armazenamento de um capacitor é expressa pela sua capacitância.

Quanto maior o valor do capacitor, maior a capacidade de armazenamento. Assim, um capacitor de filtro maior mantém a tensão de saída mais constante, diminuindo a ondulação.

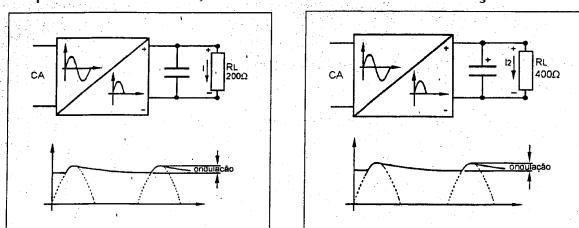


Capacitor de filtro com maior capacitância - tensão de ondulação menor.

3.1. A corrente absorvida pela carga

É responsável pela descarga do capacitor.

Quando a corrente absorvida pela carga é menor o capacitor descarrega mais lentamente. Como consequência a redução de tensão do capacitor é menor, obtendo-se menor ondulação.



I1 maior que I2 e VOND1 maior que VOND2

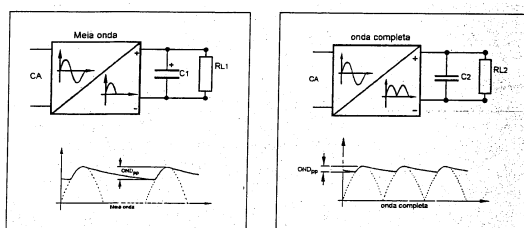
Entretanto, a corrente de carga é o ponto de partida para o cálculo da fonte. É necessário que o circuito projetado tenha capacidade de alimentar a carga mesmo na pior situação de consumo.

Por esta razão não se pode contar com modificações de consumo para melhorar desempenho de saída de uma fonte de alimentação.

O tempo de descarga

Influência a ondulação, visto que quanto mais tempo o capacitor descarrega, menor a tensão nas suas armaduras.

Por esta razão, para uma mesma carga e mesmo capacitor de filtro, onda completa tem menor ondulação.



Em onda completa o capacitor é carregado duas vezes a cada ciclo de entrada.

