

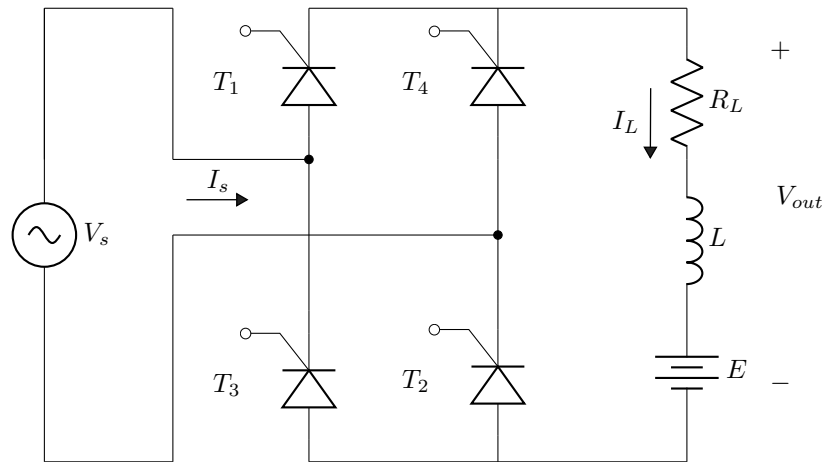
Retificador Monofásico Controlado de Onda Completa

João Pedro Rey

July 2025

Retificador Controlado em Ponte Completa com Carga RLE

O retificador monofásico controlado de onda completa é um conversor CA/CC muito empregado no contexto industrial para controle de potência entregue à carga. Através da ponte retificadora tiristorizada, a tensão média entregue à carga é controlada através do ângulo de disparo α dos semicondutores.



Considerando uma fonte senoidal pura expressa por:

$$V_s = V_{peak} \sin(\omega t)$$

Pode-se determinar o valor médio da tensão entregue à carga utilizando a equação:

$$V_{med} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_{peak} \sin(\omega t) d(\omega t)$$

Resolvendo a integração obtém-se o seguinte resultado para o valor da tensão média:

$$V_{med} = \frac{2V_{peak}}{\pi} \cos(\alpha)$$

O valor eficaz da tensão sob a carga é determinado a partir da expressão:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_{peak}^2 \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

Determinando o resultado da expressão, obtém-se:

$$V_{rms} = \frac{V_{peak}}{\sqrt{2}}$$

Para encontrar uma expressão que determine o valor da corrente que circula na carga, pode-se aplicar a LKT na malha de saída. De forma que:

$$|V_{peak} \sin(\omega t)| = L \frac{dI_L}{dt} + RI_L + E \quad \text{para } I_L \geq 0$$

A solução analítica da equação diferencial resulta em:

$$I_L(t) = \frac{\sqrt{2}V_{peak}}{Z} \sin(\omega t - \phi) + A_1 e^{-(R/L)t} - \frac{E}{R} \quad \text{para } I_L \geq 0$$

Sendo a impedância de carga $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ e o ângulo de carga $\phi = \tan^{-1}(\frac{\omega L}{R})$. A constante A_1 é determinada a partir das condições iniciais $\omega t = \alpha$ e $I_L = I_{L0}$, sendo portanto:

$$A_1 = \left[I_{L0} + \frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2}V_{peak}}{Z} \sin(\alpha - \phi) \right] e^{(R/L)(\alpha/\omega)}$$

Considerando a corrente da fonte I_s expressa através da série de Fourier:

$$I_s(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \sqrt{2} I_{rms} \sin(n\omega t + \phi_n)$$

O valor da n-ésima componente da corrente na carga é dado pela expressão:

$$I_{s_n} = \frac{2\sqrt{2}I_{peak}}{n\pi}$$

O valor rms da componente fundamental da corrente na carga é dado por:

$$I_{1_{rms}} = \frac{2\sqrt{2}I_{peak}}{\pi}$$

O valor rms da corrente de carga é expresso por:

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} I_{s_n}^2}$$

Portanto, a taxa de distorção harmônica da corrente é dada por:

$$TDH = \frac{I_{rms}^2 - I_{1_{rms}}^2}{I_{1_{rms}}^2}$$

O fator de distorção da componente fundamental da corrente de carga é dado por:

$$FD = \cos(-\alpha)$$

Logo, o fator de potência é expresso por:

$$FP = \frac{I_{s_1}}{I_s} \cos(-\alpha) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cos(a)$$

Portanto, a potência CA ativa entregue pela rede ao retificador será:

$$P_{CA} = V_{s_{rms}} I_{s_{rms}} FP$$

A corrente média entregue à carga é dada por:

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

Portanto, a potência média entregue à carga será:

$$P_{cc} = V_{med} I_{med}$$

A razão de retificação representa a eficácia de conversão de um retificador, possibilitando a comparação entre os conversores. A eficácia é dada por:

$$\eta = \frac{P_{cc}}{P_{CA}}$$

É importante notar que a eficácia não representa a eficiência de energia e sim a eficiência de conversão, sendo compreendida como a qualidade da energia de saída. Caso a saída fosse um sinal CC puro a razão de retificação seria a unidade. Pode-se entender o sinal de saída do retificador com uma componente CC somada a uma componente CA (ripple de tensão).