9 exercices corrigés d'Electrotechnique sur le transformateur

Exercice Transfo01 : transformateur à vide

Faire le bilan de puissance du transformateur à vide.
En déduire que la puissance consommée à vide est sensiblement égale aux pertes fer.

Exercice Transfo02 : courant de mise sous tension d'un transformateur

Un transformateur monophasé a les caractéristiques suivantes :

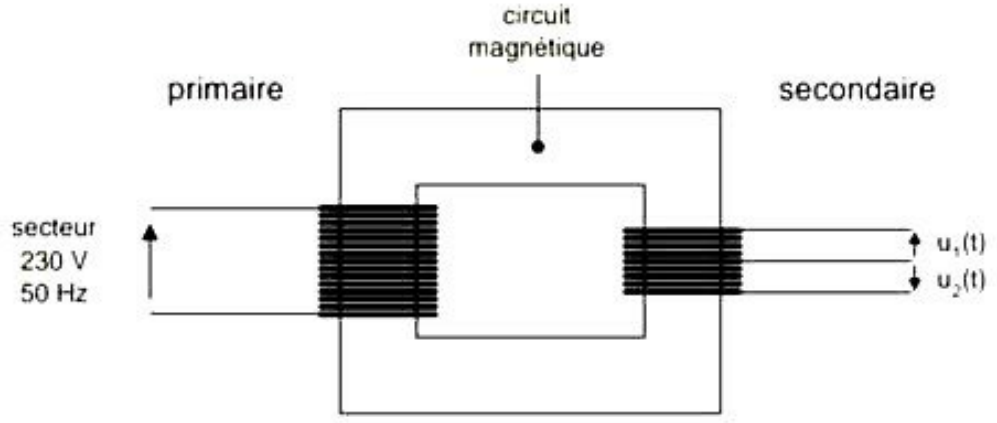
230 V / 24 V	50 Hz
63 VA	2 kg

1- Calculer le courant primaire nominal I_{1N} et le courant secondaire nominal I_{2N}.

2- A la mise sous tension d'un transformateur, il se produit un courant d'appel très important (de l'ordre de 25 I_{1N}) pendant une dizaine de millisecondes.
Evaluer le courant de mise sous tension.

Exercice Transfo03 : transformateur à point milieu monophasé

Un transformateur à point milieu possède au secondaire deux enroulements ayant le même nombre de spires :



1- Quel est le rôle du circuit magnétique d'un transformateur ?
2- Justifier que : $u_2(t) = - u_1(t)$.
3- Calculer le nombre de spires des enroulements du secondaire pour que la valeur efficace des tensions $u_1(t)$ et $u_2(t)$ soit de 10 volts (le transformateur est supposé parfait).

On donne : nombre de spires du primaire : 460.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Exercice Transfo04 : transformateur de distribution

Un transformateur de distribution possède les caractéristiques nominales suivantes : S_{2N} = 25 kVA, $p_{Joule\ N}$ = 700 W et p_{fer} = 115 W.

1- Calculer le rendement nominal pour :

- une charge résistive
- une charge inductive de facteur de puissance 0,8

2- Calculer le rendement pour :

- une charge résistive qui consomme la moitié du courant nominal

Exercice Transfo05 : transformateur monophasé

Un transformateur monophasé a les caractéristiques suivantes :

- tension primaire nominale : U_{1N} = 5375 V / 50 Hz
- rapport du nombre de spires : N_2/N_1 = 0,044
- résistance de l'enroulement primaire : R_1 = 12 Ω
- résistance de l'enroulement secondaire : R_2 = 25 mΩ
- inductance de fuite du primaire : L_1 = 50 mH
- inductance de fuite du secondaire : L_2 = 100 µH

1- Calculer la tension à vide au secondaire.
2- Calculer la résistance des enroulements ramenée au secondaire R_S.
3- Calculer l'inductance de fuite ramenée au secondaire L_S. En déduire la réactance de fuite X_S.

Le transformateur débite dans une charge résistive R = 1 Ω.
4- Calculer la tension aux bornes du secondaire U_2 et le courant qui circule dans la charge I_2.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Exercice Transfo06 : transformateur de commande et de signalisation monophasé

Un transformateur de commande et de signalisation monophasé a les caractéristiques suivantes :

230 V/ 24 V 50 Hz 630 VA 11,2 kg

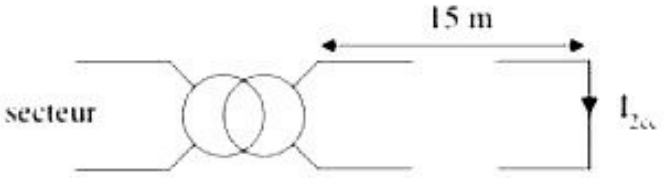
1- Les pertes totales à charge nominale sont de 54,8 W.
Calculer le rendement nominal du transformateur pour cos $\varphi_2 = 1$ et cos $\varphi_2 = 0,3$.

2- Calculer le courant nominal au secondaire I_{2N}.

3- Les pertes à vide (pertes fer) sont de 32,4 W.
En déduire les pertes Joule à charge nominale.
En déduire R_S, la résistance des enroulements ramenée au secondaire.

4- La chute de tension au secondaire pour cos $\varphi_2 = 0,6$ (inductif) est de 3,5 % de la tension nominale ($U_{2N} = 24$ V). En déduire X_S, la réactance de fuite ramenée au secondaire.

5- Un court-circuit a lieu à 15 mètres du transformateur.



Le câble de ligne en cuivre a une section de 1,5 mm².

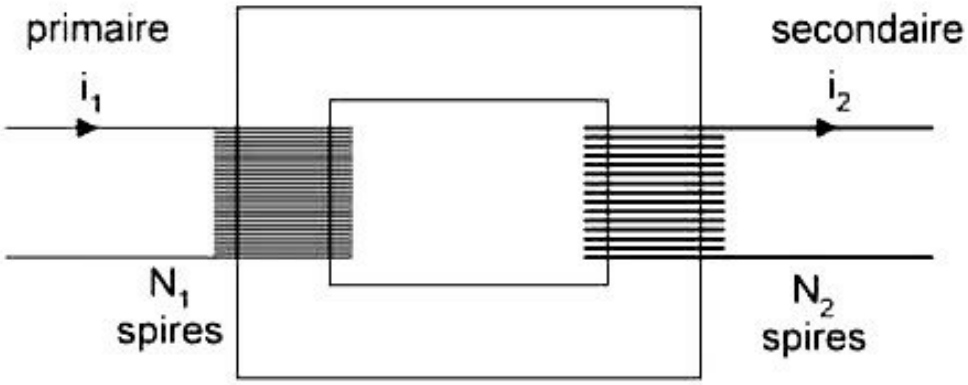
5-1- Calculer sa résistance totale R sachant que la résistivité du cuivre est :
$\rho = 0,027\ \Omega \cdot mm^2/m$.

5-2- Montrer que le courant de court-circuit s'écrit : $I_{2cc} = \dfrac{U_{2N}}{\sqrt{(R_S + R)^2 + X_S^2}}$

Faire l'application numérique (on pourra prendre $R_S = 30$ mΩ et $X_S = 15$ mΩ).

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Exercice Transfo07 : enroulements d'un transformateur monophasé



Rapport du nombre de spires : $N_1 / N_2 = 20$
Résistance de l'enroulement du primaire : $R_1 = 10\ \Omega$

1- On suppose le transformateur parfait pour les courants : $\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$

Calculer la résistance de l'enroulement du secondaire R_2 pour que les pertes Joule au secondaire soient égales aux pertes Joule au primaire.

$R_2 =$

2- La résistance R d'un fil électrique est donnée par la relation : $R = \rho \frac{L}{S}$

Que désigne ρ ?
Que désigne L ?
Que désigne S ?

3- Les spires du secondaire et du primaire sont de mêmes circonférences.
Calculer le rapport entre la section du fil du secondaire et la section du fil du primaire.

$S_2 / S_1 =$

En déduire le rapport entre le diamètre du fil du secondaire et le diamètre du fil du primaire.

$D_2 / D_1 =$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

4- On note m_1 la masse de cuivre de l'enroulement du primaire et m_2 la masse de cuivre de l'enroulement du secondaire.

Cocher la bonne réponse :

- ☐ $m_1 = m_2$
- ☐ $m_1 > m_2$
- ☐ $m_1 < m_2$

Exercice Transfo08 : transformateur monophasé

Les essais d'un transformateur monophasé ont donné :

A vide : $U_1 = 220$ V, 50 Hz (tension nominale primaire) ; $U_{2v} = 44$ V ; $P_{1v} = 80$ W ; $I_{1v} = 1$ A.

En court-circuit : $U_{1cc} = 40$ V ; $P_{1cc} = 250$ W ; $I_{2cc} = 100$ A (courant nominal secondaire).

En courant continu au primaire : $I_1 = 10$ A ; $U_1 = 5$ V.

Le transformateur est considéré comme parfait pour les courants lorsque ceux-ci ont leurs valeurs nominales.

1- Déterminer le rapport de transformation à vide m_v et le nombre de spires au secondaire, si l'on en compte 500 au primaire.

2- Calculer la résistance de l'enroulement primaire R_1.

3- Vérifier que l'on peut négliger les pertes par effet Joule lors de l'essai à vide (pour cela, calculer les pertes Joule au primaire).

4- En admettant que les pertes dans le fer sont proportionnelles au carré de la tension primaire, montrer qu'elles sont négligeables dans l'essai en court-circuit.
Faire l'application numérique.

5- Représenter le schéma équivalent du transformateur en court-circuit vu du secondaire.
En déduire les valeurs R_s et X_s caractérisant l'impédance interne.

Quels que soient les résultats obtenus précédemment, pour la suite du problème, on prendra $R_s = 0{,}025\ \Omega$ et $X_s = 0{,}075\ \Omega$.

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

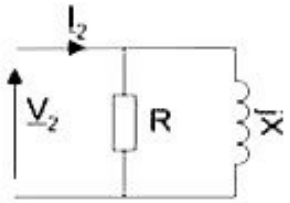
6- Déterminer la tension secondaire du transformateur.
En déduire la puissance délivrée au secondaire.

7- Déterminer la puissance absorbée au primaire (au préalable calculer les pertes globales).
En déduire le facteur de puissance au primaire et le rendement.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Exercice Transfo09 : transformateur monophasé

1- La charge du transformateur est :



On admet que :

$$Z = \frac{V_{eff}}{I_{eff}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X^2}}}$$

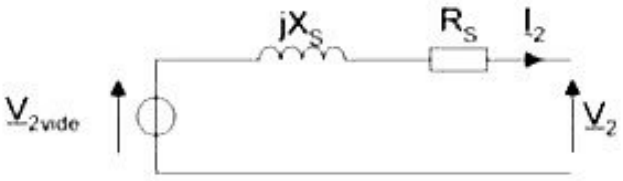
$$\cos\varphi_{v,i} = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X^2}}}$$

avec : $X = L\omega$

Calculer l'impédance Z et le facteur de puissance de la charge.

On donne : f = 50 Hz, R = 2 Ω et L = 10 mH.

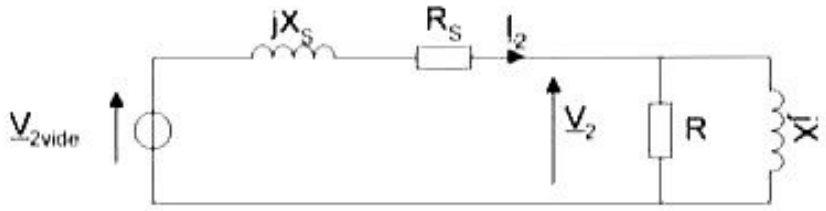
2- Le schéma équivalent ramené au secondaire du transformateur est :



R_S = 80 mΩ
X_S = 160 mΩ
$V_{2\ vide}$ = 240 V
f = 50 Hz

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

En charge, le schéma équivalent du circuit est donc :



Calculer :

- La tension efficace au secondaire V_2
- La chute de tension au secondaire ΔV_2
- Le courant efficace consommé par la charge I_2
- La puissance active consommée par la charge P_2

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Corrigés

Exercice Transfo01 : transformateur à vide

Faire le bilan de puissance du transformateur à vide.

P_1 = P_2 + pertes Joule + pertes Fer
A vide, la puissance fournie au secondaire est nulle : $P_2 = 0$
P_1 à vide = pertes Joule + pertes Fer

En déduire que la puissance consommée à vide est sensiblement égale aux pertes fer.

A vide, un transformateur consomme peu de courant : les pertes Joule sont donc négligeables devant les pertes Fer
P_1 à vide = pertes Fer

Exercice Transfo02 : courant de mise sous tension d'un transformateur

Un transformateur monophasé a les caractéristiques suivantes :

230 V / 24 V	50 Hz
63 VA	2 kg

1- Calculer le courant primaire nominal I_{1N} et le courant secondaire nominal I_{2N}.

$I_{1N} = S_N U_{1N} = 63 / 230 = 0,27$ A
$I_{2N} = S_N U_{2N} = 63 / 24 = 2,6$ A

2- A la mise sous tension d'un transformateur, il se produit un courant d'appel très important (de l'ordre de 25 I_{1N}) pendant une dizaine de millisecondes.
Evaluer le courant de mise sous tension.

$25 \times 0,27 = 6,8$ A

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Exercice Transfo03 : transformateur à point milieu monophasé

1- Le circuit magnétique d'un transformateur permet de canaliser les lignes de champ magnétique entre le primaire et le secondaire.

2- Les deux enroulements ayant le même nombre de spires, les deux tensions ont la même amplitude. De plus, elles sont en opposition de phase à cause de la convention de signe choisie pour les tensions : $u_2(t) = -u_1(t)$

3- Nombre de spires d'un des enroulements du secondaire : $460 \times (10/230) = 20$

Exercice Transfo04 : transformateur de distribution

Un transformateur de distribution possède les caractéristiques nominales suivantes : S_{2N} = 25 kVA, $p_{Joule\ N}$ = 700 W et p_{fer} = 115 W.

1- Calculer le rendement nominal pour :

- une charge résistive

$P_2 = S_2 \cos \varphi_2$
La charge est résistive : $\cos \varphi_2 = 1$
$P_{2N} = 25000 \times 1 = 25$ kW
$P_1 = P_2 +$ pertes Joule + pertes Fer = 25000 + 700 + 115 = 25,815 kW
Rendement nominal : $P_2 / P_1 = 96,8$ %

- une charge inductive de facteur de puissance 0,8

(25000×0,8) / (25000×0,8 + 700 + 115) = 96,1 %

2- Calculer le rendement pour :

- une charge résistive qui consomme la moitié du courant nominal

$P_2 = S_2 \cos \varphi_2$
$I_2 = I_{2N} / 2$ donc : $P_2 = P_{2N} / 2 = 12,5$ kW
Les pertes Joule sont proportionnelles au carré des courants (Loi de Joule)
$700 \times (1/2)^2 = 175$ W
(12500) / (12500 + 175 + 115) = 97,7 %

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Exercice Transfo05 : transformateur monophasé

Un transformateur monophasé a les caractéristiques suivantes :

- tension primaire nominale : $U_{1N} = 5375$ V / 50 Hz
- rapport du nombre de spires : $N_2/N_1 = 0{,}044$
- résistance de l'enroulement primaire : $R_1 = 12\ \Omega$
- résistance de l'enroulement secondaire : $R_2 = 25$ mΩ
- inductance de fuite du primaire : $L_1 = 50$ mH
- inductance de fuite du secondaire : $L_2 = 100\ \mu$H

1- Calculer la tension à vide au secondaire.

$5375 \times 0{,}044 = 236{,}5$ V

2- Calculer la résistance des enroulements ramenée au secondaire R_S.

$R_S = R_2 + R_1 m_v^2 = 0{,}025 + 12 \times 0{,}044^2 = 48{,}2$ mΩ

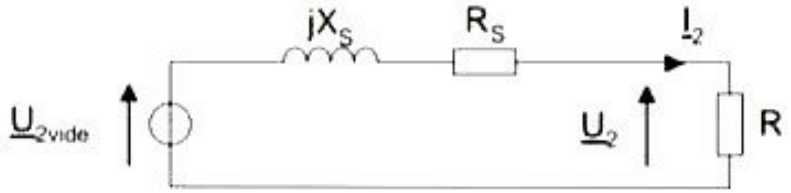
3- Calculer l'inductance de fuite ramenée au secondaire L_S. En déduire la réactance de fuite X_S.

$L_S = L_2 + L_1 m_v^2 = 100\ 10^{-6} + 50\ 10^{-3} 0{,}044^2 = 197\ \mu$H
$X_S = L_S \omega = 197\ 10^{-6} 2\pi 50 = 61{,}8$ mΩ

Le transformateur débite dans une charge résistive $R = 1\ \Omega$.

4- Calculer la tension aux bornes du secondaire U_2 et le courant qui circule dans la charge I_2.

Schéma électrique équivalent :



Impédance complexe totale : $\underline{Z} = (R_S + R) + jX_S$

Impédance totale : $Z = ((R_S + R)^2 + X_S^2)^{1/2}$

Courant au secondaire : $I_2 = U_{2\,vide} / Z$

$$I_2 = \frac{U_{2V}}{\sqrt{(R_S + R)^2 + X_S^2}} = 225{,}2\ \text{A}$$

Loi d'Ohm : $U_2 = RI_2 = 225{,}2$ volts

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Autre méthode :

$\Delta U_2 = U_{2V} - U_2 = (R_S \cos \varphi_2 + X_S \sin \varphi_2) I_2$

La charge est résistive : $\cos \varphi_2 = 1$

D'où $\Delta U_2 = R_S I_2$ (1)

D'autre part : $U_2 = R I_2$ (2)

(1) (2) $I_2 = U_{2V} / (R_S + R) = 225{,}6$ A

$U_2 = 225{,}6$ V

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Exercice Transfo06 : transformateur de commande et de signalisation monophasé

1- Calculer le rendement nominal du transformateur pour cos $\varphi_2 = 1$ et cos $\varphi_2 = 0,3$.

$(630\times1)/(630\times1 + 54,8) = 92\ \%$
$(630\times0,3)/(630\times0,3 + 54,8) = 77,5\ \%$

2- Calculer le courant nominal au secondaire I_{2N}.

$630/24 = 26,25$ A

3- Les pertes à vide (pertes fer) sont de 32,4 W.
En déduire les pertes Joule à charge nominale.

Bilan de puissance : $54,8 - 32,4 = 22,4$ W

En déduire R_S, la résistance des enroulements ramenée au secondaire.

Loi de Joule : $22,4 / 26,25^2 = 32,5$ mΩ

4- La chute de tension au secondaire pour cos $\varphi_2 = 0,6$ (inductif) est de 3,5 % de la tension nominale ($U_{2N} = 24$ V). En déduire X_S, la réactance de fuite ramenée au secondaire.

Chute de tension au secondaire : $\Delta U_2 = 0,035\times24 = 0,84$ V
$\Delta U_2 = (R_S \cos\varphi_2 + X_S \sin\varphi_2) I_{2N}$

$X_S = (0,84/26,25 - 0,0325\times0,6)/0,8 = 15,6$ mΩ

5- Un court-circuit a lieu à 15 m du transformateur.

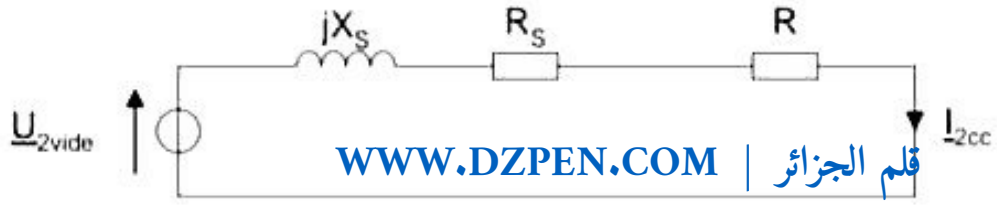
Le câble de ligne en cuivre a une section de 1,5 mm².

5-1- Calculer sa résistance totale R sachant que la résistivité du cuivre est :
$\rho = 0,027\ \Omega\cdot mm^2/m$.

$R = \rho L/S = 0,027\times2\times15/1,5 = 540$ mΩ

4-5-2- Montrer que le courant de court-circuit s'écrit : $I_{2cc} = \dfrac{U_{2N}}{\sqrt{(R_S + R)^2 + X_S^2}}$

Schéma électrique équivalent :



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Impédance complexe totale : $\underline{Z} = (R_S + R) + jX_S$

Impédance totale : $Z = ((R_S + R)^2 + X_S^2)^{1/2}$

Courant de court-circuit : $U_{2\,vide}/Z = U_{2S}/Z = U_{2\,vide}/((R_S + R)^2 + X_S^2)^{1/2}$

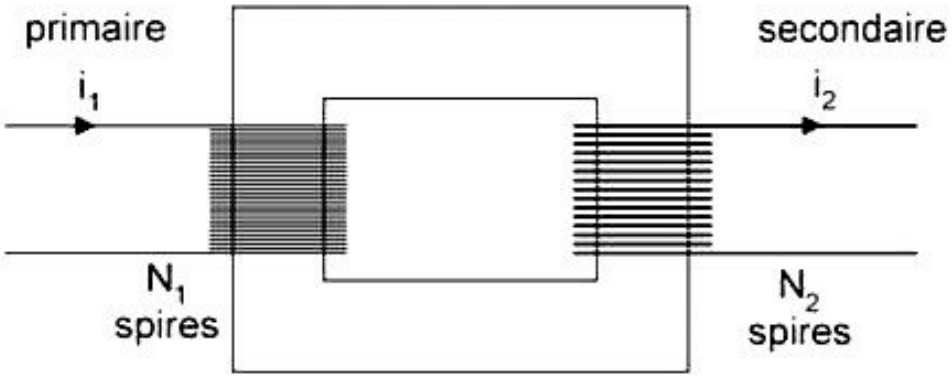
Faire l'application numérique.

$Z = ((0.0325 + 0.540)^2 + 0.0156^2)^{1/2} = 573\ m\Omega$

$24/0.573 = 42$ ampères

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Exercice Transfo07 : enroulements d'un transformateur monophasé



Rapport du nombre de spires : $N_1 / N_2 = 20$
Résistance de l'enroulement du primaire : $R_1 = 10\ \Omega$

1- On suppose le transformateur parfait pour les courants : $\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$

Calculer la résistance de l'enroulement du secondaire R_2 pour que les pertes Joule au secondaire soient égales aux pertes Joule au primaire.

$R_1 I_1^2 = R_2 I_2^2$

$$R_2 = \frac{R_1}{\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2} = \frac{10}{20^2} = 25\,\text{m}\Omega$$

2- La résistance R d'un fil électrique est donnée par la relation : $R = \rho \frac{L}{S}$

Que désigne ρ ?	résistivité électrique du matériau (en Ω·m)
Que désigne L ?	longueur du fil (en m)
Que désigne S ?	section du fil (en m²)

3- Les spires du secondaire et du primaire sont de mêmes circonférences.
Calculer le rapport entre la section du fil du secondaire et la section du fil du primaire.

$R_1 = \rho \frac{L_1}{S_1} = \rho \frac{N_1 L}{S_1}$ $\quad R_2 = \rho \frac{N_2 L}{S_2}$ $\quad$ L : longueur moyenne d'une spire.

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{N_2}{N_1}\frac{R_1}{R_2} = \frac{N_1}{N_2} = 20$$

En déduire le rapport entre le diamètre du fil du secondaire et le diamètre du fil du primaire.

$S_1 = \pi D_1^2 / 4$ $\quad S_2 = \pi D_2^2 / 4$

$$\frac{D_2}{D_1} = \sqrt{\frac{S_2}{S_1}} = \sqrt{\frac{N_1}{N_2}} = \sqrt{20} = 4{,}47$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

4- On note m_1 la masse de cuivre de l'enroulement du primaire et m_2 la masse de cuivre de l'enroulement du secondaire.
Cocher la bonne réponse :

- ☑ $m_1 = m_2$
- ☐ $m_1 > m_2$
- ☐ $m_1 < m_2$

(En effet :

Volume de cuivre du primaire : $V_1 = L_1 S_1 = N_1 L S_1$
Masse de cuivre du primaire : $m_1 = \rho V_1 = \rho N_1 L S_1$
Masse de cuivre du secondaire : $m_2 = \rho V_2 = \rho N_2 L S_2$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{N_1}{N_2}\frac{S_1}{S_2} = 1$$)

Exercice Transfo08 : transformateur monophasé

Les essais d'un transformateur monophasé ont donné :

A vide : $U_1 = 220$ V, 50 Hz (tension nominale primaire) ; $U_{2v} = 44$ V ; $P_{1v} = 80$ W ; $I_{1v} = 1$ A.

En court-circuit : $U_{1cc} = 40$ V ; $P_{1cc} = 250$ W ; $I_{2cc} = 100$ A (courant nominal secondaire).

En courant continu au primaire : $I_1 = 10$ A ; $U_1 = 5$ V.

Le transformateur est considéré comme parfait pour les courants lorsque ceux-ci ont leurs valeurs nominales.

1- Déterminer le rapport de transformation à vide m_v et le nombre de spires au secondaire, si l'on en compte 500 au primaire.

$m_v = 44 / 220 = 0,2$
$N_2 = 500 \times 0,2 = 100$ spires

2- Calculer la résistance de l'enroulement primaire R_1.

$R_1 = 5 / 10 = 0,5\ \Omega$

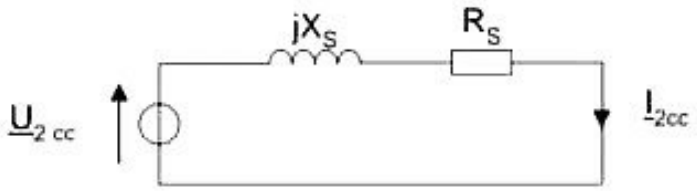
3- Vérifier que l'on peut négliger les pertes par effet Joule lors de l'essai à vide (pour cela, calculer les pertes Joule au primaire).

Pertes Joule au primaire = $R_1 I_{1v}^2 = 0,5$ W << 80 W donc négligeables.

4- En admettant que les pertes dans le fer sont proportionnelles au carré de la tension primaire, montrer qu'elles sont négligeables dans l'essai en court-circuit.
Faire l'application numérique.

$80 \times (40 / 220)^2 = 2,6$ W
2,6 W << 250 W donc négligeables.

5- Représenter le schéma équivalent du transformateur en court-circuit vu du secondaire.
En déduire les valeurs R_s et X_s caractérisant l'impédance interne.



$R_s = 250 / 100^2 = 0,025\ \Omega$
$Z_s = m_v U_{1cc} / I_{2cc} = 0,080\ \Omega$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$Z_S = \sqrt{R_S^2 + X_S^2}$$
$$X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_S^2} = 0{,}076\,\Omega$$

Quels que soient les résultats obtenus précédemment, pour la suite du problème, on prendra $R_s = 0{,}025\ \Omega$ et $X_s = 0{,}075\ \Omega$.

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

6- Déterminer la tension secondaire du transformateur.
En déduire la puissance délivrée au secondaire.

$\Delta U_2 = (R_S \cos\varphi_2 + X_S \sin\varphi_2) I_2 = 5{,}5$ V
$U_2 = 44 - 5{,}5 = 38{,}5$ V
$P_2 = U_2 I_2 \cos\varphi_2 = 3460$ W

7- Déterminer la puissance absorbée au primaire (au préalable calculer les pertes globales).
En déduire le facteur de puissance au primaire et le rendement.

Pertes globales = 80 + 250 = 330 W
$P_1 = 3460 + 330 = 3790$ W
Rendement : 3460 / 3790 = 91 %
$P_1 = U_1 I_1 \cos\varphi_1 = U_1\, m_s\, I_2 \cos\varphi_1$
D'où : $\cos\varphi_1 = 0{,}86$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Exercice Transfo09 : transformateur monophasé

1- Calculer l'impédance Z et le facteur de puissance de la charge.

$Z = 1{,}6871$ ohm

$\cos\varphi_2 = 0{,}8436$

2- Calculer :

- La tension efficace au secondaire V_2
- La chute de tension au secondaire ΔV_2
- Le courant efficace consommé par la charge I_2
- La puissance active consommée par la charge P_2

$$\begin{cases} V_{2vide} - V_2 \approx (R_S \cos\varphi_2 + X_S \sin\varphi_2) I_2 \\ V_2 = Z I_2 \end{cases}$$

$$I_2 \approx \frac{V_{2vide}}{R_S \cos\varphi_2 + X_S \sin\varphi_2 + Z} \approx \frac{240}{0{,}080 \cdot 0{,}8436 + 0{,}160 \cdot 0{,}5370 + 1{,}6871} = 130{,}4 \text{ A}$$

$$V_2 = Z I_2 \approx 220{,}0 \text{ V}$$

$$\Delta V_2 = 240 - 220{,}0 \approx 20{,}0 \text{ V}$$

$$P_2 = V_2 I_2 \cos\varphi_2 \approx 220{,}0 \cdot 130{,}4 \cdot 0{,}8436 = 24{,}2 \text{ kW}$$

Autre méthode (calcul exact) :

$$\underline{Z}_{totale} = R_S + jX_S + \frac{jX \cdot R}{R + jX} \text{ avec } X = L\omega = 3{,}14\ \Omega$$

$$= \left(R_S + \frac{RX^2}{R^2 + X^2} \right) + j\left(X_S + \frac{R^2 X}{R^2 + X^2} \right)$$

$$I_2 = \frac{V_{2vide}}{Z_{totale}} = \frac{V_{2vide}}{\sqrt{\left(R_S + \frac{RX^2}{R^2 + X^2} \right)^2 + \left(X_S + \frac{R^2 X}{R^2 + X^2} \right)^2}} = \frac{240}{1{,}8428} = 130{,}2 \text{ A}$$

$$V_2 = 1{,}6871 \times 130{,}2 = 219{,}7 \text{ V}$$

$$\Delta V_2 = 240 - 219{,}7 \approx 20{,}3 \text{ V}$$

$$P_2 = 219{,}7 \cdot 130{,}2 \cdot 0{,}8436 = 24{,}1 \text{ kW}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر