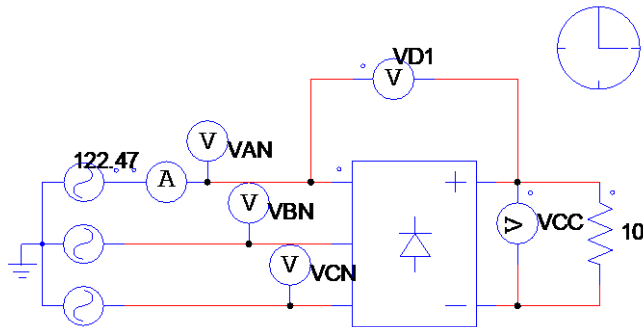
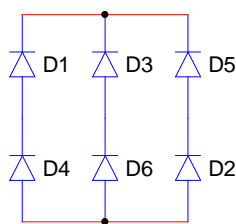


Retificador Trifásico com Diodos em Ponte

RETIFICADOR TRIFÁSICO EM PONTE - CARGA RESISTIVA



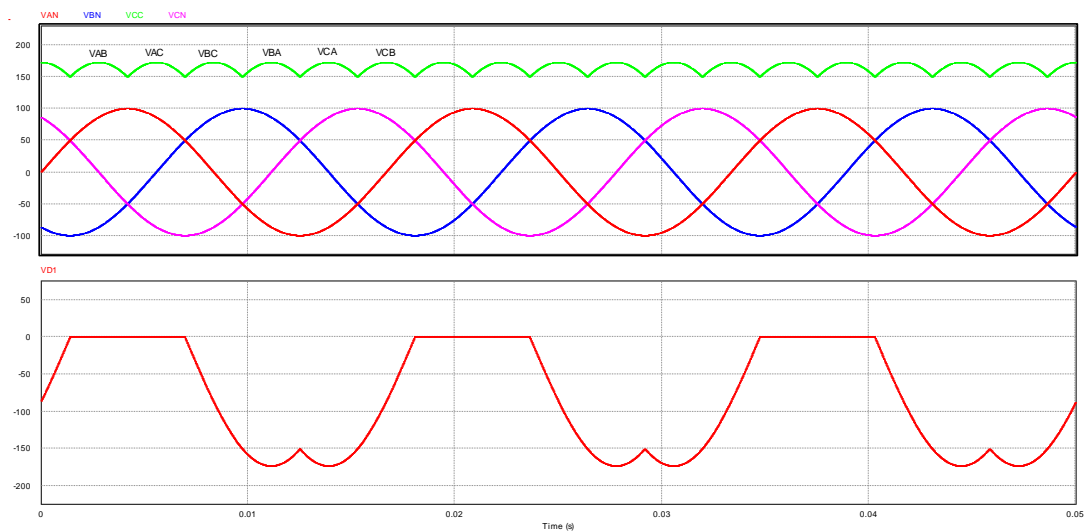
A ponte retificadora representada como um bloco possui 6 diodos.



A nomenclatura dos diodos é feita em função da ordem de condução dos mesmos.

Curvas obtidas:

Curvas de Tensão CA e CC e sobre o diodo 1:

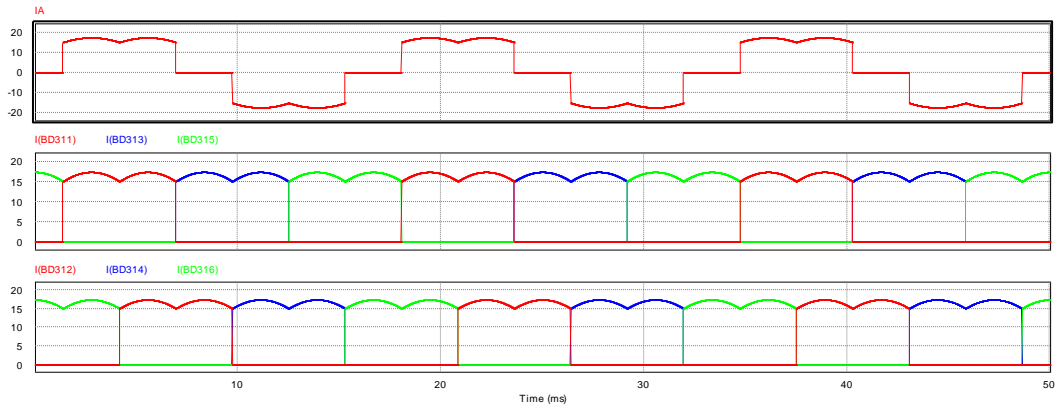


O retificador trifásico em ponte seleciona a tensão fase neutro mais positiva para a saída positiva e a tensão fase neutro mais negativa para a saída negativa. A tensão que aparece na saída é constituída por trechos de tensões entre fases. Por exemplo, quando o diodo D1 conduz a tensão VAN aparece no positivo. Neste intervalo de 120 graus, inicialmente o diodo D6 está conduzindo e, portanto, a fase BN aparece no negativo e após 60 graus o diodo D2

passa a conduzir e a fase CN aparece no negativo. Desta forma temos na saída inicialmente a tensão entre fases VAB e a seguir VAC.

Para a tensão sobre o diodo D1 temos: condução durante 120 graus e bloqueio durante 240 graus com uma tensão de pico inverso igual à tensão entre fases.

Abaixo vemos os gráficos da corrente da fase A e das correntes dos diodos.



Parâmetros de Performance:

Do lado de corrente contínua (saída):

$$\text{Fator de Forma: } FF = V_{cc}(rms) / \overline{V_{cc}}$$

Para simplificar os cálculos vamos deslocar de 60 graus a origem dos tempos para coincidir com o pico de VAB. Em cada ciclo temos 6 pulsos idênticos na saída.

$$\overline{V_{cc}} = \frac{6}{2\pi} \int_{-\pi/6}^{\pi/6} V_m \sqrt{3} \cos\theta \, d\theta = 3V_m \frac{\sqrt{3}}{\pi}$$

$$V_{cc}(rms) = \sqrt{\frac{3}{\pi} \int_{-\pi/6}^{\pi/6} 3 \cdot V_m^2 \cdot \cos^2\theta \, d\theta} = \sqrt{3} V_m \left(\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \right)^{1/2}$$

$$V_{ond}(rms) = \sqrt{V_{cc}(rms)^2 - \overline{V_{cc}}^2}$$

A seguir temos os valores simulados e calculados de $\overline{V_{cc}}$:

Average Value	
Time From	1.0000000e-005
Time To	5.0000000e-002
VCC	1.6539226e+002

$$\overline{V_{cc}} = 3 \times 100 \times \frac{\sqrt{3}}{\pi} = 165,4$$

Abaixo vamos obter os valores simulado e calculado de $V_{cc}(rms)$

RMS Value	
Time From	1.0000000e-005
Time To	5.0000000e-002
VCC	1.6553785e+002

$$V_{cc}(rms) = \sqrt{3} \times 100 \times \left(\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \right)^{1/2} = 165,54$$

Do lado da entrada, supondo a fonte de tensão alternada ideal, temos como principais parâmetros de performance o Fator de Potência (PF em inglês) e a Taxa de Distorção Harmônica (Total Harmonic Distortion – THD em inglês).

Vamos fazer os cálculos de potência por fase. As potências real e aparente totais serão 3 vezes os valores achados.

$$PF = \frac{P_{real}}{P_{aparente}}$$

$$P_{real} \cong \frac{1}{\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_m \cdot \overline{I_{cc}} \cdot \text{sen}\theta d\theta \cong \frac{1}{\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_m \cdot \frac{\overline{V_{cc}}}{R} \cdot \text{sen}\theta d\theta = \frac{1}{\pi} V_m \cdot \frac{\overline{V_{cc}}}{R} \times (\cos\theta)_{\pi/6}^{5\pi/6}$$

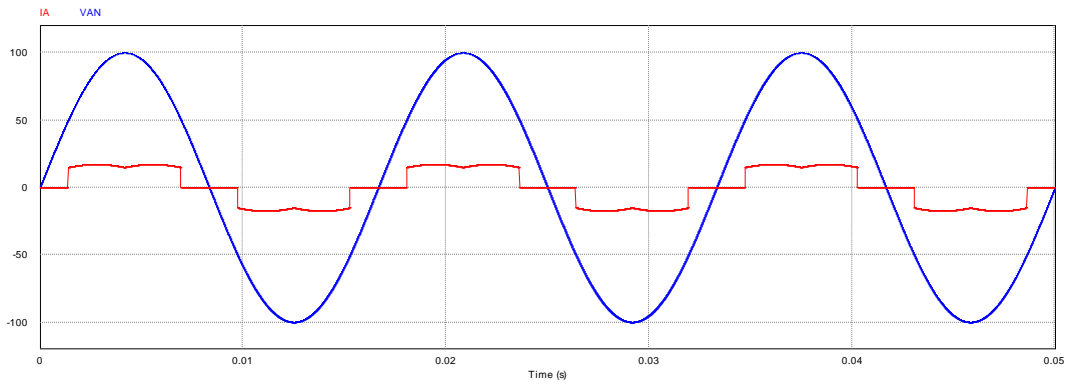
$$P_{real} \cong \frac{1}{\pi} V_m \cdot \frac{\overline{V_{cc}}}{R} \times \sqrt{3}$$

$$P_{aparente} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \times I_a(rms) = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \times I_{cc}(rms) \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

$$I_a(rms) = I_{cc}(rms) \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} ; I_{cc}(rms) = \frac{V_{cc}(rms)}{R}$$

$$P_{aparente} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \times I_{cc}(rms) \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

A seguir temos o gráfico da tensão VAN e da corrente da fase A:



Para $V_m=100$, $R=10$ teremos:

$$P_{real} \cong \frac{1}{\pi} V_m \cdot \frac{\overline{V_{cc}}}{R} \times \sqrt{3} =$$

$$P_{real \text{ calculada}} = \frac{100}{\pi} \times 16,54 \times \sqrt{3} = 911,9$$

Real Power	
Time From	1.0000000e-005
Time To	5.0000000e-002
VAN vs. IA	9.1353002e+002

$$I_a(rms) = I_{cc}(rms) \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 13,50$$

$$P_{parente \text{ calculada}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \times I_a(rms) = 955 \text{ VA}$$

Apparent Power	
Time From	1.0000000e-005
Time To	5.0000000e-002
VAN vs. IA	9.5577880e+002

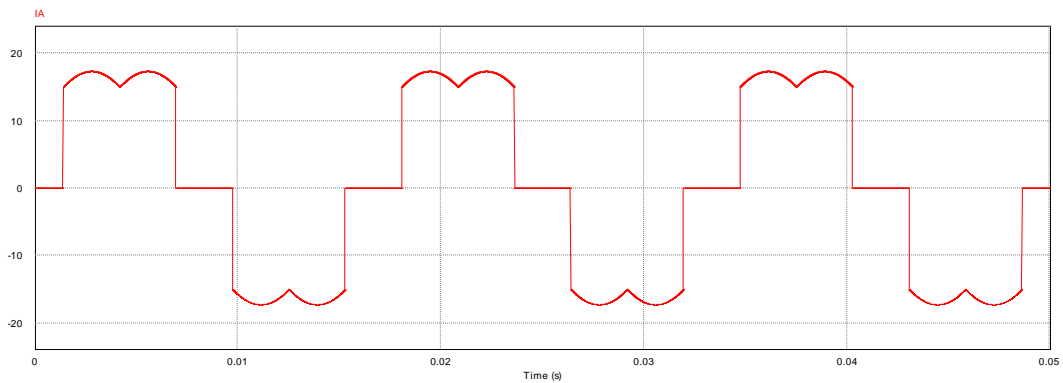
Fator de Potência calculado: $911,9/955 = 0,955$

Power Factor	
Time From	1.0000000e-005
Time To	5.0000000e-002
IA vs. VAN	9.5579649e-001

Vamos analisar o THD da Corrente de Entrada Ia

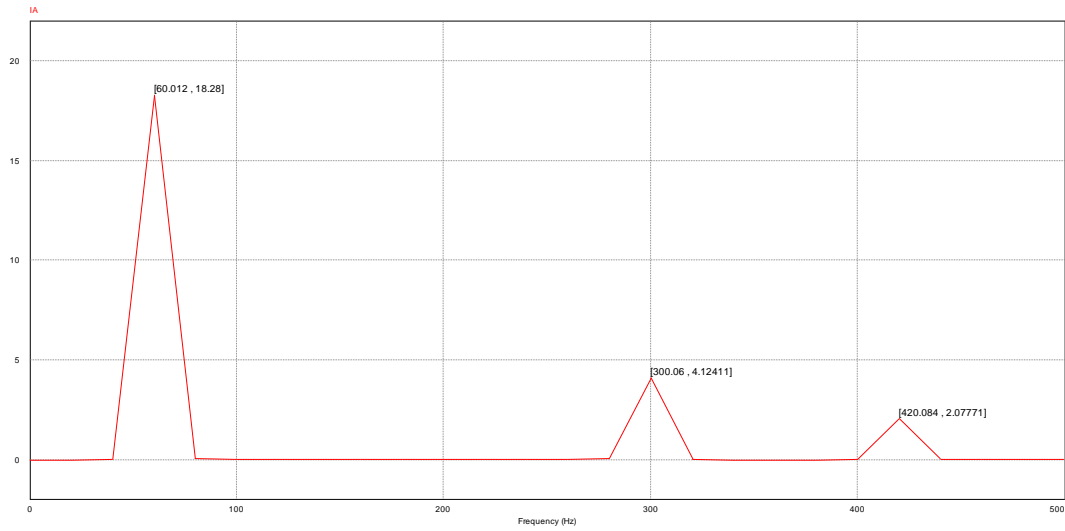
$THD = \frac{\sqrt{Ia(rms)^2 - I1(rms)^2}}{I1(rms)}$ onde $Ia(rms)$ é a corrente na entrada do retificador (valor eficaz incluindo os harmônicos e $I1(rms)$ é o valor eficaz da corrente fundamental (60 Hz).

$$Ia(rms) = Icc(rms) \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 13,50$$



$$THD = \frac{\sqrt{Ia(rms)^2 - I1(rms)^2}}{I1(rms)}$$

O valor de $I1(pico)$ será tirado do FFT



$$I1(rms) = \frac{I1(pico)}{\sqrt{2}} = \frac{18,28}{\sqrt{2}} = 12,926$$

$$THD \text{ calculado} = \frac{\sqrt{13,5^2 - 12,926^2}}{12,926} = 0,3013$$

THD ✕	
Fundamental Frequency	6.0000000e+001 Hz
IA	3.0808361e-001

As correntes harmônicas de Ia são de ordem 5, 7, 11, 13, 17, 19, ... $(6n+/- 1)$.

Na simulação da FFT aparece a corrente fundamental (60Hz) e as correntes harmônicas de ordem 5 (300Hz) e 7 (420Hz).