

LE TRANSFORMATEUR

I LE TRANSFORMATEUR MONOPHASÉ PARFAIT :

Définition :

Un transformateur permet de modifier l'amplitude d'un signal (tension ou intensité) sans en changer la fréquence. Le transformateur possède un primaire et un secondaire. Toutes les grandeurs affectées au primaire sont affectées de l'indice 1, toutes les grandeurs du secondaire sont affectées de l'indice 2.

Symbole et constitution :



Le primaire est constitué de N_1 spires.

Le secondaire est constitué de N_2 spires.

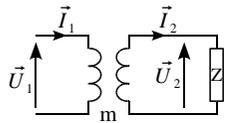
On appelle U_1 et U_2 les tensions efficaces primaire et secondaire.

On appelle I_1 et I_2 les intensités efficaces primaires et secondaires.

Pour le transformateur monophasé parfait, il n'y a aucune perte.

Rapport de transformation m : $m = \frac{N_2}{N_1}$ ou $m = \frac{U_2}{U_1}$ ou $m = \frac{I_1}{I_2}$

Puissances :



Lorsqu'on branche une charge Z au secondaire du transformateur, celle-ci impose un déphasage $\varphi_2(I_2, \vec{U}_2)$ et absorbe la puissance P_2 .

On montre que pour le transformateur parfait : $\varphi_2(I_2, \vec{U}_2) = \varphi_1(I_1, \vec{U}_1)$

On définit :

La puissance active P_1 au primaire : $P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$

La puissance active P_2 au secondaire : $P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2$ (on montre que $P_2 = P_1$)

La puissance réactive Q_1 au primaire : $Q_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1$

La puissance réactive Q_2 au secondaire : $Q_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2$ (avec $Q_2 = Q_1$)

La puissance apparente S_1 au primaire : $S_1 = U_1 \cdot I_1$

La puissance apparente S_2 au secondaire : $S_2 = U_2 \cdot I_2$ (avec $S_2 = S_1$)

Exercice d'application :

Un transformateur monophasé 220 V / 24 V ; 50 Hz alimente un moteur monophasé de puissance électrique $P = 120$ W et de facteur de puissance 0,8.

1- Calculez rapport de transformation : $m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{24}{220} = 0,109$.

2- Calculer la puissance active P_1 : $P_2 = P_1 = P = 120$ W.

3- Calculer la puissance réactive Q_2 et Q_1 : $Q_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2 = P_2 \tan \varphi_2 = 120 \times \tan(\cos^{-1} 0,8)$
 $Q_2 = 90$ var = Q_1 .

II LE TRANSFORMATEUR MONOPHASÉ RÉEL :

La plaque signalétique d'un transformateur :

La plaque signalétique d'un transformateur indique les grandeurs nominales de fonctionnement.

Exemple :

Transformateur monophasé
6000 V / 400 V 50 Hz
24 kVA

Pour notre exemple : $U_{1N} = 6000$ V $U_{2N} = 400$ V
Fréquence $f = 50$ Hz
Puissance apparente $S_N = S_1 = S_2 = 24$ kVA

Les pertes :

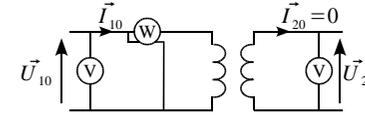
Pour un transformateur monophasé, il y a deux types de pertes :

- Les pertes fer ou magnétiques dues au circuit magnétique.
- Les pertes cuivre ou pertes par effet Joule dues à l'échauffement dans les conducteurs.

L'essai à vide (il n'y a pas de charge branchée au secondaire, l'intensité $I_2 = 0$)

Pour cet essai, toutes les grandeurs sont affectées, en plus des indices 1 et 2 de l'indice 0 ou v.

Montage :



Pour cette essai, les pertes par effet Joule sont négligeables.

L'essai à vide, s'il est fait avec les grandeurs nominales, permet de connaître :

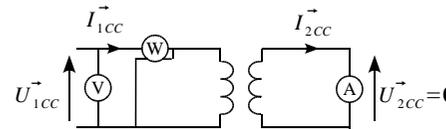
- Le rapport de transformation m : $m = \frac{U_{20}}{U_{10}}$
- Les pertes fer indiquées par le wattmètre : P_{10} . (On admet que $P_{10} = U_{10} \cdot I_{10} \cdot \cos \varphi_{10}$)

Si cet essai est fait sous une tension primaire U_1 différente de la grandeur nominale U_{1N} , on montre que les pertes fer sont proportionnelles au carré de la tension primaire : $P_F = k U_1^2$. k est une constante.

L'essai en court-circuit (le secondaire est court-circuité et $I_{2CC} = I_{2N}$)

L'essai en court-circuit se fait sous tension réduite. On s'arrange pour régler l'intensité qui circule dans le secondaire en court-circuit I_{2CC} à la valeur de l'intensité secondaire I_{2N} . On utilise l'indice CC .

Montage :



Pour cette essai, les pertes fer sont négligeables.

L'essai en court-circuit, pour $I_{2CC} = I_{2N}$, permet de connaître :

- Les pertes par effet Joule ou les pertes Cuivre P_C indiquée par le wattmètre.
- Si on connaît les résistances r_1 et r_2 des enroulements primaire et secondaire, les pertes par effet Joule peuvent-être calculées : $P_C = r_1 \cdot I_{1CC}^2 + r_2 \cdot I_{2CC}^2$ ou $P_C = (r_2 + m^2 r_1) I_{2CC}^2$
- Sans autres indication, lors de cet essai, on admet que $m = \frac{I_{1CC}}{I_{2CC}}$.

Rendement d'un transformateur :

Lorsqu'une charge Z est branchée au secondaire du transformateur, elle absorbe la puissance P_2 .

La puissance électrique absorbée au primaire est : $P_1 = P_2 + P_F + P_C$.

Le rendement du transformateur est : $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_C + P_F} \leq 100$ % .

III EXERCICES D'APPLICATION :

Exercice n° 1 : La plaque signalétique d'un transformateur parfait est la suivante :

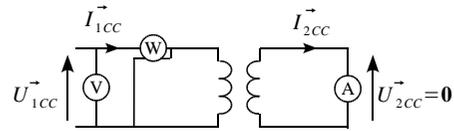
$$230 \text{ V} / 26 \text{ V } 50 \text{ Hz} \quad S = 100 \text{ VA}$$

- 1- Calculer le courant nominal primaire I_1 .
- 2- Calculer le courant nominal secondaire I_2 .
- 3- Le primaire comporte $N_1 = 250$ spires. Calculer le nombre de spires au secondaire N_2 .
- 4- Quelle est la puissance active maximale disponible au secondaire?

Exercice n°2 :

On étudie un transformateur réel $1500 \text{ V} / 225 \text{ V} ; 50 \text{ Hz} \quad 44 \text{ kVA}$.

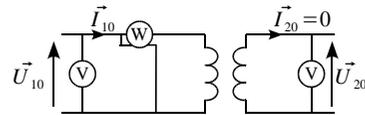
On réalise un premier essai représenté sur le schéma ci-dessous :



Les mesures donnent :

$$\begin{aligned} P_{1cc} &= 225 \text{ W} \\ U_{1cc} &= 22,5 \text{ V} \\ I_{1cc} &= 30 \text{ A} \end{aligned}$$

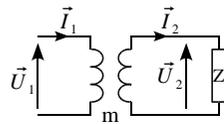
On réalise ensuite cet essai :



Les mesures donnent :

$$\begin{aligned} U_{10} &= 1500 \text{ V} \\ U_{20} &= 225 \text{ V} \\ P_{10} &= 300 \text{ W} \end{aligned}$$

On réalise l'essai en charge :



Les mesures donnent :

$$\begin{aligned} U_2 &= 221 \text{ V} \\ I_2 &= 200 \text{ A} \\ \cos \varphi_2 &= 0,8 \end{aligned}$$

- 1- Déterminer le rapport de transformation m et l'intensité I_{2N} .
- 2- Donner la valeur des pertes fer P_F .
- 3- Calculer la valeur du courant de court-circuit I_{2cc} .
- 4- Donner la valeur des pertes cuivre.
- 5- Calculer la puissance P_2 absorbée par la charge.
- 6- Calculer la puissance P_1 absorbée par le primaire.
- 7- En déduire le rendement du transformateur.

Réponses : Exercice n°1

$$1- S = U_1 \cdot I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{S}{U_1} = \frac{100}{230} = 434 \text{ mA} \quad 2- S = U_2 \cdot I_2 \Rightarrow I_2 = \frac{S}{U_2} = \frac{100}{26} = 3,84 \text{ A}$$

$$3- m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow N_2 = N_1 \cdot \frac{U_2}{U_1} = 250 \times \frac{26}{230} = 33 \text{ spires} \quad 4- P_2 = 100 \text{ W.}$$

Exercice n°2

$$1- m = \frac{U_{20}}{U_{10}} = \frac{225}{1500} = 0,150 \quad I_{2N} = \frac{S}{U_{2N}} = \frac{44000}{225} = 195,6 \text{ A} \quad 2- P_F = 300 \text{ W}$$

$$3- m = \frac{I_{1cc}}{I_{2cc}} \Rightarrow I_{2cc} = \frac{I_{1cc}}{m} = \frac{30}{0,150} = 200 \text{ A} \quad 4- P_C = 225 \text{ W}$$

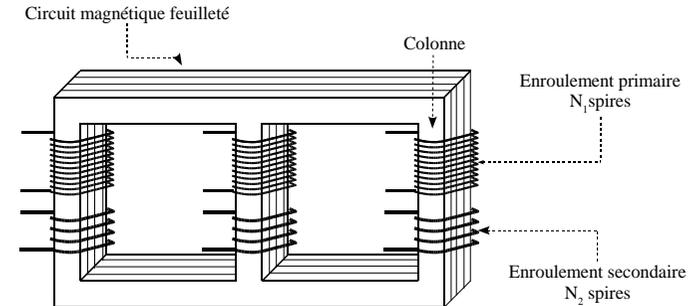
$$5- P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 221 \times 200 \times 0,8 = 35,4 \text{ kW}$$

$$6- P_1 = P_2 + P_C + P_F = 35,4 \cdot 10^3 + 225 + 300 = 35,9 \text{ kW} \quad 7- \eta = P_2 / P_1 = 35,4 \cdot 10^3 / 35,8 \cdot 10^3 = 98,5 \%$$

IV QUELQUES NOTIONS POUR LE TRANSFORMATEUR TRIPHASÉ :

Constitution :

Sur chaque colonne du circuit magnétique feuilleté, on dispose un enroulement primaire de N_1 spires et un enroulement secondaire de N_2 spires.

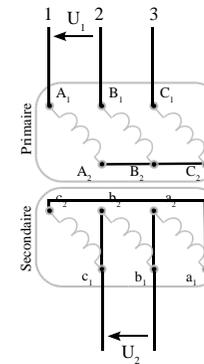


Couplage (exemples):

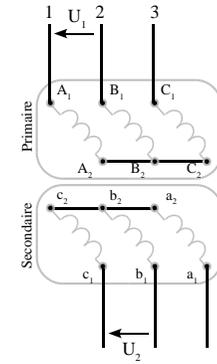
Il existe différents couplages primaires et secondaires (la majuscule indique le couplage du primaire et la minuscule celle du secondaire):

On appelle U_1 la tension entre phase au primaire et U_2 la tension entre phase au secondaire.

Le couplage étoile/triangle (Yd) :



Le couplage étoile/étoile (Yy)



Rapport de transformation :

Le rapport de transformation m d'un transformateur triphasé est le rapport des tensions composées (à vide) : $m = \frac{U_2}{U_1}$.

On appelle, pour une colonne, V_1 la tension aux bornes d'un enroulement du primaire et V_2 la tension aux bornes d'un enroulement au secondaire. Le rapport de transformation d'une colonne est le rapport

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad \text{Ce rapport peut-être différent de } m.$$

Pour un couplage Yd :

Sur une colonne, la tension qui s'applique sur l'enroulement primaire est V_1 la tension qui s'applique sur l'enroulement secondaire est $U_2 = V_2$.

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{V_2}{V_1 \sqrt{3}} = \frac{N_2}{N_1 \sqrt{3}}$$