

LE TRANSFORMATEUR TRIPHASE



Polytech'Nice Sophia . Dept Electronique

cours d'Elec 1

P. IACCONI

LPES-CRESA

Université de Nice-Sophia Antipolis

1. Constitution d'un transformateur triphasé

Les transformateurs triphasés constituent un maillon important dans la chaîne de distribution de l'énergie.

1.1. Utilisation de trois transformateurs monophasés

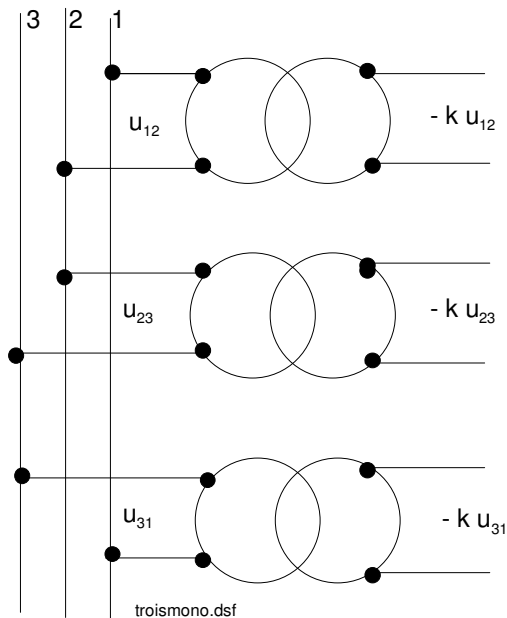


Fig. 1. – Trois transformateurs

Considérons trois transformateurs monophasés identiques et bobinés de telle sorte que les enroulements primaire et secondaire d'une même phase A, (B ou C) soient répartis sur un même noyau A, (B ou C) (fig. 2).

Supposons que les primaires de ces trois transformateurs soient alimentés par un système de tensions triphasées équilibré direct :

$$v_1 = V_m \cos (\omega t)$$

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

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

Les flux qui circulent dans chacun des transformateurs forment eux-mêmes un système triphasé équilibré :

$$\phi_1 = \Phi_m \sin (\omega t)$$

Dans une installation triphasée, on peut indifféremment utiliser trois transformateurs monophasés ou un seul transformateur triphasé.

La première solution est couramment employée pour les installations de forte puissance et pour des tensions élevées (> 40 MVA, 223 et 400 kV); (un seul transformateur de secours suffit pour le groupe de transformation). Les tensions secondaires peuvent être couplées en triangle, étoile ou zigzag.

1.2. Principe du transformateur triphasé

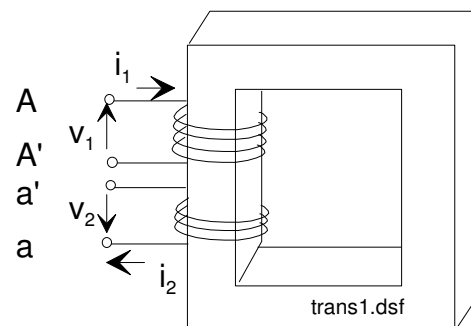


Fig. 2. – Transformateur monophasé

[1]

$$\varphi_2 = \Phi_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \quad [2]$$

$$\varphi_3 = \Phi_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right)$$

Rapprochons, par la pensée, les trois transformateurs monophasés par les colonnes ne portant pas d'enroulement (fig 3a). Le flux qui circulera dans la colonne commune sera nul :

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0 \quad [3]$$

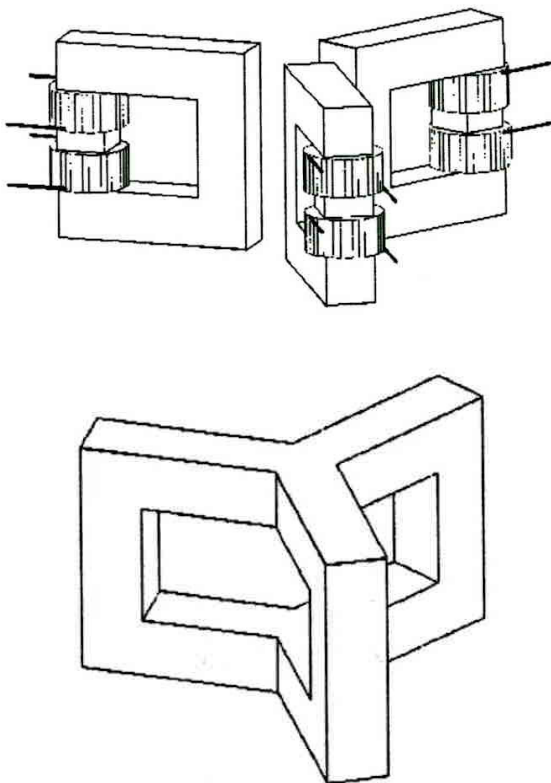


Fig. 3. – Transformateur triphasé équilibré

Dans les gros transformateurs, on réalise également le montage "**cinq colonnes**" par adjonction de deux colonnes de retour (fig.5). Ce type de transformateur est dit à **flux libres**.

On peut donc supprimer cette colonne sans perturber le fonctionnement du système.

Le transformateur triphasé est constitué d'un circuit magnétique à trois noyaux. La disposition idéale est celle où les noyaux sont répartis symétriquement dans l'espace (fig. 3b).

A cause de la complexité technologique que cela entraînerait, on préfère placer les trois noyaux dans un même plan (fig.4). Cette disposition entraîne un léger déséquilibre des flux mais a l'avantage de diminuer le volume occupé dans l'espace et le volume du fer. On dit que ce dispositif est à **flux liés**.

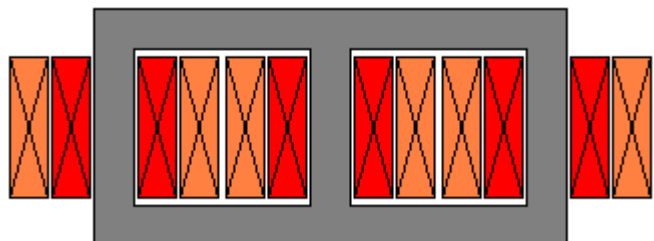


Fig. 4. – Circuit magnétique classique

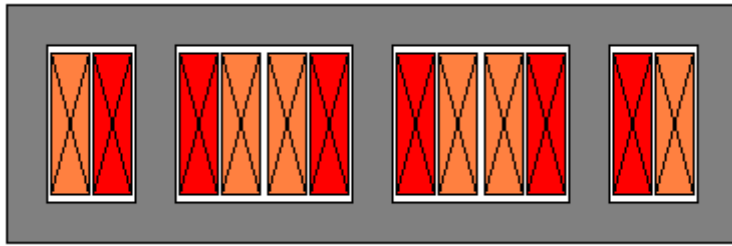


Fig. 5. – Circuit magnétique cuirassé (flux libre)

Les enroulements sont concentriques (faible puissance), à galettes alternées ou mixtes (forte puissance).

2. Différents couplage des transformateurs triphasés

2.1. Conventions

Remarquons tout d'abord que, sur une même colonne, les enroulements primaire et secondaire dont :

- soit en phase,
- soit en opposition de phase.

Dans tous les cas, les modules des tensions sont dans le rapport des nombres de spires primaires N_1 et secondaires N_2 .

1^{ère} convention

Les extrémités des enroulements (ou **bornes**) sont repérées par des lettres (fig.6) :

- majuscules pour le bobinage HT pris comme primaire,
- minuscules pour le bobinage BT pris comme secondaire.

Ces extrémités sont reliées à des bornes (sur le **bornier**) de telle sorte que les bornes de même polarité (**bornes homologues**) soient en regard les unes des autres (fig.7). Les bornes homologues portent la même lettre.

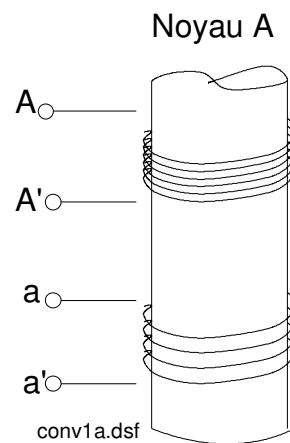


Fig. 6. Bobinages de la phase A

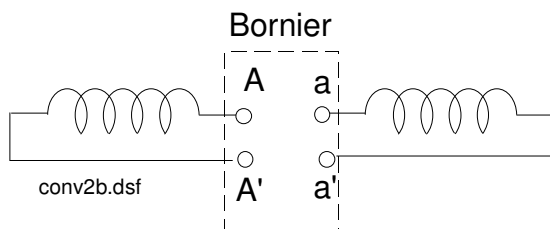


Fig. 7. Bornier (détail)

2^{ème} convention

La représentation symbolique des enroulements s'obtient en rabattant à 90° d'un côté, l'enroulement primaire, et à 90° de l'autre, le bobinage secondaire situé sur une même colonne et enroulé dans le même sens (fig.8). Les tensions indiquées sur le schéma sont en phase.

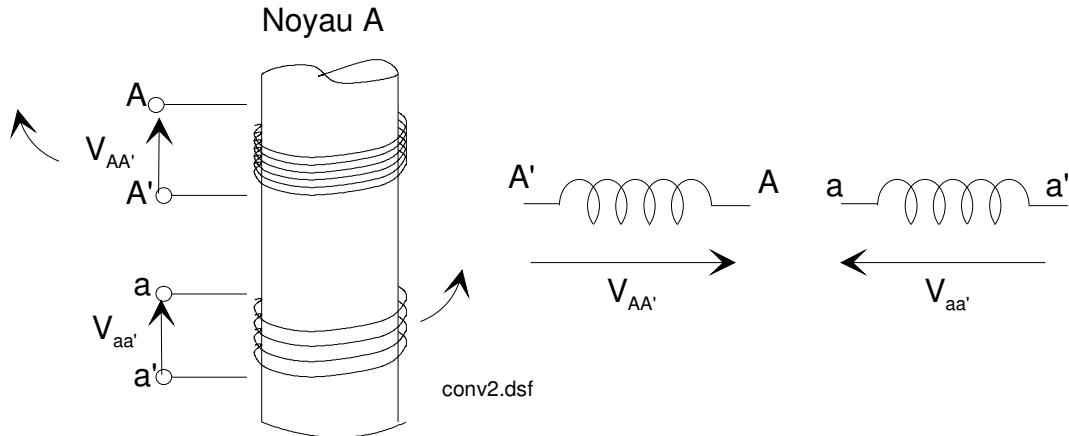


Fig. 8. – Représentation conventionnelle des bobinages

2.2. Les différents couplages utilisés

Les enroulements des trois phases des circuits primaires et secondaires peuvent être connectés :

- en étoile avec ou sans neutre sorti,
- en triangle,
- en zig-zag.

3^{ème} convention (d'après les règles de l'UTE)

- Le couplage étoile est représenté par Y (HT) et y (BT),
- Le couplage triangle par D (HT) ou d (BT),
- Le couplage zig-zag par Z (HT) ou z (BT)
- L'indice n indique si le neutre est sorti (couplage Y, y, Z et z).

Exemple fig. 8 :

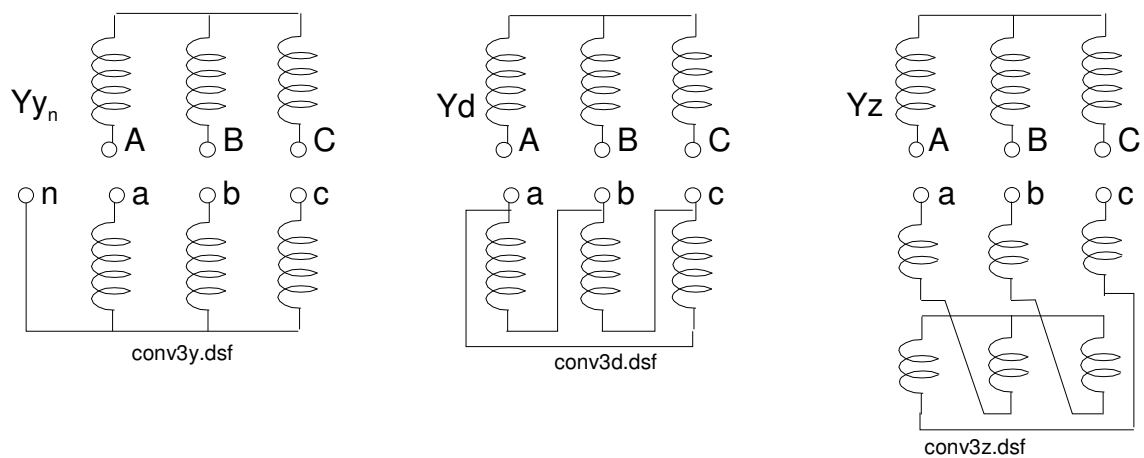


Fig. 9. – Couplage Y_{yn} , Yd et Yz

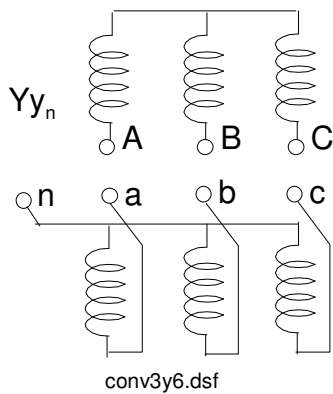


Fig. 10. Cf. texte

Cette désignation conventionnelle ne suffit pas à caractériser un transformateur triphasé (exemple figure 10)

On complète la désignation en introduisant le déphasage entre enroulements primaire et secondaire.

2.3. L'indice horaire

Le déphasage entre les fem simples (étoilées) de deux enroulements montés sur un même noyau est toujours

un multiple de $30^\circ \left(\frac{2\pi}{12}\right)$ qui est l'angle existant entre

deux graduations voisines d'une horloge à aiguilles.

4^{ème} convention

On convient de représenter le déphasage par l'*indice horaire* :

On suppose que le transformateur est alimenté par son HT. Le vecteur représentant la tension simple (par rapport à un neutre qui peut être fictif) appliquée à la phase A est placé sur le 12 de l'horloge et représente la grande aiguille.

Le vecteur représentant la tension simple aux bornes de l'enroulement BT est la petite aiguille. L'heure indiquée est l'indice horaire. L'indice horaire représente le retard d'une tension BT sur son homologue HT (que le transformateur soit élévateur ou abaisseur).

Exemple : couplage Yd

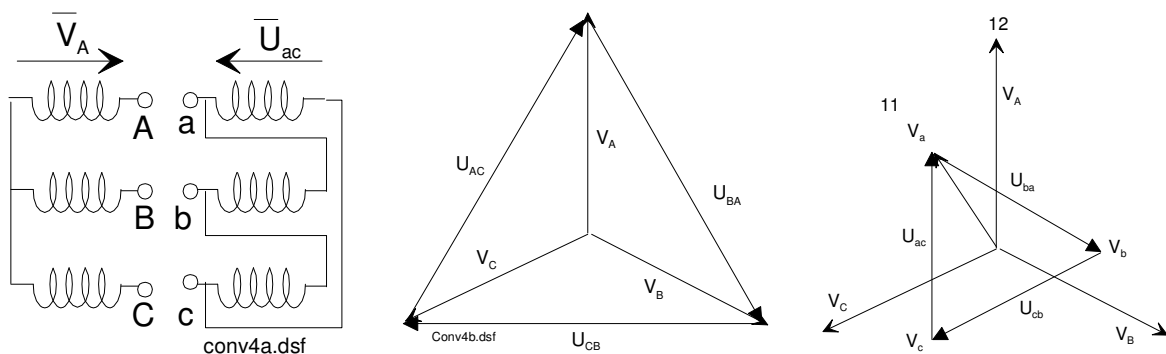


Fig. 11. – Indice horaire. Exemple Yd11

Supposons que la HT soit alimentée dans le sens direct.

- Traçons le diagramme vectoriel HT.
- Le diagramme vectoriel BT sera obtenu ne remarquant que :

- $\bar{V}_a$ est en phase avec $\bar{U}_{AB}$

- $\bar{V}_b$ est en phase avec $\bar{U}_{BC}$
- $\bar{V}_c$ est en phase avec $\bar{U}_{CA}$

d'où le diagramme vectoriel BT. En superposant les deux diagrammes vectoriels, on obtient l'indice horaire.

L'exemple traité donne un **transformateur Yd11**.

Remarques.

- En permutant les tensions d'alimentation primaire tout en respectant l'ordre des phases, on modifie l'indice horaire de 4 ou 8.
- En inversant le sens des enroulements primaires ou secondaires, on modifie l'indice horaire de 6.

2.4. Choix des couplages

Le choix du couplage s'effectue à partir d'un certain nombre de critères tels que :

- Dimensionnement des enroulements (poids de Cu et volume), on préférera :
 - un couplage étoile pour THT ($V = U/\sqrt{3}$)
 - un couplage triangle pour forts courants ($J = I/\sqrt{3}$)
- Fonctionnement déséquilibrés : éviter les couplages Yy,
- Nécessité d'avoir un neutre (Y ou Z),
 - en distribution BT (230/400 V), on utilisera un couplage Z à cause des déséquilibres fréquents,
 - En HT, on peut mettre les parties métalliques et le neutre à la terre. Ce qui permet de réduire les distances d'isolement des enroulements HT (couplage Yy)
- Marche en parallèle (voir ci-après).

2.5. Normalisation

Pour faciliter les branchements, l'UTE a normalisé les couplages. Les plus courants sont :

- Yd11 : élévateur de tension au départ des centrales,
- Yy0 : Réducteur de tension HT/MT,
- Yz11 : distribution sur un réseau mal équilibré.

3. Marche en parallèle de deux transformateurs triphasés

Les conditions de couplage en parallèle de deux transformateurs triphasés sont les mêmes que pour les transformateurs monophasés, à savoir :

- aucun courant de circulation ni à vide, ni en charge. Ce qui implique :
 - même tension à vide (module et phase),
 - même rapport de transformation,
 - même chute de tension
- De plus pour les transformateurs triphasés, il faut que ces deux transformateurs aient même indice horaire ou que l'on puisse les ramener au même indice horaire (appartenance à un même groupe)..

Remarques :

par définition, le ***rapport de transformation*** d'un transformateur triphasé est le rapport des tensions primaire et secondaire mesurées entre phases homologues dans un fonctionnement à vide :

$$k = \frac{(U_{ab})_0}{U_{AB}} \quad [4]$$

.