

EXERCICE 1

Un transformateur de 20 kVA, 120 V/600 V, fonctionnant à vide, tire un courant de 5 A lorsqu'il est raccordé à une source de 120 V, 60 Hz. Un Wattmètre indique une puissance de 180 W. calculer :

- 1) La puissance réactive absorbée par le noyau
- 2) La valeur de R_f et de X_m
- 3) Les valeurs de I_f , I_m et I_0

EXERCICE 2

Les essais d'un transformateur monophasé ont donné :

- A vide : $U_{10} = 220$ V, 50 Hz (U nominale) ; $U_{20} = 44$ V ; $P_{10} = 80$ W ; $I_{10} = 1$ 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. (à chaud)

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_0 et le nombre de spires au secondaire n_2 , 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 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.

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.

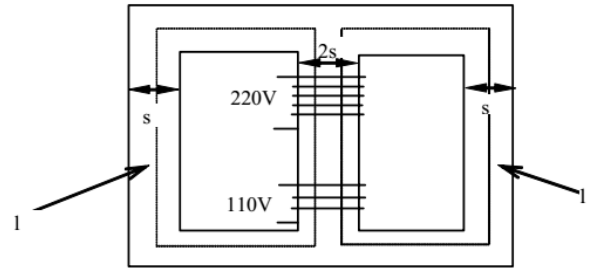
EXERCICE 3

On étudie un transformateur monophasé 220/110 V de puissance apparente 1100 VA.

Pour réaliser ce transformateur, on utilise le circuit magnétique représenté ci-après. On admet que la section du tube d'induction est : $s = 17,5$ cm² et que la longueur de la ligne d'induction moyenne est : $l = 36$ cm.

Les tôles magnétiques utilisées, non saturées, ont les caractéristiques suivantes :

- perméabilité relative : $\mu_r = 3000$
- masse volumique : 7 kg/dm^3
- pertes fer à 50Hz : $2,5 \text{ W}$ par kilogramme pour une induction maximale de 1 tesla.



- 1) Déterminer le nombre n_1 de spires du primaire pour que, dans le fer ($B_{\max}=1 \text{ T}$).
- 2) Calculer les pertes fer.

Le transformateur ayant été réalisé, on a procédé aux essais expérimentaux qui ont donné les valeurs suivantes :

- Essai à vide : $V_{10}=220 \text{ V}$, $V_{20} = 110 \text{ V}$, $I_{10}=26 \text{ mA}$, $\cos \phi_{10} =0,38$, $P_{10} = 25 \text{ W}$
- Essai en court-circuit : $I_{2cc} = 10 \text{ A}$, $V_{1cc} = 6,22 \text{ V}$, $R_1 = 0,40 \Omega$, $R_2 = 0,12 \Omega$

- 3) Déterminer la réactance de fuite ramenée au secondaire X_s .
- 4) Déterminer la tension V_2 obtenue lorsque $V_1 = 220 \text{ V}$ et que le transformateur fournit au secondaire $I_2=10 \text{ A}$, $\cos \phi_2 =0,8$ arrière.

EXERCICE 4

Un transformateur monophasé porte les indications suivantes sur sa plaque signalétique :

$S_n = 2\,200 \text{ VA}$, le rendement 95% , Primaire $V_{1n} = 220 \text{ V}$, Secondaire $V_{2n} = 127 \text{ V}$

- 1) Calculer le courant primaire nominal : I_{1n} et le courant secondaire nominal : I_{2n}
- 2) Le rendement est précisé pour une charge absorbant le courant nominal sous tension secondaire nominale et présentant un facteur de puissance $\cos \phi = 0,8$. Calculer la valeur des pertes dans le transformateur dans ces conditions.
- 3) Représenter un schéma équivalent ramené au secondaire du transformateur
- 4) En supposant qu'au régime nominal les pertes sont uniformément réparties entre pertes fer et pertes Joules, calculer alors la valeur de tous les éléments résistifs du schéma.
- 5) La tension secondaire à vide de ce transformateur vaut $V_{20} = 133 \text{ V}$. Calculer alors le rapport de transformation : m .
- 6) En utilisant la formule simplifiée donnant la chute de tension au point nominal, calculer la valeur de l'inductance de fuite ramenée au secondaire du transformateur L_s .

Solution exo 1

a) La puissance apparente fournie au noyau est:

$$S_m = E_g I_o = 120 \text{ V} \times 5 \text{ A} \\ = 600 \text{ VA}$$

Les pertes dans le fer sont:

$$P_m = 180 \text{ W}$$

La puissance réactive absorbée par le noyau est:

$$Q_m = \sqrt{S_m^2 - P_m^2} = \sqrt{600^2 - 180^2} \\ = 572 \text{ var}$$

b) L'impédance correspondant aux pertes dans le fer est:

$$R_m = \frac{E_g^2}{P_m} = \frac{120^2}{180} = 80 \Omega$$

La réactance magnétisante est:

$$X_m = \frac{E_g^2}{Q_m} = \frac{120^2}{572} = 25,2 \Omega$$

c) Le courant requis pour fournir les pertes dans le fer est:

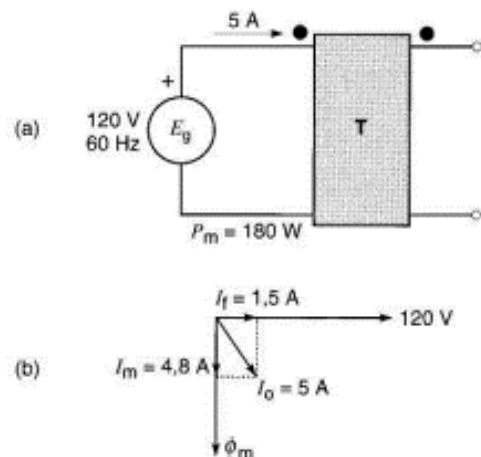
$$I_f = \frac{E_g}{R_m} = \frac{120 \text{ V}}{80 \Omega} = 1,5 \text{ A}$$

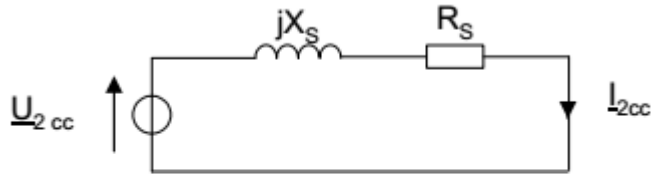
Le courant magnétisant est:

$$I_m = \frac{E_g}{X_m} = \frac{120 \text{ V}}{25,2 \Omega} = 4,8 \text{ A}$$

On vérifie que le courant d'excitation est:

$$I_o = \sqrt{I_f^2 + I_m^2} = \sqrt{1,5^2 + 4,8^2} \\ = 5 \text{ A}$$



Exo2:

$$R_s = 250 / 100^2 = 0,025 \Omega$$

$$Z_s = m_v U_{1cc} / I_{2cc} = 0,080 \Omega$$

$$m_v = 44 / 220 = 0,2$$

$$N_2 = 500 \times 0,2 = 100 \text{ spires}$$

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).

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

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.

$$80 \times (40 / 220)^2 = 2,6 \text{ W}$$

$$2,6 \text{ W} \ll 250 \text{ W} \text{ donc négligeables.}$$

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

$$\Delta U_2 = (R_s \cos \varphi_2 + X_s \sin \varphi_2) I_2 = 5,5 \text{ V}$$

$$U_2 = 44 - 5,5 = 38,5 \text{ V}$$

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 = 3460 \text{ W}$$

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

$$\text{Pertes globales} = 80 + 250 = 330 \text{ W}$$

$$P_1 = 3460 + 330 = 3790 \text{ W}$$

$$\text{Rendement} : 3460 / 3790 = 91 \%$$

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1 = U_1 m_v I_2 \cos \varphi_1$$

$$\text{D'où : } \cos \varphi_1 = 0,86$$

Solution exo 3

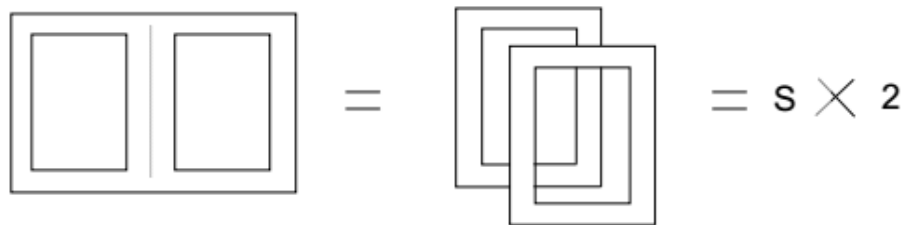
8.1.a

$$e = \frac{\partial \phi}{\partial t} \Rightarrow \underline{V} = j n_1 \omega \underline{\phi} \Rightarrow \hat{V} = n_1 2 \pi f \hat{B} S \Rightarrow n_1 = \frac{\hat{V}}{2 \pi f \hat{B} S} = \frac{220 \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 1.0 \cdot 0,0035} = 283 \text{ spires}$$

8.1.b les équations du transformateurs donnent (poly page 39 en haut) :

$$\begin{cases} n_1 \underline{I}_1 - n_2 \underline{I}_2 = R \underline{\phi} \\ \underline{\phi} = \frac{V_1}{j \omega n_1} \end{cases} \Rightarrow I_{10} = \frac{R V_1}{n_1^2 \omega}$$

Nous connaissons V_1 , nous venons de déterminer n_1 , il nous faut déterminer la réluctance R. Le circuit magnétique est constitué par deux circuits identiques **en parallèle**.



$$\text{Or } R = \frac{1}{\mu_0 \cdot \mu_r} \cdot \frac{l}{s} \Rightarrow R = \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 0,36}{3000 \times 0,0035} = 27468 \text{ unités S.I. ou } \frac{\text{A}}{\text{Wb}}$$

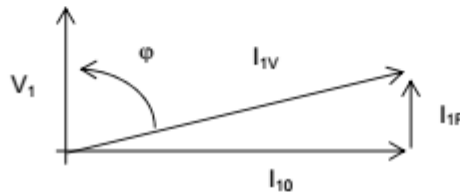
$$I_{10} = \frac{27468 \cdot 220}{283^2 \cdot 314} \approx 240 \text{ mA}$$

8.1.c volume du circuit magnétique : $V = 2 \times s \times l$

$$\text{pertes fer } P_f = \rho \cdot V \cdot 2,5 = 22,05 \text{ W , or on a } P_f = V_1 \cdot I_{1F} \cdot \cos \phi_{1F} \Rightarrow I_{1F} = \frac{P_f}{V_1} \approx 0,1 \text{ A ,}$$

car $\cos \phi_{1V} = 1$ (I_{1F} est en phase avec V_1).

8.1.d



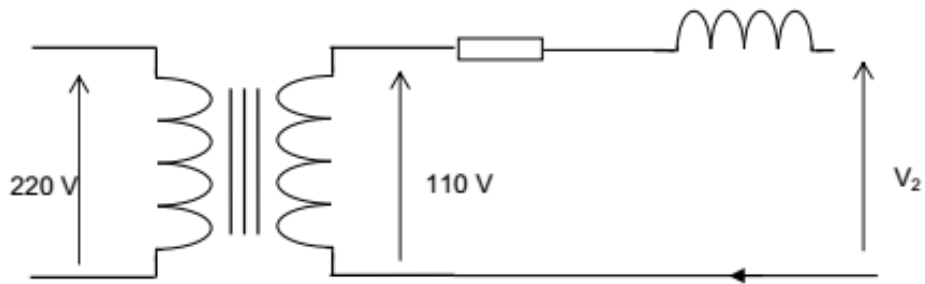
$$I_V = \sqrt{I_0^2 + I_F^2} = 0,26 \text{ mA}$$

$$\cos \phi_V = \frac{I_F}{I_V} = \frac{0,1}{0,26} = 0,38$$

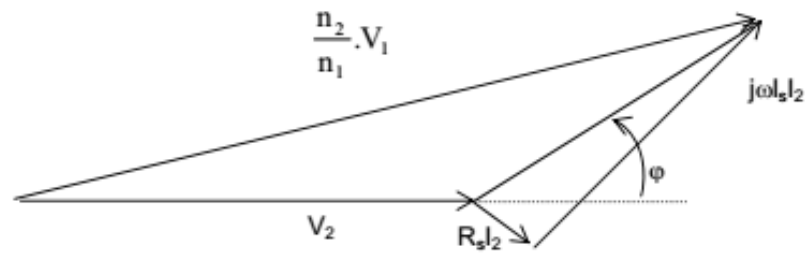
8.2.a L'essai en court-circuit permet de déterminer l'inductance de fuite (poly page 46 en haut) :

$$\omega I_s = \frac{\sqrt{\left(\frac{n_2}{n_1} V_{lcc}\right)^2 - (R_s I_{2cc})^2}}{I_{2cc}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{110}{220} \cdot 6,22\right)^2 - \left(\left(0,12 + \left(\frac{110}{220}\right)^2 \cdot 0,40\right) \cdot 10\right)^2}}{10} \approx 0,22 \Omega$$

8.2.b



D'où le diagramme de Kapp :



$$V_2 = \sqrt{\left(\frac{n_2}{n_1} \cdot V_1\right)^2 - \left(\sqrt{(R_s^2 I_2^2 + \omega^2 l_s^2 I_2^2)} \sin \phi\right)^2} - \sqrt{(R_s^2 I_2^2 + \omega^2 l_s^2 I_2^2)} \cos \phi = 108,2 \text{ V},$$

il s'agit du calcul exact.

Sinon par la formule approchée :

$$V_2 = \left(\frac{n_2}{n_1} \cdot V_1\right) - (R_s I_2 \cos \phi + \omega l_s I_2 \sin \phi) \approx 107 \text{ V}$$

Solution exo 4

$$1) S_n = V_{1n} \cdot I_{1n} = V_{2n} \cdot I_{2n} \Rightarrow I_{1n} = \frac{S_n}{V_{1n}} = \frac{2\,200}{220} = 10 \text{ A}$$

$$2) I_{2n} = \frac{S_n}{V_{2n}} = \frac{2\,200}{127} = 17,3 \text{ A}$$

$$3) P_{\text{utile}} = P_{\text{charge}} = V_{2n} \cdot I_{2n} \cdot \cos\varphi = 127 \times 17,3 \times 0,8 = 1760 \text{ W}$$

Par ailleurs, le rendement s'écrit :

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{utile}} + P_{\text{perte}}} \Rightarrow P_{\text{perte}} = \frac{1 - \eta}{\eta} \cdot P_{\text{utile}} = \frac{1 - 0,95}{0,95} \times 1760 = 92,6 \text{ W}$$

4) Un schéma équivalent classique du transformateur est représenté sur la *figure 2.23*.

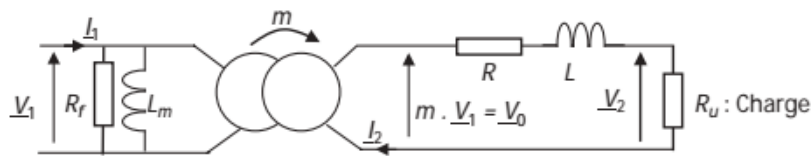


Figure 2.23.

5) Si les pertes sont uniformément réparties entre pertes fer et pertes Joules, cela signifie que :

$$P_{\text{Joules}} = \frac{P_{\text{pertes}}}{2} = 46,3 \text{ W} = R \cdot I_{2n}^2 \text{ d'où : } R = \frac{P_{\text{pertes}}}{2I_{2n}^2} = 0,15\Omega$$

$$\text{Et : } P_{\text{Fer}} = \frac{P_{\text{pertes}}}{2} = 46,36 \text{ W} = \frac{V_{1n}^2}{R_f} \text{ d'où : } R_f = \frac{2 \cdot V_{1n}^2}{P_{\text{pertes}}} = 1045\Omega$$

$$6) V_0 = 133 \text{ V} = m \cdot V_{1n} \text{ d'où : } m = \frac{V_0}{V_{1n}} = 0,604$$

La formule simplifiée donnant la chute de tension secondaire s'écrit :

$$\Delta V_2 = V_0 - V_2 = R \cdot I \cdot \cos\phi + L\omega \cdot I \cdot \sin\phi$$

En utilisant cette formule avec les grandeurs nominales connues, on en déduit :

$$L = \frac{V_0 - V_{2n} - R \cdot I_n \cdot \cos\phi}{\omega \cdot I_n \cdot \sin\phi} = 1,2 \text{ mH}$$

7) On écrit à nouveau la formule de la chute de tension mais pour le courant $\frac{I_n}{2}$:

$$\Delta V_2 = V_0 - V_2 = R \cdot \frac{I_n}{2} \cdot \cos\phi + L\omega \cdot \frac{I_n}{2} \cdot \sin\phi = 3 \text{ V}$$

On en déduit : $V_2 = V_0 - \Delta V_2 = 130 \text{ V}$

8) On écrit le rendement à la moitié du courant nominal :

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{utile}} + P_{\text{pertes}}} = \frac{V_2 \cdot \frac{I_{2n}}{2} \cdot \cos\phi}{V_2 \cdot \frac{I_{2n}}{2} \cdot \cos\phi + R \cdot \left(\frac{I_{2n}}{2}\right)^2 + \frac{V_{1n}^2}{R_f}} \text{ avec } V_2 = V_0 - \Delta V_2 = 130 \text{ V}$$

Application numérique : $\eta = 0,94$