**CH II. Transformateurs Electriques**

**II.1.Transformateur monophasé**

II.1.1. Définition :

Un transformateur est un appareil statique, basé sur le phénomène de l'induction électromagnétique. Il permet de convertir l'énergie électrique alternative W [J] en une énergie de même nature. Ce transfert d'énergie peut se faire avec des niveaux de tensions ou de courants différents. Usuellement, nous parlons d'appareil avec séparation galvanique, ce qui signifie : sans aucune liaison électrique entre les 2 circuits (primaire et secondaire).

II.1.2. Présentation :

II.1.2.1 Schéma



II.1.3. Principe de fonctionnement :

II.1.3.1 Rappel :

**Loi de Faraday :** une variation de flux à travers une spire créer une f.é.m. Inversement une

f.é.m. e dans une spire crée une variation de flux à travers celle-ci.

e=-dϕ/dt

II.1.3.2. Flux magnétique :

Pour un transformateur parfait, l’enroulement du primaire, formé de N1 spires, est le siège d’une f.é.m. :



e1=-N1dϕ/dt u1=-e1

u1 est sinusoïdal

Posons : u1 = umax coswt= avec U1 est la valeur efficace.

D’où :

Le flux étant défini par la relation où *b* est le champ magnétique à travers les spires et s lasection (supposée constante) du circuit magnétique.

Soit :

Posons : et comme

Nous obtenons : C’est la formule de Boucherot.

II.1.3.3. Relation entre les tensions

Pour un transformateur parfait tout le flux crée par l’enroulement primaire traverse

l’enroulement secondaire.

Soit :

Remarque :

m est le rapport de transformation. Les tensions u1 et u2 sont en opposition de phase.

II.1.3. Symboles





**II.1.4. Transformateur parfait :**

****

Parfait : il n’y a aucune perte ; le rendement est de 100%.

On définit le rapport de transformation mpar :

Remarque :

Si m > 1, le transformateur et élévateur de tension.

Si m < 1, le transformateur est abaisseur de tension.

de plus :

Comme le transformateur est parfait : P1 = P2 ; Q1 = Q2 ; S1 = S2 ; et 1 = 2.

**Remarque** : en observant les valeurs instantanées u1(t) et u2(t), on constate quelles sont en

opposition de phase. C’est-à-dire que lorsque u1 et maximum, u2 est minimum.

m = -u2/u1.

**II.1.4. Transformateur réel :**

****

II.1.4. 1 Rapport de transformation :

Le rapport de transformation se mesure à vide (pas de charge, I2=0) et

II.1.4. 2 Transformateur en charge

On constate une chute de tension : U2 < m.U1.

Plus I2 augmente (la charge augmente) plus U2 diminue

Cette dernière observation vient du fait d’une chute de tension provoquée par la résistance du

bobinage U = r2.I2 (si I2 augmente U augmente aussi).

II.1.4. 3. Pertes et rendement du transformateur réel :

Les pertes d'un transformateur réel sont dues au circuit magnétique, appelées pertes fer (Pfer) et au cuivre constituant les bobines appelées pertes cuivre (PCu). Il est possible de les mesurer.

II.1.4. 3.1. Pertes fer :

Les pertes fer sont fonction de la fréquence f, de la valeur et de la forme de la tension U1[V] ainsi que de la nature des tôles du circuits magnétiques, (Hystérésis et Foucault).

Ces pertes fer sont constantes en fonction de la charge du transformateur. Elles sont mesurées par un essai à videdu transformateur.

II.1.4. 3.2. Pertes cuivre :

Les pertes cuivre PCu sont dues à l'effet Joule dans les enroulements primaire et secondaire. Elles sont proportionnelles à la charge.

Les pertes cuivre PCu sont déterminée par un essai en court-circuit sous tension réduite, afin

d'obtenir le courant nominal In.

II.1.4. 4. Rendement :

Le rendement du transformateur exprime le rapport entre la puissance active P2 et la puissance active P1.

Le rendement dépend de la charge. A faible charge, les pertes fer sont importantes par rapport aux pertes cuivre. A charge nominale, le rendement d'un transformateur peut être de 99% pour les transformateurs de grande puissance, de 95 à 98% pour les transformateurs moyens et de 80 à 92% pour les petits transformateurs.

Le rendement maximum d'un transformateur est atteint lorsque les pertes fer PFe sont égales aux pertes cuivre PCu.

II.1.4. 5. Grandeurs nominales du transformateur réel :

Les grandeurs nominales telles que puissance apparente S [VA], fréquence f [Hz], courants, tensions, etc. sont indiquées sur la plaquette signalétique.

La puissance nominale S est donnée aux bornes du secondaire du transformateur. Elle est donnée en [VA] ou en [kVA].

La tension primaire U1 [V] nominale correspond à la valeur d'alimentation du transformateur.

La tension secondaire U2 [V] nominale correspond à la valeur mesurée aux bornes de l'enroulement secondaire à vide (circuit ouvert sans charge).

Les courants primaire et secondaire nominaux correspondent aux valeurs calculées selon la puissance S nominale et tensions nominales, avec un rendement nominal et une température T nominale. La fréquence f [Hz] nominale correspond à la valeur pour laquelle le transformateur est construit (résonance).

**II.2.TRANSFORMATEURS TRIPHASES**

II.2.1.Description des transformateurs triphasés :

II.2. 1.1.Ensemble de 3 transformateurs monophasés identiques :

On connecte un transformateur monophasé sur chacune des phases. Cette solution est parfois utilisée en THT (Très Haute Tension) dans le domaine des puissances élevées.

II.2.1.2Transformateur triphasé :

Le plus souvent on utilise un appareil unique dont la carcasse magnétique comporte :

3 noyaux (ou colonnes) réunis par 2 culasses.

II.2.2.Fonctionnement à vide en régime équilibré :

Soit un transformateur triphasé dont les enroulements présentent

par phase, N1 spires au primaire et N2 spires au secondaire

des couplages quelconques (étoile ou triangle)

Appliquons respectivement aux bornes des phases du primaire les tensions sinusoïdales équilibrées

U1L1 [V]; U1L2 [V]; U1L3 [V]

U1L1

U2L1

Les flux magnétiques induisent dans les trois phases du secondaire des tensions sinusoïdales

équilibrées, de sens opposé à celles du primaire.

II.2.3.Fonctionnement en charge :

On raccorde les 3 phases du secondaire sur 3 récepteurs identiques de facteur de puissance cos 2

Soit I1L1 [A] ; I1L2 [A] ; I1L3 [A] les courants dans les 3 phases du primaire.

Soit I2L1 [A] ; I2L2 [A] ; I2L3 [A] les courants dans les 3 phases du secondaire.

La première colonne fonctionne comme un transformateur monophasé parfait de rapport

Il en est de même pour les 2 autres colonnes, soit pour résumer :

En régime équilibré toute la théorie du transformateur monophasé est applicable à condition de raisonner « phase par phase », c’est-à-dire « à une phase du primaire correspond une phase du secondaire ».

II.2.4.Couplages du primaire et du secondaire :

II.2.4.1.Couplage étoile :

Les courants qui circulent dans les fils de la ligne sont les mêmes que les courants qui circulent dans les phases du transformateur.

II.2.4.2.Couplage triangle :

La tension sur les enroulements est la même qu’entre les phases L1 ;L2 ;L3 ;

II.2.4.3.Couplage zig-zag

II.2. 5.Fonctionnement en régime déséquilibré :

Le cas le plus fréquent du fonctionnement d’un transformateur triphasé en régime déséquilibré est celui des réseaux de distribution électrique. Il est nécessaire de savoir choisir le couplage des enroulements primaires et secondaires. Pour savoir quel couplage il convient d’adopter au primaire et au secondaire, il faut considérer un transformateur triphasé dont :

* Le primaire est alimenté par une ligne à 3 fils (les tensions sont équilibrées)
* Le secondaire a son neutre sorti.

Ce transformateur est soumis aux conditions limites suivantes :

* La phase du secondaire bobinée sur la 1ère colonne est chargée.
* Les 2 autres phases du secondaire sont à vide.

II.2. 5.1.Fonctionnement des couplages TRIANGLE-ETOILE et ETOILE-ETOILE :

Le couplage étoile du secondaire permet de sortir le neutre et de le connecter au fil neutre du réseau de distribution.

Le couplage TRIANGLE-ETOILE convient bien, car le courant qui passe dans la charge ne circule pas dans les autres phases non chargées, on garantit ainsi l’absence de perturbations.

C’est un couplage utilisable lorsqu’il y a risque de déséquilibre.

Le couplage ETOILE-ETOILE ne convient pas, car le courant qui passe dans la charge, crée un courant Iph1 qui s’en retourne forcément par les 2 autres phases du primaire ; or au secondaire les phases correspondantes ne sont parcourues par aucun courant : on n’a plus, sur chaque colonne, équilibre entre la tension induite au primaire et celle du secondaire. Le fonctionnement ne peut être satisfaisant.

Le courant Iph2 induit dans la première phase du secondaire, obéit à la loi de Lenz : la bobine réagit de façon à réduire ce courant, c’est-à-dire à diminuer la tension Uph2 et par suite, au primaire, la tension Uph1 UN

II.2. 5.2.Fonctionnement des couplages ETOILE-ZIG-ZAG :

Pour conserver au primaire l’avantage du couplage Y on a imaginé au secondaire un couplage dit en zig-zag qui :

permet de sortir un fil neutre,

présente un fonctionnement satisfaisant en régime déséquilibré.

Sur chaque colonne on a disposé une phase du primaire (N1 spires) et 2 bobines identiques (N2 spires chacune) ; chaque phase du secondaire est obtenue en mettant en série deux de ces bobines, prises en sens inverse, situées sur deux colonnes différentes.



Représentation vectorielle des tensions (voir ci-dessus), l’allure de ce dessin justifie le terme de zigzag.



II.2. 6.Couplage et indice horaire :

II.2. 6.1.Modes de couplage :

On appelle couplage d’un transformateur triphasé, l’association de deux types déterminés de

branchement, au primaire et au secondaire.

Au primaire (haute tension), on n’utilise que le montage étoile ou le montage triangle. La notation du type de branchement est en lettres majuscules, soit Y pour étoile et Dpour triangle.

Au secondaire (basse tension), les trois montages sont possibles. La notation du type de branchement est en lettres minuscules, soit *y* pour étoile, *d* pour triangle et *z* pour zig-zag.

II.2. 6.2.Indice horaire :

Le nombre (de 0 à 11) est appelé nombre horaire. Il caractérise le déphasage relatif entre les tensions de ligne primaire et secondaire (à vide). Cet angle correspond pour 3600, aux 12 heures du cadran d’une horloge repérées de 0 à 11, chaque angle horaire étant un multiple de 300.

Si l’on appelle, U1L1 ;U1L2 ;U1L3 ; les bornes des phases primaires et U2L1 ;U2L2 ;U2L3 ; celles des secondaires, les tensions de lignes sont :

au primaire : U1L1 ;U1L2 ;U1L3 ;

au secondaire : U2L1 ;U2L2 ;U2L3 ;

Le nombre horaire est indiqué par « l’heure » de la borne U2L2 lorsque U1L2 est placée sur 0.

II.2. 6.3.Exemples d’utilisations de l’indice horaire :



 **Figure** II.2. 6.3. **Dd0 ;Dy5 ;Dd6 ;Dy11**

II.2. 6.4.Résumé des couplages possibles :

