

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
MÉCANIQUE ET AUTOMATISMES
INDUSTRIELS

ÉPREUVE : SCIENCES PHYSIQUES

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

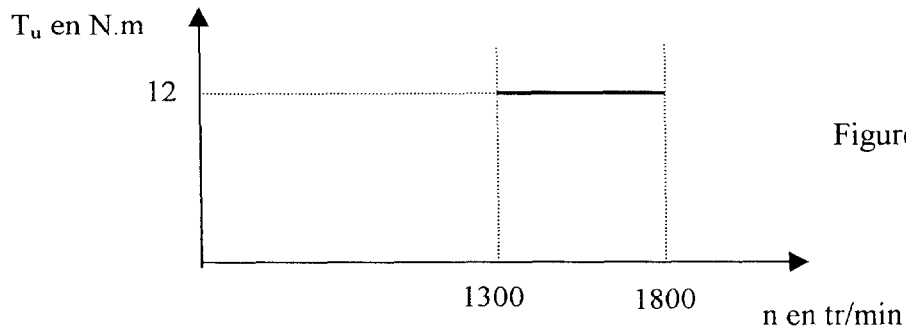
L'usage de la calculatrice est autorisé.

IMPORTANT : Ce sujet comporte 5 pages numérotées de 1 à 5 + la page de présentation.
Assurez-vous qu'il est complet. S'il est incomplet, veuillez le signaler au surveillant de la
salle qui vous en remettra un autre exemplaire.

Il est rappelé que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. Toute réponse devra être justifiée.

CHOIX D'UNE MOTORISATION

Un Technicien Supérieur M.A.I. fraîchement diplômé, doit assurer la motorisation d'un système mécanique, à savoir une broche dont la vitesse de rotation utile doit pouvoir être réglée de 1300 tr/min. à 1800 tr/min., tout en fournissant un couple constant de 12 N.m.



Pour des raisons d'économies, il doit utiliser du matériel en stock.

Matériel disponible :

- a) Une machine à courant continu, à aimants permanents
 $U = 200 \text{ V}$ $n = 3000 \text{ tr/min.}$ $P = 3,0 \text{ kW}$
- b) Un pont redresseur triphasé mixte : tension de sortie entre phases U telle que :
 $100\text{V} \leq U \leq 200\text{V}$
- c) Une machine asynchrone à rotor bobiné
 Nombre de pôles = 2 230/400 V 50 Hz $P = 3,7 \text{ kW}$
 Résistance d'une phase du rotor couplé en étoile, $R_2 = 0,30 \Omega$
- d) Une machine asynchrone à rotor à cage d'écureuil
 Nombre de pôles = 4 230/400 V 50 Hz $P = 3,0 \text{ kW}$

Nota: Toutes ces machines sont munies d'une ventilation forcée et sont donc aptes à travailler en régulation de vitesse.

- e) Un rhéostat triphasé, couplé en étoile; résistance par phase R_h
 $0 \leq R_h \leq 5,7\Omega$
- f) Un onduleur triphasé $V/f = \text{Cte.}$
 Gamme de fréquence : $10\text{Hz} \leq f \leq 60\text{Hz}$
 Tension de sortie $U = 480 \text{ V}$ entre phases à 60 Hz.
 Nota : Dans tout le sujet les vitesses de rotation seront exprimées en tr/min.

Après étude notre technicien constate que quatre configurations sont envisageables.

I - Le pont redresseur associé à la machine à courant continu ;

II - La machine asynchrone à rotor bobiné avec le rhéostat raccordé au rotor ;

III - L'onduleur associé à la machine asynchrone à rotor bobiné, rotor en court-circuit ;

IV - L'onduleur associé à la machine asynchrone à rotor à cage d'écureuil.

Il doit donc faire un choix circonstancié afin de définir la meilleure solution en particulier sur le plan du rendement et pour ce faire étudier chacune des configurations.

I- Le pont redresseur associé à la machine à courant continu

I.1. Rappeler la relation entre la f.é.m., E , et la vitesse angulaire, Ω , dans le cas d'une machine à courant continu à excitation constante (aimants permanents).

I.2. Calculer la constante, K , de la machine à courant continu en stock, en négligeant la chute de tension due à la résistance de l'induit (pour cela on exprimera n en tr/min.). On précisera les unités.

I.3. Quelle gamme de vitesse de rotation peut être réalisée lorsque la tension de sortie du pont varie ?

I.4. Cette configuration est-elle utilisable compte tenu du cahier des charges ?

II- La machine asynchrone à rotor bobiné (deux pôles) et le rhéostat raccordé au rotor

II.1. Un *premier essai* est réalisé :

La machine à vide est directement connectée au réseau 230/400 V; 50 Hz; et le rotor est mis en court-circuit, en positionnant le curseur du rhéostat pour obtenir $R_h = 0 \Omega$.

II.1.1. Quel couplage doit être adopté pour le stator de la machine ?

II.1.2.

Quelle est la vitesse de rotation de la machine si l'on néglige les pertes mécaniques ?

II.2. Un *deuxième essai* est réalisé :

La machine toujours directement couplée au réseau, rotor en court-circuit, ($R_h = 0 \Omega$) est chargée mécaniquement; elle fournit un couple de moment 12 N.m à la vitesse de 2910 tr/min.

II.2.1. Quelle est la valeur du glissement ?

II.3. Un *troisième essai* est réalisé :

La machine toujours directement couplée au réseau et chargée, fournit un couple de moment 12 N.m mais le curseur du rhéostat est placé de façon à obtenir la résistance maximale $R_h = 5,7 \Omega$. Le tachymètre utilisé ne permet pas le relevé de vitesses inférieures à 1500 tr/min et il affiche la mention "mesure impossible".

Notre technicien se souvient alors d'une propriété particulière des machines asynchrones :

A couple constant le rapport $\frac{R_2 + R_h}{g} = K_0$ est constant. Il applique donc cette propriété aux deuxième et troisième essais qui ont été réalisés avec le même couple.

II.3.1. Montrer à partir de la valeur du glissement trouvée au deuxième essai, et sachant qu'alors $R_h = 0$, que $K_0 = 10 \Omega$.

II.3.2. Montrer en utilisant la relation $\frac{R_2 + R_h}{g} = K_0$ que dans le troisième essai la valeur du glissement était $g = 60\%$.

II.3.3. Quelle était la vitesse de rotation de la machine au cours du troisième essai qu'il avait été impossible de mesurer au tachymètre ?

II.3.4. Quelle est la gamme de vitesse réalisable avec la configuration machine asynchrone + rhéostat au rotor ?

II.3.5. Cette configuration est-elle utilisable compte tenu du cahier des charges ?

III- L'onduleur associé à la machine asynchrone à rotor bobiné (deux pôles) rotor en court-circuit

III.1. L'onduleur est réglé à la fréquence $f_{\max} = 60$ Hz. Quelle est la vitesse de rotation à vide de la machine ? On montre que pour cette fréquence le glissement correspondant à $T_u = 12$ N.m est $g = 2,5\%$.

III.2. L'onduleur est réglé à la fréquence $f_{\min} = 10$ Hz. Quelle est la vitesse de rotation à vide de la machine ?

III.3. Cette configuration est-elle utilisable compte tenu du cahier des charges ?

IV- L'onduleur associé à la machine asynchrone à rotor à cage d'écurueil (quatre pôles)

IV.1. Quelle est la valeur du couple utile au synchronisme pour toute machine asynchrone ?

IV.2. L'onduleur est réglé à la fréquence $f_{\max} = 60$ Hz., la vitesse de rotation à vide de la machine est alors 1800 tr/min.
Cette configuration est-elle utilisable ?

V- Choix de la motorisation

Après cette étude, notre technicien ne conserve que les configurations "II" et "III":

Configuration II : La machine asynchrone à rotor bobiné (deux pôles) et le rhéostat raccordé au rotor ;

Configuration III : L'onduleur associé à la machine asynchrone à rotor bobiné (deux pôles) rotor en court-circuit ;

Son choix définitif sera déterminé par le rendement et il fait l'hypothèse parfaitement justifiée pour la machine asynchrone en charge, que toutes les pertes sont négligeables devant les pertes par effet Joule du rotor : P_{jr} ; le stator est donc considéré comme étant parfait et la puissance transmise (P_{tr}) par le stator au rotor égale à la puissance absorbée : P_a .

Il utilise donc le schéma ci-après :

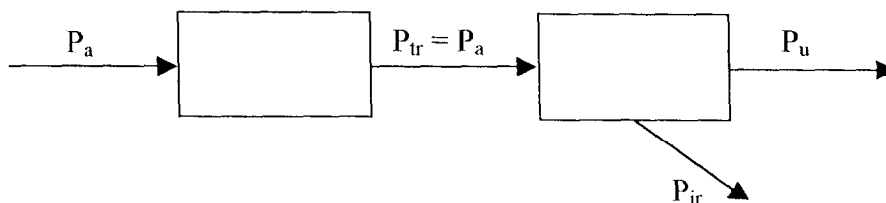


Figure 1

V.1.1. Quelle est l'expression littérale du rendement η en fonction de la puissance utile P_u et de la puissance absorbée P_a ?

V.1.2. Quelle relation existe-t-il entre la puissance transmise P_{tr} , le glissement g et les pertes par effet Joule au rotor P_{jr} ?

V.1.3. En tenant compte des hypothèses, visualisées sur le schéma (figure 2), exprimer la puissance utile P_u en fonction de la puissance absorbée P_a et des pertes par effet Joule au rotor P_{jr} .

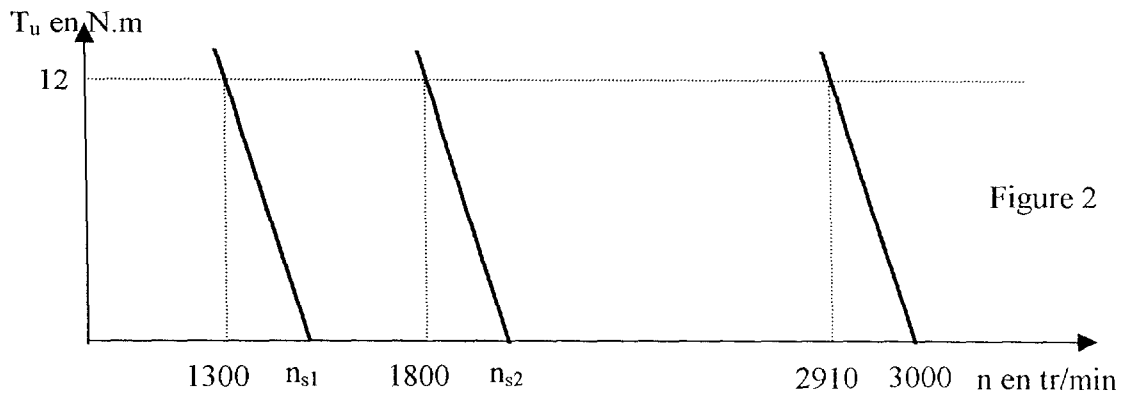
V.1.4. Toujours en tenant compte des hypothèses et en utilisant les expressions précédentes, montrer que le rendement de la machine asynchrone en fonction du seul glissement g est $\eta = 1 - g$.

V.2. Calcul du rendement de la configuration II : La machine asynchrone à rotor bobiné (deux pôles) et le rhéostat raccordé au rotor ;

Lorsque $1300 < n < 1800$ tr/min., le glissement est tel que $40\% < g < 57\%$. Entre quelles valeurs varie le rendement ?

V.3. Calcul du rendement de la configuration III : L'onduleur associé à la machine asynchrone à rotor bobiné (deux pôles) rotor en court-circuit ;

Lorsqu'une machine asynchrone est alimentée par un onduleur $V/f = Cte$, la caractéristique mécanique utile (partie rectiligne de la caractéristique passant par le point $T = 0$ N.m ; $n = n_s$) (figure 2) se déplace parallèlement à elle-même lorsque l'on fait varier la fréquence de l'onduleur.



Les essais ont montré qu'alimentée sous 50 Hz, la machine tournait à 2910 tr/min en fournissant un couple de moment 12 N.m ; sa vitesse de synchronisme est alors $n_s = 3000$ tr/min.

V.3.1. Quelle est la vitesse de synchronisme n_{s1} correspondant à la situation suivante : $T = 12$ N.m; $n = 1300$ tr/min ?

V.3.2. Quelle est la valeur g_1 du glissement ?

V.3.3. Quel est le rendement η_1 dans ces conditions ?

V.3.4. Pour la situation $T = 12$ N.m et $n = 1800$ tr/min, le rendement du moteur asynchrone, calculé avec les approximations précédentes est égal à 95,2 %. Quelle est sa plage de variation lorsque n varie de 1300 à 1800 tr/min avec $T_u = 12$ N.m ?

V-4 Des configurations II et III, laquelle choisiriez-vous ?