

Eletrônica de Potência

Análise da potência fornecida por sinais não senoidais

João Pedro Rey

1 Sinais não senoidais de tensão e corrente

No contexto de eletrônica de potência é muito usual encontrar situações em que é necessário determinar a potência absorvida por uma carga linear cuja alimentação é feita por uma fonte de tensão não senoidal. De mesma forma, é comum encontrar no contexto da disciplina a análise de cargas não lineares, sendo necessário determinar o fator de distorção e o deslocamento do fator de potência, por exemplo.

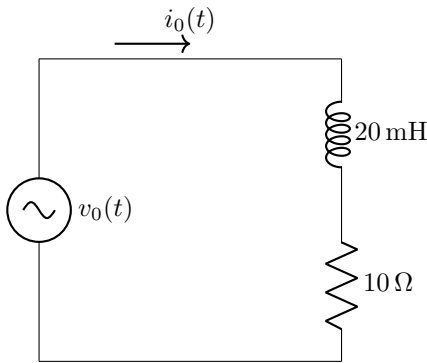
2 Representação de um sinal não senoidal

O sinal $v(t)$ não senoidal pode ser representado através da série de Fourier como uma soma de senos e/ou cossenos de mesma frequência. Uma das formas de representar este sinal através da série de Fourier está descrita abaixo:

$$v(t) = V_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_n \sin(n\omega t + \theta);$$

Sendo o sinal composto de uma componente DC seguida de uma soma de senoides de frequências múltiplas de ω . Desta forma, a potência absorvida por uma carga linear alimentada por uma fonte não senoidal pode ser descrita como a soma das parcelas individuais de potência que cada componente do sinal entrega para a carga.

3 Exemplo de circuito



No exemplo de circuito acima temos uma fonte não senoidal $v_0(t)$ alimentando uma carga RL. A expressão de $v_0(t)$ é dada por:

$$v_o(t) = V_0 + V_n \sin(n\omega t + \theta_n) + V_{n+1} \sin((n+1)\omega t + \theta_{n+1}) + V_{n+2} \sin((n+2)\omega t + \theta_{n+2}) + \dots$$

4 Exemplo - Fonte não senoidal e carga linear

Tomando como exemplo o circuito apresentado, consideremos um sinal $v_0(t)$ não senoidal expresso por:

$$v_0(t) = 5 + 25 \sin(2\pi 60t - 32.5^\circ) + 30 \sin(4\pi 60t + 21.2^\circ) V$$

Para determinarmos uma expressão para a corrente $i_o(t)$ podemos analisar separadamente cada componente do sinal.

O termo CC da corrente i_0 é dada por:

$$I_0 = \frac{5}{10} = 0.5 A$$

O termo $\omega = 2\pi 60$ é dado por:

$$I_1 = \frac{25 \angle -32.5^\circ}{10 + j(2\pi 60 \times 0.015)} = 2.176 \angle -61.987^\circ A$$

O termo $\omega = 4\pi 60$ é dado por:

$$I_2 = \frac{30 \angle 21.2^\circ}{10 + j(4\pi 60 \times 0.015)} = 1.987 \angle -27.317^\circ A$$

Logo, a corrente $i_o(t)$ pode ser expressa da seguinte forma:

$$i_0(t) = 0.5 + 2.176 \sin(2\pi 60t - 61.987^\circ) + 1.987 \sin(4\pi 60t - 27.317^\circ) A$$

A potência absorvida por uma carga é descrita como:

$$P = \frac{V_p I_p}{2} \cos(\theta_v - \theta_i)$$

A potência absorvida total será a somada de $P_0 + P_1 + P_2$, sendo:

$$P_0 = 5 \times 0.5 = 2.5 W$$

$$P_1 = \frac{25 \times 2.176}{2} \cos(-32.5^\circ - (-61.987^\circ))$$

$$P_1 = 23.677 W$$

$$P_2 = \frac{30 \times 1.987}{2} \cos(21.2^\circ - (-27.317^\circ)) = 19.743 W$$

$$P_2 = 19.743 W$$

Portanto, a potência absorvida pela carga será de:

$$P = 2.5 + 23.677 + 19.743 = 45.92 W$$

5 Exemplo - Fonte senoidal e carga não linear

Considerando uma fonte senoidal $v(t) = 150\sin(377t)V$ que alimenta uma carga não linear, de tal forma que a corrente de carga é expressa por:

$$i(t) = 10 + 30\cos(377t + 31.2^\circ) + 20\cos(2(377)t + 45.3^\circ) + 15\cos(3(377t) + 59.7^\circ)A$$

Determinar a potência absorvida pela carga, o fator de potência da carga, o fator de distorção da corrente e a distorção harmônica total na corrente da carga.

Para o cálculo da potência absorvida pela carga, utilizamos a equação:

$$P = V_0 I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_{n,rms} I_{n,rms} \cos(\theta_{v,n} - \theta_{i,n})$$

Como a tensão senoidal possui apenas a componente fundamental e nenhum nível DC, podemos considerar a potência absorvida como:

$$P = \frac{150 \times 30}{2} \cos(0 - 31.2^\circ) = 1924.57W$$

O valor da corrente I_{RMS} total é dado pela expressão:

$$I_{RMS} = \sqrt{I_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{I_n}{\sqrt{2}}\right)^2}$$

Portanto a corrente RMS é dada por:

$$I_{RMS} = \sqrt{10^2 + \left(\frac{30}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{20}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{15}{\sqrt{2}}\right)^2}$$
$$I_{RMS} = 26.7A$$

O fator de distorção é dado pelo valor RMS da componente fundamental da corrente dividido pelo valor RMS da corrente total. Portanto, o fator de distorção é dado por:

$$FD = \frac{I_{1,RMS}}{I_{RMS}}$$

Portanto, o fator de distorção será:

$$FD = \frac{30}{\sqrt{2} \times 26.7} = 0.794$$

Devido ao fator de distorção o fator de potência é dado por:

$$FP = \cos(\theta_v - \theta_i) \times FD$$

Portanto, o fator de potência será:

$$FP = \cos(0 - 31.2) \times 0.794 = 0.679$$

E por fim, a distorção harmônica total da corrente na carga é dada por:

$$DHT = \sqrt{\frac{I_{RMS}^2 - I_{1,RMS}^2}{I_{1,RMS}^2}} \times 100\%$$

Portanto, a distorção harmônica total da corrente de carga será:

$$DHT = \sqrt{\frac{26.7^2 - 21.21^2}{21.2^2}} 100\% = 76.5\%$$