

Résumé du cours

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

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

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 : transfo 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 ΔU_2

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

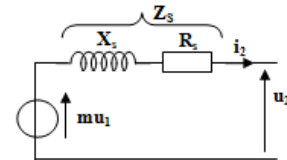
Soit $U_2 = U_{20} - \Delta U_2$



Rapport de transformation :

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

Modèle équivalent



Rendement 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_{IN} , I_{2N} et le rapport de transformation m .

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

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

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 η 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 η .

$\eta = \dots\dots\dots$

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 .

$\dots\dots\dots$
 $\dots\dots\dots$

6. Calculer le rendement du transformateur η .

$\dots\dots\dots$

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 η_{\max} ($P_{\text{fer}} = P_{\text{cuivre}}$)

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

$\dots\dots\dots$

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

$\dots\dots\dots$

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 .

$\dots\dots\dots$

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

$\dots\dots\dots$

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_{fer} et montrer que $P_{10} = P_{\text{fer}}$.

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

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 ΔU_2 . Vérifier ces résultats par le calcul.

-----► Origine des phases

7- Calculer le rendement η 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- Dédire 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 η 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 η du transformateur lors de cet essai.

Activité 9

TP2 : Transformateur monophasé

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 $U_1 = 220$ 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 $U_1 = 220$ V, $I_2 = 4$ A et $\cos \varphi_2 = 1$

41- Rappeler la relation approchée exprimant ΔU_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 η du transformateur.

$\eta = \dots\dots\dots$