

EXERCICE SUR LE TRANSFORMATEUR :

EXERCICE N°1 :

Les essais d'un transformateur monophasé ont donné les résultats suivants :

Essai à vide sous tension primaire nominale :

$$U_{1n} = 2,20 \text{ kV} ; f = 50 \text{ Hz} ;$$

Valeur efficace de l'intensité du courant mesuré au primaire :

$$U_{2v} = 230 \text{ V} ;$$

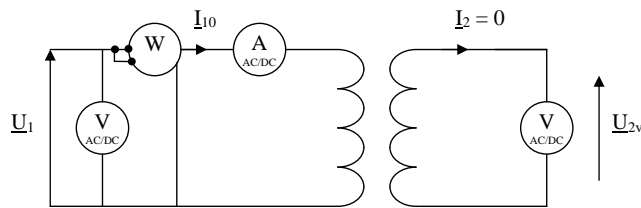
Puissance active mesurée au primaire :

$$P_{1v} = 700 \text{ W} ;$$

Essai en court-circuit sous tension primaire réduite :

$$U_{1cc} = 130 \text{ V} ; I_{2cc} = 200 \text{ A} \text{ et } P_{1cc} = 1,50 \text{ kW}.$$

- 1- Proposer un schéma de câblage du transformateur permettant lors de l'essai à vide, avec tous les appareils pour mesurer I_{1v} , U_{2v} , P_{1v} en indiquant le type d'appareil choisi.



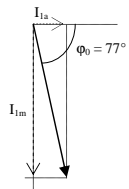
- 2- Calculer le rapport de transformation m:

$$m = \frac{U_{2v}}{U_{1n}} = \frac{230}{2200} = 0,104$$

- 3- Calculer le facteur de puissance du transformateur lors de l'essai à vide :

$$P_{10} = U_{1v} \cdot I_{1v} \cdot \cos \varphi_{10} \Rightarrow \cos \varphi_{10} = \frac{P_{10}}{U_{10} \cdot I_{10}} = \frac{700}{2200 \times 1,5} = 0,212$$

- 4- On note I_{1m} la valeur efficace de la composante réactive de l'intensité I_{1v} . Calculer I_{1m} (appelé parfois courant magnétisant).

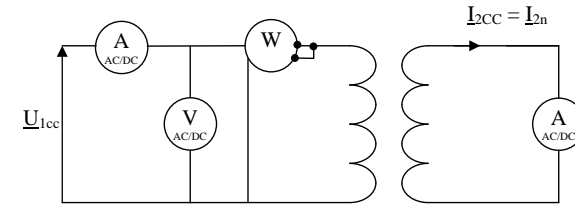


La composante magnétisante I_{1m} est :

$$I_{1m} = I_{10} \cdot \sin \varphi_{10} = 1,5 \times \sin(77^\circ) = 1,46 \text{ A}$$

- 5- On appelle R_s la résistance des enroulement ramené au secondaire et X_s la réactance ramené au secondaire.

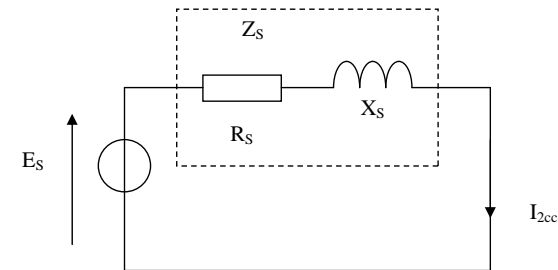
- a- Proposer un schéma de câblage du transformateur lors de l'essai en court-circuit, avec tous les appareils permettant de mesurer U_{1cc} , I_{1cc} , P_{1cc} .



- b- Pourquoi cet essai est-il réalisé sous tension primaire réduite ?

Le secondaire étant court-circuité, seule la résistance de l'enroulement du secondaire limite l'intensité du courant I_{2cc} . Comme cette résistance est très faible, il suffit d'une tension primaire réduite ($U_2 = mU_1$) pour obtenir une intensité de court-circuit égale à l'intensité nominale.

- c- Faire un schéma électrique équivalent du transformateur ramené au secondaire pour cet essai ; y porter toutes les grandeurs électriques.



- d- Que représente la puissance active P_{1cc} lors de cet essai ?

Cette puissance représente les pertes par effet Joule ou pertes cuivres.

- e- Calculer R_s .

$$P_{1cc} = R_1 \cdot I_{1cc}^2 + R_2 \cdot I_{2cc}^2$$

or

$$I_{1cc} = m \cdot I_{2cc} \text{ d'où } P_{1cc} = m^2 \cdot R_1 \cdot I_{2cc}^2 + R_2 \cdot I_{2cc}^2 = (m^2 \cdot R_1 + R_2) I_{2cc}^2$$

$$P_{1cc} = R_s \cdot I_{2cc}^2 \text{ avec } R_s = m^2 \cdot R_1 + R_2.$$

$$\text{A.N. : } R_s = \frac{1500}{200^2} = 37,5 \text{ m}\Omega$$

f- Calculer le module de l'impédance Z_s ramené au secondaire. Montrer que

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2}. \text{ Calculer } X_s.$$

$$E_s = Z_s \cdot I_{2cc}$$

$$\begin{cases} E_s = m \cdot U_{1cc} \\ I_{2cc} = \frac{I_{1cc}}{m} \end{cases} \Rightarrow m U_{1cc} = Z_s \cdot \frac{I_{1cc}}{m} \text{ soit } Z_s = m^2 \cdot \frac{U_{1cc}}{I_{1cc}}$$

$$\text{ou } Z_s = m \cdot \frac{U_{1cc}}{I_{2cc}}$$

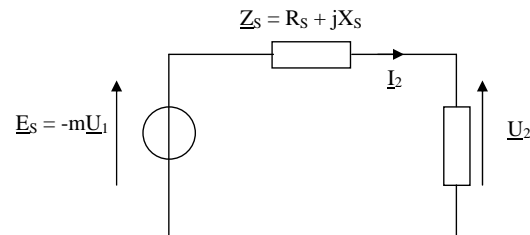
$$A.N : Z_s = 0,104 \cdot \frac{130}{200} = 67,9 \text{ m}\Omega \text{ et}$$

$$X_s = \sqrt{0,067^2 - 0,037^2} = 56,7 \text{ m}\Omega.$$

6- Le secondaire alimente maintenant une charge inductive de facteur de puissance 0,8.

$$U_{1n} = 2,2 \text{ kV. On relève } I_{2n} = 200 \text{ A.}$$

a- Faire un schéma électrique équivalent du montage, le transformateur étant représenté par son modèle ramené au secondaire.



b- Calculer une valeur approchée de U_2 .

$$U_2 = U_{2v} - \Delta U_2 = 230 - (0,0375 \times 200 \times 0,8 + 0,0567 \times 200 \times 0,6) = 217,2 \text{ V}$$

c- En déduire la puissance active fournie à la charge.

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2 = 217,2 \times 200 \times 0,8 = 34,75 \text{ kW}$$

d- Quel est la valeur des pertes dans le fer P_f ? ... des pertes Joules P_j ? et calculer la puissance active P_1 .

Comme le transformateur fonctionne sous les grandeurs nominales et que l'essai à vide s'est fait sous ces grandeurs, $P_f = 700 \text{ W}$.

Idem pour les pertes Joules : $P_j = 1500 \text{ W}$

$$\text{D'où } P_1 = P_f + P_j + P_2 = 700 + 1500 + 34751 = 36,95 \text{ kW}.$$

e- Calculer le rendement du transformateur η :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{34,75}{36,95} = 94\%$$

EXERCICE N°2 :

Les essais d'un transformateur monophasé ont donné :

- A vide : $U_1 = 220 \text{ V}$, 50 Hz (tension nominale du primaire) ;
 $U_{2v} = 44 \text{ V}$; $P_{1v} = 80 \text{ W}$ et $I_{1v} = 1 \text{ A}$.
- En continu au primaire ; $U_1 = 5 \text{ V}$; $I_1 = 10 \text{ A}$.
- En court-circuit : $U_{1cc} = 40 \text{ V}$; $P_{1cc} = 250 \text{ W}$; $I_{1cc} = 20 \text{ A}$ (courant nominale primaire).

1.1 Déterminer le rapport de transformation, et le nombre de spires du secondaire si l'on compte 520 au primaire.

$$m = \frac{U_{2v}}{U_1} = \frac{44}{220} = 0,2 \text{ et } N_2 = m \cdot N_1 = 0,2 \times 520 = 104 \text{ spires}$$

1.2 Vérifier que l'on peut négliger les pertes par effet Joule lors de l'essai à vide. En admettant que les pertes fer sont proportionnelles au carré de la tension primaire, montrer qu'elles sont négligeables dans l'essai en court circuit.

$$\text{Calcul de } R_1 : R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{5}{10} = 0,5 \Omega$$

$$\text{Les pertes mesurées lors de l'essai à vide sont : } P_{1v} = P_f + R_1 \cdot I_{1v}^2$$

Soit $P_f = P_{1v} - R_1 \cdot I_{1v}^2 = 80 - 0,5 \times 1^2 = 79,5 \text{ W}$ (les pertes Joule pour cet essai sont négligeables ; elles représentent 1% des pertes !).

$$\text{Les pertes mesurées lors de l'essai en court circuit sont : } P_{1cc} = P_c + P_f$$

$$\text{Or, } P_f = k \cdot U_1^2 \Rightarrow k = \frac{P_f}{U_1^2} = \frac{80}{220^2} = 1,65 \cdot 10^{-3} \text{ (pour l'essai à vide).}$$

$$\text{Pour l'essai en court-circuit : } U_{1cc} = 40 \text{ V d'où } P_f = 1,65 \cdot 10^{-3} \cdot 40^2 = 2,64 \text{ W}.$$

Soit, $P_j = P_{1cc} - P_f = 250 - 2,64 = 247,4 \text{ W}$ (les pertes fer pour cet essai représentent 1% des pertes totales, donc elles sont négligeables).

1.3 Déterminer les valeurs de X_s et R_s .

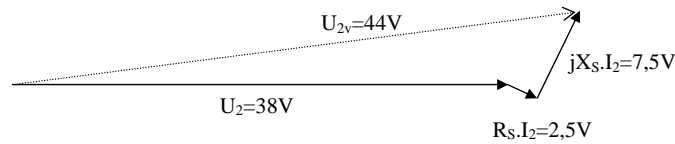
$$P_{1cc} = R_s \cdot I_{2cc}^2 \Rightarrow R_s = \frac{P_{1cc}}{I_{2cc}^2} = m^2 \cdot \frac{P_{1cc}}{I_{1cc}^2} = 0,2^2 \cdot \frac{250}{20^2} = 25 \text{ m}\Omega$$

$$m U_{1cc} = Z_s \cdot \frac{I_{1cc}}{m} \Rightarrow Z_s = m^2 \cdot \frac{U_{1cc}}{I_{1cc}} = 80 \text{ m}\Omega \text{ d'où}$$

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = \sqrt{(80 \cdot 10^{-3})^2 - (25 \cdot 10^{-3})^2} = 76 \text{ m}\Omega$$

2- Le transformateur, alimenté au primaire sous sa tension nominale, débite 100A au secondaire avec un facteur de puissance égal à 0,9 (charge inductive).

2.1 Déterminer graphiquement la tension secondaire du transformateur. En déduire la puissance délivrée au secondaire.



$$U_2 = 44 - (2,5 \times 0,9 + 7,5 \times 0,4) = 38,4 \text{ V}$$

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 38,4 \times 100 \times 0,9 = 3,46 \text{ kW}$$

2.2 Déterminer la puissance absorbée au primaire, ainsi que le facteur de puissance.

$$P_1 = P_f + P_c + P_2 = 80 + 250 + 3460 = 3,78 \text{ kW}$$

et

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1} = \frac{3786}{220 \cdot 20} = 0,86$$

EXERCICE N°3 :

L'étude d'un transformateur monophasé 1500V, 225V, 50 Hz de puissance apparente 44 kVA, a donné les essais suivants :

- Essai en continu au primaire :
 $U_1 = 2,5 \text{ V}$; $I_1 = 10 \text{ A}$;
- Essai à vide :
 $U_1 = 1500 \text{ V}$; $I_{1v} = 2 \text{ A}$; $U_{2v} = 225 \text{ V}$; $P_{1v} = 300 \text{ W}$;
- Essai en court-circuit :
 $U_{1cc} = 22,5 \text{ V}$; $I_{1cc} = 22,5 \text{ A}$; $P_{1cc} = 225 \text{ W}$.

1- Déterminer le rapport de transformation :

$$m = \frac{U_{2v}}{U_1} = \frac{225}{1500} = 0,150$$

2.a- Calculer la composante active du courant lors de l'essai à vide :

$$I_{1va} = I_{1v} \cdot \cos \varphi_{1v} = I_{1v} \cdot \frac{P_{1v}}{U_{1v} \cdot I_{1v}} = 2 \times 0,1 = 0,2 \text{ A}$$

2.b- Vérifier que l'on peut négliger les pertes par effet Joule lors de l'essai à vide :

$$\text{Calcul de } R_1 : R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{2,5}{10} = 0,25 \Omega$$

Les pertes mesurées lors de l'essai à vide sont : $P_{1v} = P_f + R_1 \cdot I_{1v}^2$

Soit $P_f = P_{1v} - R_1 \cdot I_{1v}^2 = 300 - 0,25 \times 2^2 = 299 \text{ W}$ (les pertes Joule pour cet essai sont négligeables ; elles représentent 0,33% des pertes !).

2.c- Montrer que les pertes fer sont négligeables dans l'essai en court circuit, en admettant qu'elles sont proportionnelles au carré de la tension primaire.

Les pertes mesurées lors de l'essai en court circuit sont : $P_{1cc} = P_c + P_f$

$$\text{Or, } P_f = k \cdot U_1^2 \Rightarrow k = \frac{P_f}{U_1^2} = \frac{300}{1500^2} = 0,133 \cdot 10^{-3} \text{ (pour l'essai à vide).}$$

Pour l'essai en court-circuit : $U_{1cc} = 22,5 \text{ V}$ d'où $P_f = 0,133 \cdot 10^{-3} \cdot 22,5^2 = 67,5 \text{ mW}$.

Soit, $P_j = P_{1cc} - P_f = 225 - 0,675 = 224,9 \text{ W}$ (les pertes fer sont négligeables).

3- Calculer les éléments R_s et X_s des enroulements ramenés au secondaires.

$$P_{1cc} = R_s \cdot I_{2cc}^2 \Rightarrow R_s = \frac{P_{1cc}}{I_{2cc}^2} = m^2 \frac{P_{1cc}}{I_{1cc}^2} = 0,150^2 \cdot \frac{225}{22,5^2} = 10 \text{ m}\Omega$$

$$m U_{1cc} = Z_s \cdot \frac{I_{1cc}}{m} \Rightarrow Z_s = m^2 \cdot \frac{U_{1cc}}{I_{1cc}} = 0,150^2 \cdot \frac{22,5}{22,5} = 22,5 \text{ m}\Omega \text{ d'où}$$

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = \sqrt{(22,5 \cdot 10^{-3})^2 - (10 \cdot 10^{-3})^2} = 20,2 \text{ m}\Omega$$

4- Le transformateur alimenté au primaire sous une tension $U_1 = 1500 \text{ V}$ débite un courant constant d'intensité $I_2 = 200 \text{ A}$, quelque soit la charge.

a- Déterminer la valeur de φ_2 , déphasage entre courant et tension secondaire, pour que la chute de tension soit nulle.

$$\Delta U_2 = 0 \Leftrightarrow R_s I_2 \cdot \cos \varphi_2 + X_s I_2 \cdot \sin \varphi_2 = 0$$

$$\frac{\sin \varphi_2}{\cos \varphi_2} = \tan \varphi_2 = -\frac{R_s}{X_s}$$

$$\text{soit } \varphi_2 = -\arctan\left(\frac{10}{20,2}\right) = -26^\circ$$

b- Déterminer la chute de tension relative pour $\cos \varphi_2 = 0,8$.

$$\Delta U_2 = (0,01 \times 200 \times 0,8 + 0,02 \times 200 \times 0,6) = 4 \text{ V}$$

$$U_2 = U_{2v} - \Delta U_2 = 225 - 4 = 221 \text{ V}$$

$$\frac{U_{2v} - U_2}{U_{2v}} = 1,8\%$$

5- Déterminer le rendement .

$$P_2 = 221 \cdot 200 \cdot 0,9 = 39,78 \text{ kW}$$

$$P_1 = P_f + P_j + P_2 = 300 + 10 \cdot 10^{-3} \cdot 200^2 + 221 \cdot 200 \cdot 0,9 = 40,48 \text{ kW}.$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{39,78}{40,48} = 98,2\%$$