Réseaux triphasés



Lycée du Hainaut
Mathématiques spéciales TSI
2005/2006

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Plan

I. Introduction

II. Réseaux triphasés symétriques

- II.1. Définitions
- II.2. Tensions délivrées
  - II.2.1. Tensions simples et tensions composées
  - II.2.2. Représentations des tensions
- II.3. Connexion d'une charge
  - II.3.1. Couplage étoile
  - II.3.2. Couplage triangle

III. Réseaux triphasés non symétriques

- III.1. Définition
- III.2. Influence du déséquilibre
  - III.2.1. Avec conducteur de neutre : courant de neutre
  - III.2.2. Sans conducteur de neutre : potentiel de neutre

IV. Puissances en triphasé

- IV.1. Charge triphasée déséquilibrée (ou quelconque)
- IV.2. Charge triphasée équilibrée
- IV.4. Mesure des puissances
  - IV.4.1. Puissance active : le moyen le plus direct… Mais le moins pratique
  - IV.4.2. Puissance active : méthode des deux wattmètres (développement en TD)

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

I. Introduction
II. Réseaux triphasés symétriques
III. Réseaux triphasés non symétriques
IV. Puissances en triphasé

Choix pour l'alimentation d'une charge électrique industrielle

- **Source de tension continue**
  - Avantages
    - *Distribution par **2 conducteurs** (trolleybus) ou **un seul** (tramways, trains)*
    - *Distances d'isolement favorables (intéressant en transport sous-marin)*
  - Inconvénients majeurs
    - *Difficultés pour changer de niveau de tension (pas de transformateur)*
    - *Difficultés de coupure du courant*
    - *Corrosion galvanique des objets métalliques enterrés*
- **So** **ner**





rés
sée
limi
nte *les*

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Introduction (2/2)

I. Introduction
II. Réseaux triphasés symétriques
III. Réseaux triphasés non symétriques
IV. Puissances en triphasé

Choix pour l'alimentation d'une charge électrique industrielle (suite)

- Combiner plusieurs sources de tension sinusoïdale (alimentation polyphasée)
  - Avantages
    - *Multiples combinaisons des niveaux de tensions*
    - *Rapport poids/puissance très favorable*
    - *Pas de composante alternative de couple dans les machines électriques (puissance active rigoureusement constante)*
    - *Création aisée d'un champ tournant pour les machines tournantes*
  - Inconvénients majeurs
    - *Augmentation du nombre de conducteurs (appareillage disposant de plus de pôles)*

Utilisation du nombre minimum de phases : TROIS

- C'est le système triphasé

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Réseaux triphasés symétriques (1/2)

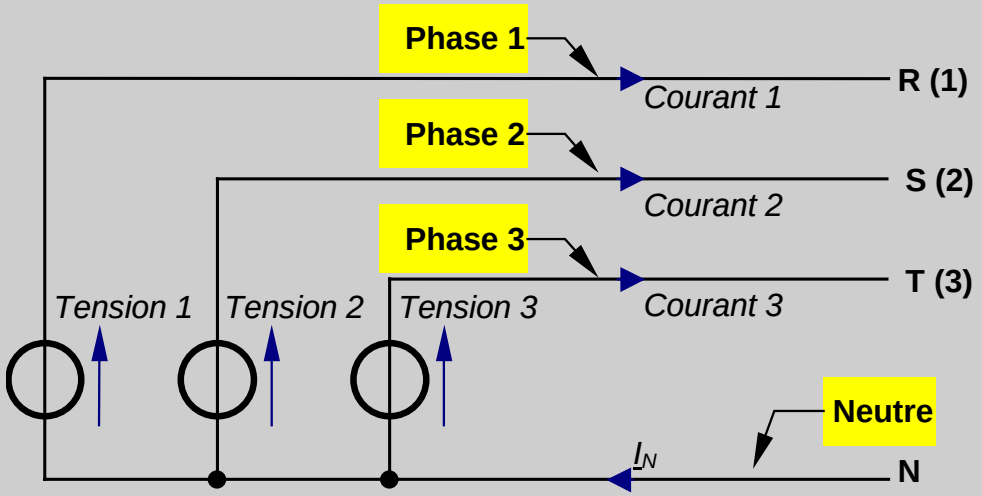
I. Introduction
II. Réseaux triphasés symétriques
II.1. Définitions (1/2)
III. Réseaux triphasés non symétriques
IV. Puissances en triphasé

Définitions

- **Système polyphasé à trois grandeurs**
  - 3 tensions sinusoïdales
  - 3 courants (pas toujours sinusoïdaux mais ils seront étudiés comme tels)
- **Système symétrique**
  - Les grandeurs (3 tensions ou 3 courants) ont même amplitude
  - Deux grandeurs successives sont équidéphasées (déphasage de $2\pi/3$)

Description d'un réseau triphasé

- **Trois conducteurs de ligne : les phases**
  - Phase 1 ou R
  - Phase 2 ou S
  - Phase 3 ou T
- **Interconnexion sur le point neutre N**



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Réseaux triphasés symétriques (2/2)

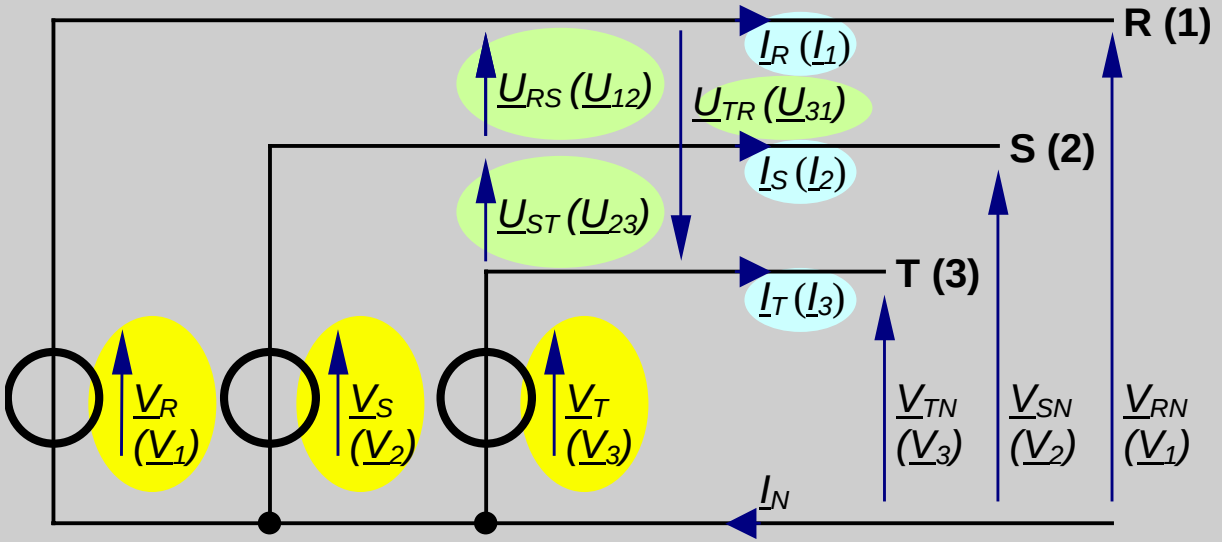
I. Introduction
II. Réseaux triphasés symétriques
II.1. Définitions (2/2)
III. Réseaux triphasés non symétriques
IV. Puissances en triphasé

Tensions

- **3 tensions simples**
  - Entre chacune des phases et le neutre
  - Notées v_R, v_S et v_T ou $\boldsymbol{v_1}$, $\boldsymbol{v_2}$ et $\boldsymbol{v_3}$
- **3 tensions composées**
  - Entre chaque phase prises deux à deux
  - Notées u_{RS}, u_{ST} et u_{TR} ou $\boldsymbol{u_{12}}$, $\boldsymbol{u_{23}}$ et $\boldsymbol{u_{31}}$
- **6 tensions disponibles au total**

Courants dans la ligne

- i_1, i_2 et i_3.



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Expressions analytiques des tensions

I. Introduction
II. Réseaux triphasés symétriques
II.2. Tensions délivrées
III. Réseaux triphasés non symétriques
IV. Puissances en triphasé

Tensions simples : Expressions temporelles

$$v_1(t) = V\sqrt{2}\cos(\omega t)$$

$$v_2(t) = V\sqrt{2}\cos(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$

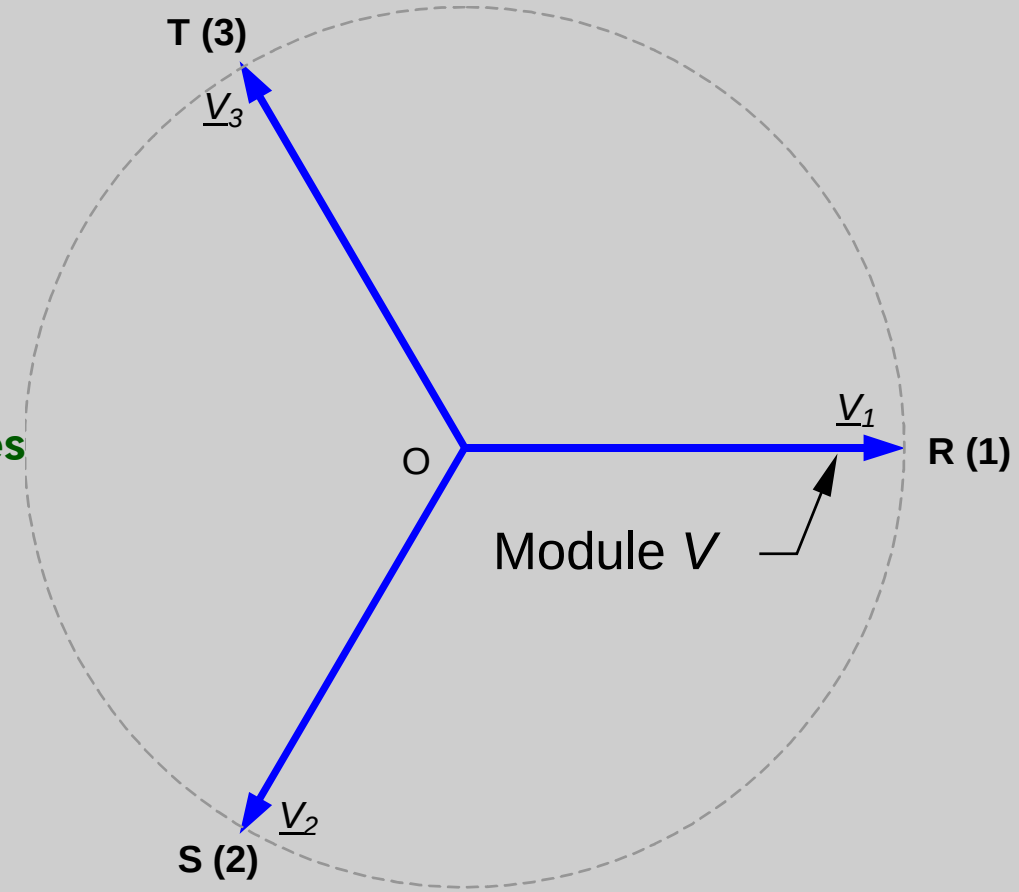
$$v_3(t) = V\sqrt{2}\cos(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$

Tensions simples : Expressions complexes

$$\underline{V}_1 = V\sqrt{2}e^{j\omega t}$$

$$\underline{V}_2 = V\sqrt{2}e^{j(\omega t - \frac{2\pi}{3})}$$

$$\underline{V}_3 = V\sqrt{2}e^{j(\omega t - \frac{4\pi}{3})}$$



Remarque : À chaque instant la somme $v_1+v_2+v_3$ est nulle

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Expressions analytiques des tensions

I. Introduction
II. Réseaux triphasés symétriques
II.2. Tensions délivrées
III. Réseaux triphasés non symétriques
IV. Puissances en triphasé

Tensions composées : Expressions temporelles

$$u_{12}(t) = V\sqrt{2}\sqrt{3}\cos(\omega t + \frac{\pi}{6})$$

$$u_{23}(t) = V\sqrt{2}\sqrt{3}\cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

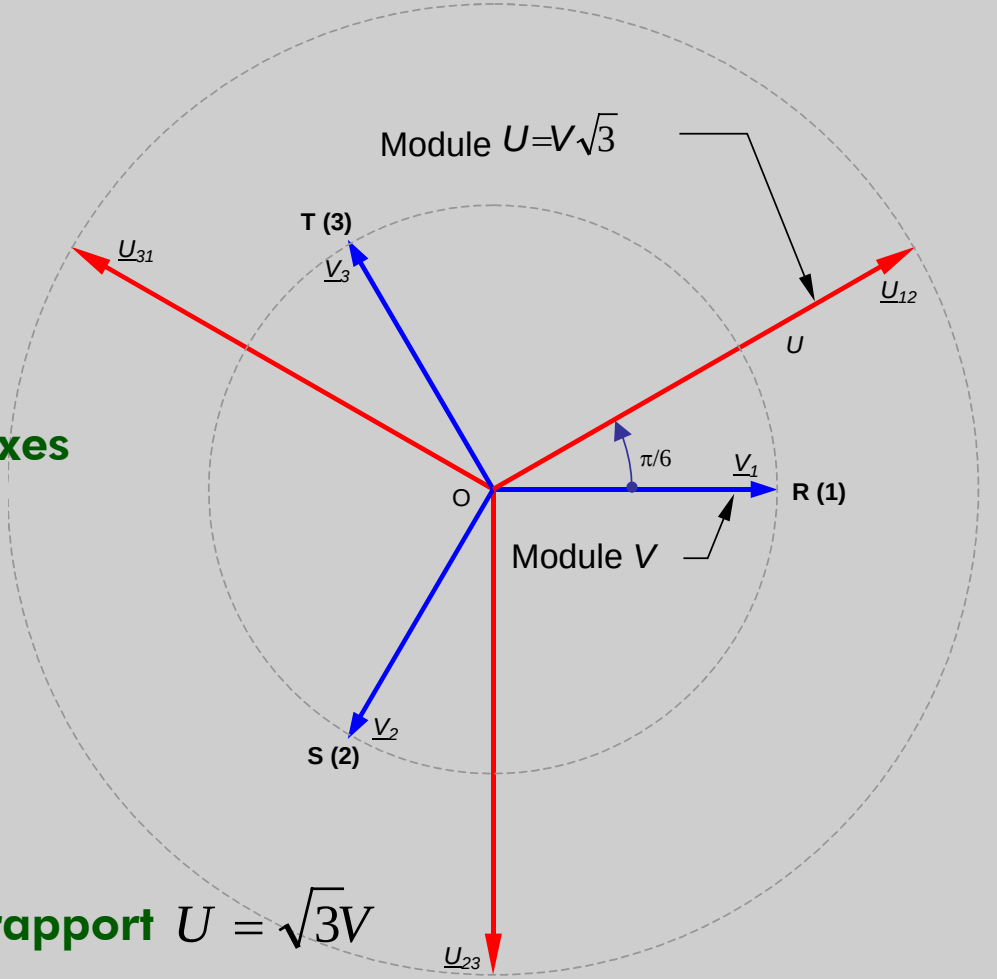
$$u_{31}(t) = V\sqrt{2}\sqrt{3}\cos(\omega t - \frac{7\pi}{6})$$

Tensions composées : Expressions complexes

$$\underline{U}_{12} = \underline{V}_1 - \underline{V}_2 = \underline{V}_1\sqrt{3}e^{j\frac{\pi}{6}}$$

$$\underline{U}_{23} = \underline{V}_2 - \underline{V}_3 = \underline{V}_2\sqrt{3}e^{j\frac{\pi}{6}}$$

$$\underline{U}_{31} = \underline{V}_3 - \underline{V}_1 = \underline{V}_3\sqrt{3}e^{j\frac{\pi}{6}}$$



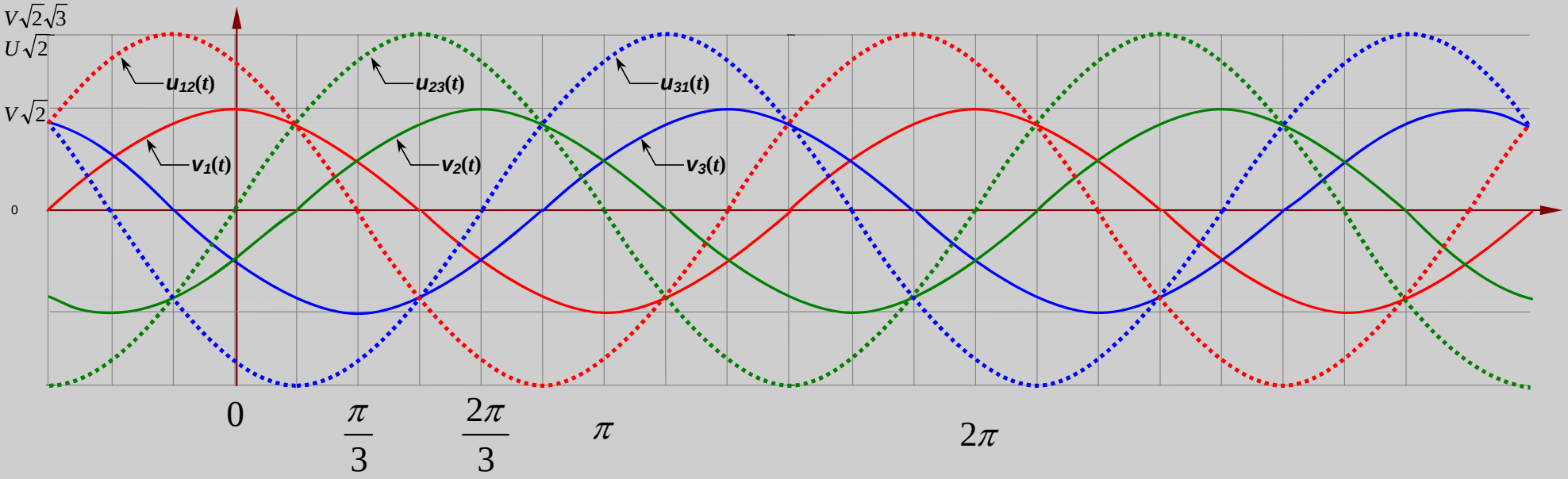
Tensions simples et composées : Un seul rapport $U = \sqrt{3}V$

Remarque : À chaque instant la somme $u_{12}+u_{23}+u_{31}$ est nulle

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Représentation temporelle

- **Représentation commode, c'est une fonction du temps…**
  - Des outils pratiques permettent de les visualiser (oscilloscopes)
- **Mais peu pratique pour décrire aisément l'organisation des grandeurs**
  - C'est long à dessiner !

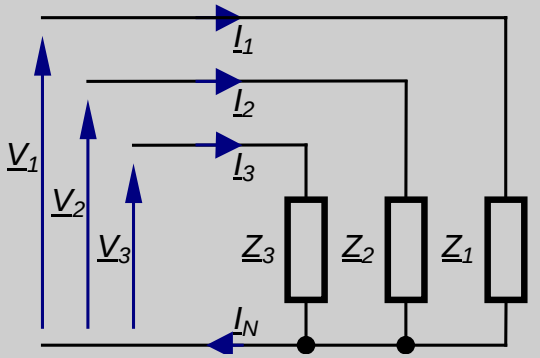


WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

I. Introduction
II. Réseaux triphasés symétriques
II.3. Connexion d'une charge
III. Réseaux triphasés non symétriques
IV. Puissances en triphasé

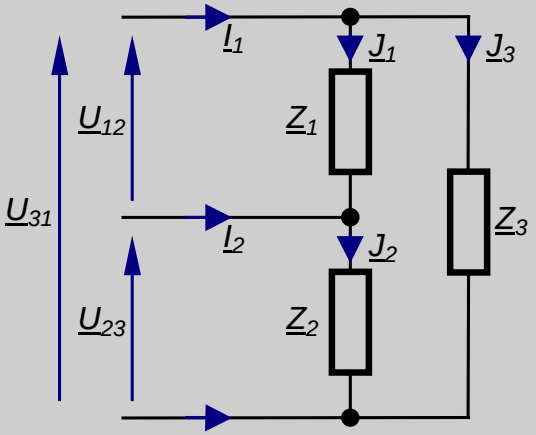
Couplage étoile

- Chaque dipôle est soumis à *V*
- Dipôles interconnectés autour d'un point
- C'est l'origine de la notation Y



Couplage triangle

- Chaque dipôle est soumis à *U*
- Dipôles interconnectés cycliquement
- C'est l'origine de la notation Δ ou D

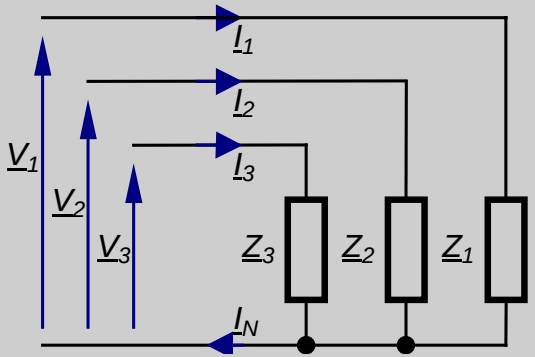


WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

La charge couplée en étoile

I. Introduction
II. Réseaux triphasés symétriques
II.3. Connexion d'une charge (couplage étoile)
III. Réseaux triphasés non symétriques
IV. Puissances en triphasé

Schéma

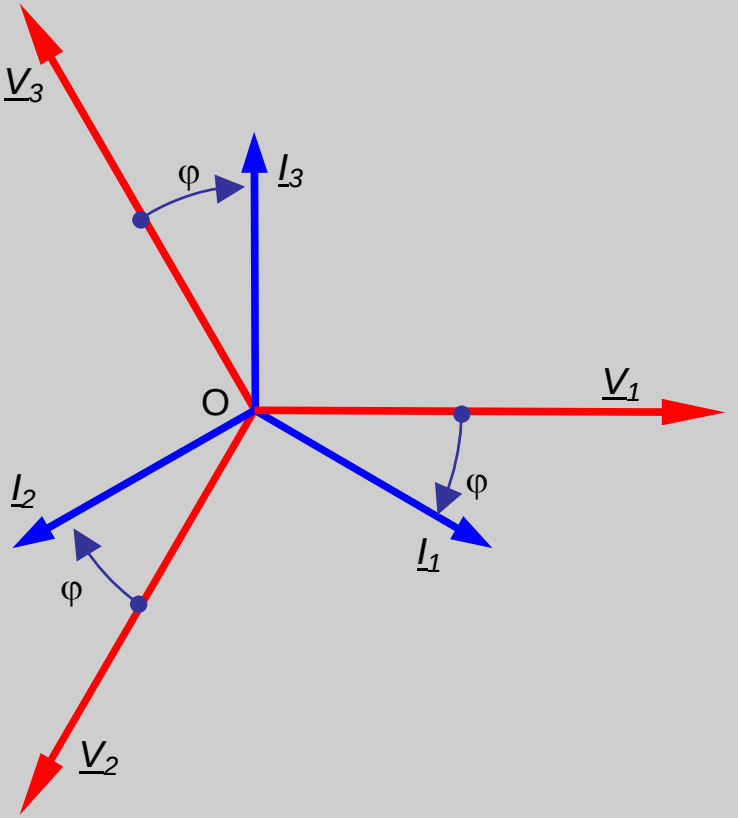


Impédances

$$\underline{Z} = [Z, \varphi]$$

Toutes identiques : charge équilibrée

Représentation de Fresnel



Expressions complexes

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{V}_1}{\underline{Z}} = \frac{V}{Z}\sqrt{2}e^{j(\omega t-\varphi)} = I\sqrt{2}e^{j(\omega t-\varphi)}$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{V}_2}{\underline{Z}} = \frac{V}{Z}\sqrt{2}e^{j(\omega t-\varphi-\frac{2\pi}{3})} = I\sqrt{2}e^{j(\omega t-\varphi-\frac{2\pi}{3})}$$

$$\underline{I}_3 = \frac{\underline{V}_3}{\underline{Z}} = \frac{V}{Z}\sqrt{2}e^{j(\omega t-\varphi-\frac{4\pi}{3})} = I\sqrt{2}e^{j(\omega t-\varphi-\frac{4\pi}{3})}$$

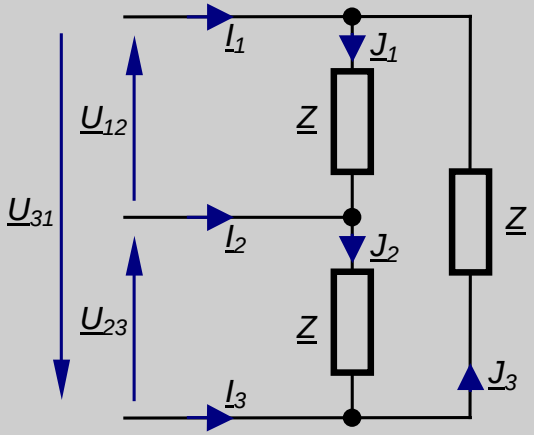
La somme des trois courants $i_1+i_2+i_3$ est nulle

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

La charge couplée en triangle

I. Introduction
II. Réseaux triphasés symétriques
II.3. Connexion d'une charge (couplage triangle)
III. Réseaux triphasés non symétriques
IV. Puissances en triphasé

Schéma

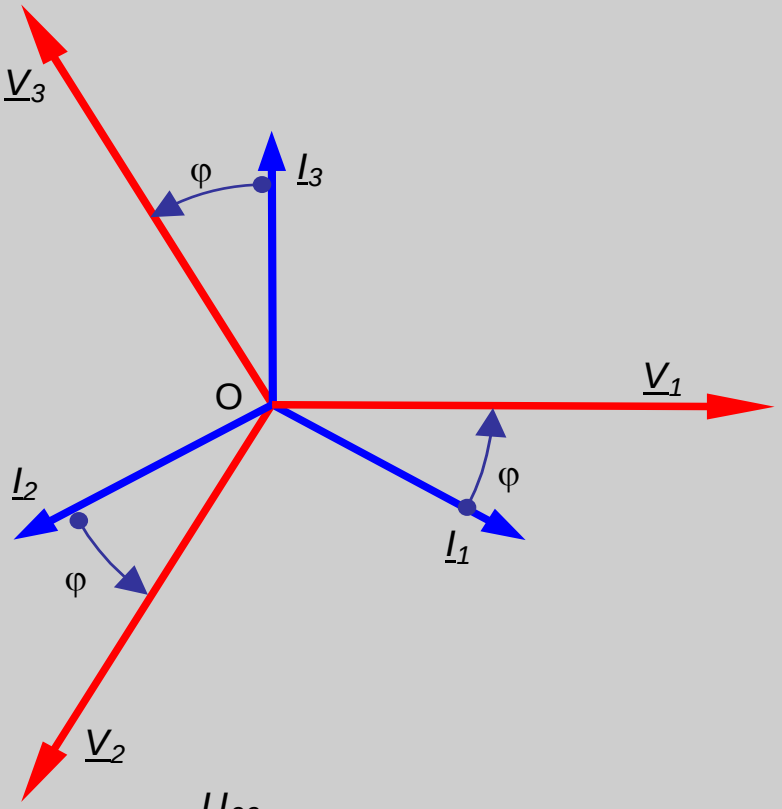


Impédances

$$\underline{Z} = [Z, \varphi]$$

Toutes identiques : charge équilibrée

Représentation de Fresnel



Expressions complexes

$$\underline{J}_1 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}} = \frac{U}{Z}\sqrt{2}e^{j(\omega t-\varphi+\frac{\pi}{6})} = J\sqrt{2}e^{j(\omega t-\varphi+\frac{\pi}{6})}$$

$$\underline{J}_2 = \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}} = \frac{U}{Z}\sqrt{2}e^{j(\omega t-\varphi-\frac{\pi}{2})} = J\sqrt{2}e^{j(\omega t-\varphi-\frac{\pi}{2})}$$

$$\underline{J}_3 = \frac{\underline{U}_3}{\underline{Z}} = \frac{U}{Z}\sqrt{2}e^{j(\omega t-\varphi-\frac{7\pi}{6})} = J\sqrt{2}e^{j(\omega t-\varphi-\frac{7\pi}{6})}$$

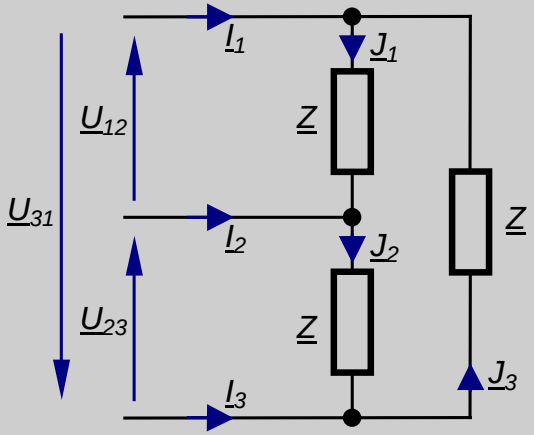
La somme des trois courants $i_1+i_2+i_3$ est nulle

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

La charge couplée en triangle

I. Introduction
II. Réseaux triphasés symétriques
II.3. Connexion d'une charge (couplage triangle)
III. Réseaux triphasés non symétriques
IV. Puissances en triphasé

Schéma



Relations entre les courants

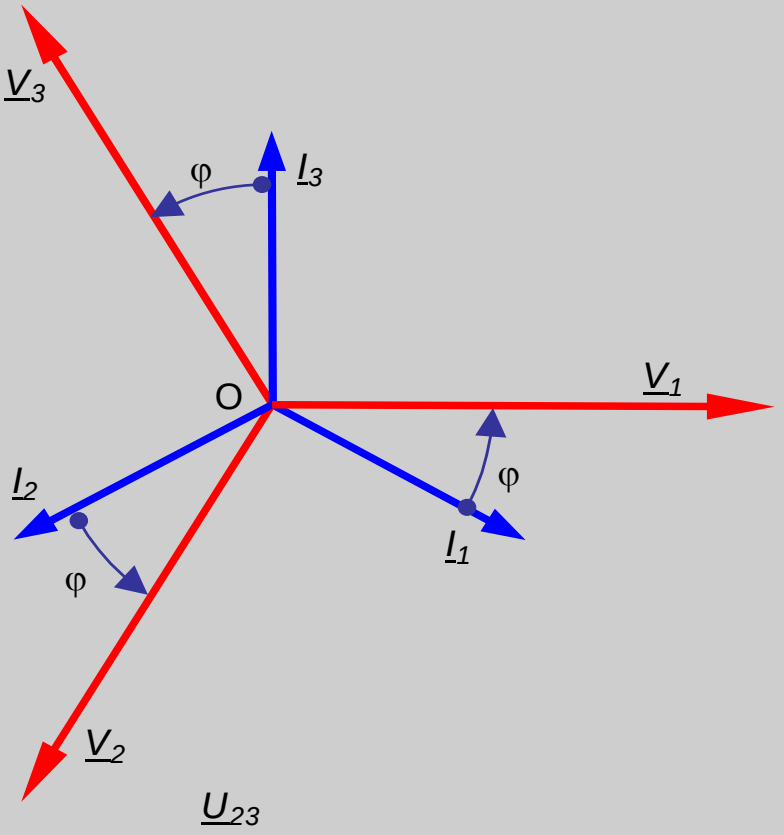
$$\underline{J}_1 = \underline{I}_1 + \underline{J}_3$$

$$\underline{J}_2 = \underline{I}_2 + \underline{J}_1$$

$$\underline{J}_3 = \underline{I}_3 + \underline{J}_2$$

Courant *I* et *J* : Un seul rapport $I = \sqrt{3}J$

Représentation de Fresnel



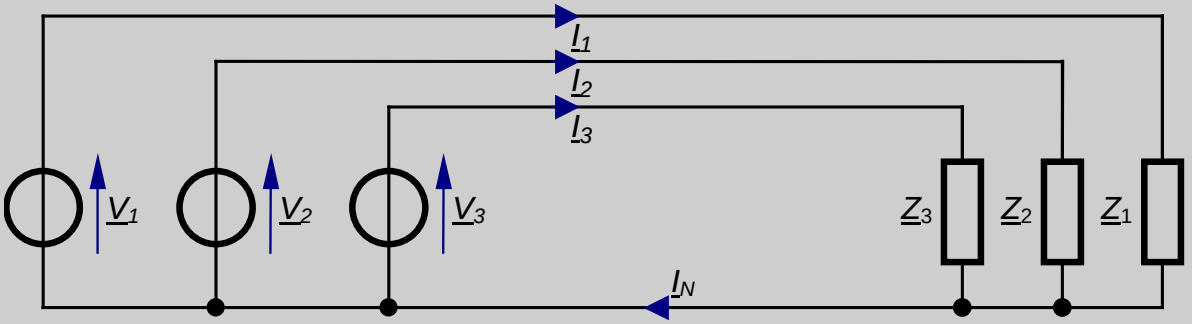
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Réseaux triphasés non symétriques (1/2)

I. Introduction
II. Réseaux triphasés symétriques
III. Réseaux triphasés non symétriques (avec cond. neutre)
IV. Puissances en triphasé

Le neutre de l'alimentation et de la charge sont reliés

- Le conducteur de neutre fixe le point neutre de la charge
- La charge est dissymétrique
  - Mais alimentation par un réseau de tension symétrique
- En conséquence le système de courant est dissymétrique
- Qu'advient-il de la somme des courants $i_1+i_2+i_3$ dans le conducteur neutre ?



$$\underline{I}_N = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = \frac{\underline{V}_1}{\underline{Z}_1} + \frac{\underline{V}_2}{\underline{Z}_2} + \frac{\underline{V}_3}{\underline{Z}_3} = \frac{V}{Z_1}\sqrt{2}e^{j(\omega t-\varphi_1)} + \frac{V}{Z_2}\sqrt{2}e^{j(\omega t-\varphi_2-\frac{2\pi}{3})} + \frac{V}{Z_3}\sqrt{2}e^{j(\omega t-\varphi_3-\frac{4\pi}{3})}$$

En conclusion, le courant dans le neutre n'est plus nul

- Cette propriété est utilisée dans les systèmes de protection des installations

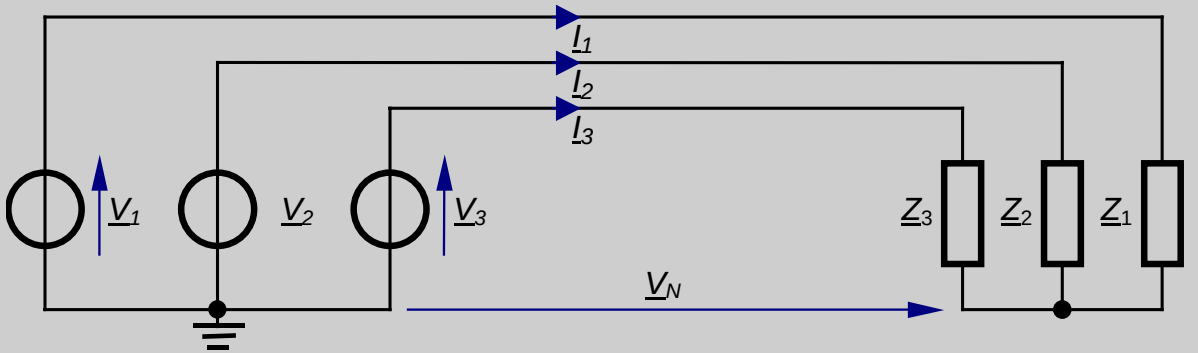
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Réseaux triphasés non symétriques (2/2)

I. Introduction
II. Réseaux triphasés symétriques
III. Réseaux triphasés non symétriques (sans cond. neutre)
IV. Puissances en triphasé

Pas de liaison entre les points neutres

- Le potentiel de neutre de la charge est libre
- La charge est dissymétrique
  - Le système des courants et des tensions est dissymétrique
- Aucun courant de neutre ne peut exister
  - $i_1+i_2+i_3 = 0$
- Le potentiel du neutre de la charge se décale par rapport à celui du réseau



Grâce au théorème de Millman : $\underline{V}_N = \dfrac{\underline{Y}_1\underline{V}_1 + \underline{Y}_2\underline{V}_2 + \underline{Y}_3\underline{V}_3}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3}$

En conclusion, la tension V_N entre le neutre de la source et celui de la charge est non nulle

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Puissances en triphasé (1/2)

Cas général : Puissances en régime sinusoïdal déséquilibré

- Puissance instantanée (th. de Boucherot) $p(t) = v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3$

$$p(t) = u_{12} j_1 + u_{23} j_2 + u_{31} j_3$$

- Puissance active $P = V_1 I_1 \cos\varphi_1 + V_2 I_2 \cos\varphi_2 + V_3 I_3 \cos\varphi_3$

- Puissance réactive $Q = V_1 I_1 \sin\varphi_1 + V_2 I_2 \sin\varphi_2 + V_3 I_3 \sin\varphi_3$

Dans le cas du régime équilibré

$$P = 3VI\cos\varphi \qquad Q = 3VI\sin\varphi$$

$$\underline{S} = P + jQ = 3VIe^{j\varphi} = [3VI, \varphi]$$

Expressions générales des puissances en régime équilibré

$$P = \sqrt{3}(\sqrt{3}V)I\cos\varphi = \sqrt{3}UI\cos\varphi$$

$$Q = \sqrt{3}(\sqrt{3}V)I\sin\varphi = \sqrt{3}UI\sin\varphi$$

$$S = \sqrt{3}(\sqrt{3}V)I = \sqrt{3}UI$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Puissance instantanée en régime sinusoïdal déséquilibré

- Charge équilibrée, $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$
- Tensions

$$v_1(t) = V\sqrt{2}\cos(\omega t) \quad v_2(t) = V\sqrt{2}\cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad v_3(t) = V\sqrt{2}\cos(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$

- Courants

$$i_1(t) = I\sqrt{2}\cos(\omega t - \varphi) \quad i_2(t) = I\sqrt{2}\cos(\omega t - \frac{2\pi}{3} - \varphi) \quad i_3(t) = I\sqrt{2}\cos(\omega t - \frac{4\pi}{3} - \varphi)$$

- Somme des puissances instantanées

$$p(t) = P = 3VI\cos\varphi$$

Conclusion

La puissance instantanée dans la charge est constante

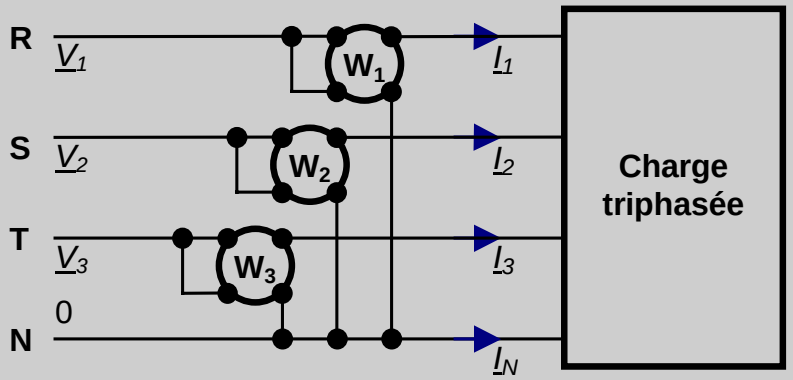
Conséquence principale

Dans les machines tournantes alimentées par un réseau triphasé sinusoïdal, il n'existe pas de composante de couple variable (moins de vibrations, favorable pour les paliers)

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Régime déséquilibré : cas général

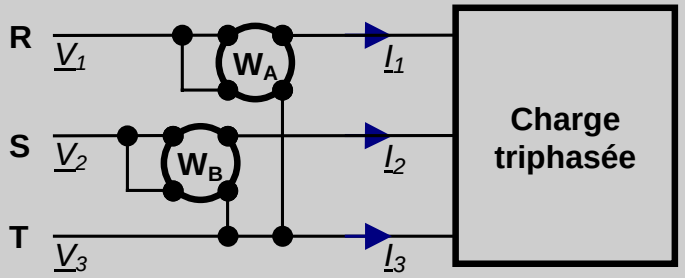
- Simple mais mobilise 3 wattmètres
- Pour la puissance réactive, remplacer les wattmètres par des var-mètres



$$P = P_1 + P_2 + P_3$$
$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Régime déséquilibré : Méthode des deux wattmètres (développement en TD)

- Utilise seulement deux wattmètres



$$P = P_A + P_B$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



Fin de « Réseaux triphasés »

Des questions ?