CHAPITRE 5

Systèmes triphasés - Etude en régime équilibré

Dans ce chapitre on revient à des considérations plus électriques et moins magnétique pour commencer l'étude du système triphasé. Cette étude pourra servir lors du cours d'électro-technique en deuxième année.

5.1. Définition d'un système q-phasé

Un système q-phasé est un ensemble de q grandeurs sinusoïdales, de même nature (ex: courants, tensions, etc.) qui vérifient les propriétés suivantes :

- même valeur efficace ;
- même pulsation ;
- déphasées de $m\frac{2\pi}{q}$ par rapport à la « précédente »

q est l'ordre du système ; $q \in \mathbb{N}$

m ~~est~~ juste un paramètre (positif ou négatif) ; $m \in \mathbb{Z}$

On peut imaginer, sur ce principe, plein de systèmes q-phasés mais l'un d'entre eux est particulièrement utilisé !

le système triphasé direct !

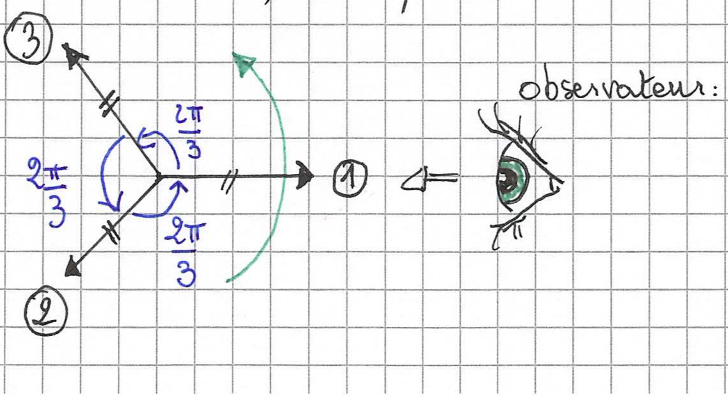
5.2 Système triphasé direct

5.2.1. Définition et caractéristiques

C'est un système q-phasé pour lequel

$$\boxed{q = 3 \; ; \; m = 1}$$

Si l'on représente les trois grandeurs à la façon d'un diagramme de Fresnel, on peut dessiner :



Le principe est de faire tourner ce diagramme au cours du temps, dans le sens trigonométrique. Ainsi, un observateur situé comme indiqué sur la figure verra ①, puis ②, puis ③ et encore ①, etc.

$m = 1$ & $q = 3 \Rightarrow$ déphasage $= 2\pi/3$.

② est en retard de $2\pi/3$ sur ①

③ est en retard de $2\pi/3$ sur ②, $4\pi/3$ sur ①

① est en retard de $2\pi/3$ sur ③ ... ou en avance de $\frac{4\pi}{3}$!

En pratique, dans notre étude, les grandeurs initialement considérées sont des tensions notées e_1, e_2 et e_3 ; on verra ce qu'il advient des intensités.

$$\boxed{\begin{aligned} e_1(t) &= E\cos(\omega t) \\ e_2(t) &= E\cos(\omega t - 2\pi/3) \\ e_3(t) &= E\cos(\omega t - 4\pi/3) \end{aligned}}$$

En utilisant les grandeurs complexes associées, on obtient :

$\underline{E_1} = E_{eff} = \frac{E}{\sqrt{2}}$ (on utilise les valeurs efficaces comme modules).

$\underline{E_2} = E_{eff}\, e^{-j\frac{2\pi}{3}}$

$\underline{E_3} = E_{eff}\, e^{-j\frac{4\pi}{3}}$

On considère ici le diagramme comme fixe ($\omega = 0$).

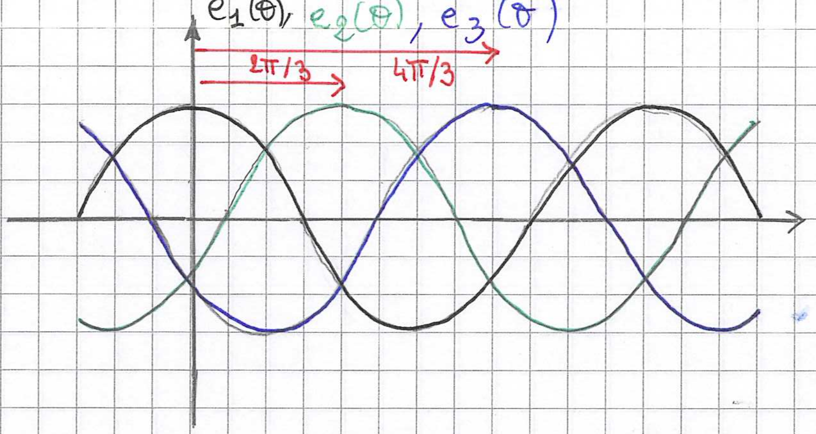
Les exponentielles complexes qui apparaissent sont les racines cubiques de 1. On a

$$\boxed{\underline{E_1} + \underline{E_2} + \underline{E_3} = 0}$$

ce qui signifie donc que

$$\boxed{e_1(t) + e_2(t) + e_3(t) = 0}$$

Chronogramme (ou plutôt e_i en fonction de θ)

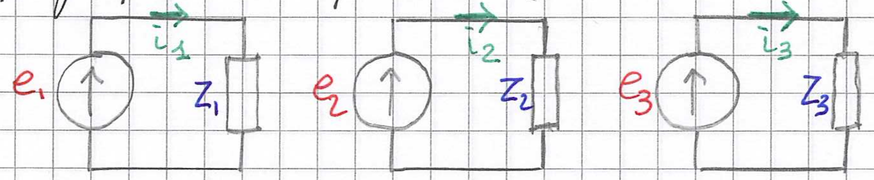


Exemple de réseau triphasé : le réseau « EDF ». C'est un réseau de fréquence 50 Hz et la valeur efficace des trois tensions en théorie 220 V (aujourd'hui, elle tend vers 230 V.).

Voir le TD n° 5 pour interpréter les fiches des prises de courant.

5.2.2. Notion de système équilibré

Les trois tensions e_1, e_2, e_3 du système triphasé sont évidemment utiles pour générer des courants des charges. Chaque tension e_k « voit » une impédance (physique ou équivalente) selon le schéma ci-dessous

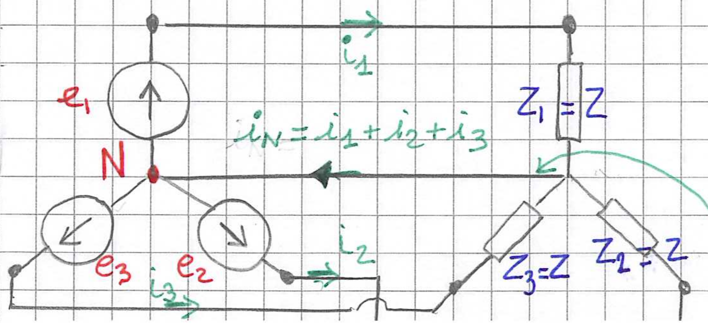


$Z_1 = Z_2 = Z_3 \Rightarrow$ Système équilibré (le seul étudié ici)

$Z_1 \neq Z_2 \neq Z_3 \Rightarrow$ Système déséquilibré

Il existe plusieurs façons de connecter les charges aux tensions. Nous étudions dans la suite deux montages classiques

5.3 Montage étoile



Le système et sa charge sont montés en étoile.

Symbole : Y ou ⅄

Les courants i_1, i_2 et i_3 sont appelés courants de ligne.

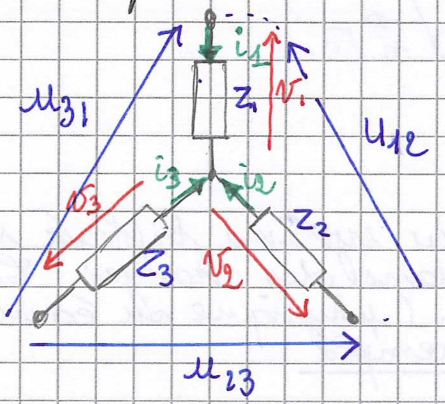
Les 3 charges voient passer, respectivement, ces trois courants de ligne.

N est le potentiel neutre (= 0)

On définit deux types de tension :

- la tension simple v_k (entre phase et neutre) ... aux bornes des impédances dans ce cas ;
- la tension composée u_{kl} (entre deux phases).

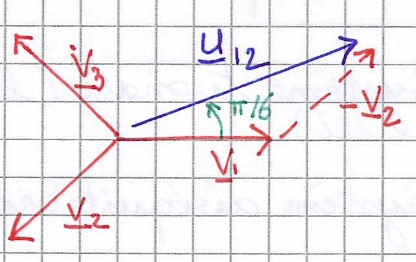
Du point de vue de la charge globale, on a :



On a dans ce cas :

$$\left.\begin{array}{l} v_1 = e_1 \\ v_2 = e_2 \\ v_3 = e_3 \end{array}\right\} \rightarrow \text{Système triphasé direct.}$$

Diagramme de Fresnel



$$\underline{U}_{12} = \underline{V}_1 - \underline{V}_2$$
$$= \underline{V}_1 - V_1 e^{-j\frac{2\pi}{3}}$$
$$= V_1 (1 - e^{-j\frac{2\pi}{3}})$$

$$\Rightarrow \underline{U}_{12} = \underline{V}_1 (1 - \cos 2\pi/3 + j \sin \frac{2\pi}{3})$$
$$= V_{1eff} (1 + \frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}) = V_{1eff} \sqrt{3} (\frac{\sqrt{3}}{2} + j \frac{1}{2})$$

$$\Rightarrow \underline{U}_{12} = V_{1eff} \sqrt{3}\, e^{j\frac{\pi}{6}} = U_{eff}\, e^{j\pi/6}$$

On peut bien sûr reproduire le même raisonnement sur les autres phases. Les intensité (& les u_{kl}) forment 1 système triphasé.

En résumé :

$$\boxed{\begin{array}{c} U_{eff} = V_{eff}\sqrt{3} \\ u_{kl} \text{ en avance de } \frac{\pi}{6} \text{ sur } v_k \end{array}}$$

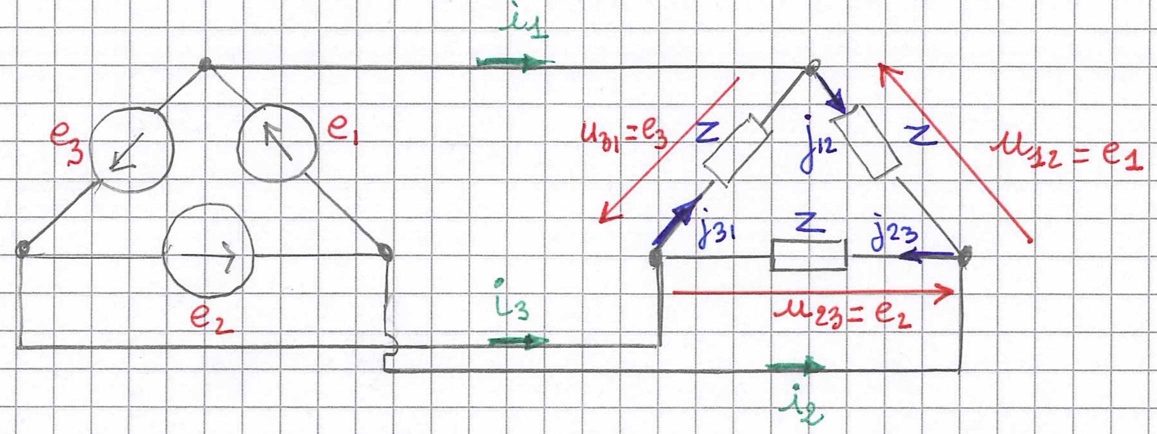
Le montage étoile nécessite a priori 4 fils (les 3 phases et le neutre)

Toutefois si le système est équilibré, le point de jonction des trois charges est au neutre ⇒

$$\boxed{\underline{I}_N = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0}$$

Le fil de neutre peut alors être enlevé. On parle de ligne à 3 fils.

5.4 Montage triangle



Les tensions et les charges sont montées en triangle.

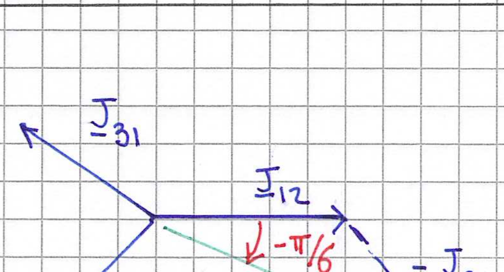
Symbole : D ou Δ.

Il s'agit toujours d'un montage à 3 fils mais par construction.

Les impédances voient les tensions composées à leurs bornes
Les tensions simples ne sont plus disponibles.

Les courants de ligne ne passent pas directement dans les charges mais se répartissent en courants de triangle j_{kl} en convention récepteur avec les tensions composées.

Diagramme de Fresnel des courants



$$\underline{I}_1 = \underline{J}_{12} - \underline{J}_{31}$$
$$= I_{12\,eff}\left(1 - e^{-j\frac{4\pi}{3}}\right)$$

Après calcul :

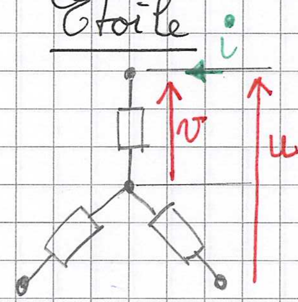
$$\underline{I}_1 = \sqrt{3}\,\underline{J}_{12}\, e^{-j\pi/6}$$

Les courants composés constituent eux-même un système triphasés de même que les courants de ligne. Le raisonnement tient donc pour toutes les phases et... en résumé :

$$\boxed{\begin{array}{l} I_{eff} = \sqrt{3}\, J_{eff} \\ i_k \text{ en retard de } \pi/6 \text{ sur } j_{kl} \end{array}}$$

Résumé des deux montages

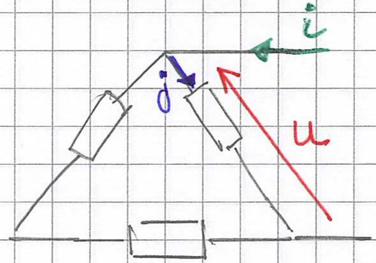
Etoile



$U_{eff} = V_{eff}\sqrt{3}$

u en avance de $\frac{\pi}{6}$ sur v

Triangle

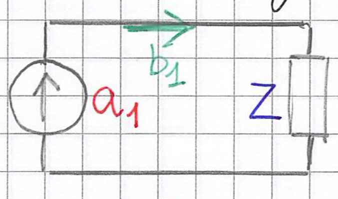


$I_{eff} = J_{eff}\sqrt{3}$

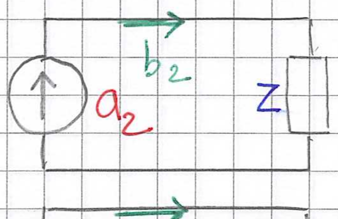
i retardé de $\frac{\pi}{6}$ par rapport à j

5.5. Aspects de puissance dans les systèmes triphasés

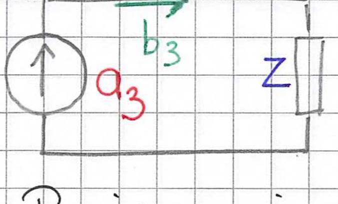
On rappelle qu'un système triphasé équilibré peut se voir comme 3 sources de tensions a_k générant 3 courants b_k dans 3 charges de même impédance Z.



$a_1 = A\cos(\omega t)$
$b_1 = B\cos(\omega t - \varphi)$ ← dépend de Z



$a_2 = A\cos(\omega t - 2\pi/3)$
$b_2 = B\cos(\omega t - \frac{2\pi}{3} - \varphi)$



$a_3 = A\cos(\omega t - 4\pi/3)$
$b_3 = B\cos(\omega t - 4\pi/3 - \varphi)$.

- Puissance instantanée dans chaque phase.

$$p_1 = a_1 b_1 = \frac{AB}{2}(\cos\varphi + \cos(2\omega t - \varphi))$$
$$p_2 = a_2 b_2 = \frac{AB}{2}(\cos\varphi + \cos(2\omega t - \varphi - 4\pi/3))$$
$$p_3 = a_3 b_3 = \frac{AB}{2}(\cos\varphi + \cos(2\omega t - \varphi - \frac{2\pi}{3}))$$