PHYSIQUE APPLIQUÉE

Durée 4 heures Coefficient : 3

Etude d'un monte-charge

Le principe de l'installation est représenté à la figure 1 page 6.

Le treuil sur lequel s'enroule le câble supportant la cabine du monte-charge est entraîné par l'intermédiaire d'un réducteur par une machine asynchrone à cage. Le stator de la machine est alimenté par un ensemble redresseur PD3 à diodes - condensateur de filtrage - convertisseur continu / alternatif.

Les différentes parties peuvent être traitées indépendamment les unes des autres. Certaines valeurs données dans la partie I sont utiles dans la partie II.

I - Etude de la machine asynchrone

La plaque signalétique de la machine porte les indications suivantes :

220 V / 380 V - 50 Hz - 15 kW - 1 440 $tr.min^{-1}$

La machine est alimentée par un système triphasé équilibré de tensions sinusoïdales de fréquence f ; on note V la valeur efficace des tensions simples et g le glissement.

On néglige toute saturation magnétique ainsi que les résistances et inductances de fuite statoriques.

1 - Donner le nombre p de paires de pôles de la machine.

2 - Le schéma équivalent par phase, entre phase et neutre, est représenté à la figure 2 ; il est utilisable quelle que soit la valeur de la tension V.

On a effectué sur la machine les essais suivants à la fréquence f = 50 Hz :

- **Essai n° 1** : la machine est entraînée à la vitesse de synchronisme ; sous tension V = 220 V, le courant de ligne a pour intensité efficace I_0 = 9,5 A et la puissance absorbée est P_0 = 630 W.
- **Essai n° 2** : le rotor de la machine est bloqué ; sous tension V_{cc} = 50 V, le courant de ligne a pour intensité efficace I_{cc} = 30 A et la puissance absorbée est P_{cc} = 830 W.

a - En utilisant l'essai n° 1, déterminer les valeurs des éléments R et L.

b - Dans l'essai n°2 :

- Calculer la puissance active consommée par R et la puissance réactive absorbée par L.
- En déduire les puissances actives et réactives absorbées par r et ℓ puis les valeurs des éléments r et ℓ.

On prendra les valeurs suivantes pour la suite du problème :

R = 230 Ω - r = 0,34 Ω - L = 74 mH - ℓ = 5,6 mH

3 - Expression approchée du moment du couple électromagnétique (**en convention moteur**).

a - Donner l'expression littérale de l'intensité efficace I du courant dans la résistance $\frac{r}{g}$. En donner une expression approchée si $(g\ell\omega)^2$ est négligeable devant r^2.

b - Donner l'expression approchée du moment C_e du couple électromagnétique si $(g\ell\omega)^2 << r^2$.

c - Exprimer le glissement g en fonction de la vitesse de rotation N de la machine et de sa fréquence de synchronisme N_s.

d - En déduire que l'expression approchée du moment C_e du couple électromagnétique peut s'écrire

$$C_e = A\,\frac{V^2}{f^2}\,(N_S - N)$$

Vérifier que $A \approx 94 \times 10^{-3}$ si C_e est exprimé en N.m, V en volts, f en Hz, N_s et N en $tr.min^{-1}$.

II - Fonctionnement de l'ensemble machine - réducteur - treuil

Le treuil a un diamètre D = 30 cm. On note Ω_T sa vitesse angulaire tandis que celle du moteur asynchrone est notée Ω.

Le réducteur a pour rapport $k = \frac{\Omega_T}{\Omega}$. Son rendement est égal à 1 et $k = \frac{1}{40}$.

Le moment du couple de pertes mécaniques est négligé, de même que les pertes dans le fer du stator.

Le monte-charge a une masse $M = 2,5 \times 10^3$ kg ; sa vitesse est notée v.

On prendra pour valeur numérique de l'accélération de la pesanteur $g = 10\ m.s^{-2}$.

La machine est alimentée à fréquence f variable par le convertisseur continu / alternatif :

- Les fondamentaux des tensions obtenues forment un système triphasé équilibré ; on note V la valeur efficace des fondamentaux des tensions simples.
- On néglige toute influence des harmoniques de tension.
- Le rapport $\frac{V}{f}$ est maintenu constant et égal à 4,4 V.s.
- Dans cette partie on néglige les pertes.

1 - Etude préliminaire :

Le moment d'inertie de l'ensemble des parties tournantes, par rapport à l'axe du moteur, est noté J_t . Pour tenir compte de l'inertie du monte-charge, de masse M, on définit, par rapport à l'axe du moteur, un moment d'inertie équivalent $J = J_t + M\left(\frac{kD}{2}\right)^2$, tel que : J = 0,13 kg.m^2 .

Dans ces conditions, on peut considérer que le monte-charge exerce sur le treuil une force constante et égale à son poids, y compris pendant les phases où sa vitesse v varie.

a - Exprimer le moment du poids du monte-charge par rapport à l'axe du treuil.

b - En déduire l'expression du moment C_r du couple résistant correspondant ramené sur l'arbre du moteur.

c - En utilisant la relation $\Omega_T = k\ \Omega$ et la relation liant la vitesse v à Ω, donner l'expression de $\frac{d\Omega}{dt}$ en fonction de k, D et $\frac{dv}{dt}$.

d - En appliquant la relation fondamentale de la dynamique de rotation, et en exprimant C_e en N.m et v en m.s^{-1} , montrer qu'avec les valeurs numériques précédentes on peut écrire : $C_e \approx 35\frac{dv}{dt} + 94$.

2 - Montée de la charge

L'évolution de la vitesse de montée du monte-charge en fonction du temps est représentée à la figure 3. On donne : t_1 = 1,0 s , $t_2 - t_1$ = 10 s , $t_3 - t_2$ = 0,50 s , v_0 = 0,50 m.s^{-1}.

Un frein mécanique retient le monte-charge pour t < 0 et pour t > t_3 .

a - Déterminer les valeurs du moment C_e du couple électromagnétique pendant chacune des trois phases de la montée.

Représenter l'évolution de C_e en fonction du temps sur le document réponse n°1.

b - On considère la phase 2 à vitesse constante v_0 = 0,50 m.s^{-1} .

- Déterminer la fréquence N de rotation (en tr.min^{-1}) du moteur asynchrone.
- A l'aide du résultat du I-3-d, déterminer N_s; en déduire la fréquence f et la tension V de l'alimentation du moteur.
- Calculer la puissance utile du moteur, puis la puissance qu'il consomme.

3 - Descente de la charge

On ne s'intéresse ici qu'à une phase de descente à vitesse constante $\|v_0\|$ = 0,50 m.s^{-1}.

La machine asynchrone, entraînée par la charge, tourne à une vitesse supérieure à sa vitesse de synchronisme. On admet ici que le convertisseur continu / alternatif est réversible.

a - Préciser le type de fonctionnement de la machine.

b - Déterminer la valeur du moment C_e du couple électromagnétique (on prendra $C_e < 0$).

c - Déterminer la fréquence de rotation N de la machine asynchrone (on prendra N > 0).

d - A l'aide du résultat du I-3-d déterminer N_s; en déduire la fréquence f et la tension V de l'alimentation du moteur.

e - Calculer la puissance échangée entre la machine et le convertisseur continu / alternatif.

Préciser le sens de l'échange.

III - Résistance de freinage

Lors d'une descente de la charge à vitesse constante (masse différente de celle du II), la machine asynchrone restitue une puissance constante P = 10 kW. Il est alors nécessaire d'inclure une résistance de freinage R_0 (figure 4) qui assure la réversibilité du convertisseur continu / alternatif tandis que le pont PD3 à diodes est bloqué.

L'interrupteur K_0 est commandé en fonction de la valeur de la d.d.p. u_c :

- Lorsque cette d.d.p. u_c atteint une valeur U_{c_2} = 700 V, l'interrupteur K_0 se ferme.
- Lorsque cette d.d.p. u_c redescend à une valeur U_{c_1} = 600 V, l'interrupteur K_0 s'ouvre.

Lors du fonctionnement envisagé dans cette partie, l'interrupteur K_0 s'ouvre et se ferme de manière périodique.

On donne : C = 2000 µF , R_0 = 25 Ω.

1 - On rappelle que l'énergie emmagasinée par un condensateur de capacité C soumis à une d.d.p. u_c s'écrit $W = \frac{1}{2} C u_c^2$

Calculer les valeurs numériques W_1 et W_2 de l'énergie emmagasinée par le condensateur pour $u_c = U_{c_1}$ et $u_c = U_{c_2}$.

2 - A l'instant t = 0, l'interrupteur K_0 se ferme. Pendant l'intervalle de temps où l'interrupteur K_0 reste fermé :

a - Exprimer la puissance instantanée dissipée dans la résistance R_0 en fonction de u_c .

b - A l'aide d'un bilan de puissances, montrer que l'équation différentielle qui régit l'évolution de l'énergie W(t) s'écrit

$$\frac{dW(t)}{dt} + \frac{2}{R_0 C} W(t) = P$$

(On remarquera que $\frac{dW(t)}{dt}$ est la puissance reçue à l'instant t par le condensateur.)

c - La loi d'évolution de W(t) s'écrit alors $W(t) = K\,e^{-(t/\tau)} + \tau P$.

- Préciser l'expression de la constante de temps τ ainsi que sa valeur numérique.
- Exprimer la constante K en tenant compte des conditions initiales.

d - A quel instant t_0 l'interrupteur K_0 s'ouvre-t'il ?

3 - A partir de l'instant t_0, l'interrupteur K_0 est ouvert. Pendant l'intervalle de temps où l'interrupteur K_0 reste ouvert :

a - Montrer que l'énergie emmagasinée W(t) croit linéairement en fonction du temps.

b - L'interrupteur K_0 se ferme à un instant T. Déterminer la durée $(T - t_0)$ de l'intervalle de temps où l'interrupteur K_0 reste ouvert.

4 - A partir de l'instant T, l'interrupteur K_0 est fermé ... Tracer sur feuille de papier millimétré le graphe représentant l'évolution de l'énergie W(t) en fonction du temps.

5 - Quelle est la puissance moyenne dissipée par la résistance R_0 ?

Pièces jointes : Documents réponses n° 1 et n° 2.

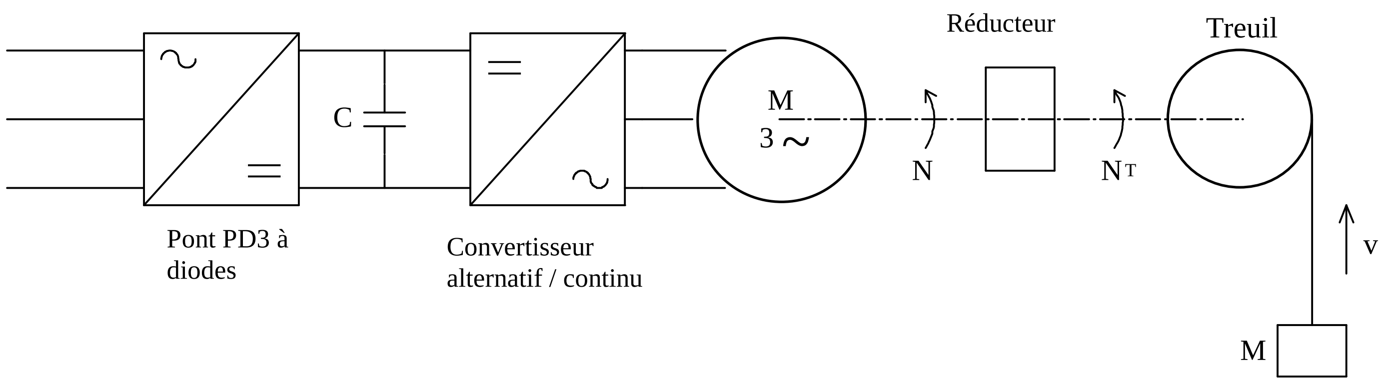


Figure 1

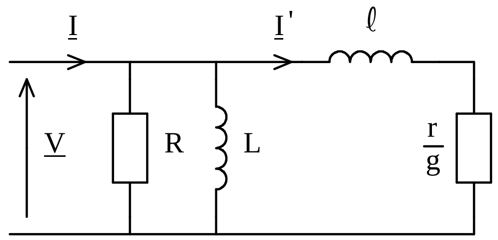


Figure 2

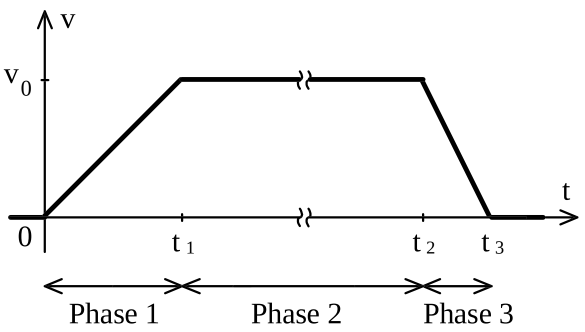


Figure 3

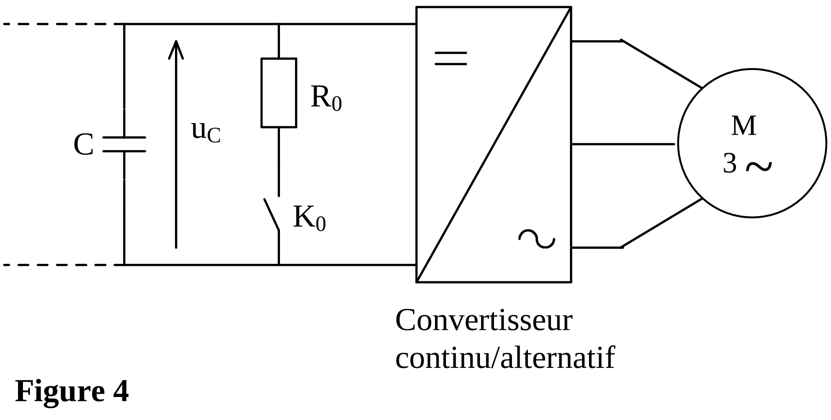
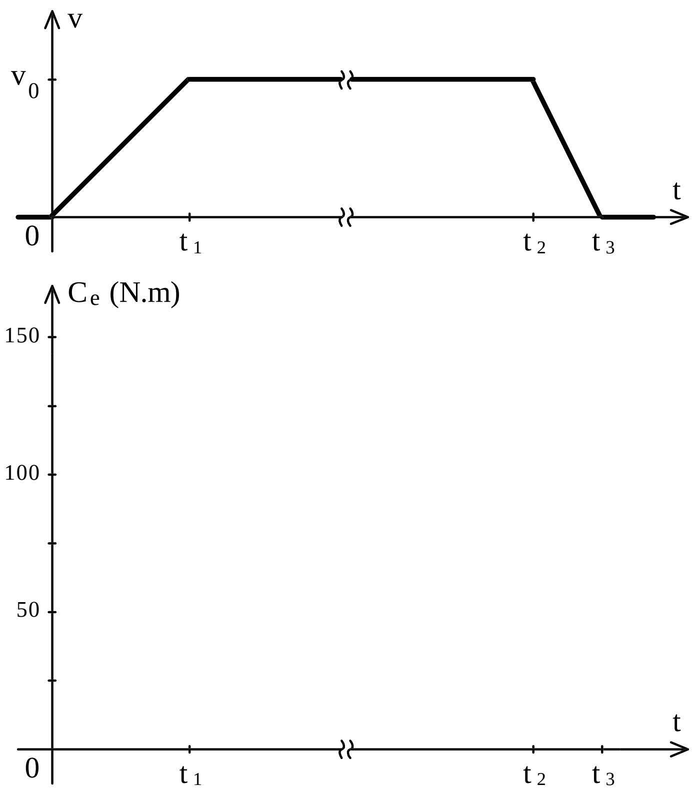


Figure 4

Document - réponse n ° 1



Question II - 1 - a