

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR EN  
ÉLECTROTECHNIQUE**

**E4 - Physique Appliquée  
à l'électrotechnique**

**Durée : 4 heures**

**coefficient : 3**

**Calculatrice autorisée**

# AMÉLIORATION DU FONCTIONNEMENT D'UNE SCIE

Dans le cadre de la modernisation d'une scie à ruban servant à découper des planches dans des billes de bois, on se propose de remplacer le démarrage rotorique de la machine asynchrone d'entraînement par un système permettant de contrôler le démarrage et le freinage du dispositif.

## Ce problème est constitué de trois parties indépendantes

### A. ETUDE DE LA MACHINE ASYNCHRONE

Le moteur est alimenté par un réseau triphasé 400 V – 50 Hz.

Les principales caractéristiques de la machine sont fournies par le constructeur :

- Alimentation 230 V / 400 V - 50 Hz
- Puissance utile nominale  $P_u = 22$  kW
- Fréquence de rotation nominale 1455 tr/min
- Rendement nominal 93,3 %
- Facteur de puissance nominal 0,85
- Pertes mécaniques négligeables
- Pertes fer rotoriques négligeables
- Résistances et inductances de fuite statoriques négligeables.

#### A.1. Fonctionnement électromécanique de la machine asynchrone.

A.1.1. Calculer le nombre  $p$  de paires de pôles de la machine asynchrone.

A.1.2. Calculer, la valeur du glissement  $g$  au fonctionnement nominal.

A.1.3. Calculer la puissance absorbée nominale  $P_{an}$ .

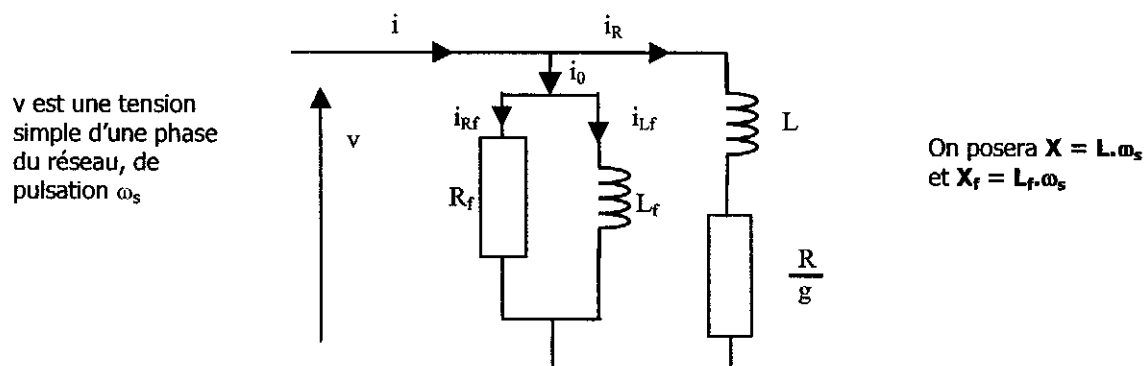
A.1.4. Exprimer  $P_{an}$  en fonction de  $V$ , valeur efficace d'une tension simple,  $I_n$ , valeur efficace de l'intensité nominale du courant dans un fil de ligne, et du facteur de puissance nominal de la machine.

A.1.5. Calculer  $I_n$ , valeur efficace nominale de l'intensité du courant dans un fil de ligne.

A.1.6. Calculer la valeur du couple utile nominal  $C_{un}$ .

#### A.2. Modèle équivalent d'une phase du stator de la machine asynchrone.

La figure 1 représente le schéma équivalent d'une phase du stator



**Figure 1**  
Page 2 sur 8

A.2.1. On a réalisé un essai à vide sous tension nominale, la scie étant désaccouplée du moteur. Les mesures ont donné :

- puissance absorbée :  $P_{a0} = 900 \text{ W}$
- intensité du courant dans une phase du stator :  $I_0 = 10,2 \text{ A}$
- Facteur de puissance :  $\cos \varphi_0 = 0,128$
- Glissement pratiquement nul

a) Calculer les valeurs de  $R_f$  et de  $X_f = L_f \omega_s$ . Préciser le rôle de ces deux éléments dans le schéma équivalent.

b) Calculer les valeurs efficaces  $I_{Rf}$  et  $I_{Lf}$  des intensités  $i_{Rf}$  et  $i_{Lf}$ .

A.2.2. Le moteur fonctionne dans les conditions nominales. Tracer sur le document réponse n°1, figure 6, les vecteurs représentant les courants  $i$ ,  $i_{Rf}$ ,  $i_{Lf}$  et  $i_R$  (On prendra comme échelle 1 cm pour 4 A).

Déduire du diagramme la valeur efficace  $I_R$  du courant  $i_R$ .

A.2.3. Calculer la valeur de la puissance  $P_{tr}$  transmise au rotor.

A.2.4. Exprimer  $P_{tr}$  en fonction de  $R$ ,  $g$ , et  $I_R$ .

A.2.5. Calculer la valeur de  $R$ .

A.2.6. Exprimer  $I_R$  en fonction de  $V$ ,  $R$ ,  $g$  et  $X$ .

A.2.7. Calculer la valeur de  $X = L \omega_s$ .

**Pour la suite du problème on prendra  $R = 0,188 \Omega$  et  $X = 2,16 \Omega$ .**

A.2.8. Lors d'un démarrage direct sous pleine tension et en négligeant la valeur de  $I_0$  devant  $I_R$ , calculer  $I_{dem}$ , valeur efficace de l'intensité du courant  $i$  absorbé au démarrage.

### A.3. Couple électromagnétique

A.3.1. Exprimer le moment du couple électromagnétique  $C_e$  en fonction de  $p$ ,  $P_{tr}$  et  $\omega_s$ .

A.3.2. Exprimer  $P_{tr}$  en fonction de  $V$ ,  $R$ ,  $g$ , et  $X$ .

A.3.3. Montrer que  $C_e$  peut se mettre sous la forme suivante :

$$C_e = 3p \left( \frac{R}{g\omega_s} \right) \frac{V^2}{\left( \frac{R}{g} \right)^2 + X^2}$$

A.3.4. Vérifier que  $C_e$  peut s'écrire de la façon suivante :

$$C_e = 3,59 \cdot 10^{-3} \times \frac{V^2}{\frac{35,3 \cdot 10^{-3}}{g} + 4,66g}$$

A.3.5. Calculer la valeur du couple électromagnétique  $C_{edem}$  disponible au démarrage si  $V = 230V$ .

A.3.6. Calculer la valeur du glissement  $g_{max}$  pour lequel le couple électromagnétique est maximal ?

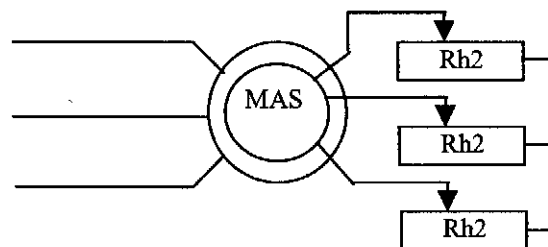
A.3.7. Calculer la valeur maximale  $C_{emax}$  du couple électromagnétique si  $V = 230 V$ .

A.3.8. Tracer, sur le document réponse n° 1, figure 7, l'allure de la courbe  $C_e(g)$ ,  $g$  variant de 0 à 1.

## B. Démarrage et arrêt avant modification de la scie.

Lors d'un cycle de fonctionnement, la scie démarre grâce à l'ajout de résistances  $R_{h2}$  mises en série avec les enroulements rotoriques (figure 2). L'arrêt est obtenu en roue libre, l'alimentation du stator étant coupée et la scie désengagée de la bille de bois.

### B.1. Démarrage



**Figure 2**

Le stator est alimenté directement par le réseau 400V – 50 Hz.

B.1.1. Lors du démarrage, trois résistances  $R_{h2}$ , sont insérées en série avec les enroulements du rotor (figure 2). L'insertion de ce rhéostat au rotor a pour effet d'augmenter la valeur de la résistance  $R$  présente dans le schéma équivalent de la figure 1 en lui donnant une nouvelle valeur  $R'$ .

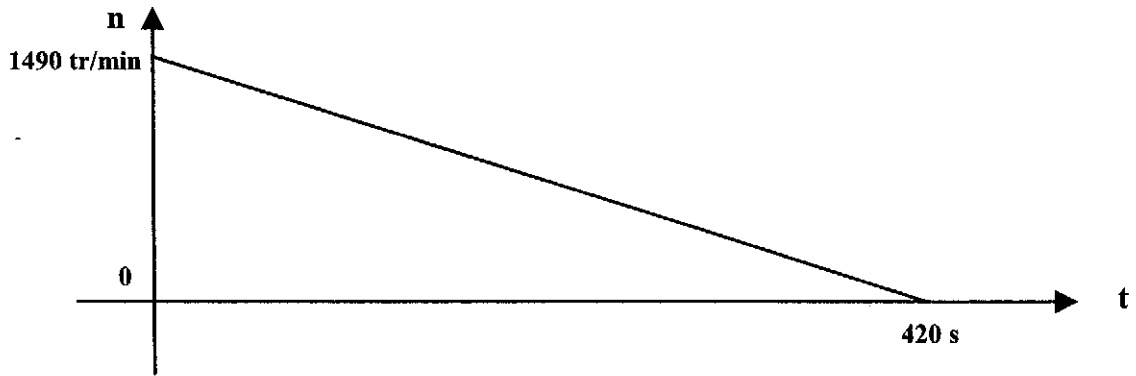
La valeur maximale de  $I_R$  au démarrage est de 40 A. Calculer  $R'$ .

B.1.2. Quelle est, dans ces conditions, la nouvelle valeur du couple électromagnétique de démarrage  $C_{edem}$  ?

B.1.3. Porter, sur le document réponse n°1, figure 7, le point figuratif du démarrage correspondant à ce fonctionnement.

### B.2. Arrêt

Un enregistrement de la fréquence de rotation du rotor a été fait pendant la phase d'arrêt (figure 3), la scie étant accouplée de la machine asynchrone mais désengagée de la bille de bois. Le ralentissement de l'ensemble est principalement dû aux différents frottements mécaniques que l'on modélise par un couple résistant total  $C_R$  que l'on considérera comme constant.



**Figure 3**

**B.2.1.** Ecrire la loi de la dynamique régissant la variation de la vitesse  $\Omega$  en fonction du moment d'inertie  $J$  et du couple résistant total  $C_R$  pendant la phase d'arrêt.

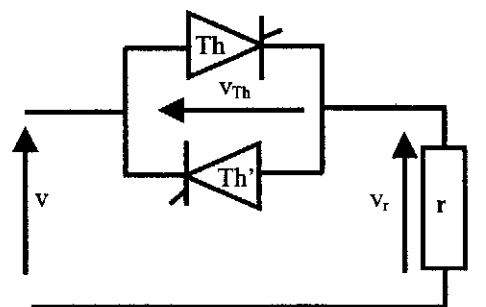
**B.2.2.** La valeur du moment d'inertie de l'ensemble des parties tournantes est  $J = 21,5 \text{ kg.m}^2$ . Calculer la valeur du couple résistant total  $C_R$ , sachant que la fréquence de rotation initiale est  $n = 1490 \text{ tr/min}$ .

### C. Démarrage et arrêt après modification de la scie

Pour contrôler le démarrage et le freinage, la machine asynchrone est alimentée par un démarreur-ralentisseur progressif industriel. Cet équipement est composé, pour sa partie puissance, d'un gradateur triphasé à six thyristors.

Le démarreur permet de réduire les contraintes mécaniques lors de l'accélération, il est ensuite mis hors service pendant le fonctionnement normal de la scie. Lors du ralentissement, il peut imposer un couple de freinage réglable  $C_{brc}$ .

#### C.1. Principe du gradateur



**Figure 4**

Sur la figure 4, est représenté un gradateur monophasé, alimentant une résistance  $r$ . Les thyristors  $Th$  et  $Th'$  sont commandés avec un retard à l'amorçage  $\psi$  par rapport aux passages à 0 de la tension sinusoïdale d'alimentation  $v$  de pulsation  $\omega_s$ . On note  $v = V\sqrt{2} \sin \theta$ , avec  $\theta = \omega_s t$ .

**C.1.1.** Donner, sur le document réponse n°2, figure 8, l'allure des tensions  $v_r$  et  $v_{Th}$  si  $\psi = 120^\circ$ . Préciser les instants de conduction des thyristors  $Th$  et  $Th'$ .

C.1.2. Ecrire l'expression de l'intégrale permettant d'obtenir la valeur efficace  $V_r$  de la tension  $v_r$  aux bornes de la résistance  $r$ . Le calcul complet n'est pas demandé.

C.1.3. Préciser les valeurs prises par  $V_r$  pour  $\psi = 180^\circ$  et  $\psi = 0^\circ$ ?

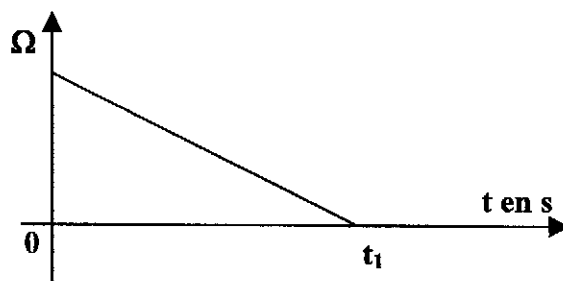
## C.2. Démarrage de la scie

C.2.1. En admettant que le fonctionnement du gradateur triphasé, alimentant le moteur, permette de modifier la valeur efficace de la tension présente aux bornes d'un enroulement du stator, sur une large plage de variation de  $\psi$ , justifier que le constructeur du démarreur affirme pouvoir faire un contrôle en couple durant le démarrage.

C.2.2. Pour des raisons pratiques, quelle doit être la valeur de  $\psi$  à la mise sous tension du système ?

## C.3. Arrêt de la scie

Le démarreur-ralentisseur permet une décélération de l'ensemble par application d'un couple de freinage  $C_f$  constant. La courbe  $\Omega ( t )$  est alors la suivante :



**Figure 5**

L'arrêt de la machine est obtenu au bout d'une durée  $t_1$ .

C.3.1. Ecrire la loi de la dynamique lors de la décélération en tenant compte du couple de freinage  $C_f$  et du couple résistant  $C_R$ .

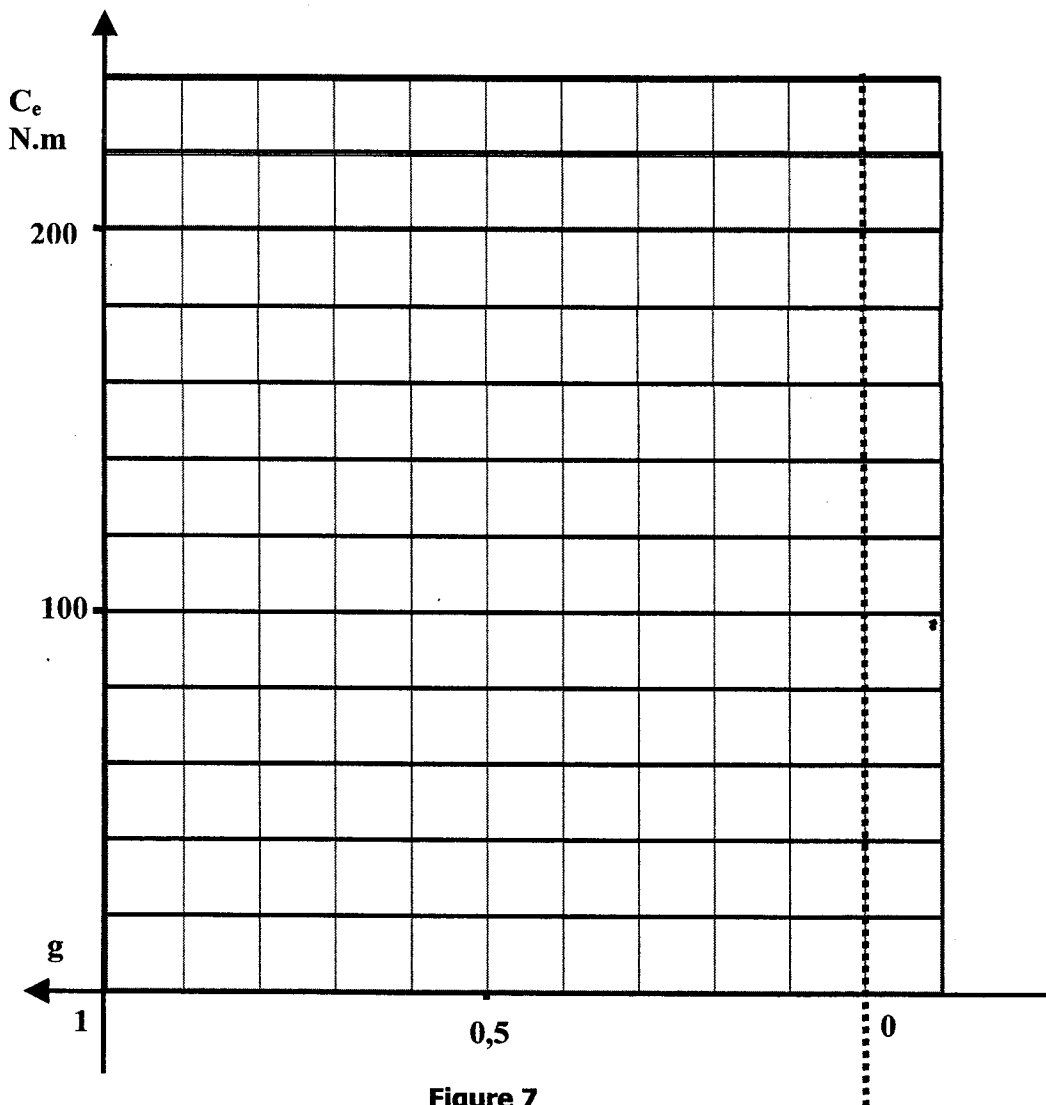
C.3.2. On veut obtenir l'arrêt après un temps  $t_1 = 45 \text{ s}$ . Calculer la valeur du couple de freinage  $C_f$  qui doit être appliqué à la machine asynchrone sachant que la vitesse initiale est  $n = 1490 \text{ tr / min}$  et le couple résistant  $C_R = 8 \text{ N.m}$ .

**DOCUMENT REPONSE N°1**

*à remettre avec la copie*

**Figure 6**

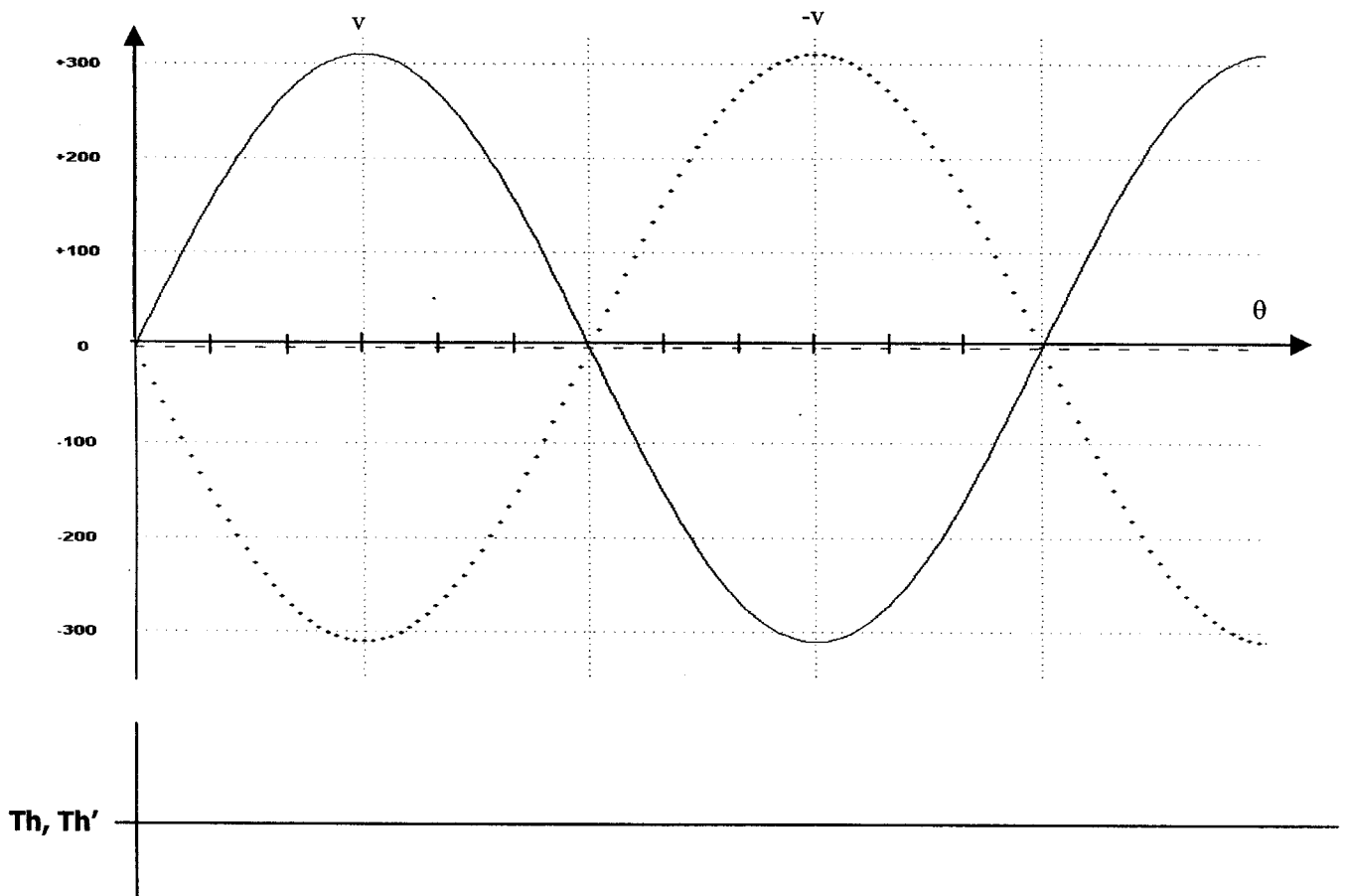
Echelle 1 cm  $\rightarrow$  4 A



**Figure 7**

**DOCUMENT REPONSE N°2**

*à remettre avec la copie*



**Figure 8**