

Sisteme trifazate - Concepte de bază

Tematica: *Circuite electrice*

→ **Capitol:** *Sisteme trifazate*

→ **Secțiunea:**

Tip resursă: *Expunere* *Laborator virtual / Exercițiu* *CVR*

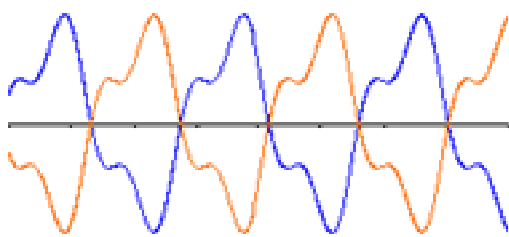
În acest capitol se vor prezenta **conceptele de bază** asupra sistemelor trifazate. Se va prezenta conceptul general al unui sistem n-fazat, care se va particulariza pentru un sistem trifazat sinusoidal. Se va defini **sistemul echilibrat** și se vor arăta câteva caracteristici ale acestui tip de sistem. Se va arăta că un sistem trifazat poate fi echivalat cu reunirea a 6 sisteme monofazate și se vor defini conceptele de **tensiuni de fază și de linie**.

- cunoștințe anterioare necesare: **Mărimi sinusoidale**
- nivel: Bazele ingineriei electrice
- durata estimată: 30 minute
- autor: **Maria José Resende**
- realizare: **Sophie Labrique**
- traducere: **Sergiu Ivanov**

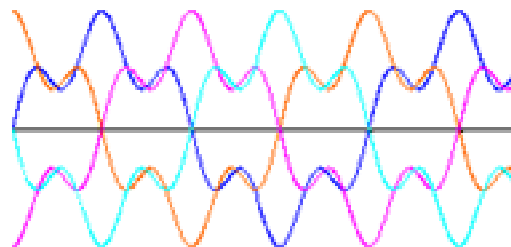
1. Definiție

În general, un sistem n-fazat de mărimi periodice este constituit din reunirea a n funcții $f_n(t)$, obținute plecând de la o aceeași funcție $f(t)$, prin translație temporală de $\frac{T}{n}$, în care T este perioada funcției:

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



(a) Sistem bifazat



(b) Sistem cuadrifazat

Figura 1 - Exemple de sisteme bifazic și cuadrifazic de mărimi nesinusoidale

Sistemele alternative sinusoidale au o importanță deosebită în electrotehnică, deoarece reprezintă cea mai mare parte a sistemelor de producție și transport a energiei electrice.

Un sistem trifazat de tensiuni alternative sinusoidale este complet definit prin pulsația $\omega = 2\pi f$, sau perioada T , prin amplitudine U_M , sau valoare eficace U_{ef} și prin faza inițială ϕ . El este descris de ecuațiile:

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

Cu notația complexă, sistemul de ecuații este de forma:

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

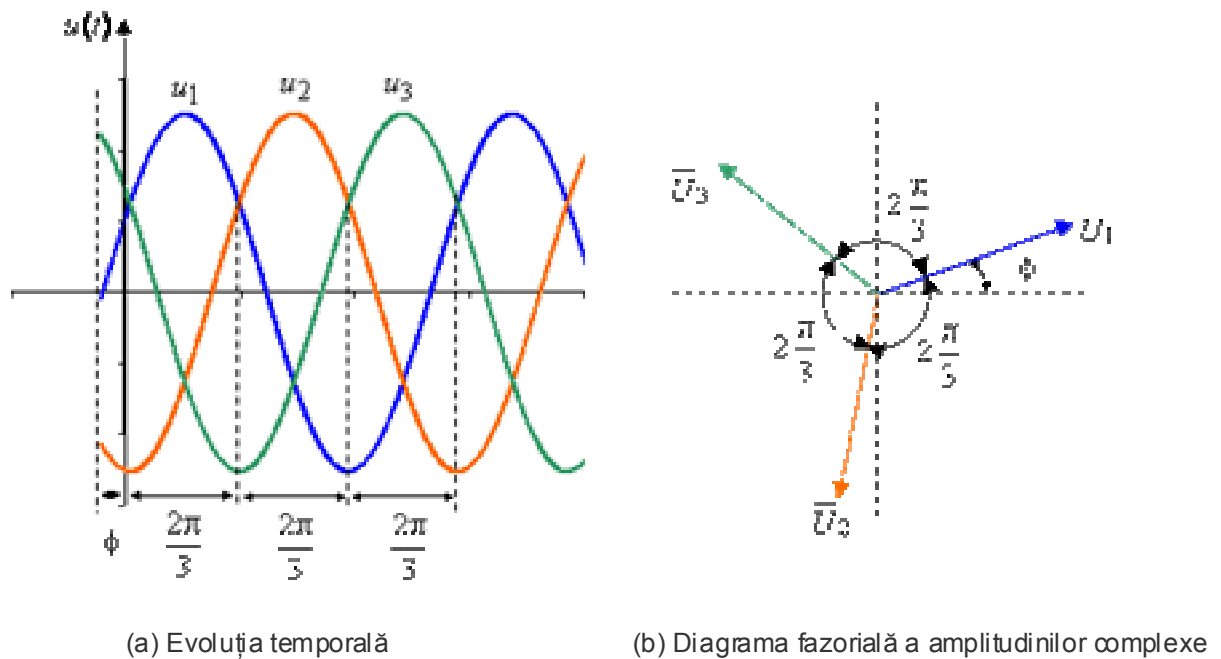


Figura 2 - Sistem trifazat de tensiuni alternative sinusoidale

Oricare din mărimile acestui sistem poate fi desemnată ca origine de fază, iar succesiunea temporală determină numerotarea sistemului.

Succesiunea de faze 123 desemnează un sistem de **succesiune directă**, iar succesiunea 132, un sistem de **succesiune inversă**.

2. Sistem echilibrat

Un sistem trifazat se numește **echilibrat**, când tensiunile celor trei faze sunt identice ca amplitudine și ca defazaj între ele. Când una din condiții nu este îndeplinită, sistemul trifazat este **dezechilibrat**.

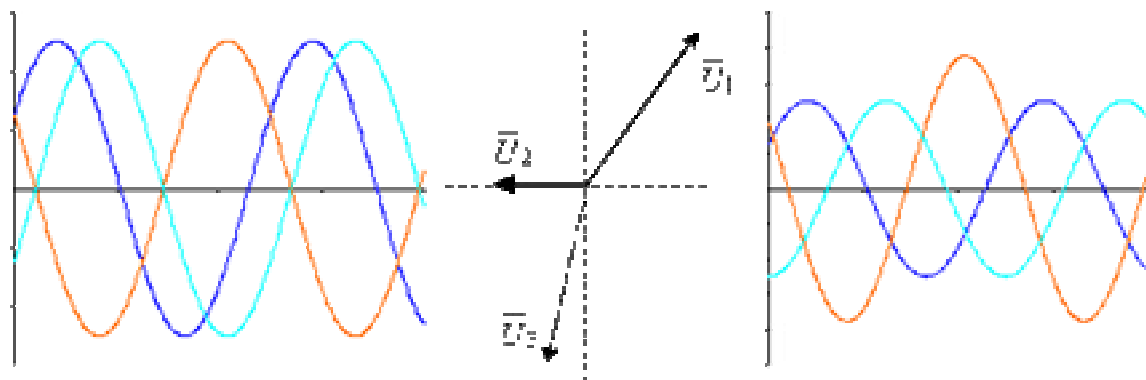


Figura 3 - Diagrame de exemple de sisteme trifazate dezechilibrate

Una din caracteristicile sistemelor trifazate echilibrate este faptul că, în orice moment de timp, suma valorilor instantanee ale tensiunilor de fază este nulă.

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

Cu ajutorul diagramei fazoriale (a amplitudinilor complexe), se poate verifica egalitatea:

$$\bar{U}_1 + \bar{U}_2 + \bar{U}_3 = 0$$

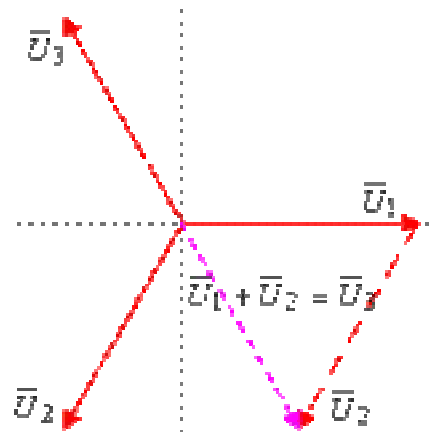


Figura 4 - Diagrama sumei amplitudinilor complexe

3. Tensiuni de fază și de linie

Un sistem trifazat de tensiuni alternative sinusoidale, poate fi privit ca reuniunea a 3 surse monofazate alternative sinusoidale

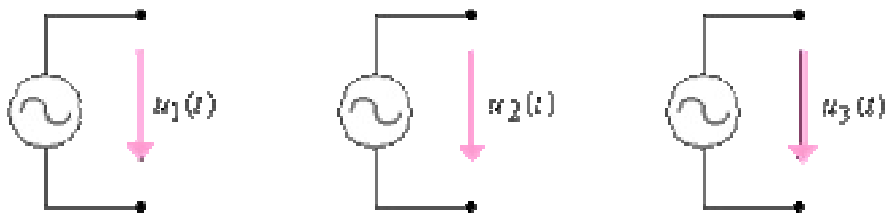


Figura 5 - 3 surse monofazate alternative sinusoidale

Schema din figura de mai sus se poate redesena sub forma simplificată din figura următoare:

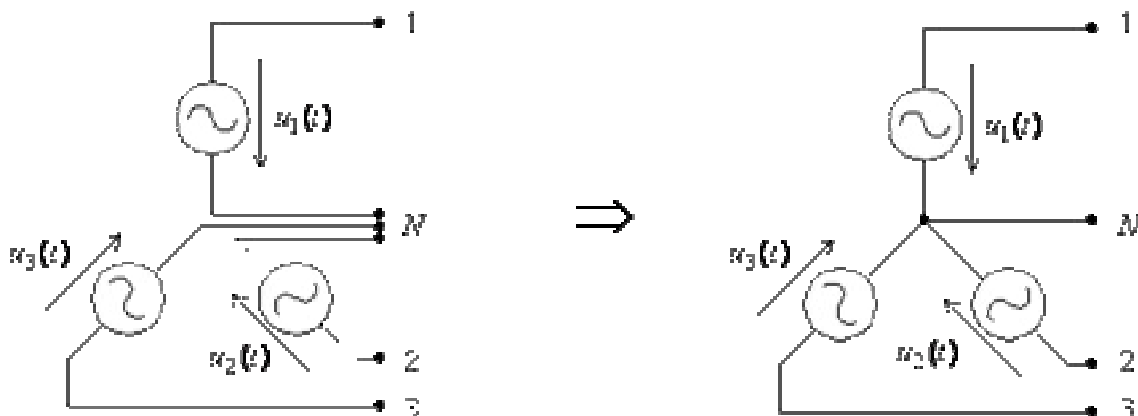


Figura 6 - Sursă trifazată alternativă sinusoidală

Conductoarele 1, 2 și 3 se numesc **conductoare de fază**, iar conductorul N se numește **conductor de nul**.

Așa cum se va arăta mai jos, între bornele acestei surse trifazate vor apărea 3 tensiuni alternative sinusoidale, egale ca amplitudine.

Se consideră cele trei ochiuri, așa cum se vede în figura de mai jos.

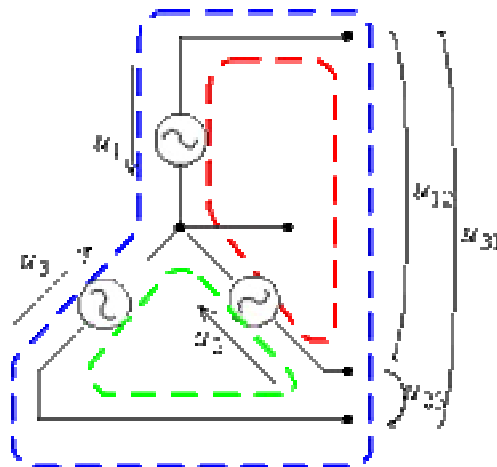


Figura 7 - Sursă trifazată alternativă sinusoidală și ochiurile corespunzătoare

- Aplicând Teorema a II-a a lui Kirchhoff pe ochiul roșu se obține $u_{12}(t) = u_1(t) - u_2(t)$
- Aplicând Teorema a II-a a lui Kirchhoff pe ochiul verde se obține $u_{23}(t) = u_2(t) - u_3(t)$
- Aplicând Teorema a II-a a lui Kirchhoff pe ochiul albastru se obține $u_{31}(t) = u_3(t) - u_1(t)$

Înlocuind expresiile tensiunilor $u_1(t)$, $u_2(t)$ și $u_3(t)$, rezultă:

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

Tensiunile dintre conductoarele de fază constituie un sistem trifazat de echilibrat de tensiuni; amplitudinea acestuia este de $\sqrt{3}$ mai mare decât a tensiunilor dintre faze și nul și este în avans cu $\frac{\pi}{6}$ față de acesta.

Aceste tensiuni dintre conductoarele de fază, $u_{12}(t)$, $u_{23}(t)$ și $u_{31}(t)$, se numesc **tensiuni de linie**, pe când tensiunile dintre conductoarele de fază și conductorul de nul, $u_1(t)$, $u_2(t)$ și $u_3(t)$, se numesc **tensiuni de fază**.

Dacă nu există riscul confuziei între valorile eficace și maxime, se definește modulul tensiunilor de fază U_f și al tensiunilor de linie U_l . Într-un sistem trifazat echilibrat, între cele două valori există relația:

$$U_l = \sqrt{3} U_f$$

Diagrama fazorială a amplitudinilor complexe a tensiunilor de fază și de linie este reprezentată în Figura 8, în care, pentru simplificarea grafică, s-a presupus că faza inițială a tensiunii de fază $u_1(t)$ este nulă, respectiv $\phi = 0$.

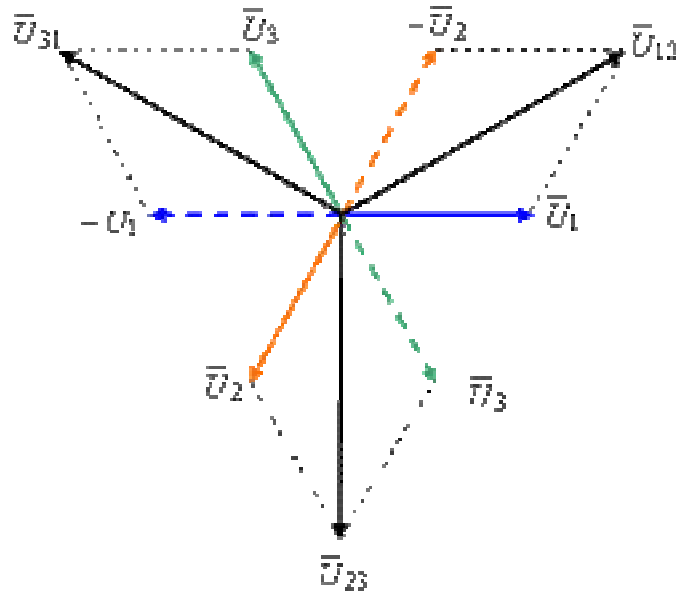


Figura 8 - Diagrama fazorială a tensiunilor de fază și de linie ale unui sistem trifazat

O sursă trifazată echilibrată de tensiune, poate fi privită ca o reuniune a 6 surse monofazate:

- între fiecare conductor de fază și nul, există 3 surse monofazate care au valoarea eficace U_f (tensiuni de fază);
- între fiecare două conductoare de fază, există alte trei surse monofazate care au valoarea eficace de $\sqrt{3} U_f$ (tensiuni de linie).

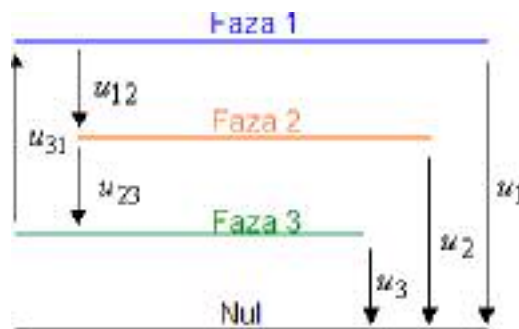


Figura 9 - Reprezentarea tensiunilor de fază și de linie ale unui sistem trifazat

Tensiunile U_1 , U_2 și U_3 sunt tensiuni de fază, iar tensiunile U_{12} , U_{23} și U_{13} sunt tensiuni de linie; primele au valoarea eficace U_f , celelalte au valoarea eficace $\sqrt{3} U_f$.

Exerciții

1. Într-un sistem duodecafazat (12 faze) echilibrat, cât este defazajul între două faze?

Răspuns >>

Într-un sistem echilibrat, fazele sunt echidistant defazate între ele, defazajul fiind deci de :

$$\frac{T}{12},$$

în care T este perioada funcțiilor.

2. Într-un sistem trifazat echilibrat de tensiuni, tensiunea fazei 1 este $u_1(t) = f_a(t)$, iar tensiunea fazei 2 este $u_2(t) = f_b(t)$; determinați expresia ce reprezintă tensiunea fazei 3.

Răspuns >>

Într-un sistem echilibrat, suma valorilor instantanee ale celor trei tensiuni este nulă. Rezultă că expresia tensiunii fazei 3 va fi dată de:

$$\begin{aligned}u_1(t) + u_2(t) + u_3(t) = 0 &\Leftrightarrow u_3(t) = -u_1(t) - u_2(t) \\ &\Leftrightarrow u_3(t) = -f_a(t) - f_b(t)\end{aligned}$$

3. Într-un sistem trifazat sinusoidal echilibrat de tensiuni, valoarea maximă a tensiunii între două conductoare de fază este de 500 V; care este valoarea eficace a tensiunii între fiecare conductor de fază și nul?

Răspuns >>

Dacă valoarea maximă a tensiunii între două faze este de 500 V, înseamnă că:

$$\sqrt{2} U_{1\varphi} = 500 \Rightarrow U_{1\varphi} = \frac{500}{\sqrt{2}}$$

deoarece tensiunea între două faze este o tensiune de linie, iar dacă mărimile sunt sinusoidale, există relația $U_M = \sqrt{2} U_{\varphi}$.

Valoarea eficace a tensiunii între un conductor de fază și nul (tensiune de fază) va fi:

$$U_{f\varphi} = \frac{U_{1\varphi}}{\sqrt{3}} \Rightarrow U_{f\varphi} = \frac{500}{\sqrt{2}\sqrt{3}}$$