

ROYAUME DU MAROC
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE, DE
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET DE LA FORMATION DES CADRES
ACADEMIE REGIONALE DE L'EDUCATION ET DE FORMATION
REGION DU GRAND CASABLANCA
DELEGATION FIDA - MERS SULTANE
LYCEE AL KHAOUARIZMY

SESSION MAI 2009

Examen de Sortie
Brevet de Technicien Supérieur

Section : Electrotechnique

Epreuve d'Electrotechnique

Coefficient : 12

Durée : 3 heures

AVERTISSEMENTS

- *Aucun document n'est autorisé.*
- *L'usage des calculatrices est autorisé.*
- *La lecture de l'ensemble du sujet est vivement conseillée avant la rédaction des réponses.*
- *Inscrire le numéro de la question avant la rédaction de la réponse correspondante et encadrer le résultat final.*

Documents constituant le sujet :

- *texte sujet : pages : 1 à 7*

Documents à rendre avec la copie :

La page 8 est un document réponse àagrafer avec la copie et à rendre en fin de l'épreuve.

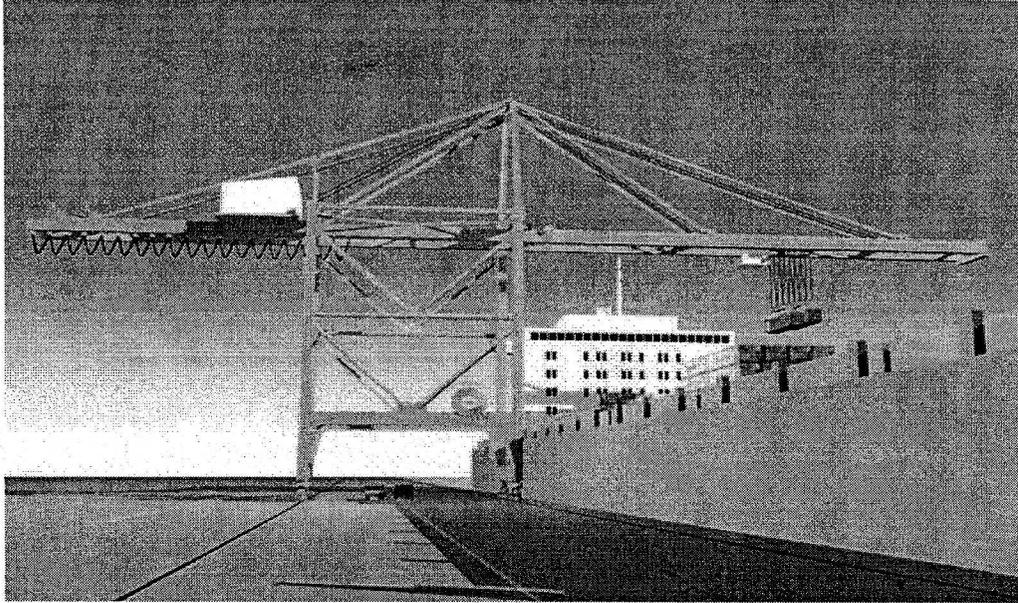
Barème:

Partie A: (20 points)

Partie B: (10 points)

1 point pour chaque question.

ETUDE DE LA MOTORISATION D'UNE GRUE PORTE CONTAINER



Présentation :

Cette épreuve propose d'étudier un exemple de chaîne de motorisation asynchrone pour traction.

La grue étudiée comporte quatre pieds dont chacun porte un moteur asynchrone entraînant une roue motrice. Ces moteurs de traction sont alimentés par l'intermédiaire d'onduleurs de tension triphasés à partir d'un réseau 1200V continu.

Le synoptique de l'alimentation d'un moteur de traction est donné figure 1.

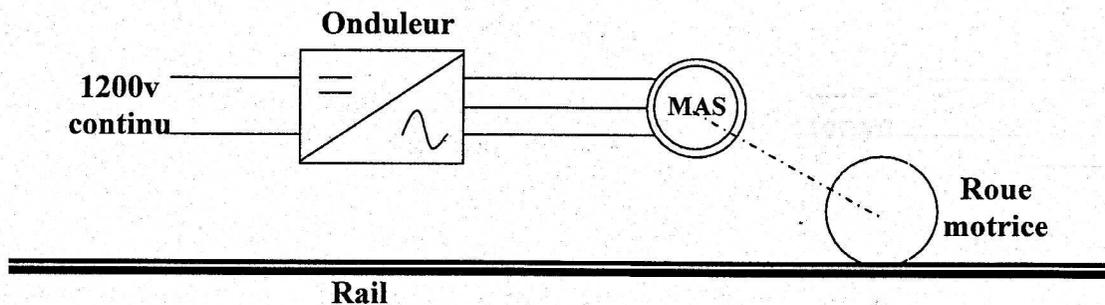


Figure 1 : alimentation d'un moteur de traction

Partie A : Étude d'un moteur de traction (20 points)

Il s'agit d'un moteur asynchrone triphasé à rotor à cage dont les enroulements statoriques sont couplés en étoile.

Caractéristiques nominales du moteur

- Tension nominale entre phases : $U_n = 950V$
- Fréquence statorique nominale: $f_N = 72 \text{ Hz}$
- Intensité nominale du courant statorique : $I_N = 21,8A$.
- Facteur de puissance nominal : $\cos\phi_N = 0,72$.

- Fréquence nominale de synchronisme : $N_s = 1440 \text{ tr.min}^{-1}$
- Fréquence nominale de rotation du rotor : $N_N = 1424 \text{ tr.min}^{-1}$

Dans ce qui suit, on néglige :

- les résistances et inductances de fuites statoriques ;
- les pertes dans le fer ;
- les pertes mécaniques.

A.1 - Etude du fonctionnement nominal du moteur (6 points)

A.1.1- Déterminer le nombre p de paires de pôles du moteur sachant que la fréquence statorique nominale est $f_N 72\text{Hz}$.

Pour le point nominal de fonctionnement :

A.1.2- Calculer le glissement

A.1.3- Calculer la puissance électrique P_N absorbée par le moteur et préciser la valeur de la puissance électromagnétique P_{trN} transmise au rotor.

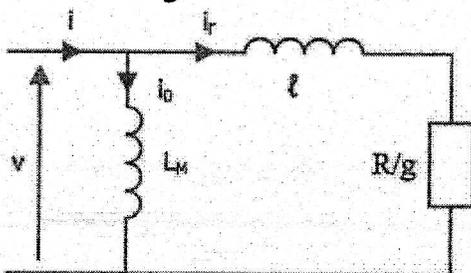
A.1.4- Calculer le couple électromagnétique

A.1.5- Exprimer les pertes par effet Joule au rotor P_{jr} en fonction de P_{trN} . Calculer P_{jrN} ,

A.1.6- Calculer la puissance utile P_{UN} développée par le moteur.

A.2 - Expression simplifiée du moment du couple électromagnétique (6 points)

Pour chaque phase du moteur, on adopte le modèle équivalent monophasé simplifié de la figure 2.



Avec :

→ v : est la valeur de la tension simple du réseau sa valeur efficace est V ;

→ i : est l'intensité du courant de ligne

→ R/g : est la résistance modélisant le transfert de puissance active au rotor ;

→ L_M est l'inductance magnétisante

→ g est le glissement

Figure2 : Schéma équivalent monophasé d'une MAS

On donne :

$$L_M = 90\text{mH}$$

$$l = 9,45\text{mH}$$

$$R = 0,4718\Omega$$

A.2.1- Que représente i_0 , i_r et l ?

A.2.2- Calculer, sous l'alimentation nominale ($V=550\text{v}$ et $f=72\text{Hz}$), la valeur efficace I_0 du courant i_0 ?

A.2.3- A partir du modèle équivalent monophasé de la fig2, exprimer la valeur efficace I_r du courant i_r en fonction de : V , ω , R et g ?

A.2.4- Montrer que pour les faibles valeurs du glissement ($g \ll 1$), la relation précédente

devient :
$$I_r = \frac{V}{R} \cdot g$$

A.2.5- Exprimer la puissance transmise au rotor P_{tr} en fonction de I_r et de $\frac{R}{g}$.

A.2.6-

- En déduire alors que, pour les faibles valeurs du glissement, le moment du couple électromagnétique s'écrit : $C = K \cdot g$?
- Exprimer K en fonction de la tension efficace V , de la résistance R et de la vitesse de synchronisme Ω_s exprimée en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$.
- Calculer la valeur numérique de K sous alimentation nominale ($V=550\text{v}$ et $f=72\text{Hz}$).

A.3 - Fonctionnement en traction (8 points)

On envisage le cas où le moteur développe un couple électromagnétique $C=250\text{N.m}$ en fonctionnant sous alimentation nominale ($V=550\text{v}$ et $f=72\text{Hz}$).

On supposera le glissement faible et on admettra les résultats suivants :

$$I_0 = 15\text{A}$$

$$C = 12500 \cdot g$$

$$I_r = \frac{V}{R} \cdot g$$

A.3.1- Déterminer la valeur du glissement correspondant au fonctionnement étudié.

A.3.2- En déduire la valeur de la fréquence de rotation du rotor N en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

A.3.3- Déterminer la valeur de I_r .

A.3.4- On note φ_r le déphasage de i_r par rapport à la tension simple v prise comme référence des phases. En se reportant au modèle équivalent monophasé de la figure 2, exprimer $\tan(\varphi_r)$ en fonction de ω et de $\frac{R}{g}$.

En déduire que : $\varphi_r \approx 10,2^\circ$.

A.3.5- La tension simple v étant toujours choisie comme référence des phases, compléter le document réponse DR1 en y disposant les vecteurs de Fresnel \vec{I}_0 et \vec{I}_r associés aux courants i_0 et i_r (adopter une échelle convenable).

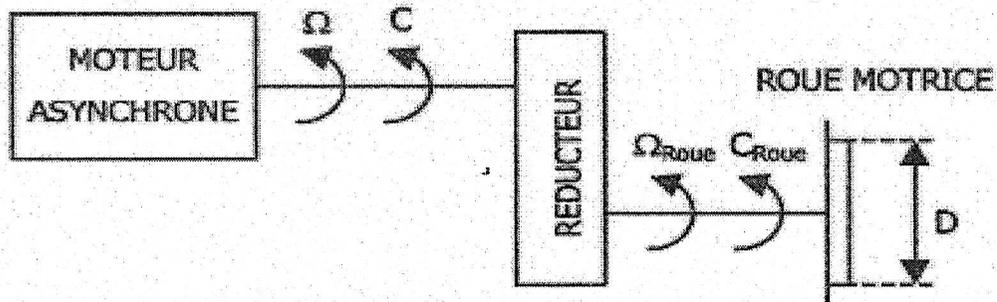
A.3.6- En déduire la construction du vecteur de Fresnel \vec{I} associé à i .

A.3.7- Déterminer alors avec une méthode de votre choix (graphique ou analytique) la valeur efficace I et le déphasage φ de i par rapport à v .

A.3.8- Calculer la puissance électrique P reçue par le moteur dans ce cas de fonctionnement.

Partie B - Performances mécaniques de la grue (10 points)

La chaîne cinématique de motorisation d'une roue est donnée figure 3.



Toutes les pertes du moteur asynchrone étant négligées, les moments des couples électromagnétique et utile du moteur asynchrone sont égaux et notés C .

Le réducteur, de rendement égal à 1, et de rapport de réduction $r = 10$, impose

$\Omega_{\text{roue}} = \frac{\Omega}{10}$. Le diamètre d'une roue est : $D = 20$ cm.

B.1 - Expression de la vitesse de rotation du rotor du moteur asynchrone en fonction de la vitesse de déplacement de l'ensemble grue+conteneur

On admet que la vitesse de déplacement de l'ensemble dépend de la vitesse de rotation d'une roue selon la relation :

$$v = 60 \cdot \frac{D}{2} \cdot \Omega_{\text{roue}} \quad \text{avec : } D \text{ en m, } \Omega_{\text{roue}} \text{ en rad.s}^{-1} \text{ et } v \text{ en m.min}^{-1}$$

Montrer alors que la vitesse de rotation du moteur asynchrone vérifie la relation :

$$\Omega = 1,67 \cdot v \quad \text{avec } \Omega \text{ en rad.s}^{-1} \text{ et } v \text{ en m/min.}$$

B.2 - Performances maximales de la rame de tramway (9 points)

Il existe une courbe d'effort maximal que les limites de l'ensemble électromécanique ne permettent pas de dépasser. Pour un fonctionnement en marche avant ou arrière, la figure 4 donne la caractéristique du couple électromagnétique maximal appliqué par un moteur de traction en fonction de la vitesse de la grue.

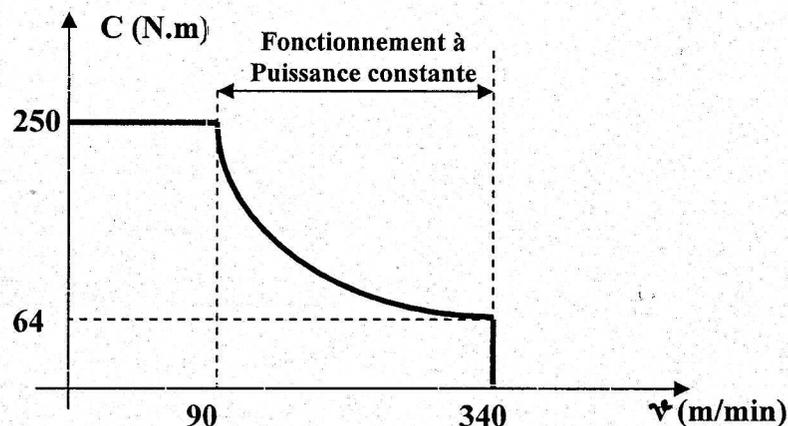


Fig.4 :

B.2.1- Fonctionnement à vide (grue seule)

Pour un déplacement normale, le couple résistant C_R ramené sur l'arbre d'un moteur est dû :

- à la force de frottement roue ↔ rail qui dépend de la masse M de l'ensemble grue et conteneur.
- à la force de pénétration dans l'air, proportionnelle à la vitesse v de la grue.

L'expression du couple résistant est ainsi :

$$C_{R1} = \underbrace{3,33 \cdot 10^{-4} \cdot M}_{\text{Frottement}} + \underbrace{4,4 \cdot 10^{-2} \cdot v}_{\text{force de pénétration}}$$

avec M en kg, v en $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ et C_R , en $\text{N} \cdot \text{m}$

- a) Tracer sur le document réponse DR2, la caractéristique $C_{R1}(v)$ pour $M=120$ tonnes (cas grue seule).
- b) Déterminer graphiquement la valeur v_1 de la vitesse maximale de la grue.
- c) En déduire :
 - ❖ La valeur C_1 du couple électromagnétique d'un moteur de traction.
 - ❖ La valeur n_1 de la vitesse de rotation d'un moteur de traction.
 - ❖ La valeur P_1 de la puissance que développe un moteur de traction.

B.2.2- Fonctionnement en régime permanent en pleine charge

Dans ce cas, il faut également tenir compte du couple exercé par le poids de la charge (conteneur) dans l'expression du couple résistant ramené sur l'arbre d'un moteur de traction. La charge maximale que peut transporter la grue étant 90 tonnes.

L'expression du couple résistant ramené sur l'arbre d'un moteur s'écrit sous la forme :

$$C_{R2} = 3,33 \cdot 10^{-4} \cdot M_T + 4,4 \cdot 10^{-2} \cdot v \text{ avec } M \text{ en kg, } v \text{ en } \text{m} \cdot \text{min}^{-1} \text{ et } C_R, \text{ en } \text{N} \cdot \text{m}$$

M_T est la masse totale de l'ensemble grue conteneur en charge maximale.

- a) Tracer sur le document réponse DR2, la caractéristique $C_{R2}(v)$ pour $M = 210$ tonnes.
- b) Déterminer graphiquement la valeur v_2 de la vitesse maximale de la grue.
- c) En déduire la valeur P_2 de la puissance que développe un moteur de traction.

B.2.3- Démarrage

On cherche à déterminer la durée nécessaire à la grue pour atteindre en pleine charge ($M_T=210$ tonnes) la vitesse de $160 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ lors d'un démarrage.

Le moment d'inertie des masses en mouvement, ramené sur l'arbre d'un moteur, est : $J = 6,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ Pendant toute la phase du démarrage, chaque moteur de traction développe un couple électromagnétique constant $C = 250 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Pour les vitesses faibles, la force de pénétration dans l'air est négligeable devant la force de frottement roue-rail et le couple résistant ramené sur l'arbre d'un moteur se réduit à : $C_R = 70 \text{ N}\cdot\text{m}$.

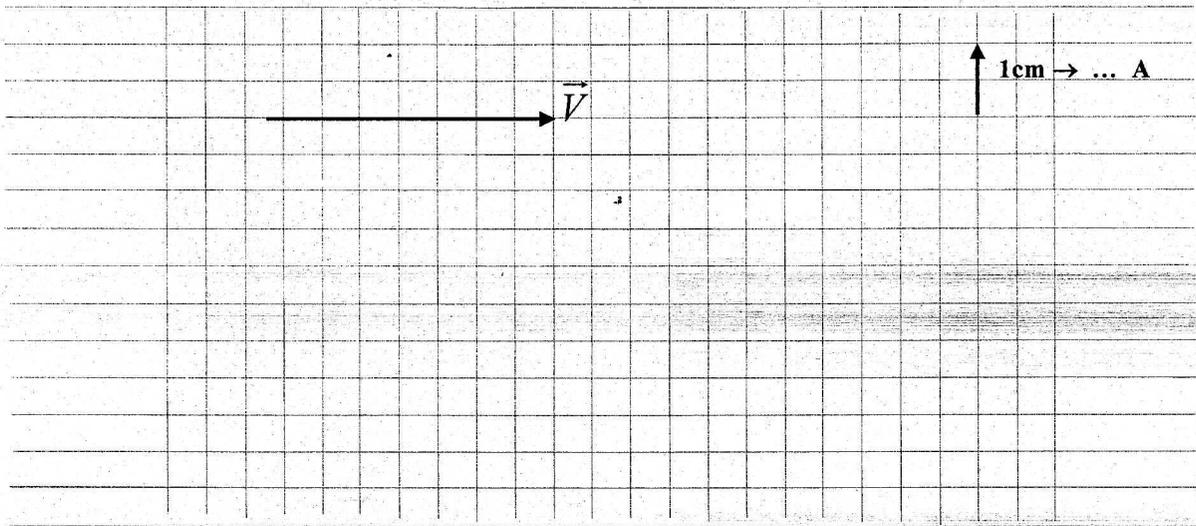
- a) Quelle relation lie les grandeurs J , $\frac{d\Omega}{dt}$ et C_R en régime dynamique ?
- b) Montrer que durant le démarrage, la vitesse de rotation d'un moteur de traction vérifie l'équation suivante :

$$\frac{d\Omega}{dt} \approx 27,3 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-2}$$

- c) A l'aide de la relation établie en B.1, déduire la durée nécessaire à la grue pour atteindre la vitesse de $90 \text{ m}/\text{min}$.

Fin du sujet

Document réponse DR1



Document réponse DR2

Document réponse DR2

