

Retificadores Não Controlados Monofásicos

Material Formatado por Anderson Soares

Fonte: “Eletrônica de Potência”

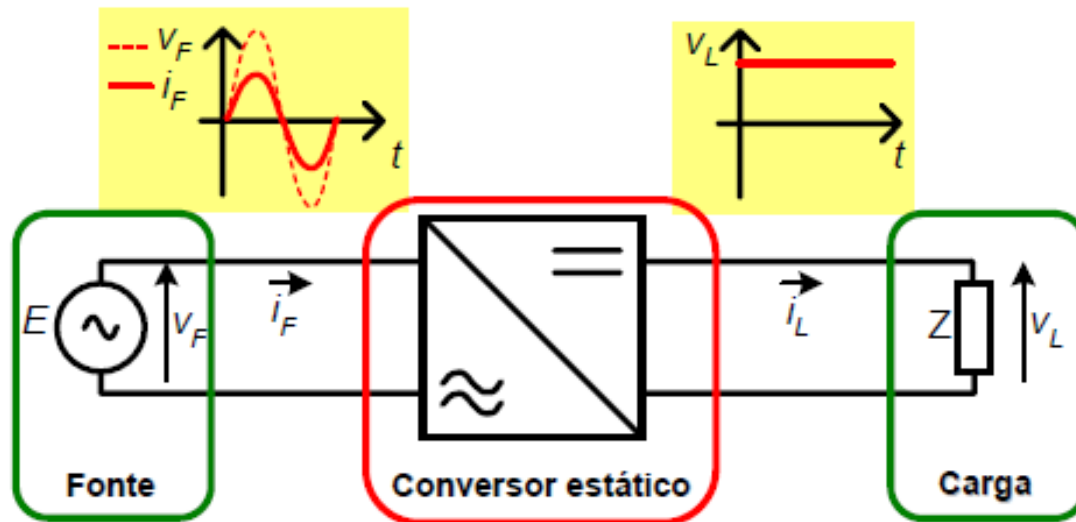
Prof. Dr. Ing Ivo Barbi

Por que usar?

- Os conversores não são ideais, possuem perdas, geram distorções;
- Avaliar comparativamente o desempenho dos conversores;
- Dimensionar os dispositivos do circuito

Exemplo: Conversor ideal

Retificador monofásico:



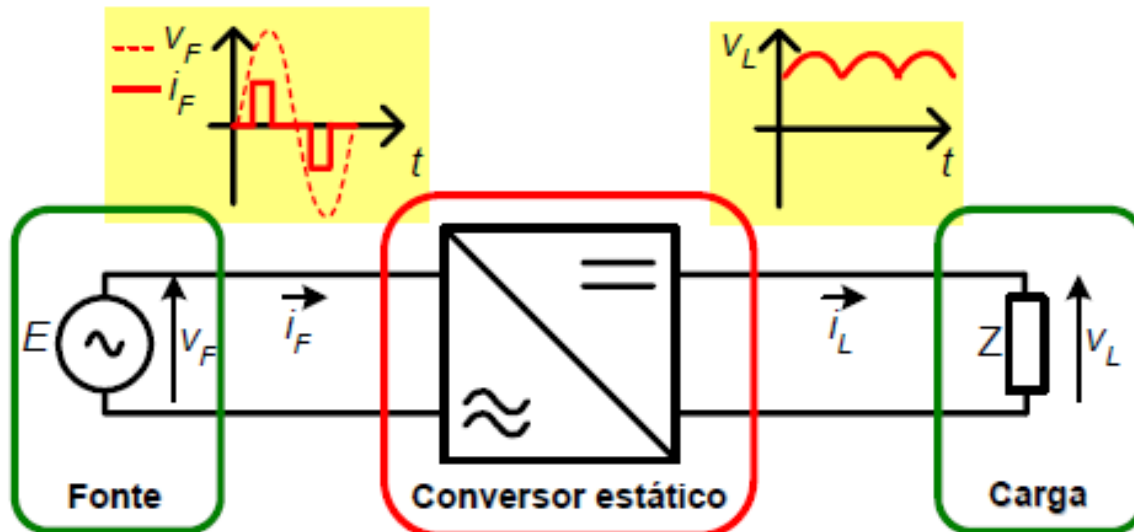
- Corrente drenada senoidal
- Fator de potência unitário

- Perdas nulas
- Valor ilimitado para tensões e correntes

- Ondulação nula na variável de saída (tensão ou corrente)

Exemplo: Conversor real

Retificador monofásico:



- Corrente de entrada distorcida (forma de onda não senoidal)
- Fator de potência não-unitário

- **Perdas**
- **Limitação de tensões e correntes nos componentes**

- Ondulação não-nula na variável de saída (tensão ou corrente)

Como avaliar ou especificar o desempenho de um conversor estático real?

Através da utilização de índices é possível se qualificar quantitativamente o desempenho do conversor com relação à corrente drenada, a variável de saída e perdas.

- Medidas (valor médio, eficaz e potência)
- Índices CA e CC (THD, FP, fator de ondulação)
- Conversão (rendimento, stress nas chaves)

1) Valor médio (nível cc)

Dada uma função periódica $f(t)=f(t+T)$, onde T é o período em que a função se repete, (constante), tem-se que seu valor médio é dado por:

$$f_{med} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) dt$$

Para formas de onda senoidais $\rightarrow f_{med} = 0$

Variáveis com componente CC $\rightarrow f_{med} \neq 0$

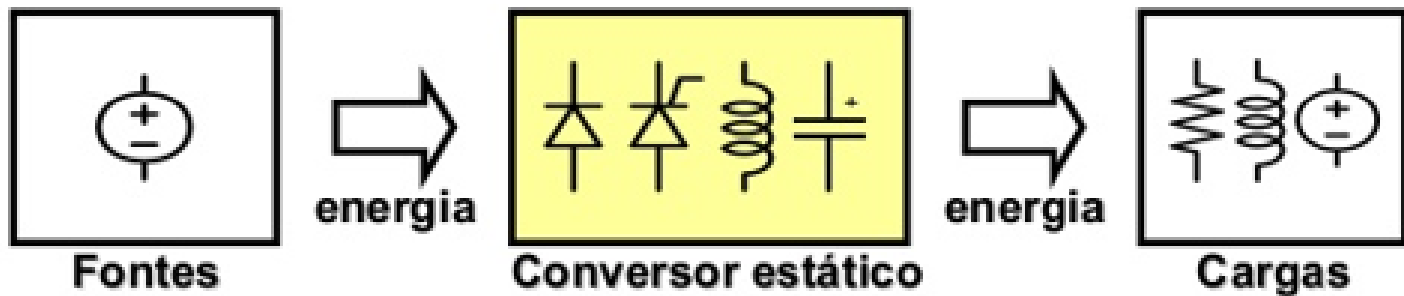
2) Valor eficaz (rms)

Dada uma função periódica $f(t)=f(t+T)$, onde T é o período em que a função se repete, (constante), tem-se que seu valor eficaz é dado por:

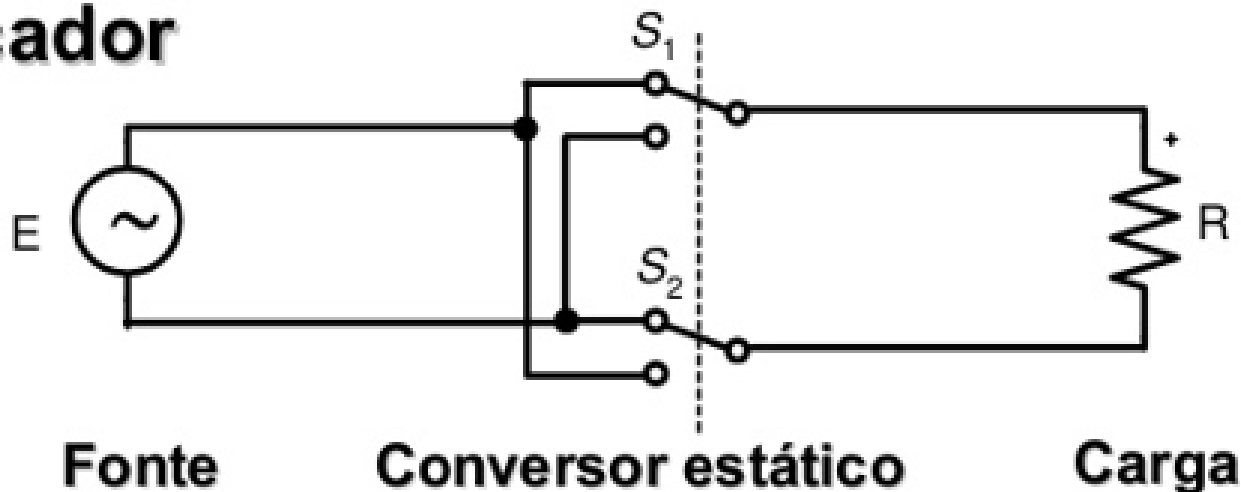
$$f_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} [f(t)]^2 dt}$$

Para formas de onda não-nulas $\rightarrow f_{ef} \neq 0$

Interconexão entre a fonte e a carga intermediada por interruptores

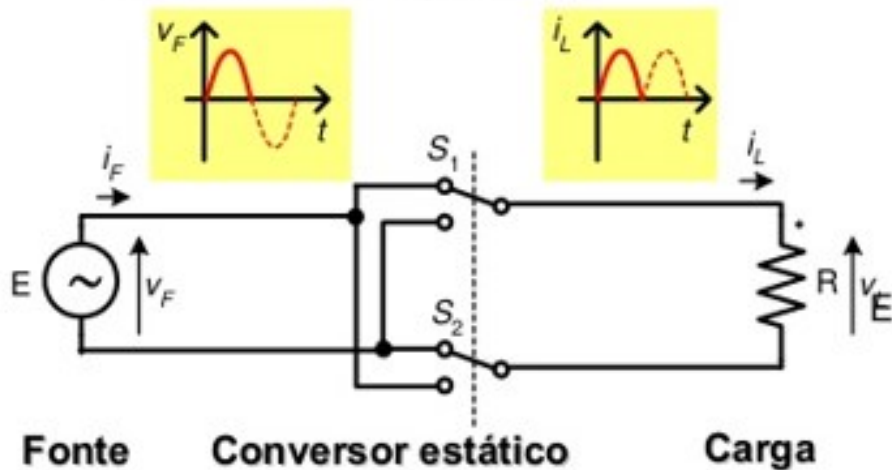


retificador

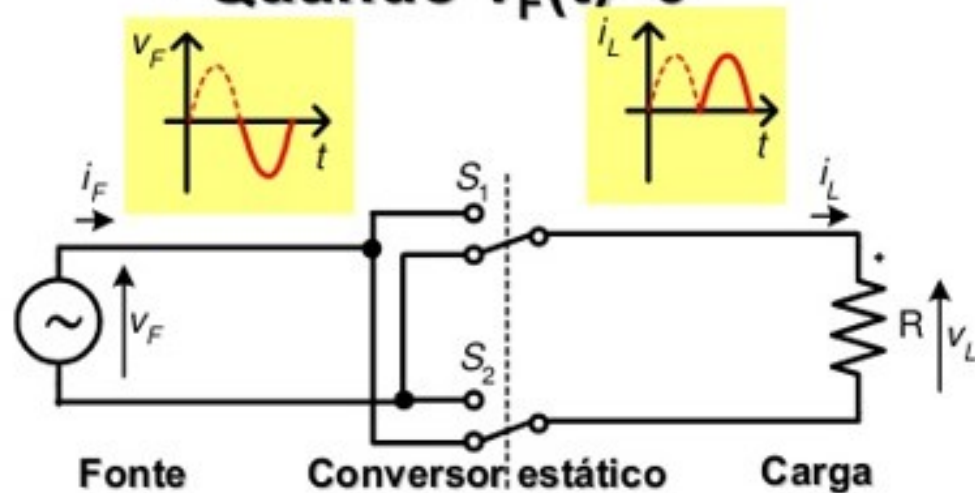


A comutação dos interruptores ocorre de forma cíclica
O controle do fluxo de potência é unidirecional

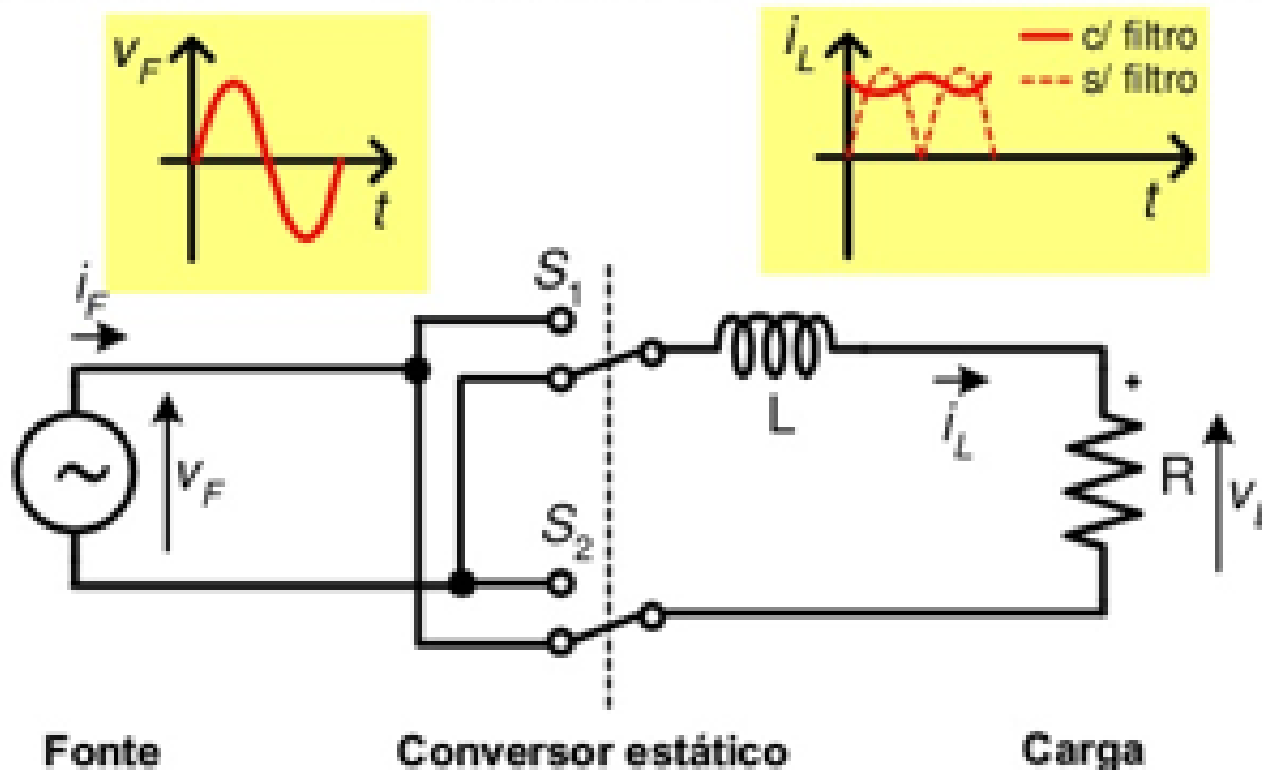
▪ Quando $v_F(t) > 0$



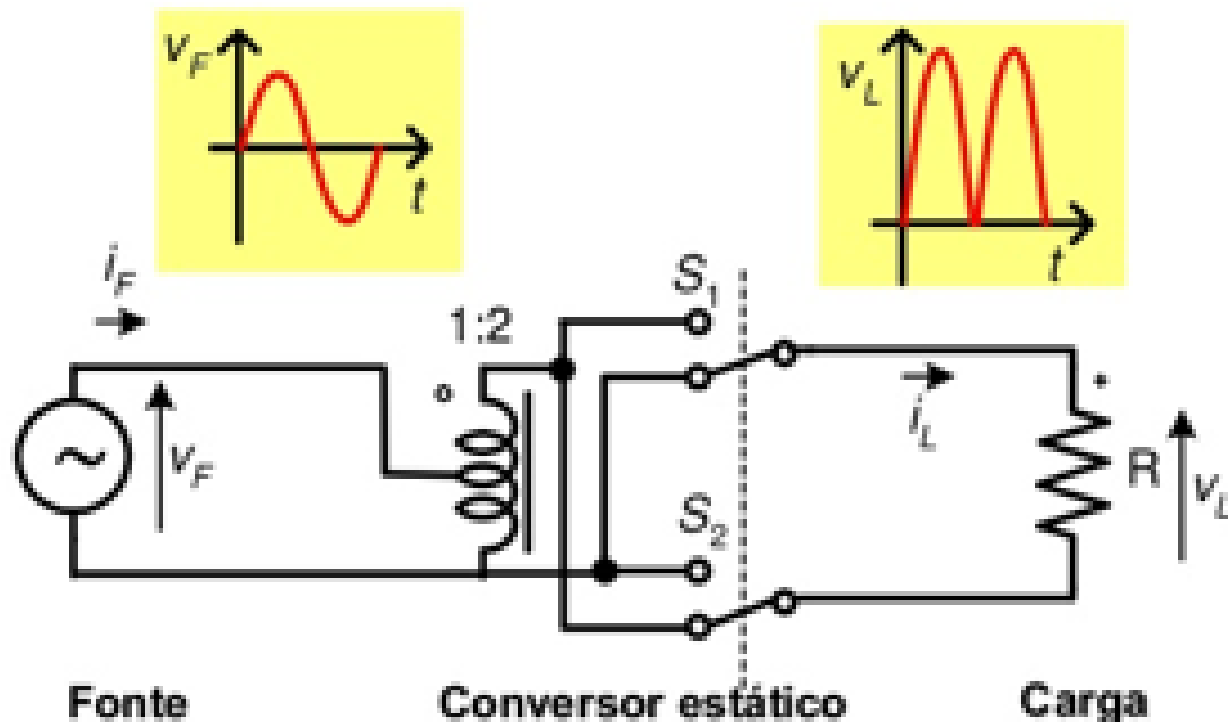
▪ Quando $v_F(t) < 0$



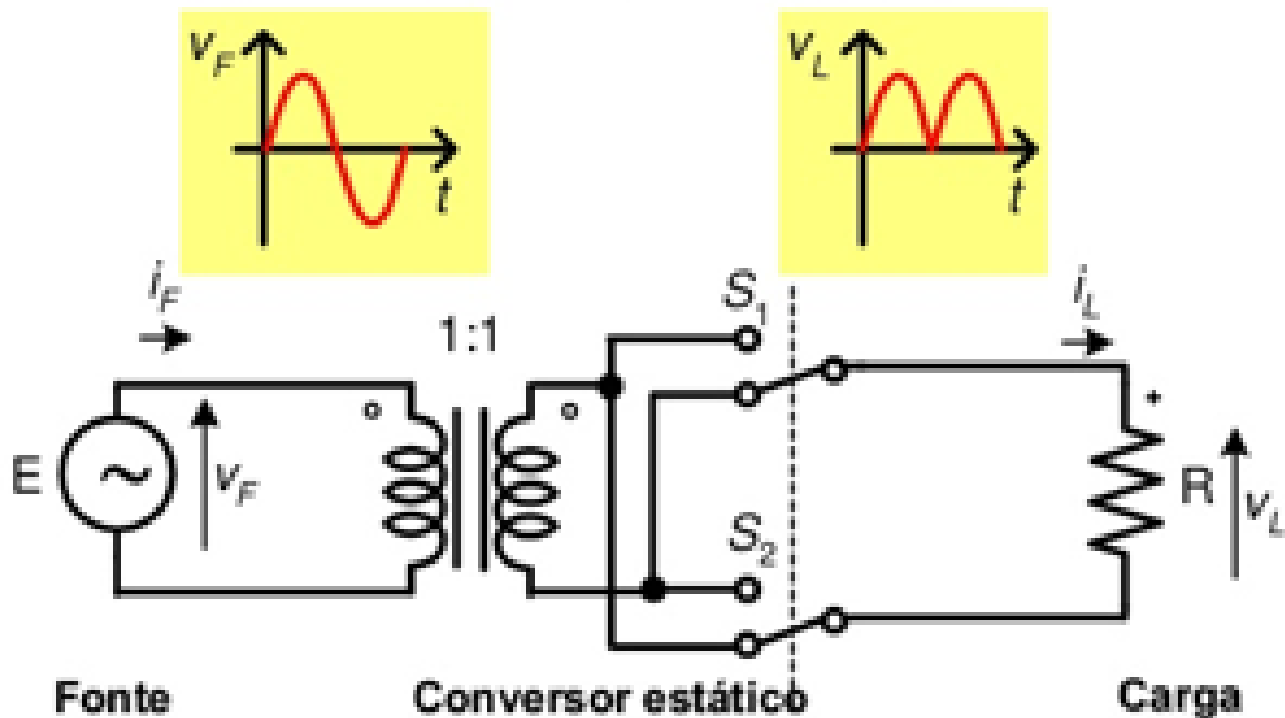
Utilização de elementos reativos operam como dispositivos de filtragem de corrente ou de tensão



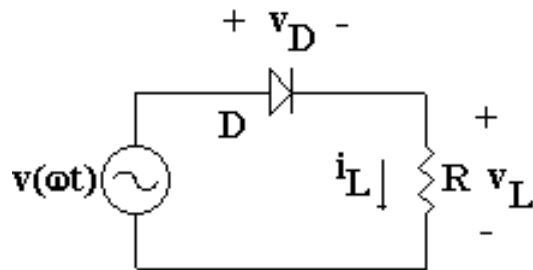
Utilização de elementos de conversão alteram a amplitude da tensão e/ou da corrente



Utilização de elementos de conversão podem ser utilizados para prover isolamento galvânica



Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo



$$v(\omega t) = \sqrt{2} V_o \sin(\omega t)$$

A tensão média na carga

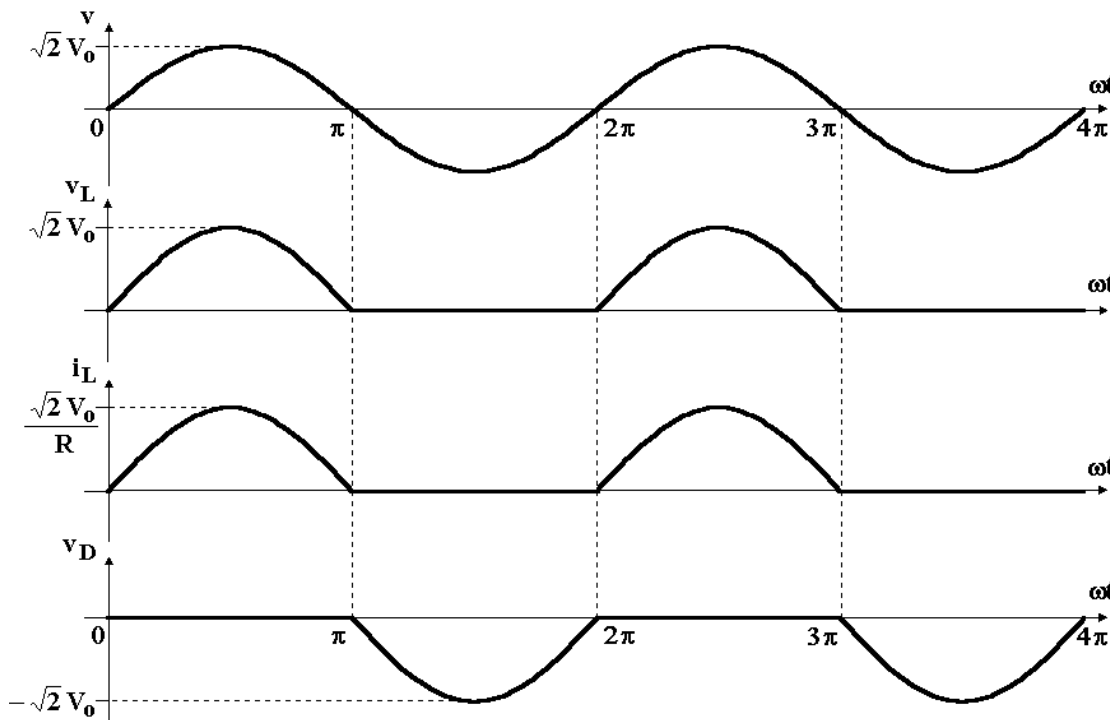
$$V_{Lme1} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} V_o \sin(\omega t) d(\omega t)$$

$$V_{Lme1} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_o \cong 0,45 V_o$$

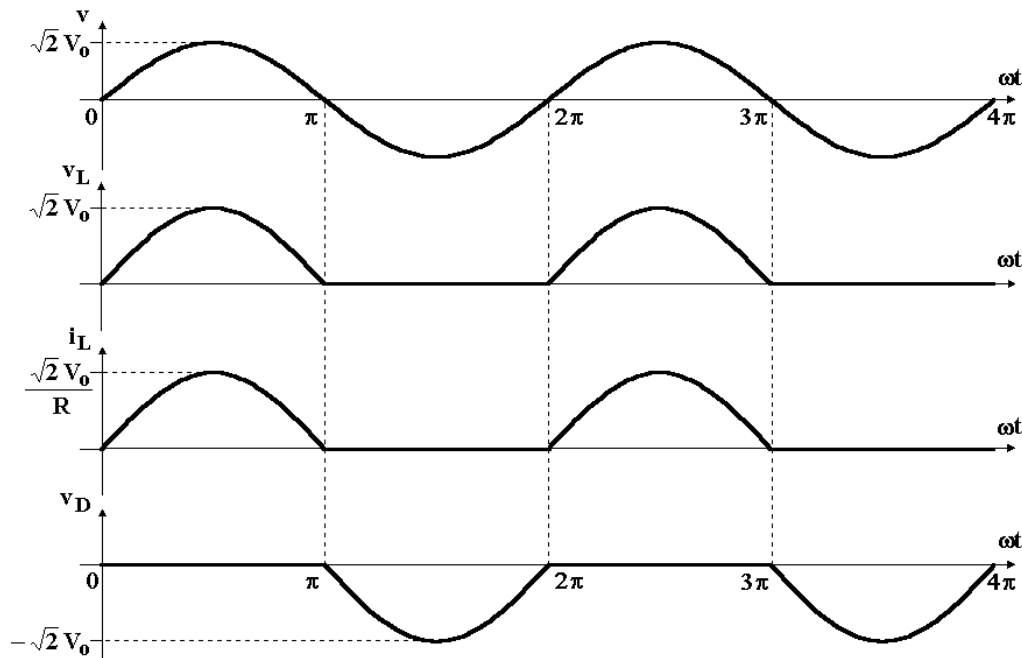
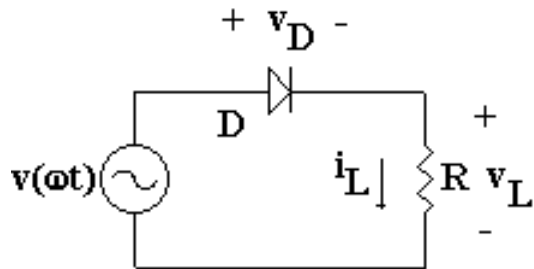
A corrente média na carga

$$I_{Lme1} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \frac{\sqrt{2} V_o}{R} \sin(\omega t) d(\omega t)$$

$$I_{Lme1} = \frac{V_{Lme1}}{R} \cong \frac{0,45 V_o}{R}$$



Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo



A corrente de pico no diodo

$$I_{Dp} = \frac{\sqrt{2} V_o}{R}$$

A tensão de pico inversa no diodo

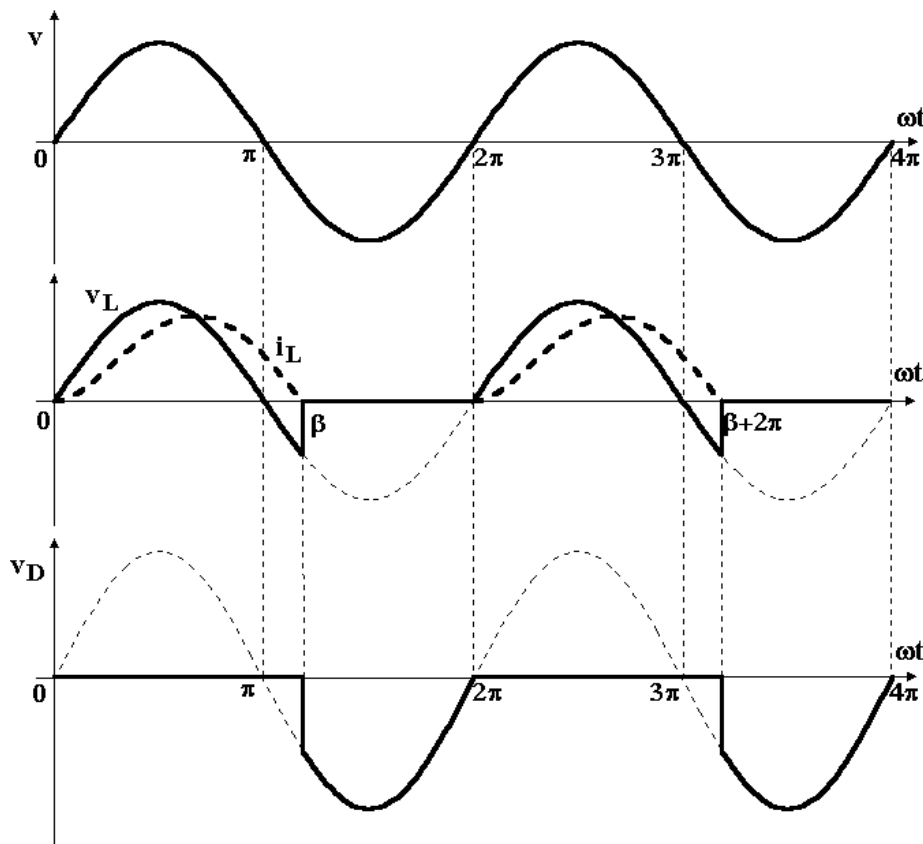
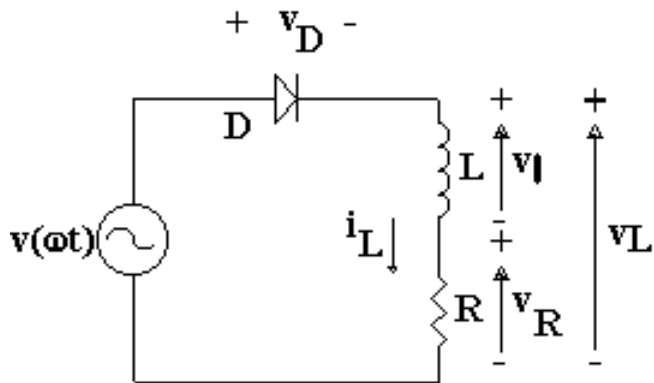
$$V_{Dp} = \sqrt{2} V_o$$

A corrente eficaz na carga

$$I_{Le} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \left(\frac{\sqrt{2} V_o}{R} \right)^2 \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

$$I_{Le} = \frac{V_o}{\sqrt{2} R} \cong 0,707 \frac{V_o}{R}$$

Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo Alimentando carga R-L



A corrente de carga

$$\sqrt{2} V_o \sin(\omega t) = L \frac{di_L(\omega t)}{dt} + R i_L(\omega t)$$



$$i_L(\omega t) = \frac{\sqrt{2} V_o}{\sqrt{R^2 + X^2}} \sin(\omega t - \phi) - I_1(0) e^{-t/\tau}$$

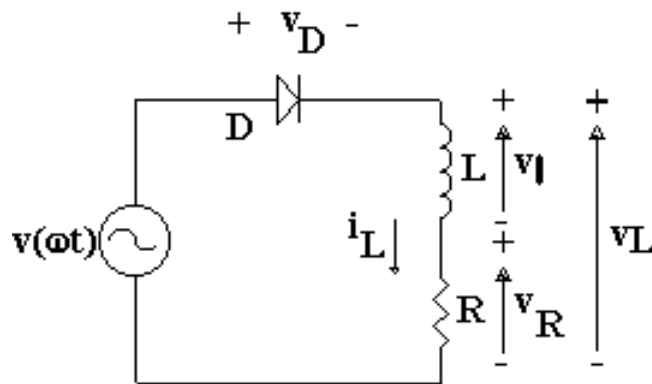
$$\phi = \arctg \frac{X}{R} \quad \therefore X = \omega L \quad \therefore \tau = \frac{L}{R}$$

A corrente da carga é composta de duas componentes distintas

$$i_1(\omega t) = \frac{\sqrt{2} V_o}{\sqrt{R^2 + X^2}} \sin(\omega t - \phi)$$

$$i_2(\omega t) = -I_1(0) e^{-t/\tau}$$

Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo Alimentando carga R-L



A corrente da carga é composta de duas componentes distintas

$$i_L(\omega t) = \frac{\sqrt{2} V_o}{\sqrt{R^2 + X^2}} \sin(\omega t - \phi) - I_1(0) e^{-t/\tau}$$

$$i_1(\omega t) = \frac{\sqrt{2} V_o}{\sqrt{R^2 + X^2}} \sin(\omega t - \phi)$$

$$i_2(\omega t) = -I_1(0) e^{-t/\tau}$$

Para $\omega t = 0$, temos $i_L(\omega t) = 0$

$$I_1(0) = \frac{\sqrt{2} V_o}{\sqrt{R^2 + X^2}} \sin(-\phi)$$

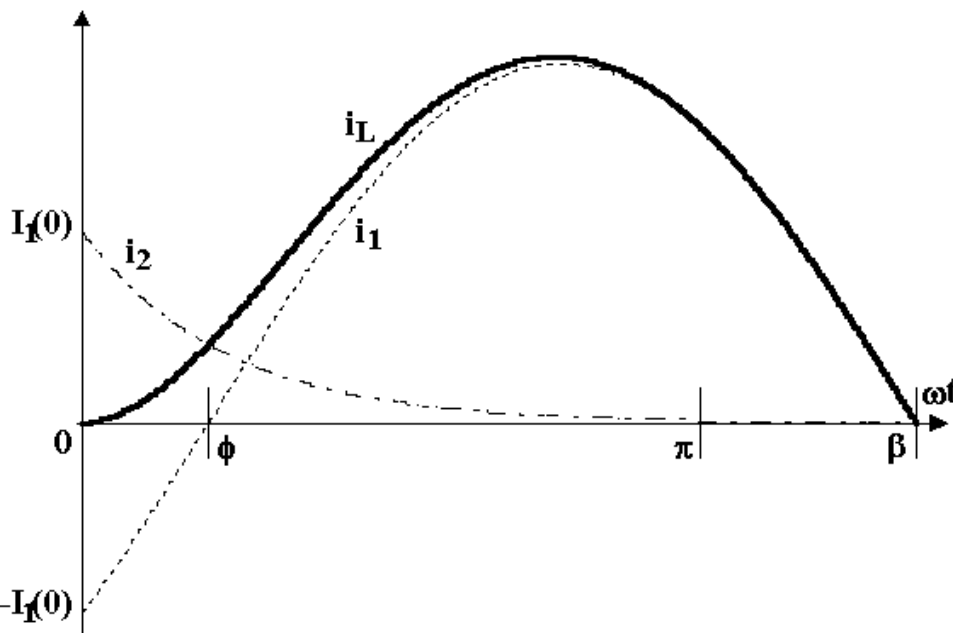
$$i_L(\omega t) = \frac{\sqrt{2} V_o}{\sqrt{R^2 + X^2}} [\sin(\omega t - \phi) - \sin(-\phi) e^{-t/\tau}]$$

Para $\omega t = \beta$, temos $i_L(\omega t) = 0$

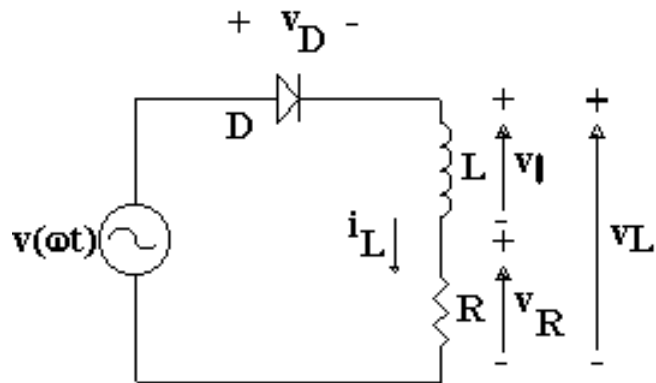
$$\sin(\beta - \phi) + \sin(\phi) e^{-\beta/\omega\tau} = 0$$

$$\omega\tau = \frac{\omega L}{R} = \tan \phi$$

$$\sin(\beta - \phi) + \sin(\phi) e^{-\beta/\tan \phi}$$

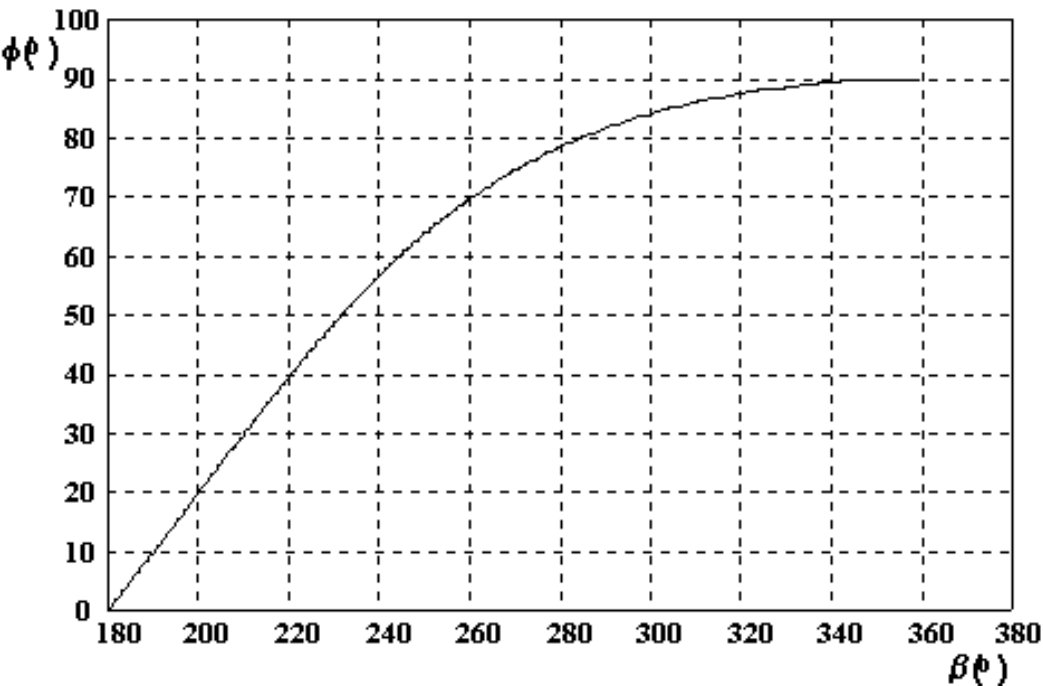


Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo Alimentando carga R-L



$$\sin(\beta - \phi) + \sin(\phi)e^{-\beta/\tan\phi}$$

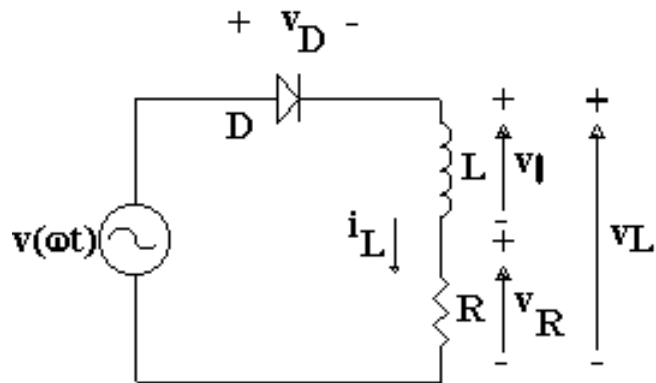
O valor médio da tensão na carga



$$V_{Lme1} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\beta \sqrt{2} V_o \sin(\omega t) d(\omega t)$$

$$V_{Lme1} = \frac{\sqrt{2} V_o}{2\pi} (1 - \cos \beta) \cong 0,225 V_o (1 - \cos \beta)$$

Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo Alimentando carga R-L



$i(\omega t)$ alcança o seu valor máximo



$$di(\omega t)/dt=0$$

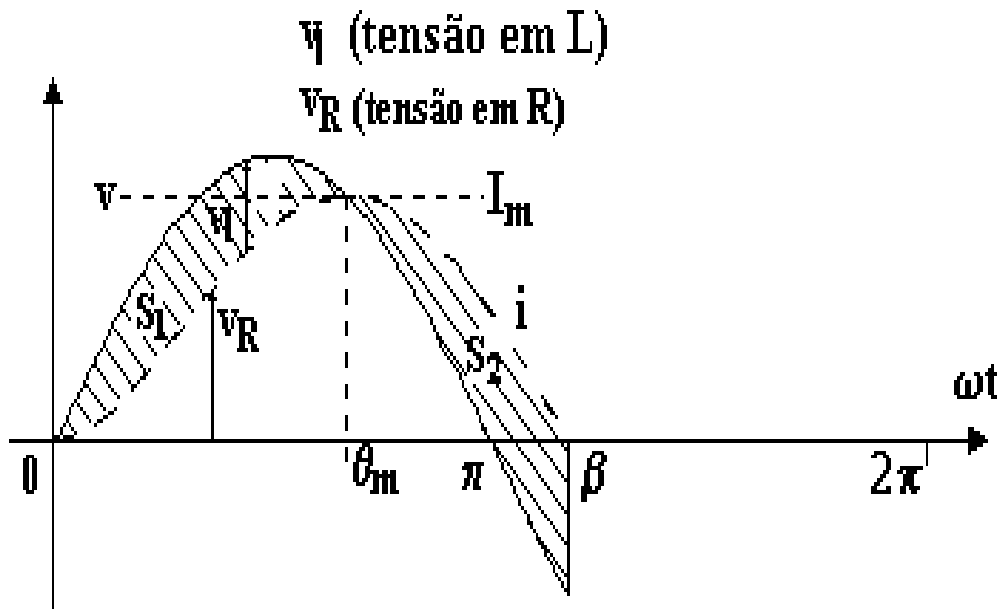
$\omega t = \theta_m$, tem-se: $V_L(\omega t) = 0$ e $V_R(\omega t) = v$



$$V_{med} = \frac{1}{T} \left(\int_0^{t_m} v_L(t) dt + \int_{t_m}^{t_b} v_L(t) dt \right)$$



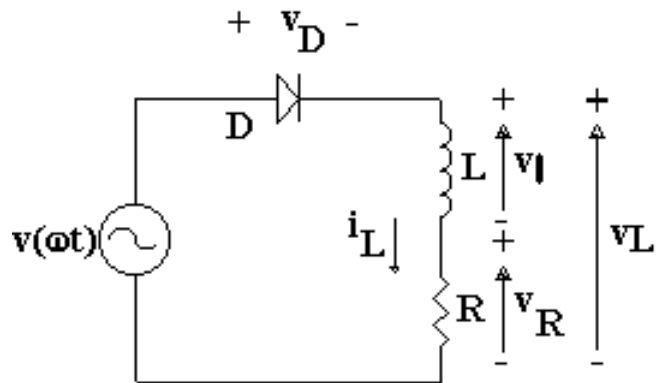
$$V_L(t) \cdot dt = L \cdot di$$



$$V_{med} = \frac{1}{T} \left(\int_0^{I_m} L di + \int_{I_m}^0 L di \right) = \frac{1}{T} (L I_m - L I_m) = 0$$

$$V_{med} = 0$$

Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo Alimentando carga R-L



$$V_{Lmed} = V_{Imed} + V_{Rmed}$$

$$V_{Imed} = 0$$

$$V_{Lmed} = V_{Rmed}$$



$$V_{Lmed} = V_{rmed} \approx 0.225V_0(1 - \cos\beta)$$

A corrente média na carga (ou no diodo) é obtida pelas expressões

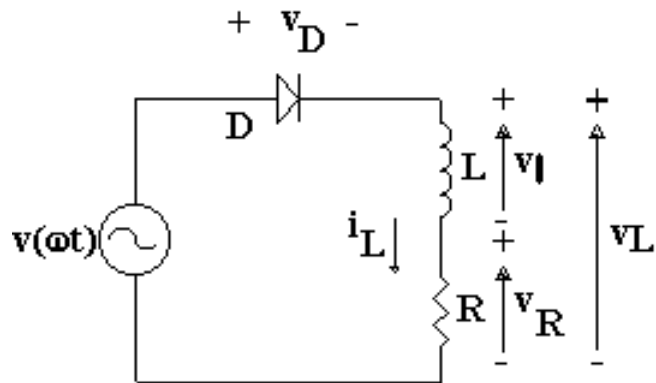


$$I_{Lmed} \cong \frac{0,225 V_0}{R} (1 - \cos \beta)$$



$$I_{Lmed} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\beta} \frac{\sqrt{2} V_0}{Z} \left[\sin(\omega t - \phi) + \sin(\phi) e^{-t/\tau} \right] d(\omega t)$$

Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo Alimentando carga R-L



De modo análogo, pode-se estabelecer o valor eficaz da corrente de carga

$$I_{Le} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\beta} \left\{ \frac{\sqrt{2} V_0}{Z} [\sin(\omega t - \phi) + \sin(\phi) e^{-t/\tau}] \right\}^2 d(\omega t)}$$

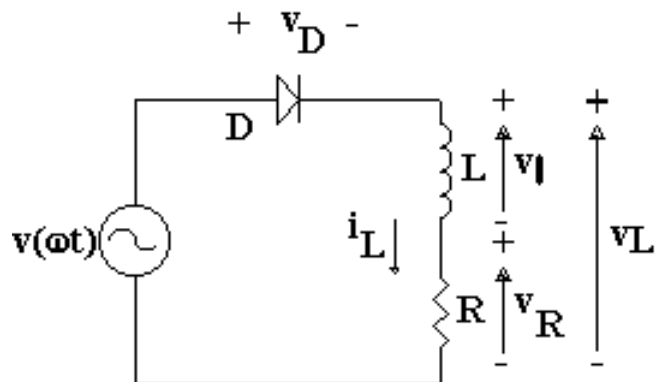
Normalizando-se as correntes média e eficaz na carga

$$I_{EFN} = \frac{Z I_{Lef}}{\sqrt{2} V_0}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

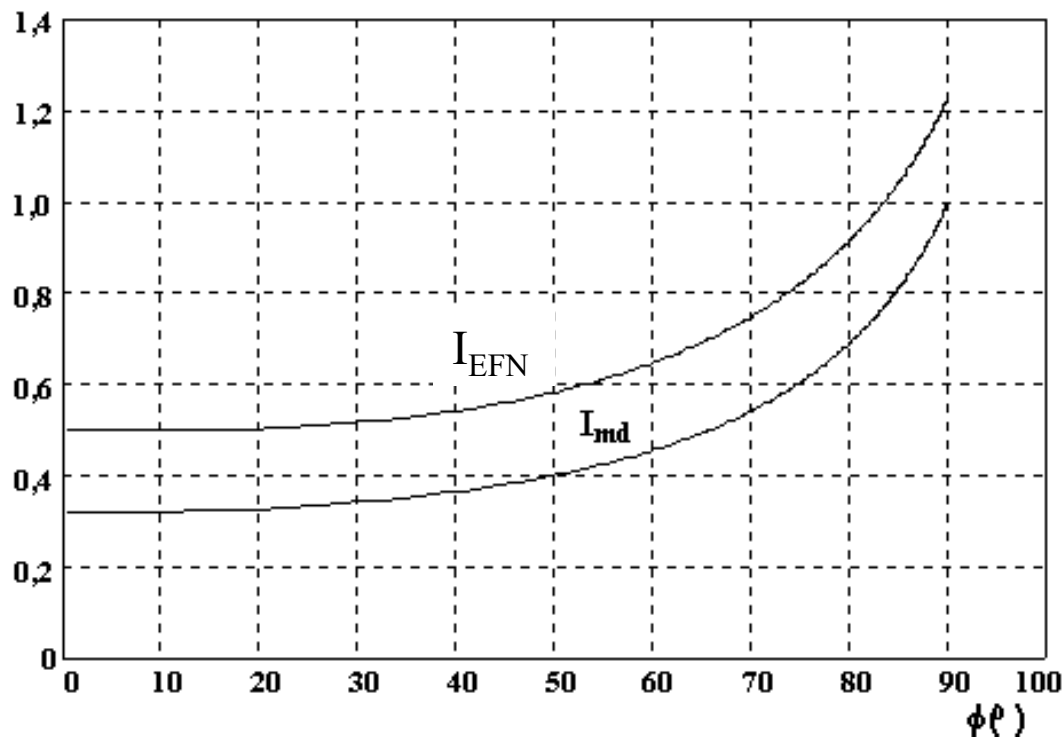
$$I_{EFN} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\beta} [\sin(\omega t - \phi) + \sin(\phi) e^{\frac{-t}{\sigma}}]^2 d(\omega t)}$$

Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo Alimentando carga R-L

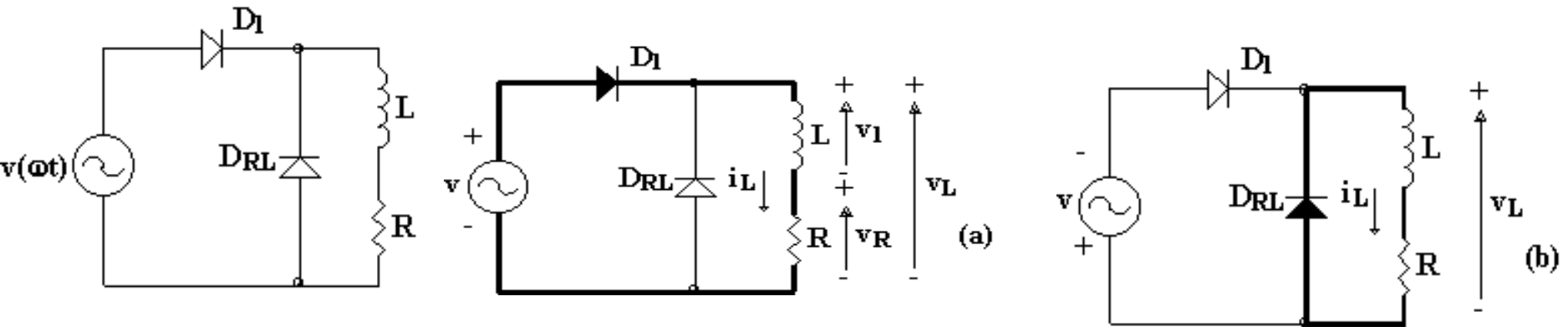


$$I_{md} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\beta} [\sin(\omega t - \phi) + \sin(\phi) e^{-t/\tau}] d(\omega t)$$

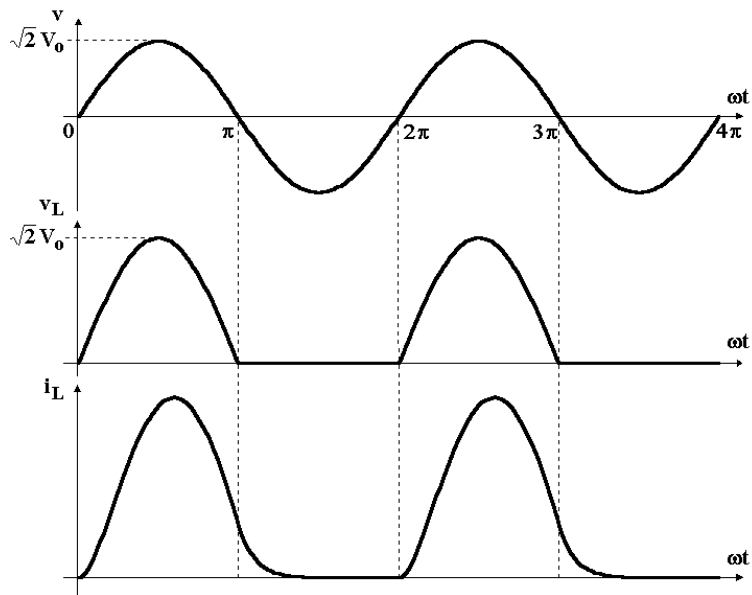
$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\beta} [\sin(\omega t - \phi) + \sin(\phi) e^{-t/\tau}]^2 d(\omega t)}$$



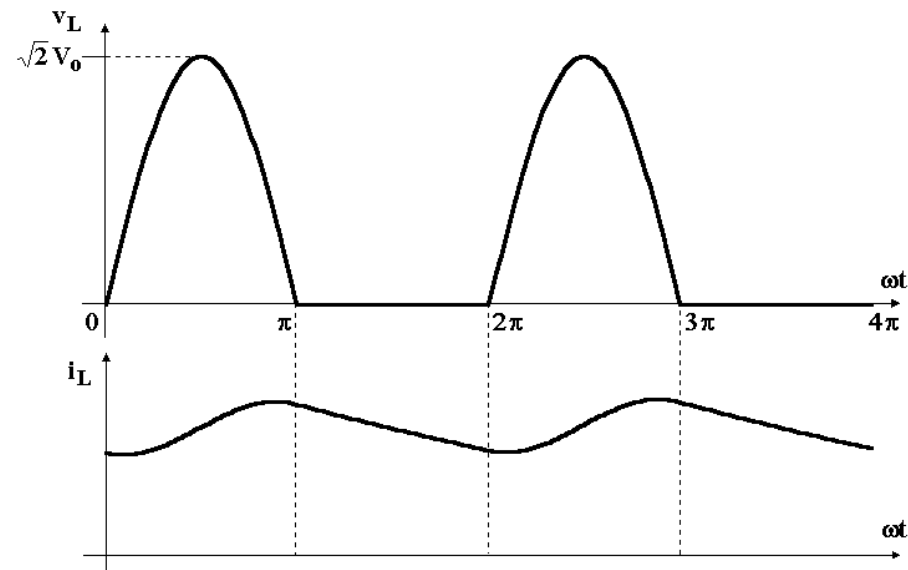
Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo Alimentando carga R-L com diodo de Roda-Livre



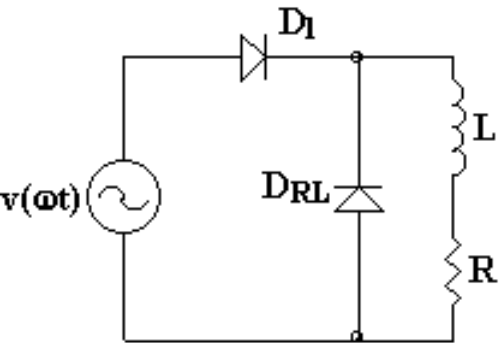
Descontínua



Contínua



Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo Alimentando carga R-L com diodo de Roda-Livre



Decompondo-se $v_L(\omega t)$, em uma série de Fourier

$$v_L(\omega t) = \frac{\sqrt{2} V_o}{\pi} + \frac{\sqrt{2} V_o}{2} \text{sen}(\omega t) - \frac{2\sqrt{2} V_o}{\pi} \left[\frac{\cos(2\omega t)}{1 \cdot 3} + \frac{\cos(4\omega t)}{3 \cdot 5} + \frac{\cos(6\omega t)}{5 \cdot 7} + \dots \right]$$

tensão e a corrente média de carga serão

$$V_{Lmed} = 0,45 V_o$$

$$I_{Lmed} = \frac{0,45 V_o}{R}$$

$$i(\omega t) = I_{Lmed} + i_1(\omega t) + i_2(\omega t) + i_4(\omega t) + i_6(\omega t) + \dots + i_n(\omega t) + \dots$$

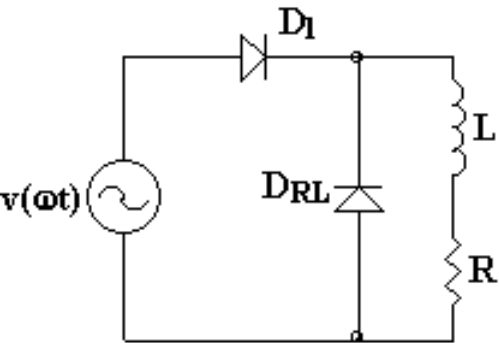
$$i_1(\omega t) = \frac{\sqrt{2} V_o}{2 \cdot Z_1} \text{sen}(\omega t - \phi_1)$$

$$i_2(\omega t) = \frac{-2\sqrt{2} V_o}{\pi \cdot 1 \cdot 3 \cdot Z_2} \cos(2\omega t - \phi_2)$$

$$i_4(\omega t) = \frac{-2\sqrt{2} V_o}{\pi \cdot 3 \cdot 5 \cdot Z_4} \cos(4\omega t - \phi_4)$$

$$i_n(\omega t) = \frac{-2\sqrt{2} V_o}{\pi \cdot (n-1) \cdot (n+1) \cdot Z_n} \cos(n\omega t - \phi_n)$$

Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo Alimentando carga R-L com diodo de Roda-Livre



$$Z_n = \sqrt{R^2 + n^2 \omega^2 L^2}$$

$$\phi_n = \operatorname{tg}^{-1} \frac{n \omega L}{R}$$

O valor eficaz da corrente de carga é dado pela expressão.

$$I_{Lef} = (I_{Lmed}^2 + I_{L1}^2 + I_{L2}^2 + I_{L4}^2 + I_{L6}^2 + \dots + I_{Ln}^2 + \dots)^{1/2}$$

$$I_{L1} = \frac{V_o}{2Z_1}$$

$$I_{L2} = \frac{2V_o}{3\pi Z_2}$$

$$I_{L4} = \frac{2V_o}{15\pi Z_4}$$

$$I_{Ln} = \frac{2V_o}{(n-1)(n+1)\pi Z_n}$$

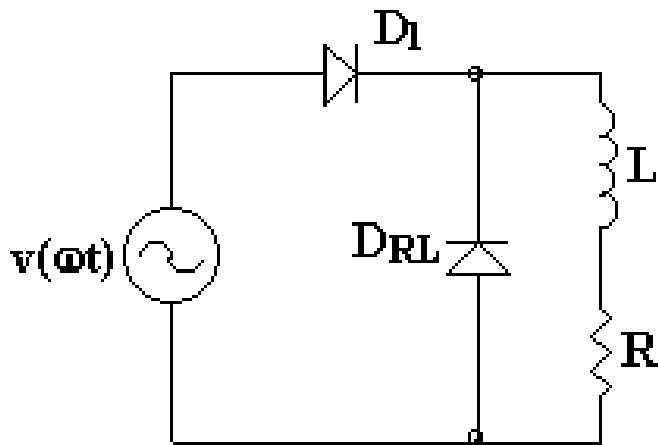
Onde $n \neq 1$

Exemplo 1

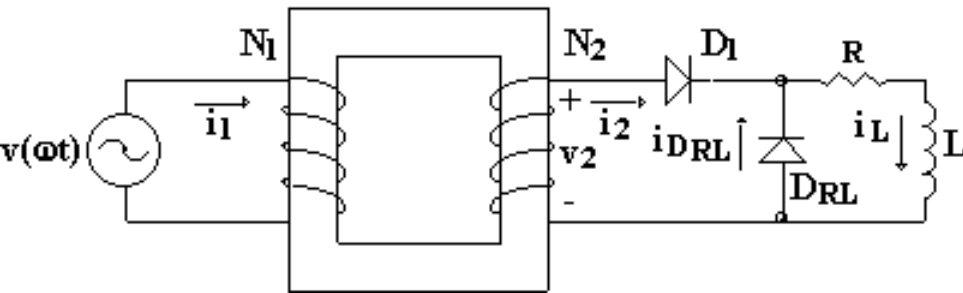
Segue o circuito representado abaixo, onde $V_o = 220V$, $R = 100 \text{ ohm}$,
 $L = 500\text{mH}$ e $f = 60\text{Hz}$.

Determine:

- represente a tensão e corrente aplicada a carga,
- determine a tensão e corrente média aplicada a carga,
- verificar se a condução é contínua ou descontínua, através da obtenção do ângulo de extinção,
- a corrente eficaz na carga, utilize até a 2º harmônica,
- A tensão reversa máxima aplica no diodo D1 e Drl.



Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo Alimentando por Transformador



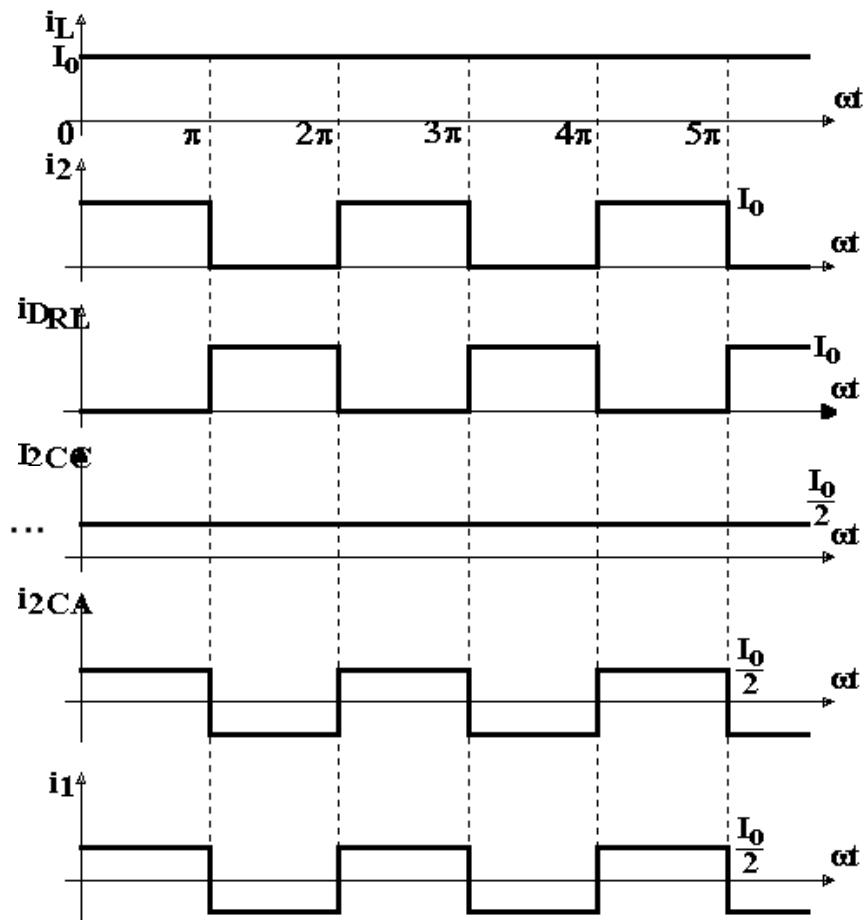
Decompondo-se a corrente secundária $i_2(\omega t)$ em Série de Fourier

$$i_2(\omega t) = \frac{I_o}{2} + \frac{2I_o}{\pi} \cos(\omega t) + \frac{2I_o}{3\pi} \cos(3\omega t) + \frac{2I_o}{5\pi} \cos(5\omega t) + \dots$$

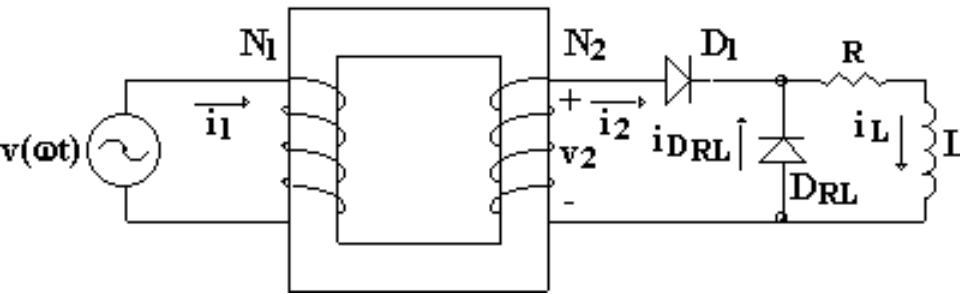
$$I_{2cc} = \frac{I_o}{2}$$



$$i_{2CA}(\omega t) = \frac{2I_o}{\pi} \cos(\omega t) + \frac{2I_o}{3\pi} \cos(3\omega t) + \frac{2I_o}{5\pi} \cos(5\omega t) + \dots$$



Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo Alimentando por Transformador



$$i_2(\omega t) = I_{2cc} + i_{2ca}(\omega t)$$

$$N_1 \cdot i_1(\omega t) = N_2 \cdot i_{2ca}(\omega t)$$

Potência de carga definida $\Rightarrow P_L = V_{Lmed} \cdot I_0$

$$V_{Lmed} = 0,45 \cdot V_2$$

A potência primária aparente do transformador $\Rightarrow S_1 = V_1 \cdot I_{1ef}$

o valor eficaz da corrente do primário $I_{1ef} = \frac{I_0}{2}$ Logo $S_1 = \frac{V_1 I_0}{2}$

Se $N_1 = N_2$ $V_1 = V_2 = \frac{V_{Lmed}}{0,45} \Rightarrow S_1 = 1,11 \cdot V_{Lmed} \cdot I_0 \Rightarrow S_1 = 1,11 \cdot P_L$

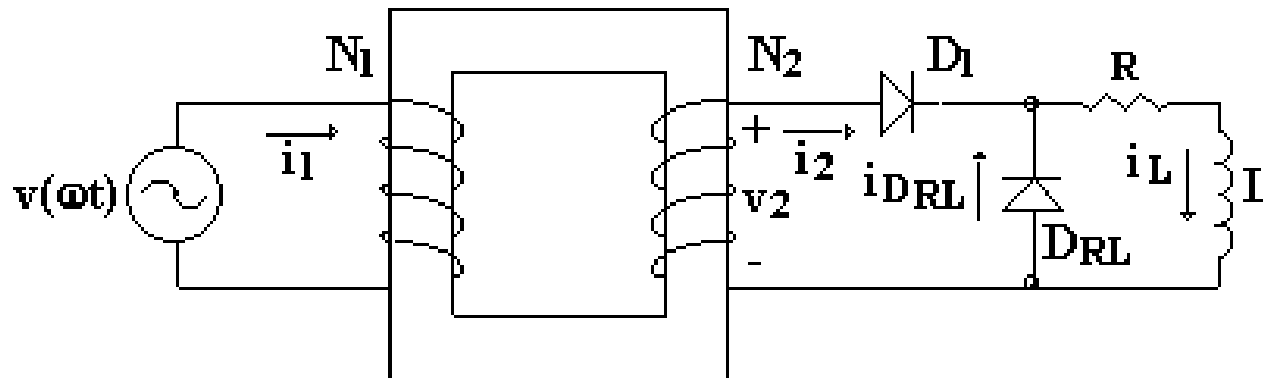
$I_{2ef} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \Rightarrow S_2 = 1,57 \cdot P_L$

Baixa utilização do Transformador !!!!

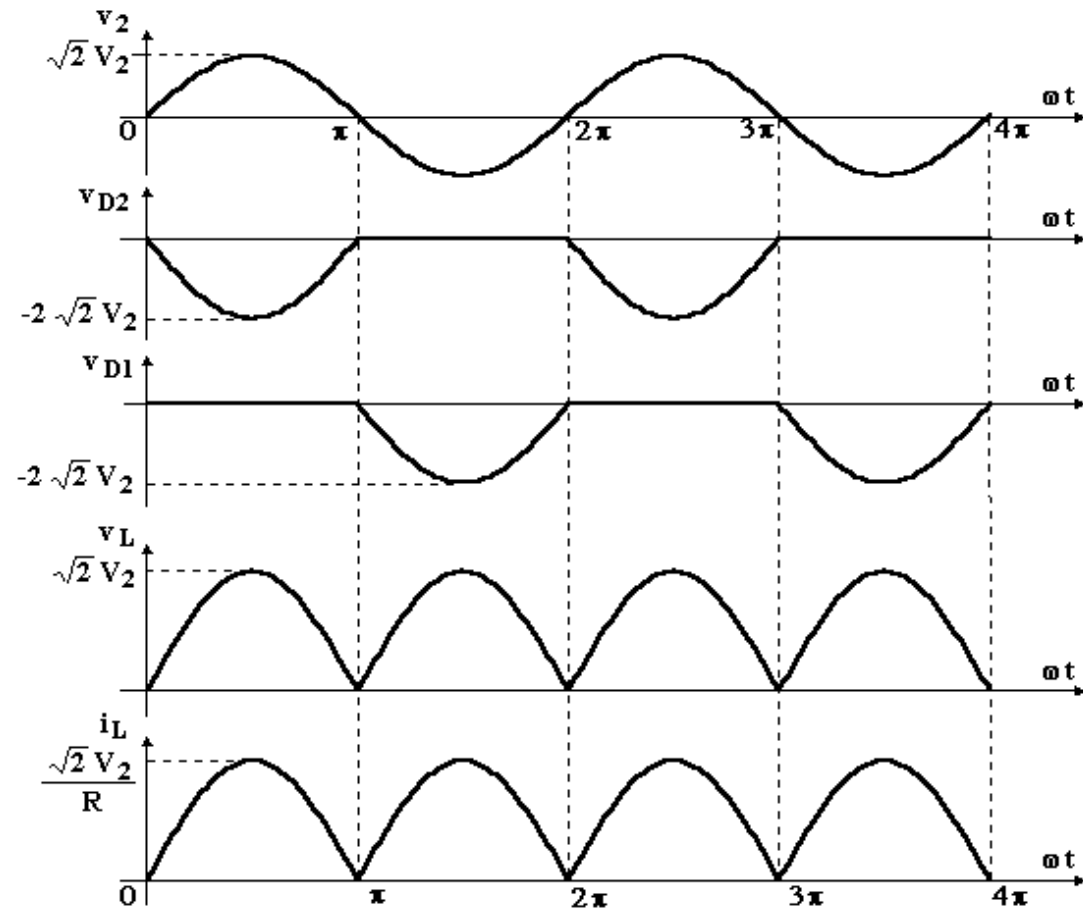
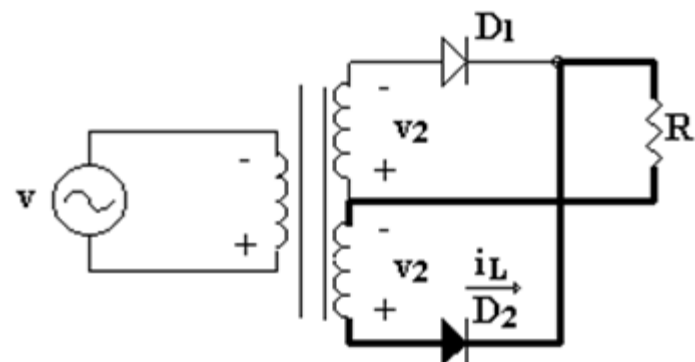
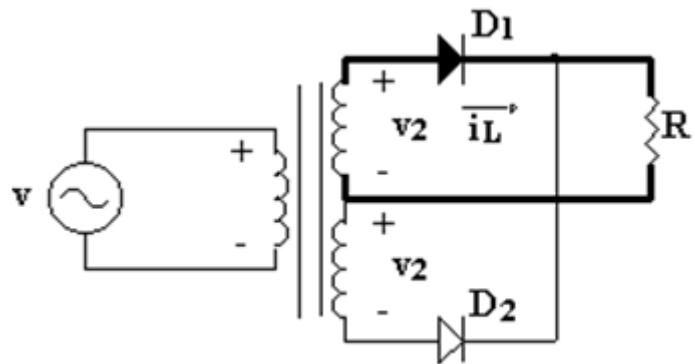
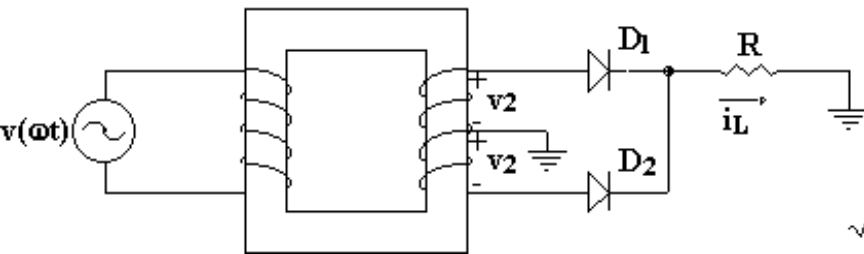
Exemplo 1

Segue o circuito representado abaixo, onde $V_o = 120V$, $N_2/N_1 = 0,7$, $R = 50$ ohm, L muito grande e $f = 60Hz$. Determine:

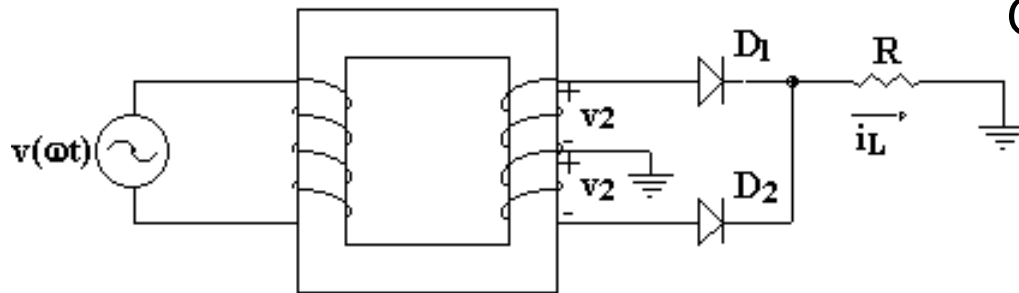
- As formas de ondas da tensão de entrada e corrente de entrada
- As formas de ondas da tensão do secundário e corrente do secundário
- As formas de ondas da tensão e corrente na carga
- As especificações do diodo D_1 e D_{RL}
- O valor da tensão e corrente média na carga
- As correntes eficazes nos enrolamentos do transformador; e
- A potência aparente no primário e secundário do transformador.



Retificador Monofásico de Onda Completa com Ponto Médio



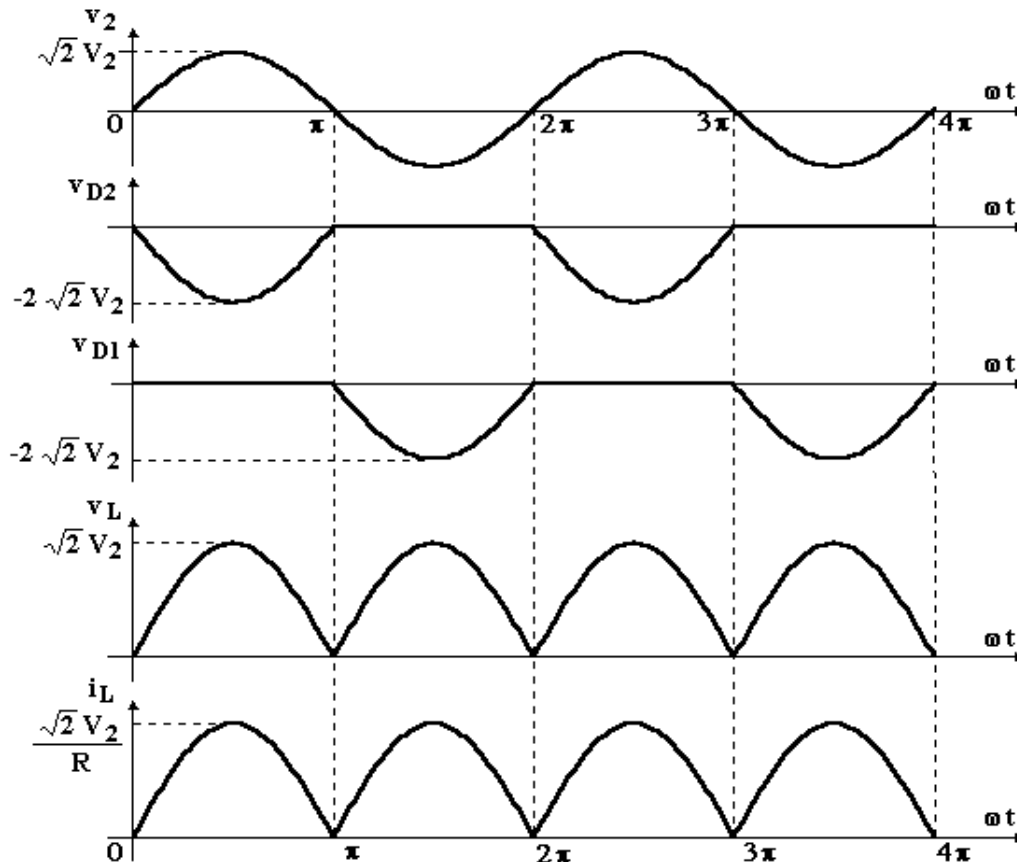
Retificador Monofásico de Onda Completa com Ponto Médio



O valor médio da tensão na carga

$$V_{Lmed} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} V_2 \sin(\omega t) d(\omega t)$$

$$V_{Lmed} = 0,9 \cdot V_2$$



A corrente média na carga

$$I_{Lmed} = \frac{0,9 V_2}{R}$$

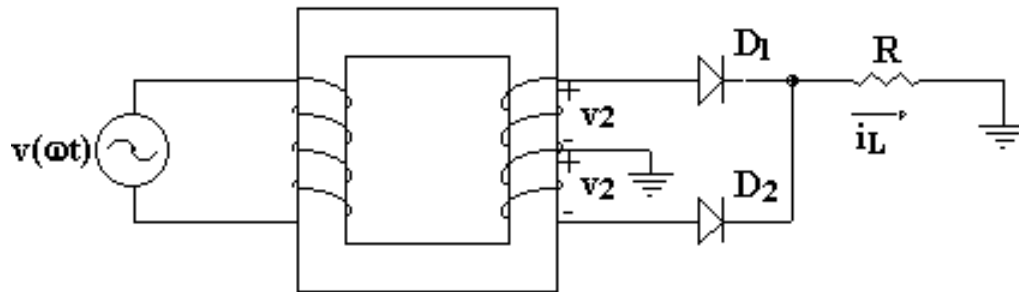
A corrente de pico na carga

$$I_p = \frac{\sqrt{2} V_2}{R}$$

O valor de pico da tensão inversa nos diodos é

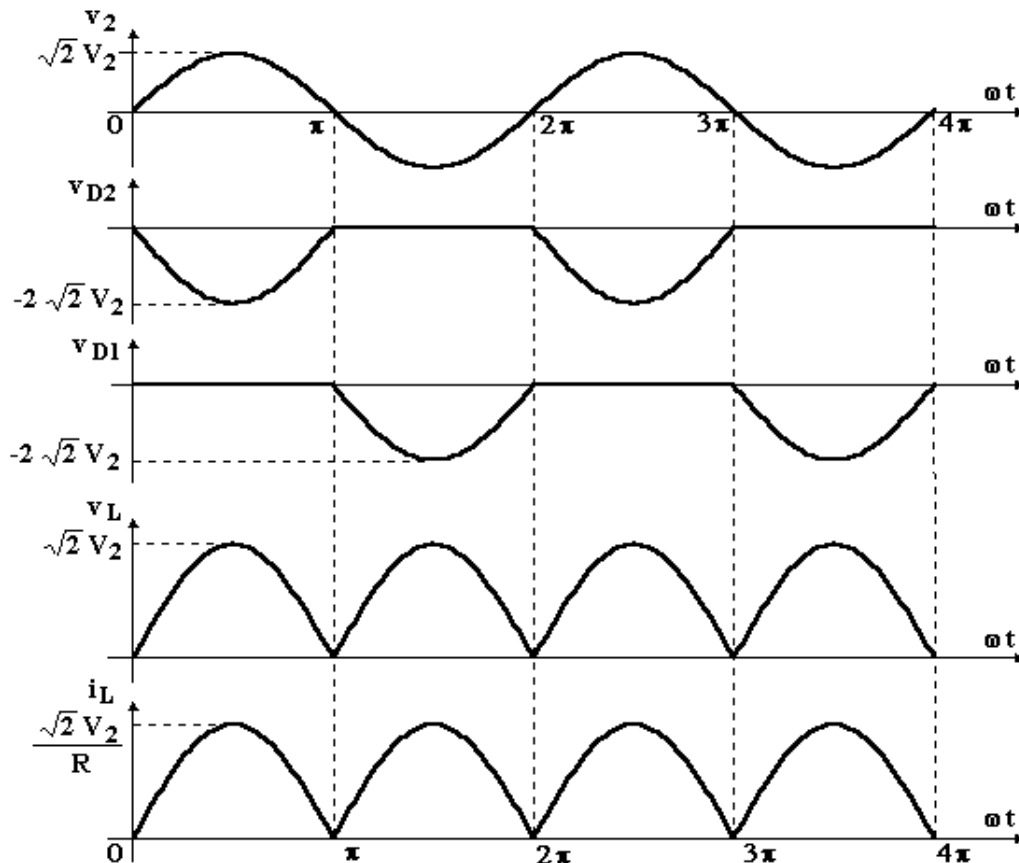
$$V_{Dp} = 2\sqrt{2} V_2$$

Retificador Monofásico de Onda Completa com Ponto Médio



O valor médio da corrente em um diodo

$$I_{Dmed} = \frac{0,9 V_2}{2R}$$



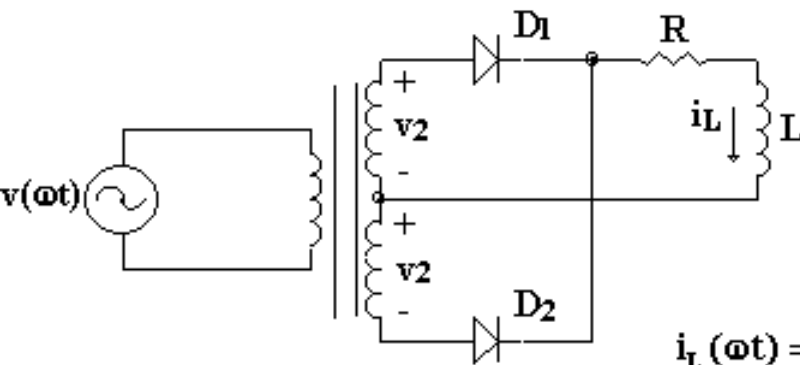
O valor eficaz da corrente de carga

$$I_{Le} = \frac{V_2}{R}$$

O valor eficaz da corrente em um diodo

$$I_{De} = \frac{V_2}{\sqrt{2}R}$$

Retificador Monofásico de Onda Completa com Ponto Médio Carga RL



$$v_L(\omega t) = \sqrt{2} V_2 \left[\frac{2}{\pi} - \frac{4}{3\pi} \cos(2\omega t) - \frac{4}{15\pi} \cos(4\omega t) - \dots \right]$$

$$i_L(\omega t) = \sqrt{2} V_2 \left[\frac{2}{\pi R} - \frac{4}{3\pi Z_2} \cos(2\omega t - \phi_2) - \frac{4}{15\pi Z_4} \cos(4\omega t - \phi_4) - \dots \right]$$

$$Z_n = \sqrt{R^2 + n^2 \omega^2 L^2}$$

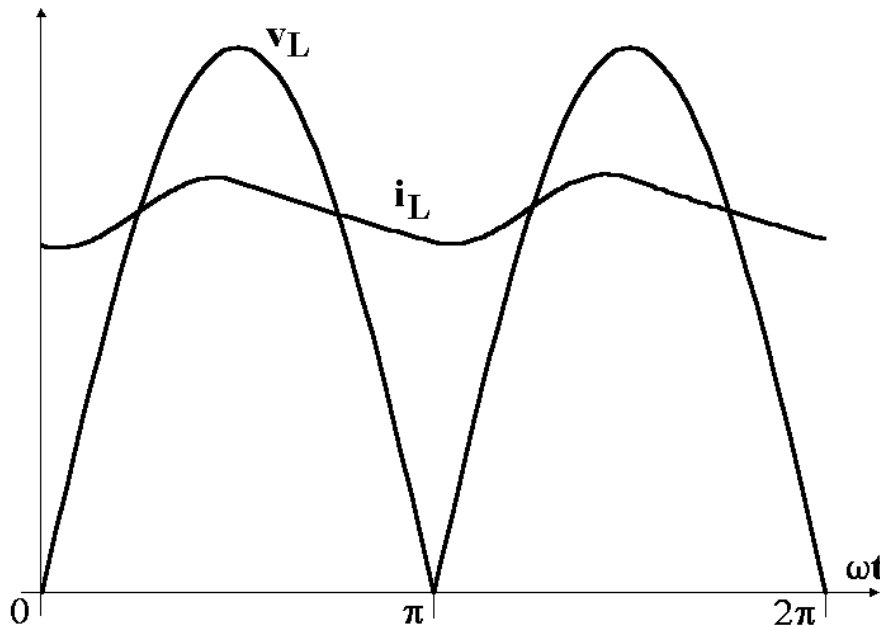
$$\phi_n = \text{tg}^{-1} \frac{n \omega L}{R}$$

Se o Indutor for muito grande

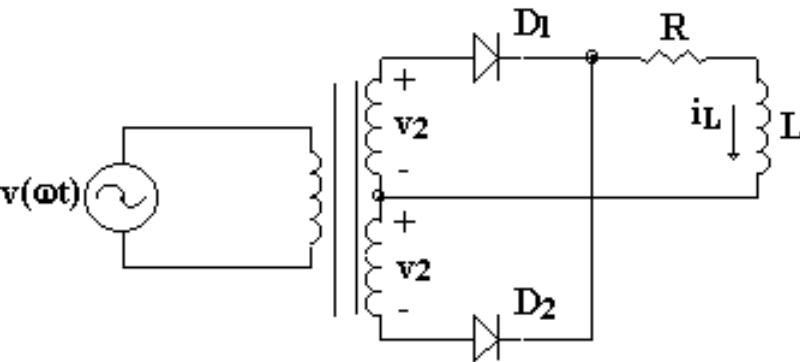
$$I_{L_{med}} = \frac{2\sqrt{2} V_2}{\pi R} = \frac{0,9 V_2}{R}$$

O valor eficaz da corrente na carga

$$I_{L_{ef}} = \sqrt{\left(\frac{8 V_2^2}{\pi^2 R^2} + \frac{16 V_2^2}{9\pi^2 Z_2^2} \right)}$$



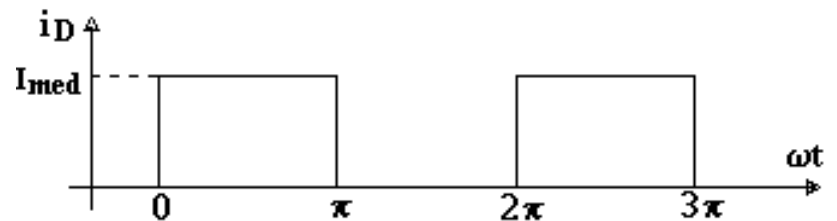
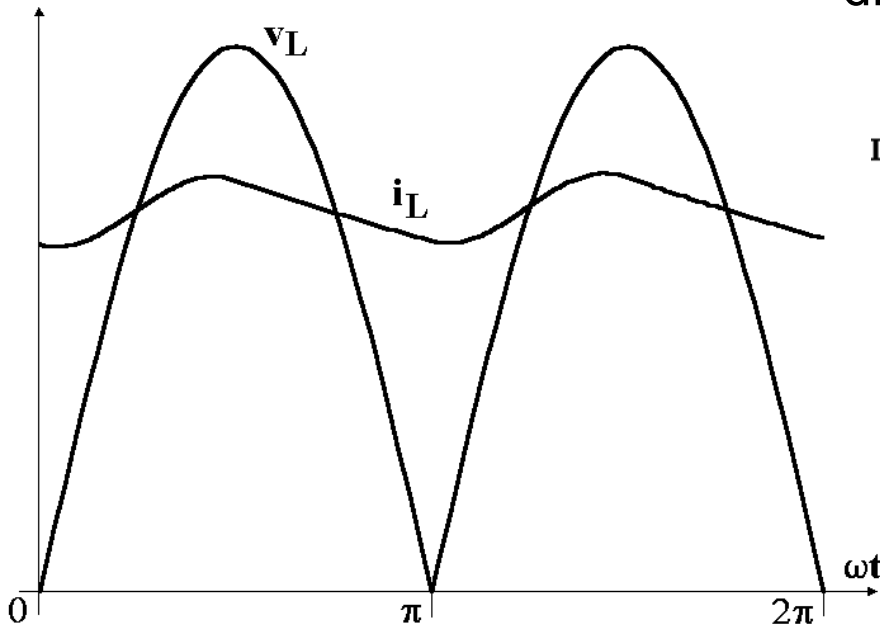
Retificador Monofásico de Onda Completa com Ponto Médio Carga RL



O valor médio da corrente num diodo

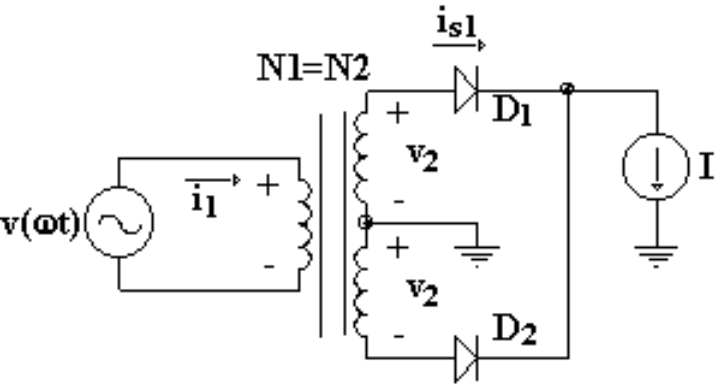
$$I_{Dmed} = \frac{0,45 V_2}{R}$$

O valor eficaz da corrente em cada diodo



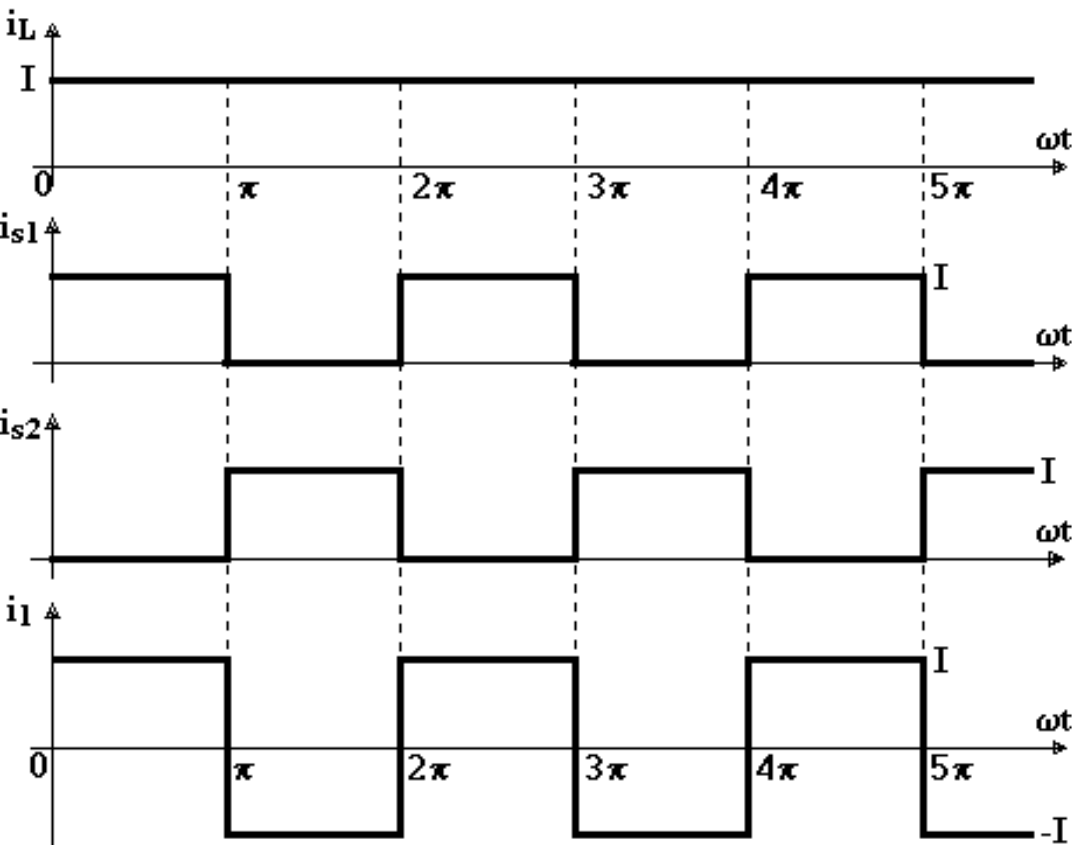
$$I_{Def} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (I_{Lmed})^2 d(\omega t)} = \frac{I_{Lmed}}{\sqrt{2}} \cong 0,707 I_{Lmed}$$

Retificador Monofásico de Onda Completa com Ponto Médio Estudo do Transformador



O valor da corrente eficaz de um enrolamento secundário

$$I_{s1ef} = I_{s2ef} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I^2 d(\omega t)}$$



$$I_{s1ef} = I_{s2ef} = 0,707 \cdot I$$

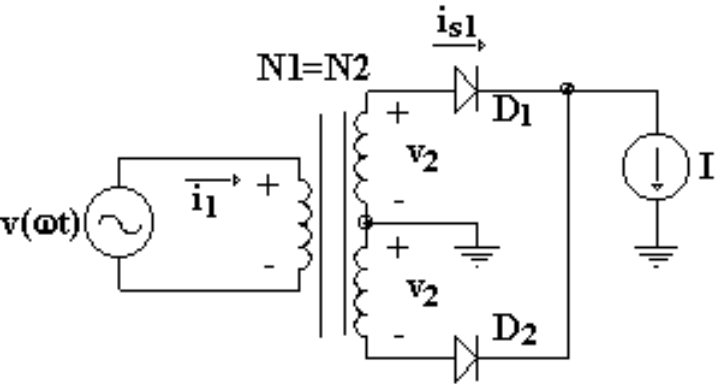
A potência aparente de um enrolamento secundário

$$S_{s1} = V_{2ef} \cdot I_{s1ef}$$

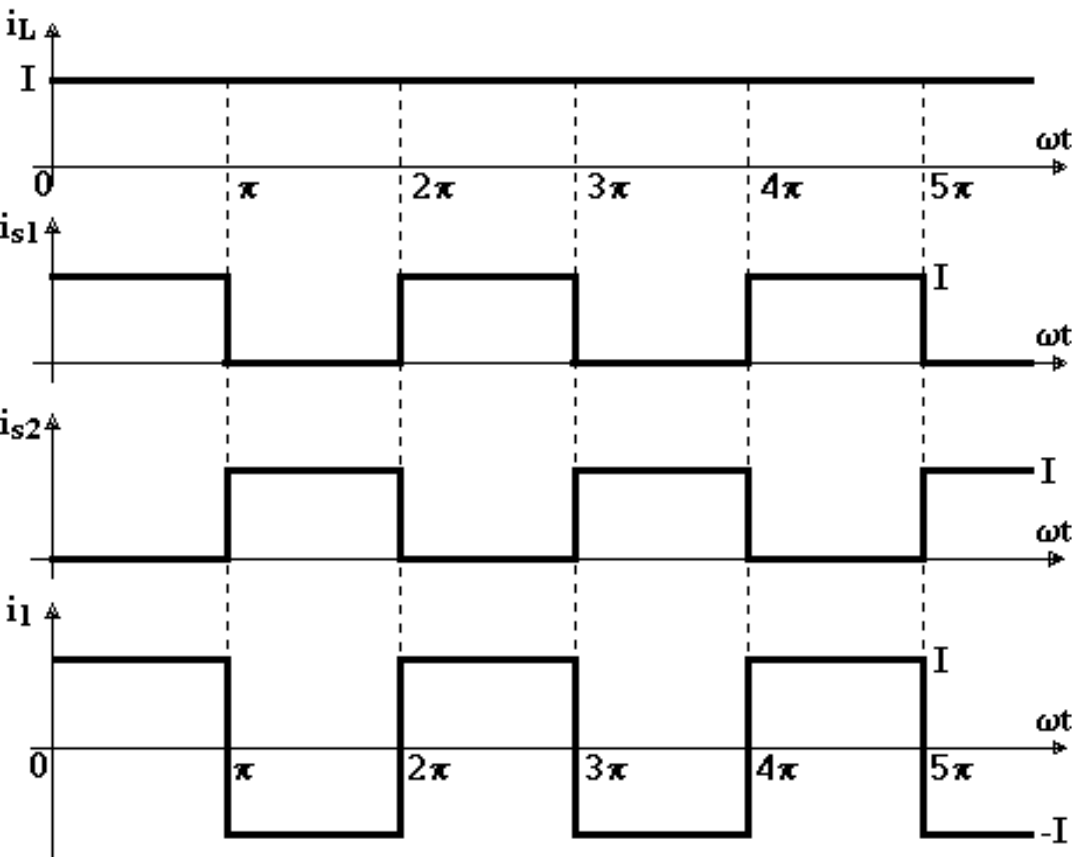
$$V_{2ef} = V_{Lmed} / 0,9$$

$$S_{s1} = \frac{0,707 V_{Lmed} I}{0,9} = 0,785 V_{Lmed} I$$

Retificador Monofásico de Onda Completa com Ponto Médio Estudo do Transformador



A potência secundária total aparente do transformador



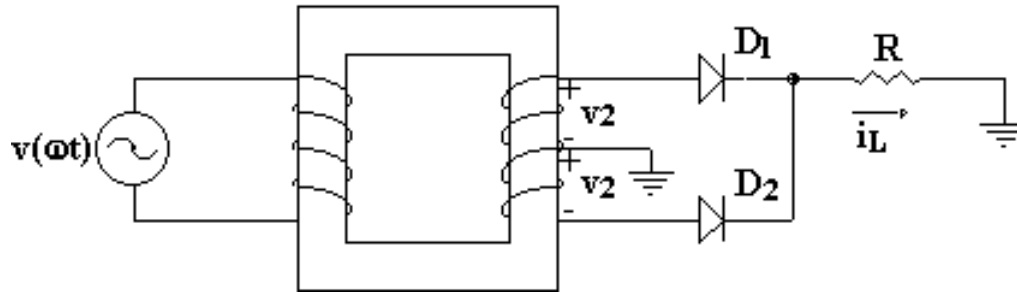
$$S_2 = S_{s1} + S_{s2}$$

$$S_2 = 1,57 \cdot V_{Lmed} \cdot I$$

$$P_L = V_{Lmed} \cdot I$$

$$S_2 = 1,57 \cdot P_L$$

Retificador Monofásico de Onda Completa com Ponto Médio

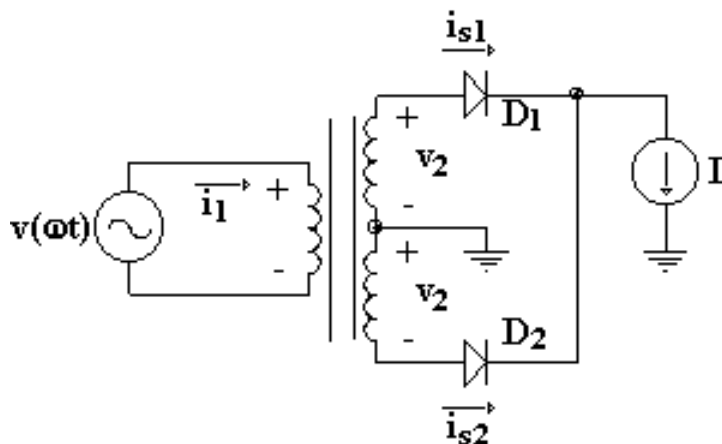


O retificador de onda completa a diodo apresenta as seguintes vantagens em relação ao retificador de meia onda:

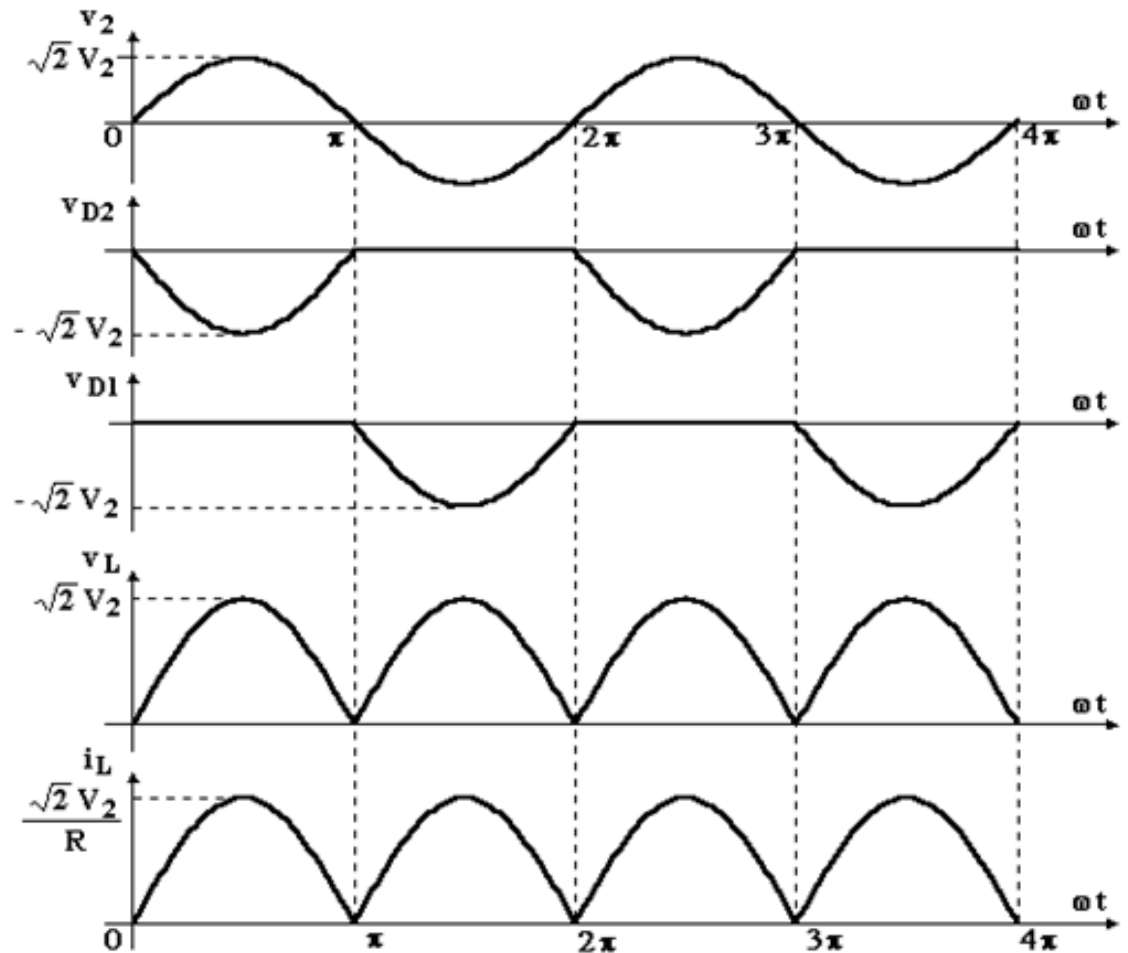
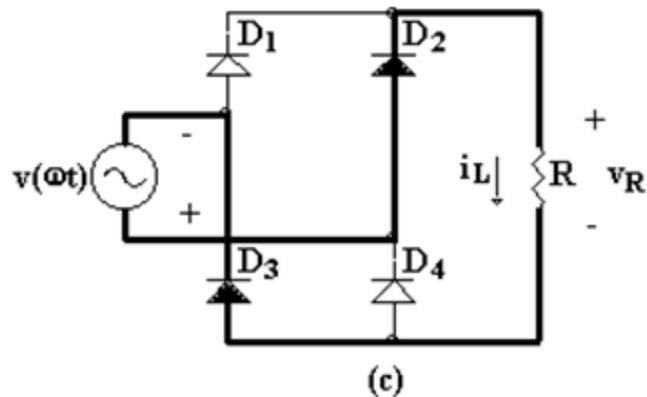
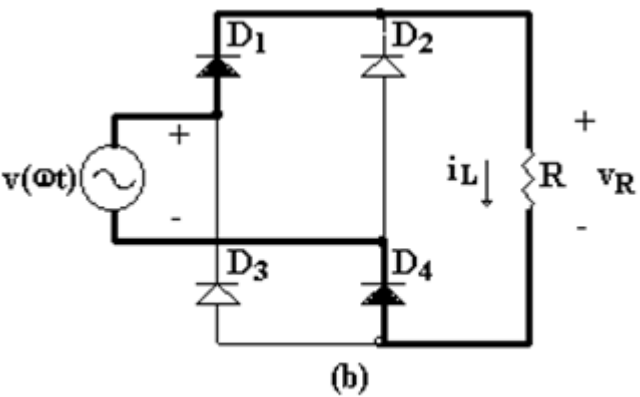
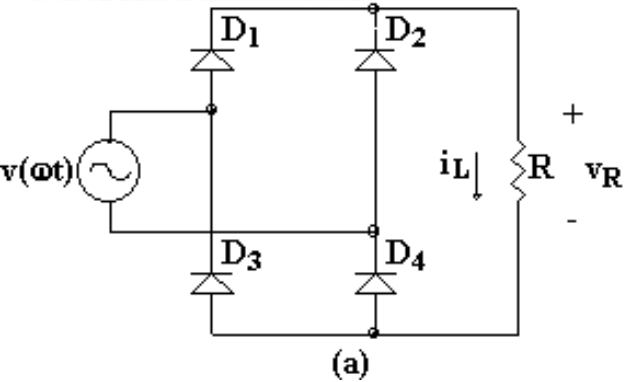
- A tensão média na carga é duas vezes maior;
- A corrente da carga apresenta menor distorção harmônica.

Exemplo 1

Seja o retificador apresentado na figura abaixo. Desconsiderando a ondulação de corrente na carga, $V_{1_{ef}} = 220V$, $V_{2_{ef}} = 110V$, $R = 25\Omega$, $L = 50\text{ mH}$ e $f = 60\text{Hz}$. Determinar: a) represente a tensão e corrente aplicada a carga; b) represente as correntes no secundário e a corrente no primário do transformador; c) determine a corrente eficaz em cada enrolamento; d) potência aparente do transformador.

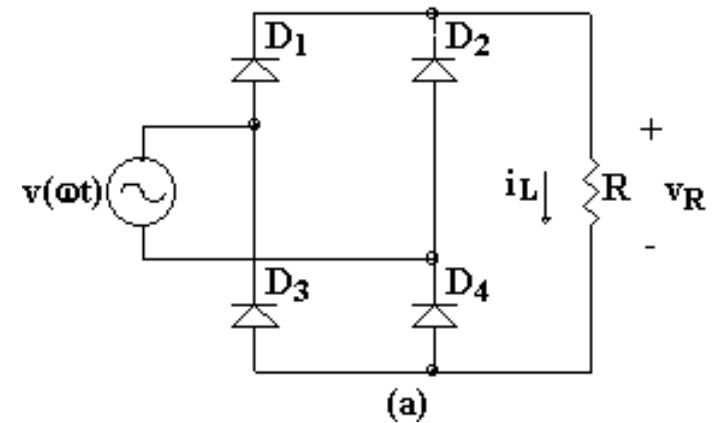
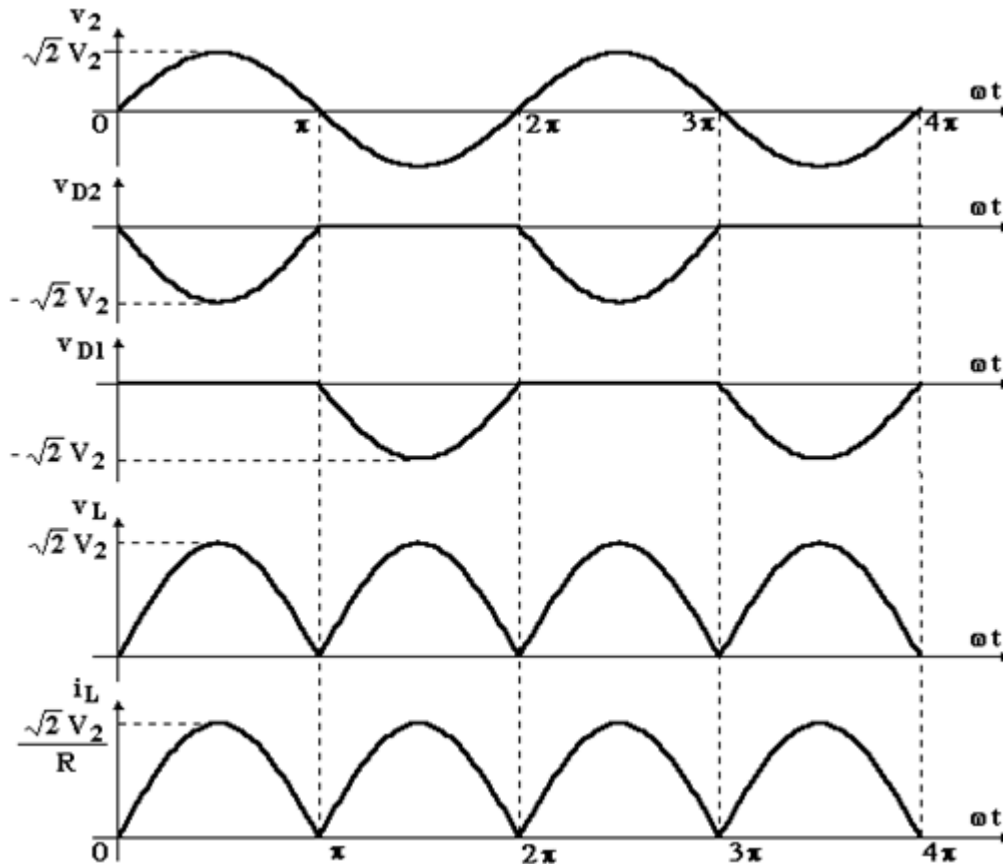


Retificador Monofásico de Onda Completa em Ponte



Retificador Monofásico de Onda Completa em Ponte

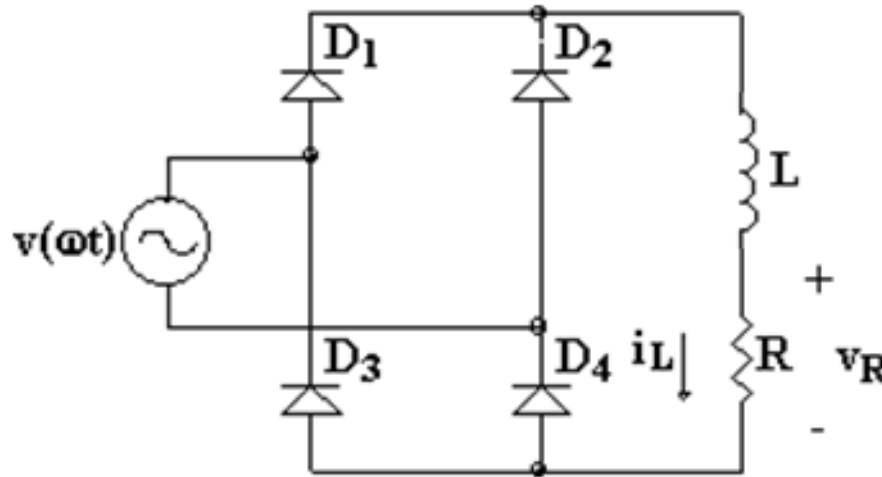
As formas de ondas da tensão e da corrente de carga são idênticas ao do retificador de ponto médio.



$$V_{Lmed} = 0,9 \cdot V_0$$

$$I_{Lmed} = 0,9 \cdot V_0 / R$$

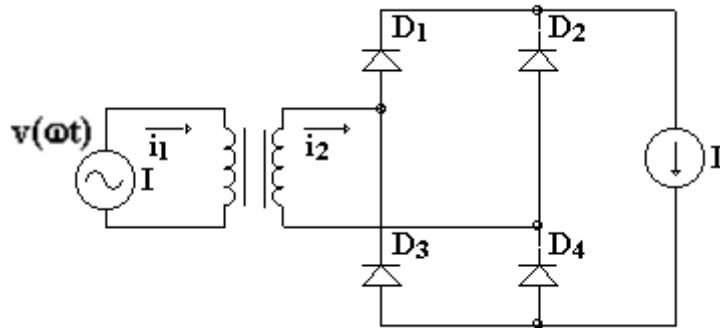
Retificador Monofásico de Onda Completa em Ponte, Carga RL



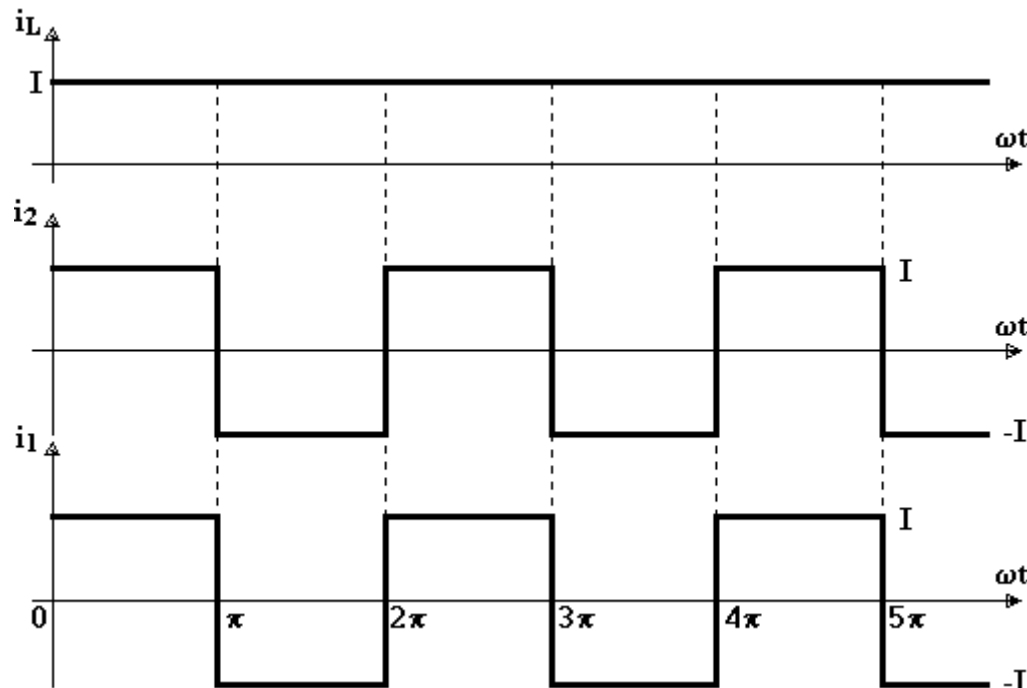
Para cargas indutivas, as etapas de funcionamento são as mesmas apresentadas no retificador de onda completa em ponte.

As formas de onda da corrente e da tensão de carga são idênticas àquelas estabelecidas para o retificador de ponto médio.

Retificador Monofásico de Onda Completa em Ponte – Estudo do comportamento do transformador



O retificador em ponte, não depende de um transformador para funcionar. Em certas aplicações, nas quais se deseja isolamento galvânico ou adaptação de tensão, o transformador é empregado.



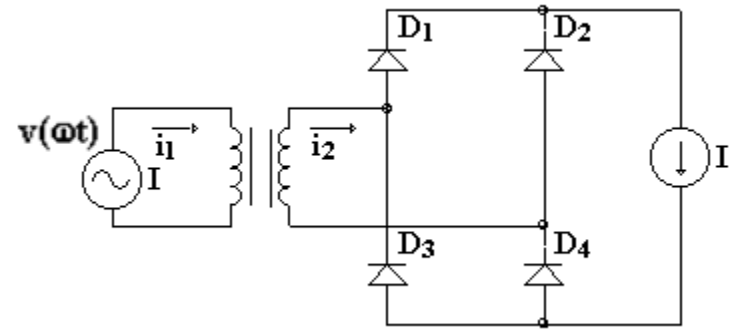
Para a análise é considerado que:

- a corrente na carga será considerada constante;
- os enrolamentos secundário e primário terão o mesmo número de espiras.
- o transformador considerado ideal.

Retificador Monofásico de Onda Completa em Ponte – Estudo do comportamento do transformador

O valor eficaz da corrente no enrolamento secundário é dado:

$$I_{2ef} = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_0^{\pi} I^2 d(\omega t)} = I$$



O valor eficaz da tensão secundária é dada pela expressão:

$$V_{2ef} = \frac{V_{Lmed}}{0,9}$$

A potência aparente no secundário do transformador é dada pela expressão:

$$S_2 = V_{2ef} I_{2ef} = V_{Lmed} I / 0,9$$

$$S_2 = 1,11 V_{Lmed} I$$

$$P_L = V_{Lmed} I$$

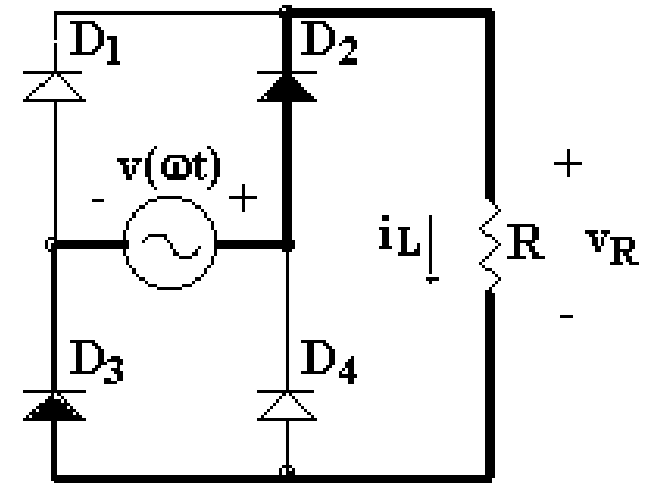
$$S_2 = 1,11 P_L$$

Comparando-se a potência do secundário do retificador em ponte, verifica-se que este retificador proporciona um melhor aproveitamento do transformador, em relação ao retificador de ponto médio.

Retificador Monofásico de Onda Completa em Ponte – Estudo do comportamento do transformador

A tensão de pico dos diodos:

$$V_{DI} = \sqrt{2} V_2$$



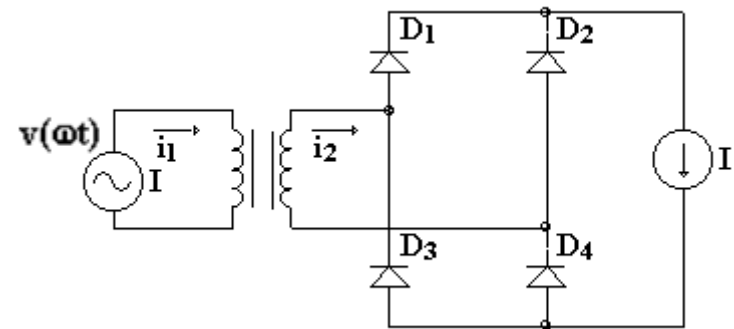
A máxima tensão inversa nos diodos é igual ao valor de pico da tensão da fonte ou, do secundário do transformador (no caso isolado).

Comparando-se com a tensão de pico inversa do retificador de ponto médio, o retificador em ponte apresenta a metade da tensão de pico inversa.

Retificador Monofásico de Onda Completa em Ponte

Seja o retificador abaixo, com os seguintes valores: $V_{2EF} = 220V$ (tensão eficaz no enrolamento secundário), $N_2/N_1 = 0,4$, $R = 5 \text{ ohm}$ e $L = 500mH$. Para uma corrente na carga isenta de harmônicos, determine:

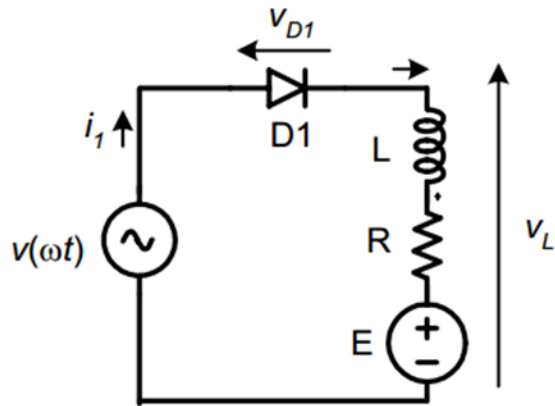
- a) Tensão média na carga;
- b) Corrente e potência média na carga;
- c) Corrente eficaz nos enrolamentos;
- d) Potência aparente no transformador;
- e) Tensão eficaz do primário.
- f) Valores para especificação dos diodos
- g) Formas de ondas da tensão na carga
- h) Formas de ondas da corrente no secundário e primário



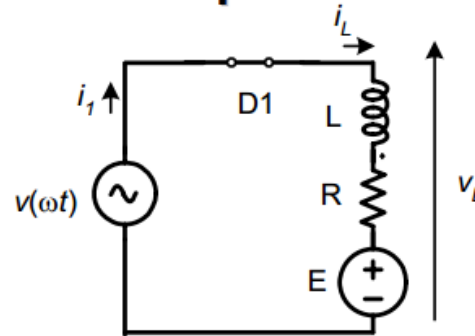
Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo carga RLE

Etapas de funcionamento

Análise qualitativa

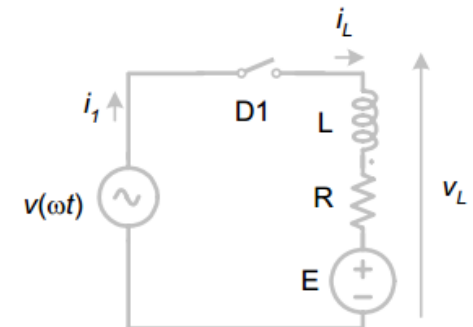


Etapa 1

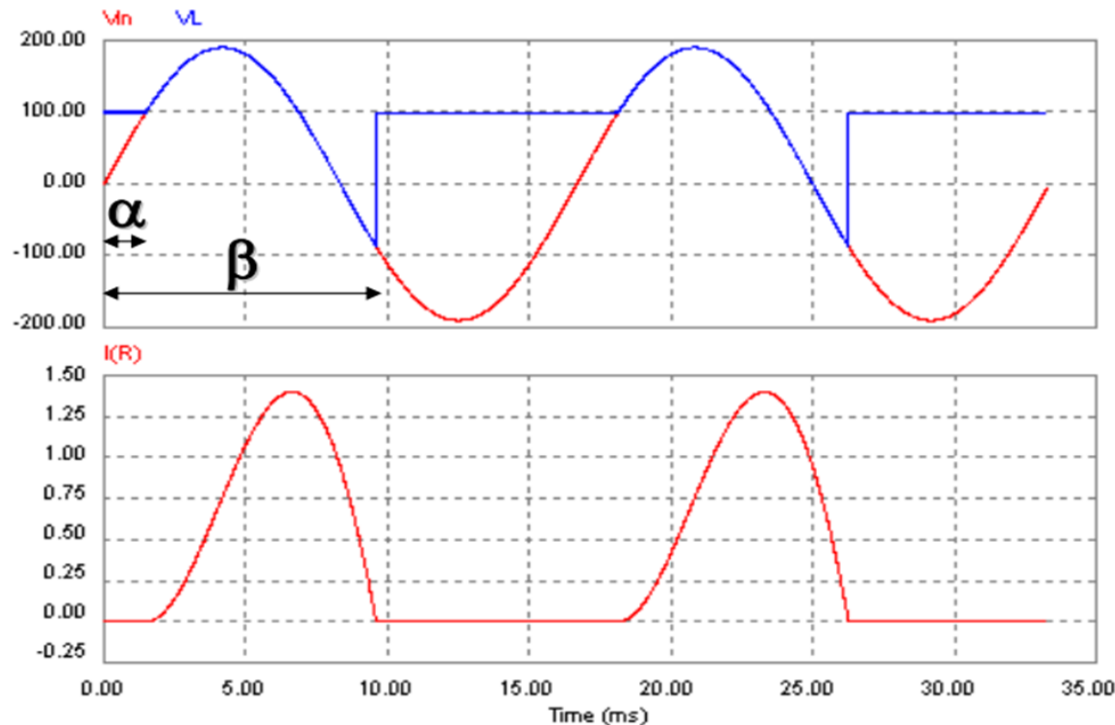


$$\alpha \leq \omega t < \beta$$

Etapa 2



$$\beta \leq \omega t < 2\pi + \alpha$$

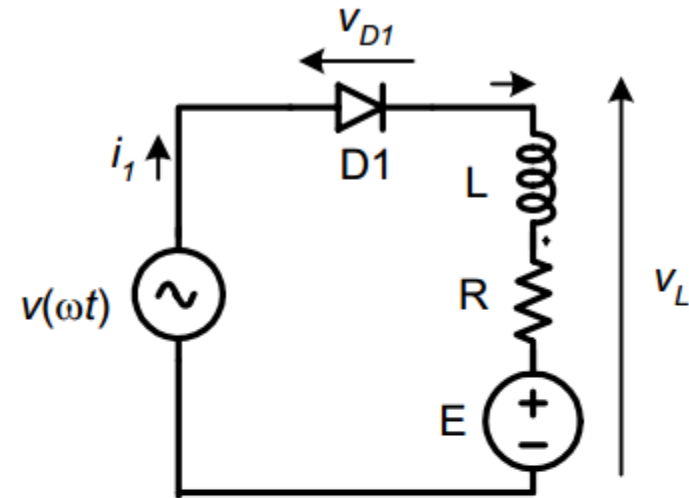


**$V_o=127V$
 $E=100V$
 $R=10\Omega$
 $L=0,2H$**

Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo carga RLE

Análise quantitativa

Tensão na carga



$$v_L(t) = \begin{cases} E & , 0 \leq \omega t < \alpha \\ \sqrt{2}V_o \sin(\omega t) & , \alpha \leq \omega t < \beta \\ E & , \beta \leq \omega t < 2\pi \end{cases}$$

Médio

$$V_{Lmed} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\alpha} E d(\omega t) + \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{2}V_o \sin(\omega t) d(\omega t) + \int_{\beta}^{2\pi} E d(\omega t) \right]$$

$$V_{Lmed} = \frac{1}{2\pi} \left\{ \sqrt{2}V_o [\cos(\alpha) - \cos(\beta)] + E[\alpha + 2\pi - \beta] \right\}$$

Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo carga RLE

Análise quantitativa

Corrente na entrada/carga/diodo

$$i_L(\omega t) = \frac{\sqrt{2}V_o}{R} \left\{ \left[\cos(\phi) \sin(\omega t - \phi) - \frac{E}{\sqrt{2}V_o} \right] + \left[\frac{E}{\sqrt{2}V_o} - \cos(\phi) \sin(\alpha - \phi) \right] e^{\frac{\omega t - \alpha}{\tan(\phi)}} \right\}$$

Médio

$$I_{Lmed} = \frac{V_{Lmed} - E}{R}$$

Eficaz

$$I_{Lef} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left\{ \int_{\alpha}^{\beta} [i_L(\omega t)]^2 d(\omega t) \right\}}$$