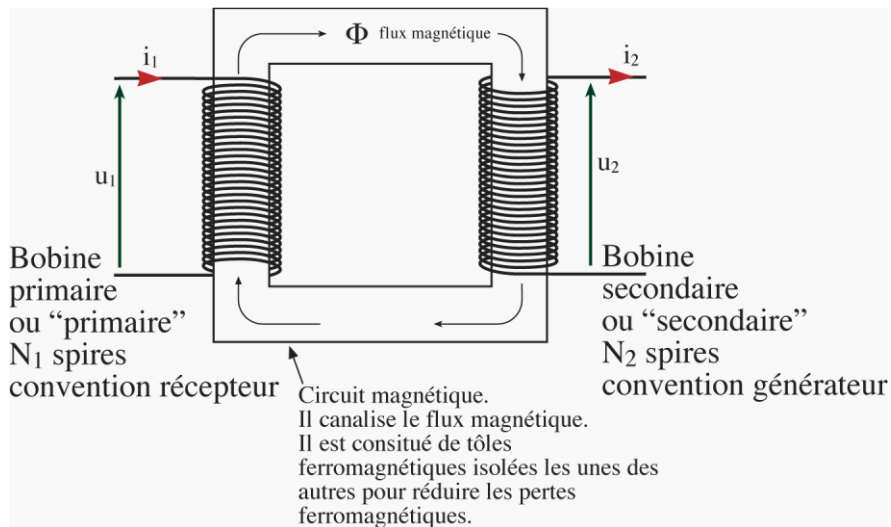


Chapitre 2 : Transformateur

1. Présentation

1.1. Schéma

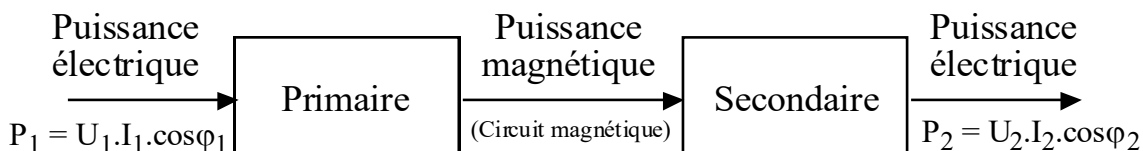


1.2. Principe de fonctionnement

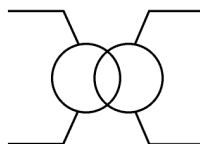
Loi de Faraday : une variation de flux à travers une spire crée une f.é.m. e . Inversement une f.é.m. e dans une spire crée une variation de flux à travers celle-ci. $e = -\frac{d\phi}{dt}$

C'est ce phénomène qui est exploité dans le transformateur.

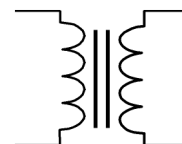
1.3. Transformation d'énergie



1.4. Symboles

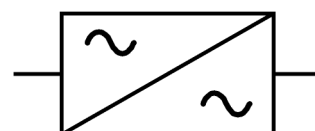


ou



Le transformateur est un convertisseur statique (pas de pièce en mouvement). Il transforme une tension sinusoïdale en une autre tension sinusoïdale de valeur efficace différente.

symbole :



2. Transformateur parfait

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

On définit **le rapport de transformation m** par : $m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$

si $m > 1$, le transformateur est élevateur de tension ;

si $m < 1$, le transformateur est abaisseur de tension.

de plus $m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$

Comme le transformateur est parfait : $P_1 = P_2$; $Q_1 = Q_2$; $S_1 = S_2$; et $\varphi_1 = -\varphi_2$.

Remarque : en observant les valeurs instantanées $u_1(t)$ et $u_2(t)$, on constate qu'elles sont en opposition de phase. C'est-à-dire que lorsque u_1 est maximum, u_2 est minimum.
 $m = -u_2/u_1$

3. Transformateur réel

3.1 Rapport de transformation

Le rapport de transformation se mesure à vide (pas de charge, $I_2=0$)

$$m = \frac{U_{20}}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

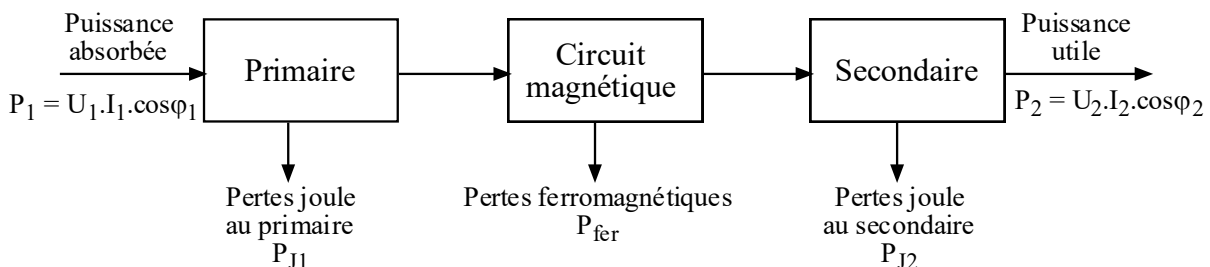
3.2 Transformateur en charge

On constate une chute de tension : $U_2 < m.U_1$.

Plus I_2 augmente (la charge augmente) plus U_2 diminue

Cette dernière observation vient du fait d'une chute de tension provoquée par la résistance du bobinage $\Delta U = r_2.I_2$ (si I_2 augmente ΔU augmente aussi).

3.3 Bilan énergétique



Les pertes fer sont dues à l'hystérésis du matériau ferromagnétique et aux courants de Foucault. Les pertes fer sont proportionnelles à $B_{\max}^2$ -donc à U_1^2 - et à la fréquence f (voir § 1.2.2.).

Bilan des puissances : $P_1 = P_{J1} + P_{J2} + P_{fer} + P_2$

3.4 Limitation des pertes fer

Pour réduire les pertes par hystérésis, il faut choisir un matériau ferromagnétique avec un cycle d'hystérésis le plus étroit possible.

Pour réduire les pertes par courants de Foucault, le noyau est feuilleté. C'est-à-dire qu'il est constitué de tôles vernies, donc isolées les unes des autres. La taille des boucles de courant de Foucault est alors limitée par l'épaisseur de la tôle. Plus les boucles sont petites, plus les pertes sont réduites.

3.5 Rendement

$$\eta = \frac{P_{\text{utilisée}}}{P_{\text{absorbée}}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{fer}} + P_J}$$

ou

$$\eta = \frac{P_1 - P_{\text{fer}} - P_J}{P_1}$$

$$P_J = P_{J1} + P_{J2}$$

Le rendement varie en fonction des conditions d'utilisation du transformateur. Le meilleur rendement s'obtiendra pour les grandeurs d'utilisation nominales indiquées sur la plaque signalétique du transformateur.

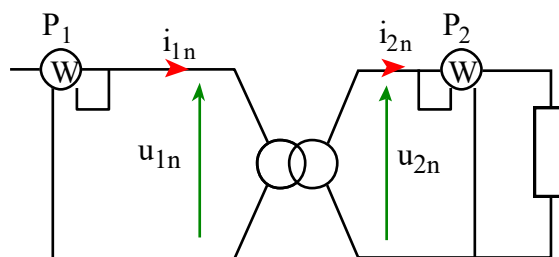
Les bons transformateurs de fortes puissances peuvent atteindre un rendement de 98%.

4. Calcul du rendement

4.1 Mesure directe

Cette méthode consiste à mesurer avec deux wattmètres P_1 et P_2 .

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$



4.2 Mesure par la méthode des pertes séparées

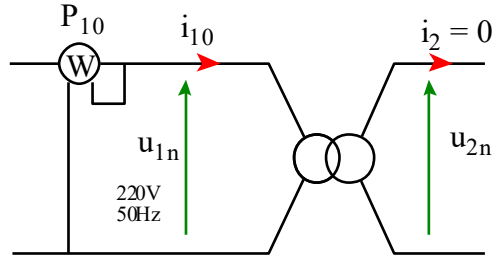
Deux essais particuliers du transformateur permettent de mesurer séparément les pertes par effet joule (p_j) et les pertes ferromagnétiques (p_{fer}).

Cette méthode consiste à évaluer les différentes pertes dans les conditions nominales d'utilisation.

4.3 Essai à vide : mesure des pertes fer

Montage :

Mesure à tension nominale.



A vide le circuit secondaire est ouvert : $I_2 = 0 \Rightarrow P_2 = 0$ et $P_{J2} = 0$

Bilan des puissances : $P_{10} = P_{J10} + P_{fer}$.

Toute l'énergie absorbée au primaire est utilisée pour compenser les pertes fer et les pertes joules au primaire.

Remarque : l'indice 0 (zéro) indique qu'il s'agit de valeurs à vide.

A vide I_{10} est très faible. Par conséquent $P_{J10} \ll P_{10}$.

Finalement :

essai à vide $P_{10} = P_{fer}$

Complément :

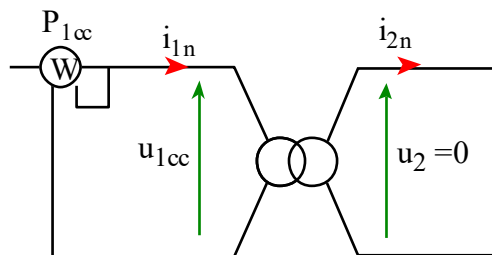
les pertes fer dépendent essentiellement du champ magnétique donc de la tension U_1 et de la fréquence f . Comme ces deux grandeurs restent les mêmes à vide ou en charge, les pertes fer mesurées à vide sont les mêmes que celles en charge.

Il faut donc naturellement faire cet essai à la tension nominale (ex. $U_{1N} = 220$ V).

4.4 Essai en court-circuit : mesure des pertes joule

Montage :

Mesure à tension réduite et courant nominal.



Le circuit secondaire est en court-circuit : $U_2 = 0 \Rightarrow P_2 = 0$

Bilan des puissances : $P_{1cc} = P_{J1cc} + P_{J2cc} + P_{fer}$.

Toute l'énergie absorbée au primaire est utilisée pour compenser les pertes fer et les pertes joules.

Remarque : l'indice cc indique qu'il s'agit de valeurs mesurées en court-circuit.

En court-circuit, pour obtenir I_n , il faut travailler à très faible tension U_{1cc} . Par conséquent P_{fer} est très faible.

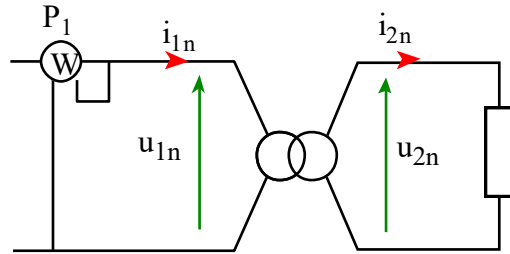
Finalement : essai en court-circuit $P_{1cc} = P_J$

4.5 Essai en charge

Montage :

il faut choisir une charge appropriée pour travailler dans les conditions nominales de tension et de courant.

On mesure P_1 .



Rendement : $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - P_{10} - P_{Jcc}}{P_1}$

5. Autres caractéristiques du transformateur

5.1 Lecture de la plaque signalétique

Selon la norme NF 15.100, on peut lire sur la plaque signalétique d'un transformateur industriel, les données suivantes :

exemple : 5000 V / 235 V ; 50 Hz ; 8 kVA

Ce qui donne :

$U_{1n} = 5000$ V tension nominale du primaire.

$U_{20} = 235$ V tension à vide du secondaire.

$f = 50$ Hz fréquence nominale de fonctionnement.

$S_{1n} = 8$ kVA puissance apparente nominale au primaire

5.2 Isolation galvanique

Il n'y a aucun contact électrique entre le primaire et le secondaire. On parle d'isolation galvanique.

5.3 Transformateurs particuliers

5.3.1 Transformateur d'isolement

Transformateur de rapport $m = 1$ utilisé pour l'isolation galvanique entre deux parties d'une installation électrique.

En effet, quel que soit le transformateur, il n'y a aucun contact électrique entre le circuit primaire et le circuit secondaire.

5.3.2 Transformateur d'impulsion

Utilisé pour la commande de gâchette des thyristors, il transforme un signal carré en signal impulsionnel.

