



RETIFICADORES MONOFÁSICOS DE MEIA ONDA E ONDA COMPLETA

Data: / /

Nota:

C.J. Egoavil¹, Moura, A. F. L.², Barros E.C.², Nascimento L.A F.²

¹ Professor do Curso de Engenharia Elétrica - DEE, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Sala 206 - 2C, Porto Velho, Rondônia, Brasil

² Monitor de Engenharia Elétrica - DEE, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Sala 206 - 2C, Porto Velho, Rondônia, Brasil

* E-mail: ciro.egoavil@unir.br

* E-mail: eletronicamonitoria@gmail.com

Objetivo: Determinar os valores médios e eficazes de tensão e corrente nos componentes, assim como a resistência de carga e capacitor filtro em cada retificador. Uma vez conhecidos os valores das resistências e capacitâncias, simular os mesmos em softwares de dimulação de circuitos e mostrar os resultados de simulação. Posteriormente, comparar os valores calculados com os valores obtidos de simulação e experimentação.

1 INTRODUÇÃO TEÓRICA

Uma das aplicações mais importantes do diodo é no projeto de circuitos retificadores [1]. Um diodo retificador forma um bloco elementar essencial de uma fonte CC exigida para alimentar um equipamento eletrônico. Um diagrama de blocos dessa fonte de alimentação é mostrado na figura 1. Conforme indicado, a fonte é alimentada por uma rede elétrica CA de 60Hz com 127V (eficaz ou *rms*) [3], e ela entrega uma tensão CC, V_0 , (geralmente na faixa de 5V a 20V) para um circuito eletrônico representado pelo bloco de carga. É necessário que a tensão CC V_0 seja a mais constante possível apesar das variações na tensão da linha e na corrente drenada pela carga.

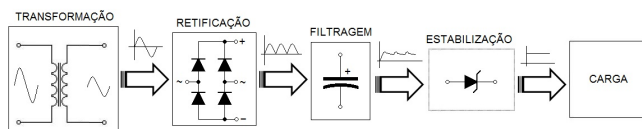


Fig. 1: Diagrama de blocos de uma fonte de alimentação CC.

1.1 Retificador de meia onda

O retificador de meia onda utiliza metade dos semiciclos da senóide de entrada. A figura 2 exibe o circuito de um retificador de meia onda. Ao escolher os diodos no projeto de um retificador, dois parâmetros importantes devem ser especificados: a capacidade de condução de corrente exigida do diodo, determinada pelo maior valor de corrente que o diodo pode conduzir, e a tensão de pico inversa (*peak inverse voltage* - *PIV* ou V_{RRM}) que o diodo deve ser capaz de suportar sem atingir a região de ruptura, determinada pelo maior valor de tensão inversa que pode aparecer no diodo. No circuito retificador da figura 3, observamos que, quando V_s é negativo, o diodo corta e V_0 é igual a zero. Concluímos que o *PIV* é igual ao valor de pico de V_s ,

$$PVI = V_s \quad (1)$$

Contudo, em geral, é prudente escolher o diodo com uma tensão de ruptura inversa, pelo menos 50% maior do que o valor esperado da *PIV*.

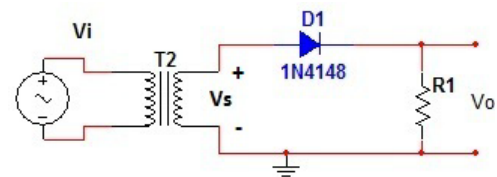


Fig. 2: Retificador de meia onda sem filtro capacitivo.

1.2 Retificador de onda completa com ponto meio

O retificador de onda completa utiliza ambos os semiciclos da senóide de entrada. Para proporcionar uma saída unipolar, ele inverte o semiciclo negativo da onda senoidal. Uma implementação possível está mostrada na figura 3. Nessa figura, o enrolamento secundário do transformador é dividido ao meio para proporcionar duas tensões iguais V_s em cada uma das metades dos enrolamentos secundários com as polaridades indicadas. Observe que, quando a tensão da linha de entrada (alimentação do primário) é positiva, ambos os sinais denominados V_s serão positivos. Nesse caso, D_1 conduzirá e D_2 estará inversamente polarizado. A corrente através de D_1 circulará também através de R e retornará pelo terminal central do secundário. O circuito então se comporta como um retificador de meia onda, e a saída durante o semiciclo positivo quando D_1 conduz será idêntica a produzida pelo retificador de meia onda.

Agora, durante o semiciclo negativo da tensão da linha, ambas as tensões do secundário serão negativas. Portanto, D_1 estará em corte enquanto D_2 conduzirá. A corrente conduzida por D_2 circulará por R e retornará pelo terminal central do transformador. Isso implica que durante o semiciclo negativo, enquanto o D_2 conduz, o circuito se comporta novamente como um retificador de meia onda. O ponto principal, contudo, é que a corrente através de R sempre circula no mesmo sentido e, portanto, V_0 será unipolar. O *PIV* nesse caso é:

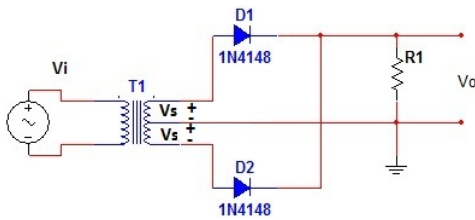


Fig. 3: Retificador de onda completa com ponto meio sem filtro capacitivo.

$$PIV = 2V_S - V_D \quad (2)$$

1.3 Retificador de onda completa em ponte

Uma implementação alternativa para o retificador de onda completa é mostrado na figura 4.

O circuito retificador em ponte opera do seguinte modo: durante os semiciclos positivos da tensão de entrada, V_i é positiva e D_4 . Enquanto isso, os diodos D_2 e D_3 estão inversamente polarizados. Observe que há dois diodos em série no caminho da condução e, portanto, V_0 será duas quedas de tensão menor que V_i (comparado a uma queda apenas no circuito discutido anteriormente). Isso é, de certa forma, uma desvantagem do circuito em ponte.

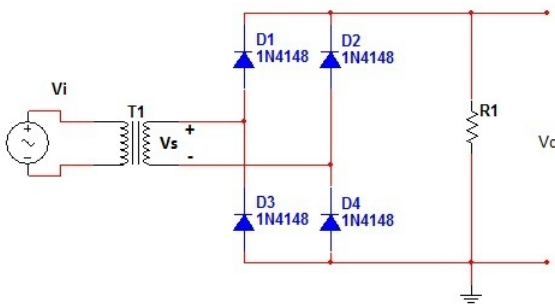


Fig. 4: Retificador de onda completa em ponte sem filtro capacitivo.

A seguir considere a situação durante os semiciclos negativos da tensão de entrada. A tensão V_i no secundário será negativa e, portanto, $-V_i$ será positiva, forçando a corrente a circular por D_2 , R e D_3 . Enquanto isso, os diodos D_1 e D_4 estarão inversamente polarizados.

O ponto principal a ser observado, porém, é que durante ambos os semiciclos a corrente circula por R no mesmo sentido (da direita para a esquerda) e então V_0 será sempre positiva. O PIV neste caso é:

$$PIV = V_i - V_D \quad (3)$$

1.4 O retificador com capacitor de filtro

A natureza pulsante da tensão de saída produzida pelos circuitos retificadores discutidos anteriormente torna-os inadequados como fontes de alimentação CC para circuitos eletrônicos. Uma forma simples de reduzir a variação de tensão da saída é conectar um capacitor em paralelo com o resistor de carga. Esse capacitor de filtro serve para reduzir substancialmente as variações nas tensões de saída. O capacitor em paralelo com a carga carrega até o valor de pico V_p . Então, o diodo corta e o capacitor descarrega através da resistência de carga R . A descarga do capacitor continuará por quase todo o ciclo, até o instante em que V_i exceda o valor da tensão no capacitor.

Apartir desse momento, o diodo conduz novamente, carrega o capacitor até o valor de pico V_i e o processo se repete. Observe que para manter a tensão de saída sem que esta diminua significativamente durante a descarga do capacitor, escolhemos o valor de C de modo que a constante de tempo ($\tau = CR$) seja muito maior que o intervalo de tempo de descarga.

Para entender melhor o processo, observe a figura 5, onde demonstra o caso de um retificador de meia onda. As observações estão na seguinte ordem:

1. O diodo conduz por um breve intervalo, Δt , próximo do pico da senoide de entrada e alimenta o capacitor com carga igual à perdida durante o longo intervalo de descarga. Esse último intervalo é aproximadamente igual ao período T .
2. Supondo um diodo ideal, ele começa a conduzir no instante t_1 , no qual a entrada V_i se iguala ao valor da queda exponencial da saída V_0 . A condução cessa em t_2 imediatamente após o pico de V_i .
3. Durante o intervalo de corte do diodo, o capacitor C descarrega através de R e então V_0 cai exponencialmente com uma constante de tempo ($\tau = CR$). O intervalo de descarga começa próximo do pico de V_i . Ao final do intervalo de descarga, o qual dura quase todo o período T , $V_0 = V_p - V_r$, em que V_r é a tensão pico a pico da ondulação. Quando $\tau \gg T$, o valor de V_r é pequeno.
4. Quando V_r é pequeno, V_0 é quase constante e igual ao valor de pico de V_i . Então, a tensão de saída CC é aproximadamente igual a V_p . De modo similar, a corrente i_L é quase constante e sua componente CC I_L é dada por:

$$I_L = \frac{V_p}{R} \quad (4)$$

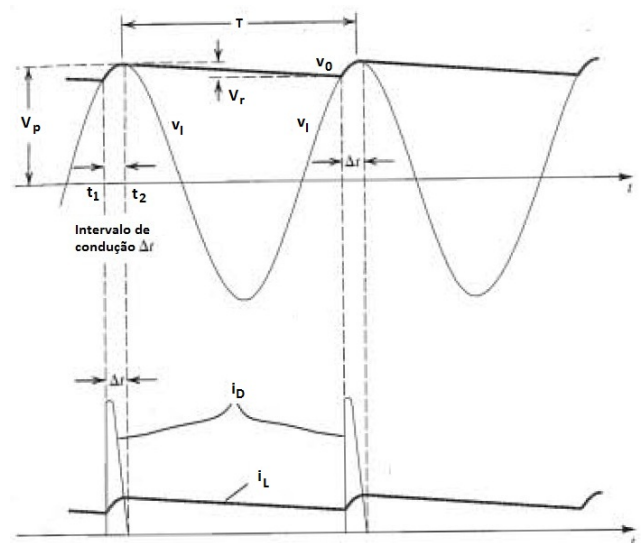


Fig. 5: Formas de onda da tensão e da corrente em um circuito retificador de pico com $CR \gg T$. O diodo é suposto como ideal.

Se necessário, uma expressão mais precisa para a tensão CC de saída pode ser obtida tomando-se a média dos valores extremos de V_0 ,

$$V_0 = V_p - \frac{1}{2}V_r \quad (5)$$

Com essas observações em mãos, deduzimos agora as expressões para V_r , para a média e para o valor de pico da corrente no diodo. Durante o intervalo de corte do diodo, V_0 pode ser expressa como

$$V_0 = V_p e^{-\frac{t}{CR}} \quad (6)$$

Ao final do intervalo de descarga, temos

$$V_p - V_r \cong V_p e^{-\frac{T}{CR}} \quad (7)$$

Agora visto que $CR \gg T$, podemos usar a aproximação $e^{-\frac{T}{CR}} \cong 1 - \frac{T}{CR}$ para obter

$$V_r \cong V_p \frac{T}{CR} \quad (8)$$

Observamos que, para manter V_r pequeno, devemos escolher C , de modo que $CR \gg T$. A **tensão de ondulação (ripple)** V_r na equação 8 pode ser expressa em termos de frequência $f = 1/T$ como [3]

$$V_r = \frac{V_p}{fCR} \quad (9)$$

Utilizando a equação 4, podemos expressar V_r pela seguinte expressão alternativa:

$$V_r = \frac{I_L}{fC} \quad (10)$$

1.5 Valor médio e eficaz de uma onda senoidal

Para se obter os valores médios e eficazes de ondas senoidais, utilizam-se as seguintes fórmulas.

$$I_{dc} = \frac{2I_p}{\pi} \quad (11)$$

$$I_{ef} = \frac{I_p}{\sqrt{2}} \quad (12)$$

$$V_{dc} = \frac{2V_p}{\pi} \quad (13)$$

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad (14)$$

As mesmas fórmulas podem ser usadas para se obter os valores médios e eficazes de uma forma de onda contínua pulsante senoidal. Para o caso de uma forma de onda pulsante senoidal ceifada (meia onda) utilizam-se as seguintes fórmulas.

$$I_{dc} = \frac{I_p}{\pi} \quad (15)$$

$$I_{ef} = \frac{I_p}{\sqrt{2}} \quad (16)$$

$$V_{dc} = \frac{V_p}{\pi} \quad (17)$$

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad (18)$$

1.6 Materiais

- Multímetro digital Politem POL-79;
- Osciloscópio Digital TEKTRONIX TBS 1072B;
- Transformador;
- Diodo 1N4148;
- Resistor;
- Capacitor;
- Protoboard.

2 Parte Experimental

2.1 Primeiro Passo

Retificador de meia onda sem filtro capacitivo:

1. Construa o circuito da figura 2.
2. Determine o valor de R e C com base na fórmula 9. utilizar V_r como sendo 10% de V_p .
3. Obtenha os valores de corrente média e eficaz de cada componente, assim como também os valores de tensão média eficaz. Para realizar as medições de valor eficaz, utilize o multímetro no modo AC. Obtenha também PIV do diodo no circuito. Após isso compare com os valores teóricos e simulados. Preencha a tabela I com os valores obtidos.

Grandezas	Valor Teórico	Valor Simulado	Valor Exp.
$I_{Ddc} [A]$			
$I_{Def} [A]$			
$I_{Sdc} [A]$			
$I_{Sef} [A]$			
$I_{Rdc} [A]$			
$I_{Ref} [A]$			
$V_{0dc} [V]$			
$V_{0ef} [V]$			
$V_{DPIV} [V]$			

Tabela 1 Resultados do primeiro passo.

2.2 Segundo Passo

Retificador de meia onda com filtro capacitivo:

1. Construa o circuito da figura 6.
2. Através do osciloscópio, analise o sinal de V_0 . Discuta o que o corre com o sinal quando utiliza-se o capacitor do filtro.
3. Obtenha os valores requisitados na tabela II.

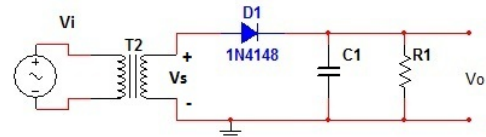


Fig. 6: Retificador de meia onda com filtro capacitivo.

2.3 Terceiro passo

Retificador de onda completa com ponto meio sem filtro capacitivo:

1. Construa o circuito da Figura 3.

Grandezas	Valor Teórico	Valor Simulado	Valor Exp.
I_{Ddc} [A]			
I_{Def} [A]			
I_{Sdc} [A]			
I_{Sef} [A]			
I_{Rdc} [A]			
I_{Ref} [A]			
V_{0dc} [V]			
V_{0ef} [V]			
V_{DPV} [V]			

Tabela 2 Resultados do segundo passo.

- Utilize o valor de R do passo anterior.
- Obtenha os valores de corrente média e eficaz de cada componente, assim como também os valores de tensão média e eficaz. Para realizar as medições de valor eficaz, utilize o multímetro no modo AC. Obtenha também o PIV do diodo no circuito. Após isso compare com os valores teóricos e simulados. Preencha a tabela 3 com os valores obtidos.

Grandezas	Valor Teórico	Valor Simulado	Valor Exp.
I_{Ddc} [A]			
I_{Def} [A]			
I_{Sdc} [A]			
I_{Sef} [A]			
I_{Rdc} [A]			
I_{Ref} [A]			
V_{0dc} [V]			
V_{0ef} [V]			
V_{DPV} [V]			

Tabela 3 Resultados do terceiro passo.

2.4 Quarto passo

Retificador de onda completa com ponto meio e filtro capacitivo:

- Construa o circuito da figura 7.
- Utilize os valores de R e de C do passo anterior.
- Obtenha os valores de corrente média e eficaz de cada componente, assim como também os valores de tensão média e eficaz. Para realizar as medições de valor eficaz, utilize o multímetro no modo AC. Obtenha também o PIV do diodo no circuito. Após isso compare com os valores teóricos e simulados. Preencha a tabela 4 com os valores obtidos.

Grandezas	Valor Teórico	Valor Simulado	Valor Exp.
I_{Ddc} [A]			
I_{Def} [A]			
I_{Sdc} [A]			
I_{Sef} [A]			
I_{Rdc} [A]			
I_{Ref} [A]			
V_{0dc} [V]			
V_{0ef} [V]			
V_{DPV} [V]			

Tabela 4 Resultados do quarto passo.

2.5 Quinto passo

Retificador de onda completa em ponte sem filtro capacitivo:

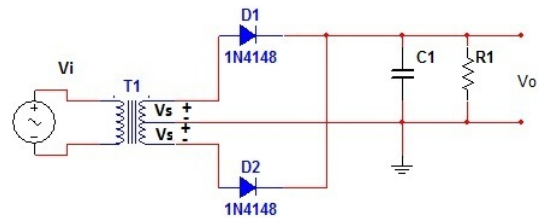


Fig. 7: Retificador de onda completa com ponto meio com filtro capacitivo.

- Construa o circuito da figura 4.
- Utilize o valor de R do passo anterior.
- Obtenha os valores de corrente média e eficaz de cada componente, assim como também os valores de tensão média e eficaz. Para realizar as medições de valor eficaz, utilize o multímetro no modo AC. Obtenha também o PIV do diodo no circuito. Após isso compare com os valores teóricos e simulados. Preencha a tabela 5 com os valores obtidos.

Grandezas	Valor Teórico	Valor Simulado	Valor Exp.
I_{Ddc} [A]			
I_{Def} [A]			
I_{Sdc} [A]			
I_{Sef} [A]			
I_{Rdc} [A]			
I_{Ref} [A]			
V_{0dc} [V]			
V_{0ef} [V]			
V_{DPV} [V]			

Tabela 5 Resultados do quinto passo.

2.6 Sexto passo

Retificador de onda completa em ponte com filtro capacitivo:

- Construa o circuito da figura 8.
- Utilize os valores de R e de C do passo anterior.
- Obtenha os valores de corrente média e eficaz de cada componente, assim como também os valores de tensão média e eficaz. Para realizar as medições de valor eficaz, utilize o multímetro no modo AC. Obtenha também o PIV do diodo no circuito. Após isso compare com os valores teóricos e simulados. Preencha a tabela 6 com os valores obtidos.

Grandezas	Valor Teórico	Valor Simulado	Valor Exp.
I_{Ddc} [A]			
I_{Def} [A]			
I_{Sdc} [A]			
I_{Sef} [A]			
I_{Rdc} [A]			
I_{Ref} [A]			
V_{0dc} [V]			
V_{0ef} [V]			
V_{DPV} [V]			

Tabela 6 Resultados do quinto passo.

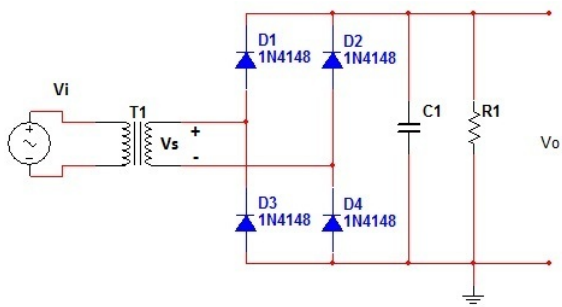


Fig. 8: Retificador de onda completa em ponte com filtro capacitivo.

2.7 Sétimo passo

Comparações e análises:

1. Faça uma conclusão comparativa entre os três tipos de retificadores, ressaltando suas vantagens.
2. Faça uma análise geral dos circuitos e verifique se o diodo utilizado apresentava um *PIV* adequado para cada aplicação.

3 Referências

- 1 SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth C. "Microeletrônica", 5ª edição São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- 2 MARQUES, Angelo Eduardo B.; CHOUERI JÚNIOR, Salomão; CRUZ, Eduardo Cesar Alves. Dispositivos semicondutores: diodos e transistores, 11ª edição. São Paulo: Épica, 2007.
- 3 MALVINO, Albert; BATES, David. Eletrônica, 8ª e dição. São Paulo: AMGH Editora Ltda., 2016