

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE

INSTITUT SUPERIEUR DES ETUDES TECHNOLOGIQUES DE NABEUL

**DEVOIRS SURVEILLES & EXAMENS**

**ELECTROTECHNIQUE**

**Profil : Maintenance Industrielle**

**Niveau - 3**

Préparé par :

**Hichem BEN AMMAR**

Année Universitaire 2010- 2011



1<sup>er</sup> Semestre 2008/2009

## **Matière : Electrotechnique**

Profil : Maintenance Industrielle

Niveau - 3

## INSTITUT SUPERIEUR DES ETUDES TECHNOLOGIQUES DE NABEUL



## DEVOIR SURVEILLE

<b>MATIERE :</b> <i>ELECTROTECHNIQUE</i>	<b>DATE :</b> 12 NOVEMBRE 2008
<b>CLASSE :</b> MI-32	<b>DUREE :</b> 1 HEURE
<b>ENSEIGNANT :</b> H. BEN AMMAR	<b>DOCUMENTS :</b> NON AUTORISES

**EXERCICE N ° 1 :**

On dispose d'un transformateur monophasé dont la plaque signalétique porte les indications suivantes :  $U_1 = 1800V$ ,  $f = 50Hz$ .

**L'essai à vide a donné les résultats suivants :**

$U_1 = 1800V$  ;  $U_{20} = 220V$  ;  $I_{10} = 1A$  ;  $P_{10} = 600W$ .

**L'essai en court circuit a donné les résultats suivants :**

$U_{1cc} = 55V$  ;  $I_{2cc} = 120A$  ;  $P_{1cc} = 720W$ .

Pendant le fonctionnement normal, le transformateur débite un courant nominal de 80A.

1. Déterminer pendant l'essai à vide :
  - a. le facteur de puissance à vide  $\cos\varphi_0$  ;
  - b. le rapport de transformation  $m$  ;
  - c. les paramètres  $R_f$  et  $X_m$ .
2. Déterminer pendant l'essai en court circuit :
  - a. la puissance réactive  $Q_{2cc}$  ;
  - b. la résistance  $R_s$  et l'inductance  $X_s$  ramenées à la sortie du transformateur.
3. Etablir le schéma équivalent du transformateur monophasé par l'hypothèse de Kapp.
4. Pour un courant secondaire nominal, calculer les chutes de tensions et établir les diagrammes vectoriels correspondants pour les cas suivants :
  - a. la charge est purement résistive ;

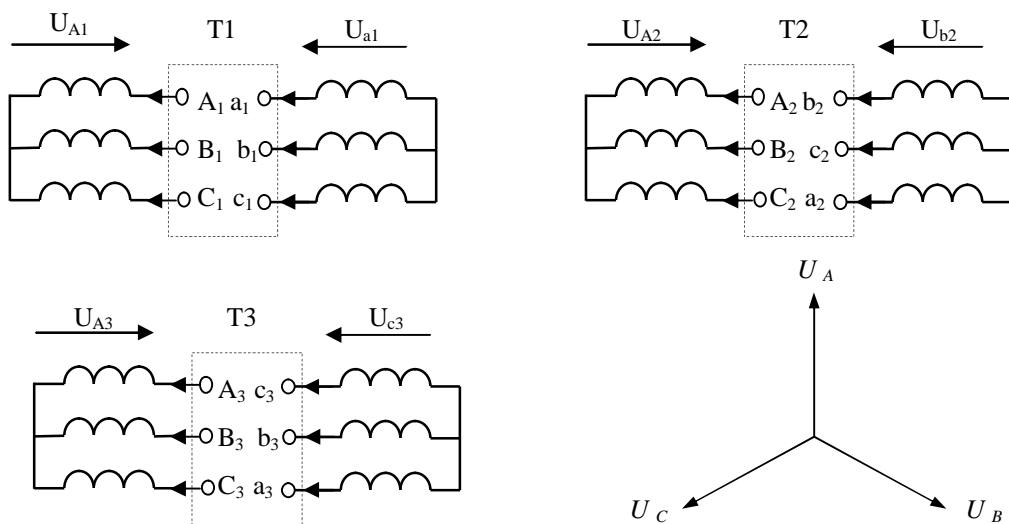
- b.** la charge est inductive,  $\cos\varphi = 0,8$  AR ;
- c.** la charge est capacitive,  $\cos\varphi = 0,8$  AV.

**5.** Respectivement à la question **5.b.** déterminer :

- a.** le bilan des puissances ;
- b.** le rendement du transformateur.

### EXERCICE N ° 2 :

On dispose de trois transformateurs triphasés T1, T2 et T3, trouver les indices horaires respectivement Ih1, Ih2 et Ih3.



Représentation vectorielle des tensions d'entrées ( $U_A$ ,  $U_B$  et  $U_C$ )

### **Note !**

Il est recommandé que les étudiants doivent écrire lisiblement, numéroté chaque copie, présenter clairement les résultats avec trois chiffres après le virgule, dégager et encadrer les résultats.

## CORRIGE

## 16 Exercice N ° 1

$U_1 = 1800\text{V}$ ,  $f = 50\text{Hz}$  et  $I_n = 80\text{A}$ .

**L'essai à vide a donné les résultats suivants :**

$U_1 = 1800\text{V}$  ;  $U_{20} = 220\text{V}$  ;  $I_{10} = 1\text{A}$  ;  $P_{10} = 600\text{W}$ .

**L'essai en court circuit a donné les résultats suivants :**

$U_{1cc} = 55\text{V}$  ;  $I_{2cc} = 120\text{A}$  ;  $P_{1cc} = 720\text{W}$ .

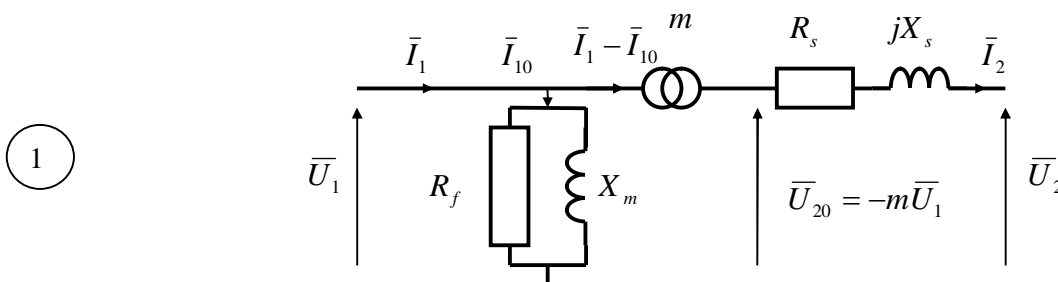
## 1. Essai à vide :

- 1 a. le facteur de puissance à vide  $\cos\varphi_{10} = \frac{P_{10}}{U_1 I_{10}} = 0,333$  ;
- 1 b. le rapport de transformation  $m = \frac{U_{20}}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} = 0,122$  ;
- 2 c. les paramètres  $R_f = \frac{U_1^2}{P_{10}} = 5,4\text{ K}\Omega$  ,  $S_{10} = U_1 I_{10}$  ,  $Q_{10} = \sqrt{S_{10}^2 - P_{10}^2}$  et  $X_m = \frac{U_1^2}{Q_{10}} = 1,909\text{ K}\Omega$  .

## 2. Essai en court circuit :

- 1 a.  $U_{2cc} = m U_{1cc} = 6,71\text{ V}$  ,  $S_{2cc} = U_{2cc} I_{2cc} = 805,2\text{ VA}$  et  $Q_{10} = \sqrt{S_{10}^2 - P_{10}^2} = 360\text{ VAR}$
- 1 b. la résistance  $R_s = \frac{P_{2cc}}{I_{2cc}^2} = 50\text{ m}\Omega$  et l'inductance  $X_s = \frac{Q_{2cc}}{I_{2cc}^2} = 25\text{ m}\Omega$  .

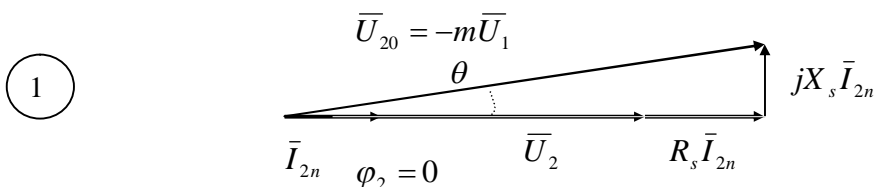
## 3. Représentation du schéma équivalent d'un transformateur monophasé par l'hypothèse de Kapp.



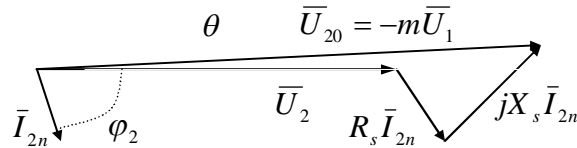
## 4.

a. La charge est purement résistive : La chute de tension  $\Delta U = R_s I_{2n} \cos\varphi_2 + X_s I_{2n} \sin\varphi_2$

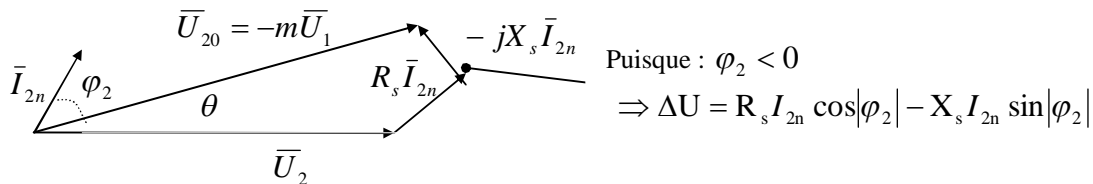
- 1  $\cos\varphi_2 = 1 \Rightarrow \varphi_2 = 0$  ,  $\Delta U = R_s I_{2n} = 4\text{ V}$   
 $\Rightarrow U_2 = U_{20} - \Delta U = 220 - 4 = 216\text{ V}$ .



- b.** La charge est inductive : La chute de tension  $\Delta U = R_s I_{2n} \cos \varphi_2 + X_s I_{2n} \sin \varphi_2$   
 $\cos \varphi_2 = 0,8 \text{ AR} \Rightarrow \varphi_2 > 0, \Rightarrow U_2 = U_{20} - \Delta U = 220 - 4,4 = 215,6$



- c.** La charge est capacitive : La chute de tension  $\Delta U = R_s I_{2n} \cos \varphi_2 + X_s I_{2n} \sin \varphi_2$   
 $\cos \varphi_2 = 0,8 \text{ AV} \Rightarrow \varphi_2 < 0, \Rightarrow \Delta U = R_s I_{2n} \cos |\varphi_2| - X_s I_{2n} \sin |\varphi_2| \Rightarrow \Delta U = 2 \text{ V}$   
 $\Rightarrow U_2 = U_{20} - \Delta U = 220 - 2 = 218 \text{ V.}$



- 5.**  $P_{js} = R_s I_{2n}^2 = 320 \text{ W}$ ,  $P_{10} = 600 \text{ W}$ ,  $P_u = U_2 I_{2n} \cos \varphi = 14080 \text{ W}$  et  
 $P_a = P_u + \sum \text{pertes} = 15 \text{ KW}$

- a.**  $P_{js} = R_s I_{2n}^2 = 320 \text{ W}$ ,  $P_{10} = 600 \text{ W}$ ,  $P_u = U_2 I_{2n} \cos \varphi = 14080 \text{ W}$  et  
 $P_a = P_u + \sum \text{pertes} = 15 \text{ KW}$

- b.** le rendement  $\eta = \frac{P_u}{P_u + \sum \text{pertes}} = 94\%$  ;

## Exercice N ° 2 :

Les indices horaires sont les suivants : Ih1=0, Ih2=7 et Ih=73.

1

1,5

1,5

## INSTITUT SUPERIEUR DES ETUDES TECHNOLOGIQUES DE NABEUL



قسم الصيانة الصناعية  
DEPARTEMENT DE MAINTENANCE INDUSTRIELLE

## EXAMEN

MATIERE : ELECTROTECHNIQUE

CLASSE : MI-31, MI-32

ENSEIGNANT : H. BEN AMMAR &amp; S. CHIBANI

DATE : 16 JANVIER 2009

DUREE : 1 HEURE 30

DOCUMENTS : NON AUTORISES

**Exercice N ° 1 :**

Le schéma de la figure 1 représente un banc d'essai des machines à courant continu : un moteur à excitation série qui entraîne une génératrice à excitation indépendante. Cette génératrice alimente une charge résistive R.

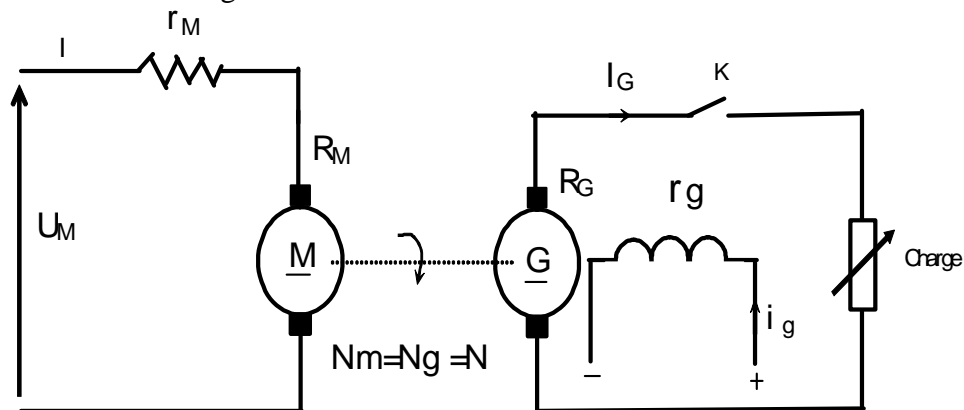


Figure -1

1. Peut-on démarrer le moteur si la génératrice n'est pas chargée (K ouvert Figure-1-)? Pourquoi.

**2. Etude du moteur :**

L'essai à vide du moteur (effectué à la vitesse 500 tr/mn) a donné les mesures suivantes :

E (V)	108	202	326	383	418
I (A)	25	50	100	150	200

E : f.c.é.m du moteur

I : courant d'excitation du moteur série

Les pertes constantes du moteur  $p_{cm}$  sont exprimées par la relation :  $p_{cm} = 7 \cdot 10^{-7} \cdot N^2 \cdot I^2$  en Watt. (I : courant d'induit en A, N vitesse de rotation en tr/mn)

La somme des résistances induit et inducteur du moteur ( $R_M + r_M$ ) est égale à  $0,1 \Omega$ .

On ferme l'interrupteur K et on démarre ensuite le moteur. Le moteur absorbe en régime permanent  $I_M = 100 \text{ A}$ , sous une tension constante  $U_M = 440 \text{ V}$ .

- 2.1.** Evaluer la vitesse de rotation **N** du moteur ainsi que son couple utile **Cu** fourni à la génératrice.
- 2.2.** Déterminer la puissance utile **Pum** et le couple électromagnétique **Cem** du moteur fourni à la génératrice.
- 2.3.** Calculer les pertes joules **Pjm** du moteur.
- 2.4.** Evaluer le rendement du moteur  $\eta \%$ .
- 3. Etude de la génératrice :** Elle est entraînée par le moteur série déjà étudié.  
La résistance de l'induit de la génératrice **RG** est égale à  $0,1\Omega$ . La résistance de l'inducteur **rg** =  $20\Omega$ . La f.é.m. **Eg** de la génératrice varie en fonction du courant d'excitation **ig** et de la vitesse de rotation **N** selon la relation **Eg** = **0,16.ig.N**. L'inducteur étant alimenté par une tension continue de 50 V.
  - 3.1.** Déterminer le courant d'excitation de la génératrice. Déduire sa f.é.m. **Eg**.
  - 3.2.** Sachant que la charge absorbe un courant **IG** de 160 A, déterminer la tension d'induit de cette génératrice.
  - 3.3.** Déterminer la puissance absorbée **Pa** de la génératrice, la puissance utile **Pu**. Evaluer alors le rendement de cette machine  $\eta_g \%$ .

### **Exercice N ° 2 :**

La plaque signalétique d'un moteur asynchrone triphasé a les données suivantes :

$$\begin{array}{lll}
 P_u = 10 \text{ KW} & \cos \varphi = 0.83 & U (\Delta / Y) = 220\text{V} / 380\text{V} \\
 I (\Delta / Y) = 22.51 \text{ A} / 39 \text{ A} & N (\Delta / Y) = 1440 \text{ tr/mn} / 720 \text{ tr/mn} & 
 \end{array}$$

- 1.** Ce moteur peut-il être alimenté normalement sur un réseau triphasé 380 V, 50 Hz ?  
A quelle condition ?
- 2.** Dans ce cas de couplage, déterminer :
  - a.** Le nombre de pôles du moteur et la vitesse du synchronisme **Ns**.
  - b.** Le glissement **g** en fonctionnement normal.
  - c.** Le moment du couple utile **Cu**.
  - d.** Le rendement du moteur  $\eta \%$ .



## CORRIGE

## 14 Exercice N ° 1

1. Le moteur série s'emballe à vide, il faut donc s'assurer de sa charge avant le démarrage. La génératrice à excitation indépendante ne pose pas de problème d'amorçage, d'où son choix.

1,5 On a  $U = \frac{p}{a} n N \phi_{ch} + RI + e_B$  avec  $U \gg RI + e_B$  et la vitesse  $N$  non nulle, telle que :

$$N \approx \frac{U}{k \phi_{ch}}.$$

En particulier si  $\phi_{ch}$  diminue, tel que  $\phi_{ch} < \frac{\phi_n}{2}$ , alors le moteur s'emballe et  $N$  devient excessif.

2.  $E(I)$  à  $N=1500\text{tr/mn}$ .

2. 1.  $I_M=100\text{A}$  ce qui implique  $E_M=326\text{V}$  à vide  
 $U_M=440\text{V}$   $E_M=U_M-(R_M+r_M)I_M=440-0,1 \times 100=430\text{V}$   
 $I_G=160\text{A}$  Le moteur  $E_M=430\text{V}$  en charge

$$E = \frac{p}{a} n N \phi \text{ à flux constant, implique } E = KN$$

$$\begin{aligned} E_M = 430\text{V} &\rightarrow N = \frac{500 \times 326}{430} \Rightarrow N_M = 659\text{tr/mn} \\ E_M = 326\text{V} &\rightarrow N = 500\text{tr/mn} \end{aligned} \quad (2)$$

$$C_{emM} = \frac{P_{emM}}{\Omega} = \frac{E_M I_M}{\Omega} = 622,6\text{Nm}$$

2. 2.  $P_{uM} = P_{emM} - P_{cM} = E_M I_M - 710^{-7} N^2 I^2 = 39,69\text{KW}$

$$C_{uM} = \frac{P_{uM}}{\Omega} = 575\text{Nm} \quad (2)$$

2. 3.  $P_j = (R_M + r_M) I_M^2 = 1\text{KW} \quad (1)$

2. 4.  $\eta_M = \frac{P_{uG}}{P_{aG} + \sum \text{pertes}} = 90,8\% \quad (1)$

3.  $i_g = \frac{U_g}{r_g} = \frac{50}{20} = 2,5\text{A}$

3. 1.  $e_g = 0,16 i_g N = 0,16 \times 2,5 \times 659,5 = 263,8\text{V} \quad (2)$

$$3.2. \quad U = E_g - R_G I_G = 247,8V \quad (1,5)$$

$$3.3. \quad P_a = P_{um} = 39955W, \quad P_u = UI_G = 39648W \quad \text{et} \quad \eta_M = \frac{P_u}{P_a} = 99,2\% \quad (3)$$

6 **Exercice N ° 2**

- 1 1. Source triphasée 380V tension composée, le moteur ne peut être alimenté qu'en étoile.  
2.

2 a.  $N = 720 \text{ ts} / \text{mn}$ ,  $N_s = 750 = \frac{60f}{p}$ , 8 pôles ce qui implique  $p=4$ .

1 b.  $g\% = \frac{N_s - N}{N_s} = 4\%$ .

1 c.  $C_u = \frac{P_u}{\Omega} = 265,28 \text{ Nm}$ .

1 d.  $\eta\% = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_u}{\sqrt{3}UI \cos \varphi} = 93,8\%$



2<sup>ème</sup> Semestre 2008/2009

**Matière : Electrotechnique**

Profil : Maintenance Industrielle

Niveau - 3

## INSTITUT SUPERIEUR DES ETUDES TECHNOLOGIQUES DE NABEUL



## DEVOIR SURVEILLE

<b>MATIERE :</b> <i>ELECTROTECHNIQUE</i>	<b>DATE :</b> <i>14 MAI 2009</i>
<b>CLASSE :</b> <i>MI-32</i>	<b>DUREE :</b> <i>1 HEURE 30</i>
<b>ENSEIGNANT :</b> <i>H. BEN AMMAR</i>	<b>DOCUMENTS :</b> <i>NON AUTORISES</i>

On dispose d'un transformateur monophasé de distribution  $S = 120 \text{ KVA}$ ,  $15 \text{ KV} / 220 \text{ V}$ , pour une fréquence de  $50 \text{ Hz}$ . Dans un essai à vide sous une tension nominale  $U_{20} = 228 \text{ V}$ ,  $I_{10} = 0,5 \text{ A}$  et  $P_{10} = 600 \text{ W}$ .

L'essai en court-circuit sous une tension réduite a donné :

$$U_{1cc} = 485 \text{ V}, \quad I_{2cc} = 820 \text{ A}, \quad P_{1cc} = 3100 \text{ W}$$

1. Sachant que la section nette du noyau est de  $S = 160 \text{ cm}^2$  et que l'induction maximale  $B_{\max} = 1,147 \text{ T}$ . Déduire alors les nombres de spires au primaire et au secondaire.
2. Pour le fonctionnement à vide, déterminer le facteur de puissance  $\cos \varphi_{10}$ , la puissance magnétisante  $Q_{10}$  et l'angle d'avance d'hystérésis  $\alpha_0$ .
3. Donner le schéma équivalent ramené au secondaire avec l'hypothèse de Kapp en fonction de  $(R_f, X_\mu, m, R_s, X_s)$ .
4. Calculer, pour le courant secondaire nominal  $I_{2n}$ , la tension aux bornes d'un récepteur de facteur de puissance successivement égal à :  $1; 0,8 \text{ AR}; 0,8 \text{ AV}$ .
5. Pour quel type de charge la chute de tension est-elle nulle ? est-elle maximale pour un courant  $I_2$  donné ?
6. Calculer le facteur de puissance nominal de ce transformateur.
7. Pour quel courant secondaire le rendement est-il maximal ? notant que le courant dans ce cas d'une charge résistive.

## CORRIGE

- 1.** La tension primaire suivant le théorème de Boucherot peut être exprimée par la relation complexe suivante  $\bar{U}_1 = j \omega n_1 \phi_1$ , ce qui implique  $U_1 = 4,44 f n_1 B_{\max} S$ , d'où

$$n_1 = \frac{U_1}{4,44 f B_{\max} S} = 3600 \text{ spires.}$$

$$\frac{U_{20}}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow n_2 = \frac{U_{20}}{U_1} n_1 = 56 \text{ spires.}$$

avec :

$$\begin{cases} B_{\max} = 1,147 \text{ T} \\ U_1 = 150 \text{ KV} \\ S = 0,016 \text{ m}^2 \end{cases}$$

- 2.**  $\begin{cases} P_{10} = 600 \text{ W} \\ U_{10} = 150 \text{ KV} \Rightarrow \cos \varphi_{10} = 85,4^\circ \text{ et } Q_{10} = U_{10} I_{10} \sin \varphi_{10} = 7476 \text{ VAR.} \\ I_{10} = 0,5 \text{ A} \end{cases}$

L'angle d'avance d'hystérésis  $\alpha_0 = 90^\circ - \varphi_{10} = 4,6^\circ$ .

- 3.** Le rapport de transformation  $m = \frac{U_{20}}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} = 0,0152$ .

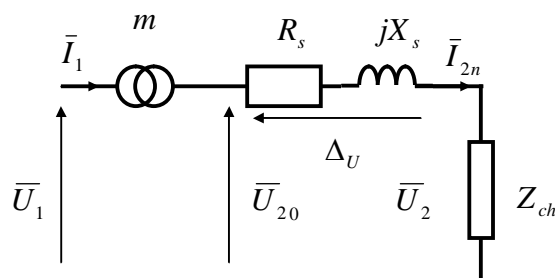
La résistance :  $R_f = \frac{U_1^2}{P_{10}} = 375 \text{ K}\Omega$  et L'inductance :  $X_m = \frac{U_1^2}{Q_{10}} = 30,1 \text{ K}\Omega$

La résistance ramenée à la sortie :  $R_s = \frac{P_{1cc}^2}{I_{2cc}} = 11,46 \text{ m}\Omega$

L'impédance ramenée à la sortie :  $Z_s = \frac{U_{2cc}}{I_{2cc}} = \frac{U_{1cc} m}{I_{2cc}} = 14,18 \text{ m}\Omega$

L'inductance ramenée à la sortie :  $X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = 8,35 \text{ m}\Omega$

- 4.** Le courant secondaire nominal est de la forme :  $I_{2n} = \frac{S}{U_2} = 545 \text{ A}$



On a :

$$U_{20} = U_2 + \Delta U$$

$$U_2 = U_{20} - \Delta U$$

- a.** La chute de tension est donnée par :  $\Delta U = R_s I_{2n} \cos \varphi_2 + X_s I_{2n} \sin \varphi_2$

Pour  $\cos \varphi_2 = 1 \Rightarrow \varphi_2 = 0$ , c'est que la charge est purement résistive.

$$\Delta U = R_s I_{2n} \approx 6 \text{ V}$$

$$\Rightarrow U_2 = U_{20} - \Delta U = 228 - 6 = 222 \text{ V.}$$

**b.** Pour  $\cos \varphi_2 = 0,8$  AR  $\Rightarrow \varphi_2 > 0$ , c'est le cas d'une charge inductive.

$$\Delta U = R_s I_{2n} \cos \varphi_2 + X_s I_{2n} \sin \varphi_2 \Rightarrow \Delta U \approx 7,5 \text{ V}$$

$$\Rightarrow U_2 = U_{20} - \Delta U = 228 - 7,5 = 220,5 \text{ V.}$$

**c.** Pour  $\cos \varphi_2 = 0,8$  AV  $\Rightarrow \varphi_2 < 0$ , c'est le cas d'une charge capacitive.

$$\Delta U = R_s I_{2n} \cos \varphi_2 + X_s I_{2n} \sin \varphi_2$$

$$\text{Puisque : } \varphi_2 < 0 \Rightarrow \Delta U = R_s I_{2n} \cos |\varphi_2| - X_s I_{2n} \sin |\varphi_2| \Rightarrow \Delta U \approx 2 \text{ V}$$

$$\Rightarrow U_2 = U_{20} - \Delta U = 228 - 2 = 226 \text{ V.}$$

**5.** La chute de tension est nulle, lorsque  $\Delta U = R_s I_{2n} \cos \varphi_2 + X_s I_{2n} \sin \varphi_2 = 0$

$$\Rightarrow R_s I_{2n} \sin \varphi_2 = -X_s I_{2n} \cos \varphi_2, \text{ ce qui implique } \operatorname{tg} \varphi_2 = -\frac{R_s}{X_s} \Rightarrow \varphi_2 = -54^\circ.$$

C'est bien une charge à caractère capacitive.

La chute de tension est maximale si  $\frac{\partial(\Delta U)}{\partial \varphi_2} = 0$ , alors  $R_s I_{2n} \sin \varphi_2 - X_s I_{2n} \cos \varphi_2 = 0$ ,

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = -\frac{X_s}{R_s} \Rightarrow \varphi_2 = 36^\circ$$

C'est bien une charge à caractère inductive.

**6.** Le facteur de puissance nominal correspond à un débit de courant nominal sous une tension nominale c'est-à-dire que  $\Delta U = 8 \text{ V}$ , d'après la question précédente lorsque la charge est inductive avec  $\cos \varphi_2 = 0,8$  AR sous la tension 220,5 V.

On dit que le courant est en arrière par rapport à la tension, avec un déphasage qui est négatif (puisque lorsqu'on ramène le courant sur la tension, on fait un angle antihoraire trigonométrique).

**7.** Le rendement au maximum pour un courant optimal  $I_{2opt}$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum \text{pertes}} = \frac{U_2 I_2 \cos \varphi_2}{U_2 I_2 \cos \varphi_2 + P_{10} + R_s I_2^2} = \frac{1}{1 + \frac{R_s I_2^2 + P_{fer}}{U_2 I_2 \cos \varphi_2}}, \text{ avec } P_{10} = P_{fer}$$

$$\eta_{\max} \text{ si } \frac{\partial(\eta)}{\partial I_2} = 0 \Rightarrow R_s = \frac{P_{10}}{I_2^2}, \text{ alors } I_{2opt} = \sqrt{\frac{P_{10}}{R_s}} \Rightarrow I_{2opt} = 229 \text{ A.}$$

D'où pour une charge résistive  $\cos \varphi_2 = 1$  et  $\Delta U = R_s I_{2opt} = 2,62 \text{ V}$ , alors que le rendement maximal est  $\eta_{\max} = 0,977$ .

## INSTITUT SUPERIEUR DES ETUDES TECHNOLOGIQUES DE NABEUL



## EXAMEN

<b>MATIERE :</b> <i>ELECTROTECHNIQUE</i>	<b>DATE :</b> <i>30 JUIN 2009</i>
<b>CLASSE :</b> <i>MI-31, MI-32</i>	<b>DUREE :</b> <i>1 HEURE 30</i>
<b>ENSEIGNANT :</b> <i>H. BEN AMMAR &amp; S. CHIBANI</i>	<b>DOCUMENTS :</b> <i>NON AUTORISES</i>

**Exercice 1: Moteur série en traction électrique**

Les caractéristiques d'un moteur à excitation série équipant une rame de métro sont :

- résistance de l'induit  $R = 0,06 \Omega$ .
- résistance de l'inducteur  $r = 0,04 \Omega$ .

Le flux est proportionnel au courant dans l'inducteur.

**1** – Pour le fonctionnement nominal on donne :

$U_n = 800 \text{ V}$ ;  $I_n = 410 \text{ A}$ ;  $N_n = 1300 \text{ tr/mn}$ ;  $C_{un}$  (couple utile nominal) = 2200 Nm.

Calculer alors :

- a. la puissance utile  $P_u$ .
- b. la puissance électromagnétique  $P_{ém}$ .
- c. les pertes mécaniques et magnétiques  $P_m$ .
- d. les pertes par effet Joule  $P_j$ .
- e. le couple électromagnétique  $C_{ém}$ .
- f. le rendement  $\eta \%$ .

**2** – On procède au démarrage du moteur sous une tension réduite. Le courant absorbé est de 800A.

Pour ce régime déterminer :

- a. la tension d'alimentation  $U_d$ .
- b. le couple électromagnétique correspondant.

**3** – On utilise maintenant une résistance de démarrage  $R_d$  permettant de limiter  $I_d$  à la valeur  $(2.I_n)$

Calculer :

- a. la résistance de démarrage  $R_d$ .
- b. le couple de démarrage  $C_d$ .

### **Exercice 2 : Moteur asynchrone triphasé à bagues**

Un moteur asynchrone à bagues présente les caractéristiques suivantes :

Puissance utile : 150 KW; tensions : 220/380 V; fréquence : 50 Hz; 4 pôles.

On suppose que les pertes par effet Joule du stator  $P_{js}$  et les pertes mécaniques  $p_m$  sont négligeables. Les pertes fer du moteur sont localisées au stator.

#### **1. L'essai à vide a donné :**

$I_{10} = 5 \text{ A}$  ;  $g$  (glissement)  $\approx 0$  ;  $P_0 = 1250 \text{ W}$ .

Le moteur présente une vitesse au voisinage de synchronisme, le moteur est alimenté par un réseau triphasé 380V – 50 Hz.

- a. Quel doit être le couplage du stator.
- b. Déduire le facteur de puissance à vide  $\cos \varphi_0$ .
- c. Déterminer les paramètres  $R_m$  et  $X_m$ .
- d. Calculer la vitesse de synchronisme  $N_s$  en tr/mn.

**2. En fonctionnement nominal**, sur un réseau triphasé 380 V, 50 Hz. Le glissement  $g = 2,5\%$ .

- a. Déterminer la vitesse de rotation  $N$  (en tr/mn) du moteur.
- b. Evaluer le couple utile  $C_u$ .
- c. Calculer la puissance transmise  $P_{tr}$  et la puissance électrique absorbée  $P_a$ .
- d. Calculer les pertes par effet Joule du rotor  $P_{jr}$ .
- e. Evaluer le rendement du moteur  $\eta \%$ .

**3. Fonctionnement sur un réseau triphasé : 220 V – 50 Hz.**

- a. Comment doit -t- on coupler le stator du moteur.
- b. Pour le régime nominal, calculer la valeur efficace des courants au stator :  
 $\cos \varphi = 0,8$ 
  - de ligne  $I_s$ .
  - de phase  $J_s$ .



## CORRIGE

**EXERCICE N ° 1 :**

10

**1.**

1

$$\mathbf{a.} \quad P_{un} = C_{un} \Omega_n = 299,5 \text{ KW} ;$$

1

$$\mathbf{b.} \quad P_{em} = EI_n = (U_n - (R + r)I_n)I_n = 311,19 \text{ KW} ;$$

1

$$\mathbf{c.} \quad P_m = P_{em} - P_u = 11,69 \text{ KW} ;$$

1

$$\mathbf{d.} \quad P_j = (R + r)I_n^2 = 16,81 \text{ KW} ;$$

1

$$\mathbf{e.} \quad C_{em} = \frac{EI_n}{\Omega} = 2285,88 \text{ Nm} ;$$

1

$$\mathbf{f.} \quad \eta = \frac{P_u}{P_a} = 91,31\%$$

**2.**

1

$$\mathbf{a.} \quad U_d = (R + r)I_d = 80 \text{ V} ;$$

1

$$\mathbf{b.} \quad C_{em} = f(I^2) = C_{em} \left( \frac{I_d}{I_n} \right) = 8703 \text{ Nm} ;$$

**3.**

1

$$\mathbf{a.} \quad U = (R + r + R_d)I_d \text{ avec } I_d = 2I_n \Rightarrow R_d = \frac{U}{2I_n} - (R + r) = 875,6 \text{ m}\Omega ;$$

1

$$\mathbf{b.} \quad C_d = C_{em} \left( \frac{I_d}{I_n} \right)^2 = 9143,5 \text{ Nm} ;$$

**EXERCICE N ° 2 :**

10

**1.**

0,5

**a.** Le couplage étant en étoile ;

1     **b.**  $\cos \varphi_{10} = \frac{P_{10}}{\sqrt{3}U_1 I_{10}} = 0,379$  ;

1     **c.**  $R_m = \frac{3V^2}{P_{10}} = 116,16 \text{ K}\Omega$  ,  $X_m = \frac{3V^2}{Q_{10}} = \frac{3V^2}{\sqrt{3}U_1 I_{10} \sin \varphi_{10}} = 47,67 \text{ K}\Omega$

1     **d.**  $N_s = \frac{60f}{p} = 1500 \text{ tr/mn}$  ;

**2.**

1     **a.**  $N = N_s(1 - g) = 1462,5 \text{ tr/mn}$ ;

1     **b.**  $C_u = \frac{P_u}{\Omega} = \frac{P_u}{\pi N/30} = 979,4 \text{ Nm}$  ;

1     **c.**  $P_{tr} = \frac{P_u}{1 - g} = 153,84 \text{ KW}$  ,  $P_a = P_{tr} + P_{fer} = P_{tr} + P_{10} = 155,09 \text{ KW}$

1     **d.**  $P_{fer} = P_{tr} g = 3,84 \text{ KW}$  ;

1     **e.**  $\eta = \frac{P_u}{P_a} = 96,74\%$  ;

**3.**

0,5     **a.** Le couplage étant en triangle ;

1     **b.**  $I_s = \frac{P_a}{\sqrt{3}U_1 \cos \varphi} = 508,7 \text{ A}$  et  $J_s = \frac{I_s}{\sqrt{3}} = 293,7 \text{ A}$  ;



1<sup>er</sup> Semestre 2009/2010

**Matière : Electrotechnique**

Profil : Maintenance Industrielle

Niveau - 3

## INSTITUT SUPERIEUR DES ETUDES TECHNOLOGIQUES DE NABEUL



## DEVOIR SURVEILLE

<b>MATIERE :</b> <i>ELECTROTECHNIQUE</i>	<b>DATE :</b> 24 NOVEMBRE 2009
<b>CLASSE :</b> MI-31	<b>DUREE :</b> 1 HEURE
<b>ENSEIGNANT :</b> H. BEN AMMAR	<b>DOCUMENTS :</b> NON AUTORISES

**Exercice**

Un transformateur monophasé est alimenté par une tension alternative sinusoïdale au primaire, de valeur efficace 2200 V et de fréquence 50 Hz.

Les essais d'un transformateur monophasé ont donné :

**Essai à vide :**

$$U_1 = 2200 \text{ V}; U_{20} = 220 \text{ V}; I_{10} = 1 \text{ A}; P_{10} = 550 \text{ W}.$$

**Essai en court circuit :**

$$U_{1cc} = 150 \text{ V}; I_{2cc} = 100 \text{ A}; P_{1cc} = 750 \text{ W}.$$

Pendant le fonctionnement normal, on prélève  $U_1 = 1400 \text{ V}$ ,  $I_{2n} = 60 \text{ A}$  avec un facteur de puissance inductif  $\cos\varphi_2 = 0,8 \text{ AR}$ .

1. Calculer le facteur de puissance à vide  $\cos\varphi_{10}$  et le rapport de transformation  $m$ .
2. Calculer les valeurs de la résistance de fuite  $R_f$  et de l'inductance cyclique  $X_f$ .
3. Déterminer la résistance équivalente  $R_s$  ramenée au secondaire.
4. Calculer l'impédance  $Z_s$  et en déduire la réactance  $X_s$  ramenée à la sortie.
5. Pour le fonctionnement nominal :
  - a. A l'aide de la forme approchée, calculer la chute de tension au secondaire ;
  - b. Etablir le diagramme de Kapp ;

- c.** Selon la représentation vectorielle, évaluer la chute de tension réelle (sans approximation) ;
  - d.** Calculer la puissance active secondaire ;
  - e.** Déduire le rendement du transformateur pour le régime nominal.
- 6.** Pour une charge capacitive, telle que l'impédance de la charge est l'association série d'une résistance  $R_c=100\Omega$  et d'un condensateur  $X_c=75\Omega$ . le courant secondaire nominal étant de l'ordre de 10A.
- a.** Déduire le facteur de puissance secondaire et préciser la phase entre le courant et la tension secondaire ;
  - b.** A l'aide de l'hypothèse de Kapp, évaluer la chute de tension ainsi la tension secondaire  $U_2$  ;
  - c.** Construire le diagramme de Kapp ;
  - d.** Evaluer la puissance active du secondaire ;
  - e.** Déterminer le rendement du transformateur.

***Note !***

Il est recommandé que les étudiants doivent écrire lisiblement, numéroté chaque copie, dégager et encadrer les résultats.

# CORRIGE

## Exercice

Un transformateur monophasé est alimenté par une tension alternative sinusoïdale au primaire, de valeur efficace 2200 V et de fréquence 50 Hz.

Les essais d'un transformateur monophasé ont donné :

**Essai à vide :**

$$U_1 = 2200 \text{ V}; U_{20} = 220 \text{ V}; I_{10} = 1 \text{ A}; P_{10} = 550 \text{ W}.$$

**Essai en court circuit :**

$$U_{1cc} = 150 \text{ V}; I_{2cc} = 100 \text{ A}; P_{1cc} = 750 \text{ W}.$$

Pendant le fonctionnement normal, on prélève  $U_1 = 1400 \text{ V}$ ,  $I_{2n} = 60 \text{ A}$  avec un facteur de puissance inductif  $\cos \varphi_2 = 0,8 \text{ AR}$ .

$$1. \quad P_{10} = U_1 I_{10} \cos \varphi_{10} \Rightarrow \cos \varphi_{10} = \frac{P_{10}}{U_1 I_{10}} = \frac{550}{2200 \times 1} = 0,25 \Rightarrow \cos \varphi_{10} = 0,25 \quad (1)$$

$$m = \frac{U_{20}}{U_1} = \frac{220}{2200} = 0,1 \Rightarrow m = 0,1 \quad (1)$$

$$2. \quad R_f = \frac{U_1^2}{P_{10}} = 8,8 \text{ K}\Omega \quad (1)$$

$$Q_{10} = \frac{U_1^2}{X_f} \Rightarrow X_f = \frac{U_1^2}{Q_{10}} = 2,272 \text{ K}\Omega \quad (1)$$

$$Q_{10} = U_1 I_{10} \sin \varphi_{10} = 2130 \text{ VAR} \quad (1)$$

$$3. \quad P_{1cc} = P_{2cc} = R_s I_{2cc}^2 \Rightarrow R_s = \frac{P_{2cc}}{I_{2cc}^2} = \frac{750}{100^2} = 75,2 \text{ m}\Omega \quad (1)$$

$$4. \quad Z_s = \frac{U_{2cc}}{I_{2cc}} = \frac{m U_{1cc}}{I_{2cc}} = \frac{0,1 \times 150}{100} \Rightarrow Z_s = 150 \text{ m}\Omega \quad (1)$$

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} \Rightarrow X_s = 130 \text{ m}\Omega \quad (1)$$

**5.**

**a.**  $\Delta U = R_s I_{2n} \cos \varphi_2 + X_s I_{2n} \sin \varphi_2$  où  $\cos \varphi_2 = 0,8 > 0$  et  $\sin \varphi_2 = 0,6 > 0$  pour  $\varphi_2 = 36,87^\circ > 0 \Rightarrow \Delta U = 0,075 \times 60 \times 0,8 + 0,13 \times 60 \times 0,6 = 8,28 \text{ V}$  (1)

**b.**  $U_2 = U_{20} - \Delta U = mU_1 - \Delta U_1 = 0,1 \times 1400 - 8,28 = 131,72 \text{ V}$  (2)

**c.**  $\Delta U_{\text{réel}} = 8,28 \text{ V}$  et  $\Delta U_{\text{imaginaire}} = -R_s I_2 \sin \varphi + X_s I_2 \cos \varphi = 1,98 \text{ V}$

**alors**  $\Delta U = \sqrt{\Delta U_{\text{réel}}^2 + \Delta U_{\text{imaginaire}}^2} = 8,513 \text{ V}$  (1)

**d.**  $P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 = 6322 \text{ W}$  (1)

**e.**  $\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum \text{pertes}} = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + R_s I_2^2} = \frac{6322}{3633 + 550 + 0,075 \times 60^2} = 88,52 \%$  (1)

**6.**  $R_c = 100 \Omega$  ,  $X_c = 75 \Omega$ 

**a.**  $\tan \varphi = -\frac{X_c}{R_c} \Rightarrow \cos \varphi = 0,8$  et  $\varphi = -36,87^\circ$  (1)

**b.**  $\Delta U = R_s I_{2n} \cos \varphi_2 + X_s I_{2n} \sin \varphi_2$   
 $\Rightarrow \Delta U = 0,075 \times 10 \times 0,8 + 0,15 \times 10 \times 0,6 = 5,1 \text{ V}$  (1)

$U_2 = U_{20} - \Delta U = 220 - 5,1 = 214,9 \text{ V}$  (1)

**c.** Construction du diagramme de Kapp (1)

**d.**  $P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 = 214,9 \times 10 \times 0,8 = 1719 \text{ W}$  (1)

**e.**

$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum \text{pertes}} = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + R_s I_2^2} = \frac{1719}{1719 + 550 + 0,075 \times 10^2} = 75,51 \%$  (1)

## INSTITUT SUPERIEUR DES ETUDES TECHNOLOGIQUES DE NABEUL



## DEVOIR SURVEILLE

<b>MATIERE :</b> <i>ELECTROTECHNIQUE</i>	<b>DATE :</b> <i>08 DECEMBRE 2009</i>
<b>CLASSE :</b> <i>MI-32</i>	<b>DUREE :</b> <i>1 HEURE</i>
<b>ENSEIGNANT :</b> <i>H. BEN AMMAR</i>	<b>DOCUMENTS :</b> <i>NON AUTORISES</i>

**Exercice N°1 :**

On alimente un four électrique monophasé dont la plaque signalétique porte les indications :  
220 V, 4 KW.

Pour l'alimenter on dispose d'un réseau monophasé 4600 V, 50 Hz.

On a effectué les essais suivants :

**Essai à vide :**

$$U_1 = 4600 \text{ V}; U_{20} = 230 \text{ V}; I_{10} = 2 \text{ A}; P_{10} = 300 \text{ W}.$$

**Essai en court circuit :**

$$U_{1cc} = 400 \text{ V}; I_{2cc} = 20 \text{ A}; P_{1cc} = 200 \text{ W}.$$

1. Evaluer les facteurs de puissances à vide  $\cos\varphi_{10}$  et en court-circuit. Calculer le rapport de transformation  $m$ .
2. Déterminer la résistance de fuite  $R_f$  et de l'inductance de fuite  $X_f$ .
3. Pour le régime nominal, calculer le courant secondaire  $I_{2n}$ .
4. Calculer le facteur de puissance secondaire.
5. Déterminer les valeurs de l'impédance  $Z_s$ , la résistance du transformateur ramenée au secondaire  $R_s$  et la réactance ramenée  $X_s$ .
6. Pour le fonctionnement nominal :
  - a. A l'aide de la forme approchée, calculer la chute de tension au secondaire ;



- b.** Etablir le diagramme de Kapp ;
  - c.** Etablir le bilan de puissance du transformateur au cours du fonctionnement nominal.
  - d.** Evaluer le rendement du transformateur.
- 7.** On branche à la sortie du transformateur une charge capacitive (une résistance en parallèle avec une capacité), on donne :
- $R_c = 75\Omega$  ,  $X_c = 100\Omega$ , le courant secondaire nominal étant de l'ordre de 20A.
- a.** Dédire le facteur de puissance secondaire et préciser la phase entre le courant et la tension secondaire ;
  - b.** A l'aide de l'hypothèse de Kapp, évaluer la chute de tension ainsi la tension secondaire  $U_2$  ;
  - c.** Etablir le diagramme de Kapp ;
  - d.** Déterminer le rendement du transformateur.

### **Exercice N°2 :**

Trouver graphiquement les indices horaires où les bornes du transformateur A et a sont reliées :

Premier Indice Horaire telles que :

$$V_{ab} = 470V; V_{bc} = 470V; V_{ca} = 470V;$$

$$V_{aB} = 420V; V_{bB} = 250V; V_{cB} = 230V;$$

Deuxième Indice Horaire telles que :

$$V_{ab} = 466V; V_{bc} = 466V; V_{ca} = 466V;$$

$$V_{aB} = 466V; V_{bB} = 280V; V_{cB} = 680V;$$

Troisième Indice Horaire telles que :

$$V_{ab} = 290V; V_{bc} = 290V; V_{ca} = 290V;$$

$$V_{aB} = 290V; V_{bB} = 420V; V_{cB} = 560V;$$

### ***Note !***

Il est recommandé que les étudiants doivent écrire lisiblement, numéroté chaque copie, dégager et encadrer les résultats.

## CORRIGE

**Exercice N ° 1**

On alimente un four électrique monophasé dont la plaque signalétique porte les indications :  
220 V, 4 KW.

Pour l'alimenter on dispose d'un réseau monophasé 4600 V, 50 Hz.

On a effectué les essais suivants :

**Essai à vide :**

$$U_1 = 4600 \text{ V}; U_{20} = 230 \text{ V}; I_{10} = 2 \text{ A}; P_{10} = 300 \text{ W}.$$

**Essai en court circuit :**

$$U_{1cc} = 400 \text{ V}; I_{2cc} = 20 \text{ A}; P_{1cc} = 200 \text{ W}.$$

$$1. \quad \cos \varphi_{10} = \frac{P_{10}}{U_1 I_{10}} = \frac{300}{4600 \times 2} = 0,0326 \quad (1)$$

$$\cos \varphi_{cc} = \frac{P_{1cc}}{U_1 I_{1cc}} = \frac{P_{1cc}}{U_1 m I_{2cc}} = \frac{200}{400 \times 20 \times 0,05} = 0,5 \quad (1)$$

$$m = \frac{U_{20}}{U_1} = \frac{230}{4600} = 0,05 \quad (1)$$

$$2. \quad R_f = \frac{U_1^2}{P_{10}} = \frac{4600^2}{300} = 70,533 \text{ K}\Omega \quad (1)$$

$$X_f = \frac{U_1^2}{Q_{10}} = \frac{4600^2}{9195} = 2,3 \text{ K}\Omega \quad \text{où} \quad Q_{10} = U_1 I_{10} \sin \varphi_{10} = 9195 \text{ VAR} \quad (1)$$

$$3. \quad I_n = \frac{S}{U_2} = \frac{4400}{220} = 20 \text{ A} \quad (1)$$

$$4. \quad \cos \varphi_2 = \frac{P_2}{U_2 I_{2n}} = \frac{400}{220 \times 20} = 0,91 \quad (1)$$

$$5. \quad R_s = \frac{P_{2cc}}{I_{2cc}^2} = \frac{200}{20^2} = 500 \text{ m}\Omega, \quad Z_s = \frac{U_{2cc}}{I_{2cc}} = \frac{m U_{1cc}}{I_{2cc}} = \frac{400 \times 0,05}{20} = 100 \text{ m}\Omega \quad (1)$$

$$\text{et } X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = 866 \text{ m}\Omega \quad (1)$$

6. Pour le fonctionnement nominal :

$$\mathbf{a.} \quad \Delta U = R_s I_{2n} \cos \varphi_2 + X_s I_{2n} \sin \varphi_2$$

$$\Rightarrow \Delta U = 0,5 \times 20 \times 0,91 + 0,866 \times 20 \times 0,429 = 16,315 \text{ V} \quad (1)$$

$$\mathbf{b.} \quad U_2 = U_{20} - \Delta U = 230 - 16,315 = 213,68 \text{ V} \quad (1)$$

$$\mathbf{c.} \quad P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1, \quad P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 = 2,68 \times 20 \times 0,91 = 3889 \text{ W},$$

$$P_j = R_s I_{2n}^2 = 0,5 \times 20^2 = 200 \text{ W} \text{ et } P_{10} = 300 \text{ W} \text{ alors}$$

$$P_1 = P_2 + \sum \text{pertes} = 3889 + 200 + 300 = 4389 \text{ W} \quad (1)$$

$$\mathbf{d.} \quad \eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum \text{pertes}} = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + R_s I_2^2} = \frac{3889}{4389} = 88,61 \% \quad (1)$$

7.

$$\mathbf{a.} \quad \tan \varphi = -\frac{X_c}{R_c} \Rightarrow \cos \varphi = 0,84 \text{ V et } \varphi = -36,87^\circ \quad (1)$$

$$\mathbf{b.} \quad \Delta U = R_s I_{2n} \cos \varphi_2 + X_s I_{2n} \sin \varphi_2$$

$$\Rightarrow \Delta U = 0,5 \times 20 \times 0,866 - 0,15 \times 20 \times 0,6 = -2,392 \text{ V} \quad (1)$$

$$U_2 = U_{20} - \Delta U = 230 - (-2,392) = 232,392 \text{ V}$$

$$\mathbf{c.} \quad \text{Construction du diagramme de Kapp} \quad (1)$$

**d.**

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum \text{pertes}} = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + R_s I_2^2} = \frac{232,392 \times 20 \times 0,8}{232,392 \times 20 \times 0,8 + 3000 + 0,5 \times 20^2} = 88,15 \% \quad (1)$$

### Exercice N°2 :

$$I_{h1} = 11 \quad (1)$$

$$I_{h2} = 1 \quad (1)$$

$$I_{h3} = 3 \quad (1)$$

## INSTITUT SUPERIEUR DES ETUDES TECHNOLOGIQUES DE NABEUL



## EXAMEN

<b>MATIERE :</b> <i>ELECTROTECHNIQUE</i>	<b>DATE :</b> 17 JANVIER 2010
<b>CLASSE :</b> MI-31, MI-32	<b>DUREE :</b> 1H 30
<b>ENSEIGNANT :</b> H. BEN AMMAR	<b>DOCUMENTS :</b> NON AUTORISES

**Exercice N°1 : Transformateur monophasé**

Un transformateur monophasé présente les caractéristiques suivantes :

$S_n = 8 \text{ KVA}$ ,  $R_1 = 0,008 \Omega$ ,  $R_2 = 0,018 \Omega$ ,  $N_2 = 142$  spires,  $f = 50 \text{ Hz}$

**A vide :** On a relevé :  $U_1 = 110 \text{ V}$ ,  $U_{20} = 220 \text{ V}$ ,  $P_{10} = 150 \text{ W}$  et  $I_{10} = 1,5 \text{ A}$

**En court-circuit :** On a obtenu :  $U_{1CC} = 8,2 \text{ V}$ ,  $I_{2CC} = 70 \text{ A}$  et  $P_{2CC} = 460 \text{ W}$

1. Calculer le rapport de transformation  $m$  et le nombre de spires  $N_1$
2. Déterminer le facteur de puissance à vide  $\cos \varphi_{10}$  et la puissance réactive à vide  $Q_{10}$
3. Dédire les paramètres  $R_f$  et  $X_f$
4. Déterminer la résistance  $R_s$ , l'impédance  $Z_s$  et l'inductance  $X_s$  ramenées à la sortie du transformateur
5. Déterminer dans l'hypothèse de Kapp :
  - a. la tension sous laquelle il faut alimenter le primaire ( $U_1$ ) pour que le secondaire débite un courant de  $I_2=100\text{A}$  sous une tension de  $U_2=220\text{V}$  dans un récepteur de facteur de puissance  $\cos \varphi = 0,8 \text{ AR.}$ , on donne  $U_{20}=U_2+\Delta U$ ,  $\Delta U=R_s I_2 \cos \varphi + X_s I_2 \sin \varphi$  et  $\varphi > 0$
  - b. ce récepteur est une bobine composée d'une résistance  $R$  en série avec une inductance  $L$ . Calculer la valeur de  $L$
6. Pour un fonctionnement nominal déterminer :

- a.** le courant nominal où  $U_{2n} = 200 \text{ V}$
- b.** les pertes par effet Joule et le rendement du transformateur dans le cas où le facteur de puissance secondaire est de 0.8 AR.

### **Exercice N ° 2 : Moteur à courant continu**

Les caractéristiques d'un moteur à excitation série équipant une rame de métro sont :

- la résistance de l'induit  $R = 0,06 \Omega$ .
- la résistance de l'inducteur  $r = 0,04 \Omega$ .

Le flux est proportionnel au courant dans l'inducteur.

**1.** En fonctionnement nominal on a :

$U_n = 2000 \text{ V}$  ;  $I_n = 120 \text{ A}$  ;  $N_n = 1300 \text{ tr/mn}$  ;  $C_{un}$  (couple utile nominal) =  $1700 \text{ Nm}$ .

Calculer :

- a.** la puissance utile.
  - b.** les pertes par effet Joule.
  - c.** la puissance absorbée.
  - d.** les pertes mécaniques et magnétiques.
  - e.** le couple électromagnétique.
  - f.** le couple perte.
  - g.** le rendement.
- 2.** Au démarrage, sous une tension réduite, le moteur absorbe un courant de  $1200 \text{ A}$ .

Calculer :

- a.** la tension d'alimentation.
  - b.** le couple électromagnétique de démarrage et comparer à celui du couple électromagnétique.
- 3.** La résistance de démarrage  $R_d$  permet de limiter  $I_d$  à la valeur  $2I_n$ .

Calculer :

- a.** la résistance de démarrage  $R_d$ .
- b.** comparer alors le couple de démarrage  $C_d$  et le couple électromagnétique nominal  $C_{em}$ .

## CORRIGE

**Exercice N ° 1**

$$1. \quad m = \frac{n_2}{n_1} = \frac{U_{20}}{U_1} = \frac{220}{110} = 2$$

$$n_1 = \frac{n_2}{m} = \frac{142}{2} = 71 \text{ spires} \quad (1)$$

$$2. \quad R_f = \frac{U_1^2}{P_{10}} = \frac{110^2}{150} = 80,666 \text{ K}\Omega \quad (1)$$

$$3. \quad Q_{10} = U_1 I_{10} \sin \varphi_{10} = 68,768 \text{ KVAR} \quad \text{où } \varphi_{10} = \arccos \frac{P_{10}}{U_1 I_{10}} = 24,619^\circ \quad (1)$$

$$X_f = \frac{U_1^2}{Q_{10}} = \frac{110^2}{68738} = 176,029 \text{ K}\Omega$$

$$4. \quad R_s = \frac{P_{2cc}}{I_{2cc}^2} = \frac{460}{70^2} = 93,877 \text{ m}\Omega, Z_s = \frac{U_{2cc}}{I_{2cc}} = \frac{m U_{1cc}}{I_{2cc}} = \frac{2 \times 8,2}{70} = 234 \text{ m}\Omega \quad (1)$$

$$\text{et } X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = 214 \text{ m}\Omega \quad (1)$$

5. Pour le fonctionnement nominal :

$$a. \quad \Delta U = R_s I_{2n} \cos \varphi_2 + X_s I_{2n} \sin \varphi_2$$

$$\Rightarrow \Delta U = 0,093 \times 100 \times 0,8 + 0,214 \times 100 \times 0,6 = 21,567 \text{ V}$$

$$U_2 = U_{20} + \Delta U = 220 + 21,567 = 241,567 \text{ V}$$

$$U_1 = \frac{U_{20}}{m} = 120,783 \text{ V} \quad (1)$$

$$b. \quad \bar{U}_2 = R I_2 + j X I_2, Z = \frac{U_2}{I_2} = \frac{220}{100} = 2,2 \Omega, \text{ alors } R = Z \cos \varphi = 1,76 \Omega$$

$$\text{et } X = Z \sin \varphi = 1,32 \Omega,$$

$$\text{on a } X = l\omega \Rightarrow l = \frac{X}{\omega} = \frac{1,32}{2\pi f} = 4,2 \text{ mH} \quad (2)$$

6.

$$\text{a. } I_2 = \frac{S}{U_2} = \frac{8000}{200} = 40 \text{ A} \quad (1)$$

$$\text{b. } P_{1j} = 150 \text{ W et } P_{2j} = R_s I_2^2 = 93,857 \times 40^2 = 150 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum \text{pertes}} = \frac{P_2}{P_2 + P_{1j} + P_{2j}} = \frac{200 \times 40 \times 0,8}{200 \times 40 \times 0,8 + 150 + 150} = 95,52\% \quad (1)$$

**Exercice N ° 2**

1.

$$\text{a. } P_u = C_u \times \Omega = 1700 \times \frac{1300 \times 2\pi}{60} = 231,43 \text{ KW} \quad (1)$$

$$\text{b. } P_j = (R + r) \times I_n^2 = (0,06 + 0,04) \times 120^2 = 1440 \text{ W} \quad (1)$$

$$\text{c. } P_a = U \times I_n = 2000 \times 120 = 240 \text{ KW} \quad (1)$$

$$\text{d. } P_c = P_{em} - P_u = P_a - P_j - P_u = 240000 - 1440 - 231431 = 7,129 \text{ KW} \quad (1)$$

$$\text{e. } C_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{E_0 I_n}{\Omega} = \frac{I_n (U - (R + r) I_n)}{\Omega} = \frac{120 \times (2000 - 0,1 \times 120)}{2\pi 1300} \times 60 = 1752 \text{ Nm} \quad (1)$$

$$\text{f. } C_p = C_{em} - C_u = 1752 - 1700 = 52,369 \text{ Vm} \quad (1)$$

$$\text{g. } \eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{C_u \Omega}{UI} = \frac{1700 \times 2 \times \pi \times 1300}{60 \times 2000 \times 120} = 96,43\% \quad (1)$$

2.  $I_d = 1200 \text{ A}$ 

$$\text{a. } E = 0 \Rightarrow U_d = (R + r) I_d \Rightarrow U_d = 0,1 \times 1200 = 120 \text{ V} \quad (1)$$

$$\text{b. on a } C_d = k I_d^2 \text{ et } C_n = k I_n^2 \text{ cela implique que } C_d = C_n \times \left( \frac{I_d}{I_n} \right)^2, \quad (1)$$

$$Cd = 1700 \times \left( \frac{1200}{120} \right)^2 = 100 \times Cn = 170 \text{ KNm}$$

**3.**  $Q_{10} = U_1 I_{10} \sin \varphi_{10} = 68,768 \text{ KVAR}$  où  $\varphi_{10} = \arccos \frac{P_{10}}{U_1 I_{10}} = 24,619^\circ$

**a.**  $Rd = \frac{Un}{2In} - (R + r) = 8,233 \Omega$  (1)

**b.**  $Cd = Cn \times \left( \frac{Id}{In} \right)^2 = 4Cem = 6800 \text{ KNm}$  (1)





2<sup>ème</sup> Semestre 2009/2010

## **Matière : Electrotechnique**

Profil : Maintenance Industrielle

Niveau - 3

Année Universitaire 2010/ 2011

## INSTITUT SUPERIEUR DES ETUDES TECHNOLOGIQUES DE NABEUL



## DEVOIR SURVEILLE

<b>MATIERE :</b> <i>ELECTROTECHNIQUE</i>	<b>DATE :</b> 17 AVRIL 2010
<b>CLASSE :</b> MI-3	<b>DUREE :</b> 1 HEURE
<b>ENSEIGNANT :</b> H. BEN AMMAR	<b>DOCUMENTS :</b> NON AUTORISES

**Exercice :**

Un transformateur monophasé de distribution possède les caractéristiques suivantes :

	<i>Essai à vide</i>	<i>Essai en court-circuit</i>
$S = 150\text{KVA}$	$U_{20} = 225\text{V}$	$U_{1cc} = 520\text{V}$
$f = 50\text{Hz}$	$I_{10} = 0,9\text{A}$	$I_{1cc} = 8\text{A}$
$15\text{KV} / 220\text{V}$	$P_{10} = 1600\text{W}$	$P_{2cc} = 3000\text{W}$

1. Pour le fonctionnement à vide, déterminer le facteur de puissance  $\cos\varphi_{10}$  et la puissance magnétisant  $Q_{10}$ .
2. Calculer les paramètres  $m$ ,  $R_f$  et  $X_f$  du transformateur.
3. Donner le schéma équivalent du transformateur ramené au secondaire, évaluer selon l'approximation de Kapp  $R_s$  et  $X_s$ .
4. Calculer les courants  $I_{1n}$ ,  $I_{2n}$  ; respectivement au primaire et au secondaire.
5. En fonctionnement nominal, déterminer la chute de tension  $\Delta u$  au secondaire dans les cas suivants.

- Charge résistive.

- Charge inductive ayant  $\cos \varphi = 0,8AR$ .

- Charge capacitive ayant  $\cos \varphi = 0,8AV$ .

**6.** Donner la représentation de Fresnel pour les trois cas précédents avec  $\bar{U}_{20} = \bar{V}_2 + R_s \bar{I}_{2n} + jX_s \bar{I}_{2n}$ .

**7.** Pour quel courant secondaire le rendement est maximal? Le calculer pour le cas d'une charge résistive.

**8.** On branche à la sortie du transformateur une charge capacitive (une résistance en parallèle avec une capacité), on donne :

$R_c = 90 \Omega$ ,  $X_c = 120 \Omega$ , le courant secondaire étant de l'ordre de 6000A.

**a.** Déduire le facteur de puissance secondaire et préciser la phase entre le courant et la tension secondaire ;

**b.** A l'aide de l'hypothèse de Kapp, évaluer la chute de tension au niveau  $R_s$  et  $X_s$ , déduire la tension secondaire  $U_2$  ;

**c.** Etablir le diagramme de Kapp ;

**d.** Déterminer le rendement du transformateur.

### ***Note !***

Il est recommandé que les étudiants doivent écrire lisiblement, numéroté chaque copie, dégager et encadrer les résultats.

## CORRIGE

**Exercice N ° 1**

$$1. \quad \cos \varphi_{10} = \frac{P_{10}}{U_1 I_{10}} = \frac{1600}{15000 \times 0,9} = 0,118 \Rightarrow \varphi_{10} = 83,193 \quad (1)$$

$$Q_{10} = U_1 I_{10} \sin \varphi_{10} = 13,404 \text{ KVAR} \quad (1)$$

$$2. \quad m = \frac{U_{20}}{U_1} = \frac{225}{15000} = 0,017 \quad (1)$$

$$R_f = \frac{U_1^2}{P_{10}} = \frac{15000^2}{1600} = 140,625 \text{ K}\Omega \quad (1)$$

$$X_f = \frac{U_1^2}{Q_{10}} = \frac{15000^2}{13404} = 16,785 \text{ K}\Omega \quad (1)$$

$$3. \quad R_s = \frac{P_{2cc}}{I_{2cc}^2} = \frac{P_{2cc} m^2}{I_{2cc}^2} = \frac{3000}{8^2} 0,017^2 = 13,546 \text{ m}\Omega, \quad (1)$$

$$Z_s = \frac{U_{2cc}}{I_{2cc}} = \frac{U_{1cc} m^2}{I_{1cc}} = \frac{520 \times 0,017^2}{20} = 18,785 \text{ m}\Omega \quad (1)$$

$$\text{et } X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = 13,014 \text{ m}\Omega \quad (1)$$

4. Pour le fonctionnement nominal :

$$I_{2n} = \frac{S}{U_{20}} = \frac{150000}{225} = 667 \text{ A} \quad (1)$$

$$5. \quad I_{2n} = 667 \text{ A} \text{ et } I_{1n} = 10,227 \text{ A}$$

La charge est résistive  $\Delta U = R_s I_{2n} \cos \varphi_2 + X_s I_{2n} \sin \varphi_2$  où  $\varphi = 0$

$$\Rightarrow \Delta U = 681,818 \times 0,01 = 7,191 \text{ V} \quad (1)$$

La charge est inductive  $\Delta U = R_s I_{2n} \cos \varphi_2 + X_s I_{2n} \sin \varphi_2$  où  $\cos \varphi = 0,8$  et

$$\sin \varphi = 0,6 \Rightarrow \Delta U = 9,683 \text{ V} \quad (1)$$

La charge est inductive  $\Delta U = R_s I_{2n} \cos \varphi_2 + X_s I_{2n} \sin \varphi_2$  où  $\cos \varphi = 0,8$  et  $\sin \varphi = -0,6 \Rightarrow \Delta U = 1,573 \text{ V}$  (1)

**6.** Représentations vectorielles des trois type de charges (3)

**7.** Le rendement est maximal pour  $I_{opt} = \sqrt{\frac{P_{10}}{R_s}} = \sqrt{\frac{1600}{0,01}} = 389,49 \text{ A}$

$\cos \varphi = 1$  alors

$$\eta_{\max} = \frac{U_2 I_{2opt} \cos \varphi}{U_2 I_{2opt} \cos \varphi + P_0 + R_s I_{2opt}^2} = \frac{220 \times 389}{220 \times 389 + 1600 + 0,01 \times 389^2} = 96,4 \% \quad (1)$$

**8.** Circuit de la charge est de type RC parallèle où  $X_c = 120 \Omega$ ,  $R_c = 90 \Omega$  et  $I = 6000 \text{ A}$

**a.**  $\varphi = \arctg \frac{R_c}{X_c} = 36,859^\circ \text{ AV} \Rightarrow \cos \varphi = 0,8 \text{ et } \sin \varphi = -0,6$  (1)

**b.**  $\Delta U = R_s I_{2n} \cos \varphi_2 + X_s I_{2n} \sin \varphi_2 = 14,15 \text{ V}$  (1)

$$U_2 = U_{20} - \Delta U = 225 - 14,85 = 210,85 \text{ V}$$

**c.** Construction du diagramme de Kapp (1)

**d.**

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + R_s I_2^2} = \frac{210,85 \times 6000 \times 0,8}{210,85 \times 6000 \times 0,8 + 1600 + 0,01 \times 600^2} = 61,47 \% \quad (1)$$

## INSTITUT SUPERIEUR DES ETUDES TECHNOLOGIQUES DE NABEUL

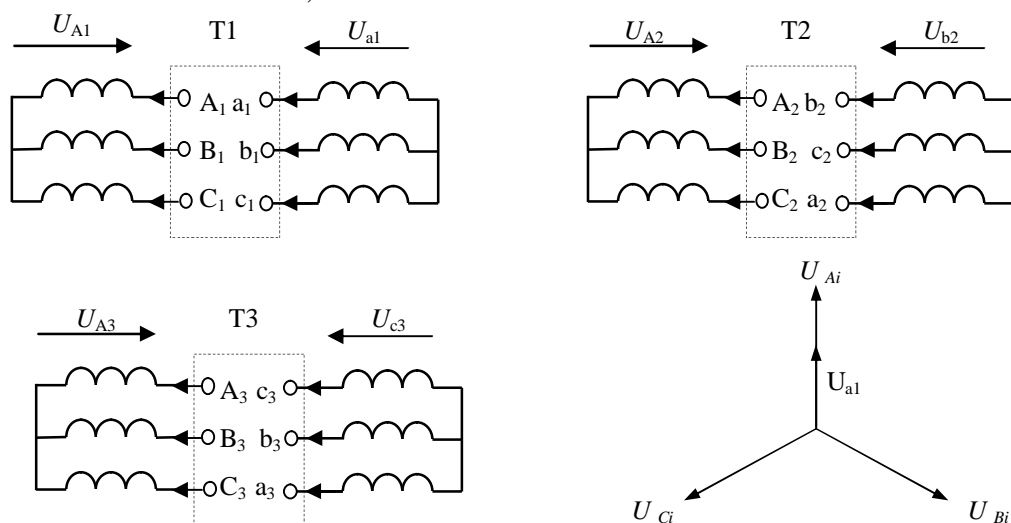


قسم الصيانة الصناعية  
DEPARTEMENT DE MAINTENANCE INDUSTRIELLE

## Examen

**MATIERE :** ELECTROTECHNIQUE**CLASSE :** MI-3**ENSEIGNANT :** H. BEN AMMAR**DATE :** 16 JUIN 2010**DUREE :** 1H 30**DOCUMENTS :** NON AUTORISES**Exercice 1 :**

1. On dispose de trois transformateurs triphasés T1, T2 et T3. Représenter et trouver les indices horaires suivants Ih1, Ih2 et Ih3.



Exemple de représentation  
vectorielle des tensions d'entrées  
( $U_A$ ,  $U_B$  et  $U_C$ ) et une tension  
secondaire du transformateur T1

2. On a effectué des différentes mesures pour de trois autres types de transformateurs triphasés qui sont notés respectivement par T'1, T'2 et T'3. Représenter les diagrammes vectoriels et déterminer graphiquement les indices horaires correspondants Ih'1, Ih'2 et Ih'3. On précise que les pôles "A et a" sont shuntés, et on notera que l'échelle de traçage est de 10 mm pour 10 V.

T'1	T'2	T'3
$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = 80 \text{ V}$	$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = 40 \text{ V}$	$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = 40 \text{ V}$
$U_{bA} = 40 \text{ V}$	$U_{bA} = 70 \text{ V}$	$U_{bA} = 70 \text{ V}$
$U_{bB} = 106 \text{ V}$	$U_{bB} = 96 \text{ V}$	$U_{bB} = 110 \text{ V}$
$U_{bC} = 70 \text{ V}$	$U_{bC} = 110 \text{ V}$	$U_{bC} = 96 \text{ V}$

## **Exercice 2 :**

On dispose d'un moteur asynchrone à cage :

$P_u$  : 300 KW; Tension d'alimentation : 220/380 V; fréquence : 50 Hz; bipolaire.

On suppose que les pertes par effet Joule dans le stator et les pertes mécaniques sont nulles.

Les pertes fer du moteur sont localisées au stator.

### **1. L'essai à vide a donné :**

$I_{10} = 15 \text{ A}$  ;  $g = 0$  ;  $P_0 = 2700 \text{ W}$ .

Le moteur présente une vitesse voisinage de synchronisme, le moteur est alimenté par un réseau triphasé 380V – 50 Hz.

- a. Quel doit être le couplage du stator.
- b. Déduire le facteur de puissance à vide  $\cos \varphi_0$ .
- c. Déterminer les paramètres  $R_m$  et  $X_m$ .
- d. Calculer la vitesse de synchronisme  $N_s$  en tr/mn.

**2. En fonctionnement nominal**, sur un réseau triphasé 380 V, 50 Hz. Le glissement  $g = 1,9 \%$ .

- a. Déterminer la vitesse de rotation  $N$  (en tr/mn) du moteur.
- b. Evaluer le couple utile  $C_u$ .
- c. Calculer la puissance transmise  $P_{tr}$  et la puissance électrique absorbée  $P_a$ .
- d. Calculer les pertes Joules du rotor  $P_{jr}$ .
- e. Evaluer le rendement du moteur  $\eta \%$ .

## CORRIGE

## EXERCICE N ° 1 :

1.  $I_{h1} = 0$  ,  $I_{h2} = 8$  et  $I_{h3} = 8$  (4)

2.  $I_{h'1} = 4$  ,  $I_{h'2} = 8$  et  $I_{h'3} = 6$  (4)

## EXERCICE N ° 2 :

1.

a. Le couplage étant en étoile ; (1)

b.  $\cos \varphi_{10} = \frac{P_{10}}{\sqrt{3}U_1 I_{10}} = 0,273$  ; (1)

c.  $Q_{10} = \sqrt{3}I_{10}U_1 = 9496 \text{ VAR}$  (1)  $R_m = \frac{3V_1^2}{P_{10}} = 53,48 \Omega$  , (1)

$X_m = \frac{3V_1^2}{Q_{10}} = \frac{3V_1^2}{\sqrt{3}U_1 I_{10} \sin \varphi_{10}} = 15,2 \text{ K}\Omega$  (1)

d.  $N_s = \frac{f \times 60}{p} = \frac{50 \times 60}{1} = 3000 \text{ tr/mn}$  ; (1)

2. a.  $N = N_s(1 - g) = 2943 \text{ tr/mn}$  ; (1)

b.  $C_u = \frac{P_u}{\Omega} = \frac{P_u}{\pi N/30} = 973,429 \text{ Nm}$  ; (1)

c.  $P_{tr} = \frac{P_u}{1 - g} = 305,81 \text{ KW}$  , (1)  $P_{tr} + P_{fer} = P_{tr} + P_{10} = 308,51 \text{ KW}$  (1)

d.  $P_{jr} = P_{tr} g = 5,81 \text{ KW}$  ; (1)

e.  $\eta = \frac{P_u}{P_a} = 98,1\%$  ; (1)



## **BIBLIOGRAPHIE**

Alain, H., Claude, N., Michel, P., Machine électrique électroniques de puissance, Collection le technicien, Edition Dunod, 1985.

Grellet, G., Clere, G., Actionneurs électriques, Editions Ayrolle, 1996.

Jean-Luis Dalmasso, Cours d'électrotechnique, DIA Technique Supérieur, Editions Belin, 19885.

Mohamed, Elleuch, les machines Electriques, Septembre 1993.

Mohamed, Stambouli, Electrotechnique, Année 1997-1998.

Mohamed, Elleuch, les machines synchrones et les machines asynchrones, Septembre 1997.

Mohamed, Elleuch, les transformateurs et les machines à courant continu, Septembre 1995.