

Pr. Mohamed EL HARZLI

Année universitaire 2017/2018

Série « Transformateur »

Exercice 1

Un transformateur idéal doit être relié à un réseau 20 kV, 50 Hz et donner au secondaire une tension de 220 V. Le fer a une section utile de 5 dm² et ne doit être traversé que par un champ maximal $B_{\max} = 1.1$ T. Calculer :

- le nombre de spires du primaire ;
- le nombre de spires du secondaire ;
- les différentes puissances primaires et secondaires qui correspondent à un débit $I_2 = 150$ A sous un $\cos\phi_2 = 0,9$ avec charge inductive ;
- l'intensité du courant primaire.

Exercice 2

I - Etude à vide

- Un essai à vide a donné les résultats suivants :

$$U_1 = 220 \text{ V} ; U_{2V} = 24 \text{ V} ; I_{1V} = 0,20 \text{ A} ; P_{1V} \text{ (Puissance absorbée au primaire)} = 15 \text{ W.}$$

- Pour la résistance du primaire, on a mesuré $R_1 = 3,0\Omega$.

- a) Calculer le rapport de transformation m ;
- b) Si $N_1 = 800$ spires (nombre de spires du primaire), calculer N_2 (nombre de spires du secondaire) ;
- c) Calculer les pertes par effet Joule à vide, en déduire qu'elles sont négligeables ;
- d) Que valent alors les pertes dans le fer P_{Fer} ?

II - Etude en court-circuit

Un essai en court-circuit a donné les résultats suivants :

$$U_{1cc} = 15 \text{ V} ; I_{2cc} = 8,0 \text{ A} = I_{2N} ; P_{1cc} = 10 \text{ W.}$$

- a) Faire un schéma du montage complet avec tous les appareils permettant de réaliser cet essai.
- b) Le transformateur étant supposé parfait pour les courants, calculer I_{1cc} (courant appelé au primaire).
- c) Expliquer pourquoi les pertes dans le fer sont négligeables dans cet essai. En déduire la valeur des pertes par effet Joule P_J .
- d) Calculer :
 - l'impédance équivalente Z_S ramenée au secondaire ;
 - la résistance équivalente R_S ramenée au secondaire ;
 - la réactance de fuites équivalente X_S ramenée au secondaire.

III - Etude en charge nominale

Un essai réalisé pour la charge nominale a donné $U_1 = 220 \text{ V} ; I_{2N} = 8,0 \text{ A}$ et $\cos\phi_2 = 0,75$ (charge inductive).

- a) Calculer la chute de tension ΔU_2 et en déduire la valeur de la tension secondaire nominale U_{2N} .
- b) Calculer le rendement du transformateur pour cet essai.

Exercice 3

La plaque du transformateur porte les indications suivantes : 220 V / 78 V ; 50 Hz ; 250 VA.

La section S du circuit magnétique vaut 16 cm^2 , le nombre de spires N_2 du secondaire est de 182.

La résistance R_1 du primaire a une valeur de $8,0 \Omega$.

1) Calculer les intensités I_{1n} et I_{2n} des courants nominaux.

2) un essai à vide sous tension primaire nominale a donné :

$$U_{20} = 78,0 \text{ V} ; I_{1v} = 0,12 \text{ A} ; P_{1v} = 8,0 \text{ W}.$$

Donner le schéma du montage permettant de réaliser cet essai à vide.

Calculer le rapport de transformation m, les pertes par effet Joule à vide p_{j1v} , les pertes

ferromagnétiques à vide p_{fv} , le facteur de puissance et le champ magnétique maximal dans le fer.

Pour ce dernier calcul la chute de tension du primaire est négligée.

3) Un essai en court-circuit sous tension primaire réduite a donné :

$$U_{1cc} = 18,0 \text{ V} ; I_{1cc} = 1,0 \text{ A} ; P_{1cc} = 15,0 \text{ W}.$$

Donner le schéma du montage permettant de réaliser cet essai en court-circuit.

En admettant que les pertes ferromagnétiques en court-circuit p_{fcc} sont négligeables, calculer les pertes par effet Joule correspondant à cet essai.

Représenter le modèle de Thévenin ramené au secondaire dans le cadre de cet essai et calculer la f.é.m. de court-circuit E_{Scc} , l'impédance Z_S , la résistance R_S et la réactance X_S de ce modèle.

4) Le transformateur fonctionne sous tension primaire nominale et débite au secondaire un courant d'intensité $2,0 \text{ A}$ dans une charge inductive de facteur de puissance égal à $0,85$. Représenter le modèle de Thévenin ramené au secondaire dans le cadre de ce fonctionnement, déterminer la tension secondaire et calculer le rendement. Pour la détermination de U_2 , on pourra utiliser l'expression approchée de la chute de tension au secondaire :

$$\Delta U = R_S I_2 \cos \varphi_2 + X_S I_2 \sin \varphi_2.$$

Exercice 4

Lors d'un essai à vide sous tension nominale du transformateur monophasé on a relevé :

$$U_1 = 660 \text{ V} ; f = 50 \text{ Hz} ; I_{1v} = 0,60 \text{ A} ; U_{2v} = 382 \text{ V} ; P_{1v} = 50 \text{ W}.$$

Un courant continu d'intensité égale à $3,0 \text{ A}$ correspond à une tension $V_1 = 6,3 \text{ V}$ lorsqu'il circule au primaire et $V_2 = 2,1 \text{ V}$ lorsqu'il circule au secondaire.

1. Calculer la résistance de chaque bobinage. Déterminer la résistance totale ramenée au secondaire R_s . On rappelle que $R_s = m^2 R_1 + R_2$ (m : rapport de transformation).

2. Pour l'essai à vide, calculer les pertes par effet Joule. En déduire les pertes dans le fer. Déterminer l'erreur relative commise en assimilant la puissance absorbée à vide avec les pertes dans le fer.

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

4. On note : I_{1r} la valeur efficace de la composante réactive de l'intensité i_{10} et I_{1a} la valeur efficace de la composante active ($i_{1v} = i_{1a} + i_{1r}$: relation instantanée).

- Calculer I_{1r} et I_{1a} .

- En déduire la valeur de la résistance R_F et de la réactance X qui placés en parallèle modélisent le transformateur fonctionnant à vide (on négligera la chute de tension dans R_1).

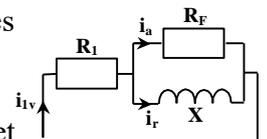
- Calculer la puissance dissipée dans R_F . La comparer à P_{1v} . Que peut-on en conclure ?

5. Le transformateur, alimenté sous la tension nominale, est chargé par des lampes à incandescence équivalentes à une résistance R de 50Ω .

On rappelle que $\Delta U_2 = R_s I_2 \cos \varphi_2 + X_s I_2 \sin \varphi_2$ (avec R_s et X_s sont respectivement la résistance et la réactance, ramenées au secondaire ; I_2 : courant dans la charge).

- Donner le schéma équivalent de Thévenin ramené au secondaire.

- Calculer l'intensité du courant I_2 en fonction de U_{2v} , R et R_s .



- Quel est alors le rendement du transformateur ?

6. On remplace la charge précédente par un dispositif équivalent à une résistance $R = 40 \Omega$ placée en série avec une inductance $L = 0,10 \text{ H}$. Le secondaire débite alors un courant d'intensité $I_2 = 7,2 \text{ A}$.

- Calculer l'impédance et le facteur de puissance de la charge.
- Déterminer la chute de tension en charge au secondaire du transformateur.
- En déduire la réactance ramenée au secondaire X_S .

Exercice 5

La plaque d'un transformateur monophasé porte les indications suivantes :

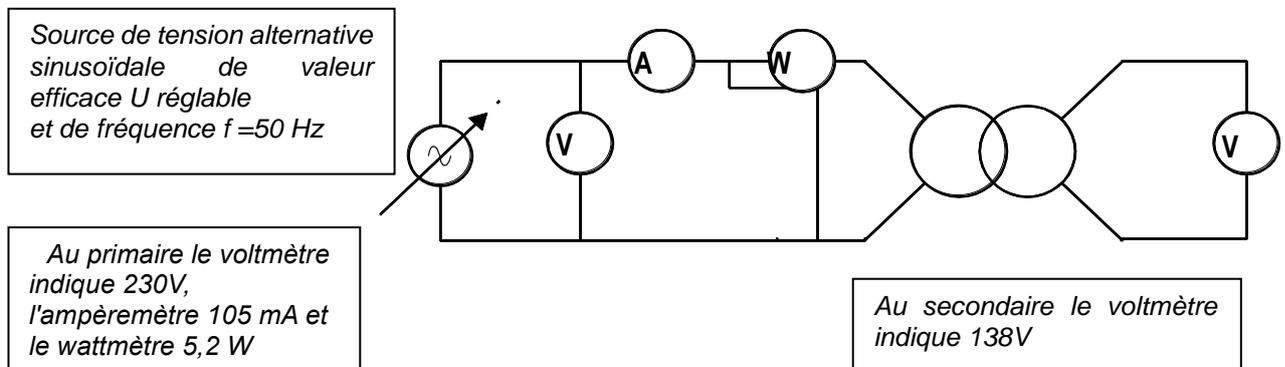
230V/138V 250VA 50Hz

1. À partir des indications de la plaque, déterminer les valeurs efficaces des intensités nominales des courants primaire et secondaire.

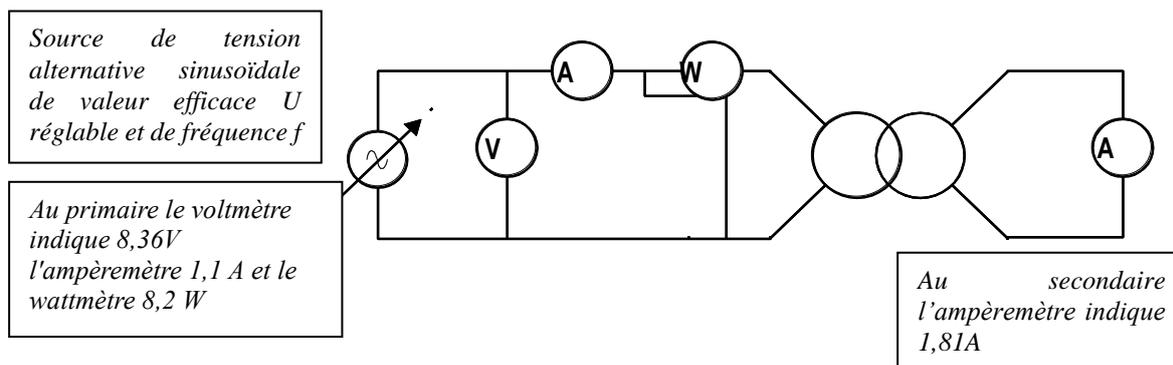
2. On donne ci-dessous les trois essais réalisés avec ce transformateur ainsi que le modèle du transformateur vu du secondaire. La fréquence de la tension d'alimentation au primaire est de 50 Hz pour les trois essais.

- Déterminer la puissance fournie par le secondaire lors de l'essai en charge.
- En vous servant des résultats des expériences 1 et 2, déterminer le rendement du transformateur lors de l'essai en charge.
- Calculer le rapport du nombre de spires N_2/N_1
- Calculer les valeurs R_S et X_S des éléments du modèle du transformateur vu du secondaire.
- Calculer la valeur approchée de la chute de tension au secondaire pour la charge de l'expérience. Comparer cette valeur avec la chute de tension au secondaire effectivement mesurée.

Expérience 1 :



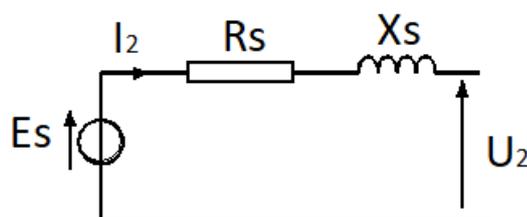
Expérience 2 :



Expérience 3 : Essai sur charge résistive

Au primaire le
voltmètre indique
230V

schéma du transformateur vu du secondaire



Au secondaire le
voltmètre indique 133V
et l'ampèremètre 1,81A

Exercice 6

Un transformateur triphasé, le primaire est couplé en triangle et secondaire est couplé en étoile sans fil neutre, reçoit l'énergie d'une ligne à 1500V entre phases et la transforme pour un atelier qui doit être alimenté en 220V/380V en charge normale et comprend alors :

- 5 moteurs absorbant 3500W chacun avec un $\cos\varphi=0,78$;
- 30 lampes de 100W/220V ;

1. Calculer l'intensité du courant dans une bobine secondaire du transformateur et son déphasage sur la tension ;

2. Une bobine du primaire comporte 1000 spires et une bobine du secondaire 150 spires :

○ Quelle est la chute de tension entre phases en charge normale ?

○ En supposant que le transformateur est parfait, quel est le rapport des intensités des courants en ligne I_1/I_2 ? On gardera ce rapport pour la suite du problème. Le comparer avec le rapport des tensions entre phases.

3. Un essai à vide de ce transformateur sous 1500V au primaire donne une puissance absorbée $P_0=1500W$. Les résistances mesurées entre phases du primaire et du secondaire sont respectivement $R_1=4\Omega$ et $R_2=0,12\Omega$.

Calculer le rendement du transformateur lorsqu'il débite pour une charge donnée 38,5A avec un $\cos\varphi=0,8$.

4. Quelle devrait être l'intensité du courant absorbé par l'atelier pour que, sans changer le déphasage ni la tension, le rendement soit maximal ? Calculer ce maximum.

Exercice 7

Un transformateur triphasé, dont le primaire branché en triangle, est alimenté par une tension triphasée 50 Hz, de valeur efficace entre phases de 20 kV, a le secondaire branché en étoile avec neutre sorti.

Ce transformateur débite dans une installation fonctionnant, en charge normale, sous une tension efficace 220V/380V, et comprend :

- 12 moteurs triphasés identiques, ayant chacun une puissance utile de 3 kW, un rendement de 0,8 et un facteur de puissance de 0,82 ;

- 90 lampes de 60 W-220 V régulièrement réparties sur les trois phases.

1. Pour réaliser l'essai à vide du transformateur, ne disposant pas d'une alimentation de 20 kV, on l'alimente du côté secondaire sous 380 V entre phases : on relève, côté sortie entre phases, une tension de 19 570 V et une puissance de 400 W (pour l'ensemble du transformateur). Déduire de ces mesures :

- Le rapport de transformation m , dans le sens normal d'utilisation, pour une colonne ;
- Le nombre de spires d'un enroulement du primaire sachant qu'un enroulement du secondaire comprend 60 spires.

○ Les pertes fer globales dans le transformateur (le courant secondaire de l'essai à vide est faible) ; Justifier pourquoi on aurait trouvé pratiquement la même puissance à vide mesurée sous 20 kV entre phases au primaire.

2. Maintenant, le transformateur branché normalement, primaire sous 20 kV entre phases, débite dans l'installation dont tous les appareils fonctionnent (charge normale) ; calculer l'intensité du courant dans un enroulement du secondaire et son déphasage sur la tension.

3. Calculer la chute de tension entre phases en charge normale (l'exprimer en %).

4. Déterminer le rendement du transformateur lorsqu'il débite un courant d'intensité 90 A dans l'installation avec un facteur de puissance de 0,85, sachant que les résistances du primaire et du secondaire (mesurées entre phases) sont respectivement $R_1=44 \Omega$ et $R_2=0,016 \Omega$. (On supposera le transformateur parfait pour les courants).

Exercice 8

Un transformateur triphasé a une puissance apparente nominale $S_n = 100 \text{ kVA}$, une tension primaire nominale de 15 kV (entre phases) et de fréquence 50 Hz.

La section du noyau de son circuit magnétique est 380 cm^2 .

Pour ce transformateur on a réalisé les essais suivants :

- essai à vide : sous tension primaire nominale, la tension secondaire entre phases est égale à 231 V.

- essai en court-circuit : sous tension primaire de 600 V entre phases, la puissance consommée est égale à 1750 W et le courant secondaire est égal à 250 A.

a. Calculer le nombre de spires n_1 de chaque enroulement primaire pour que l'induction maximale dans chaque noyau soit $B_{\max} = 1,3 \text{ T}$ lorsque le primaire est couplé en étoile.

b. Calculer les pertes ferromagnétiques totales du transformateur pour cette induction $B_{\max} = 1,3 \text{ T}$.

c. Représenter le schéma équivalent au secondaire du transformateur vu entre phase et neutre, calculer les valeurs numériques de ses éléments.

d. Le transformateur alimente une charge inductive de facteur de puissance 0,6 telle que le transformateur travaille à sa puissance apparente nominale. Déterminer la tension secondaire entre phases et donner la valeur du rendement pour ce fonctionnement.

Exercice 9

Une installation industrielle alimentée par un transformateur triphasé comprend trois ateliers. On a mesuré les puissances actives consommées par chaque atelier et les facteurs de puissances correspondants.

Atelier	Tension entre phases	Puissance active	Facteur de puissance	Nature de l'installation
A1	220 V	50 kW	0,76	MAS
A2	220 V	60 kW	0,8	MAS
A3	220 V	30 kW 15 kW	0,86 0,788	MAS Appareillage

1. Pour l'ensemble de l'installation des trois ateliers, déterminer la puissance active totale P, la puissance réactive totale Q, le courant par fil de ligne ainsi que la puissance apparente S.

2. On mesure la puissance par la méthode des deux wattmètres. Quelles seront les puissances « lues » pour chaque wattmètre ?

Calculer la puissance de la batterie de condensateurs à installer aux bornes du secondaire pour que le facteur de puissance de l'installation prenne la valeur de 0,96. Comment les condensateurs doivent-ils être disposés ? Calculer la valeur de la capacité des condensateurs.

3. Le primaire du transformateur étant en triangle, il est alimenté sous $U_1 = 15000 \text{ V}$. Le secondaire en étoile donne entre phases $U_2 = 220 \text{ V}$. Les condensateurs étant montés, déterminer la

valeur du courant dans les fils de ligne du primaire. On admet que le courant de ligne à vide est 0,6 A et qu'il est en retard de 90° par rapport à la tension phase-neutre.

Exercice 10

Les essais d'un transformateur triphasé d'isolement Yy0 ont donné les résultats suivants :

- Essai à vide : $U_{10} = 380 \text{ V}$, $U_{20} = 400 \text{ V}$;
- Essai en court-circuit : $U_{1CC} = 19 \text{ V}$, $I_{2CC} = 4,5 \text{ A}$ et $P_{1CC} = 81 \text{ W}$;

(Toutes les tensions indiquées sont entre phases)

1. Calculer pour une colonne :

- La résistance ramenée au secondaire R_s ;
- L'impédance ramenée au secondaire Z_s ;
- La réactance ramenée au secondaire X_s .

2. Le transformateur, alimenté au primaire sous 380 V débite sur un récepteur triphasé, symétrique, inductif de facteur de puissance 0.8, un courant $I_2 = 4,5 \text{ A}$. Quelle sera la tension entre fils de ligne au secondaire ?

3. Le secondaire, est maintenant chargé par trois résistances identiques $R = 180 \Omega$ montées en triangle. La tension d'alimentation du primaire est toujours $U_1 = 380 \text{ V}$. Quelles sont les valeurs efficaces du courant de ligne et de la tension entre fils de ligne au secondaire ?

Exercice 11

Déterminer l'indice horaire ainsi que le rapport de transformation du transformateur dans les différentes configurations, sachant que le nombre de spires du primaire est n_1 et celui du secondaire est $n_2 = 2n'_2$.

