1 Filtros Ativos Em Sistemas Elétricos

30 Págs

1.1 Definição de Potência Ativa, Reativa e Fator de Potência

Como forma de entender melhor a qualidade de energia e a operação de filtros ativos é necessário ter os conceitos de potência ativa, reativa e fator de potência .

1.1.1 Potências em Sistemas Senoidais

Considerando um circuito monofásico, senoidal linear e operando em regime permanente, as equações da tensão e corrente são expressas por 1.1 e 1.2, respectivamente.

$$v(t) = \sqrt{2}\, V \cos(\omega t) \tag{1.1}$$

$$i(t) = \sqrt{2}\, I \cos(\omega t - \phi) \tag{1.2}$$

A potência instantânea em um circuito monofásico é definida segundo a equação 1.3.

$$\begin{aligned} p(t) &= v(t)i(t) \\ &= 2\, V \cos(\omega t) I \cos(\omega t - \phi) \\ &= VI[\cos(\phi) + \cos(2\omega t - \phi)] \\ &= VI \cos(\phi)[1 + \cos(2\omega t)] + VI \sin(\phi) \sin(2\omega t) \end{aligned} \tag{1.3}$$

A equação 1.3 pode ser dividido em dois termos variantes no tempo: o primeiro é dado por

$$VI \cos(\phi)[1 + \cos(2\omega t)] \tag{1.4}$$

e o segundo por.

$$VI \sin(\phi) \sin(2\omega t) \tag{1.5}$$

Por definição, a potência ativa é definida pelo valor médio da equação 1.4, e a potência reativa é definida pelo valor de pico da equação 1.5.

verificar sobre valores de pico e valores eficazes

1.1.2 Definição de Potências em Sistemas Não-Senoidais

1.1.3 Potência Instantânea Utilizando a Teoria P-Q

1.1.3.1 considerando coordenadas *abc*

Tendo o sistema com as tensões e correntes definidas por:

$$\mathbf{v} = \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \tag{1.6}$$

$$\mathbf{i} = \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \tag{1.7}$$

A potência ativa instantânea do sistema é definida por

$$p \triangleq \mathbf{v} \cdot \mathbf{i} \tag{1.8}$$

e a potência reativa instantânea do sistema é definido por

$$q \triangleq \mathbf{v} \times \mathbf{i} \tag{1.9}$$

A potência $\mathbf{q}$ é dada por um vetor na forma:

$$\mathbf{q} = \begin{bmatrix} q_a \\ q_b \\ q_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_b i_c - v_c i_b \\ v_c i_a - v_a i_c \\ v_a i_b - v_b i_a \end{bmatrix} \tag{1.10}$$

Ainda é defnido a corente ativa instantanea por:

$$\mathbf{i_p} = \begin{bmatrix} i_{ap} \\ i_{bp} \\ i_{cp} \end{bmatrix} \triangleq \frac{p}{\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}} \mathbf{v} \tag{1.11}$$

Ainda é defnido a corente reativa instantanea por:

$$\mathbf{i_q} = \begin{bmatrix} i_{aq} \\ i_{bq} \\ i_{cq} \end{bmatrix} \triangleq \frac{\mathbf{q} \times \mathbf{v}}{\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}} \tag{1.12}$$

$$\mathbf{i_p} = \begin{bmatrix} i_{ap} \\ i_{bp} \\ i_{cp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_a \left(\dfrac{v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c}{v_a^2 + v_b^2 + v_c^2} \right) \\ v_b \left(\dfrac{v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c}{v_a^2 + v_b^2 + v_c^2} \right) \\ v_c \left(\dfrac{v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c}{v_a^2 + v_b^2 + v_c^2} \right) \end{bmatrix} \tag{1.13}$$

$$\mathbf{i_q} = \begin{bmatrix} i_{aq} \\ i_{bq} \\ i_{cq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{v_c(v_c i_a - v_a i_c) - v_b(v_a i_b - v_b i_a)}{v_a^2 + v_b^2 + v_c^2} \\ \dfrac{v_a(v_a i_b - v_b i_a) - v_c(v_b i_c - v_c i_b)}{v_a^2 + v_b^2 + v_c^2} \\ \dfrac{v_b(v_b i_c - v_c i_b) - v_a(v_c i_a - v_a i_v)}{v_a^2 + v_b^2 + v_c^2} \end{bmatrix} \tag{1.14}$$

Fazendo a soma de $\mathbf{i_p}$ com $\mathbf{i_q}$ obtém-se a seguinte relação:

$$\mathbf{i_p} + \mathbf{i_q} = \begin{bmatrix} \dfrac{v_a(v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c)}{v_a^2 + v_b^2 + v_c^2} + \dfrac{v_c(v_c i_a - v_a i_c) - v_b(v_a i_b - v_b i_a)}{v_a^2 + v_b^2 + v_c^2} \\ \dfrac{v_b(v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c)}{v_a^2 + v_b^2 + v_c^2} + \dfrac{v_a(v_a i_b - v_b i_a) - v_c(v_b i_c - v_c i_b)}{v_a^2 + v_b^2 + v_c^2} \\ \dfrac{v_c(v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c)}{v_a^2 + v_b^2 + v_c^2} + \dfrac{v_b(v_b i_c - v_c i_b) - v_a(v_c i_a - v_a i_v)}{v_a^2 + v_b^2 + v_c^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \mathbf{i} \tag{1.15}$$

ou seja, prova-se que pela definição de corrente ip e iq que a composição estas é dada pela corrente suprida pelo fonte à carga do sistema. Ainda pela definição de ip e iq, utilizando a definição em (EQUACAO p) porém utilizando $p = \mathbf{v} \cdot \mathbf{i_q}$ temos:

$$\begin{aligned} \mathbf{v} \cdot \mathbf{i_q} &= \mathbf{v} \cdot \left(\frac{\mathbf{q} \times \mathbf{v}}{\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}} \right) \\ &= \mathbf{v} \cdot \left(\frac{(\mathbf{v} \times \mathbf{i}) \times \mathbf{v}}{\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}} \right) \\ &= \mathbf{v} \cdot \left(\frac{-(\mathbf{i} \cdot \mathbf{v})\mathbf{v} + (\mathbf{v} \cdot \mathbf{v})\mathbf{i}}{\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}} \right) \\ &= \frac{-(\mathbf{i} \cdot \mathbf{v})(\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}) + (\mathbf{v} \cdot \mathbf{v})(\mathbf{i} \cdot \mathbf{v})}{\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}} \\ &= 0 \end{aligned} \tag{1.16}$$

ou seja, prova-se que pela definição de corrente ip e iq que a composição estas é dada pela corrente suprida pelo fonte à carga do sistema. Ainda pela definição de ip e iq, utilizando a definição em (EQUACAO p) porém utilizando $p = \mathbf{v} \cdot \mathbf{i_q}$ temos:

$$\begin{aligned} \mathbf{v} \times \mathbf{i_p} &= \mathbf{v} \times \left(\frac{p}{\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}} \mathbf{v} \right) \\ &= \mathbf{0} \end{aligned} \tag{1.17}$$

isto tambem implica que as correntes $\mathbf{i_q}$ são ortogonais à $\mathbf{v}$, ou seja $\mathbf{i_q} \cdot \mathbf{v} \equiv 0$ e que as correntes $\mathbf{i_p}$ são paralelas à $\mathbf{v}$, ou então $\mathbf{i_p} \times \mathbf{v} \equiv 0$. Isto trás uma implicação importante que é a ortogonalidade entre as correntes $\mathbf{i_p}$ e $\mathbf{i_q}$ no sistema, ou seja:

$$\mathbf{i_p} \cdot \mathbf{i_q} \equiv 0 \tag{1.18}$$

Com isso, também é mostrado que a parcela da corrente $\mathbf{i_p}$ corresponde apenas a transferência de potência ativa instantânea no sistema. Por outro lado tem-se que a corrente $\mathbf{i_q}$ corresponde apenas a parcela da potência reativa instantânea do sistema

A teoria p-q é baseada na transformação das tensões e correntes das coordenadas abc para $\alpha\beta 0$

[?] [?]

1.1.3.2 considerando coordenadas $\alpha\beta 0$

1.1.3.3 Transformada de Clarke

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \tag{1.19}$$

1.2 Filtros Ativos

1.2.1 Filtros Ativo Empregando a Teoria P-Q