

# 5

## Capítulo

### Retificadores Monofásicos de Meia Onda com Carga Resistiva

#### Meta deste capítulo

Introduzir ao estudo dos conversores ca-cc, iniciando com o retificador de meia onda com carga resistiva.

## objetivos

- Entender o funcionamento de circuitos retificadores;
- Realizar cálculos com conversores ca-cc;
- Simular conversores ca-cc;
- Implementar retificadores monofásicos.

#### Pré-requisitos

Ter estudado os capítulos referentes aos Semicondutores de Potência.

#### Continuidade

O curso continuará com o estudo de circuitos retificadores de meia onda com carga mista (RL).

# 1 Introdução

A eletrônica de potência surgiu da necessidade de se fazer a conversão de tensão alternada em contínua e a inversão, que é a conversão da tensão contínua em alternada. Assim, a retificação sempre foi uma preocupação dos profissionais da área, realizada inicialmente com máquinas giratórias (conversores não estáticos) e com as válvulas. Com a invenção dos diodos semicondutores, iniciou-se nova fase na conversão de tensão alternada em contínua. Na Figura 1 mostram-se os quatro grupos de conversores estudados em eletrônica de potência, onde fica evidente que os retificadores tratam da conversão de uma tensão alternada com amplitude e frequência definidos ( $v_l, f_l$ ) para uma tensão contínua ( $E_l$ ).

Além disso, o uso de transistores bipolares de junção e de efeito de campo permite construir retificadores bidirecionais em corrente e que operam em alta frequência, que não serão alvo de estudo neste curso básico de eletrônica de potência.

As aplicações dos retificadores ocorrem nos mais diversos circuitos eletrônicos, tanto em nível de sinais como em nível de potência. Todo equipamento eletrônico conectado na rede de energia elétrica possui uma fonte de alimentação, que necessariamente terá circuitos retificadores em seu estágio de potência. Dentre algumas aplicações se tem:

- Processos eletroquímicos, tais como: anodização, produção de gases, refinamento de metais, eletrodeposição, etc.;
- Soldagem elétrica;
- Acionamentos a velocidade ajustável;
- Sistemas HVDC;
- Fontes de uso geral e ininterruptas;
- Interfaceamento de sistemas de energia alternativa com a rede de energia elétrica;
- Reatores eletrônicos e todos os outros circuitos que utilizam processamento indireto de energia.

Apesar do aluno já ter estudado circuitos retificadores em disciplinas básicas do curso de eletrônica, diversos aspectos novos serão abordados aqui, como ocorreu com os semicondutores de potência. Assim, inicialmente se utilizará carga resistiva, seguida da carga resistiva-indutiva (mista) e posteriormente será adicionado ao retificador um filtro capacitivo.

De modo geral, em relação aos conversores ca-cc pode-se afirmar que:

- Denominados de retificadores: convertem a tensão alternada da rede de energia elétrica em uma tensão contínua;
- Podem ser monofásicos, trifásicos ou n-fásicos – dependendo da aplicação e da rede de energia elétrica podem ser para uma fase ou várias;

- Unidirecionais ou bidirecionais – quando empregam diodos são unidirecionais em corrente, mas podem ser bidirecionais, permitindo o fluxo de energia da rede para a carga ou da carga para a rede (regeneração);
- Controlados ou não-controlados – podem empregar diodos, tiristores ou transistores, permitindo assim o controle da tensão de saída;
- Com ou sem correção de fator de potência – podem ter filtros passivos ou ativos para melhorar o fator de potência do conjunto;
- Podem ser isolados ou não-isolados – quando empregam transformadores, sejam de baixa ou alta frequência, apresentam isolamento, para fins de proteção ou adaptação da tensão;
- Um pulso ou múltiplos pulsos – dependendo da retificação (meia onda, onda completa, monofásico ou n-fásico) podem disponibilizar na saída um ou mais semiperíodos da tensão da rede, caracterizando-os como de um ou mais pulsos.

Assim, neste capítulo se iniciará o estudo dos retificadores, abordando aspectos básicos de seu funcionamento com carga resistiva. Serão apresentadas as principais formas de onda para o retificador em estudo, uma análise teórica e posteriormente exercícios resolvidos e propostos. Por fim, um roteiro de laboratório com foco na simulação do circuito estudado também será apresentado. Além disso, simulações serão realizadas visando comprovar aspectos importantes do assunto estudado ao longo deste capítulo.

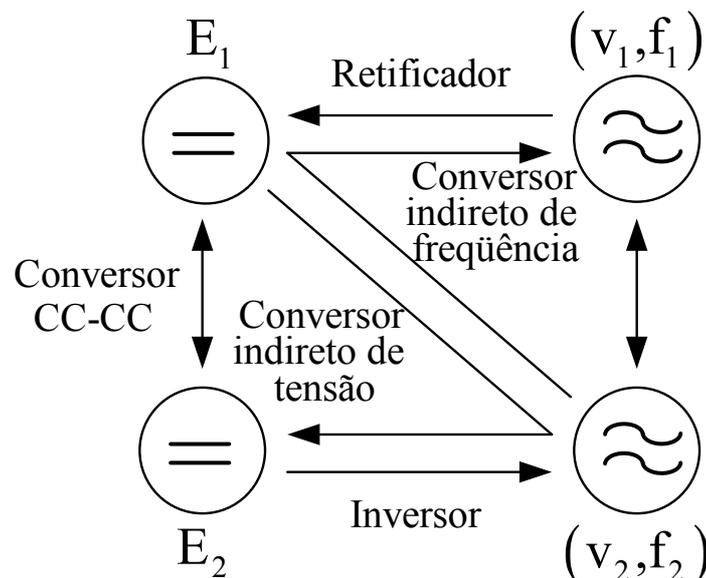


Figura 1 – Conversores estudados na eletrônica de potência.

Fonte: (Barbi, 2005).

## 2 Retificador Monofásico de Meia Onda – Carga Resistiva

O conversor ca-cc (retificador) monofásico de meia onda com carga resistiva é um circuito simples, conforme pode ser observado na Figura 2. A tensão de entrada é representada pela fonte de tensão alternada ( $v_i$ ), o diodo retificador é  $D_1$  e a carga é o resistor  $R_o$ . O índice “o” significa saída em inglês (*out*). A tensão de saída é  $v_o$ .

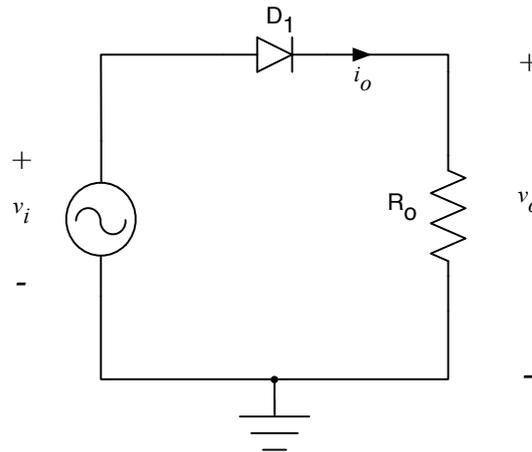


Figura 2 – Retificador monofásico de meia onda com carga resistiva.

Este conversor tem duas etapas de funcionamento, quais sejam:

1ª Etapa – Semiciclo positivo da tensão de entrada,  $v_i > 0$ , o diodo conduz e a tensão de entrada é aplicada na carga;

2ª Etapa – Semiciclo negativo da tensão de entrada,  $v_i < 0$ , o diodo está bloqueado e a tensão na carga é zero.

Assim, verifica-se que a tensão de entrada apenas alimenta a carga no semiciclo positivo, sendo que o semiciclo negativo não é utilizado neste retificador. As formas de onda da tensão de entrada, na carga, corrente na carga e tensão sobre o diodo são mostradas na Figura 3.

A tensão de saída apresenta o mesmo valor de pico do que a tensão de entrada, visto que está se considerando que o diodo é ideal. A corrente na carga é uma imagem da tensão, pois a carga é resistiva e apresenta valor de pico dado por  $I_{pk}$ .

Por sua vez, a tensão reversa no diodo possui o mesmo valor de pico da tensão de entrada e aparece no semiciclo negativo, quando o mesmo está bloqueado.

Após o período de  $2\pi$  radianos, as formas de onda se repetirão indefinidamente, pois a tensão alternada de entrada é periódica. A escala horizontal é tomada em radianos para facilitar a representação independente da frequência da rede.

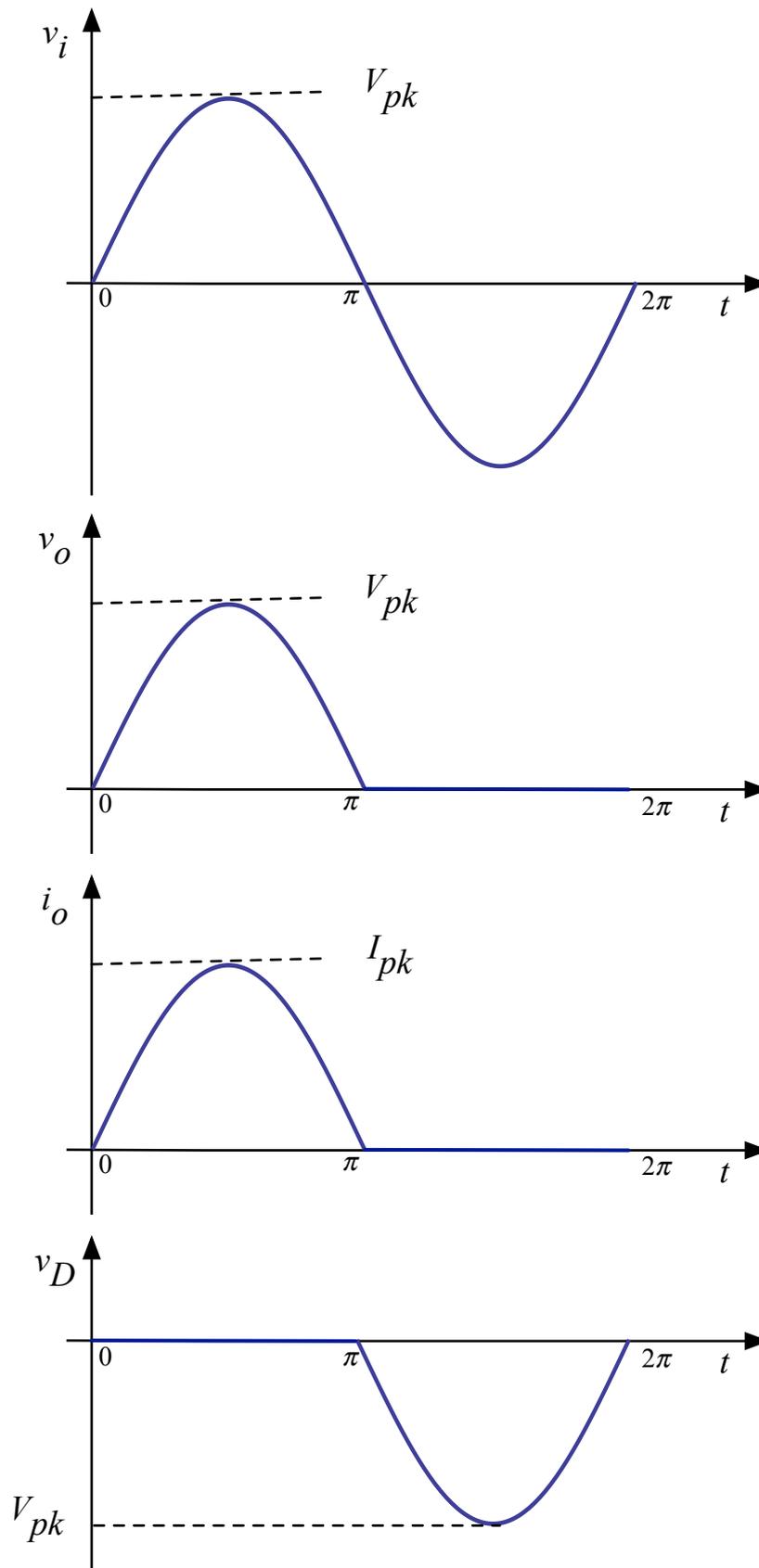


Figura 3 – Principais formas de onda do retificador monofásico de meia onda com carga resistiva.

### 3 Análise do Retificador em Estudo

A seguir será realizada a análise do retificador em estudo, visando determinar sua tensão de saída, a corrente no circuito, os esforços no diodo, fator de potência da estrutura e sua eficiência do ponto de vista da conversão de energia elétrica.

#### 3.1 Tensões na Saída

A tensão de entrada ( $v_i$ ) está representada na Figura 3 pelo seu valor de pico ( $V_{pk}$ ). Seus valores médio e eficaz (RMS) são:

$$V_{i(med)} = 0;$$

$$V_{i(ef)} = \frac{V_{i(pk)}}{\sqrt{2}} = \frac{V_{pk}}{\sqrt{2}}.$$

A tensão de pico na saída é igual a tensão de pico na entrada:

$$V_{o(pk)} = V_{i(pk)} = V_{pk}.$$

A tensão média na saída é obtida por:

$$V_{o(med)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_{o(pk)} \cdot \text{sen}(t) \cdot dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_{pk} \cdot \text{sen}(t) \cdot dt;$$

$$V_{o(med)} = \frac{V_{o(pk)}}{\pi} = \frac{V_{pk}}{\pi}.$$

Alguns autores também apresentam o resultado acima como:

$$V_{o(med)} = \frac{V_{pk}}{\pi} = 0,318 \cdot V_{pk}.$$

Já a tensão eficaz na saída é determinada por:

$$V_{o(ef)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (V_{o(pk)} \cdot \text{sen}(t))^2 \cdot dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (V_{pk} \cdot \text{sen}(t))^2 \cdot dt};$$

$$V_{o(ef)} = \frac{V_{o(pk)}}{2} = \frac{V_{pk}}{2}.$$

### 3.2 Correntes na Saída

As correntes na carga são obtidas diretamente a partir das tensões na carga:

$$I_{o(pk)} = \frac{V_{o(pk)}}{R_o} = \frac{V_{pk}}{R_o}.$$

$$I_{o(med)} = \frac{V_{o(med)}}{R_o}.$$

$$I_{o(ef)} = \frac{V_{o(ef)}}{R_o}.$$

### 3.3 Esforços de Corrente e Tensão no Diodo

A tensão reversa máxima no diodo  $D_1$  é igual ao pico da tensão de entrada:

$$V_{D1(RRM)} = V_{pk}.$$

Já as correntes no diodo são iguais às da carga:

$$I_{D1(pk)} = I_{o(pk)}.$$

$$I_{D1(med)} = I_{o(med)}.$$

$$I_{D1(ef)} = I_{o(ef)}.$$

### 3.4 Fator de Potência da Estrutura

O fator de potência é definido como a relação entre a potência ativa e a potência aparente de um circuito. O circuito é considerado ideal, ou seja, sem perdas, portanto:

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = 1;$$

$$FP = \frac{P_i}{S_i} = \frac{P_o}{S_i}.$$

A potência ativa na carga (resistiva) deve ser calculada como:

$$P_o = R_o \cdot I_{o(ef)}^2 = \frac{V_{o(ef)}^2}{R_o}.$$

Já a potência aparente na entrada (rede) será:

$$S_i = V_{i(ef)} \cdot I_{i(ef)} = V_{i(ef)} \cdot I_{o(ef)}.$$

Pois a corrente na carga, no diodo e na fonte são iguais, pois o circuito possui apenas uma malha. Pode-se obter então:

$$P_o = R_o \cdot I_{o(ef)}^2 = R_o \cdot \left( \frac{V_{o(ef)}}{R_o} \right)^2 = R_o \cdot \left( \frac{V_{o(pk)}}{2 \cdot R_o} \right)^2 = R_o \cdot \left( \frac{V_{pk}}{2 \cdot R_o} \right)^2 = \frac{V_{pk}^2}{4 \cdot R_o}.$$

Por sua vez, a potência aparente na entrada será:

$$S_i = V_{i(ef)} \cdot I_{o(ef)} = \frac{V_{pk}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{pk}}{2 \cdot R_o} = \frac{V_{pk}^2}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot R_o}.$$

Finalmente pode-se obter o fator de potência:

$$FP = \frac{P_o}{S_i} = \frac{\frac{V_{pk}^2}{4 \cdot R_o}}{\frac{V_{pk}^2}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot R_o}} = \frac{V_{pk}^2}{4 \cdot R_o} \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot R_o}{V_{pk}^2} = \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}};$$

$$FP = 0,707.$$

Nota-se que o fator de potência, mesmo a carga sendo resistiva, não é unitário. Isso não é devido à defasagem entre tensão e corrente, pois observando a Figura 3 verifica-se que as mesmas estão em fase, mas sim devido às formas de onda da tensão e corrente na saída, que deixaram de ser senoidais e passaram a ser senoidais retificadas.

### 3.5 Fator de Conversão da Estrutura

O fator de conversão do conversor ca-cc é uma característica da estrutura que mostra como é a conversão de energia do retificador. Em outras palavras, representa quanto da energia disponibilizada pela fonte (rede elétrica) e consumida é realmente convertida em trabalho pela carga. Não tem relação com a eficiência do circuito, pois os componentes são ideais e não se tem perdas no circuito. Assim, o fator de conversão mostra se a energia disponível é utilizada. Como a retificação é de meia onda, é de se esperar que o fator de conversão seja ruim, pois o semiciclo negativo da tensão de alimentação não é aproveitado pelo retificador.

O fator de conversão (FC) é definido como a relação entre a potência no lado de corrente contínua (saída) e a potência no lado de corrente alternada (entrada). Assim:

$$FC = \frac{P_{CC}}{P_{CA}}.$$

A potência no lado de corrente contínua ( $P_{CC}$ ) é dada por:

$$P_{CC} = V_{o(\text{med})} \cdot I_{o(\text{med})};$$

$$P_{CC} = V_{o(\text{med})} \cdot \frac{V_{o(\text{med})}}{R_o} = \frac{V_{pk}}{\pi} \cdot \frac{V_{pk}}{R_o \cdot \pi} = \frac{V_{pk}^2}{R_o \cdot \pi^2};$$

No lado da fonte, a potência será:

$$P_{CA} = V_{i(\text{ef})} \cdot I_{i(\text{ef})} = \frac{V_{pk}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{pk}}{2 \cdot R_o} = \frac{V_{pk}^2}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot R_o}.$$

Portanto, o fator de conversão será:

$$FC = \frac{P_{CC}}{P_{CA}} = \frac{\frac{V_{pk}^2}{R_o \cdot \pi^2}}{\frac{V_{pk}^2}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot R_o}} = \frac{V_{pk}^2}{R_o \cdot \pi^2} \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot R_o}{V_{pk}^2} = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi^2};$$

$$FC = 0,286.$$

Em outras palavras, isso significa que apenas 28,6% da potência disponibilizada pela fonte é aproveitada na saída. É o mesmo que dizer que a potência na entrada deve ser  $1/0,286 \approx 3,5$  vezes a potência desejada na saída. Se for utilizado um transformador no circuito da Figura 1, este deverá ter 3,5 VA para cada 1 W desejado na carga. Isso denota uma conversão ruim.

## 4 Simulação do Retificador em Estudo

O retificador monofásico de meia onda com carga resistiva será simulado utilizando os softwares Psim e Multisim. Inicialmente será realizada uma simulação considerando componentes ideais, para fins de verificação das expressões teóricas apresentadas. A seguir será realizada uma simulação com componentes reais, visando a verificação das diferenças apresentadas em relação à simulação ideal.

### 4.1 Simulação do Circuito com Componentes Ideais

O circuito simulado no Psim está mostrado na Figura 4. Note que os componentes são ideais, ou seja, genéricos, não se utilizando algum modelo específico de diodo semicondutor. A fonte é para 9 V (eficazes), o que equivale a 12,72 V de pico e frequência de 60 Hz. O diodo é ideal. A carga é resistiva e tem resistência de 10 Ω. O tempo de simulação pode ser de 50 ms e passo de cálculo de 0,1 ms (100 μs).

As formas de onda da tensão de entrada e na saída e da corrente no circuito são mostradas na Figura 5. Note que o formato das mesmas condiz com o esperado pela análise do circuito. Na Tabela 1 apresentam-se os principais valores do circuito, calculados e simulados.

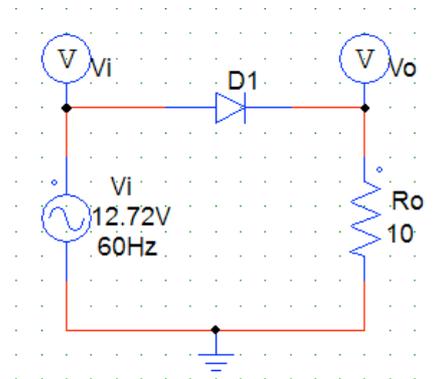


Figura 4 – Circuito simulado no Psim.

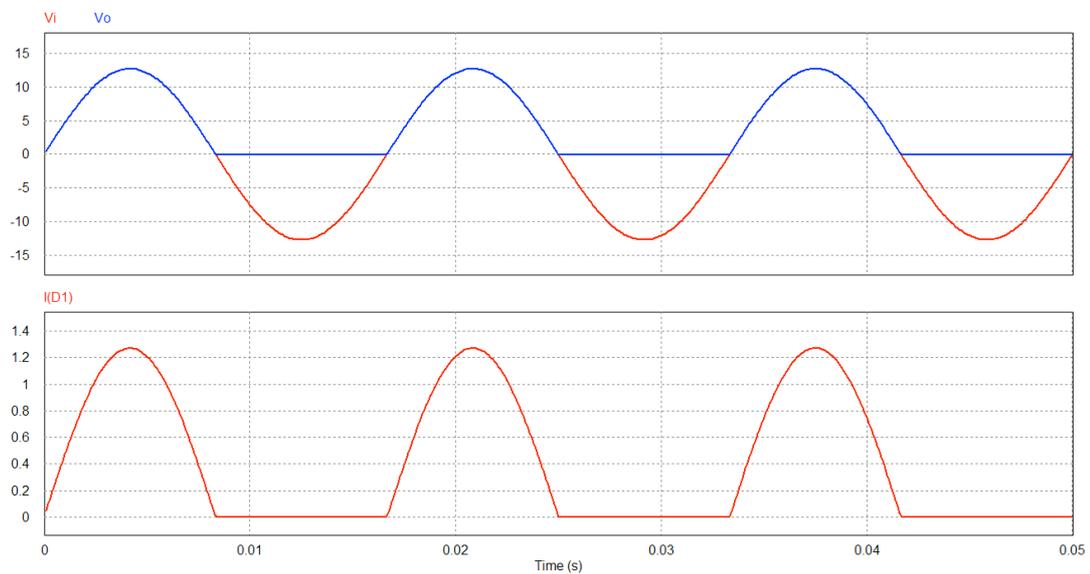


Figura 5 – Formas de onda da tensão de entrada, saída e corrente no circuito.

Tabela 1 – Resultados para o retificador de meia onda.

Variável	Descrição	Valor calculado	Valor simulado
$V_{o(pk)}$	Tensão de pico na carga	12,73 V	12,72 V
$V_{o(avg)}$	Tensão média na carga	4,05 V	4,05 V
$I_{o(pk)}$	Corrente de pico na carga	1,273 A	1,272 A
$I_{o(avg)}$	Corrente média na carga	0,405 A	0,405 A
$P_o$	Potência média na carga	4,05 W	4,05 W

Para determinar a tensão de pico na carga, tensão média, corrente de pico e corrente média, são empregadas as expressões apresentadas anteriormente. Já para determinar a potência média deve-se ter atenção e utilizar:

$$P_o = R_o \cdot I_{o(ef)}^2 = \frac{V_{pk}^2}{4 \cdot R_o} = \frac{12,73^2}{4 \cdot 10} = 4,05W .$$

## 4.2 Simulação do Circuito com Componentes Reais

O circuito simulado no Multisim é mostrado na Figura 6. Note que os componentes são reais, ou seja, o diodo possui um modelo específico para o circuito, que é o 1N4001. A fonte é para 9 V (eficazes) e frequência de 60 Hz. A carga é resistiva e tem resistência de 10  $\Omega$ . O tempo de simulação pode ser de 50 ms e passo de cálculo de 0,1 ms (100  $\mu$ s).

As formas de onda da tensão de entrada e na saída e da corrente no circuito são mostradas na Figura 7. Note que agora se percebe claramente a queda de tensão apresentada pelo diodo, que faz com que a tensão de saída seja menor. Os valores calculados e simulados são mostrados na Tabela 2. Note que a potência diminuiu na carga, visto a tensão média ter diminuído.

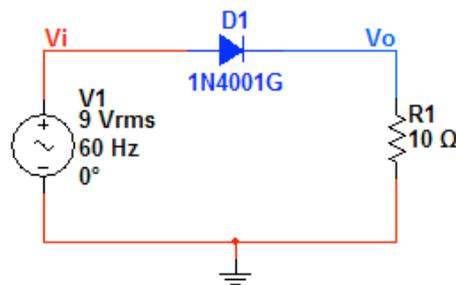


Figura 6 – Circuito simulado no Multisim.

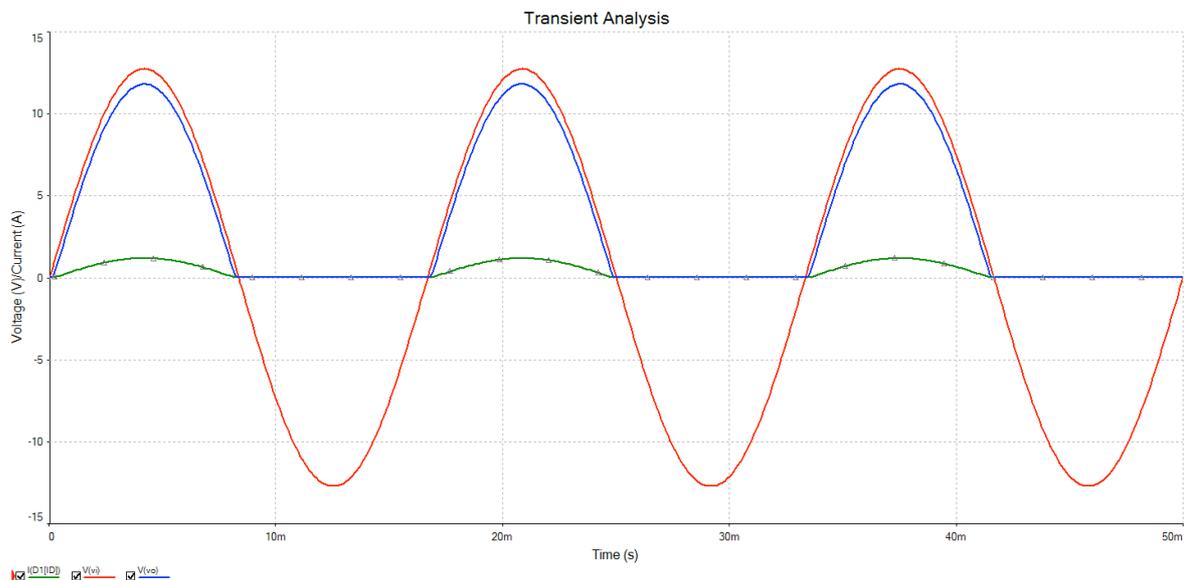


Figura 7 – Formas de onda da tensão de entrada, saída e corrente no circuito.

Os simuladores Psim e Multisim permitem que se realize operações matemáticas com as grandezas calculadas. Assim, a potência instantânea pode ser calculada multiplicando-se a tensão

na carga pela corrente do circuito. Ao tomar seu valor médio (*average*) se obtém a potência média na carga em Watts. Na Figura 8 mostram-se as formas de onda da potência instantânea na carga e o cálculo de seu valor médio. A potência sobre o diodo pode ser determinada da mesma maneira.

Tabela 2 – Resultados para o retificador de meia onda sem diodo de roda-livre.

Variável	Descrição	Valor calculado	Valor simulado
$V_{o(pk)}$	Tensão de pico na carga	12,73 V	11,8 V
$V_{o(avg)}$	Tensão média na carga	4,05 V	3,63 V
$I_{o(pk)}$	Corrente de pico na carga	1,273 A	1,18 A
$I_{o(avg)}$	Corrente média na carga	0,405 A	0,363 A
$P_o$	Potência média na carga	4,05 W	3,39 W

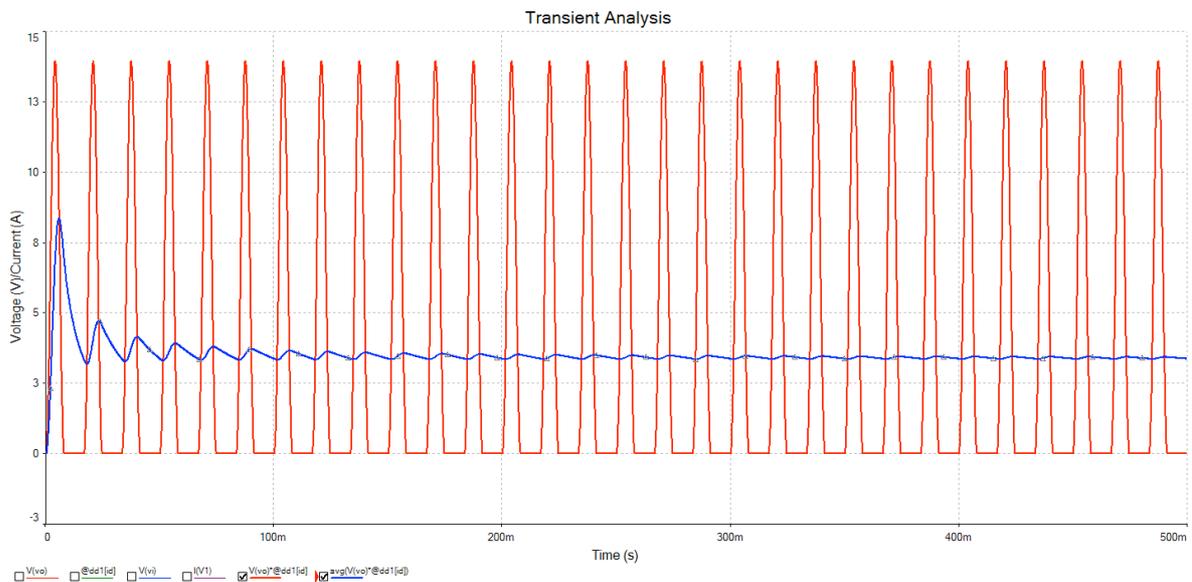


Figura 8 – Formas de onda da potência instantânea e média na carga.

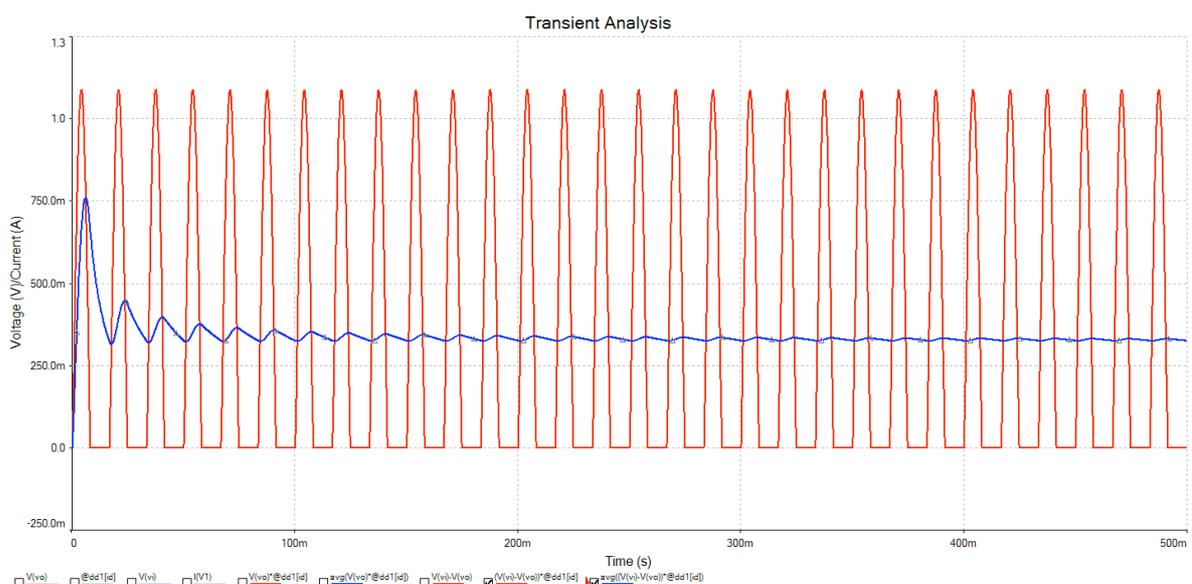


Figura 9 – Formas de onda da potência instantânea e média no diodo.

## 5 Exercícios

### Exercícios Resolvidos

**ER 01)** Considerando o circuito da Figura 10 e que a fonte de alimentação seja de 12 V (eficazes), o diodo é ideal e a carga tem resistência de 5  $\Omega$ , determine:

- As tensões de pico, média e eficaz na carga;
- As correntes de pico, média e eficaz na carga;
- A potência média na carga;
- A tensão reversa no diodo;
- As perdas no diodo.

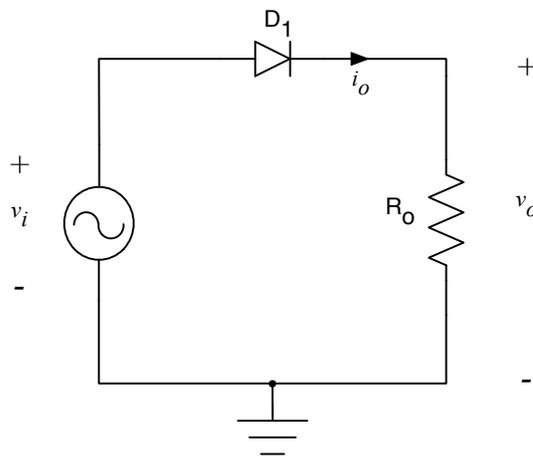


Figura 10 – Circuito para exercício resolvido 01.

As tensões de pico, média e eficaz na carga são dadas por:

$$V_{o(pk)} = V_{i(pk)} = V_{pk} = \sqrt{2} \cdot 12 = 16,97 V .$$

$$V_{o(med)} = \frac{V_{o(pk)}}{\pi} = \frac{V_{pk}}{\pi} = \frac{16,97}{\pi} = 5,40 V .$$

$$V_{o(ef)} = \frac{V_{o(pk)}}{2} = \frac{V_{pk}}{2} = \frac{16,97}{2} = 8,48 V .$$

As correntes no circuito serão idênticas às da carga:

$$I_{o(pk)} = \frac{V_{o(pk)}}{R_o} = \frac{V_{pk}}{R_o} = \frac{16,97}{5} = 3,39 A .$$

$$I_{o(med)} = \frac{V_{o(med)}}{R_o} = \frac{5,4}{5} = 1,08 A .$$

$$I_{o(ef)} = \frac{V_{o(ef)}}{R_o} = \frac{8,48}{5} \cong 1,7 \text{ A}.$$

A potência média na carga é:

$$P_o = R_o \cdot I_{o(ef)}^2 = \frac{V_{pk}^2}{4 \cdot R_o} = \frac{16,97^2}{4 \cdot 5} = 14,40 \text{ W}.$$

A tensão reversa no diodo é:

$$V_{D1(RRM)} = V_{pk} = 16,97 \text{ V}.$$

As perdas no diodo serão nulas, visto o mesmo ser ideal.

**ER 02)** Considerando o circuito da Figura 10 e que a fonte de alimentação seja de 12 V (eficazes), o diodo é o 1N5400 e a carga tem resistência de 5  $\Omega$ , determine:

- As tensões de pico, média e eficaz na carga;
- As correntes de pico, média e eficaz na carga;
- A potência média na carga;
- A tensão reversa no diodo;
- As perdas no diodo.

Neste caso deve-se consultar a folha de dados do diodo para identificar sua queda de tensão direta, que é dada por:

$$V_F = 1,2 \text{ V} @ I_F = 3 \text{ A}.$$

Todavia, este valor é para a corrente de 3 A. Como no circuito em questão, considerando o exercício resolvido 01 (ER 01), a corrente será da ordem 1 A, então é melhor consultar a folha de dados, para se obter uma queda de tensão média, correspondente à corrente média do circuito.

Avaliando a curva da Figura 11, nota-se que para uma corrente da ordem de 1 A, a queda de tensão será da ordem de 0,8 V.

Assim, a tensão de pico na saída será menor do que a tensão de pico na entrada:

$$V_{o(pk)} = V_{i(pk)} - V_F = V_{pk} - V_F = \sqrt{2} \cdot 12 - 0,8 = 16,17 \text{ V}.$$

A tensões média e eficaz na carga serão:

$$V_{o(\text{med})} = \frac{V_{o(\text{pk})}}{\pi} = \frac{16,17}{\pi} = 5,15V .$$

$$V_{o(\text{ef})} = \frac{V_{o(\text{pk})}}{2} = \frac{16,17}{2} = 8,08V .$$

As correntes serão:

$$I_{o(\text{pk})} = \frac{V_{o(\text{pk})}}{R_o} = \frac{16,17}{5} = 3,23A .$$

$$I_{o(\text{med})} = \frac{V_{o(\text{med})}}{R_o} = \frac{5,15}{5} = 1,03A .$$

$$I_{o(\text{ef})} = \frac{V_{o(\text{ef})}}{R_o} = \frac{8,08}{5} = 1,62A .$$

A potência média na carga é:

$$P_o = R_o \cdot I_{o(\text{ef})}^2 = 5 \cdot 1,62^2 = 13,12W .$$

A tensão reversa no diodo é:

$$V_{D1(\text{RRM})} = V_{pk} = 16,97V .$$

A potência dissipada pelo diodo será:

$$P_D = V_F \cdot I_F = 0,8 \cdot 1,03 = 0,82W .$$

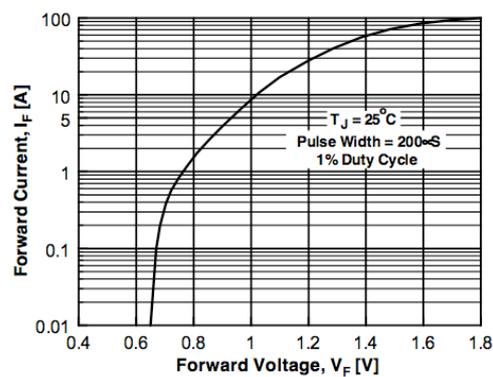


Figura 11 – Curva do diodo 1N5400.

Fonte: [http://www.micropik.com/PDF/1N5400\\_8.pdf](http://www.micropik.com/PDF/1N5400_8.pdf). Acesso em: 03/09/2013.

---

## Exercícios Propostos

---

**EP 01)** Considerando o circuito da Figura 10 e que a fonte de alimentação seja de 15 V (eficazes), o diodo é ideal e a carga tem resistência de  $5 \Omega$ , determine:

- As tensões de pico, média e eficaz na carga;
- As correntes de pico, média e eficaz na carga;
- A potência média na carga;
- A tensão reversa no diodo;
- As perdas no diodo.

**EP 02)** Considerando o circuito da Figura 10 e que a fonte de alimentação seja de 15 V (eficazes), o diodo é o 1N5402 e a carga tem resistência de  $5 \Omega$ , determine:

- As tensões de pico, média e eficaz na carga;
- As correntes de pico, média e eficaz na carga;
- A potência média na carga;
- A tensão reversa no diodo;
- As perdas no diodo;
- O rendimento do circuito.

**EP 03)** Determine o rendimento do circuito no exemplo resolvido 01 (ER 01).

**EP 04)** Determine o rendimento do circuito no exemplo resolvido 02 (ER 02).

**EP 05)** Desenhe as principais formas de onda para o exemplo resolvido 01 (ER 01).

**EP 06)** Desenhe as principais formas de onda para o exemplo resolvido 02 (ER 02).

**EP 07)** Simule o circuito do exemplo resolvido 01 (ER 01) no *software* Psim e compare os resultados obtidos no simulador com os calculados.

**EP 08)** Simule o circuito do exemplo resolvido 02 (ER 02) no *software* Multisim e compare os resultados obtidos no simulador com os calculados. Comente sobre a queda de tensão direta que foi considerada de 0,8 V para calcular as grandezas do circuito. Este valor é observado no simulador?

**EP 09)** Faça o cálculo térmico para o exemplo resolvido 02 (ER 02). Se necessário usar dissipador, escolha outro modelo de diodo para empregar naquele circuito.

**EP 10)** Faça o cálculo térmico para o exemplo proposto 02 (EP 02). Se necessário usar dissipador, escolha outro modelo de diodo para empregar naquele circuito.

**EP 11)** Simule o circuito do exemplo proposto 02 (EP 02) com uma tensão na fonte maior do que a tensão reversa suportada pelo diodo. Verifique o funcionamento do circuito nestas condições. Comente.

## 6 Laboratório

### 6.1 Introdução

Esta atividade de laboratório tem por objetivo exercitar o conteúdo estudado nesta aula (capítulo), especificamente sobre o estudo de conversores ca-cc (retificadores) de meia onda com carga resistiva pura.

Em síntese, objetiva-se:

- Simular retificadores monofásicos de meia onda com carga resistiva;
- Analisar retificadores monofásicos de meia onda com carga resistiva;
- Entender o funcionamento dos circuitos retificadores;
- Comparar os resultados de simulação com os valores calculados.

### 6.2 Retificador de Meia Onda com Carga Resistiva

Implemente no simulador o circuito mostrado na Figura 12. A tensão da fonte de alimentação ( $v_i$ ) será de 21,1 V de pico. O resistor de carga ( $R_o$ ) será de 10  $\Omega$ . O diodo  $D_1$  será ideal.

Anote os valores simulados e calculados na Tabela 3.

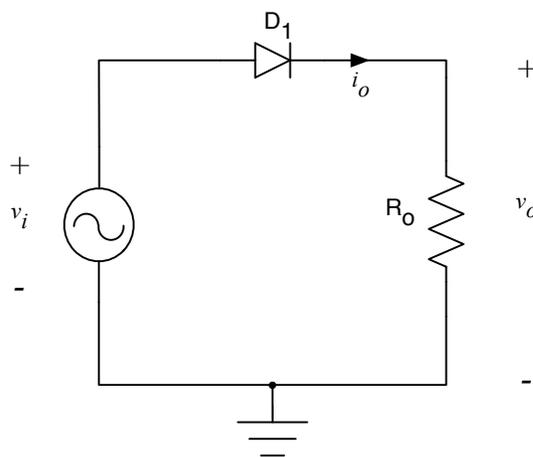


Figura 12 – Circuito do retificador de meia onda.

Tabela 3 – Resultados para o retificador de meia onda.

Variável	Descrição	Valor calculado	Valor simulado
$V_{o(pk)}$	Tensão de pico na carga		
$V_{o(avg)}$	Tensão média na carga		
$I_{o(pk)}$	Corrente de pico na carga		
$I_{o(avg)}$	Corrente média na carga		
$P_o$	Potência média na carga		

### 6.3 Análise dos Resultados

- 1) Esboce as formas de onda da tensão de entrada e de saída do retificador.
- 2) Os resultados obtidos na simulação condizem com os valores calculados?
- 3) Se o diodo D1 fosse substituído por um diodo real, ocorre alteração na tensão de saída?
- 4) Determine o valor eficaz da tensão de saída.
- 5) Determine o valor eficaz da corrente de saída.

## 7 Referências

- [1] BARBI, I. Eletrônica de potência. Florianópolis: Edição do Autor, 2005.
- [2] AHMED, A. Eletrônica de potência. São Paulo: Prentice Hall, 2000.
- [3] MELLO, J. L. A. Projetos de fontes chaveadas. São Paulo: Érica, 1987.
- [4] MOHAN, N. Power Electronic Converters, Application and Design. New York: IE-Wilwy, 2003.
- [5] PRESSMAN, A. I. Switching Power Supply Design. New York: McGraw Hill, 1998.
- [6] BARBI, Ivo. Projeto de Fontes Chaveadas. 2ª Edição Revisada, Florianópolis, 2006.
- [7] ERICKSON, Robert W. Fundamentals of Power Electronics. New York, EUA – Chapman & Hall, 1997.
- [8] POMILIO, J. A. Notas de aula de Eletrônica de Potência – Graduação. São Paulo, SP – UNICAMP, 2013.