

# Corrigé de TD-Transformateur-monophasé

## Exercice 1

Soit un transformateur parfait 380V/220V 50 Hz de puissance apparente nominale  $S=2$  kVA.

1. Calculer les courants nominaux  $I_{1N}$ ,  $I_{2N}$  et le rapport de transformation  $m$ .
2. La charge inductive est constituée d'une résistance  $R=20\ \Omega$  en série avec une inductance  $L=50$  mH. Calculer l'impédance de la charge et son facteur de puissance. En déduire les courants du transformateur et la puissance active fournie.

## Exercice 2

Un transformateur de distribution possède les caractéristiques nominales suivantes :

$S_{2N} = 25$  kVA,  $p_{\text{Joule } N} = 700$  W et  $p_{\text{fer}} = 115$  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 3

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 :  $R_2 = 25\ \text{m}\Omega$
- inductance de fuite du primaire :  $L_1 = 50$  mH
- inductance de fuite du secondaire :  $L_2 = 100\ \mu\text{H}$

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  $R = 1\ \Omega$ .

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

## Exercice 4 :

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  $1,5\ \text{mm}^2$ .

5-1- Calculer sa résistance totale  $R$  sachant que la résistivité du cuivre est :

$\rho = 0,027\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ .

5-2- Calculer le courant de court-circuit  $I_{2CC}$ .

Faire l'application numérique (on pourra prendre  $R_s \approx 30\ \text{m}\Omega$  et  $X_s \approx 15\ \text{m}\Omega$ ).

## Exercice 5

Les essais d'un transformateur monophasé ont donné :

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

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

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

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.

## Correction

### Exercice 1

$$1- S_N = V_{1N} \cdot I_{1N} \Rightarrow I_{1N} = S_N / V_{1N}$$

$$\text{A.N: } I_{1N} = 2000 / 380 = 5.26 \text{ A}$$

$$S_N = V_{2N} \cdot I_{2N} \Rightarrow I_{2N} = S_N / V_{2N}$$

$$\text{A.N: } I_{2N} = 2000 / 220 = 9.09 \text{ A}$$

$$m = V_{2N} / V_{1N} = I_{1N} / I_{2N} = 0.57$$

### 2- L'impédance:

$$Z = \sqrt{R^2 + (LW)^2}$$

$$\text{A.N : } Z = 25.43 \Omega$$

### Facteur de puissance:

$$\text{tg } \Phi = XL/R = LW/R = 0.785$$

$$\Phi = \text{arctg}(XL/R) = \text{arctg}(0.785)$$

$$\text{A.N: } \Phi = 38.14^\circ$$

$$\text{fp} = \cos \Phi = 0.786$$

### Les courants du transformateur et la puissance active :

$$I_1 = I_{1N} = 5.26 \text{ A}$$

$$I_2 = V_2 / Z = 220 / 25.43 = 8.65 \text{ A}$$

$$\cos \Phi = \text{fp} = P/S \Rightarrow P = S \cdot \text{fp} = 2000 \cdot 0.786 = 1572 \text{ W}$$

## Exercice 2

### 1- Calculer le rendement nominal pour :

- une charge résistive

$$P_2 = S_2 \cos \varphi_2$$

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

$$P_{2N} = 25000 \times 1 = 25 \text{ kW}$$

$$P_1 = P_2 + \text{pertes Joule} + \text{pertes Fer} = 25000 + 700 + 115 = 25,815 \text{ kW}$$

$$\text{Rendement nominal : } P_2/P_1 = 96,8 \%$$

- une charge inductive de facteur de puissance 0,8

$$(25000 \times 0,8) / (25000 \times 0,8 + 700 + 115) = 96,1 \%$$

### 2- Calculer le rendement pour :

- une charge résistive qui consomme la moitié du courant nominal

$$P_2 = S_2 \cos \varphi_2$$

$$I_2 = I_{2N}/2 \text{ donc : } P_2 \approx P_{2N}/2 \approx 12,5 \text{ kW}$$

Les pertes Joule sont proportionnelles au carré des courants (Loi de Joule).

$$700 \times (1/2)^2 = 175 \text{ W}$$

$$(12500) / (12500 + 175 + 115) = 97,7 \%$$

## Exercice 3

### 1- Calculer la tension à vide au secondaire.

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

### 2- Calculer la résistance des enroulements ramenée au secondaire $R_s$ .

$$R_s = R_2 + R_1 m_v^2 = 0,025 + 12 \times 0,044^2 = 48,2 \text{ m}\Omega$$

### 3- Calculer l'inductance de fuite ramenée au secondaire $L_s$ . En déduire la réactance de fuite $X_s$ .

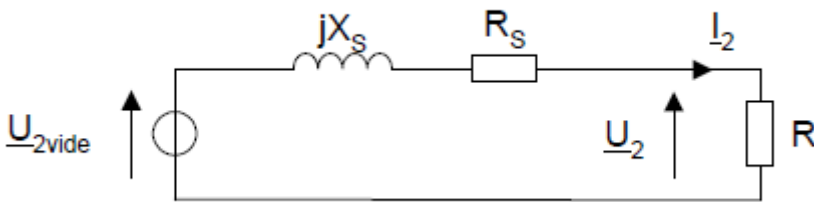
$$L_s = L_2 + L_1 m_v^2 = 100 \cdot 10^{-6} + 50 \cdot 10^{-3} \cdot 0,044^2 = 197 \text{ }\mu\text{H}$$

$$X_s = L_s \omega = 197 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 50 = 61,8 \text{ m}\Omega$$

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

### 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 :  $Z = (R_s + R) + jX_s$

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

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

$$I_2 = \frac{U_{2v}}{\sqrt{(R_s + R)^2 + X_s^2}} = 225,2 \text{ A}$$

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

Autre méthode :

$$\Delta U_2 = U_{2v} - U_2 \approx (R_s \cos \varphi_2 + X_s \sin \varphi_2) I_2$$

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

$$\text{D'où } \Delta U_2 \approx R_s I_2 \text{ (1)}$$

$$\text{D'autre part : } U_2 = RI_2 \text{ (2)}$$

$$\text{(1) (2) } I_2 \approx U_{2v} / (R_s + R) \approx 225,6 \text{ A}$$

$$U_2 \approx 225,6 \text{ V}$$

## Exercice 4

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

$$(630 \times 1) / (630 \times 1 + 54,8) = 92 \%$$

$$(630 \times 0,3) / (630 \times 0,3 + 54,8) = 77,5 \%$$

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

$$630 / 24 = 26,25 \text{ A}$$

3- Les pertes à vide (pertes fer) sont de 32,4 W.

En déduire les pertes Joule à charge nominale.

$$\text{Bilan de puissance : } 54,8 - 32,4 = 22,4 \text{ W}$$

En déduire  $R_s$ , la résistance des enroulements ramenée au secondaire.

$$\text{Loi de Joule : } 22,4 / 26,25^2 = 32,5 \text{ m}\Omega$$

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

$$\text{Chute de tension au secondaire : } \Delta U_2 = 0,035 \times 24 = 0,84 \text{ V}$$

$$\Delta U_2 = (R_s \cos \varphi_2 + X_s \sin \varphi_2) I_{2N}$$

$$X_s = (0,84 / 26,25 - 0,0325 \times 0,6) / 0,8 = 15,6 \text{ m}\Omega$$

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

Le câble de ligne en cuivre a une section de  $1,5 \text{ mm}^2$ .

5-1- Calculer sa résistance totale  $R$  sachant que la résistivité du cuivre est :

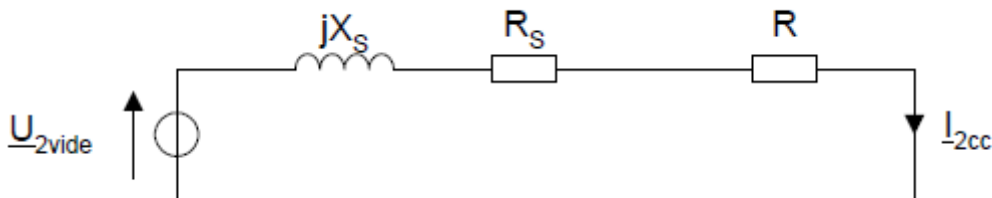
$$\rho = 0,027 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}.$$

$$R = \rho L / S = 0,027 \times 2 \times 15 / 1,5 = 540 \text{ m}\Omega$$

5-2- Calculer le courant de court-circuit  $I_{2CC}$  :

$$I_{2cc} = \frac{U_{2N}}{\sqrt{(R_s + R)^2 + X_s^2}}$$

Schéma électrique équivalent :



Impédance complexe totale :  $Z = (R_s + R) + jX_s$

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

Courant de court-circuit :  $U_{2 \text{ vide}} / Z \approx U_{2N} / Z = U_{2 \text{ vide}} / ((R_s + R)^2 + X_s^2)^{1/2}$

Faire l'application numérique.

$$Z = ((0,0325 + 0,540)^2 + 0,0156^2)^{1/2} = 573 \text{ m}\Omega$$

$$24 / 0,573 = 42 \text{ ampères}$$

## Exercice 5

Les essais d'un transformateur monophasé ont donné :

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

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

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

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.

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

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

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).

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

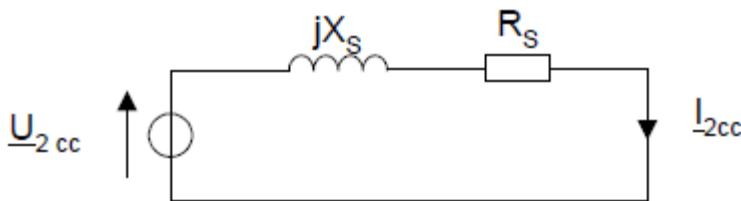
Faire l'application numérique.

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

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



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

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

$$Z_s = \sqrt{R_s^2 + X_s^2}$$

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = 0,076 \Omega$$

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  $100 \text{ A}$  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.

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

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

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

7- Déterminer la puissance absorbée au primaire (au préalable calculer les pertes globales).

En déduire le facteur de puissance au primaire et le rendement.

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

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

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

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

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