

# RETIFICADORES MONOFÁSICOS DE MEIA ONDA E ONDA COMPLETA

Fundação Universidade Federal de Rondônia  
Núcleo de Ciência e Tecnologia  
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE  
Disciplina de Eletrônica I

## I. OBJETIVOS

- 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 no programa Multisim e mostrar os resultados de simulação.
- Posteriormente, comparar os valores calculados com os valores obtidos de simulação e experimentação.

## II. INTRODUÇÃO

Uma das aplicações mais importantes do diodo é no projeto de circuitos retificadores. 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 120V (eficaz ou rms), e ela entrega uma tensão *cc*  $V_O$  (geralmente na faixa de 5V a 20V) para um circuito eletrônico representado pelo bloco de carga. É necessário que a tensão *cc*  $V_O$  seja a mais constante possível apesar das variações na tensão da linha e na corrente drenada pela carga.

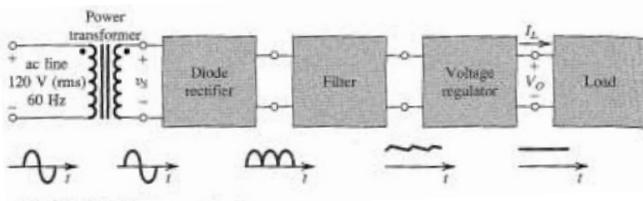


Figura 1. Diagrama de blocos de uma fonte de alimentação *cc*.

### A. Retificador de meia onda

O retificador de meia onda utiliza metade dos semiciclos da senoide de entrada. A figura 3 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) 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  $V_O$  é igual a zero. Concluímos que o PIV é igual ao valor de pico de  $V_s$ ,

$$PIV = V_S \quad (1)$$

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.

### B. Retificador de onda completa com ponto meio

O retificador de onda completa utiliza ambos os semiciclos da senoide de entrada. Para proporcionar uma saída unipolar, ele inverte o semiciclo negativo da onda senoidal. Uma implementação possível está mostrada na figura 5. 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 *ca*, 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,  $V_O$  será unipolar. O PIV nesse caso é:

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

### C. Retificador de onda completa em ponte

Uma implementação alternativa para o retificador de onda completa é mostrado na figura 7.

O circuito retificador em ponte opera do seguinte modo: durante os semiciclos positivos da tensão de entrada,  $V_S$  é positiva e a corrente é conduzida pelo diodo  $D_1$ , resistor R e diodo  $D_4$ . 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,  $V_O$  será duas quedas de tensão menor que  $V_S$  (comparado a uma queda apenas no circuito discutido anteriormente). Isso é, de certeza forma, uma desvantagem do circuito em ponte.

A seguir considere a situação durante os semiciclos negativos da tensão de entrada. A tensão  $V_S$  no secundário será negativa e, por tanto,  $-V_S$  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  $V_O$  será sempre positiva. O PIV neste caso é:

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

### D. 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. Daí, 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 2, onde demonstra o caso de um retificador de meia onda. As observações estão na seguinte ordem:

- 1) O diodo conduz por um breve intervalo,  $\Delta t$ , próximo do pico da senóide 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  $V_O$ . A condução cessa em  $t_2$  imediatamente após o pico de  $V_I$ .

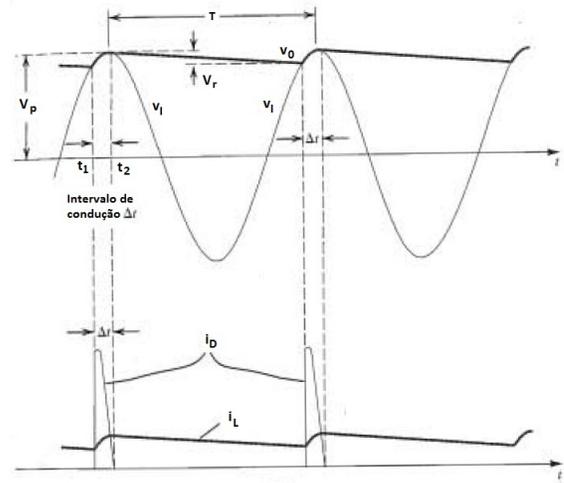


Figura 2. Formas de onda da tensão e da corrente em um circuito retificador de pico com  $CR \gg T$ . O diodo é suposto como ideal.

- 3) Durante o intervalo de corte do diodo, o capacitor C descarrega através de R e então  $V_O$  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,  $V_O = V_p - V_r$ , 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,  $v_O$  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:

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

## III. MATERIAIS UTILIZADOS

- Multímetro digital ICEL MD - 6601;
- Transformador 110/12 V;
- Diodo 1N4148;
- Resistor;
- Capacitor;

## IV. PARTE EXPERIMENTAL

### A. Primeiro passo

Retificador de meia onda sem filtro capacitivo:

- a) Construa o circuito da figura 3.

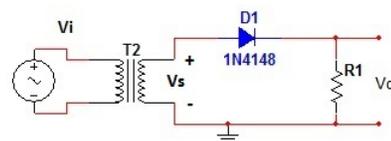


Figura 3. Retificador de meia onda sem filtro capacitivo.

- b) Determine o valor de R. Lembrando-se que ele será utilizado no próximo passo em paralelo com um capacitor, portanto obtenha  $\tau \gg T$ .
- c) 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 médio e eficaz, utilize o multímetro nos modos DC e AC, respectivamente. Obtenha também o PIV do diodo no circuito. Após isso compare com os valores teóricos e simulados(multisim). Preencha a tabela I com os valores obtidos.

Grandezas	Valor Teórico	Valor Simulado	Valor Exp.
$ID_{md}[A]$			
$ID_{ef}[A]$			
$IS_{md}[A]$			
$IS_{ef}[A]$			
$IR_{md}[A]$			
$IR_{ef}[A]$			
$VO_{md}[V]$			
$VO_{ef}[V]$			
$VD_{PIV}[V]$			

Tabela I  
RESULTADOS DO PRIMEIRO PASSO.

### B. Segundo passo

Retificador de meia onda com filtro capacitivo:

- a) Construa o circuito da figura 4.

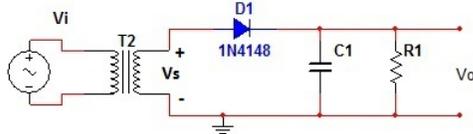


Figura 4. Retificador de meia onda com filtro capacitivo.

- b) Determine os valores de R e de C para que se obtenha  $\tau \gg T$ .
- c) 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 médio e eficaz, utilize o multímetro nos modos DC e AC, respectivamente. Obtenha também o PIV do diodo no circuito. Após isso compare com os valores teóricos e simulados(multisim). Preencha a tabela II com os valores obtidos.

### C. Terceiro passo

Retificador de onda completa com ponto meio sem filtro capacitivo:

- a) Construa o circuito da figura 5.
- b) Determine o valor de R. Lembrando-se que ele será utilizado no próximo passo em paralelo com um capacitor, portanto obtenha  $\tau \gg T$ .
- c) Obtenha os valores de corrente média e eficaz de cada componente, assim como também os valores de tensão

Grandezas	Valor Teórico	Valor Simulado	Valor Exp.
$ID_{md}[A]$			
$ID_{ef}[A]$			
$IS_{md}[A]$			
$IS_{ef}[A]$			
$IR_{md}[A]$			
$IR_{ef}[A]$			
$VO_{md}[V]$			
$VO_{ef}[V]$			
$VD_{PIV}[V]$			

Tabela II  
RESULTADOS DO SEGUNDO PASSO.

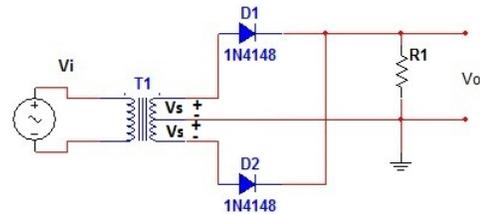


Figura 5. Retificador de onda completa com ponto meio sem filtro capacitivo.

média e eficaz. Para realizar as medições de valor médio e eficaz, utilize o multímetro nos modos DC e AC, respectivamente. Obtenha também o PIV do diodo no circuito. Após isso compare com os valores teóricos e simulados(multisim). Preencha a tabela III com os valores obtidos.

Grandezas	Valor Teórico	Valor Simulado	Valor Exp.
$ID_{md}[A]$			
$ID_{ef}[A]$			
$IS_{md}[A]$			
$IS_{ef}[A]$			
$IR_{md}[A]$			
$IR_{ef}[A]$			
$VO_{md}[V]$			
$VO_{ef}[V]$			
$VD_{PIV}[V]$			

Tabela III  
RESULTADOS DO TERCEIRO PASSO.

### D. Quarto passo

Retificador de onda completa com ponto meio com filtro capacitivo:

- a) Construa o circuito da figura 6.

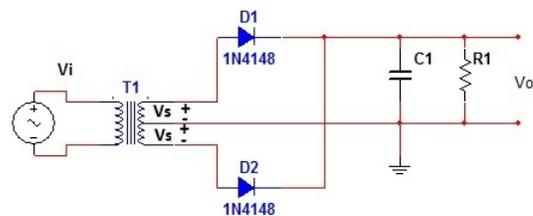


Figura 6. Retificador de onda completa com ponto meio com filtro capacitivo.

- b) Determine os valores de R e de C para que se obtenha  $\tau \gg T$ .

c) 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 médio e eficaz, utilize o multímetro nos modos DC e AC, respectivamente. Obtenha também o PIV do diodo no circuito. Após isso compare com os valores teóricos e simulados(multisim). Preencha a tabela IV com os valores obtidos.

Grandezas	Valor Teórico	Valor Simulado	Valor Exp.
$ID_{md}[A]$			
$ID_{ef}[A]$			
$IS_{md}[A]$			
$IS_{ef}[A]$			
$IR_{md}[A]$			
$IR_{ef}[A]$			
$VO_{md}[V]$			
$VO_{ef}[V]$			
$VD_{PIV}[V]$			

Tabela IV  
RESULTADOS DO QUARTO PASSO.

### E. Quinto passo

Retificador de onda completa em ponte sem filtro capacitivo:

a) Construa o circuito da figura 7.

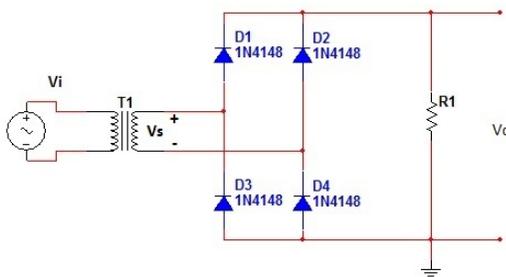


Figura 7. Retificador de onda completa em ponte sem filtro capacitivo.

- b) Determine o valor de R. Lembrando-se que ele será utilizado no próximo passo em paralelo com um capacitor, portanto obtenha  $\tau \gg T$ .
- c) 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 médio e eficaz, utilize o multímetro nos modos DC e AC, respectivamente. Obtenha também o PIV do diodo no circuito. Após isso compare com os valores teóricos e simulados(multisim). Preencha a tabela V com os valores obtidos.

### F. Sexto passo

Retificador de onda completa em ponte com filtro capacitivo:

- a) Construa o circuito da figura 8.
- b) Determine os valores de R e de C para que se obtenha  $\tau \gg T$ .
- c) Obtenha os valores de corrente média e eficaz de cada componente, assim como também os valores de tensão

Grandezas	Valor Teórico	Valor Simulado	Valor Exp.
$ID_{md}[A]$			
$ID_{ef}[A]$			
$IS_{md}[A]$			
$IS_{ef}[A]$			
$IR_{md}[A]$			
$IR_{ef}[A]$			
$VO_{md}[V]$			
$VO_{ef}[V]$			
$VD_{PIV}[V]$			

Tabela V  
RESULTADOS DO QUINTO PASSO.

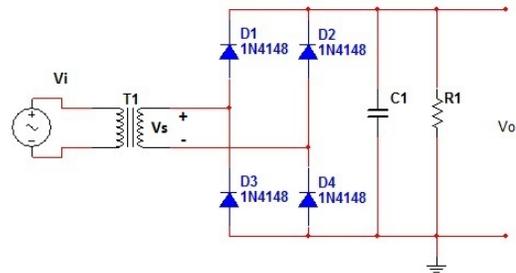


Figura 8. Retificador de onda completa em ponte com filtro capacitivo.

média e eficaz. Para realizar as medições de valor médio e eficaz, utilize o multímetro nos modos DC e AC, respectivamente. Obtenha também o PIV do diodo no circuito. Após isso compare com os valores teóricos e simulados(multisim). Preencha a tabela VI com os valores obtidos.

Grandezas	Valor Teórico	Valor Simulado	Valor Exp.
$ID_{md}[A]$			
$ID_{ef}[A]$			
$IS_{md}[A]$			
$IS_{ef}[A]$			
$IR_{md}[A]$			
$IR_{ef}[A]$			
$VO_{md}[V]$			
$VO_{ef}[V]$			
$VD_{PIV}[V]$			

Tabela VI  
RESULTADOS DO SEXTO PASSO.

### G. Sétimo passo

Comparações e análises:

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

### REFERÊNCIAS

- [1] SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth C. "Microeletrônica", 5ª edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.