

## Résumé du cours

Valeurs nominales données par le constructeur :  $U_{1N}$ ,  $U_{2N}$  et  $S_N$ .

Avec  $S_N = U_{1N} \cdot I_{1N} = U_{2N} \cdot I_{2N}$

Formule de Boucherot :

$$U_1 = 4,44 B_{max} N_1 S f \quad \text{et} \quad U_{20} = 4,44 B_{max} N_2 S f$$

Détermination des éléments  $R_S$  et  $X_S$  :

A partir des essais :

- A vide : transformateur alimenté sous  $U_1$ , on mesure  $U_{20}$  et  $P_{10}$ .
- En court-circuit : (pour  $I_{2CC} = I_{2N}$ ) on mesure  $U_{1CC}$  et  $P_{1CC}$ .

$$R_S = P_{1CC} / I_{2CC}^2 ; \quad Z_S = m U_{1CC} / I_{2CC} \quad \text{et} \quad X_S = \sqrt{(Z_S^2 - R_S^2)}$$

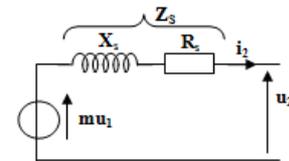
Chute de tension  $\Delta U_2$ 

$$\Delta U_2 = R_S I_2 \cos \varphi_2 + X_S I_2 \sin \varphi_2$$

Soit  $U_2 = U_{20} - \Delta U_2$

Rapport de transformation :

$$m = U_{20} / U_1 = I_{1CC} / I_{2CC} = N_2 / N_1$$

Modèle équivalentRendement du transformateur :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 I_2 \cos \varphi_2}{U_2 I_2 \cos \varphi_2 + P_{10} + R_S I_2^2}$$

Avec : Pertes cuivre =  $R_S I_2^2$   
 Pertes fer =  $P_{10}$

## Activité 7

## TD : Transformateur monophasé

**EXERCICE 1** : Soit un transformateur parfait 400V/230V- 50 Hz de puissance apparente nominale  $S = 2 \text{ KVA}$ .

1. Calculer les courants nominaux  $I_{1N}$ ,  $I_{2N}$  et le rapport de transformation  $m$ .

$$I_{1N} = \dots \dots \dots \quad I_{2N} = \dots \dots \dots$$

$$m = \dots \dots \dots$$

2. La charge inductive est constituée d'une résistance  $R=20 \Omega$  en série avec une inductance  $L=50 \text{ mH}$ . Calculer l'impédance de la charge  $Z_2$  et son facteur de puissance  $\cos \varphi_2$ . En déduire les courants  $I_1$  et  $I_2$  du transformateur et la puissance active fournie  $P_2$ .

$$Z_2 = \dots \dots \dots \quad \cos \varphi_2 = \dots \dots \dots$$

$$I_1 = \dots \dots \dots \quad I_2 = \dots \dots \dots$$

$$P_2 = \dots \dots \dots$$

**EXERCICE 2** : On veut déterminer le rendement d'un transformateur monophasé par la méthode des pertes séparées. Pour cela, trois essais sont réalisés.

Essai à vide :  $U_1 = 230 \text{ V}$ ,  $U_{20} = 130 \text{ V}$ ,  $I_{10} = 0,5 \text{ A}$ ,  $P_{10} = 75 \text{ W}$ .

Essai en court-circuit :  $U_{1CC} = 20 \text{ V}$ ,  $I_{2CC} = 10 \text{ A}$ ,  $P_{1CC} = 110 \text{ W}$ .

Essai avec une charge résistive pour un fonctionnement nominal :  $U_1 = 230 \text{ V}$ ,  $U_2 = 120 \text{ V}$ ,  $I_2 = 10 \text{ A}$ .

1. Calculer le rapport de transformation  $m$  du transformateur.

$$m = \dots \dots \dots$$

2. Quel est le facteur de puissance à vide  $\cos \varphi_{10}$  ?

$$\cos \varphi_{10} = \dots \dots \dots$$

3. Déterminer :

3.1. Les pertes dans le fer  $P_{fer}$ .

$P_{fer} = \dots\dots\dots$

3.2. Les pertes par effet Joule  $P_j$  pour le fonctionnement nominal.

$P_j = \dots\dots\dots$

4. Calculer le rendement  $\eta$  du transformateur pour le fonctionnement nominal.

$\eta = \dots\dots\dots$

**EXERCICE 3 :** Sur la plaque signalétique d'un transformateur monophasé on relève : **5000 V/400 V, 50 Hz** et **S= 20 KVA**. On réalise les essais suivants :

- Essai à vide sous  $U_{IN} = 5 \text{ KV}$ , on relève :  $U_{20} = 400 \text{ V}$ ,  $P_{10} = 500 \text{ W}$  et  $I_{10} = 0,5 \text{ A}$ .
- Essai en court-circuit sous  $U_{ICC} = 280 \text{ V}$  on relève :  $P_{ICC} = 500 \text{ W}$  et  $I_{2CC} = 50 \text{ A}$ .

1. Quelles sont les valeurs efficaces des courants nominaux  $I_{1N}$  et  $I_{2N}$ .

$I_{1N} = \dots\dots\dots$        $I_{2N} = \dots\dots\dots$

2. Déterminer le rapport de transformation  $m$ .

$m = \dots\dots\dots$

3. Calculer les éléments  $R_S$  et  $X_S$  du schéma équivalent du transformateur vu du secondaire.

$R_S = \dots\dots\dots$

$Z_S = \dots\dots\dots$

$X_S = \dots\dots\dots$

4. Essai en charge : On prendra  $R_S = 0.2\Omega$ ,  $X_S = 0.4\Omega$ ,  $U_2 = 380\text{V}$ ,  $I_2 = 50\text{A}$  et  $\cos \varphi_2 = 0.8$ .

4.1. Calculer  $U_{20}$  en utilisant la relation approchée  $\Delta U_2 = R_S I_2 \cos \varphi_2 + X_S I_2 \sin \varphi_2$ .

$\Delta U_2 = \dots\dots\dots$

$U_{20} = \dots\dots\dots$

4.2. Calculer ce rendement  $\eta$ .

$\eta = \dots\dots\dots$

**EXERCICE 4 :** Un transformateur monophasé **110 V/220 V, 50 Hz** a donné les essais suivants :

- Essai à vide :  $U_1 = 110 \text{ V}$  –  $U_{20} = 220 \text{ V}$  –  $I_{10} = 3 \text{ A}$  –  $P_{10} = 67 \text{ W}$ .
- Essai en court-circuit :  $U_{ICC} = 7 \text{ V}$  –  $I_{ICC} = 20 \text{ A}$  –  $P_{ICC} = 105 \text{ W}$ .

1. Calculer le rapport de transformation  $m$ .

$m = \dots\dots\dots$

2. Calculer le facteur de puissance à vide  $\cos \varphi_{10}$ .

$\cos \varphi_{10} = \dots\dots\dots$

3. Donner le modèle équivalent du transformateur vu des bornes du secondaire.

4. Calculer les grandeurs  $R_S$ ,  $Z_S$  et  $X_S$  ramenées au secondaire.

$R_S = \dots\dots\dots$

$Z_S = \dots\dots\dots$

$X_S = \dots\dots\dots$

Le primaire est soumis à la tension nominale  $U_{1N} = 110 \text{ V}$ . La valeur efficace de l'intensité du courant au secondaire est  $I_2 = 10 \text{ A}$  sur une charge inductive avec un  $\cos \varphi_2 = 0,8$ .

5. Déterminer la tension au secondaire  $U_2$ .

.....  
.....

6. Calculer le rendement du transformateur  $\eta$ .

.....  
Le transformateur débite toujours sur une charge inductive dont le facteur de puissance reste constant et égal à 0,8. On désire obtenir le rendement maximal  $\eta_{\max}$  ( $P_{\text{fer}} = P_{\text{cuivre}}$ )

7. Calculer la valeur efficace de l'intensité du courant au secondaire  $I_2$ .

.....  
8. Déterminer ce rendement  $\eta_{\max}$  si la valeur efficace  $U_2 = 209 \text{ V}$ .

.....

**EXERCICE 5 :** Les essais d'un transformateur monophasé 220 V/24 V, 50 Hz, 200 VA sont les suivants :

- Essai en continu au primaire :  $U_1 = 6 \text{ V}$  ;  $I_1 = 0,95 \text{ A}$ .
- Essai à vide :  $U_1 = 220 \text{ V}$ ,  $P_{10} = 6 \text{ W}$ ,  $I_{10} = 0,11 \text{ A}$  et  $U_{20} = 24 \text{ V}$ .
- Essai en court - circuit :  $I_{2CC} = I_{2N}$ ,  $P_{1CC} = 11 \text{ W}$ ,  $I_{1CC} = 0,91 \text{ A}$  et  $U_{1CC} = 20 \text{ V}$ .

1- Calculer la résistance de l'enroulement du primaire  $R_1$ .

.....  
2- Proposer un montage permettant de réaliser l'essai à vide.

3- En déduire de cette essai : le rapport de transformation  $m$  ; les pertes par effet Joule à vide  $P_{j10}$  ; les pertes dans le fer  $P_{\text{fer}}$  et montrer que  $P_{10} = P_{\text{fer}}$ .

.....  
.....  
.....

4- Proposer un montage permettant de réaliser l'essai en court - circuit.

5- En déduire de cette essai : Les pertes par effet Joule en court - circuit (peut- on négliger les pertes dans le fer ?) ; la résistance  $R_S$  et la réactance  $X_S$  des enroulements ramenés au secondaire ; le modèle équivalent vu du secondaire.

6- Le transformateur, alimenté au primaire sous la tension nominale, débite un courant  $I_2 = 8,3 \text{ A}$  dans une charge inductive de facteur de puissance  $0,8$ . Déterminer graphiquement (Echelle :  $1 \text{ cm pour } 8 \text{ V}$ ) la tension secondaire  $U_2$  en charge et en déduire la valeur de la chute de tension secondaire en charge  $\Delta U_2$ . Vérifier ces résultats par le calcul.

-----► Origine des phases

7- Calculer le rendement  $\eta$  de ce transformateur.

### Activité 8

### Exercices à résoudre : Transformateur monophasé

**EXERCICE 1 :** Le primaire d'un transformateur monophasé est alimenté par une tension sinusoïdale de valeur efficace  $U_1 = 2200 \text{ V}$  et de fréquence  $f = 50 \text{ Hz}$ .

Les essais suivants ont été réalisés :

- Essai à vide :  $U_{10} = 2200 \text{ V}$ ,  $U_{20} = 220 \text{ V}$ ,  $I_{10} = 1 \text{ A}$  et  $P_{10} = 550 \text{ W}$
- Essai en court-circuit :  $U_{1CC} = 150 \text{ V}$ ,  $I_{2CC} = 100 \text{ A}$  et  $P_{1CC} = 750 \text{ W}$

- 1 – Calculer le rapport de transformation
- 2 – Calculer le facteur de puissance à vide.
- 3 – Donner le modèle équivalent du transformateur vu des bornes du secondaire.
- 4 – Calculer les grandeurs  $R_S$  et  $X_S$ .

Pour une charge nominale, on a relevé la valeur efficace de la tension au  $U_{1N} = 2200 \text{ V}$ . La valeur efficace de l'intensité du courant au secondaire est  $I_{2N} = 100 \text{ A}$  sur une charge inductive avec un  $\cos \varphi_{2N} = 0,8$ .

- 5 – A l'aide de la formule approchée, déterminer la chute de tension au secondaire.
- 6 – Calculer les puissances active et réactive au secondaire du transformateur.
- 7 – Calculer le rendement du transformateur.

**EXERCICE 2 :** Un transformateur monophasé de puissance apparente nominale  $S_n = 27,6 \text{ kVA}$ , de tension primaire nominale  $U_{1N} = 8,6 \text{ kV}$ , fonctionne à la fréquence  $f = 50 \text{ Hz}$ .

On mesure dans un essai à vide, sous tension primaire nominale, la tension secondaire  $U_{20} = 132 \text{ V}$  et la puissance absorbée  $P_{10} = 133 \text{ W}$ .

On mesure dans un essai en court-circuit :  $U_{1CC} = 289 \text{ V}$ ,  $P_{1CC} = 485 \text{ W}$  et  $I_{2CC} = 210 \text{ A}$

1- Le transformateur est alimenté sous  $U_{1N}$ , la section du noyau est  $S = 380 \text{ cm}^2$ , le champ magnétique  $B$  maximale dans le noyau vaut  $1,2 \text{ T}$ , quel est le nombre de spires  $N_1$  de l'enroulement primaire ?

2- Calculer le rapport de transformation  $m$ .

3- Essai en court-circuit.

a- Montrer que les pertes fer sont négligeables, dans cet essai, en supposant qu'elles sont proportionnelles au carré de la tension d'alimentation.

b- D'après les valeurs mesurées, calculer les éléments ramenés au secondaire  $R_S$  et  $X_S$ .

4- On suppose dans cette question que  $R_S = 11,0 \text{ m}\Omega$  et  $X_S = 18 \text{ m}\Omega$ . Le transformateur débite  $I_2 = 210 \text{ A}$  sur une charge inductive de facteur de puissance  $\cos \varphi_2 = 0,75$ . Déterminer la tension secondaire  $U_2$ .

5- Déduire des essais à vide et en court-circuit, les pertes fer et les pertes joules, pour la charge du question 4-. Calculer ensuite le rendement pour la même charge.

**EXERCICE 3 :** Un transformateur est monophasé  $230\text{V}/30\text{V}$ . Sa puissance apparente nominale est  $S = 8 \text{ KVA}$ .

1- Rappeler la définition de la puissance apparente en fonction des valeurs efficaces des tensions composées et des intensités des courants de ligne; en déduire les intensités nominales  $I_{1n}$  au primaire et  $I_{2n}$  au secondaire.

2- Calculer le rapport de transformation  $m$ .

3- On veut mesurer la puissance active  $P_1$  absorbée pour déterminer le facteur de puissance  $\cos \varphi_1$  au primaire. Placer les appareils de mesure nécessaires sur un schéma de montage.

4- Le wattmètre indique  $P_{1n} = 7 \text{ kW}$  quand le transformateur absorbe son courant nominal  $I_{1n}$ . Calculer le facteur de puissance  $\cos \varphi_1$  et la puissance réactive nominale  $Q_{1n}$  au primaire.

On a mesuré les pertes du transformateur en régime nominal :

Pertes " cuivre " par effet Joule :  $P_J = 160 \text{ W}$

Pertes " fer " ou magnétiques :  $P_F = 140 \text{ W}$

5) Calculer la puissance active  $P_{2n}$  au secondaire, puis le rendement  $\eta$  du transformateur en régime nominal.

**EXERCICE 4 :** Pour déterminer le rendement du transformateur réel, on réalise 3 essais.

1) Essai à vide : On mesure :  $U_{1n} = U_{10} = 230 \text{ V}$  ;  $U_{20} = 50 \text{ V}$  et  $P_{10} = 6 \text{ W}$

a) Quelle est la valeur de  $I_2$  ?

b) faire un schéma et placer les appareils de mesures permettant d'effectuer ces mesures.

c) Calculer le rapport de transformation  $m$ .

d) En déduire le nombre de spires  $N_2$  du secondaire sachant qu'au primaire  $N_1 = 460$  spires.

e) Lors de cet essai, quelles pertes détermine-t-on ? Donner leurs valeurs.

2) Essai sur charge résistive de résistance  $R$ . On mesure :

$U_1 = 230 \text{ V}$  ;  $U_2 = 48 \text{ V}$  et  $I_2 = 2 \text{ A}$ .

a) Quelle est alors la valeur de la résistance  $R$  ?

b) Calculer la chute de tension au secondaire  $\Delta U = U_{20} - U_2$ .

c) Calculer  $P_2$ .

d) Calculer  $P_1$  en tenant compte des différentes pertes. ( $P_F = 6 \text{ W}$  et  $P_J = 10 \text{ W}$ ).

e) En déduire le rendement  $\eta$  du transformateur lors de cet essai.

Transformateur étudié : un transformateur abaisseur de tension dont la plaque signalétique indique :  
**220V/24V ; 100 VA ; 50 Hz.**

**1. Mesure de résistance des enroulements**

Utiliser un multimètre numérique pour mesurer directement la résistance des enroulements :

au primaire :  $R_1 = \dots\dots\dots\Omega$  ; au secondaire :  $R_2 = \dots\dots\dots\Omega$ .

**2. Etude à vide**

21- Donner le schéma du montage de l'essai à vide permettant de mesurer  $U_1$ ,  $U_{20}$ ,  $P_{10}$  et  $I_{10}$ .

$I_{10}$	$P_{10}$	$U_{20}$
.....	.....	.....

22- Calculer le rapport de transformation à vide  $m$ .

$m = \dots\dots\dots$

23- Pour  $U_1 = 220\text{ V}$ , calculer les pertes à vide  $P_{J0}$  dissipées par effet Joule.

$P_{J0} = \dots\dots\dots$

Comparer  $P_{J0}$  et  $P_{10}$  : .....

24- Prévoir la valeur des pertes magnétiques à vide si la tension  $U_1$  est ramenée à la valeur  $U_{1CC}$ .

**3. Etude en court-circuit**

31- Donner le schéma du montage de l'essai en court-circuit permettant de mesurer  $U_{1CC}$ ,  $P_{1CC}$  et  $I_{2CC}$ . On rappelle que la manipulation est effectuée sous tension primaire réduite.

$I_{2CC} = I_{2N}$	$P_{1CC}$	$U_{1CC}$
.....	.....	.....

32- A partir de cet essai, déterminer les valeurs des paramètres  $R_S$  et  $X_S$  du modèle de Thévenin du transformateur.

$R_S = \dots\dots\dots$

$Z_S = \dots\dots\dots$

$X_S = \dots\dots\dots$

**4. Prédétermination d'un fonctionnement en charge**

On donne  $U_1 = 220\text{ V}$ ,  $I_2 = 4\text{ A}$  et  $\cos \varphi_2 = 1$

41- Rappeler la relation approchée exprimant  $\Delta U_2$  en fonction de  $R_S$ ,  $X_S$ ,  $\cos \varphi_2$  et  $\sin \varphi_2$ . Evaluer la valeur de la tension  $U_2$  pour cette charge. Comparer la valeur trouvée à celle figurant sur la plaque signalétique.

$\Delta U_2 = \dots\dots\dots$

$U_2 = \dots\dots\dots$

42- calculer le rendement  $\eta$  du transformateur.

$\eta = \dots\dots\dots$