

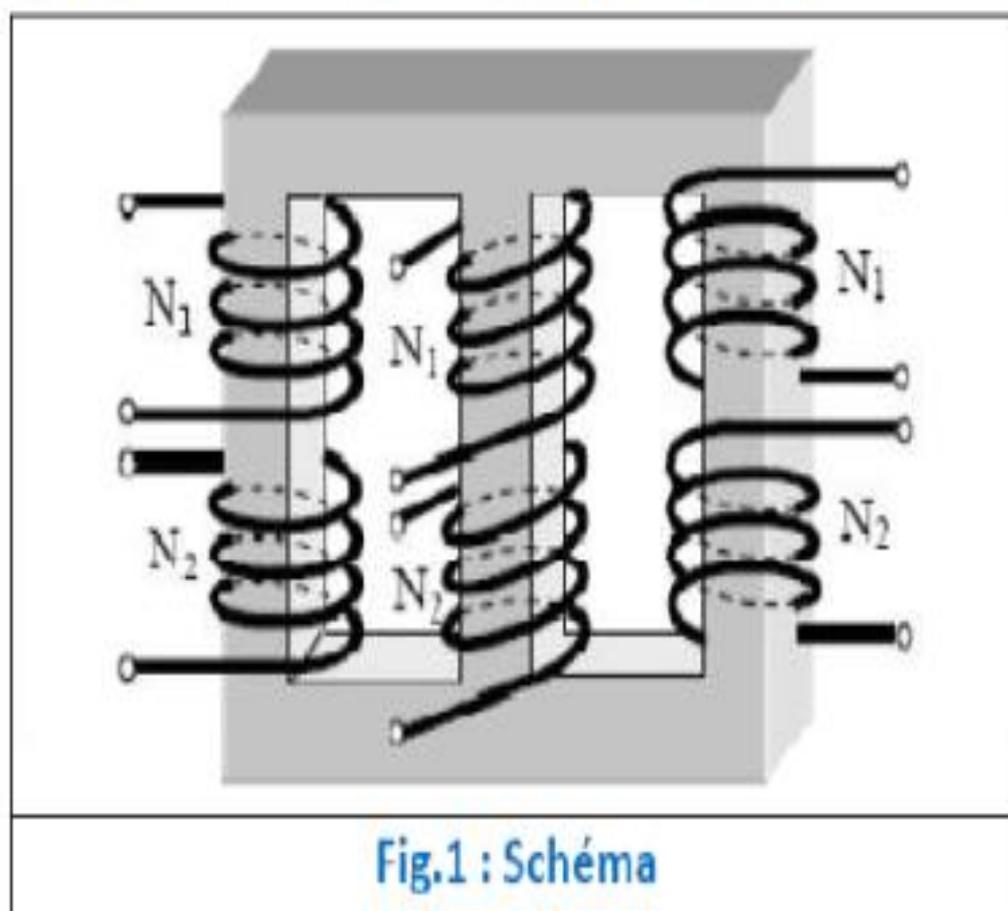
# **CHAPITRE 3:**

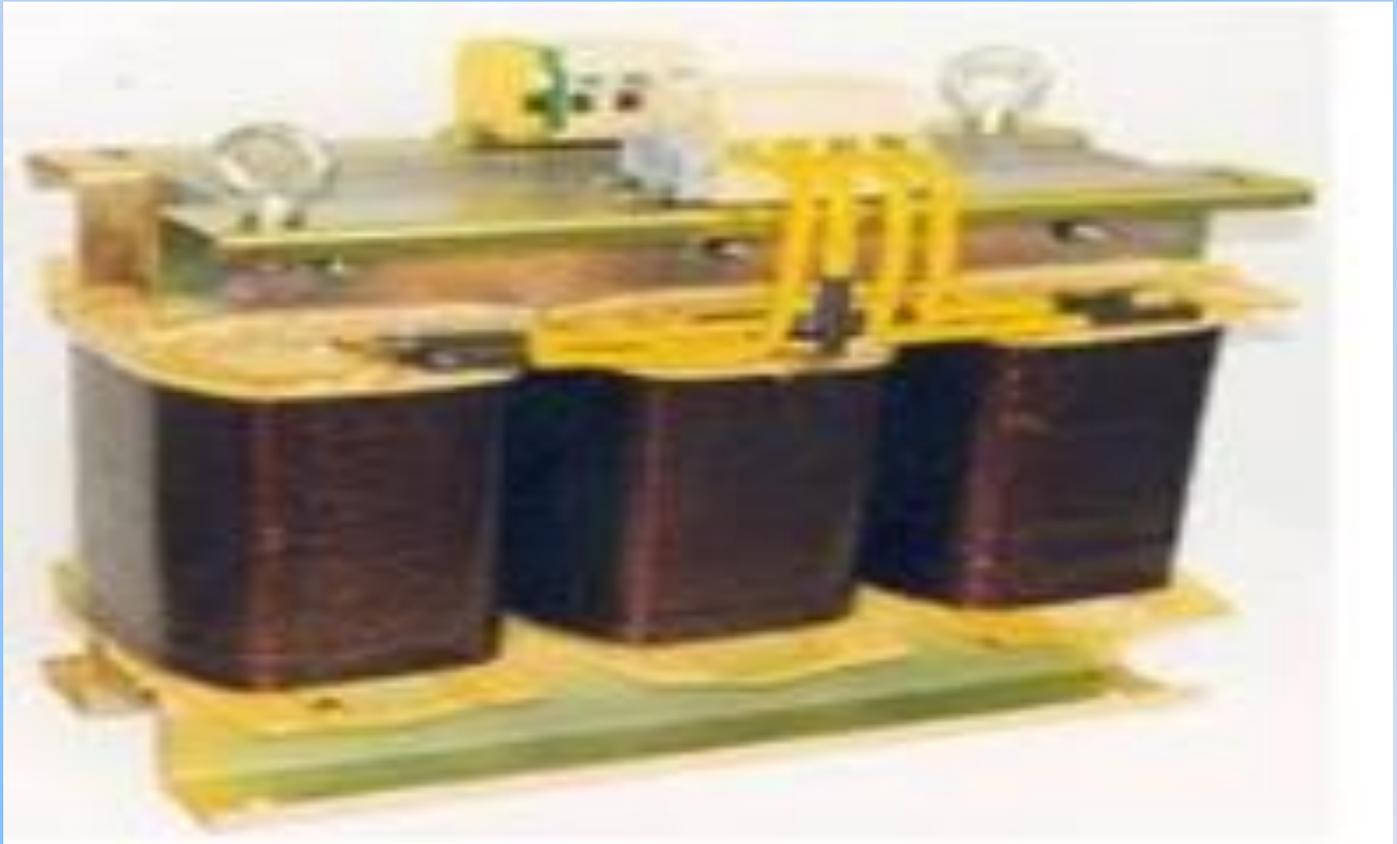
# **Les Transformateurs**

# **triphasés**

## 1. Généralités

Pour transformer l'amplitude des tensions d'un système triphasé, on utilise un transformateur triphasé. Celui-ci est composé de trois bobinages primaires et trois bobinages secondaires enroulés sur le même circuit magnétique (voir Fig.1 ci-dessous).



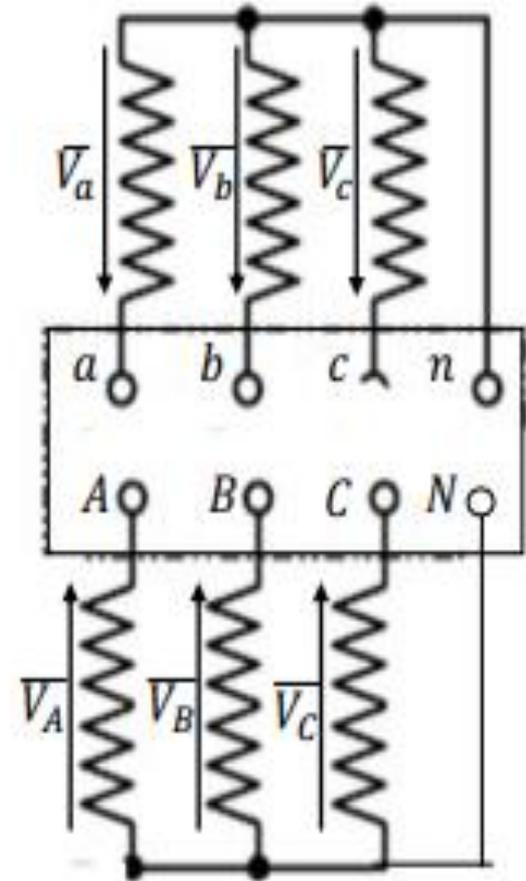


**Rapport de transformation :**

$$m = \frac{U_{abv}}{U_{AB}}$$

**Ex :** Transformateur étoile – étoile :  $Y_n y_n$

$$m = \frac{U_{abv}}{U_{AB}} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{av}}{\sqrt{3} \cdot V_A} = \frac{V_{av}}{V_A} = \frac{n_2}{n_1}$$



- **Remarque importante :** Le rapport de transformation ne dépend plus uniquement des nombres de spires mais aussi du mode de couplage des enroulements.
- **Notation conventionnelle des transformateurs triphasés :** Afin de caractériser d'une manière conventionnelle les couplages des transformateurs triphasés, on désigne la nature des couplages par des lettres désignant, en majuscule le primaire, et en minuscule le secondaire.

✓ **Attention** :  $n_a/n_A$  n'est pas toujours égal à  $m$

Le couplage est toujours indiqué par un symbole :

Y ou y : couplage étoile primaire ou secondaire

$\Delta$  ou d : couplage triangle primaire ou secondaire

Z ou z : couplage Zig-Zag primaire ou secondaire

## 2. Choix du couplage

Il s'effectuera à partir de nombreux critères, voici quelques règles générales :

### ✚ *Dimensionnement des enroulements*

- Aux très hautes tensions, on aura intérêt à choisir un couplage étoile pour que chaque

bobine n'ait à supporter que :  $V = \frac{U}{\sqrt{3}}$

- Pour les très forts courants, on préférera le montage triangle où chaque enroulement

n'est parcouru que par un courant d'intensité :  $J = \frac{I}{\sqrt{3}}$

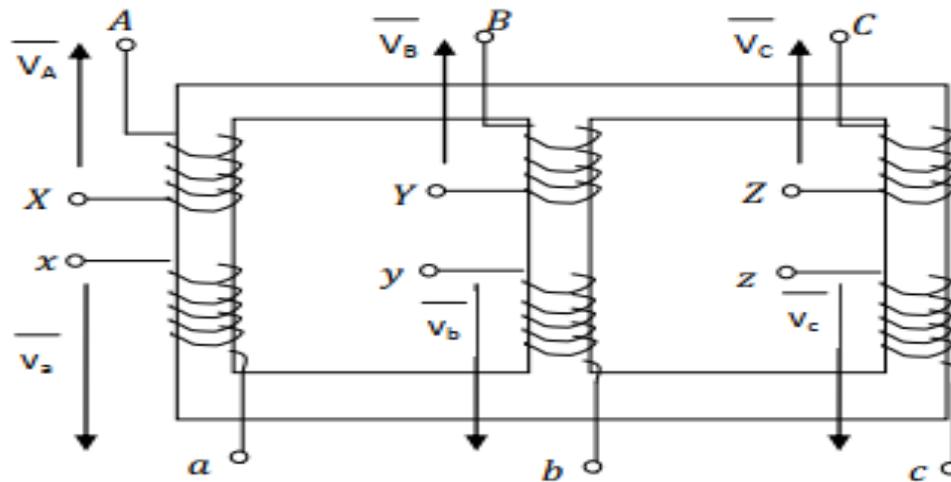
## 2. Choix du couplage

Il s'effectuera à partir de nombreux critères, voici quelques règles générales :

### ✚ *Dimensionnement des enroulements*

- Aux très hautes tensions, on aura intérêt à choisir un couplage étoile pour que chaque bobine n'ait à supporter que :  $V = \frac{U}{\sqrt{3}}$
- Pour les très forts courants, on préférera le montage triangle où chaque enroulement n'est parcouru que par un courant d'intensité :  $J = \frac{I}{\sqrt{3}}$

### Circuit magnétique à 3 colonnes (régime équilibré) :



Le primaire généralement HT, nombre de spires  $n_1$  :

Les bornes A, B, C : les entrées des enroulements

X, Y, Z : les sorties.

Le secondaire généralement BT, nombre de spires  $n_2$  :

Les bornes a, b, c : les entrées des enroulements

x, y, z : les sorties.

Chaque colonne se comporte comme un transformateur monophasé

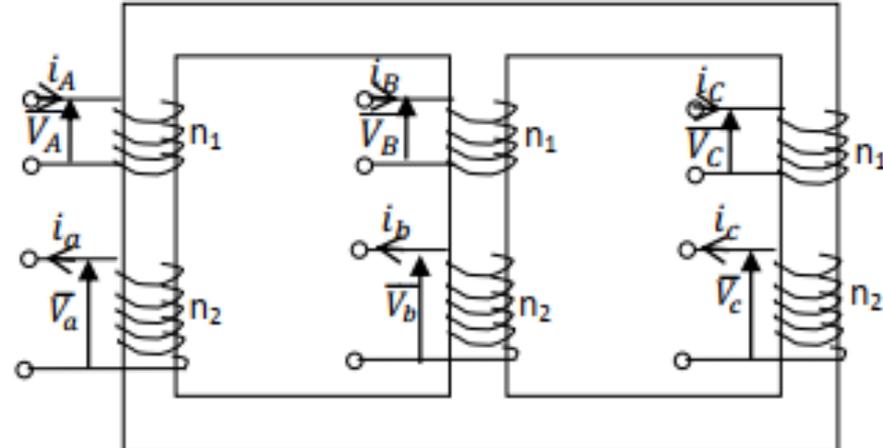
En régime équilibré

$$|\overline{\Phi}_1| = |\overline{\Phi}_2| = |\overline{\Phi}_3|$$

A un rapport de transformation près, on a :

$(\overline{V}_A \text{ et } \overline{V}_a)$ ,  $(\overline{V}_B \text{ et } \overline{V}_b)$  et  $(\overline{V}_C \text{ et } \overline{V}_c)$  sont en phase.

Chaque colonne du transformateur triphasé, se comporte comme un transformateur monophasé. Les enroulements primaires et secondaires enlacent le même flux magnétique au flux de fuites près.



Pour l'étude d'un transformateur équilibré en régime sinusoïdal, on suppose que les enroulements sont identiques respectivement au primaire et au secondaire.

- $r_A = r_B = r_C = r_1, r_a = r_b = r_c = r_2$  (résistance par phase primaire et secondaire)
- $l_A = l_B = l_C = l_1, l_a = l_b = l_c = l_2$  (inductance de fuites primaire et secondaire par phase)
- $E_A = E_B = E_C = E_1, E_a = E_b = E_c = E_2$  (F.E.M par phase primaire et secondaire)
- $I_A = I_B = I_C = I_1, I_a = I_b = I_c = I_2$  (courant au primaire et secondaire)
- $V_A = V_B = V_C = V_1, V_a = V_b = V_c = V_2$  (Tension par phase primaire et secondaire).

**Equations de F.m.m :**

a) Cas d'un seul enroulement triphasé secondaire : (Exemple ; Yy et Dd).

$$n_1 \cdot \bar{I}_A - n_2 \cdot \bar{I}_a = n_1 \cdot \bar{I}_{AVr} = \Re \bar{\Phi}_A$$

b) Cas de deux enroulements triphasés au secondaire :

$$n_1 \cdot \bar{I}_A - n_2 \cdot \bar{I}_a - n_2 \cdot \bar{I}_a = n_1 \cdot \bar{I}_{AVr}$$

*Equations des tensions :*

$$\bar{V}_A = r_A \cdot \bar{I}_A + j l_A \omega \cdot \bar{I}_A + \bar{E}_A$$

a) *Primaire :*

$$\bar{V}_1 = r_1 \cdot \bar{I}_1 + j l_1 \omega \cdot \bar{I}_1 + \bar{E}_1 = (r_1 + j l_1 \omega) \cdot \bar{I}_1 + \bar{E}_1$$

$$V_A = V_{1\max} \cos(\omega t)$$

$$V_B = V_{1\max} \cos(\omega t - 2\pi/3)$$

$$V_C = V_{1\max} \cos(\omega t - 4\pi/3)$$

b) *Secondaire :*

$$\bar{V}_a = -(r_a + j l_a \omega) \cdot \bar{I}_a + \bar{E}_a$$

$$\bar{V}_2 = -(r_2 + j l_2 \omega) \cdot \bar{I}_2 + \bar{E}_2$$

$$V_a = V_{2\max} \cos(\omega t)$$

$$V_b = V_{2\max} \cos(\omega t - 2\pi/3)$$

$$V_c = V_{2\max} \cos(\omega t - 4\pi/3)$$

**Rmq :** pour les autres grandeurs ( $E_{A,B,C}$ ,  $I_{A,B,C}$ ,  $\Phi_{A,B,C}$ ,  $E_{a,b,c}$ ,  $I_{a,b,c}$ ) il suffit d'effectuer des permutations circulaires.

*Chute de tension par phase :*

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_{2v} - \bar{Z}_2 \cdot \bar{I}_2$$

avec  $\bar{Z}_2 = R_2 + jX_2$

$$R_2 = r_2 + \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \cdot r_1 \quad \text{et} \quad X_2 = \left(l_2 + \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \cdot l_1\right) \cdot \omega$$

$$\Delta V_2 = R_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + X_2 \cdot I_2 \cdot \sin \varphi$$

La chute de tension composée est :

$$\Delta U_2 = \sqrt{3} \cdot \Delta V_2$$

N.B :  $m = \frac{n_2}{n_1}$  pour les couplages : Yy, Zz et Dd.

$$m = \alpha \cdot \frac{n_2}{n_1} \quad \text{autre}$$

$$m = \frac{V_{av}}{V_A} = \frac{n_2}{n_1}$$

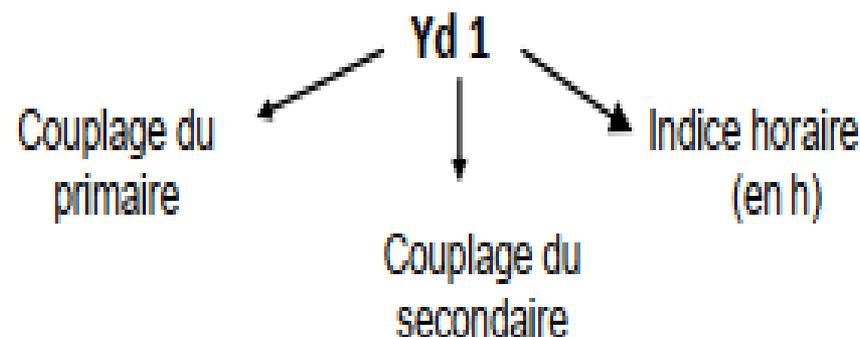
## Nom conventionnel et **Indice horaire** :

L'indice horaire représente le déphasage entre  $\overline{V}_A$  et  $\overline{V}_Q$ .

L'indice horaire sera souvent exprimé en heures pour plus de commodité puisque ce sera toujours un multiple de  $\pi/6 = 1h$ .

Pour simplifier la représentation, on donne aux transformateurs triphasés un nom qui résume toutes les caractéristiques.

Exemple :



Le couplage est toujours indiqué par un symbole :

- ✦ Y ou y : couplage **étoile** primaire ou secondaire
- ✦ D ou d : couplage **triangle** primaire ou secondaire
- ✦ Z ou z : couplage **Zig-Zag** primaire ou secondaire

Symbole	$V_e/V_A$	Montage électrique des phases	Diagramme vectoriel
Yy0	$\frac{n_2}{n_1}$		
Yd1	$\frac{n_2}{\sqrt{3}n_1}$		
Yz11	$\frac{\sqrt{3}}{2} \frac{n_2}{n_1}$		
Dy11	$\sqrt{3} \frac{n_2}{n_1}$		
Dd0	$\frac{n_2}{n_1}$		
Zy1	$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{n_2}{n_1}$		