

2. SISTEMA TRIFÁSICO

2.1 Introdução ao Sistema Trifásico

Circuitos ou sistemas nas quais as fontes em corrente alternada operam na mesma frequência, mas com fases diferentes são denominados polifásicos. O circuito trifásico é um caso particular dos circuitos polifásicos que, por razões técnicas e econômicas tornou-se padrão em geração, transmissão e distribuição.

Um sistema trifásico é produzido em um gerador conforme o esquema simplificado da Figura 10. Os três enrolamentos são estáticos e têm o mesmo número de espiras, enquanto o rotor do gerador se movimenta. O campo magnético girante do rotor é produzido a partir de uma fonte CC independente, ou da retificação da própria tensão obtida do gerador (auto-excitação).

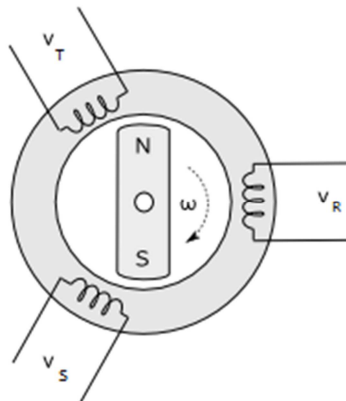


Figura 1 – Gerador trifásico.

Nesta configuração de enrolamentos do gerador é como houvesse três fontes de tensão com mesma amplitude e frequência, mas defasadas entre si de 120° elétricos. Usualmente as fases são indicadas por uma sequência de letras, como “ABC” ou “RST”. A Figura 11 mostra a representação dos sinais de tensão de saída do gerador no tempo.

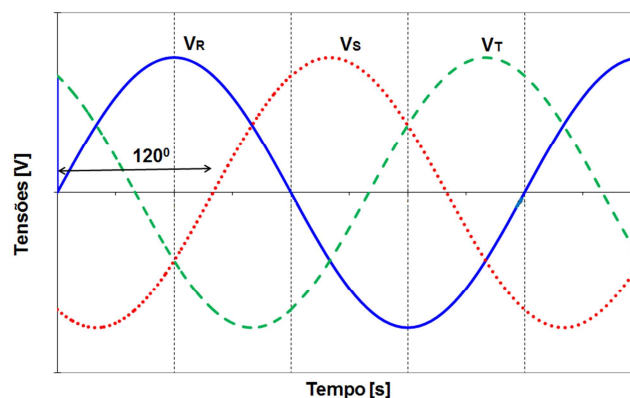


Figura 2 – Tensões de saída do gerador trifásico.

As tensões induzidas nos enrolamentos do gerador têm as seguintes expressões:

$$V_R(t) = V_p \cdot \text{Sen}(wt) \quad [V]$$

$$V_S(t) = V_p \cdot \text{Sen}(wt - 120^\circ) \quad [V]$$

$$V_T(t) = V_p \cdot \text{Sen}(wt - 240^\circ) \quad [V]$$

Um dos terminais das bobinas do gerador são conectados entre si, de forma que a diferença de potencial entre eles se neutraliza, formando o terminal neutro ou simplesmente

neutro do circuito. Desta forma, um sistema trifásico passa a ser constituído de quatro fios, sendo três condutores fase e um neutro.

Os sistemas trifásicos possuem a flexibilidade de poder atender cargas monofásicas, bifásicas e trifásicas sem qualquer alteração em sua configuração. Na Figura 12 são apresentadas formas de ligações das cargas.

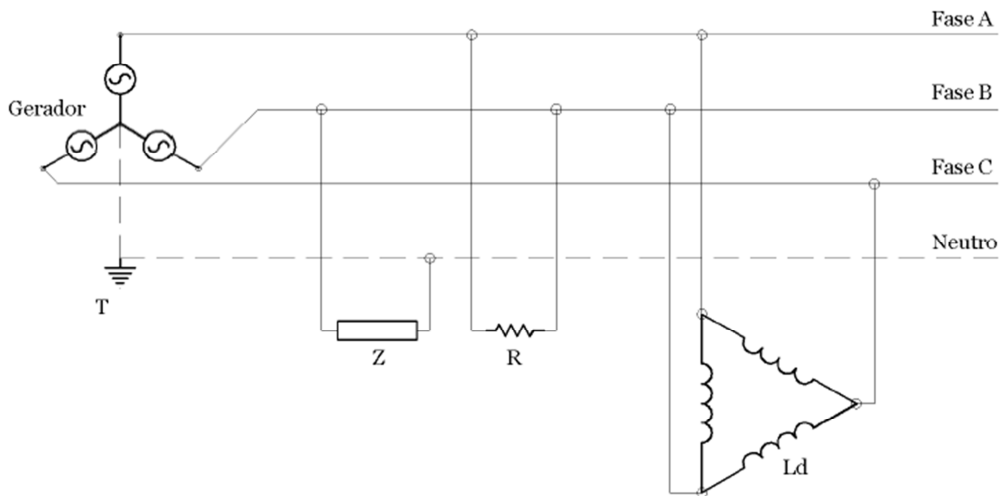


Figura 3 – Exemplo de ligações de cargas no sistema trifásico.

As três tensões possuem um ponto de neutro, o qual é definido como referência do sistema (0V). Este ponto é aterrado no gerador.

Se uma carga monofásica for ligada entre o ponto de neutro e uma das fases ela estará sujeita a uma “tensão de fase” dada pela expressão já conhecida:

$$V_F(t) = V_p \cdot \text{Sen}(wt) \quad [V]$$

Uma carga conectada entre duas fases terá uma maior diferença de potencial e sua expressão matemática será:

$$V_L(t) = \sqrt{3} \cdot V_p \cdot \text{Sen}(wt - 30^\circ) \quad [V]$$

A diferença de potencial entre duas fases é denominada “tensão de linha”. A Figura 12 ilustra o resultado da diferença entre as tensões instantâneas entre as fases A e B.

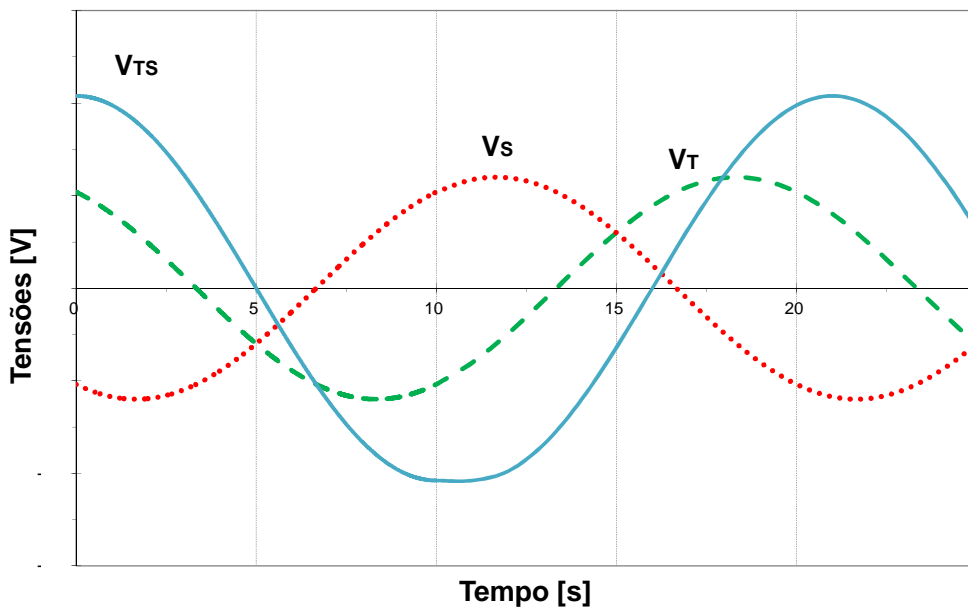


Figura 4 – Tensões de fase e de linha.

No Brasil o sistema de distribuição secundário é realizado em dois níveis de tensão: 220 V ou 380V. Desta forma têm-se as seguintes relações:

$$V_L = 380V \Rightarrow V_F = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = 220V$$

$$V_L = 220V \Rightarrow V_F = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = 127V$$

2.2 Ligações Estrela e Triângulo

Tanto o gerador como a carga trifásica podem ser ligados em estrela ou triângulo, desta forma existem quatro conexões possíveis entre eles: Y-Y, Y-Δ, Δ-Y e Δ-Δ.

Ligação triângulo ou delta:

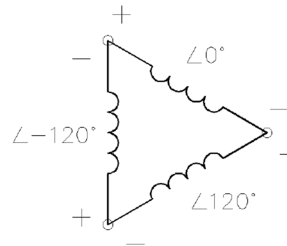


Figura 5 – Ligação triângulo ou delta.

Neste tipo de conexão as tensões de linha são as mesmas das fases:

$$V_L = V_F$$

Já as correntes têm as seguintes relações na ligação triângulo:

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_F$$

Ligação estrela ou Y:

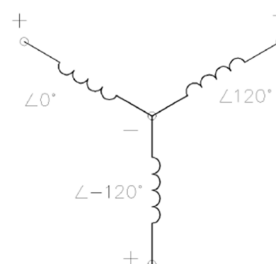


Figura 6 – Ligação estrela ou Y.

Na ligação estrela a relação entre as tensões é dada por:

$$V_L = \sqrt{3} \cdot V_F$$

E as correntes têm as mesmas amplitudes:

$$I_L = I_F$$

2.3 Sistema Trifásico Equilibrado

Um sistema trifásico pode ser equilibrado ou desequilibrado. Uma carga, em delta ou estrela, composta por impedâncias iguais, é um sistema equilibrado. Neste caso, um gerador também equilibrado irá fornecer um conjunto de três correntes, no qual serão defasadas entre si em 120°.

$$I_R(t) = I_p \cdot \text{Sen}(wt \pm \varphi) \quad [A]$$

$$I_S(t) = I_p \cdot \text{Sen}(wt - 120^\circ \pm \varphi) \quad [A]$$

$$I_T(t) = I_p \cdot \text{Sen}(wt - 240^\circ \pm \varphi) \quad [A]$$

Onde φ é o ângulo da impedância da carga.

Em um sistema trifásico equilibrado a soma das três correntes no tempo é zero, logo a corrente de neutro também é zero.

$$I_N(t) = I_R(t) + I_S(t) + I_T(t) = 0 \quad [A]$$

Sendo cargas monofásicas iguais conectadas ao sistema trifásico, a potência ativa total será a soma das potências ativas nas fases:

$$P_{3\phi} = P_R + P_S + P_T \quad [W]$$

Como o sistema é equilibrado têm-se:

$$P_R = P_S = P_T = V_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \varphi \quad [W]$$

E a potência ativa trifásica é dada por:

$$P_{3\phi} = 3 \cdot V_F \cdot I_F \cdot \cos \varphi \quad [W]$$

Se forem consideradas as tensões de linha a expressão da potência torna-se:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \quad [W]$$

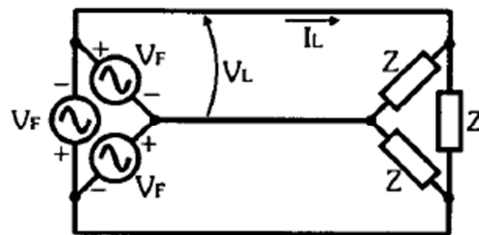
Usando-se o mesmo raciocínio a potência reativa e a aparente são dadas por:

$$Q_{3\phi} = 3 \cdot V_F \cdot I_F \cdot \text{sen} \varphi \quad \text{ou} \quad Q_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \text{sen} \varphi \quad [\text{VAr}]$$

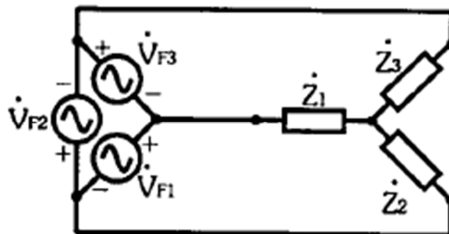
$$S_{3\phi} = 3 \cdot V_F \cdot I_F \quad \text{ou} \quad S_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \quad [\text{VA}]$$

EXERCÍCIOS

- Um aquecedor resistivo trifásico tem uma potência de 9kW quando ligado em triângulo. Sabendo-se que a tensão de linha é 380V, calcule a corrente de linha e o valor da resistência por fase.
- Um wattímetro ligado a uma carga trifásica, constituída somente de lâmpadas incandescentes, indica 13,2kW. A carga é equilibrada e ligada em triângulo com uma tensão de linha de 220V. Sabendo-se que em cada lâmpada circula 0,5A, qual o número total de lâmpadas da carga?
- Um gerador trifásico produz uma tensão de 127V em cada fase. A carga é equilibrada e as impedâncias são de 10Ω com fator de potência unitário. O sistema encontra-se na configuração Δ - Δ , conforme mostra a figura. Determine a tensão e a corrente de linha e as correntes de fase no gerador e na carga.



- Um gerador ligado em Δ possui tensão de fase de 380V. Este gerador deve alimentar uma carga trifásica equilibrada ligada em Y com potência de 3,5kVA. Determine a tensão e a corrente de linha.



- Um gerador ligado em Y de 220V de fase alimenta uma carga conectada em Y- 4 fios, equilibrada, formada por resistências de 25Ω . Determine a corrente e a tensão de linha e a potência ativa total na carga.
- Um motor trifásico pode ser modelado como uma carga em Y balanceada. Este motor tem uma potência de entrada de 5,6kW quando a tensão de linha é 380V e a corrente de linha é 10A. Determine o fator de potência deste motor.
- Calcule a corrente de linha necessária para alimentar uma carga trifásica de 30kW com fator de potência de 0,95 indutivo, sendo que esta está conectada a um circuito trifásico com tensão de linha de 440 V.

