



e-Learning tools for Electrical Engineering

Temática – Circuitos Eléctricos

Capítulo – Sistemas Trifásicos

CONCEITOS BÁSICOS

INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentam-se os conceitos básicos dos sistemas trifásicos. Apresenta-se o conceito genérico de sistema n-fásico e particulariza-se para o caso do sistema trifásico sinusoidal. Define-se sistema equilibrado e demonstram-se algumas das características deste tipo de sistemas. Mostra-se que um sistema trifásico pode ser entendido como um conjunto de 6 sistemas monofásicos e define-se o conceito de tensão simples e tensão composta.

- Pré-requisitos: [Grandezas Sinusoidais](#)
- Nivel : Bases de Engenharia Electrotécnica
- Duração estimada: 30 minutos
- Autor: [Maria José Resende](#)
- Realização : Sophie Labrique



Este projecto é financiado pela União Europeia no âmbito de uma acção Sócrates-Minerva. As informações nele contidas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores. A União Europeia declina toda a responsabilidade relativamente ao seu uso.

1. DEFINIÇÃO

Genericamente, um sistema n-fásico de grandezas periódicas, consiste num conjunto de funções $f_n(t)$ que são obtidas a partir da função $f(t)$ apenas por translações de dimensão $\frac{T}{n}$ no tempo, sendo T o período da função.

$$f_n(t) = f\left[t - (k-1)\frac{T}{n}\right] \quad \text{com } k = 1, \dots, n$$

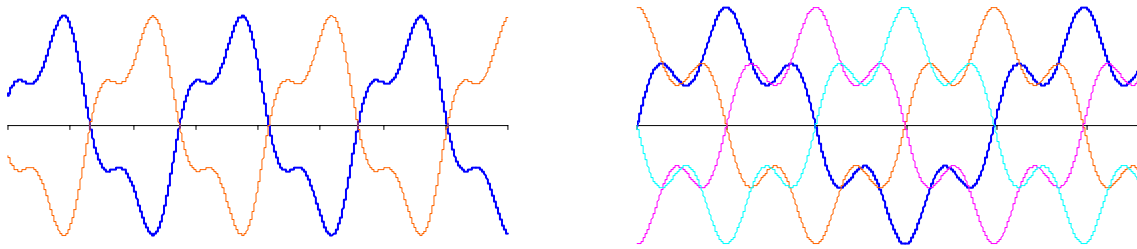


Figura 1 – (a) Sistema bifásico (b) Sistema quadrifásico

Os sistemas alternados sinusoidais são de particular importância na electrotecnia pois constituem a maior parte dos sistemas de produção e transporte de energia eléctrica.

Um sistema trifásico de tensões alternadas sinusoidais fica completamente especificado pela sua frequência angular, $\omega = 2\pi f$, ou pelo seu período, T , pela amplitude máxima, U_M , ou pelo valor eficaz dessa amplitude, U_{ef} , e pela fase na origem, ϕ . É descrito pelo conjunto de equações:

$$\begin{cases} u_1(t) = \sqrt{2} U_{ef} \sin(\omega t + \phi) \\ u_2(t) = \sqrt{2} U_{ef} \sin(\omega t + \phi - 2\frac{\pi}{3}) \\ u_3(t) = \sqrt{2} U_{ef} \sin(\omega t + \phi - 4\frac{\pi}{3}) \end{cases}$$

Em notação complexa o sistema de equações toma a forma:

$$\begin{cases} \bar{U}_1(t) = \sqrt{2} U_{ef} e^{j(\omega t + \phi)} \\ \bar{U}_2(t) = \sqrt{2} U_{ef} e^{j(\omega t + \phi - 2\frac{\pi}{3})} \\ \bar{U}_3(t) = \sqrt{2} U_{ef} e^{j(\omega t + \phi - 4\frac{\pi}{3})} \end{cases}$$

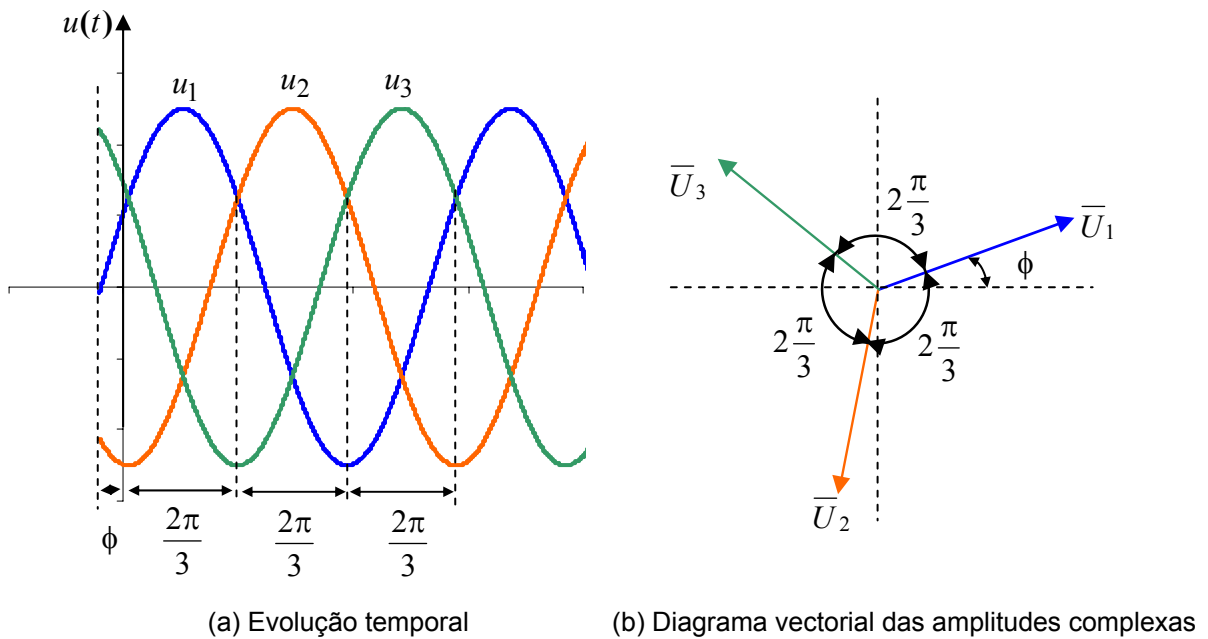


Figura 2 – Sistema trifásico de tensões alternadas sinusoidais

Cada uma das grandezas deste sistema é designada por **fase** e a sua sequência temporal determina a sua numeração.

A sequência de fases 123 é designada por **sequência positiva** e a sequência 132, por **sequência negativa**.

2. SISTEMA EQUILIBRADO

O sistema trifásico diz-se que é **equilibrado** porque são idênticas entre si as amplitude das 3 fases, assim como o desfaseamento entre elas. Quando tal não acontece, designa-se por sistema trifásico **desequilibrado**.

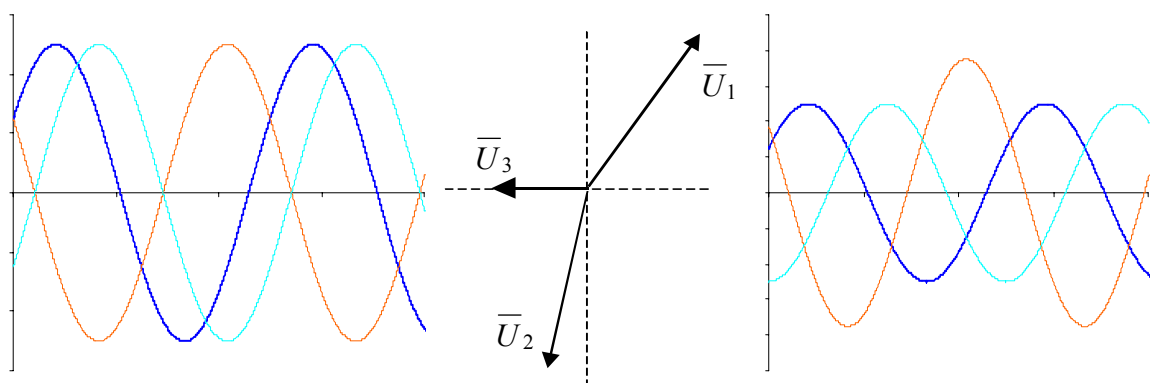


Figura 3 – Diagramas de exemplos de sistemas trifásicos desequilibrados

Uma das características dos sistemas trifásicos equilibrados é a soma das tensões das fases ser nula em qualquer instante.

$$u_1(t) + u_2(t) + u_3(t) = \sqrt{2} U_{ef} \left[\sin(\omega t + \phi) + \sin\left(\omega t + \phi - 2\frac{\pi}{3}\right) + \sin\left(\omega t + \phi - 4\frac{\pi}{3}\right) \right] = 0$$

No diagrama das amplitudes complexas também se pode verificar que num sistema equilibrado de tensões se tem:

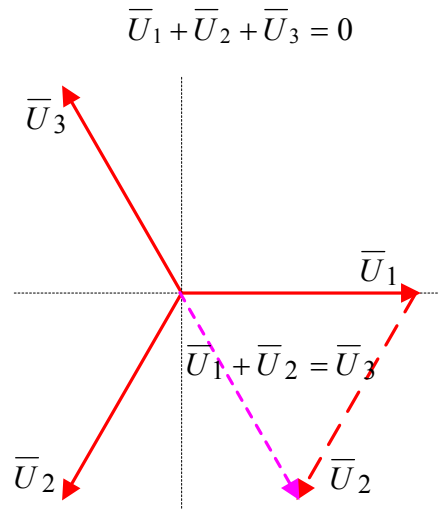


Figura 4 – Diagramas da soma das amplitudes complexas

3. TENSÕES SIMPLES E COMPOSTAS

Um sistema de tensões trifásico alternado sinusoidal pode ser entendido como um conjunto de 3 fontes monofásicas alternadas sinusoidais

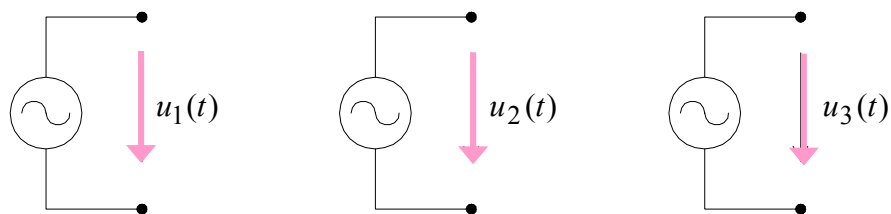


Figura 5 – 3 fontes monofásicas alternadas sinusoidais

O esquema da figura anterior pode ser redesenhado na forma esquematizada na figura seguinte:

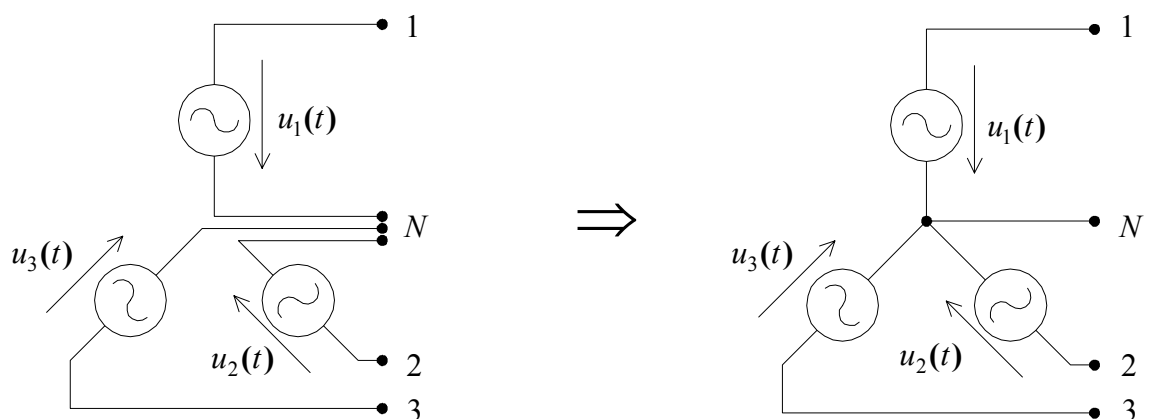


Figura 6 – Fonte trifásica alternada sinusoidal

Os condutores 1, 2 e 3 são designados por **condutores de fase** e o condutor N por **condutor de neutro**.

No entanto, aos terminais desta fonte não se têm, apenas, disponíveis 3 tensões alternadas sinusoidais de igual amplitude, como se verá seguidamente.

Admita-se a existência de 3 malhas fictícias tal como se representa na figura.

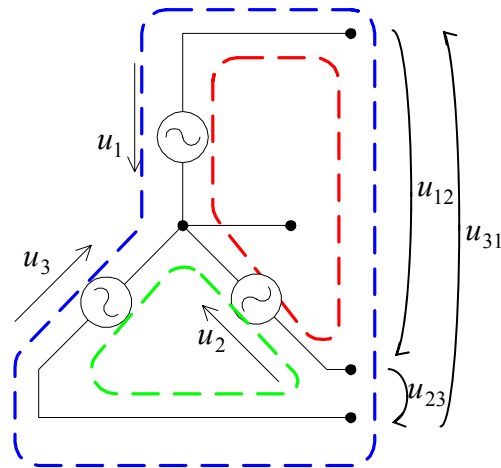


Figura 7 – Fonte trifásica alternada sinusoidal e malhas fictícias

- A circulação na malha vermelha conduz a $u_{12}(t) = u_1(t) - u_2(t)$
- A circulação na malha verde conduz a $u_{23}(t) = u_2(t) - u_3(t)$
- A circulação na malha azul conduz a $u_{31}(t) = u_3(t) - u_1(t)$

Substituindo as expressões de $u_1(t)$, $u_2(t)$ e $u_3(t)$, obtém-se:

$$\begin{cases} u_{12}(t) = \sqrt{2} \sqrt{3} U_{ef} \sin\left(\omega t + \phi + \frac{\pi}{6}\right) \\ u_{23}(t) = \sqrt{2} \sqrt{3} U_{ef} \sin\left(\omega t + \phi - 2\frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{6}\right) \\ u_{31}(t) = \sqrt{2} \sqrt{3} U_{ef} \sin\left(\omega t + \phi - 4\frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{6}\right) \end{cases}$$

As tensões entre os condutores de fase constituem um sistema trifásico equilibrado de tensões; têm uma amplitude $\sqrt{3}$ superior à tensão entre os condutores de fase e o neutro e estão avançadas $\frac{\pi}{6}$ relativamente a estas.

As tensões entre os condutores de fase, $u_{12}(t)$, $u_{23}(t)$ e $u_{31}(t)$, designam-se por **tensões compostas**, enquanto as tensões entre cada condutor de fase e o neutro, $u_1(t)$, $u_2(t)$ e $u_3(t)$, se designam por **tensões simples**.

Quando não existe o risco de se confundirem valores eficazes e valores máximos, designa-se o módulo de tensão simples por U_S e o de uma tensão composta por U_C . Num sistema trifásico equilibrado a relação entre estes dois valores é:

$$U_C = \sqrt{3} U_S$$

O diagrama vectorial das amplitudes complexas das tensões simples e compostas, encontra-se representado na Figura 8 onde, por simplicidade gráfica, se admitiu que a fase na origem da tensão simples $u_1(t)$ era nula, isto é $\phi = 0$.

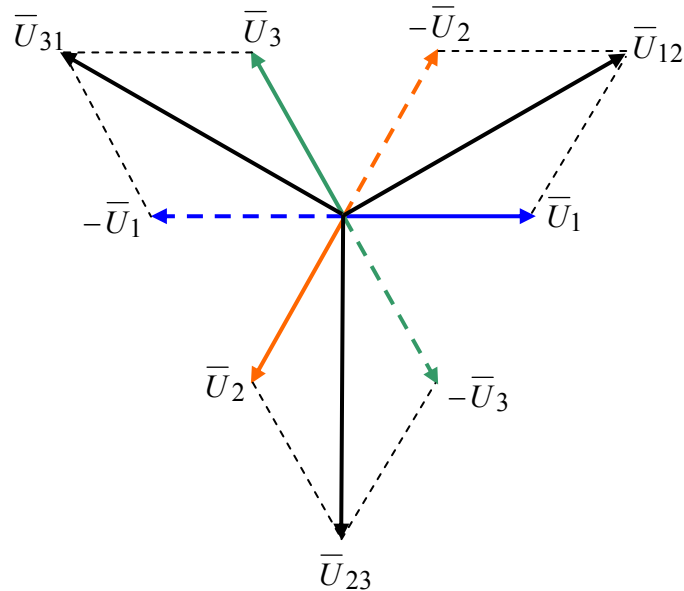


Figura 8 – Diagrama vectorial das tensões simples e compostas do sistema trifásico

Uma fonte de tensão trifásica equilibrada pode, então, ser entendida como um conjunto de 6 fontes monofásicas:

entre cada um dos condutores de fase e o neutro, existem 3 fontes monofásicas que apresentam um valor eficaz de U_{ef} (tensões simples)

e entre os condutores de fase, existem outras 3 fontes monofásicas que apresentam um valor eficaz de $\sqrt{3} U_{ef}$ (tensões compostas).

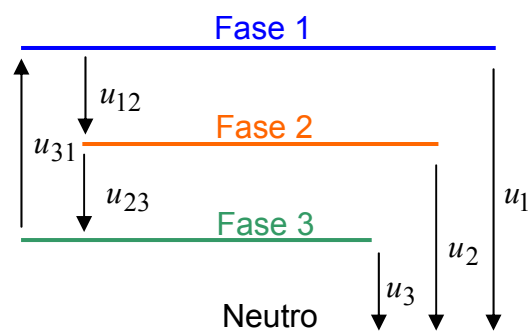


Figura 9 – Diagrama representativo das tensões simples e compostas do sistema trifásico

As tensões u_1 , u_2 e u_3 são tensões simples e as tensões u_{12} , u_{23} e u_{31} são tensões compostas; se as primeiras tiverem um valor eficaz de U_{ef} , então as segundas têm um valor eficaz de $\sqrt{3} U_{ef}$.