**TP N°2 : FONCTIONNEMENT EN PARALLELE DE DEUX TRANSFORMATEURS TRIPHASES**

**1. But du TP**

➢ Vérifier les conditions de mise en parallèle de deux transformateurs triphasés.

➢ Etude du fonctionnement en parallèle de deux transformateurs triphasés à rapport de transformation différents.

**2. Etude théorique**

**2.1. Fonctionnement en parallèle des transformateurs**

Les transformateurs sont des machines statiques de durée de vie très longue et de rendement excellent. Ils peuvent être mis en parallèle dans les cas suivants :

1/ Durant les périodes de pointe : un transformateur unique capable de satisfaire la pointe maximale (durant la journée et/ou durant l’année), serait en général utilisé très en dessous de son fonctionnement nominale avec un rendement faible en dehors des périodes de pointe. Il est préférable de disposer de plusieurs transformateurs en parallèle qui seront connectés au besoin de sorte qu’ils soient toujours au voisinage de leurs conditions nominales de fonctionnement.

**2/** Si par exemple, une usine dispose d’un transformateur qui délivre la puissance nécessaire à l’ensemble des récepteurs et on veut élargir son activité la solution d’acheter un transformateur moins puissant et le mettre en parallèle avec l’ancien est plus économique que celle qui consiste à remplacer l’ancien transformateur par un autre plus puissant et donc plus cher.

**2.2. Caractéristiques d’un transformateur triphasé**

**a/ Grandeurs nominales** : elles sont indiquées sur la plaque signalétique :

* la **tension nominale U** : la tension entre phases au primaire ou au secondaire du transformateur.
* le **courant nominal I** : le courant dans un fil de ligne.
* la **puissance apparente nominale** : $S=\sqrt{3} UI$
* la **tension de court-circuit Ucc** : la tension (donnée en %) qu’il faut appliquer au primaire pour obtenir au secondaire court-circuité, le courant nominal.

**b/ Rapport de transformation**

Le rapport de transformation **m** d’un transformateur triphasé dépend à la fois des nombres de spires N1 et N2 de l’enroulement primaire et secondaire respectivement et du mode de couplage. On le mesure directement par un essai à vide : $m=\frac{U\_{20}}{U\_{1}}$ $(I\_{2}=0)$

U1 la tension composée au primaire avec le secondaire à vide.

U20 la tension composée au secondaire à vide.

**2.3. Conditions de couplage en parallèle de deux transformateurs triphasés**

Pour coupler en parallèle deux transformateurs triphasés, il faut :

* La même tension nominale au primaire : les primaires des deux transformateurs sont alimentés par le même réseau.
* Le même rapport de transformation.
* La même tension de court-circuit (à 10% près).
* Le même indice horaire ou indice horaire compatible.

**2.4 Couplage en parallèle de deux transformateurs à puissance nominales différentes**

La répartition de puissance dépend de la construction des transformateurs et l’usager n’a aucun moyen de régler cette répartition. D’un autre côté, le montage en parallèle est possible si les tensions de court-circuit sont égales ou voisines, cette égalité est facile à obtenir pour des transformateurs de mêmes puissances mais difficile à obtenir pour des transformateurs de puissances différentes. Ainsi il est déconseillé de mettre en parallèle deux transformateurs de rapport de puissances supérieur à 2.

**2.5 Indices horaires compatibles**

**Indice horaire**

Les enroulements HT et BT d’un transformateur triphasé peuvent être couplés en étoile, en triangle ou en zigzag, ce qui introduit un déphasage entre les tensions primaire et les tensions secondaires homologues (entre VA et Va ou entre UAB et Uab). Le déphasage θ obtenu est toujours un multiple de π/6 ou 30° (angle existant entre les heures d’une horloge).

L’indice horaire est : $I=\frac{θ}{30}$ $0<I<12$

**Groupes d’indices horaires**

En pratique on peut aisément modifier l’indice horaire d’un transformateur en effectuant une permutation circulaire des lettres affectées aux bornes.



Toute permutation correspond à une augmentation ou à une diminution de 4 de l’indice horaire (soit 120°), de ce fait, on définit quatre groupes d’indice horaire:



Remarque : les indices 3 et 9 n’existent pas en pratique.

**2.6. Le courant de circulation**

Si deux transfos connectés en parallèle ont des rapports de transformation légèrement différents, les f.é.m. induites dans leurs enroulements secondaires à vide ne seraient pas égales, par conséquent un courant, appelé courant de circulation, circulera dans la boucle formée par les deux enroulements des deux secondaires.

Lorsqu’une charge est connectée aux bornes de ces deux transformateurs, le courant de circulation reste le même mais la répartition de charge ne sera pas la même sur les deux transformateurs, par conséquent il peut ne pas être possible d’alimenter la totalité de la charge à partir des deux transformateurs connectés en parallèle car l’un d’eux peut être surchargé.

**3. Préparation**

- Comment mesurer le rapport de transformation d’un transformateur triphasé ?

- Dans quels cas, il est préférable de mettre deux transformateurs en parallèle ?

- Quelles sont les conditions à satisfaire pour connecter deux transformateurs triphasés en parallèle ?

- Que ce qu’un courant de circulation ? à quoi il est dû ?

- Peut-on mettre en parallèle deux transformateurs à puissances nominales différentes ?

- Peut-on connecter en parallèle deux transformateurs appartenant au même groupe d’indices horaires ? Expliquer.

**4. Manipulation**

**4.1 Vérification des conditions de mise en parallèle des deux transformateurs triphasés.**

**4.1.1 Etude du premier transformateur**

**-** Construire un transformateur triphasé Yyn à partir de trois transformateurs monophasés selon le schéma de la figure 2.1.



**Fig. 2.1**

La connexion des enroulements du secondaire est réalisée en reliant les trois bornes homologues inférieures des trois bobines.



**a/ Essai à vide**

- Appliquer la tension nominale au primaire (220 V phase-neutre).

- Mesurer le courant à vide.

- Mesurer les tensions composées au primaire et au secondaire.

- Placer les valeurs mesurées dans le tableau 2.2.

- Déterminer le rapport de transformation de ce transformateur.

**b/ Essai en court-circuit**

- Court-circuiter le secondaire du transformateur triphasé (Fig. 2.2).

- Varier la tension au primaire jusqu’à obtenir au secondaire le courant nominal 1,8 A.

- Mesurer la tension de court-circuit et mettre la valeur mesurée dans le tableau 2.3.



**Fig. 2.2**

**c/ Vérification de l’indice horaire par la méthode d’impulsions**

- Réaliser le montage de la figure 2.3, en utilisant un voltmètre magnétoélectrique au secondaire.

- Mettre le commutateur du voltmètre magnétoélectrique à la position +

- Appliquer une tension continue de 9 à 12V au primaire.

- Fermer l’interrupteur et observer le sens de déviation du voltmètre lors de la fermeture puis ouvrir l’interrupteur.



**Fig. 2.3**

**Les résultats peuvent être :**

+ si le sens de déviation est positif

- si le sens de déviation est négatif (vous pouvez mettre le commutateur du voltmètre à la position (**-**) pour voir la déviation) 0 si le voltmètre ne dévie pas.

- Refaire le même essai en branchant le voltmètre aux bornes ac puis bc.

- Placer les valeurs mesurées dans le tableau de mesures IV

- Déterminer l’indice horaire en utilisant le tableau 2.1.

**Tableau 2.1 : Détermination de l’indice horaire.**



**4.1.2 Etude du deuxième transformateur**

- Réaliser le montage de la figure 2.1, mais cette fois, la connexion des enroulements du secondaire est réalisée en reliant les trois bornes homologues supérieures des trois bobines.

- Refaire les mêmes étapes de travail faites pour le transformateur précédent.

- Est-ce que le fonctionnement en parallèle des deux transformateurs est possible ? expliquer pourquoi ?



**4.2 Mise en parallèle de deux transformateurs de rapports de transformation différents**

- Réaliser le montage de la figure 2.4 sur lequel on a changé le rapport de transformation du 2éme transformateur.

- Mesurer les courants à vide I01 et I02 des deux transformateurs.

- Mesurer les courants de circulation Ica, Icb et Icc au secondaire.

- Placer les valeurs mesurées dans le tableau 2.5.

- Quel est le transformateur qui a le plus grand rapport de transformation ?

- Expliquer la cause de l’existence du courant de circulation dans cet essai.

- Si on place une charge au secondaire des deux transformateurs connectés en parallèle, quel est transformateur qui pourrait être surchargé et quelle serait la conséquence.



**Fig. 2.4**

**Feuille de mesures du TP N°2**

**Tableau 2.2**: Mesure du rapport de transformation des deux transformateurs.



**Tableau 2.3 :** Mesure des tensions de court-circuit des deux transformateurs.

****

**Tableau 2.4 :** Détermination de l’indice horaire

****

**Tableau 2.5** : Les courants à vide et les courants de circulation au secondaire (m1≠ m2)

