Exercice 1

Un transformateur monophasé a pour tension primaire nominale U_{1n} = 220 V - 50 Hz et pour puissance apparente S_n = 300 VA. Lors des essais suivants, on a relevé :

- Essai à vide : $U_1 = U_{1n}$; P_{10} = 8,5 W ; U_{20} = 12,76 V ; I_{10} = 0,1 A;
- Essai en court circuit : P_{1cc} = 17 W ; U_{1cc} = 12,6 V ; $I_{2cc} = I_{2n}$.

1° - Calculer le rapport de transformation m ainsi que les courants nominaux I_{1n} et I_{2n} .
2° - Déterminer R_f , X_m , R_S et X_S les 4 composants du schéma équivalent.
3° - Préciser la valeur du déphasage φ_{cc} entre U_{1cc} et I_{2cc} , ainsi que celle des résistances R_1 et R_2 des enroulements primaire et secondaire, si on admet que les pertes Joule nominales au primaire et au secondaire sont égales.
4° - Calculer, pour une charge résistive, le rendement maximum et le courant secondaire correspondant. Déterminer de plus, le rendement pour une charge absorbant un courant I_2 = 20 A pour un $\cos\varphi$ = 0,8 AR .

Exercice 1

1° Le simple rappel des définitions donne :

$$m = \frac{U_{20}}{U_{1n}} = \frac{12,76}{220} = 0,058$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_{1n}} = \frac{300}{220} = 1,36\ A$$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}} = \frac{300}{12,76} = 23,5\ A$$

Exercice 1

1° Le simple rappel des définitions donne :

$$m = \frac{U_{20}}{U_{1n}} = \frac{12,76}{220} = 0,058$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_{1n}} = \frac{300}{220} = 1,36\ A$$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}} = \frac{300}{12,76} = 23,5\ A$$

2° Lors de l'essai à vide, la puissance active consommée, P_{10}, est très voisine des pertes fer nominales; quant au réactif il sert à la création du flux :

$$R_f = \frac{U_{1n}^2}{P_{10}}\ ;\ X_m = \frac{U_{1n}^2}{Q_{10}} = \frac{U_{1n}^2}{P_{10}\tan\varphi_0}\ \ avec\ \ \varphi_0 = \cos^{-1}\left(\frac{P_{10}}{U_{1n}.I_{10}}\right)$$

Soit numériquement : $R_f = 5\ 694\ \Omega\ \ et\ \ X_m = 2\ 385\ \Omega\ \ avec\ \ \varphi_0 = 67,3°$

Exercice 1

2° (Suite) Lors de l'essai en court-circuit, la puissance active consommée, P_{1cc}, est très voisine des pertes Joule nominales:

$$R_S = \frac{P_{1cc}}{I_{2cc}^2} = (ici)\ \frac{P_{1cc}}{I_{2n}^2}$$

Soit numériquement : $$R_S = \frac{17}{23{,}5^2} = 30{,}78\ m\Omega$$

Quant aux fuites magnétiques elles sont modélisées par :

$$X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_S^2}\ \ avec\ \ Z_S = \frac{mU_{1cc}}{I_{2cc}}$$

Soit numériquement : $$Z_S = 31{,}1\ m\Omega \Rightarrow X_S = 4{,}41\ m\Omega$$

Exercice 1

3° A partir du triangle de Kapp, on obtient :

$$\boxed{\tan\varphi_{cc} = \frac{X_S}{R_S}}$$

Soit numériquement : $\boxed{\varphi_{cc} = 8{,}16°}$

Par définition, on a : $\boxed{R_S = m^2\, R_1 + R_2}$ et si les pertes Joule sont égales :

$$\boxed{R_1 I_{1n}^2 = R_2 I_{2n}^2 \;\Rightarrow\; m^2\, R_1 = R_2 \;\Rightarrow\; R_2 = \frac{R_S}{2} \;\; et \;\; R_1 = \frac{R_2}{m^2}}$$

Soit numériquement : $\boxed{R_2 = 15{,}4 \;\; m\Omega \;\Rightarrow\; R_1 = 4{,}57 \;\; \Omega}$

Exercice 1

4° Le courant secondaire de rendement maximum est celui qui égalise P_J et P_{fer} :

$$\boxed{I_{2MP} = \sqrt{\frac{P_{fer}}{R_S}}}$$

et

$$\boxed{\eta_{Max} = \frac{U_{20}I_{2MP} - P_{fer}}{U_{20}I_{2MP} + P_{fer}}}$$

Soit numériquement :

$$I_{2MP} = 16{,}6\ A \Rightarrow \eta_{Max} = 92{,}29\ \%$$

Exercice 1

4° Le courant secondaire de rendement maximum est celui qui égalise P_J et P_{fer} :

$$\boxed{I_{2MP} = \sqrt{\frac{P_{fer}}{R_S}}}$$

et

$$\boxed{\eta_{Max} = \frac{U_{20} I_{2MP} - P_{fer}}{U_{20} I_{2MP} + P_{fer}}}$$

Soit numériquement :

$$I_{2MP} = 16{,}6\ A \Rightarrow \eta_{Max} = 92{,}29\ \%$$

Pour I_2 = 20 A et cosφ = 0,8 AR :

$$\boxed{\Delta U = R_S I_2 \cos\varphi_2 + X_S I_2 \sin\varphi_2 \ \ et \ \ P_2 = \left(U_{20} - \Delta U\right) I_2 \cos\varphi_2}$$

Soit numériquement : $\boxed{\Delta U = 0{,}545\ V \ \ et \ \ P_2 = 195{,}4\ W}$

Le rendement sera donc : $\boxed{\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{fer} + P_J} = \frac{P_2}{P_2 + P_{10} + R_S I_2^2}}$

Soit numériquement : $\boxed{\eta = 90{,}38\ \%}$

Exercice 2

L'étude d'un transformateur a donné les résultats suivants :

- résistance des enroulements : $R_1 = 0{,}2\ \Omega$ et $R_2 = 7\ m\Omega$;
- essai à vide : $U_1 = U_{1n} = 2200$ V ; $I_{10} = 1$ A ; $P_{10} = 275$ W ; $U_{20} = 220$ V ;
- essai en court-circuit : $U_{1cc} = 30$ V ; $I_{2cc} = 200$ A.

Calculer :
- Le déphasage courant tension φ_0 au primaire lors de l'essai à vide;
- L'intensité du courant magnétisant;
- La valeur des composants R_S et X_S du schéma équivalent de Kapp;
- La tension U_2 aux bornes de la charge, la puissance active P_2 fournie à la charge ainsi que le rendement du transformateur pour une charge absorbant un courant $I_2 = 200$ A avec un $\cos\varphi_2 = 0{,}8$ AR.

Exercice 2

Lors de l'essai à vide, la puissance absorbée est P_{10} telle que :

$$\boxed{P_{10} = U_{1n}\, I_{10} \cos\varphi_0 \;\Rightarrow\; \varphi_0 = \cos^{-1}\left(\frac{P_{10}}{U_{1n}\, I_{10}}\right)}$$

Soit numériquement :

$$\boxed{\varphi_0 = 83°}$$

Exercice 2

Lors de l'essai à vide, la puissance absorbée est P_{10} telle que :

$$P_{10} = U_{1n}\, I_{10} \cos\varphi_0 \;\Rightarrow\; \varphi_0 = \cos^{-1}\left(\frac{P_{10}}{U_{1n}\, I_{10}}\right)$$

Soit numériquement :

$$\boxed{\varphi_0 = 83°}$$

Le courant « magnétisant » est la composante réactive du courant à vide I_{10}, sa composante active produisant la puissance active P_{10}. D'où :

$$P_{10} = U_{1n}\, I_{10A} \;\Rightarrow\; I_{10A} = \frac{P_{10}}{U_{1n}} \;\; d'où \;\; I_{\mu} = I_{10R} = \sqrt{I_{10}^2 - I_{10A}^2}$$

Soit numériquement : $\boxed{I_{10A} = 0{,}125\ A \;\; et \;\; I_{\mu} = 0{,}99\ A}$

Exercice 2

Le rapport de transformation m, s'écrit : $\boxed{m = \dfrac{U_{20}}{U_{1n}}}$ Soit numériquement : $\boxed{m = 0{,}1}$

D'où : $\boxed{R_S = m^2 R_1 + R_2}$ Soit numériquement : $\boxed{R_S = 9\ m\Omega}$

$$\boxed{X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_S^2} \quad avec \quad Z_S = \frac{mU_{1cc}}{I_{2cc}}}$$

Soit numériquement :

$$\boxed{Z_S = 15\ m\Omega \Rightarrow X_S = 12\ m\Omega}$$

Exercice 2

Pour I_2 = 200 A et cosφ = 0,8 AR :

$$U_2 = U_{20} - \Delta U = U_{20} - R_S I_2 \cos\varphi_2 + X_S I_2 \sin\varphi_2$$
$$P_2 = U_2 I_2 \cos\varphi_2$$

Soit numériquement : $\Delta U = 2{,}88\ V\ ;\ U_2 = 217{,}1\ V\ \ et\ \ P_2 = 34\ 740\ W$

Le rendement sera donc : $$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{fer} + P_J} = \frac{P_2}{P_2 + P_{10} + R_S I_2^2}$$

Soit numériquement : $\eta = 98{,}2\ \%$

Exercice 3

Soit un transformateur monophasé tel que U_{1n} = 400 V et f = 50 Hz. On bobine sur le noyau magnétique, par dessus les bobinages, 10 spires aux bornes desquelles on mesure une tension de 6,4 V quand $U_1 = U_{1n}$; l'amplitude de l'induction est alors de 1,2 T.

1° - Déterminer la section droite du noyau magnétique

2° - Lors d'un essai à vide, on mesure une puissance active absorbée au primaire de 34 W et une tension secondaire U_{20} = 24,8 V. Donner le rapport de transformation et le nombre de spires au secondaire.

3° - La résistance des enroulements est R_1 = 1,3 Ω et R_2 = 15 mΩ ; la réactance du modèle de Kapp est X_S = 6,67 mΩ. Calculer R_S la résistance équivalente du modèle de Kapp et en déduire le rendement pour une charge constituée d'une résistance de 0,75 Ω en parallèle avec une réactance de 1 Ω.

4° - Par erreur, on alimente le transformateur sous sa tension nominale primaire mais la fréquence est de 60 Hz. Préciser si les grandeurs suivantes sont modifiées et si oui, en donner la nouvelle valeur pour la même charge qu'au 3°: les pertes fer (supposées proportionnelles à $f.B_m^2$) ; U_{20} ; U_2 ; I_2 ; φ_2 ; le rendement.

Exercice 3

1° Un transformateur à vide étant voisin d'un transformateur parfait, les tensions sont dans le rapport des nombres de spires : $\boxed{\dfrac{U_1}{U_0} = \dfrac{N_1}{10}}$ AN : $N_1 = 625 \ spires$

Le flux dans le noyau est donné par la relation : $\boxed{\Phi = \hat{B}\,S = \dfrac{U_1\sqrt{2}}{N_1\omega}}$ AN : $S = 24 \ cm^2$

Exercice 3

1° Un transformateur à vide étant voisin d'un transformateur parfait, les tensions sont dans le rapport des nombres de spires : $\boxed{\frac{U_1}{U_0} = \frac{N_1}{10}}$ AN : $N_1 = 625 \ spires$

Le flux dans le noyau est donné par la relation : $\boxed{\Phi = \hat{B}\,S = \frac{U_1\sqrt{2}}{N_1\omega}}$ AN : $S = 24 \ cm^2$

2° $\boxed{m = \frac{U_{20}}{U_{1n}} \ et \ N_2 = m\,N_1}$ AN : $m = 0{,}062 \ et \ N_2 = 39 \ spires$

Exercice 3

1° Un transformateur à vide étant voisin d'un transformateur parfait, les tensions sont dans le rapport des nombres de spires : $\boxed{\dfrac{U_1}{U_0} = \dfrac{N_1}{10}}$ AN : $N_1 = 625\ spires$

Le flux dans le noyau est donné par la relation : $\boxed{\Phi = \hat{B}\,S = \dfrac{U_1\sqrt{2}}{N_1\omega}}$ AN : $S = 24\ cm^2$

2° $\boxed{m = \dfrac{U_{20}}{U_{1n}}\ \ et\ \ N_2 = m\,N_1}$ AN : $m = 0{,}062\ \ et\ \ N_2 = 39\ spires$

3° $\boxed{R_S = m^2 R_1 + R_2}$ AN : $R_S = 20\ m\Omega$

$$U_2 = U_{20} - \Delta U = U_{20} - \left(R_S I_2 \cos\varphi_2 + X_S I_2 \sin\varphi_2\right)$$

$$\Rightarrow U_2 = \frac{U_{20}}{1 + \dfrac{R_S}{R} + \dfrac{X_S}{X}} \quad car \quad I_2\cos\varphi_2 = \frac{U_2}{R}\ \ et\ \ I_2\sin\varphi_2 = \frac{U_2}{X}$$

AN : $U_2 = 24\ V$

$\Rightarrow \begin{cases} I_2\cos\varphi_2 = 32\ A \\ I_2\sin\varphi_2 = 24\ A \end{cases}$

$\Rightarrow I_2 = 40\ A$

D'où le rendement : $\boxed{\eta = \dfrac{P_2}{P_2 + P_{fer} + P_J} = \dfrac{U_2 I_2\cos\varphi_2}{U_2 I_2 \cos\varphi_2 + P_{10} + R_S I_2^2}}$ AN : $\eta = 92{,}08\,\%$

Exercice 3

4° Un transformateur à vide étant voisin d'un transformateur parfait, les tensions sont dans le rapport des nombres de spires :

$$\boxed{U_{20} = U_1 \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow U_{20} \ \ est \ \ inchangée}$$

Le flux dans le noyau est donné par la relation : $\Phi = \hat{B}\,S = \dfrac{U_1\sqrt{2}}{N_1\omega} \Rightarrow \hat{B} \ \ est \ \ multiplié \ \ par \ \dfrac{5}{6}$

Les pertes fer, proportionnelles à $f.\hat{B}^2$, sont donc : $P_{fer}\left(60 \ Hz\right) = P_{fer}\left(50 \ Hz\right) \times \dfrac{5}{6} = 28{,}33 \ W$

Nous avons vu que : $$\boxed{U_2 = \frac{U_{20}}{1 + \dfrac{R_S}{R} + \dfrac{X_S}{X}}}$$

expression où seules X et X_S sont liées à la fréquence (X = Lω), mais le rapport X_S/X lui reste inchangé. Donc U_2 est inchangée.

Exercice 3

La composante active du courant : $I_2 \cos\varphi_2 = \dfrac{U_2}{R} \Rightarrow \textit{inchangée}$

La composante réactive du courant : $I_2 \sin\varphi_2 = \dfrac{U_2}{X}\ \textit{est multipliée par}\ \dfrac{5}{6}$

AN : $\left.\begin{aligned} & I_2 \cos\varphi_2 = 32\ A \\ & I_2 \sin\varphi_2 = 24 \times \frac{5}{6} = 20\ A \end{aligned}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{aligned} & I_2(60\ Hz) = 37{,}74\ A \\ & \tan\varphi_2 = \frac{20}{32} \Rightarrow \varphi_2(60\ Hz) = 32\ ° \end{aligned}\right.$

Dans le calcul du rendement, $P_2 = U_2.I_2 \cos\varphi_2$ est inchangée mais les pertes sont modifiées à la baisse pour un résultat donc sensiblement meilleur.

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

AN : $\eta = \dfrac{768}{768 + 28{,}33 + 28{,}48} = 93{,}11\ \%$

Exercice 4

Les essais d'un transformateur ont donné pour U_{1n} = 400 V - 50 Hz :

- Essai à vide : P_{10} = 40 W ; U_{20} = 114 V ; I_{10} = 0,4 A.
- Essai en court-circuit : P_{1cc} = 70 W pour $I_{2cc} = I_{2n}$.
- Pour $I_2 = I_{2n}$, Δu = 3% si $\cos \varphi_2 = 1$ et Δu = 4,3% si $\cos \varphi_2 = 0,8$ AR.

1° - Calculer u_{cc} en % et φ_{cc} le déphasage U_{1cc} par rapport à I_{2cc} lors de l'essai en court-circuit. Déterminer la valeur de I_{2n}.

2° - Au secondaire, la charge absorbe un courant I_2 = 14 A avec $\cos\varphi = 0,707$ AV; calculer le rendement. Construire le diagramme vectoriel comportant I_2 , I_{10} et I_1 (I_2 peut ne pas être tracé à l'échelle); caractériser I_1 (module et phase). Vérifier que la puissance active consommée par la charge ajoutée aux pertes donne bien celle absorbée au primaire.

Exercice 4

1° Les deux valeurs de la chute de tension permettent de déterminer les produits $R_S I_{2n}$ et $X_S I_{2n}$.

$$0{,}03 U_{20} = R_S I_{2n}$$
$$0{,}048 U_{20} = R_S I_{2n} 0{,}8 + X_S I_{2n} 0{,}6$$

AN : $R_S I_{2n} = 3{,}42\ V \ \ et \ \ X_S I_{2n} = 3{,}61\ V$

Exercice 4

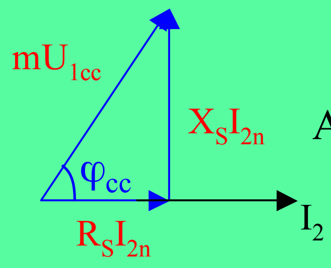
1° Les deux valeurs de la chute de tension permettent de déterminer les produits $R_S I_{2n}$ et $X_S I_{2n}$.

$$\boxed{\begin{aligned} 0{,}03U_{20} &= R_S I_{2n} \\ 0{,}048U_{20} &= R_S I_{2n} 0{,}8 + X_S I_{2n} 0{,}6 \end{aligned}}$$

AN : $R_S I_{2n} = 3{,}42\ V\ \ et\ \ X_S I_{2n} = 3{,}61\ V$

Dans le triangle de Kapp, on a :

$$\boxed{m\,U_{1cc} = \sqrt{\left(R_S I_{2n}\right)^2 + \left(X_S I_{2n}\right)^2}}$$



AN : $m = \dfrac{U_{20}}{U_{1n}} = 0{,}285\ \ et\ \ u_{cc} = \dfrac{U_{1cc}}{U_{1n}} = 4{,}36\%$

$$\boxed{\tan\varphi_{cc} = \frac{X_S}{R_S} = \frac{X_S I_{2n}}{R_S I_{2n}}}$$

AN : $\varphi_{cc} = 46{,}5°$

Exercice 4

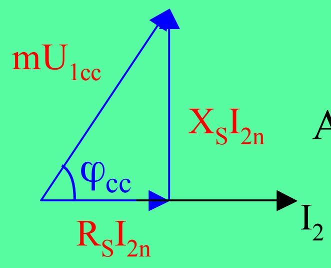
1° Les deux valeurs de la chute de tension permettent de déterminer les produits R_SI_{2n} et X_SI_{2n}.

$$0{,}03U_{20} = R_SI_{2n}$$
$$0{,}048U_{20} = R_SI_{2n}0{,}8 + X_SI_{2n}0{,}6$$

AN : $R_SI_{2n} = 3{,}42\ V \ \ et\ \ X_SI_{2n} = 3{,}61\ V$

Dans le triangle de Kapp, on a :

$$m\,U_{1cc} = \sqrt{\left(R_SI_{2n}\right)^2 + \left(X_SI_{2n}\right)^2}$$



AN : $m = \dfrac{U_{20}}{U_{1n}} = 0{,}285\ \ et\ \ u_{cc} = \dfrac{U_{1cc}}{U_{1n}} = 4{,}36\%$

$$\tan\varphi_{cc} = \frac{X_S}{R_S} = \frac{X_SI_{2n}}{R_SI_{2n}}$$

AN : $\varphi_{cc} = 46{,}5°$

$$P_{1cc} = R_SI_{2n}^2 \Rightarrow I_{2n} = \frac{P_{1cc}}{R_SI_{2n}}$$

AN : $I_{2n} = 20{,}47\ A$

Exercice 4

$$2° : \cos\varphi_2 = 0{,}707\ AV \Rightarrow \begin{cases} \cos\varphi_2 = 1/\sqrt{2} \\ \sin\varphi_2 = -1/\sqrt{2} \end{cases}$$

$$\boxed{\Delta U = R_S I_2 \cos\varphi_2 + X_S I_2 \sin\varphi_2 = \frac{I_2}{\sqrt{2}}\left(R_S - X_S\right)}$$

$$\text{AN} : \begin{aligned} R_S &= \frac{3{,}42}{20{,}47} = 167{,}07\ m\Omega \\ X_S &= \frac{3{,}61}{20{,}47} = 176{,}4\ m\Omega \\ \Delta U &= -0{,}092\ V \Rightarrow U_2 = 114{,}092\ V \end{aligned}$$

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

$$\text{AN} : \eta = \frac{1129{,}45}{1129{,}45 + 40 + 32{,}75} = 93{,}95\,\%$$

Exercice 4

$$2° : \cos\varphi_2 = 0{,}707\ AV \Rightarrow \begin{cases} \cos\varphi_2 = 1/\sqrt{2} \\ \sin\varphi_2 = -1/\sqrt{2} \end{cases}$$

$$\Delta U = R_S I_2 \cos\varphi_2 + X_S I_2 \sin\varphi_2 = \frac{I_2}{\sqrt{2}}\left(R_S - X_S\right)$$

AN : $R_S = \dfrac{3{,}42}{20{,}47} = 167{,}07\ m\Omega$

$X_S = \dfrac{3{,}61}{20{,}47} = 176{,}4\ m\Omega$

$\Delta U = -0{,}092\ V \Rightarrow U_2 = 114{,}092\ V$

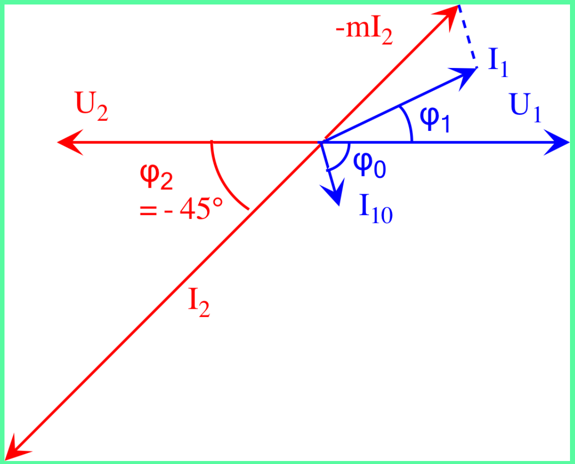
$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{fer} + P_J} = \frac{U_2 I_2 \cos\varphi_2}{U_2 I_2 \cos\varphi_2 + P_{10} + R_S I_2^2}$$

AN : $\eta = \dfrac{1129{,}45}{1129{,}45 + 40 + 32{,}75} = 93{,}95\,\%$

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_{10}}{U_{1n} I_{10}} = 0{,}25 \Rightarrow \sin\varphi_0 = 0{,}968$$

$$I_{1x} = I_{10}\cos\varphi_0 + mI_2\cos\varphi_2$$
$$I_{1y} = -I_{10}\sin\varphi_0 + mI_2\sin\varphi_2$$

AN : $I_1 = 3{,}8\ A$; $\varphi_1 = 39{,}8°$



On trouve $P_1 = U_1 I_1 \cos\varphi_1 = 1168\ W$

mais un calcul plus précis (U2

pas ($I_1 = 3{,}81\ A\ \ et\ \ \varphi_1 = 37{,}95° \Rightarrow P_1 = 1201{,}7\ W$

Exercice 5

Une zone d'atelier, affectée à des opérations spéciales, doit être équipée d'une alimentation électrique TBT de 25 V isolée du réseau général. L'installation concernée comporte une partie éclairage avec 10 lampes à incandescence de 100 W (sous 25 V) et un ensemble récepteur d'impédance Z appelant, sous 25 V, une puissance active de 2500 W avec un facteur de puissance de 0,6 AR. Pour assurer l'alimentation à partir d'une tension primaire de 400 V, on souhaite mettre en œuvre un transformateur monophasé.

1° - Quelle puissance apparente serait a priori nécessaire ?

2° - On dispose d'un transformateur de 4 kVA et, afin de pouvoir l'utiliser, on connecte en parallèle au secondaire, une batterie de condensateurs d'une capacité totale de 17 000 μF qui ramène à l'unité le facteur de puissance quand toute l'installation est active. Justifier cette disposition en effectuant les calculs appropriés.

Exercice 5

1° La somme des puissances actives est : $\boxed{P = 2500 + 10 \times 100 = 3500\ W}$

La somme des puissances réactives est : $\boxed{Q = 2500 \tan\left(\cos^{-1}(0,6)\right) + 0 = 3333\ VAr}$

Le théorème de Boucherot donne alors : $\boxed{S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 4833\ VA}$

Exercice 5

1° La somme des puissances actives est : $\boxed{P = 2500 + 10 \times 100 = 3500 \ W}$

La somme des puissances réactives est : $\boxed{Q = 2500 \tan\left(\cos^{-1}(0,6)\right) + 0 = 3333 \ VAr}$

Le théorème de Boucherot donne alors : $\boxed{S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 4833 \ VA}$

2° Si le facteur de puissance est égal à 1, cela signifie que les condensateurs fournissent la totalité du réactif, soit :

$$\boxed{Q_C = 3333 \ VAr = C\omega V^2 \Rightarrow C = 16\ 977 \ \mu F}$$

On a alors : **S = P = 3500 W**

Exercice 5 (Suite)

Une zone d'atelier, affectée à des opérations spéciales, doit être équipée d'une alimentation électrique TBT de 25 V isolée du réseau général. L'installation concernée comporte une partie éclairage avec 10 lampes à incandescence de 100 W (sous 25 V) et un ensemble récepteur d'impédance Z appelant, sous 25 V, une puissance active de 2500 W avec un facteur de puissance de 0,6 AR. Pour assurer l'alimentation à partir d'une tension primaire de 400 V, on souhaite mettre en œuvre un transformateur monophasé.

3° - Ce transformateur a une tension de court-circuit de 5% et lors d'un essai en court-circuit, la puissance active mesurée au primaire est de 120 W pour I_{2cc} = 160 A.
A vide, on relève P_{10} = 100 W, U_{20} = 25 V et I_{10} = 0,7 A .
Calculer les éléments du schéma équivalent : R_f, X_m, R_S et X_S.
Tracer le diagramme de Fresnel et caractériser I_2 et I_1 si toute l'installation est active.

4° - On suppose maintenant que, outre le condensateur, seule une lampe est connectée. On relève alors un courant I_2 = 138 A que l'on supposera purement capacitif. Calculer U_2 .

5° - Déterminer l'écart de tension appliquée aux lampes entre le cas de la question 3 et celui de la question 4. Pour un confort d'éclairage satisfaisant, la norme préconise une variation inférieure à 3%; est-ce le cas ? Quel remède proposez-vous ?

Exercice 5 (Suite)

3° Les calculs sont immédiats : $\boxed{m = \frac{U_{20}}{U_{1n}} = \frac{25}{400} = 6,25 \times 10^{-2}}$

$$\left.\begin{aligned} R_S &= \frac{P_{1cc}}{I_{2cc}^2} = \frac{120}{160^2} = 4,7\ m\Omega \\ Z_S &= \frac{mU_{1cc}}{I_{2cc}} = 7,8\ m\Omega \end{aligned}\right\} \Rightarrow X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_S^2} = 6,25\ m\Omega$$

Exercice 5 (Suite)

3° Les calculs sont immédiats :

$$m = \frac{U_{20}}{U_{1n}} = \frac{25}{400} = 6{,}25 \times 10^{-2}$$

$$\left.\begin{aligned} R_S &= \frac{P_{1cc}}{I_{2cc}^2} = \frac{120}{160^2} = 4{,}7\ m\Omega \\ Z_S &= \frac{mU_{1cc}}{I_{2cc}} = 7{,}8\ m\Omega \end{aligned}\right\} \Rightarrow X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_S^2} = 6{,}25\ m\Omega$$

$$R_f = \frac{U_{1n}^2}{P_{fer}} = \frac{U_{1n}^2}{P_{10}} = 1\ 600\ \Omega$$

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_{10}}{U_{1n}I_{10}} = 0{,}357 \Rightarrow \sin\varphi_0 = 0{,}934 \Rightarrow X_m = \frac{U_{1n}}{I_{10}\sin\varphi_0} = 612\ \Omega$$

Exercice 5 (Suite)

3° Les condensateurs compensent totalement l'inductance du récepteur; la charge est donc purement résistive est a pour valeur ohmique :

$$R_{CH} = \frac{25^2}{3500} = 0.1786\ \Omega$$

L'impédance aux bornes du secondaire, tension U_{20}, est donc :

$$Z_T = \sqrt{\left(R_S + R_{CH}\right)^2 + X_S^2} = 0.18338\ \Omega$$

D'où le courant I_2 :

$$I_2 = \frac{U_{20}}{Z_T} = 136.33\ A$$

En toute rigueur, U_{20} présente un léger déphasage φ_2 par rapport au courant I_2 :

$$\varphi_2 = \tan^{-1}\left(\frac{X_S}{R_S + R_{CH}}\right) \approx 2°$$

Exercice 5 (Suite)

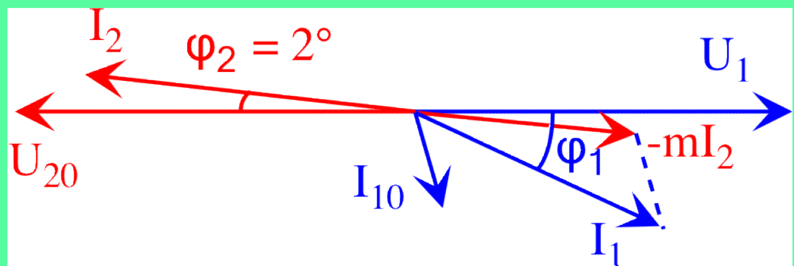
3° Vectoriellement, le courant primaire s'écrit : $\vec{I}_1 = \vec{I}_{10} - m\,\vec{I}_2$

D'où son module :

$$I_1 = \sqrt{\left(m\,I_2 \cos\varphi_2 + I_{10}\cos\varphi_0\right)^2 + \left(m\,I_2 \sin\varphi_2 + I_{10}\sin\varphi_0\right)^2} = 8{,}816\ A$$

Avec un déphasage : $\varphi_1 = 6{,}14°$

On notera que la tension U_2, aux bornes de la charge est alors : $U_2 = R_{CH}\ I_2 = 24{,}35\ V$



Exercice 5 (Suite)

4° Si le courant I_2 est purement capacitif, alors :

$$\varphi_2 = -\frac{\pi}{2} \Rightarrow \Delta U = -X_S\, I_2 = -0{,}8625\ V \Rightarrow U_2 = 25{,}8625\ V$$

5° Les deux valeurs de tension U_2 trouvées diffèrent de :

$$U_2(4°) - U_2(3°) = 25{,}8625 - 24{,}35 = 1{,}5125\ V$$

Cela représente une variation de près de **6 %** , ce qui est trop fort, la norme C15-100 n'autorisant qu'un écart maximum de **3 %** .
Il conviendra donc de déconnecter les condensateurs en même temps que le récepteur.

Exercice 6

Un transformateur monophasé a pour caractéristiques :

- U_{1n} = 400 V - 50 Hz; I_{1n} = 10 A ; R_1 = 0,3 Ω.
- Pour $U_1 = U_{1n}$, l'amplitude de l'induction est B_m = 1,3 T et on a, en courant continu, $R_1.I_{1n} = R_2.I_{2n}$.
- La masse du circuit magnétique est de 43 kg avec des pertes fer de 1,2 W/kg (pour B_m = 1 T et f = 50 Hz).
- Lors d'un essai à vide sous U_{1n} , on mesure I_{10} = 0,8 A et U_{20} = 113,6 V.
- Lors d'un essai en charge avec $I_2 = I_{2n}$ et $\cos\varphi_2$ = 0,8AR, la chute de tension est de 3,8 %.

Calculer :
- φ_0 le déphasage courant-tension au primaire lors de l'essai à vide,
- les composants R_S et X_S du schéma équivalent de Kapp,
- le déphasage φ_{2L} provoquant l'annulation de la chute de tension,
- le rendement maximum et le courant I_{2M} correspondant si la charge est résistive,
- le module et la phase de I_1 pour une charge inductive d'impédance 3 Ω et de $\cos\varphi_2$ = 0,5.

Exercice 6

La qualité des tôles nous permet de calculer les P_{fer} mais sans oublier qu'elles sont proportionnelles au carré de l'amplitude de l'induction : $P_{fer} = 43 \times 1{,}2 \times (1{,}3)^2 = 87{,}2\ W$

En admettant l'approximation usuelle, $P_{fer} \approx P_{10}$: $\boxed{\cos\varphi_0 = \dfrac{P_{10}}{U_1 I_{10}} = \dfrac{P_{fer}}{U_1 I_{10}}}$

AN : $\varphi_0 = 74{,}2°$

Exercice 6

La qualité des tôles nous permet de calculer les P_{fer} mais sans oublier qu'elles sont proportionnelles au carré de l'amplitude de l'induction : $P_{fer} = 43 \times 1,2 \times (1,3)^2 = 87,2\ W$

En admettant l'approximation usuelle, $P_{fer} \approx P_{10}$: $\boxed{\cos\varphi_0 = \dfrac{P_{10}}{U_1 I_{10}} = \dfrac{P_{fer}}{U_1 I_{10}}}$

AN : $\varphi_0 = 74,2°$

$$\boxed{\begin{array}{l} R_1 I_{1n} = R_2 I_{2n} \Rightarrow R_2 = m R_1 \\ \Rightarrow R_S = m^2 R_1 + R_2 = m(m+1) R_1 \end{array}}$$

AN : $m = \dfrac{113,6}{400} = 0,284 \Rightarrow R_S = 109,4\ m\Omega$

Exercice 6

La qualité des tôles nous permet de calculer les P_{fer} mais sans oublier qu'elles sont proportionnelles au carré de l'amplitude de l'induction : $P_{fer} = 43 \times 1{,}2 \times (1{,}3)^2 = 87{,}2\ W$

En admettant l'approximation usuelle, $P_{fer} \approx P_{10}$: $\cos\varphi_0 = \dfrac{P_{10}}{U_1 I_{10}} = \dfrac{P_{fer}}{U_1 I_{10}}$

AN : $\varphi_0 = 74{,}2°$

$$R_1 I_{1n} = R_2 I_{2n} \Rightarrow R_2 = m R_1$$
$$\Rightarrow R_S = m^2 R_1 + R_2 = m(m+1) R_1$$

AN : $m = \dfrac{113{,}6}{400} = 0{,}284 \Rightarrow R_S = 109{,}4\ m\Omega$

La chute de tension en charge qui est donnée permet d'écrire :

$$\Delta U = 0{,}038 U_{20} = R_S I_{2n} 0{,}8 + X_S I_{2n} 0{,}6$$

AN : $I_{2n} = \dfrac{I_{1n}}{m} = \dfrac{10}{0{,}284} = 35{,}2\ A \Rightarrow X_S = 58{,}5\ m\Omega$

Exercice 6

$\Delta U = 0$ pour φ_{2l} tel que : $\boxed{\tan\varphi_{2l} = -\dfrac{R_S}{X_S}}$ AN : $\varphi_{2l} = -61{,}9°$

Exercice 6

$\Delta U = 0$ pour φ_{2l} tel que : $\boxed{\tan \varphi_{2l} = -\frac{R_S}{X_S}}$ AN : $\varphi_{2l} = -61{,}9°$

Le courant secondaire de rendement maximum est celui qui égalise P_J et P_{fer} :

$\boxed{I_{2M} = \sqrt{\frac{P_{fer}}{R_S}}}$ et $\boxed{\eta_{Max} = \frac{U_{20} I_{2M} - P_{fer}}{U_{20} I_{2M} + P_{fer}}}$ AN : $I_{2M} = 28{,}2\ A \Rightarrow \eta_{Max} = 94{,}70\,\%$

Exercice 6

$\Delta U = 0$ pour φ_{2l} tel que : $\tan\varphi_{2l} = -\dfrac{R_S}{X_S}$ AN : $\varphi_{2l} = -61{,}9°$

Le courant secondaire de rendement maximum est celui qui égalise P_J et P_{fer} :

$I_{2M} = \sqrt{\dfrac{P_{fer}}{R_S}}$ et $\eta_{Max} = \dfrac{U_{20}I_{2M} - P_{fer}}{U_{20}I_{2M} + P_{fer}}$ AN : $I_{2M} = 28{,}2\ A \Rightarrow \eta_{Max} = 94{,}70\,\%$

On peut écrire :

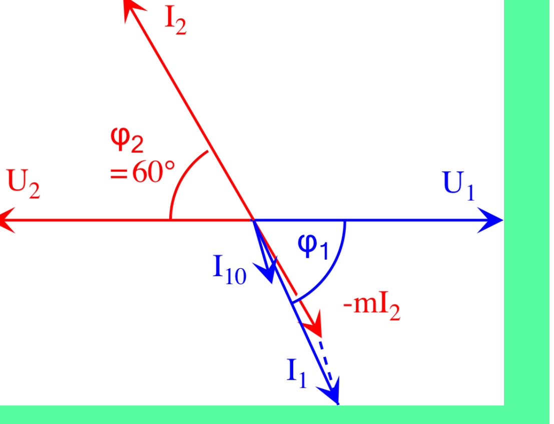
$$U_2 = U_{20} - \Delta U = U_{20} - \left(R_S I_2 \cos\varphi_2 + X_S I_2 \sin\varphi_2\right) = Z\, I_2$$

$$\Rightarrow I_2 = \frac{U_{20}}{Z + R_S\cos\varphi_2 + X_S \sin\varphi_2}$$

AN : $I_2 = 36{,}6\ A$

$$I_{1x} = I_{10}\cos\varphi_0 + mI_2\cos\varphi_2$$
$$I_{1y} = I_{10}\sin\varphi_0 + mI_2\sin\varphi_2$$

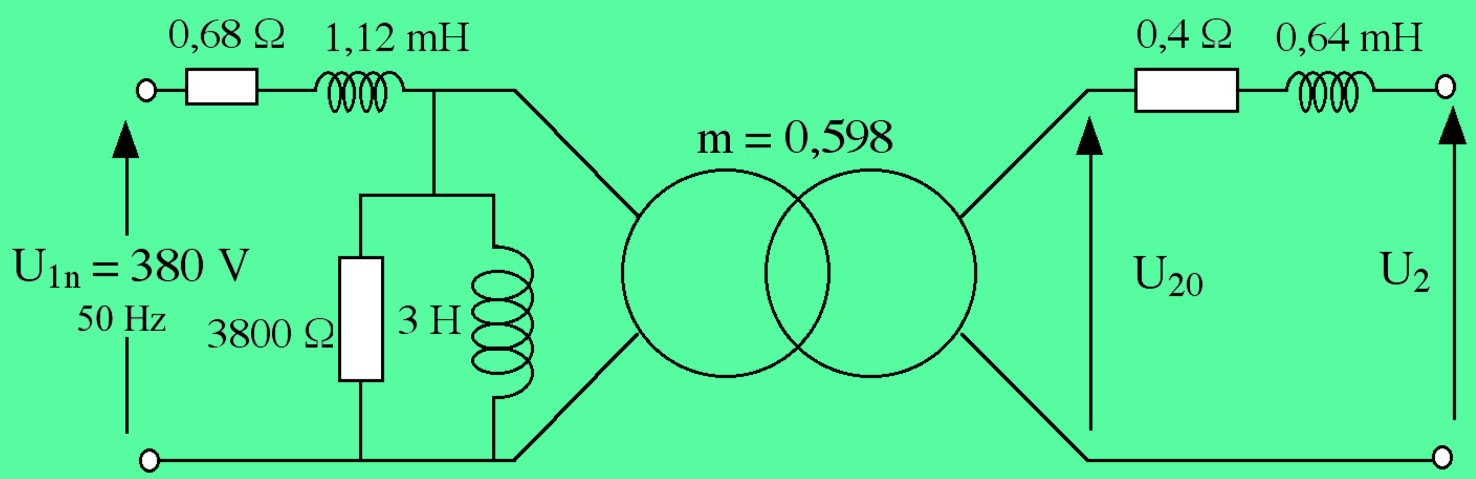
AN : $I_1 = 11{,}17\ A$, $\varphi_1 = 61°$



Exercice 7

On a établi le schéma équivalent ci-dessous pour un transformateur monophasé de 2000 VA.

1° - En utilisant les approximations usuelles, calculer la valeur des composants du diagramme de Kapp, R_S et X_S, ainsi que les pertes fer nominales du transformateur.
2° - Calculer la chute de tension pour une charge absorbant le courant nominal secondaire avec un facteur de puissance de 0,8 AR. En déduire la valeur de la résistance et de l'inductance en parallèle qui constituent la charge. Déterminer la capacité du condensateur à ajouter en parallèle sur la charge pour annuler la chute de tension.
3° - Déterminer le rendement du transformateur pour la charge du 2° sans le condensateur. Donner la valeur du courant secondaire permettant un rendement maximum et calculer cette valeur maximum pour un facteur de puissance de 1 et de 0,8 AR.



Exercice 7

1° Il suffit d'appliquer les définitions de ces éléments, soit :

$$\boxed{\begin{aligned} R_S &= m^2 R_1 + R_2 \\ X_S &= \left(m^2 l_1 + l_2\right)\omega \end{aligned}}$$

AN : $R_S = 0{,}643\ \Omega$; $X_S = 0{,}327\ \Omega$

Les pertes fer sont modélisées par la puissance dissipée dans $R_f = 3800\ \Omega$

$$\boxed{P_{fer} = \frac{U_1^2}{R_f}}$$

AN : $P_{fer} = \dfrac{380^2}{3800} = 38\ W$

Exercice 7

2° Le courant nominal secondaire est : $\boxed{I_{2n} = \frac{S_n}{U_{20}} \; avec \; U_{20} = mU_{1n}}$

L'expression usuelle approchée de la chute de tension donne ici :

$\boxed{\Delta U = R_S I_{2n} \cos\varphi_2 + X_S I_{2n} \sin\varphi_2}$ AN : $I_{2n} = 8{,}8 \; A \; et \; U_{20} = 227{,}24 \; V$

$\Rightarrow \Delta U = 6{,}253 \; V$

La tension U_2 sera donc de 227,24 - 6,25 = 221 V

Exercice 7

2° Le courant nominal secondaire est : $\boxed{I_{2n} = \dfrac{S_n}{U_{20}} \quad avec\ U_{20} = mU_{1n}}$

L'expression usuelle approchée de la chute de tension donne ici :

$$\boxed{\Delta U = R_S I_{2n} \cos\varphi_2 + X_S I_{2n} \sin\varphi_2}$$

AN : $I_{2n} = 8{,}8\ A\ \ et\ \ U_{20} = 227{,}24\ V$

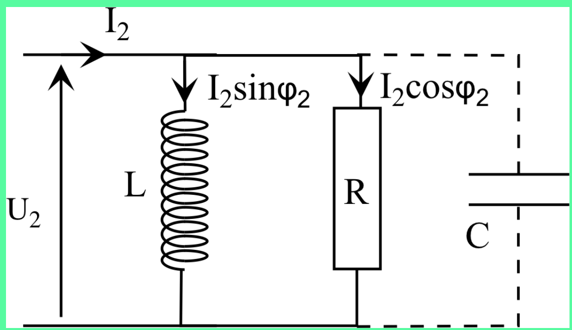
$\Rightarrow \Delta U = 6{,}253\ V$

La tension U_2 sera donc de 227,24 - 6,25 = 221 V

La charge au secondaire est modélisée par le schéma ci-contre.
La résistance a donc pour valeur :

$\boxed{R = \dfrac{U_2}{I_{2n} \cos\varphi_2}}$ et l'inductance : $\boxed{L = \dfrac{U_2}{\omega I_{2n} \sin\varphi_2}}$

AN : $R = 31{,}4\ \Omega\ \ et\ \ L = 133{,}22\ mH$



Exercice 7

2° Le courant nominal secondaire est : $I_{2n} = \dfrac{S_n}{U_{20}} \quad avec \ U_{20} = mU_{1n}$

L'expression usuelle approchée de la chute de tension donne ici :

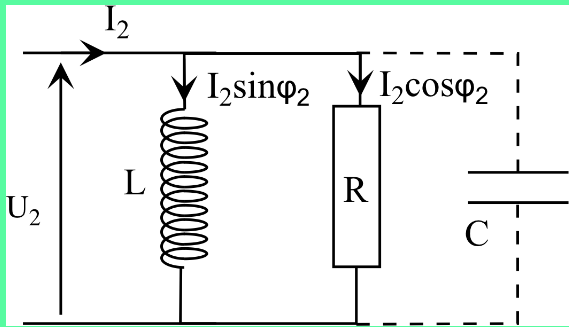
$$\Delta U = R_S I_{2n} \cos\varphi_2 + X_S I_{2n} \sin\varphi_2$$

AN : $I_{2n} = 8{,}8 \ A \ \ et \ \ U_{20} = 227{,}24 \ V$

$\Rightarrow \Delta U = 6{,}253 \ V$

La tension U_2 sera donc de 227,24 - 6,25 = **221 V**

La charge au secondaire est modélisée par le schéma ci-contre.
La résistance a donc pour valeur :



$$R = \frac{U_2}{I_{2n}\cos\varphi_2}$$ et l'inductance : $$L = \frac{U_2}{\omega I_{2n}\sin\varphi_2}$$

AN : $R = 31{,}4 \ \Omega \ \ et \ \ L = 133{,}22 \ mH$

$$\Delta U = 0 \Rightarrow \tan\varphi_{2l} = -\frac{R_S}{X_S} \ \ et \ \ par \ \ ailleurs \ \tan\varphi_{2l} = R\left(\frac{1}{L\omega} - C\omega\right)$$

$$\Rightarrow C = \frac{1}{\omega}\left(\frac{1}{L\omega} - \frac{\tan\varphi_{2l}}{R}\right)$$

AN :

$\tan\varphi_{2l} = -1{,}9664$

$C = 275 \ \mu F$

Exercice 7

3° La puissance au secondaire est : $\boxed{P_2 = U_2 I_{2n} \cos\varphi_2}$ Les pertes Joule sont : $\boxed{P_J = R_S I_{2n}^2}$

D'où le rendement : $\boxed{\eta = \dfrac{P_2}{P_2 + P_J + P_{fer}}}$ AN : $U_2 = 221\ V\ ;\ P_2 = 1556\ W\ ;\ P_J = 49{,}8\ W$

$\Rightarrow \eta = 94{,}66\,\%$

Exercice 7

3° La puissance au secondaire est : $\boxed{P_2 = U_2 I_{2n} \cos\varphi_2}$ Les pertes Joule sont : $\boxed{P_J = R_S I_{2n}^2}$

D'où le rendement : $\boxed{\eta = \dfrac{P_2}{P_2 + P_J + P_{fer}}}$ AN : $U_2 = 221\ V\ ;\ P_2 = 1556\ W\ ;\ P_J = 49{,}8\ W$

$\Rightarrow \eta = 94{,}66\,\%$

Le courant secondaire de rendement maximum est celui qui égalise P_J et P_{fer} :

$$\boxed{I_{2M} = \sqrt{\frac{P_{fer}}{R_S}}}$$

AN : $I_{2M} = 7{,}69\ A$

Exercice 7

3° La puissance au secondaire est : $\boxed{P_2 = U_2 I_{2n} \cos\varphi_2}$ Les pertes Joule sont : $\boxed{P_J = R_S I_{2n}^2}$

D'où le rendement : $\boxed{\eta = \dfrac{P_2}{P_2 + P_J + P_{fer}}}$ AN : $U_2 = 221\ V\ ;\ P_2 = 1556\ W\ ;\ P_J = 49{,}8\ W$

$\Rightarrow \eta = 94{,}66\,\%$

Le courant secondaire de rendement maximum est celui qui égalise P_J et P_{fer} :

$$\boxed{I_{2M} = \sqrt{\frac{P_{fer}}{R_S}}}$$

AN : $I_{2M} = 7{,}69\ A$

D'où le rendement pour cosφ = 0,8 AR :

$$\Delta U = 6{,}253 \times \frac{7{,}69}{8{,}8} = 5{,}46\ V \Rightarrow U_2 = 221{,}8\ V$$

$$P_2 = 1364\ W\ \ et\ \ \eta_{Max} = \frac{P_2}{P_2 + 2P_{fer}} = 94{,}72\,\%$$

Exercice 7

3° La puissance au secondaire est : $\boxed{P_2 = U_2 I_{2n} \cos\varphi_2}$ Les pertes Joule sont : $\boxed{P_J = R_S I_{2n}^2}$

D'où le rendement : $\boxed{\eta = \dfrac{P_2}{P_2 + P_J + P_{fer}}}$ AN : $U_2 = 221\ V\ ;\ P_2 = 1556\ W\ ;\ P_J = 49{,}8\ W$

$\Rightarrow \eta = 94{,}66\,\%$

Le courant secondaire de rendement maximum est celui qui égalise P_J et P_{fer} :

$$\boxed{I_{2M} = \sqrt{\frac{P_{fer}}{R_S}}}$$

AN : $I_{2M} = 7{,}69\ A$

D'où le rendement pour cosφ = 0,8 AR :

$$\Delta U = 6{,}253 \times \frac{7{,}69}{8{,}8} = 5{,}46\ V \Rightarrow U_2 = 221{,}8\ V$$

$$P_2 = 1364\ W\ \ et\ \ \eta_{Max} = \frac{P_2}{P_2 + 2P_{fer}} = 94{,}72\,\%$$

et le rendement pour cosφ = 1
(dont on montre aisément l'expression) :

$$\eta_{Max} = \frac{U_{20} I_{2M} - P_{fer}}{U_{20} I_{2M} + P_{fer}} = 95{,}74\,\%$$