

# SYSTÈMES TRIPHASÉS DÉSÉQUILIBRÉS

1 - Systèmes triphasés.....	2
1.1 - Circuit triphasé équilibré.....	2
1.2 - Systèmes triphasés équilibrés.....	2
1.3 - Création d'un déséquilibre.....	2
2 - Composantes équilibrées dans un système déséquilibré.....	3
2.1 - Théorème de Fortescue.....	3
3 - Relations mathématiques entre les différentes composantes.....	3
3.1 - Relations entre les composantes d'un système équilibré.....	3
3.2 - Expression des composantes équilibrées en fonction des composantes déséquilibrées...	3
4 - Autres relations, remarques.....	4
4.1 - Neutre et composante homopolaire.....	4
4.2 - Relation entre tension, courant et impédance déséquilibrés.....	4
4.3 - Puissances dans les systèmes déséquilibrés.....	4
5 - Equilibrage d'un circuit déséquilibré.....	4
5.1 - Principe de l'équilibrage d'une charge déséquilibrée.....	4
5.2 - Compensation de la composante homopolaire.....	5
5.3 - Compensation de la composante indirecte.....	5



## 1 - SYSTEMES TRIPHASÉS.

### 1.1 - Circuit triphasé équilibré

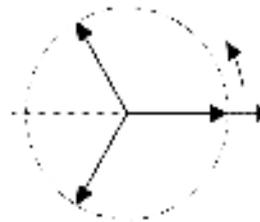
On dit qu'un circuit triphasé est équilibré si les tensions, les courants et les charges sont équilibrés.

Tensions (ou courants) équilibrés :

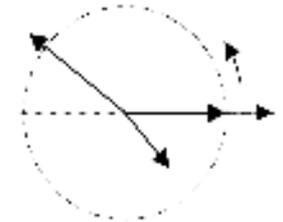
- sinusoïdes de même fréquence
- même valeur efficace
- déphasage entre elles de  $120^\circ$

Charge équilibrée : composée de 3 impédances identiques.

Équilibré



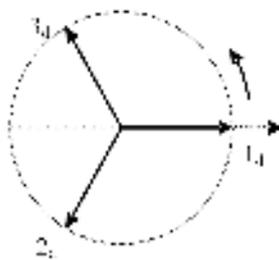
Déséquilibré :



### 1.2 - Systemes triphasés équilibrés

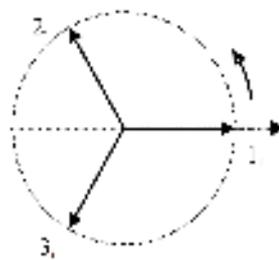
On définit 3 systemes triphasés équilibrés : le direct, l'indirect et l'homopolaire.

Direct



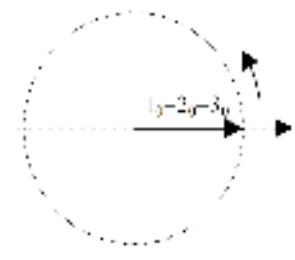
3 composantes retardées de  $120^\circ$

Indirect



3 composantes avancées de  $120^\circ$

Homopolaire



3 composantes **identiques**

*Le réseau équilibré de tensions triphasées est un système direct.*

### 1.3 - Création d'un déséquilibre

En général, les tensions sont équilibrées (garantie du fournisseur d'énergie).

Le déséquilibre apparaît lorsque la charge est déséquilibrée (mauvaise répartition des charges sur les phases, déconnexion d'une phase, court circuit etc...).

Ce déséquilibre de la charge va entraîner un déséquilibre des courants, pouvant provoquer la circulation de courant dans le neutre.

Mais surtout, à cause des impédances des lignes de transport, ce déséquilibre en courant créera un déséquilibre des tensions au niveau de la charge (cf TP essais de système 1ère année).

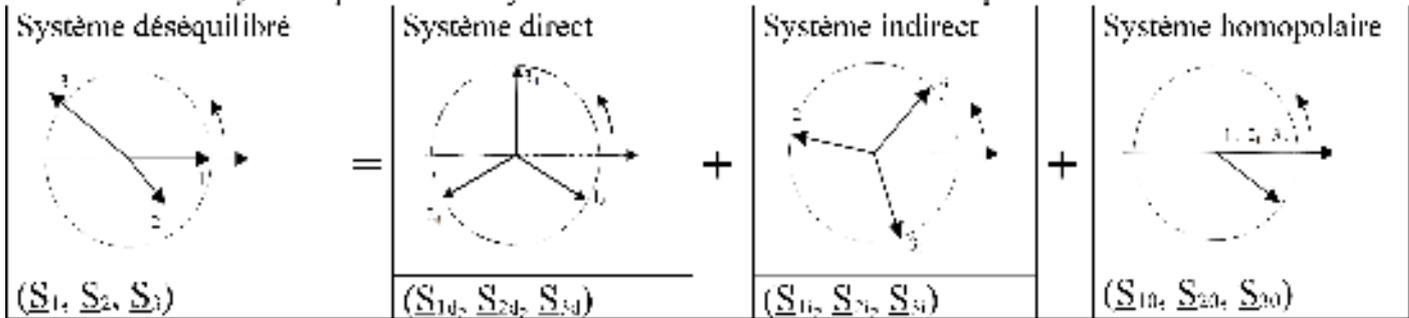


## 2 - COMPOSANTES ÉQUILIBRÉES DANS UN SYSTÈME DÉSÉQUILIBRÉ.

### 2.1 - Théorème de Fortescue

Enoncé : « un système déséquilibré est la somme d'un système direct, d'un système indirect et d'un système homopolaire. »

Ce système peut être un système de tensions ou de courants triphasés.



Ce qui se traduit mathématiquement par :

$$\text{Equation 1: } \begin{cases} S_1 = S_{1d} + S_{1i} + S_{10} \\ S_2 = S_{2d} + S_{2i} + S_{20} \\ S_3 = S_{3d} + S_{3i} + S_{30} \end{cases}$$

## 3 - RELATIONS MATHÉMATIQUES ENTRE LES DIFFÉRENTES COMPOSANTES.

### 3.1 - Relations entre les composantes d'un système équilibré.

En appelant  $a$  le nombre complexe  $a = e^{j120^\circ}$  on a les relations suivantes :

Dans un système direct $\begin{cases} S_{2d} = a^2 S_{1d} \\ S_{3d} = a S_{1d} \end{cases}$	pour un système indirect : $\begin{cases} S_{2i} = a S_{1i} \\ S_{3i} = a^2 S_{1i} \end{cases}$	pour un système homopolaire : $S_{10} = S_{20} = S_{30} = S_{30}$
--	--	--

On s'aperçoit donc que dans les systèmes équilibrés (direct, indirect et homopolaire) la composante de la phase 2 ou 3 peut être déduite de celle de la phase 1.

### 3.2 - Expression des composantes équilibrées en fonction des composantes déséquilibrées.

D'après 3.1, on va rechercher uniquement l'expression des composantes directe  $S_{1d}$ , indirecte  $S_{1i}$  et homopolaire  $S_{10}$  de la phase 1 en fonction des composantes déséquilibrées ( $S_1, S_2, S_3$ ).

En remplaçant les relations du 3.1 dans l'Équation 1, on obtient :

Équation 2:

$$\begin{cases} S_{10} = 1/3(S_1 + S_2 + S_3) \\ S_{1d} = 1/3(S_1 + a \times S_2 + a^2 \times S_3) \\ S_{1i} = 1/3(S_1 + a^2 \times S_2 + a \times S_3) \end{cases}$$

## 4 - AUTRES RELATIONS, REMARQUES.



#### 4.1 - Neutre et composante homopolaire.

Lorsqu'un système n'a pas de neutre (de point commun), il n'a pas de composante homopolaire.

➤ Exemple : dans un réseau 3P sans neutre, les courants de ligne n'ont pas de composante homopolaire.

Dans un système de courants déséquilibrés, on a  $I_N = I_1 + I_2 + I_3 = 3I_0$ .

**La composante homopolaire du courant est donc la seule à circuler dans le fil de neutre !**

#### 4.2 - Relation entre tension, courant et impédance déséquilibrés.

Ça ressemble à  $\underline{V} = \underline{Z} \times \underline{I}$ , c'est juste un petit peu plus compliqué :

$$\text{Équation 3} \quad \begin{cases} \underline{V}_{1d} = \underline{Z}_{10} \times \underline{I}_{1d} + \underline{Z}_{1i} \times \underline{I}_{1i} + \underline{Z}_{10} \times \underline{I}_{10} \\ \underline{V}_{1i} = \underline{Z}_{1d} \times \underline{I}_{1d} + \underline{Z}_{10} \times \underline{I}_{1i} + \underline{Z}_{1i} \times \underline{I}_{10} \\ \underline{V}_{10} = \underline{Z}_{1i} \times \underline{I}_{1d} + \underline{Z}_{1d} \times \underline{I}_{1i} + \underline{Z}_{10} \times \underline{I}_{10} \end{cases}$$

#### 4.3 - Puissances dans les systèmes déséquilibrés.

Chaque puissance (P, Q et S) est la somme des puissances transportées par les composantes directes, indirecte et homopolaire :  $P = P_d + P_i + P_0$ ,  $Q = Q_d + Q_i + Q_0$ ,  $S = S_d + S_i + S_0$

Dans un circuit équilibré, en plus de la puissance active, circule une puissance réactive qui oblige le fournisseur d'énergie à sur-dimensionner son réseau de distribution.

Dans un circuit déséquilibré circule en plus les puissances des composantes indirectes et homopolaires, la puissance apparente peut donc être encore plus éloignée de la puissance active directe.

## 5 - ÉQUILIBRAGE D'UN CIRCUIT DÉSÉQUILIBRÉ.

### 5.1 - Principe de l'équilibrage d'une charge déséquilibrée.

On se place dans le cas d'un déséquilibre des impédances créant un déséquilibre des courants arrivant dans la charge, mais on suppose que les tensions sont encore équilibrées.

On cherche à rééquilibrer les courants pour le réseau, sans modifier la charge.

Le principe du rééquilibrage (figure 1: ) est similaire à celui de la compensation d'énergie réactive : on va placer un compensateur (ou circuit de rééquilibrage) en parallèle avec la charge.

Ce compensateur fournira les composantes indirectes et homopolaires demandées par la charge, alors que le réseau fournira seulement les composantes directes.

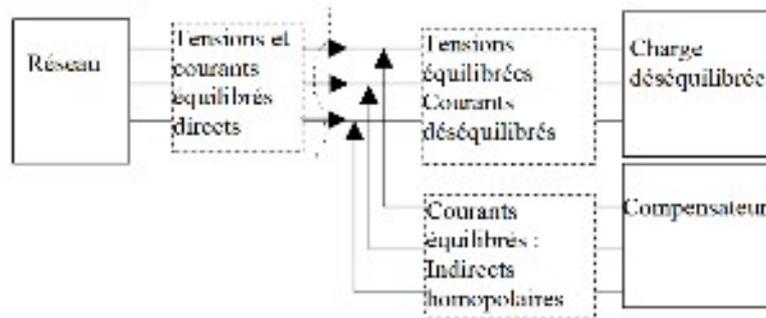


figure 1:

NB : Ce principe sera aussi utilisé pour compenser les harmoniques de courant arrivant sur les charges non linéaires.

## 5.2 - Compensation de la composante homopolaire.

La composante homopolaire du courant est la seule à circuler dans le neutre (voir §4.1)

On utilise un transformateur Yd (figure 2: ) dont le secondaire est en court circuit.

Le neutre de la charge est relié au neutre du primaire du transformateur mais pas à celui du réseau.

Au primaire, seule la composante homopolaire circule dans le neutre donc on a:  $I_{N1} + I_{N2} + I_{N3} = 3I_{N1}$

Les courants du primaire sont les images des courants du secondaire :

$$I_{1i} = m \times I_{11i}$$

Or au secondaire les courants sont égaux :  $I_{111} = I_{112} = I_{113}$

Donc finalement  $I_{1i} = m I_{111}$

figure 2:

**C'est donc le secondaire qui « fabrique » la composante homopolaire pour le primaire.**

## 5.3 - Compensation de la composante indirecte.

Le circuit de compensation est composé de 2 inductances pures et d'un condensateur, ou de 2 condensateurs et d'une inductance. Ces impédances sont couplées en étoile.

On note  $X_1$  la réactance branchée sur la phase 1,  $X_2$  la réactance sur la phase 2 et  $X_3$  la réactance sur la phase 3. (on rappelle que pour inductance  $X > 0$  alors que pour un condensateur  $X < 0$ ).

Calcul des réactances  $X_1$ ,  $X_2$  et  $X_3$  :

1. On mesure ou calcule  $V_{1d}$ .
2. On mesure ou calcule  $I_{1i}$
3. On calcule  $R_i + jX_i = -V_{1d} / I_{1i}$

$$X_1 = 2 X_i$$

$$X_2 = \sqrt{3} R_i - X_i$$

$$X_3 = -\sqrt{3} R_i - X_i$$

